

UFPA

PPGEC

Universidade Federal do Pará



Bruna Roberta Pereira Lira

Avaliação do Comportamento e da Tendência Pluviométrica na Amazônia Legal no Período de 1986 A 2015

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dissertação orientada pelo Dr. Lindemberg Lima Fernandes.

Belém – Pará – Brasil
2019

Bruna Roberta Pereira Lira

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO E DA TENDÊNCIA
PLUVIOMÉTRICA NA AMAZÔNIA LEGAL
NO PERÍODO DE 1986 A 2015**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na área de Concentração em Engenharia Hídrica na Linha de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Dr. Lindemberg Lima Fernandes

Belém – Pará – Brasil

2019



**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO E DA TENDÊNCIA
PLUVIOMÉTRICA NA AMAZÔNIA LEGAL NO PERÍODO
DE 1986 A 2015**

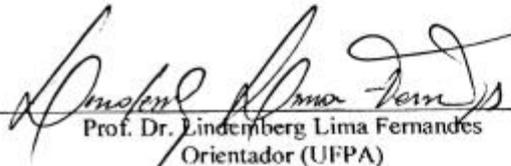
AUTORA:

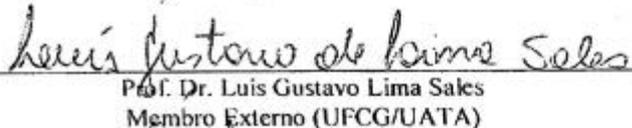
BRUNA ROBERTA PEREIRA LIRA

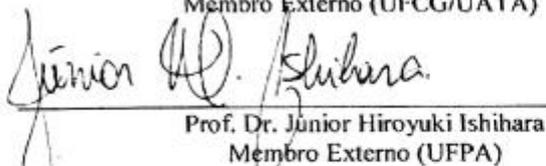
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRA EM ENGENHARIA CIVIL NA
ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO
AMBIENTAL.

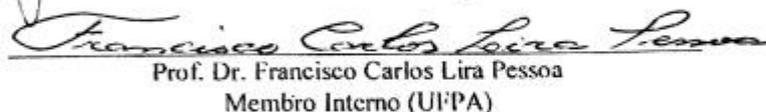
APROVADO EM: 14 / 05 / 2019.

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes
Orientador (UFPA)


Prof. Dr. Luis Gustavo Lima Sales
Membro Externo (UFPA/UATA)


Prof. Dr. Junior Hiroyuki Ishihara
Membro Externo (UFPA)


Prof. Dr. Francisco Carlos Lira Pessoa
Membro Interno (UFPA)

Visto:

Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

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

- L768a Lira, Bruna Roberta Pereira
Avaliação do comportamento e da tendência pluviométrica na
Amazônia Legal no período de 1986 a 2015 / Bruna Roberta
Pereira Lira. — 2019.
XII, 127 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do
Pará, Belém, 2019.
1. Comportamento pluviométrico. 2. Dinâmica espacial e
temporal. 3. Agrupamento pluviométrico. 4. Tendência e
magnitude de precipitação. I. Título.

CDD 620

*Deus obrigada por tudo, por estar sempre ao meu lado!
Dedico este trabalho a minha querida e amada mãe, meus
irmãos, meu namorado, minha família, amigos e a todas as
pessoas que contribuíram em minha jornada acadêmica,
ao PET e ao meu benevolente Tutor e Orientador.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida, por estar sempre comigo e me guiar, pela capacidade de me permitir concluir mais uma etapa em minha vida.

A minha família, em especial a minha querida e amada mãe Angela Maria, aos meus irmãos Verena Pereira e Victor Pereira e ao meu namorado Edson Junior que sempre estão ao meu lado, apoiando minhas decisões, me incentivando a seguir em frente com amor e carinho. Por quem tenho profunda gratidão por tudo o que fazem por mim. Amo muito vocês.

Ao meu orientador professor Lindemberg Lima Fernandes, pelas orientações acadêmicas, também pelo exemplo de ser humano de caráter e benevolente, com quem aprendi muito.

Aos professores Francisco Carlos Lira Pessoa e Júnior Hiroyuki Ishihara pelas contribuições durante a qualificação, com as revisões e opiniões, enriquecendo a pesquisa.

A todos os meus amigos que estiveram presentes ao longo de minha vida, com os quais compartilhei momentos e experiências. Aos colegas da Universidade Federal do Pará (UFPA) pelo apoio, e pelos momentos de aprendizagem e descontração. E aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), em especial Laila Rover e Juliane Riberio.

A todos os professores que ao longo de minha vida contribuíram com o meu aprendizado, transmitido conhecimento e experiência, desde a escola pública Ramiro Olavo, a faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFPA e a Pós-graduação em Engenharia Civil da UFPA.

A todos que não foram citados, mas que também contribuíram direta ou indiretamente para que eu concluísse o mestrado, o meu mais sincero agradecimento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro com concessão de bolsa de estudo para realização desta pesquisa.

“Não basta ensinar ao homem uma especialidade, porque se tornará assim uma máquina utilizável e não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto.”

Albert Einstein

RESUMO

Amazônia desperta interesse no meio científico por ter a maior floresta tropical do mundo, com grande disponibilidade hídrica e de energia solar, fundamental para regulamentação do clima regional e global. Neste contexto esta pesquisa analisa o comportamento pluviométrico anual e sazonal da Amazônia Legal no período de 30 anos (1986 a 2015), através de dados de 268 estações pluviométricas disponibilizados na rede hidrometeorológica (HidroWeb) da Agência Nacional de Águas (ANA), para contribuir como subsídio para gestão e planejamento dos recursos hídricos desta região. A dinâmica espacial e temporal da precipitação foi analisada através da elaboração dos mapas de isoietas através da interpolação de krigagem ordinária linear, a estimativa da precipitação média pelo método de isoietas e a estimativa do volume precipitado pelo método dos contornos. A regionalização foi analisada por meio do método de agrupamento hierárquico de Ward e a tendência e magnitude pelos testes não paramétricos de Mann Kendall e Sen's, respectivamente. Os resultados indicam precipitação anual média de 2.070 mm, corresponde a 5,67 mm/dia, contudo há uma ampla variação no comportamento pluviométrico espacial crescente no sentido do sul para o norte e também variação temporal, tanto no interanual como no sazonal. Com a regionalização da precipitação anual e das coordenadas geográficas latitude e longitude três regiões evidenciam os diferentes padrões pluviométricos com variações na precipitação média, tendo a região sul média de 1.733 mm/ano, a leste de 1.561 mm/ano e a norte de 2.390 mm/ano, e coincide com os principais sistemas atmosféricos atuantes. Assim como, na regionalização da precipitação mensal verificou-se que o comportamento sazonal varia bastante entre as regiões, como mostra a normal climatológica, a partir dos períodos chuvosos, transição e menos chuvosos. Os testes estatísticos indicam tendências e magnitudes pontuais tanto positivas como negativas para a precipitação anual e mensal, estatisticamente significativa para o nível de significância de 5%. Porém, estima-se uma taxa média decrescente de 5 mm ao ano na precipitação da área de estudo. Portanto, conclui-se que o comportamento pluviométrico não é homogêneo, influenciado pelos sistemas e fenômenos atmosféricos, sobretudo pelos eventos La Niña e El Niño forte. Contudo, três regiões homogêneas demonstram os principais padrões pluviométricos, mas para obter regiões mais similares indica-se um número maior de regiões homogêneas, pois trata-se de uma região extensa e com ampla variabilidade pluviométrica. Aonde mudanças importantes estão acontecendo no comportamento pluviométrico, podendo acarretar risco hidrológico e climático.

Palavras-Chave: Comportamento Pluviométrico; Dinâmica Espacial e Temporal; Agrupamento pluviométrico, Tendência de Precipitação e Magnitude de Precipitação.

ABSTRACT

Amazonia awakens interest in the scientific environment because it is the largest rainforest in the world, due to great water and solar energy availability, fundamental for regional and global climate regulation. In this context, this research analyzes the behavior of the annual and seasonal rainfall in Legal Amazon over 30 years (1986 to 2015), through data from 268 rainfall stations available in the hydrometeorological network (HidroWeb) of the National Water Agency (ANA), in order to contribute to water resources management and planning in this region. The spatial and temporal dynamics of precipitation were analyzed through isohyets maps over interpolation of linear ordinary kriging, the average precipitation estimation by the isohyets method and the estimation of volume precipitated by the contour method. Regionalization was analyzed using Ward's hierarchical clustering method and trend as well as magnitude by the Mann-Kendall and Sen's non-parametric tests, respectively. The results indicate an annual mean precipitation of 2,070 mm, corresponding to 5.67 mm/day, however there is a wide variation in the increasing spatial pluviometric behavior from the south towards the north and also temporal variation, both in the interannual and in the seasonal. Through annual precipitation regionalization as well as latitude and longitude geographic coordinates, three regions show different pluviometric patterns with variations in mean precipitation, with the south region average of 1,733 mm/year, east of 1,561 mm/year and north of 2,390 mm/year, and coincides with the main atmospheric operating systems. As in the regionalization of the monthly precipitation, it was observed that the seasonal behavior varied quite well between the regions, as shown by the climatological normal, from rainy periods, transition periods and less rainfall. Statistical tests indicate both positive and negative trends and magnitudes for annual and monthly precipitation, statistically significant for the significance level of 5%. However, an average rate of 5 mm per year in the study area is estimated. Therefore, it is concluded that the pluviometric behavior is not homogeneous, influenced by atmospheric systems and phenomena, mainly by the La Niña and El Niño strong events. Traditionally, three homogeneous regions demonstrate the main pluviometric parameters, but the more similar regions indicate a larger number of homogeneous regions, since it is an extensive region with a wide variety of pluviometric water. Where changes are crucial and cannot be pluviometric, they can become hydrological and climatic hazards.

Keywords: Pluviometric behavior; Spatial and Temporal Dynamics; Clustering Precipitation, Precipitation Trend and Magnitude.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição da água na terra	17
Figura 2 - Disponibilidade de água continental na terra e a per capita anual específica.....	18
Figura 3 – Esquema do Ciclo Hidrológico	20
Figura 4- Método do polígono de Thiessen.....	25
Figura 5- Método de Isoietas	26
Figura 6 - Representação dos sistemas atmosféricos atuantes na América do Sul.....	28
Figura 7 - Variabilidade da posição na superfície da ZCIT, janeiro e julho.	29
Figura 8 – Comportamento Atmosférico para as condições.....	31
Figura 9 – Regiões de medições de El Niño (EN) e La Niña (LN).....	32
Figura 10 – (a) Dendrograma e (b) O mapa da localização das estações.....	35
Figura 11 – Agrupamento (a) distribuição espacial das estações; (b) gráfico.....	36
Figura 12 – Agrupamento da precipitação e os Regimes anuais.....	36
Figura 13 – Amazônia Legal Brasileira.....	39
Figura 14 – População dos Estados da Amazônia Legal.....	40
Figura 15 - Zona climática da Amazônia Legal (classificação de Köppen).....	41
Figura 16 – Hidrografia da Amazônia Legal.....	42
Figura 17 – Uso e ocupação do solo Amazônia Legal	43
Figura 18 – Esquema Metodológico para análise da chuva da Amazônia	44
Figura 19 - Representação do método dos Contornos pela área entre as isoietas	48
Figura 20 - Algoritmo do método hierárquico de <i>Ward</i>	51
Figura 21 – Estações Pluviométricas da Amazônia Legal	55
Figura 22 – Estações Pluviométricas da Amazônia utilizadas neste Trabalho	57
Figura 23 – Precipitação Anual Média de longo período da Amazônia Legal (1986 a 2015) ..	58
Figura 24 – Normal Climatológica da Precipitação Anual do Brasil 1981-2010.....	59
Figura 25 – Precipitação mensal média da Amazônia Legal de 1986 a 2015	61
Figura 26 – Distribuição da Precipitação Anual da Amazônia de 1986 a 1995	63
Figura 27 – Distribuição da Precipitação Anual da Amazônia de 1996 a 2005.....	64
Figura 28 – Distribuição da Precipitação Anual da Amazônia de 2006 a 2015	65
Figura 29 – Média Móvel de três períodos Anuais na Amazônia (1986-2015)	66
Figura 30 – Volume Anual Precipitado nos anos de 1986 a 2015 da Amazônia	67
Figura 31 – Dendrograma das três regiões pluviométricas homogêneas	68
Figura 32 – Espacialização das Três Regiões Pluviométricas da Amazônia	69

Figura 33 – Precipitações Anuais Médias das três Regiões Pluviométricas da Amazônia	70
Figura 34 – Dendrograma das seis Regiões Pluviométricas Homogêneas.....	71
Figura 35 – Espacialização das seis Regiões Pluviométricas da Amazônia.....	72
Figura 36 – Precipitações Anuais Médias das Seis Regiões Pluviométricas da Amazônia	72
Figura 37 – Dendrograma das Nove Regiões Pluviométricas Homogêneas	74
Figura 38 – Espacialização das Nove Regiões Pluviométricas da Amazônia.....	75
Figura 39 – Precipitações Anuais Médias das Nove Regiões Pluviométricas da Amazônia ...	75
Figura 40 – Dendrograma de três Regiões Pluviométricas Sazonais Homogêneas	77
Figura 41 –Três Regiões Pluviométricas Sazonais Homogêneas na Amazônia	78
Figura 42 – Ciclo da Precipitação nas três regiões homogêneas da Amazônia (1986-2015)...	78
Figura 43 – Dendrograma de seis Regiões Pluviométricas Sazonais Homogêneas	80
Figura 44 – Seis Regiões Pluviométricas Sazonais Homogêneas na Amazônia.....	81
Figura 45 – Ciclo anual da Precipitação nas seis regiões da Amazônia (1986-2015).....	82
Figura 46 – Dendrograma de nove Regiões Pluviométricas Sazonais Homogêneas	83
Figura 47 –Nove Regiões Pluviométricas Sazonal Homogêneas na Amazônia	84
Figura 48 – Ciclo anual da precipitação nas nove regiões da Amazônia (1986-2015)	85
Figura 49 – Estações com Tendências de Precipitação Anual na Amazônia	86
Figura 50 – Comportamento Pluviométrico das estações com tendência do Amapá.....	88
Figura 51 – Comportamento Pluviométrico de estações com Tendência positiva do Amazonas	89
Figura 52 – Comportamento Pluviométrico de estações com Tendência negativa do Amazonas	90
Figura 53 – Comportamento Pluviométrico de estações com Tendência positiva do Maranhão	91
Figura 54 - Comportamento Pluviométrico de estações com Tendência negativa do Maranhão	92
Figura 55 - Comportamento Pluviométrico de estações com Tendência positiva do Pará	93
Figura 56 - Comportamento Pluviométrico de estações com Tendência negativa do Pará	94
Figura 57 - Comportamento Pluviométrico de estações com Tendência de Roraima.....	94
Figura 58 - Comportamento Pluviométrico de estações com Tendência do Mato Grosso	95
Figura 59 - Comportamento Pluviométrico de estações com Tendência de Tocantins.....	96
Figura 60 – Magnitude anual da Precipitação na Amazônia Legal (1986-2015).....	97
Figura 61 – Estações com Tendências de precipitação sazonal da Amazônia Legal	98
Figura 62 – Magnitude sazonal da Precipitação da Amazônia Legal (1986-2015).....	100

Figura 63 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Amapá	101
Figura 64 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Amapá.....	101
Figura 65 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Amazonas (Parte I).....	102
Figura 66 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Amazonas (Parte I)	102
Figura 67 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Amazonas (Parte II)	103
Figura 68 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Amazonas (Parte II)	103
Figura 69 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Amazonas (Parte III) ...	104
Figura 70 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Amazonas (Parte III)	104
Figura 71 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal Maranhão (parte I).....	105
Figura 72 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Maranhão (Parte I).	105
Figura 73 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Maranhão (Parte II)	106
Figura 74 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Maranhão (Parte II)	106
Figura 75 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Maranhão (Parte III)....	107
Figura 76 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Maranhão (Parte III)	107
Figura 77 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal Mato Grosso	108
Figura 78 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Mato Grosso	108
Figura 79 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Pará (Parte I)	109
Figura 80 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Pará (Parte I).....	109
Figura 81 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Pará (Parte II)	110
Figura 82 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Pará (Parte II).....	110
Figura 83 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal de Roraima	111
Figura 84 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal de Roraima.....	111
Figura 85 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Tocantins	112
Figura 86 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Tocantins (Parte I) .	112
Figura 87 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Tocantins (Parte II)	113
Figura 88 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Tocantins (Parte II)	113
Figura 89 – Magnitude Mensal da precipitação da Amazônia Legal	114

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Disponibilidade Hídrica por Região Hidrográfica no Brasil.....	19
Tabela 2 - Ocorrências de El Niño (EN) e La Niña (LN)	33
Tabela 3 – Dados dos estados da Amazônia Legal	40
Tabela 4 - Estações Pluviométricas da Amazônia Legal	45
Tabela 5 – Estações Pluviométricas Ativa e Desativa	56
Tabela 6 –Estações Pluviométricas com quantidade anos com dados.....	56
Tabela 7 – Precipitações para os anos de 1986 a 2015 da Amazônia Legal	62
Tabela 8 – Volume Precipitado nos anos de 1986 a 2015 da Amazônia	67
Tabela 9 – Dados das três Regiões Pluviométricas Homogêneas.....	70
Tabela 10 – Dados das Seis Regiões Pluviométricas Homogêneas.....	73
Tabela 11 – Dados das Nove Regiões Pluviométricas Homogêneas.....	76
Tabela 12 – Dados das 51 estações Pluviométricas com tendências	87

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 OBJETIVOS	16
1.1.1 Geral.....	16
1.1.2 Específicos	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 RECURSOS HÍDRICOS	17
2.2 CICLO HIDROLÓGICO.....	20
2.2.1 Dinâmica do Ciclo Hidrológico Amazônico.....	21
2.3 PRECIPITAÇÕES	22
2.3.1 Tipos de Chuvas.....	23
2.3.2 Monitoramento.....	23
2.4 MÉTODOS DE CORREÇÕES DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS	24
2.5 MÉTODOS HIDROLÓGICOS	25
2.5.1 Média aritmética	25
2.5.2 Polígono de Thiessen	25
2.5.3 Método de Isoietas	26
2.6 SISTEMAS E FENÔMENOS ATMOSFÉRICOS NA REGIÃO AMAZÔNICA	28
2.6.1 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).....	29
2.6.2 Linhas de Instabilidade (LI).....	30
2.6.3 Circulação geral e Alta da Bolívia (AB).....	30
2.6.4 Dipolo do Atlântico.....	31
2.6.5 El Niño Oscilação Sul (ENOS).....	31
2.7 DETERMINAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS	34
2.8 ANÁLISE DE TENDÊNCIA E MAGNITUDE DE SÉRIES TEMPORAIS	37
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	39
3.1 ASPECTOS SOCIAIS E ECONÔMICOS	40
3.2 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA.....	41
3.3 HIDROGRAFIA.....	42
3.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	43

4. METODOLOGIA	44
4.1 COLETA E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS	45
4.1.1 Seleção das Estações Pluviométricas	46
4.1.2 Preenchimento de Falhas em Séries Históricas	46
4.2 DINÂMICA ESPACIAL E TEMPORAL	47
4.2.1 Mapas de Isoietas de precipitações	47
4.2.2 Precipitação média	48
4.2.3 Volume Precipitado	48
4.3 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO	49
4.3.1 Medida de similaridade	49
4.3.2 Método de Ward	50
4.4 ANÁLISE DE TENDÊNCIA E MAGNITUDE	52
4.4.1 Teste de Mann Kendall	52
4.4.2 Teste de Sen's Slope	54
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1 DINÂMICA DA PRECIPITAÇÃO	58
5.1.1 Mapas de Isoietas	62
5.1.2 Volume Anual Precipitado	67
5.2 REGIONALIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICAS	68
5.2.1 Precipitação Anual média	68
5.2.2 Precipitação mensal média	77
5.3 TENDÊNCIA E MAGNITUDE DA PRECIPITAÇÃO	86
5.3.1 Precipitação anual	86
5.3.2 Precipitação mensal	98
6. CONCLUSÃO	115
7. REFERÊNCIAS	116

1. INTRODUÇÃO

A água é indispensável para a vida, no entanto, de acordo com Kahsay *et al.* (2018), sua disponibilidade em quantidade e qualidade sustentáveis é ameaçada por diversos fatores, dos quais o clima desempenha papel fundamental. Além das mudanças climáticas, o crescimento populacional e a falta de saneamento básico ameaçam os recursos hídricos. Deste modo, informações hidrológicas são necessárias para gestão e planejamento destes recursos.

Evidências científicas mostram que as mudanças climáticas começaram se manifestar globalmente, na forma de aumento de chuvas, temperatura e do nível do mar (BARI *et al.* 2016). Para Gocic e Trajkovic (2013), analisar as alterações nas variáveis meteorológicas é uma tarefa importante na detecção das mudanças climáticas. Segundo Pandey e Khare (2018), nos últimos anos, várias pesquisas preocuparam-se com a variabilidade temporal e espacial da chuva, sobretudo devido à atenção dada ao aquecimento global.

De acordo com Sousa *et al.* (2015), a precipitação é a variável que melhor caracteriza a variabilidade climática. Conforme o estudo de Kahsay *et al.* (2018), a precipitação é distribuída de forma desigual no planeta, e em algumas regiões podem ter reduções significativas ou grandes alterações no tempo das estações chuvosa e seca. Segundo Nobre *et al.* (2009), as complexas interações entre as variáveis climáticas na Amazônia têm implicações importantes para potenciais mudanças do clima, em níveis local e global.

Assim, a Amazônia desperta interesse no meio científico por ter a maior floresta tropical do mundo, e por desempenhar um papel importante na circulação atmosférica global, devido à dimensão continental da floresta, associada à grande disponibilidade hídrica e de energia solar e à localização geográfica na faixa equatorial (DE SOUSA *et al.*, 2015). Neste contexto, diversos estudos sobre as características climatológicas da região já foram realizados, como de Molion (1987); Fisch *et al.* (1998); Marengo e Hastenrath (1993); e Nobre *et al.* (2009); Davidson *et al.* (2012); e Almeida *et al.* (2015).

Entretanto, a Amazônia é uma região com dados esparsos e as variáveis climáticas são insuficientemente quantificadas, o que dificulta o entendimento dos diferentes mecanismos do clima e sua variabilidade nas escalas temporais e espaciais (NOBRE *et al.*, 2009). De acordo com Ishihara *et al.* (2013), a região não tem uma rede de monitoramento pluviométrico adequada, devido a pequena densidade de estações instaladas, onde muitas já se encontram desativadas, e outras apresentam muitos erros e descontinuidades, o que dificulta um estudo de séries históricas na região, ficando mais vulnerável a erros

Deste modo, é necessário um conjunto de dados de precipitação advindos de uma rede pluviométrica densa e extensa, que forneçam medições confiáveis. Porém, a região apresenta problema de baixa densidade de pluviômetros (MORAES *et al.*, 2015). Assim, a geoestatística é a ferramenta que vem auxiliando na estimativa e espacialização da precipitação, através da técnica de interpolação, que foi aplicada nos trabalhos desenvolvidos por Loureiro e Fernandes (2013), Ishihara *et al.* (2014) e Neves *et al.* (2017).

De acordo com Delahaye *et al.* (2015), estimar e analisar as chuvas na região amazônica é complexa devido à alta variabilidade espacial e temporal, que é influenciada pela dinâmica atmosférica. Assim, segundo Almeida *et al.* (2015), é de extrema importância entender a dinâmica pluviométrica da região Amazônica. Que já foi estudada pelos autores: Azevedo *et al.* (2017), através do prognóstico sazonal da precipitação regionalizada na Amazônia Oriental; De Sousa *et al.* (2015), com a avaliação da variabilidade espaço-temporal da precipitação na Amazônia durante eventos ENOS; Ishihara *et al.* (2014), na avaliação quantitativa e espacial da precipitação na Amazônia Legal, durante 1978 a 2007; Moraes *et al.* (2015), no estudo de Climatologia da precipitação na Amazônia; entre outros.

Segundo Amanajás e Braga (2012), a região possui regime de precipitação com fortes influências de sistemas atmosféricos dinâmicos, sendo que o conhecimento da variabilidade pluviométrica é capaz de fornecer informações sobre o clima, as quais são essenciais para o planejamento de atividades humanas e desenvolvimento local. Assim como, analisar mudanças significativas no comportamento da precipitação ao longo do tempo, que pode se realizar através de análise de tendências e magnitudes, por meio de testes estatísticos, semelhante aos utilizados nos estudos de: Salviano *et al.* (2016), que analisaram as tendências temporais da precipitação e da temperatura média no Brasil; e Ishihara *et al.* (2014), que avaliaram a precipitação ocorrida na Amazônia brasileira durante um período de 30 anos.

Outro método que vem sendo bastante utilizado para auxiliar na avaliação de precipitação, principalmente em regiões com ausência ou insuficiência de dados, é a análise de agrupamento ou cluster, por meio da estatística multivariada, Segundo Azevedo *et al.* (2017), é uma metodologia para identificação de regiões pluviométricas homogêneas. Na região Amazônica os estudos de Amanajás e Braga (2012), Santos *et al.* (2014), Menezes *et al.* (2015), Delahaye *et al.* (2015), Gonçalves *et al.* (2016), Azevedo *et al.* (2017) e Santos *et al.* (2017) agruparam a precipitação em diferente momento e os resultados demonstraram que não existe uma homogeneidade no comportamento pluviométrico em sua totalidade.

Neste contexto, a análise da precipitação é de fundamental importância para a gestão e planejamento dos recursos hídricos. Segundo Lyra *et al.* (2014), a caracterização espacial e temporais de precipitação apoiam o planejamento e a gestão de várias políticas públicas e privadas em diversas áreas. Em razão dos índices pluviométricos estarem diretamente relacionados a disponibilidades hídrica, fator fundamental para sistemas de abastecimento de água, geração de energia, sistemas de irrigações para produções agrícola, previsões de enchentes, medidas mitigatórias aos impactos devido à falta ou excesso de chuva.

Diante da importância de estudos do comportamento da precipitação fundamentada e pautada em conceitos já estabelecidos na literatura científica e técnica, o estudo avalia a dinâmica espaço-temporal da precipitação anual na Amazônia Legal. Para isso, foram utilizados métodos hidrológicos e estatísticos de análise de séries temporais de dados de precipitações, que possibilitaram avaliar a dinâmica da precipitação, verificando a tendência e magnitude, e determinando regiões pluviométricas homogêneas. Os resultados desta pesquisa podem contribuir como subsídio para gestão e planejamento dos recursos hídricos da região.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Analisar a dinâmica espacial e temporal da chuva na Amazônia Legal, com ênfase na tendência de aumento ou diminuição de chuva, no período de 1986 a 2015, com finalidade de contribuir como subsídio para gestão e planejamento dos recursos hídricos desta região.

1.1.2 Específicos

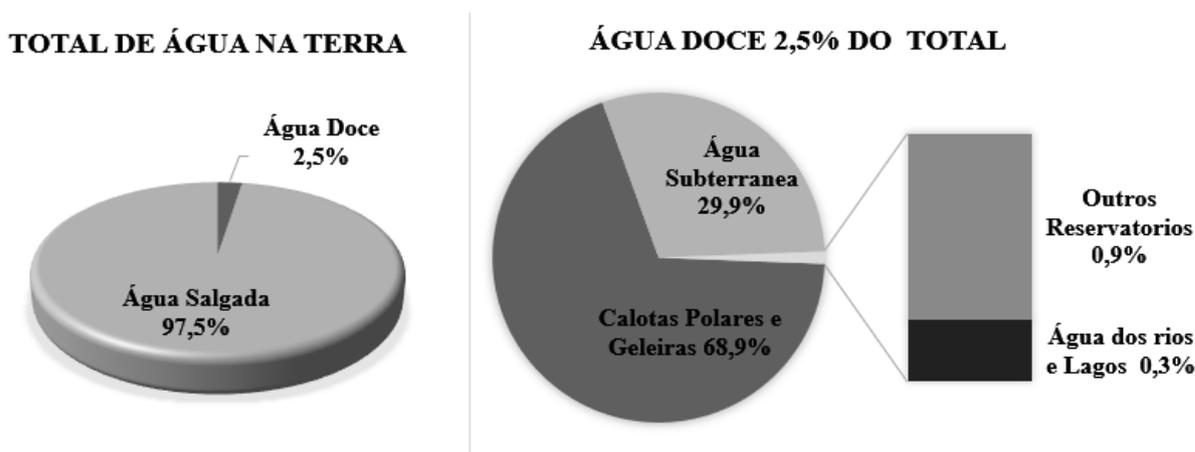
- Analisar a distribuição espacial e temporal da chuva, através de mapas de isoietas e do volume anual precipitado no período de estudo;
- Identificar regiões pluviométricas homogêneas, através de análise de agrupamento, e a sazonalidade, por meio dos períodos chuvosos, menos chuvoso e de transição de chuvoso para menos chuvoso e vice-versa;
- Analisar a tendência e a magnitude pluviométrica, através de testes estatísticos não paramétricos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 RECURSOS HÍDRICOS

Todas as formas de águas disponíveis no planeta são consideradas recursos hídricos, e estimar o volume total da mesma é complexo, principalmente devido ao seu constante movimento. Segundo Shiklomanov (1998), o planeta tem cerca de 1.386 milhões de km³ de água, sendo que deste total 97,5% é de água salgada e apenas 2,5% de água doce (Figura 1). No entanto, do total de água doce da terra cerca de 70% está em forma de calotas polares e geleiras (a maior parte), 29,9% são de água subterrânea, 0,9% em outros reservatórios e apenas 0,3% são de água superficial.

Figura 1 - Distribuição da água na terra

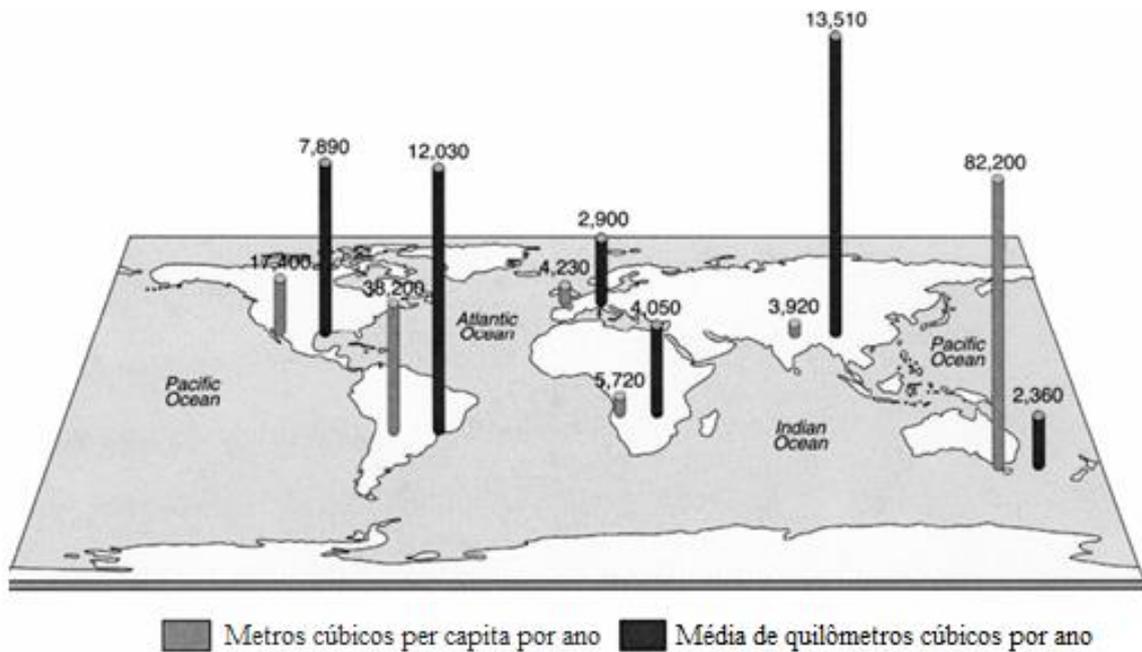


Fonte: adaptado de Shiklomanov (1998).

Na medida em que cresce a demanda dos recursos hídricos e a população mundial, diminui a probabilidade do fornecimento de água doce. Entretanto, este recurso desempenha papel fundamental no atendimento das necessidades básicas da população, no funcionamento de setores da economia e na preservação do meio ambiente. Dentre os diversos usos da água, os principais são: abastecimento humano e animal, geração de energia, mineração, irrigação, aquicultura, produção de alimentos e industrial, navegação, turismo e lazer.

Vários fatores influenciam nos padrões de acesso e uso da água, entre eles os fatores culturais, sociais, políticos e econômicos. Além do mais, para Shiklomanov (1998), este recurso está distribuído de forma desigual no planeta, e existe uma grande variabilidade na disponibilidade hídrica por continente (Figura 2).

Figura 2 - Disponibilidade de água continental na terra e a per capita anual específica



Fonte: Adaptado de Shiklomanov (1998).

De acordo com o relatório mundial sobre o desenvolvimento dos Recursos Hídricos (WWAP, 2018), a demanda mundial por água tem aumentado a uma taxa de aproximadamente 1% ao ano, sobretudo devido ao crescimento populacional, ao desenvolvimento econômico, às mudanças nos padrões de consumo, entre outros fatores, e continuará aumentando de forma significativa nas próximas duas décadas.

O aumento de demanda deste recurso ameaça a disponibilidade hídrica sustentável, intensificando a disputa pela água entre os diversos usos, podendo acarretar significativos impactos em diferentes setores, como segurança energética e alimentar da população. Também, podendo torna-se um problema de estresse hídrico ou de escassez em muitas regiões do planeta. Para Kahsay *et al.* (2018), a disponibilidade hídrica encontra-se ameaçada, especialmente devido ao crescimento populacional, econômico, uso e ocupação do solo, deterioração da qualidade das águas e as mudanças climáticas.

A gestão insustentável dos recursos hídricos e outros recursos naturais pode causar graves danos às economias e à sociedade, invertendo significativamente os benefícios conquistados pela redução da pobreza, na criação de empregos e no desenvolvimento (WWAP, 2016). Deste modo, é necessário planejamento e gestão integrada para proporcionar o controle, preservação e sustentabilidade dos recursos hídricos.

No Brasil, a Lei Nº 9.433, também conhecida como ‘Lei das Águas’, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Criada em 8 de janeiro de 1997, estabelece que a água é um bem de domínio público, limitado e dotado de valor econômico, sendo os responsáveis a Agência Nacional de Águas (ANA) e os órgãos gestores estaduais, que tem o objetivo de atender aos usos múltiplos de maneira sustentável em benefício das atuais e das futuras gerações.

O território nacional possui grande oferta de recurso hídrico, porém a disponibilidade está sujeita à grandes variações espaciais e temporais, principalmente devido as características geográficas, sistemas atmosféricos e as mudanças climáticas ao longo do ano. Compreender a variabilidade da precipitação é importante para conhecer a dinâmica da disponibilidade hídrica. Segundo os dados divulgados no Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2017), a distribuição hídrica é bastante heterogênea no Brasil. Na Tabela 1 tem-se o levantamento da precipitação, vazão e disponibilidade hídrica das regiões hidrográficas.

Tabela 1 – Disponibilidade Hídrica por Região Hidrográfica no Brasil

Região Hidrográfica	Precipitação média anual (mm)	Vazão média (m³/s)	Disponibilidade Hídrica (m³/s)
Amazônia	2.253	208.457	65.617
Tocantins-Araguaia	1.760	14.895	3.098
Atlântico Nordeste Ocidental	1.791	3.112	397
Parnaíba	1.040	774	325
Atlântico Nordeste Oriental	841	791	218
São Francisco	938	2.914	875
Atlântico Leste	940	1.556	271
Atlântico Sudeste	1.400	4.843	1.325
Atlântico Sul	1.573	2.869	513
Uruguai	1.689	4.906	550
Paraná	1.490	12.398	4.390
Paraguai	1.342	2.836	1.023

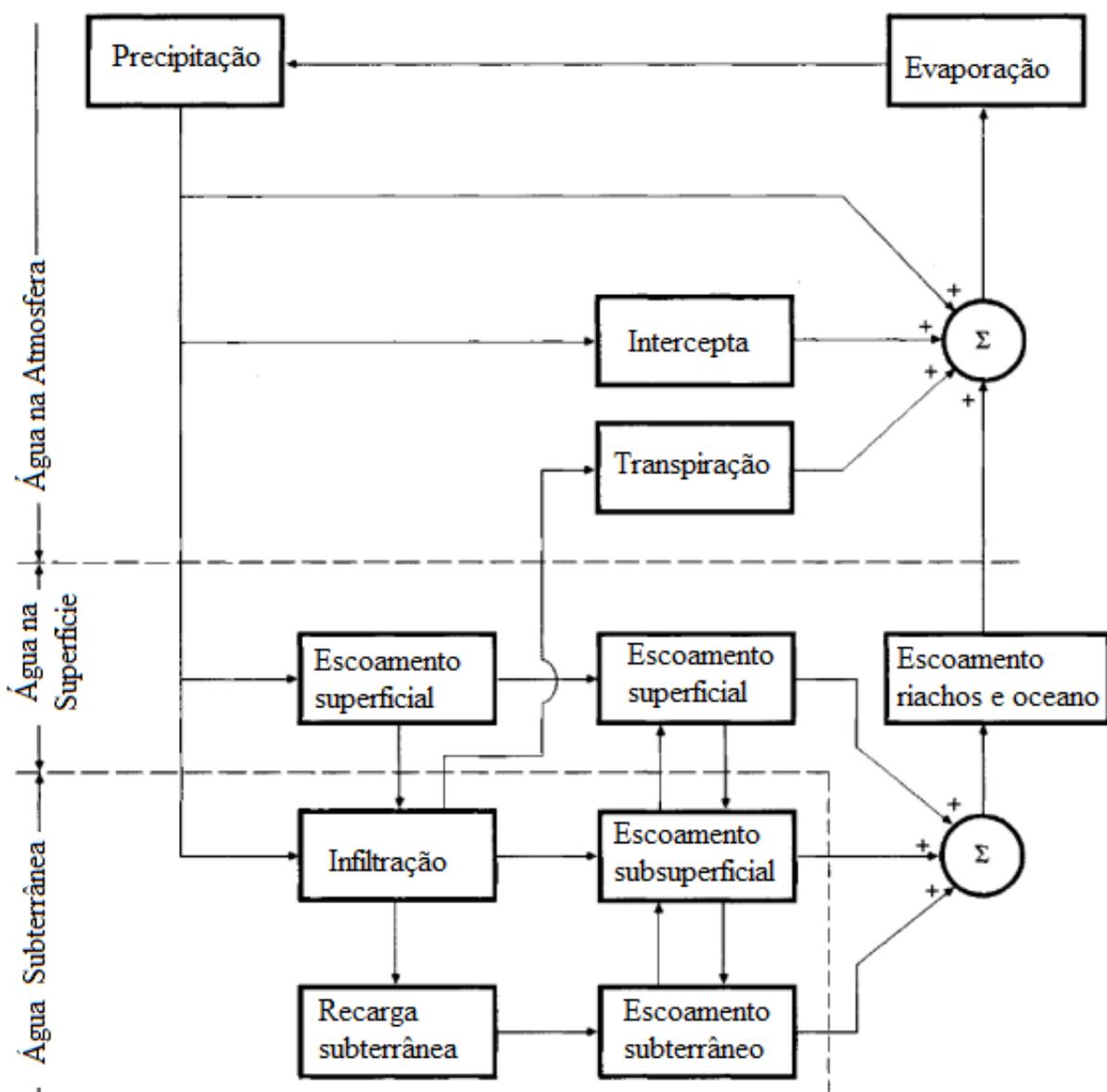
Fonte: ANA (2017)

A ANA (2017) conceitua disponibilidade hídrica como a estimativa da quantidade de água ofertável aos mais diversos usos, ou seja, uma vazão acessível na maior parte do tempo durante o ano. É notório que a região amazônica é detentora da maior disponibilidade de água no país. Conforme Ishihara *et al.* (2013), a região é reconhecida como a mais rica em biodiversidade, sendo também a detentora do maior potencial hídrico do mundo, fundamental aos aspectos climáticos e ao banco de informações genéticas.

2.2 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é o movimento contínuo da água no planeta terra, entre a superfície e atmosfera (Figura 3). Este movimento é impulsionado pela força da gravidade e pela energia solar, principal responsável pela transpiração das plantas e evaporação de parte da água das superfícies de rios, lagos e oceanos. Posteriormente, o ar úmido, eliminado nestes processos, sobe formando as gotículas de água e quando atingem determinadas condições precipitam. Ao atingir o solo, uma parte infiltra, evapora e a outra escoam superficialmente. Entre os processos tem-se: precipitação, evaporação, interceptação, transpiração, infiltração e escoamento.

Figura 3 – Esquema do Ciclo Hidrológico



Fonte: Adaptado de Chow *et al.* (1988)

A umidade atmosférica é um elemento essencial do ciclo hidrológico. De acordo com Tucci (2007), a umidade do ar é a fonte das precipitações e controla a taxa de evaporação do solo e reservatório, bem como a transpiração dos vegetais. O ciclo hidrológico também é influenciado pelas características e interações de fatores como clima, relevo, tipo de solo, geologia, vegetação, uso e ocupação do solo, entre outros.

2.2.1 Dinâmica do Ciclo Hidrológico Amazônico

A bacia hidrográfica do rio Amazonas abrange nove estados brasileiros e mais de oito países da América do Sul, está no auge das preocupações com o clima global, por isso estudar suas sub bacias torna-se primordial tanto no monitoramento quanto na prevenção de desastres naturais (SERRÃO *et al.*, 2015). Além disso, a região amazônica desempenha um importante papel nas trocas de energia, umidade e massa entre a superfície continental e a atmosfera, fornecendo serviços ambientais fundamentais para a manutenção do clima regional e global (ROCHA *et al.*, 2015).

As florestas da Amazônia desempenham um papel crítico na regulação do clima regional e global. Por meio de intensa evapotranspiração, as florestas tropicais bombeiam calor latente à atmosfera para equilibrar o forte calor radiativo à superfície. A forte e extensiva convecção tropical sobre o continente durante o verão do Hemisfério Sul transporta o calor latente para a alta troposfera e o distribui às zonas temperadas. Ao fazer isso, floresta e convecção, juntas, resfriam a Amazônia, ao mesmo tempo em que se torna uma intensa fonte troposférica de calor para a circulação atmosférica global (NOBRE *et al.*, 2009).

Neste contexto, atualmente existe uma grande preocupação com as mudanças na floresta amazônica. Segundo Davidson *et al.* (2012), os seres humanos tem sido parte integrante deste vasto sistema de rios e floresta durante muitos anos, porém a expansão e a intensificação da agricultura, extração de madeira e crescimento das áreas urbanas durante as últimas décadas tem sido sem precedentes. Essas mudanças combinadas agravam as mudanças climáticas, o ciclo hidrológico e eventos extremos, causando impactos na disponibilidade hídricas.

Segundo Marengo *et al.* (2011), estudos indicam que pode haver aumento substancial da temperatura e diminuição das chuvas em grandes áreas do Brasil, inclusive na Amazônia. Além do mais, de acordo com Santos *et al.* (2017), conhecer os cenários climático-hidrológicos futuros podem ajudar a estimar demandas de água e a definir políticas ambientais de uso e gerenciamento de água para o futuro.

2.3 PRECIPITAÇÕES

A precipitação é um dos principais elementos climáticos na região tropical, pois além de influenciar no comportamento de outros elementos atmosféricos, tais como, umidade relativa do ar e temperatura do ar, a precipitação é a que melhor caracteriza as variabilidades climáticas da região (SOUSA *et al.*, 2015). Segundo Tucci (2007), precipitação é toda a água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Logo, é um fenômeno relacionado à queda de água sob diferentes estados, como, neve, chuva e granizo, nevoeiro, orvalho e geada.

Para Lyra *et al.* (2014), caracterizar os padrões espaciais e temporais de precipitação apoia o planejamento e a gestão de várias políticas públicas e privadas em áreas como: agricultura (plantio, irrigação e drenagem, risco climático), silvicultura (distribuição espacial das espécies, incêndios florestais, recuperação de terras degradadas), defesa civil (risco de deslizamentos de terra ou inundações), poluição atmosférica (deposição de partículas) e hidrologia (estimativa de canais dos rios, transporte de sedimentos, risco de inundação).

O Brasil apresenta grande variabilidade pluviométrica e a precipitação média anual é de 1.760mm. Contudo, por causa das suas dimensões continentais, o total anual de chuva varia de uma região para outra, como exemplo, na região semiárida do Nordeste é de 500 mm por ano, enquanto a região Amazônica atinge mais de 3.000 mm por ano (ANA, 2017). Para Moraes *et al.* (2015), os índices pluviométricos da região Amazônica são de fundamental importância para as mais variadas questões econômicas e sociais, além das atuais implicações no contexto da sustentabilidade e do equilíbrio dos ecossistemas do Brasil e do mundo.

As principais variáveis que caracterizam a precipitação, definidas por Villela e Mattos (1975) e Tucci (2007), são:

- Lâmina d'água ou Altura pluviométrica (P) é a grandeza que relaciona a quantidade de água precipitada em uma determinada área, por exemplo 1 milímetro de chuva equivale ao volume de 1 litro por metro quadrado de área horizontal.
- Duração (t), o tempo que leva desde o início ao final da chuva (seg./min./h/d);
- Intensidade (i) é o volume precipitado por unidade de tempo, obtida pela divisão da lâmina d'água pela duração. (mm/h, mm/d);
- Frequência ou Tempo de Retorno (TR), é a quantidade de ocorrências de eventos de chuva analisada que seja superada ou igualada em um determinado tempo.

2.3.1 Tipos de Chuvas

De acordo com Tucci (2007) e Mendonça e Danni-oliveira (2007), as precipitações são classificadas de acordo com as características do movimento vertical do ar em: convectivas, orográficas e frontais ou ciclônicas. Para Almeida *et al.* (2015) na Amazônia as chuvas mais frequentes são as convectivas, porque é característico do clima tropical. Os tipos de chuvas são:

- As chuvas convectivas são características de regiões equatoriais, formadas a partir da circulação do ar, causada pela subida da massa de ar mais quente e leve, e descida do ar frio mais densa. Geralmente são precipitações de alta intensidade e curta duração.
- As chuvas orográficas ocorrem quando ventos encontram uma barreira de relevo (montanha ou serra) e a massa de ar úmida resfria-se condensando o vapor, formando nuvens e a ocorrência de chuvas. Na maioria das vezes são chuvas de pequena intensidade e grande duração, em pequenas áreas.
- As chuvas frontais ou ciclônicas ocorrem em superfícies que separa duas massas de ar de temperatura e umidade diferentes, ou seja, fria e seca e quente e úmida. A massa quente flui na direção do ar frio que é forçado a ir para cima. A condensação formando chuva, em geral, de longa duração e com intensidades de baixa à moderada.

2.3.2 Monitoramento

O monitoramento das precipitações é necessário para fornecer informações coletadas, que podem ser medidas em pluviômetros, pluviógrafos, radares meteorológicos ou estimadas a partir de imagens de satélites. Porém, grande parte deste monitoramento ocorre em estações pluviométricas, que utilizam pluviômetros, o tipo de medidor mais utilizado.

No Brasil o portal HidroWeb oferece informações sobre a Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), onde os dados de chuvas são disponibilizados através das séries históricas dos registros das alturas pluviométricas e na ordem sequencial da ocorrência ao longo do tempo. Quanto maior o período da série mais confiável ela tende a ser. Também, é importantes a densidade das redes pluviométricas, para a qualidade das análises da variável precipitação.

Entre os estudos de precipitação na Amazônia destacam-se: A Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação (MOLION, 1987); Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia (FISCH *et al.*, 1998); Avaliação Quantitativa e Espacial da Precipitação na Amazônia Brasileira, (ISHIHARA *et al.*, 2014); e Determinação de regiões homogêneas do Índice de precipitação normalizada (SPI) na Amazônia oriental (SANTOS *et al.*, 2017).

2.4 MÉTODOS DE CORREÇÕES DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

A precipitação é um evento aleatório no tempo e no espaço, tornando-se difícil de medir. De acordo com Henderson *et al.* (2012), a falta de informação da precipitação é um sério obstáculo para se compreender e modelar sua variabilidade, é necessário obter informações para regiões sem medições ou que apresentem falhas em seu banco de dados.

Usualmente são encontradas falhas nos registros das séries, devido a erros de anotação ou ausência de dados observado de precipitação. Assim, para melhor estruturar as séries históricas dos dados pluviométricos é necessário a aplicação de métodos de correção para preenchimento de falha. A seguir estão descritos os métodos definidos por Tucci (2007).

- Método de ponderação regional é um método simplificado, de fácil aplicação, utilizado para o preenchimento de séries mensais ou anuais de precipitações. O método consiste basicamente no princípio da média aritmética, geralmente utilizado para o preenchimento de séries mensais e anuais de precipitações, onde as falhas de um determinado posto é preenchida através de uma ponderação com base nos dados de pelo menos três postos vizinhos, que devem ser de regiões climatológicas semelhantes ao do posto em estudo e ter uma série de dados de no mínimo dez anos (TUCCI, 2007). Para exemplificar o método, considere um posto Y, que apresenta as falhas a serem preenchidas. É necessário selecionar pelo menos três postos da vizinhança que possuam no mínimo dez anos de dados (X1, X2 e X3).
- Método de Regressão linear consiste em utilizar regressão linear simples ou múltipla. Na regressão linear simples, as precipitações do posto com falhas (Y) e de um posto vizinho (X) são correlacionadas. As estimativas dos dois parâmetros da equação podem ser obtidas graficamente ou através de mínimos quadrados. Para o ajuste da regressão correlaciona-se o posto com falhas (Y) com outro vizinho (X). A correlação produz uma equação analítica, cujos parâmetros podem ser estimados por mínimos quadrados ou graficamente através da plotagem dos pares de valores (X, Y), traçando-se a reta de maior aderência que passa pelos pontos médios de X e Y.
- Método da Ponderação Regional com regressão Linear é a combinação dos dois métodos anteriores, consiste em estabelecer regressões lineares entre os postos com dados a serem preenchidos Y com cada um dos postos vizinhos, X1, X2, ..., Xn. Portanto, de cada uma das regressões lineares efetuadas obtém-se o coeficiente de correlação r, e estabelecem-se fatores de peso, um para cada posto.

2.5 MÉTODOS HIDROLÓGICOS

A estimativa da precipitação é complexa devido à alta variabilidade espacial e temporal (DELAHAYE *et al.*, 2015). Normalmente, os dados de precipitação são obtidos pontualmente, através de pluviômetros. Entretanto, é necessário conhecer a altura pluviométrica sobre uma determinada área ou bacia, que só é possível através de métodos hidrológicos. Os mais usuais são: média aritmética, polígonos de Thiessen e isoietas. (TUCCI, 2007).

2.5.1 Média aritmética

O método mais simples consiste na média aritmética das precipitações, ou seja, é a soma das precipitações dos postos pluviométricos da área de estudo dividida pelo número de postos. Contudo, vale ressaltar que esse método só apresenta boa estimativa se os postos forem distribuídos uniformemente (Equação 1)

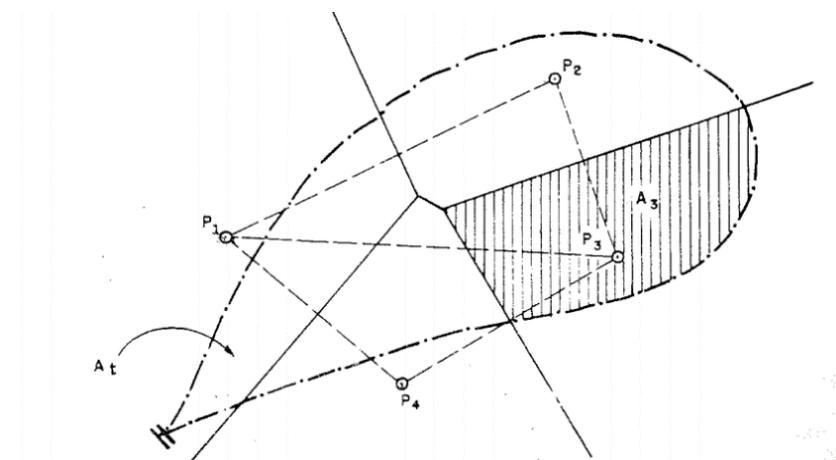
$$Pm = \frac{1}{n} \sum_i^n P_i \quad (1)$$

Onde Pm é a Precipitação média (mm), P_i é a precipitação média de cada estação (mm) e n é número de estações pluviométricas (adimensional).

2.5.2 Polígono de Thiessen

Este método consiste em atribuir um peso proporcional à área de influência, aos totais precipitados medidos em cada posto, portanto, considera-se a mesma altura pluviométrica na área do polígono, que é traçada por uma reta que liga duas estações adjacentes e a mediatriz que divide as áreas. Repete-se o procedimento para formar os outros polígonos (Figura 4).

Figura 4- Método do polígono de Thiessen



Fonte: Tucci (2007)

A precipitação média pelo método de Thiessen é calculada pela Equação (2)

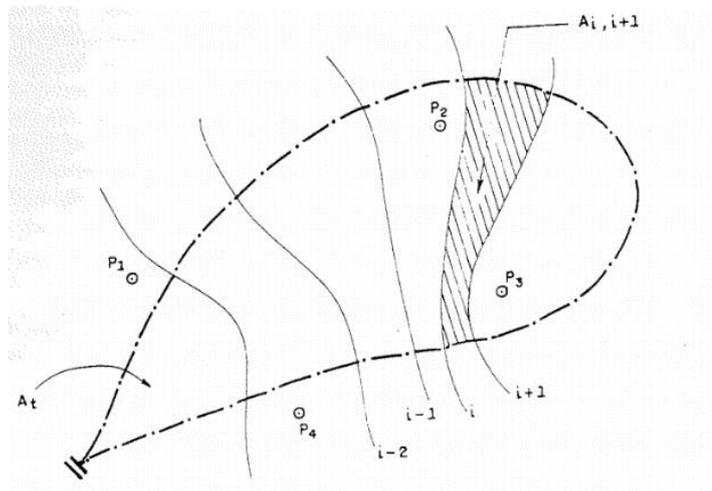
$$Pm = \frac{1}{A} \sum_i^n P_i \cdot A_i \quad (2)$$

Onde Pm é a Precipitação média (mm), A é área total (km²), P_i é a precipitação média da estação (mm) e A_i é a área de influência da estação (km²).

2.5.3 Método de Isoietas

Neste método utilizam-se isoietas, que são linhas que unem pontos com igual valor de precipitação, semelhante às curvas de níveis em mapas topográficos, traça-se as linhas através da altura pluviométrica das estações (Figura 5).

Figura 5- Método de Isoietas



Fonte: Tucci (2007)

A precipitação média pelo método de isoietas é calculada pela Equação (3).

$$Pm = \frac{1}{A} \sum_i^n A_{i,i+1} * \left(\frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right) \quad (3)$$

Onde Pm é a Precipitação média (mm), $P_i + P_{i+1}$ é a precipitação média entre as respectivas isoietas (mm) e $A_{i,i+1}$ é a área entre as isoietas (km²).

De acordo com Lundgren *et al.* (2017), a maneira mais usual de apresentar previsões pluviométricas são os mapas de pluviometria de determinada região. Contudo, os valores das medições de precipitação são pontuais, logo é necessário a geoestatística, que é uma ferramenta para auxiliar na construção de mapas de isoietas.

Portanto, para auxiliar na verificação da distribuição espacial da precipitação através da elaboração de mapas de isoietas, utiliza-se o método da interpolação, através da geoestatística, para previsão em locais não amostrados. Metodologia semelhante foi adotada nos estudos de Fernandes Chierice e Landim (2014); Ishihara *et al.* (2014); Loureiro e Fernandes (2013); Lundgren *et al.* (2017); Medeiros *et al.* (2017).

