



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BARRAGENS E
GESTÃO AMBIENTAL

DENILSON FREITAS ALMEIDA

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA DA REGIÃO DA UHE –
TUCURUÍ/PA NO PERÍODO OPERACIONAL (1988-2017).**

**TUCURUÍ – PA
2020**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZONICO EM ENGENHARIA
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BARRAGENS E
GESTÃO AMBIENTAL

DENILSON FREITAS ALMEIDA

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA DA REGIÃO DA UHE –
TUCURUÍ/PA NO PERÍODO OPERACIONAL (1988-2017).**

Dissertação de defesa apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragens e Gestão Ambiental do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia da Universidade Federal do Pará, como requisito avaliativo para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Barragens e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara.

**TUCURUÍ – PA
2020**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZONICO EM ENGENHARIA
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BARRAGENS E
GESTÃO AMBIENTAL

DENILSON FREITAS ALMEIDA

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA DA REGIÃO DA UHE –
TUCURUÍ/PA NO PERÍODO OPERACIONAL (1988-2017).**

Aprovada em 30 de janeiro de 2020.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara – Orientador

Prof. Dr. Fernanda Pereira Gouveia – PEBGA/UFPA – Examinador Interno

Prof. Dr. Luís Gustavo de Lima Sales PPGSA/UFPA – Examinador Externo

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

A447a Almeida, Denilson Freitas
Análise da variabilidade pluviométrica da região do lago
da UHE-Tucuruí/PA no período operacional (1988-2017) /
Denilson Freitas Almeida. — 2020.
103 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental, Núcleo de
Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, Universidade
Federal do Pará, Tucuruí, 2020.

1. Variabilidade pluviométrica. 2. Mapas de isoietas.
3. precipitação. 4. Lago UHE-Tucuruí/PA. I. Título.

CDD 620.86

“Dedico este projeto de pesquisa ao meu pai, Olivaldo da Cruz Almeida (in memoriam), barrageiro que em duas etapas, contribuiu para a construção desta barragem, e meu irmão Dilson Carlos Freitas Almeida (in memoriam), que sempre esteve ao meu lado, incentivando e compartilhando amor.”

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me ofertar saúde e força para atingir tal vitória. Obrigado Senhor, sem você eu não conseguiria!

A minha família, meus pais e irmãos por me apoiarem, incentivarem nessa jornada, em especial, a minha mãe, Ana Lucia, pelo apoio incondicional.

Aos alunos do PEBGA, tanto da primeira turma, onde ingressei como ouvinte, quanto aos da segunda turma, onde ingressei como mestrando.

Agradeço ao meu nobre amigo e companheiro de muitos anos da vida acadêmica, Renan Aguiar, por compartilhar comigo vários momentos de luta, incentivo e parceria nos estudos e na conclusão do curso.

Agradeço aos amigos da vida pessoal, que sempre me incentivaram e apoiaram, com reconhecimento dos meus esforços.

Aos professores Lindemberg Lima Fernandes e Luís Gustavo de Lima Sales por comporem as bancas e pelas suas contribuições.

À Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia (NDAE), Campus Universitário de Tucuruí (CAMTUC) e seus professores, por me oportunizarem ingressar no programa.

E para finalizar, agradeço imensamente em especial ao professor, orientador, amigo, Doutor Júnior Ishihara, por me acolher no programa, me incentivar na pesquisa, me oferecer bons estudos, dedicar seu tempo a compartilhar comigo conhecimento, que para mim, é algo gratificante e fundamental para minha formação acadêmica, profissional e pessoal. Serei eternamente grato ao senhor. Obrigado professor.

RESUMO

A região hidrográfica Tocantins – Araguaia se tornou uma grande potência na geração de energia hidráulica com a instalação de grandes hidrelétricas e a formação de diversos lagos artificiais, acarretando em alterações hidrológicas e possíveis alterações no microclima e nos índices pluviométricos. A análise do comportamento pluviométrico na bacia hidrográfica se torna de fundamental importância para o gerenciamento dos recursos hídricos. Com o intuito de subsidiar a gestão e o planejamento dos recursos hídricos na região, foi realizada uma análise da variabilidade pluviométrica de forma espaço-temporal na região do Lago da UHE-Tucuruí/PA, sendo a mesma dividida em 4 quadrantes (NE, NO, SO e SE) e 12 subáreas (NE50, NE100, NE200, NO50, NO100, NO200, SO50, SO100, SO200, SE50, SE100 e SE200), considerando o período de 30 anos (1988-2017), a fim de se analisar o comportamento das chuvas na região. Para tanto, foram coletados e analisados dados de 30 estações pluviométricas que constam no banco de dados da plataforma da ANA (base HidroWeb), dentro de um raio de até 200 km da hidrelétrica. Com o auxílio do software QGIS 3.0.3, foram traçados os mapas de isoietas pelo método da interpolação de krigagem ordinária linear, representando as alturas das laminais d'água. Os resultados apontaram variabilidade na distribuição espacial e temporal do volume total precipitado no referido período de estudo, identificados nos resultados de desvio padrão e variância, além do resultado da tendência das chuvas pelos testes não paramétricos de Mann Kendall. Os índices pluviométricos apresentaram decréscimos, ao analisar toda a área de estudo, com precipitação média de 2157,73 mm. Houve maior decréscimo de precipitação na parte Sul da região, que apresentou menores índices pluviométricos. Já nas regiões ao Norte, onde encontra-se o lago artificial formado pela barragem de Tucuruí, houveram maiores médias de chuvas. Os resultados de Mann-Kendall (MK) apresentaram maior decréscimo nos quadrantes da microescala (próximo ao barramento), em especial na NO50, que apresentou significativa tendência de decréscimo das chuvas na região de estudo ($Z=-2,24$).

Palavras Chaves: Variabilidade pluviométrica. Precipitação. Mapas de isoietas. Lago UHE Tucuruí-PA

ABSTRACT

The Tocantins - Araguaia hydrographic region has become a major power in the generation of hydraulic energy with the installation of large hydroelectric plants and the formation of several artificial lakes, resulting in hydrological changes and possible changes in the microclimate and rainfall. The analysis of rainfall behavior in the hydrographic basin becomes of fundamental importance for the management of water resources. In order to subsidize the management and planning of water resources in the region, an analysis of the spatial-temporal rainfall variability was carried out in the Lake HPP-Tucuruí / PA region, being divided into 4 quadrants (NE, NO, SO and SE) and 12 sub-areas (NE50, NE100, NE200, NO50, NO100, NO200, SO50, SO100, SO200, SE50, SE100 and SE200), considering the period of 30 years (1988-2017), in order to analyze the behavior of the rains in the region. To this end, data were collected and analyzed from 30 pluviometric stations that appear in the database of the ANA platform (HidroWeb base), within a radius of up to 200 km from the hydroelectric plant. With the aid of the QGIS 3.0.3 software, the isohyets maps were drawn using the linear ordinary kriging interpolation method, representing the heights of the water slides. The results showed variability in the spatial and temporal distribution of the total volume precipitated in the referred period of study, identified in the results of standard deviation and variance, in addition to the result of the trend of rains by Mann Kendall's non-parametric tests. The pluviometric indexes showed decreases, when analyzing the entire study area, with an average rainfall of 2157.73 mm. There was a greater decrease in precipitation in the southern part of the region, which showed lower rainfall. In the northern regions, where the artificial lake formed by the Tucuruí dam is found, there were higher rainfall averages. The Mann-Kendall (MK) results showed a greater decrease in the quadrants of the microscale (close to the bus), especially at NO50, which showed a significant trend of decreasing rainfall in the study region ($Z = -2.24$).

Key words: Rainfall variability. Precipitation. Maps isohyet. Lake UHE Tucuruí-PA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição de Água na Terra.....	17
Figura 2 - Ilustração das Etapas do Ciclo Hidrológico.	25
Figura 3 - Modelo de Pluviômetro e Pluviógrafo.....	29
Figura 4 - Massas de ar que atuam no Brasil nas estações de inverno e verão.	30
Figura 5 - Efeitos Climáticos Globais ocasionados pelos Fenômenos El Niño nos período mais chuvoso (Dezembro, Janeiro, Fevereiro).	34
Figura 6 - Efeitos Climáticos Globais ocasionados pelo Fenômeno La Niña nos período mais chuvoso (Dezembro, Janeiro, Fevereiro).	35
Figura 7 - Superfícies Vertentes e rede de drenagem de uma bacia hidrográfica.	42
Figura 8 - Divisão Hidrográfica das Sub-Bacias da Bacia Hidrográfica Tocantins – Araguaia.	44
Figura 9 - Usina Hidrelétrica de Tucuruí - PA.....	46
Figura 10 - Mapa Hidrográfico do Lago da UHE Tucuruí/PA.	48
Figura 11 - Mapa da Vegetação do Lago da UHE Tucuruí/PA.	49
Figura 12 - Mapa de Solos do Lago da UHE Tucuruí/PA.	50
Figura 13 - Exemplos de resultados da análise de consistência do Posto Y tendo como base o posto X (totais precipitados acumulados).	55
Figura 14 - Representação da bacia hidrográfica como um sistema aberto. ...	57
Figura 15 - Áreas de influência de cada posto pluviométrico após o traçado de mediatriz do segmento de reta entre postos.	58
Figura 16 - Exemplo de isoietas mensais, com valores em mm.	59
Figura 17 Fluxograma metodológico para análise da chuva na região da UHE- Tucuruí/PA.....	64
Figura 18 - Interface de Consulta do HIDROWEB.....	66
Figura 19 - Interface do software Hidro 1.4	67
Figura 20 - Subdivisão proposta para a área de estudo	71
Figura 21 - Estações pluviométricas da região de estudo.	74
Figura 22 - Estações Pluviométricas da Região de Influência do Lago da UHE Tucuruí – PA.....	79
Figura 23 - Mapa de isoietas da região do Lago da UHE-Tucuruí-PA.....	80

Figura 24 - Distribuição da precipitação anual da região da UHE-Tucuruí/PA de 1988 a 2017.....	81
Figura 25 - Representação de tendência de Mann-Kendall nas subáreas da região de estudo.	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Usos da água.....	23
Tabela 2 - Estudos locais (Região da UHE-Tucuruí-PA).....	36
Tabela 3 - Estudos Regionais (Estado do PA).	37
Tabela 4 - Estudos nacionais (Brasil).....	37
Tabela 5 - Estudos internacionais.....	39
Tabela 6 - Estações pluviométricas encontradas na região de estudo.	75
Tabela 7 - Estações pluviométricas utilizadas na área de estudo.	77
Tabela 8 - Estações pluviométricas de acordo com a série de dados anuais..	78
Tabela 9 - Volume anual de chuvas.....	82
Tabela 10 - Média de precipitação ocorrida nos quadrantes.	84
Tabela 11 - Análise de tendência nas subáreas dos quadrantes NE e NO.	86
Tabela 12 - Análise de tendência nas subáreas dos quadrantes SO e SE.....	87

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Série de dados históricos.	76
Gráfico 2 - Precipitação total anual.	83
Gráfico 3 - Média de precipitação anual por quadrantes.	85

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APA	Área de Proteção Ambiental
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNSB	Conselho Nacional de Segurança de Barragens
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPTEC	Centro de Previsão e Estudos Climáticos
DP	Desvio Padrão
DT	Descontinuada Tropical
ELETOBRAS	Centras Elétricas do Brasileiras
ELETRONORTE	Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A
ELN	ELETRONORTE
EM	Equador Meteorológico
ENOS	<i>El Niño</i> / Oscilação Sul
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	Inverso do Quadrado das Distâncias
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
KO	Krigagem Ordinária
KU	Krigagem Universal
LI	Linha de Instabilidade
MED	Mediana
MMA	Ministério de Meio Ambiente
NE	Nordeste
NO	Noroeste
PA	Pará
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos

PNSB	Programa Nacional de Segurança de Barragens
PRCP_MD	Precipitação média
RDS	Reserva de Desenvolvimento Sustentável
RHTA	Região Hidrográfica Tocantins Araguaia
S	Sul
SNISB	Sistema Nacional de Informações Sobre Segurança de Barragens
SE	Sudeste
SO	Sudoeste
SEMAS	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade
SIG's	Sistemas de Informações Geográficas
SIN	Sistema Interligado Nacional
TSM	Temperatura Superfície do Mar
UHE	Usina Hidrelétrica
UHE's	Usinas Hidrelétricas
VCAN	Vórtices Ciclônicos dos Altos Níveis
W	Sul
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZIC	Zona Intertropical de Convergência
ZPVS	Zonas de Proteção da Vida Silvestre

LISTA DE SÍMBOLOS

C	Carbono
Cl	Cloro
ha	Hectare
Km	Quilômetro
Km ²	Quilômetro quadrado
Km ³	Quilômetro cúbico
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
Mg ₂	Magnésio
mm	Milímetro
MW	Megawatts
Na	Cálcio

SUMÁRIO

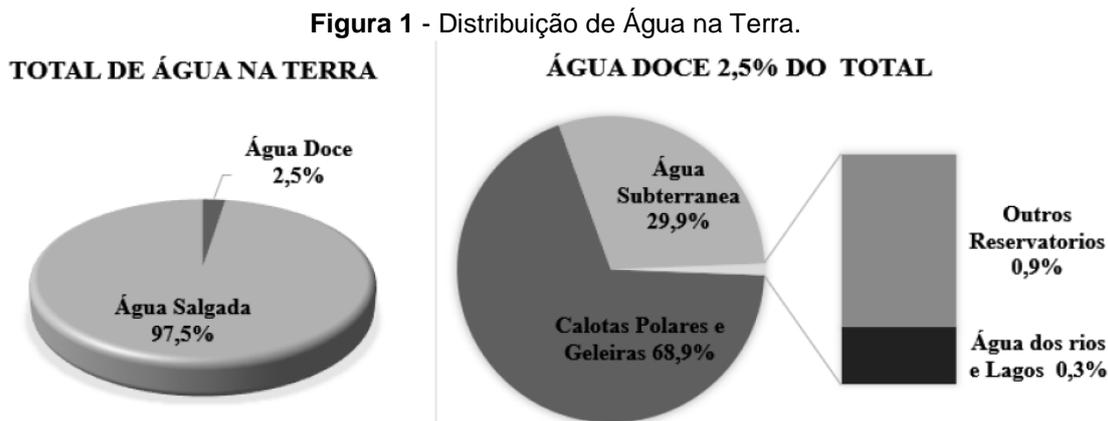
1	INTRODUÇÃO.....	17
2	OBJETIVOS	21
2.1	OBJETIVO GERAL	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3	REFERENCIAL TEÓRICO	22
3.1	RECURSOS HÍDRICOS	22
3.1.1	Uso Múltiplos da Água	22
3.2	CICLO HIDROLÓGICO	24
3.3	PRECIPITAÇÃO	26
3.3.1	Medição de Chuvas	28
3.4	VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA	29
3.5	CLIMATOLOGIA	31
3.5.1	Sistemas Meteorológicos.....	31
1.1.1.1	Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)	31
1.1.1.2	Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).....	32
3.5.2	Fenômenos Meteorológicos.....	32
1.1.1.3	El Niño	33
1.1.1.4	La Niña	34
3.6	BARRAGENS – ALTERAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS.....	35
3.7	BACIA HIDROGRÁFICA	41
3.7.1	Bacia Hidrográfica Tocantins – Araguaia	43
3.7.2	Características Climáticas	45
3.8	UHE TUCURUÍ – PA.....	46
3.8.1	Características Hidrográficas	47
3.8.2	Características da vegetação	48
3.8.3	Características do Solo.....	49
3.8.4	Características Climáticas	50
3.9	TRATAMENTO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS	51
3.9.1	Correção de Dados Pluviométricos.....	51
3.9.2	Análise de Consistência	54
3.9.3	Métodos de Testes Estatísticos Não-paramétricos	55
3.9.4	Estatística Aplicada a Análise Pluviométrica.....	56

3.9.5	Métodos de Interpolação	60
3.9.6	Análise Variográfica.....	62
4	METODOLOGIA.....	64
4.1	COLETA E SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS... 65	
4.2	ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA CHUVA NA REGIÃO DA UHE-TUCURUÍ-PA	68
4.3	DETERMINAÇÃO DO VOLUME PRECIPITADO	70
4.4	ANÁLISE DA VARIABILIDADE TÊMPORO-ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO DE ESTUDO.....	71
5	RESULTADOS E DISCURSÕES.....	74
5.1	SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS.....	74
5.2	OBTENÇÃO DOS MAPAS DE ISOIETAS.....	79
5.3	VOLUME PRECIPITADO NA REGIÃO DE ESTUDO.....	82
5.4	VARIABILIDADE TÊMPORO-ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO NOS 12 QUADRANTES DA REGIÃO DE ESTUDO	83
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	89
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

1 INTRODUÇÃO

A importância da água na história da humanidade é identificada desde o início das primeiras civilizações que se desenvolveram às margens de corpos d'água, como rios e lagos. A água, é recurso natural indispensável para a manutenção da vida, no entanto apresenta conflitos crescentes pelo seu uso, devido sua distribuição e disponibilidade irregular.

Cerca de 97,5% do volume total de água na Terra estão nos oceanos (água salgada), sendo apenas 2,5% do total constituído por água doce (SHIKLOMANOV, 1998). Por sua vez, a água doce é encontrada principalmente sob a forma de geleiras, que representam 68,7% do total de água doce. Considerando que as águas doces contidas em rios e lagos constituem as formas mais acessíveis ao uso humano e de ecossistemas, tem-se um percentual muito pequeno de água disponível – em torno de 0,27% da água doce o que corresponde a 0,007% do volume total de água (GLEICK, 1993), conforme apresenta a Figura 1.



Fonte: Adaptado de Shiklomanov (1998).

