

# UFPA

PPGEC

# Universidade Federal do Pará

---



Raisa Rodrigues Neves

**Caracterização Hidrológica das sub  
bacias hidrográficas do Rio Negro e Rio  
Solimões.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Instituto de Tecnologia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dissertação orientada pelo Professor Dr. Lindemberg Lima  
Fernandes e Co-Orientada pelo professor Dr. Francisco Carlos Lira  
Pessoa.

Belém – Pará – Brasil  
2017

**RAISA RODRIGUES NEVES**

**CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DAS SUB BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO NEGRO E RIO SOLIMÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, na área de concentração em Engenharia Hídrica, linha de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes.

Co- Orientador: Prof. Dr. Francisco Carlos Lira Pessoa.

BELÉM/ PA  
2017

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter me dado forças e sabedoria durante toda a minha caminhada. Toda glória seja dada a Ele.

Aos meus pais, Ana Cristina Rodrigues Neves e Ilídio Neves Filho, que me ajudaram em todos os momentos que precisei de apoio, carinho e ensinamentos imprescindíveis para a concretização deste sonho. Agradeço imensamente todo esforço que fizeram por mim e por estarem sempre ao meu lado, sempre.

À minha família que me acompanhou durante toda a vida, presenciando meu esforço e me ajudando, em especial, meus irmãos Rubia Rodrigues Neves e Raphael Rodrigues Neves e minha avó Alzira Prudência de Sousa Neves (*in memorian*). Apesar da minha ausência devido responsabilidades acadêmicas, sempre se fizeram presentes e contribuíram de forma significativa para que eu chegasse até aqui.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes, pela orientação, por ter me ajudado durante a pesquisa realizada e por ter me dado forças quando achei que não conseguiria. Ao meu Co-orientador, Prof. Dr. Francisco Carlos Lira Pessoa, pela paciência e pelo esforço que foi feito para me ajudar na concretização deste trabalho.

Aos meus amigos que participaram de momentos únicos na minha vida e que sempre me apoiaram durante minha trajetória, em especial às pessoas que me ensinaram o verdadeiro valor da amizade: Juliana de Sousa Trindade, Julie Mayara da Consolação e Louise Serra Guimarães (*in memorian*).

Aos meus amigos do mestrado que me ajudaram durante esta longa caminhada, com muito estudo e dedicação, em especial à Edkeyse Dias Gonçalves, Ricardo Fonseca de Lima, Yapur Dumit por todo apoio e constante troca de conhecimento.

Aos professores que contribuíram de forma significativa com a minha formação acadêmica e profissional, em especial ao Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara e ao Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes, pela oportunidade e confiança depositada em minha capacidade.

A todos que contribuíram para a realização deste grande sonho, esta vitória também é de vocês. Obrigada por tudo.

*“Lembre-se de que você mesmo é o melhor secretário de sua tarefa, o mais eficiente propagandista de seus ideais, a mais clara demonstração de seus princípios, o mais alto padrão do ensino superior que seu espírito abraça e a mensagem viva das elevadas noções que você transmite aos outros. Não se esqueça, igualmente, de que o maior inimigo de suas realizações mais nobres, a completa ou incompleta negação do idealismo sublime que você apregoa, a nota discordante da sinfonia do bem que pretende executar, o arquiteto de suas aflições e o destruidor de suas oportunidades de elevação - é você mesmo.” (Chico Xavier).*

## RESUMO

A caracterização hidrológica de uma bacia hidrográfica é de extrema importância para a realização adequada do gerenciamento dos recursos hídricos, bem como para o planejamento de atividades que sofrem interferência das oscilações de variáveis como chuva e vazão. As sub bacias hidrográficas do Rio Negro e Rio Solimões destacam-se dentro das sub bacias da Amazônia Legal por apresentarem grandes contribuições em termos de vazão ao Rio Amazonas, com descarga média de aproximadamente 32.000 m<sup>3</sup>/s e 100.000 m<sup>3</sup>/s, além de possuírem boa espacialização de estações pluviométricas e fluviométricas ao longo de suas áreas. Esta pesquisa consiste na caracterização hidrológica destas sub bacias com a utilização de 31 anos de dados de precipitação (1984-2014) e na avaliação do comportamento da chuva em função da vazão para identificar os períodos de defasagem entre os registros máximos de precipitação e vazão de estações próximas. Para isso, foram utilizadas informações do Sistema Nacional de Informações Hidrológicas da ANA (Hidroweb) e do software ArcGis 10.1 para realizar os levantamentos necessários. Após a obtenção dos resultados, verificou-se que a sub bacia do Rio Solimões apresentou melhores monitoramento de vazão que a sub bacia do Rio Negro, no entanto, os registros pluviométricos apresentaram-se com melhores monitoramentos na área do Rio Negro, apesar de todas as estações pluviométricas apresentaram falhas. Para preencher essas lacunas, foi utilizado o Método da Ponderação Regional com Regressão Linear. Após a aquisição dessas informações, foram elaborados mapas de isoietas pelo interpolador de Krigagem Ordinária Linear, sendo possível calcular as lâminas de água e o volume precipitado em cada região. O método hierárquico de Ward foi utilizado para a criação de regiões homogêneas de chuvas nas delimitações selecionadas neste estudo, sendo possível identificar as áreas com maiores e menores índices pluviométricos nos mapas elaborados com o uso do interpolador de Krigagem Ordinária Linear e Inverso do Quadrado da Distância (IDW); além disso, a análise de sensibilidade feita de 5 em 5 anos permitiu inferir que houve pouca variação das chuvas ao longo dos 31 anos estudados, logo os dados dos 5 anos mais recentes (2010-2014) são capazes de representar todas as informações da série temporal deste estudo. A variação temporal da precipitação foi analisada anualmente, sendo possível verificar que o fenômeno ENOS têm relação com o comportamento pluviométrico das duas áreas, ocorrendo aumento dos índices pluviométricos em anos de La Niña e redução em anos de El Niño, no entanto, não se pode afirmar que este fenômeno é o principal intensificador dessas variações. Para avaliar as tendências nas séries temporais, foram utilizados os testes de Mann-Kendall e *Spearman* para os 31 anos de dados pluviométricos, considerando nível de significância de 5%, em que foram percebidas ausência de tendência ou de bruscas variações nas séries de dados. Para avaliar a relação entre chuva e vazão foram elaborados hidrogramas simples, com o eixo das ordenadas composto por dados de chuva e vazão em mm e a o eixo das abscissas composto pela série temporal, em anos. Essa análise permitiu verificar que existe semelhança no comportamento das estações dependendo da sua especialização ao longo das sub bacias, as quais apresentaram maiores índices pluviométricos entre os meses de dezembro a junho, em alguns casos prologando-se até o mês de agosto. Além disso, por se tratar de sub bacias localizadas na fronteira com outros países, verificou-se elevados valores de vazão, devido ao registro acumulado de estações localizadas em rios que ultrapassam as fronteiras do país.

Palavras-chave: Sub Bacia Hidrográfica. Fenômenos Climáticos. Regiões Homogêneas.

## ABSTRACT

The hydrological characterization of a river basin is of extreme importance for the adequate accomplishment of the management of the water resources, as well as for the planning of activities that suffer interference of the oscillations of variables like rainfall and flow. The sub-basins of Rio Negro and Rio Solimões stand out in the sub-basins of the Legal Amazon because they present great contributions in terms of flow to the Amazon River, with average discharge of approximately 32,000 m<sup>3</sup> / s and 100,000 m<sup>3</sup> / s, besides having good Spatialization of rainfall and pluviometric stations throughout their areas. This research consists in the hydrological characterization of these sub basins with the use of 31 years of precipitation data (1984-2014) and in the evaluation of the rainfall behavior as a function of the flow to identify the lag periods between the maximum rainfall and flow Stations. For this, information from ANA's National Hydrological Information System (Hidroweb) and ArcGis 10.1 software was used to carry out the necessary surveys. After obtaining the results, it was verified that the Solimões River sub-basin presented better flow monitoring than the Rio Negro sub-basin, however, the pluviometric records presented better monitoring in the Rio Negro area, despite all The rainfall stations presented failures. To fill these gaps, the Regional Weighting Method with Linear Regression was used. After acquisition of this information, isoietas maps were elaborated by the Linear Ordinary Kriging interpolator, being possible to calculate the water slides and the precipitated volume in each region. Ward's hierarchical method was used to create homogeneous rainfall regions in the delimitations selected in this study, and it is possible to identify areas with higher and lower rainfall indices in the maps elaborated with the use of the Linear and Inverse Ordinary Linear Kriging interpolator (IDW); In addition, the sensitivity analysis done every 5 years allowed us to infer that there was little rainfall variation over the 31 years studied, so data from the most recent 5 years (2010-2014) are able to represent all the information in the series Of this study. The temporal variation of the precipitation was analyzed annually, being possible to verify that the ENOS phenomenon is related to the pluviometric behavior of the two areas, occurring increase of the pluviometric indices in years of La Niña and reduction in years of El Niño, however, it is not possible That this phenomenon is the main enhancer of these variations. The Mann-Kendall and Spearman tests were used to evaluate trends in the time series for 31 years of rainfall data, considering a significance level of 5%, in which there was no trend or abrupt variations in the data series. To evaluate the relationship between rainfall and flow, simple hydrograms were elaborated, with the ordinate axis composed of rainfall and flow data in mm and the abscissa axis, composed by the time series, in years. This analysis allowed to verify that there is similarity in the behavior of the stations depending on their specialization along the sub basins, which presented higher pluviometric indexes between the months of December to June, in some cases prologando up to the month of August.

*Keywords: Sub-basin. Climate Phenomena. Homogeneous Regions.*

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Densidade mínima de estações pluviométricas por unidade fisiográfica. ....	17
Quadro 2: Trabalhos correlacionando Chuva e Vazão (2010-2015). ....	26
Quadro 3: Trabalhos relacionados aos Sistemas Atmosféricos na Amazônia (1987-2012). .....	27
Quadro 4: Principais Sistemas atmosféricos na Amazônia. ....	28
Quadro 5: Ocorrência de <i>El Niño</i> e <i>La Niña</i> de acordo com valores de ION. ....	30
Quadro 6: Classificação da magnitude do fenômeno ENOS. ....	30
Quadro 7: Principais características morfométricas. ....	33
Tabela 1: Valores de Níveis de Significância. ....	36
Tabela 2: Quantificação dos Dados de Precipitação e Vazão. ....	52
Tabela 3: Características Morfométricas das sub bacias do rio Negro e Solimões. ....	55
Tabela 4: Precipitação e volumes médios anuais da sub bacia do rio Negro. ....	58
Tabela 5: Precipitação e volumes médios anuais da sub bacia do rio Solimões. ....	59
Tabela 6: Análises Estatísticas da Sub Bacia do Rio Negro. ....	73
Tabela 7: Análises Estatísticas da Sub Bacia do Rio Solimões. ....	74
Tabela 8: Resultado dos Testes de Tendência de Mann-Kendall e <i>Spearman</i> para a Precipitação Média Anual do Rio Negro e Solimões, no Período de 1984 a 2014. ....	77

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Quantificação de Água no Ciclo Hidrológico Global.....	12
Figura 2: Representação esquemática dos medidores de chuva- Pluviômetro (2A) e Pluviógrafo (2B).....	14
Figura 3: Diferentes Utilizações do Método de Dupla Massa.....	19
Figura 4: Representação do Método de Isoietas.....	20
Figura 5: Método dos Contornos para Cálculo do Volume.....	21
Figura 6: Sub bacias Nível 1 da Amazônia Legal.....	41
Figura 7: Localização da sub bacia do rio Negro e sub bacia do rio Solimões.....	44
Figura 8: Identificação da Hidrografia Principal da sub bacia do rio Negro.....	45
Figura 9: Identificação da Hidrografia Principal da sub bacia do rio Solimões.....	46
Figura 10: Representação Esquemática da Metodologia.....	47
Figura 11: Espacialização dos pluviômetros na sub bacia do rio Negro.....	53
Figura 12: Espacialização dos pluviômetros na sub bacia do rio Solimões.....	53
Figura 13: Espacialização dos fluviômetros na sub bacia do rio Negro.....	54
Figura 14: Espacialização dos fluviômetros na sub bacia do rio Solimões.....	55
Figura 15: Representação do Método da Dupla Massa em estações pluviométricas.....	56
Figura 16: Comportamento das chuvas na sub bacia do rio Negro.....	60
Figura 17: Comportamento das chuvas na sub bacia do rio Solimões.....	61
Figura 18: Identificação dos períodos de precipitações na sub bacia do rio Negro.....	62
Figura 19: Identificação dos períodos de precipitação na sub bacia do rio Solimões.....	62
Figura 20: Dendogramas de 5 anos (2010-2014) da Sub bacia do rio Negro (20A) e Solimões (20B).....	64
Figura 21: Regiões Homogêneas de precipitação da sub Bacia do rio Negro.....	65
Figura 22: Regiões Homogêneas de precipitação da sub bacia do rio Solimões.....	68
Figura 23: Gráficos Box Plot para a série temporal da Sub bacia do Rio Negro.....	75
Figura 24: Gráficos BoxPlot para a série temporal da Sub bacia do Rio Solimões.....	76
Figura 25: Hidrogramas mensais de chuva e vazão da sub bacia do Rio Negro.....	<b>Erro!</b>
<b>Indicador não definido.</b>	
Figura 26: Hidrogramas mensais de chuva e vazão da sub bacia do Rio Solimões.....	82



## LISTA DE SIGLAS

AB	Alta da Bolívia
ANA	Agência Nacional de Águas
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
EF	Estação Fluviométrica
ENOS	El Nino-Oscilação Sul
EP	Estação Pluviométrica
GGWS	Golden Gate Weather Service
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ION	Índice Oceânico do Niño
LI	Linha de Instabilidade
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NOOA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
RAISG	Red Amazônica de Información Socioambiental Georreferenciada
SPVEA	Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia
SUDAM	Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
1.1	OBJETIVOS .....	11
	<b>Específicos</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>12</b>
2.1	DINÂMICA DO CICLO HIDROLÓGICO AMAZÔNICO .....	12
2.2	ESTUDO DA PRECIPITAÇÃO.....	13
2.2.1	<b>Tipos de Precipitação</b> .....	15
2.2.2	<b>Características de Precipitação na Amazônia</b> .....	16
2.2.3	<b>Representatividade das Estações</b> .....	17
2.3	MÉTODOS APLICADOS AOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS.....	17
2.3.1	<b>Métodos para Preenchimento de Falhas</b> .....	17
2.3.1.1	Método Ponderação Regional com base em Regressões Lineares (PRRL).....	18
2.3.2	<b>Análise de Consistência das Séries Temporais</b> .....	18
2.3.3	<b>Determinação da Precipitação e Volume Médios</b> .....	20
2.3	IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS.....	22
2.4	INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA VAZÃO DOS RIOS .....	25
<b>3</b>	<b>SISTEMAS ATMOSFÉRICOS E FENÔMENOS CLIMÁTICOS NA AMAZÔNIA</b> .....	<b>27</b>
3.1	FENÔMENOS CLIMÁTICOS <i>EL NIÑO</i> E <i>LA NIÑA</i> .....	28
<b>4</b>	<b>BACIAS HIDROGRÁFICAS</b> .....	<b>32</b>
4.1	HIERARQUIA FLUVIAL E MORFOMETRIA.....	32
<b>5</b>	<b>ANÁLISES ESTATÍSTICAS APLICADAS EM SÉRIES TEMPORAIS</b> .....	<b>34</b>
5.1	ANÁLISE GEOESTATÍSTICA: MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO.....	34
5.2	ANÁLISE DE TENDÊNCIA E DO COMPORTAMENTO CHUVA E VAZÃO	35
<b>6</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>47</b>

7.1	ESPACIALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES E DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO .....	48
7.2	LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS.....	48
7.3	ORGANIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS .....	48
7.4	PREENCHIMENTO DE FALHAS E CONSISTÊNCIA DOS DADOS NAS SÉRIES PLUVIOMÉTRICAS .....	49
7.5	CÁLCULO DA PRECIPITAÇÃO E VOLUME MÉDIOS .....	49
7.6	IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS DE PRECIPITAÇÃO.....	50
7.7	ANÁLISES ESTATÍSTICAS APLICADAS .....	50
7.7.1	Análises Descritivas.....	51
7.7.2	Análises de Tendências Temporais.....	51
7.7.3	Avaliação do Comportamento Chuva e Vazão. ....	51
<b>8</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>52</b>
8.1	ESPACIALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES E DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO .....	52
8.2	LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS.....	55
8.3	ORGANIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS .....	56
8.4	PREENCHIMENTO DE FALHAS E CONSISTÊNCIA DOS DADOS NAS SÉRIES PLUVIOMÉTRICAS .....	56
8.5	CÁLCULO DA PRECIPITAÇÃO E VOLUME MÉDIOS .....	57
8.6	IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS DE PRECIPITAÇÃO.....	63
8.7	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	72
<b>9</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>86</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>87</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>97</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso indispensável para a preservação da vida no planeta, tanto para a manutenção de processos naturais (fotossíntese, equilíbrio da temperatura, vazão dos rios e precipitação), como para as atividades humanas que exploram grande quantidade deste recurso, principalmente aquelas voltadas ao setor produtivo (indústrias e agricultura). Embora a água seja vista por muitos como um recurso ilimitado, na realidade essa situação apresenta uma barreira, pois o desenvolvimento econômico e o crescimento populacional provocam a redução da sua qualidade e quantidade, o que reflete na escassez e na poluição da água (BARROS e AMIN, 2008).

Segundo a *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD, 2006), a população mundial terá um acréscimo de 3 bilhões de habitantes até 2050, concentrados nos países em desenvolvimento, os quais já sofrem com estresse hídrico. Apesar de se verificar a escassez de água, em alguns locais o excessivo aumento da quantidade de chuvas pode acarretar problemas, como a ocorrência de enchentes e desmoronamento; por outro lado, a redução das chuvas pode provocar impactos na agricultura, nos processos industriais e geração de energia por hidrelétricas. Logo, as mudanças nos regimes de precipitação podem ser responsáveis por problemas ambientais que afetam a sociedade e economia de uma região.

A disponibilidade hídrica tem sido reconhecida como questão global, por isso há necessidade de realizar sua quantificação para proporcionar melhor entendimento sobre a situação da água na Terra. De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2005), no cenário atual o planeta possui aproximadamente 1.386 milhões de km<sup>3</sup> de água, sendo que deste, 2,5% corresponde a água doce. Grande parte desse volume de água doce encontra-se em locais inacessíveis, como: calotas polares, geleiras e neves que cobrem as montanhas (68,9%) e nas áreas subterrâneas (29,9%). Quanto a distribuição espacial de água doce, não ocorre de forma homogênea, ocasionando problemas de escassez e conflitos por acesso a este recurso. De acordo com a WBCSD (2006), quando a disponibilidade per capita é inferior a 1.700 m<sup>3</sup>/ano, os países passam pelo estresse periódico ou regular, porém quando este valor é reduzido para 1.000 m<sup>3</sup>/ano, a escassez começa a prejudicar o desenvolvimento de atividades econômicas e o bem-estar da população.

Segundo os dados divulgados no Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2013), a distribuição hídrica é bastante heterogênea no Brasil, onde a maior parte da água doce disponível encontra-se na região Norte (81%), abrangendo apenas 5% da população total brasileira, enquanto que as regiões Nordeste e Sudeste apresentam maiores concentrações populacionais e menores disponibilidades. Rebouças et al. (2006) justificam o elevado volume de água na Bacia Amazônica pela presença do rio Amazonas, que possui a maior vazão entre os rios do mundo, com uma descarga aproximada de 220.000 m<sup>3</sup>/s.

A influência de fenômenos climáticos e sua combinação com a atuação de sistemas atmosféricos pode ser considerado um fator responsável pelo aumento ou redução na distribuição de chuvas de uma região, sendo essa variável importante para a manutenção das atividades humanas. Costuma-se conhecer os problemas relacionados ao estresse hídrico percebidos na região do Semiárido, apresentando eventos de secas prolongadas, no entanto, apesar da relação entre a demanda e disponibilidade hídrica na Região Amazônica ser considerada excelente (ANA, 2005), as épocas de estiagem também atingem essa área, como a seca dos anos de 2005 e 2010.

A identificação de regiões homogêneas, através da aplicação de técnicas de agrupamento, contribui para a compreensão da variabilidade espaço-temporal das chuvas nas bacias hidrográficas. Essa técnica consiste na delimitação de áreas com comportamento hidrológico semelhantes, sendo importante não apenas para a quantificação das chuvas, mas para entender sua dinâmica, a fim de auxiliar no planejamento e manejo de recursos naturais (AMANAJÁS e BRAGA, 2012).

A possibilidade de aumento ou redução das chuvas relacionados a fatores meteorológicos, e a necessidade de preservação da qualidade e quantidade dos recursos hídricos, incentivou o desenvolvimento deste trabalho, a fim de compreender a variabilidade e distribuição espacial da precipitação nas sub bacias hidrográficas do Rio Negro e Rio Solimões, além de sua correlação com a vazão dos rios principais e as interferências dos fenômenos climáticos *El Niño* e *La Niña*, visando contribuir para a melhoria na gestão dos recursos hídricos a nível de bacia hidrográfica e para o planejamento de atividades que sofrem interferência dos fatores chuva e vazão, como: obras hidráulicas, irrigação, construção de pontes, entre outras.

## 1.1 OBJETIVOS

### **Geral**

Caracterizar o comportamento hidrológico da precipitação e da vazão nas sub-bacias hidrográficas do rio Negro e Solimões.

### **Específicos**

- I- Quantificar o número de estações pluviométricas e fluviométricas;
- II- Realizar o preenchimento de falhas e consistências dos dados pluviométricos;
- III- Gerar mapas de isoietas anuais com dados pluviométricos;
- IV- Calcular a precipitação e volumes médios de cada área;
- V- Identificar Regiões Homogêneas de Precipitação em diferentes séries temporais;
- VI- Verificar a tendência de precipitação para uma série temporal de 31 anos;
- VII- Verificar a influência dos fenômenos climáticos *El Niño* e *La Niña* no regime pluviométrico;
- VIII- Verificar o comportamento da vazão em relação à precipitação.

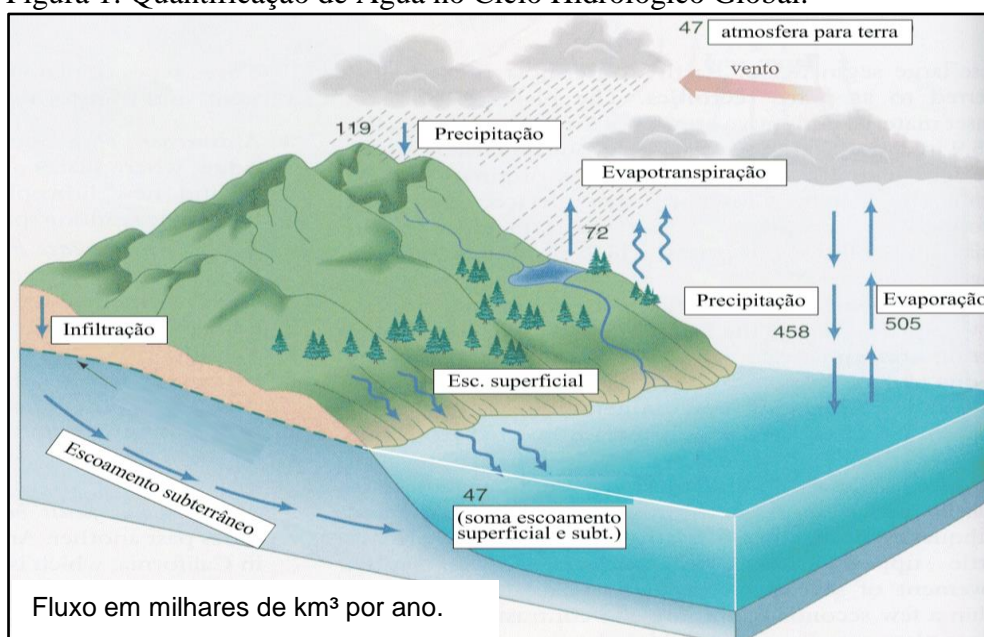
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 DINÂMICA DO CICLO HIDROLÓGICO AMAZÔNICO

O ciclo hidrológico é um fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, a qual é impulsionada basicamente pela energia solar ligada à gravidade e à rotação terrestre. Esse fenômeno é considerado fechado apenas em nível global, pois os volumes evaporados, em certo local do planeta, não precipitam necessariamente no mesmo local, devido a existência de movimentos contínuos. Com relação à precipitação que ocorre nos continentes, o volume de chuva que precipita pode ter vários destinos, sendo parte transferida à atmosfera pelo processo de evapotranspiração; parte escoam sob a superfície plana (escoamento superficial ou *runoff*), formando os cursos de água e parte infiltra no terreno (BRUTSAERT, 2005; TUCCI, 2012).

A quantificação do volume total de água do ciclo hidrológico global pode apresentar elevada discrepância devido perdas no sistema e a estimativa de um grande volume. Botkin e Keller (2005) estimam que o volume de água precipitado nos continentes representa cerca de 120 mil km<sup>3</sup>; o volume de água evaporado dos solos ou transpirado pela vegetação soma, anualmente, um total de 72 mil km<sup>3</sup>; o volume de água que infiltra ou escoam superficialmente apresenta os oceanos como destino final, os quais recebem uma quantidade de água da Terra de 47 mil km<sup>3</sup> (Figura 1):

Figura 1: Quantificação de Água no Ciclo Hidrológico Global.



Fonte: Adaptado de Botkin e Keller (2005).

## 2.2 ESTUDO DA PRECIPITAÇÃO

A pluviometria é estudo que consiste na quantificação e análise dos dados de chuva em um determinado local, a fim de mensurar a grandeza deste fenômeno ou seu período de ocorrência. A realização deste estudo hidrológico é importante para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, pois com esses dados é possível verificar a viabilidade da implantação de projetos, como: hidrelétricas, drenagem, barragens, etc.

Para cada tipo de estudo são consideradas diversas grandezas pluviométricas, no entanto, as principais são definidas por Villela e Mattos (1975); Tucci (2012):

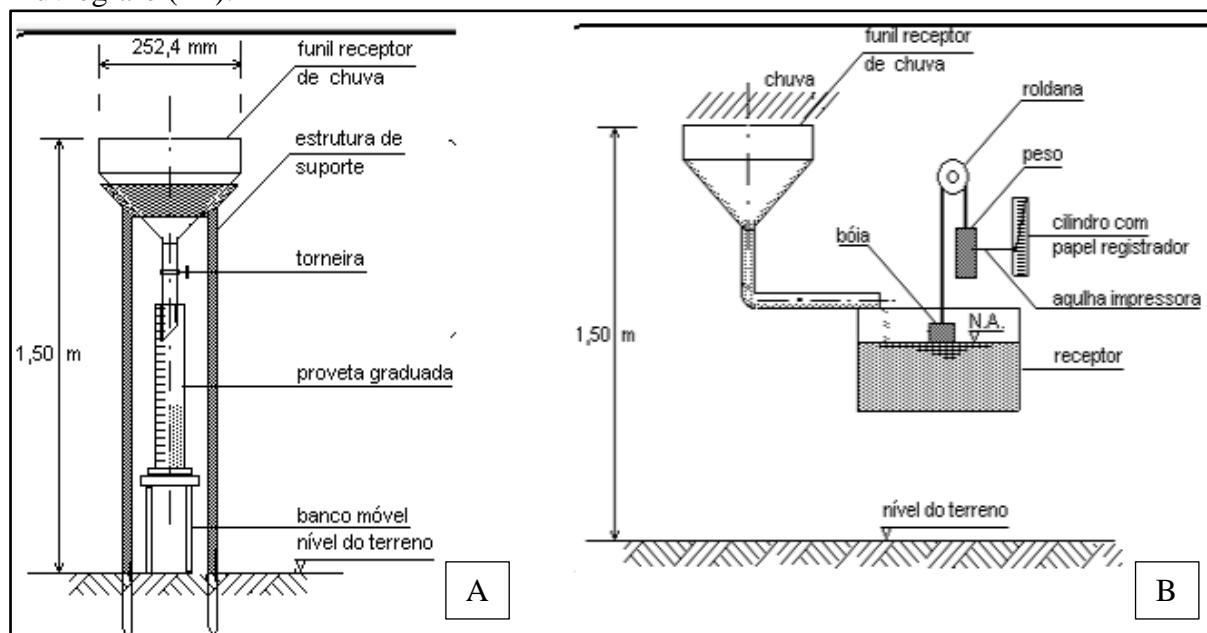
- Altura pluviométrica (P): representa a espessura média da lâmina de água que precipita em uma determinada área, sem considerar evaporação, transpiração e escoamento superficial. Normalmente a unidade mais usada é o milímetro (mm), correspondente ao volume de 1 litro por metro quadrado de área horizontal.
- Duração (t): representa o tempo de duração da chuva. As unidades mais comumente utilizadas, são: minuto ou hora.
- Intensidade (i): representa a quantidade de chuva por unidade de tempo, obtida pela relação  $i = P/t$ . Essa grandeza apresenta a variabilidade temporal da precipitação, sendo que as unidades mais utilizadas, são: mm/h ou mm/min.
- Frequência de probabilidade ou tempo de recorrência (Tr): a precipitação é um fenômeno aleatório, ou seja, não ocorre com frequência contínua. Logo, o tempo de recorrência consiste em analisar as alturas pluviométricas máximas, para que a chuva analisada seja superada ou igualada em um determinado tempo.

Para fazer as medições pluviométricas, normalmente são utilizados pluviômetros ou pluviógrafos. O pluviômetro é um aparelho que possui superfície horizontal e um reservatório para acumular a água da chuva. Nesse medidor, a água acumulada é retirada através de uma torneira presente no fundo do aparelho e medida através de uma proveta devidamente calibrada; o pluviógrafo é um aparelho capaz de



registrar chuvas de curta duração em um determinado local através da geração de gráficos, podendo ser analógico ou digital (Dos Santos et al. 2001). Na Figura 2, são apresentados os dois medidores de precipitação, pluviômetro e pluviógrafo, com seus respectivos cortes esquemáticos.

Figura 2: Representação esquemática dos medidores de chuva- Pluviômetro (2A) e Pluviógrafo (2B).



Fonte: Adaptado de UFCG (2009).

Outra maneira de realizar as medições pluviométricas é através do uso de imagens de satélites, as quais permitem a obtenção de dados mais rapidamente. No entanto, Dos Santos et al. (2001) afirmam que ainda existem muitos erros relacionados a esses métodos para a quantificação exata do volume precipitado, porém são consideradas excelentes ferramentas para interpolar espacialmente a precipitação entre os locais de instalação dos pluviômetros. Collischonn et al. (2008), garantem que as estimativas de chuva por imagens de satélite podem ser muito úteis em regiões como a Bacia Amazônica, onde a densidade de medidores de chuva é muito baixa em relação à área e a precipitação é altamente variável.

De acordo com a Organização Mundial de Meteorologia (OMM, 1994), para a realização de estudos com dados hidrológicos, indica-se a utilização de série temporal de 30 anos para maior consistência dos métodos estatísticos aplicados.

### 2.2.1 Tipos de Precipitação

As precipitações são classificadas de acordo com a movimentação vertical do ar, por Villela e Mattos (1975); Tucci (2012), em três categorias principais:

- **Convectivas:** são características das regiões equatoriais, onde os ventos são menos intensos e os movimentos de ar normalmente são verticais, podendo ocorrer também em regiões temperadas devido o verão (fortes tempestades). A sua formação está relacionada ao aquecimento desigual da superfície terrestre, provocando o surgimento de camadas de ar com diferentes densidades, gerando uma estratificação térmica na atmosfera com equilíbrio instável. Quando há o rompimento desse equilíbrio, seja por fortes ventos ou superaquecimento, ocorre a queda brusca e violenta do ar menos denso, capaz de atingir elevadas altitudes. São caracterizadas como chuvas de grande intensidade e de curto período, normalmente são causadoras de inundações em pequenas bacias.

- **Orográficas:** a sua formação está relacionada à direção dos ventos quentes e úmidos do oceano para o continente, que ao encontrar uma barreira montanhosa, sobem, resfriam devido a redução da temperatura, formam as nuvens e provocam as chuvas. Geralmente, quando os ventos ultrapassam essas barreiras, o outro lado recebe menos chuva, originando áreas secas ou semiáridas devido a presença do ar seco, pois toda a umidade já foi descarregada anteriormente durante esse fenômeno. São caracterizadas como chuvas de fraca intensidade e longos períodos, normalmente ocorre em pequenas áreas localizadas próximas de elevações naturais.

- **Frontal ou Ciclônica:** a sua formação está relacionada à interação das massas de ar quente e frias. O ar mais quente é impulsionado para cima, devido a queda de temperatura o ar é resfriado, condensa e forma as chuvas. São caracterizadas como chuvas de longa duração e de fraca ou média intensidade. Geralmente, podem ocorrer de forma simultânea com ventos fortes, além de provocar inundações em grandes bacias.

Após a caracterização dos principais tipos de chuvas, verificou-se que na Região Amazônica ocorre com maior frequência as chuvas do tipo convectivas, visto que a convecção tropical é a principal característica do clima nessa região sendo modulada por sistemas atmosféricos de grande escala (DE ALMEIDA et al. 2015).

### 2.2.2 Características de Precipitação na Amazônia

A precipitação pode ser descrita como todo o volume de água presente nas nuvens (vapor d'água na atmosfera) que atinge a superfície terrestre, no estado sólido ou líquido. As principais formas de precipitação, são: chuvas (forma mais comum), neve, neblina, geada, orvalho e granizo.