A geoestatística leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial das amostras, isto é, dados geográficos próximos tendem a ter grandezas próximas (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989; LUNDGREN *et al.*, 2017; MEDEIROS *et al.*, 2017). Atualmente esta técnica é amplamente utilizada no mapeamento climático, na elaboração de mapa de precipitação, porém a configuração depende do tipo de interpolador utilizado.

Os principais métodos utilizados para a interpolação da precipitação incluem a Distância Inversa do quadrado (IDW), a interpolação polinomial global e local, a base radial funções ou krigagem (Simples; linear ordinária; Universal e cokrigagem) (ISHIHARA *et al.*, 2014). Entre esses, segundo Medeiros *et al.* (2017), o método de krigagem já vem sendo utilizado para analisar a distribuição espacial da precipitação pluvial em diversos locais do Brasil.

A Krigagem reúne diversos tipos de métodos, entre eles: krigagem simples, ordinária, universal, por indicação, disjunta e cokrigagem (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989). É importante destacar que o método leva em consideração a correlação espacial entre os dados registrados em diferentes estações meteorológicas, reproduzindo melhores estimativas em termos de interpolação, embasada em duas premissas: não-tendenciosidade do estimador e variância mínima das estimativas (MELLO *et al.*, 2003; MORAL, 2010).

O método de krigagem usa a teoria da probabilidade e incorpora critérios estatísticos na determinação do peso atribuído aos pontos amostrais no cálculo das interpolações. O método usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com a variância mínima, ou seja, estimadores ótimos (MEDEIROS *et al.*, 2017). Para Menezes *et al.* (2015), os pesos dados a cada observação são determinados através de análise espacial utilizando semivariograma.

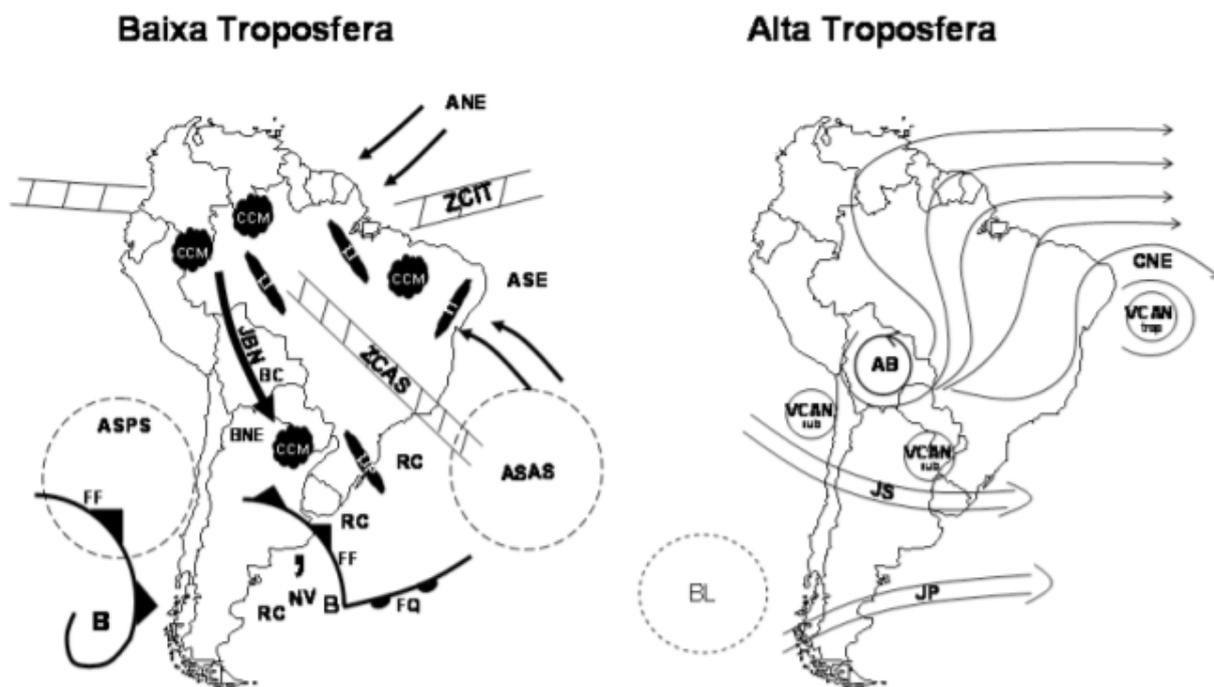
O semivariograma é uma ferramenta matemática útil para analisar a correlação espacial da precipitação ou a dependência entre estações à medida que a distância entre elas aumenta (LYRA *et al.*, 2014). Consiste em uma função matemática definida para representar o nível de dependência entre duas variáveis aleatórias, utilizados para modelar valores correlacionados no espaço ou no tempo, logo, são usados no método de Krigagem.

2.6 SISTEMAS E FENÔMENOS ATMOSFÉRICOS NA REGIÃO AMAZÔNICA

Os sistemas e fenômenos atmosféricos são componentes responsáveis pelos fatores climáticos e pela dinâmica que interage com os elementos que a compõe, determinando as condições do tempo e do clima. Para Reboita *et al.* (2010), a grande extensão e as várias formas de relevo da América do Sul são propícias ao desenvolvimento e atuação de diversos sistemas atmosféricos. Para Nobre *et al.* (2009), as florestas da Amazônia desempenham um papel importante na regulação do clima regional e global. Ajuda a direcionar a circulação atmosférica nos trópicos (MARENGO *et al.*, 2011). Os sistemas e fenômenos atmosféricos apresentam grande influência na climatologia da Amazônia, justificando a variabilidade temporal e espacial da precipitação na região (FISCH *et al.*, 1998; ALMEIDA *et al.*, 2015; SERRÃO *et al.*, 2015).

Reboita *et al.* (2010), apresentaram uma revisão dos sistemas atmosféricos que atuam nos diferentes setores do continente sul-americano e que contribuem para a precipitação (Figura 6). Dentre estes os principais sistemas atuantes na região Amazônica são: Linha de Instabilidade Tropical (LI), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Circulação Geral da Alta da Bolívia (AB). Além deste, também influenciam os fenômenos meteorológicos de escala global El Niño - Oscilação Sul (ENOS) e o Dipolo do Atlântico.

Figura 6 - Representação dos sistemas atmosféricos atuantes na América do Sul



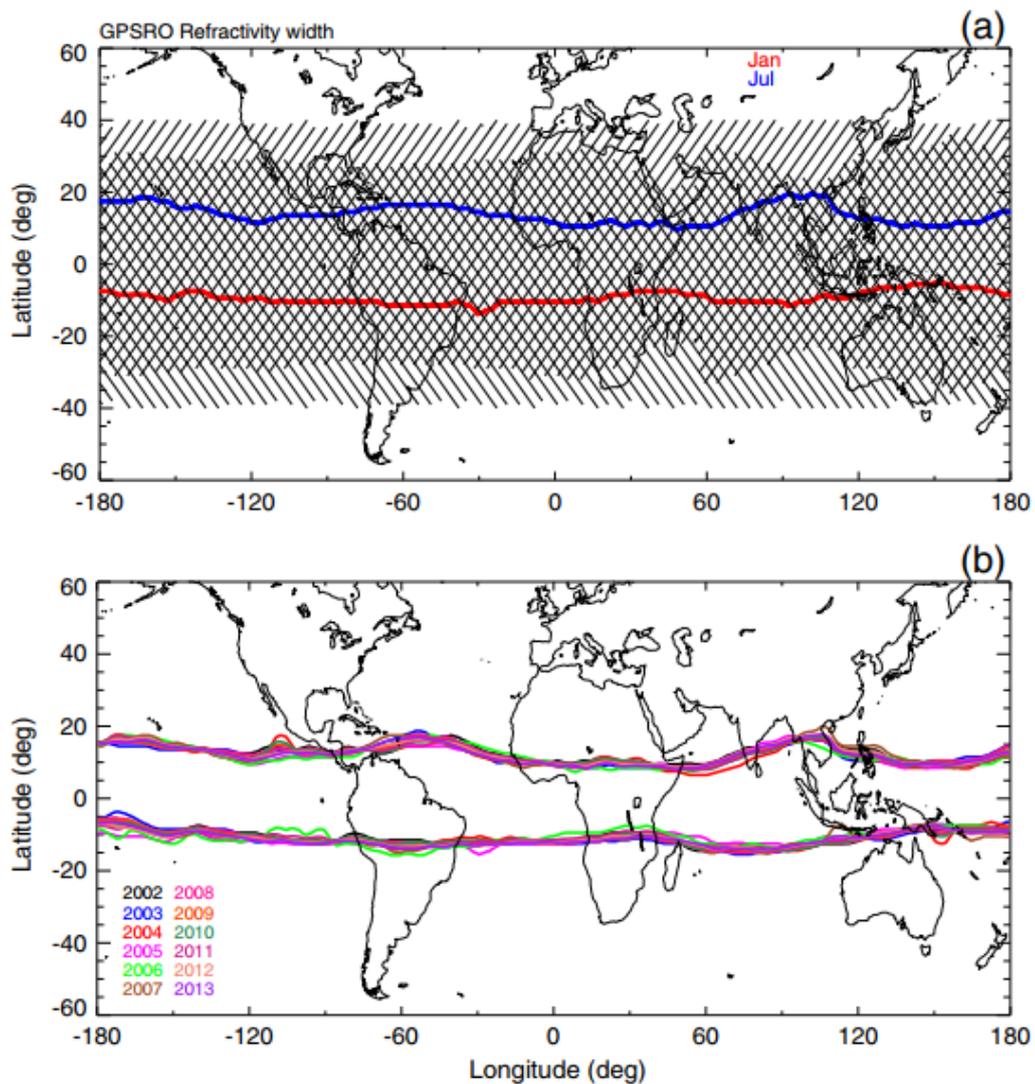
Fonte: Reboita *et al.* (2010).

2.6.1 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

A ZCIT é um sistema meteorológico importante para circulação geral da atmosfera. Para Basha *et al.* (2015), a ZCIT é uma zona de baixa pressão perto do Equador, onde dois ventos alísios vindos do hemisfério norte (HN) e do hemisfério sul (HS) convergem para formar uma região de maior convecção, nebulosidade e precipitação.

A Zona de Máxima Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e o Oceano Atlântico Tropical influenciam diretamente na localização da ZCIT ao longo do ano. Basha *et al.* (2015) estimaram a localização média da ZCIT no período de 2002 a 2013 e sua variabilidade interanual, conforme a Figura 7, e identificaram que, geralmente, a ZCIT posiciona-se mais ao HN em julho e mais ao HS em janeiro.

Figura 7 - Variabilidade da posição na superfície da ZCIT, janeiro e julho.



Fonte: Basha *et al.* (2015)

De acordo com Fisch *et al.* (1998) e Ferreira *et al.* (2015), a ZCIT é o principal sistema produtor de chuvas na Amazônia, fato este explicado pela ascensão orográfica da umidade transportada pelos ventos alísios do Leste. Geralmente, quando a ZCIT se deslocada para o HN são períodos menos chuvosos e quando migra para HS são períodos mais chuvosos na região. Segundo Delahaye *et al.* (2015), durante o verão a temperatura das águas do Atlântico Tropical Sul é mais quente do que ao Norte, e causa a mudança da ZCIT para o hemisfério sul, conseqüentemente, ocorrem as maiores precipitações sobre a Amazônia.

2.6.2 Linhas de Instabilidade (LI)

As Linhas de Instabilidade (LIs) são fenômenos de mesoescala caracterizados pelos conglomerados de nuvens, organizadas em forma de linha e formadas devido à circulação de brisa marítima e a grande quantidade de radiação solar incidente sobre a região tropical, ocorrendo a convecção, responsável pelas chuvas (Molion, 1987). Segundo Silva *et al.* (2017), as LIs são influenciadas pelas características geográficas, como terreno, elas são altamente variáveis no espaço e transientes no tempo, tornando-as difíceis de simular.

Na região costeira, no litoral do Pará ao Amapá, a precipitação é alta e sem período de seca definido devido a influência das LIs que se formam ao longo da costa litorânea durante o período da tarde e que são forçadas pela brisa marítima (FISCH *et al.*, 2015). As LIs são responsáveis também pela precipitação na Amazônia central durante a estação seca (FISCH *et al.*, 2015; MOLION, 1987; COEHN *et al.*, 1989).

2.6.3 Circulação geral e Alta da Bolívia (AB)

A circulação geral da alta troposfera possui uma característica muito particular de apresentar o desenvolvimento de um anti-ciclone em altos níveis (200 hPa). Segundo Molion (1987), a circulação termicamente forçada sobre a região aquecida, induz convergência de ar e baixa pressão atmosférica nos baixos níveis e divergência de ar e alta pressão nos altos níveis.

Segundo Fisch *et al.* (1998), a Alta Bolívia (AB) é um anti-ciclone que se forma na alta troposfera, sobre a América do Sul durante os meses de verão, quando a região Amazônica apresenta forte convecção. O nome deste fenômeno está ligado à sua ocorrência sobre a região do altiplano Boliviano, onde forma-se uma área de instabilidade devido ao calor e umidade gerada pela floresta Amazônica. A variabilidade sazonal da AB, tanto em intensidade como em posição, está diretamente associada a precipitação. Quando a AB enfraquece se move para o norte, os setores sul e leste da Amazônia experimentam a estação seca (MOLION, 1987).

2.6.4 Dipolo do Atlântico

O Dipolo do Atlântico é um fenômeno causado por uma anomalia da temperatura da superfície do Atlântico Norte, isto é, quando as águas do Pacífico são mais quentes do que o habitual, e as águas do Atlântico Sul mais frias (LOUREIRO *et al.*, 2015). De acordo com Reboita e Santos (2015), o sinal positivo ou negativo indica gradiente da TSM para norte ou sul no Atlântico Tropical, respectivamente, influenciando no posicionamento da ZCIT e por sua vez nas precipitações pluviométricas. Essas mudanças que ocorrem no Atlântico Tropical levam à configuração do Dipolo do Atlântico.

Segundo Sodre *et al.* (2015), o dipolo do Atlântico é o fenômeno térmico que interfere diretamente na pluviosidade da Amazônia. Para Fernandes *et al.* (2011) a seca ocorrida no ano de 2005 na Amazônia foi diferenciada, dado que o suspeito habitual, El Niño Oscilação Sul (ENSO) conhecido por afetar o clima da região amazônica (DAVIDSON *et al.*, 2012; DELAHAYE *et al.*, 2015; GONÇALVES *et al.*, 2016) foi neutro durante grande parte de 2005 (INPE, 2018). Por outro lado, o Atlântico tropical Norte estava excepcionalmente quente e foi considerado o responsável pela falta de precipitações na estação seca da Amazônia.

2.6.5 El Niño Oscilação Sul (ENOS)

Na atualidade, as anomalias do sistema climático conhecidas como El Niño e La Niña, representam uma alteração do sistema oceano-atmosfera no Oceano Pacífico tropical, e tem consequências no tempo e no clima em todo o planeta (INPE, 2018). Fenômeno global, é constituído por um componente oceânico e outro atmosférico, sendo respectivamente, a TSM no Pacífico Equatorial e a Oscilação Sul (OS), que expressa a correlação inversa existente entre a pressão atmosférica nos extremos leste e oeste do Oceano Pacífico (Figura 8).

Figura 8 – Comportamento Atmosférico para as condições



Fonte: INPE/CPTEC (2018).

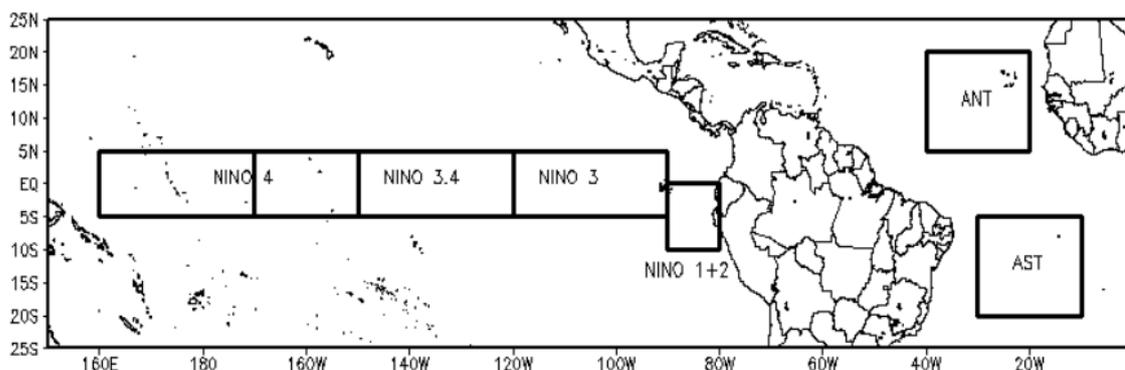
Normalmente os ventos alísios da atmosfera empurram as águas quentes superficiais do Oceano Pacífico Equatorial (OPE) para o lado, onde as águas do Pacífico são mais frias. Em situação de El Niño (EN) há o enfraquecimento dos ventos alísios, aquecendo o OPE, gerando evaporação com movimento ascendente. Na La Niña (LN) os ventos alísios ficam mais intensos e as águas quentes ficam represadas, logo tem-se evaporação e os movimentos (INPE, 2018).

O evento El Niño (EN) é caracterizado pelo aumento da TSM no setor centro-leste do Pacífico Tropical. Esse aquecimento favorece o decréscimo da pressão atmosférica no Pacífico Tropical Leste em relação ao Pacífico Tropical Oeste, nesse caso tem-se a fase negativa da Oscilação Sul e a fase positiva do ENOS. A La Niña (LN) é caracterizada pelo resfriamento da TSM no setor centro-leste do Pacífico Tropical, onde também haverá aumento na pressão atmosférica; nessa situação tem-se a fase positiva da Oscilação Sul e negativa do ENOS (REBOITA e SANTOS, 2015). Os ENOS afetam fortemente as chuvas na bacia Amazônica, logo há diminuição do fluxo do rio Amazonas e de alguns de seus afluentes durante os EN e aumento do fluxo e das inundações durante LN (DAVIDSON *et al.*, 2012).

Na configuração de El Niño a célula de Walker fica bipartida, o ramo ascendente no Pacífico equatorial e concomitantemente, seu ramo descendente estará sobre a Amazônia e nordeste brasileiro desfavorecendo a convecção local com isso diminuindo as chuvas nestes setores brasileiros (ARAÚJO *et al.*, 2013; SERRÃO *et al.*, 2015).

O monitoramento dos ENOS utiliza índices de Oscilação Sul (IOS) calculados através da diferença normalizada de pressão atmosférica medida em dois locais distintos: Taiti no Pacífico Central e Darwin na Austrália no Oeste do Pacífico (SODRE *et al.*, 2015). No Pacífico equatorial tem as anomalias de TSM das regiões Niño e no Atlântico Equatorial, as anomalias do Atlântico Tropical Norte (ATN) e o Atlântico Tropical Sul (ATS) (Figura 9).

Figura 9 – Regiões de medições de El Niño (EN) e La Niña (LN)



Fonte: Sodre *et al.* (2015)

A National Oceanic and Atmospheric Administration (NOOA, 2018) monitora os valores negativos e positivos de IOS (Tabela 2), para identificar respectivamente ocorrências de El Niño (cor vermelha) ou La Niña (cor azul). Através das médias móveis de 3 meses, as quais devem ser repetidas no mínimo 5 vezes consecutivas para determinar os períodos de ocorrência. De acordo com a TSM, os eventos são subdivididos em: Fraco (com uma anomalia de 0,5 a 0,9), Moderado (1,0 a 1,4), Forte (1,5 a 1,9) e Muito Forte ($\geq 2,0$).

Tabela 2 - Ocorrências de El Niño (EN) e La Niña (LN)

Anos	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1986	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.1	1.2
1987	1.2	1.2	1.1	0.9	1.0	1.2	1.5	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.9	-1.3	-1.3	-1.1	-1.2	-1.5	-1.8	-1.8
1989	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1.0	1.1
1995	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.8	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9
2007	0.7	0.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.8	-1.1	-1.4	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.4	-1.2	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6
2010	1.5	1.3	0.9	0.4	-0.1	-0.6	-1.0	-1.4	-1.6	-1.7	-1.7	-1.6
2011	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-1.1	-1.0
2012	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.2
2013	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6
2016	2.5	2.2	1.7	1.0	0.5	0.0	-0.3	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.1	-0.4	-0.7	-0.9	-1.0
2018	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1							

Fonte: Adaptado de NOAA (2018).

2.7 DETERMINAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS

A identificação de regiões homogêneas é realizada através da Análise de Agrupamentos, também conhecida como análise de conglomerados, classificação ou cluster (MINGOTI, 2013). Para PES *et al.* (2017) é um método estatístico de análise multivariada amplamente utilizado para identificar grandes conjuntos de dados que apresentam características similares. Segundo Santos *et al.* (2014), a técnica busca agrupar elementos com base na semelhança.

A Análise de agrupamento permite identificar a menor variância entre os grupos formado, associando elementos cuja soma dos quadrados entre eles é mínima, ou ainda, que o erro desta soma seja mínimo (HERVADA-SALA e JARAUTAB RAGULAT, 2004; SANTOS *et al.*, 2014; NEVES *et al.*, 2017; AZEVEDO *et al.*, 2017). Os procedimentos para aplicação da análise de agrupamento desdobram-se em quatro etapas: escolha das variáveis classificatórias, especificação de uma medida de similaridade, seleção do método de agrupamento e decisão quanto ao número de grupos a serem formados (MENEZES *et al.*, 2015).

As técnicas utilizadas para análise de agrupamento são aplicadas em diversas áreas do conhecimento, a fim de compreender os dados através da formação de grupos com elementos semelhantes (NEVES *et al.*, 2017), ferramenta útil para a análise de diversas situações. Para Menezes *et al.* (2015), é útil para tratamento de dados climáticos e para separar conjuntos de estações pluviométricas com características homogêneas. Para Amanajás e Braga (2012), essa análise auxilia na identificação de padrões pluviométricos e de regiões homogêneas de chuva, tornando-se prática habitual e desenvolvida por diferentes metodologias.

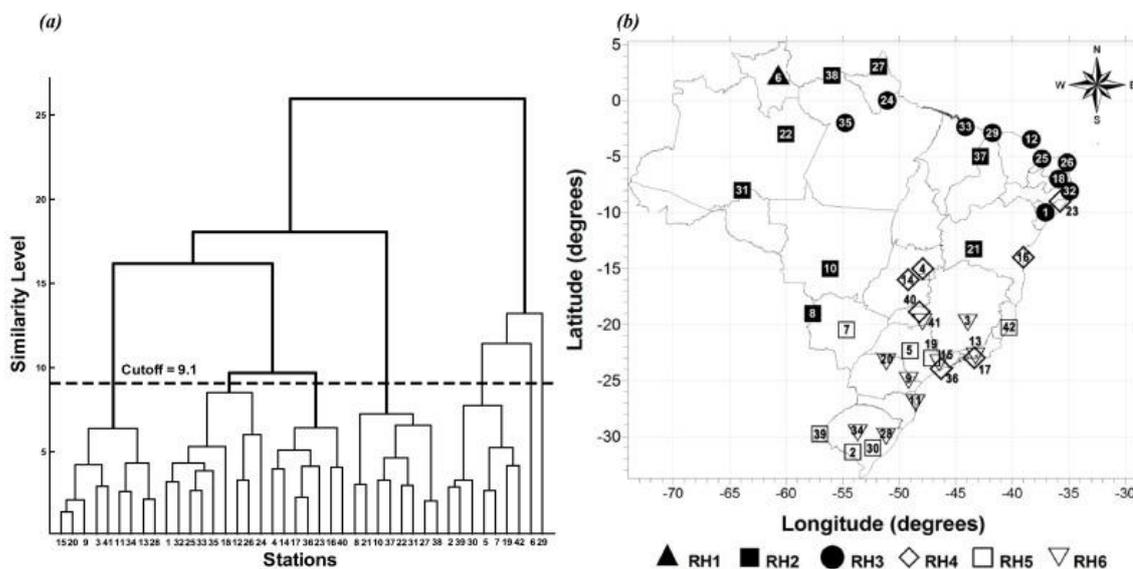
Todos os métodos de agrupamento assumem que todos os relacionamentos relevantes entre os objetos podem ser descritos por uma matriz contendo uma medida de dissimilaridade ou de similaridade entre cada par de objetos (LINDEN, 2009). Geralmente, essa medida é a distância entre os grupos a serem constituídos. As medidas mais utilizadas são: a distância euclidiana, a distância euclidiana ao quadrado (distância de Mahalanobis), a distância de Pearson, a distância de Manhattan, a distância de Chebychev (NEVES *et al.*, 2017). Segundo Gonçalves *et al.* (2016) e Silva *et al.* (2016), a distância euclidiana é a medida de distância constantemente empregada.

A análise de agrupamentos é classificada como hierárquica e não hierárquica. Segundo Mingoti (2013), utilizam-se técnicas hierárquicas em análises exploratórias de dados para identificar prováveis grupos e os possíveis números de grupos, enquanto que nas técnicas não hierárquicas faz-se necessários que o valor do número de grupos esteja pré-especificado.

Existem diversas técnicas para determinação de regiões homogêneas, as mais utilizadas hierárquicas, são: Método da ligação simples, Método da ligação completa, Método das médias das distâncias, Método do centroide e Método de Ward. E as técnicas não hierárquicas, são: Métodos da K-médias Métodos Fuzzy C-médias e Redes Neurais Artificiais (MINGOTI, 2013).

Segundo Fernandes Chierice e Landim (2014), para representar o resultado final dos diversos agrupamentos é utilizado o dendrograma (gráfico em árvore), que é formado através da matriz de similaridade pela estrutura dos dados. A partir do dendrograma determina-se a distância de corte para definir quantos grupos são formados, a partir da análise de sensibilidade. Como exemplo, o dendrograma da Figura 10, onde Pes *et al.* (2017) caracterizaram seis regiões com similaridades macro climáticas no Brasil.

Figura 10 – (a) Dendrograma e (b) O mapa da localização das estações.



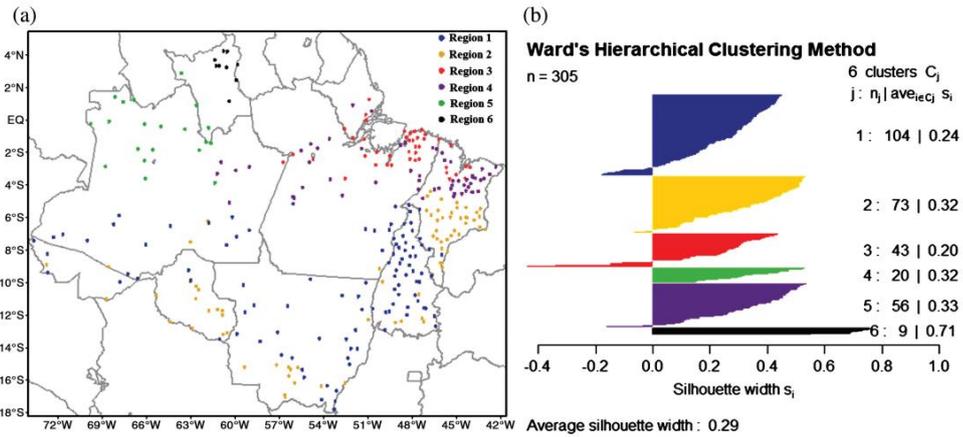
Fonte: Pes *et al.* (2017)

Na hidrologia, a análise de agrupamento é usada para obtenção de regiões que possuem similaridade hidrológica. Para Amanajás e Braga (2012), essa técnica consiste na delimitação de áreas com comportamento hidrológico semelhantes, importante não só para a quantificação, mas para entender a dinâmica a fim de auxiliar no planejamento e manejo de recursos naturais.

Neste contexto, alguns trabalhos foram desenvolvidos regionalizando precipitação, como: Lyra *et al.* (2014) no estado de Alagoas, no período de 1961 a 1990; Gonçalves *et al.* (2016) no Pará, no período de 31 anos (1960-1990); Santos *et al.* (2017) na Amazônia Oriental, no período de 32 anos (1980 a 2011); Azevedo *et al.* (2017) na Amazônia Oriental, no período de 1982 a 2015; e Neves *et al.* (2017) na sub bacia Trombetas, no período de 10 anos (2006 a 2015).

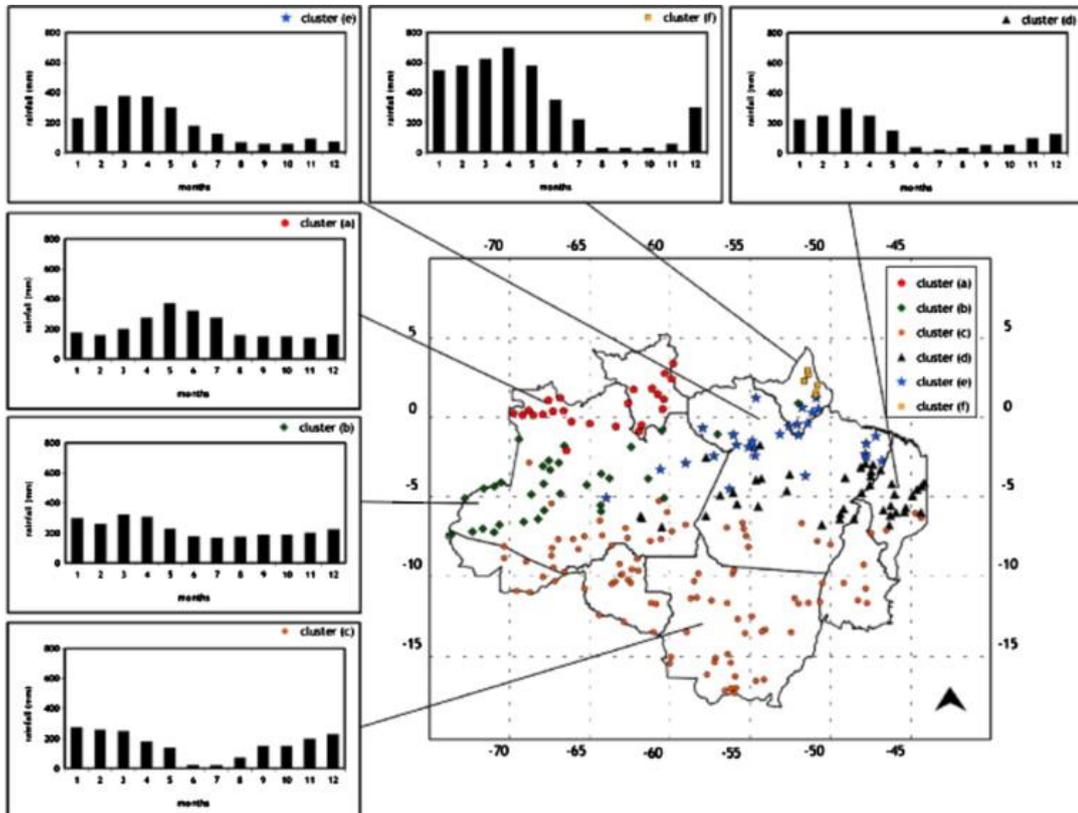
A regionalização da precipitação na região da Amazônia Brasileira, já foi analisada pelos estudo de: Santos *et al.* (2014), através de 305 pluviômetros, no período de 1983 a 2012; e Delahaye *et al.* (2015), por meio de 235 balanças basculantes no período 1998 a 2009. Ambos obtiveram como resultado seis regiões pluviométricas homogêneas (Figuras 11 e 12), porém a distribuição espacial das regiões na Amazônia é distinta.

Figura 11 – Agrupamento (a) distribuição espacial das estações; (b) gráfico.



Fonte: Santos *et al.* (2014)

Figura 12 – Agrupamento da precipitação e os Regimes anuais



Fonte: Delahaye *et al.* (2015)

2.8 ANÁLISE DE TENDÊNCIA E MAGNITUDE DE SÉRIES TEMPORAIS

A análise de tendência em séries temporais, normalmente, é realizada por testes estatísticos. Segundo Loureiro *et al.* (2015), na análise de tendência elabora-se uma hipótese baseada na do comportamento probabilístico da série da variável em estudo. Normalmente são definidas a hipótese nula (H_0) e a hipótese alternativa (H_a), e a rejeição ou não da hipótese formulada dependerá do tipo de teste e o nível de significância (α) adotado.

Segundo Gocic e Trajkovic (2013), os testes para a detecção de tendências significativas em séries temporais podem ser classificados como métodos paramétricos e não paramétricos. Os testes paramétricos exigem que os dados sejam independentes e normalmente distribuídos, enquanto os não paramétricos exigem apenas que os dados sejam independentes. Entre os testes estatísticos que verificam a tendência de mudanças nas séries temporais, tem-se: Mann-Kendall (não-paramétrico), Kendall Sazonal (não-paramétrico), Spearman's Rho (não-paramétrico) e teste dos coeficientes de Regressão linear (paramétrico).

Na análise espacial de tendências é permitido observar as mudanças no comportamento e determinar em quais regiões uma determinada variável vem sofrendo mudanças significativas ao longo do tempo (SALVIANO *et al.*, 2016). Porém, a origem destas mudanças pode estar relacionada a diversas ações que podem ser antrópicas ou não, como exemplo: mudanças climáticas, desmatamento, uso e ocupação do solo, entre outros.

Neste contexto, avaliar as tendências em séries temporais hidrológicas e climáticas tem recebido grande atenção, de maneira especial devido à avaliação das mudanças observadas no meio ambiente. Contudo, nestes casos os testes não-paramétricos são os mais utilizados para calcular as tendências das séries temporais, segundo Pandey e Khare (2018) ele não requer distribuição normal dos dados. Outra vantagem deste método é o fato de ser pouco influenciado por mudanças brutas ou séries não homogêneas (ZHANG *et al.*, 2009; SALVIANO *et al.*, 2016). Ou seja, não é afetado pela distribuição real dos dados.

O teste proposto por Mann (1945) e Kendall (1975) é recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) em estudos de tendências em séries temporais de elementos climáticos. Segundo HAMED (2009), tem sido amplamente utilizado para testar tendências em séries temporais naturais que se desviam significativamente da distribuição normal, como chuva, temperatura, vazão e outros. A mudança na tendência temporal, segundo Bari *et al.* (2016), podem ocasionar consequências que podem modificar as descargas natural, a disponibilidade de água doce, a recarga das águas subterrâneas, entre outros.

Porém, o teste de Mann-Kendall não fornece estimativa da magnitude da tendência. Portanto, utiliza-se um estimador estatístico, denominado de estimador de tendência de Theil-Sen ou método de Sen's Slope (SEN, 1968), que possibilita calcular a inclinação da tendência, o que possibilita identificar se houve ou não mudança de tendência e a magnitude na série. O estimador de inclinação de Sen's tem sido amplamente utilizado em estudos hidrológicos e meteorológicos. (GOCIC E TRAJKOVIC, 2013).

Alguns estudos utilizaram o teste de Mann-Kendall e o estimador de Sen's Slope, para detectar a tendência de variáveis meteorológicas, como: Gocic e Trajkovic (2013), que analisaram as tendências anuais e sazonais de sete variáveis meteorológicas em doze estações meteorológicas, durante 1980 a 2010, na Sérvia; Bari *et al.* (2016), analisaram as tendências sazonais e anuais das chuvas e suas flutuações ao longo do tempo, no período de 1964 a 2013, na região norte do Bangladesh; Kahsay *et al.* (2018), detectaram a tendência da precipitação, temperatura e evapotranspiração na subdivisão da bacia hidrográfica de Tekeze, na Etiópia. Pandey e Khare (2018), analisaram a variação espacial e a tendência temporal da precipitação e da evapotranspiração, no período de 1901 a 2002, na Bacia do Rio Narmada, na Índia.

Loureiro *et al.* (2015), avaliaram a precipitação na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, no período de 1977 a 2006, os resultados do teste de Mann-Kendall não mostram tendência estatística significativa na precipitação da região, porém o estimador de Sen's revela diminuição no Alto Tocantins-Araguaia e aumento na subdivisão da bacia do Baixo Tocantins.

Ishihara *et al.* (2014), analisaram a tendência da precipitação na Amazônia Legal, no período de 1978 a 2007, os resultados mostram que durante este período de 30 anos, nos quadrantes do Nordeste e Noroeste houve um ligeiro aumento mas não foi significativo, enquanto nos quadrantes do Sudeste e Sudoeste observou-se uma diminuição na precipitação, no entanto, apenas no sudoeste foi significativa. Podendo ser consequência do arco de desmatamento e da intensa alteração no uso e ocupação do solo nessas regiões.

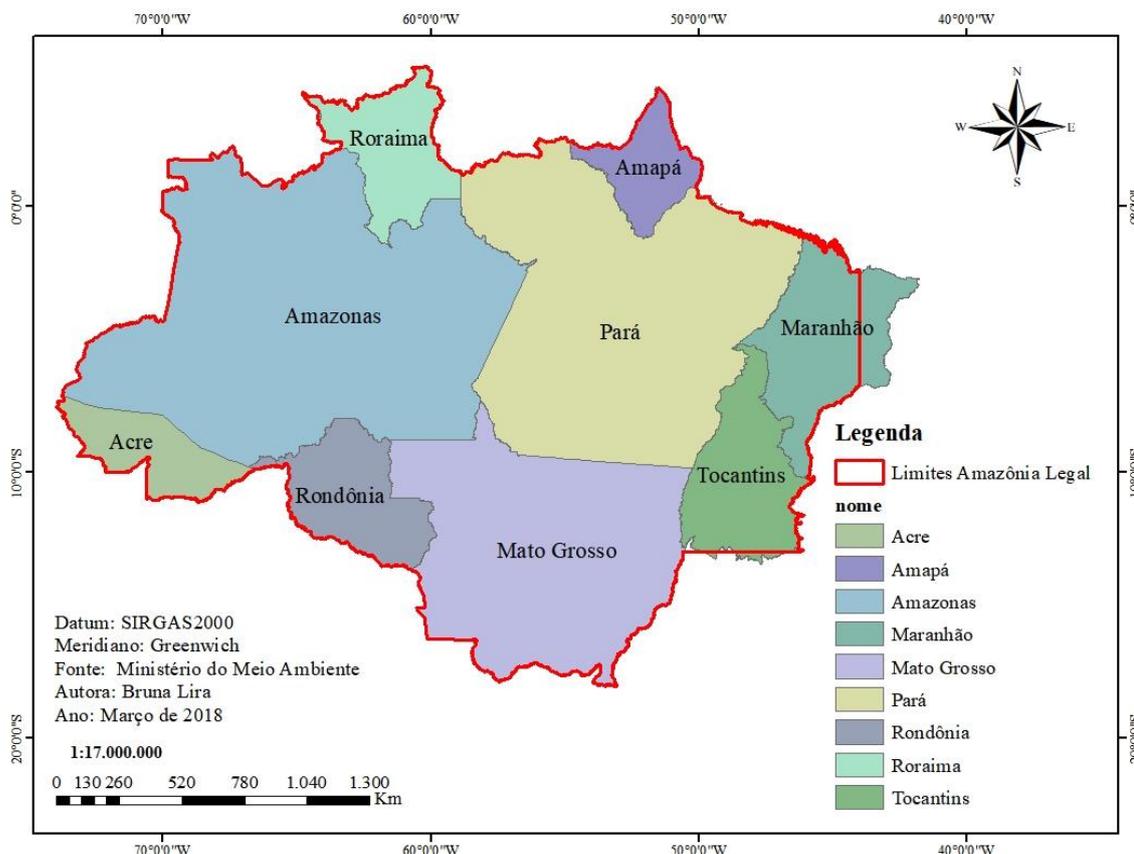
No estudo Salviano *et al.* (2016), a precipitação não apresentou tendências significativas em mais de 70% do território brasileiro, porém, no oeste da Amazônia apresentou tendência positiva no período mais chuvoso (janeiro a abril) e negativa no período mais seco (junho a setembro). O que indica que os extremos estão ficando mais extremos, podendo causar impactos para o meio ambiente e no ciclo hidrológico, consequentemente no abastecimento de água, hidrelétricas, agricultura e outros. Logo, estudos que apresentem resultados de tendências são importantes para entender as mudanças que vem ocorrendo.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a Amazônia Legal Brasileira, a parti de um conceito político para suprir a necessidade de planejamento e para promover o desenvolvimento da região. Constituída em 1953 pela Lei nº 1.806, inicialmente como área de atuação da Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA), e extinta em 1966 pela Lei 5.173, que cria a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM). Em 2007 tem-se a Lei Complementar nº 124, que institui a SUDAM na forma do artigo 43 da Constituição Federal, além de estabelecer sua composição, natureza jurídica, objetivos, área de competência, instrumentos de ação e dá outras providências. (IBGE, 2018)

Com espaço territorial de 5 milhões de km², a Amazônia Legal corresponde a cerca de 60% do território brasileiro (Figura 13) e equivale a área de atuação da SUDAM, composta por nove estados do território nacional, sendo em sua totalidade Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do Maranhão (IBGE, 2018).

Figura 13 – Amazônia Legal Brasileira



Fonte: Autor (2018)

3.1 ASPECTOS SOCIAIS E ECONÔMICOS

Alguns indicadores dos estados que compõem a Amazônia Legal (Tabela 3) foram extraídos do IBGE e comprovam essas semelhanças, apresentando um IDH médio entorno de 0,68 e com densidade demográfica relativamente pequena, quando comparada com os outros estados do Brasil, que apresenta IDH médio de 0,755.

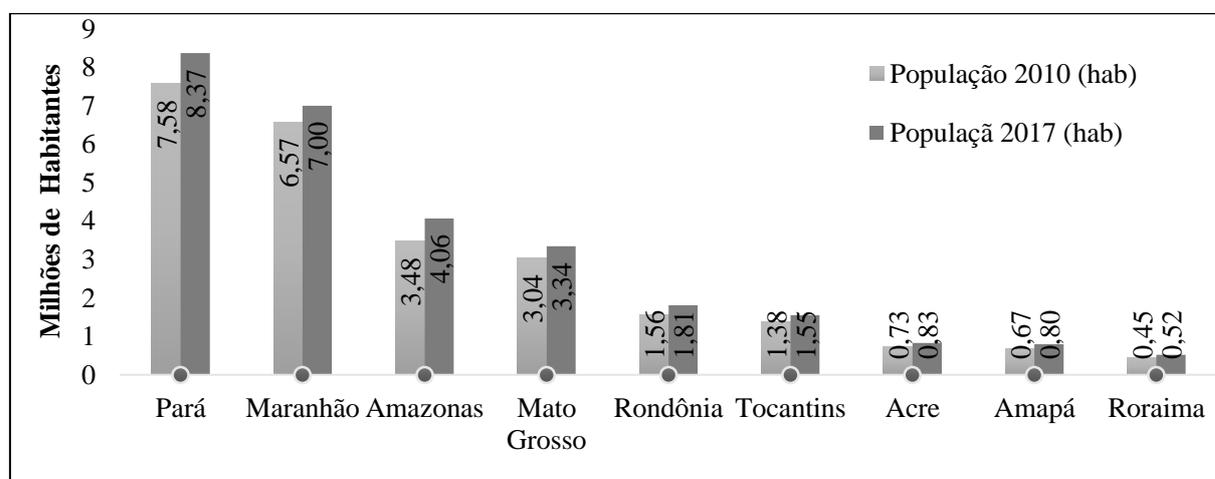
Tabela 3 – Dados dos estados da Amazônia Legal

Estados	Nº Municípios (2010)	Densidade (hab./km ²)	Área (km ²) (2016)	IDH (2010)	Renda mensal domiciliar per capita (2017)
Acre	22	4,47	164124	0,663	R\$ 769,00
Amapá	16	4,69	142829	0,708	R\$ 936,00
Amazonas	62	2,23	1559147	0,674	R\$ 850,00
Maranhão	217	19,81	331937	0,639	R\$ 597,00
Mato Grosso	141	3,36	903202	0,725	R\$ 1.247,00
Pará	143	6,07	1247955	0,646	R\$ 715,00
Rondônia	52	6,58	237765	0,69	R\$ 957,00
Roraima	15	2,01	224301	0,707	R\$ 1.006,00
Tocantins	139	4,98	277720	0,699	R\$ 937,00

Fonte: Autor, IBGE. (2018)

De acordo com o censo do IBGE realizado em 2010, a Amazônia Legal apresentava uma população de 25 milhões, ou seja, aproximadamente 12% da população nacional para cerca de 60% do território nacional. Estimou-se que para 2017 população de cerca de 28 milhões. Na Figura 14 apresenta-se os valores de população por estado de 2010 e de 2017.

Figura 14 – População dos Estados da Amazônia Legal

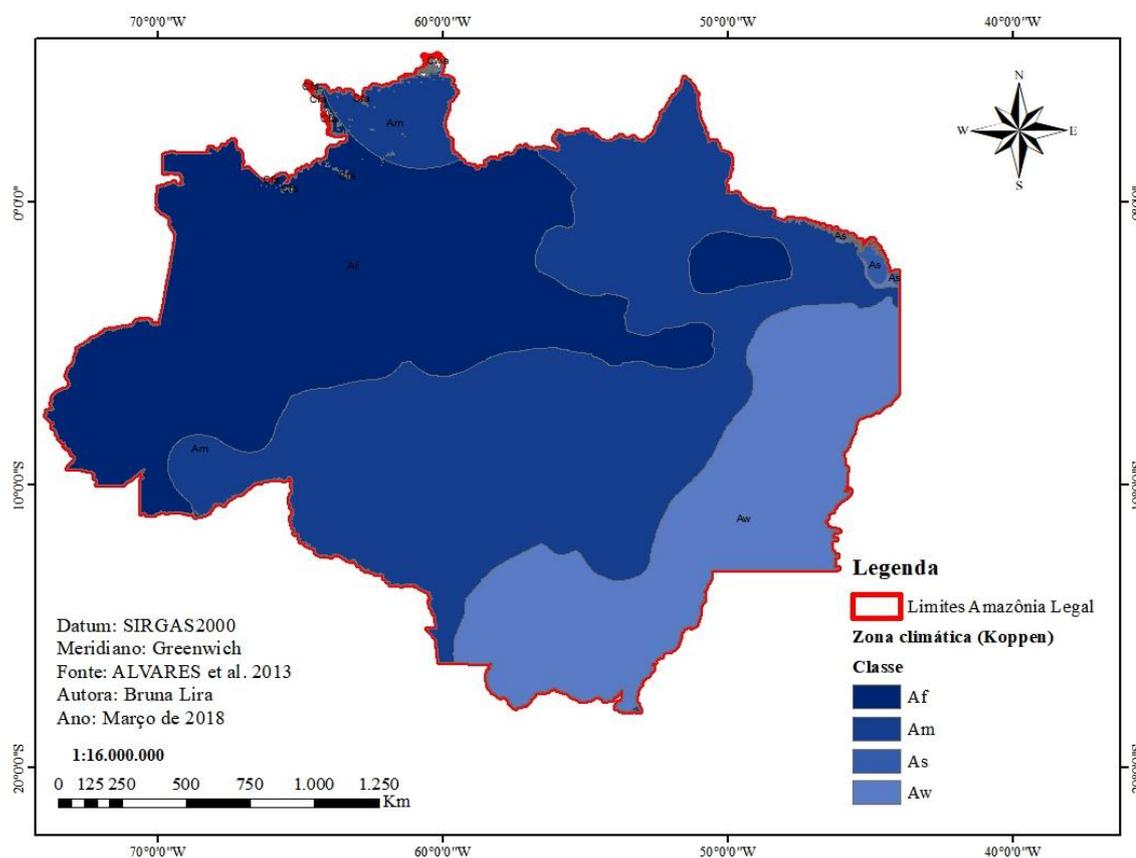


Fonte: Autor (2018)

3.2 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, conhecida classificação de Köppen, a região da Amazônia Legal apresenta o clima do tipo “A”, designado a climas tropicais com altos índices pluviométricos, com temperaturas médias maiores a 18°C. Conforme a Figura 15 a região apresenta quatro subclasses de clima: Clima equatorial (Af) tropical de floresta e húmido, período chuvoso; Clima tropical de monção (Am) com estações húmida e seca, com elevados índices pluviométricos anual e apresenta pequeno período seco; Clima tropical seco e úmido (Aw) com inverno seco e verão úmido, estações alternadas; Clima tropical semiárido e árido (As) grandes amplitudes térmicas e baixas precipitações (ALVARES *et al.*, 2013).

Figura 15 - Zona climática da Amazônia Legal (classificação de Köppen)



Fonte: Autor (2018)

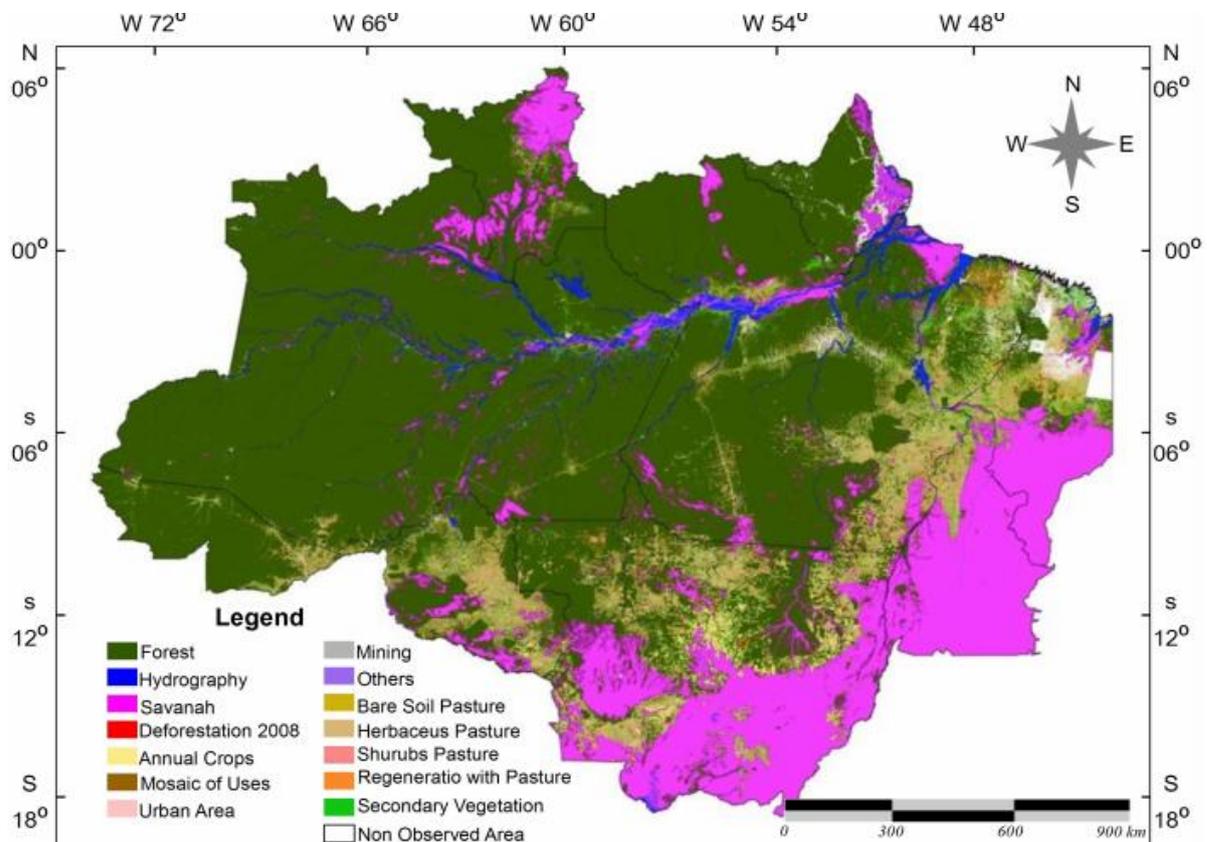
Segundo Ishihara *et al.* (2014), as maiores taxas de precipitação ocorrem no extremo norte da região, principalmente no Amapá, litoral do Pará e Noroeste do Amazonas. Já o quadrante sudeste da região a precipitação média anual é abaixo de 2000 mm. Para Delahaye *et al.* (2015), a dinâmica atmosférica explica a variabilidade espacial e temporal das chuvas na Amazônia, no nordeste da região mais de 70% das chuvas ocorrem durante o primeiro semestre do ano.

3.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A compreensão dos padrões espaciais de uso e cobertura da terra é essencial para estudos sobre biodiversidade, mudança climática e modelagem ambiental, bem como a concepção e monitoramento de políticas de uso da terra (ALMEIDA *et al.*, 2016). A Amazônia tem grande dimensão territorial, composta de florestas tropicais, e outros tipos de vegetações, como cerrado e campos naturais. A maior parte é de florestas tropicais densas com árvores de grande porte, variedade de fauna e flora, sendo que algumas espécies só têm nesta região. Para Ishihara *et al.* (2013), a região é reconhecida como a mais rica em biodiversidade e também, apresenta grande complexidade estrutural e morfológica, características das zonas climáticas tropicais.

Almeida *et al.* (2016), mapeou através do *TerraClas* o uso e a cobertura da terra de toda a Amazônia Legal para o ano de 2008 (Figura 17), destacam-se as áreas das classes das: área de Floresta com 3.214×10^3 Km²; área sem floresta com 953.3×10^3 Km²; as Áreas de pastagem com $447,1 \times 10^3$ Km²; a Hidrografia com $114,9 \times 10^3$ Km²; Áreas desmatada com $11,5 \times 10^3$ Km² e Áreas urbana com $3,8 \times 10^3$ Km². Todas as áreas das classes de uso da terra estão disponíveis no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Figura 17 – Uso e ocupação do solo Amazônia Legal

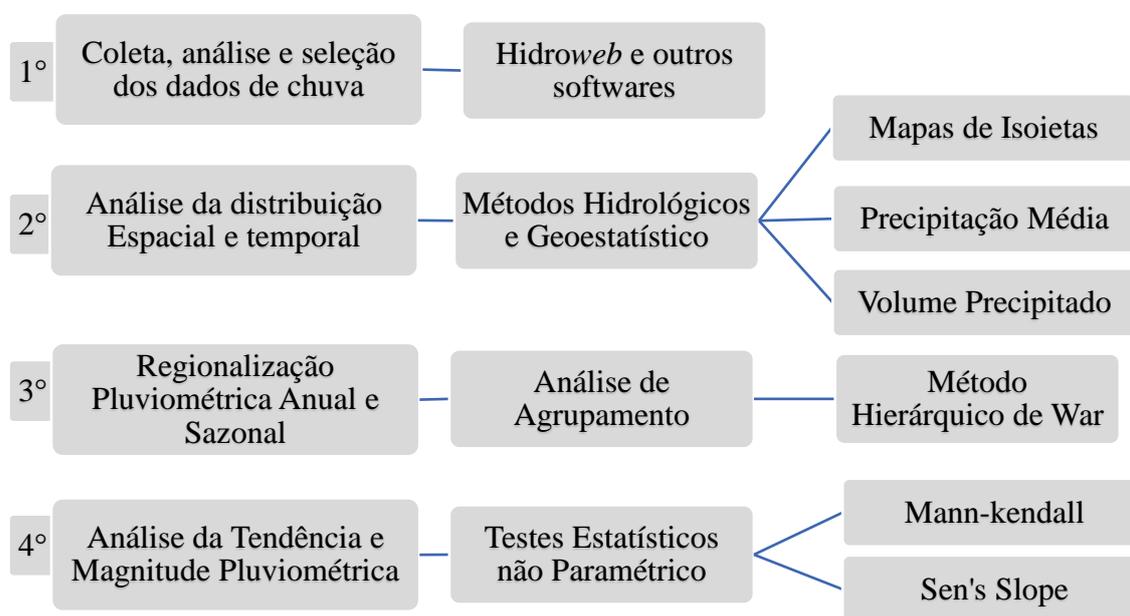


Fonte: Almeida *et al.* (2016)

4. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste foi realizada pesquisa bibliográfica em artigos, livros, dissertações, teses e outras fontes secundárias para levantamento de dados e informações referentes ao assunto e à área de estudo. Posteriormente a coleta, os dados foram tratados por meio de análises estatísticas, através de softwares. Os procedimentos metodológicos aplicados para análise da chuva da Amazônia Legal, no período de janeiro de 1986 a dezembro de 2015, foram divididos conforme apresentado na Figura 18.