A quantidade de água doce no mundo está estimada em 34,6 milhões de km³, porém somente cerca de 30% estão disponíveis nos rios, lençóis subterrâneos, lagos, pântanos, umidade do solo e no vapor atmosférico, que podem ser utilizados pela vida vegetal e animal nas terras emersas (GOMES, 2009). Segundo Rebouças (2006), de todo o volume de água doce mundial, somente o Brasil detém aproximadamente 12% das reservas, sendo que

aproximadamente 80% estão localizadas na Amazônia, que apesar de ser considerada a mais privilegiada em recursos hídricos, é relegada à condição periférica às políticas públicas de manutenção e preservação deste recurso, tanto no aspecto quantitativo quanto qualitativo.

A combinação da ação antrópica e a ocorrência de desequilíbrios aos processos hidrológicos, especialmente de precipitação, podem trazer consequências drásticas à sociedade, interferindo nas atividades econômicas, principalmente nos países em desenvolvimento, nos quais dependem fortemente da agricultura e da produção energética. Assim as variações nas precipitações expõem as atividades humanas a altos riscos e insucessos (SOUSA, 2006).

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

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

A Amazônia brasileira tem um grande potencial hídrico para geração de energia, graças às quantidades enormes de água que passam pela região e às quedas topográficas significativas nos afluentes do Rio Amazonas, quando esses descem a partir do Escudo Brasileiro (na parte sul da região) ou do Escudo Guianenses (no lado norte) (FEARNSIDE, 2015).

Nos últimos anos a região tem sido motivo de discussões devido sua importância para o equilíbrio ambiental e climático. A Região Hidrográfica Amazônica ocupa 45% do território nacional. Possui uma extensa rede de rios com grande abundância de água, concentrando 81% da disponibilidade de

águas superficiais do país (ANA, 2018). Sendo a Região Hidrográfica Tocantins – Araguaia é a segunda maior em termos de vazão (ANA, 2018).

Vale ressaltar que a região hidrográfica é de grande potencial energético, segundo a Eletrobrás (2006), é de 28.000 MW, dos quais 12.200 MW já estão aproveitados, com destaque para as usinas de Serra da Mesa (GO), Cana Brava (GO) e Luís Eduardo Magalhães (Lajeado) (TO), além de Tucuruí, que foi por décadas objeto de discussões e debates sobre a viabilidade de sua instalação e seus possíveis impactos socioambientais, além de ser uma área estratégica economicamente para o país.

A hidrelétrica de Tucuruí, concluída no ano de 1984, no rio Tocantins, Estado do Pará, foi a primeira na bacia do Tocantins-Araguaia que cobre grande parte do Sul do Pará e Norte do Mato Grosso (Junk & de Mello, 1990). Em 1975 iniciou-se a construção da primeira de duas fases, com energia sendo produzida em escala comercial a partir de 1984. Em 1998 foram iniciadas as obras de ampliação, a segunda fase, com a construção da segunda casa de força, concluída em 2007.

Dias et al. (1999) destacam como maior dificuldade para estudos de impactos na precipitação devido a formação de lagos, o tamanho limitado das séries temporais disponíveis antes e depois da criação do lago, o que também ocorre na região do lago da hidrelétrica de Tucuruí.

Fisch et al. (1990) realizaram estudo para analisar os padrões sazonais de temperatura, velocidade do vento, distribuição da precipitação local e fluxo de radiação solar, nos períodos de dezembro de 1982 a dezembro de 1986 e constataram uma evapotranspiração média maior que nos registros encontrados na literatura.

Guidon (1991) realizou um estudo com objetivo analisar as variações climáticas ocorridas na área do entorno da UHE Tucuruí, tendo como parâmetros: a circulação dos ventos, precipitação, umidade do ar e temperatura do ar e analisando dados das séries históricas dos períodos de pré e pós-enchimento do reservatório, onde os resultados obtidos a partir de testes estatísticos indicaram que a presença de um grande lago artificial pode alterar a circulação do ar e o clima das áreas próximas ao lago.

Ferreira et al (2002) analisaram a influência de fenômenos meteorológicos de grande escala sobre o comportamento da precipitação, temperatura do ar na cidade de Tucuruí, nos anos de 1997 a 1999 que foram considerados os anos de ocorrência de *El Niño* e *La Niña*. Os resultados indicaram a ocorrência de duas estações distintas, uma mais quente (outubro e novembro) e outra menos quente (fevereiro e março), e nos anos de ocorrência de *El Niño* as temperaturas apresentavam um aumento e na *La Niña* uma diminuição da temperatura. Com relação a precipitação observou-se a ocorrência de um período chuvoso (janeiro a maio) e um período menos chuvoso (junho a dezembro) e além da influência positiva e negativa dos sistemas atmosféricos supracitados de outros sistemas meteorológicos atuantes na região.

Sanches et al (2005) utilizaram dados diários de precipitação nos períodos de pré e pós-enchimento das cidades de Tucuruí e Marabá, analisando os totais mensais nas duas cidades e aplicando testes estatísticos de Fisher e Man-Whitney para verificar se com a formação do lago alterou o microclima da região. Os resultados encontrados por eles foram um leve aumento do número de dias com chuvas leves no final do período seco após a formação do lago, que poderia estar relacionado com a alta evaporação do lago. Além disso, não foi verificado modificações no início ou no final da estação chuvosa.

Diante da importância de estudos do comportamento da precipitação, este trabalho objetiva analisar a variabilidade tempo-espacial das chuvas ocorridas no período de 30 anos (1987 a 2017) na região da UHE-Tucuruí-PA, possibilitando que os resultados possam ser utilizados na montagem de cenários em outros estudos e projetos, assim como, para as tomadas de decisões, em especial para o planejamento e gestão dos recursos hídricos e do meio ambiente como um todo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a variabilidade pluviométrica espaço-temporal da região da UHE Tucuruí – PA no período de 30 anos (1988 – 2017).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral pretende-se realizar os seguintes objetivos específicos:

- Analisar temporalmente o volume e as ocorrências de precipitações na região da UHE – Tucuruí-PA;
- Sistematizar a precipitação anual da área de estudo para elaboração de mapas de curvas de isoietas;
- Analisar a dinâmica espacial da precipitação e a sua variabilidade na região da UHE – Tucuruí-PA, no período de estudo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 RECURSOS HÍDRICOS

Por ser um recurso renovável e existir em abundância na natureza, há a falsa impressão de que a água é um recurso inesgotável. Não obstante, a distribuição dos recursos hídricos é bastante desigual entre países e mesmo entre regiões de um país, o que, associado aos problemas ambientais e ao desperdício no seu uso, tem levado ao aumento de sua escassez em alguns locais do planeta (VIEIRA, 2008).

Atualmente, a preocupação de grande parte da sociedade com a disponibilidade e a qualidade da água (GARRIDO, 2000) decorre pelo fato de que, por mais abundante que pareça este recurso, não é rara também sua escassez, tanto pela ocorrência de períodos prolongados de seca como pelo lançamento de efluentes domésticos e industriais nos corpos receptores (BARBOSA, 2007).

Os principais problemas hídricos encontrados nos dias atuais têm forte relação com os inúmeros conflitos pelo seu uso, isso ocorre devido sua irregular distribuição quali e quantitativo. A distribuição dos recursos hídricos é bastante desigual entre países e mesmo entre regiões de um país, o que, associado aos problemas ambientais e ao desperdício no seu uso, tem levado ao aumento de sua escassez em alguns locais do planeta (VIEIRA, 2008).

A nível global, para Salgueiro (2005) este cenário de escassez pode ser amenizado com maiores incentivos dos governantes na área de pesquisas, visando a aplicação de novas alternativas acompanhadas de tecnologias mais avançadas.

3.1.1 Uso Múltiplos da Água

A distribuição dos locais onde a água está disponível, nem sempre está em sintonia com a distribuição dos locais onde existem necessidades relacionadas com os recursos hídricos, podendo, assim, originar cenários de abundância de água ou de degradação dos corpos hídricos.

Os setores usuários das águas são diversos (Tabela 1), utilizando-as para diferentes fins. Dependendo do uso, há a necessidade de derivação da água e ocorre um consumo (uso consuntivo), retornando determinada parcela da água aos corpos d'águas. Outros usos, como a navegação, por exemplo, são considerados não consuntivos, pois não alteram a quantidade deste recurso na natureza.

Tabela 1 - Usos da água.

Forma	Finalidade	Tipo de Uso	Uso Consuntivo	Requisitos de Qualidade	Efeitos nas águas
Com derivação de águas	abastecimento urbano	abastecimento doméstico, industrial, comercial e público	baixo, de 10%, sem contar as perdas nas redes	altos ou médios, influenciando no custo do tratamento	Poluição orgânica e bacteriológica
	abastecimento industrial	sanitário, de processo, incorporação ao produto, refrigeração e geração de vapor	médio, de 20%, variando com o tipo de uso e de indústria	médios, variando com o tipo de uso	Poluição orgânica, substâncias tóxicas, elevação de temperatura
	irrigação	irrigação artificial de culturas agrícolas segundo diversos métodos	alto, de 90%	Médios, dependendo do tipo de cultura	Carreamento de agrotóxicos e fertilizantes
	abastecimento	doméstico ou para dessedentação de animais	baixo, de 10%	Médios	Alterações na qualidade com efeitos difusos
	aquicultura	estações de piscicultura e outras	baixo, de 10%	Altos	Carreamento de matéria orgânica
sem derivação das águas	geração hidroelétrica	acionamento de turbinas hidráulicas	perdas por evaporação do reservatório	baixos	alterações no regime e na qualidade da água
	navegação fluvial	manutenção de calados mínimos e eclusas	não há	baixos	ançamento de óleo e combustíveis
	recreação, lazer e harmonia paisagística	natação e outros esportes com contato direto, como iatismo e motonáutica	lazer contemplativo	altos, especialmente recreação de contato primário	não há
	pesca	com comerciais de espécies naturais ou introduzidas através de estações de piscicultura	não há	altos, nos corpos d'água, correntes, lagos, ou reservatórios artificiais	alterações na qualidade após mortandade de peixes
	assimilação de esgotos	diluição, autodepuração e transporte de esgotos urbanos e industriais	não há	não há	poluição orgânica, física, química e bacteriológica
	usos de preservação	vazões para assegurar o equilíbrio ecológico	não há	médios	melhoria da qualidade da água

Fonte: adaptado de Barth, 1987.

Conforme Lanna (2000), o equilíbrio entre utilização da água e a manutenção de suas condições naturais proporciona o consumo continuado dos recursos hídricos. Quando este balanço adequado não é conservado, enormes danos socioambientais surgem em virtude da então inexistência de algumas funcionalidades da água. Perante a legislação brasileira, está descrito em lei a obrigatoriedade de manter uma vazão que atenda a conservação e preservação do ecossistema aquático (PAULO, 2007).

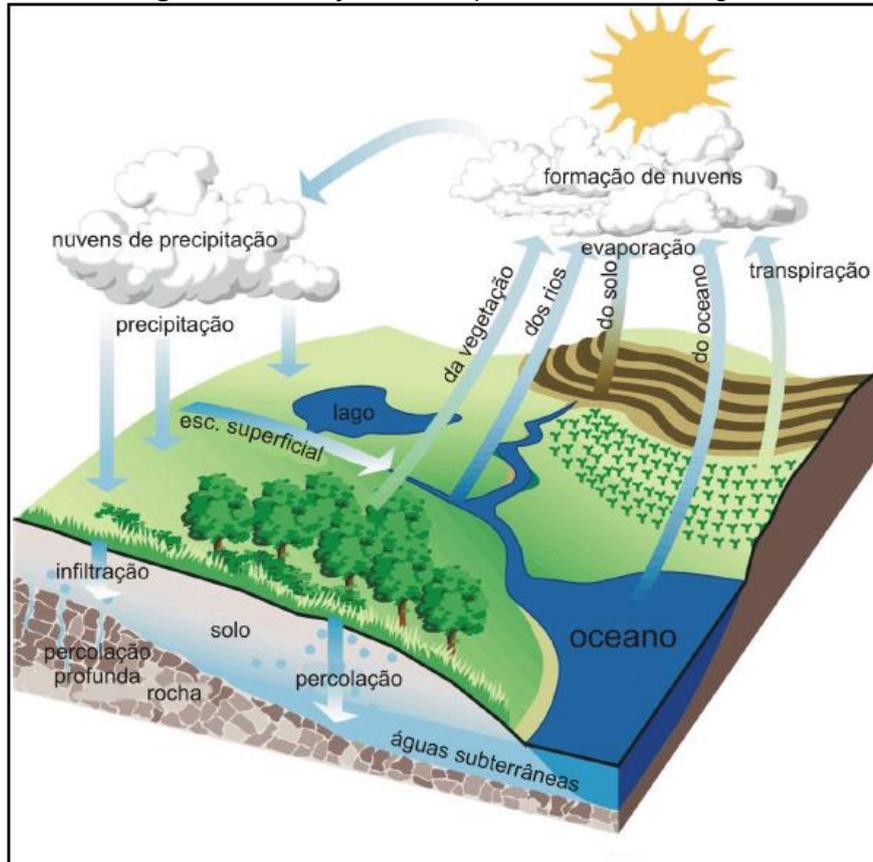
Segundo Lima (2014), o barramento da água são formas de intervenção antrópicas muito antigas. Suas construções têm trazido uma série de benefícios à sociedade, e por esta razão elas têm sido utilizadas ao longo dos milênios por várias civilizações e para diversos fins desde controle de secas e cheias, abastecimento de água para a população e indústria, irrigação, criação de vias navegáveis, lazer, piscicultura até geração de hidroeletricidade.

A instalação de hidrelétricas e seus respectivos reservatórios chama a atenção de vários pesquisadores, tanto os que tratam de impactos ambientais e sociais quanto da questão de engenharia das obras e produção de energia, dentre outros. Estudos referentes a essa temática são muito importantes no Brasil, por ser um país que tem sua política de geração de energia elétrica baseada quase que totalmente na hidroeletricidade (mais precisamente, mais de 60%), segundo Vichi e Mello (2003).

3.2 CICLO HIDROLÓGICO

Tucci (2007) define o ciclo hidrológico como sendo um fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, que é impulsionada fundamentalmente pela energia solar associada a gravidade e a rotação terrestre, conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2 - Ilustração das Etapas do Ciclo Hidrológico.



Fonte: Adaptado de EPA, 1998.

Para Paz (2004), o ciclo hidrológico pode ser descrito da seguinte forma:

- Ocorre evaporação da água dos oceanos e formação do vapor de água;
- Sob determinadas condições, o vapor precipita na forma de chuva, neve, granizo, etc (precipitação);
- Parte da precipitação não chega nem a atingir a superfície terrestre, sendo evaporada;
- Boa parte da precipitação atinge diretamente a superfície de lagos e oceanos, daí evaporando parcela;
- Da precipitação que atinge a superfície terrestre, uma parte é interceptada pela cobertura vegetal (interceptação), de onde parte evapora e parte acaba escorrendo até o solo;
- Da precipitação que chega ao solo, parcela infiltra sub-superficialmente (infiltração), e desta uma parte escoar até corpos d'água próximos, como rios e lagos (escoamento sub-superficial);

- Uma parte infiltrada percola atingindo os aquíferos (percolação), que escoam lentamente até rios e lagos (escoamento subterrâneo);
- Ainda quanto à parte da precipitação que atinge o solo, esta vai escoar superficialmente (escoamento superficial), sendo retida em depressões do solo, sofrendo infiltração, evaporação ou sendo absorvida pela vegetação. O “restante” do escoamento superficial segue para rios, lagos e oceanos, governada pela gravidade;
- A vegetação, que retém água das depressões do solo e infiltrações, elimina vapor d’água para a atmosfera (transpiração), através do processo de fotossíntese;
- A água que alcança os rios, seja por escoamento superficial, sub-superficial ou subterrâneo, ou mesmo precipitação direta, segue para lagos e oceanos, governada pela gravidade.

3.3 PRECIPITAÇÃO

A precipitação é um dos principais elementos climáticos na região tropical, pois além de influenciar no comportamento de outros elementos atmosféricos, tais como, umidade relativa do ar e temperatura do ar, a precipitação é a que melhor caracteriza as variabilidades climáticas da região (SOUSA *et al.*, 2015).

Quanto a classificação das precipitações, Villela & Mattos (1975), Salgueiro (2005) e Tucci (2007) estabelecem a seguinte divisão segundo a ascensão do ar úmido, caracterizando três principais tipos de chuvas:

- Convectiva: São caracterizadas por ocorrerem com grandes intensidades, curta duração, tendo ocorrência no geral em pequenas áreas. A sua ocorrência envolve o aquecimento da massa de ar que está localizada próxima a superfície quente do solo e dos oceanos, que passa a ficar menos denso, subindo para a atmosfera, onde a diminuição de sua temperatura provoca a condensação, e conseqüentemente dando início a precipitação.
- Frontal ou Ciclônica: São caracterizadas por serem normalmente de fraca a média intensidade e com longas durações, atingindo geralmente grandes áreas. Sua ocorrência se deve ao encontro de

massas de ar com diferentes características tanto de temperatura quanto de umidade (ar quente + ar frio), onde a massa de ar quente e úmida se sobrepõe a massa de ar fria e seca, ocasionando desta forma o processo de resfriamento adiabático, com a condensação da massa de ar, acarretando conseqüentemente a precipitação.

- Orográfica: Ocorrem em geral com intensidade fraca e com longa duração, concentrando-se em pequenas áreas localizadas próximas as arreiras de elevações topográficas (por exemplo, as montanhas) que acabam provocando uma convecção forçada, antecipando parte da precipitação que não conseguem ultrapassa-las. Em geral, as áreas localizadas do outro lado destas elevações apresentam-se áreas secas, pois recebem pouca precipitação devido ao fenômeno ocorrido neste tipo de precipitação.