Dentre as variáveis climáticas mais comuns, a precipitação é a que mais se modifica no tempo e no espaço, portanto, afeta diretamente os ciclos naturais dos recursos hídricos, sendo a circulação atmosférica de massas de ar um dos principais processos que controlam a distribuição das taxas de precipitação e escoamento superficial (Villar et al. 2009). A região possui um regime de precipitação com fortes influências de sistemas atmosféricos dinâmicos de micro, meso e grande escala, 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 (AMANAJÁS e BRAGA, 2012).

Devido a predominância do bioma Floresta, a Região Amazônica possui alta umidade e conseqüentemente, elevados índices de precipitação, com média de 2.100 mm/ano, influenciado por atividades convectivas que caracterizam a ocorrência de longos períodos chuvosos. Em épocas de cheia, a Região pode apresentar valores superiores a 250 mm/mês; enquanto que em épocas de seca esses índices podem ser inferiores a 50 mm/mês (Fisch et al. 1998). A variabilidade das chuvas na região amazônica está diretamente relacionada com as temperaturas das superfícies dos oceanos Atlântico e Pacífico, que direcionam a posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), considerado o principal sistema causador de chuvas na região (DOS SANTOS et al. 2014).

Para Kulkarni et al. (2013), as chuvas possuem elevada importância, principalmente nas regiões tropicais e são consideradas como o principal ponto dos processos convectivos que ocorrem na atmosfera, visto que estes processos podem influenciar no clima de outras áreas. Portanto, há grande necessidade de realizar estudos sobre a precipitação e sua variabilidade no espaço e tempo, pois desta forma, é possível fazer previsões e planejamentos sobre os recursos hídricos, a fim de manter a qualidade e quantidade de água no planeta, além de prevenir possíveis danos causados pelo aumento ou redução dos índices pluviométricos.

### 2.2.3 Representatividade das Estações

A Organização Mundial de Meteorologia (OMM, 1994) faz a recomendação da quantidade mínima de estações pluviométricas que devem ser instaladas em uma área dependendo das condições fisiográficas do local (Quadro 1).

Quadro 1: Densidade mínima de estações pluviométricas por unidade fisiográfica.

Unidade Fisiográfica	Densidade Mínima por estação (Superfície em km <sup>2</sup> por estação)	
	Sem Registro (Pluviômetros)	Com Registro (Pluviógrafos)
Zonas Costeiras	900	9.000
Zonas Montanhosas	250	2.500
Planícies e Interiores	575	5.750
Áreas íngremes/ Onduladas	575	5.750
Pequenas Ilhas	25	250
Zonas Urbanas	-	10 a 20
Zonas Polares e Áridas	10.000	100.000

Fonte: Adaptado de OMM (1994).

A maior densidade de estações pluviométricas deve abranger as áreas com ocorrência de chuvas intensas e de curto período, para que os aparelhos possam fornecer informações acerca da intensidade, distribuição e duração das precipitações (OMM, 1994).

## 2.3 MÉTODOS APLICADOS AOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Neste sub item serão apresentados os métodos utilizados para realizar a sistematização dos dados de chuva para um período de 31 anos (1984-2014).

### 2.3.1 Métodos para Preenchimento de Falhas

A ausência ou falha de dados nas séries históricas de precipitação são decorrentes de diversos fatores, como: falta de manutenção dos aparelhos de coleta, anotações incorretas na caderneta de campo, ausência de profissional no momento da medição, uso de valores estimados, entre outros (De Oliveira et al. 2010; Tucci, 2012). Para permitir a continuidade das informações hidrológicas e aplicação dos tratamentos estatísticos em séries mínimas de 30 anos, de acordo com as recomendações da OMM, utilizam-se os preenchimentos de falhas, sendo que os mais usuais, são: Ponderação Regional, Regressões Lineares e Potencial, Ponderação Regional com base em

Regressões Lineares, Redes Neurais Artificiais e Vetor Regional (DE OLIVEIRA et al. 2010; ANA, 2012; TUCCI, 2012).

Para a realização do preenchimento de falhas foi utilizado o Método de Ponderação Regional com base em Regressões Lineares, devido este ser composto pela relação entre dois métodos e ser considerado por Teegavarapu e Chandramouli (2005) como superior aos outros citados anteriormente.

### 2.3.1.1 Método Ponderação Regional com base em Regressões Lineares (PRRL)

O método é baseado em regressões lineares entre o posto com falhas e cada um dos postos vizinhos selecionados através da obtenção de coeficientes de correlação  $r$  para cada regressão (coeficiente de Pearson). O preenchimento dos dados com falhas é feito através da Equação 1 (DE OLIVEIRA et al. 2010):

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n r_{P_x P_i} P_i}{\sum_{i=1}^n r_{P_x P_i}} \quad (1)$$

Em que:

$r_{P_x P_i}$ : coeficiente de correlação entre os postos vizinhos;

$P_x$ : posto com falha;

$P_i$ : postos consistidos;

$n$ : número de postos considerados.

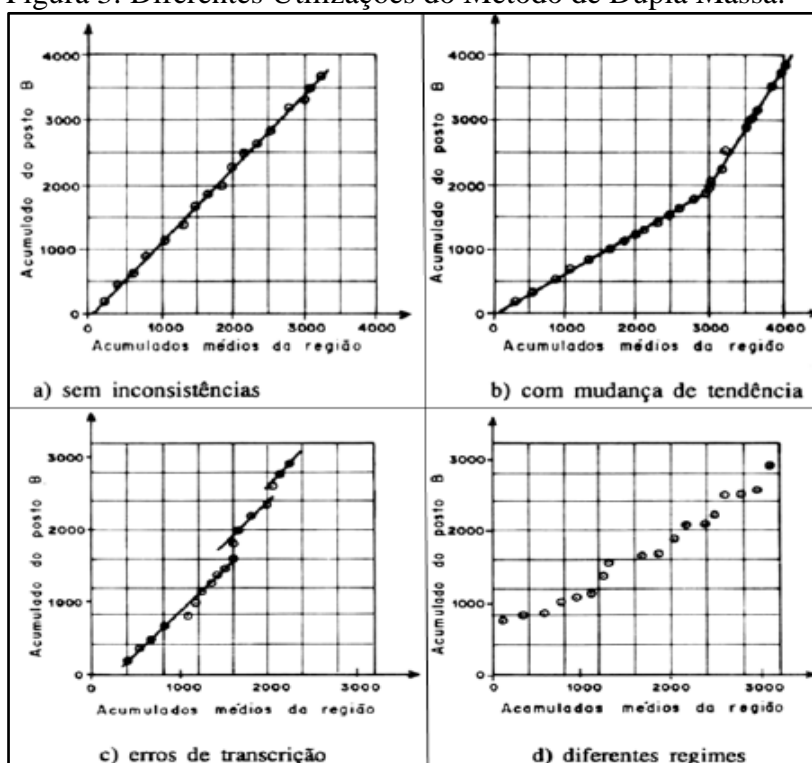
### 2.3.2 Análise de Consistência das Séries Temporais

As inconsistências nas séries temporais de precipitação ocorrem basicamente devido aos erros de medição ou falta de manutenção dos aparelhos, portanto após o preenchimento de falhas deve-se realizar a análise de consistência dos dados para comprovar o nível de homogeneidade dos valores preenchidos com aqueles já existentes de postos vizinhos (TUCCI, 2012).

O método da Dupla Massa, criado pelo Geological Survey (USA) é utilizado em diversos trabalhos no Brasil em função da sua simplicidade, no entanto é recomendável apenas para séries mensais ou anuais, como no estudo de JÚNIOR e LANDIM (2014).

Esse método consiste em comparar duas curvas traçadas no plano cartesiano, uma sendo referente aos totais anuais ou mensais acumulados do posto que foi preenchido e outra com a média acumulada dos totais anuais ou mensais dos postos que apresentam dados confiáveis (Villela e Mattos, 1975). O ideal é que a reta formada pelos valores preenchidos fique próxima de outra reta tomada como base com dados já existentes. A declividade da reta gerada determina a proporcionalidade entre as séries, mas também é possível que os valores sejam plotados distantes da reta base, isso ocorre devido a mudança na declividade, alinhamento dos pontos em retas paralelas e distribuição errática dos pontos. A Figura 3 representa os casos mais comuns de utilização deste método (TUCCI, 2012):

Figura 3: Diferentes Utilizações do Método de Dupla Massa.



Fonte: Adaptado de Tucci (2012).

Caso os pontos não se ajustem em uma única reta faz-se necessário realizar a correção desses dados para obter pelo menos cinco estações alinhadas de forma contínua na nova linha de tendência. A correção da inconsistência dos dados é fornecida pela Equação 2:

$$P_c = P_a^* + \frac{M_a}{M_o} \cdot \Delta P_0 \quad (2)$$

Em que:

$P_c$  = Precipitação ajustada;

$P_{a^*}$  = Precipitação com inconsistência;

$M_a$  = coeficiente angular da reta consistente;

$M_0$  = coeficiente angular da reta inconsistente;

$\Delta P_0 = (P_0 - P_{a^*})$ , em que  $P_0$  representa o valor a ser ajustado.

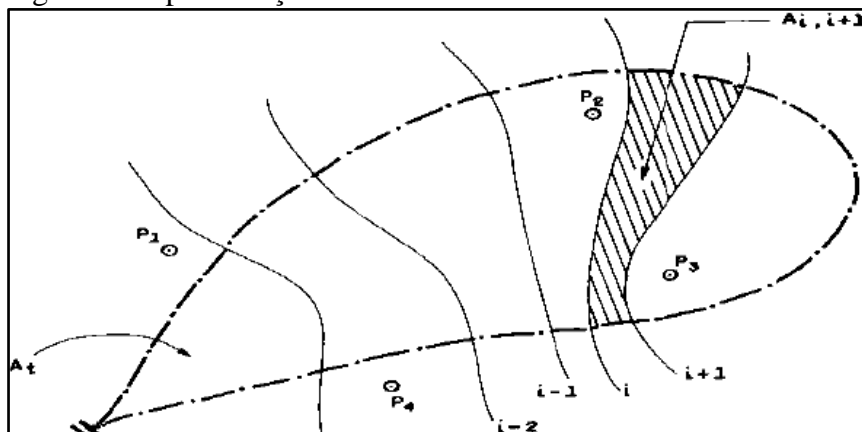
A correção dos dados pluviométricos pode ser feita através da adaptação dos dados mais antigos para os mais recentes ou no sentido contrário. Essa escolha dependerá dos fatores que interferem na mudança de declividade da reta.

### 2.3.3 Determinação da Precipitação e Volume Médios

Os danos causados por precipitações intensas estão ligados à altura de lâmina d'água que se distribui sobre uma superfície plana. Logo, são utilizados alguns métodos para calcular a precipitação média em uma bacia hidrográfica, sendo os mais usuais o método da média aritmética, método de Thiessen e o Método das Isoietas. Para a realização deste estudo foi utilizado o Método das Isoietas, pois se bem analisado gera o melhor resultado (RAGHUNATH, 2006).

Neste método, as precipitações medidas são plotadas em um mapa e as linhas de igual precipitação (isoietas) são desenhadas considerando os efeitos orográficos e a morfometria das chuvas (Figura 4):

Figura 4: Representação do Método de Isoietas.



Fonte: Tucci (2012).

A precipitação é calculada como a média ponderada entre os dois valores de isoietas sucessivos, adicionados e divididos pela área total da bacia, gerando a

profundidade média de precipitação em um determinado tempo, sendo as unidades mais usadas: hora, dia, mês e ano. Trabalhos como o Girardi et al. (2013) encontraram boa precisão deste método. A determinação da precipitação média é dada pela Equação 3 (RAGHUNATH, 2006):

$$P_{\text{méd}} = \frac{\sum A_{1-2} P_{1-2}}{\sum A_{1-2}} \quad (3)$$

Em que:

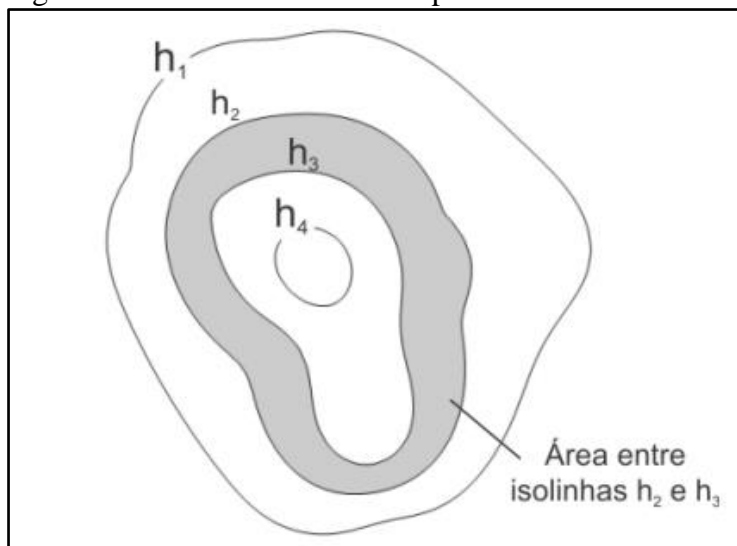
$A_{1-2}$ : área entre duas isoietas sucessivas  $P_1$  e  $P_2$ ;

$P_{1-2}$ :  $\frac{P_1 + P_2}{2}$ , em que  $P_1$  e  $P_2$  representa a precipitação em cada isoietas;

$\sum A_{1-2}$ : área total da bacia.

Para o cálculo do volume médio precipitado será utilizado o Método por Contornos (Figura 5), que se dá pelo produto entre a área das isoietas e a altura média da lâmina d'água entre elas. Este método segue a mesma lógica adotada na determinação da precipitação média, no entanto não há a divisão pela área total da bacia (Equação 4):

Figura 5: Método dos Contornos para Cálculo do Volume.



Fonte: Loureiro (2012).

$$V_{\text{méd}} = \sum A_{1-2} \frac{(P_1 + P_2)}{2} \quad (4)$$



Em que:

$V_{\text{méd}}$ : Volume médio precipitado na bacia;

$A_{1-2}$ : área entre duas isoietas sucessivas  $P_1$  e  $P_2$ ;

$P_1$  e  $P_2$ : representa a precipitação em cada isoieta.

### 2.3 IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS

A precipitação é considerada a variável climática com maior número de registros no Brasil, sendo representado pela espacialização de pluviômetros e pluviógrafos em número considerável. No entanto, existem falhas nas séries históricas de monitoramento devido fatores, como: erros de medição, falta de manutenção adequada dos aparelhos e falta de investimento nesse setor. O estudo da precipitação utilizando diferentes períodos contribui para o entendimento da variabilidade temporal da chuva (MARTINEZ et al. 2012; PINHEIRO et al. 2013).

As regiões homogêneas consistem na delimitação de áreas compostas por elementos semelhantes, sendo sua identificação importante para melhor compreensão da dinâmica ambiental, onde é possível verificar períodos de maiores e menores índices pluviométricos, contribuindo para o planejamento e gestão dos recursos hídricos de bacias hidrográficas (Menezes et al. 2015). Para Gonçalves et al. (2016), a definição de regiões homogêneas é considerada a fase da regionalização com maior grau de dificuldade, pois requer frequentemente decisões subjetivas do pesquisador.

Segundo Dourado et al. (2013), a Análise de Agrupamento ou *Clusterização* é uma técnica utilizada para transformar séries históricas de chuva em regiões pluviometricamente homogêneas, sendo representado por um grupo de técnicas multivariadas, cujo objetivo é agregar objetos baseado nas características que eles apresentam. Essa técnica classifica objetos que possuem semelhanças de acordo com algum critério de seleção predefinido, sendo que os grupos formados devem apresentar alta homogeneidade interna e alta heterogeneidade externa.

A técnica de agrupamento, conhecida como Análise Q, construção de tipologia, análise de classificação ou taxonomia numérica, é aplicada em diversas áreas do conhecimento, como: psicologia, biologia, sociologia, engenharia, economia e administração, por isso, a variedade de nomes. A sua aplicação torna-se útil para formar

grupos a partir de informações coletadas, que isoladas podem não apresentar significado algum. Logo, a formação dos grupos com elementos semelhantes em algum aspecto, é considerada a maneira mais prática de compreender as informações. No entanto, essa técnica sempre formará grupos, independente da estrutura de dados inicial, sendo totalmente dependente das variáveis selecionadas como base para a escolha da medida de similaridade (HAIR et al. 2005).

Na hidrologia as técnicas de agrupamento são utilizadas principalmente para agrupar dados de chuva ou de vazão e criar regiões hidrologicamente homogêneas, como nos estudos de Santos et al. (2015), que criaram seis regiões pluviometricamente homogêneas na Amazônia Legal e de Menezes et al. (2015), que criaram três regiões homogêneas de chuva para o Estado do Pará.

Antes de aplicar a técnica de agrupamento é necessário escolher uma medida que verifique a semelhança entre duas observações. Essa medida é chamada de medida de similaridade, que indica a semelhança entre os objetos agrupados, podendo ser calculadas de diversas maneiras, no entanto, as mais aplicadas em análise de agrupamento são: medidas correlacionais, medidas de distância e medidas de associação. Contudo, as medidas de distância são as mais utilizadas, indicando a similaridade através da distância dos dados observados, sendo que maiores valores representam menores similaridades.

As medidas de distância mais comumente usadas, são: a distância euclidiana, a distância euclidiana ao quadrado, a distância de Pearson, a distância de Manhattan, a distância de Chebychev etc. Segundo Lara e Sandoval (2014), a escolha da medida de similaridade irá influenciar na formação dos grupos homogêneos.

Na aplicação da análise de agrupamento são utilizadas diversas distâncias, porém a distância euclidiana é a mais usual. A distância euclidiana quadrada é a mais recomendada para os métodos de agrupamento por centróide e Ward, uma vez que não há necessidade de calcular a raiz quadrada, acelerando o processo computacional de formação dos grupos, no entanto, alguns *softwares* não disponibilizam essa distância, logo faz-se uso da distância euclidiana simples, que consiste no comprimento da hipotenusa de um triângulo retângulo (Hair et al. 2005). A representação da distância euclidiana é dada pela Equação 5, de acordo com Gonçalves et al. (2016):

$$d_{ii'} = \sqrt{\sum_{j=1}^p (Z_{ij} - Z_{i'j})^2} \quad (5)$$

Em que:

$Z_{ij}$ : variável padronizada no ponto  $i$ ;

$Z_{i'j}$ : variável padronizada no ponto  $i'$ .

Para o cálculo das medidas de distância, pode-se utilizar dados padronizados ou não- padronizados, no entanto, a padronização das variáveis é mais recomendada por formar grupos mais consistentes e por eliminar efeitos devido as diferenças de escala não somente ao longo das variáveis, mas também para a mesma variável, logo, deve ser aplicada sempre que possível. A padronização das variáveis é feita através da conversão de cada variável em escores padrão (escores  $Z$ ) pela subtração da média e divisão pelo desvio-padrão para cada variável. Cada escore de dados iniciais ou brutos é convertido em um valor padronizado, apresentando média 0 e desvio-padrão de 1.

Os métodos hierárquicos aplicados no agrupamento são baseados na construção de um diagrama do tipo árvore, podendo ser aglomerativos, também conhecidos como construtivos ou divisivos. Nos procedimentos aglomerativos cada elemento inicia em um grupo próprio, posteriormente os grupos mais próximos são agregados formando um novo grupo, reduzindo o número de grupos a cada passo. Nos procedimentos divisivos, todos os elementos iniciam no mesmo grupo, em seguida, os elementos mais distintos entre si são separados, formando grupos cada vez menores.

Existem vários métodos hierárquicos aplicados na análise de agrupamento, como: método da ligação individual ou menor distância, método de ligação completa ou maior distância, método de ligação média ou distância média, método do centróide e método de Ward, sendo este último o mais utilizado para agrupar dados climatológicos e hidrológicos (FÁVERO et al. 2009).

O método de Ward é caracterizado pela construção de um diagrama bidimensional denominado de Dendograma ou diagrama de árvore, o qual definirá o número de grupos formados para elaboração dos mapas de regiões homogêneas através de cortes transversais.

Como não existe um critério definido para o corte no Dendograma, esta etapa deve ser feita considerando a formação de grupos mais similares possível, sendo que quanto menor o número de grupos, menor a homogeneidade entre os elementos dentro dos grupos. Logo, deve ter um equilíbrio entre a definição dos agrupamentos e obtenção do nível de similaridade necessário (HAIR et al. 2005).

#### 2.4 INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA VAZÃO DOS RIOS

A importância do conhecimento do escoamento superficial de uma bacia está diretamente relacionada à instalação de obras hidráulicas e à conservação da água e do solo, sendo o volume escoado dependente de fatores climáticos e fisiográficos de uma região (De Alencar et al. 2006). O volume total de água encontrado em um canal é proveniente do escoamento superficial e subterrâneo, no entanto, o escoamento superficial das chuvas é considerado o principal responsável pela ocorrência de cheias e aumento das vazões dos corpos d'água (DOS SANTOS et al. 2010).

O comportamento hidrológico de um rio é afetado por mudanças climáticas, instalação de barragens, uso e ocupação do solo, entre outros. A cobertura vegetal é considerada um dos fatores que influencia principalmente nos processos de transpiração, interceptação e capacidade de infiltração da água no solo, portanto, as alterações na paisagem podem provocar a degradação dos mananciais pela aceleração de sedimentos provenientes de erosões, alteração nas disponibilidades hídricas e contaminação dos mananciais pelo carreamento de esgotos ou produtos de atividades agrícolas (DOS SANTOS et al. 2010).

Logo, quanto maior o percentual de vegetação, evapotranspiração da cultura, maiores são as taxas de infiltração e, conseqüentemente menor é o escoamento superficial. Além disso, outro fator que contribui para o escoamento é a declividade do terreno, pois à medida que aumenta, menor é a infiltração, maior é a velocidade de escoamento, logo a recarga nos mananciais tende a ser maior (TUCCI, 2012).

Alguns trabalhos têm sido desenvolvidos verificando a influência da precipitação na vazão dos rios para melhorias na gestão dos recursos hídricos (Quadro 2):

Quadro 2: Trabalhos correlacionando Chuva e Vazão (2011-2015).

Belhassan (2011)	Relacionou a influência da precipitação na recarga subterrânea e o bombeamento dessas águas na Bacia Mikkes (Moroco).
Limberger e Silva (2012)	Relacionaram estatisticamente as duas variáveis, considerando anomalias climáticas na Amazônia.
De Macedo et al. (2013)	Aplicaram análise descritiva para relacionar precipitação e vazão, considerando aspectos naturais e sociais na Bacia do Rio Rôla (Amazônia Ocidental).
Arora et al. (2014)	Simularam valores de vazão como resposta da interação da precipitação com temperatura para uma grande Bacia no Himalaia através da influência do degelo de calotas.
Casse et al. (2015)	Analysaram a influência da precipitação na vazão do Rio Níger na cidade de Niamey, para relacionar com a intensidade das inundações.

Fonte: Autor (2017).

### 3 SISTEMAS ATMOSFÉRICOS E FENÔMENOS CLIMÁTICOS NA AMAZÔNIA

Apesar de serem considerados semelhantes em alguns estudos, existe uma diferença básica entre sistemas e fenômenos no campo da meteorologia. Os sistemas atmosféricos estão relacionados com a circulação das massas de ar que ocorrem na atmosfera, já os fenômenos atmosféricos estão ligados à interação do oceano com a atmosfera.

O clima da Amazônia Brasileira é caracterizado por possuir intensa atividade convectiva decorrente do aquecimento dos raios solares ao longo do ano associado com sistemas atmosféricos, como a ZCIT, sendo modulado pelas interações de processos físicos e dinâmicos de grande escala, considerando as características locais, as quais interferem na distribuição das chuvas (SANTOS et al. 2015).

Souza e Ambrizzi (2003), afirmam que a região possui elevada taxa de evapotranspiração, percebido pela existência de dois períodos pluviométricos bem definidos, um chuvoso (de fevereiro a maio) e outro menos chuvoso (de setembro a novembro), já os meses restantes são denominados meses de transição. A definição desses períodos está diretamente relacionada à posição da ZCIT, sendo sua relação com outros sistemas meteorológicos e fenômenos climáticos considerados fatores de intensificação ou desintensificação das chuvas na Amazônia (DOS SANTOS et al. 2014).

A ocorrência de eventos hidrológicos extremos, como inundações e secas, tem incentivado estudos no campo da Hidrologia e Climatologia com o objetivo de compreender os fenômenos climáticos e sistemas atmosféricos que influenciam nos regimes de precipitação e conseqüentemente, na vazão dos rios.

Alguns trabalhos foram realizados para explicar a variabilidade espaço-temporal das precipitações na região amazônica (Quadro 3):

Quadro 3: Trabalhos relacionados aos Sistemas Atmosféricos na Amazônia (1987-2012).

Fisch et al. (1998)	Realizaram o levantamento dos principais sistemas atmosféricos e suas influências sobre as chuvas na região amazônica
Reboita et al. (2010)	Estudaram os sistemas atmosféricos atuantes na América do Sul e enfatizaram os que predominam na Amazônia
Debortolli et al. (2012)	Realizaram um estudo para compreender a estação de chuvas e sua importância do ponto de vista econômico, ambiental e social da região
Amanajás e Braga (2012)	Levantaram os sistemas atmosféricos atuantes na Amazônia para determinar os principais padrões climatológicos da precipitação

Fonte: Autor (2017).

Os principais sistemas atmosféricos atuantes na Amazônia são apresentados no Quadro 4:

Quadro 4: Principais Sistemas atmosféricos na Amazônia.

Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)	Para Molion (1987); Carvalho e Oyama (2013), a ZCIT é um sistema atmosférico localizado no ramo ascendente da célula de Hadley que ocorre próximo à linha do equador e é formada pelo encontro de ventos alísios do Hemisfério Norte com os ventos alísios provenientes do Hemisfério Sul em baixos níveis, sendo responsável pelas precipitações sobre as áreas litorâneas da Amazônia e do nordeste brasileiro. Segundo Kousky (1979), a ZCIT está ligada a uma faixa de baixa pressão e tendência do escoamento para o mesmo ponto nos baixos níveis da atmosfera, facilitando o movimento ascendente e formação de precipitação e nebulosidade. De acordo com Varejão-Silva (2006), a nebulosidade associada a esse sistema é claramente identificada por imagens de satélite em regiões oceânicas, já nas áreas continentais é percebida com mais dificuldade devido aos intensos processos convectivos. Nedel (2010) considera esse sistema um fator importante, pois sua posição e intensidade está diretamente relacionada com sua influência sob a temperatura da superfície do mar (TSM), uma vez que o aquecimento da superfície é um dos fatores contribuintes para a formação da ZCIT.
Circulação geral e Alta da Bolívia (AB)	A região amazônica localiza-se na região tropical da América do Sul, atingida por forte atividade convectiva e intensas chuvas. Segundo Fisch et al. (1998), essa região é caracterizada por apresentar o desenvolvimento de um anti- ciclone nas épocas de verão com elevados níveis (200 hp), associado com forte convecção, mecanismo de elevada importância para o aquecimento da atmosfera tropical. A denominação Alta da Bolívia (AB) ocorre devido à localização deste anti- ciclone sobre a região do Altiplano Boliviano.
Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)	O sistema meteorológico Zona de Convergência do Atlântico Sul possui elevada importância climatológica no final da primavera e nos meses de verão do continente Sul Americano, caracterizado por uma faixa de nebulosidade conduzida no sentido noroeste-sudeste (NW/SE), que vai do centro sul da Amazônia, passa pelo Centro-Oeste e Sudeste, centro sul da Bahia, norte do Estado do Paraná e encaminha-se até o Oceano Atlântico Sudoeste, sendo considerado um dos fatores responsáveis por elevados índices pluviométricos nas áreas de ocorrência (Carvalho et al. 2004; Grimm, 2011). Cunningham e Cavalcanti (2006) afirmam que os eventos de intensas precipitações nas regiões onde as ZACS atuam estão relacionadas com a interação entre a convecção tropical sobre a América do Sul e o deslocamento de sistemas frontais de latitudes mais elevadas.
Linhas de Instabilidade (LI)	As linhas de Instabilidade (LIs), também conhecidas como bandas de precipitação é o conjunto de nuvens do tipo <i>cumulus ou cumulonimbus</i> alinhadas e que possuem propagação uniforme. Para Feng et al. (2009), as LIs pertencem ao sistema convectivo de mesoescala em que as células convectivas estão alinhadas e normalmente estão associadas com chuvas torrenciais, granizo e fortes ventos. Molion (1987) apresenta a formação desse sistema por brisas marítimas que atingem a costa norte/nordeste da América do Sul, provocando o processo de aquecimento/resfriamento entre o oceano e o continente. Loureiro et al. (2006) afirmam que essas nuvens são formadas pela forte intensidade da radiação solar na região tropical e encontram-se mais distribuídas no período da tarde, quando a convecção é máxima, originando as chuvas.

Fonte: Autor (2017).

### 3.1 FENÔMENOS CLIMÁTICOS *EL NIÑO* E *LA NIÑA*

O nome *El Niño* (Menino Jesus em espanhol) faz alusão ao Natal, pois corresponde ao período de afloramento da corrente quente (fim de Dezembro e início de Janeiro), originada na América Central que desloca-se pela superfície do mar em direção

ao Peru e Equador, já o nome *La Niña* foi dado por este fenômeno apresentar características opostas ao *El Niño*.

Os fenômenos climáticos *El Niño* e *La Niña* são característicos por estarem associados a mudanças nos regimes pluviométricos em várias regiões do mundo (Morisihita e Heki, 2008) e ocorrem nos períodos de 2 a 7 anos (Varejão- Silva, 2006). O fenômeno ENOS ou *El Niño Oscilação- Sul* apresenta duas fases extremas correspondentes ao aquecimento e resfriamento anômalo das águas superficiais em algumas áreas do Oceano Pacífico.

Nos anos de *El Niño* ocorre o enfraquecimento dos ventos alísios, a célula de Walker torna-se menos intensa devido às variações na TSM, isso provoca mudanças na circulação atmosférica e faz com que o ar ascenda no Pacífico Central e desça no Pacífico Oeste e Norte da América do Sul, provocando reduções significativas nos índices pluviométricos dessas regiões, o que ocasiona épocas de estiagem sobre a Amazônia e Nordeste brasileiro; já nos anos de *La Niña* a célula de Walker fica mais alongada, devido a intensificação dos ventos alísios e a concentração das águas quentes a oeste do Pacífico, ocasionando menores índices pluviométricos na costa da América do Sul. (CPTEC/ INPE, 2015).

Segundo Trenberth e Sterpaniak (2001), o fenômeno ENOS é resultante de mudanças de larga escala de pressões relacionadas com o sistema climático oceano-atmosfera do Pacífico Tropical, potencialmente influenciado por forças externas. As variações da TSM estão associadas com o Índice Oceânico do *Niño* (ION), que consiste na diferença de pressão entre o Centro- Leste e Oeste do Pacífico Tropical.

A *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOOA, 2016) realizou um estudo no qual são apresentados dados monitorados dos valores de ION, que estão relacionados com a identificação das fases quentes e frias do ENOS (Quadro 5). Os valores mostrados correspondem às médias móveis de 3 meses, as quais devem ser repetidas no mínimo 5 vezes consecutivas para determinar os períodos de ocorrência do *El Niño* (cor vermelha com temperaturas maiores que 0.5°C) ou *La Niña* (cor azul com temperaturas menores que -0.5°C).



Quadro 5: Ocorrência de *El Niño* e *La Niña* de acordo com valores de ION.

1984	-0.5	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-0.9	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3
1986	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.0	1.1
1987	1.1	1.2	1.1	1.0	0.9	1.1	1.4	1.6	1.6	1.4	1.2	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.8	-1.2	-1.2	-1.1	-1.2	-1.4	-1.7	-1.8
1989	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	1.2	1.4
1992	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	0.8	0.5	0.2	0	-0.1	-0.1	0
1993	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.9	1.0
1995	0.9	0.7	0.5	0.3	0.2	0	-0.2	-0.5	-0.7	-0.9	-1.0	-0.9
1996	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.6	1.0	1.4	1.7	2.0	2.2	2.3	2.3
1998	2.1	1.8	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.7	-1.0	-1.2	-1.2	-1.3	-1.4
1999	-1.4	-1.2	-1.0	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.2	-1.4	-1.6
2000	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8
2001	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3
2002	-0.2	-0.1	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	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4
2004	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.2	0.1	0	0	-0.1	-0.4	-0.7
2006	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	0.9	1.0
2007	0.7	0.3	0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.3
2008	-1.4	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	1.0	1.2	1.3
2010	1.3	1.1	0.8	0.5	0	-0.4	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.3	-1.4
2011	-1.3	-1.1	-0.8	-0.6	-0.3	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.8
2012	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.2
2013	-0.4	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.5	-0.6	-0.4	-0.2	0	0	0	0	0.2	0.4	0.6	0.6

Fonte: Adaptado de NOAA (2016).

A magnitude dos fenômenos é apresentada pelo *Golden Gate Weather Service* (GGWS, 2008), o qual classifica as faixas de intensidade em fraca, forte e moderada, além de fornecer as faixas de neutralidade de acordo com os valores de ION (Quadro 6).

Quadro 6: Classificação da magnitude do fenômeno ENOS.

Evento	Valor de ION	Intensidade
<i>El Niño</i>	$\geq 1,5$	Forte
	1,0 a 1,4	Moderada
	0,5 a 0,9	Fraca
Neutralidade	-0,4 a 0,4	Neutralidade
<i>La Niña</i>	-0,5 a -0,9	Forte
	-1,0 a -1,4	Moderada
	$\leq 1,5$	Fraca

Fonte: GGWS (2008).