Figura 18 – Esquema Metodológico para análise da chuva da Amazônia



Fonte: Autor (2017)

A metodologia deste estudo está de acordo com os objetivos específico, e foram divididas:

- 1º) Coleta, análise e seleção dos dados de precipitação da Amazônia Legal, a parti do Sistema de Informações Hidrológicas (*HidroWeb*) e softwares estatísticos;
- 2º) Análise da distribuição espacial e temporal da chuva, através de métodos hidrológicos e geoestatístico para elaboração de mapas de isoietas, cálculo e espacialização da precipitação anual média e estimativa do volume precipitado para os anos do período de estudo pelo Sistema de Informação Geográfica;
- 3º) Regionalização pluviométrica anual e sazonal pela análise de agrupamento para determina as regiões homogêneas através do método hierárquico de Ward, e determinar para cada região a precipitação anual média e sazonalidade por meio dos períodos chuvosos e menos chuvoso;
- 4º) Análise da tendência e magnitude da precipitação anual e mensal através dos testes estatísticos não paramétrico de Mann-Kendall e Sen's Slope.

4.1 COLETA E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

No Brasil, a ANA é responsável pela regulação dos recursos hídricos, monitoramento hidrometeorológico e disponibilidade das séries históricas e informações do monitoramento através do Sistema de Informações Hidrológicas (*HidroWeb*), que é uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), que oferece acesso ao banco de dados com informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). No banco de dados do *HidroWeb* realizou-se o levantamento para quantificar as estações pluviométricas com e sem dados disponíveis, por estado federativo dentro da Amazônia Legal (Tabela 4), visando a caracterização pluviométrica desta região.

Tabela 4 - Estações Pluviométricas da Amazônia Legal

Estados	Sigla	Geral	Com Dados	Sem Dados
Acre	AC	71	48	23
Amapá	AP	68	38	30
Amazonas	AM	291	262	29
Maranhão	MA	297	195	102
Mato Grosso	MT	490	265	225
Pará	PA	388	286	102
Rondônia	RO	161	75	86
Roraima	RR	63	56	7
Tocantins	TO	200	95	105
TOTAL		2029	1319	710

Fonte: Autor (2018)

Cada estação pluviométrica possui uma localização georreferenciada e uma série histórica com informações e dados de chuva diária, possibilitando o cálculo de chuva mensal e anual. Para sistematizar as informações foi criado um banco de dados, por meio de planilha no Excel com as informações das estações pluviométricas, como: código, nome, Estado, município, localização geográfica (latitude, longitude e altitude), condição atual (ativas ou desativadas), período de dados disponíveis da série, precipitação anual média e quantidade de anos de dados.

É importante mencionar, que a Organização Mundial de Meteorologia (OMM, 1984) estabelece a densidade mínima de estações pluviométricas de acordo com as zonas climáticas e geográficas. A região da Amazônia legal, de acordo com Ishihara *et al.* (2013), enquadrou-se na categoria de “regiões planas de zonas tropicais”. Nesta categoria recomenda-se que o limite mínimo para a rede pluviométrica, esteja dentro do intervalo de 600 a 900 km² por estação.

4.1.1 Seleção das Estações Pluviométricas

Neste foi analisado as estações pluviométricas inseridas na Amazônia Legal com séries históricas com período maior ou igual a 30 anos de dados. Assim, seguir as recomendações da OMM, que para os cálculos dos padrões climatológicos é necessário período com abrangência de no mínimo três décadas consecutivas. Após, selecionou-se as estações que apresentam dados no período de estudo, que vai de janeiro de 1986 a dezembro de 2015. Entretanto, grande parte das estações apresentam limitações referentes a quantidade de dados no período, devido à presença de muitas falhas nas séries históricas disponíveis, além de erros de medições.

Portanto, para viabilizar a análise da pesquisa de precipitação na Amazônia, optou-se por fazer as correções de falhas, mas considerando apenas as séries históricas que tivessem maior ou igual há 20 anos com dados dentro do período de estudo de 30 anos (1986-2015). Com intuito de não considerar dados que podem levar a erro, bem como, não perder dados necessário para análise, por se tratar de uma variável e de uma região com baixa densidade de informações.

4.1.2 Preenchimento de Falhas em Séries Históricas

Portanto, os dados com falhas foram submetidos ao preenchimento, através do método de ponderação regional. Segundo Ishihara *et al.* (2014), o método é simplificado, no entanto, seus resultados são bastante representativos quando aplicados a regiões climatológica homogênea. Para Tucci (2007), o método é utilizado para o preenchimento de séries mensais e anuais.

Assim, utilizados os dados das estações mais próximas e da mesma área climatológica segundo a classificação de Köppen, os valores mensais foram preenchidos, para homogeneizar as séries de precipitação, ou seja, obter séries com 30 anos contínuo para análise da estatística. Através da Equação do método de ponderação regional (4).

$$Y = \frac{1}{3} * \left(\frac{x_1}{xm_1} + \frac{x_2}{xm_2} + \frac{x_3}{xm_3} \right) * Ym \quad (4)$$

Onde: Y é a precipitação a ser estimada; X₁, X₂ e X₃ são as precipitações correspondente ao mês que se deseja preencher, das três estações vizinhas; Y_m – Precipitação média da estação com falha; X_{m1}, X_{m2} e X_{m3} são as precipitações médias nas três estações vizinhas.

Destaca-se que o método adota como critério para realizar as correções mensais uma quantidade mínima de até 6 meses com dados dentro por ano. Portanto as correções foram aplicadas para as estações que tivessem até seis meses de falhas, mais que isso as falhas não foram corrigidas e as estações não foram utilizadas.

4.2 DINÂMICA ESPACIAL E TEMPORAL

Na análise da dinâmica espacial e temporal da precipitação na região amazônica foram utilizados métodos baseados na hidrologia e na geoestatística. Necessários para elaborar o mapa de isoietas, calcular a precipitação anual média e estimar o volume anual precipitado na região, a partir dos dados disponíveis das séries históricas, no período de 1986 a 2015.

4.2.1 Mapas de Isoietas de precipitações

Para análise da precipitação foi necessário elaborar mapas de isoietas, traçadas de acordo com os valores das alturas de lâmina d'água precipitados nos postos pluviométricos. De acordo com Moraes *et al.* (2015), a Amazônia é extensa e apresenta ausência de monitoramento em muitos locais, logo, têm diversas regiões sem informações meteorológicas, onde os dados são obtidos por interpolação matemática entre estações vizinhas. Para Loureiro e Fernandes (2013), o mapa de isoietas é realizado por meio da interpolação discreta entre pontos sucessivos.

Segundo Medeiros *et al.* (2017), o método de Krigagem é muito utilizado para analisar a distribuição espacial da precipitação em diversos locais do Brasil é um dos melhores para a geração de mapas. O método consiste no uso de funções matemáticas para distribuir os pesos aos dados (NEVES *et al.*, 2017). Duas premissas permitem que a Krigagem seja considerada um excelente estimador no uso de interpolações, pois é um estimador não tendencioso e ao mesmo tempo possui a variância mínima das estimativas (LUNDGREN *et al.*, 2017).

Deste modo, na distribuição espacial da precipitação na Amazônia foi utilizado o método de interpolação de Krigagem, a aplicação baseia-se no Sistema de Informação Geográfica (SIG) através da localização georreferenciada e da altura pluviométrica. Entre os tipos, selecionou-se a Krigagem ordinária pois é a metodologia mais utilizada para situação onde existem uma distribuição irregular dos dados com significativas variabilidades pluviométricas e segundo Henderson *et al.* (2012), apresenta simplicidade de aplicação, conforme a Equação (5), estimar um valor de um atributo Z na posição i e com coordenadas dado pelo vetor x , a partir de um conjunto de amostras vizinhas.

$$Z(Xi) = \sum_{i=1}^n Z(xi) * \lambda_i \quad (5)$$

Em que, $Z(xi)$ é o valor estimado do atributo no local xi ; λ_i são as ponderações aplicadas aos i -ésimos valores dos atributos que possuam dependência espacial com o valor da variável a ser estimado na posição xi (peso); e o i é o indicador da amostra.

4.2.2 Precipitação média

A precipitação média da área foi calculada através do método das curvas de isoietas, através da Equação (6), que consiste na somatória da precipitação média entre as isoietas sucessivas, multiplicado pela área entre as isoietas, e dividindo-se pela área total da bacia. As áreas totais e entre as isoietas foram calculadas através do software SIG.

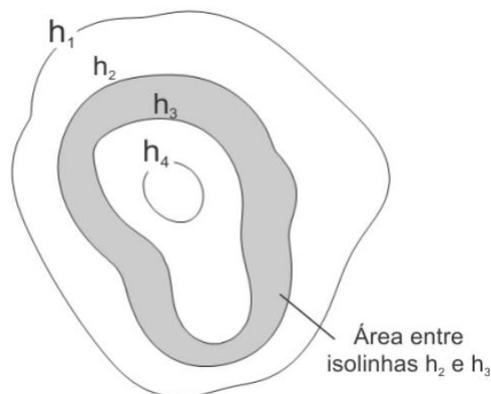
$$Pm = \frac{1}{At} \sum A_{i,i+1} * \frac{(P_i + P_{i+1})}{2} \quad (6)$$

Onde Pm é a Precipitação média, At é área total; $A_{i,i+1}$ é área entre cada par de isoietas; P_i ; P_{i+1} são as Precipitações entre os pares de isoietas.

4.2.3 Volume Precipitado

Segundo Loureiro e Fernandes (2013), a partir do mapa de isoietas realiza-se o cálculo do volume precipitado. Para estimar o volume precipitado na Amazônia Legal foi utilizado o software de SIG, aplicando-se o método dos contornos que é calculado pelo produto da área entre as isoietas e da altura pluviométrica média (mm), que corresponde à precipitação média entre as isoietas que delimitam o espaço (Figura 19).

Figura 19 - Representação do método dos Contornos pela área entre as isoietas



Fonte: Loureiro e Fernandes (2013)

O método tem características semelhantes ao das isoietas, sendo que para o cálculo do volume (Equação(7)) não é incluso a divisão pela área total a partir do traçado das isoietas.

$$Vp = \sum A_{i,i+1} * \frac{(P_i + P_{i+1})}{2} \quad (7)$$

Onde Vp é volume precipitado anual (km^3), $A_{i,i+1}$ é área entre cada par de isoietas (m^2), P_i ; P_{i+1} são as Precipitações entre os pares de isoietas.

4.3 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

A identificação de regiões pluviométricas homogêneas através da aplicação de técnicas de agrupamento contribui para compreensão da variabilidade espaço-temporal das chuvas nas bacias hidrográficas (AMANAJÁS e BRAGA, 2012). Segundo Santos *et al.* (2014), as regiões homogêneas são encontradas por meio de análise de cluster, técnica multivariada que procura elementos de dados com base na semelhança entre eles.

Neste estudo foi utilizado o método de agrupamento Hierárquico de Ward com a distância euclidiana para agrupar a precipitação anual média e a precipitação mensal média. Metodologia semelhante para regionalização pluviométrica foi utilizada pelos autores: dos Santos *et al.* (2017); Gonçalves *et al.* (2016); Lyra *et al.* (2014); Neves *et al.* (2017) e Santos *et al.* (2014).

4.3.1 Medida de similaridade

A medida de similaridade (dissimilaridade) é a distância entre os grupos formados. Conforme Silva *et al.* (2016), a distância euclidiana é constantemente aplicada quando as variáveis são totalmente quantitativas. De acordo com Santos *et al.* (2014), é uma das medidas listadas para regionalização de dados hidrológicos e climáticos. Assim, neste foi utilizada a distância euclidiana, calculada pela Equação (8), segundo Gonçalves *et al.* (2016), é uma medida de distância perfeitamente métrica, pois é uma linha reta entre dois pontos, definido como a distância geométrica entre dois objetos *i* e *j* retirados de espaço com dimensões *n*.

$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (X_{ki} - X_{kj})^2} \quad (8)$$

Onde: D_{ij} é a distância entre os elementos observados *i* e *j*; o X_{ki} é o valor assumido pela variável *K* para observação *i*; e o X_{kj} o valor da variável *K* para observação *j*;

É importante destacar, que se os dados não estiverem no mesmo padrão de medidas, recomenda-se a padronização das variáveis antes de obter-se o valor da distância euclidiana, para uniformizar seus efeitos. Deste modo, para padronizar os dados foi empregado o método de Range -1 a 1 (Equação 9).

$$D = x/A_t \quad (9)$$

Onde *D* é o valor obtido pelo método de range; *x* é o valor da variável observada; A_t é a amplitude total da variável observada.

4.3.2 Método de Ward

Este método foi proposto por WARD (1963), consiste em um procedimento de agrupamento hierárquico no qual a medida de similaridade é usada para determinar a menor variação entre os dados de cada grupo. Também chamado de método da mínima variância, porque identifica a menor variância entre clusters, unindo elementos cuja soma de quadrados entre eles é mínima (SANTOS *et al.*, 2014; NEVES *et al.*, 2017).

Portanto, em cada passo do agrupamento de Ward calcula-se a soma dos quadrados, de acordo com a Equação (10), definida e utilizada por Pessoa (2015).

$$SS_i = \sum_{k=1}^{ni} (X_{ij} - \mu_i)^2 (X_{ij} - \mu_i) \quad (10)$$

onde ni é o número de elementos no conglomerado, quando se está no passo k do processo de agrupamento; o X_{ij} é o vetor de observações do j -ésimo elemento amostral que pertence ao i -ésimo conglomerado; o μ_i é o centróide do conglomerado; e o SS_i representa a soma do quadrados correspondente ao conglomerado.

No passo K , a soma de quadrados total dentro dos grupos é definida na Equação (11).

$$SSR = \sum_{i=1}^{gk} SS_i \quad (11)$$

em que gk é o número de grupos existentes quando se está no passo K .

A distância entre os conglomerados C_i e C_i é definida na Equação (12):

$$d(C_i, C_i) = \left[\frac{ni \ ni}{ni + ni} \right] (\mu_i - \mu_i)' (\mu_i - \mu_i) \quad (12)$$

Em cada passo do algoritmo de agrupamento, os dois conglomerados (C_i e C_i) que minimizam a distância são combinados. As comparações de conglomerados, que tem tamanhos diferentes, sofrem uma penalização representada pelo fator de ponderação $\left[\frac{ni \ ni}{ni + ni} \right]$. Quanto maiores forem os valores de ni e ni é a discrepância entre eles, maior foi o valor do fator de penalização, aumentando a distância entre os centroides dos conglomerados comparados (PESSOA, 2015). Na Figura 20, são apresentadas as etapas do algoritmo do método de agrupamento hierárquico de *Ward*, para delimitação de regiões hidrológicas homogêneas.

Figura 20 - Algoritmo do método hierárquico de *Ward*.

1. Iniciar operando a matriz de similaridade, considerando cada elemento como um único conglomerado;
2. Calcular o valor da soma dos quadrados SS_i para cada um dos possíveis pares de conglomerados segundo a Equação (10);
3. Calcular a soma de quadrados total dentro dos grupos, Equação (11);
4. Calcular a distância entre os conglomerados por meio da Equação (12);
5. Repetir os passos anteriores $n - 1$ vezes, de maneira que todos os n elementos pertençam a um grupo ao fim do algoritmo.

Fonte: Adaptado de Pessoa (2015)

O resultado da análise de agrupamento são classificações hierárquicas, que podem ser representadas por um diagrama bidimensional, os dendrogramas (MENEZES *et al.*, 2015). Segundo Pessoa (2015), a técnica interliga as amostras por associações. Para Lyra *et al.* (2014), o número de clusters é determinado encontrando o nível no qual a similaridade dentro do grupo é maximizada. Através do conhecimento prévio sobre a estrutura de dados, determina se um corte no dendrograma, para definir que clusters foram formados (SANTOS *et al.*, 2014).

O método Ward, detecta o menor erro interno entre os vetores que compõem cada grupo e o vetor médio do grupo. Isso equivale a identificar o menor desvio padrão entre os dados para cada grupo. Na fase inicial, o erro interno é nulo para todos os grupos, uma vez que cada vetor que compõe cada grupo é o vetor médio desse grupo. Da mesma forma, o desvio padrão para cada grupo é nulo. Na etapa seguinte, cada possibilidade de aglomeração entre os grupos 2 por 2 é verificada, e o cluster que causa o menor aumento no erro interno do grupo é escolhido. (GONÇALVES *et al.*, 2016).

Para demonstrar a espacialização das regiões homogêneas, obtidas pelo método de Ward, utilizou-se o interpolador de Krigagem, semelhante ao trabalho de Neves *et al.* (2017). Após, foram gerados os índices mensais de precipitação para as regiões homogêneas encontradas, calculados através das médias climatológicas mensais, das estações pluviométricas da região, dentro do período de estudo (1986 a 2015). Assim, poder ser verificado a sazonalidade da precipitação, junto com os períodos chuvoso e o menos chuvoso e os regimes de transição.

4.4 ANÁLISE DE TENDÊNCIA E MAGNITUDE

Nesta análise foram utilizadas as séries históricas de precipitação anual e mensal, para ponderar os parâmetros estatísticos dos testes de Mann-Kendall e Sen's Slope, trata-se de testes não paramétricos. Frequentemente usados para análise das tendências de precipitação e para identificar a magnitude da tendência. Metodologia Semelhante foi realizada pelos autores: Loureiro *et al.* (2015), Bari *et al.* (2016); Kahsay *et al.* (2018), Pandey e Khare (2018).

4.4.1 Teste de Mann Kendall

A análise de tendência de crescimento ou decrescimento da série temporal de precipitação anual e mensal foram analisadas pelo método de Mann-Kendall, proposto por Mann (1945) e Kendall (1975), é um método robusto, sequencial e não paramétrico utilizado para verificar se uma série de dados possui uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa. Para Loureiro *et al.* (2015), a estatísticas é usada para testar a hipótese de que não há tendência.

Segundo Pandey e Khare (2018), este método não requer distribuição normal dos dados. Deste modo, é o mais adequado para análise de tendências temporais em séries de dados hidrológicos e climáticos, pois os dados não apresentam distribuição normal.

Para Hamed (2009), é um teste de correlação de postos entre as classificações de observações e sua sequência temporal, ou seja, trata-se de um teste que compara cada valor da série temporal com o outro valor remanescente, em ordem sequencial, para determinar a variável estatística. Definida e utilizada por Gocic e Trajkovic (2013), Loureiro *et al.* (2015) e Ishihara *et al.* (2014), este teste é baseado na estatística "S", descrito na Equação (13).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (13)$$

Onde sgn é a somatória dos sinais da diferença par a par, de todos valores da série (x_i) em relação aos valores que a eles são futuros (x_j). O J são os valores dos dados sequenciais, n é o tamanho da série temporal.

Os resultados da somatória variam de acordo com as condições da Equação (14)

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & \text{Se } x_j - x_i > 0 \\ 0, & x_j - x_i = 0 \\ -1, & \text{Se } x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (14)$$

Em seguida, calcula-se a variância da estatística de S (Var (S)), através da Equação (15).

$$Var(S) = \frac{n(n-1) * (2n + 5) - \sum_{i=1}^p t_i (t_i - 1)(2t_i + 5)}{18} \quad (15)$$

Onde n é o número de observações e considerando o caso em que a série pode ter grupos com observações iguais, p é o número de grupos com observações iguais e t_i é a quantidade de repetições de uma extensão i (Por exemplo, uma série histórica com três valores iguais entre si teria 1 repetição de extensão igual a 3, ou $t_i = 1$ e $i = 3$)

Considerando a hipótese nula e a ausência de p, a variância da estatística de S (Var (S)), pode ser calculada através da Equação (16).

$$Var(S) = \frac{1}{18} [n(n-1) * (2n + 5)] \quad (16)$$

onde n é o número de pontos de dados.

O valor do teste de Mann-Kendall é obtido no resultado de Z, Equação (17).

$$\begin{aligned} \text{Se } S > 0 & \quad Z = \frac{s - 1}{\sqrt{Var(S)}} \\ \text{Se } S = 0 & \quad Z = 0 \\ \text{Se } S < 0 & \quad Z = \frac{s + 1}{\sqrt{Var(S)}} \end{aligned} \quad (17)$$

Onde n é o número de dados da série temporal (s).

O resultado obtido para Z de Mann-Kendall (Z_{MK}) indicará tendência na série temporal. Os valores de Z_{MK} positivo indica uma tendência crescente, enquanto Z_{MK} negativo indica tendência decrescente nas séries temporais. (ISHIHARA *et al.*, 2014; LOUREIRO *et al.*, 2015). Nesta pesquisa o teste foi definido para nível de significância de 5%, que é a probabilidade de erro de rejeitar a H_0 quando esta for verdadeira. Portanto se o p-valor obtido através de Z_{MK} é menor que nível de significância alfa (0,05) rejeita-se a hipótese nula (H_0) e aceitar a hipótese alternativa (H_a) o que indica a presença de tendência na série de dados para este nível.

Para Salviano *et al.* (2016), trata-se de um teste bicaudal, para rejeitar a H_0 é preciso que o valor absoluto de Z_{MK} seja superior a $Z_{\alpha/2}$. Assim, para $\alpha = 5\%$, $Z_{0,05/2} = Z_{0,025} = 1,96$. Portanto, considera-se tendência significativa ao nível de significância de 5% caso $Z_{MK} > 1,96$.

4.4.2 Teste de Sen's Slope

Para analisar a magnitude da tendência linear presente nas séries temporais, foi utilizado o Sen's Slope, método desenvolvido por Sen (1968), teste não-paramétrico usado para obter a estimativa da inclinação verdadeira (Q), onde primeiro calculam-se as inclinações de todos os pares de dados, (Equação (18) conforme utilizados por Gocic e Trajkovic (2013).

$$Q = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (18)$$

Onde x_j e x_k são os valores dos dados no tempo j e k ($j > k$), respectivamente.

Se houver n valores x_j na série temporal, então obtêm-se $N = \frac{n(n-1)}{2}$, para estimar Q_i . Em seguida estima-se a inclinação mediana (Q_{med}), pelo método Sen, Equação (19), que é a mediana destes valores N de Q_i , que devem ser classificados do menor para o maior.

$$\begin{aligned} \text{Se } N \text{ é ímpar} \quad & Q_{med} = Q_{\left[\frac{n+1}{2}\right]} \\ \text{Se } N \text{ é par} \quad & Q_{med} = \frac{1}{2} \left(Q_{\frac{n}{2}} + Q_{\left[\frac{n+2}{2}\right]} \right) \end{aligned} \quad (19)$$

O sinal Q_{med} reflete a ponderação da tendência dos dados, enquanto o seu valor indica a inclinação da tendência. (GOCIC; TRAJKOVIC, 2013).

Para determinar se a inclinação mediana é estatisticamente diferente de zero, deve-se obter o intervalo de confiança de Q_{med} com probabilidade específica. Para isso precisa-se da variância da estatística S de Mann-Kendall. Segundo Gilbert (1987), o intervalo de confiança sobre a inclinação do tempo pode ser calculado pela equação (20 e 22).

$$C_\alpha = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{Var(S)} \quad (20)$$

Onde $Var(S)$ é definido na Equação (16); e o $Z_{1-\alpha/2}$ é obtido da tabela de distribuição normal padrão. Neste estudo, o intervalo de confiança é para o nível de significância ($\alpha = 0,05$).

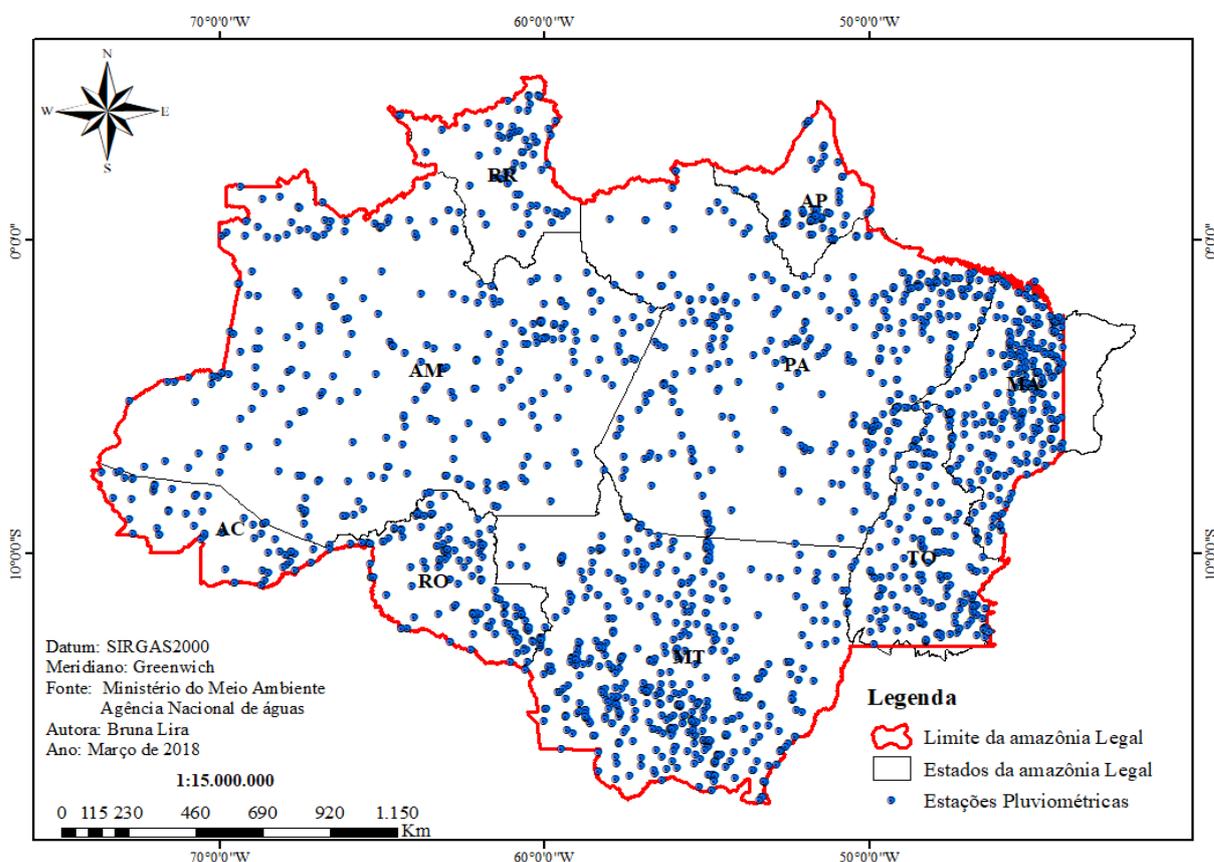
$$\text{Então,} \quad M_1 = \frac{N' - C_\alpha}{2} \quad e \quad M_2 = \frac{N' + C_\alpha}{2} \quad (21)$$

Os limites inferior e superior do intervalo de confiança Q_{min} e Q_{max} , são o M_1 o maior e o $(M_2 + 1)$ o maior das estimativas do declive ordenado por N (GILBERT, 1987). Deste modo, a inclinação Q_{med} é estatisticamente diferente de zero, se os dois limites do intervalo (Q_{min} e Q_{max}) tiverem sinal semelhante.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Amazônia o monitoramento da precipitação é essencial para aplicações hidrológicas e climáticas (DELAHAYE *et al.*, 2015). Entretanto, conforme pesquisa no inventário da ANA, atualmente tem-se 2.029 estações pluviométrica inseridas na Amazônia Legal, distribuídas espacialmente de acordo com a Figura 21. Mas analisando a disponibilidade dos dados apenas 1.320 estações (65%) apresentam séries históricas disponível para download no HidroWeb e as 709 estações (35%) restante não estão disponíveis. Observa-se que está quantidade é pequena diante da extensão territorial e da necessidade de monitoramento preciso na região.

Figura 21 – Estações Pluviométricas da Amazônia Legal



A Amazônia apresenta baixa densidade de estações meteorológicas, o que pode causar incertezas significativas no entendimento dos diferentes processos relativos aos mecanismos dinâmicos do clima e sua variabilidade espacial (NOBRE *et al.*, 2009; ALMEIDA *et al.*, 2015). Conforme Salviano *et al.* (2016), é a região do Brasil que possui o menor número de estações meteorológicas disponíveis. Segundo Ishihara *et al.* (2013), a região não tem uma rede de monitoramento pluviométrico adequada, além da pequena densidade de estações, muitas já se encontram desativadas, e outras com grande quantidade de falhas, erros e discontinuidades.

As séries históricas de precipitação das 1.320 estações pluviométricas disponíveis foram baixadas do HidroWeb da ANA e sistematizadas em planilhas com as informações necessárias. Verificou-se o número de estações que estão ativas e desativas de acordo com os estados pertencentes à Amazônia Legal, informadas na Tabela 5, também foram verificados se os períodos de funcionamento das estações era maior ou menor que 30 anos, pois de acordo com OMM para estudos padrões e mudanças climatológicas é o período mínimo indicado.

Tabela 5 – Estações Pluviométricas Ativa e Desativa

ESTADOS	ATIVA		DESATIVA		TOTAL
	+ 30 Anos	- 30 Anos	+ 30 Anos	- 30 Anos	
Acre	17	15	0	16	48
Amapá	11	10	3	14	38
Amazonas	92	79	7	84	262
Maranhão	68	19	40	68	195
Mato grosso	129	59	9	68	265
Pará	94	107	4	81	286
Rondônia	29	26	0	20	75
Roraima	22	25	0	9	56
Tocantins	64	16	2	13	95
TOTAL	526	356	65	373	1320

Assim, foram identificadas 526 estações ativas e 65 desativas com mais de 30 anos de funcionamento, totalizando 591 estações pluviométricas. Porém, destas apenas 473 estações possuem dados dentro do período de estudo (1986 a 2015), contudo as séries históricas destas estações apresentam variações em quantidade de anos com dados disponíveis dentro do período, demonstrado na Tabela 6, onde nota-se que apenas 28 estações (6%) têm série histórica completa com 30 anos de dados, o restante (94%) apresentam falhas.

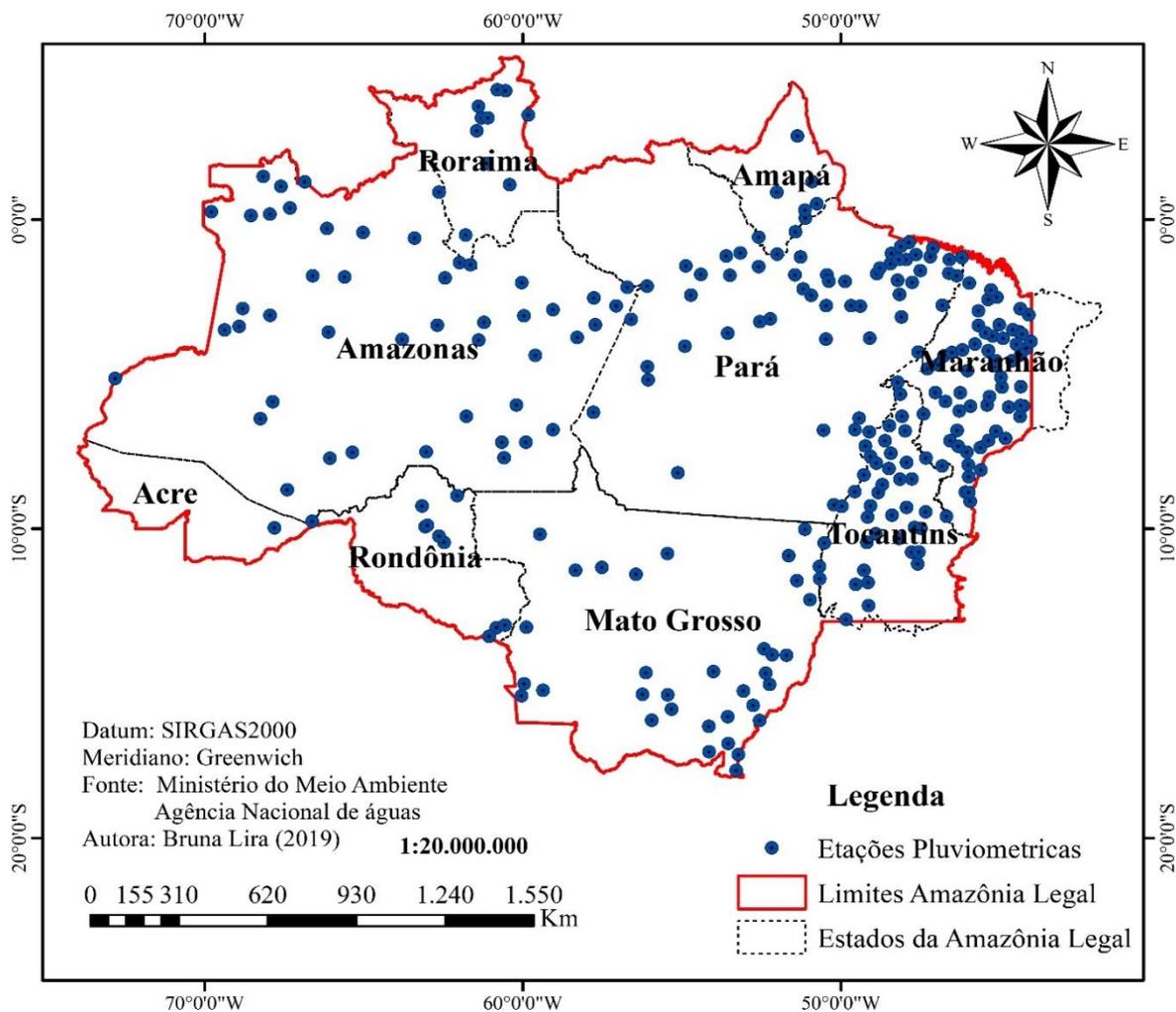
Tabela 6 – Estações Pluviométricas com quantidade anos com dados

Anos com Dados	30	29 a 27	26 a 24	23 a 20	19 a 10	< 10
Nº Estações	28	144	147	85	61	8
Percentual	6%	30%	31%	18%	13%	2%

Portanto, para viabilizar a pesquisa é necessário séries históricas completas e consistentes. Para isso, realizou-se a correção mensal das falhas com os critérios que as séries tivessem uma quantidade mínima de 20 anos de dados disponíveis para cada estação e que um ano tivesse o mínimo de até 6 meses com dados. Assim, admitiu-se que cada estação no período de estudo de 30 anos tivesse até 10 anos com falhas anuais e cada um deste anos tivessem até seis meses de falhas mensais. Fora destas condições os dados das estações não foram submetidos a correção e estas estações não foram utilizadas nesta pesquisa.

Portanto, após a correção das falhas, obteve-se 268 estações pluviométricas na região da Amazônia Legal distribuídas espacialmente na Figura 22, com séries históricas mensais contínuas e completa, dentro do período de janeiro de 1986 a dezembro de 2015, utilizadas neste trabalho para análise pluviométrica anual e mensal.

Figura 22 – Estações Pluviométricas da Amazônia utilizadas neste Trabalho

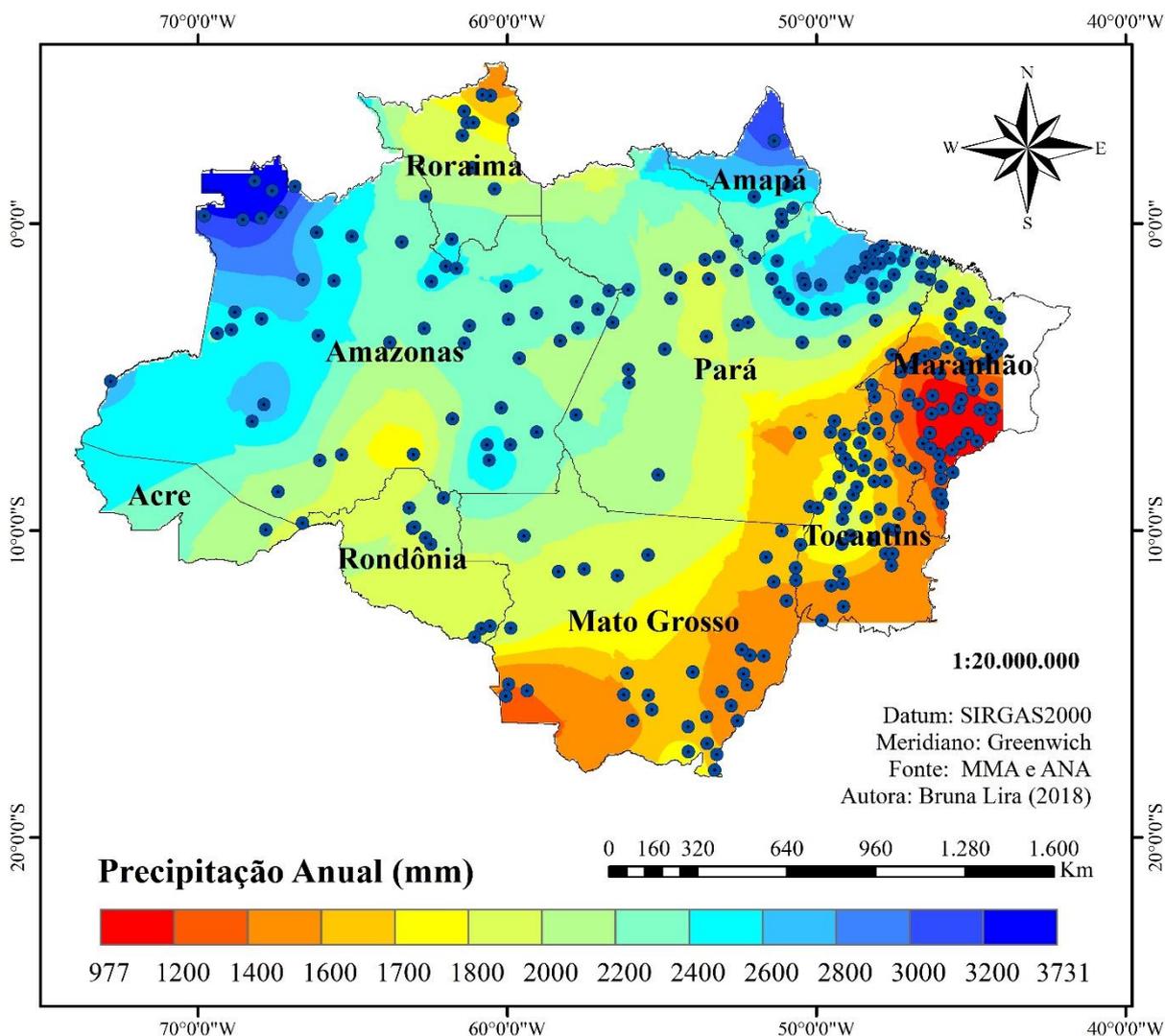


Observa-se que não há uma distribuição homogênea das 268 estações pluviométricas utilizadas neste trabalho na Amazônia Legal, com uma concentração nos estados do Maranhão e Tocantins e ao decorrer do rio Amazonas, o que podemos chamar de corredor da informação. Estas estações estão discriminadas no Quadro 1 (Apêndice) com informações importantes e as coordenadas geográficas. Sendo 1 (uma) estação no Acre, oito estações no Amapá, 47 (quarenta e sete) estações no Amazonas, 35 (trinta e cinco) estações no Mato Grosso, 57 (cinquenta e sete) estações do Pará, 10 (dez) estações em Rondônia, 10 (dez) estações em Roraima, 42 (quarenta e duas) estações no Tocantins e 58 (cinquenta e oito) estações na parte do estado do Maranhão que está dentro da Amazônia Legal.

5.1 DINÂMICA DA PRECIPITAÇÃO

Historicamente a Amazônia apresenta os maiores totais precipitados do país, combinação de fatores, como a existência da floresta e a grande disponibilidade hídrica e de energia solar. Portanto, foram distribuídas espacialmente a precipitação anual média de longo Período de 1986 a 2015 das 268 estações pluviométricas da Amazônia Legal (Figura 23). Observou-se que os valores crescem no sentido do sul para o norte, com precipitação média de 2.070 mm ao ano equivalente a 5,67 mm/dia, o que correspondeu a 42 mm de diferença (2%) do resultado da pesquisa de Ishihara *et al.* (2014), que foi de precipitação média de 2.112 mm/ano equivalente a 5,9 mm/dia, no período de 1978 a 2007. Observou-se extensa variabilidade espacial com amplitude de 2.754 mm, já que o menor índice pluviométrico é de 977 mm no estado do Maranhão e o maior índice é de 3.731 mm na região noroeste do estado do Amazonas (denominada de “cabeça do cachorro”).

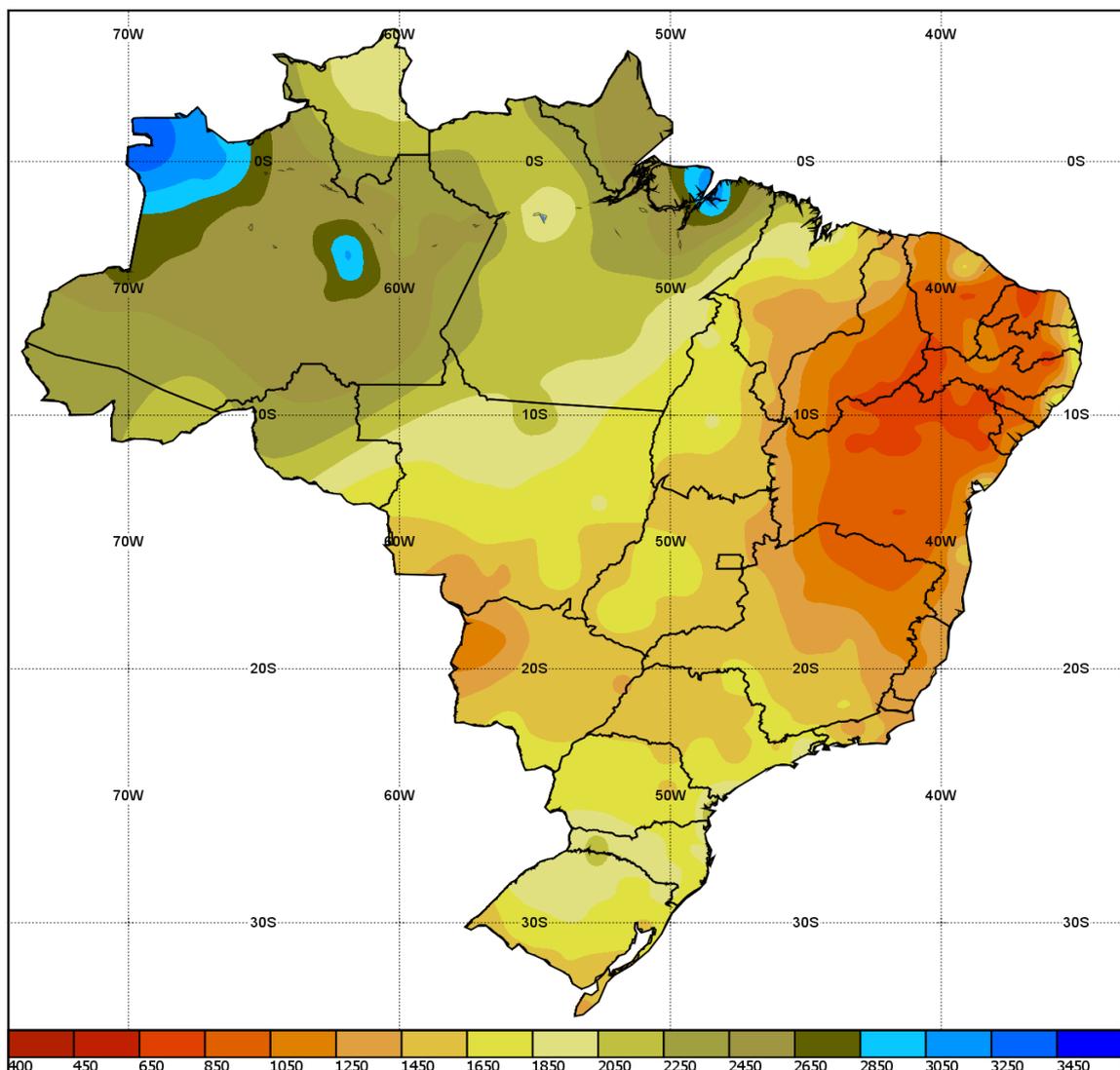
Figura 23 –Precipitação Anual Média de longo período da Amazônia Legal (1986 a 2015)



Nota-se que os maiores índices pluviométricos estão nos estados do Amazonas, no norte do Amapá e no litoral do estado do Pará, áreas influenciadas pela evapotranspiração da floresta, pelos fluxos de umidade oceânica e pela dinâmica atmosférica. Já os menores índices abrangem o estado do Maranhão, Tocantins, sul do Mato Grosso e uma porção ao norte de Roraima. Comportamento semelhante foi obtido por Ishihara *et al.* (2014), que sugerem que os resultados da região sudeste podem estar associados ao fato da região faz parte do bioma Cerrado, e estar na zona conhecida como o arco do desmatamento, que tem forte interferência na precipitação.

Os resultados da Figura 23 assemelham-se aos do mapa de normal climatológica do Brasil no período de 1981 a 2010, divulgado pelo INMET (Figura 24). Observa-se que na Amazônia o regime pluviométrico é semelhante, havendo uma pequena variação que pode ser explicada pela diferença do período analisado ou pelo método de espacialização da precipitação.

Figura 24 – Normal Climatológica da Precipitação Anual do Brasil 1981-2010



Fonte: INMET (2019)

Os resultados confirmam que o regime pluviométrico da Amazônia não é homogêneo (MOLION, 1987; FISCH *et al.*, 1998; SOUZA *et al.*, 2015). É importante destacar que vários estudos já comprovaram que a variabilidade pluviométrica da Amazônia está relacionada aos sistemas e fenômenos atmosféricos atuantes na área (FISCH *et al.*, 1998; SERRÃO *et al.*, 2015). Entre estes, os principais responsáveis pela formação de chuvas, são: os sistemas de grande escala como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as linhas de instabilidades (LI) e os sistemas frontais (SILVA *et al.*, 2014; DE SOUZA *et al.*, 2015; FERREIRA *et al.*, 2015). Além da influência de fenômenos climáticos tropicais de larga escala como El Niño e La Niña (ARAÚJO *et al.*, 2013; DE SOUSA *et al.*, 2015). E as fases do gradiente de temperatura da superfície do mar (TSM) do oceano. (NOBRE *et al.*, 2009; AZEVEDO *et al.*, 2017).

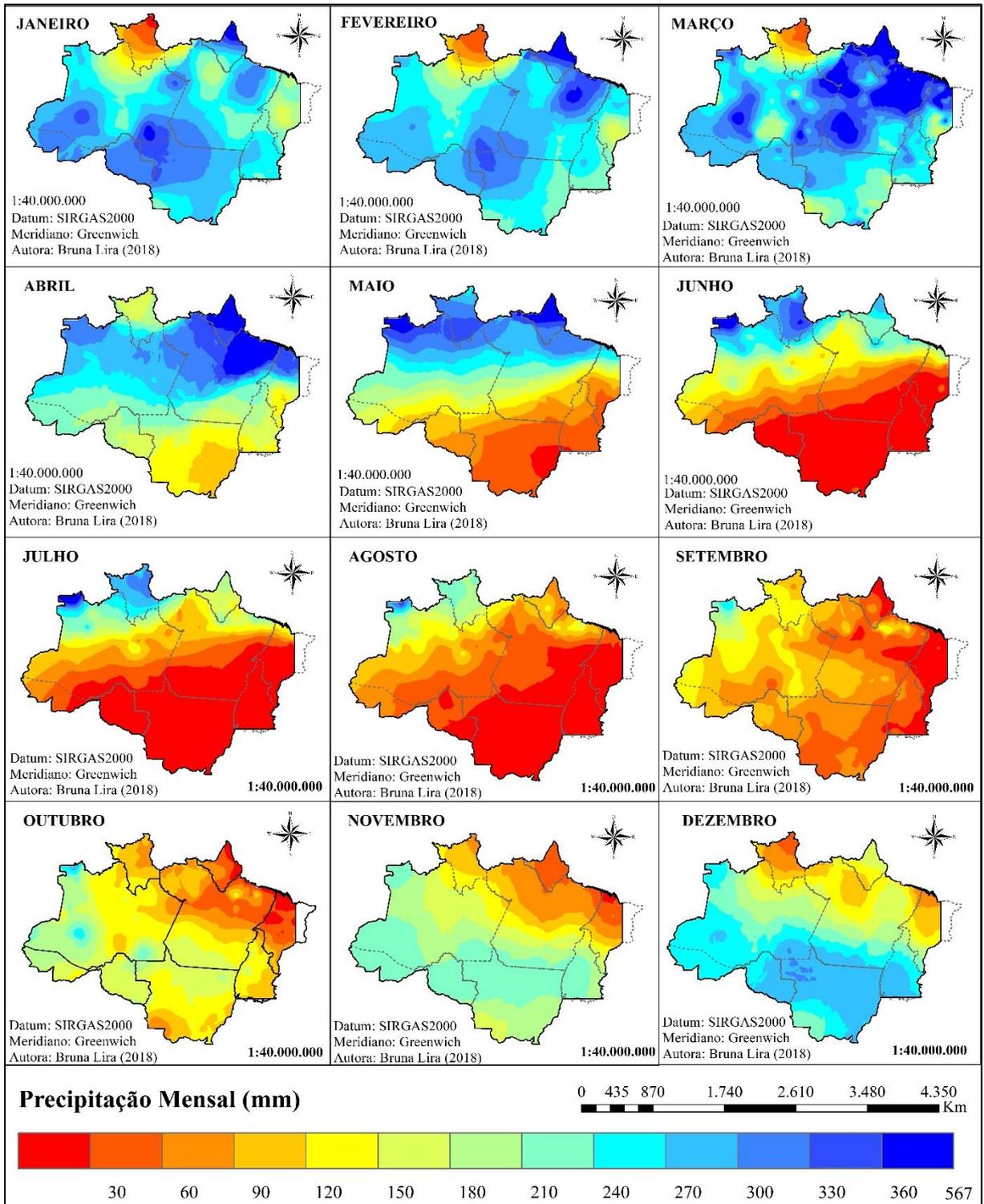
Os sistemas atmosféricos influenciam na variação sazonal da precipitação da Amazônia. As interações entre a superfície terrestre e a atmosfera têm sido propostos como possíveis mecanismos da variação temporais anuais e interanuais na Amazônia (NOBRE *et al.*, 2009). Segundo Sodre *et al.* (2015), os fenômenos são responsáveis pela modulação da precipitação no período chuvoso e estão mais ligados às variações oceânicas de que as do ambiente local. Conforme Souza *et al.* (2017), a modulação dos mecanismos dinâmicos explica a variabilidade sazonal pluviométrica, sendo a ZCIT o principal sistema do regime chuvoso, enquanto os aglomerados convectivos e linhas de instabilidade são os principais sistemas do regime seco.

Portanto, para análise do regime pluviométrico sazonal foram distribuídas espacialmente a precipitação mensal média de longo Período de 1986 a 2015 das 268 estações pluviométricas da Amazônia Legal (Figura 25). Nota-se uma grande variabilidade nos regimes sazonais, para Ferreira *et al.* (2015), a ZCIT é o principal causador da sazonalidade da precipitação na região, pois o período chuvoso acontece no decorrer da marcha da ZCIT em direção ao hemisfério Sul. Sendo que os índices pluviométricos mais elevados se iniciam no mês de novembro pelo sul amazônico, abrangem os estados do Acre, Rondônia, Mato Grosso, Tocantins e o sul dos estados do Amazonas e do Pará. Enquanto no norte amazônico o período chuvoso começa apenas em janeiro e compreendem os estados do Amapá, Amazonas, Pará e Maranhão.

É importante destacar que o norte de Roraima apresentou comportamento pluviométrico atípico dos outros, com início do período chuvoso no mês de maio, com o pico nos meses de junho e julho. Esse comportamento pode ser justificado pela posição do estado no hemisfério norte, acima da linha do equador, e também por este período coincidir com a posição da ZCIT.

Destaca-se também a região denominada de “cabeça do cachorro”, no Amazonas, que apresenta índices pluviométricos elevados durante o ano todo. Segundo Nobre et al. (2019), essa região está próxima a Cordilheira dos Andes, onde a pluviometria é elevada devido à ascensão orográfica da umidade transportada pelos ventos alísios de leste da ZCIT.

Figura 25 –Precipitação mensal média da Amazônia Legal de 1986 a 2015



5.1.1 Mapas de Isoietas

Na análise da distribuição temporal da precipitação interanual na Amazônia Legal, foram elaborados os mapas de isoietas de precipitação anual ao longo de 30 anos e são apresentadas a seguir de 1986 a 1995 (Figura 26), de 1996 a 2005 (Figura 27) e de 2006 a 2015 (Figura 28). Observou-se que padrão espacial da distribuição da precipitação é semelhante durante os anos, com variações crescentes no sentido sul ao norte na região e também variações interanual demonstrados nas precipitações mínima, média e máxima de cada ano (Tabela 7).

Tabela 7 – Precipitações para os anos de 1986 a 2015 da Amazônia Legal

ANO	Mínimo	Médio	Máximo	ANO	Mínimo	Médio	Máximo
1986	1.012	2.215	3.823	2001	908	2.013	3.770
1987	648	1.906	3.226	2002	1.006	1.948	3.816
1988	1.065	2.277	3.327	2003	916	1.964	3.560
1989	1.006	2.387	3.438	2004	1.193	2.061	3.455
1990	509	2.048	4.271	2005	1.070	2.007	3.411
1991	755	2.034	3.114	2006	1.173	2.139	3.759
1992	814	1.898	3.702	2007	797	1.963	3.466
1993	671	2.075	4.379	2008	1.201	2.249	3.702
1994	913	2.182	3.413	2009	1.178	2.197	3.289
1995	1.095	2.015	3.341	2010	952	1.960	3.944
1996	1.106	2.073	4.208	2011	1.226	2.180	3.337
1997	980	1.996	3.478	2012	605	1.999	5.851
1998	747	1.880	4.026	2013	882	2.203	3.405
1999	988	2.093	4.305	2014	899	2.170	4.357
2000	1.186	2.160	3.905	2015	513	1.809	3.933

Na análise do produto da interpolação obteve-se precipitação anual média para o período de 2.070 mm, porém com variações significativas na precipitação anual. Com destaque para o ano de 1989 com a maior média de 2.387 mm e para 2015 com a menor média de 1.809 mm, com amplitude de 578 mm e desvio padrão de 132. Com relação aos índices extremos, no ano de 1990 teve o menor índice pluviométrico mínimo de 509 mm, enquanto em 2012 teve o maior o índice pluviométrico máximo de 5.851 mm.