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

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

Um fator importante no estudo pluviométrico é a extensão da série de dados de informações de uma estação pluviométrica, pois quando se trata de estudos que avaliam as séries históricas de precipitação de uma determinada região é imprescindível que haja um período considerado de informações. Neste sentido, a OMM (1994) e Tucci (2007) recomendam 30 anos de séries de dados para estudos de séries históricas hidrológicas e climatológicas.

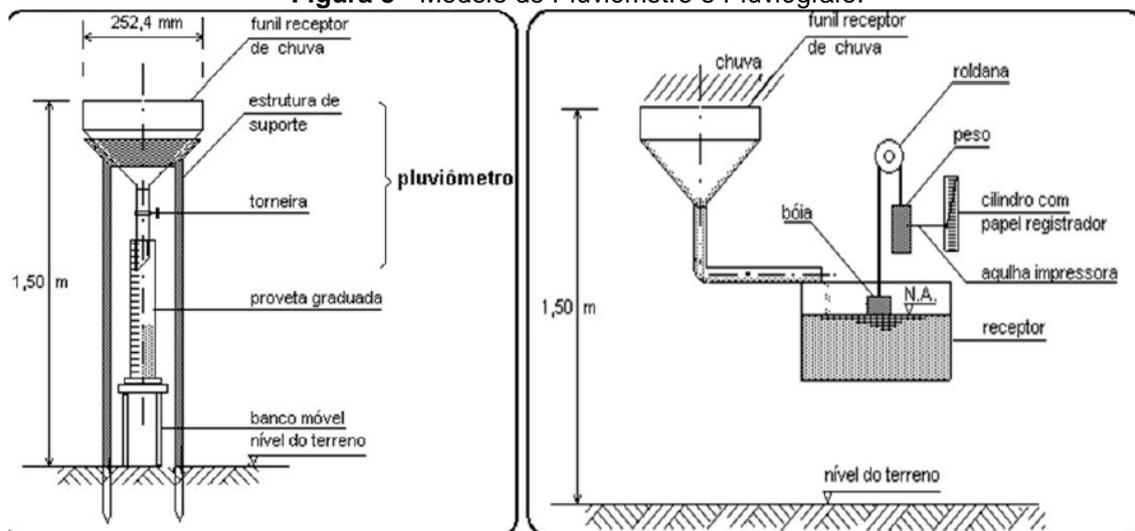
3.3.1 Medição de Chuvas

Uma estação meteorológica, basicamente, “é o local onde são concentrados os instrumentos que servem para ‘medir’ as condições do tempo. São de diversos padrões e modelos” (LAZZAROTTO et al., 1995).

A principal função de uma estação meteorológica é o de observar, coletar e medir dados relativos às condições do tempo sem interrupção, para construir, assim, séries históricas de dados completa, detalhada e confiável, que terão finalidades diversas, a exemplo dos estudos para analisar a variabilidade de chuvas em uma região. Contudo, segundo Teixeira (2010) podem ocorrer casos de existência de períodos sem informação ou com falhas de observação, ocasionadas por problemas no aparelho de registro ou com o operador da estação.

Segundo Garcez (2002), a precipitação no Brasil é registrada em pluviômetros ou pluviógrafos, sendo estes os dois tipos de aparelhos mais utilizados para se obter as medidas de precipitações. Sendo os pluviômetros simples receptores que recolhem a água precipitada, armazenando-a convenientemente para posteriormente serem aferidas volumetricamente com o auxílio de uma proveta devidamente graduada; já os pluviógrafos são aparelhos que registram continuamente a quantidade chuva recolhida, registrando os dados em gráficos, podendo-se desta forma identificar a intensidade ao longo do tempo. Na Figura 3 serão ilustrados os dois tipos de medidores de chuva com seus esquemas de processo.

Figura 3 - Modelo de Pluviômetro e Pluviógrafo.



Fonte: Adaptado UFCG (2009).

3.4 VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA

Anjos et al. (2017) afirmam que, para se compreender a variabilidade espacial das chuvas numa região, é preciso recorrer à representação cartográfica, pois ela se mostra crucial. Neste sentido, a elaboração de mapas de chuvas exige procedimentos técnicos, que podem ser solucionados por meio de ferramentas de geoprocessamento na modelagem de dados espaciais de precipitação, no qual se extrapolam dados pontuais de maneira contínua numa superfície.

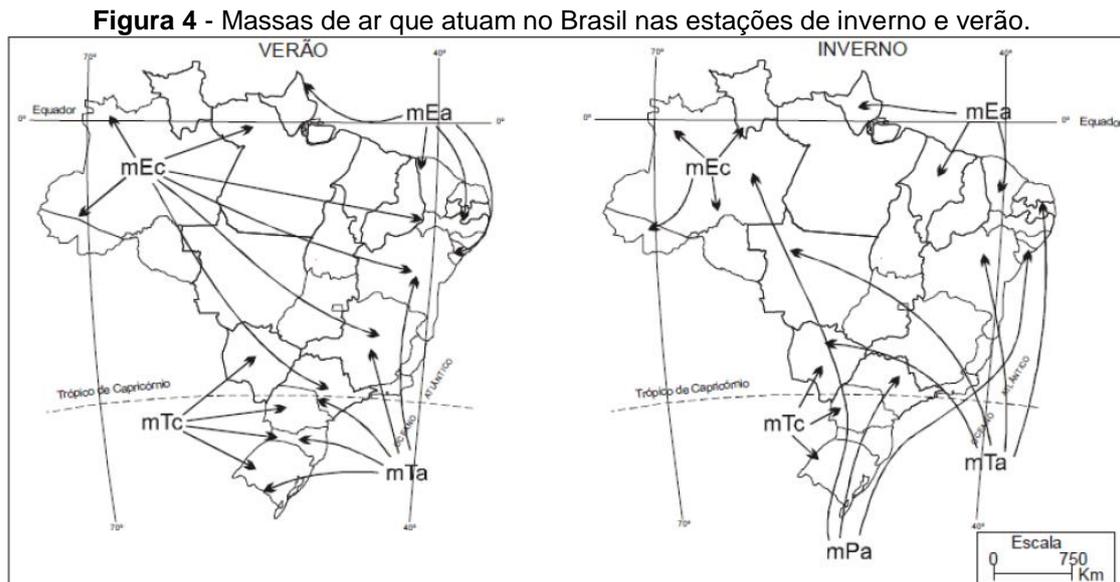
As alterações dos regimes pluviométricos são ocasionadas por diversos fatores como temperatura, dinâmica de massas de ar, insolação, continentalidade, cobertura vegetal, formas do relevo, posição geográfica e interferência humana. Ao admitir que a precipitação pluviométrica seja altamente variável tanto espacialmente quanto temporalmente, é preciso compreender as diferentes escalas desde a macroescala até a microescala (EWALD; LIMBERGER, 2011).

Outro fator que pode ser relacionado com interferência no clima de uma região é o desmatamento, fator que há alguns anos atrás não fazia parte dos modelos computacionais para previsões climáticas, contudo, passou a ter importância com as recentes descobertas sobre o papel das florestas em

processos meteorológicos como transpiração, transporte e retenção de umidade, e a velocidade dos ventos (NOBRE, 2014).

Os maiores volumes de chuvas na região amazônica, segundo Molion (1987), estão associados às circulações atmosféricas de macro e mesoescala. Já em Marengo e Hastenrath (1993), ela é causada principalmente pela flutuação sazonal da ZCIT e pela *mEc*, além pela formação da ZCAS no verão.

Destaca-se também influência dos diferentes sistemas atmosféricos que podem influenciar na formação de chuvas, como por exemplo: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que ocasiona o aumento do volume de chuvas para a Amazônia e Nordeste; e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), influenciando desde a Amazônia até o Centro-Sul. Além disso, temos a presença de massas de ar que contribuem para a formação das chuvas e do clima em diversos pontos do Brasil, que são elas: Massa Equatorial Continental (*mEc*), Massa equatorial Atlântica (*mEa*) Massa Tropical Continental (*mTc*), Massa Tropical Atlântica (*mTa*) e Massa Polar Atlântica (*mPa*), conforme apresenta a Figura 4.



Fonte: Tubelis e Nascimento (1980).

O aquecimento global tem como consequências diretas a alteração na frequência e distribuição das chuvas, aumentando as ocorrências de secas e de cheias (Karl et al., 1996).

3.5 CLIMATOLOGIA

A tendência climática é entendida como uma alteração suave do clima, com acréscimo ou decréscimo nos valores médios das variáveis analisadas, no período de registro (Ribeiro, Ávila e Brito, 2014).

Segundo Loureiro et al. (2006) a Região Amazônica apresenta uma variabilidade espaço-temporal pluviométrica muito grande devido as interações de diversos sistemas atmosféricos, tanto em grande quanto em mesoescala.

Os sistemas e fenômenos atmosféricos apresentam grande influência na climatologia da Amazônia, justificando a variabilidade temporal e espacial da precipitação na região (FISCH *et al.*, 1998; ALMEIDA *et al.*, 2015; SERRÃO *et al.*, 2015).

3.5.1 Sistemas Meteorológicos

As chuvas da Região Norte apresentam máximos pluviométricos no primeiro semestre do ano. A variabilidade climática quando associada a fatores naturais e antrópicos, influencia no seu regime pluviométrico e índices de precipitação. O sistema atmosférico de maior contribuição é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Ao longo do ano outros sistemas atuam na Região: convecção por aquecimento radiativo da superfície; CCMs tropicais; ventos alísios, circulação de brisa; linhas de instabilidade; ondas de leste; cavado do nordeste do Brasil; vórtices ciclônicos dos altos níveis troposférico tropicais (VCAN); alta pressão subtropical do Atlântico Sul; frentes; Alta da Bolívia (REBOITA et. al., 2010). As atuações desses sistemas determinam os principais períodos chuvosos bem como a distribuição espacial de precipitação na região Norte, Nordeste e Centro Oeste, na qual situa-se a RHTA (COHEN et al., 1989; MOLION & BERNARDO, 2002).

1.1.1.1 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

A ZCIT é um sistema meteorológico importante para circulação geral da atmosfera. Para Basha *et al.* (2015), a ZCIT é uma zona de baixa pressão perto

do Equador, onde dois ventos alísios vindos do hemisfério norte (HN) e do hemisfério sul (HS) convergem para formar uma região de maior convecção, nebulosidade e precipitação.

Esta zona também é denominada de Descontinuidade Tropical (DT), Equador Meteorológico (EM), Zona Intertropical de Convergência (ZIC) e Frente Intertropical. Segundo Mendonça et al (2007) este fenômeno meteorológico forma-se em consequência do encontro dos ventos aliseos provenientes do Sudeste (Hemisfério Sul) com aqueles provenientes do nordeste (Hemisfério Norte), criando uma ascendência das massas de ar úmidas nas áreas de baixas latitudes, formando uma convergência entre estes ventos. Além disso, a associação com a zona de pressão mais baixa, a máxima temperatura do mar e a zona de cobertura de nuvens convectivas que se interagindo estabelecem a ocorrência deste fenômeno.

1.1.1.2 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

Sistema típico de verão na América do Sul. Sua principal característica é a persistência de uma faixa de nebulosidade orientada no sentido noroeste – sudeste (NW-SE). Sua área de atuação engloba o centro sul da Amazônia, regiões Centro-Oeste e Sudeste, centro sul da Bahia, norte do Estado do Paraná e prolongam-se até o Atlântico sul-central. Esta banda aparece na primavera e verão algumas vezes no outono, mas nunca no inverno. A principal característica para o desenvolvimento desta banda é uma forte convecção sobre a América do Sul tropical, o que é frequente no verão e o deslocamento de sistemas frontais de latitudes médias em direção ao Nordeste, ao longo da costa do Brasil (ROCHA & GANDU, 1993).

3.5.2 Fenômenos Meteorológicos

A alteração Pluviométrica está relacionada com fenômenos meteorológicos pertencentes a várias escalas temporais e espaciais, que vão desde a escala global (*El Niño* e *La Niña*) a condições locais (chuvas localizadas). Assim como, a precipitação, outros parâmetros meteorológicos também estão relacionados

com eventos de meso e grandes escalas, podendo ser influenciados por fenômenos do tipo *El Niño* e *La Niña*, que estão ligados a mudanças oceânicas e atmosféricas na região equatorial do oceano Pacífico Tropical.

Na Amazônia, segundo Lucas (2007) a influência do fenômeno ENOS (*El Niño/Oscilação Sul*) é bastante evidente, uma vez que as ocorrências de *La Niña* apresentam abundância de chuva nas áreas norte e leste da Amazônia, enquanto que, segundo o autor, as ocorrências de *El Niño* provocam consideravelmente diminuição da precipitação em toda a Amazônia.

Os fenômenos *El Niño* e *La Niña* ocorrem de tempos em tempos no Pacífico equatorial, por causa das oscilações na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e em diferentes graus de intensidade (MARENGO; NOBRE, 2009). A alternância entre os anos não é uma regra, pois podem ter casos de ocorrência de 3 anos seguidos ou mais do mesmo fenômeno, e até 3 anos ou mais sem o fenômeno.

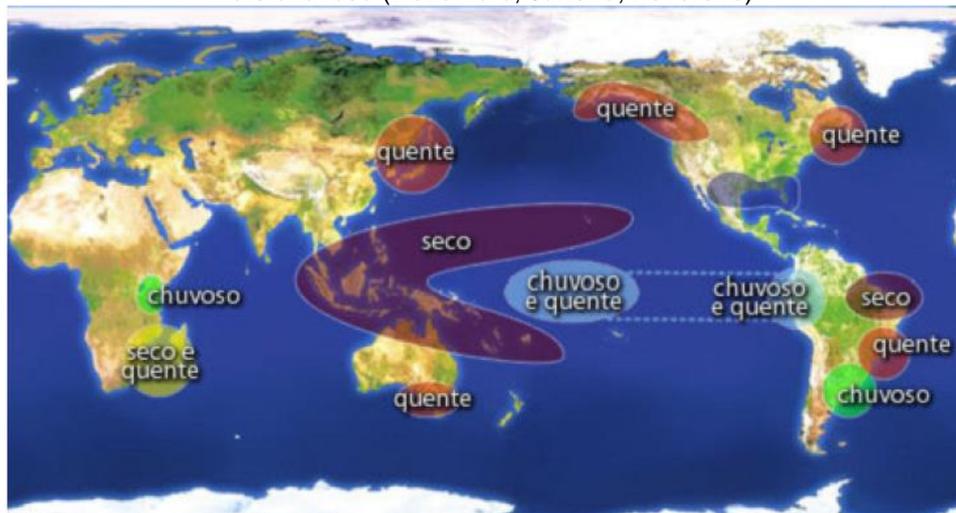
1.1.1.3 *El Niño*

Fase quente ou fase positiva do ENOS, Segundo Mendonca et al (2007) este fenômeno é de origem oceânica, caracterizado pelo aquecimento anormal das águas superficiais do oceano Pacífico, especificamente nas porções central e leste, as proximidades da América do Sul. Sendo que a denominação de *El Niño* (que significa o menino, referindo-se ao menino Jesus Cristo devido a sua ocorrência frequente no período Natalino) só é dada quando o aquecimento da água, ali presente, supera a média de 23° C em proporções acima de 1° C.

Este fenômeno altera a intensidade e/ou circulação dos ventos e massas de ar, o que acarreta uma diminuição geral das precipitações na Amazônia e no Nordeste do Brasil, e índices pluviométricos acima da média para o Centro-Sul.

Segundo Berlarto & Fontana, 2003; Marengo e Oliveira, 1998 indicam em estudos, três regiões do Brasil – o semiárido nordestino, as porções Norte e Leste da Amazônia e região Sul e boa parte da região sudeste são afetadas de maneira pronunciada pelas mudanças na circulação atmosférica durante episódios de *El Niño*, conforme ilustra a Figura 5.

Figura 5 - Efeitos Climáticos Globais ocasionados pelos Fenômenos El Niño nos período mais chuvoso (Dezembro, Janeiro, Fevereiro).



Adaptado de INPE / CEPTEC, 2009.

1.1.1.4 La Niña

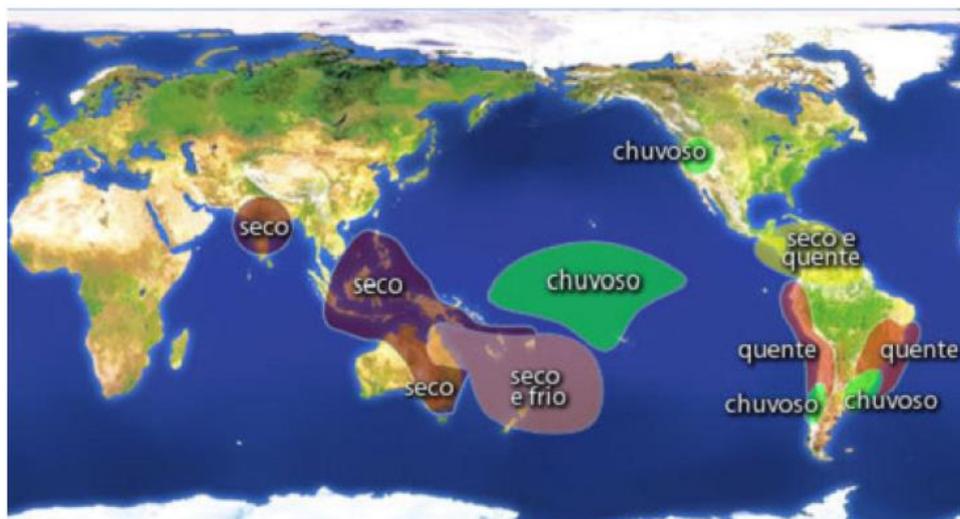
Já a *La Niña*, fase fria ou fase negativa, é um fenômeno caracterizado como um esfriamento anormal das águas do Pacífico equatorial e um aumento na pressão atmosférica na região do Leste do Pacífico (TRENBERTH & STERPANIAK, 2001). Em virtude do aumento da força dos ventos alísios, originando consequências que são opostas ao *El Niño*, como o aumento de chuvas na Amazônia e Nordeste, e diminuição no Centro-Sul (Ribeiro, Ávila e Brito, 2014).