De acordo com Da Silva (2000) a intensificação do *El Niño* faz com que o ar presente nos níveis superiores da atmosfera torne-se cada vez mais quente e seco, sendo responsável pela redução de 90% das chuvas. Tucci e Braga (2003) afirmam que o fenômeno determina épocas de estiagem quando o clima deveria ser úmido no Leste/Norte da Amazônia e Nordeste do Brasil, gerando áreas extremamente secas e com elevadas temperaturas, o que contribui e multiplica a ocorrência de incêndios; no entanto o fenômeno não é linear, o que implica na possibilidade de umidade na Amazônia em períodos de *El Niño*. Já o Sul, Sudeste e Centro Oeste do país apresentam elevados índices pluviométricos em anos de *El Niño*, causando problemas de perdas na agricultura pela alta umidade, desabamento de barreiras de estradas e casas localizadas em áreas de risco, entre outros danos.

## 4 BACIAS HIDROGRÁFICAS

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água precipitada que tende a convergir os escoamentos para um único ponto de saída, chamado exutório (Tucci, 2012), Christofolletti (1980) e Santana (2003) afirmam que são áreas drenadas por um rio principal e seus afluentes, cuja delimitação é feita por linhas divisórias de água, que ligam os pontos mais altos da região em torno da drenagem considerada.

As bacias hidrográficas podem ser divididas em várias áreas, chamadas de sub bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do canal coletor, sendo que cada bacia interligada com outra de ordem hierárquica superior é considerada sub bacia, logo os termos bacias e sub- bacias hidrográficas são relativos, pois dependem da área a ser analisada (SANTANA, 2003).

### 4.1 HIERARQUIA FLUVIAL E MORFOMETRIA

O conhecimento das características de uma bacia hidrográfica é um dos métodos mais comuns para análises hidrológicas ou ambientais, cujo objetivo é compreender os fatores relacionados com a dinâmica ambiental na área delimitada (LASZLO e ROCHA, 2014).

A hierarquia fluvial consiste na classificação dos cursos de água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra, visando facilitar e tornar mais objetivo os estudos morfométricos a partir do conhecimento do grau de ramificação do sistema de drenagem das bacias hidrográficas (Christofolletti, 1980). Segundo Tucci (2012), os métodos mais utilizados na hierarquização de bacias hidrográficas é o proposto por Horton (1945) e por Strahler (1957).

No método de Horton, os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários; os canais de segunda ordem possuem somente afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem possuem como afluentes os canais de segunda ordem, podendo também apresentar como afluentes os canais de primeira ordem e assim sucessivamente. A classificação dos canais pelo método de Horton implica atribuir a maior ordem ao rio principal, o que é válido desde o exutório da bacia até sua nascente (TUCCI, 2012).

No método proposto por Strahler, todos os canais sem tributários são de primeira ordem, mesmo que sejam nascentes dos rios principais e afluentes; os canais de segunda ordem são aqueles originados da confluência entre dois canais de primeira ordem, podendo ter também afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem são originados pela confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de primeira e segunda ordens e assim sucessivamente (TUCCI, 2012):

A caracterização morfométrica é importante para o entendimento do comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica e dos fatores que influenciam nas etapas do ciclo hidrológico. As principais características morfométricas são apresentadas no Quadro 7:

Quadro 7: Principais características morfométricas.

Características Físicas	Fórmula	Significado
Coeficiente de Compacidade (Kc)	$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$ <p>Em que: P: Perímetro (km); A: Área de drenagem (km<sup>2</sup>)</p>	Corresponde à relação entre Perímetro da Bacia e a circunferência de um círculo, variando de 1 a valores superiores a 1,5. Quanto mais próximo da unidade for o valor de Kc, mais susceptível a bacia estará a enchentes, pois a forma da bacia ficará mais próxima da forma circular.
Fator de Forma	$Kf = \frac{A}{L^2}$ <p>Em que: A: Área de drenagem (km<sup>2</sup>); L: Comprimento (km).</p>	Relaciona a forma da bacia com um retângulo, considerando a largura média e o comprimento axial da bacia. O valor dessa variável pode ser menor ou igual a 1, sendo que quanto mais próximo do limite superior, mais susceptível a bacia estará a enchentes, pois a forma da bacia ficará mais próxima da forma retangular.
Índice de Circularidade (Ic)	$Ic = \frac{12,75 \cdot A}{P^2}$ <p>Em que: A: Área de drenagem (km<sup>2</sup>); P: Perímetro (km)</p>	Relaciona a forma da bacia com sua capacidade de escoamento, sendo que o menor valor de Ic representa uma área mais alongada, logo mais rápido ocorrerá o <i>runoff</i> e menos susceptível a bacia estará a enchentes, pois a forma da bacia ficará mais afastada da forma circular, aumentando o tempo de concentração ao longo da bacia.
Declividade e Altitude Média	-	Relacionam a intensidade do escoamento superficial pela interferência de fatores externos, como: vegetação, solo e clima na drenagem da bacia.
Densidade de Drenagem	$Dd = \frac{\sum L}{A}$ <p>Em que: A: Área de drenagem (km<sup>2</sup>); L: Comprimento (km).</p>	Relaciona o comprimento total dos cursos d'água com a área da bacia. Quanto maior o valor dessa variável, menos tempo o volume de água precipitada gastará para chegar ao seu exutório.
Ordem da Bacia	-	É baseada na Hierarquia Fluvial pelos métodos propostos por Horton (1945) e por Strahler (1957) para estudar a configuração da malha hidrográfica da bacia.

Fonte: Adaptado de Alves e Castro (2003); Cardoso et al. (2006).

## 5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS APLICADAS EM SÉRIES TEMPORAIS

Neste capítulo serão apresentados os métodos estatísticos aplicados para representar a distribuição dos dados de precipitação para um período de 31 anos e a relação chuva e vazão.

### 5.1 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA: MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO

A Geoestatística é baseada em diversas técnicas que têm o objetivo de estimar valores para locais sem dados, como: Inverso do Quadrado da Distância (IDW), análise do vizinho mais próximo e Krigagem Linear e Não- Linear. Essas estimativas são feitas por interpolação espacial, definida por Mazzini e Schettini (2009) como estimador de valores não amostrados baseados em dados conhecidos.

Os métodos de estimativas buscam verificar a autocorrelação entre os pontos observados no espaço, sendo a função mais utilizada para isso o (semi) variograma. A função matemática do variograma é caracterizada pela relação entre a variância dos pontos analisados e a distância que separa estes pontos (h). A correlação é dada pela Equação 6:

$$Y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_i [Z(X_i) - Z(X_{i+h})]^2 \quad (6)$$

Em que:

Y(h): semivariância entre os pontos;

N(h): número total de pares observados;

h: distância entre os pontos;

Z(X<sub>i</sub>) e Z(X<sub>i+h</sub>): número de pares observados, com distância representada pelo vetor h.

Neste trabalho foi utilizado a Krigagem Ordinária Linear por ser considerado um método geoestatístico avançado e minimizador de problemas relacionados às variáveis regionalizadas, tornando-o superior aos outros métodos. Seu objetivo é estimar a área de estudo com base em um conjunto de pontos dispersos espacialmente com diferentes valores de altitude (h), através de modelos computacionais iterativos (Mazzini e Schettini, 2009).

Os principais tipos de Krigagem, são: a simples, a ordinária e a universal, nas quais a Krigagem Ordinária destaca-se por reduzir a variância do erro na estimativa. A vantagem principal deste método é representar o grau de influência a partir de pesos dados aos pontos observados (Carvalho et al. 2012). Após a aplicação da Krigagem Ordinária, a interpolação pode ser demonstrada através de linhas que possuem mesmo valor numérico (isoietas) com contornos suavizados (MAZZINI e SCHETTINI, 2009).

## 5.2 ANÁLISE DE TENDÊNCIA E DO COMPORTAMENTO CHUVA E VAZÃO

A análise de tendência é uma técnica estatística utilizada para avaliar o potencial das mudanças climáticas e a variabilidade em séries hidrológicas. É feita por testes classificados como paramétricos e não paramétricos, também conhecidos como testes de distribuição livres (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

Segundo Hamed (2008), apesar de os testes paramétricos de tendência serem mais potentes, eles exigem que os dados sejam bem distribuídos e por isso são mais sensíveis aos *outliers* (valores discrepantes); já os testes não paramétricos são mais comumente usados, visto que estes não necessitam do modelo prévio de distribuição das variáveis analisadas e são menos sensíveis à presença de *outliers*.

Para a tomada de decisão são feitas suposições que podem ser verdadeiras ou não, chamadas de hipóteses estatísticas, as quais são afirmações sobre as distribuições de probabilidade das populações. Segundo Naghettini e Pinto (2007), nestes testes são considerados dois elementos básicos: a hipótese nula ( $H_0$ ) e a hipótese alternativa ( $H_1$ ), sendo que a rejeição ou não de uma hipótese depende do nível de significância ( $\alpha$ ) pré-estabelecido.

O nível de significância tem papel de eliminar a subjetividade de um determinado teste de hipótese. Na prática, normalmente utiliza-se  $\alpha = 0,05$  e  $0,01$ , apesar de existirem outros valores conforme mostrado na Tabela 1. Por exemplo, um  $\alpha = 5\%$  ou  $0,05$  significa que existe aproximadamente 5 chances em 100 de rejeitar a hipótese nula, quando esta é verdadeira ou 95% de confiança na tomada de decisão correta (Spiegel et al. 2013).

Uma forma de verificar a precisão do valor estimado é estabelecer limites, chamados escores ou limites de confiança, representado pela letra Z. Logo a estimação por intervalo refere-se à fixação de dois valores extremos, tais que  $(1-\alpha)$  represente a

probabilidade de que o intervalo, fixado pelos limites determinados, inclua o verdadeiro valor do parâmetro (CORREA, 2003).

Tabela 1: Valores de Níveis de Significância.

Nível de Significância ( $\alpha$ )	0,10	0,05	0,01	0,005	0,002
Valores críticos de Z para testes bilaterais	$\pm 1,645$	$\pm 1,96$	$\pm 2,58$	$\pm 2,81$	$\pm 3,08$

Fonte: Adaptado de Spiegel et al. (2013).

Segundo Spiegel et al. (2013), o conjunto de escores Z fora dos limites estabelecidos é chamado de *região crítica*, *região de rejeição da hipótese* ou *região de significância*; já o conjunto de escores dentro dos limites estabelecidos é chamado de *região de aceitação da hipótese* ou *região de não significância*. Para um teste bicaudal a área do gráfico de distribuição normal é dividida em duas partes, por isso considera-se o valor  $Z_{\alpha/2}$ , sendo este negativo para o lado esquerdo e positivo para o lado direito.

Para verificação das tendências em séries temporais foram utilizados os testes de Mann- Kendall e *Spearman*.

- **Teste Mann- Kendall e *Spearman***

Entre os testes não paramétricos, o teste Mann- Kendall, proposto por Mann (1945) e Kendall (1975) e recomendado pela OMM é o mais adequado para análise de tendências temporais de dados hidrológicos, visto que normalmente as séries históricas são inclinadas e sofrem interferência de *outliers*. A precisão dos resultados nesse teste não é afetada pelos valores reais da distribuição.

O teste tem sido normalmente utilizado para verificar tendências em dados climatológicos, meteorológicos e hidrológicos por vários pesquisadores (Yue et al. (2002); Hamed (2008); Soltani et al. (2013); Abdullahi et al. (2014) e Gavrilov et al. (2015). O teste estatístico (S) é definido no trabalho de Yue et al. (2002) (Equações 7 e 8):

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1; & \text{If } x_j > x_i \\ 0; & \text{If } x_j = x_i \\ -1; & \text{If } x_j < x_i \end{cases} \quad (7)$$

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (8)$$

Sendo  $X_i$  e  $X_j$  valores de dados consecutivos no tempo  $i$  e  $j$ ;  $n$  representa o tamanho da série histórica. Um valor positivo de  $S$  indica tendência de crescimento, enquanto um valor negativo indica tendência de decrescimento. A expressão seguinte é usada para séries histórica com  $n > 10$  (tamanho da amostra) e dados com distribuição aproximadamente normal com valor da média ( $\mu = 0$ ) e variância ( $\sigma^2 = 1$ ) (Equação 9):

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^P t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (9)$$

Nessa equação,  $P$  representa o número de grupos com valores repetidos, o sinal  $\sum$  indica a somatória de todos os grupos e  $t_i$  é o número de valores de dados de  $P^{\text{th}}$  grupos. Caso não exista a formação de vários grupos com valores repetidos, considera-se apenas o primeiro membro da equação, logo a variância  $\text{Var}(S)$  é calculada da seguinte forma (Equação 10):

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (10)$$

Após o cálculo da variância da série de dados, o valor de  $Z$  padronizado é calculado por (Equação 11):

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{If } S > 0 \\ 0; & \text{If } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{If } S < 0 \end{cases} \quad (11)$$

O valor de  $Z$  padrão calculado é comparado com o quadro de distribuição normal. Se  $|Z| > |Z_{1-\alpha/2}|$ , a hipótese nula é inválida, logo a tendência é estatisticamente significativa; caso contrário a hipótese nula é aceita e a tendência não é estatisticamente significativa, logo não há tendência na série histórica.

O estimador de *Spearman* é um teste estatístico não paramétrico (Villarini et al. 2011) utilizado para analisar tendências em séries temporais e é definido por Spiegel et al. (2013), como (Equação 12):



$$r_s = 1 - \frac{6\sum D^2}{N(N^2-1)} \quad (12)$$

Em que D corresponde à diferença entre as classificações dos valores atribuídos a X e Y, enquanto N representa o número de pares (X,Y) na série de dados. Para  $n > 30$  (tamanho da amostra), a distribuição do  $r_s$  será normal, logo as tabelas de distribuição normal podem ser utilizadas. O teste estatístico Z é representado por Talaee (2013), como (Equação 13):

$$Z = r_s \sqrt{n - 1} \quad (13)$$

Se  $|Z| > Z_\alpha$ , com um nível de significância  $\alpha$ , a hipótese nula de nenhuma tendência pode ser rejeitada, significando que os valores estão distribuídos de forma idêntica.

Após da aplicação dos testes estatísticos aos dados pluviométricos, foi avaliado o comportamento da vazão em relação à chuva, sendo para isso, elaborados hidrogramas simples a fim de verificar possíveis semelhanças entre o comportamento das estações de acordo com sua espacialização ao longo das sub bacias.

## 6 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Amazônia Brasileira, também conhecida como Amazônia Legal, foi criada inicialmente pela lei nº 1.806/1953, como limite de atuação da Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA), órgão extinto a partir do surgimento da Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), pela lei nº 5.173/1966.

A bacia amazônica representa a maior rede hidrográfica do mundo, com 25.000 km de rios navegáveis e 6.110.000 km<sup>2</sup> de área, sendo distribuída por 7 países: Brasil (63%), Peru (17%), Bolívia (11%), Colômbia (5,8%), Equador (2,2%), Venezuela (0,7%) e Guiana (0,3%). Como a bacia amazônica apresenta elevada pluviosidade, os rios ficam permanentemente caudalosos, escoando cerca de 20% do volume de água doce disponível no mundo (ANA, 2011).

A parte da bacia amazônica correspondente à Amazônia Legal possui extensão territorial de aproximadamente 5.020.000 km<sup>2</sup> ou 60% do território brasileiro, abrangendo a totalidade de sete estados da Federação (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins), acrescido de parte do Maranhão, localizado a Oeste do Meridiano 44°. Contém 775 municípios e abriga uma população superior a 24 milhões de habitantes (IBGE, 2016).

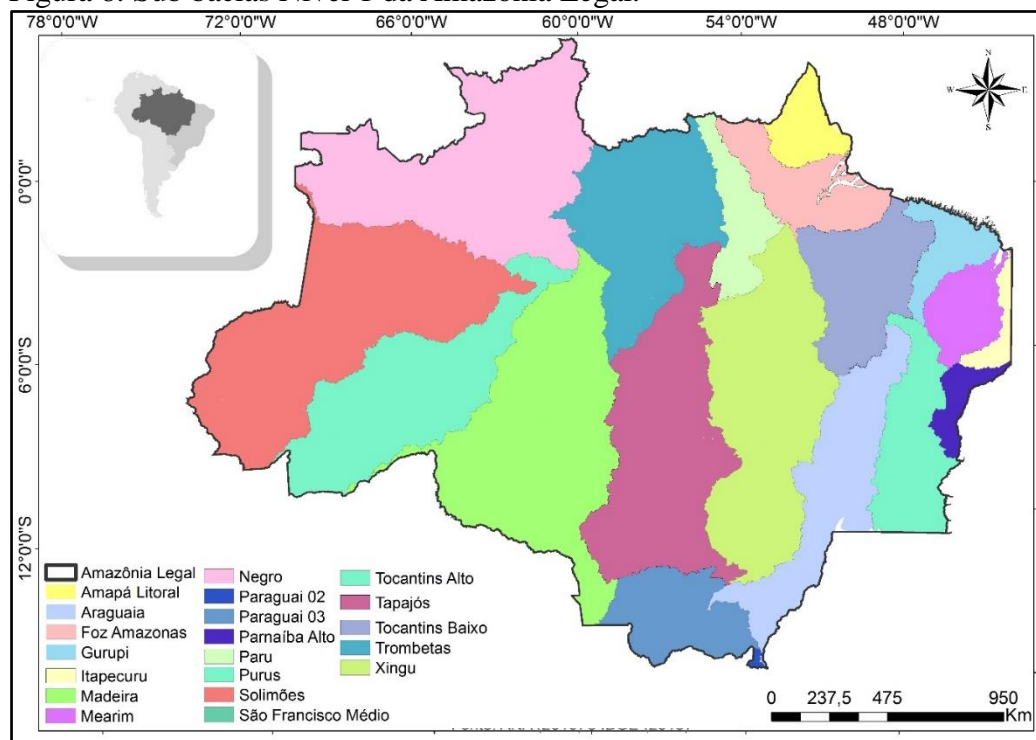
O rio Amazonas nasce nos Andes Peruanos e prolonga-se até a sua foz no Oceano Atlântico (Norte do Brasil) com extensão de 6.850 km, sendo 3.165 km pertencentes ao território brasileiro. Possui vazão que varia de 109.000 a 290.000 m<sup>3</sup>/s (referente ao período de estiagem e cheia, respectivamente), largura média de 5 km e profundidades próximas de 30 m. O rio possui três nomenclaturas ao longo de seu percurso: *Marañón* nos países andinos; ao adentrar no território brasileiro é chamado de Solimões e na confluência com o rio Negro até a sua foz recebe a denominação Amazonas, em homenagem ao local de encontro que ocorre próximo à cidade de Manaus (ANTAQ, 2013).

A navegação regional amazônica possui papel vital no aspecto sócio econômico da bacia, uma vez que representa a principal e muitas vezes a única forma de integração de áreas que não possuem outro meio de transporte (MMA, 2006). Para Palm (2009), a importância da navegação no rio Amazonas está diretamente ligada com a rota comercial e com a relação entre os países fronteiriços; além de permitir o transporte de

peças e cargas na região, beneficiando especialmente a população ribeirinha (FARIAS e CARNEIRO, 2012).

O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), elaborado pelo Ministério de Meio Ambiente (MMA, 2006) juntamente com a Secretaria de Recursos Hídricos divide as Regiões Hidrográficas em áreas classificadas como bacias e sub- bacias de Nível 1 e Nível 2. As Divisões Hidrográficas foram realizadas através da metodologia de Otto Pfafstetter, a fim de delimitar as áreas de atuação dos comitês de bacias e facilitar o processo de gestão dentro das mesmas, sendo que quanto maior o nível, maior o detalhamento das áreas criadas. Atualmente, existem 83 sub- bacias de Nível 1, sendo 20 localizadas na Amazônia Legal (Figura 6) e 273 sub- bacias de Nível 2.

Figura 6: Sub bacias Nível 1 da Amazônia Legal.



Fonte: Autor (2017).

A bacia Amazônica possui uma enorme variedade de rios que afloram em diferentes tipos de terreno e estes corpos d'água possuem três tipos de classificação: água brancas, que correspondem aos rios de origem andina, são turvas, possuem elevada concentração de nutrientes, são pouco ácidas e neutras, por exemplo o rio Amazonas e rio Madeira; águas pretas são caracterizadas por serem escuras, apresentarem baixa concentração de oxigênio dissolvido e elevada acidez, como o rio Negro; águas claras, correspondem aos rios de águas cristalina ou de coloração esverdeada, são transparentes e apresentam composição química variável, como os rios Xingu e Tapajós (SOUZA e CASTELLÓN, 2012).

A bacia Amazônica possui clima equatorial úmido, característico de áreas próximas à linha do Equador e uma precipitação média de 2300 mm por ano, contudo existem áreas que o total anual atinge 3500 mm (regiões de fronteira entre Brasil, Colômbia e Venezuela), devido à ascensão orográfica da umidade transportada pelos ventos alísios provenientes da ZCIT. A região costeira possui precipitação alta e não possui período de seca definido, isso ocorre devido a influência das linhas de instabilidade que se formam no litoral e são forçadas pela brisa marítima (FISCH et al. 1998).

Na Amazônia existem três tipos de classificação climática de acordo com a classificação de Koopen, onde predomina o clima do tipo “A” (clima tropical chuvoso), abrangendo os tipos “Am”, “Af” e “Aw”. Na área “Am”, o índice pluviométrico varia de 2000 a 2750 mm, com períodos de seca de 1 a 3 meses (Julho a Outubro), com temperatura média de 29,5°C; Na área “Af”, o índice pluviométrico apresenta-se na faixa de 2750 a 3500 mm, com estiagem frequente, podendo existir épocas de estiagem isolada (períodos menores que um mês) e temperatura média de 28°C; A área “Aw” é caracterizada pela presença de chuvas em épocas de verão e possui períodos de chuva e seca bem definidos (FISCH et al. 1998).

De modo geral, o período chuvoso inicia em Novembro-Dezembro e prolonga-se até os meses de Maio-Junho, logo os demais meses apresentam baixos índices pluviométricos e são considerados meses de transição (DO VALE JÚNIOR et al. 2011; JÚNIOR et al. 2011; SOUZA e CASTELLÓN, 2012).

O Bioma Amazônico possui área de 4,2 milhões de km<sup>2</sup>, representa 30% das florestas tropicais remanescentes do mundo (Martini et al. 2015) e é caracterizado pela presença de áreas formadas por vegetações variadas. Corresponde à região de maior biodiversidade do planeta e é considerado o maior reservatório global de espécies animais e vegetais (Sayres et al. 2008), abrigando aproximadamente 30% das espécies existentes. A explicação para tal variedade na região encontra-se nos fatores climáticos, geológicos, geográficos e de uso e ocupação do solo (FILHO e SOUZA, 2009).

O tipo de vegetação predominante na Amazônia é a Floresta Ombrófila Densa, correspondendo a aproximadamente 42% do bioma; 12,5% representa a área modificada por intervenção humana, 3% encontra-se em processo de recuperação e 9,5% corresponde à região ocupada pela agricultura e pecuária. O restante da área do bioma é fragmentado em outros tipos de vegetação, como: savanas, campinarana, floresta ombrófila aberta e estepes (MMA, 2016).

O desmatamento na Amazônia Legal é um assunto de preocupação global no sentido de perda da biodiversidade e impactos nas mudanças climáticas (Lapola et al. 2014), por isso, diversos pesquisadores no mundo inteiro buscam quantificar o percentual de desmatamento na Amazônia e suas consequências nas vertentes sócio- econômicas e ambientais (OKUMURA et al. 2014; MARTINI et al. 2015).

O solo é um componente do ecossistema amazônico que, dependendo de suas propriedades físicas, químicas e biológicas define padrões ecológicos e de uso da terra; na Amazônia Legal a variedade de tipos de solo pode ser explicada por fatores, como: relevo, geologia, clima e formação da paisagem (Do Vale Júnior et al. 2011). Os tipos de solo predominantes na região, são: argilossolos e latossolos.

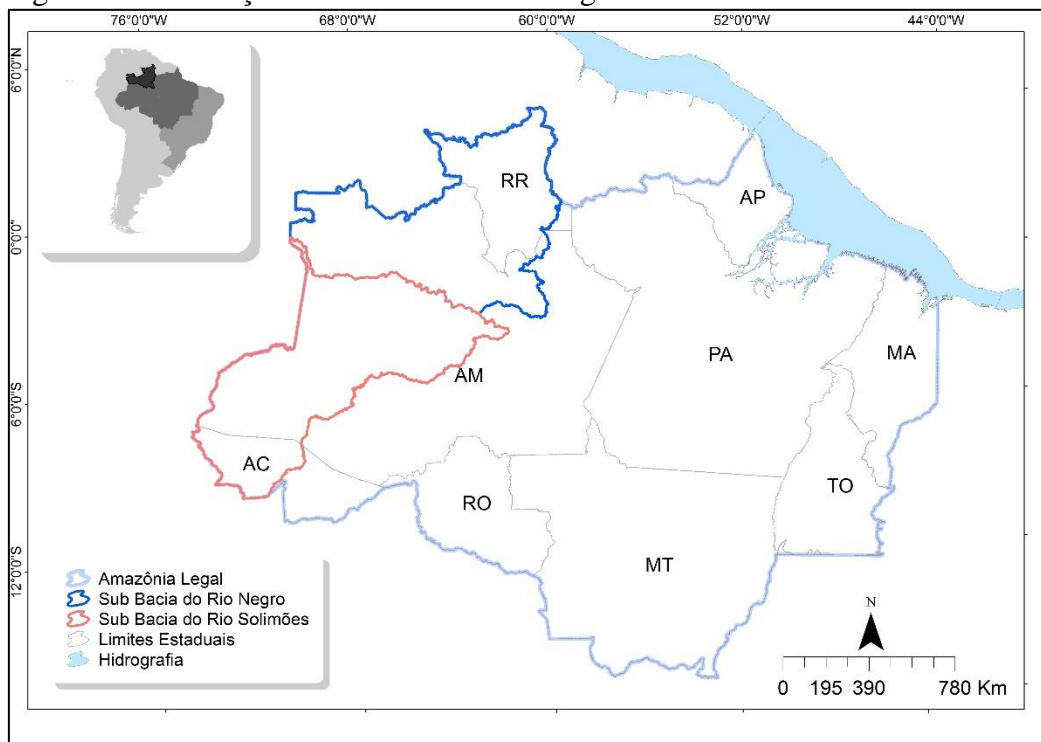
O grupo formado pelos argissolos é característico pelo aumento do teor de argila de acordo com a profundidade. São bem estruturados, possuem profundidade variável e cores avermelhadas ou amareladas, sua textura pode ser arenosa ou argilosa na superfície, média a muito argilosa em locais mais profundos e apesar de possuírem fertilidade irregular, normalmente são encontrados aqueles com baixa fertilidade natural (Coelho et al. 2013). Os latossolos são profundos e bem drenados, possuem textura argilosa, muito argilosa ou média. Geralmente apresentam baixo teor de nutrientes e de substâncias, como: cálcio e potássio; são caracterizados pela alta acidez, podendo ser distróficos ou alumínicos (DOS ANJOS et al. 2013).

A bacia Amazônica possui grande diversidade topográfica, por isso, apresenta várias formações de relevo, podendo ser dividida em três grandes zonas: Planícies, Depressões e Planaltos, além de outras formações específicas de menor abrangência, como: Serras e Patamares. Em geral, o relevo na Amazônia Legal possui baixas altitudes e é composto predominantemente por superfícies aplainadas e depressões, seguidas de planícies fluviais e fluvio-marinhas (DO VALE JÚNIOR et al. 2011; RAISG- 2011).

A bacia hidrográfica do rio Negro possui área de drenagem de aproximadamente 732.595,71 km<sup>2</sup>, abrangendo quatro países: Brasil, Colômbia, Venezuela e Guiana. No território brasileiro, a sub bacia hidrográfica do rio Negro possui uma população de aproximadamente 1.821.000 habitantes e área total de 607.248 km<sup>2</sup>, abrangendo os Estados do Amazonas e Roraima.

A bacia hidrográfica do rio Solimões é a maior da bacia Amazônica, abrangendo quatro países: Colômbia, Equador, Peru e Brasil, com área total de 2.214.327 km<sup>2</sup>, considerando a classificação de Nível 1 da ANA ela é dividida em duas áreas: sub bacia do rio Solimões que abrange os Estados do Amazonas e Acre, com área total de 633.354,06 km<sup>2</sup> e sub bacia do rio Purus (Figura 7).

Figura 7: Localização da sub bacia do rio Negro e sub bacia do rio Solimões.

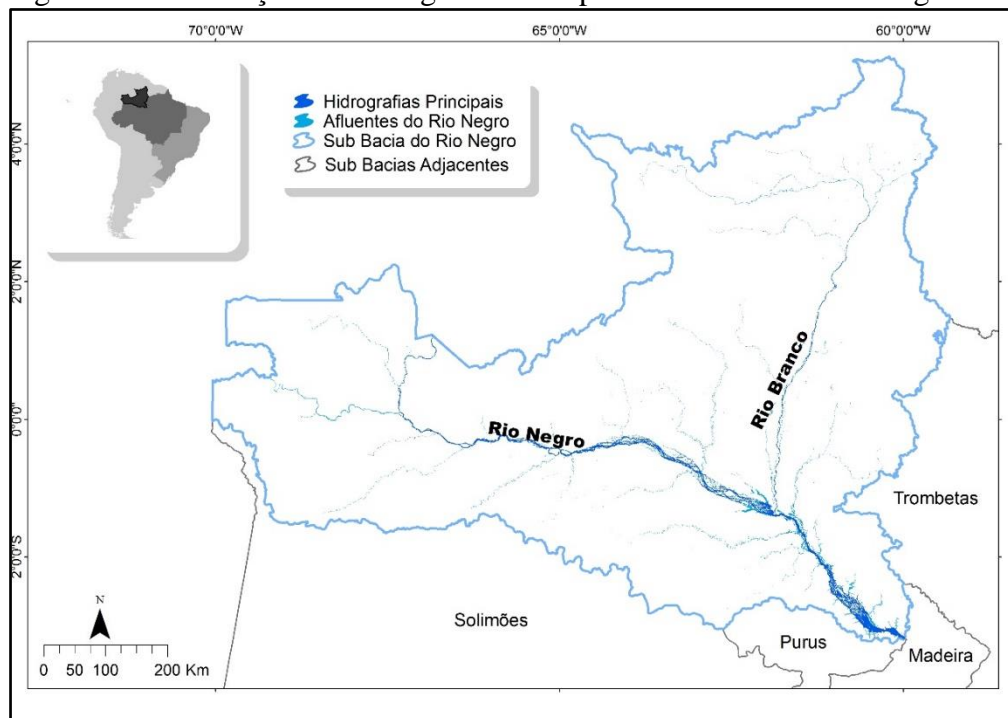


Fonte: Autor (2017).

O rio Negro apresenta nascente localizada na Colômbia recebendo nome de rio Guiana, ao adentrar no Brasil pelo Norte do Estado do Amazonas passa a ser chamado de rio Negro e percorre cerca de 1.700 km até sua foz localizada no rio Amazonas, possuindo 1.070 km de rios com condições favoráveis à navegação (ANTAQ, 2013).

O rio Negro é formado por águas pretas, caracterizadas por possuírem coloração escura devido a decomposição de matéria orgânica na água, elevada acidez, pouco material em suspensão e elevada concentração de potássio e sódio. O rio apresenta descarga média de aproximadamente 32.000 m<sup>3</sup>/s desde sua nascente até a foz; no Brasil possui descarga média de 28.400 m<sup>3</sup>/s e é considerado o terceiro maior tributário do rio Amazonas (14% de contribuição), onde recebe mais de 500 afluentes, sendo o principal o rio Branco que origina-se ao Norte do Estado de Roraima (Figura 8) (MONTERO e LATRUBESSE, 2013).

Figura 8: Identificação da Hidrografia Principal da sub bacia do rio Negro.



Fonte: Autor (2017).

O nível das águas no rio Negro sofre influência da sazonalidade da precipitação e da proximidade com o rio Solimões, percebido ao longo do rio Negro até o seu encontro com o rio Branco em uma extensão de 300 Km. O período de cheia do rio vai de Maio a Agosto, enquanto o período de seca vai de Dezembro a Fevereiro, no entanto a relação Negro-Solimões justifica o aumento dos níveis de água no baixo rio Negro no período de Dezembro a Fevereiro, enquanto o alto rio Negro encontra-se com níveis mais baixos, pois corresponde ao período de cheia dos tributários do rio Solimões (ZEIDEMANN, 2001; DO NASCIMENTO, 2013).