Figura 26 – Distribuição da Precipitação Anual da Amazônia de 1986 a 1995

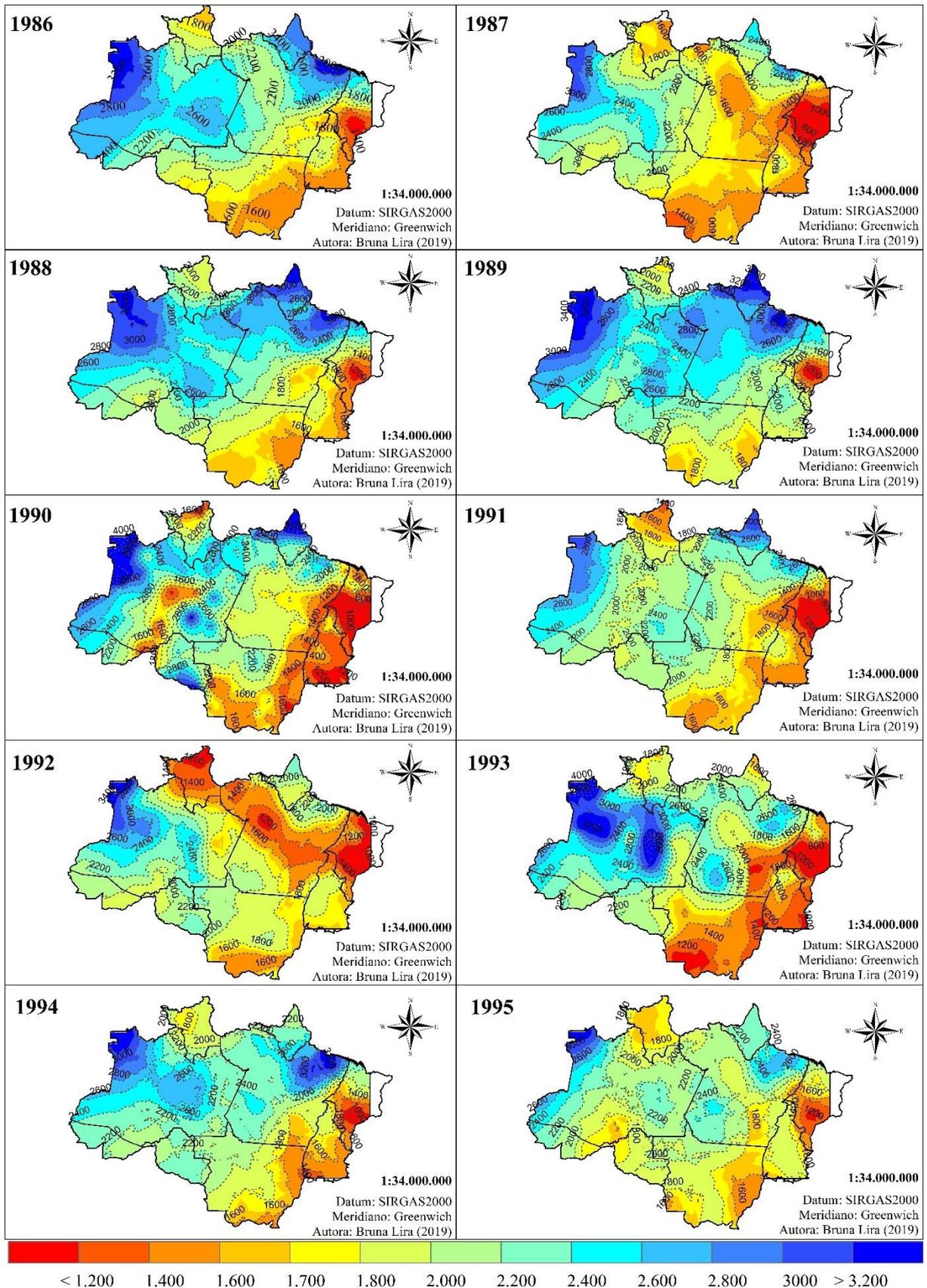


Figura 27 – Distribuição da Precipitação Anual da Amazônia de 1996 a 2005

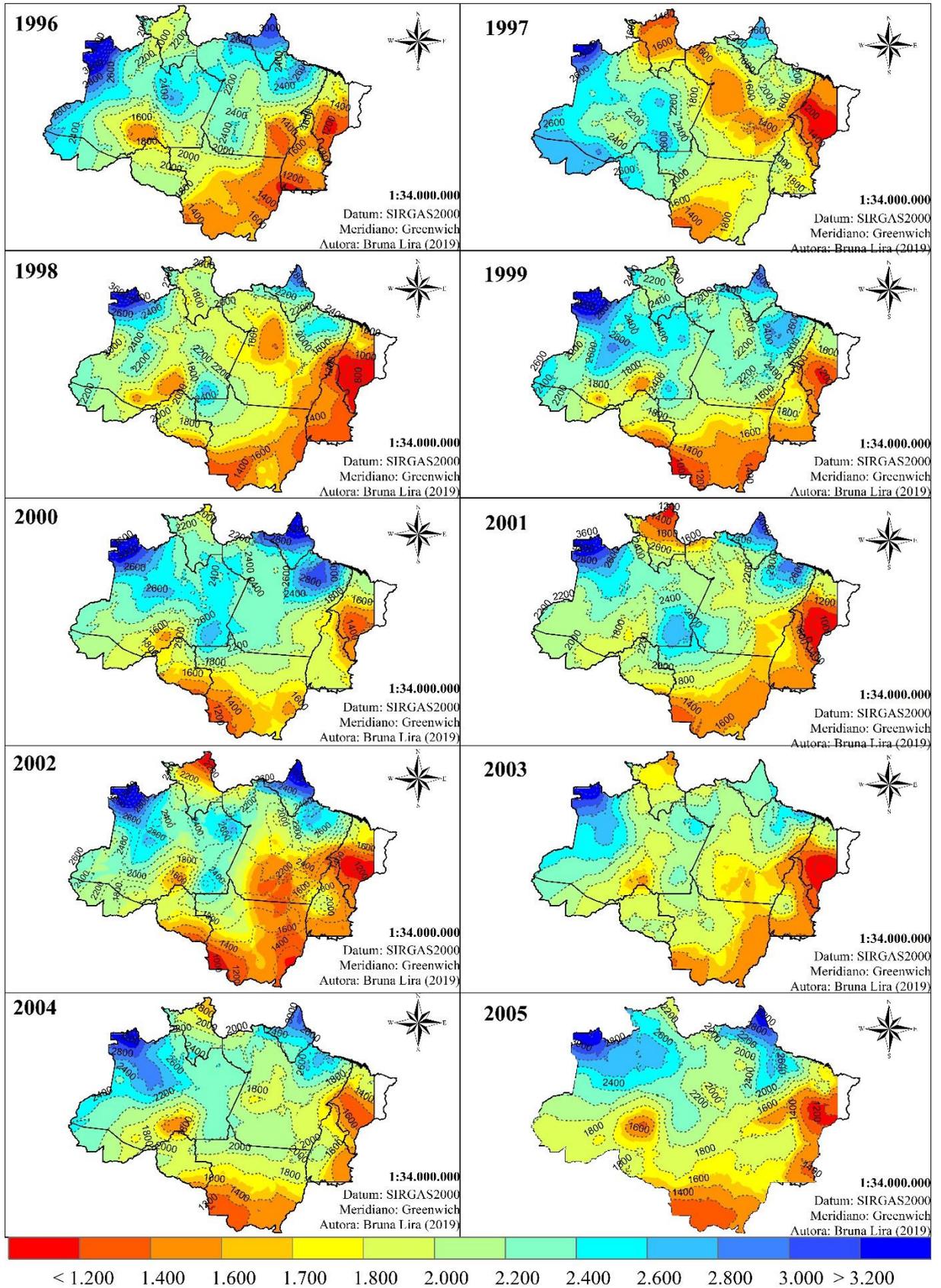
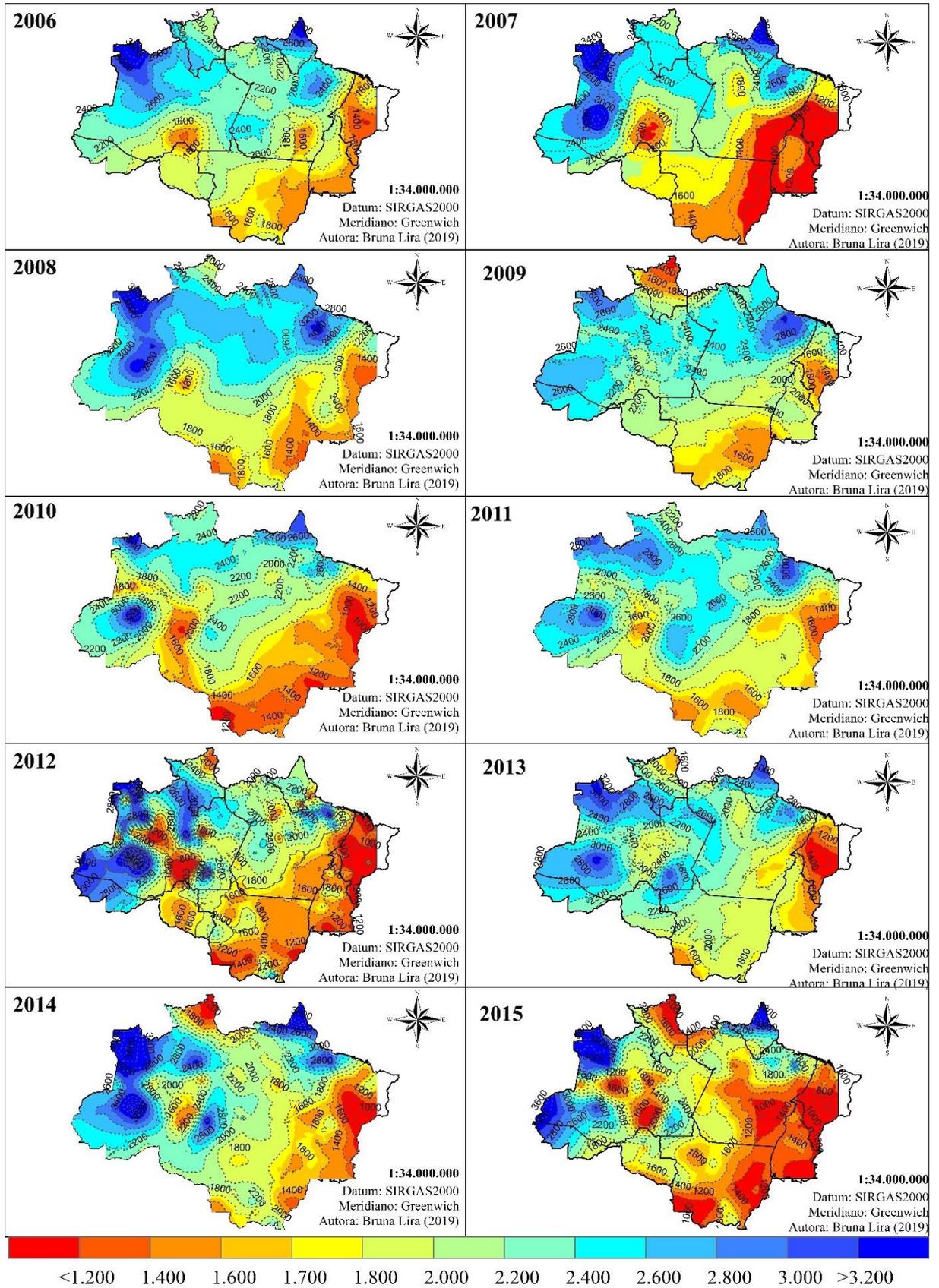


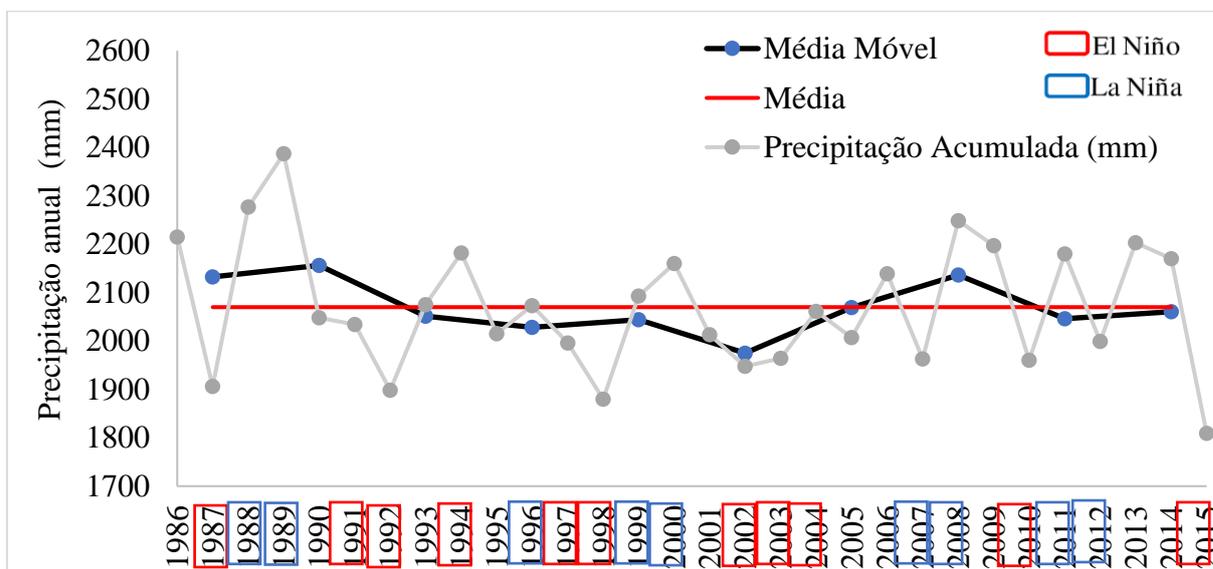
Figura 28 – Distribuição da Precipitação Anual da Amazônia de 2006 a 2015



Segundo Moraes *et al.* (2015), a modulação da variação está diretamente relacionada aos padrões oceano-atmosfera de grande escala, associados aos ciclos de Oscilação Sul (ENOS) e as anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) sobre o Oceano Pacífico e Atlântico. Conforme Nobre *et al.* (2009), a maioria dos estudos de variabilidade interanual da precipitação na Amazônia tem dado maior atenção às anomalias associadas ao fenômeno ENOS.

Para verificar a influência dos fenômenos ENOS de El Niño e La Niña na variação interanual da precipitação na Amazônia Legal no período de 1986 a 2015, utilizou-se a média móvel de ordem de três para a precipitação anual média da região, de acordo com a Figura 29. Os períodos acima da média (linha vermelha) caracterizam-se como períodos chuvosos e os abaixo da média como perdidos menos chuvosos (secos).

Figura 29 – Média Móvel de três períodos Anuais na Amazônia (1986-2015)



Analisando índices de ENOS e as médias móveis de precipitação média de 3 anos, observou-se que alguns eventos de El Niño (cor vermelha) coincidem com os períodos menos chuvosos, assim como, alguns eventos de La Niña (cor azul) acontecem simultaneamente aos períodos chuvosos. Segundo Ishihara *et al.* (2014), as variações significativas na precipitação média anual, ocorrem principalmente durante os anos de El Niño e La Niña, fenômenos climáticos que têm influência direta sobre a precipitação na Amazônia brasileira.

A exemplo, nos anos de 1991, 1997, 1988 e 2015 segundo a série do NOAA foram anos eventos de El Niño forte e muito forte, é obtemos precipitações anuais menor que a média. Assim como nos 1989, 2007 e 2008 teve-se eventos de La Niña forte aumentando a precipitação e coincidos com os períodos chuvosos. Porém, em 1994 teve aumentou apesar de ter ocorrido El Nino, que pode estar relacionado com a intensidade do fenômeno que foi fraco.

5.1.2 Volume Anual Precipitado

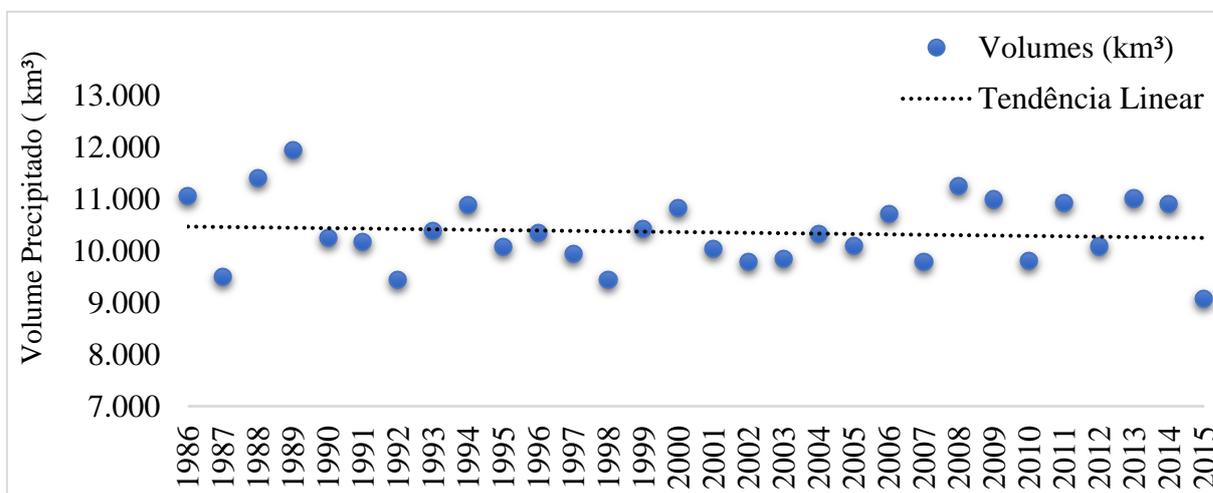
Para estimar o volume anual precipitado na Amazônia Legal ao longo dos 30 anos, utilizou-se os mapas de isoietas de cada ano dentro do período de estudo, onde o mesmo foi calculado a partir da área entre as isoietas e a precipitação média das mesmas, utilizando o SIG, realizou-se o somatório para estimar o volume total, apresentados na Tabela 08. Assim, estimou-se que choveu o volume total de 310.666 km³ para o período de 1986 até 2015.

Tabela 8 – Volume Precipitado nos anos de 1986 a 2015 da Amazônia

ANO	Volumes (km ³)	ANO	Volumes (km ³)	ANO	Volumes (km ³)
1986	11.047,07	1996	10.349,19	2006	10.704,38
1987	9.493,62	1997	9.947,77	2007	9.788,14
1988	11.395,23	1998	9.440,26	2008	11.247,99
1989	11.941,12	1999	10.427,40	2009	10.988,06
1990	10.256,18	2000	10.829,21	2010	9.807,75
1991	10.175,66	2001	10.040,12	2011	10.915,60
1992	9.434,87	2002	9.794,16	2012	10.079,56
1993	10.384,49	2003	9.836,51	2013	11.006,43
1994	10.888,84	2004	10.327,43	2014	10.893,79
1995	10.067,94	2005	10.087,61	2015	9.069,67

Os volumes anuais precipitados foram plotados, juntamente com a linha de tendência para verificar o comportamento do volume (Figura 30). É possível observar uma pequena tendência de decréscimo do volume precipitado, ou seja, indica que a precipitação está diminuindo com o passar dos anos sobre a região da Amazônia Legal.

Figura 30 – Volume Anual Precipitado nos anos de 1986 a 2015 da Amazônia



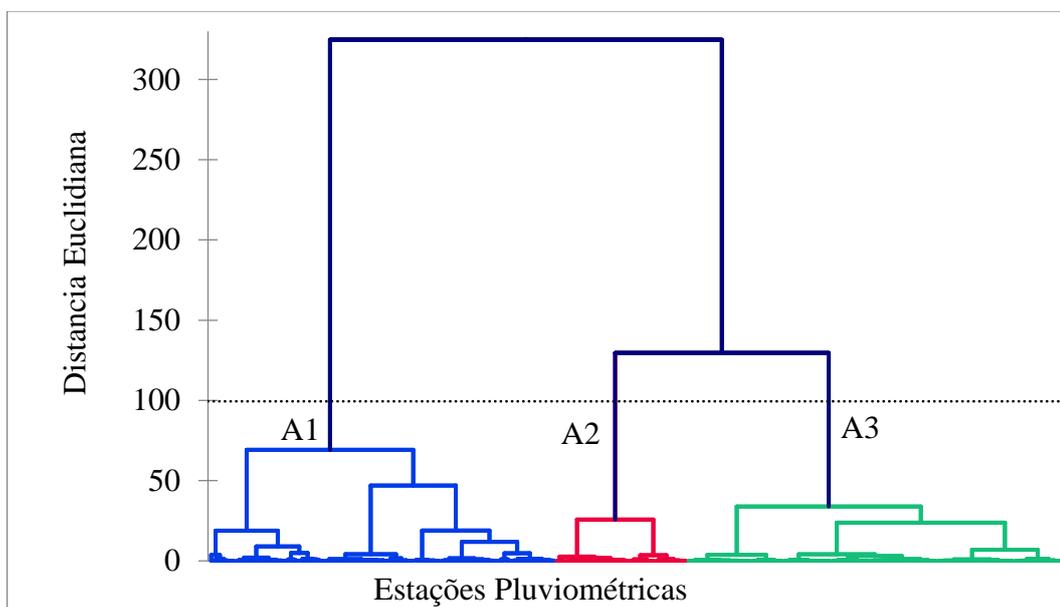
5.2 REGIONALIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICAS

A análise de cluster através do método hierárquico de Ward realizou-se de duas maneiras, na primeira agrupou-se a precipitação anual média e na segunda as precipitações mensais média, em ambas foram utilizadas as coordenadas geográficas latitude e longitude. Para discussão dos resultados variou a distância euclidiana da regionalização para forma três, seis e nove regiões homogêneas pluviométricas, deste modo demonstrar o comportamento temporal e espacial das precipitações médias anuais e mensais para os três cenários formados.

5.2.1 Precipitação Anual média

No primeiro agrupamento utilizou as variáveis precipitação anual média de longo período e as coordenadas latitude e longitude das 268 estações pluviométricas utilizadas neste trabalho. Para forma três regiões pluviométricas homogêneas, realizou-se o corte representado pela linha pontilhada na distância euclidiana próxima de 100 no dendrograma da Figura 31, baseado na maior distância entre os grupos formados, representados pelas cores vermelha, azul e verde.

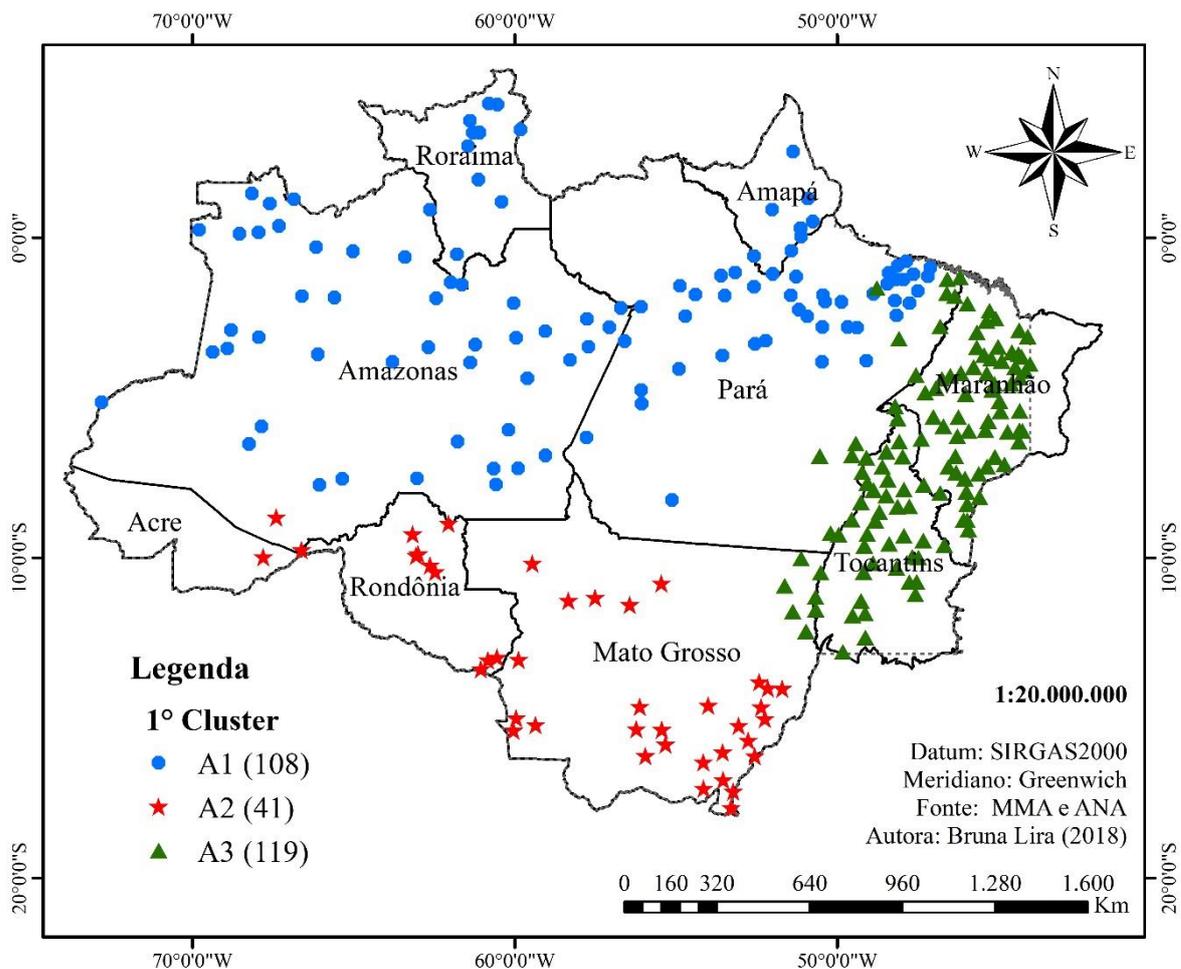
Figura 31 – Dendrograma das três regiões pluviométricas homogêneas



Segundo Santos *et al.* (2014), três regiões homogêneas são suficientes para representar os diferentes padrões de precipitação na Amazônia. Pois as regiões são coerentes com a atuação dos principais sistemas atmosféricos responsáveis pela formação de chuva na Amazônia. Já que no Norte é a ZCIT e as linhas de instabilidades, e no Sul a circulação geral e a alta Bolívia (REBOITA *et al.*, 2010). Além das influências dos fenômenos ENOS e das Anomalias TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico (ALMEIDA *et al.*, 2015; REBOITA *et al.*, 2010).

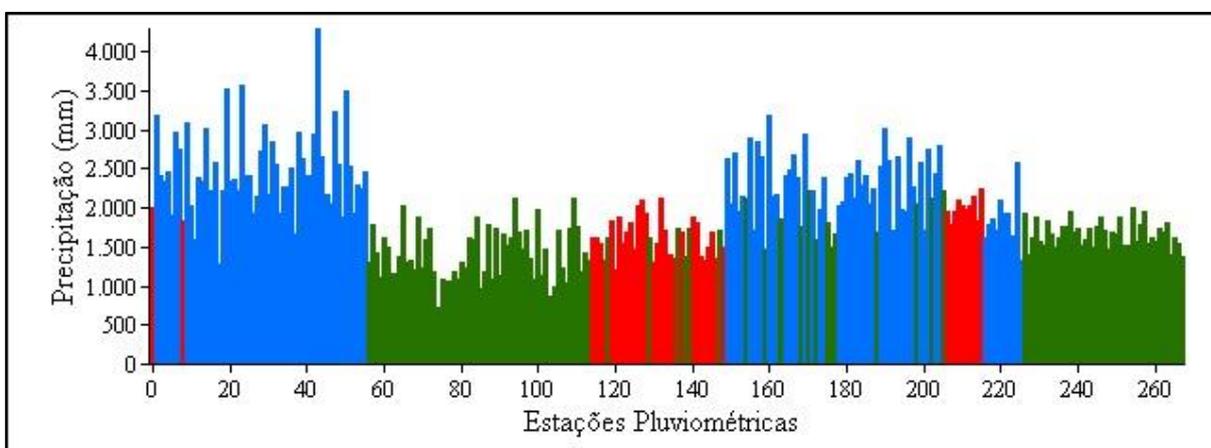
As três regiões pluviométricas homogêneas foram espacializadas através da distribuição das estações pluviométricas na Amazônia Legal (Figura 32), diferenciadas pelas formas e cores que são apresentadas as estações no mapa. A **Região A1** agrupou 108 estações pluviométricas representadas pela cor azul (40,3%), estão distribuídas no noroeste da Amazônia abrangem os estados do Amapá, Roraima Amazonas e grande parte do estado do Pará, está apresentou os maiores índices pluviométricos e precipitação média de 2.390 mm/ano, acima da média geral. A **Região A2** agrupou 41 estações pluviométricas indicadas pela cor vermelho (15,3%), estão localizadas no sul da Amazônia compreendem os estados do Acre, Mato Grosso e Rondônia, apresentou precipitação média de 1.733 mm/ano, abaixo da média geral da região amazônica. Já a **Região A3** agrupou 119 estações pluviométricas indicadas pela cor verde (44,4%), distribuídas no leste da Amazônia abrangem os estados do Maranhão, Tocantins e uma pequena parte do estado do Pará, apresentou os menores índices pluviométricos e a precipitação média de 1.561 mm/ano, abaixo da média da região amazônica.

Figura 32 – Espacialização das Três Regiões Pluviométricas da Amazônia



Na Figura 33 tem-se as precipitações anuais médias das 268 estações, as cores indicam as regiões pertencente, nota-se que as estações agrupadas estão na mesma faixa de precipitação. Verificou-se quanto as precipitações estão próximas em termo quantitativo por meio do coeficiente de variação (CV), que é a divisão do desvio padrão pela média. Deste modo, a **Região A1** apresentou CV de 21% dos dados em relação à média, a amplitude de 3.000 mm e o desvio padrão de 492. A **Região A2** teve CV de 16% em relação à média, amplitude de 1.000 mm e o desvio padrão de 278, e a **Região A3** apresentou CV de 20% em relação à média, amplitude de 1.500 mm e desvio padrão de 307.

Figura 33 – Precipitações Anuais Médias das três Regiões Pluviométricas da Amazônia



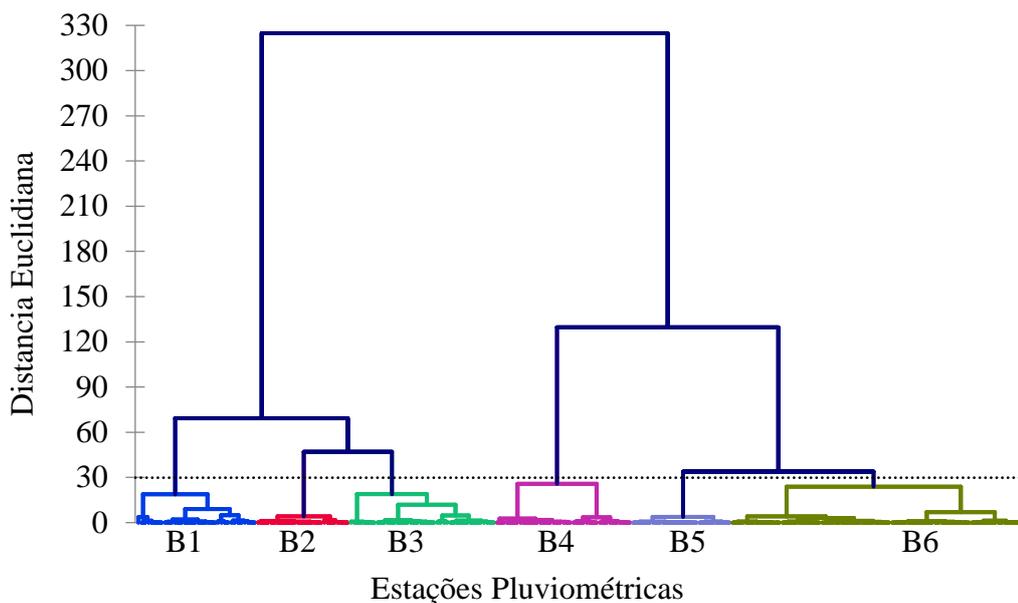
O agrupamento calcula a soma dos quadrados entre os grupos, somados sobre as variáveis precipitação, longitude e latitude. Portanto, na análise das três regiões (Tabela 9), verificou-se que **Região A1** é a menos homogênea pois teve a maior variação interna do grupo de 2,05, devido a menor semelhança dos dados de precipitação e coordenadas, demonstrados pelo CV da precipitação e pelos dados de longitude e latitude são mais distintos é influenciou na variação. A **Região A2** é a intermediária, pois apresentou a variação interna do grupo de 0,98 apesar de ter o menor coeficiente de variação dos dados de precipitação as estações estão distantes. Já **Região A3** é a mais homogênea teve a menor variação interna do grupo de 0,746, pois os dados de precipitações e de coordenadas geográficas são os mais semelhantes.

Tabela 9 – Dados das três Regiões Pluviométricas Homogêneas

Regiões	A1	A2	A3
Nº de estações	108	41	119
Precipitação Mínima (mm/ano)	1.290,7	1.203,5	712,7
Precipitação Média (mm/ano)	2.390,7	1.733,7	1.561,4
Precipitação Máxima (mm/ano)	4.296,0	2.243,6	2.229,1
Varição interna do grupo	2,05	0,98	0,75

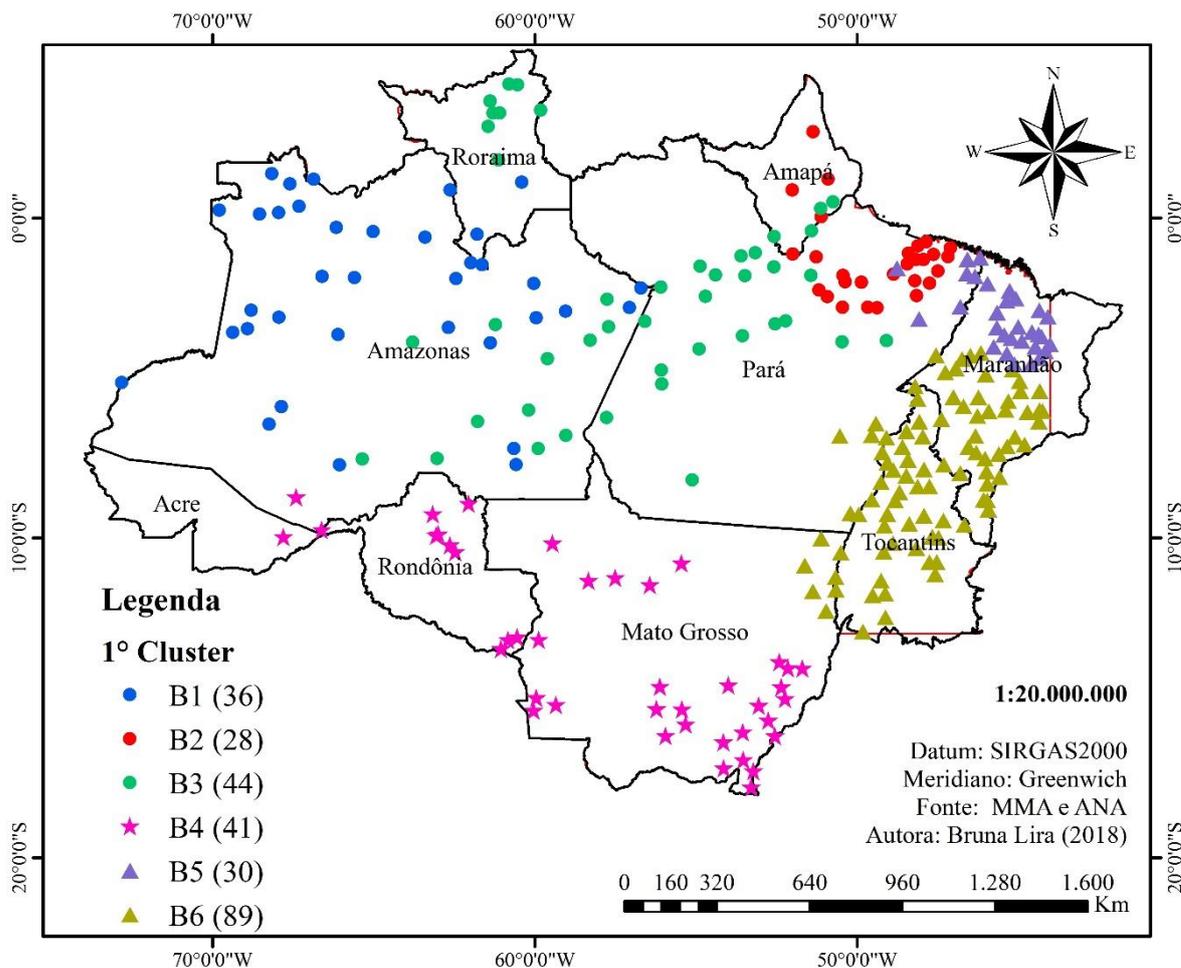
Destaca-se que a Amazônia apresenta grande extensão territorial e precipitações anuais médias variando entre 509 até mais de 5.000 mm/ano. Logo, dependendo do grau de análise a divisão em três regiões pode não ser suficiente para o planejamento de diversas atividades. Então, para formar seis regiões pluviométricas homogêneas, realizou-se o segundo corte a linha pontilhada na distância euclidiana 29 no dendrograma da Figura 34, que resultará em volumes precipitados mais específicos, que pode contribuir para análises mais precisas do conhecimento.

Figura 34 – Dendrograma das seis Regiões Pluviométricas Homogêneas



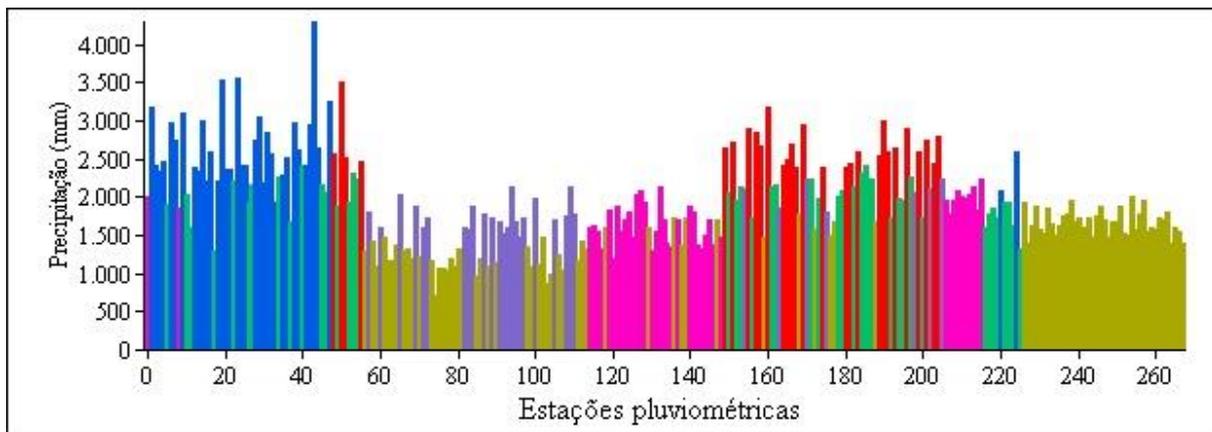
As disposições das estações pluviométricas das seis regiões pluviométricas homogêneas da Amazônia Legal estão na Figura 35, sendo que a Região A1 que apresentou a maior variação, subdividiu-se em três: a **Região B1** agrupou 36 estações indicadas de azul (13,4%), distribuídas nos estados do Amazonas e Roraima, apresentou a maior precipitação média de 2.681 mm/ano; a **Região B2** agrupou 28 estações indicadas pela cor vermelha (10,4%), localizadas no estado do Amapá e no norte do Pará com a segunda maior precipitação média de 2.678 mm/ano. e a **Região B3** com 44 estações indicadas pela cor verde (16,4%), estão distribuídas nos estados do Pará, Amazonas e Roraima e apresentou precipitação média de 1970 mm/ano. A Região A2 não se subdividiu, permaneceu a mesma, entretanto como **Região B4** com as 41 estações pluviométricas indicadas pela cor rosa (15,3%). A Região A3 subdividiu-se em duas regiões: a **Região B5** que agrupou 30 estações pluviométricas representada pela cor lilás (11,2%) localizadas no noroeste do Maranhão e uma pequena parte do nordeste Paraense e Amapá, com precipitação anual média de 1.827 mm/ano; e a **Região B6** que agrupou 89 estações indicadas pela cor amarela (33,2%), distribuídas no estado do Tocantins e no Sul do Maranhão e apresentou a menor precipitação média de 1.472 mm/ano.

Figura 35 – Espacialização das seis Regiões Pluviométricas da Amazônia



Na Figura 36 tem-se as precipitações anuais médias das 268 estações Pluviométricas, as cores indicam as regiões pertencente. Observou-se que as maiores precipitações anuais estão no noroeste do Amazonas na região B2 (azul) e no litoral do Pará na região B4 (vermelha), com índices maiores que 2.000 mm/ano. Já as menores precipitações anuais estão no Tocantins e no Sul do Maranhão na região B5 (amarela) com precipitações em torno de 1.500 mm/ano.

Figura 36 – Precipitações Anuais Médias das Seis Regiões Pluviométricas da Amazônia



Analisando apenas os dados de precipitações das seis regiões em termos quantitativos, através do coeficiente de variação. De tal modo, a **Região B1** apresentou CV de 18% dos dados de precipitação em relação à média, a amplitude de 2.368 mm e o desvio padrão de 478; a **Região B2** apresentou CV de 10% em relação à média, amplitude de 1.112 mm e desvio padrão de 264; a **Região B3** apresentou CV de 13%, amplitude de 1.114 mm e desvio padrão de 260; a **Região B4** apresentou CV de 16%, amplitude de 1.040 mm e o desvio padrão de 278. a **Região B5** teve CV de 12%, amplitude da precipitação de 746 mm e o desvio padrão de 215; e a **Região B6** apresentou CV de 19%, a amplitude de 1.300 mm e o desvio padrão de 282.

Também foram analisados os dados dos agrupamentos das seis regiões e os resultados são apresentados na Tabela 10, observou-se que as **Regiões B1 e B3** são as menos homogêneas pois tiveram as maiores variações interna do grupo de 1,35 e 1,08 respectivamente, resultado da dissimilaridade entre os elementos agrupados, pois tiveram ampla variação nos dados de precipitação e/ou as estações pluviométricas estão muito espacializadas, ou seja, mais distantes uma das outras. As **Regiões B6 e B4** apresentaram variação interna do grupo de 0,54 e 0,98 respectivamente, são as intermediárias. As **Regiões B5 e B2** são as mais homogêneas pois apresentaram as menores variações internas do grupo de 0,22 e 0,34 respectivamente, resultado da semelhança dos dados de precipitações e das coordenadas latitude e longitude, pois são pequenos os CV da precipitação destas regiões e são pequenos os distanciamentos das estações.

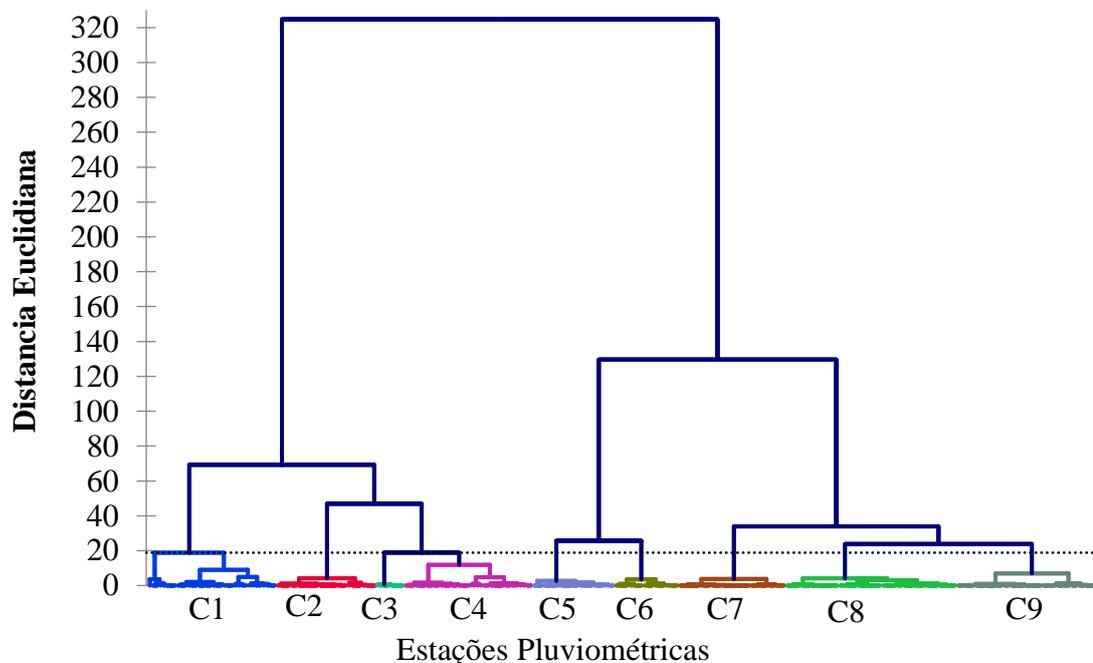
Tabela 10 – Dados das Seis Regiões Pluviométricas Homogêneas

Regiões	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Nº de estações	36	28	44	41	30	89
Precipitação Mínima (mm/ano)	1.928	2.389	1.291	1.204	1.483	713
Precipitação Média (mm/ano)	2.681	2.678	1.970	1.734	1.827	1.472
Precipitação Máxima (mm/ano)	4.296	3.501	2.405	2.244	2.229	2.013
Variação interna do grupo	1,35	0,34	1,08	0,98	0,22	0,54

Destaca-se que seis regiões pluviométricas homogêneas para a Amazônia também foram encontradas nos estudos de Santos *et al.* (2014), que sugeriu seis regiões para estudos mais detalhados. E de Delahaye *et al.* (2015), que analisaram 10 anos de dados e concluíram que na Amazônia a precipitação anual média aumenta ao longo do meridiano do centro-sul para o norte, tendo o sul cerca de 1.500 mm/ ano e o norte até mais de 3.000 mm/ano. Contudo, como a Amazônia apresenta ampla variabilidade pluviométrica e muito lugares desprovidos de monitoramento, conhecer valores precipitados mais específicos podem ajudar na elaboração de projetos ou planejamentos que precisem conhecer a oferta de água advinda da precipitação.

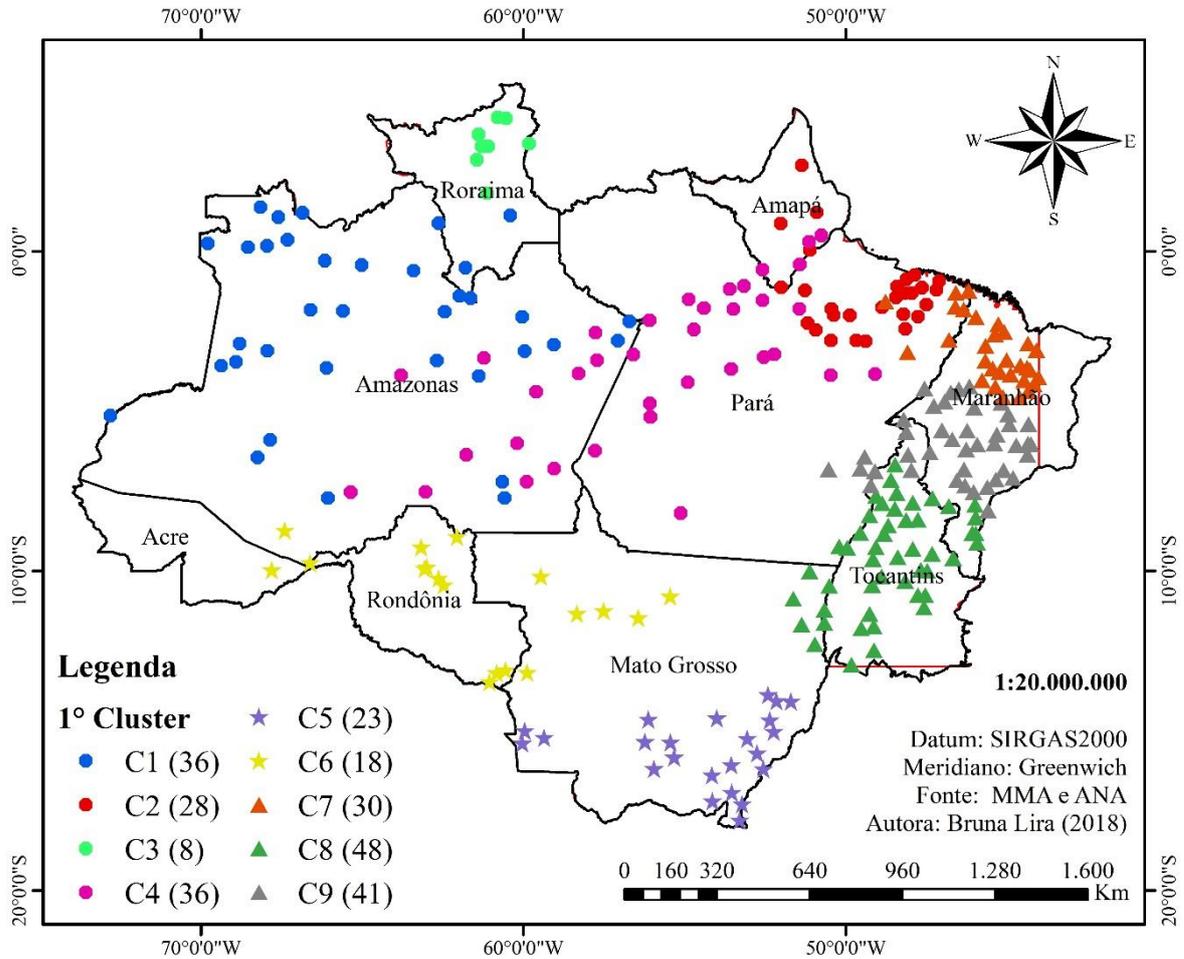
Neste contexto, para subdividir em nove regiões pluviométricas homogêneas realizou-se o terceiro corte na distância euclidiana 19 no dendrograma (Figura 37), assim este agrupamento resultou um número maior de regiões e com características mais semelhantes.

Figura 37 – Dendrograma das Nove Regiões Pluviométricas Homogêneas



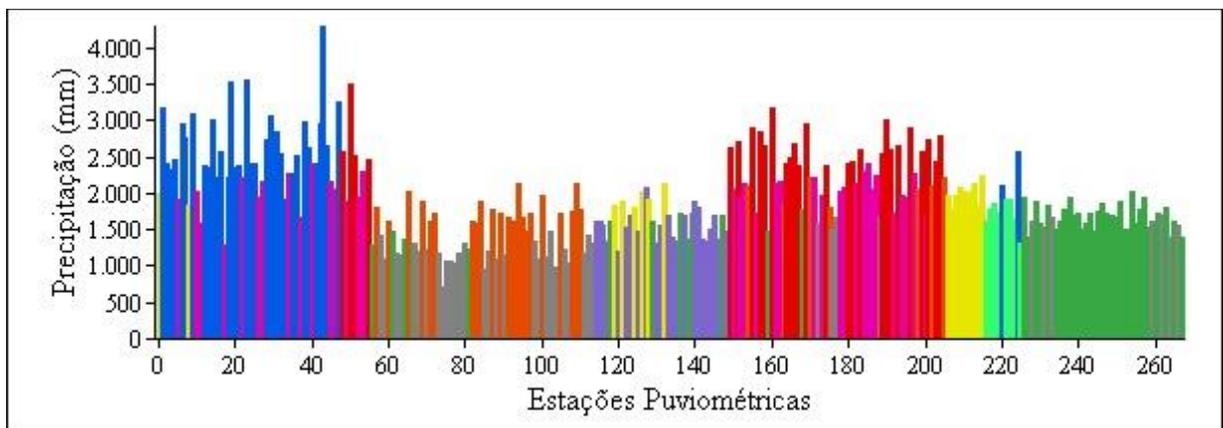
As nove regiões pluviométricas homogêneas da Amazônia Legal estão espacializada na Figura 38, comparando com a primeira regionalização corresponde ao triplo, sendo que a região A a região A1 subdividiu-se em quatro regiões: a **Região C1** que agrupou 36 estações (azul) na maior parte do Amazonas e no sul de Roraima, apresentou precipitação média 2.681 mm/ano; a **Região C2** com 28 estações (vermelha) ao norte do Amapá e nordeste do Pará apresentou precipitação média de 2.678 mm/ano; a **Região C3** agrupou 8 estações (verde claro) no norte de Roraima com precipitação média de 1.720 mm/ano; e a **Região C4** com 36 estações (rosa) espalhadas nos estados do Amazonas, Pará e Amapá com precipitação média de 2.026 mm/ano. A Região A2 se subdividiu em duas regiões: a **Região C5** agrupou 23 estações (lilás) no sul do Mato Grosso com precipitação média 1.546 mm/ano; e a **Região C6** com 18 estações (amarela) no Acre, Rondônia e noroeste do Mato Grosso teve precipitação média de 1.973 mm/ ano. Já a região A3 subdividiu-se em três regiões: a **Região C7** com 30 estações (laranja) ao norte do Maranhão e nordeste do Pará com precipitação média de 1.827 mm/ano; a **Região C8** que agrupou 48 estações (verde) no Tocantins e uma pequena parte do Mato Grosso e Maranhão com precipitação média de 1641 mm/ano; e a **Região C9** com 41 estações (cinza) no sul do Maranhão e uma pequena parte do Tocantins e Pará, com precipitação média de 1.274 mm/ano.

Figura 38 – Espacialização das Nove Regiões Pluviométricas da Amazônia



Na Figura 39 tem-se as precipitações anuais médias das 268 estações Pluviométricas, as cores indicam o índice pluviométrico das estações e as regiões pertencente. Nota-se que os subdividiram-se variando os volumes precipitados, tornando-se mais semelhantes os valores de cada grupo e que apesar de estarem na mesma região tem índices pluviométricos.

Figura 39 – Precipitações Anuais Médias das Nove Regiões Pluviométricas da Amazônia



Analisando apenas os dados de precipitações das nove regiões homogêneas em relação de quanto estão próximos em termos quantitativos, através do coeficiente de variação (CV). Portanto, a **Região C1** apresentou CV de 18% dos dados de precipitação em relação ao média, amplitude de 2.368 mm e desvio padrão de 478,9; a **Região C2** apresentou CV de 10%, a amplitude de 1.111 mm e o desvio padrão de 262; a **Região C3** apresentou CV de 12%, a amplitude de 613 e o desvio padrão de 202; a **Região C4** teve CV de 12%, amplitude de 1.114 mm e desvio padrão de 240; a **Região C5** teve CV de 14%, a amplitude de 889mm e desvio padrão de 211; a **Região C6** teve CV de 6%, a amplitude de 468 mm e desvio padrão de 128; a **Região C7** apresentou CV de 12%, a amplitude de 746 mm e o desvio padrão de 215; a **Região C8** apresentou CV de 11%, a amplitude de 771 mm e o desvio padrão de 188; já a **Região C9** apresentou CV de 19%, a amplitude de 980 mm e o desvio padrão de 243;

A análise descritiva dos agrupamento das nove regiões homogêneas, estão na Tabela 11, observou que a **Regiões C1 (Azul)** teve a maior variação interna do grupo de 1,35 porque apresentou CV de precipitação de 18% e as estações estão mais distantes umas das outras. A **Região C3** (verde claro) é a mais homogênea pois apresentou a menor variação interna de 0,17, significa que foi a região com maior semelhança entre os dados agrupados, tanto de precipitação quanto das coordenadas latitude e longitude. Seguidas das **Regiões C7, C8 e C9** que tiveram variação interna do grupo de 0,22; 0,26 e 0,29

Tabela 11 – Dados das Nove Regiões Pluviométricas Homogêneas

Regiões	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Nº de estações	36	28	8	36	23	18	30	48	41
Precipitação Mínima (mm/ano)	1.928	2.389	1.316	1.291	1.203	1.776	1.483	1.242	713
Precipitação Média (mm/ano)	2.681	2.678	1.720	2.026	1.546	1.973	1.827	1.641	1.274
Precipitação Máxima (mm/ano)	4.296	3.500	1.929	2.405	2.092	2.244	2.229	2.013	1.693
Variação interna do grupo	1,35	0,34	0,17	0,75	0,32	0,39	0,22	0,26	0,29

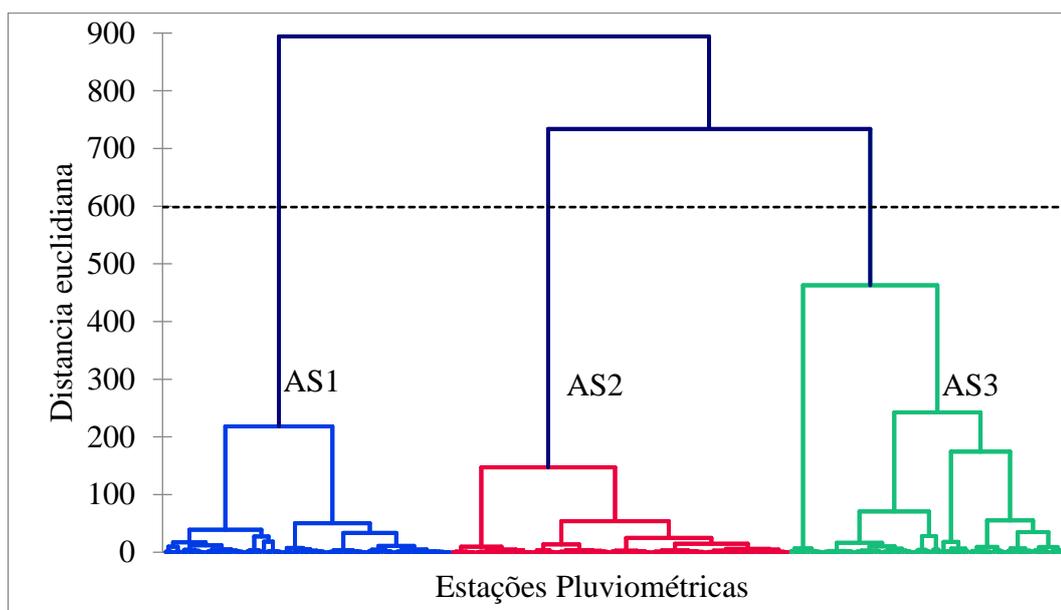
Nesta regionalização os elementos agrupados são precipitação, latitude e longitude. Para Menezes et al. (2015), o procedimento é eficiente na tentativa de entender como a precipitação está distribuída, pois áreas extensas não apresentam uma característica pluviométrica única. Portanto, na análise da similaridade entre os grupos, são considerados a viação dos dados de precipitação e as distâncias vertical e horizontal das estações, devido as coordenadas latitude e longitude. Deste modo, quanto menor o CV das precipitações e mais próximas estejam as estações pluviométricas, maior é a similaridade entre os dados das estações agrupadas por regiões, consequentemente menor a variação interna do grupo.