A *La Niña* (LN) é caracterizada pelo resfriamento da TSM no setor centro-leste do Pacífico Tropical, onde também haverá aumento na pressão atmosférica; nessa situação tem-se a fase positiva da Oscilação Sul e negativa do ENOS (REBOITA e SANTOS, 2015)

Tanto o *El Niño* quanto a *La Niña* representam uma alteração do sistema oceano atmosfera no Pacífico, ocasionando mudanças no tempo e no clima em todo o planeta. Segundo o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – INPE/CPTEC (2009), com estas mudanças no sistema oceânico e com o enfraquecimento dos ventos, começam a ser observadas mudanças da circulação da atmosfera nos níveis baixos e altos, produzindo mudanças nos padrões de transporte de umidade, consequentemente variações na distribuição das chuvas em regiões tropicais e de latitudes medias e altas.

A Figura 6 mostra os efeitos climáticos a nível global, do fenômeno *La Niña* nos meses de sua maior intensidade, no caso, Dezembro, Janeiro e Fevereiro.

Figura 6 - Efeitos Climáticos Globais ocasionados pelo Fenômeno *La Niña* nos período mais chuvoso (Dezembro, Janeiro, Fevereiro).



Fonte: Adaptado de INPE / CEPTEC, 2009.

3.6 BARRAGENS – ALTERAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

Um dos requisitos fundamentais para o desenvolvimento socioeconômico em todo o mundo é a disponibilidade de quantidades adequadas de água com a qualidade adequada e um suprimento adequado de energia. A energia hidrelétrica é uma fonte renovável e fornece cerca de 20% das necessidades do mundo. Barragens adequadamente planejadas, projetadas e construídas e mantidas contribuem significativamente para o cumprimento de nossas necessidades de fornecimento de água e energia. Para acomodar as variações no ciclo hidrológico, barragens e reservatórios são necessários para armazenar água e, em seguida, fornecer uma descarga consistente para manter o fluxo diário necessário em nossos rios ao longo do ano (ICOLD, 2011).

Considerando estudos de impactos ambientais relacionados a alterações climáticas em lagos artificiais de UHE's, foram selecionados trabalhos que auxiliassem o entendimento da problemática, em níveis regionais, estaduais, nacionais e internacionais, sendo os estudos sistematizados nas tabelas a seguir (Tabela 02 a 05).

Tabela 2 - Estudos locais (Região da UHE-Tucuruí-PA).

AUTOR	ARTIGO	RESUMO
Fisch et al., 1990	Impacto ecológico em Tucuruí (PA): climatologia.	Realizaram um estudo para analisar os padrões sazonais de temperatura, velocidade do vento, distribuição da precipitação local e fluxo de radiação solar, nos períodos de dezembro de 1982 a dezembro de 1986. Como resultados, constataram uma evapotranspiração média maior que nos registros encontrados na literatura.
Guidon, 1991	Estudo das variações climáticas na área do lago de Tucuruí.	Analisou as variações climáticas ocorridas na área do entorno da UHE Tucuruí, nos períodos pré e pós-enchimento do reservatório, tendo como parâmetros: a circulação dos ventos, precipitação, umidade do ar e temperatura do ar. Os resultados obtidos a partir de testes estatísticos indicaram que a presença de um grande lago artificial pode alterar a circulação do ar e o clima das áreas próximas ao lago.
Ferreira et al., 2002	Variação espacial da temperatura e precipitação e sua associação aos eventos de <i>El Niño</i> e <i>La Niña</i> em Tucuruí-PA.	Analisaram a influência de fenômenos meteorológicos de grande escala sobre o comportamento da precipitação e temperatura do ar na cidade de Tucuruí, nos anos de 1997 a 1999 que foram considerados os anos de ocorrência de <i>El Niño</i> e <i>La Niña</i> . Com o objetivo de caracterizar a influência ou não desses fenômenos, visando dar subsídios a população no planejamento e execução das atividades humanas. Os resultados indicaram a ocorrência de duas estações distintas, uma mais quente (outubro e novembro) e outro menos quente (fevereiro e março), e nos anos de ocorrência de <i>El Niño</i> as temperaturas apresentavam um aumento e na <i>La Niña</i> uma diminuição da temperatura. Com relação a precipitação observou-se a ocorrência de um período chuvoso (janeiro a maio) e um período menos chuvoso (junho a dezembro) e além da influência positiva e negativa dos sistemas já citados e de outros sistemas meteorológicos.
Sanches et al., 2005	As possíveis alterações microclimáticas devido a formação do lago artificial da hidrelétrica de Tucuruí-PA.	Realizaram estudos sobre a distribuição de chuvas antes e depois da formação do lago artificial da UHE de Tucuruí, pois eles relataram uma preocupação ecológica dos impactos que a construção de uma usina podem provocar na região. Foram utilizados dados diários de precipitação, analisando os totais mensais nos períodos de pré e pós-enchimento de duas estações pluviométricas aplicando testes estatísticos de Fisher e Man-Whitney para verificar se com a formação do lago alterou o microclima da região. Os resultados foram um leve aumento do número de dias com chuvas leves no final do período seco após a formação do lago, que poderá está relacionado com a alta evaporação do lago. Além disso, não foi verificado modificações no início ou no final da estação chuvosa.
Ribeiro et al., 2014	Análise da tendência climática nas séries temporais de temperatura e precipitação de Tucuruí – Pará.	Desenvolveram um estudo para fornecer um breve conhecimento das análises climatológicas das temperaturas e precipitação do Município de Tucuruí e a sua correlação com as oscilações interanual e interdecadal dos oceanos atlântico e pacífico, a partir de dados produzidos ao longo de 40 anos da estação meteorológica da cidade. Os resultados mostram que as menores temperaturas são registradas em fevereiro e as maiores em outubro. Além de apresenta uma relação estatística relevante sobre as precipitações e as oscilações interanual e interdecadal dos oceanos atlântico e pacífico.

Fonte: Autor (2019)

Tabela 3 - Estudos Regionais (Estado do PA).

AUTOR	ARTIGO	RESUMO
Moraes et al., 2005	Varição espacial e temporal da precipitação no estado do Pará.	Analisaram a climatologia das precipitações no Estado do Pará, pois elas são essenciais para o planejamento das atividades agrícolas. A variação da precipitação anual e sazonal no Estado do Pará foi analisada com base em séries históricas de 23 anos (1976-1998). A análise foi realizada para 31 localidades do Estado do Pará, sendo os resultados representados em mapas com a utilização de SIG. A variabilidade da precipitação anual e sazonal foi caracterizada com base no coeficiente de variação e no índice de variabilidade interanual relativo. As características mensais da estação chuvosa, em termos de início, fim e duração, foram determinadas utilizando-se o critério proposto por KASSAM (1979).
Menezes et al., 2015	O uso da estatística para regionalização da precipitação no estado do Pará, Brasil.	O objetivo deste estudo foi identificar regiões pluviometricamente homogêneas de precipitação, classificando os locais mais similares, com base em uma série de observações pluviométricas mensais de 66 estações pluviométricas do Estado do Pará, mostrando a variabilidade da precipitação em cada região, enfocando no regime de precipitação, e nos fenômenos meteorológicos que produzem essas precipitações. A relação à variabilidade pluviométrica, apresentando boa coerência espacial com as áreas de atuação dos principais sistemas geradores de chuva na região.
Cruz et al., 2016	Impacto causado pela implantação de Usina Hidrelétricas e PCH's na Amazônia meridional.	O trabalho objetivou investigar, por meio de uma revisão de literatura os possíveis impactos ocasionados pela construção de grandes usinas hidrelétricas no país, considerando três fatores fundamentais, umidade do ar, índice pluviométrico e temperatura de superfície, impactos esses que podem ser observados após a construção das usinas hidrelétricas. Os autores concluíram que em algumas situações aconteceu alterações no clima e em outras não, porém quando ocorre uma intervenção na floresta, conseqüentemente o clima também é alterado.

Fonte: Autor (2019)

Tabela 4 - Estudos nacionais (Brasil).

AUTOR	ARTIGO	RESUMO
Grimm, 1988	Verificação de variações climáticas na área do lago de Itaipu.	Realizou uma série de testes estatísticos sobre um conjunto de elementos climáticos da área da hidrelétrica, analisando dois períodos distintos (pré-enchimento e pós-enchimento do lago artificial) a fim de verificar se ocorreu alguma mudança climática em decorrência da formação do lago. Os resultados obtidos pela autora revelam uma diminuição da amplitude térmica no mês de agosto (inverno). Além disso, houve aumento da evaporação, contudo não foram observadas alterações na precipitação total e máxima mensais.
Nimer, 1989	Climatologia do Brasil.	O livro constitui uma série de importantes estudos a respeito da Climatologia do Brasil, em que o autor procura enfatizar a moderna orientação metodológica da climatologia dinâmica.
Ayoade, 1996	Introdução à Climatologia para os trópicos.	Inicialmente publicado na década de 1980, é um livro básico sobre os princípios fundamentais da Climatologia, no qual os processos atmosféricos e os sistemas climáticos são descritos e explicados quase sempre de modo não-matemático. Além disso, discute as interações entre os processos atmosféricos e as interferências das atividades humanas para o clima.

Dias et al., 1999	Estudo dos impactos sobre o clima urbano regional do reservatório de Itaipu.	Realizou um estudo dos impactos do lago de Itaipu sobre o clima, combinando os dados históricos e meteorológicos, com as medições de albedo, rugosidade, fluxo de superfície e umidade do solo, e simulação de cenários de uso do solo. Contudo, os resultados mostraram ser difícil analisar os impactos climáticos de reservatórios por três razões: a dificuldade de se encontrar dados de “antes” e “depois” da construção usina; a simultaneidade de outros fatores ambientais como a supressão florestal, que podem também produzir efeitos climáticos; e a variabilidade climática de períodos que estejam sofrendo a influência dos fenômenos <i>El Niño</i> ou <i>La Niña</i> .
Correia et al., 2000	Efeito do Lago de Sobradinho no clima local: uma análise numérica e observacional.	Realizou testes para verificar quais foram os efeitos que o lago proporcionou sobre o clima local, em que ocorreu a coleta de dados de estações meteorológicas de cidades próximas ao reservatório, para a comparação do pré e pós-enchimento, por meio de cálculos estatísticos. Os resultados indicaram que os parâmetros climáticos sofreram variações substanciais na década seguinte a formação do lago, principalmente nos indicadores de umidade do ar e intensidade dos ventos.
Limberger et al., 2008	Mudanças climáticas globais e alterações climáticas: a participação dos grandes reservatórios de usinas hidrelétricas.	Teve por finalidade, trazer informações sobre pesquisas realizadas tanto com relação aos aspectos globais das mudanças climáticas quanto aos aspectos mais locais e específicos de alterações climáticas, enfocando pesquisas em áreas atingidas por reservatórios artificiais de água. As ações antrópicas alteram os diferentes climas do mundo, inicialmente em escalas locais, mas também interferindo na escala regional e até global. No caso específico das UHE os resultados sentidos são sobre o clima e aspectos geomorfológicos.
Limberger, 2007	O clima do Oeste do Paraná: análise da presença do lago de Itaipu.	Objetivou caracterizar o clima da região oeste paranaense e fazer uma relação com a presença do lago artificial da UHE-Itaipu, com a percepção climática dos moradores em relação a presença da mesma. Os resultados encontrados pela autora mostraram que, na análise dos dados não foi possível verificar a relação entre a variabilidade climática da região e a formação do lago do reservatório de Itaipu. Por outro lado, em relação a percepção climática dos moradores que foram entrevistados demonstrou que eles perceberam que o clima da região se modificou e que está condicionada a formação do lago artificial.
Souza, 2010	Influência de lagos artificiais no clima local e urbano: estudo de caso em Presidente Epitácio (SP).	Realizou um estudo para verificar as possíveis alterações no clima local e do clima urbano da cidade de Presidente Epitácio que está localizada próximo do lago artificial da usina. Para isso, ele verificou os dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar, utilizando pontos de coleta na área urbana e rural do município; analisando as variáveis temporais, espacial e horário em diferentes períodos do ano. Com os resultados produzidos, foi possível verificar uma variação da temperatura do ar e da umidade relativa do ar nos pontos de coleta, o período da noite apresentou as maiores amplitudes e já durante a manhã foram registradas as menores amplitudes. Então o autor concluiu que, apesar de não haver valores significativos entre os postos de coleta, a presença do lago não contribuiu para o aumento da temperatura ar e umidade relativa do ar, porém o lago artificial da usina funciona com um ótimo regulador do equilíbrio térmico e higrométrico.

Lima, 2013	Relação clima e vegetação na área das bacias das usinas hidrelétricas de Barra dos Coqueiros e Caçu – GO	Analisou as chuvas em escala regional e comparou com as temperaturas, a umidade relativa do ar e as chuvas em escala local. Os dados utilizados foram dos anos de 1977 a 2011 de estações meteorológicas da ANA e de pontos que foram implantados na Floresta Estacionais Semidecíduais. Sendo que este estudo apresentou inúmeros resultados, porém destacaremos aqueles que apresenta relevância: o primeiro é que a região apresentou uma grande variabilidade temporal das chuvas, já a variabilidade espacial das chuvas demonstrou que elas ocorreram mais o Noroeste e a Sudeste da área de estudo, mostrando maior atuação da massa equatorial continental. A segunda é que com o aumento da área ocupada por água, trouxe mudanças no microclima da região.
Zago et al., 2016	Análise do impacto do reservatório da usina hidrelétrica de Itá/SC sob variáveis climáticas.	Analisou o impacto da formação do lago artificial para o município, pois segundo os autores havia uma preocupação da população residente da área, pelo barramento do rio que poderiam ocasionar possíveis mudanças no clima regional. Para realizar este estudo, foram analisados os dados históricos da estação meteorológica do local nos anos “antes” e “depois” a formação do reservatório. Como resultado obtiveram que as variações de temperatura, máxima e mínima, apresentara-se mais evidentes nos meses de junho e julho do período analisado. Além disso, os dados levantados não condizem com a literatura. Após o enchimento do reservatório constatou-se uma menor variabilidade na umidade relativa do ar.

Fonte: Autor (2019)

Tabela 5 - Estudos internacionais.

AUTOR	ARTIGO	RESUMO
Donpapob, Manee, Yasuto, Tachikawa and Kazuaki Yorozu. 2015	Analysis of hydrologic variable changes related to large scale reservoir operation in Thailand	O objetivo deste estudo é investigar a tendência nas mudanças nas variáveis hidrológicas aplicando o teste de tendência estatística de Mann-Kendall ao registro histórico diário de dados de operações do reservatório, como entrada em reservatórios, liberação de reservatório, armazenamento de barragens, precipitação e temperatura. Os cinco reservatórios de grande escala localizados nas partes norte, central e oeste de Tailândia são selecionados para analisar a tendência da bacia do rio Ping, Bhumibol, a bacia do rio Nan com a represa Sirikit, a bacia do rio Pasak com a barragem Pasak Jolasid e a bacia do rio Mae Klong, com as barragens de Srinagarind e Vajiralongkorn. Através da análise, descobriu-se que a temperatura e a precipitação mostram tendência crescentes, exceto a bacia do rio Ping; a entrada de todos os reservatórios na estação chuvosa teve tendências crescentes. O armazenamento de água para barragem de Srinagarind foi detectado aumentando as tendências. Foram observados as tendências crescentes de escassez de água na barragem de Bhumibol e Pasak Jolasid e a tendência de excesso de volume de bacia do rio Mae Klong. O armazenamento de água para a barragem de Bhumibol foi encontrado diminuindo drasticamente as tendências a longo do ano, enquanto a barragem de Srinagarind foi detectado aumentando as tendências.