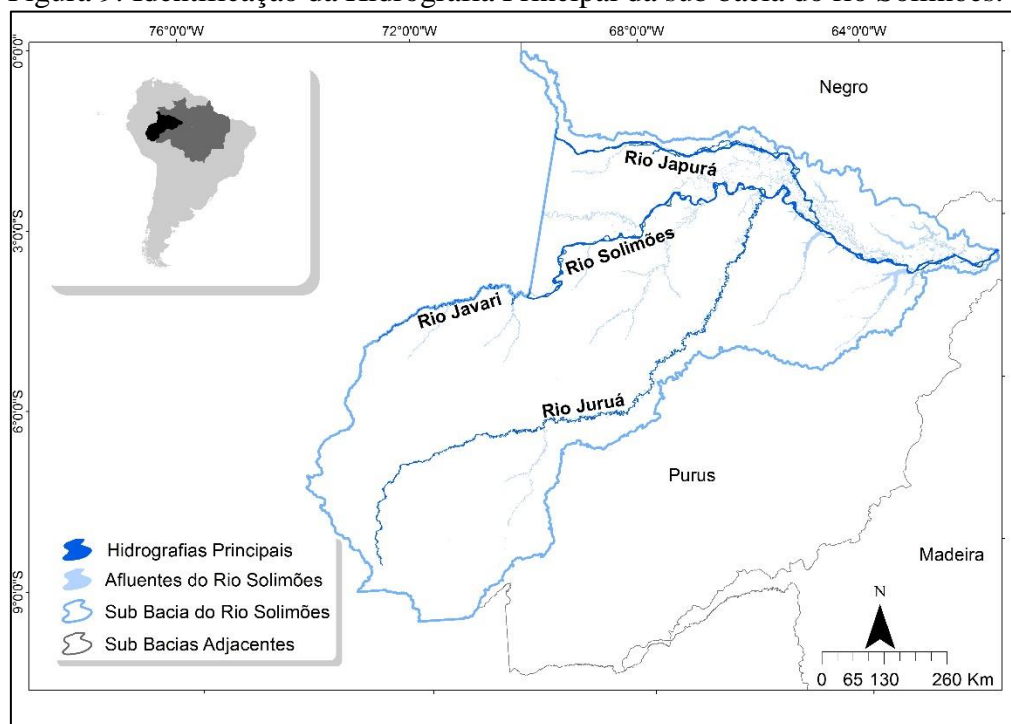
A precipitação média da sub bacia do rio Negro é de 2.566 mm/ano, sendo que a região conhecida como “Cabeça do Cachorro”, localizada no Estado do Amazonas, município de São Gabriel da Cachoeira representa a área com maiores índices pluviométricos da sub bacia, podendo atingir valores superiores a 3.200 mm/ano. De acordo com a época, a variação de profundidade do rio Negro é de 5 a 35 metros (ZEIDEMANN, 2001).

O rio Solimões entra no Brasil pelo município de Tabatinga (AM) e após a confluência com o rio Negro nas proximidades da cidade de Manaus, o rio Solimões passa a ser chamado de rio Amazonas. Possui precipitação média de 2300 mm/ano e descarga média de aproximadamente 100.000 m<sup>3</sup>/s (FRANZINELLI, 2011).



O rio Solimões apresenta extensão de aproximadamente 1.620 km e possui diversos afluentes, como o rio Javari, Japurá e Juruá (Figura 9). O período de cheia corresponde aos meses de Fevereiro a Junho, enquanto o período de seca vai de Julho a Outubro, variando suas profundidades de acordo com os índices pluviométricos (ANTAQ, 2013).

Figura 9: Identificação da Hidrografia Principal da sub bacia do rio Solimões.

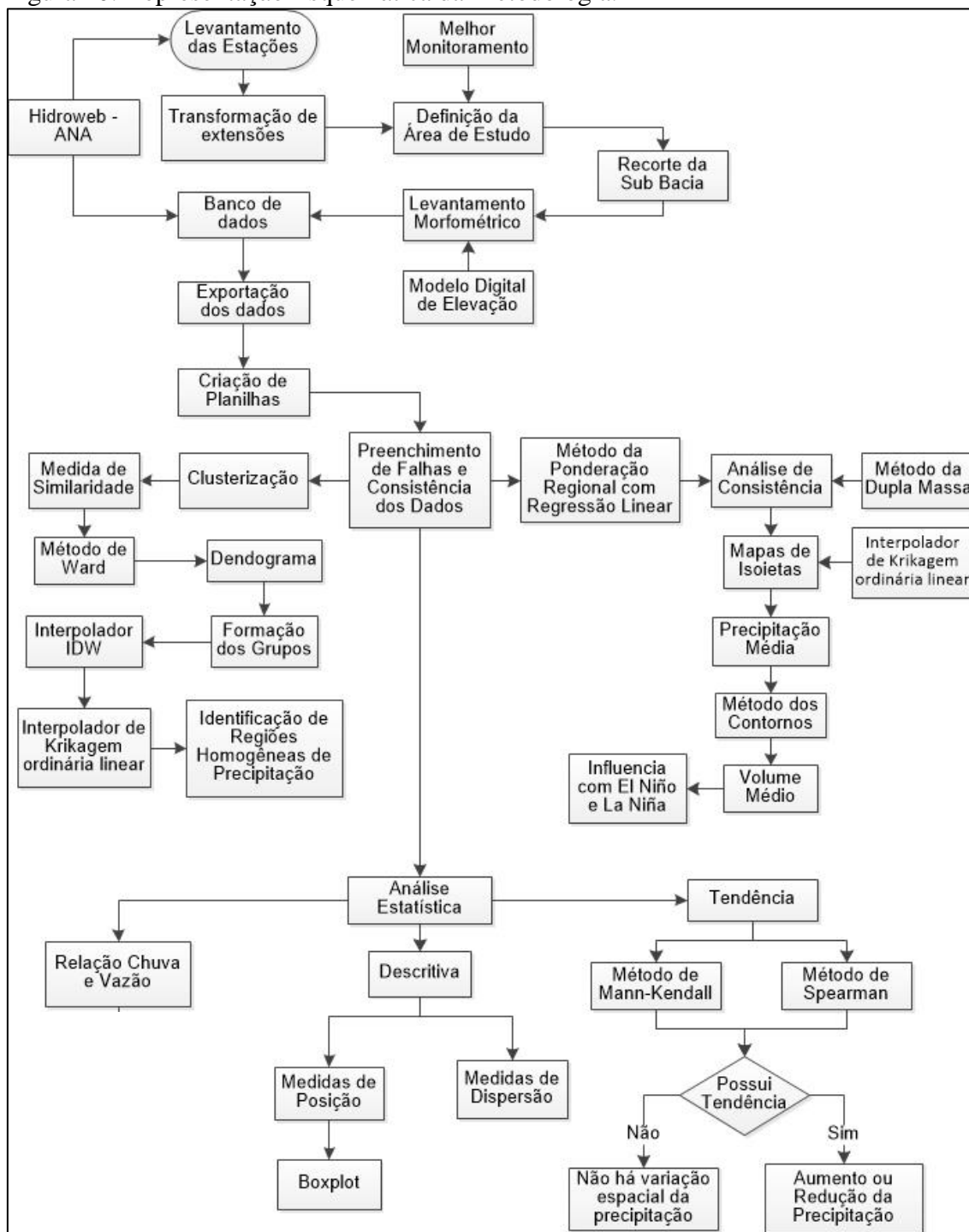


Fonte: Autor (2017).

## 7 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão abordadas de forma sistemática as etapas executadas para alcançar os objetivos definidos neste trabalho, sendo estas apresentadas na Figura 10.

Figura 10: Representação Esquemática da Metodologia.



Fonte: Autor (2017).

## 7.1 ESPACIALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES E DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

A nova interface do HidroWeb “Sistema de Informações Hidrológicas-HIDROWEB” da Agência Nacional de Águas, permitiu baixar os pontos (estações pluviométricas e fluviométricas) no formato KML, extensão reconhecida pelo *software* ArcGis versão 10.1. Através da ferramenta *ArcToolbox (Conversion Tools- From kml)* foi possível transformar os dados de KML para o formato *shapefile* e a partir disso, todas as estações foram dispostas espacialmente no território da Amazônia Legal. A mesma ferramenta computacional possibilitou criar recortes de cada sub bacia para quantificar os postos de cada área (*Analysis Tools- Extract- Clip*), sendo possível identificar as sub bacias com maiores números de estações.

## 7.2 LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS

Os dados morfométricos da bacia foram calculados utilizando-se o *Software* ArcGis 10.1 através do Modelo Digital de Elevação (MDE) de 90m disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), contendo as informações necessárias para conhecimento da área de estudo e sua possível influência no escoamento superficial do volume precipitado na bacia, como: altitude média, declividade média, densidade de drenagem, índice de circularidade, índice de compacidade, fator de forma e ordem da bacia, de acordo com critério definido por Strahler.

## 7.3 ORGANIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Após a criação dos arquivos *shapefiles* das estações pluviométricas e fluviométricas de cada área, os dados de precipitação e vazão foram obtidos por cada Estado pertencente à Amazônia Legal pela nova interface do HIDROWEB, visto que esta metodologia foi prática para a definição das áreas de estudo. O *software* Hidro versão 1.2 da ANA foi utilizado para exportar os dados mensais de precipitação e vazão, tornando possível a sistematização dos dados em planilhas eletrônicas, com as informações de cada estação, classificadas por sub bacias.

A definição das áreas de estudo ocorreu de acordo com os seguintes critérios:

- Maior número de estações pluviométricas com série temporal de pelo menos 31 anos, conforme o recomendado pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM);
- Maior número de estações fluviométricas com informações contínuas (períodos sem falhas) para correlacionar com o mesmo período de chuva;

- Possível semelhança climatológica devido à proximidade entre as áreas.

Para sistematizar as informações, foi criado um banco de dados dentro do *shapefile* de cada sub bacia com os dados necessários descritos na Tabela de Atributos. Além disso, alguns dados foram calculados dentro do *software*, como: área e perímetro de cada sub bacia (*Open Attribute Table - Add Field - Calculate Geometry*).

Para os dados de chuva, as planilhas foram preenchidas com as seguintes informações: código, nome da estação, Estado e município na qual está inserida, órgão responsável e operador, bacia hidrográfica, dados de localização geográfica (latitude e longitude) e condição atual (ativa ou desativada). Desta forma, foi possível filtrar e selecionar as estações com série temporal de pelo menos 31 anos (1984 a 2014), eliminando as que não se enquadravam neste período.

Os dados dos postos fluviométricos foram os mesmos dos postos pluviométricos, acrescido dos dados da área de drenagem para cada estação, organizados em ordem temporal crescente e analisados com o intuito de definir um período sem falha de vazão, o qual foi utilizado na correlação das duas variáveis em estudo.

#### 7.4 PREENCHIMENTO DE FALHAS E CONSISTÊNCIA DOS DADOS NAS SÉRIES PLUVIOMÉTRICAS

Após a seleção das estações, foi feita a análise dos dados e o preenchimento de falhas nas séries temporais de chuva através do Método de Ponderação Regional com base em Regressões Lineares, a fim de manter a continuidade das informações hidrológicas e permitir a aplicação de métodos estatísticos.

Feito o preenchimento de falhas, os dados passaram pela análise de consistência, a fim de verificar se os dados estavam coerentes com a série temporal. Nesta etapa foi utilizado o método da Dupla Massa, que permite comparar os dados corrigidos em um determinado tempo com os dados já existentes de estações próximas correspondentes ao mesmo tempo.

#### 7.5 CÁLCULO DA PRECIPITAÇÃO E VOLUME MÉDIOS

A precipitação média anual foi determinada pela elaboração de mapas de isoietas através do *software* ArcGis 10.1, os quais forneceram os valores das alturas de lâmina d'água de forma pontual. Os mapas foram elaborados utilizando o interpolador de Krigagem Ordinária Linear por este método ser caracterizado como não tendencioso e

possuir variância mínima (Carvalho e Viera, 2001). Para obtenção da precipitação média anual nas bacias, o valor de cada par de isoietas foi somado e dividido pela área entre elas, a qual foi calculada pelo *Software ArcGis 10.1*.

Os volumes foram calculados utilizando o *software ArcGis 10.1* pelo Método dos Contornos, a fim de analisar a dinâmica de precipitação nas bacias selecionadas. A partir desse cálculo foi aplicada a média móvel anual para representar o comportamento das chuvas no período dos 31 anos selecionados e relacionar com os períodos de ocorrência dos fenômenos climáticos *El Niño* e *La Niña*.

## 7.6 IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS DE PRECIPITAÇÃO

Essa metodologia visa identificar regiões com comportamento hidrológico semelhante e a partir disso, foram criados histogramas representando o comportamento da precipitação anual para uma série temporal de 31 anos de chuva e mapas para visualização das regiões. A identificação de regiões homogêneas é importante para representar a variabilidade temporal da precipitação, a fim de verificar se a série temporal utilizada nesse processo influencia na delimitação das regiões homogêneas. Para isso, formaram-se regiões utilizando 31, 26, 21, 16, 11 e 5 anos de dados pluviométricos para cada sub bacia.

O Dendograma foi feito no *software Statistica* versão 7.0, com a inserção de quatro variáveis para a formação dos grupos, considerando a acessibilidade aos dados (latitude e longitude), influência na precipitação (altitude) e o alvo na análise de agrupamento (precipitação média anual). Neste caso, as regiões foram formadas pelo *software ArcGis 10.1* a partir da sobreposição do interpolador IDW (*Inverse Distance Weighted*) ou Ponderação do Inverso da Distância sobre a Krigagem Ordinária Linear, visto que apresentaram resultados mais satisfatórios na delimitação das regiões homogêneas de precipitação pela eficiência dos dois métodos, como mostrado no trabalho de Dourado et al. (2013) e Nóbrega et al. (2015).

## 7.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS APLICADAS

As análises estatísticas contribuem para o entendimento do comportamento das variáveis hidrológicas através dos seus padrões de distribuição. Para a aplicação dos métodos estatísticos foi utilizado o *software R*, versão 3.2.4.

### 7.7.1 Análises Descritivas

A estatística descritiva resume a distribuição das variáveis, buscando extrair da amostra informações necessárias para representar o comportamento populacional. As medidas de tendência central são importantes, pois os dados hidrológicos distribuem-se em torno de um valor central, em que o valor mais significativo da amostra pode ser calculado pelas medidas de posição, sendo as principais representadas pela média, moda e mediana.

As medidas de posição são fundamentais para a representação dos dados por gráfico *box plot*, a qual é dada através do cálculo do primeiro e terceiro quartis, além da mediana. Os dados posicionados acima ou abaixo dos limites (quartis) são considerados valores atípicos ou *outliers*. Esses gráficos são eficientes na identificação do valor central da distribuição, da dispersão, assimetria e dos *outliers*, caso existam.

As medidas de dispersão buscam representar a variabilidade anual dos dados em relação ao valor central e neste estudo serão calculados a amplitude, variância, desvio padrão e coeficiente de variação. Este último visa comparar relativamente o grau de concentração dos dados e é dado pelo quociente entre o desvio padrão e a média. O valor mais baixo do coeficiente de variação implica na menor dispersão da distribuição dos dados.

### 7.7.2 Análises de Tendências Temporais

Os testes de Mann- Kendall e *Spearman* foram aplicados às séries temporais de precipitação com série histórica de 31 anos (1984-2014) e nível de significância  $\alpha$  de 0,05 para verificar se há um aumento, redução ou se não há mudanças no regime pluviométrico da área em estudo. No entanto, é importante ressaltar que o teste de tendência mais recomendado para uso em dados hidrológicos pela OMM é o de Mann-Kendall.

### 7.7.3 Avaliação do Comportamento Chuva e Vazão.

Para verificar o comportamento anual entre a precipitação e vazão foram elaborados hidrogramas em planilha eletrônica. Para isso, foram selecionadas estações de chuva e vazão próximas, capazes de representar o comportamento da bacia hidrográfica na qual se encontram, dependendo da sua localização. Na sub bacia do rio Negro foram selecionados 9 pares de estações pluviométricas e fluviométricas de 2002 a 2009; já na sub bacia do rio Solimões foram selecionados 14 pares de estações pluviométricas e fluviométricas de 2000-2011.

## 8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 8.1 ESPACIALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES E DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

O número de estações de chuva e vazão foi quantificado para as sub- bacias de Nível 1 da Amazônia Legal, após os recortes feitos para cada área, a fim de obter as regiões com melhor monitoramento (Tabela 2).

Tabela 2: Quantificação dos Dados de Precipitação e Vazão.

SUB BACIA	NÚMERO DE PLUVIÔMETROS TOTAIS	NÚMERO DE FLUVIÔMETROS TOTAIS	NÚMERO DE PLUVIÔMETROS COM NO MÍNIMO 31 ANOS DE DADOS (1984-2014)	NÚMERO DE FLUVIÔMETROS UTILIZADOS
Negro	129	84	34	9
Solimões	112	80	30	14

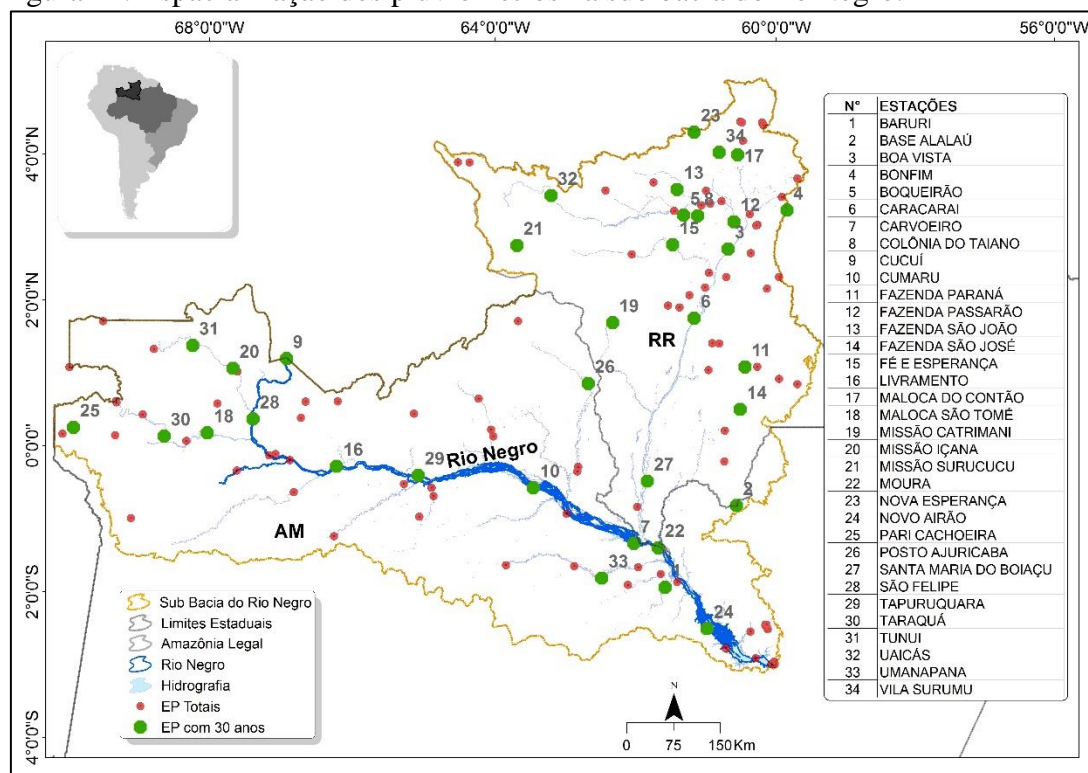
Fonte: Autor (2017).

Foram quantificados 129 postos pluviométricos na sub- bacia do rio Negro, no entanto desse total, apenas 34 estações pluviométricas (EP) possuem 31 anos de dados dentro da faixa temporal selecionada para o estudo (1984-2014); além disso, foram verificados 84 fluviômetros distribuídos ao longo da área e destes, apenas 42 estações pluviométricas (EF) possuem dados monitorados e destes, foram utilizadas 9 EF para elaboração dos hidrogramas, em função de suas posições em relação ao exutório da bacia.

Na sub- bacia do rio Solimões foram quantificados 112 pluviômetros, sendo 30 estações dentro da série temporal em estudo e foram levantados 80 fluviômetros distribuídos na sub- bacia, possuindo apenas 48 estações pluviométricas com dados e destes, foram selecionadas 14 EF para elaboração dos hidrogramas também considerando suas localizações em função do exutório da bacia.

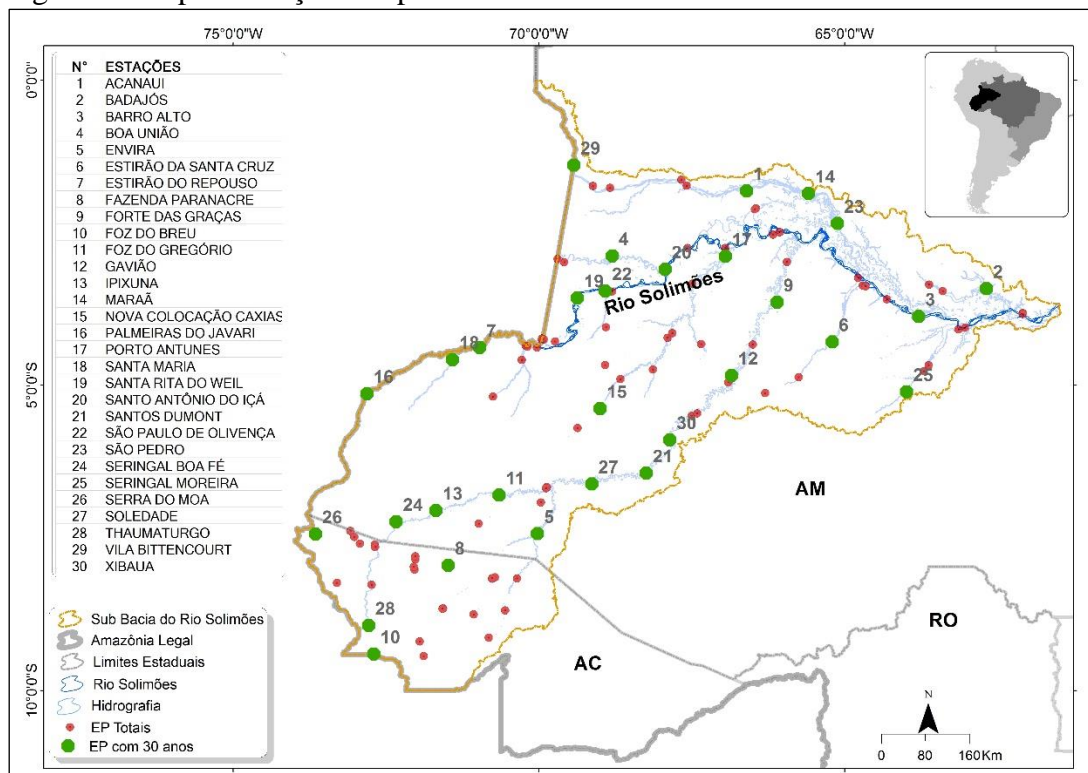
A primeira etapa desta pesquisa consistiu em obter as estações de chuva e vazão pela nova interface do HidroWeb, sendo possível apresentá-las espacialmente para facilitar a visualização das estações na superfície de cada sub- bacia (Figuras 11 e 12).

Figura 11: Espacialização dos pluviômetros na sub bacia do rio Negro.



Fonte: Autor (2017).

Figura 12: Espacialização dos pluviômetros na sub bacia do rio Solimões.



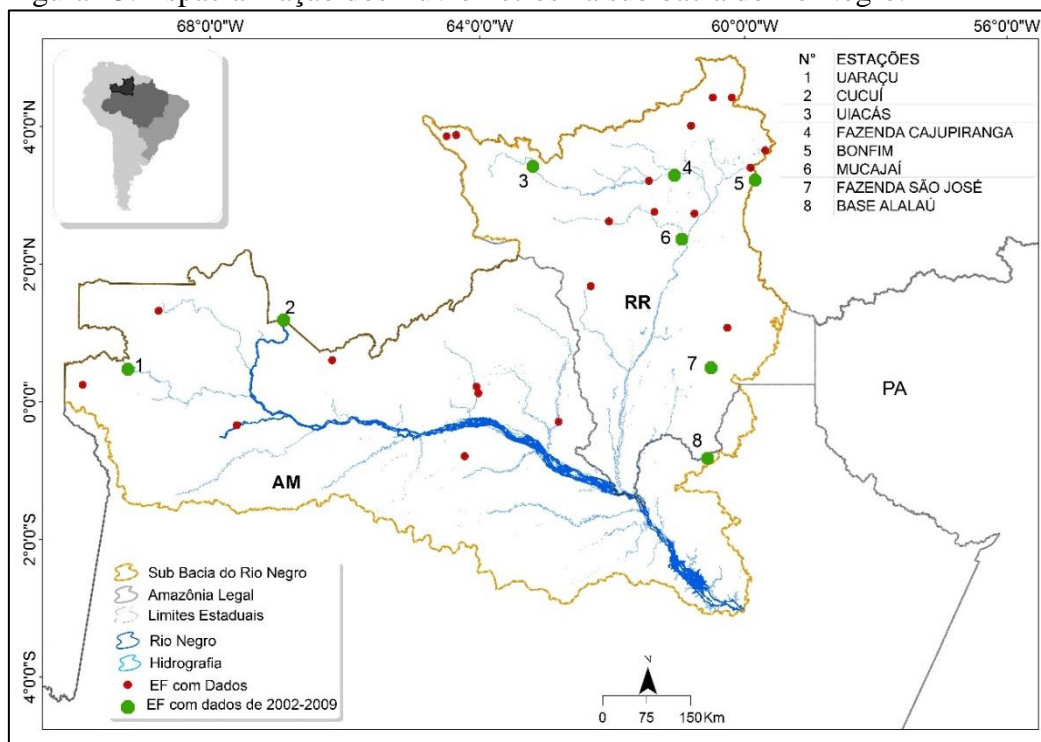
Fonte: Autor (2017).



As Figuras acima apresentam a espacialização de todos os pluviômetros existentes nas sub bacias, bem como daqueles que possuem 31 anos de dados (1984-2014), os quais encontram-se bem distribuídos ao longo de suas áreas.

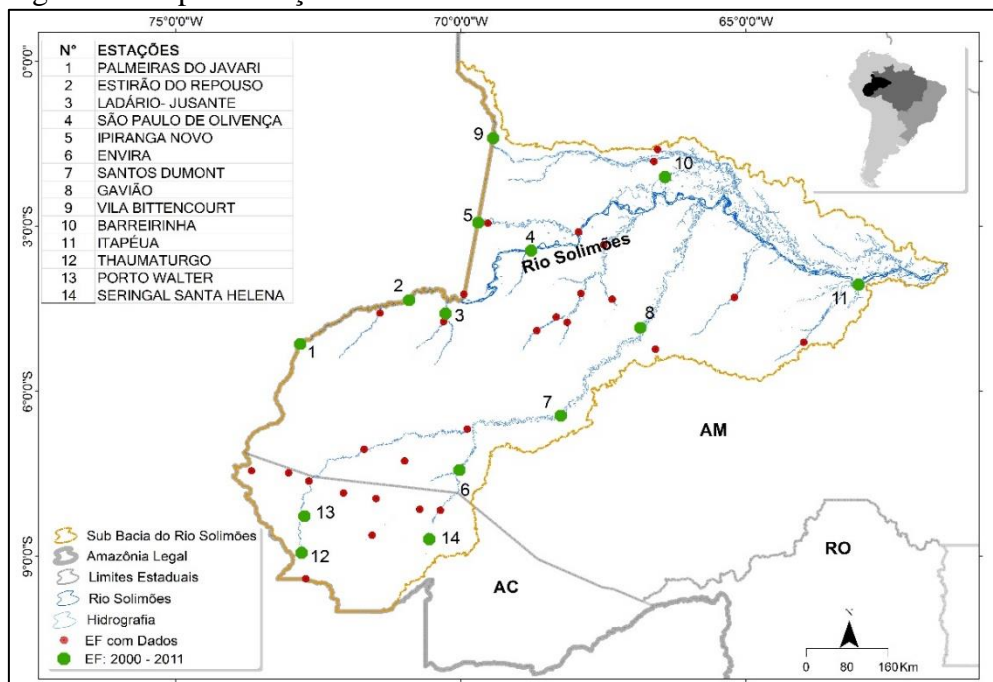
As estações fluviométricas foram espacializadas para verificar suas localizações dentro de cada sub- bacia, sendo possível determinar a representatividade de cada uma delas através de sua área de drenagem (Figuras 13 e 14).

Figura 13: Espacialização dos fluviômetros na sub bacia do rio Negro.



Fonte: Autor (2017).

Figura 14: Espacialização dos fluviômetros na sub bacia do rio Solimões.



Fonte: Autor (2017).

Após a espacialização dos fluviômetros, verificou-se que a sub bacia do rio Solimões possui melhor monitoramento em relação à sub bacia do rio Negro. Logo, foi possível selecionar mais estações fluviométricas nesta área. As estações de chuva e vazão utilizadas na pesquisa encontram-se descritas nos APÊNDICES I e II.

## 8.2 LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS

A segunda etapa consistiu no levantamento das características morfométricas das sub- bacias do rio Negro e rio Solimões, através do Modelo Digital de Elevação (MDE) no *software* ArcGis 10.1 para melhor entendimento do comportamento hidrológico da chuva e vazão nas áreas de estudo, visto que a morfometria é um dos fatores explicativos da influência da precipitação na vazão dos rios (Tabela 3):

Tabela 3: Características Morfométricas das sub bacias do rio Negro e Solimões.

SUB BACIA	NEGRO	SOLIMÕES
Altitude média (m)	202,14	301,82
Declividade média (%)	3,66	1,06
Área (km <sup>2</sup> )	607.248	633.354
Perímetro (km)	6.926,92	6.091,75
Densidade de drenagem (km/ km <sup>2</sup> )	0,51	0,53
Índice de circularidade	0,16	0,21
Índice de compactidade	2,49	2,14
Fator de forma	0,74	0,58
Ordem da bacia	5	5

Fonte: Autor (2017).

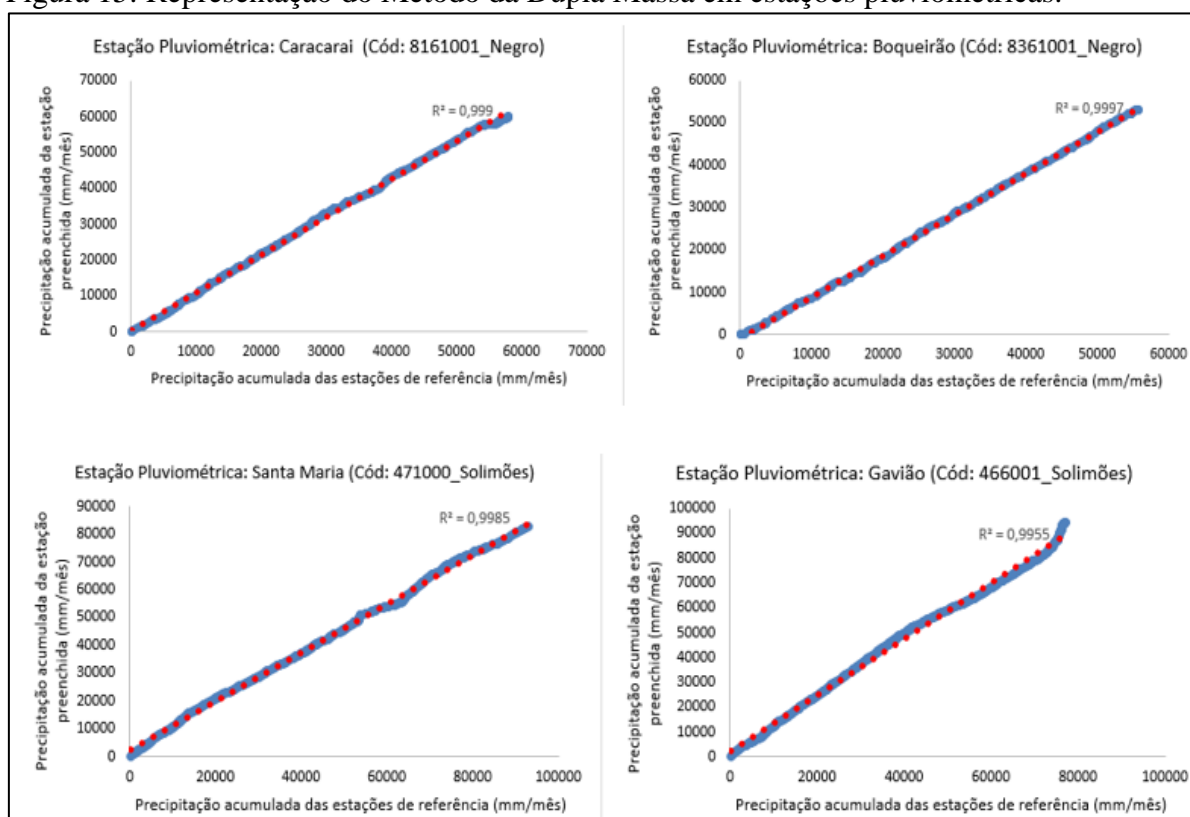
### 8.3 ORGANIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS

A terceira etapa consistiu na organização do banco de dados das áreas selecionadas para o estudo com o auxílio dos *softwares* AcrGis 10.1 e Hidro 1.2. A sistematização das informações facilitou a identificação das falhas nas séries temporais para aplicação do preenchimento de falhas e consistência dos dados.

### 8.4 PREENCHIMENTO DE FALHAS E CONSISTÊNCIA DOS DADOS NAS SÉRIES PLUVIOMÉTRICAS

De posse do banco de dados, foram verificadas as estações com falhas e seus respectivos períodos para cada área. A sub bacia do rio Negro apresentou 14 estações dentre as 34 com falhas superiores a 6 meses, enquanto que a sub bacia do rio Solimões apresentou 29 estações dentre as 30 nas mesmas condições, logo aplicou-se o Método da Ponderação Regional com Regressão Linear. Após essa etapa, verificou-se a consistência das informações obtidas com os valores já existentes aplicando o método da Dupla Massa, que considerou o valor acumulado da estação preenchida com o valor acumulado das estações selecionadas para tal preenchimento (Figura 15).

Figura 15: Representação do Método da Dupla Massa em estações pluviométricas.



Fonte: Autor (2017).

Após o preenchimento das falhas e consistência dos dados, foi possível observar que a maioria das estações apresentou bons resultados em relação aos valores existentes, tornando confiável o uso desses valores neste trabalho.