5.2.2 Precipitação mensal média

No segundo agrupamento utilizou-se os dados de precipitações mensais de longo período e as coordenadas latitude e longitude das 268 estações pluviométricas da Amazônia Legal, para encontrar regiões homogêneas com comportamentos pluviométricos sazonais semelhantes, isto é, com um padrão de distribuição dos volumes precipitados mensais ao longo do ano similar. De acordo com Santos et al. (2014), a extensão da Amazônia e a presença de diferentes características meteorológicas e climáticas, são fatores que contribui para não homogeneidade da distribuição sazonal das chuvas na região.

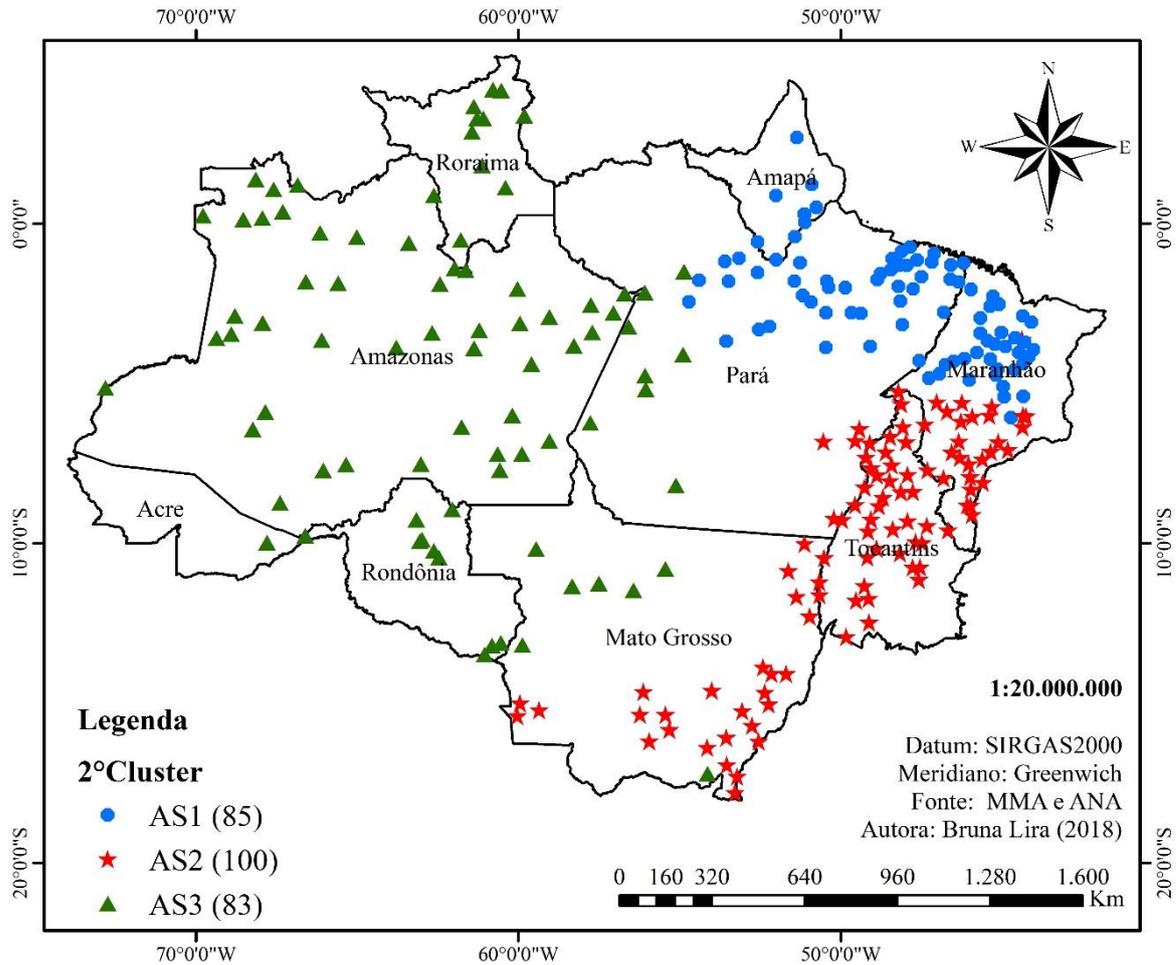
De tal modo que para subdividir em três regiões pluviométricas sazonais homogêneas, realizou-se o corte na distância euclidiana cerca de 600 no dendrograma da Figura 40, baseado na maior distância entre os grupos formados, indicadas pelas cores azul, vermelha e verde.

Figura 40 – Dendrograma de três Regiões Pluviométricas Sazonais Homogêneas



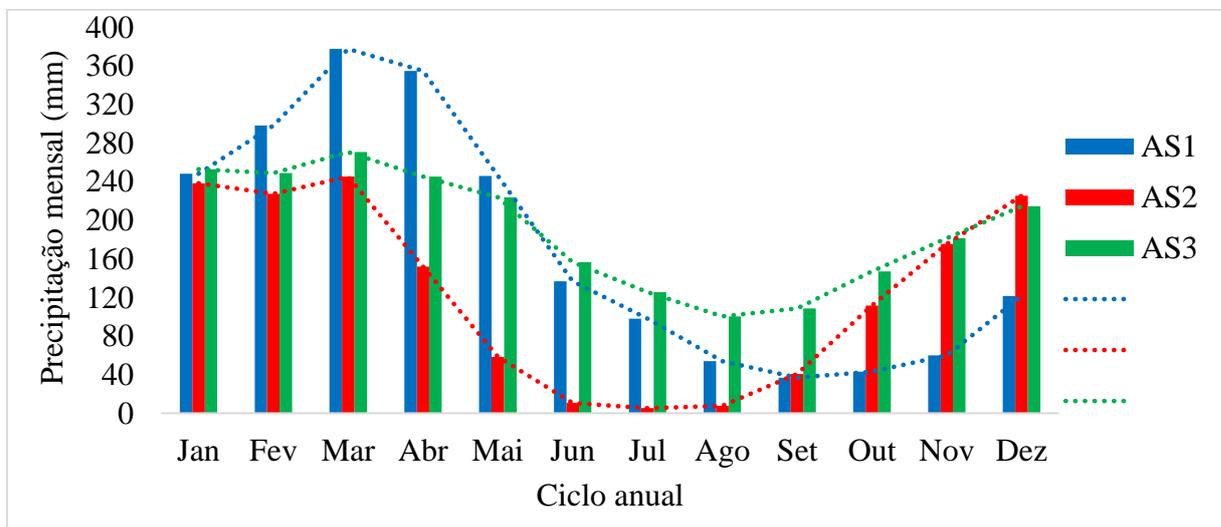
As três regiões pluviométricas sazonais homogêneas foram espacializadas através da distribuição das estações pluviométricas de cada uma região na Amazônia Legal (Figura 41). Sendo que a **Região AS1** agrupou 85 estações representadas pela cor azul, que estão localizadas no Nordeste da Amazônia e distribuídas no estado do Amapá, nordeste do Pará e norte do Maranhão. A **Região AS2** agrupou 100 estações representadas pela cor vermelha, localizadas no Sudeste da Amazônia estão distribuídas no sul do Maranhão, no estado do Tocantins e grade parte do Mato Grosso. Já **Região AS3** agrupou 83 estações representadas pela cor verde, localizada no Noroeste da Amazônia estão distribuídas nos estados de Roraima, Amazonas, Acre e Rondônia, também o leste do estado do Pará e noroeste do Mato Grosso.

Figura 41 – Três Regiões Pluviométricas Sazonais Homogêneas na Amazônia



Para demonstrar o comportamento pluviométrico sazonal das três regiões homogêneas, utilizou-se o ciclo anual da precipitação (Figura 42), com a variação dos volumes precipitados obtido com as médias dos doze meses do período de estudo com as estações de cada região.

Figura 42 – Ciclo da Precipitação nas três regiões homogêneas da Amazônia (1986-2015)



Segundo Azevedo *et al.* (2017), na evolução mensal da precipitação evidenciam-se as variabilidades pronunciadas temporalmente ao longo dos meses do ano. Deste modo, conhecer o ciclo anual da precipitação é indispensável nos processos de planejamento agrícolas para sistemas de irrigação, e de abastecimento de água para verificar o atendimento das demandas. Como observou-se as regiões homogêneas sazonais apresentam comportamentos distintos uma das outras, tanto a lâmina mensal precipitada quanto nas distribuições dos volumes precipitados mensais que influenciam nos períodos chuvosos e menos chuvoso (seco).

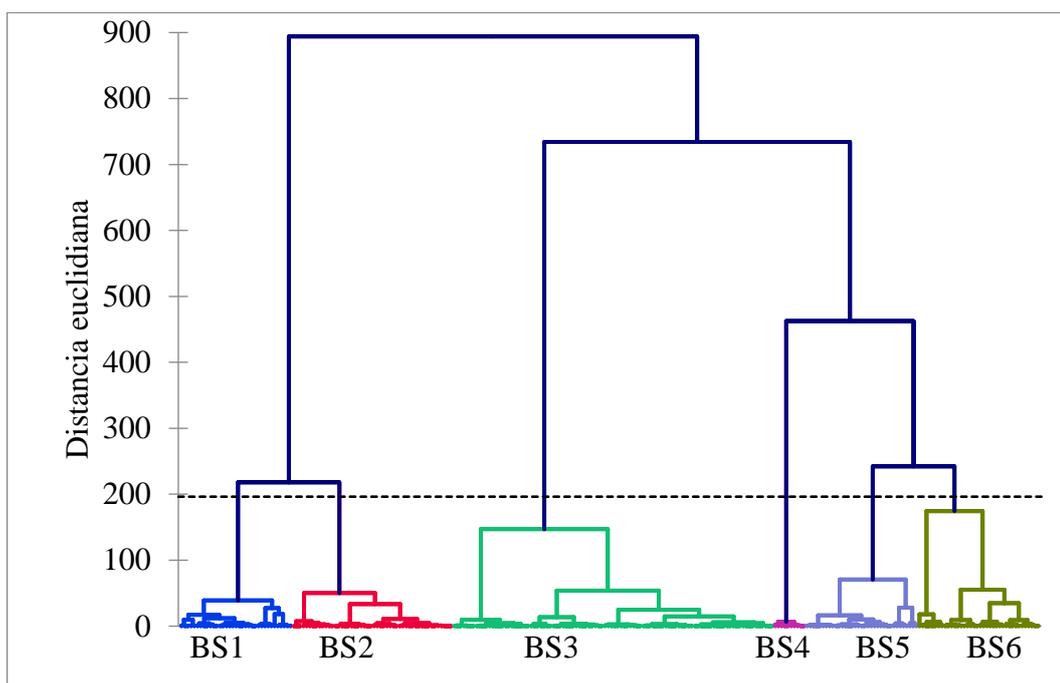
O Nordeste da Amazônia a **Região AS1** teve precipitação mensal média de 190 mm, mas com ampla variação dentro do ciclo anual. Formando três períodos bem definidos, o período chuvoso durante os meses de janeiro até maio com a precipitação variando de 248 a 377 mm, o período menos chuvoso que ocorre de julho até novembro, variando de 37 a 97 mm e o período de transição os meses de julho e dezembro, com média de 136 e 121 mm, respectivamente. Destaque para o mês de março pois teve o maior índice de chuva da Amazônia. Segundo Menezes *et al.* (2015), o fenômeno de escala planetária a ZCIT e os fenômenos de mesoescala como as LIs, têm grande influência na climatologia da precipitação desta região.

O Sudeste da Amazônia a **Região AS2** tem o ciclo da precipitação menos acentuado, apresentou o período chuvoso nos meses de novembro até março variando de 175 a 245 mm, o período menos chuvoso de maio até setembro com variação de 5 a 58 mm e entre estes o período de transição que são os meses de abril com média de 151 mm e outubro de com média 111 mm, pois nestes tem-se o aumento ou a diminuição gradativa da precipitação. Nota-se que os meses de dezembro até março são chuvosos, acima da média mensal desta região que é de 135 mm. E que de junho até agosto é quase de estiagem, pois os índices são iguais ou menores que 10mm.

O Noroeste da Amazônia a **Região AS3** caracteriza-se pela presença de chuva durante todo ano, com as todas as mensais médias maiores que 100 mm, ausente o período de estiagem, resultando na precipitação mensal média de 190 mm para esta região. Porém dividindo tem-se o período chuvoso nos meses de dezembro até maio com variação entre 215 a 270 mm, e o período menos chuvoso nos meses de junho até dezembro variando entorno de 100 até 181 mm. A chuva no noroeste da Amazônia pode ser entendida como resposta à flutuação dinâmica do centro quase permanente de convecção nesta região (MARENGO E HASTENRATH, 1993). Segundo Santos *et al.* (2014), as chuvas são bem distribuídas durante o ano, devido a atuação contínua da massa equatorial continental. O transporte de vapor d'água que alimenta as chuvas ocorre de leste para oeste durante todo o ano (ROCHA *et al.*, 2015).

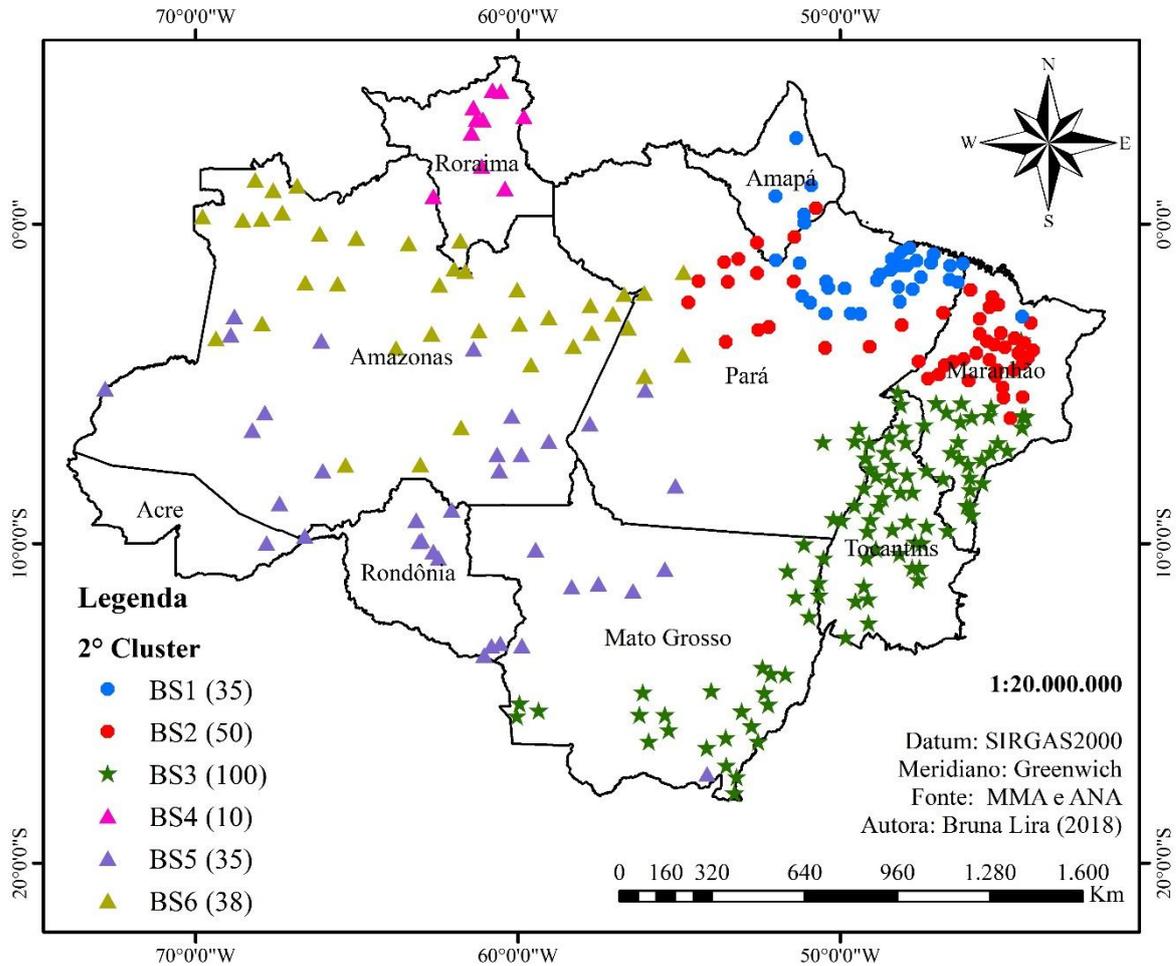
A regionalização das precipitações mensais a partir de séries históricas possibilita avaliar a variabilidade espacial entre as diferentes regiões formadas e a variabilidade temporal. Então para formar seis regiões pluviométricas sazonais homogêneas para a Amazônia Legal, realizou o segundo corte na distância euclidiana 196 no dendrograma da Figura 43. O resultado definirá para as regiões a variação dos volumes precipitados durante o ano, que podem ser utilizados para áreas da Amazônia com baixa ou ausência de cobertura de postos de monitoramento.

Figura 43 – Dendrograma de seis Regiões Pluviométricas Sazonais Homogêneas



As seis regiões pluviométricas sazonais homogêneas da Amazônia Legal, estão exibidas na Figura 44, com a distribuição espacial das alturas precipitadas das estações de cada região. Sendo que a Região AS1 subdividiu-se em duas: a **Região BS1** que agrupou 35 estações indicadas pela cor azul localizadas no estado do Amapá e no litoral nordeste do estado do Pará e a **Região BS2** que agrupou 50 estações indicadas pela cor vermelha distribuídas ao norte no Maranhão e uma parte do estado do Pará. Já a Região AS2 não se subdividiu, permaneceu a mesma com 100 estações, porém como a **Região BS3** indicadas pela cor verde. A Região AS3 subdividiu-se em três: a **Região BS4** com 10 estações pluviométricas indicadas pela cor rosa localizada apenas no estado de Roraima, a **Região BS5** que agrupou 35 estações representada pela cor lilás abrangendo os estados de Acre, Rondônia, noroeste do Mato Grosso e o sul dos estados do Pará e Amazonas; e a **Região BS6** agrupou 38 estações indicadas pela cor amarela pertencente ao norte do Amazonas e uma pequena parte no Pará.

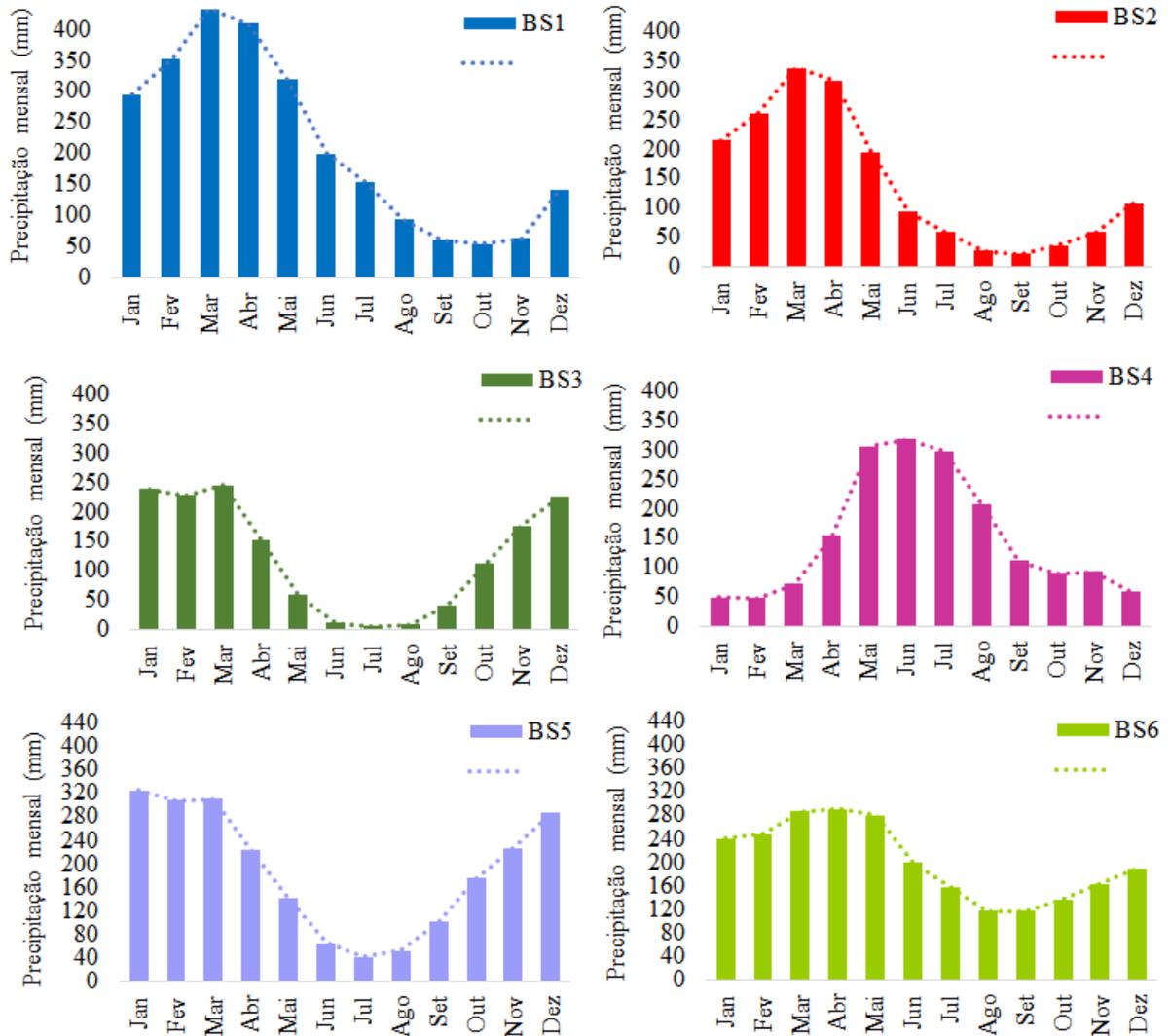
Figura 44 – Seis Regiões Pluviométricas Sazonais Homogêneas na Amazônia



Como produto da regionalização das seis regiões pluviométricas sazonais homogêneas da Amazônia Legal tem-se o ciclo anual da precipitação na Figura 45, demonstra os regimes pluviométricos sazonais, com os valores médios de precipitações mensais de cada região.

Nota-se que o comportamento sazonal das **Regiões BS1 e BS2** apresentam semelhança na distribuição pluviométrica durante o ano, com o trimestre chuvoso nos meses de fevereiro, março e abril com índices maiores que 260 mm/mês. A diferença está relacionada a variação do volume precipitado, já que a **BS1** tem índices maiores, com destaque para o valor médio de março de 433 mm e a **BS2** teve médio de março de 338 mm, quase 100 mm de diferença. Assim como as regiões **BS3 e BS5** que apresentaram comportamento ao longo do ano semelhantes, caracterizam-se com o início do período chuvoso em novembro e o fim em abril, já o período menos chuvoso nos meses de junho até setembro e o de transição nos meses de maio e outubro. Contudo com variação na intensidade, com destaque para o trimestre menos chuvoso em junho, julho e agosto, quando a **BS3** tem estiagem com médias mensais de 10, 5 e 7 mm/mês, enquanto a **BS5** tem médias mensais de 64, 41 e 51 mm/mês, respectivamente.

Figura 45 – Ciclo anual da Precipitação nas seis regiões da Amazônia (1986-2015)

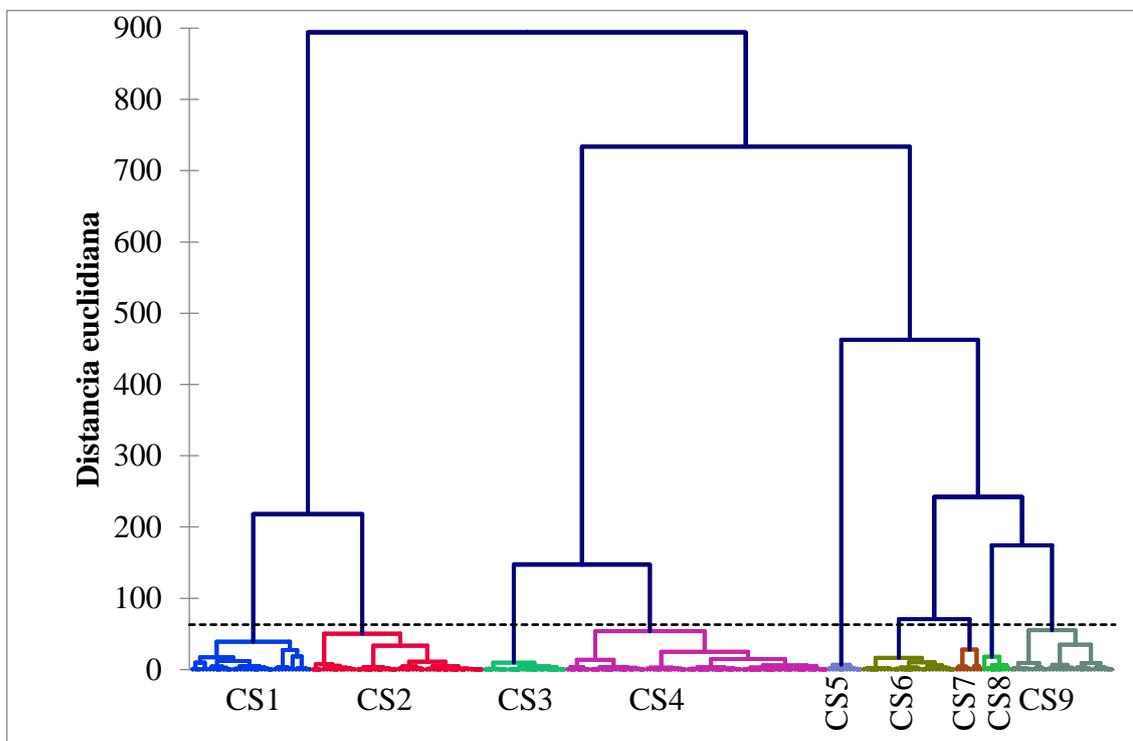


A **Região BS4** apresentou comportamento atípico pois o trimestre mais chuvoso é formado pelos meses de maio, junho e julho com precipitações médias de aproximadamente 300 mm, já o trimestre menos chuvoso ocorre em dezembro, janeiro e fevereiro, totalmente oposto das outras regiões da Amazônia, pois tem índices mensais médios altos durante estes meses. Isto porque a região **SB4** agrupou as estações do estado de Roraima que está no Hemisfério Norte e a ocorrência do inverno austral coincide com a posição da ZCIT, quando se tem os maiores volumes precipitados nesta região.

Na **Região BS6** observa-se que a chuva é abundante durante todo o ano, região envolta e/ou próxima do rio Amazonas, apresenta índices mensais médios maiores que 100 mm, tendo o trimestre mais chuvoso em março, abril e maio com médias maiores que 270 mm e o os meses menos chuvoso em agosto e setembro com ambos com média de 116 mm.

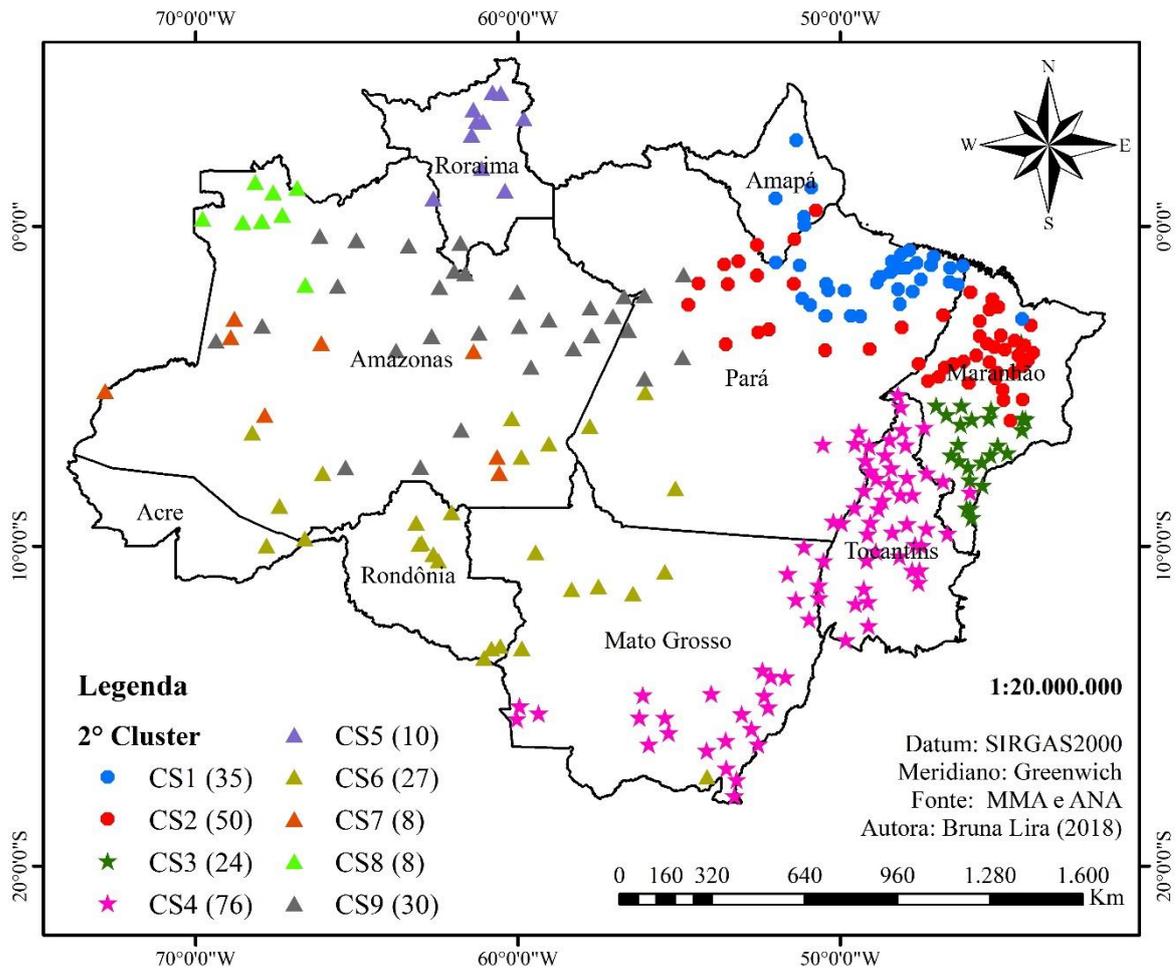
Para subdividir em nove regiões pluviométricas sazonais homogêneas realizou-se o terceiro corte na distância euclidiana 62 no dendrograma da Figura 46, subdividiu ainda mais a Amazônia, assim tem-se um número maior regiões mais semelhantes.

Figura 46 – Dendrograma de nove Regiões Pluviométricas Sazonais Homogêneas



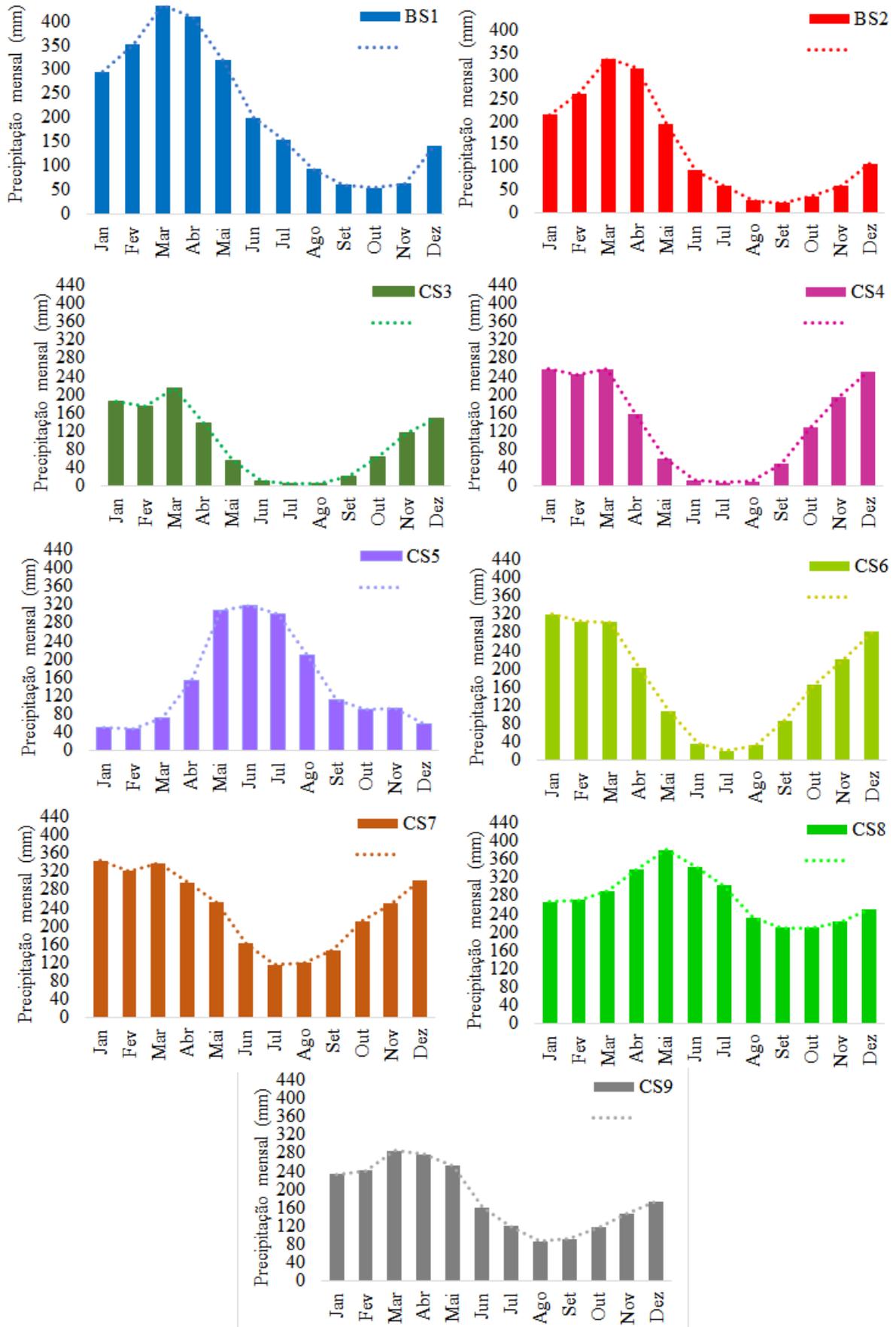
As nove regiões pluviométricas sazonais homogêneas da Amazônia Legal, encontrar-se distribuídas espacialmente de acordo alturas precipitadas das estações na Figura 47. Sendo que a Região AS1 continuou subdividida em duas, a **Região CS1** que agrupou 35 estações indicadas pela cor azul distribuídas no estado do Amapá e no litoral nordeste do estado do Pará e a **Região CS2** que agrupou 50 estações indicadas de vermelha distribuídas no norte do Maranhão e em uma parte do Pará. A Região AS2 também subdividiu em duas, a **Região CS3** que agrupou 24 estações indicadas pela cor verde, distribuídas no sul do Maranhão e a **Região CS4** com 76 estações indicadas pela cor rosa e distribuídas no estado do Tocantins e leste do Mato grosso. A Região AS3 subdividiu-se em quatro: a **Região CS5** com 10 estações indicadas pela cor lilás localizada no estado de Roraima; a **Região CS6** agrupou 27 estações indicadas pela cor amarela nos estados de Acre, Rondônia, noroeste do Mato Grosso e sul dos estados do Pará e Amazonas; a **Região CS7** agrupou 8 estações indicadas pela cor laranja que estão espalhadas no centro do estado de Amazonas; já a **Região CS8** agrupou 8 estações representadas pela cor verde limão localizadas na região denominada de “cabeça do cachorro” no noroeste do Amazonas; e a **Região CS9** agrupou 30 estações indicadas pela cor cinza no nordeste do estado do Amazonas.

Figura 47 –Nove Regiões Pluviométricas Sazonal Homogêneas na Amazônia



Nesta regionalização, também se verificou regimes pluviométrico sazonais na Figura 48, com variações significativas nas precipitações mensais médias do ciclo anual entre as nove regiões pluviométricas sazonais homogêneas. Nota-se as **Regiões CS1 e a CS2** apresentaram comportamento semelhante, variando o volume precipitado durante os meses. Assim como as **Regiões CS3 e CS4**, que apresentou dois períodos bem definidos, porém a CS4 tem os maiores índices médios nos meses de novembro até abril que é o período chuvoso. A **Região CS5** em Roraima apresentou comportamento atípico pois o trimestre mais chuvoso desta, nos meses de maio, junho e julho, é quando nas outras regiões ocorre o período menos chuvoso ou estiagem. A **Região CS6** é apresentada dois períodos definidos e com grande variação, com média de janeiro 320 a média de julho 19 mm, sendo que o período chuvoso se inicia em outubro e vai até abril. As **Regiões CS7 e CS9** tem a distribuição dos volumes precipitados semelhantes, contudo com variações nas médias mensais precipitada, com índices maiores que 80 mm. Já a **Região CS8** (verde limão) trata-se da “cabeça do cachorro” no Amazonas caracteriza-se por ser a região mais abundante, com médias mensais maiores que 200 mm em todos os meses.

Figura 48 – Ciclo anual da precipitação nas nove regiões da Amazônia (1986-2015)



5.3 TENDÊNCIA E MAGNITUDE DA PRECIPITAÇÃO

Os testes estatísticos não paramétricos de Mann-Kendall e de Sen's Slope foram aplicados as séries históricas anual e mensal das 268 estações pluviométricas, no período de 1986 a 2015, para a análise da tendência e a magnitude da precipitação na Amazônia Legal.

5.3.1 Precipitação anual

A análise pelo método clássico de Mann-Kendall (MK), indicou que 217 das séries temporais de precipitação anual não apresentaram tendência estatisticamente significativa. Entretanto 51 estações indicaram tendência significativa, sendo 22 positivas na cor vermelha e 29 negativas na cor amarela, distribuídas espacialmente na Amazônia Legal na Figura 49. Verificou-se através do tau de Kendall e p-valor, sendo que o sinal do tau indica a direção e o p-valor menor que o nível de significância α de 5% (0,05), deste modo rejeita-se a hipótese nula e aceita-se a hipótese alternativa de que existe mudanças na série temporal de precipitação. Os resultados da análise estatística das 51 estações com tendência são descritos na Tabela 12.

Figura 49 – Estações com Tendências de Precipitação Anual na Amazônia

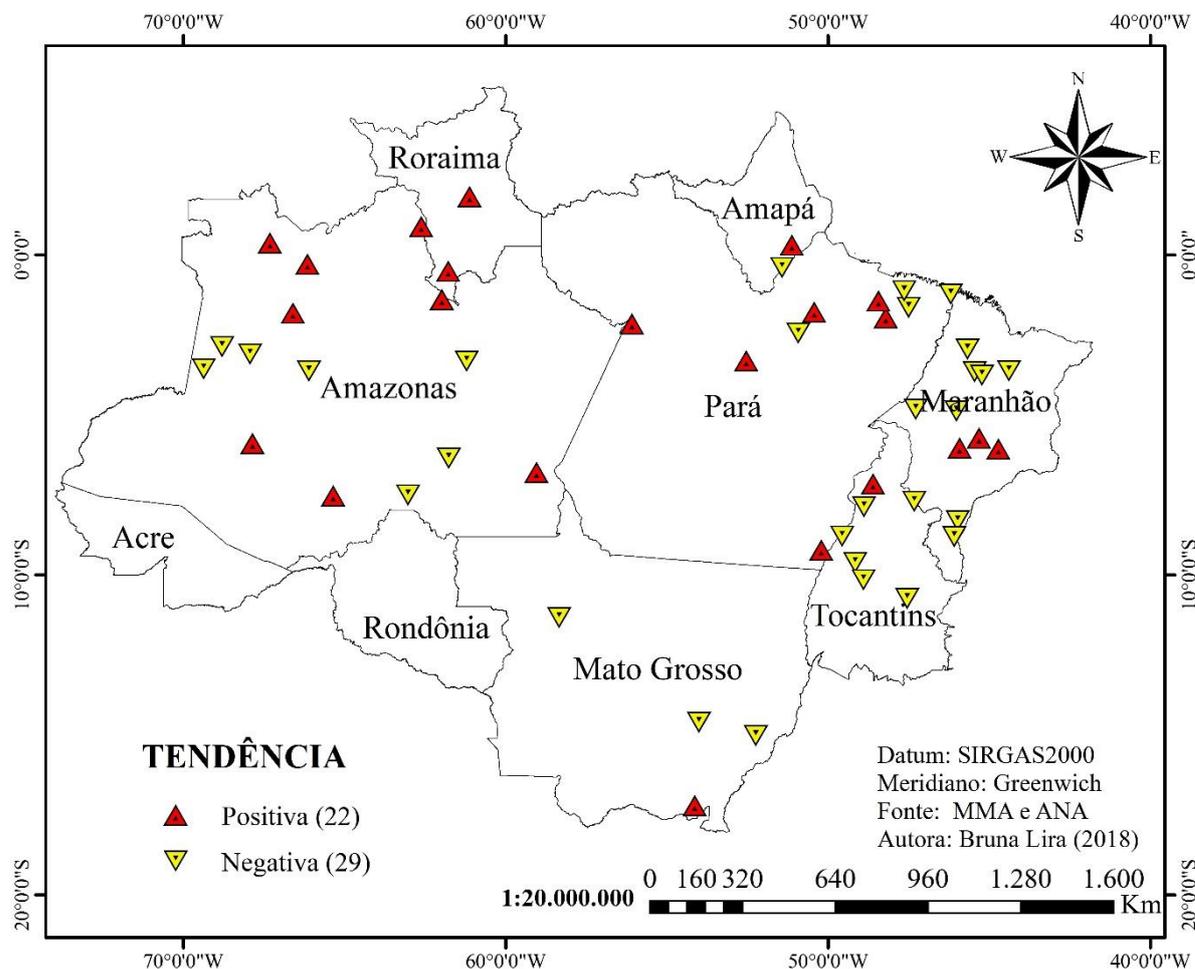


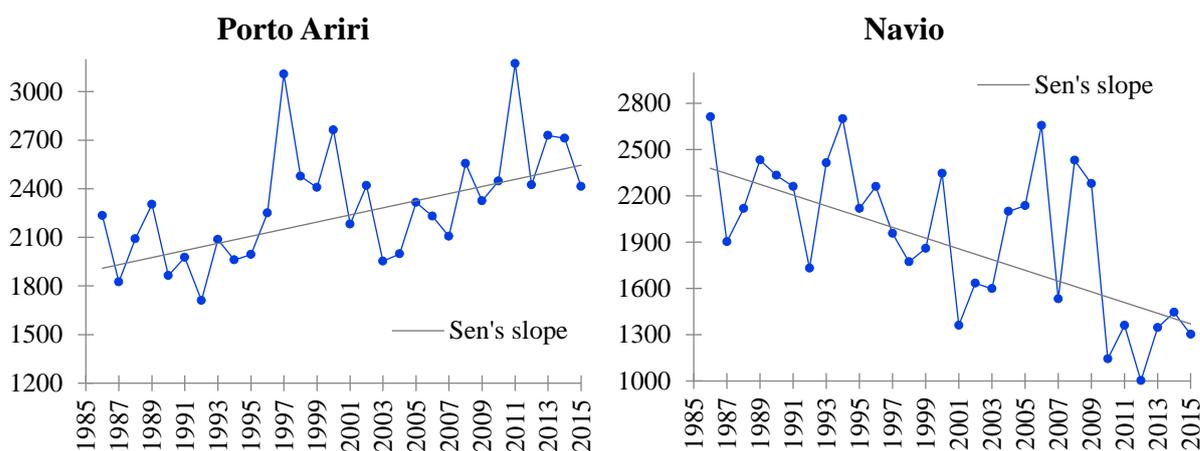
Tabela 12 – Dados das 51 estações Pluviométricas com tendências

UF	Código	Nome das Estações	Mínima	Máxima	Média	P-valor	Kendall	Sen's
AM	361001	Caapiranga	269,9	2956,8	1590,6	0,0001	-0,7	-73,71
AM	763001	Humaitá	492,6	2992	1290,7	0,0001	-0,62	-69,34
AM	661001	Nova Esperança	514,9	4400,2	1932,3	0,0001	-0,75	-110,15
AM	369000	Santa Rita Do Weil	790,2	3113,8	1927,8	0,0001	-0,51	-50,9
AM	765001	São Bento	593,9	2737,8	1671,9	0,0001	0,48	49,72
AM	8062000	Posto Ajuricaba	866,4	4080,6	2180,2	0,0001	0,47	70,48
AM	66000	Livramento	1508,9	3083,7	2216,8	0,0001	0,46	33,05
AM	162000	Carvoeiro	1250,8	3343,2	2340,9	0,001	0,42	31,76
AM	658000	Santarém Sucunduri	1238,2	2924,2	2271,3	0,001	0,42	28,44
AM	567001	Xibaua	1387,2	6303,6	3245,6	0,002	0,4	101,73
AM	367000	Santo Antônio Do Içá	308,6	3406,1	2279,7	0,003	-0,38	-42,12
AM	8067001	São Felipe	1738,9	4135,3	2971,8	0,004	0,37	35,58
AM	366000	Forte Das Graças	336	3958,7	2585,3	0,008	-0,34	-71,25
AM	268000	Boa União	1034,3	5436,4	2757,2	0,009	-0,33	-72,1
AM	166000	Acanauí	2451,7	4394,6	3174,6	0,011	0,33	29,87
AP	51002	Navio	1001,3	2711,3	1941	0,001	-0,43	-34,79
AP	8051010	Porto Ariri	1710,4	3171,6	2301	0,001	0,42	21,93
MA	645004	Fazenda Piranhas	352,3	1577,9	712,7	0,0001	0,5	24,92
MA	845003	Babilônia	669,3	2780,6	1484,7	0,002	-0,39	-25,1
MA	447002	Reta Km-32	645,4	3019,9	1472,2	0,005	-0,36	-32,55
MA	846005	Boa Vista	825,7	2334,6	1365,9	0,006	-0,35	-17,87
MA	345006	Pindaré-Mirim	1358,7	4173,2	2134,3	0,008	-0,34	-34,29
MA	445008	Arame	470,4	1685,5	1098,8	0,011	-0,33	-21,64
MA	545011	Rio Corda Ii	319	1532,4	858,8	0,011	0,33	21,49
MA	644015	Campo Largo	624,8	2471,8	1204,4	0,032	0,28	15,06
MA	345000	Aratoí Grande	531,8	2309,1	1612,1	0,032	-0,28	-20,06
MA	245001	Alto Turi	1252,2	2582,5	1792,9	0,049	-0,26	-18,25
MA	344004	Cantanhede	1052,3	3493,8	1881,1	0,049	-0,26	-20,23
MT	1552006	Pindaíba	769,7	2186,6	1406,1	0,0001	-0,44	-23,59
MT	1453000	Passagem Da Br-309	1096,8	2552,7	1707,2	0,002	-0,39	-26,16
MT	1754000	Itiquira	1429,9	3167	2092,4	0,029	0,28	18,3
MT	1158001	Fontanilhas	1363,2	2159,4	1815,8	0,045	-0,26	-10,2
PA	352005	Brasil Novo	1331,2	3090,6	2169	0,0001	0,44	32,43
PA	148009	Acará	1663,1	4893,1	2712,7	0,001	0,43	37,21
PA	150003	Antônio Lemos	1422	4338,5	2893,8	0,004	0,37	39,47
PA	148002	Belém	2385,2	3920,6	3183,3	0,006	0,35	21,06
PA	147011	Colônia Santo Antônio	1691,5	3466,9	2388,6	0,008	-0,34	-22,47
PA	147010	Igarapé-Açu	1592,1	4441,8	2399,8	0,014	-0,31	-20,31
PA	250002	Irapuru	1466,5	3234,6	2433,2	0,014	-0,31	-24,38
PA	950001	Barreira Do Campo	538,3	2269,4	1483	0,024	0,29	20,25
PA	256001	Juruti	1206,1	3697,4	2300,9	0,041	0,26	14,82
PA	146009	Viseu	1170,5	3296,1	2229,1	0,045	-0,26	-25,05
RR	8161001	Caracarai	1337,4	2419,5	1850,6	0,018	0,31	16,31
RR	61000	Santa Maria Do Boiaçu	1977,9	3221,4	2580,4	0,022	0,29	23,41
TO	849002	Araguacema	1197,4	2773,4	1890,2	0,0001	-0,44	-29,99
TO	748003	Muricilândia	1205,5	2546,8	1888,7	0,001	0,42	29,6
TO	747001	Goiatins	1106	2549,2	1598,7	0,001	-0,41	-23,67
TO	949000	Abreulândia	1376,8	2582	1935,7	0,029	-0,28	-17,92
TO	1048001	Paraíso Do Tocantins	1355,4	3531,2	2013,2	0,032	-0,28	-16,25
TO	1047002	Porto Gilândia	874,1	2023	1541,6	0,035	-0,27	-10,73
TO	748001	Colônia	1298	2621,1	1772,2	0,045	-0,26	-12,01

A seguir são descritas as estações e demonstrado o comportamento pluviométrico séries históricas de precipitações anuais, que pela estatística MK indicaram a presença de tendência significativa, juntamente com a taxa de magnitudes, obtida pelo método de Sen's Slope.

As estações analisadas nos estados de Rondônia e do Acre não apresentaram tendência. Entretanto, no Amapá das oito estações analisadas duas indicaram tendência significativa, em Macapá a estação Porto Ariri apresentou tendência positiva indicando aumento da precipitação anual com taxa crescente de 22 mm/ano, enquanto no município de Mazagão a estação Navio apresentou tendência negativa, ou seja, de diminuição com taxa decrescente de 35 mm/ano. Apesar de encontrarem-se localizadas próximas (85km) tiveram tendência contrárias, como demonstra o comportamento pluviométrico na Figura 50 em direções oposta, que pode ser justificado pois a estação Porto Ariri está acima da linha do Equador e a estação Navio abaixo.

Figura 50 – Comportamento Pluviométrico das estações com tendência do Amapá



No estado do Amazonas das 47 estações analisadas, 15 estações apresentaram tendências significativas, sendo que oito estações apresentaram tendência positivas e taxas crescentes, são: Santarém Sucunduri com taxa de 28 mm/ano, Acanauí com taxa de 29 mm/ano, Carvoeiro com taxa de 31 mm/ano, Livramento com taxa de 33 mm/ano, São Felipe com taxa de 35 mm/ano, São Bento com taxa de 49 mm/ano, Posto Ajuricaba com taxa de 70 mm/ano e a Xibaua com taxa de 101 mm/ano, o comportamento destas estações são apresentados na Figura 51. Já as outras sete estações indicaram tendência negativa e taxa decrescente, são: Nova Esperança com taxa de -110 mm/ano, Caapiranga com taxa de -73 mm/ano, Boa União com taxa de -72 mm/ano, Forte das Graças com taxa de -71 mm/ano, Humaitá com taxa de -69 mm/ano, Santa Rita do Weil com taxa de -50 mm/ano e Santo Antônio do Içá com taxa de -42 mm/ano, sendo que o comportamento destas são apresentados na Figura 52. O estado destacou-se porque teve as maiores taxas de magnitude de precipitação anual da Amazônia.