<p>Nkiaka, E. ; Nawaz, N. R. ; Lovett, J. C., 2016.</p>	<p>Analysis of rainfall variability in the Logone catchment, Lake Chad basin</p>	<p>Este estudo analisou dados de precipitação pluviométrica de 17 pluviômetros distribuídos de maneira desigual na bacia hidrográfica de Logone, na bacia do Lago Chade, no continente africano, por um período de 50 anos (1951–2000). Foram aplicados os testes não paramétricos de Mann-Kendall e rho de Spearman para detectar a presença de tendências. A magnitude da tendência foi calculada usando o estimador de declive de Sen. Os resultados do teste de homogeneidade mostraram que a precipitação foi homogênea em toda a bacia hidrográfica. A análise de tendências revelou a presença de tendências negativas para precipitação anual em todas as estações. Os resultados da análise de tendências de longo prazo em uma escala de tempo mensal revelaram a presença de tendências positivas estatisticamente insignificantes em 32% das estações. Espacialmente, a análise mostrou uma clara distinção na magnitude das chuvas entre as zonas semi-árida e Sudano. A inclinação das linhas de tendência para precipitação anual média sobre as respectivas zonas foi maior na zona semi-árida.</p>
<p>Fernández-Palomino, Carlos; Lavado-Casimiro, Waldo, 2017.</p>	<p>Regional maximum rainfall analysis using L-moments at the Titicaca Lake drainage, Peru</p>	<p>O presente estudo investiga a aplicação do procedimento de análise de frequência regional baseado em momentos L(RFA-LM) do índice de inundação à precipitação máxima anual de 24h (AM) de 33 estações pluviométricas (RGs) para estimar os quantis de precipitação no Titicaca Drenagem do lago (TL). A região do estudo foi escolhida por ser caracterizada por inundações comuns que afetam a produção e infraestrutura agrícola. Primeiro, foram realizadas análises detalhadas da qualidade e verificação das premissas RFA-LM. Para esse fim, foram utilizados diferentes testes para verificação externa, homogeneidade, estacionaridade e independência serial. Então, a aplicação do procedimento, RFA-LM nos permite considerar o TL como uma região única, hidrológicamente homogênea, em termos de sua frequência máxima de chuvas. Isso é Teste Z para qualidade dos ajuste, diagrama da razão momentos L(LM) e uma avaliação adicional da precisão da chuva de crescimento regional.</p>
<p>Sarah E. Null, Scott T. Ligare, Joshua H. Viers, 2013.</p>	<p>A Method to Consider Whether Dams Mitigate Climate Change Effects on Stream Temperatures, Califórnia, EUA</p>	<p>Este artigo fornece um método para examinar os objetivos de qualidade da água em mesoescala a jusante das barragens com mudanças climáticas antecipadas, usando uma abordagem multimodal. A mudança das condições hidroclimáticas provavelmente afetará a temperatura da água abaixo das barragens e afetará a ecologia a jusante. Foi modelado a dinâmica térmica do reservatório e as operações de liberação de reservatórios hipotéticos de diferentes tamanhos, elevações e latitudes com hidrologias de fluxo forçadas pelo clima para examinar o potencial de gerenciar a temperatura da água para o habitat de água fria. Os resultados como mudanças na temperatura da água em relação ao período histórico e indicam que os reservatórios liberam água mais fria que as condições a montante, embora as temperaturas absolutas dos alcances abaixo das barragens sejam quentes com as mudanças climáticas. As temperaturas do fluxo são sensíveis a mudanças no volume, elevação e latitude do reservatório. A abordagem é apresentada como um estudo de prova de conceito para avaliar os efeitos da regulação de reservatórios sobre as temperaturas dos riachos e o habitat de água fria com as mudanças climáticas.</p>

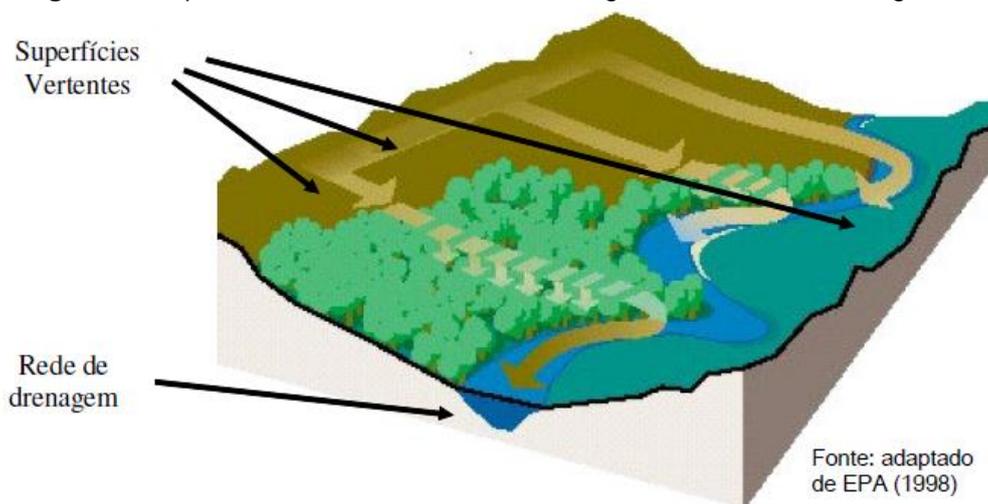
<p>Yi-han Tang, Jiefeng Wu and Kairong Lin, 2015</p>	<p>Annual runoff and flood regime trend analysis and the relation with reservoirs in the Sanchahe River Basin, China</p>	<p>Neste estudo as mudanças de escoamento superficial e inundação foram analisados usando a análise de tendência de Mann-Kendall e a análise de regressão linear. O coeficiente de escoamento anual (ARC) foi selecionado como principal índice para verificar a relação entre os reservatórios e a mudança no escoamento anual nas saídas da bacia do rio Sanchahe a montante (estação hidrológica Yangchang) e de toda a bacia (estação hidrológica de Yachiche). Os resultados indicam que a construção de barragens e o subsequente desenvolvimento de reservatórios influenciaram significativamente o processo de vazão na bacia do rio Sanchahe. Como os reservatórios na parte a montante da bacia são pequenos em número e capacidade de armazenamento, a profundidade do escoamento anual diminui apenas ligeiramente de 1963 a 2012, e essa tendência não foi significativa no nível de confiança de 95%. As análises de tendências nos ARCs demonstram que o consumo de água durante a construção do reservatório é provavelmente a causa da diminuição do escoamento. Por outro lado, a profundidade anual do escoamento superficial de toda a bacia diminuiu significativamente ($\pm 4,01$ mm/ano). O regime de inundação em toda a bacia foi influenciado pela construção de reservatórios em toda a bacia do rio Sanchahe. O fluxo máximo de pico anual (AMPF), o volume máximo de inundação por 3 dias (AM3FV) e o volume máximo anual de 7 dias (AM7FV) diminuíram significativamente na estação de Yachiche especialmente após a construção das barragens de Puding e Yinzidu. Grandes inundações raramente ocorreram após os anos de 90 e 2000.</p>
--	--	---

Fonte: Autor (2019)

3.7 BACIA HIDROGRÁFICA

O termo bacia hidrográfica refere-se a uma compartimentação geográfica natural delimitada por divisores de água. Esse compartimento é drenado superficialmente por um curso d'água principal e seus afluentes, segundo Santana, (2003) conforme apresenta a Figura 7.

Figura 7 - Superfícies Vertentes e rede de drenagem de uma bacia hidrográfica.



Fonte: Adaptado de EPA (1998).

A Bacia Hidrográfica é também denominada de Bacia de contribuição, Bacia de drenagem ou Bacia de captação, Cech (2013) acrescenta ainda as seguintes denominações: bacia fluvial e bacia vertente. Não existe nenhum ponto da terra que não pertença a uma bacia hidrográfica (WORLD VISION, 2013).

Dentro de uma análise jurídica, Bacia Hidrográfica está citada no Art. 5º, inciso III, na Resolução CONAMA 001/1986, onde o mesmo define a área de influência de um determinado empreendimento, conforme apresentado a seguir:

“Definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza.”

A Divisão Hidrográfica Nacional, instituída pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), estabelece as doze Regiões Hidrográficas brasileiras. São regiões hidrográficas: bacias, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas próximas, com características naturais, sociais e econômicas similares. Esse critério de divisão das regiões visa orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos em todo o país (ANA, 2018).

No âmbito de uma bacia hidrográfica, a abordagem mais comum para estimar os impactos devido às mudanças climáticas é avaliar como se comportam as variações dos índices de temperaturas e precipitação. As anomalias dessas grandezas podem afetar o regime de vazão dos rios, visto que

a precipitação está diretamente relacionada ao fluxo hídrico de uma bacia hidrográfica e as temperaturas relacionam-se à evapotranspiração e ao balanço hídrico (XU; SINGH, 2004).

3.7.1 Bacia Hidrográfica Tocantins – Araguaia

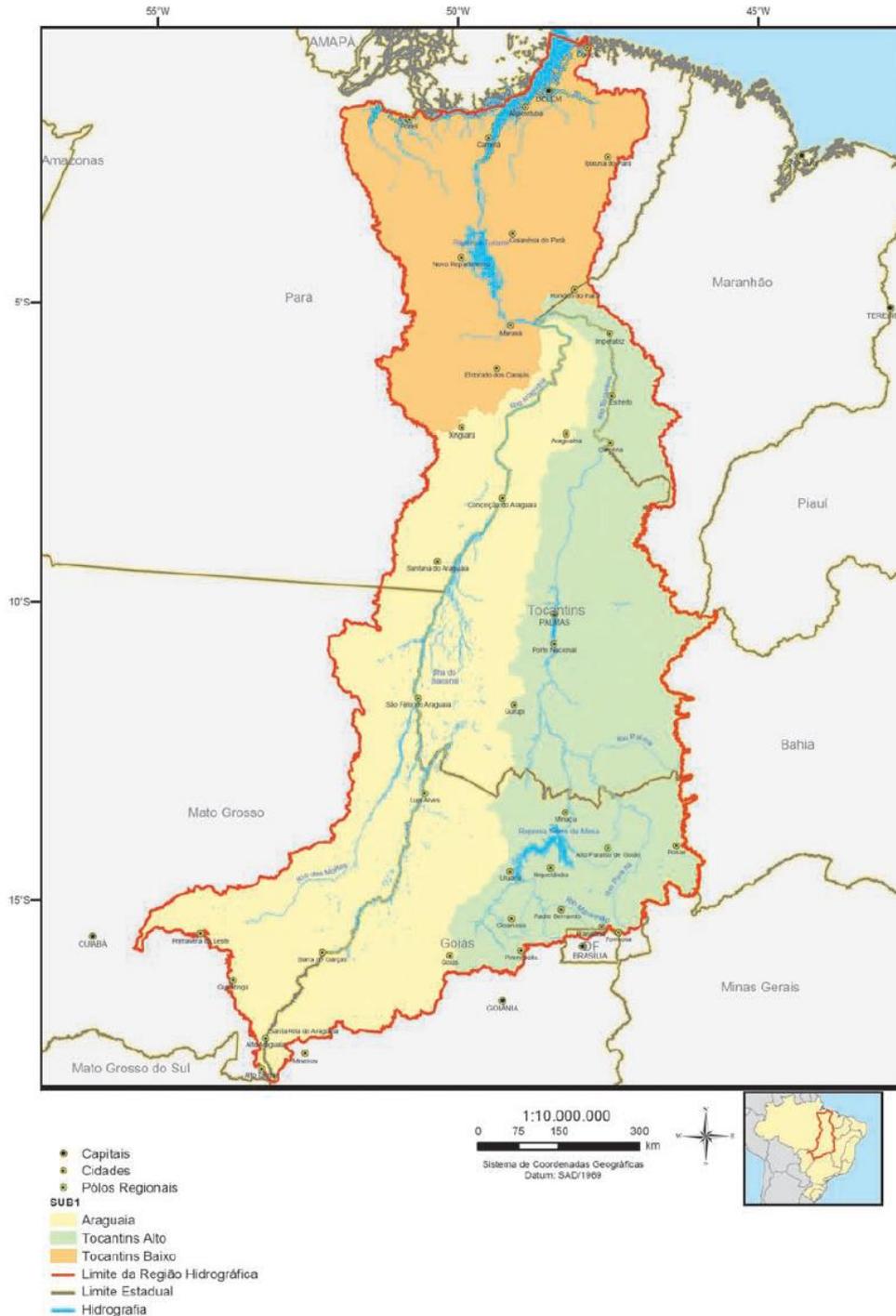
A Região Hidrográfica do Tocantins – Araguaia corresponde a aproximadamente 11,0% do Território Nacional e abrange os Estados de Goiás (21,0%), Tocantins (30,0%), Pará (30,0%), Maranhão (4,0%), Mato Grosso (15,0%), além do Distrito Federal (0,1%). Sua configuração é alongada, com sentido Sul-Norte, seguindo a direção predominante dos cursos d'água principais, os Rios Tocantins e Araguaia, que se unem na parte setentrional da região, a partir de onde é denominado Tocantins, e que segue até desaguar na Baía da Ilha de Marajó (MMA, 2006). A região é caracterizada por incluir em 35% de sua área da região Amazônica, que é considerada uma “Grande Região Natural” (MITTERMEIER et al., 2003) e 65% de Cerrado, considerado um “Hotspot” de biodiversidade (MYERS et al., 2000; ANA, 2009).

Segundo Cintra et al. (2013) a bacia hidrográfica do Araguaia – Tocantins apresenta uma grande área de captação, drenando uma área de 767.000km², dos quais 343.000km² correspondem ao rio Tocantins, 382.000km² ao rio Araguaia (seu principal afluente) e 42.000km² ao rio Itacaiúnas (o maior contribuinte de seu curso inferior). Sua drenagem equivale a uma área de aproximadamente 9% do território brasileiro, sendo a maior bacia hidrográfica inteiramente brasileira (ANEEL, 2008).

O potencial hidrelétrico aproveitado da referida bacia, de acordo com dados apresentados em 2011 pela ANA, é de 13.114 MW, o que corresponde a 16% do total instalado do Brasil (ANA, 2013). Essa matriz energética é constituída pelas seguintes usinas hidrelétricas: Tucuruí, com 8.370 MW de potência total; Serra da Mesa, com 1.275 MW; Estreito, com 1.087 MW; Luís Eduardo Magalhães (Lajeado), com 903 MW; Cana Brava, com 472 MW e Peixe Angical, com 452 MW.

Em sua estrutura de Nível II, a Bacia Hidrográfica Tocantins – Araguaia apresenta 3 sub-bacias, que são as Araguaia, Tocantins Alto e Tocantins Baixo, que são representadas a seguir pela figura a seguir:

Figura 8 - Divisão Hidrográfica das Sub-Bacias da Bacia Hidrográfica Tocantins – Araguaia.



Fonte: Base do PNRH (2015).

3.7.2 Características Climáticas

O clima da Região Hidrográfica do Tocantins – Araguaia é tropical, com temperatura média anual de 26°C, e dois períodos climáticos bem definidos: o chuvoso, de outubro a abril, com mais de 90% da precipitação, com a existência de alguns dias secos entre janeiro e fevereiro, formando o chamado veranico; e o seco, de maio a setembro, com baixa umidade relativa do ar. Segundo dados da ANA, a precipitação média na Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia é da ordem de 1.869 mm/ano, com a máxima de 2.565 mm no litoral do Pará (ANA, 2005), enquanto a evapotranspiração real média é de 1.371 mm/ano.

Constatou-se que o efeito da topografia da região abordada colabora muito pouco com a distribuição e o total das precipitações. Portanto, as causas da ocorrência de chuvas estão associadas aos sistemas de circulação atmosférica (MMA, 2006).

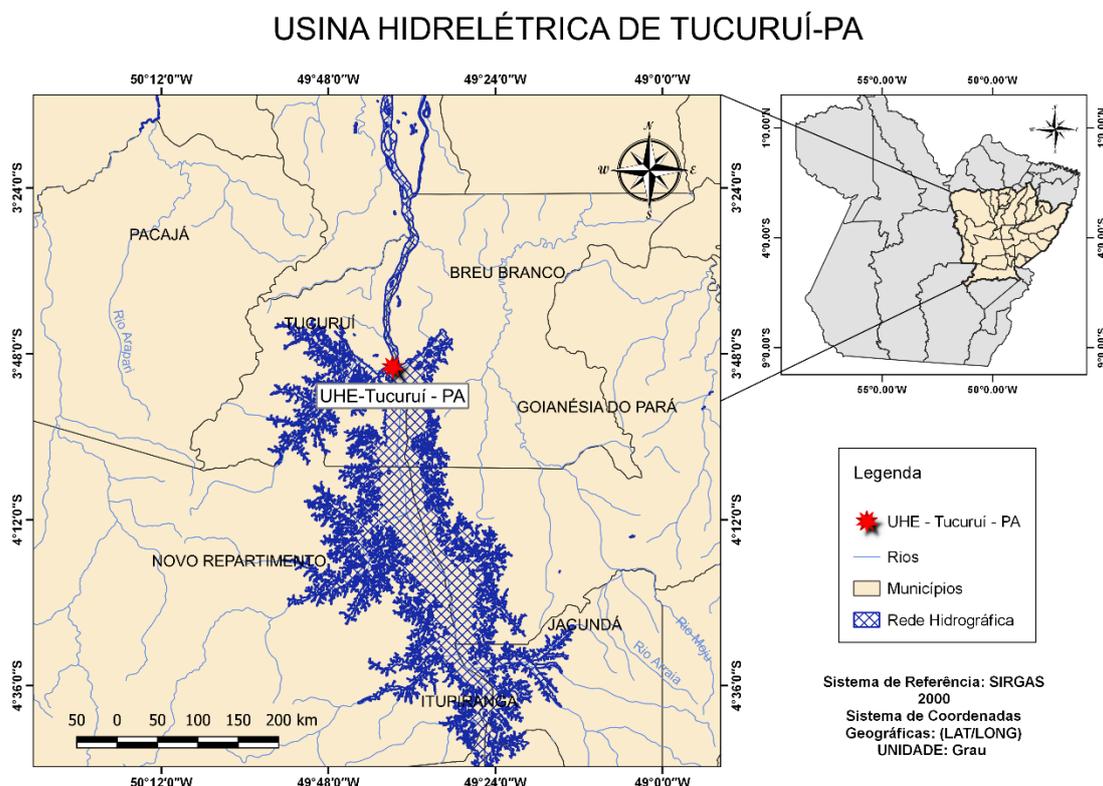
De acordo com os dados da Agência Nacional de Águas (ANA), o regime de precipitação média nessa região é da ordem de 1.869 mm/ano, com a máxima registrada de 2.565 mm no litoral paraense, enquanto a evapotranspiração média é da ordem de 1.371 mm/ano. (ANA, 2013). Esse regime é caracterizado pela ocorrência do aumento das chuvas de acordo com a diminuição da latitude, isto é, deslocando-se do Sul para o Norte. Constatou-se que o efeito da topografia da região abordada colabora muito pouco com a distribuição e o total das precipitações. Portanto, as causas da ocorrência de chuvas estão associadas aos sistemas de circulação atmosférica (MMA, 2006).

O desmatamento é outro fator que pode ser relacionado com interferência no clima de uma região, fator que há alguns anos atrás não fazia parte dos modelos computacionais para previsões climáticas, contudo, passou a ter importância com as recentes descobertas sobre o papel das florestas em processos meteorológicos como transpiração, transporte e retenção de umidade, e a velocidade dos ventos (NOBRE, 2014).