#### 8.5 CÁLCULO DA PRECIPITAÇÃO E VOLUME MÉDIOS

A quinta etapa consistiu no cálculo da precipitação e volumes médios anuais em cada sub bacia com uso do *software* ArcGis 10.1. As precipitações médias anuais foram obtidas pelo Método das Isoietas, já os volumes médios anuais foram calculados pelo Métodos dos Contornos. Para isso, foi utilizada a ferramenta ArcToolbox para gerar linhas que ultrapassassem o limite das sub bacias, as quais posteriormente foram transformadas em polígonos. Dessa forma, foi possível calcular a precipitação e volumes médios anuais através dos dados de área presentes na Tabela de Atributos para posteriormente aplicar os tratamentos estatísticos aos dados gerados (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4: Precipitação e volumes médios anuais da sub bacia do rio Negro.

<b>Anos</b>	<b>Precipitação média (mm)</b>	<b>Volume médio (mm)</b>
1984	1984,32	2083,54
1985	2474,31	2969,17
1986	2276,09	2731,31
1987	2008,26	2249,25
1988	2810,58	3147,85
1989	3167,79	3547,92
1990	2398,77	2686,62
1991	2188,17	2450,75
1992	1753,74	1964,19
1993	1661,10	1860,43
1994	2697,49	3021,18
1995	2803,81	2944,00
1996	2967,36	2818,99
1997	2371,62	2656,21
1998	1862,59	2086,10
1999	2092,23	2343,30
2000	2558,29	2865,29
2001	2634,06	2950,15
2002	2417,95	2708,11
2003	2137,95	2394,50
2004	1972,56	2209,26
2005	1679,44	1880,97
2006	2270,86	2543,37
2007	2796,61	3132,21
2008	2978,10	3335,47
2009	2137,03	2393,47
2010	1726,15	1933,29
2011	2147,05	2404,70
2012	2887,29	3233,76
2013	2914,16	3263,86
2014	3127,00	2814,30
<b>MÉDIA</b>	<b>2383,96</b>	<b>2633,02</b>

Fonte: Autor (2017).

Tabela 5: Precipitação e volumes médios anuais da sub bacia do rio Solimões.

<b>Anos</b>	<b>Precipitação Média (mm)</b>	<b>Volume Médio (mm)</b>
1984	2878,75	3022,69
1985	2708,26	2843,67
1986	2590,23	2901,06
1987	2107,44	2149,59
1988	2811,36	3092,50
1989	2959,31	3314,43
1990	2543,80	2849,05
1991	2170,91	2388,00
1992	1930,37	2316,45
1993	2387,94	2674,49
1994	2669,34	2989,66
1995	2802,59	3138,90
1996	2132,59	2388,51
1997	2051,80	2298,01
1998	2032,82	2276,75
1999	2574,76	2883,74
2000	2733,52	3061,54
2001	2800,54	3136,60
2002	2511,46	2812,84
2003	2253,04	2503,13
2004	2112,72	2366,24
2005	1810,22	2027,45
2006	2501,90	2802,13
2007	2775,53	3108,60
2008	2924,02	3070,22
2009	2000,48	2240,54
2010	2072,24	2320,91
2011	2572,34	2881,02
2012	2685,66	3007,94
2013	2839,92	2981,92
2014	2261,32	2532,67
<b>MÉDIA</b>	<b>2458,30</b>	<b>2721,98</b>

Fonte: Autor (2017).

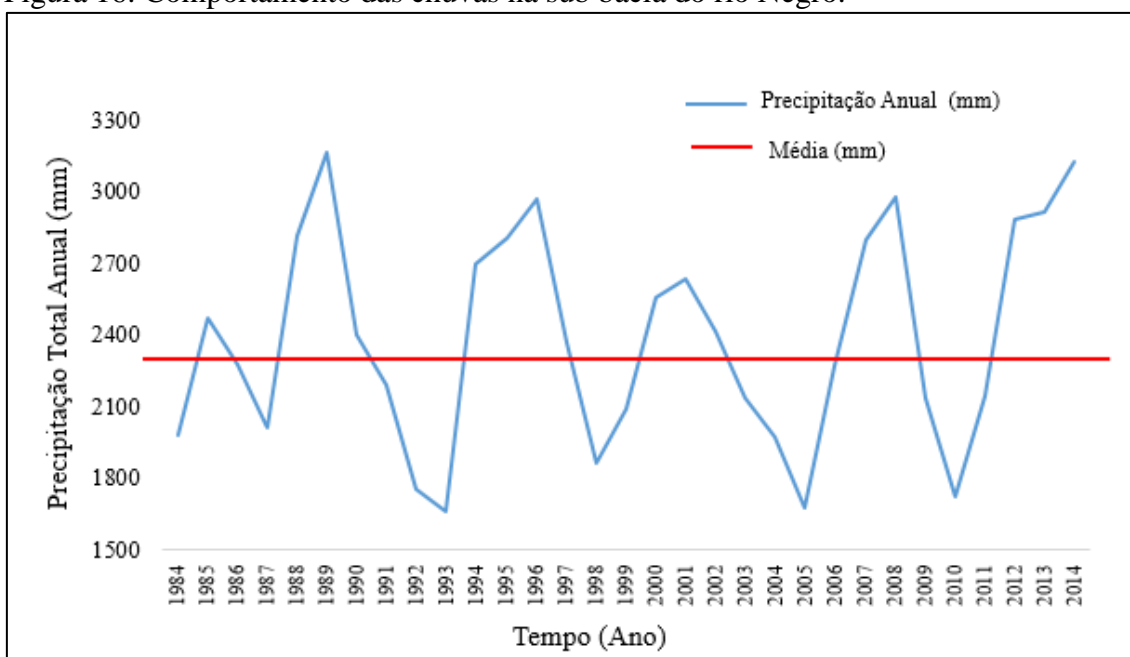
Foram elaborados mapas de isoietas através do uso do interpolador de Krigagem Ordinária Linear para visualizar o comportamento da precipitação ao longo dos 31 anos selecionados para o estudo (APÊNCIDES III e IV). Após a elaboração dos mapas, percebeu-se que algumas áreas não foram interpoladas por falta de dados suficientes, sendo estas representadas pela coloração branca; no entanto, mais de 90% das duas áreas

foram interpoladas, sendo possível observar o comportamento das chuvas em quase suas totalidades.

Verificou-se que houve pouca variação das chuvas ao longo dos anos, desconsiderando os períodos de ocorrência do fenômeno ENOS, sendo possível identificar claramente as áreas de maiores e menores índices pluviométricos. Em anos de anomalias, verificou-se a presença da faixa espectral azul escuro nos mapas (anos de La Niña), indicando aumento das chuvas e da faixa espectral azul claro (anos de El Niño), indicando uma diminuição das chuvas.

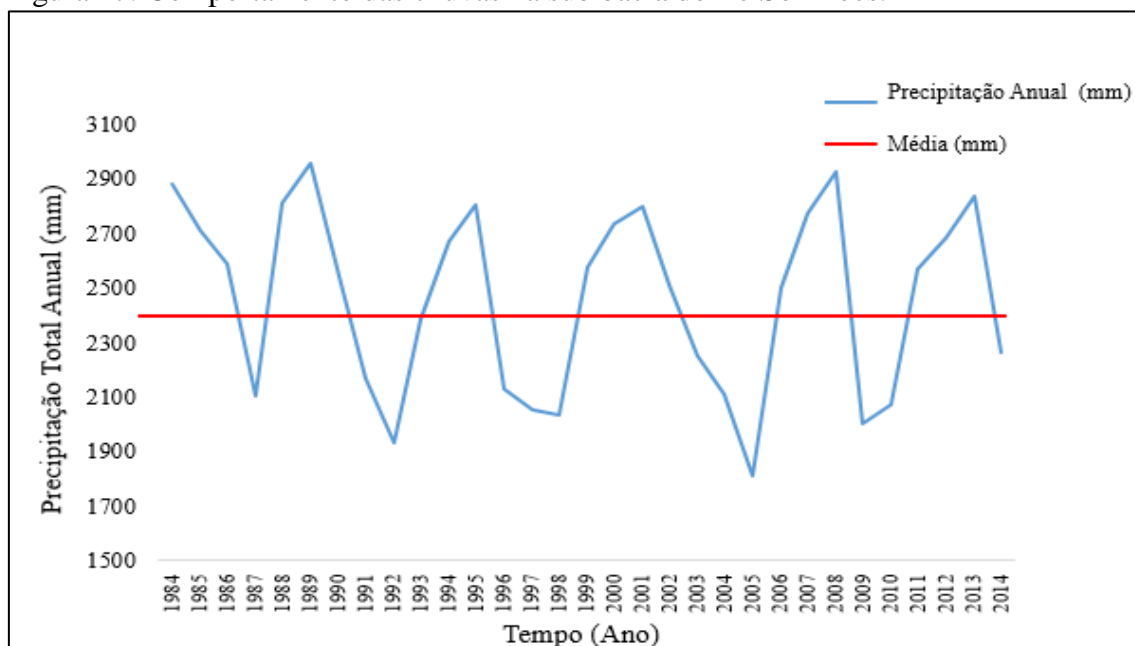
A formação de “ilhas” de precipitação nas duas áreas deve-se a falhas de medição nos valores originais, além de representar a interferência de outros sistemas atmosféricos ou fenômenos climáticos, como é o caso da sub bacia do Rio Solimões, a qual apresentou a formação de áreas com elevados registros de chuva na região Norte devido à ação da ZCIT, apesar de na maioria dos casos as elevadas precipitações concentrarem-se ao Sul desta área, as quais podem ser verificadas através dos gráficos 16 e 17, sendo possível identificar anos com maiores e menores registros pluviométricos.

Figura 16: Comportamento das chuvas na sub bacia do rio Negro.



Fonte: Autor (2017).

Figura 17: Comportamento das chuvas na sub bacia do rio Solimões.



Fonte: Autor (2017).

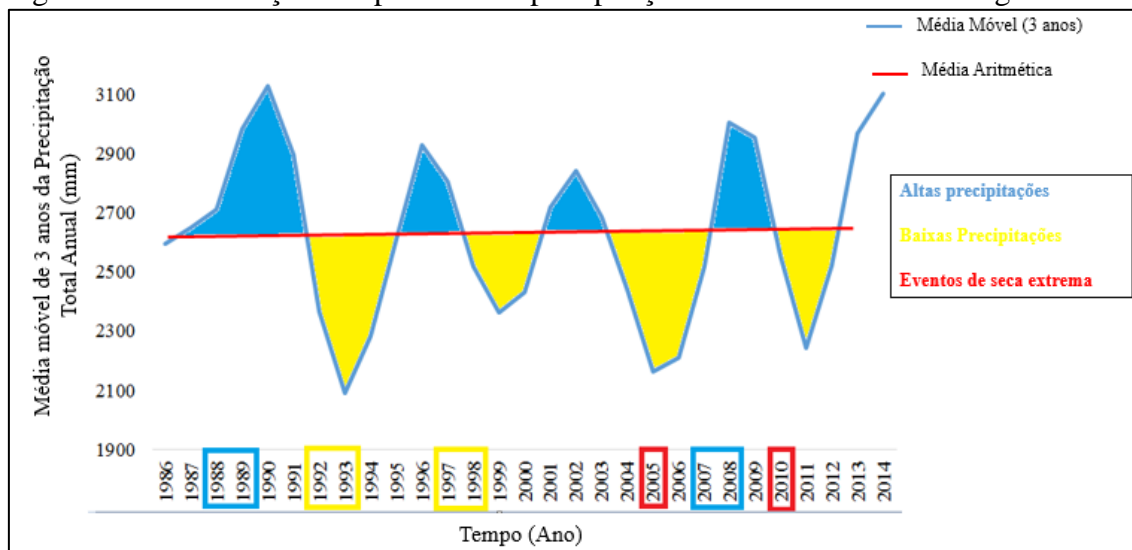
Os gráficos acima mostram os valores de precipitação e o comportamento ao longo dos anos, no entanto, não se pode afirmar se há tendência na série histórica, pois somente a aplicação de testes não paramétricos é capaz de fornecer essa informação, visto que as séries de chuva não se comportam de acordo com uma distribuição normal.

Na sub bacia do rio Negro, os valores anuais totais de precipitação de 1984 a 2014 indicaram o ano de 1989 com maiores registros, ficando aproximadamente 784 mm (24,74%) acima da média da série temporal de 2.383,96 mm; já o ano mais seco foi 1993, ficando 722,86 mm (30,32%) abaixo da média. Na sub bacia do rio Solimões, o ano mais chuvoso foi 1989, estando 501 mm (16,93%) acima da média da série temporal de 2.458,30 mm; enquanto que o ano mais seco foi 2005, em que o índice pluviométrico apresentou-se 648 mm (26,36%) abaixo da média.

As Figuras 18 e 19 ilustram o comportamento das chuvas através da aplicação da média móvel de 3 anos no volume médio anual nas sub bacias do rio Negro e Solimões para o período de 1986 a 2014, período médio de ocorrência do fenômeno ENOS, sendo possível identificar os períodos com altos e baixos índices pluviométricos.

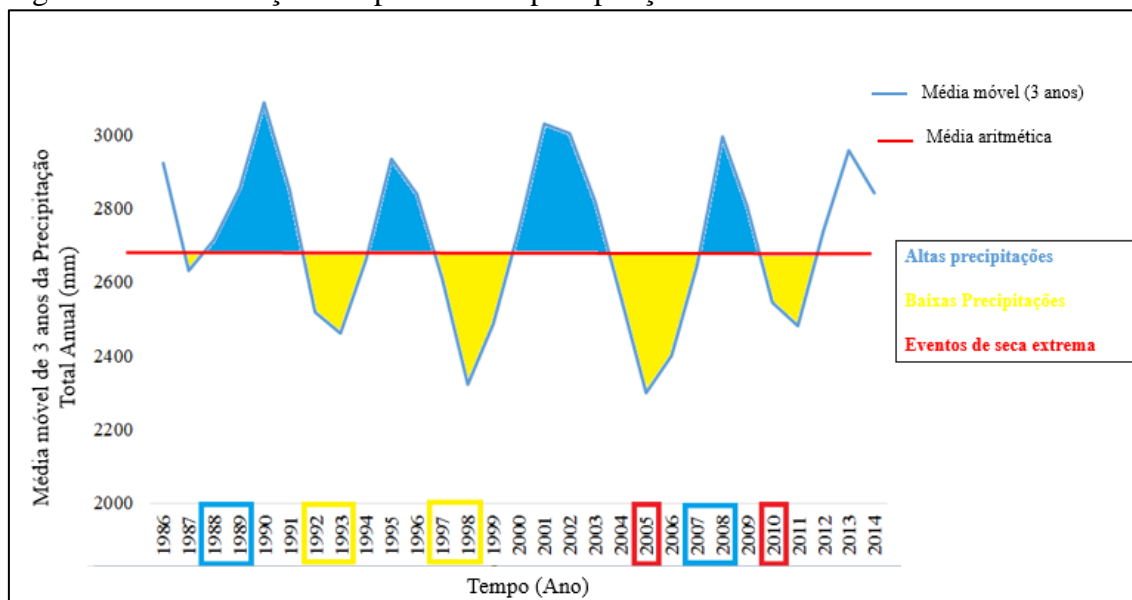


Figura 18: Identificação dos períodos de precipitações na sub bacia do rio Negro.



Fonte: Autor (2017).

Figura 19: Identificação dos períodos de precipitação na sub bacia do rio Solimões.



Fonte: Autor (2017).

Nos anos de 2005 e 2010 a Amazônia sofreu eventos de seca extrema, o que pode ser percebido principalmente no ano de 2005 pela redução da chuva a níveis inferiores a 2.300 mm/ano nas duas sub bacias. Serrão et al. (2015) encontraram baixos valores pluviométricos na bacia do Rio Solimões no ano de 2005, devido a ação do fenômeno ENOS, juntamente com o Dipolo do Atlântico Positivo, os quais contribuíram para desintensificação das chuvas nesta área; já no ano de 2010, apesar de terem sido observados índices pluviométricos superiores aos de 2005, percebeu-se que os impactos da seca foram mais devastadores, apesar da redução dos focos de queimadas, houve grande perda da biomassa, como mostrado no trabalho de Serrão et al. (2015), os quais

verificaram um aumento na mortalidade de árvores de 2005 em relação a 2010, variando de 2,5 milhões de km<sup>2</sup> para 3,5 milhões de km<sup>2</sup>, atingindo mais da metade do bioma amazônico.

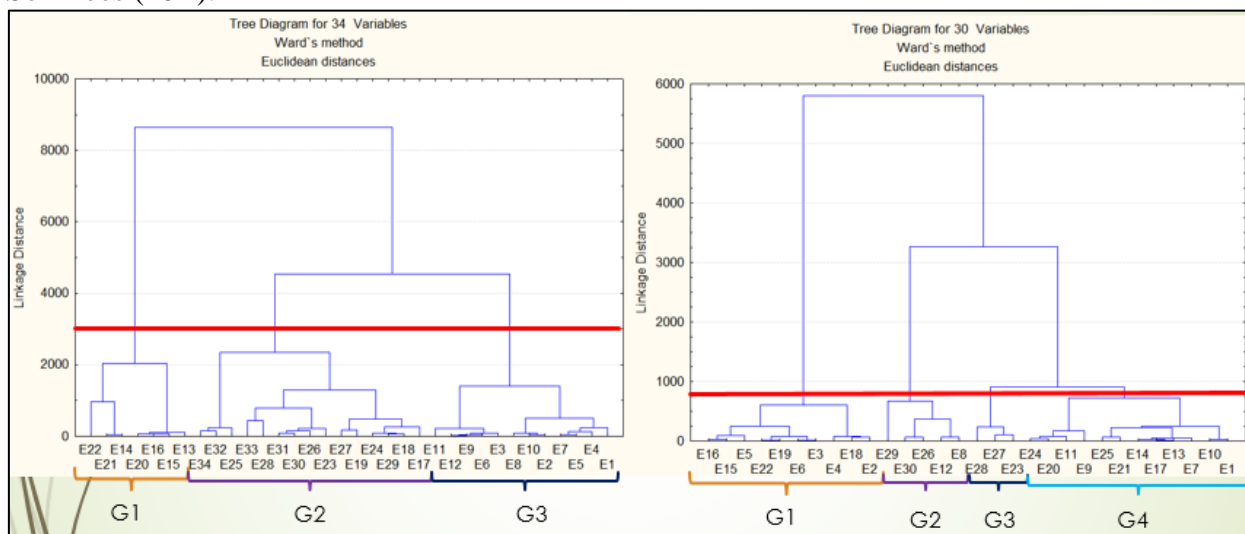
Para Marengo et al. (2008), o evento de seca que ocorreu na Amazônia em 2005 não foi ocasionado como consequência do fenômeno ENOS, e sim devido ao aquecimento das águas do oceano Atlântico, no entanto, a ocorrência do El Niño moderado também pode ter contribuído para alterações no regime das chuvas. Segundo Nijssen et al. (2001), essas variações climáticas modificam os ambientes terrestres e aquáticos, além de as elevadas temperaturas favorecerem a ocorrência de um ciclo hidrológico mais forte, devido à alta taxa de evaporação das águas superficiais e a ocorrência de eventos de seca mais intensos e prolongados.

## 8.6 IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS DE PRECIPITAÇÃO

A sexta etapa consistiu na identificação das regiões homogêneas de precipitação através da aplicação do Método Hierárquico de Ward. Esse processo foi feito para cada sub bacia, considerando as seguintes séries temporais: 31, 26, 21, 16, 11 e 5 anos, tomando como referência os valores próximos ao ano de 2014.

O objetivo desta etapa foi verificar qual o comportamento da periodicidade da chuva em termo espacial. Para isso, buscou-se avaliar se haveria ou não grande variação espacial da mesma ao longo do tempo. Para a aplicação do Método Hierárquico de Ward foram utilizadas variáveis não padronizadas, visto que estas se adequaram melhor na formação dos Dendogramas e conseqüentemente na escolha do ponto de corte para criação dos grupos, a qual foi subjetiva considerando a melhor distribuição das regiões após a interpolação dos dados (Figura 20).

Figura 20: Dendogramas de 5 anos (2010-2014) da Sub bacia do rio Negro (20A) e Solimões (20B).

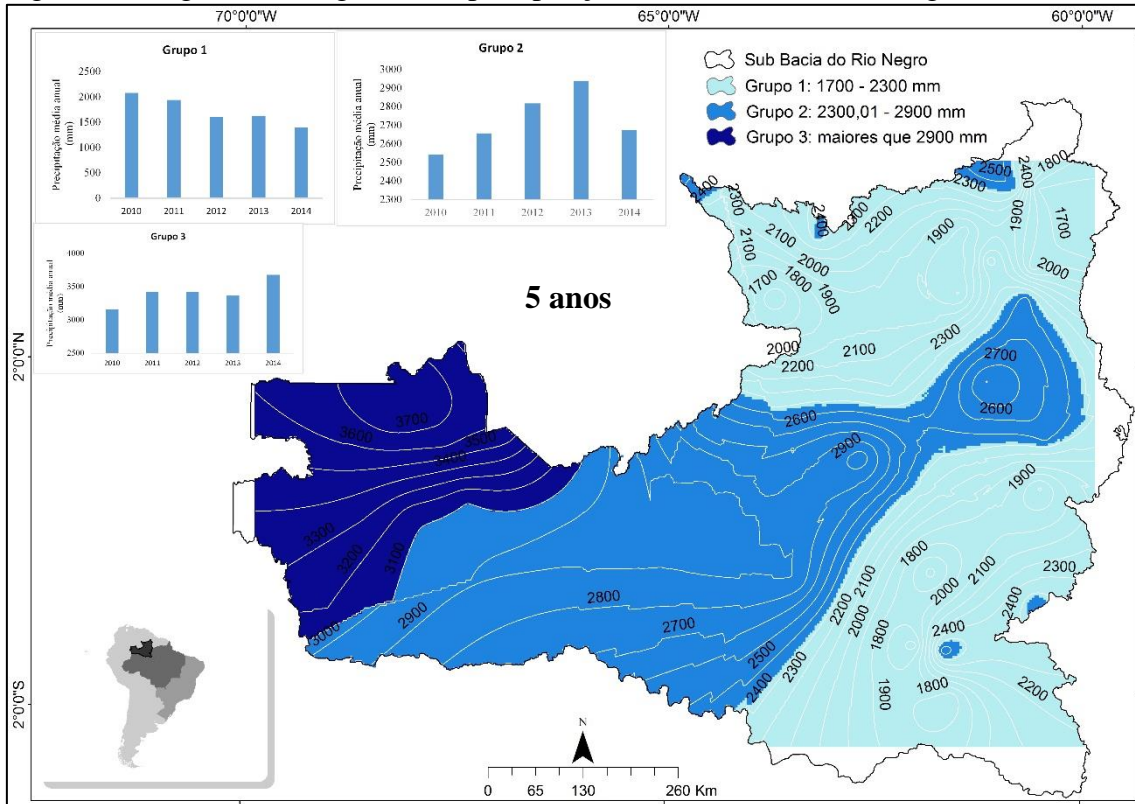


Fonte: Autor (2017).

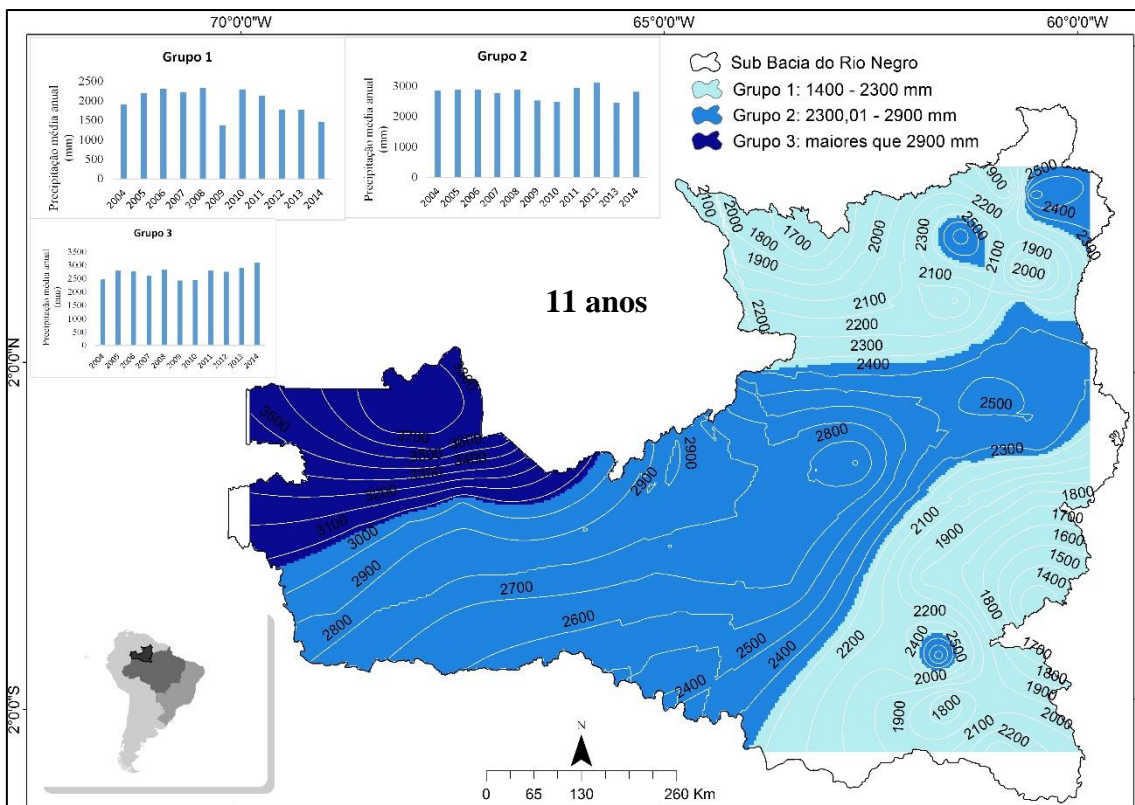
Foram gerados 6 Dendogramas para cada sub bacia, sendo que o ponto de corte selecionado para a área do rio Negro foi de 3000, com a formação de 3 grupos nesta sub bacia; já o ponto de corte para a área do rio Solimões foi de 850, com a formação de 4 grupos nesta área; como não existe uma metodologia específica para a seleção do corte, vários trabalhos utilizam a subjetividade para realizá-lo e dar origens aos grupos (Lara e Sandoval, 2014; Menezes et al., 2015; Gonçalves et al. 2016).

Neste caso, para a escolha do ponto de corte optou-se em criar grupos com quantidade semelhante de elementos, sendo possível agrupar aqueles com maiores similaridades. As Figuras 21 e 22 representam as regiões homogêneas para as duas sub bacias, percebendo-se a variação das chuvas ao longo dos 31 anos estudados.

Figura 21: Regiões Homogêneas de precipitação da sub Bacia do rio Negro.

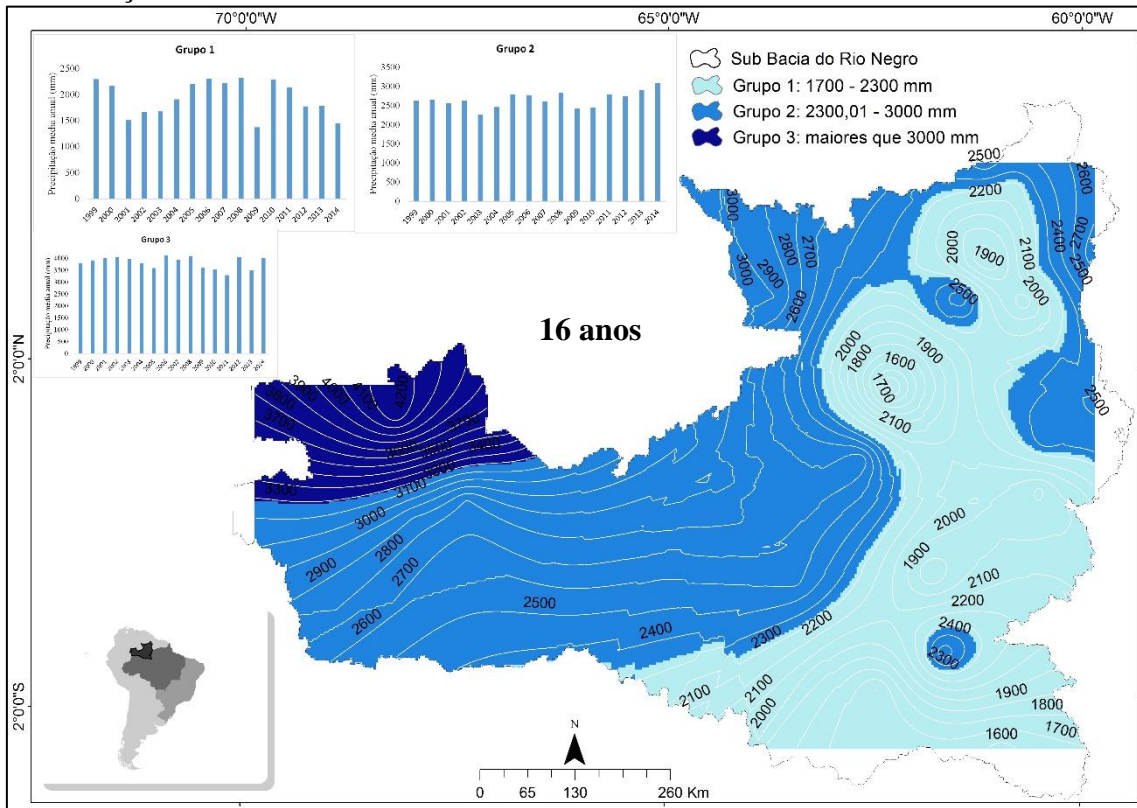


Fonte: Autor (2017).

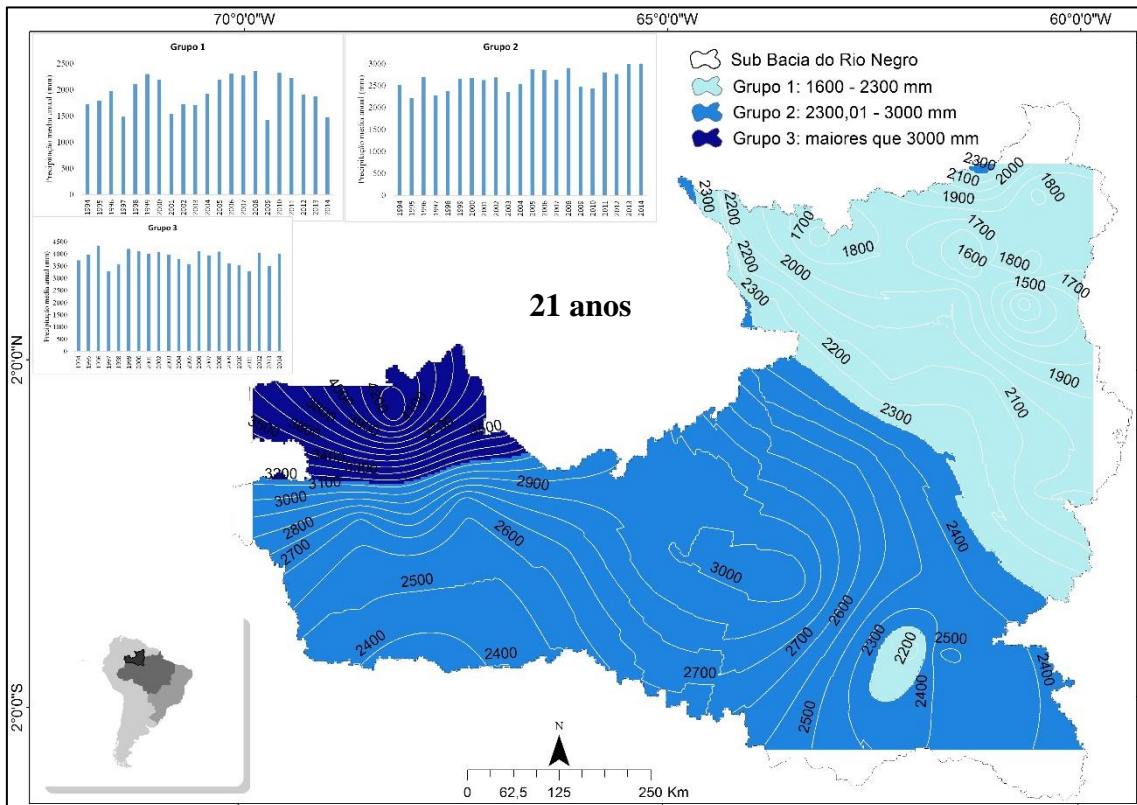


Fonte: Autor (2017).