Figura 51 – Comportamento Pluviométrico de estações com Tendência positiva do Amazonas

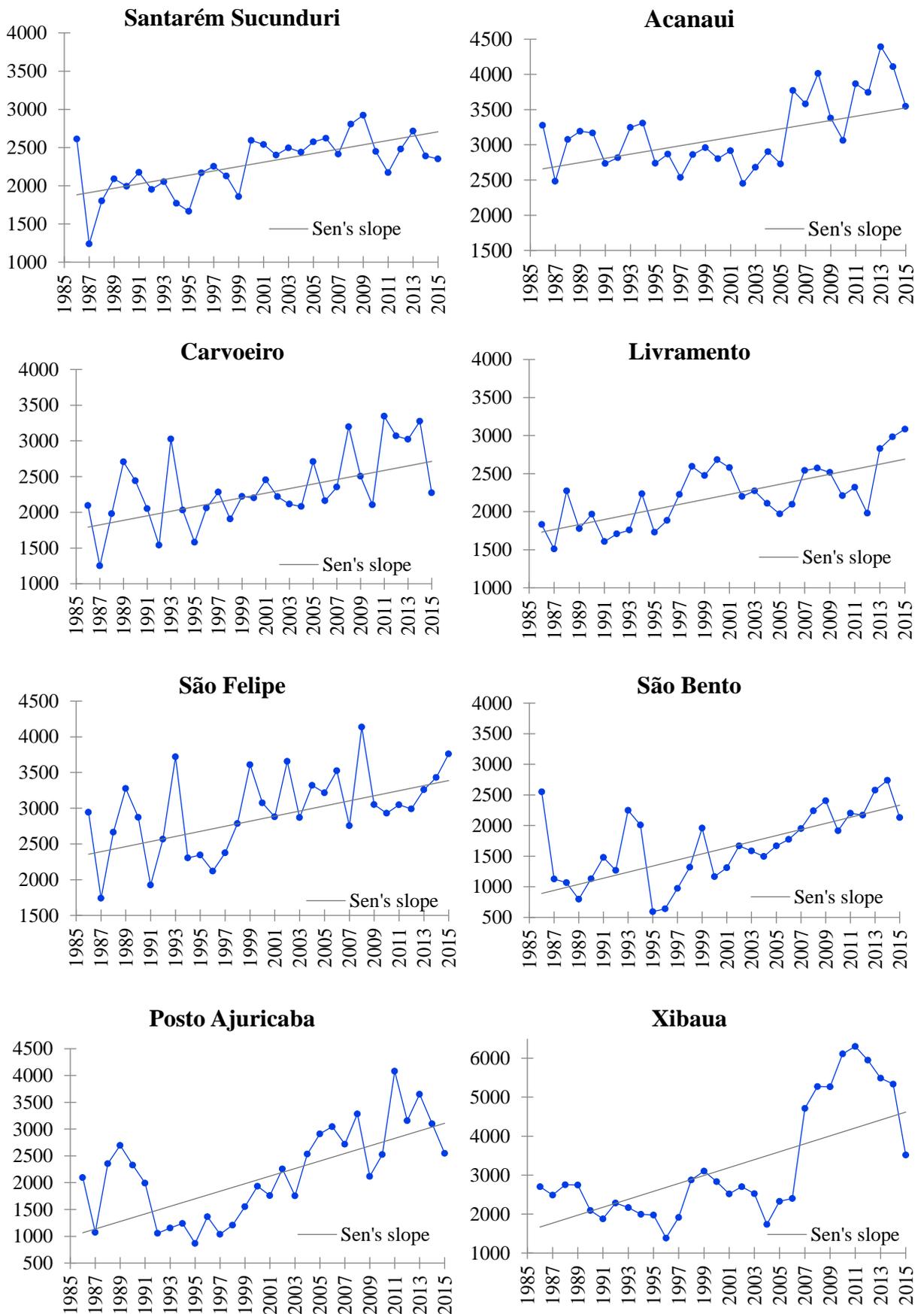
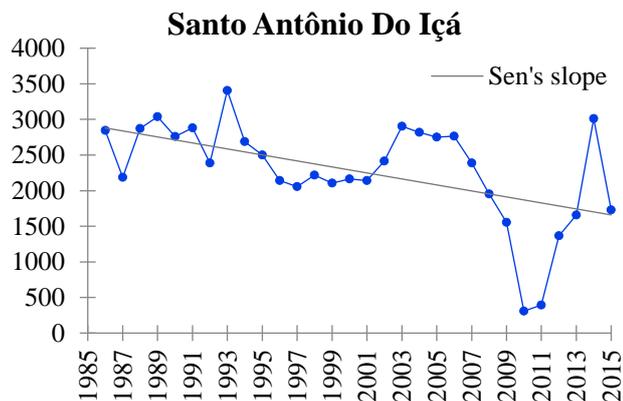
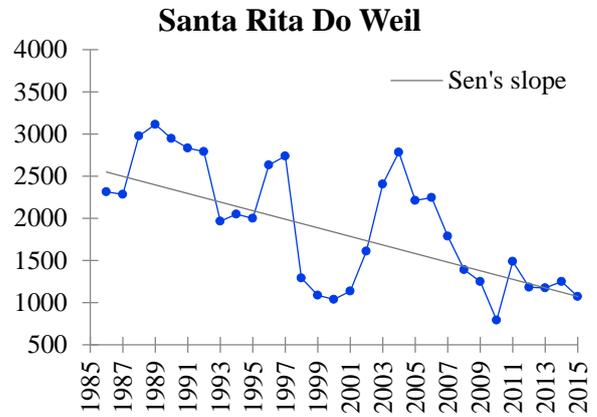
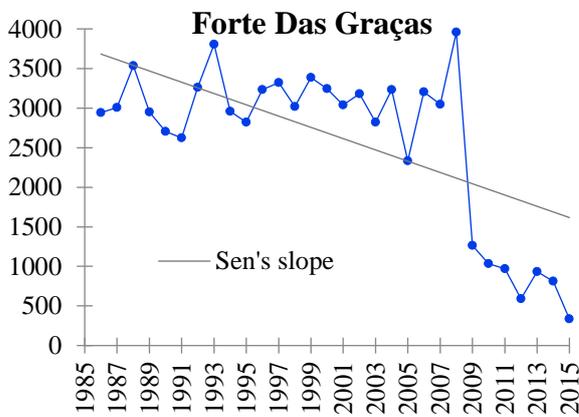
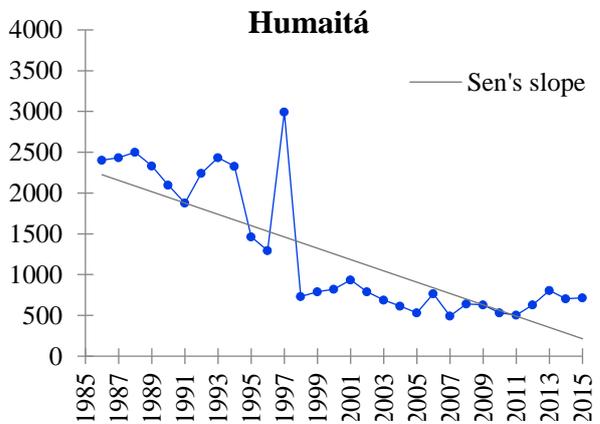
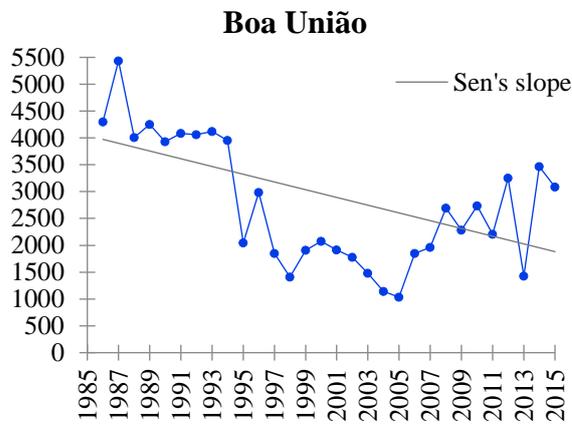
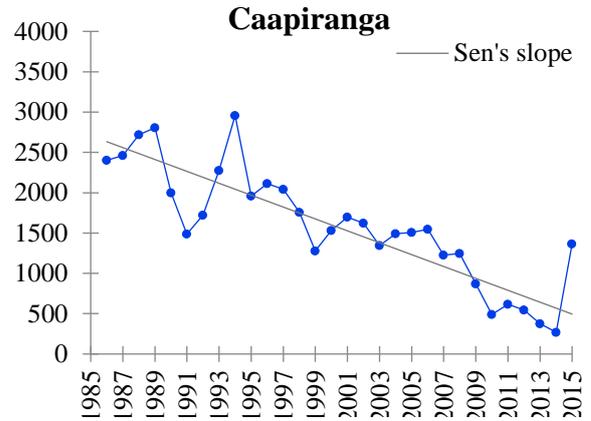
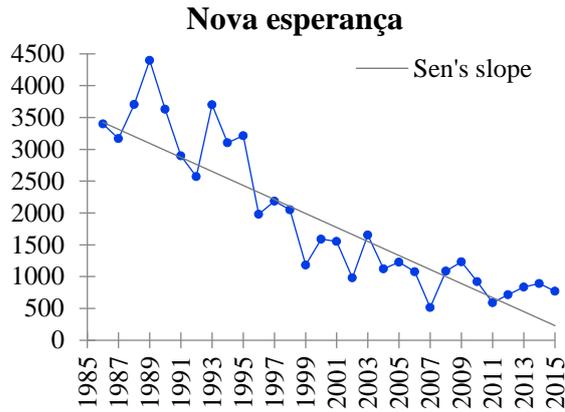
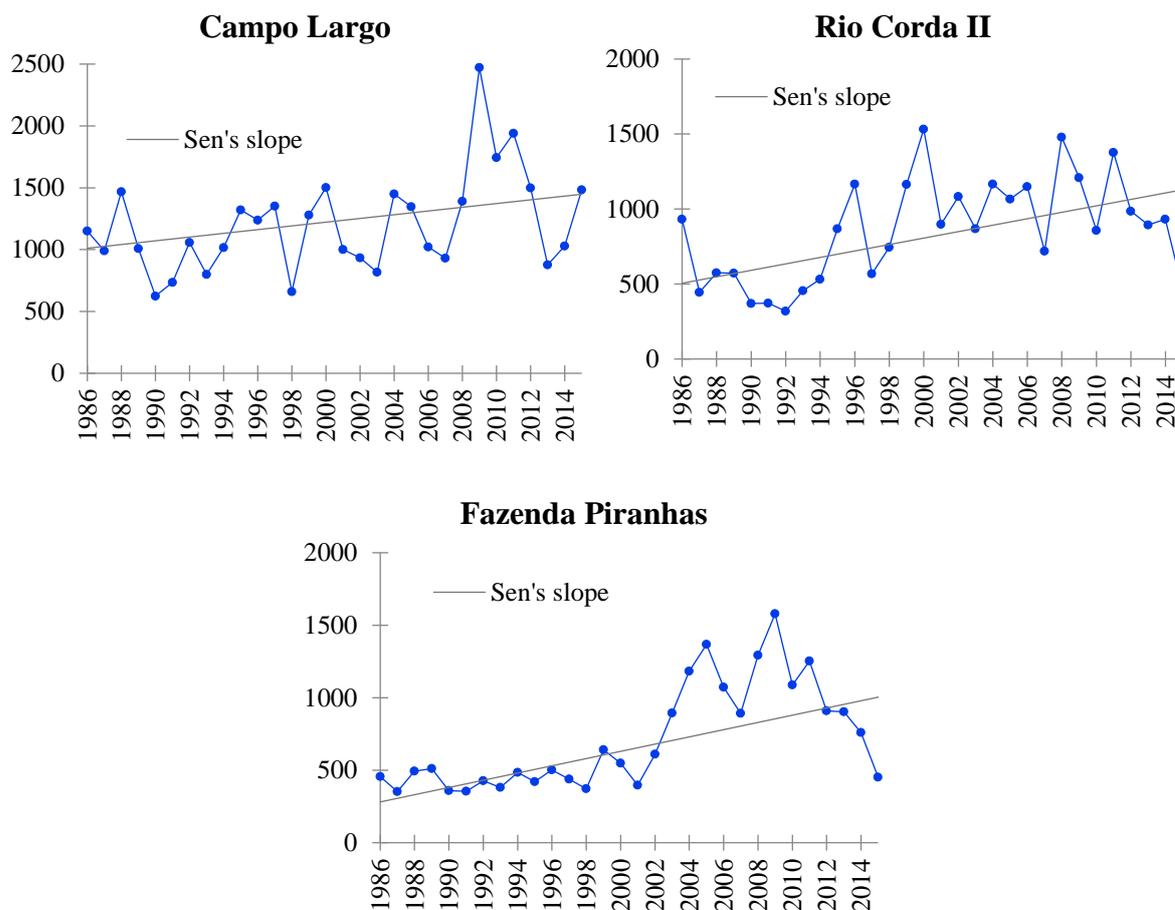


Figura 52 – Comportamento Pluviométrico de estações com Tendência negativa do Amazonas



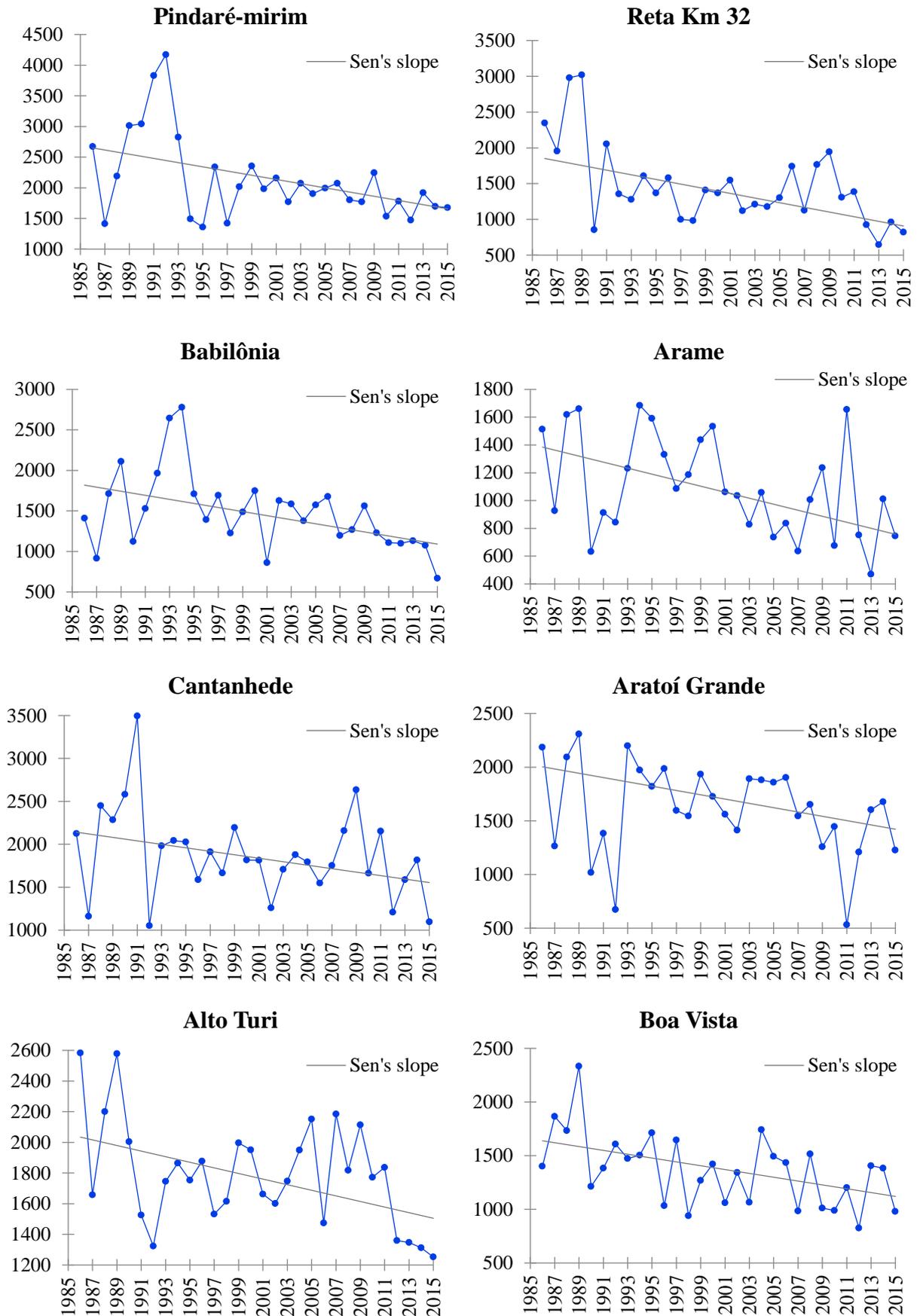
Na região do estado do Maranhão pertencente a Amazônia legal, foram analisadas o total de 58 estações pluviométricas, destas 11 estações apresentaram tendência significativas. Sendo que três estações tiveram tendência positiva e as taxas de magnitude crescente, são: Campo Largo com taxa de 15mm/ano, Rio Corda II com taxa de 21 mm/ano e Fazenda Piranhas com taxa de 24 mm/ano. As estações estão localizadas próximas formam uma região com tendência crescente e apresentam comportamentos semelhantes, demonstrado na Figura 53.

Figura 53 – Comportamento Pluviométrico de estações com Tendência positiva do Maranhão



Também na região do estado do Maranhão pertencente a Amazônia legal, oito estações indicaram tendências negativas e as taxas de magnitude decrescentes na precipitação anual, são: Pindaré-Mirim com taxa de -34 mm/ano, a Reta Km32 com taxa de -32 mm/ano, Babilônia com taxa de -25 mm/ano, Arame com taxa de -21 mm/ano, Cantanhede com taxa de -20 mm/ano, Aratoí Grande com taxa de -20 mm/ano, Alto Turi com taxa de -18 mm/ano e Boa Vista com taxa de -17 mm/ano. Na Figura 54 tem-se o comportamento pluviométrico destas estações, juntamente com a linha de inclinação do método de Sen's Slope, que demonstraram que a precipitação anual está diminuía ao longo dos anos.

Figura 54 - Comportamento Pluviométrico de estações com Tendência negativa do Maranhão



No Pará 57 estações pluviométricas foram analisadas, destas dez estações apresentaram tendência significativa na precipitação anual. Na Figura 55 são apresentados o comportamento das seis estações com tendência positivas e taxas crescente, são: Juruti com taxa de 14 mm/ano, Barreira do Campo com taxa de 20 mm/ano, Belém com taxa de 21 mm/ano, Brasil Novo com taxa de 32 mm/ano, Acará com taxa de 37 mm/ano e Antônio Lemos com taxa de 39 mm/ano. Na Figura 56 são apresentados o comportamento das quatro estações com tendências negativas e taxas decrescente, são: Viseu com taxa de -25 mm/ano, Irapuru com taxa de -24 mm/ano, Colônia Santo Antônio com taxa de -22 mm/ano e Igarapé-Açu com taxa de -20 mm/ano.

Figura 55 - Comportamento Pluviométrico de estações com Tendência positiva do Pará

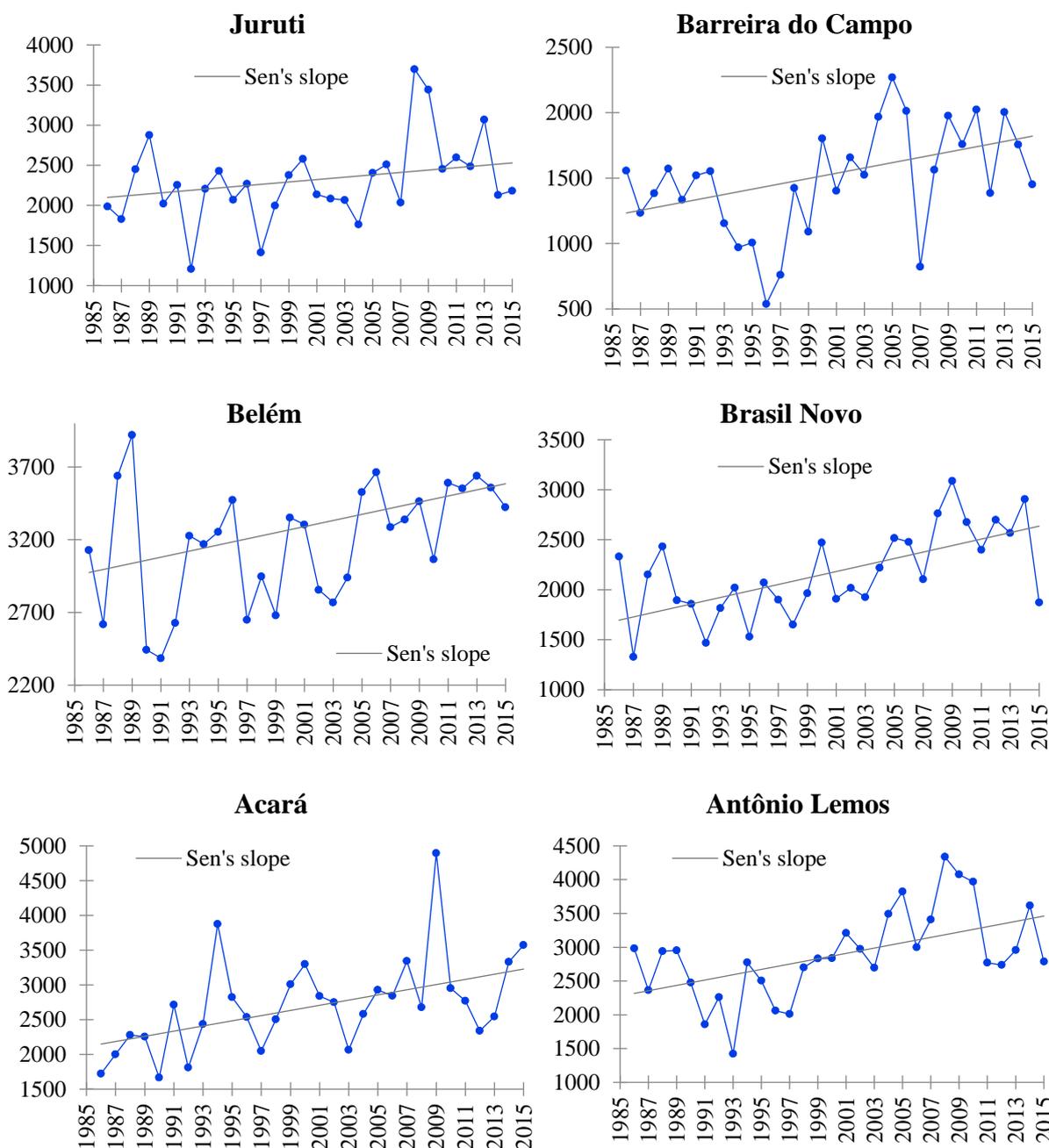
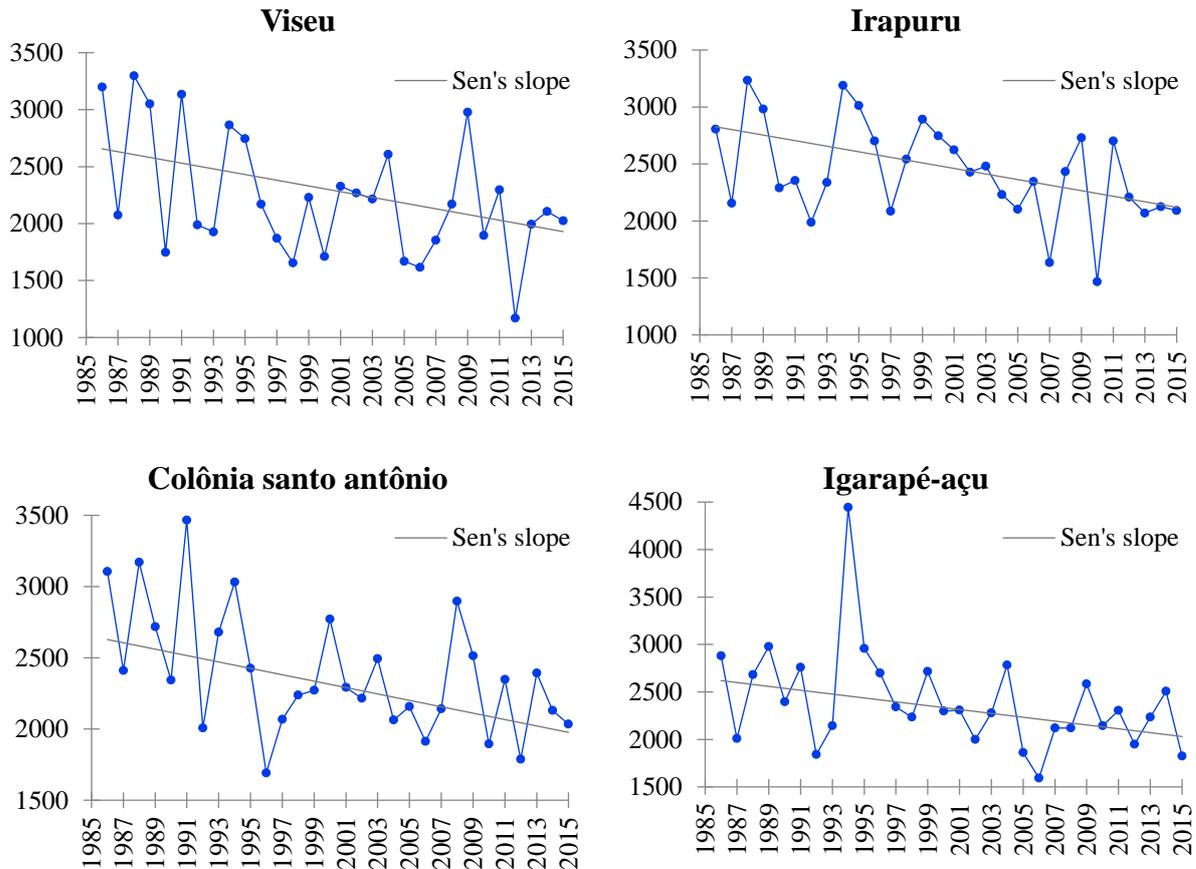
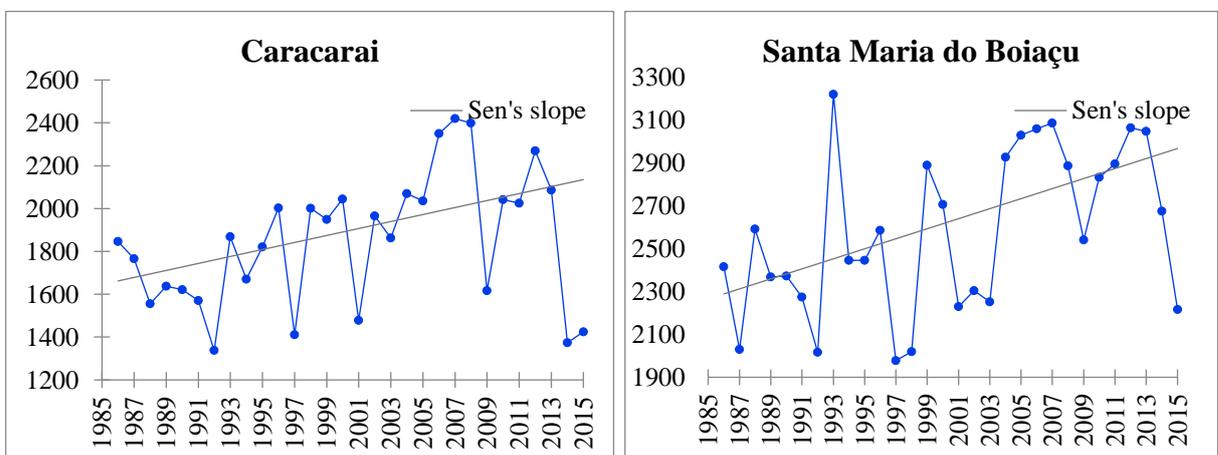


Figura 56 - Comportamento Pluviométrico de estações com Tendência negativa do Pará



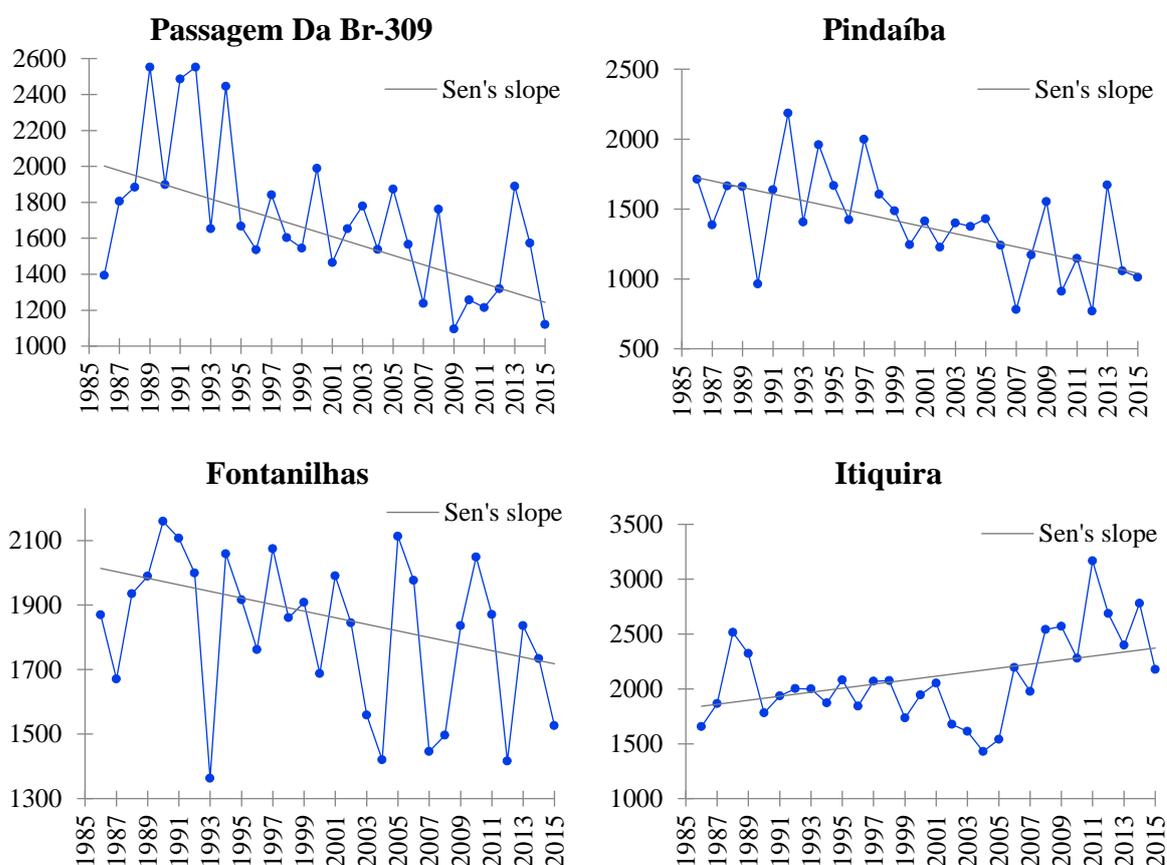
No estado de Roraima das dez estações pluviométricas que foram analisadas, duas estações apresentaram tendências significativa positiva na precipitação anual, são: a estação de Caracarai com taxa crescente de 16 mm/ano e a estação Santa Maria do Boiaçu com taxa crescente de 23 mm/ano. O comportamento pluviométrico destas estações, apresentados na Figura 57, demonstra que a precipitação está aumentando ao longo dos anos neste.

Figura 57 - Comportamento Pluviométrico de estações com Tendência de Roraima



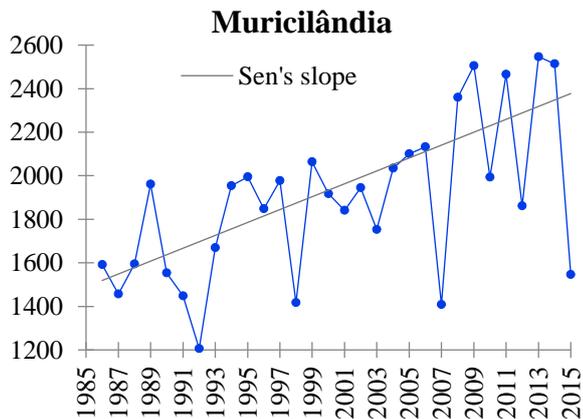
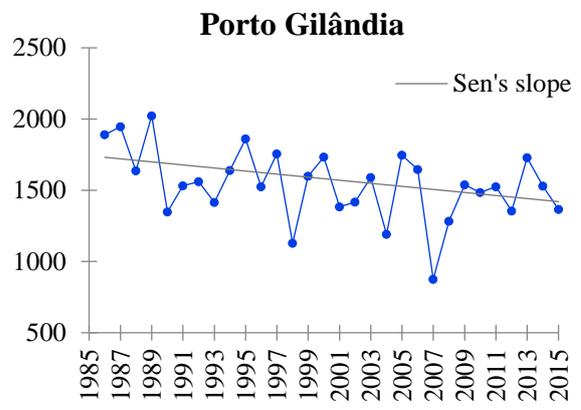
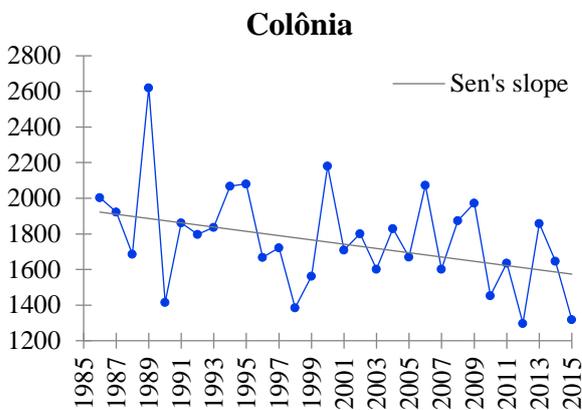
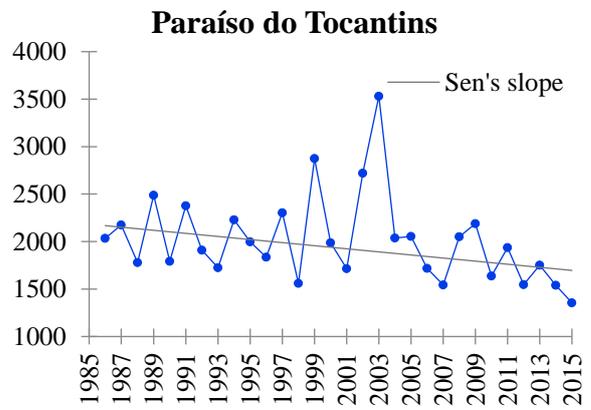
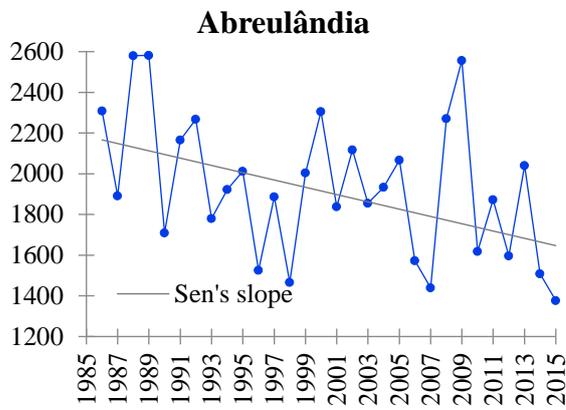
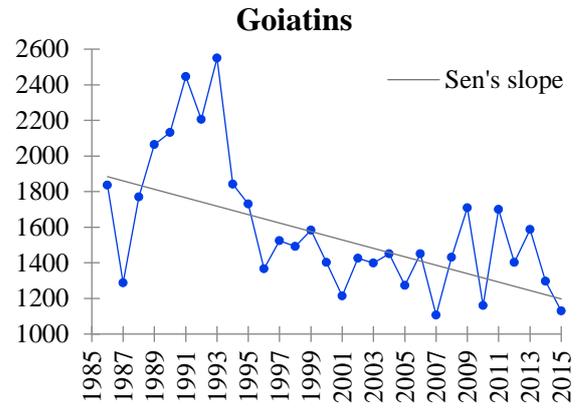
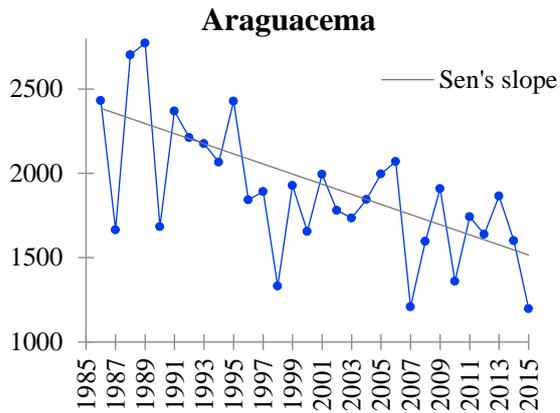
No estado do Mato Grosso das 35 estações pluviométricas que foram analisadas, apenas 4 estações indicam tendência significativa na precipitação e o comportamento pluviométrico das quatro é apresentado na Figura 58, junto com a linha de inclinação do método de Sen's. Sendo três estações com tendências negativas e as taxas de magnitudes decrescentes, são: Passagem da Br-309 com a taxa de -26 mm/ano, a Pindaíba com taxa de -23 mm/ano e a Fontanilhas com taxa de -10 mm/ano. E somente a estação de Itiquira apresentou tendência positiva e a taxa de magnitudes crescente de 18 mm/ano.

Figura 58 - Comportamento Pluviométrico de estações com Tendência do Mato Grosso



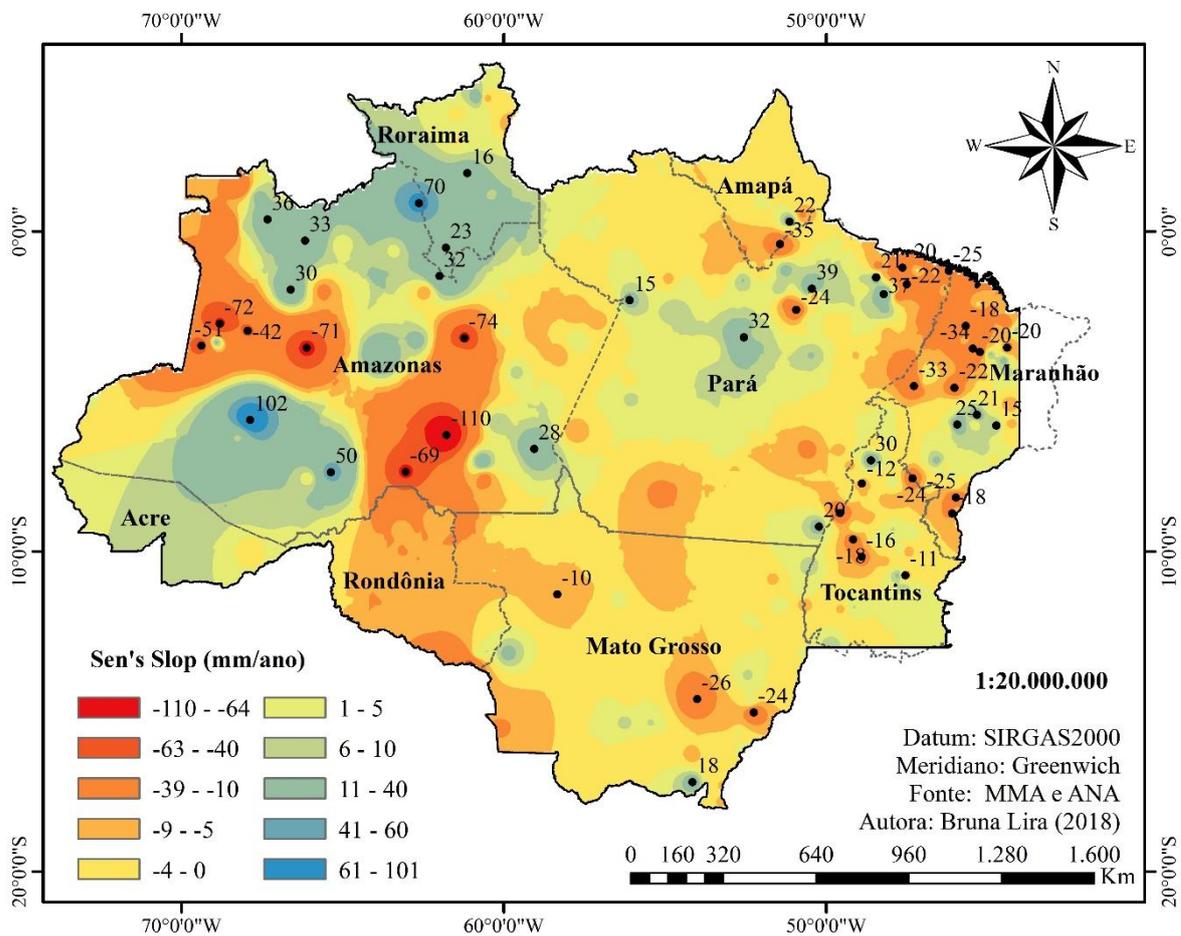
No estado do Tocantins das 42 estações pluviométricas que foram analisadas, 7 estações indicaram tendências significativas, sendo seis com tendência negativas e taxa de magnitudes decrescentes, são: Araguacema com taxa de - 29 mm/ano, Goiatins com taxa de -23 mm/ano, Abreulândia com taxa de -17 mm/ano, Paraíso do Tocantins com taxa de -16 mm/ano, Colônia com taxa de -12 mm/ano, Porto Gilândia com taxa de -10 mm/ano. E uma estação com tendência positiva a de Muricilândia com taxa crescente de 29 mm/ano. Na Figura 59 tem-se o comportamento pluviométrico e a linha do método de Sen's Slope, demonstrando a inclinação no sentido decrescente ao longo dos anos de seis estações e apenas uma no sentido crescente.

Figura 59 - Comportamento Pluviométrico de estações com Tendência de Tocantins



As taxas de magnitude da precipitação anual das 268 estações da Amazônia Legal, obtidas pelo método de inclinação Sen's Slope, foram distribuídas espacialmente na Figura 60, nota-se grande variação nas magnitudes, tanto de aumento como de diminuição da precipitação anual. No geral, o somatório de todos os valores de Sen's estatisticamente significativos para o nível de significância de 5% teve o total de -260,19 mm/ano e taxa média decrescente de 5 mm/ano. Deste modo, nota-se que há uma tendência significativa na diminuição da precipitação ao longo dos anos sobre a Amazônia, este fato comprova que mudanças significativas estão ocorrendo e a continuidade das tendências poderá resultar em impactos no ciclo hidrológico e climáticos.

Figura 60 – Magnitude anual da Precipitação na Amazônia Legal (1986-2015)

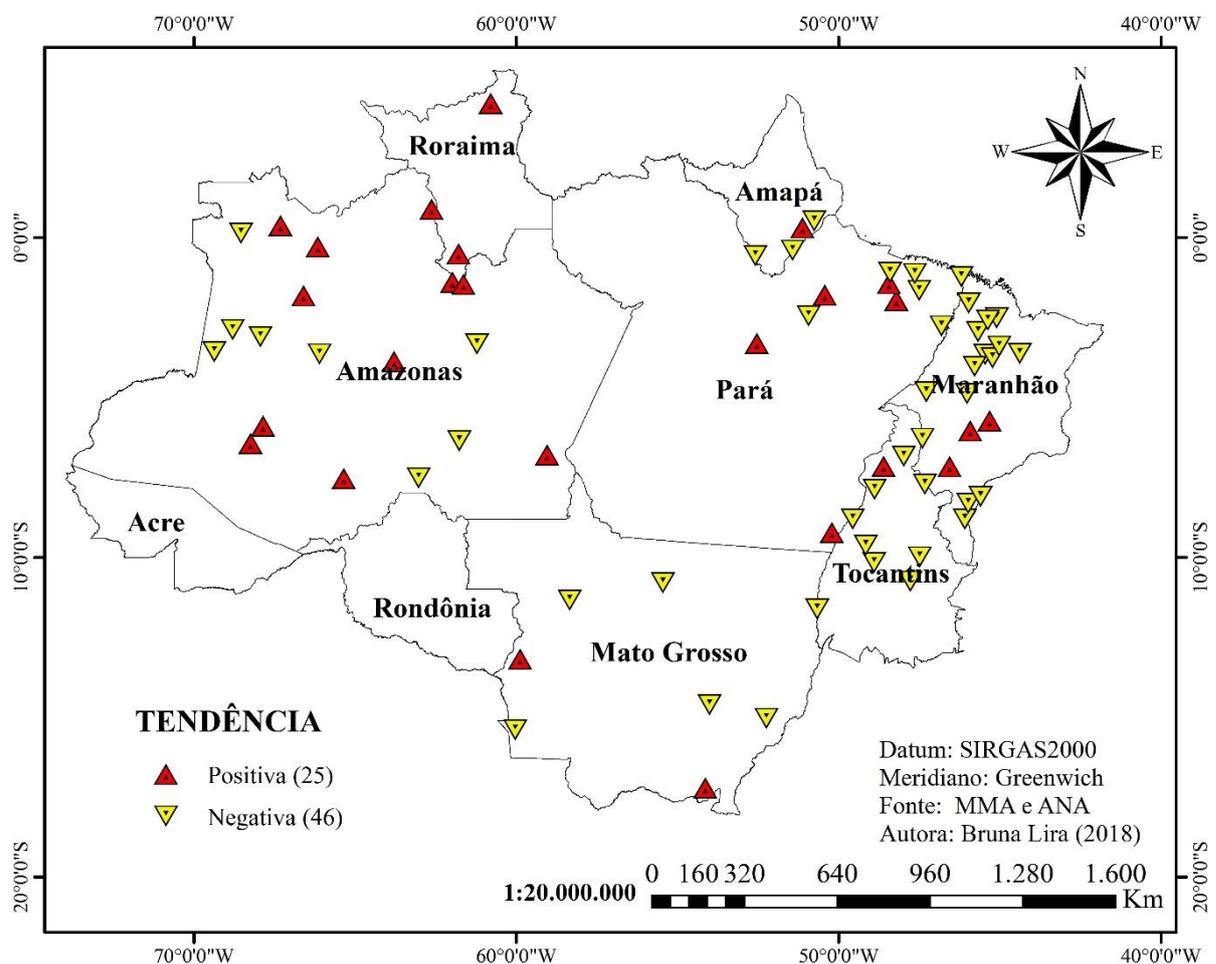


Nota-se que as taxa mais significativas estão no Amazonas, formando quatro regiões. Sendo duas decrescente, no centro com taxas de 69 até 110 mm/ano e no oeste com taxas de cerca de 72 mm/ano. Também duas crescente, no Sudoeste com taxas de 50 até 102 mm/ano e outra na fronteira com Roraima com taxa de 70 mm/ano de aumento. Além de outros pontos distribuídos na Amazônia Legal com magnitude menos intensas, porém consideráveis. Segundo Ishihara *et al.* (2014), nos quadrantes nordeste e noroeste da Amazônia não têm aumentou significativo, enquanto nos do sudeste e sudoeste tem-se diminuição na precipitação.

5.3.2 Precipitação mensal

No teste sazonal de Mann-Kendall (MKS) que considera a sazonalidade na série temporal, dos doze meses do ciclo anual. Verificou-se que das 268 estações que foram analisadas as séries históricas de precipitação mensais, 71 estações indicaram tendência sazonal estatisticamente significativa, sendo que 25 são positiva na cor vermelha e 46 são negativas na cor amarela, distribuídas espacialmente na Figura 61 na Amazônia Legal, pois tiveram p-valor menor que nível de significância de 5% indicando que há mudanças no comportamento sazonal das séries.

Figura 61 – Estações com Tendências de precipitação sazonal da Amazônia Legal



A estatística MKS para o período de estudo indicou 71 estações com tendência sazonal significativa, descritas a seguir junto com a taxa de magnitudes do método de Sen's Slope. Sendo que as estações do Acre e de Rondônia não tiveram tendências sazonais significativas. Mas, no Amapá quatro estações tiveram tendência sazonal, a Porto Ariri com tendência positiva e taxa de 1,17 mm/mês. E três estações com tendência negativa, são: Carmo, São Francisco e Navio com taxas de -0,76 mm/mês; -1,01 mm/mês e -2,75 mm/mês, respectivamente.

No Amazonas 19 estações apresentaram tendência sazonal, 11 estações com tendência positivas, são: Xibaua com taxa de 8 mm/mês, Posto Ajuricaba com taxa de 4,90 mm/mês, São Bento com taxa de 4,11 mm/mês, São Felipe com taxa de 2,76 mm/mês, Livramento com taxa de 2,35 mm/mês, Acanauí com taxa de 2,07 mm/mês, Carvoeiro com taxa de 1,95 mm/mês, Santarém Sucunduri com taxa de 1,41 mm/mês, Barro Alto com taxa de 1,26 mm/mês, Moura com taxa de 0,86 mm/mês e a Santos Dumont com taxa de 0,66 mm/mês. E oito estações com tendência negativas, são: Taraquá com taxa de -2,74 mm/mês, Santo Antônio de Içá com taxa de -4,08 mm/mês, Santa Rita do Weil com taxa de -4,14 mm/mês, Caapiranga com taxa de -5,36 mm/mês, Humaitá com taxa de -5,84 mm/mês, Boa União com taxa de -6,79 mm/mês, Forte da Graças com taxa de -6,93 mm/mês e Nova Esperança com taxa de -8,11 mm/mês.

No Maranhão 17 estações apresentaram tendência sazonal, três com tendência positivas, são: Rio Corda II com taxa de 1,14 mm/mês, Fazenda Piranhas com taxa de 1,11 mm/mês e Morro Vermelho com taxa de 0,53 mm/mês. E quatorze estações com tendência negativas, são: Babilônia com taxa de -0,14 mm/mês, Pimenta com taxa de -0,22 mm/mês, Cantanhede com taxa de -0,42 mm/mês, Barra do Fossão com taxa de -0,45 mm/mês, Pinheiro e Alto Turi com taxa de -0,5 mm/mês, Reta Km32 com taxa de -0,78 mm/mês, Maracacume com taxa de -0,83 mm/mês, Arame com taxa de -0,84 mm/mês, Esperantina com taxa de -0,87 mm/mês, Pindaré Mirim com taxa de -0,97 mm/mês, Boa Vista com taxa de -1,18 mm/mês, Aratoí Grande com taxa de -1,28 mm/mês e Boa Vista do Pindaré com taxa de -1,3 mm/mês.

No Mato Grosso oito estações tiveram tendência sazonal, duas com tendência positivas, são: Itiquira com taxa de 1,95 mm/mês e Padronal com taxa de 1,19 mm/mês. E seis estações com tendências negativas, são: Fazenda Areião com taxa de -0,17 mm/mês, São Félix do Araguaia com taxa de -0,51 mm/mês, Fontanilhas com taxa de -0,64 mm/mês, Passagem da Br 309 com taxa de -0,78 mm/mês, Pindaíba com taxa de -1,75 mm/mês e a Colider com taxa zero.

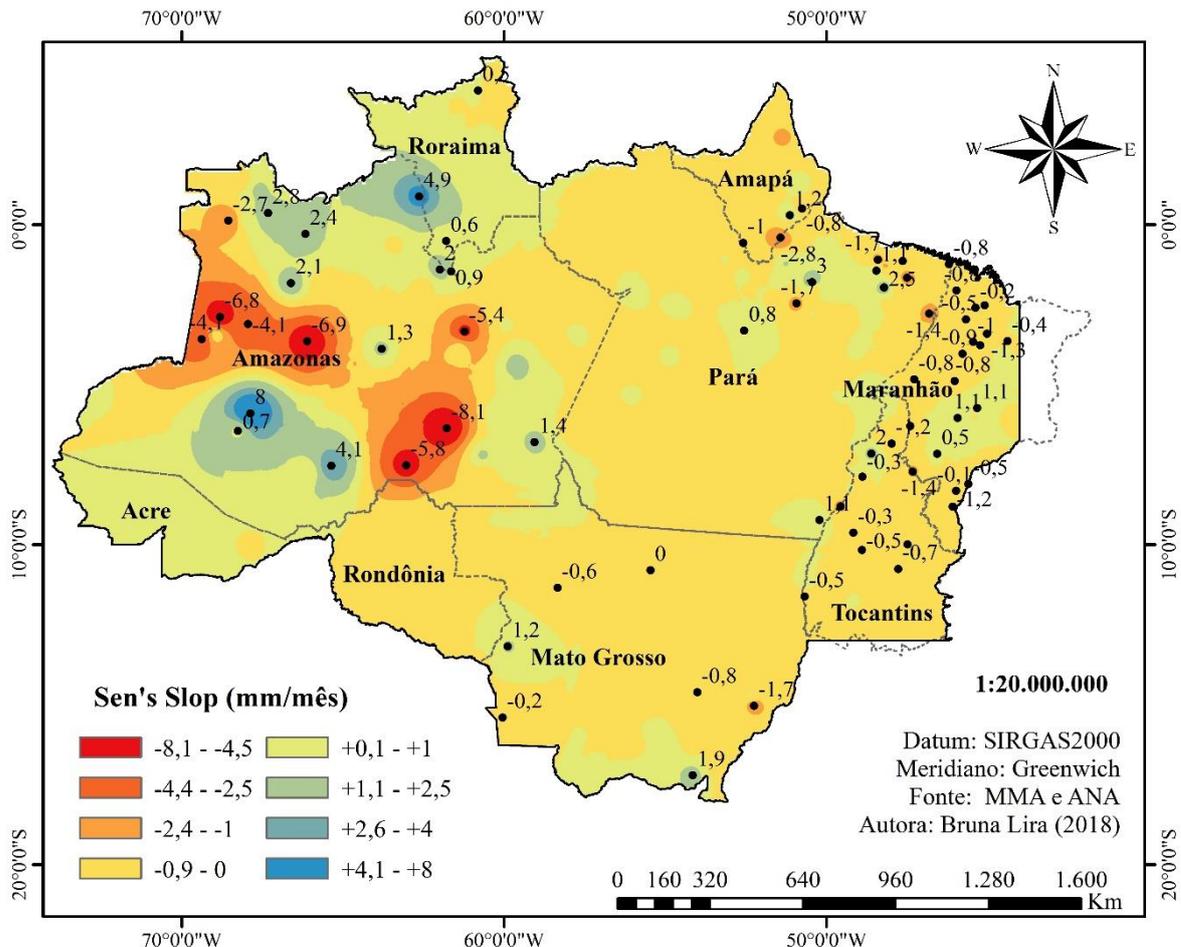
No Pará onze estações tiveram tendência sazonal, cinco com tendência positivas, são: Antônio Lemos com taxa de 3,01 mm/mês, Acará com taxa de 2,5 mm/mês, Barreira do Campo com taxa de 1,15 mm/mês, Belém com taxa de 1,1 mm/mês e Brasil Novo com 0,8 mm/mês. E seis estações com tendência negativas, são: Viseu com taxa de -0,8 mm/mês, Igarapé-Açu com taxa de -0,93 mm/mês, Cafezal com taxa de -1,37 mm/mês, Colônia Santo Antônio com taxa de -1,65 mm/mês, Mosqueiro com taxa de -1,65 mm/mês e Irapuru com -1,74 mm/mês.

Em Roraima duas estações com tendência sazonal positivas, a Santa Maria do Boiaçu com taxa crescente de 0,58 mm/mês e a Vila Surumu com taxa crescente de 0,47 mm/mês.

No Tocantins 10 estações apresentaram tendência sazonal, uma com tendência positiva a Muricilândia com taxa crescente de 2 mm/mês. E nove estações com tendência negativas, são: Jatobá com taxa de -0,14 mm/mês, Tupiratins com taxa de -0,24 mm/mês, Abreulândia com taxa de -0,28 mm/mês, Colônia com taxa de -0,28 mm/mês, Paraíso do Tocantins com taxa de -0,47 mm/mês, Porto Lemos com taxa de -0,67 mm/mês, Ponte Alta do Tocantins com taxa de -1,17 mm/mês, Goiatins com taxa de -1,41 mm/mês e Araguacema com taxa de -1,52 mm/mês.

As taxas de magnitude mensal da precipitação das 268 estações pluviométricas foram distribuídas espacialmente pelo método de interpolação na Amazônia Legal na Figura 62, obtidas através da inclinação do método de Sen's. Observa-se que há variação diminuição da espacial nas taxas tanto de aumento como de precipitação mensal média e as taxas mensais variam de -8 até 8 mm/mês, com a taxa média é decrescente de 0,39 mm/mês. Comparando os mapas de magnitudes anual e mensal observa-se que as regiões com tendências coincidem.

Figura 62 – Magnitude sazonal da Precipitação da Amazônia Legal (1986-2015)

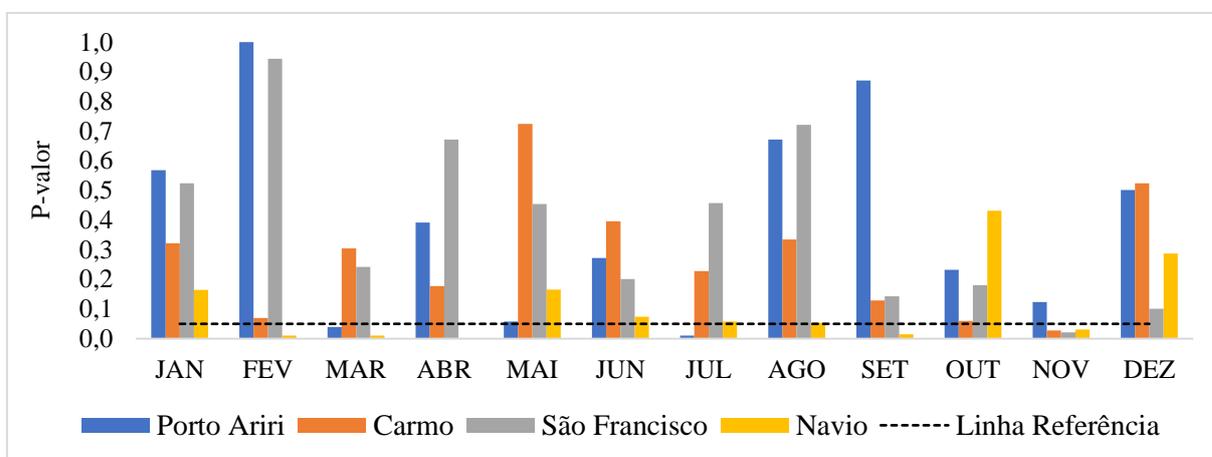


A estatística de MKS indica que há mudança no comportamento pluviométrico mensal, porém não indica os meses específicos. Então para isso foram analisadas mensalmente as séries

históricas das 71 estações para verificar quais os meses apresentaram tendência significativa para o nível de significância de 5% e as taxas de magnitudes dos doze meses.