3.8 UHE TUCURUÍ – PA

Ao longo do Rio Tocantins, está localizada a Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHE) em funcionamento desde 1984 (PINTO, 2012), conforme o mapa de localização (FIGURA 09).

Figura 9 - Usina Hidrelétrica de Tucuruí - PA



Fonte: Autor, (2019).

Iniciada sua construção em 1976, antes de entrar em vigor a Resolução CONAMA 001/86, que regulamenta Estudos de Impacto Ambiental e seu respectivo Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente, dentre elas, para obras hidráulicas de exploração de recursos hídricos.

A construção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, resultou em severas modificações climáticas, alterou o curso do rio, seu comportamento físico, de lótico para lântico, resultando na substituição da floresta por uma lâmina de água, ocasionando alterações no ciclo hidrológico, comprometendo projetos de aproveitamento energético na bacia hidrográfica (FEARNSIDE, 2015).

Sabe-se que as florestas têm importância vital para o equilíbrio ecológico e ambiental do planeta, uma vez que proporcionam condições fundamentais para a existência da vida, tais como: amenização do clima, conservação dos recursos hídricos, manutenção da biodiversidade e a reciclagem natural dos solos (TERRA et al., 2015; ARRUDA et al., 2015).

A UHE Tucuruí encontra-se a uma distância em linha reta a aproximada 350 km da capital Belém, com seu reservatório situado na região do baixo rio Tocantins, compreendendo um comprimento de aproximadamente 170 Km, desde o local de seu barramento do rio no município de Tucuruí até o município de Itupiranga (SILVA et al., 2016), com 50,3 bilhões de metros cúbicos de água acumulados (ELETRONORTE, 2015), passando pelos municípios de Nova Ipixuna, Jacundá, Novo Repartimento, Goianésia do Pará e Breu Branco (SANTANA et al., 2014).

O principal controlador do volume d'água no reservatório é a operação da barragem. A cota máxima é de 74m, sendo a cota normal de operação de 72m e o mínimo de 58m. Para manter níveis desejados de geração de energia pela usina, as comportas dos vertedouros são constantemente ajustadas para uma maior ou menor retenção da água, dependendo da sazonalidade das chuvas. Antes da época de alta precipitação, a vazão da água no reservatório é ampliada e a cota do reservatório decrescida para suportar o grande volume de água. No início da seca, as comportas são fechadas para evitar diminuição na produção de energia (CINTRA *et al.*, 2013).

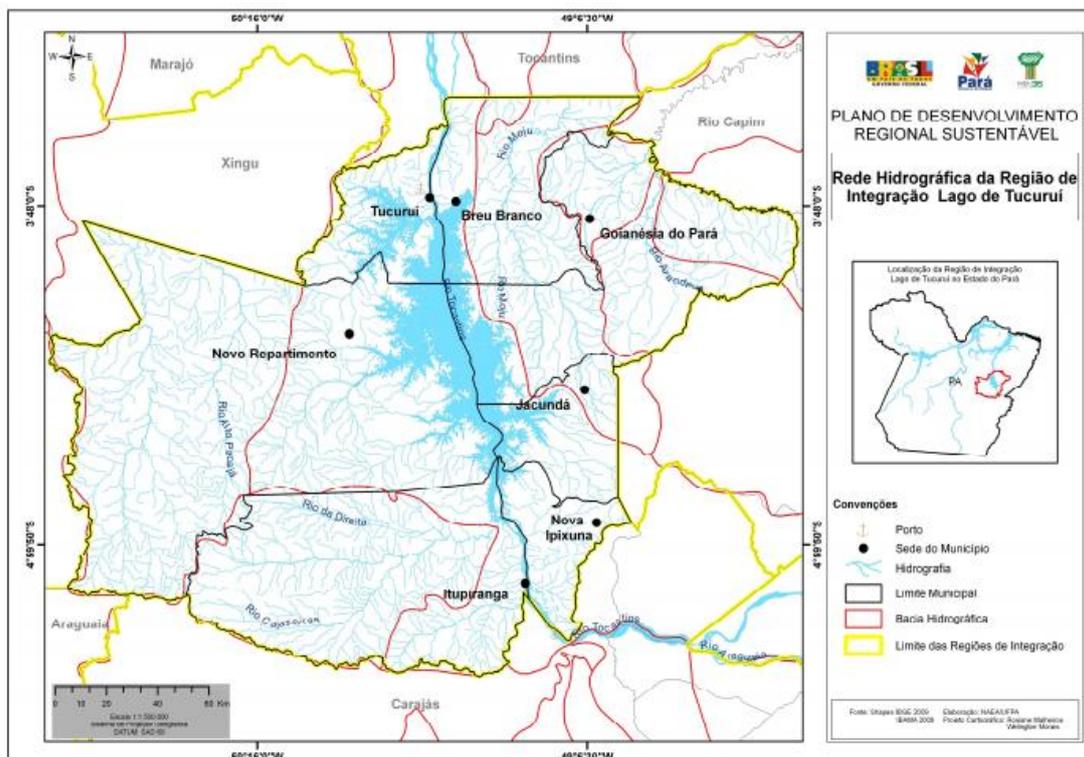
A importância da caracterização das distribuições pluviométricas em áreas consideradas homogêneas em relação aos padrões de chuvas merece atenção, já que pode facilitar a identificação de prioridades de ações voltadas ao planejamento de atividades agrícolas, medidas mitigatórias e adaptativas aos impactos da falta de chuva, dentre outros, favorecendo assim a melhor compreensão com o clima da região (MENEZES, 2015).

3.8.1 Características Hidrográficas

A hidrografia do município baseia-se no lago artificial originado na barragem do Rio Tocantins, que consiste em 2.430 km² contendo cerca de 45,8

bilhões de m³ de água. O principal rio da região é o Tocantins que, no Município, teve seu maior trecho transformado em lago pela represa de Tucuruí, restando inalterado apenas o trecho da barragem para jusante, até o limite com o município de Baião (SEPOF, 2011). As características citadas da região hidrográfica da região podem ser vistas na Figura 10.

Figura 10 - Mapa Hidrográfico do Lago da UHE Tucuruí/PA.



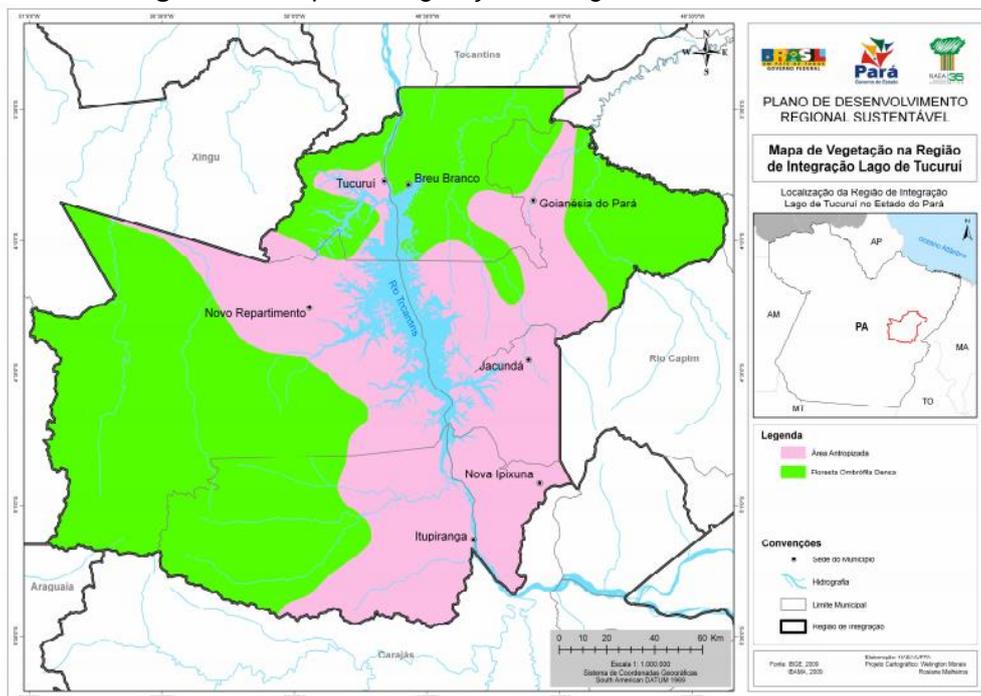
Fonte: PDRS, 2013.

3.8.2 Características da vegetação

A vegetação dominante é a Floresta Tropical Úmida, com os subtipos: Floresta Aberta Latifoliada, Densa de Platô, Densa de Terraços, Floresta Submontana, em relevo aplainado. Grandes áreas foram desmatadas em Tucuruí para o cultivo de agricultura de ciclo curto (manejo tradicional denominado agricultura itinerante ou migratória, ou ainda, de subsistência). Uma parte dos tratos florestais deste Município, abrangendo as Florestas de Várzea, Matas Ciliares e de Terra Firme, ao longo do curso do Tocantins, foi inundada por ocasião do fechamento das comportas da Hidrelétrica de Tucuruí, o que deu ensejo à formação de um grande lago (SEPOF, 2011).

A área inundada pela hidrelétrica levou à perda da floresta, que incluiu as matas ciliares, de relevante importância ecológica e preservação prevista em lei (MMA, 2006). A Figura 11 apresenta a distribuição espacial da vegetação na área de estudo.

Figura 11 - Mapa da Vegetação do Lago da UHE Tucuruí/PA.



Fonte: PDRS, 2013.

3.8.3 Características do Solo

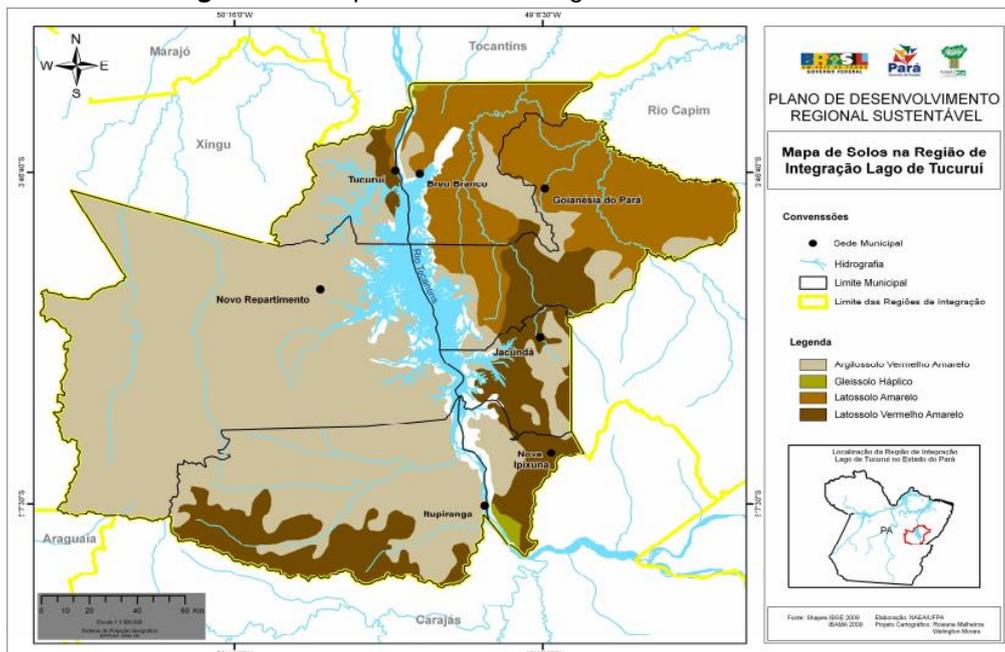
Os solos existentes na região da UHE - Tucuruí são ácidos e apresentam baixa fertilidade natural (pobres em nutrientes). Os principais tipos de solos, que dominam quase totalmente a região onde está inserido o empreendimento, são os Podzólicos Vermelho – Amarelos (predominantes), Latossolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Amarelos (ROSA JUNIOR *et al.*, 2015).

Os solos do Município são caracterizados pelos seguintes tipos: Podzólico Vermelho-Amarelo, textura argilosa; Podzólico Vermelho-Amarelo Plíntico, textura argilosa; Latossolo Vermelho- Amarelo distrófico, textura argilosa; e Solos Litólicos distróficos, textura indiscriminada; Gley eutrófico e Aluvial eutrófico e distrófico, textura indiscriminada (SEPOF, 2011).

De acordo com o autor retrocedido, os solos Argissolos Vermelho-Amarelos localizam-se, principalmente, na margem esquerda do reservatório,

ocupando mais da metade da área de influência do reservatório e, apesar de algumas restrições, apresentam condições favoráveis para atividades agrícolas. Os Latossolos Vermelho-Amarelos e Amarelos localizam-se, principalmente, na margem direita do reservatório; são pobres em nutrientes, mas podem ser utilizados para fins agrícolas, quando adubados e corretamente preparados. Na Figura 12 é apresentado a distribuição pedológica do município de Tucuruí-PA.

Figura 12 - Mapa de Solos do Lago da UHE Tucuruí/PA.



Fonte: PDRS, 2013.

3.8.4 Características Climáticas

O clima predominante da região é tropical tipo quente e úmido, e as estações do ano são divididas entre estações de seca e de chuva ao longo do ano. O período de estiagem acontece entre os meses setembro e outubro, e a época considerada de águas altas, por volta de fevereiro e abril. Nos períodos chuvosos, que começam por volta de novembro e dezembro, as precipitações são em média 300 mm, chegando a 1 a 50 mm nas épocas de seca (WDC, 2000). O clima se categoriza como equatorial super-úmido, tipo Ami, de acordo com a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 26° C, média máxima em torno de 32,0° C e mínima de 22,7° C (SEPOF, 2011).

3.9 TRATAMENTO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

A análise dos dados de precipitação pluviométrica de uma dada região pode ser feita a partir de diversos parâmetros derivados dos totais diários, mensais ou anuais de chuva coletados nas estações pluviométricas selecionadas. Um tratamento estatístico a uma amostra desses dados é frequentemente realizado para o ajuste de distribuições teóricas de frequência com o intuito de se obter elementos da amostra tais como valor médio, variância, assimetria, mínimo, máximo e outros.

O uso de SIG's tem ganhado grande importância em estudos de representação espacial e temporal de precipitações por permitirem uma simulação mais próxima do real na área a ser estudada (MARCUIZZO, 2011).

Além das falhas no sistema de informações hidrológicas HidoWeb comprometerem a utilização do dados gerados, também ocorre a existência de falhas nas séries históricas, devido basicamente, à ausência do observador, falhas nos mecanismos de registro, perda das anotações ou das transcrições dos registros pelos operadores e encerramento das observações entretanto, como existe a necessidade de se trabalhar com séries contínuas, essas falhas necessitam ser preenchidas (Streck et al., 2009; Bertoni & Tucci, 2007).

De acordo com Chibana et al. (2005) vários métodos podem ser utilizados no preenchimento de falhas de dados meteorológicos, incluindo-se a utilização de médias de dados observados ou dados sintéticos obtidos de geradores de dados. Fill (1987) e Bertoni & Tucci (2007) apresentam várias metodologias empregadas no preenchimento de falhas e comentam que nenhuma se presta ao preenchimento de falhas diárias, sendo mais recomendadas no preenchimento de falhas mensais ou anuais.

3.9.1 Correção de Dados Pluviométricos

Para Asce (1996), há métodos e estudos já desenvolvidos para a estimativa e dados ausentes como a média simples, regressão linear, ponderação regional com base em regressões lineares, ponderação regional, vetor regional, inverso da distância, dentre outros. De acordo com o autor

retrocedido, o preenchimento de falhas por erros de anotações ou ausência de dados de precipitação é uma das etapas mais importantes, pois se verifica a qualidade da variável hidrológica em estudo que melhor represente o fenômeno e fidelização dos dados. Há métodos e estudos já desenvolvidos para a estimativa e dados ausentes como a média simples, regressão linear, ponderação regional com base em regressões lineares, ponderação regional, vetor regional, inverso de distância, dentre outras.

Segundo Tucci (2007) e Furlan (2009), os métodos mais usados, tanto para preenchimento de falhas como para a análise de consistência das series pluviométricas, esta última, tem a finalidade de certificar a consistência dos dados corrigidos ou disponíveis em um posto com relação as observações em postos vizinhos, serão descritos a seguir os principais métodos.

- Método Regressão Linear

Esse método de preenchimento de falhas de dados de precipitação consiste em utilizar a técnica da regressão linear simples ou múltipla, segundo a qual a precipitação no posto com falhas é correlacionada estatisticamente com a precipitação em um posto vizinho com dados disponíveis, no caso da regressão simples, ou vários postos vizinhos, no caso da regressão múltipla (TEIXEIRA, 2010).

Segundo Tucci (2002) e Bertoni & Tucci (2007), o método de preenchimento de falha pela regressão linear é mais aprimorado em comparação com a ponderação regional. Neste método se emprega a regressão linear múltipla correlacionando-se a estação com falha com as estações vizinhas, através da seguinte Equação (1):

$$P_x = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i P_i \quad (1)$$

Onde: a_0 e a_i = coeficientes de ajuste do modelo linear

- Método de Ponderação Regional

Este método consiste basicamente no princípio da média aritmética, geralmente utilizado para o preenchimento de series mensais e anuais de precipitações, onde as falhas de um determinado posto e preenchida através de uma ponderação com base nos dados de pelo menos três postos vizinhos, que devem ser de regiões climatológicas semelhantes ao do posto em estudo e ter uma série de dados de no mínimo dez anos (TUCCI, 2007).

Paz (2004) afirma que a única recomendação referente a este método estatístico, é que ele só poderá ser usado para determinar os dados de séries mensais ou anuais, não sendo recomendado para estimar séries diárias, devido à variabilidade temporal e espacial da precipitação.