Continuação

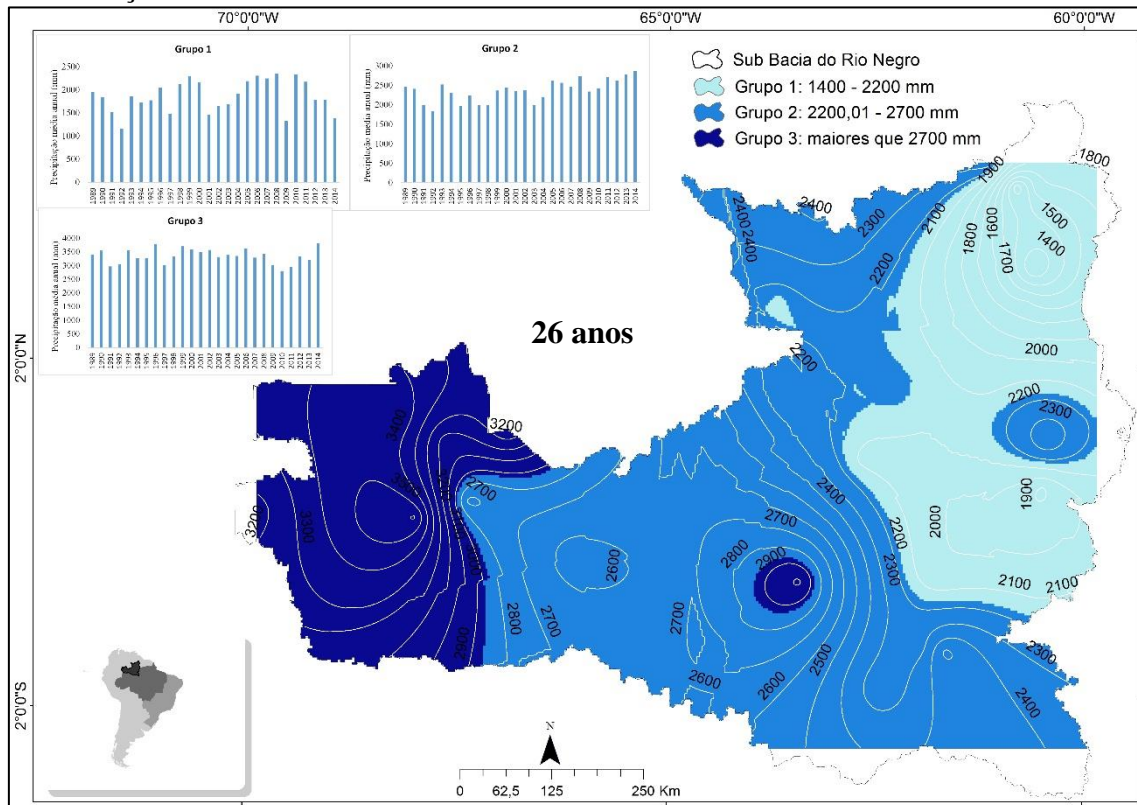


Fonte: Autor (2017).

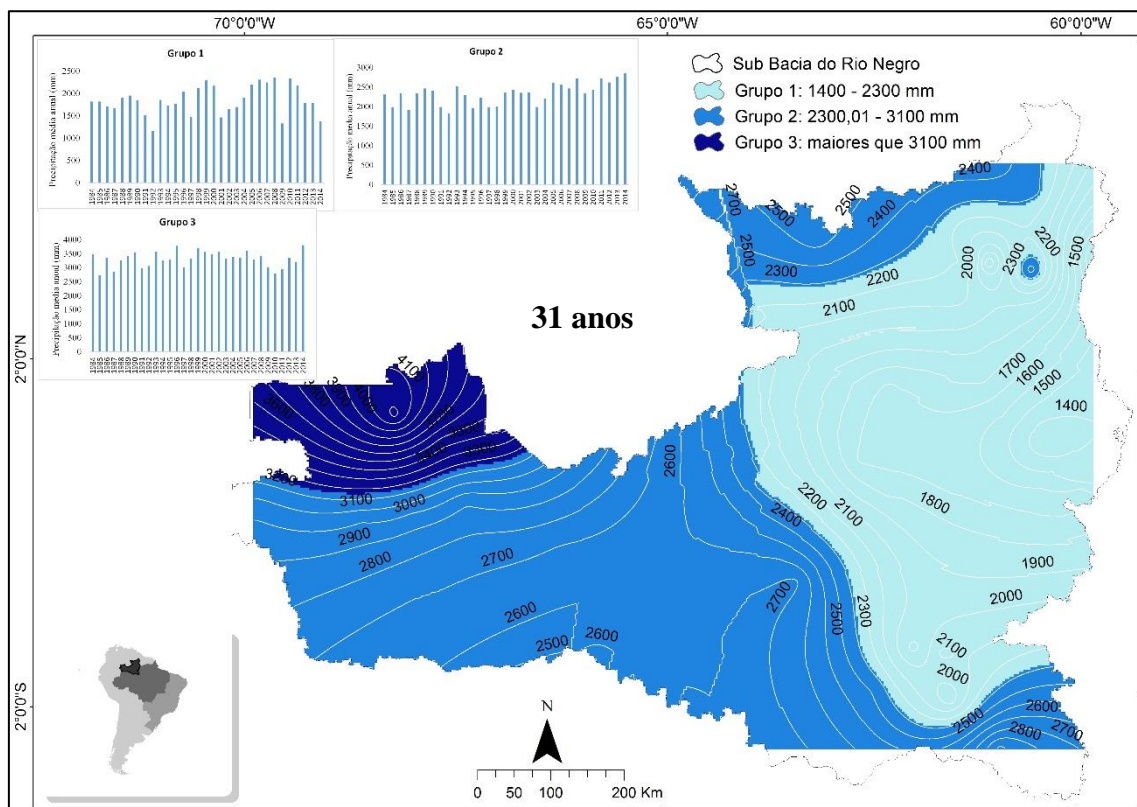


Fonte: Autor (2017).

Continuação

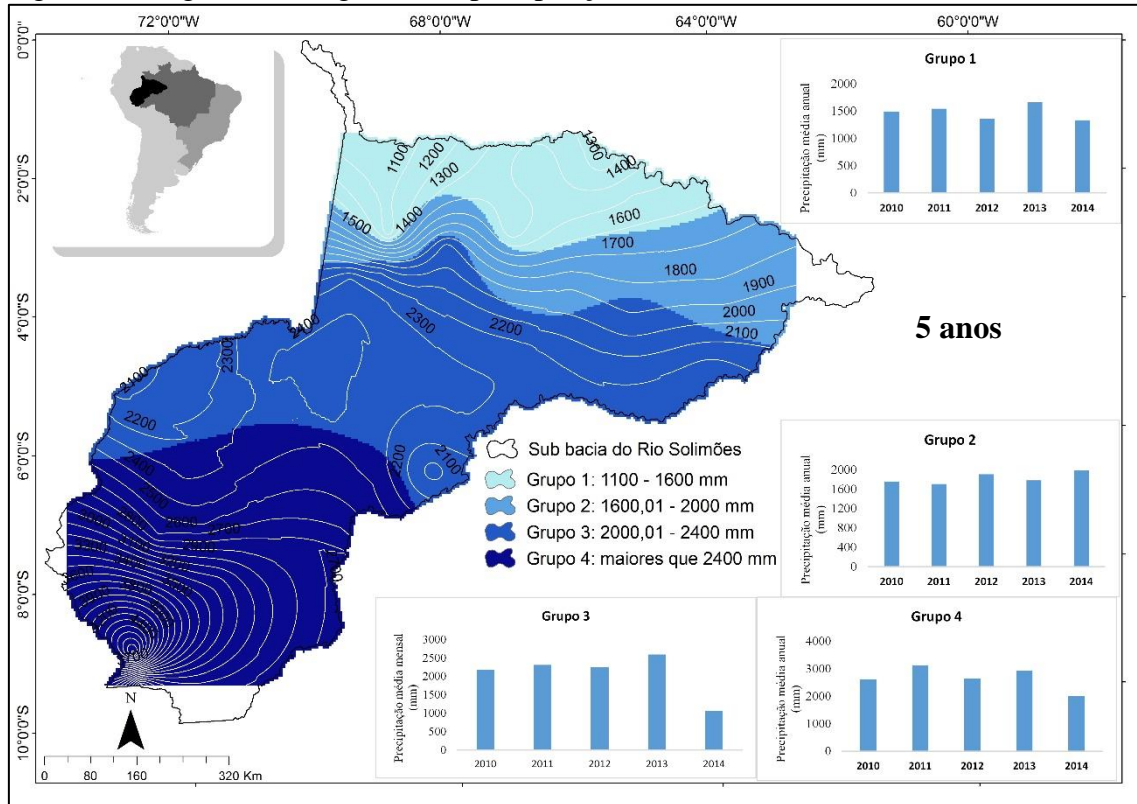


Fonte: Autor (2017).

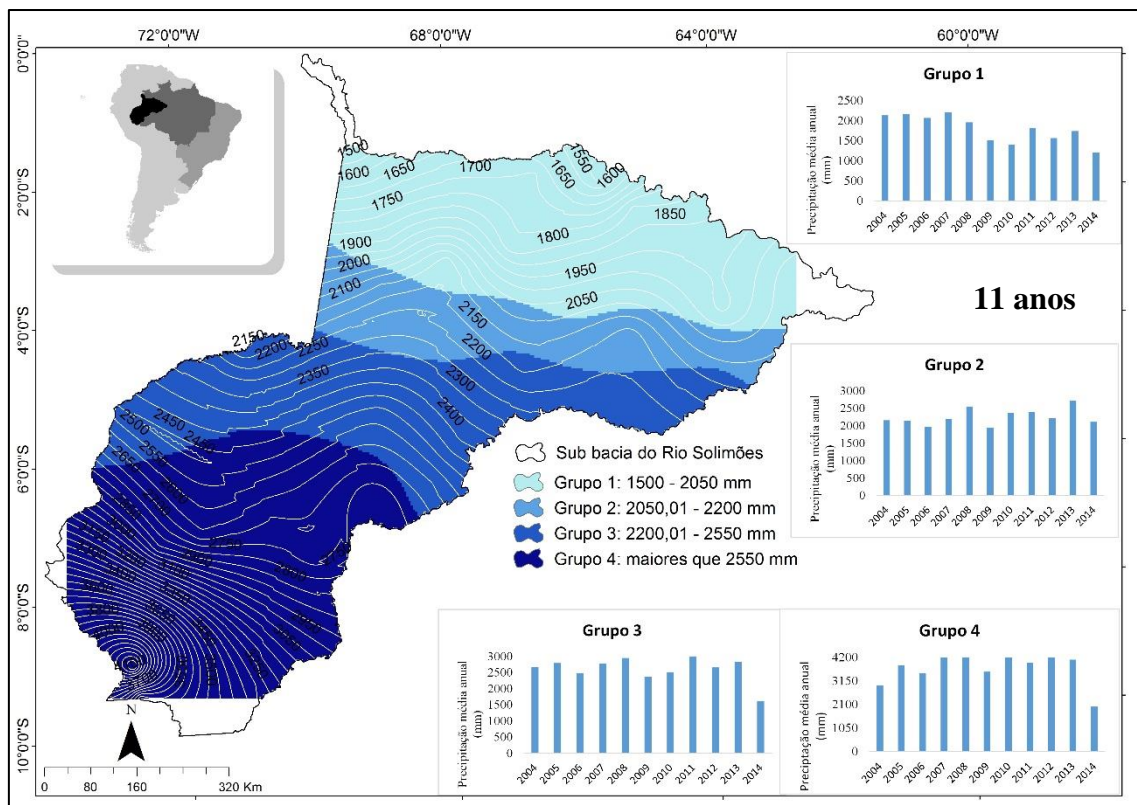


Fonte: Autor (2017).

Figura 22: Regiões Homogêneas de precipitação da sub bacia do rio Solimões.

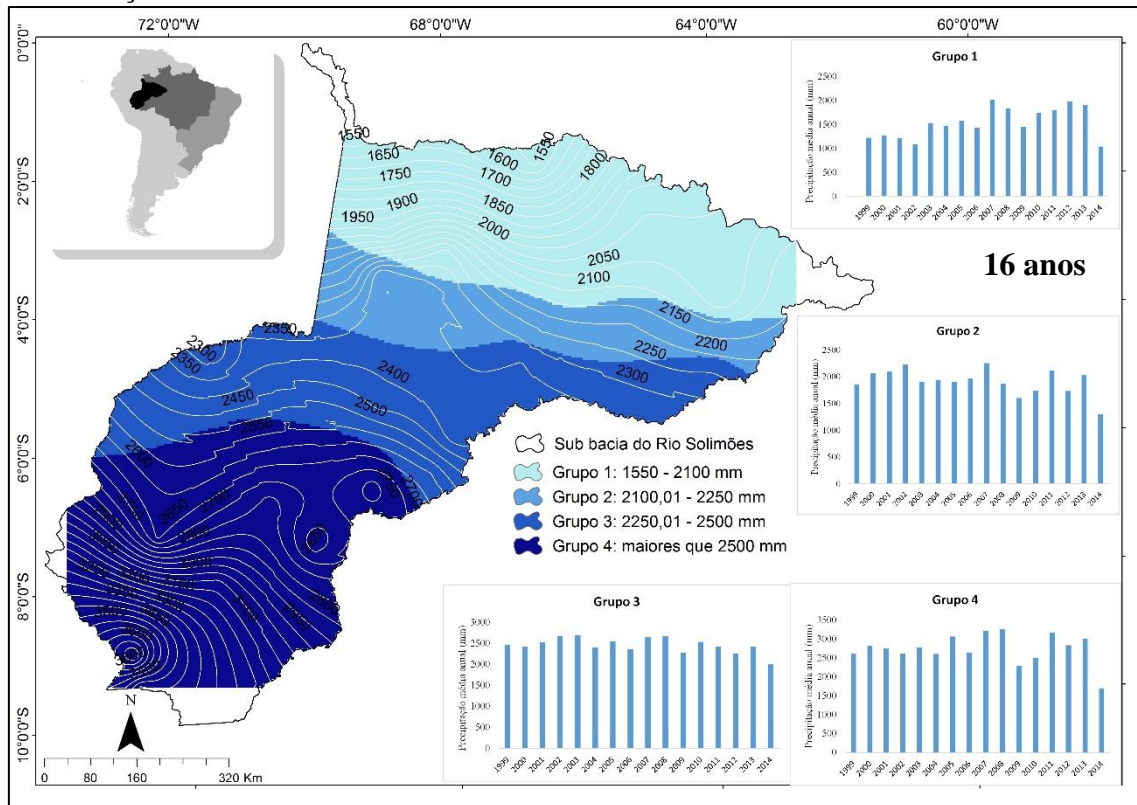


Fonte: Autor (2017).

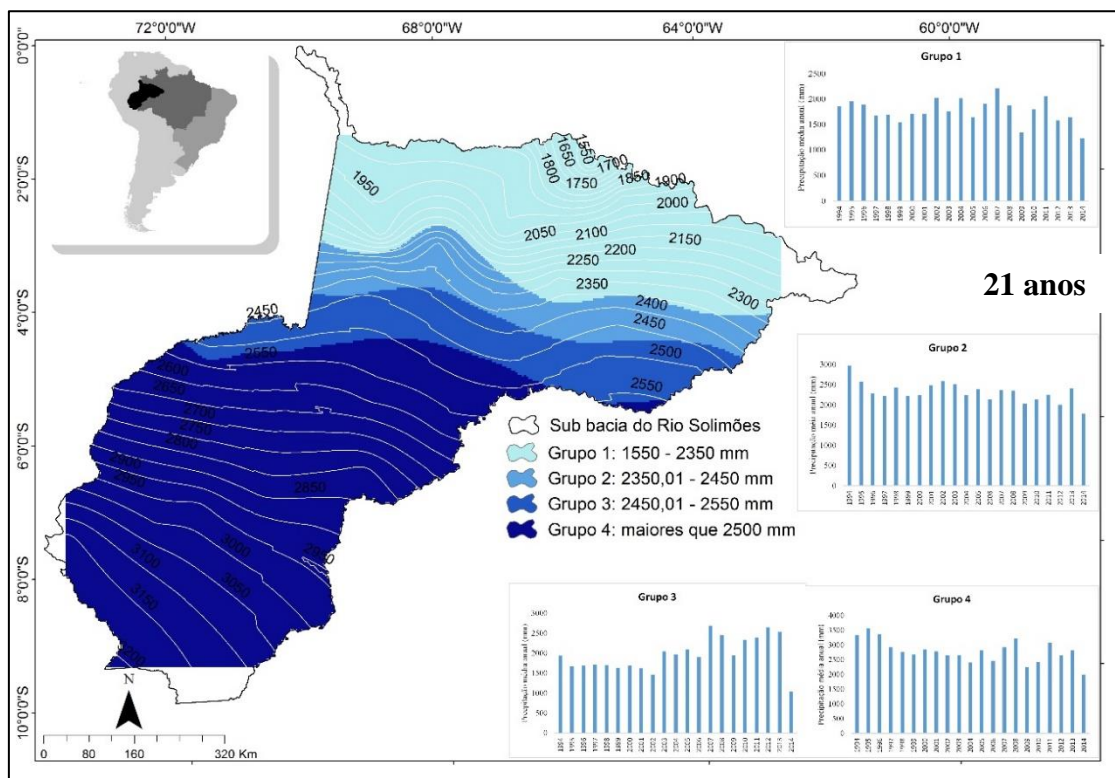


Fonte: Autor (2017).

Continuação



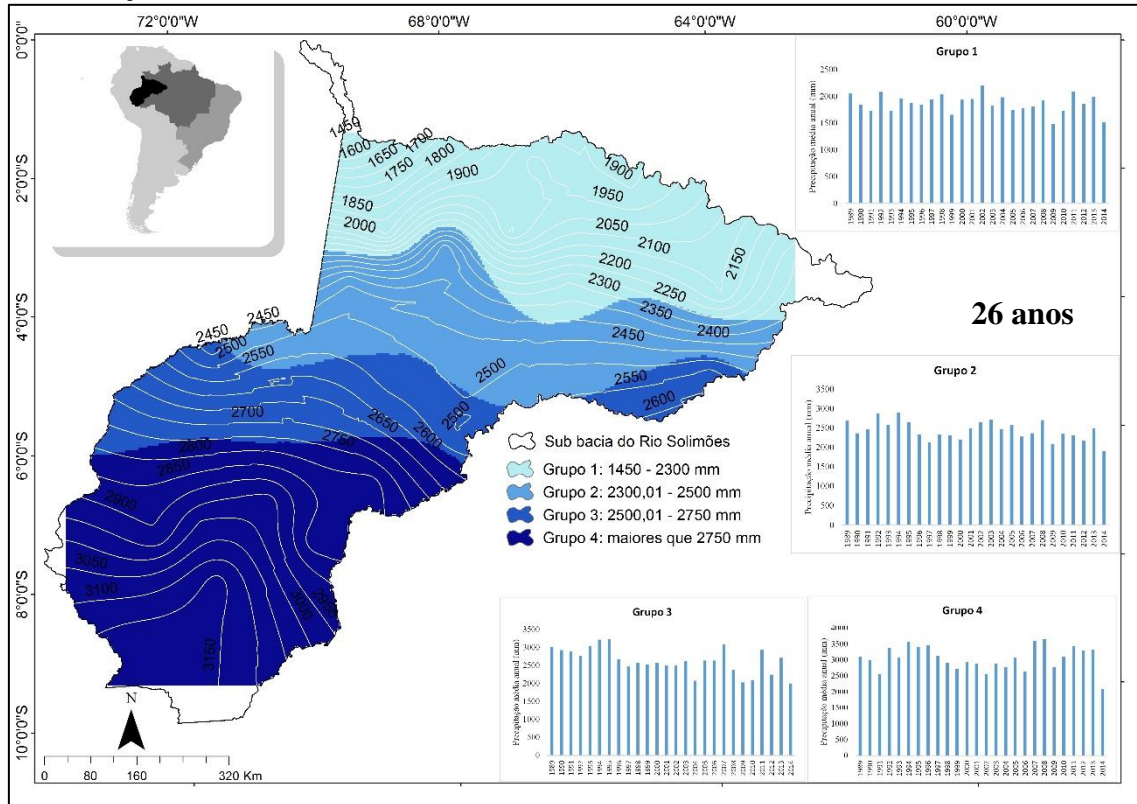
Fonte: Autor (2017).



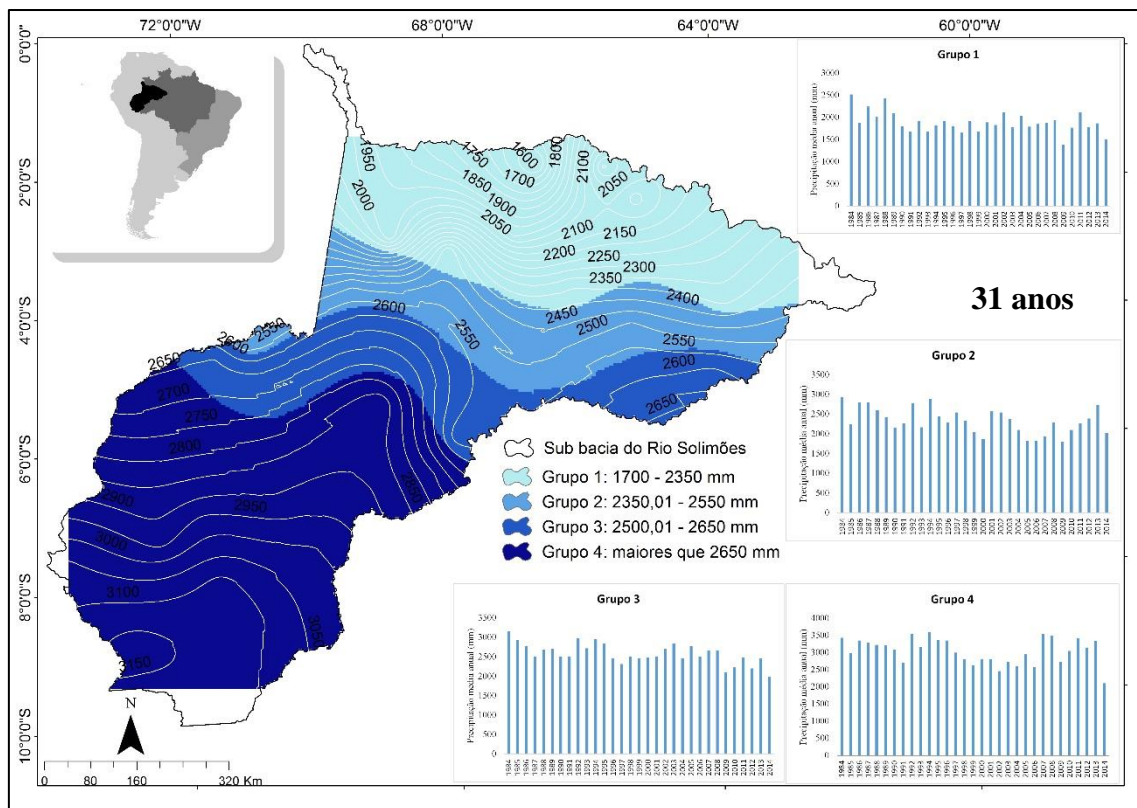
Fonte: Autor (2017).



Continuação



Fonte: Autor (2017).



Fonte: Autor (2017).

Após a criação das regiões homogêneas de precipitação, verificou-se que a variação das áreas formadas foi menor na sub bacia do Rio Solimões. Já na sub bacia do Rio Negro, percebeu-se maior variação na formação das áreas, sendo a região conhecida como “cabeça do cachorro” mantida como a área de maiores índices pluviométricos ao longo dos 31 anos estudados.

A presença de “ilhas” de precipitação ocorreu apenas na sub bacia do Rio Negro, o que pode ser explicado pela possível interferência de fatores meteorológicos que podem provocar aumento ou redução dos níveis pluviométricos; já na sub bacia do Rio Solimões foi possível perceber claramente a formação de áreas bem delimitadas, sem formação de “ilhas”. O deslocamento do volume de água ao longo dos anos pode ser resultado da influência da latitude na formação dos grupos, visto que dentre as quatro variáveis usadas no agrupamento, foi a que mais interferiu na formação das regiões, em torno de 40%, após a obtenção do coeficiente de Pearson para cada par de variáveis.

Verificou-se que na sub bacia do Rio Negro as maiores precipitações estão localizadas a Noroeste do Estado do Amazonas, na região conhecida como “cabeça do cachorro”, atingindo em sua maioria, valores superiores a 3.000 mm por ano. Este fato pode estar relacionado com a preservação da área, composta por vegetação do tipo Floresta Ombrófila Densa e Campinaranas, além de ser uma região de difícil acesso, o que reduz os índices de desmatamento; além disso, há forte ação dos ventos alíseos transportados pela ZCIT, os quais controlam a umidade presente na região.

Na sub bacia do Rio Negro, as áreas com menores índices pluviométricos são encontradas a Norte e Leste da sub bacia, sendo normalmente inferiores a 2.400 mm/ano, podendo ser justificado pela predominância de vegetação do tipo savana, a qual geralmente apresenta precipitações inferiores a 2.000 mm/ ano; além disso a presença de áreas antropizadas pode influenciar na redução das chuvas nesta região da sub bacia.

Alguns estudos (Coe et al. 2009; Müller et al. 2016) apontam que as alterações no uso e ocupação do solo para a criação de gado e expansão da agricultura podem provocar alterações climáticas, impactos à biodiversidade e modificações no regime pluviométrico da Amazônia.

Na sub bacia do Rio Solimões verificou-se que a ocorrência de precipitações elevadas se concentra na maioria dos casos ao Sul da sub bacia, representada pelas áreas de fronteira entre Brasil, Peru e Colômbia, onde predomina a vegetação do tipo Floresta Ombrófila Densa, caracterizada por altos índices de precipitação, além da forte influência das ZCAS que modulam o regime de chuvas desta região. As menores precipitações são

observadas ao Norte da sub bacia, área de influência das ZCIT como moduladores das chuvas, porém correspondente às áreas mais antropizadas da sub bacia, o que pode influenciar na redução das chuvas.

## 8.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Nas Tabelas 6 e 7 são apresentados os valores das análises estatísticas aplicadas aos dados médios anuais de precipitação para cada sub bacia, destacando os períodos de El Niño, La Niña e anos de seca extrema na Amazônia. As cores em azul representam o comportamento das chuvas em anos de El Niño; as cores em amarelo representam as chuvas em anos de La Niña e as cores em vermelho representam os eventos de seca extrema na Amazônia.

Tabela 6: Análises Estatísticas da Sub Bacia do Rio Negro.

Ano	Média (mm)	Desvio-padrão	Coefficiente de Variação	Amplitude (mm)
1984	1.984,32	66,31	3,34	209,4
1985	2.474,31	96,88	3,92	276,26
1986	2.276,09	90,91	3,99	305,09
1987	2.008,26	71,28	3,55	201,37
1988	2.810,58	84,11	2,99	272,52
1989	3.167,79	74,02	2,34	289,9
1990	2.398,77	81,84	3,41	259,59
1991	2.188,17	96,26	4,4	263,54
1992	1.753,74	55,81	3,18	192,13
1993	1.661,1	70,03	4,22	204,47
1994	2.697,49	63,19	2,34	186,53
1995	2.803,81	84,67	3,02	259,02
1996	2.967,36	82,67	2,79	256,88
1997	2.371,62	75,96	3,2	254,75
1998	1.862,59	105,43	5,66	297,02
1999	2.092,23	72,28	3,45	209,29
2000	2.558,29	87,13	3,41	301,56
2001	2.634,06	77,99	2,96	256,56
2002	2.417,95	101,23	4,19	290,09
2003	2.137,95	88,39	4,13	282,52
2004	1.972,56	94,52	4,79	331,43
2005	1.679,44	65,99	3,93	198,14
2006	2.270,86	110,03	4,85	361,47
2007	2.796,61	100,22	3,58	329,63
2008	2.978,1	87,41	2,94	284,92
2009	2.137,03	74,31	3,48	256,73
2010	1.726,15	96,3	5,58	275,38
2011	2.147,05	82,76	3,85	303,76
2012	2.887,29	70,56	2,44	200,85
2013	2.914,16	67,61	2,32	207,67
2014	3.127,0	75,66	2,42	275,19

Fonte: Autor (2017).

Tabela 7: Análises Estatísticas da Sub Bacia do Rio Solimões.

Ano	Média (mm)	Desvio-padrão	Coefficiente de Variação (%)	Amplitude (mm)
1984	2.878,76	80,78	2,81	258,99
1985	2.708,27	50,91	1,88	148,83
1986	2.590,24	68,62	2,65	217,77
1987	2.107,45	86,19	4,09	254,74
1988	2.811,36	88,28	3,14	238,69
1989	2.959,32	72,11	2,44	199,4
1990	2.543,8	79,97	3,14	254,96
1991	2.170,92	54,41	2,51	176,43
1992	1.930,38	56,78	2,94	176,74
1993	2.387,94	75,25	3,15	183,22
1994	2.669,34	67,16	2,52	221,05
1995	2.802,59	72,73	2,60	244,45
1996	2.132,6	54,8	2,57	179,52
1997	2.051,8	83,35	4,06	237,49
1998	2.032,82	65,91	3,24	228,09
1999	2.574,77	77,48	3,01	235,8
2000	2.733,52	52,68	1,93	148,04
2001	2.800,54	80,68	2,88	263,94
2002	2.511,47	60,21	2,40	169,99
2003	2.253,04	54,44	2,42	167,9
2004	2.112,72	60,79	2,88	223,34
2005	1.810,23	84,53	4,67	231,66
2006	2.501,9	77,56	3,10	212,13
2007	2.775,54	86,16	3,10	228,59
2008	2.924,03	92,14	3,15	275,7
2009	2.000,48	85,24	4,26	236,62
2010	2.072,25	72,44	3,50	209,71
2011	2.572,34	72,58	2,82	217,37
2012	2.685,67	72,28	2,69	204,2
2013	2.839,93	51,99	1,83	178,63
2014	2.261,32	62,96	2,78	206,07

Fonte: Autor (2017).

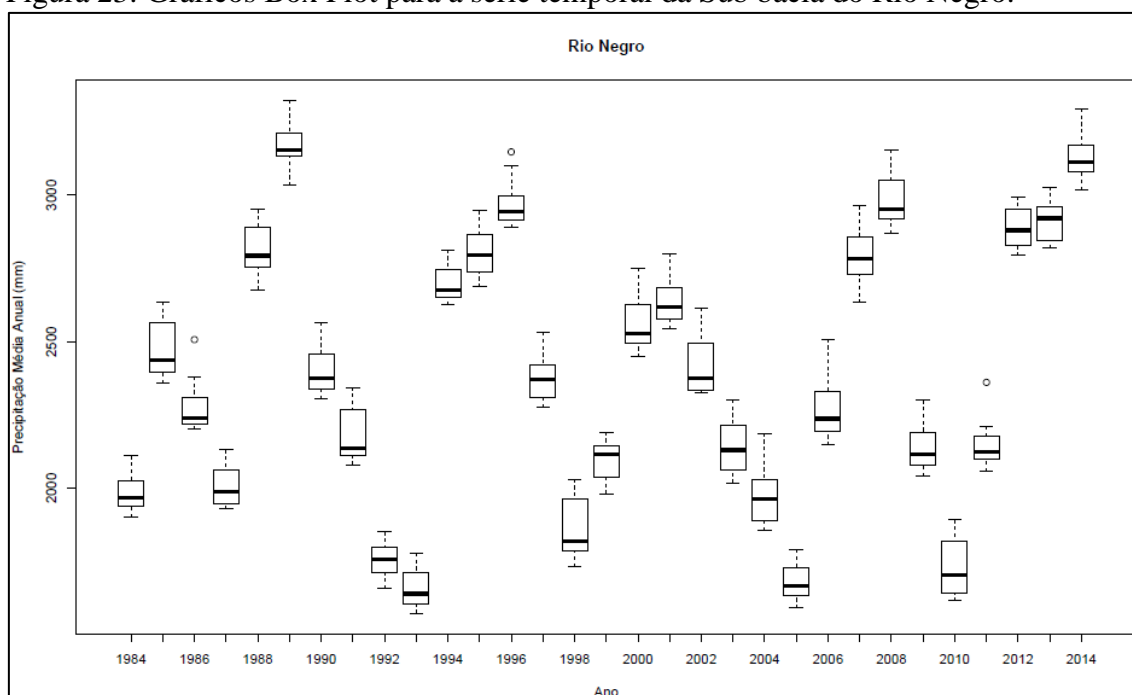
Através da análise das tabelas, pôde-se verificar que a sub bacia do Rio Negro apresentou maiores amplitudes em anos de ocorrência do fenômeno ENOS e de seca extrema em relação à sub bacia do Rio Solimões, exceto no ano de 1998; as duas sub bacias apresentaram comportamentos semelhantes, com aumento das chuvas em anos de La Niña e redução em anos de El Niño, afirmando que o fenômeno ENOS influencia no

regime pluviométrico destas regiões, no entanto, não foi possível identificar a intensidade da interferência deste fenômeno. A variação na dinâmica espaço-temporal das chuvas pode estar relacionada com as taxas de desmatamento na Amazônia, além da influência de diversos fatores meteorológicos.

Os valores dos coeficientes de variação mostraram-se baixos na Sub bacia do Rio Negro com máximo de 5,66% (ano de 1998) e o mínimo é de 2,32% (ano de 2013); assim como a Sub bacia do Rio Solimões também apresentou resultados baixos, com máximo de 4,67% (ano de 2005) e mínimo de 1,83% (ano de 2013), segundo a faixa apresentada por Falco (2008). Isso implica na melhor distribuição dos dados na Sub bacia do Solimões, pois os dados estão distribuídos de forma mais homogênea em relação ao valor médio da série temporal, pois apresentam os menores valores do coeficiente de variação e maior significância do valor central da distribuição.