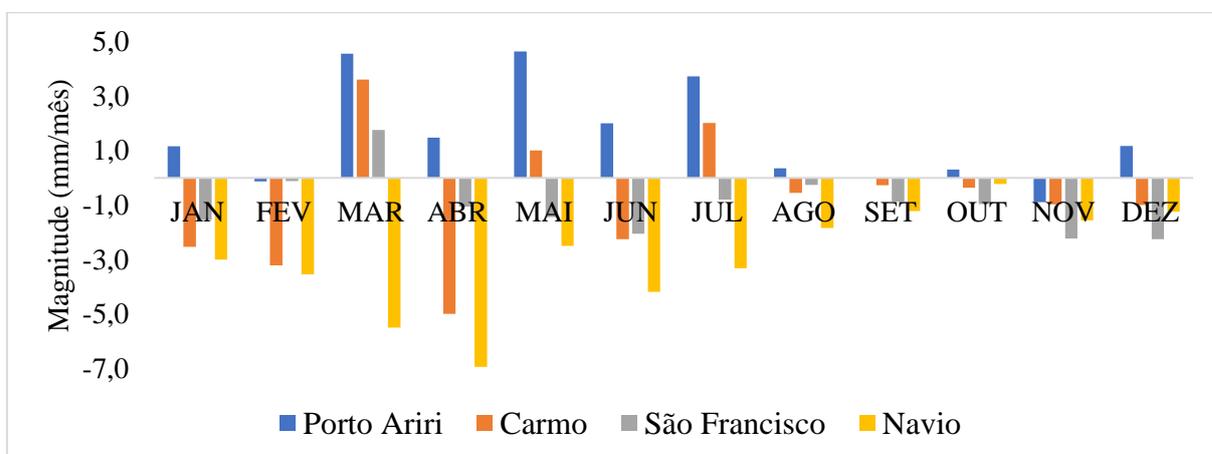
No Amapá, as estações Porto Ariri, Carmo, São Francisco e Navio tiveram o p-valor menor que 0,05 para os meses que estão abaixo da linha de referência da Figura 63. Nota-se que a **Porto Ariri** teve tendência crescente nos meses de março (4,56 mm) e julho (3,73 mm), a **Carmo** teve tendência em novembro (-0,97 mm), assim como a **São Francisco** com tendência em novembro (-2,23 mm) e a **Navio** teve tendência nos meses de fevereiro (-3,55 mm), março (-5,50 mm), abril (-6,94 mm), setembro (-1,22 mm) e novembro (-1,56 mm).

Figura 63 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Amapá



Na Figura 64, tem-se as magnitudes mensais das quatro estações do Amapá que indicaram tendência sazonal, que variaram bastante, com destaque para fevereiro e novembro, que foram os meses que todas as quatro estações apresentaram taxas de diminuição na precipitação.

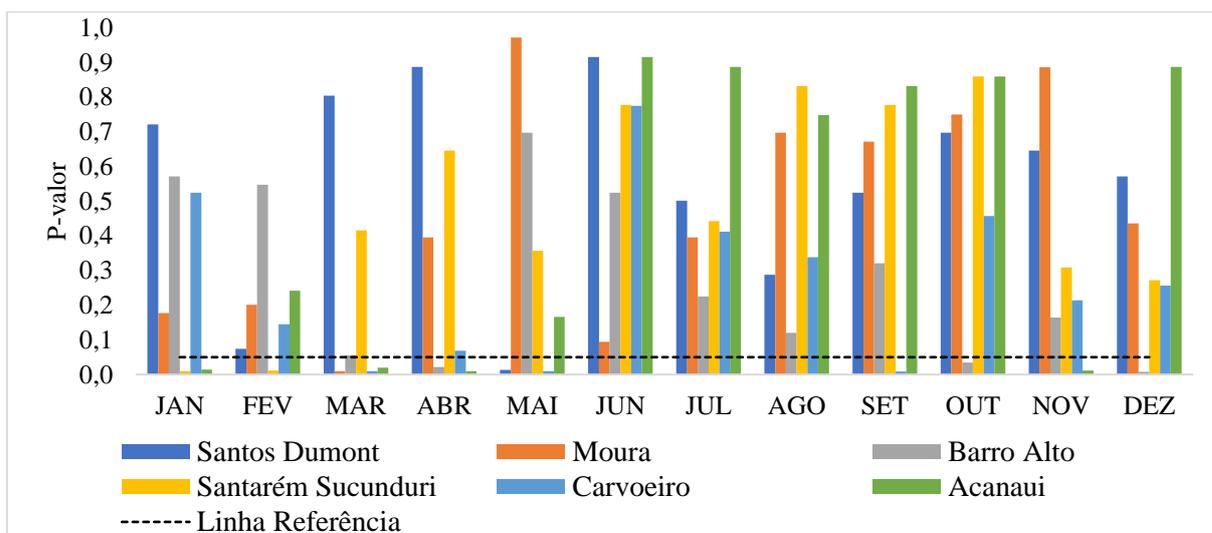
Figura 64 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Amapá



No estado do Amazonas as 19 estações indicaram tendência sazonal, que foram analisadas mensalmente em três partes. Na parte I analisou-se as estações: **Santos Dumont** que apresentou

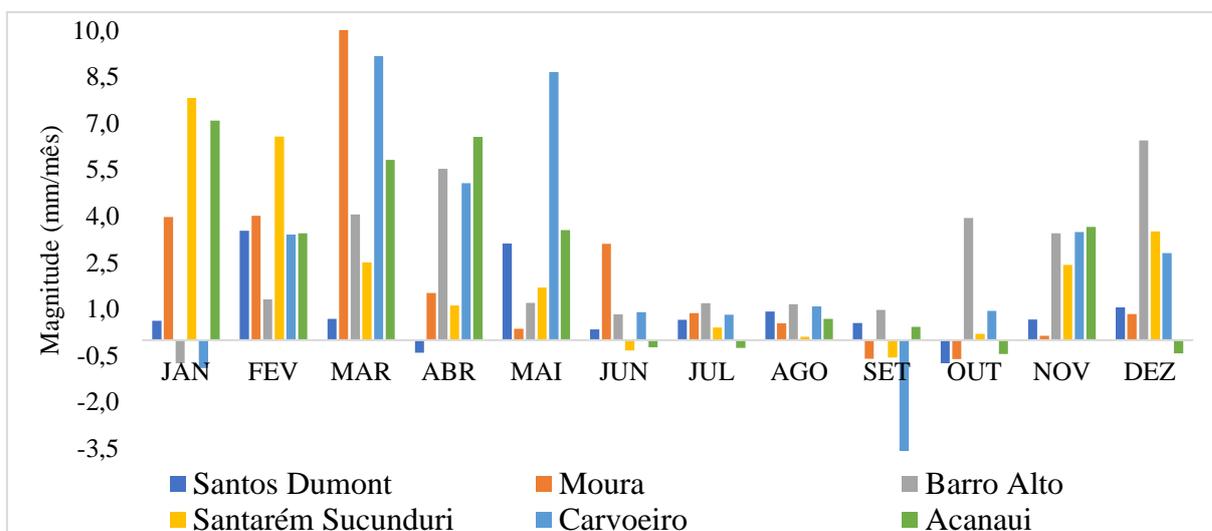
tendência apenas no mês de maio (3,1 mm); a **Moura** em março (10 mm); a **Barro Alto** em abril (5,5 mm), outubro (3,9 mm) e dezembro (6,4 mm); a **Santarém Sucunduri** em janeiro (7,8 mm) e fevereiro (6,5 mm); a **Carvoeiro** nos meses de março (9,17 mm), maio (8,65 mm) e setembro (-3,85mm); a **Acanaui** em janeiro (7 mm), março (5,8 mm), abril (6,5 mm) e novembro (3,6 mm). Na Figura 65, estão os p-valores do teste de tendência e os meses que indicaram tendência mensal estão abaixo da linha de referência.

Figura 65 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Amazonas (Parte I)



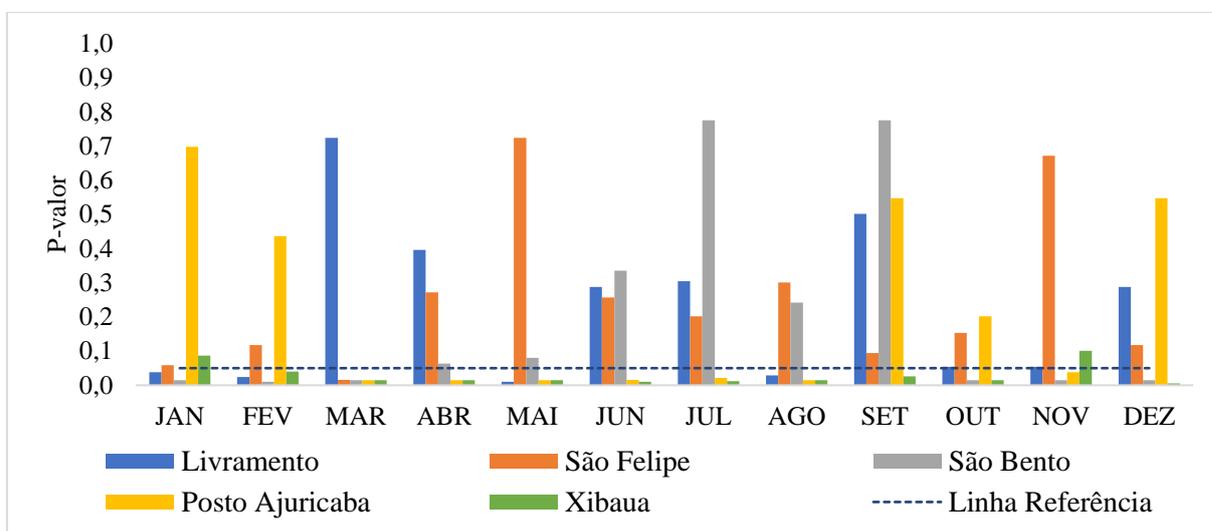
As taxas de magnitudes mensais das estações da Parte I do estado do Amazonas, são apresentadas na Figura 66, a maioria apresenta taxas mensais crescentes, com poucas exceções como a da estação carvoeiro nos meses de janeiro e setembro.

Figura 66 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Amazonas (Parte I)



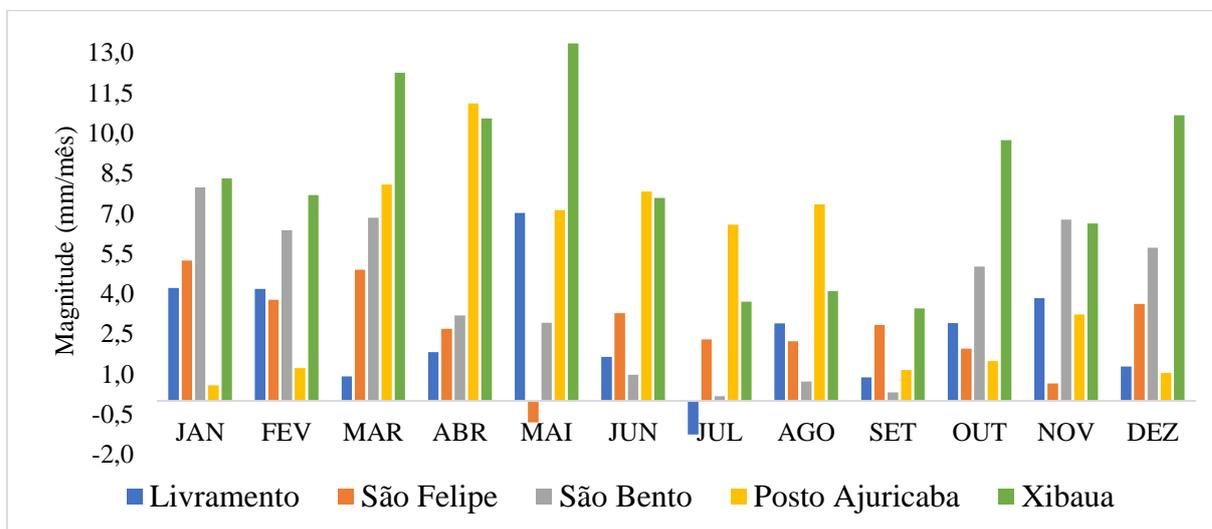
Na parte II do Amazonas foram analisadas as estações: **Livramento** que teve tendência em janeiro (4,2 mm), fevereiro (4,2 mm), maio (7 mm) e agosto (2,9 mm); **São Felipe** apenas no mês de março (4,9 mm); **São Bento** em janeiro (7,9 mm), fevereiro (6,3 mm), março (6,8 mm), outubro (5 mm), novembro (6,7 mm) e dezembro (5,7 mm); **Posto Ajuricaba** nos meses de março (8 mm), abril (11 mm), maio (7 mm), junho (7,8 mm), julho (6,6 mm), agosto (7,3 mm) e novembro (3,2mm); e **Xibaua** em fevereiro (7,7 mm), março (12,2 mm), abril (10,5 mm), maio (13,3 mm), junho (7,6 mm), julho (3,7 mm), agosto (4 mm), setembro (3,4 mm), outubro (9,7 mm), e dezembro (10,6 mm), com as exceção apenas dos meses de janeiro e novembro. Na Figura 67, estão os p-valores do teste de tendência mensal.

Figura 67 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Amazonas (Parte II)



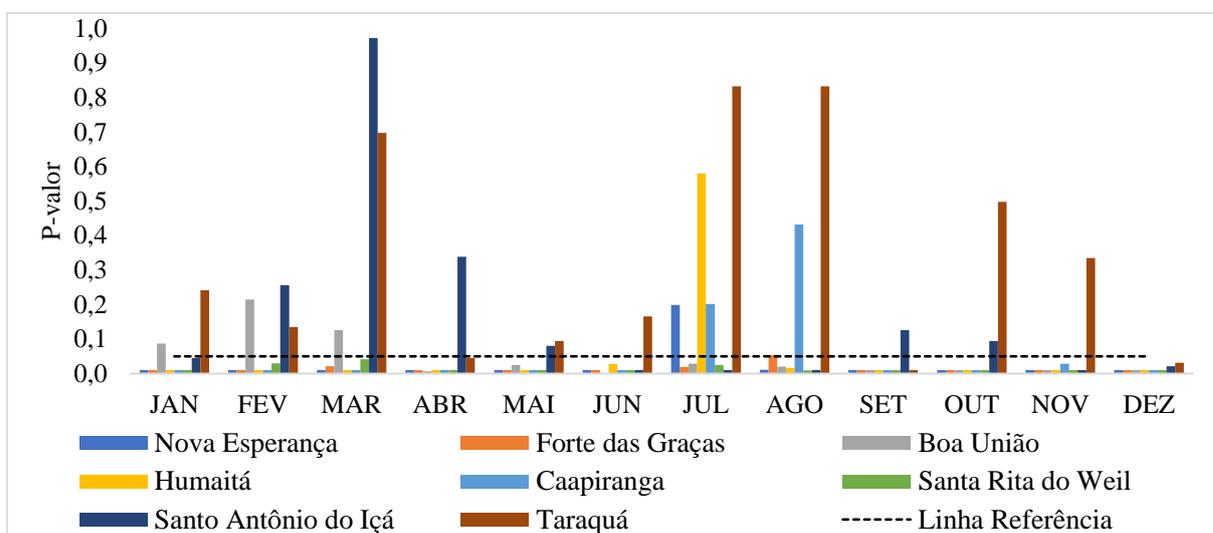
As taxas de magnitudes mensais das estações da Parte II do estado do Amazonas, são apresentadas na Figura 68, sendo a maior parte com taxas crescentes significativas.

Figura 68 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Amazonas (Parte II)



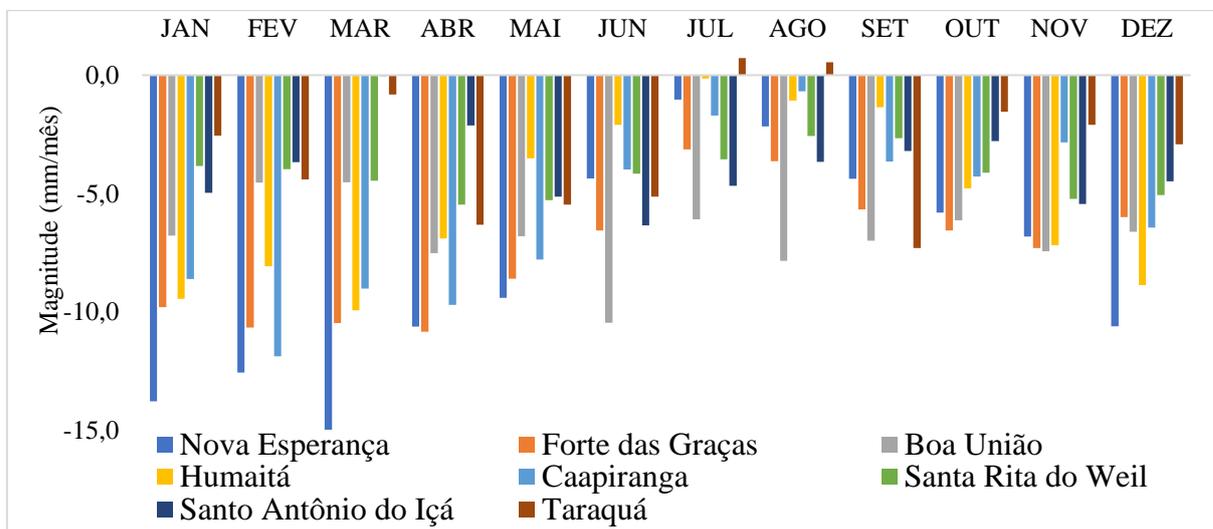
Na parte III foram analisadas a tendência mensal das oito estações que apresentaram tendência sazonal negativas no Amazonas, conforme a Figura 69, os resultados demonstram tendência em vários meses destas estações: **Nova Esperança** e **Humaitá** tiveram tendência em quase todos os meses, com exceção de julho; **Forte da Graças** teve tendência em quase todos os meses, com exceção de agosto; **Boa União** nos meses de abril até dezembro; **Caapiranga** nos meses de setembro até junho; **Santa Rita do Weil** teve tendência em todos os doze meses; **Santo Antônio do Içá** indicou tendência de junho até agosto e de novembro até janeiro; e **Taraquá** tendência apenas em abril e setembro.

Figura 69 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Amazonas (Parte III)



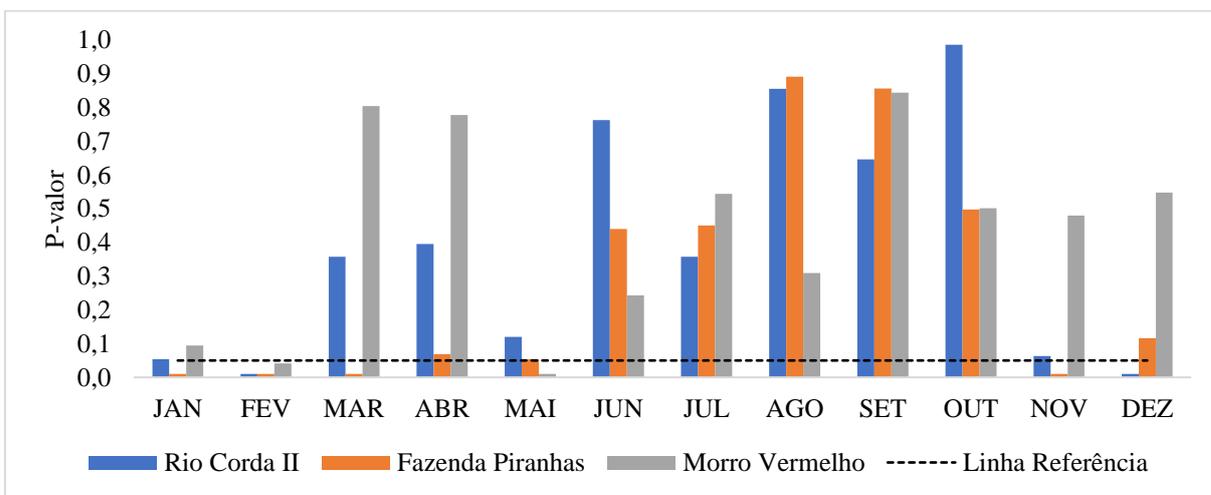
Na Figura 70 estimou-se as taxas de magnitudes da precipitação destas estações para cada mês, e quase todos os meses apresentaram magnitudes decrescente, com exceção da estação Taraquá que indicou um pequeno crescimento em julho e agosto.

Figura 70 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Amazonas (Parte III)



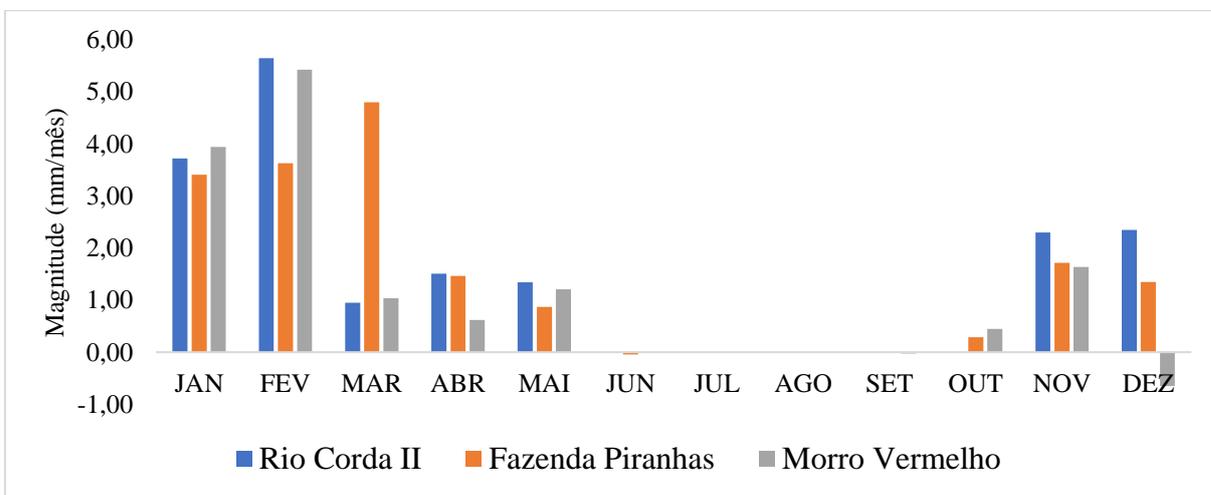
No Maranhão 17 estações indicaram tendência sazonal sendo 3 positivas e 14 negativas, que foram analisadas mensalmente em três partes. Na parte I analisou-se as três estações com tendência sazonal positiva, que tiveram o p-valor mensal menor que 0,05 ou seja estão abaixo da linha de referência na Figura 71, são: **Rio Corda** apresentou tendência nos meses de fevereiro (5,6 mm) e dezembro (2,3 mm); **Fazenda Piranhas** nos meses de janeiro (3,4 mm), fevereiro (3,6 mm), março (4,8 mm) e novembro (1,72 mm); e **Morro Vermelho** nos meses de fevereiro (5,4 mm) e maio (1,2 mm).

Figura 71 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal Maranhão (parte I)



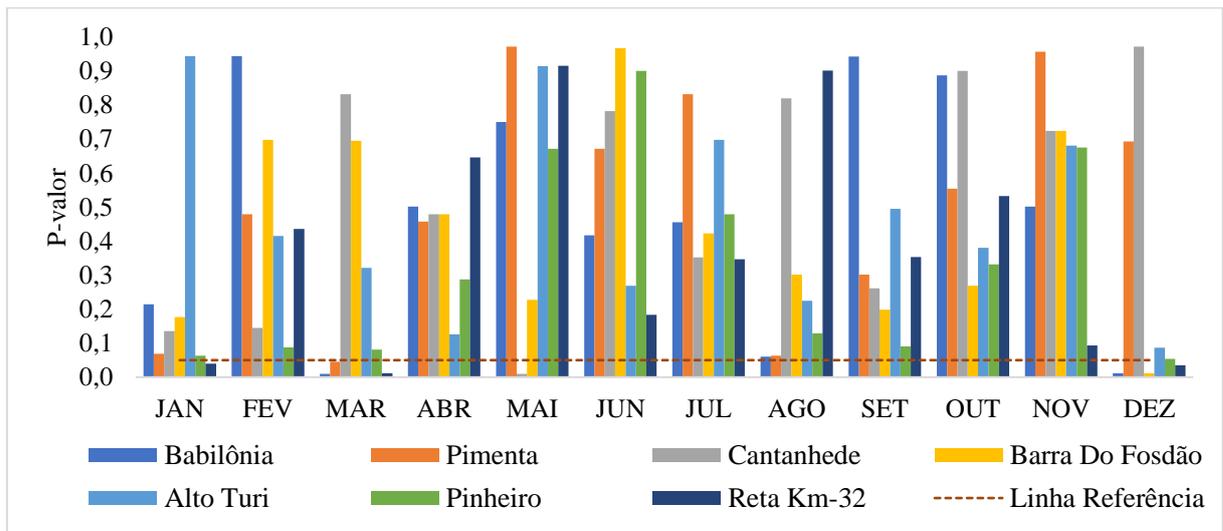
Na Figura 72 analisou-se as magnitudes mensais destas estações, observou-se que as três estações apresentam comportamento semelhantes, sendo que nos meses de novembro até maio que são os meses do período chuvoso da região apresentaram taxas de aumento mensal nas precipitações, e nos meses de junho até setembro o teste não indicou taxas de mudanças.

Figura 72 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Maranhão (Parte I)



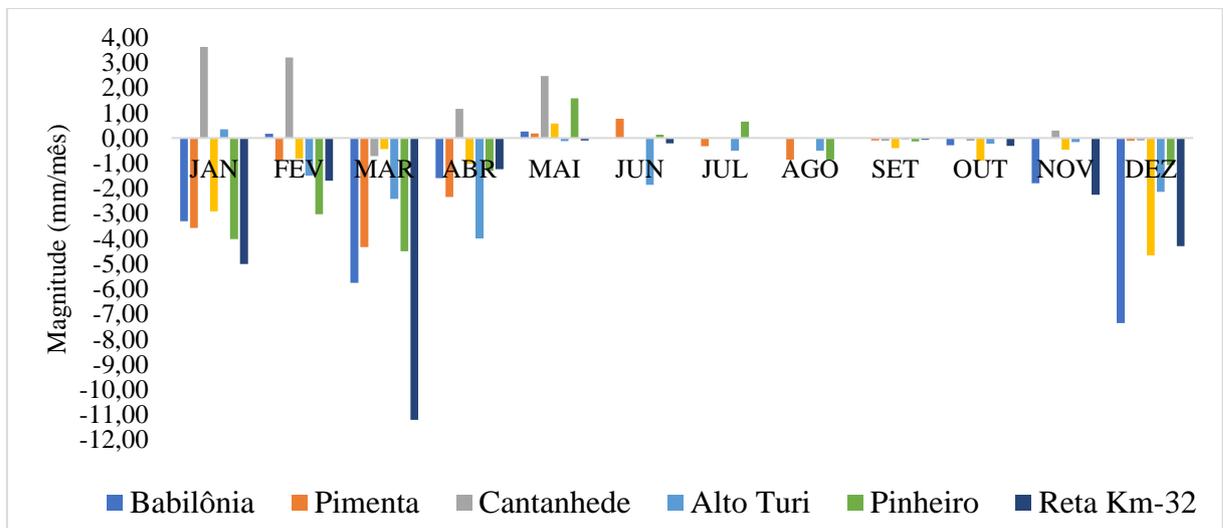
Na parte II analisou-se as estações do estado do Maranhão: **Babilônia** que teve tendência nos meses de março (-5,75 mm) e dezembro (-7,3 mm); **Pimenta** no mês de março (-4,33 mm); **Cantanhede** em maio (- 2,4 mm); **Barra do Fossão** em dezembro (-4,6 mm); as estações de **Alto Turi** e **Pinheiro** não tiveram tendências mensais; **Reta Km-32** indicou tendências nos meses de janeiro (-5 mm), março (-11,2 mm) e dezembro (-4,3 mm). Os resultados estão na Figura 73, sendo que os meses que apresentaram tendência estão abaixo da linha de referência.

Figura 73 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Maranhão (Parte II)



Na Figura 74 são apresentadas as taxas das magnitudes, que indicam decréscimo na precipitação mensal em quase todas as estações, principalmente nos meses que mais chove. Porém a estação Cantanhede indicou crescimento nos meses de janeiro, fevereiro, abril e maio mas estatisticamente não significativo.

Figura 74 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Maranhão (Parte II)



Na parte III analisou-se as estações do estado do Maranhão: **Maracacume** que apresentou tendência em agosto (-1,7 mm) e setembro (-1 mm); **Arame** nos meses de janeiro (-5,1 mm), junho (-0,2 mm) e outubro (-1,2 mm.); **Esperantina** em março (-5,6 mm); **Pindaré-Mirim** nos meses de março (-10,7 mm), outubro (-1,4 mm) e novembro (-1,8 mm); **Boa Vista** teve tendência negativa nos meses de estiagem junho (0), julho (0), agosto (0) mas as taxas de sen's foram nulas e a de dezembro (-4,1 mm); **Aratoí Grande** teve tendência em março (-3,4 mm), agosto (-0,5 mm), outubro (-1,4 mm) e novembro (-1,9 mm); e **Boa Vista do Pindaré** em março (-6,4 mm), julho (-2,1 mm), setembro (-1,5 mm) e dezembro (-4,1 mm). Na Figura 75 estão os resultados dos p-valores da tendência mensal e na Figura 76 as taxas das magnitudes mensais.

Figura 75 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Maranhão (Parte III)

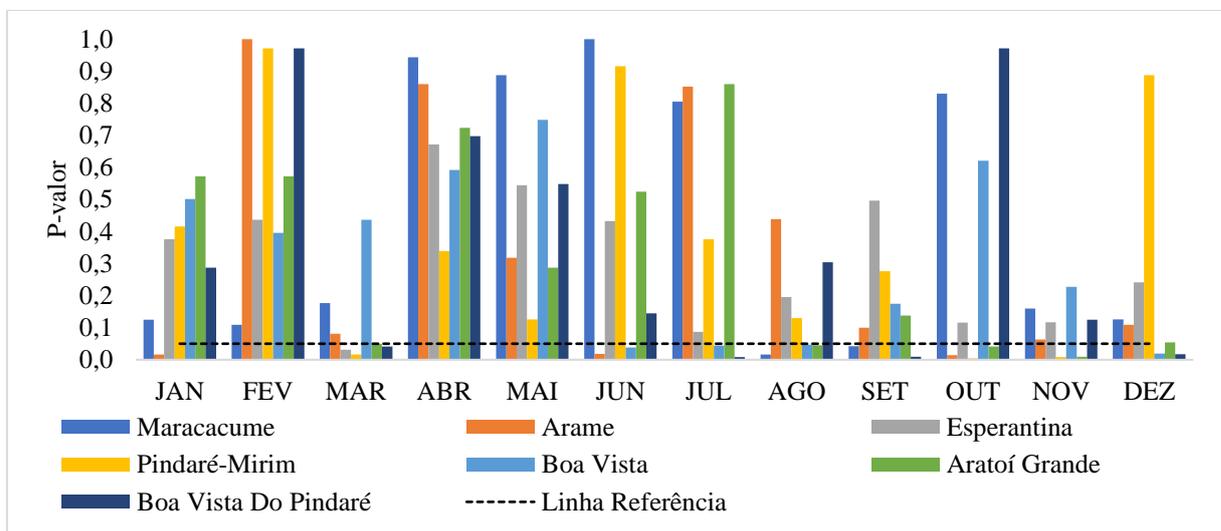
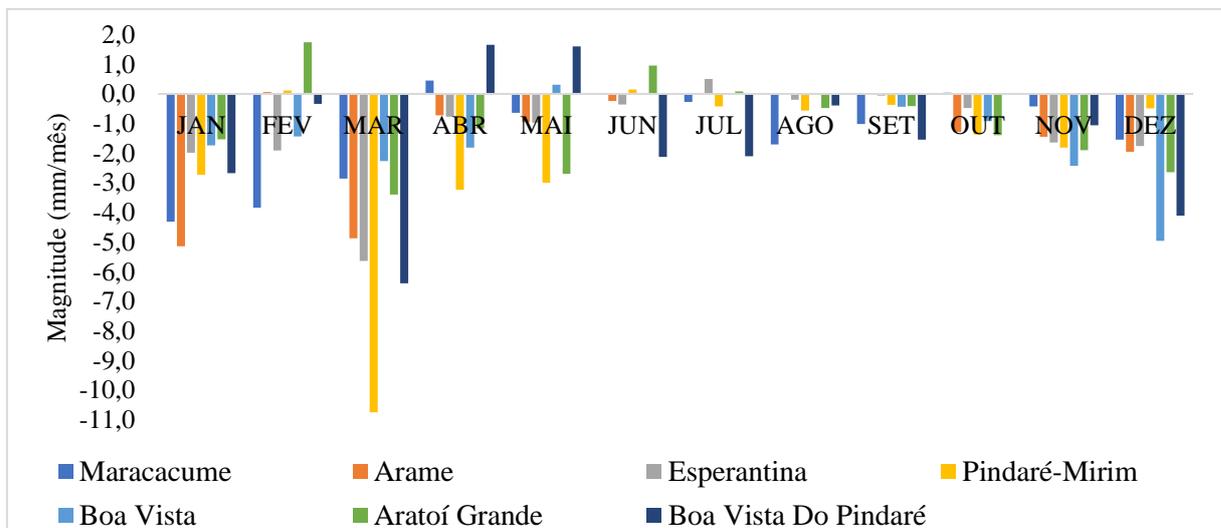
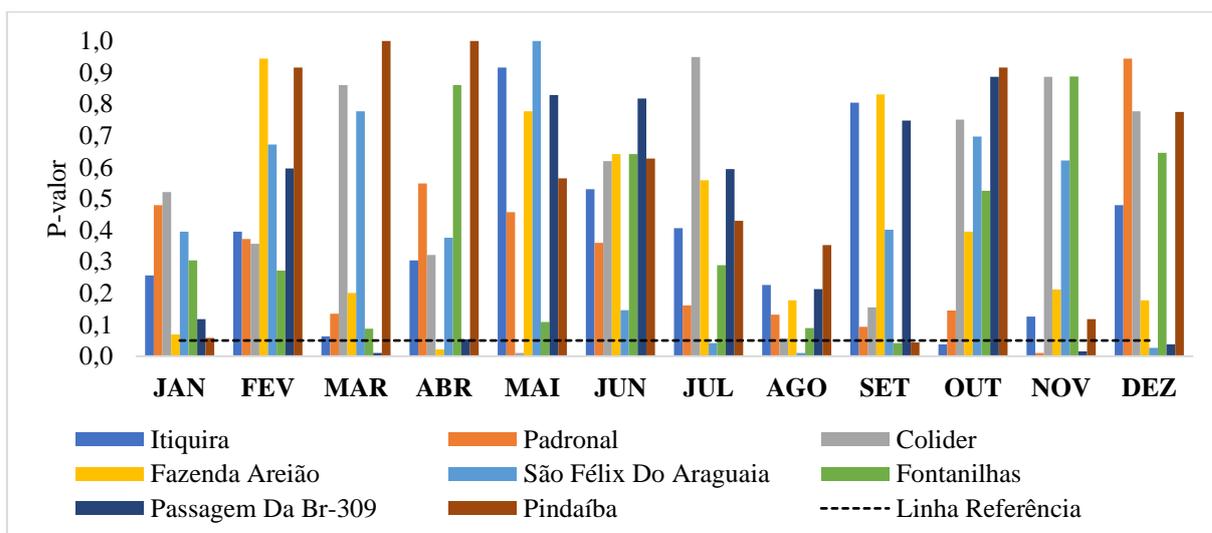


Figura 76 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Maranhão (Parte III)



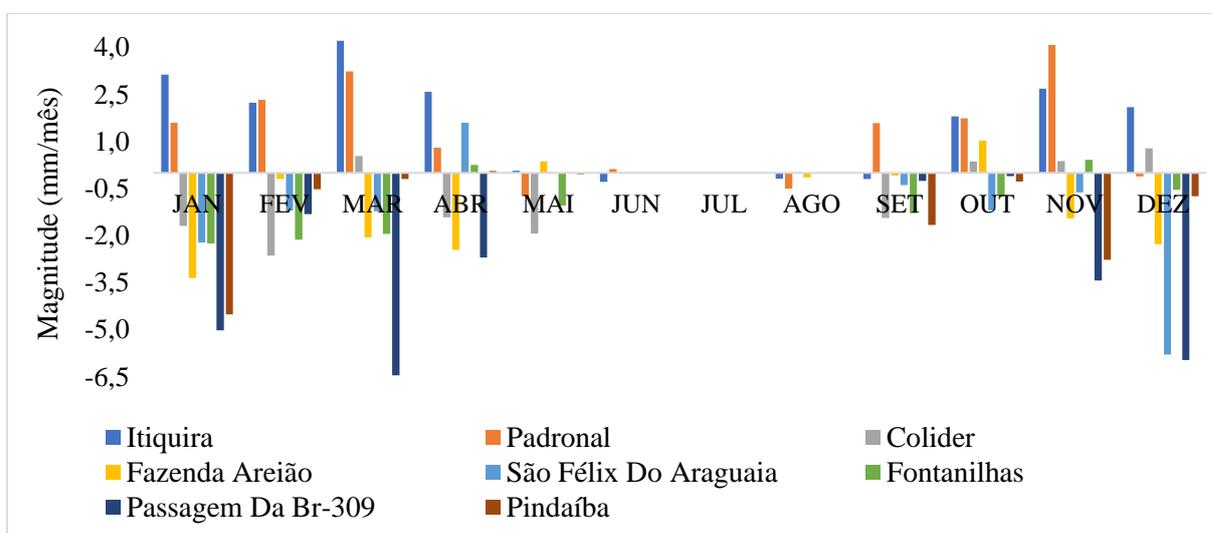
No Mato Grosso oito estações apresentaram tendência sazonal, analisou-se as tendências mensais destas e de acordo com Figura 77, **Itiquira** teve tendência no mês de outubro (1,8 mm); **Padronal** em novembro (4 mm); **Colider** em maio (-1,9 mm); **Fazenda Areião** nos meses de abril (-2,4 mm); **São Félix do Araguaia** em julho (0), agosto (0) e dezembro (-5,79mm); **Fontanilhas** em setembro (-1,3 mm); **Passagem da Br 309** nos meses de março (-6,5 mm), novembro (-3,4 mm) e dezembro (-6 mm); e **Pindaíba** em setembro (-1,66 mm).

Figura 77 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal Mato Grosso



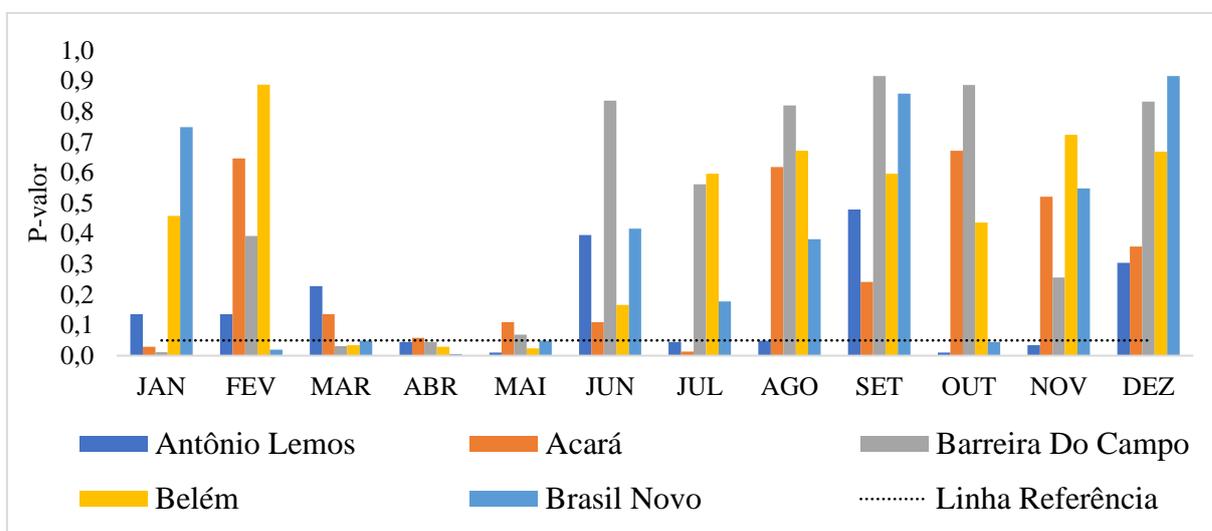
Na Figura 78, estão às taxas de magnitudes das tendências mensais destas estações, observou-se que a maioria apresentou taxas de decréscimo da precipitação, já as estações de Itiquira e Padronal tiveram taxas de crescimento nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, outubro e novembro.

Figura 78 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Mato Grosso



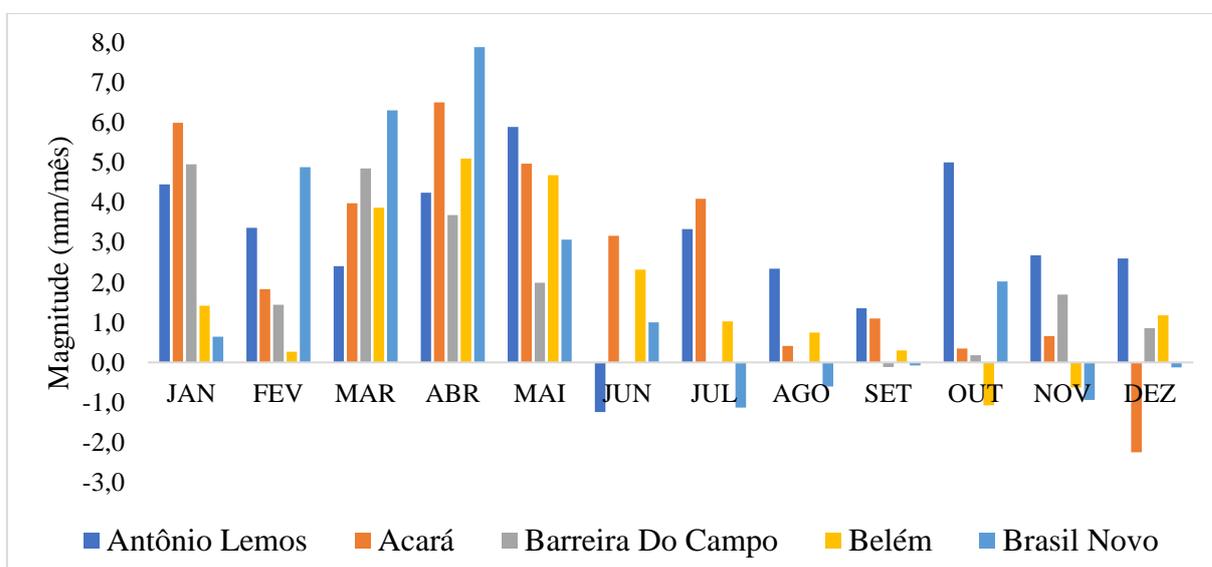
No estado do Pará onze estações apresentaram tendências sazonais, foram analisadas em duas partes. Na parte I analisou-se as tendências mensais das estações: **Antônio Lemos** que teve tendência nos meses de abril (4,2 mm), maio (5,8 mm), julho (-1,24 mm), agosto (2,3 mm), outubro (5 mm) e novembro (2,6 mm); **Acará** em janeiro (6 mm) e julho (4 mm); **Barreira do Campo** em janeiro (4,9 mm), março (4,8 mm) e abril (3,7 mm); **Belém** em março (3,8 mm), abril (5,1 mm) e maio (4,6 mm); **Brasil Novo** em fevereiro (4,8 mm), março (6,3 mm), abril (7,8 mm), maio (3 mm) e outubro (2 mm). Os resultados são apresentados na Figura 79, os meses abaixo da linha de referência indicam tendências mensais.

Figura 79 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Pará (Parte I)



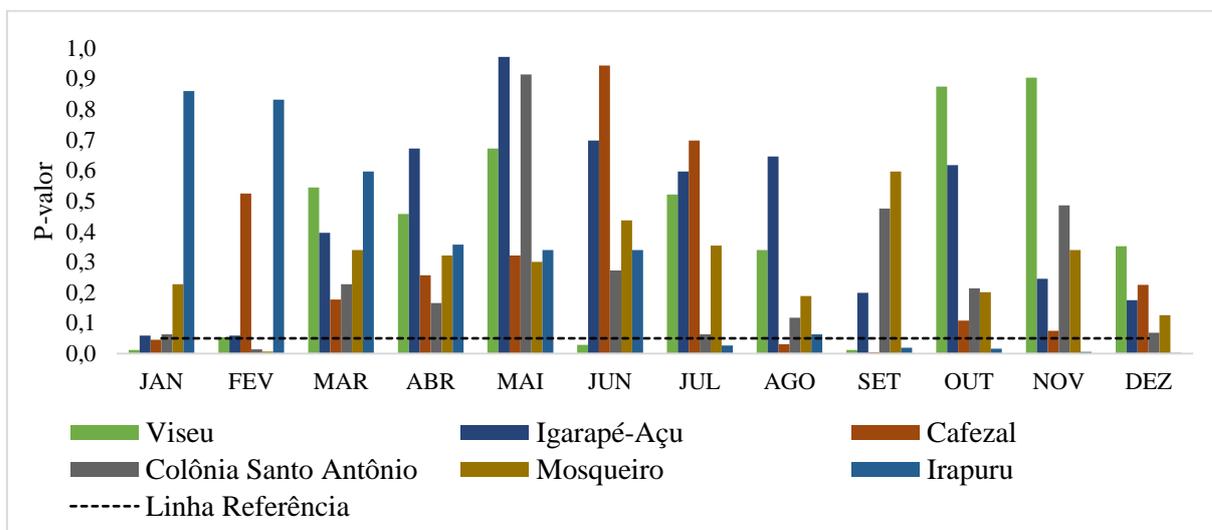
As taxas de magnitudes mensais da precipitação são apresentadas na Figura 80, destaque para taxas crescentes para todas estas estações, principalmente nos primeiros meses do ano.

Figura 80 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Pará (Parte I)



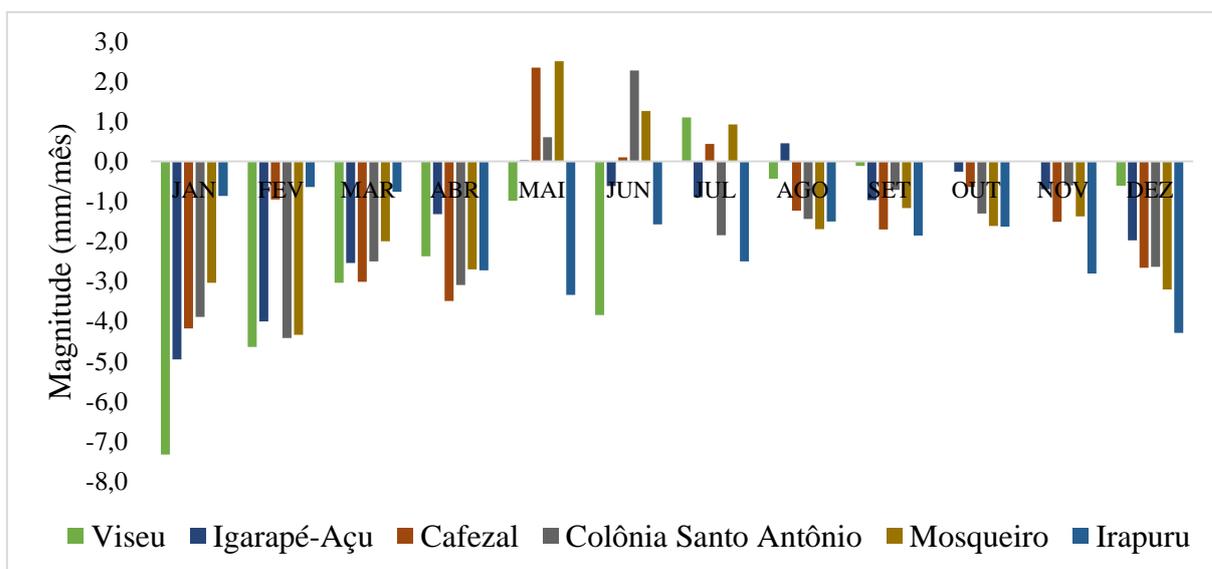
Na parte II do estado do Pará analisou-se as tendências mensais das estações: **Viseu** que apresentou tendência nos meses de janeiro (-7,3 mm), junho (-3,8 mm) e setembro (-0,1 mm); **Igarapé-Açu** não indicou tendência mensal; **Cafezal** teve tendência em janeiro (-4,1 mm), agosto (-1,2 mm) e setembro (1,7 mm); **Colônia Santo Antônio** no mês de fevereiro (-4,4 mm); **Mosqueiro** no mês de fevereiro (-4,3 mm) e **Irapuru** nos meses de julho (-2,5 mm), setembro (-1,8 mm), outubro (1,6 mm), novembro (-2,8 mm) e dezembro (-4,3 mm). Os resultados são apresentados na Figura 81, os meses abaixo da linha de referência indicam tendências mensais.

Figura 81 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Pará (Parte II)



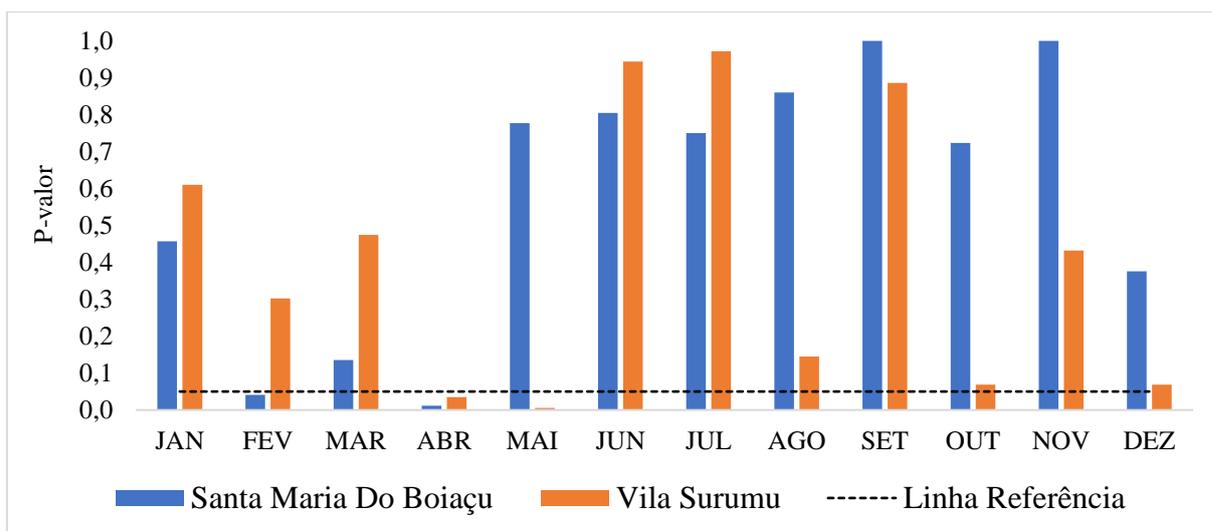
As magnitudes mensais da precipitação destas estações são apresentadas na Figura 82, nota-se que a maioria dos meses apresentaram tendência decrescentes.

Figura 82 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Pará (Parte II)



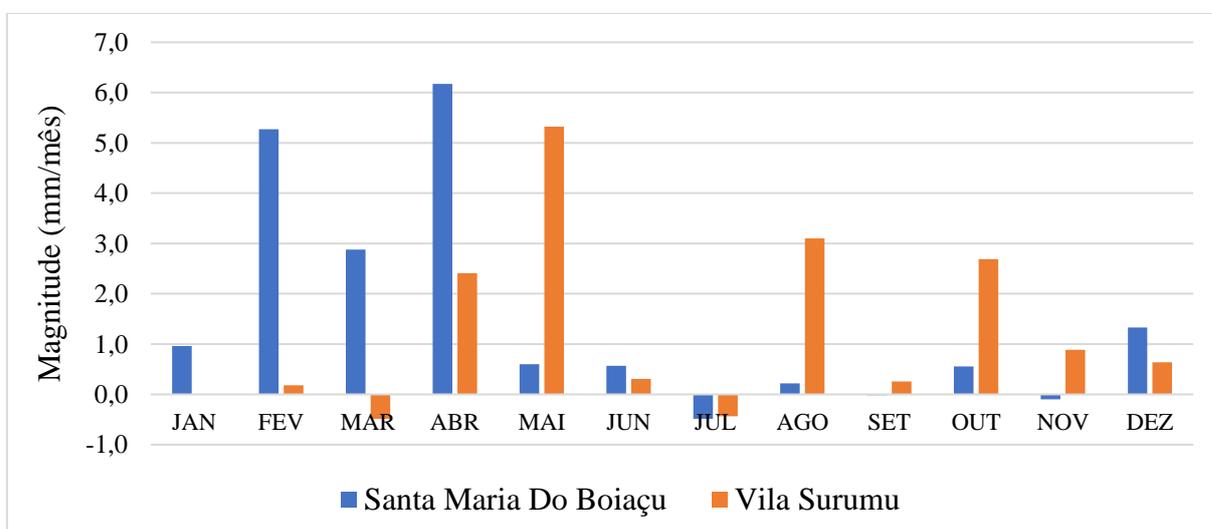
No estado de Roraima duas estações indicaram tendência sazonal positivas, e na análise mensal das tendências de acordo com a Figura 74, a estação **Santa Maria do Boiaçu** teve tendência nos meses de fevereiro (5,2 mm) e abril (6,17 mm) e a estação **Vila Surumu** nos meses de abril (2,4 mm) e maio (5,3 mm). Na Figura 83 estão os p-valores do teste de tendência, e os meses que estão abaixo da linha de referência indicaram tendência mensal.

Figura 83 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal de Roraima



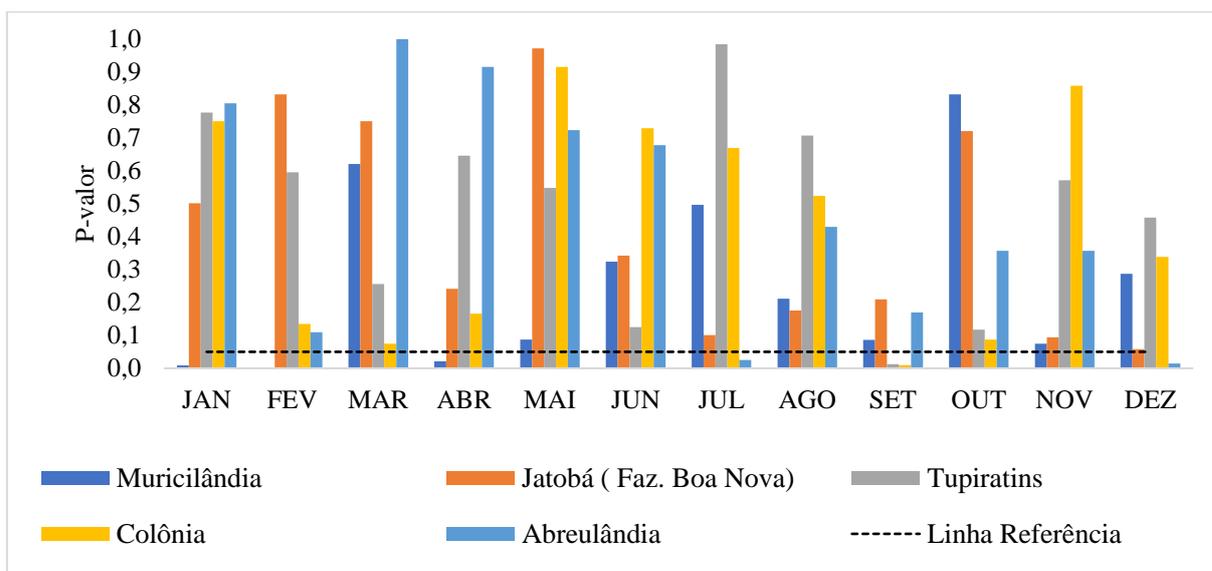
Na Figura 84 tem-se magnitudes da precipitação mensal das duas estações, observou-se que a santa maria do Boiaçu tem taxa de aumento significativas nos meses de janeiro até abril, já a Vila Surumu tem as maiores magnitudes nos meses de maio, agosto e outubro. O mês de julho observa-se uma diminuição na precipitação para ambas, porém não é estatisticamente significativa.