No método da ponderação regional, descrito por Bertoni & Tucci (2007) e Alves et al. (2006), a falha da precipitação anual na estação de interesse é estimada pelo emprego da seguinte Equação (2):

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{N_x}{N_i} P_i \quad (2)$$

Onde:

P_x = precipitação anual da estação a ter a falha na série preenchida (mm)

P_i = precipitação anual da estação vizinha de ordem “i” para o ano em que se verificou a falha (mm)

N_x e N_i = precipitações médias anuais das estações a ter a falha na série preenchida e da vizinha de ordem “i”, respectivamente (mm)

n = número de estações vizinhas

- Método da Ponderação Regional com Regressão Linear

Segundo Pruski et al. (2004) e Bertoni & Tucci (2007), o método da ponderação regional com base em regressões lineares é uma combinação dos métodos do modelo do tipo potencial com o método de regressão linear. Este método consiste em estabelecer regressões lineares entre os postos com dados a serem preenchidos, P_x , e cada um dos postos vizinhos, P_1, P_2, \dots, P_n . De cada

uma das regressões lineares efetuadas obtém-se o coeficiente de correlação, sendo o preenchimento realizado com base na seguinte Equação (3):

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n 1'_{P_x P_i} P_i}{\sum_{i=1}^n 1'_{P_x P_i}} \quad (3)$$

Onde: $P_1 P_x$ - coeficiente de correlação linear entre os postos vizinhos.

Sendo uma combinação dos dois métodos anteriores, este consiste em estabelecer regressões lineares entre o posto com falhas e cada um dos postos vizinhos selecionados. Para cada regressão linear, obtém-se um coeficiente de correlação (que estima o “grau de correlação” em cada regressão) e a partir desses coeficientes são determinados os pesos de cada posto na equação de determinação da precipitação no posto com falha (TEIXEIRA, 2010).

3.9.2 Análise de Consistência

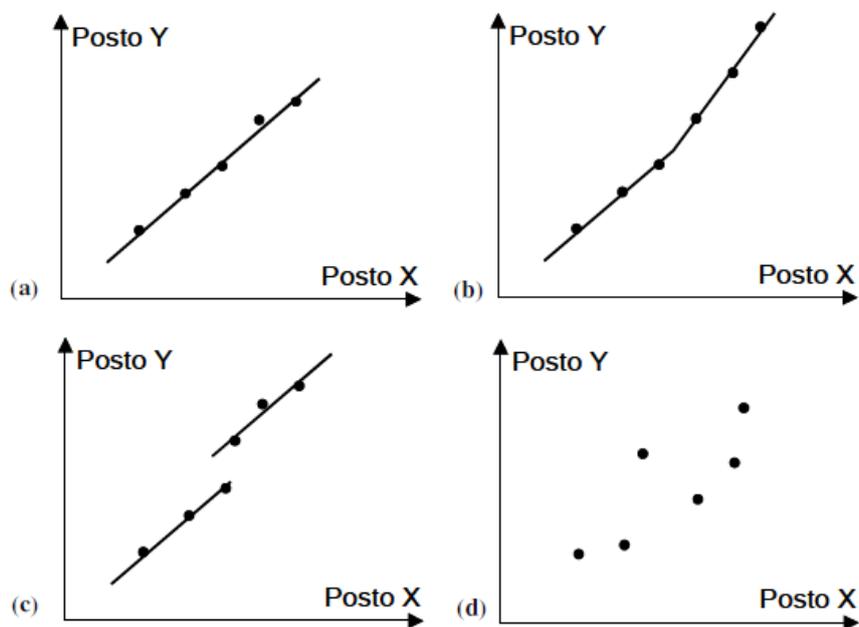
Dispondo das séries de precipitação sem falhas, preenchidas por algum dos métodos descritos anteriormente, convém realizar uma análise de consistência, para avaliar a homogeneidade das informações entre os postos pluviométricos (TEIXEIRA, 2010).

Esta análise é realizada logo após as correções das séries pluviométricas, para obter a consistência dos dados obtidos, comprovando assim, o grau de homogeneidade dos dados disponíveis para comparação, que venham apresentar uma série de dados para servir como base de informação. Para detectar tais inconsistências, geralmente são empregados os métodos da Dupla Massa e do Vetor Regional, sendo os mais destacados na literatura.

O método da dupla massa e exclusivamente indicado para a análise de consistência das series de precipitação, fora desenvolvido pelo Geological Survey (USA), e é o método de análise de consistência mais aplicado nos estudos no Brasil, sendo indicado apenas para series mensais ou anuais (TUCCI, 2007). Este é um método simples, o qual consiste em traçar em um gráfico os totais acumulados de precipitação do posto a consistir (posto cuja consistência se quer analisar) *versus* os totais acumulados de um posto base de comparação.

Se os pontos de tal gráfico se alinharem em uma reta aproximada, isso indica uma proporcionalidade entre os dados dos dois postos em questão, como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Exemplos de resultados da análise de consistência do Posto Y tendo como base o posto X (totais precipitados acumulados).



Fonte: Apostila Hidrologia Aplicada, 2010.

Assim, a análise da dupla massa é frequentemente usada para checar a qualidade do conjunto dos dados das estações pluviométricas. Dados de chuva podem ser muito inconsistentes devido a mudança de localização, erros humanos ou má instalação das estações pluviométricas (CHOW, 1964).

3.9.3 Métodos de Testes Estatísticos Não-paramétricos

A análise de tendência em séries temporais, normalmente são realizadas por testes estatísticos não-paramétricos. Estes envolvem a formulação de uma hipótese baseada na declaração do comportamento probabilístico da série da variável hidrológica em estudo.

Segundo Thom (1966), o teste Run é um teste não-paramétrico que é usado para avaliar se uma série ocorre aleatoriamente. Consiste em realizar a

contagem do número de oscilações dos valores acima e abaixo da mediana, numa série de dados naturalmente ordenada. O número de oscilações é chamado de Run, e deve-se testar se o valor observado está dentro da faixa de distribuição considerada normal. Um valor alto de Run indica muitas oscilações, e valores baixos indicam um desvio em relação à mediana durante o período de registros.

O método Mann-Kendall, também sugerido pela OMM, e o mais utilizado pelos pesquisadores, é um teste não-paramétricos para avaliar tendências em séries temporais (Man, 1945; Kendall, 1975).

Sneyers (1975), considera que o teste de Mann-Kendall, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples).

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

Goossens & Berger (1986) afirmam que o teste de Mann-Kendall é o método mais apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas e permite também a detecção e localização aproximada do ponto inicial de determinada tendência.

3.9.4 Estatística Aplicada a Análise Pluviométrica

Para os estudos hidrológicos acerca de uma bacia hidrográfica, uma das informações mais imprescindíveis é o regime pluviométrico da região. Uma forma, então, de incorporar as medições pontuais dos postos e espacializar tais informações para a área da bacia é determinando a precipitação média. Para se obter uma precipitação média de uma área é necessário estabelecer um cálculo que estime o valor médio uniforme da precipitação na área considerada, associada a um período de tempo.

Segundo Villela & Mattos (1975), para converter os valores pontuais das estações pluviométricas com base em várias estações e obter a média, são

utilizados três métodos: método da média aritmética, método de Polígono de Thiessen e o método das isoietas. Os dois primeiros métodos são processos puramente mecânicos não requerendo nenhuma habilidade ou julgamento. O resultado obtido pelo terceiro método dependerá da precisão do julgamento da pessoa que efetua ou manipula o cálculo computacional bem como de seus valores amostrais (SUBRAMANYA, 2008).

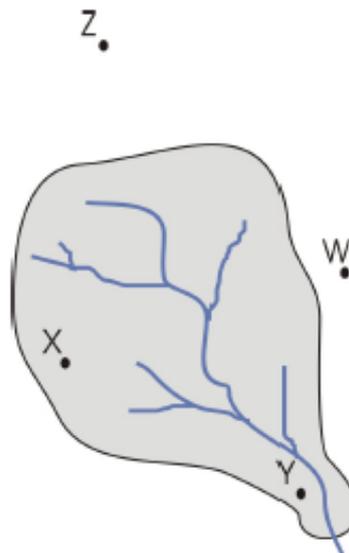
- Método da Média Aritmética

Esse método é o mais simples e consiste apenas em obter a precipitação média a partir da média aritmética das precipitações nos postos selecionados. Assim, supondo que estejam disponíveis dados dos postos x , y , z e w , a precipitação média na bacia da Figura 14 pode ser estimada como apresenta a Equação 4:

$$P_m = \frac{P_X + P_Y + P_Z + P_W}{4} \quad (4)$$

Onde P_X , P_Y , P_Z , P_W , são as precipitações nos postos X , Y , Z e W , respectivamente, e P_m é a precipitação média na bacia.

Figura 14 - Representação da bacia hidrográfica como um sistema aberto.



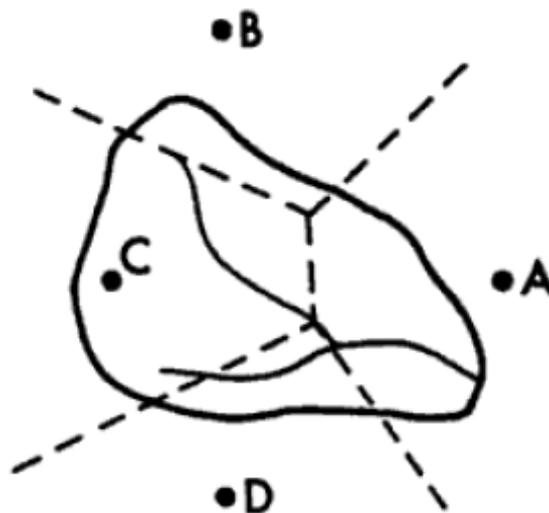
Fonte: Apostila Hidrologia Aplicada, 2010.

Esse método não considera a localização geográfica dos postos, relativamente à bacia. Para o exemplo dado, a precipitação registrada no posto W tem a mesma importância daquela medida em Y, situada no interior da bacia, na estimativa da precipitação média via o método aritmético.

- Método Polígono de Thiessen

O Polígono de Thiessen consiste em atribuir um fator de peso aos totais precipitados medidos em casa posto pluviométrico, sendo estes pesos proporcionais a área de influência de cada posto. São considerados os postos inseridos na bacia, bem como os postos localizados na região de contorno e que exercem influência na Bacia (CHOW, 1964). Os pesos relativos para cada posto são calculados pelas respectivas áreas, onde as fronteiras dos polígonos são formadas pelas mediatrizes das linhas que unem dois pontos adjacentes conforme a Figura 15.

Figura 15 - Áreas de influência de cada posto pluviométrico após o traçado de mediatriz do segmento de reta entre postos.



Fonte: ASCE, 1996.

A precipitação média na bacia é calculada pela Equação (5) (ASCE, 1996):

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \bar{P}_i}{A} \quad (5)$$

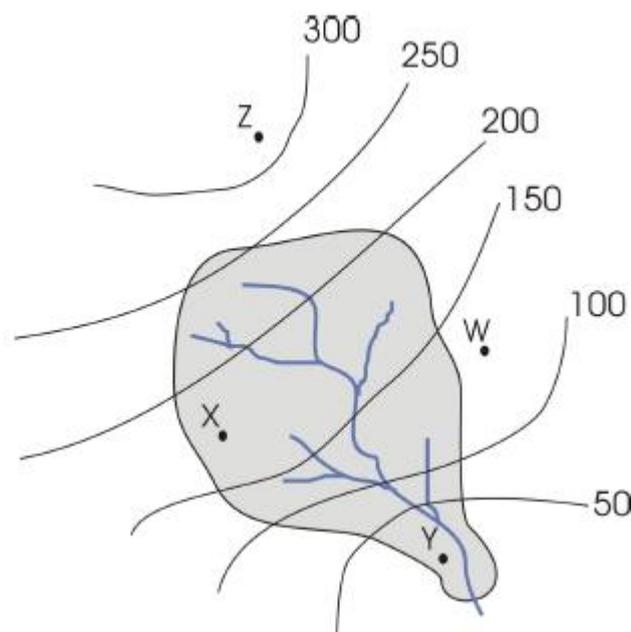
Onde P é a precipitação média na bacia (mm); P_i é a precipitação no posto i (mm); A_i é a área do respectivo polígono, dentro da bacia (km^2) e A é a área total da bacia (km^2).

- Método das Isoietas

As Isoietas, Isoetas ou Isolinhas são linhas que representam a altura da lamina d'água, ou seja, uma isoietas traçada ao longo de uma determinada área significa que todos os pontos por onde passa esta linha possuem a mesma precipitação. O método das isoietas utiliza as isoietas para determinação da precipitação média em uma bacia. As isoietas são linhas de igual precipitação, traçadas para um evento específico ou para uma determinada duração.

As isoietas são determinadas por interpolação a partir dos dados disponíveis nos postos da área em estudo, podendo depois ser ajustadas conforme o relevo. Na Figura 16 é apresentado um exemplo fictício das isoietas em uma bacia hidrográfica, correspondendo a valores mensais.

Figura 16 - Exemplo de isoietas mensais, com valores em mm.



Fonte: Apostila Hidrologia Aplicada, 2010.

Segundo Garcez et al. (2002) este método, apesar das imprecisões quanto as dificuldades do traçado das isoietas, tem a vantagem de descrever

melhor a distribuição das chuvas em uma determinada região, pois sua aplicação envolve a interpolação entre os valores das estações vizinhas. Além disso, por ser um método que requer muito trabalho para realizar os traçados, atualmente já existem ferramentas computacionais que automatizam o controle, diminuindo inclusive o tempo e proporcionando mais qualidade ao traçado.

A precipitação média na bacia pode ser obtida, portanto, a partir das isoietas traçadas, fazendo uma média ponderada em função das áreas entre duas isoietas consecutivas e o valor médio entre elas, como mostra a expressão (6) a seguir:

$$P_m = \frac{\sum \left(A_{i,i+1} \cdot \left(\frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right) \right)}{A}, \quad (6)$$

Onde $A_{i,i+1}$ é a área entre a isoietas i e a consecutiva $i + 1$; P_i e $P_{i + 1}$ são as precipitações referentes às isoietas i e $i + 1$; P_m é a precipitação média na bacia; e A é a área da bacia que, no caso, é equivalente ao somatório das áreas entre as isoietas.

3.9.5 Métodos de Interpolação

Queiroga (2006) destaca que a interpolação espacial transforma os dados pontuais registrados nas estações em campos contínuos, gerando padrões espaciais que podem ser comparados com outras entidades espaciais. A técnica da interpolação se baseia nas médias dos valores registrados.

Dentre os métodos para interpolação de dados pluviométricos, destaca-se o método de Krigagem, que baseia-se em modelos estatísticos que incluem a autocorrelação entre os pontos medidos, e o método do inverso do quadrado das distâncias (IDW), que tem como base os valores medidos no entorno, para determinar o comportamento da superfície.

- Método do Inverso do Quadrado das Distâncias

O método de interpolação IDW, também conhecido como a ponderação do inverso das distâncias. É uma técnica mais simples e utilizada para estimar

as variáveis de interesse (Reis et al., 2005), pois ele atribui peso a pontos mais próximos. Além disso, está presente em todos os programas de softwares de geoprocessamento.

A interpolação IDW “[...] generaliza a ideia de média móvel local, sugerindo que a densidade do fenômeno varia localmente de forma suave, sem picos nem descontinuidades.” (ANJOS et al., 2017). Além disso, para Camargo et al. (2004) o seu objetivo é produzir uma superfície mais suavizada para poder representar o mais próximo do real os fenômenos naturais. Já os autores Alves; Vecchia (2011) o classificam como sendo: “Este método pode ser classificado tanto como um interpolador exato como suavizante, faz com que os pesos dos dados sejam avaliados durante o processo de interpolação [...]” (ALVES; VECCHIA; 2011, p.194).

- Krigagem

Dentre os métodos de krigagem, destacam-se o método simples; ordinária linear; método universal e cokrigagem.

Salgueiro (2005) ressalta que métodos e critérios tradicionais de interpolação devem moderadamente ser complementados ou substituídos por ferramentas de maiores acurácias, como a Krigagem e a Co-krigagem, ou outros métodos geoestatísticos, a fim de que o bom rendimento das redes pluviométricas e os resultados dos estudos da variabilidade espacial sejam mais eficazes, mesmo admitindo a insuficiência de informações hidrológicas adequadamente disponíveis.

A krigagem, do Frances *Krigeage* e do inglês *kriging*, foi criada, em homenagem ao engenheiro de minas sul-africano Daniel G. Krige, que foi o pioneiro a introduzir o uso de média móveis para evitar a superestimação de reservas de mineração (LANDIM, 1998).

A geoestatística, conhecida como Krigagem, método de interpolação geoestatístico, não tendencioso, mínima variância, se baseia na análise e modelagem da variabilidade espacial de um atributo, a partir de um conjunto de amostras (Goovaerts, 2000).

Segundo Isaaks & Srivastava (1989) apud Jakob (2003) dentre os métodos de interpolação citados, a krigagem produz a melhor estimativa linear não-viciada dos dados de um atributo em um local não amostrado, utilizando-se a previa modelagem do variograma.

Os dois principais tipos de krigagem podem ser distinguidos de acordo com a maneira da tendência $m(p)$. Krigagem ordinária (KO) considera que a tendência é desconhecida e constante sobre as amostras vizinhas e krigagem com modelos de tendência indicam que a média local varia dentro de cada vizinhança e sua tendência é modelada como uma função de coordenadas, sendo a mais usual a krigagem universal (KU) (DEUTSCH & JOURNEL, 1998).