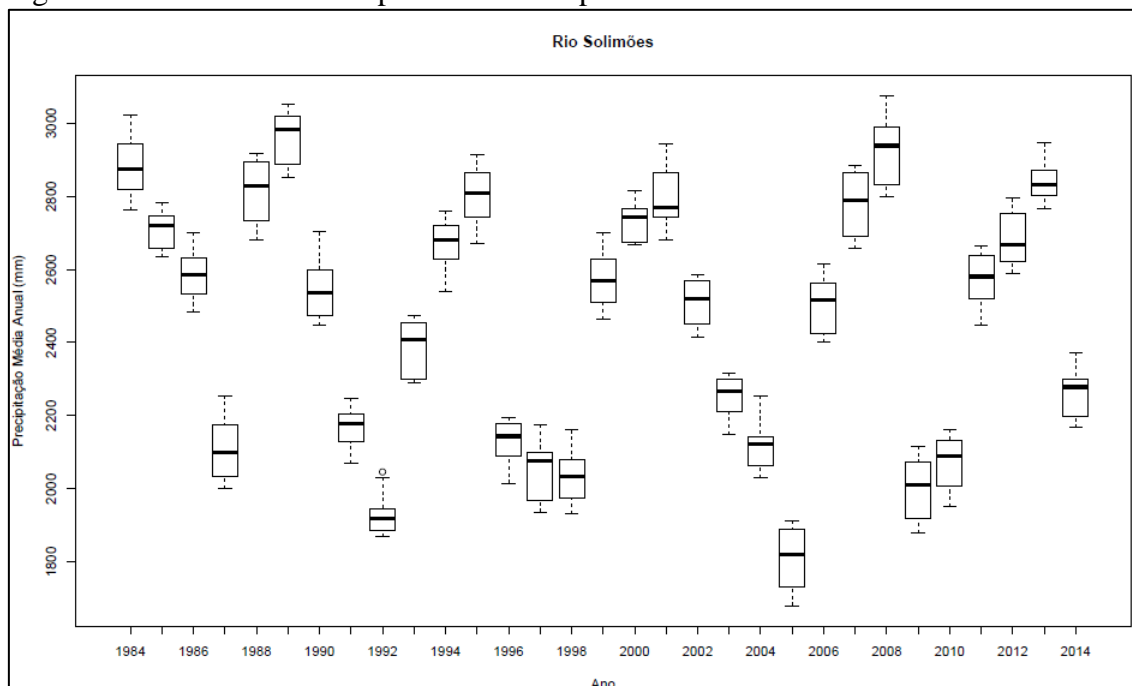
Foram elaborados gráficos BoxPlot para as duas áreas, com a finalidade de representar os valores de precipitação média anual e a presença de valores atípicos na série de dados (Figura 23 e 24).

Figura 23: Gráficos Box Plot para a série temporal da Sub bacia do Rio Negro.



Fonte: Autor (2017).

Figura 24: Gráficos BoxPlot para a série temporal da Sub bacia do Rio Solimões.



Fonte: Autor (2017).

Após a elaboração dos gráficos, foi possível identificar uma homogeneidade no comportamento das precipitações das duas áreas, pois as variações entre as amplitudes são pequenas em relação aos valores médios anuais; a sub bacia do Rio Negro apresentou valor máximo de 12,8% e mínimo de 5,42% em relação à média anual; já a sub bacia do Rio Solimões apresentou valor máximo de 16,8% e mínimo de 6,91% em relação à média anual.

Foram observados valores atípicos nas séries de dados da Sub bacia do Rio Negro (anos de 1986, 1996 e 2011) e da Sub bacia do Rio Solimões (ano de 1992). A presença de valores atípicos nas séries de dados pode ser justificada pela ocorrência de eventos extremos, influência de fenômenos meteorológicos moduladores do regime de chuva da região. No entanto, esses valores não se encontraram distantes das extremidades dos gráficos representadas pelos 1º e 3º quartis, por isso não influenciaram de forma significativa no comportamento pluviométrico das áreas.

Os testes de tendência de Mann- Kendall e *Spearman* foram aplicados para cada sub bacia a fim de verificar se existe tendência na série temporal ao longo de 31 anos (Tabela 6).

Tabela 8: Resultado dos Testes de Tendência de Mann-Kendall e *Spearman* para a Precipitação Média Anual do Rio Negro e Solimões, no Período de 1984 a 2014.

Sub Bacias	Mann- Kendall		Spearman	
	Estatística calculada	<i>p</i> -valor	Estatística calculada	<i>p</i> -valor
Rio Solimões	-0,097	0,458	-0,721	0,2358
Rio Negro	0,092	0,479	0,707	0,2389

Fonte: Autor (2017).

Os dados obtidos mostraram que não há tendência significativa ao nível de significância de 5%, para a precipitação média anual do Rio Solimões com a aplicação do teste de Mann- Kendall ( $p$ -valor = 0,458) e *Spearman* ( $p$ -valor= 0,2358), bem como para a precipitação média anual do Rio Negro utilizando teste de Mann- Kendall ( $p$ -valor = 0,479) e *Spearman* ( $p$ -valor= 0,2389), pois considerando um teste bilateral para as duas áreas, os valores encontrados foram bastante conclusivos por apresentarem-se dentro do intervalo dos valores críticos de  $\pm 1,96$  com extremidades iguais a  $\pm 0,025$ , aceitando-se a hipótese nula e confirmando que não há tendência significativa nas séries de chuva selecionadas neste estudo.

Algumas pesquisas relacionadas à tendência em séries temporais de chuva na Amazônia encontraram resultados semelhantes aos obtidas neste estudo, para o mesmo nível de significância, por exemplo, no estudo realizado por Loureiro et al. (2015) não foram identificadas tendências significativas na Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia para uma série temporal de 30 anos de precipitação; a pesquisa elaborada por Ishihara et al. (2014) não identificaram tendências na série história de 30 anos na região da Amazônia Legal, no entanto, após a divisão desta área em quadrantes foi possível identificar tendência de aumento pluviométrico nas porções Nordeste e Noroeste e decréscimo dos índices pluviométricos na porções Sudeste e Sudoeste.

A avaliação do comportamento da chuva e vazão ao longo do tempo foi realizada através da elaboração de hidrogramas. Nos hidrogramas foram considerados um valor de evapotranspiração de 50% em relação a precipitação média mensal, correspondente à quantidade de água precipitada que retorna para a atmosfera na forma gasosa, de acordo com o estudo de Dantas et al. (2011). A pesquisa realizada por Dos Santos et al. (2010) justifica o alto valor da evapotranspiração na Amazônia, pois como apresenta a maior parte de sua área coberta por florestas, possui maior energia para realizar essa etapa do ciclo hidrológico.



A Figura 25 representa o comportamento da vazão dos rios na sub bacia do Rio Negro em relação à chuva. Para isso foram espacializadas nove pares de estações pluviométricas e fluviométricas relativamente próximas, considerando distância inferior a 80 km, no período de 2002 a 2009.



A EP Missão Surucucu (cód: 8263000) e EF Uaicás (cód: 14488000), bem como a EP Colônia do Taiano (cód: 8361004) e EF Fazenda Cajupiranga (cód: 14495000) localizam-se no município Alto Alegre, Estado de Roraima, segundo dados do IBGE (2016). As EF Uaicás e Fazenda Cajupiranga estão instaladas no Rio Uraricoera, o qual possui nascente no Estado de Roraima. Estes dois pares de estações apresentaram comportamento relativamente semelhante no que se refere aos registros máximos de chuva e vazão, sendo as maiores precipitações registradas no mês de Maio, enquanto as maiores vazões foram observadas no mês de Julho.

A EP Missão Içana (cód: 8167000) e EF Cucuí (cód: 14110000); EP Pari Cachoeira (cód: 8069003) e EF Uaraçu (cód: 14260000), situam-se no município São Gabriel da Cachoeira, no Estado do Amazonas, área altamente preservada, devido à existência de terras indígenas e dificuldade de acesso à essas áreas, apesar de a região apresentar elevado potencial de minérios (Maia e Marmos, 2010), sendo que a EF Uaraçu está instalada no Rio Vauapés enquanto a EF Cucuí está instalada no Rio Negro. A EP Cumaru (cód: 63000) e EF Vila Conceição- Montante (cód: 14428000), localizam-se no município de Barcelos no Estado do Amazonas, o qual ocupou o 4º lugar no ranking dos municípios mais desmatados da Amazônia Legal até 2014, ficando apenas atrás dos municípios de Aveiro (AM), São do João da Baliza (AM) e Caroebe (MT) (Victor et al. 2014), sendo que a EF Vila Conceição- Montante encontra-se instalada no Rio Paduari.

Os três pares de estações pluviométricas e fluviométricas citados também apresentaram comportamento semelhante, com registros pluviométricos máximos no mês de Maio e registros fluviométricos máximos no mês de Julho. No entanto, percebeu-se claramente vazões superiores às precipitações, o que pode ser explicado pelo registro de vazões acumuladas de rios que ultrapassam as fronteiras do Brasil, bem como pela possível influência de águas subterrâneas.

A EP Fazenda Passarão (cód: 8360002) e EF Bonfim (cód: 14526000), localizam-se no município Bonfim, no Estado de Roraima, com a EF Bonfim instalada no Rio Tacutu; a EP Boa Vista (cód: 8260000) e EF Mucajaí (cód: 14690000), localizam-se no município Mucajaí, no Estado de Roraima, com a EF Mucajaí instalada no Rio Mucajaí; já a A EP Fazenda Paraná (cód: 8160001) e EF Fazenda São José (cód: 14845000), localizam-se no município de Rorainópolis, no Estado de Roraima, com a EF Fazenda São José instalada no Rio Jauaperi.

Os três pares de estações pluviométricas e fluviométricas citados apresentaram registros máximos de precipitação entre os meses de Maio a Julho e máximos de vazão entre os meses de Junho a Agosto. De modo geral, elas apresentam comportamentos semelhantes ao longo dos 8 anos estudados.

A EP Santa Maria do Boiaçu (cód: 61000) e EF Base Alalaú (cód: 14850000), localizam-se no município de Mucajaí, sendo a EF Base Alalaú instalada no Rio Alalaú. Essas estações apresentaram registros máximos de precipitação e vazão no mês de Maio.

A Figura 26 representa o comportamento da vazão dos rios na sub bacia do Rio Solimões em relação à chuva. Para isso foram espacializadas 14 pares de estações pluviométricas e fluviométricas próximas, com distância inferior a 80 km, no período de 2000 a 2011. O maior número de pares de estações nesta área indicou melhores registros de vazão na sub bacia do Rio Solimões.

Figura 25: Hidrogramas mensais de chuva e vazão da sub bacia do Rio Solimões.

Fonte: Autor (2017).

A EP Estirão do Repouso (cód: 470002) e EF Ladário- Jusante (cód: 10910000); a EP Santa Maria (cód: 471000) e EF Estirão do Repouso (cód: 10500000); a EP Palmeiras do Javari (cód: 572000) e EF Palmeiras do Javari (cód: 10200000), localizam-se no município Atalaia do Norte, Estado do Amazonas, sendo que a EF Ladário- Jusante se encontra instalada no Rio Itacuaí, enquanto as EF Estirão do Repouso e Palmeiras do Javari encontram-se instaladas no Rio Javari. A EP Badajós (cód: 362002) e EF Itapéua (cód: 13150000) localizam-se em municípios diferente, com distância a distância entre as estações de aproximadamente 83 km, apresentando condições climáticas semelhantes, além da vegetação nos dois municípios ser predominantemente a mesma, tipo Floresta Ombrófila Densa. A EP Badajós localiza-se no município Codajás e a EF Itapéua situa-se no município Coari, ambos no Estado do Amazonas.

Os quatro pares de estações pluviométricas e fluviométricas apresentaram registros máximos de precipitação entre os meses de Março e Maio e registros máximos de vazão entre os meses de Dezembro a Abril, correspondendo aos períodos chuvosos da Amazônia.

A EP Acanauí (cód: 166000) e EF Barreirinha (cód: 12870000) situam-se em municípios diferentes, sendo a EP Acanauí localiza-se no município Japurá, enquanto a EF Barreirinha localiza-se no município Fonte Boa, ambos no Estado do Amazonas; apesar de estarem em áreas distintas, a distância entre as estações é de aproximadamente 39 km, além disso a vegetação predominante nos dois municípios é a Floresta Ombrófila Densa, havendo similaridades climáticas, sendo a EF Barreirinha localiza-se no Rio Auati Paraná. A EP Villa Bittencourt (cód: 169000) e EF Villa Bittencourt (cód: 12845000) localizam-se no município Japurá, no Estado do Amazonas, sendo que a EF Villa Bittencourt se encontra no Rio Japurá.

Os dois pares de estações apresentaram comportamento semelhante ao longo da série histórica, com registros máximos de precipitação em Abril e máximos de vazão em Junho. Além disso, pôde-se perceber maiores vazões em relação às precipitações, devido aos registros de vazões de rios que se encontram fora do Brasil.

A EP Gavião (cód: 466001) e EF: Gavião (cód: 12840000), situam-se no município Carauari, no Estado do Amazonas, em que a EF se encontra no Rio Juruá; A EP Santos Dumont (cód: 668000) e EF Santos Dumont (cód: 12700000), localizam-se no município Itamarati, no Estado do Amazonas, sendo que a EF Santos Dumont está

instalada no Rio Juruá; A EP Envira (cód: 770000) e EF Envira (cód: 12680000), situam-se no município Envira, no Estado do Amazonas, em que a EF Envira se encontra no Rio Tarauacá; A EP Fazenda Paranacre (cód: 771001) e EF Seringal Santa Helena (cód: 12640000), concentram-se no município Feijó, no Estado do Acre, com a EF Seringal Santa Helena no Rio Envira; já a EP Thaumaturgo (cód: 872000) e EF Thaumaturgo (cód: 12370000), localizam-se no município Marechal Thaumaturgo, no Estado do Acre, sendo que a EF Thaumaturgo se encontra no Rio Juruá.

Os cinco pares de estações apresentaram comportamentos semelhantes, com registros máximos de precipitação nos meses de Janeiro e Fevereiro, enquanto os registros máximos de vazão variaram entre os meses de Fevereiro e Abril. Nessas estações, pôde-se perceber uma queda dos registros pluviométricos e fluviométricos entre os meses de Junho e Novembro, correspondendo aos meses de transição e de período não chuvoso na Amazônia.

A EP Santa Rita do Weil (cód: 369000) e EF Ipiranga Novo (cód: 11444900) situam-se em municípios diferentes, porém ambos no Estado do Amazonas. A EP Santa Rita do Weil localiza-se no município São Paulo de Olivença e a EF Ipiranga Novo localiza-se no município Santo Antônio do Içá, com predominância de vegetação do tipo Floresta Ombrófila, sendo a EF instalada no Rio Iça; apesar de estarem concentradas em áreas distintas, a distância entre as estações é de aproximadamente 84 km, sendo possível representar a realidade do comportamento destas variáveis devido a pequena distância. A EP Thaumaturgo (cód: 872000) e EF Thaumaturgo (cód: 12370000), localizam-se no município Marechal Thaumaturgo, no Estado do Acre, sendo que a EF Thaumaturgo se encontra no Rio Juruá.

Os dois pares de estações apresentaram registros pluviométricos máximos no mês de Março, enquanto que os registros fluviométricos máximos foram observados nos meses de Abril e Maio. Os valores de vazão superiores aos de precipitação são de correntes da localização das estações fluviométricas, que se situam em rios que ultrapassam os limites fronteiriços do país.

De modo geral, nas sub bacias do Rio Negro e Rio Solimões observou-se que as estações pluviométricas registraram maiores índices predominantemente nos meses de dezembro a junho, em alguns casos prologando-se até o mês de agosto, caracterizando os meses restantes com baixos índices pluviométricos. Os maiores registros de vazão

comparados aos de precipitação ocorreram devido ao acúmulo nos registros das vazões de rios que ultrapassam as fronteiras com o Brasil, dificultando, dessa forma, a representação das chuvas em função da vazão a nível local



## 9 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste estudo, conclui-se que:

- As sub bacias do Rio Negro e Rio Solimões possuem estações de chuva e vazão bem espacializadas ao longo de suas áreas, no entanto, a maioria delas apresentou monitoramentos com falhas, o que aumenta a imprecisão dos estudos com séries históricas;

- A sub bacia do Rio Solimões apresentou melhores dados de monitoramento, bem como séries de dados mais antigas de vazão que a sub bacia do Rio Negro; já em termos de precipitação, a sub bacia do Rio Negro mostrou maior número de estações com longos períodos monitorados;

- O interpolador de Krigagem Ordinária Linear apresentou linhas suaves na elaboração dos mapas de isoietas, contudo, não reduziu, em alguns casos, a geração de ilhas isoladas de precipitação em alguns casos;

- O comportamento das precipitações ao longo dos 31 anos acompanhou os anos de ocorrência do fenômeno ENOS, havendo aumento da precipitação em anos de La Niña e redução dos índices pluviométricos em anos de El Niño ou eventos de seca extrema, havendo forte relação entre a ocorrência dos eventos e os registros de chuva;

- O Método de Ward apresentou boas respostas na criação dos Dendogramas das duas áreas, aproximando os elementos com valores próximos de precipitação para a criação das regiões homogêneas;

- A utilização dos interpoladores Krigagem Ordinária Linear e IDW foram eficientes para a criação de regiões homogêneas de precipitação, as quais foram apresentadas de forma contínua. Apesar da formação de pequenas ilhas na sub bacia do Rio Negro, os interpoladores conseguiram representar a realidade de cada área de estudo, sendo o fator latitude o maior influenciador na formação das regiões;

- A precipitação média na sub bacia do Rio Negro ao longo dos 31 anos selecionados para o estudo (1984 a 2014) foi de 2.383,96 mm, sendo o ano mais seco 1993 e o mais chuvoso 1989; enquanto na sub bacia do Rio Solimões, a precipitação média foi de 2.458,30 mm, sendo 1989 o ano mais chuvoso e 2005 o ano mais seco;

- Não foram identificadas tendências nas séries históricas das duas sub bacias, logo, pôde-se inferir, de forma geral, que as áreas não sofreram alterações significativas nos seus volumes de chuva ao longo dos 31 anos, considerando nível de significância de 5%;

- Após as análises dos hidrogramas, verificaram-se semelhanças nos registros de chuva e vazão de acordo com a espacialização das estações. Além disso, percebeu-se a que a alguns pontos não puderam ser bem representados pontualmente, devido à localização de estações fluviométricas e possível influência de grandes volumes de águas subterrâneas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULLAHI, M.G.; TORIMAN, M.E.; GASIM, M.B.; JUAHIR, H. Rainfall Dynamics of Terengganu Malaysia and its Recent Trends Analysis Using the Mann-Kendall Test, **Journal of Advances in Biotechnology**, v.4, n.2, 372 – 381, 2014.

ALVES, J.M.P; CASTRO, P.T.A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análises de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, vol.33, n.2, 117-124, 2003.

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões Espaço-Temporal Pluviométricos na Amazônia Oriental Utilizando Análise Multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.4, 423 - 434, 2012.

ANA. Agência Nacional De Águas. **O estado-da-arte da agricultura irrigada e as modernas tecnologias no uso racional da água na irrigação**. Brasília, 2005. Disponível em: < [http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/detalhe\\_Busca.asp?cod\\_registro=3510&categoria=7](http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/detalhe_Busca.asp?cod_registro=3510&categoria=7)>. Acesso em: 26 ago. 2015.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Região Hidrográfica Amazônica**. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/amazonica.aspx>>. Acesso em: jan. 2016.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Diretrizes e Análises Recomendadas para a Consistência de Dados Pluviométricos**. Brasília, 2012. Disponível em: < <http://arquivos.ana.gov.br/inf hidrologicas/cadastro/OrientacoesParaConsistenciaDadosFluviometricos-VersaoJul12.pdf>>. Acesso em: Abr. 2016.

ANA. Agência Nacional De Águas. **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos**. 2013. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite\\_relatorioConjuntura/projeto/index.html](http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html)>. Acesso em: 01 dez. 2015.

ANA. Agência Nacional De Águas. **Plano Estratégico de Recursos Hídricos dos Afluentes da Margem Direita do Rio Amazonas**, Brasília, 2013. Disponível em: <<http://margemdireita.ana.gov.br/>>. Acesso em: jan. 2016.

ANTAQ. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Bacia Amazônica: Plano Nacional de Integração Hidroviária**, 2013. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/portal/PNIH/BaciaAmazonica.pdf>>. Acesso: jan. de 2016.

ARORA, M.; KUMAR, R.; MALHOTRA, J.; KUMAR, N. Correlations of Stream Flow and Climatic Variables for a Large Glacierized Himalayan. **Journal of Water Resource and Protection**, v.6, 1326 – 1334, 2014.

BARROS, F.G.N.; AMIN, M. M. **Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, v.4, n.1, 75 - 108, 2008.

BELHASSAN, K. Relationship between River Flow, Rainfall and Groundwater pumpage in Mikkes Basin (Morocco), **Iranian Journal of Earth Science**, v.3, 98 - 107, 2011.

BOTKIN, D.B.; KELLER, E.A. **Environmental Science: Earth as a living planet**. 5. ed. Hoboken: John Willey e Sons, 2005. 664 p.

BRASIL. Lei Federal 1.806, de 6 de janeiro de 1953. **Dispõe sobre o Plano de Valorização Econômica da Amazônia, cria a superintendência da sua execução e dá outras providências.**

BRULEBOIS, E.; CASTEL, T.; RICHARD, Y.; SMITH, C.C.; SUCHET, P.A. Hydrological response to an abrupt shift in surface air temperature over France in 1987/88. **Hydrological Sciences Journal**, v. 531, 892-901, 2015.

BRUTSAERT, W. **Hydrology: An Introduction**. Cambridge University Press, Cambridge, 2005. 599p.

CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística: Princípios e Aplicações**. Porto Alegre – RS. Editora Artmed, 2003. 255p.

CARDOSO, C.A.; DIAS, H.C.T.; SOARES, C.P.B.; MARTINS, S.V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo-RJ. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.241-248, 2006.

CARVALHO, J.R.P.; VIEIRA, S.R. **Avaliação e comparação de estimadores de krigagem para variáveis agronômicas**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 24 p, 2001.

CARVALHO, L.M.V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall. **Journal of Climate**, v. 170, 88-108, 2004.

CARVALHO, M.A.V.; OYAMA, M.D. Variabilidade da Largura e Intensidade da Zona de Convergência Intertropical Atlântica: Aspectos Observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.3, 305 - 316, 2013.

CASSE, C.; GOSSET, M.; PEUGEOT, C.; PEDINOTTI, V.; BOONE, A.; TANIMOUN, B.A.; DECHARME, B. Potential of satellite rainfall products to predict Niger River flood events in Niamey. **Atmospheric Research**, v.163, 162 – 176, 2015.

COE, M.T.; COSTA, M.H.; SOARES-FILHO, B.S. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River – Land surface processes and atmospheric feedbacks. **Journal of Hydrology**, v.369, 165-174, 2009.

COELHO, M. R; FIDALGO, E. C. C.; SANTOS, H. G. DOS; BREFIN, M. De L. M. S; PÉREZ, D.V. **Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas**. In: MOREIRA, F.M.S.; CARES, J.E.; ZANETTI, R.; STURMER, S. (Org.). O ecossistema solo. 1ª Edição. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2013, p. 45-62.

COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates. **Journal of Hydrology**, v.360, 207 - 216, 2008.

CORREA, S.M.B.B. **Probabilidade e Estatística**. Belo Horizonte: PUC Minas, 2º ed. 2003. 116p.

CPTEC/ INPE. Centro de Previsão de tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2015. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/animacao/pt>>. Acessado em set. de 2015.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2ª ed. 188p. 1980.

CUNNINGHAM, C.A.C.; CAVALCANTI, I.F.de.A. Intraseasonal Modes of Variability Affecting the South Atlantic Convergence Zone. **International Journal of Climatology**, v.1, 1 - 16, 2006.

DANTAS, V.A.; DA SILVA, V.P.R.; DA COSTA, A.C.L.; DAS CHAGAS, V.F.B. Fluxos de calor no dossel vegetativo e infiltração de água no solo, em floresta tropical. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n.12, 1266-1274, 2011.

DA SILVA, J. de F. **El Niño: O fenômeno Climático do Século**. Brasília- DF. Editora: Thesaurus, 2000. 139p.

DE ALENCAR, D.B.S.; DA SILVA, C.L.; OLIVEIRA, C.A da S. Influência da Precipitação no escoamento superficial em uma Microbacia Hidrográfica do Distrito Federal. **Revista Eng. Agríc.**, v.26, 103-112, 2006.

DE 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. **Floresta e Ambiente**, v.22, n.3, 279-286, 2015.

DE CARVALHO, J.R.P.; ASSAD, E.P.; PINTO, H.S. Interpoladores geoestatísticos na análise da distribuição espacial da precipitação anual e de sua relação com altitude. **Pesq. agropec. bras.**, v.47, n.9, 1235 – 1242, 2012.

DE OLIVEIRA, L.F.C.; FIOREZE, A.P.; MEDEIROS, A.M.M.; SILVA, M.A.S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Eng. Agríc.**, v.14, n.11, 1186-1192, 2010.

DEBORTOLI, N.; DUBREUIL, V.; DELAHAYE, F.; FILHO, S.R. Análise Temporal do Período Chuvoso na Amazônia Meridional Brasileira (1971-2010). **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v.1, n.5, 382 – 394, 2012.

DE MACEDO, M. de N.C.; DIAS, H.C.T.; COELHO, F.M.G.; ARAÚJO, E.A.; DE SOUZA, M.L.H.; SILVA, E. Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. **AmbiÁgua**, v.8, n.1, 206 - 221, 2013.

DO NASCIMENTO, F.S. **Projeto de Gestão Integrada e Sustentável dos Recursos Hídricos Transfronteiriços na Bacia do Rio Amazonas, considerando a Variabilidade e a Mudança Climática.** – Organização do Tratado de Cooperação Amazônica/Fundo para o Meio Ambiente Mundial/Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Santarém, PA, Brasil, 2013, 339 p.

DOS ANJOS, L.H.C; DA SILVA, L.M.; WADT, P.G.S.; LUMBRERAS, J.F.; PEREIRA, M.G. **Guia de Campo da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos.** 1º Edição. Brasília- DF. EMBRAPA, 2013. 204p.

DOS SANTOS, E.H.M.; GRIEBELER, N.P.; DE OLIVEIRA, L.F.C. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.8, 826-834, 2010.

DOS SANTOS, I.; FILL, H.D.; SUGAI, M.R.V.B.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E.; LAUTERT, L.F. **Hidrometria Aplicada.** 1º Edição. Curitiba – PR. Editora CEHPAR, 2001. 372p.

DOS SANTOS, J.S.; DA MOTA, M.A.S.; DA ROCHA, E.J.P. Classificação Climatológica da Energia Potencial Disponível para a Convecção na Cidade de Belém-PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.esp, 60 – 72, 2014.

DO VALE JÚNIOR, J.F.; DE SOUZA, M.I.L.; DO NASCIMENTO, P.P.R.R.; CRUZ, D.L.de.S. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.5, n.2, 158-165, 2011.

DOURADO, C.S., OLIVEIRA, S.R.M., DE AVILA, A.M.H. D. Análise de zonas homogêneas em séries temporais de precipitação no Estado da Bahia. **Bragantina**, vol.72, n.2, 192-198, 2013.

FALCO, J.G. **Estatística Aplicada.** Cuiabá: EdUMT; Curitiba: UFPR, 2008. 92p.

FARIAS, E.M.B.; CARNEIRO, D. de S. Alterações Geomorfológicas no Rio Amazonas-Santarém/PA. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.2, n.4, 72 – 79, 2012.

FENG, G.; QIE, X.; WANG, J.; GONG, D. Lightning and Doppler radar observations of a squall line system. **Atmospheric Research**, v.91, 466 - 478, 2009.

FÁVERO, L.P.; BELFIORE, P.; DA SILVA, F.L.; CHAN, B.L. **Análise de Dados: modelagem multivariada para tomada de decisões.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FILHO, A. C.; SOUZA, O.B. **ATLAS de Pressões e Ameaças às Terras Indígenas na Amazônia Brasileira**, São Paulo. Instituto Socioambiental, 2009. 48p

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma Revisão Geral Sobre O Clima da Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 28 n. 2, p.101-126, 1998.

FRANZIELLI, E. Características morfológicas da confluência dos rios Negro e Solimões (Amazonas, Brasil). **Revista Brasileira de Geociências**, v.41, n.2, p. 587-596, 2011.

GAVRILOV, M.B.; MARKOVIĆ, S.B.; JANC, N.; NIKOLIĆ, M.; VALJAREVIĆ, A.; KOMAC, B.; ZORN, M.; PUNIŠIĆ, M.; BAČEVIĆ, N. Assessing Average Annual Air temperature Trends using the Mann–Kendall Test in Kosovo, **Acta Geographica Slovenica**, 2015. DOI: : 10.3986/AGS.1309.

GIRARDI, R.V.; GOLDENFUM, J.A.; DA SILVEIRA, A.L.L.; DORNELLES, F. Proposta de um Método Alternativo para Determinação da Precipitação Média Sobre uma Área Utilizando Distâncias Invertidas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n.1, 19–31, 2013.

GOLDEN GATE WEATHER SERVICES. **ENSO Years based on Oceanic Niño Index (ONI)**, 2008. Disponível em: < [http:// ggweather.com/enso/oni.htm](http://ggweather.com/enso/oni.htm)>. Acessado em: fev. de 2015.

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**, v. 38, n. 2, p. 209-216, 2016.

GRIMM, A. M. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events and possible effects of climate change. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 25, n. 4, p. 537-554, 2011.

HAIR, J.J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.I.; BLACK, W.C. **Análise Multivariada de Dados**. 5° ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

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

HASSAN, B.G.H.; PING, F. Regional Rainfall Frequency Analysis for the Luanhe Basin – by Using L-moments and Cluster Techniques. **Procedia APCBEE**, v.1, 126 - 135, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/amazonialegal.shtm?c=2>>. Acesso em: jan. 2016.

ISHIHARA, J.H.; FERNANDES, L.L.; LOUREIRO, G.E. Quantitative and Spatial Assessment of Precipitation in the Brazilian Amazon (Legal Amazon) - (1978 to 2007). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19 n.1, 29-39, 2014.

JÚNIOR, G. B. M.; CONTINI, E.; NAVARRO, Z. **Caracterização da Amazônia Legal e macrotendências do ambiente externo**. Brasília- DF: Embrapa Estudos e Capacitação, 2011.

JÚNIOR, N. C.; LANDIM, P.M.B. Análise da Chuva e Vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo. **Geociências**, v33, n.2, 244 - 260, 2014.

KOUSKY, V. E. Frontal Influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**,v.107, 1140-1153, 1979.

KULKARNI, M.K.; REVADEKAR, J.V.; VARIKODEN. H. About the variability in thunderstorm and rainfall activity over India and its association with El Niño and La Niña. **Nat Hazards**, v.69, 2005 - 2019, 2013.

LAPOLA, D.M., MARTINELLI, L.A., PERES, C.A., OMETTO, J., FERREIRA, M.E., NOBRE, C.A., AGUIAR, A.P.D., BUSTAMANTE, M.M.C., CARDOSO, M.F., COSTA, M.H., et al., Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **National Climate Change**, v. 4, 27–35, 2014.

LARA, F.A.; SANDOVAL, C.A.E. Multivariate delineation of rainfall homogeneous regions for estimating quantiles of maximum daily rainfall: A case study of northwestern Mexico. **Atmosfera**, v.27, n.1, 47 – 60, 2014.

LAZLO, M.J.; ROCHA, P.C. Composição Hierárquica dos Canais Fluviais das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe. **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, v.10, n.1, 228 – 232, 2014.

LIBRATO, A.M.; DE BRITO, J.I.V. Influências das Mudanças Climáticas no Balanço Hídrico da Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 03, 170-180, 2010.

LIMBERGER, L.; SILVA, M.E.S. Precipitação e Vazão mensal na Amazônia. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.1, n.5, 719 – 728, 2012.

LOUREIRO, R.S.; GOMES, R.G.; ROCHA, E.J.P. Análise de uma Linha de Instabilidade Costeira na Região Leste do Estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, 258 - 270, 2006.

LOUREIRO, G. E. FERNANDES, L.L.; ISHIHARA, J.H. Spatial and temporal variability of rainfall in the Tocantins-Araguaia hydrographic region. **Acta Scientiarum**, v. 37, n.1, 89-98, 2015.

MAIA, M.A.M.; MARMOS, J.L **Geodiversidade do estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. 275p.

MARENGO J. A.; NOBRE. C.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M.; OLIVEIRA, G. S.; OLIVEIRA, R.; CAMARGO, H.; ALVES, L. M.; BROWN, I. F. The drought of Amazônia in 2005. **Journal of Climate**, n. 21, p. 495-516, 2008.

MARTINEZ, C.J.; MALESKI, J.J.; MILLER, M.F. Trends in precipitation and temperature in Florida, USA. **Journal of Hydrology**, v.452-453, 259 - 281, 2012.

MARTINI, D.Z.; MOREIRA, M.A.; DE ARAGÃO, L.E.O. e C.; FORMAGGIO, A.R.; DALLA-NORA, E.L. Potential land availability for agricultural expansion in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.07.005>.

MAZZINI, P.L.F.; SCHETTINI, C.A.F. Avaliação de Metodologias de Interpolação Espacial Aplicadas a Dados Hidrográficos Costeiros Quase- Sinóticos. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.**, v. 13, n.1, 53-64, 2009.

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**, 2015.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno Setorial de Recursos Hídricos: Transporte Hidroviário**. Brasília-DF, 2006. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/amazonica.aspx>>. Acesso em: jan. 2016.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília-DF, 2006. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/biomas/amaz%C3%B4nia/mapa-de-cobertura-vegetal>>. Acesso em: jan. de 2016.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Mapa de Cobertura Vegetal**. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/amazonica.aspx>>. Acesso em: jan. de 2016.

MONTERO, J.C.; LATRUBESSE, E. M. The igapó of the Negro River in central Amazonia: Linking late-successional inundation forest with fluvial geomorphology. **Journal of South American Earth Sciences**, vo.46, 137-149, 2013.