Figura 84 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal de Roraima



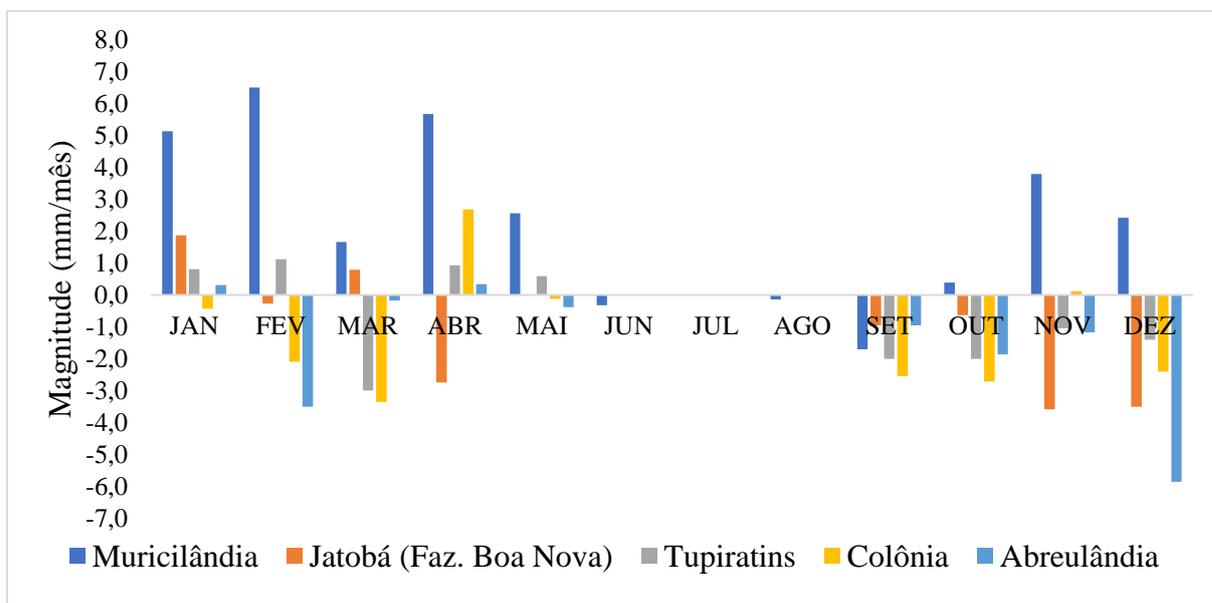
No Tocantins dez estações apresentaram tendência sazonal e foram analisadas as tendências mensalmente em duas partes. Na Parte I analisou-se as estações: **Muricilândia** apresentou tendência nos meses de janeiro (5,1 mm), fevereiro (6,5 mm) e abril (5,7 mm); **Jatobá** não indicou tendências mensais; **Tupiratins** no mês de setembro (-2 mm); **Colônia** em setembro (-2,5mm); **Abreulândia** nos meses de julho (0) e dezembro (-5,8mm). Na Figura 85, são apresentados os resultados das tendências mensais.

Figura 85 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Tocantins



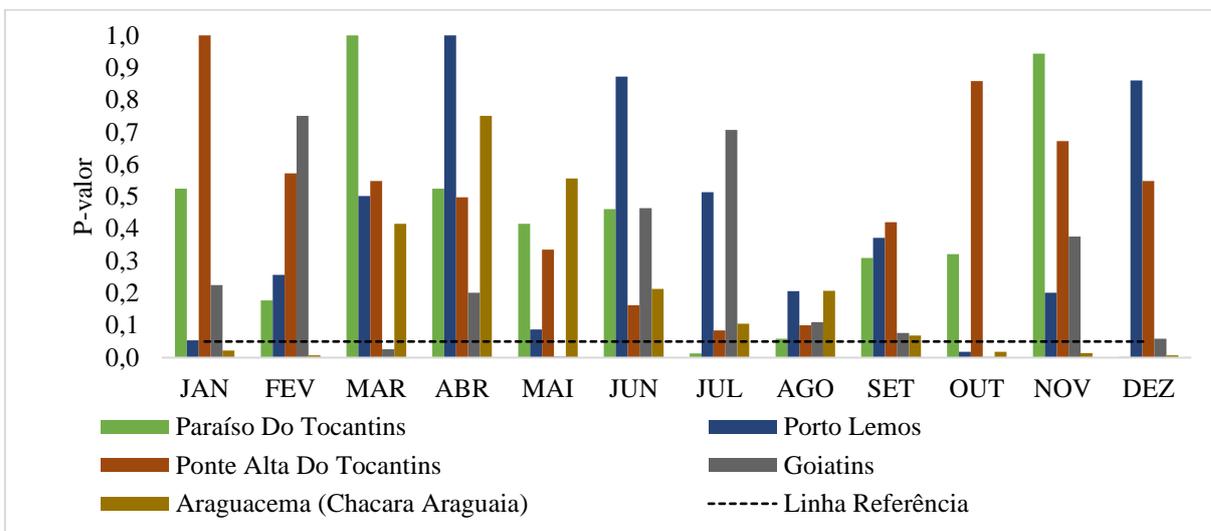
Na Figura 86 são demonstradas as taxas de magnitudes mensais tanto de crescimento como de decréscimo da precipitação destas estações do Tocantins.

Figura 86 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Tocantins (Parte I)



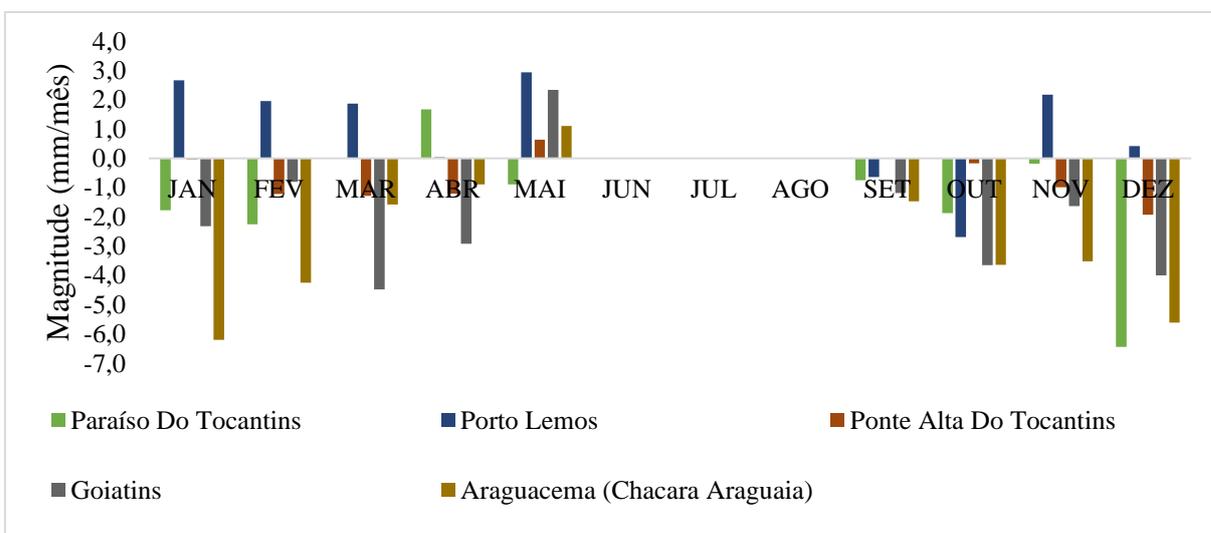
Na Parte II analisou-se as estações do Tocantins: **Ponte Alta do Tocantins** que não indicou tendências mensais; **Paraíso do Tocantins** com tendência nos meses de julho (0) e dezembro (-6,4 mm); **Porto Lemos** no mês de outubro (-2,7 mm); **Goiatins** nos meses de março (-4,5 mm), maio (2,3 mm) e outubro (-3,65 mm); e **Araguacema** em outubro (-3,6 mm), novembro (-3,5 mm), dezembro (-5,6 mm), janeiro (-6,2 mm) e fevereiro (-4,2 mm). Os resultados são apresentados na Figura 87, os meses abaixo da linha de referência indicam tendência mensal

Figura 87 – P-valor mensal das estações com tendência sazonal do Tocantins (Parte II)



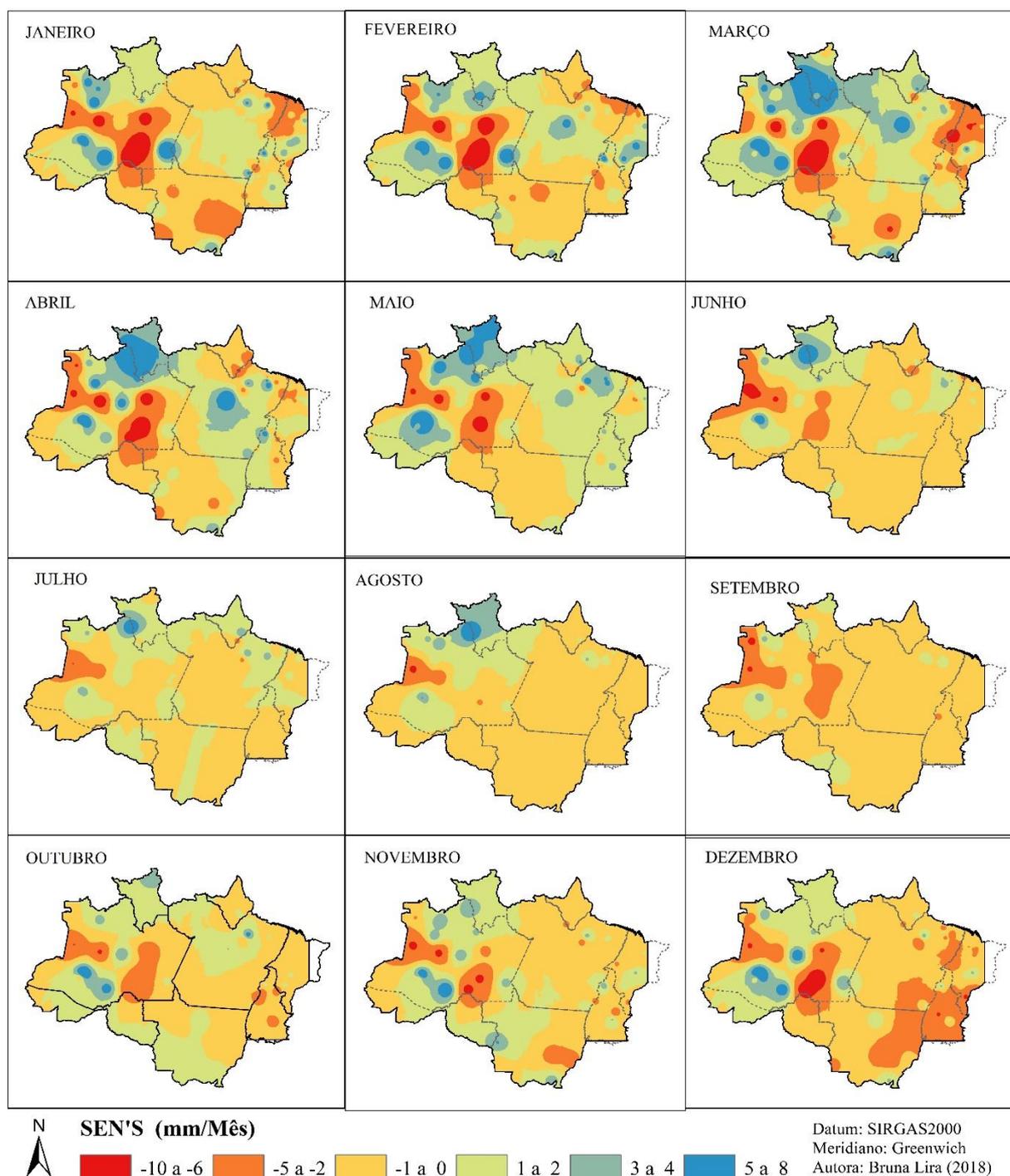
Na Figura 88, são demonstradas as magnitudes mensais de crescimento e decréscimo da precipitação das estações com tendências sazonais do estado de Tocantins.

Figura 88 – Magnitude mensal das estações com tendência sazonal do Tocantins (Parte II)



As taxas de magnitude mensais da precipitação das 268 estações da Amazônia Legal, foram distribuídas na Figura 89, segundo Silvano *et al.* (2016), o oeste da Amazônia apresentou tendência positiva no período mais chuvoso (janeiro a abril) e negativa no período mais seco (junho a setembro). Observa-se que existe uma grande variação das taxas entre os meses, mas tem-se o aumento de magnitude nas precipitações nos meses de maiores índices pluviométricos, assim como uma diminuição de magnitude nos meses de menores índices pluviométricos.

Figura 89 – Magnitude Mensal da precipitação da Amazônia Legal



6. CONCLUSÃO

Na coleta e análise dos dados, constatou-se que o monitoramento hidrometeorológico na região é deficitário. Portanto, é necessário a implantação e a manutenção de estações pluviométricas, além da sugestão da automatização da coleta de dados, já que a região é extensa, dificultando a coleta tradicional, que pode ser uma das causas das falhas e da ausência de dados.

Em relação ao comportamento pluviométrico da Amazônia Legal, constatou-se a não homogeneidade, com influência das características físicas e principalmente dos sistemas e fenômenos atmosféricos. Além das variações espacial crescente no sentido do sul para o norte e variações temporal durante a ocorrência dos fenômenos mais intensos de ENOS.

Na regionalização da precipitação e das coordenadas geográficas latitude e longitude, foi possível identificar regiões com padrões pluviométricos semelhantes, não só em relação a variabilidade da precipitação média, mas com boa coerência espacial, coincidido com os principais sistemas atmosféricos atuantes na região, contribuindo para estudos de climatologia. Na regionalização da precipitação mensal verificou-se a distribuição ao longo do ano, por meio do ciclo anual, demonstrando a variabilidade espaciais e temporais das precipitações e a variação dos períodos chuvosos, de transição e menos chuvosos.

O teste estatístico de Mann-Kendall indicou tendências e magnitudes pontuais, tanto positivas como negativas, em ambas as séries temporais anuais e mensais de precipitações, para um nível de significância de 5%. De acordo com o estimador Sen's Slope, foi indicado uma taxa média de decrescimento de 5mm ao ano para precipitação da Amazônia Legal. Além disso, demonstrou-se que mudanças importantes estão ocorrendo no comportamento da precipitação anual e sazonal, podendo acarretar risco hidrológico e climático.

Portanto o entendimento do comportamento dessas variabilidades, juntamente com a sua espacialidade, poderá ser ferramenta de gestão e planejamento dos recursos hídricos da região Amazônica tão rica em um recurso que é vital para o futuro da humanidade, a água.

7. REFERÊNCIAS

- Almeida, C.A.; Coutinho, A.C.; Esquerdo, J.C.D.M.; Adami, M.; Venturieri, A.; Diniz, C.G.; Dessay, N.; Durieux, L.; Gomes, A.R. **High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data.** *Acta Amazonica*, Vol 46 (3), 291-302, 2016.
- Alvares, C.A; Stape, J.L; Sentelhas, P.C; Gonçalves, J.L.M; Sparovek, G. **Köppen's climate classification map for Brazil.** *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- Amanajás, J. C.; Braga, C. C. **Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 27, n. 4, p. 423 - 434, 2012.
- ANA, Agência Nacional de Águas do Brasil. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno.** Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2017.
- Araújo, R. G.; Andreoli, R. V.; Candido, L. A.; Kayano, M. T.; Souza, R. A. F. **A influência do evento El Niño - Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul.** *Acta Amazônica*, v. 43, n. 4, p. 469-480, 2013.
- Azevedo, F. T. M.; Souza, E. B.; Franco, V. S.; Souza, P. F. S. **Prognóstico sazonal de precipitação regionalizada na Amazônia Oriental.** *Revista Brasileira de Geografia Física* v.10, n.05 1520-1534. 2017
- Bari, S.H.; Rahman, M.T.U.; Hoque, M.A.; Hussain, M.M. **Analysis of seasonal and annual rainfall trends in the northern region of Bangladesh.** *Atmospheric Research*, 176–177. 2016.
- Chow, V.T.; Maidment, D.R.; Mays, L.W. **Applied Hydrology**, McGraw-Hill. 1988
- Coehn, J. C. P.; Dias, M. A. F. S.; Nobre, C. A. **Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia.** *Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, 4(11): 34 – 40. 1989.
- Davidson E.A.; De Araújo A.C.; Artaxo P.; Balch J.K.; Brown I.F.; Mercedes M.M.; Coe M.T.; DeFries R.S.; Keller M.; Longo M.; Munger J.W.; Schroeder W.; Soares-Filho B.S.; Souza C.M.; Wofsy S.C. **The Amazon basin in transition.** *Nature* 481, 321–328. 2012.
- Almeida, C.T.; Delgado, R.C.; Junior, J.F.de O.; Gois, G.; Cavalcanti, A.S. **Avaliação das Estimativas de Precipitação do Produto 3B43-TRMM do Estado do Amazonas.** *Revista Floresta e Ambiente*. v.22, n.3, 279-286, 2015
- De Sousa, A. M. L.; Rocha, E. J. P.; Vitorino, M. I.; Souza, P. J. O. P.; Botelho, M. N. **Variabilidade espaço-temporal da precipitação na Amazônia durante eventos ENOS.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, p. 15-29, 2015.
- Delahaye, F.; Kirstetter, P.E.; Dubreuil, V.; Machado, L.A.T.; Vila, D.A.; Clark, R. **A consistent gauge database for daily rainfall analysis over the Legal Brazilian Amazon.** *Journal of Hydrology*, 527:292–304. 2015.
- Santos, S.R.Q.; Braga, C.C.; Sansigolo, C.A.; dos Santos, A.P.P. **Determinação de regiões homogêneas do Índice de precipitação normalizada (SPI) na Amazônia oriental.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 1, 111-122. doi:10.1590/0102-778632120160013; 2017.
- Elesbon, Abrahao A.A., *et al.* **"Methodological proposal for hydrometric network design: Part I--Unbiased spatialization of hydrological data/ Proposta metodologica para projeto**

de redes hidrométricas: Parte I--Espacialização não tendenciosa dos dados hidrológicos." Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 18, no. 9, 2014

Fernandes Chierice, R. A.; Landim, P. M. B. **Variabilidade Espacial e Temporal de precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu.** Geociências, v. 33, n. 1, p. 157-171, 2014.

Fernandes, K.; Baethgen, W.; Bernardes, S.; Defries, R.; Dewitt, D.G.; Goddard, L. Lavado, W.; Lee, D. E.; Padoch, C.; Pinedo-Vasquez, M.; Uriarte, M. **North Tropical Atlantic influence on western Amazon fire season variability.** Geophysical research letters, Vol. 38, L12701, doi:10.1029/2011GL047392. 2011

Fisch, G.; Marengo, J. A.; Nobre, C. A. **Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia.** Revista Acta Amazônica, v. 22, n. 2, p. 101- 126, 1998.

FIGUEROA, S. N; NOBRE, C.A. Precipitations Distribution Over Central and Western Tropical South American. Climanalise, Vol.5, n. 6, p. 36 - 48, 1990.

G. Basha, a.; P. Kishore b.; M. Venkat Ratnam c.; T.B.M.J. Ouarda a,d.; Isabella Velicogna b.; Tyler Sutterley b. **Vertical and latitudinal variation of the intertropical convergence zone derived using GPS radio occultation measurements.** Remote Sensing of Environment. 163, 262–269. 2015.

Gilbert, R.O. **Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring.** John Wiley & Sons, New York (1987)

Gocic, M.; Trajkovic, S. **Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia.** Global and Planetary Change, 100:172–182, 2013

Gonçalves, M.F.; Blanco, C.J.C.; Dos Santos, V.C.; Oliveira, L.L.S.; Pessoa, F.C.L. **Identification of Rainfall Homogenous Regions taking into account El Niño and La Niña and Rainfall Decrease in the state of Pará, Brazilian Amazon.** Acta Scientiarum, 38(2), 209-216. 2016.

Greco, S.; Swap, R.; Garstang, M.; Ulanski, S.; Shipham, M.; Harriss, R.C.; Talbot, R.; Andreae, Mo.; Artaxo, P. **Rainfall and surface kinematic conditions over central Amazonia during ABLE 2B.** Journal Of Geophysical Research-Atmospheres, Vol.95(D10). Sep, 1990.

Hamed, K. H. **Exact distribution of the Mann-Kendall trend test statistic for persistent data.** Journal of Hydrology, v. 365, n. 1–2, p. 86–94, 2009.

Henderson S. W.; Ricardo F. A. C.; Frede de O. C. **Variabilidade espacial e preenchimento de falhas de dados pluviométricos para o estado de Alagoas.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.27, n.3, 347 - 354, 2012.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Amazônia Legal.** Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/informacoes-ambientais/geologia/15819-amazonia-legal?=&t=sobre>>. Acesso em: abril de 2018.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. CPTEC, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climático. **Glossário.** Disponível em:<<https://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml>> Acesso em: Março de 2018.

Isaaks, E. H.; Srivastava, M. R. **Applied Geostatistics,** Oxford University Press, Oxford, New York, 560 p. 1989.

- Ishihara, J. H.; Fernandes, L. F.; Duarte A.A.M.; Loureiro, G.E.; **Avaliação do monitoramento pluviométrico da Amazônia legal**. Revista Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia. 10, n. 3, p. 132-143, maio/jun 2013
- Ishihara, J. H.; Fernandes, L.L.; Duarte A.A.M.; Duarte, A.R. C.L.M.; Ponte, M.X.; Loureiro, G.E. **Quantitative and spatial assessment of precipitation in the Brazilian Amazon (Legal Amazon) – (1978 to 2007)**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH, Vol. 19 n.1, p. 29-39 – Jan/Mar 2014.
- Kahsay, K.D.; Pingale, S.M.; Hatiye, S.D. **Impact of climate change on groundwater recharge and base flow in the sub-catchment of Tekeze basin, Ethiopia**. Groundwater for Sustainable Development, 6: 121–133, 2018
- Kendall, M. G. **Rank correlation methods**. London. Charles Griffin. 272p, 1975
- Linden, R. **Técnicas de Agrupamento**. Revista de Sistemas de Informação da FSMA n. 4 (2009) pp. 18-36 Acesso em: 15 mar. 2018, disponível em: http://www.fsma.edu.br/si/edicao4/FSMA_SI_2009_2_Tutorial.pdf
- Loureiro, G.E.; Fernandes, L.L. **Variação da precipitação por método de interpolação geoestatística**. Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science: v. 8, n.2, 2013.
- Loureiro, G.E.; Fernandes, L.L.; Ishihara, J.H. **Spatial and temporal variability of rainfall in the Tocantins-Araguaia hydrographic region**. Acta Scientiarum, 37, n. 1, p. 89-98, 2015.
- Lundgren, W.J.C.; Souza, I.F.de; Lundgren, G.A. **Krigagem na construção de mapa pluviométrico do Estado de Sergipe**. Revista Brasileira de Geografia Física v.10, n.0. 2017
- Lyra, G.B.; Oliveira-Júnior, J.F.; Zeri, M. **Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil**. International Journal of Climatology, v. 34, n. 13, p. 3546-3558, 2014
- Mann, H. B. **Nonparametric tests against trend**. Econometrica, v.13, p.245-259, 1945.
- Marengo, J. A.; Nobre, C.A.; Chou, S. C.; Tomasella, J.; Sampaio, G.; Alves, L. M.; Obregón, G. O.; Soares, W. R.; Betts, R.; Kay, G. (2011). **Riscos das mudanças climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia**. Disponível em: file:///F:/Mudancas_Climaticas_no_Brasil_relatorio.pdf. Acesso em: mai. 2018.
- Marengo, J. A. **“Interannual variability of surface climate in the Amazon Basin,”** International Journal of Climatology, vol. 12, no. 8, pp. 853–863, 1992
- Marengo, J.; Hastenrath, S. **Case studies of extreme climatic events in the Amazon basin**. Journal of Climate, v.6, n.4, p. 617-627, 1993.
- Marengo, J.A.; Borma, L.S.; Rodriguez, D.A.; Pinho, P.; Soares, W.R.; Alves, L.M. **Recent extremes of drought and flooding in Amazonia: vulnerabilities and human adaptation**. American Journal of Climate Change, 2, 87-96. 2013
- Medeiros, F.J.; Lucio, P. S.; Silva, H.J.F. **Análise de Métodos de Krigagem na Estimativa da Precipitação no Estado do Rio Grande do Norte**. Revista Brasileira de Geografia Física, Vol. 10, n.5. 2017.

Mello, C.R.; Lima, J.M.; Silva, A.M.; Mello, J.M.; Oliveira, M.S. **Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas**. Revista Brasileira de ciências do solo vol.27, n.5, pp.925-933. 2003.

Mendonça, F.; Danni-Oliveira, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

Menezes, F.P.; Fernandes, L.L.; Rocha, E.J.P. **O Uso da Estatística para Regionalização da Precipitação no Estado do Pará, Brasil**. Revista Brasileira de Climatologia, ISSN 1980-055x, 2015. Acesso em: 15 mar. 2018, disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/revistaabclima/article/view/40023/25985>

Mingoti, Sueli Aparecida. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, Pg 295. 2013.

Molion, L. C. B. **Climatologia Dinâmica da Região Amazônica: Mecanismos de Precipitação**. Revista Brasileira de Meteorologia, Vol. 2, p. 107 – 117, 1987

Moraes B.C. De; Costa J.M.N. Da; Costa A.C.L. Da; Costa M.H. **Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará**. Acta amazônica v. 35, n. 2, p. 207–214, 2005.

Moraes B.C.; Sodré G.; Souza E.B.; Ribeiro J. B. M.; Meira Filho, L. G.; Ferreira D.B. da S.; de Oliveira J.V. **Climatologia da precipitação na Amazônia**. Revista Brasileira de Geografia Física V. 08 N. 05. 2015.

Moral, F.J. **Comparison of different geostatistical approaches to map climate variables: application to precipitation**. International journal of climatology 30: 620–631. 2010.

Neves, R.R.; Gonçalves, E.D; Pessoa, F.C.L.; Fernandes, L.L.; Gómez, Y.D.; Santos, J.I.N. **Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas na sub bacia Trombetas**. Revista AIDIS, 10, No.2:125–135, 2017.

Nobre, C. A.; Obregón, G. O.; Marengo, J. A.; Fu, R.; Poveda, G. **Características do Clima Amazônico: aspectos principais**. Geophysical Monograph Séries, n. 186, p. 149-162, 2009.

NOAA. **National Oceanic and Atmospheric Administration. ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions, 2016**. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolutionstatus-fcsts-web.pdf>. Acessado em jun. de 2018.

Pandey, B.K.; Khare, D. **Identification of trend in long term precipitation and reference evapotranspiration over Narmada river basin (India)**. Global and Planetary Change, 161:172–82. 2018

Pes, M.P.; Pereira, E.B.; Marengo, J.A.; Martins, F.R.; Heinemann, D.; Schmidt, M. **Climate trends on the extreme winds in Brazil**. Renew Energy [Internet]. 109:110–20. 2017.

Pessoa, F. C. L. **Desenvolvimento de uma metodologia para regionalização de curvas de permanência de vazões da Amazônia**. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais). Universidade Federal do Pará – PA, 2015.

Reboita MS, Gan MA, Rocha RP, Ambrizzi T. **Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica**. Revista Brasileira de Meteorologia, 2010.

Reboita, M.S.; Santos, I.A. **Influência de alguns padrões de teleconexão na precipitação no norte e nordeste do Brasil**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 15, p. 28-48, 2015

- Rocha V.M.; Wagner F.; Correia S, Andrea P.; Fonseca M. **Reciclagem de precipitação na Amazônia: um estudo de revisão**. Revista Brasileira de Meteorologia, V 30, n. 1, 59-70, 2015.
- Salviano MF, Groppo JD, Pellegrino GQ. **Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil**. Revista Brasileira de Meteorologia. Vol 31(1):64–73. 2016.
- Santos, E.B.; Lucio, P.S.; Silva, C.M.S. **Precipitation regionalization of the Brazilian Amazon**. Atmospheric Science Letters 192:185–92. Doi: 10.1002/asl2.535, 2014.
- Sen, P. K., **Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau**. Journal of the American Statistical Association, Vol. 63, No. 324. (Dec., 1968), pp. 1379-1389.
- Serrão EA de O, Santos CA dos Wanzeler RTS, Gonçalves L de JM, Lima AMM de. **Avaliação da seca de 2005 e 2010 na Amazônia: análise da bacia hidrográfica do rio Solimões**. Revista Geografia Acadêmica. 9(2):5–20. 2015.
- Shiklomanov, I.A. **Appraisal and Assessment of World Water Resources**. Journal Water International, Vol 25. 2000.
- Shiklomanov, I.A. **World water resources: A new appraisal and assessment for the 21st century**. Paris (Unesco), 1998.
- Silva, M. T.; Alcântara C.R.; de Souza E.P.; de Olinda R.A.; Gonçalves W.A. **Influência da temperatura da superfície do mar na ocorrência de linhas de instabilidade na costa norte e nordeste do Brasil**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 32, n. 2, p. 261–268, 2017.
- Silva, R. M.; Azambuja, A. M. V.; Tapia, R. J.; Vieira, G. B. B.; Senna, L. A. S. **Utilização da análise de agrupamentos (cluster analysis) nos serviços portuários: um estudo dos serviços de praticagem no Brasil e nos Estados Unidos**. INOVAE, São Paulo, v.4, n.1, jan-jun, p. 45-56, 2016.
- Sodre, G.R.; Moraes, B.C.; Ferreira, D.S.; Oliveira, J.V.; Souza, E.B. **Teleconexões oceânicas nos padrões climáticos da Amazônia oriental: análises dos últimos 40 anos (1974- 2013)**. Revista Brasileira de Climatologia 17, 53-66. 2015
- Tucci, C. E.M. (org). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4ª Edição. Porto Alegre – RS. Editora da UFRGS e EDUSP ABRH, 2007
- Wang, X., Edwards, R.L., Auler, A.S., Cheng, H., Kong, X., Wang, Y., Cruz, F.W., Dorale, J.A., Chiang, H.-W. **Hydroclimate changes across the Amazon lowlands over the past 45,000 years**. Nature, 541 (7636): 204-207. 2017. DOI: 10.1038/nature20787
- Ward, J. H. Jr. **Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function**, Journal of the American Statistical Association, 58, 236–244. 1963.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2018: soluções baseadas na natureza para a gestão da água**. Paris, UNESCO, 2018
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2018: Água e Emprego**. Paris, UNESCO, 2016
- Zhang, W; Yan, Y; Zheng, J; Li, L; Dong, X; Cai, H. **Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China**. Global and Planetary Change 69:35-47. 2009.

APÊNDICE

Quadro 1 – Descrição das Estações Pluviométricas utilizadas no estudo na Amazônia Legal

Nº	sigla	Município	Código	Nome da Estação	Latitude	Longitude
1	AC	Rio Branco	967000	Rio Branco	-09:58:33	-067:48:00
2	AM	Japurá	166000	Acanaui	-01:49:16	-066:36:00
3	AM	Codajás	362002	Badajós	-03:25:06	-062:40:43
4	AM	Itacoatiara	358002	Balsa Do Rio Urubú	-02:54:47	-059:02:36
5	AM	Barreirinha	257001	Barreirinha	-02:47:32	-057:03:52
6	AM	Coari	363000	Barro Alto	-03:52:30	-063:47:09
7	AM	Manacapuru	361000	Beruri	-03:53:52	-061:22:29
8	AM	Santo Antônio do Içá	268000	Boa União	-02:52:50	-068:47:55
9	AM	Boca do Acre	867001	Boca Do Acre	-08:44:08	-067:24:01
10	AM	Apuí	760001	Boca Do Guariba	-07:42:19	-060:34:42
11	AM	Borba	459000	Borba	-04:23:29	-059:35:54
12	AM	Codajás	361001	Caapiranga	-03:19:47	-061:12:48
13	AM	Lábrea	765000	Cachoeira	-07:42:56	-066:03:30
14	AM	Barcelos	162000	Carvoeiro	-01:23:40	-061:58:45
15	AM	São Gabriel da Cachoeira	8166000	Cucuí	+01:12:53	-066:51:08
16	AM	Barcelos	63000	Cumaru	-00:35:54	-063:23:52
17	AM	Juruá	366000	Forte Das Graças	-03:38:29	-066:06:11
18	AM	Humaitá	763001	Humaitá	-07:30:55	-063:01:43
19	AM	São Gabriel da Cachoeira	66000	Livramento	-00:17:20	-066:09:12
20	AM	São Gabriel da Cachoeira	8067002	Maloca São Tomé	+00:10:33	-067:56:45
21	AM	Manaus	360000	Manaus	-03:07:00	-059:57:00
22	AM	Maraã	165000	Maraã	-01:51:40	-065:35:26
23	AM	Maués	357001	Maués	-03:24:02	-057:42:56
24	AM	São Gabriel Da Cachoeira	8167000	Missão Içana	+01:04:27	-067:35:36
25	AM	Barcelos	161002	Moura	-01:27:32	-061:37:59
26	AM	Nhamundá	256002	Nhamundá	-02:11:23	-056:42:38
27	AM	Manicoré	661001	Nova Esperança	-06:21:38	-061:46:00
28	AM	Nova Olinda Do Norte	358003	Osório Fonseca	-03:49:00	-058:17:10
29	AM	Atalaia Do Norte	572000	Palmeiras Do Javari	-05:08:15	-072:48:49
30	AM	São Gabriel Da Cachoeira	8069003	Pari Cachoeira	+00:15:06	-069:47:04
31	AM	Barcelos	8062000	Posto Ajuricaba	+00:53:03	-062:37:20
32	AM	Novo Aripuanã	760000	Prainha Velha	-07:12:18	-060:38:37
33	AM	Presidente Figueiredo	260007	Presidente Figueiredo	-02:02:30	-060:01:33
34	AM	São Paulo De Olivença	369000	Santa Rita Do Weil	-03:34:23	-069:22:15
35	AM	Apuí	658000	Santarém Sucunduri	-06:47:43	-059:02:27
36	AM	Santo Antônio do Içá	367000	Santo Antônio Do Içá	-03:06:06	-067:56:08
37	AM	Carauari	668000	Santos Dumont	-06:26:30	-068:14:38
38	AM	Lábrea	765001	São Bento	-07:31:50	-065:21:00
39	AM	São Gabriel da Cachoeira	8067001	São Felipe	+00:22:16	-067:18:49
40	AM	São Paulo de Olivença	368001	São Paulo de Olivença	-03:27:25	-068:54:43
41	AM	Novo Aripuanã	660000	Seringal Jenipapo	-06:00:01	-060:11:16
42	AM	Santa Izabel do Rio Negro	65001	Tapuruquara	-00:25:13	-065:00:55
43	AM	São Gabriel da Cachoeira	8068000	Taraquá	+00:07:53	-068:32:26
44	AM	São Gabriel da Cachoeira	8168000	Tunui	+01:23:20	-068:09:13
45	AM	Barcelos	162002	Umanapana	-01:53:14	-062:26:12

Quadro 1 – Descrição das Estações Pluviométricas utilizadas no estudo (Continua)

Nº	sigla	Município	Código	Nome da Estação	Latitude	Longitude
46	AM	Urucará	257000	Urucara	-02:32:16	-057:45:29
47	AM	Novo Aripuanã	759000	Vila Do Apui	-07:12:16	-059:53:35
48	AM	Carauari	567001	Xibaua	-05:53:37	-067:51:25
49	AP	Tartarugalzinho	8150000	Aporema	+01:13:34	-050:53:50
50	AP	Macapá	8050000	Carmo	+00:30:29	-050:44:54
51	AP	Calçoene	8251001	Cunani	+02:41:54	-051:21:41
52	AP	Macapá	8051002	Macapá	+00:02:42	-051:06:35
53	AP	Mazagão	51002	Navio	-00:23:57	-051:25:13
54	AP	Macapá	8051010	Porto Ariri	+00:18:12	-051:07:36
55	AP	Laranjal do Jarí	52000	São Francisco	-00:34:16	-052:34:30
56	AP	Serra Do Navio	8052000	Serra Do Navio	+00:52:49	-052:00:34
57	MA	Alto Parnaíba	945011	Alto Parnaíba	-09:06:47	-045:55:34
58	MA	Monção	245001	Alto Turi	-02:57:14	-045:39:53
59	MA	Lago Da Pedra	445007	Angico	-04:44:34	-045:10:50
60	MA	Grajau	445008	Arame	-04:53:11	-046:00:41
61	MA	Bela Vista Do Maranhão	345000	Aratoí Grande	-03:45:54	-045:13:13
62	MA	Tasso Fragoso	845003	Babilônia	-08:19:03	-045:58:04
63	MA	Balsas	746006	Balsas	-07:31:24	-046:02:02
64	MA	Tasso Fragoso	845004	Barra Do Fosdão	-08:06:05	-045:35:15
65	MA	Alto Parnaíba	846005	Boa Vista	-08:48:46	-046:04:41
66	MA	Cajari	345012	Boa Vista Do Pindaré	-03:24:10	-045:00:38
67	MA	Balsas	746007	Brejo Comprido	-07:55:43	-045:59:19
68	MA	Buriti	547005	Buritirama	-05:35:40	-047:01:09
69	MA	Mirador	644015	Campo Largo	-06:04:01	-044:42:52
70	MA	Cantanhede	344004	Cantanhede	-03:37:57	-044:22:35
71	MA	Colinas	644003	Colinas	-06:01:39	-044:15:14
72	MA	Coroata	444001	Coroatá	-04:09:46	-044:09:57
73	MA	Santa Luzia	445001	Esperantina	-04:01:49	-045:46:16
74	MA	Santa Luzia	446001	Fazenda Pedreiras	-04:24:34	-046:44:57
75	MA	Grajau	645004	Fazenda Piranhas	-06:02:21	-045:55:14
76	MA	Grajau	646005	Fazenda São Vicente	-06:49:06	-046:20:01
77	MA	Grajau	646006	Fazenda Sempre Viva	-06:11:34	-046:16:08
78	MA	São Raimundo das Mangabeiras	745005	Fazenda Tigre	-07:22:29	-045:36:28
79	MA	Presidente Dutra	544006	Flores	-05:25:11	-044:55:42
80	MA	Grajau	546006	Fortaleza	-05:36:16	-046:14:19
81	MA	Graça Aranha	544009	Graça Aranha	-05:24:18	-044:20:08
82	MA	Alto Parnaíba	845005	Inhumas	-08:49:16	-045:58:05
83	MA	Vitória Do Mearim	344013	Lago Açú	-03:50:47	-044:53:27
84	MA	Lago Da Pedra	445009	Lago Da Pedra	-04:33:38	-045:07:32
85	MA	Cândido Mendes	245003	Maracacume	-02:03:08	-045:57:30
86	MA	Loreto	645003	Mato Grosso	-06:50:39	-045:06:33
87	MA	Mirador	644007	Mirador	-06:22:09	-044:21:34
88	MA	Itapecuru Mirim	344012	Miranda	-03:34:00	-044:35:00
89	MA	Riachão	746008	Morro Vermelho	-07:09:28	-046:33:16
90	MA	Monção	345013	Newton Belo	-03:25:28	-045:40:10

Quadro 1 – Descrição das Estações Pluviométricas utilizadas no estudo (Continua)

Nº	sigla	Município	Código	Nome da Estação	Latitude	Longitude
91	MA	Barra Do Corda	645002	Papagaio	-06:00:08	-045:23:39
92	MA	Pirapemas	344008	Pedras	-03:56:37	-044:01:03
93	MA	Pedreiras	444005	Pedreiras Ii	-04:34:13	-044:36:18
94	MA	Pinheiro	245009	Pimenta	-02:35:25	-045:21:55
95	MA	Pindaré-Mirim	345006	Pindaré-Mirim	-03:39:30	-045:26:35
96	MA	Pinheiro	245010	Pinheiro	-02:30:55	-045:05:08
97	MA	Coroata	444013	Piritoró Br-316	-04:22:30	-044:20:00
98	MA	Pirapemas	344007	Piritoró Ii	-03:42:23	-044:17:14
99	MA	Santa Luzia	446000	Ponte Br-222	-04:18:15	-046:29:37
100	MA	Mirador	644012	Porto Do Lopes	-06:00:37	-044:20:40
101	MA	Presidente Juscelino	344010	Presidente Juscelino	-03:05:05	-044:05:01
102	MA	Balsas	746009	Recursos	-07:19:53	-046:18:27
103	MA	Imperatriz	447002	Reta Km-32	-04:49:47	-047:16:09
104	MA	Barra Do Corda	545011	Rio Corda Ii	-05:43:39	-045:18:47
105	MA	Sambaíba	745004	Sambaíba	-07:08:19	-045:20:52
106	MA	Santa Helena	245011	Santa Helena	-02:16:26	-045:16:16
107	MA	Barra Do Corda	444008	Santa Vitória	-05:06:05	-044:57:39
108	MA	São Félix De Balsas	744000	São Félix De Balsas	-07:04:53	-044:48:45
109	MA	Vitorino Freire	445010	São João Do Grajaú	-04:14:26	-045:21:29
110	MA	São Luís	244006	São Luís	-02:53:00	-044:21:00
111	MA	São Mateus do Maranhão	344011	São Mateus do Maranhão	-04:01:56	-044:28:19
112	MA	Sítio Novo	546007	Sítio Novo	-05:53:03	-046:42:07
113	MA	Bom Jardim	346002	Tucumã	-04:13:15	-046:09:55
114	MA	Santa Luzia	446002	Vale Do Pindaré	-04:41:53	-046:56:21
115	MT	Água Boa	1452004	Água Boa	-14:04:35	-052:09:01
116	MT	Alto Araguaia	1753000	Alto Araguaia	-17:18:00	-053:13:10
117	MT	Alto Garças	1653004	Alto Garças	-16:56:39	-053:32:01
118	MT	Barão De Melgaço	1655002	Barão De Melgaço	-16:11:37	-055:56:43
119	MT	Alto Boa Vista	1151000	Bate Papo	-11:40:29	-051:22:35
120	MT	Colíder	1055002	Colider	-10:47:55	-055:26:55
121	MT	Vila Bela da Santíssima Trindade.	1560000	Fazenda Areião	-15:24:01	-060:01:54
122	MT	Tabaporã	1156000	Fazenda Itauba	-11:28:17	-056:26:00
123	MT	Água Boa	1352000	Fazenda Sete d Setembro	-13:53:01	-052:24:46
124	MT	Alto Taquari	1853000	Fazenda Taquari	-17:48:41	-053:17:20
125	MT	Juína	1158001	Fontanilhas	-11:20:30	-058:20:18
126	MT	General Carneiro	1552001	General Carneiro	-15:42:40	-052:45:16
127	MT	Aripuanã	1059000	Humboldt	-10:10:31	-059:27:06
128	MT	Itiquira	1754000	Itiquira	-17:12:28	-054:08:24
129	MT	Juara	1157001	Juara	-11:15:11	-057:30:24
130	MT	Luciara	1050000	Luciara	-11:13:09	-050:40:07
131	MT	Vila Bela da Santíssima Trindade	1559006	Mato Grosso	-15:00:29	-059:56:57
132	MT	Cuiabá	1556000	Nossa Senhora da Guia	-15:21:18	-056:13:54
133	MT	Comodoro	1359000	Padronal	-13:10:59	-059:52:37
134	MT	Paranatinga	1453000	Passagem Da Br-309	-14:36:43	-053:59:55
135	MT	Barra Do Garças	1552006	Pindaíba	-15:02:08	-052:14:15

Quadro 1 – Descrição das Estações Pluviométricas utilizadas no estudo (Continua)

Nº	sigla	Município	Código	Nome da Estação	Latitude	Longitude
136	MT	Pontes E Lacerda	1559000	Pontes E Lacerda	-15:13:27	-059:21:01
137	MT	Porto Alegre Do Norte	1051001	Porto Alegre do Norte	-10:52:02	-051:37:50
138	MT	Nobres	1456004	Quebó	-14:39:09	-056:07:26
139	MT	Novo Santo Antônio	1250001	Santo Antônio do Leverger	-12:17:25	-050:57:56
140	MT	São Félix Do Araguaia	1150001	São Félix do Araguaia	-11:37:11	-050:39:45
141	MT	Campo Verde	1555005	São José da Serra	-15:50:10	-055:19:19
142	MT	Tesouro	1653000	Tesouro	-16:04:40	-053:32:58
143	MT	Barra Do Garças	1552002	Torriqueje	-15:15:01	-053:03:19
144	MT	Torixoréu	1652002	Torixoreu	-16:12:05	-052:33:00
145	MT	Cocalinho	1351000	Trecho Médio	-14:05:17	-051:41:56
146	MT	Chapada Dos Guimarães	1555007	Usina Casca Iii Pr2	-15:21:56	-055:26:13
147	MT	Guiratinga	1654005	Vale Rico	-16:23:28	-054:08:58
148	MT	Vila Rica	951000	Vila Rica	-10:01:08	-051:07:22
149	MT	Nova Xavantina	1452000	Xavantina	-14:40:20	-052:21:17
150	PA	Abaetetuba	148010	Abaetetuba	-01:45:01	-048:52:01
151	PA	Portel	151001	Acampamento IbdF	-01:47:32	-051:26:04
152	PA	Acará	148009	Acará	-01:57:40	-048:12:23
153	PA	Almeirim	152005	Almeirim	-01:31:35	-052:34:42
154	PA	Altamira	352001	Altamira	-03:12:51	-052:12:47
155	PA	Viseu	146008	Alto Bonito	-01:49:03	-046:20:38
156	PA	Breves	150003	Antônio Lemos	-01:47:30	-050:26:05
157	PA	Monte Alegre	154000	Arapari	-01:46:25	-054:23:50
158	PA	Melgaço	151002	Areias	-01:12:47	-051:15:44
159	PA	Baião	249003	Baião	-02:47:06	-049:40:10
160	PA	Santana Do Araguaia	950001	Barreira do Campo	-09:13:39	-050:12:39
161	PA	Belém	148002	Belém	-01:26:06	-048:26:16
162	PA	Alenquer	154001	Boca Do Inferno	-01:30:00	-054:52:17
163	PA	Altamira	352005	Brasil Novo	-03:18:28	-052:32:31
164	PA	Paragominas	247005	Cafezal	-02:46:18	-046:48:09
165	PA	Capanema	147002	Capanema	-01:12:13	-047:10:41
166	PA	Castanhal	147007	Castanhal	-01:17:51	-047:56:22
167	PA	Portel	250000	Cipoal	-02:47:06	-050:27:13
168	PA	Irituia	147011	Colônia Santo Antônio	-01:39:18	-047:29:29
169	PA	Conceição Do Araguaia	849000	Conceição Do Araguaia	-08:15:36	-049:15:47
170	PA	Curuça	47003	Curuça	-00:44:15	-047:51:13
171	PA	Augusto Corrêa	146010	Emborai	-01:17:30	-046:35:01
172	PA	Almeirim	152006	Fazenda Bela Vista	-01:04:55	-053:09:27
173	PA	Marabá	650001	Fazenda Caiçara	-06:48:55	-050:32:20
174	PA	Portel	350000	Fazenda Estrela Do Norte	-03:52:14	-050:27:46
175	PA	Aurora Do Pará	247003	Fazenda Jaurá	-02:02:08	-047:45:02
176	PA	São Domingos do Capim	348001	Fazenda Maringa	-03:09:16	-048:05:09
177	PA	Sapucaia	649001	Fazenda Santa Elisa	-06:47:41	-049:32:55
178	PA	Marabá	649000	Fazenda Surubim	-06:25:40	-049:25:11
179	PA	Tucuruí	349002	Goianésia	-03:50:01	-049:05:09
180	PA	Juruti	356002	Guariba	-03:13:41	-056:35:10

Quadro 1 – Descrição das Estações Pluviométricas utilizadas no estudo (Continua)

Nº	sigla	Município	Código	Nome da Estação	Latitude	Longitude
181	PA	Igarapé-Açu	147010	Igarapé-Açu	-01:07:57	-047:37:42
182	PA	Portel	250002	Irapuru	-02:27:12	-050:55:22
183	PA	Jacareacanga	657000	Jacareacanga	-06:14:08	-057:46:31
184	PA	Alenquer	151000	Jarilândia	-01:07:24	-051:59:47
185	PA	Juruti	256001	Juruti	-02:09:08	-056:05:15
186	PA	Itaituba	555000	Km 1326 Br-163	-05:10:57	-056:03:28
187	PA	Itaituba	455003	Km 1385 Br-163	-04:45:17	-056:04:46
188	PA	Itaituba	855000	Km 947 Br-163	-08:11:14	-055:07:10
189	PA	Dom Eliseu	447001	Km Zero / Pa-70	-04:17:12	-047:33:33
190	PA	Portel	251000	Maracacuera Florestal	-02:14:42	-051:10:46
191	PA	Belém	148012	Mosqueiro	-01:05:39	-048:23:55
192	PA	Oeiras Do Pará	149003	Oeiras Do Pará	-02:00:07	-049:51:49
193	PA	Prainha	153000	Prainha	-01:48:04	-053:28:48
194	PA	Primavera	47004	Primavera	-00:55:46	-047:05:58
195	PA	Rurópolis	455004	Ruró.Presidente Médic	-04:05:33	-054:54:07
196	PA	Prainha	253000	Santa Cruz	-01:10:44	-053:35:58
197	PA	Santa Isabel Do Pará	148003	Santa Isabel Do Pará	-01:17:47	-048:10:15
198	PA	Santarém	254000	Santarém	-02:26:35	-054:42:27
199	PA	Viseu	146005	Tararua - Ponte	-01:43:59	-046:35:56
200	PA	Tomé-Açu	248003	Tomé-Açu	-02:25:15	-048:08:56
201	PA	Prainha	353000	Uruará	-03:40:40	-053:33:16
202	PA	Vigia	48006	Vigia	-00:52:05	-048:06:37
203	PA	Barcarena	148011	Vila Do Conde	-01:33:56	-048:46:01
204	PA	Moju	249002	Vila Elim	-02:48:16	-049:22:40
205	PA	Bagre	250001	Vila São Benedito	-01:59:30	-050:22:07
206	PA	Viseu	146009	Viseu	-01:13:53	-046:11:16
207	RO	Ariquemes	963000	Ariquemes	-09:55:54	-063:03:25
208	RO	Cerejeiras	1360001	Cerejeira	-13:11:48	-060:49:24
209	RO	Colorado Do Oeste	1360000	Colorado Do Oeste	-13:06:51	-060:32:54
210	RO	Ariquemes	963004	Fazenda Rio Branco	-09:53:14	-062:59:16
211	RO	Jaru	1062001	Jaru	-10:26:45	-062:27:56
212	RO	Porto Velho	966000	Nova California	-09:45:20	-066:36:42
213	RO	Pimenteiras Do Oeste	1360002	Pimenteiras	-13:28:47	-061:02:47
214	RO	Porto Velho	963001	Santo Antônio Br-364	-09:15:38	-063:09:43
215	RO	Jaru	1062002	Seringal 70	-10:14:11	-062:37:38
216	RO	Machadinho D'oeste	862000	Tabajara	-08:55:56	-062:03:20
217	RR	Bonfim	8359000	Bonfim	+03:22:42	-059:48:56
218	RR	Alto Alegre	8361001	Boqueirão	+03:17:26	-061:17:17
219	RR	Caracará	8161001	Caracará	+01:49:17	-061:07:25
220	RR	Alto Alegre	8361004	Colônia Do Taiano	+03:17:14	-061:05:18
221	RR	Rorainópolis	8160001	Fazenda Paraná	+01:07:35	-060:23:58
222	RR	Amajari	8361000	Fazenda São João	+03:39:39	-061:23:02
223	RR	Mucajá	8261000	Fé E Esperança	+02:52:15	-061:26:26
224	RR	Pacaraima	8360000	Maloca Do Contão	+04:10:00	-060:31:44
225	RR	Rorainópolis	61000	Santa Maria Do Boiaçu	-00:30:24	-061:47:09
226	RR	Pacaraima	8460001	Vila Surumu	+04:11:46	-060:47:38

Quadro 1 – Descrição das Estações Pluviométricas utilizadas no estudo (termina)

Nº	sigla	Município	Código	Nome da Estação	Latitude	Longitude
227	TO	Abreulândia	949000	Abreulândia	-09:37:28	-049:09:19
228	TO	Alvorada	1249000	Alvorada	-12:29:01	-049:07:28
229	TO	Ananás	648001	Ananas	-06:21:50	-048:04:21
230	TO	Araguacema	849002	Araguacema	-08:48:08	-049:33:20
231	TO	Araguaçu	1249001	Araguaçu	-12:55:52	-049:49:46
232	TO	Araguatins	548000	Araguatins	-05:38:54	-048:07:30
233	TO	Arapoema	749000	Arapoema	-07:39:19	-049:03:54
234	TO	Araguaína	749001	Boa Vista Do Araguaia	-07:19:23	-049:13:27
235	TO	Campos Lindos	847002	Campos Lindos	-07:58:16	-046:48:23
236	TO	Caseara	950000	Caseara	-09:16:12	-049:57:32
237	TO	Colinas Do Tocantins	848000	Colinas Do Tocantins	-08:03:10	-048:28:54
238	TO	Bernardo Sayão	748001	Colônia	-07:52:40	-048:52:43
239	TO	Dois Irmãos do Tocantins	949001	Dois Irmãos do Tocantins	-09:15:26	-049:03:51
240	TO	Dueré	1149000	Duere	-11:20:20	-049:15:55
241	TO	Nova Olinda	748002	Faz. Primavera	-07:33:38	-048:25:22
242	TO	Formoso Do Araguaia	1149001	Formoso Do Araguaia	-11:47:50	-049:31:30
243	TO	Goiatins	747001	Goiatins	-07:42:53	-047:18:54
244	TO	Guaraí	848001	Guarai	-08:49:55	-048:49:02
245	TO	Gurupi	1149002	Gurupi	-11:44:14	-049:08:10
246	TO	Itacajá	847001	Itacaja	-08:23:30	-047:45:46
247	TO	Itaporã do Tocantins	848002	Itaporã do Tocantins	-08:34:26	-048:41:25
248	TO	Novo Acordo	1047000	Jatobá-Fazenda Boa Nova	-09:59:26	-047:28:43
249	TO	Lizarda	946003	Lizarda	-09:35:50	-046:40:22
250	TO	Rio Sono	947001	Mansinha	-09:27:27	-047:19:37
251	TO	Miracema Do Tocantins	948000	Miracema Do Tocantins	-09:33:51	-048:23:15
252	TO	Muricilândia	748003	Muricilândia	-07:09:16	-048:36:11
253	TO	Novo Acordo	1047001	Novo Acordo	-09:57:38	-047:40:29
254	TO	Palmeirante	747009	Palmeirante	-07:51:34	-047:55:44
255	TO	Paraíso do Tocantins	1048001	Paraíso Do Tocantins	-10:09:55	-048:53:26
256	TO	Pindorama do Tocantins	1147002	Pindorama Do Tocantins	-11:08:25	-047:34:36
257	TO	Araguanã	648002	Piraquê	-06:40:20	-048:28:13
258	TO	Pium	1049001	Pium	-10:26:28	-049:10:45
259	TO	Monte Do Carmo	1047002	Porto Gilândia	-10:45:19	-047:45:53
260	TO	Santa Fé Do Araguaia	649003	Porto Lemos	-06:52:09	-049:05:55
261	TO	Pedro Afonso	948001	Porto Real	-09:18:25	-047:55:45
262	TO	Fortaleza Do Tabocão	1050002	Santa Terezinha	-10:27:40	-050:30:45
263	TO	São Sebastião do Tocantins	548001	São Sebastião do Tocantins	-05:15:35	-048:12:25
264	TO	Palmas	1048005	Taquarussu Do Porto	-10:18:48	-048:09:45
265	TO	Tocantinópolis	647000	Tocantinópolis	-06:17:19	-047:23:31
266	TO	Tupiratins	848003	Tupiratins	-08:23:57	-048:07:49
267	TO	Wanderlândia	647001	Wanderlândia -	-06:50:21	-047:58:14
268	TO	Ponte Alta Do Tocantins	1047004	Ponte Alta Do Tocantins	-10:45:03	-047:32:10