MOLION, L. C. B. Climatologia Dinâmica da Região Amazônica: Mecanismos de Precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.2, 107 - 117, 1987.

MORISIHITA, Y.; HEKI, K. Characteristic precipitation patterns of El Niño/La Niña in time-variable gravity fields by GRACE. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 272, 677-682, 2008.

MÜLLER, H.; Griffith, P.; Hostert, P. Long-term deforestation dynamics in the Brazilian Amazon—Uncovering historic frontier development along the Cuiabá–Santarém highway, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.44, p.61-69, 2016.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. de A. **Hidrologia Estatística**. Belo horizonte: CRPM, 2007. 552p.

NEDEL, A.S. **Desastres Naturais e Geotecnologias -Adversidades Climáticas - Caderno Didático**. Santa Maria, RS. INPE, N°5, 42p. 2010, Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/384F7QB>>. Acesso: set. de 2015.

NIJSSSEN, B.; O'DONNELL, G. M.; HAMLET, A. F.; LETTENMAIER, D. P. Hydrologic sensitivity of global rivers to climate change. **Climatic Change**, v. 50, p.143-175, 2001.

NOOA. 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\\_evolution-status-fcsts-web.pdf](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf)>. Acessado em jan. de 2016.



NÓBREGA, R.S.; FARIAS, R.F. de L.; DOS SANTOS, C.A.C. Variabilidade Temporal e Espacial da Precipitação Pluviométrica em Pernambuco através de Índices de Extremos Climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.30, n.2, 171 - 180, 2015.

OKUMURA, M. H.; PASSOS, A.; NADER, B.; DE TOMI, G. Improving the monitoring, control and analysis of the carbono accumulation capacity in Legal Reserves of the Amazon forest. **Journal of Cleaner Production**, v.104, 109 - 120, 2015.

OMM. Organização Mundial de Meteorologia. **Guia de Práticas Hidrológicas. Adquisición y Proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones**. 5ª edição, no-158, Genebra – Suíça, 1994, Cap. 20, 259 – 278p.

PALM, P. R. **A abertura do rio Amazonas à navegação internacional e o parlamento brasileiro**. Brasília: Fundação Alexandre de Gusmão, 2009, 100 p.

PINHEIRO, A.; GRACIANO, R.L.G.; SEVERO, D.L. Tendência das Séries Temporais de Precipitação da Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.3, 281 - 290, 2013.

RAISG. Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada. **Amazonía 2009 Áreas Protegidas y Territorios Indígenas**, 2011. Disponível em: <<http://raisg.socioambiental.org/>>. Acesso: jan. de 2016.

RAGHUNATH, H.M. **Hydrology: Principles, Analysis, Design**. 2º Edição. Manipal–Karnataka. Editora New Age International (P) Limited, Publishers, 2006. 463p.

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

REBOUÇAS, A. da C. Água doce no mundo e no Brasil. in. REBOUÇAS, A. da C. et al (org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3º ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

SANTANA, D.P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas, MG. EMBRAPA, 62p. 2003. Disponível em:< <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/docume30ID-TUSBRYuXa7.pdf>>. Acessado em dez. de 2015.

SANTOS, E.B.; LUCIO, P.S.; SILVA, C. M. S. Precipitation regionalization of the Brazilian Amazon. **Royal Meteorological Society**, v. 16, 185–192, 2015.

SAYRES, R., BOW, J., JOSSE C., SOTOMAYOR, L. TOUVAL, J. **Terrestrial ecosystems of Sotuh America**. Chapter 9, 2008. Disponível em: <<http://www.aag.org/galleries/nalcs/CH9.pdf>>. Acesso em: Jan. 2016.

SERRÃO, E.A. de O.; DOS SANTOS, C.A.; WANZELER, R.T.S.; GONÇALVES, L de J.M.; DE LIMA, A.M.M. Avaliação da Seca de 2005 e 2010 na Amazônia: Análise da Bacia Hidrográfica do Rio Solimões. **Rev. Geogr. Acadêmica**, v.9, n.2, 5 - 20, 2015.

SOLTANI, M.; ROUSTA, I.; TAHERI, S.S.M. Using Mann-Kendall and Time Series Techniques for Statistical Analysis of Long-Term Precipitation in Gorgan Weather Station. **World Applied Sciences Journal**, v.28, n.7, 902-908, 2013.

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. **Climanálise**. 2003. Disponível em: <<http://cptec.inpe.br/products/cliamanalise/artigos/artcien2.shtml>>. Acesso em: Dez. 2015.

SOUZA, L.A.G.; CASTELLÓN, E.G. **Desvendando as fronteiras do conhecimento na região amazônica do Alto Rio Negro**, 2012. Disponível em: <[http://www.inpa.gov.br/arquivos/livro\\_frenteiras/02-Livro\\_Fronteiras.pdf](http://www.inpa.gov.br/arquivos/livro_frenteiras/02-Livro_Fronteiras.pdf)> Acesso em: jan. de 2016.

SPIEGEL, M. R.; SCHILLER, J.; SRINIVASAN, A. **Probabilidade e Estatística**. 3° ed. Porto Alegre- RS. Editora: Bookman, 2013. 427p.

TALAEI, P.H. Iranian rainfall series analysis by means of nonparametric tests, **Theoretical and Applied Climatology**, v.116, n.3/4, 597–607, 2013.

TEEGAVARAPU, R.S.V.; CHANDRAMOULI, V. Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records. **Journal of Hydrology**, v.312, 191 - 206, 2005.

TRENBERTH, K. E.; STEPANIAK, D.P. Indices of El Niño Evolution. **Journal of Climate**, v.14, 1697-1701, 2001.

TUCCI, C. E.M. (org). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4° Edição. Porto Alegre – RS. Editora da UFRGS e EDUSP ABRH, 2012. 943p.

TUCCI, C. E.M.; BRAGA, B. **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**. 1° ed. Coleção: ABRH de Recursos Hídricos, V.9. Porto Alegre: ABRH, 2003. 348p.

UFF. Universidade Federal Fluminense. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Dren02.html>>. Acessado em set. de 2015.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Editora Pax, 2ª versão digital, Recife, 2006. 463p.

VICTOR, A.; MARTINS, H.; JÚNIOR, C.S.; SALES, M.; VERÍSSIMO, A. **Transparência Floresta: Amazônia Legal**. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2014. 14p.

VILLAR, J.C.E.; GUYOT, J.L.; RONCHAIL, J.; COCHONNEAU, G.; FILIZOLA, N.; FRAIZY, P.; LABAT, D.; DE OLIVEIRA, E.; ORDOÑEZ, J.J.; VAUCHEL, P. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974–2004). **Journal of Hydrology**, v.375, 297 - 311, 2009.

VILLARINI, G.; SMITH, J.A.; BAECK, M.L.; VITOLO, R.; STEPHENSON, D.B.; KRAJEWSKI, W.F. On the frequency of heavy rainfall for the Midwest of the United States, **Journal of Hydrology**, v.400, n.1/2, 103 - 120, 2011.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, Editora McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

WBCSD, World Business Council For Sustainable Development. **Facts and Trends**. 2006. Disponível em: <[http://www.unwater.org/downloads/Water\\_facts\\_and\\_trends.pdf](http://www.unwater.org/downloads/Water_facts_and_trends.pdf)>. Acesso em: 30 nov. 2015.

YUE. S. *et al.* Power of the Mann- Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. **Journal of Hydrology**, v. 259, 254-271, 2002.

ZEIDEMANN, V.K.. **O Rio das Águas Negras**. In: Oliveira, A.A.; D.C. Daly; D. Varella. (Org.). Florestas do Rio Negro. 1º edição. São Paulo: Companhia das Letras, v. 61, p. 87-339, 2001.

ZHANG, Q.; GU, X.; SINGH, V.P.; XIAO, M.; XU, C. Stationarity of annual flood peaks during 1951–2010 in the Pearl River basin, China. **Journal of Hydrology**, v.519, 3236-3274, 2014.

ZHONG, X.; KEALY, A.; DUCKHAM, M. Stream Kriging: Incremental and recursive ordinary Kriging over spatiotemporal data streams. **Computers & Geosciences**, v.90, 134 - 143, 2016.

## APÊNDICES

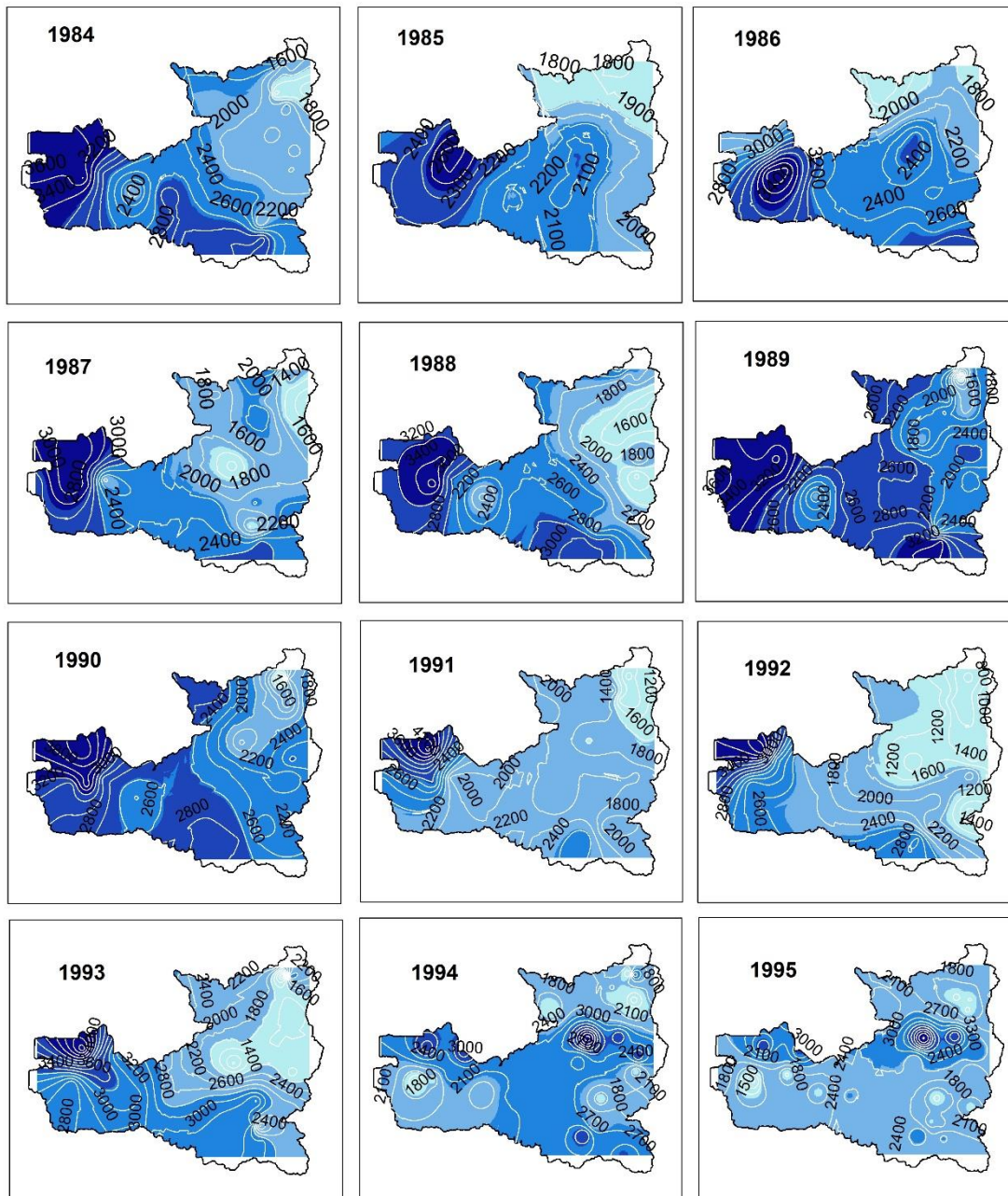
APÊNDICE I: ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E FLUVIOMÉTRICAS DA SUB BACIA DO RIO NEGRO.

<b>Código</b>	<b>Nome das EP</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
60000	BASE ALALAUÍ	-0:51:31	-60:31:12
61000	SANTA MARIA DO BOIAÇU	-0:30:24	-61:47:9
63000	CUMARU	-0:35:54	-63:23:52
65001	TAPURUQUARA	-0:25:13	-65:0:55
66000	LIVRAMENTO	-0:17:20	-66:9:12
161002	MOURA	-1:27:32	-61:37:59
162000	CARVOEIRO	-1:23:40	-61:58:45
162002	UMANAPANA	-1:53:14	-62:26:12
260006	NOVO AIRÃO	-2:37:12	-60:56:52
261000	BARURI	-2:1:29	-61:32:29
8060000	FAZENDA SÃO JOSÉ	0:31:4	-60:27:58
8062000	POSTO AJURICABA	0:53:3	-62:37:20
8067001	SÃO FELIPE	0:22:16	-67:18:49
8067002	MALOCA SÃO TOMÉ (Com. Curiri)	0:10:33	-67:56:45
8068000	TARAQUÁ	0:7:53	-68:32:26
8069003	PARI CACHOEIRA	0:15:6	-69:47:4
8160001	FAZENDA PARANÁ	1:7:35	-60:23:58
8161001	CARACARAI	1:49:17	-61:7:25
8162000	MISSÃO CATRIMANI	1:45:0	-62:17:0
8166000	CUCUÍ	1:12:53	-66:51:8
8167000	MISSÃO IÇANA	1:4:27	-67:35:36
8168000	TUNUI	1:23:20	-68:9:13
8260000	BOA VISTA	2:49:0	-60:39:0
8261000	FÉ E ESPERANÇA	2:52:15	-61:26:26
8263000	MISSÃO SURUCUCU	2:50:9	-63:38:30
8359000	BONFIM	3:22:42	-59:48:56
8360000	MALOCA DO CONTÃO	4:10:0	-60:31:44
8360002	FAZENDA PASSARÃO	3:12:28	-60:34:16
8361000	FAZENDA SÃO JOÃO	3:39:39	-61:23:2
8361001	BOQUEIRÃO	3:17:26	-61:17:17
8361004	COLÔNIA DO TAIANO	3:17:14	-61:5:18
8363000	UAICÁS	3:32:59	-63:10:9
8460001	VILA SURUMU	4:11:46	-60:47:38
8461000	NOVA ESPERANÇA/MARCO BV-8	4:27:57	-61:8:34
<b>Código</b>	<b>Nome das EF</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
14428000	VILA CONCEIÇÃO - MONTANTE	0:13:39	-63:59:18
14488000	UAICÁS	3:32:59	-63:10:9
14495000	FAZENDA CAJUPIRANGA	3:26:17	-61:2:12
14526000	BONFIM	3:22:52	-59:48:40
14690000	MUCAJAÍ	2:28:17	-60:55:4
14845000	FAZENDA SÃO JOSÉ	0:31:4	-60:27:58
14850000	BASE ALALAUÍ	-0:51:31	-60:31:12
14110000	CUCUÍ	1:12:55	-66:51:9

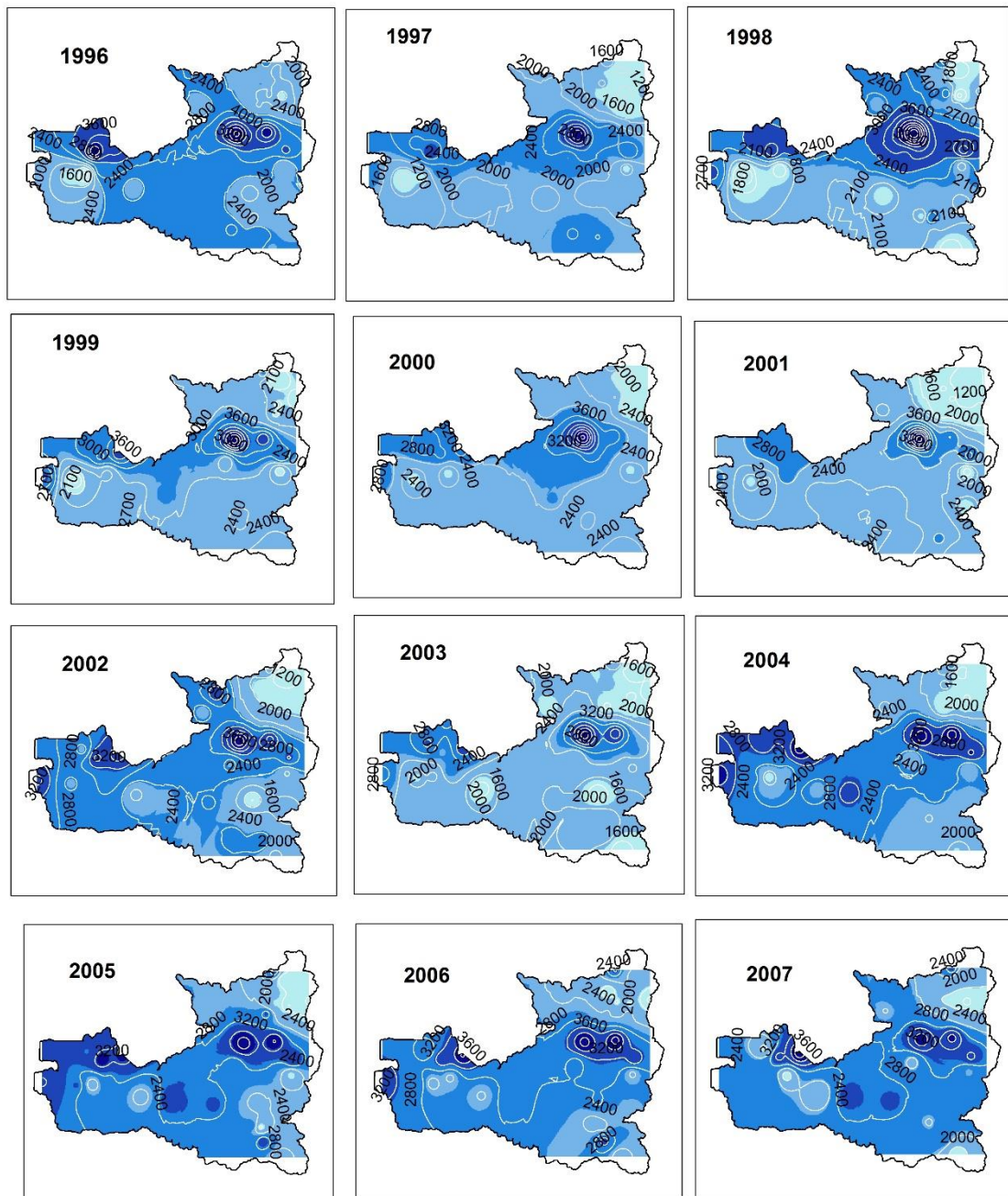
APÊNDICE II: ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E FLUVIOMÉTRICAS DA SUB BACIA DO RIO SOLIMÕES.

<b>Código</b>	<b>Nome das EP</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
166000	ACANAUI	-1:49:16	-66:36:0
362002	BADAJÓS	-3:25:6	-62:40:43
363000	BARRO ALTO - SÃO RAIMUNDO DO IPIXUNA	-3:52:30	-63:47:9
268000	BOA UNIÃO	-2:52:50	-68:47:55
770000	ENVIRA	-7:25:41	-70:1:21
465000	ESTIRÃO DA SANTA CRUZ	-4:17:32	-65:12:6
470002	ESTIRÃO DO REPOUSO	-4:23:0	-70:58:0
771001	FAZENDA PARANACRE	-7:57:4	-71:28:56
366000	FORTE DAS GRAÇAS	-3:38:29	-66:6:11
972000	FOZ DO BREU	-9:24:6	-72:42:9
670000	FOZ DO GREGÓRIO	-6:48:0	-70:39:0
466001	GAVIÃO	-4:50:21	-66:51:12
771000	IPIXUNA	-7:3:3	-71:41:3
165000	MARAÃ	-1:51:40	-65:35:26
568001	NOVA COLOCAÇÃO CAXIAS	-5:22:51	-68:59:54
572000	PALMEIRAS DO JAVARI	-5:8:15	-72:48:49
266004	PORTO ANTUNES	-2:53:25	-66:56:57
471000	SANTA MARIA	-4:34:46	-71:24:47
369000	SANTA RITA DO WEIL	-3:34:23	-69:22:15
367000	SANTO ANTÔNIO DO IÇÁ	-3:6:6	-67:56:8
668000	SANTOS DUMONT	-6:26:30	-68:14:38
368001	SÃO PAULO DE OLIVENÇA	-3:27:25	-68:54:43
265000	SÃO PEDRO	-2:21:0	-65:7:0
772002	SERINGAL BOA FÉ	-7:14:9	-72:20:1
563000	SERINGAL MOREIRA	-5:6:33	-63:59:5
773000	SERRA DO MOA	-7:26:8	-73:39:8
669001	SOLEDADE	6:37:0	-69:8:0
872000	THAUMATURGO	-8:56:7	-72:47:6
169000	VILA BITTENCOURT	-1:23:41	-69:25:42
567001	XIBAUA	-5:53:37	-67:51:25
<b>Código</b>	<b>Nome das EF</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
10200000	PALMEIRAS DO JAVARI	-5:8:20	-72:48:49
10500000	ESTIRÃO DO REPOUSO	-4:20:27	-70:54:20
10910000	LADÁRIO- JUSANTE	-4:35:1	-70:15:52
11400000	SÃO PAULO DE OLIVENÇA	-3:26:23	-68:45:46
11444900	IPIRANGA NOVO	-2:55:47	-69:41:35
12370000	THAUMATURGO	-8:56:45	-72:47:4
12390000	PORTO WALTER	-8:16:2	-72:44:28
12640000	SERINGAL SANTA HELENA	-8:41:9	-70:33:4
12680000	ENVIRA	-7:25:41	-70:1:21
12700000	SANTOS DUMONT	-6:26:25	-68:14:46
12840000	GAVIÃO	-4:50:21	-66:51:2
12845000	VILLA BITTENCOURT	-1:23:41	-69:25:42
12870000	BARREIRINHA	-2:6:1	-66:25:1
13150000	ITAPÉUA	-4:3:28	-63:1:40

## APÊNDICE III: ISOIETAS DA SUB BACIA DO RIO NEGRO.

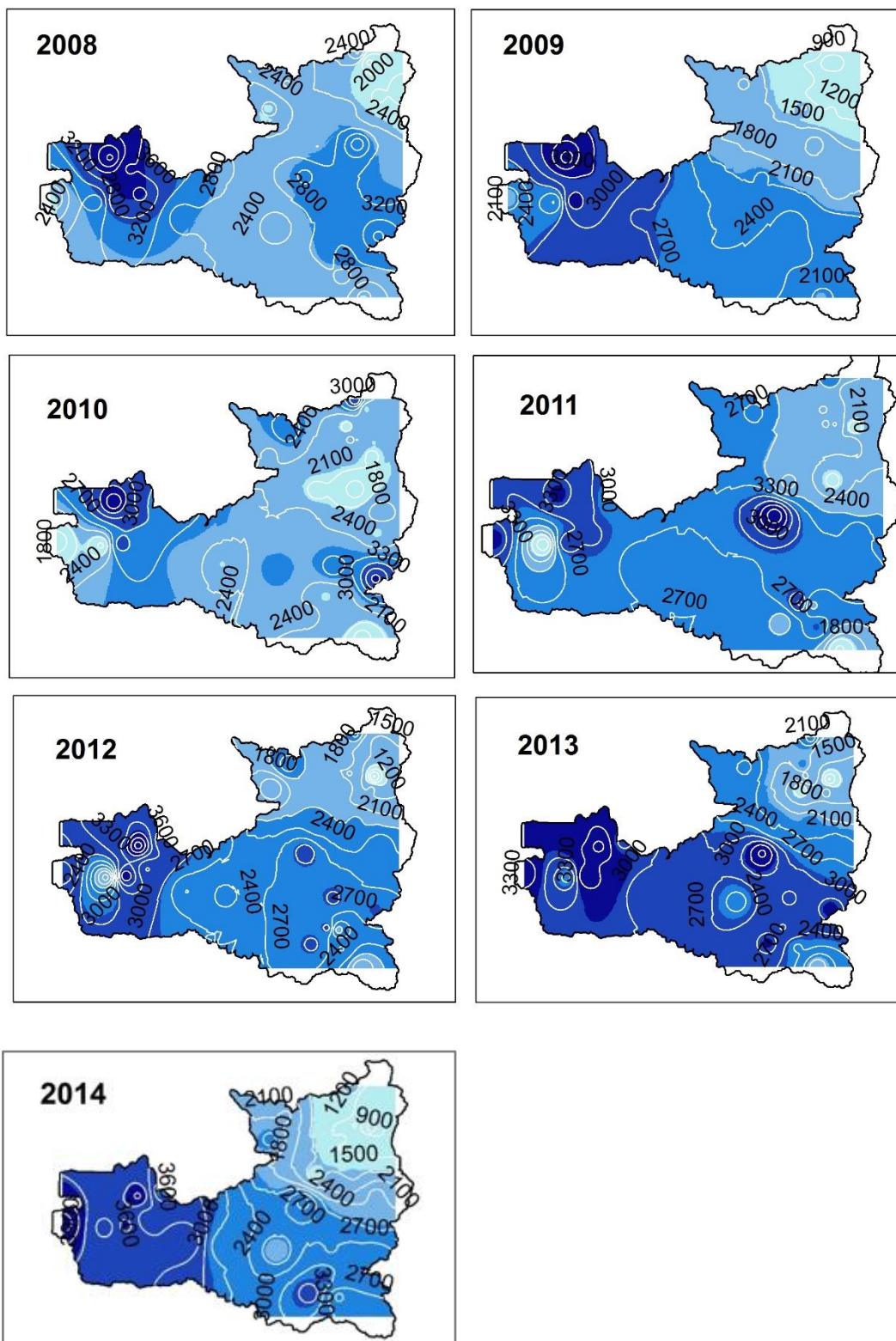


## APÊNDICE III- CONTINUA

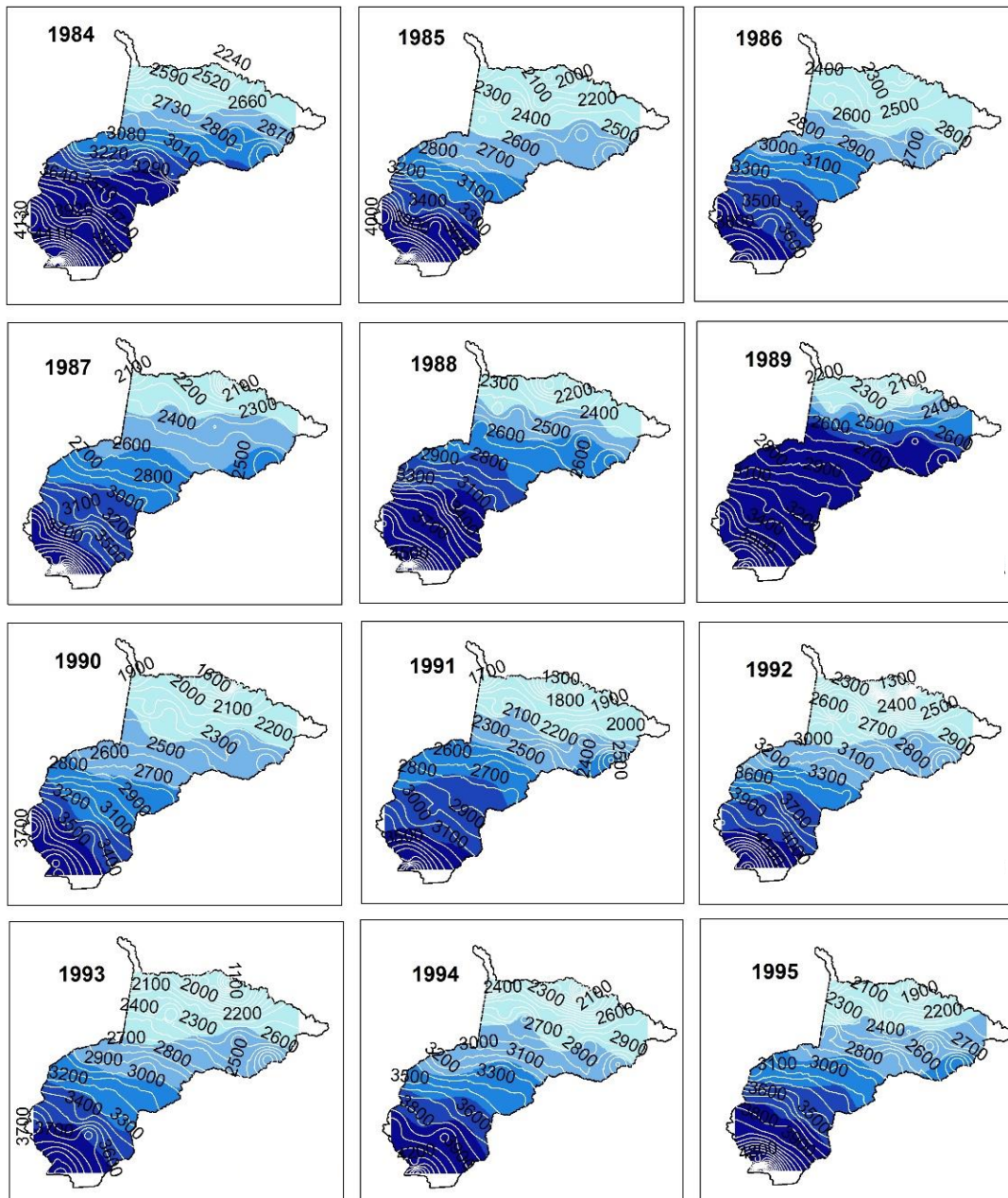




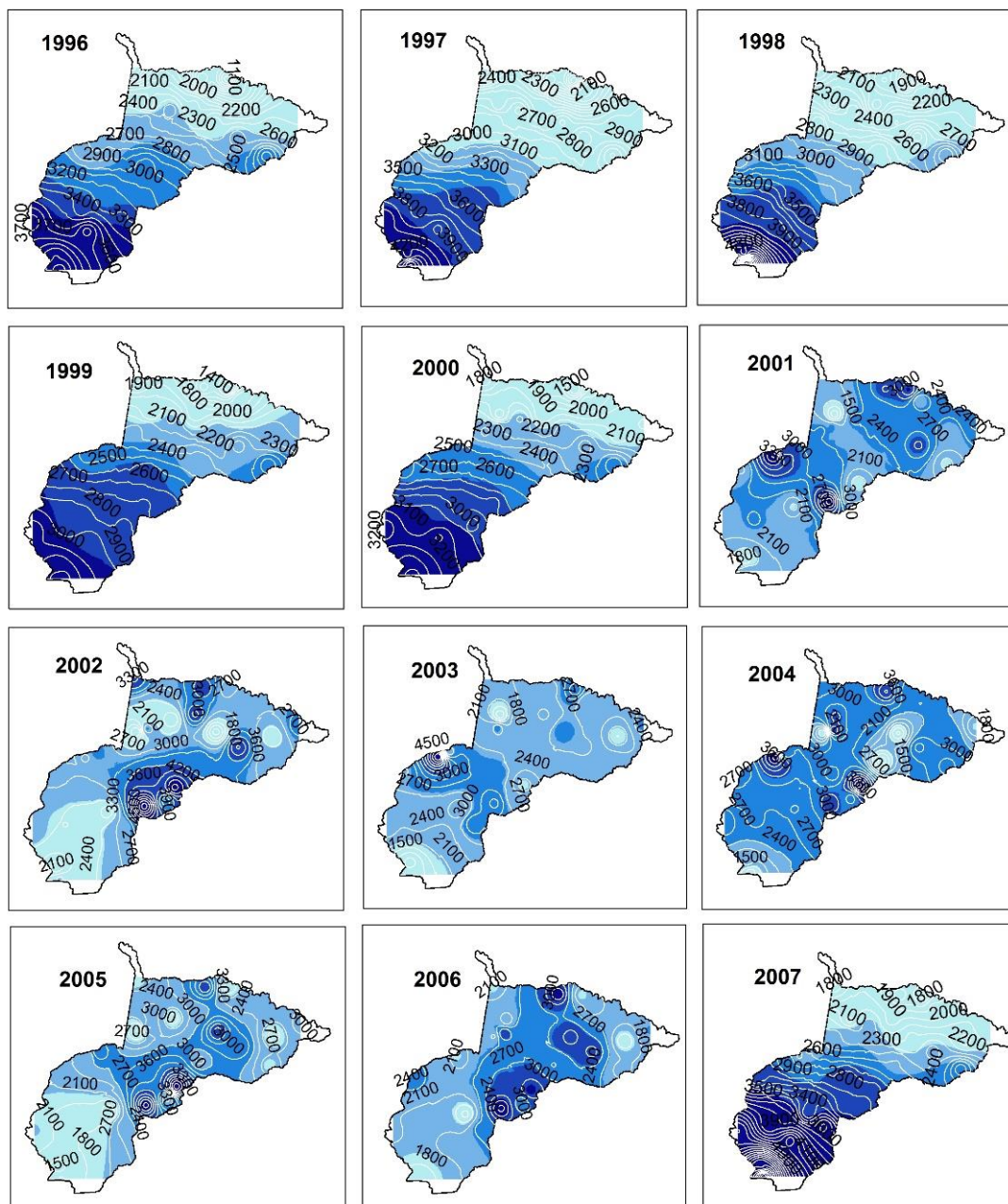
## APÊNDICE III- CONTINUA



## APÊNDICE IV: MAPAS DE ISOIETAS DA SUB BACIA DO RIO SOLIMÕES.



## APÊNDICE IV - CONTINUA



## APÊNDICE IV - CONTINUA