A Krigagem ordinária é geralmente associada como B.L.U.E. (Best Linear Unbiased Estimator, melhor estimador linear não-viciado). A krigagem ordinária é 'linear' porque suas estimativas são combinações lineares ponderadas dos dados disponíveis; é 'não-viciada' porque busca o valor de erro ou resíduo médio igual a "zero"; e é 'melhor' porque minimiza a variância dos erros (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989).

3.9.6 Análise Variográfica

Na geoestatística, a informação dos locais espaciais permite o cálculo das distâncias entre as observações e modelar a autocorrelação como uma função da distância, para representar a continuidade espacial da função aleatória $Z(p)$ na direção do vetor h . Para isto, a função mais comum utilizada é o (semi)variograma.

Segundo Jakob (2003), variograma é a descrição matemática do relação entre a variância de pares de observações (pontos) e a distância separando estas observações (h). A autocorrelação espacial pode então ser usada para fazer melhores estimativas para pontos não amostrados (inferência = krigagem).

Segundo Oliveira et al. (2007) a análise variográfica trata-se de um processo de estimativa por medias móveis, de valores de variáveis distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes, enquanto considerados como interdependentes por uma função denominada variograma. Como no cálculo dessa função a somatória de diferenças ao quadrado e dividida por $[2 \times (\text{número}$

de pares de valores)], o termo correto seria semivariograma. O modelo para a representação desta função é dada pela Equação (7):

$$y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_{i+h})] \quad (7)$$

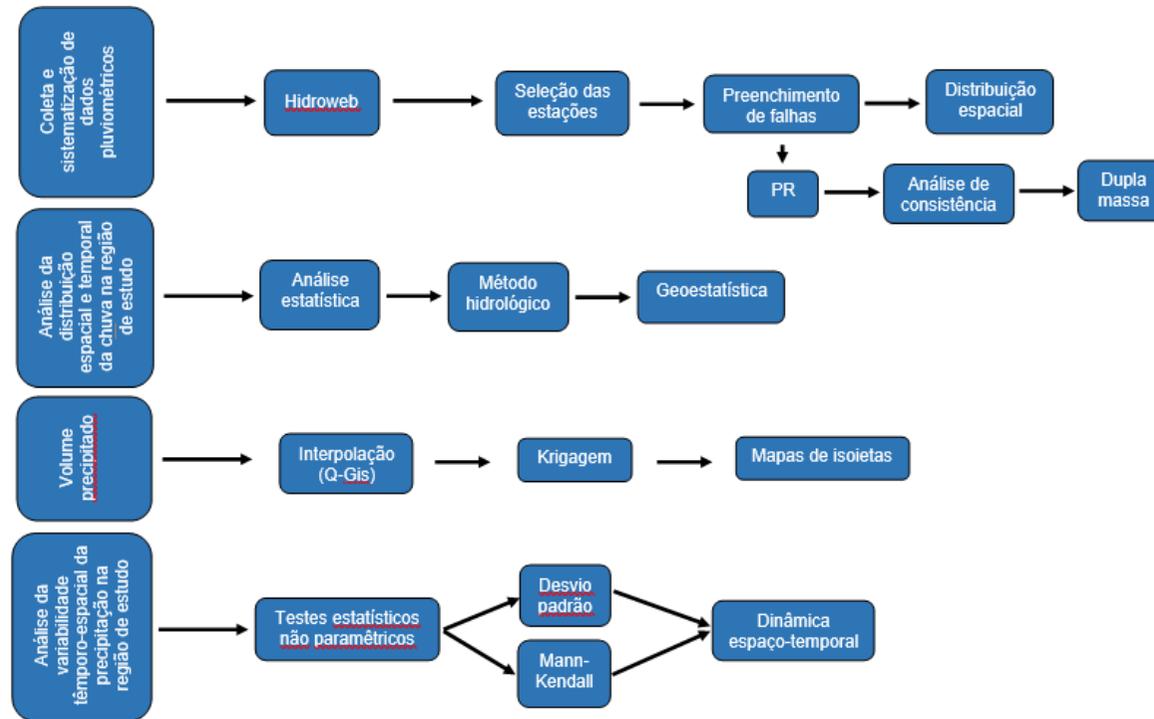
Onde:

- $y(h)$ é a semivariância para um vetor h (anos);
- $z(x_i)$ e $z(x_{i+h})$ são pares de observações de precipitação pluviométrica, separadas pelo vetor h (anos);
- $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $z(x)$, $z(x+h)$, separados por um vetor h .

4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram divididas etapas que atendem os objetivos geral e específicos do presente estudo, conforme ilustra o fluxograma da Figura 17.

Figura 17 Fluxograma metodológico para análise da chuva na região da UHE-Tucuruí/PA.



Fonte: Autor (2019).

No presente estudo foi realizada pesquisa bibliográfica na biblioteca da Universidade Federal do Pará (UFPA), acesso a rede de internet nas plataformas que pudessem contribuir com informações, como do Portal de Periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Agência Nacional de Águas (ANA), Sistema de Informações Hidrológicas (SNIRH) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Em seguida, foram selecionados trabalhos que auxiliassem no desenvolvimento desta pesquisa, a partir de um referencial teórico-conceitual em dinâmica de chuvas, alterações pluviométricas devidas à construção de UHE"s e métodos estatísticos aplicados a análise pluviométrica, pertinentes a melhor aplicabilidade de metodologia na área de estudo.

Dentre os estudos que fundamentaram esta pesquisa, destaca-se os trabalhos de Ribeiro et al. (2014) - Análise da tendência climática nas séries temporais de temperatura e precipitação de Tucuruí – Pará; Limberger et al. (2008) - Mudanças climáticas globais e alterações climáticas: a participação dos grandes reservatórios de usinas hidrelétricas; Moraes et al. (2005) - Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará; Menezes et al. (2015) - O uso da estatística para regionalização da precipitação no estado do Pará, Brasil e; Sanches, F.; Fisch, G. (2005) - As possíveis alterações microclimáticas devido a formação do lago artificial da hidrelétrica de Tucuruí–PA.

Para alcançar os objetivos traçados neste trabalho foram adotados os seguintes procedimentos metodológicos, de acordo com os objetivos específicos, e divididos nas seguintes etapas:

4.1 COLETA E SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

As informações, coletas, análises e seleção dos dados de precipitação da área de estudo foram adquiridos a partir do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) e softwares de tabulação e análises de dados (Figura 18).

Figura 18 - Interface de Consulta do HIDROWEB.

The screenshot shows a web browser window with the URL www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf. The page title is 'Séries Históricas de Estações'. The interface includes a navigation menu on the left with options like 'Apresentação', 'Baixar Inventário', 'Séries Históricas', 'Mapa', 'Downloads', and 'Fale Conosco'. The main content area features a search form titled 'Pesquisar Estação' with the following fields: 'Código da Estação' (text input), 'Nome Estação' (text input), 'Bacia' (dropdown menu with 'Todos' selected), 'Estado' (dropdown menu with 'Todos' selected), 'Responsável (Sigla)' (text input), and 'Operadora (Sigla)' (text input). At the bottom of the form are two buttons: 'Consultar' and 'Limpar'.

Fonte: ANA, HIDROWEB (2019).

Realizou-se o levantamento para quantificar as estações pluviométricas com e sem dados disponíveis e selecionar as que apresentaram dados para a realização da pesquisa. Em seguida, as mesmas foram armazenadas em um banco de dados. Alguns erros ou falhas foram encontrados, este tipo de problema, segundo Teixeira (2010) pode ocorrer devido à falta de manutenção da estação ou pelo operador da estação.

Para a seleção das estações pluviométricas, foi considerado a localização, sendo coletados e analisados dados de estações que apresentaram disponibilidade de séries históricas, que estavam inseridas em um raio de até 200 km de distância do ponto de referência, no caso, a casa de força da UHE-Tucuruí.

Além das estações pluviométricas selecionadas dentro da área de estudo, foram utilizadas as estações localizadas na sua parte externa, para melhor consistência na interpolação dos dados, evitando-se áreas sem interpolação. Tendo como critério para análise as séries históricas com período maior ou igual a 30 anos de dados e com no máximo 10 anos de falhas, seguindo as recomendações da Organização Mundial de Meteorologia (OMM, 1994), que para os cálculos dos padrões climatológicos é necessário período com abrangência de no mínimo três décadas consecutivas.

Visando a caracterização pluviométrica, os dados referentes às estações da área de estudo foram coletados em formato Microsoft Access Database, pois este é o formato recomendado para a utilização do software Hidro 1.4. (Figura 19). Este programa é disponibilizado pela própria ANA, e permitiu organizar e manipular os dados hidrológicos, que posteriormente foram exportados para a planilha de banco de dados.

Figura 19 - Interface do software Hidro 1.4

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1970				47.9	230.7	180.9				16.2	41.5		
1971								51.8	39.3	41.1	114.5	36.4	277.7
1972	262.3	287.6	356.7	310.4	137.2	122.4	48.6	33.2	13.6	44.1	186.4	215.2	2015.9
1973	306.8	347.3	493.2	558.0	282.0	137.9	243.3	41.7	61.3	74.2	90.5	241.2	2883.4
1974	451.5	470.1	594.4	436.0	347.1	96.3	16.1	0.0	43.2	26.8	63.5	262.4	2801.4
1975	301.1	474.5	513.1	475.7	271.6	152.0	40.7	29.7	13.4	21.2	163.7		
1976				14.4	66.5	36.3	22.0	3.3	25.8				216.5
1977	537.8	611.4	625.5	586.0	313.0	73.0	37.1	3.2	29.0	95.6	16.9		
1978	428.2	260.7	408.1	555.1	357.7	100.0	116.3	18.0	15.9	51.4			109.9
1979	339.1	294.8	413.3	159.7	194.4	79.9	2.7	101.7	77.8	78.9	128.8	194.9	2060.0
1980	382.6	520.4	336.4	290.0	144.9	20.4	12.4	7.9	6.4	43.6	193.7	147.4	2106.1
1981	255.1	342.3	336.5	158.8	127.4	37.1	98.5	12.9	2.6	90.8	167.0	147.8	1758.9
1982	489.4	684.0	487.4	280.3	225.6	117.3	95.6	32.2	80.1	73.1	68.1	166.0	2639.1
1983	193.4	357.6	361.4	192.3	201.8	43.9	25.5	21.0	16.7	15.3	18.1	246.0	1693.0
1984	303.1	650.2	417.2	668.0	273.2	48.5	39.1	50.6	63.8	144.2	100.1	230.8	2986.9
1985	469.5	536.7	424.0	340.5	311.5	65.1	23.0	38.3	11.1	91.7	116.4	379.5	2809.3
1986	401.0	381.8	540.3	554.2	1123.1	193.1	21.0	39.1	28.9	299.3	198.3	366.4	3051.1
1987	148.5	393.3	594.2	354.8	174.9	140.5	3.4	21.4	30.6	12.0	42.5	169.5	2095.6
1988	472.5	259.9	625.9	536.3	235.6	258.3	72.3	44.6	11.1	59.6	148.5	294.8	2918.4
1989	214.4	334.7	389.0	512.5	340.0	130.0	42.4	29.0	34.9	112.4	121.7	247.7	2516.7
1990	179.0	226.6	211.1	328.7	130.0	49.4	123.3	19.9	40.0	76.7			320.8
1991	354.3	336.2	389.0	234.4	245.8	69.1	19.4	18.6	38.2	66.9			120.0
1992	239.9	316.2	449.3	283.0	130.1	30.6	36.4	29.7	24.6	0.0	80.3	215.6	1836.7
1993	430.8	374.2	307.2	443.4	122.7	22.9	0.2	25.1	51.3	46.1	229.6	341.0	2296.5
1994	231.1	503.6	486.0	273.4	426.4	150.4	62.6	84.5	95.7	51.9	32.5	145.6	2473.7
1995	221.0	401.6	345.0		291.8	33.0	39.1	1.4	8.6	82.2	242.1		181.7
1996	337.3	269.1	313.4	422.3	294.0	6.6							
Média	331.2	413.6	424.6	377.1	225.9	89.4	48.7	30.2	31.3	68.5	112.8	210.2	2408.7

Fonte: Plataforma HIDRO 1.4 (2019).

Depois de analisado os dados pluviométricos, a próxima etapa foi verificar a consistência dos dados registrados pelas estações pluviométricas, mais especificamente observar a presença de períodos em que os dados não foram registrados.

No caso em que foram encontradas falhas nas medições, essas foram preenchidas e/ou corrigidas com auxílio de método estatístico de preenchimento de falhas. Mediante levantamento bibliográfico que procederam também a interpolação pluviométrica em suas áreas de estudos, verificou-se que o método da ponderação regional, método simplificado, de fácil aplicação, utilizado para o preenchimento de séries mensais ou anuais de precipitações, possibilita boas estimativas para regiões com características de rede pluviométrica semelhantes a esta área de estudo. Metodologia utilizada por Soares et al. (2014) em Distribuição espaço-temporal da precipitação na região hidrográfica da Baía da Ilha Grande – RJ e por Penereiro (2013) em Identificação de tendências sazonais

dos regimes climático e hidrológico na bacia hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia).

O método da ponderação regional, consiste basicamente no princípio da média aritmética, geralmente utilizado para o preenchimento de séries mensais e anuais de precipitações, onde as falhas de um determinado posto são preenchidas através de uma ponderação com base nos dados de pelo menos três postos vizinhos, que devem ser de regiões climatológicas semelhantes ao do posto em estudo e ter uma série de dados de no mínimo dez anos (TUCCI, 2007).

Feita a correção dos dados, o passo seguinte foi a validação da consistência dos mesmos. Para tanto, foi utilizado o método da dupla massa, comparando os valores acumulados anuais da estação que foi corrigida com os valores da estação vizinha mais próxima e com maior período de dados.

4.2 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA CHUVA NA REGIÃO DA UHE-TUCURUÍ-PA

Os métodos hidrológicos e geoestatísticos foram utilizados para elaboração de mapas de isoietas, cálculo e espacialização da precipitação anual média e estimativa do volume precipitado no período de 1988 a 2017 na região do lago da UHE - Tucuruí.

Após a realização da coleta de dados, foi realizado o processo de sistematização e interpolação dos dados pluviométricos para análise espacial e temporal da variabilidade pluviométrica na região de estudo. O processo consiste na análise do regime pluviométrico, isto é, do comportamento e da distribuição espacial e temporal das chuvas no período adotado de 30 anos. Os estudos sobre o regime pluviométrico de uma região são realizados pela análise individualizada (hora), somatórias (dia, mês e ano) ou médias de uma série histórica.

A construção do mapa de isoietas foi procedida por meio de uma interpolação realizada de modo discreto entre pontos sucessivos. Dentre os métodos de interpolação a geoestatística se destaca por ser um método que

busca a variância mínima com uma rede de dados de baixa densidade e irregularmente espaçada (LUO et al., 2007).

A plotagem dos postos pluviométricos em mapa georeferenciado da região do Lago da UHE Tucuruí, serve para a visualização da densidade por toda esta área. Verificando se esta distribuição se dá de forma homogênea ou não, e ao mesmo tempo, verificar como se comporta a distribuição espacial entre as mesmas. Este mesmo procedimento foi adotado para verificar a distribuição espacial dos postos pluviométricos que detém o período conforme adotado neste trabalho.

Para a realização da plotagem das estações nos mapas georeferenciados, procedera-se com o auxílio do software QGis 3.0.3, que possibilita situar as estações segundo a sua localização geográfica exata, além de possuir capacidade de leitura dos valores quantitativos pontuais da precipitação, traçando as isolinhas segundo o método da interpolação adotado.

Depois de realizado o processo de correção de falhas de todas as estações pluviométricas, aplicou-se a escolha do melhor método para confecções dos mapas de isoietas. Dentre os citados no trabalho, o método utilizado para a interpolação dos valores de chuvas foi escolhido, mediante levantamento bibliográfico de estudos que procederam também com a interpolação pluviométrica na região em estudo ou em outras localidades semelhantes.

Também foi utilizado o método de Krigagem ordinária linear, no entanto, para aplicação deste método, é necessário que haja primeiramente uma análise variográfica através de um variograma, que permite descrever quantitativamente a variação no espaço de um fenômeno regionalizado, pois é a mais aplicada para situações com tendências regionalizadas, permitindo descrever quantitativamente a variação no espaço de um fenômeno regionalizado.

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

mesmo tempo possui a variância mínima das estimativas (LUNDGREN *et al.*, 2017).

Método utilizado por Loureiro (2012) em Avaliação quantitativa da dinâmica espaço-temporal da precipitação na região hidrográfica Tocantins-Araguaia e por Ishihara (2010) em Avaliação do monitoramento pluviométrico da Amazônia legal.

4.3 DETERMINAÇÃO DO VOLUME PRECIPITADO

Para a obtenção do volume de chuvas precipitado na região em estudo a partir dos desenhos elaborados com os traçados das isolinhas, foi aplicado a metodologia mais adequada para a obtenção dos resultados, onde foram calculadas as áreas entre as isolinhas com o mapa em escala e feito a análise do deslocamento da precipitação dentro da área de estudo para o período adotado, tendo em vista as dimensões que se está trabalhando, e para melhor entendimento e visualização da dinâmica dos volumes em micro, meso e macro escala da região. Depois de obtido os resultados, os mesmos foram correlacionados com a formação do lago da UHE Tucuruí para as variações pluviométricas na região.

Nesta etapa, foi calculado o volume de chuvas precipitado na região em estudo a partir dos mapas com os traçados das isolinhas. Para tanto, foi exportado os mapas de isoietas confeccionados com o auxílio do software QGis 3.0.3, onde foram calculadas as áreas entre as isolinhas com o mapa em escala, conforme Equação 8:

$$P_m = \frac{\sum(A_{i,i+1} \cdot (P_i + P_{i+1}))}{A} \quad (8)$$

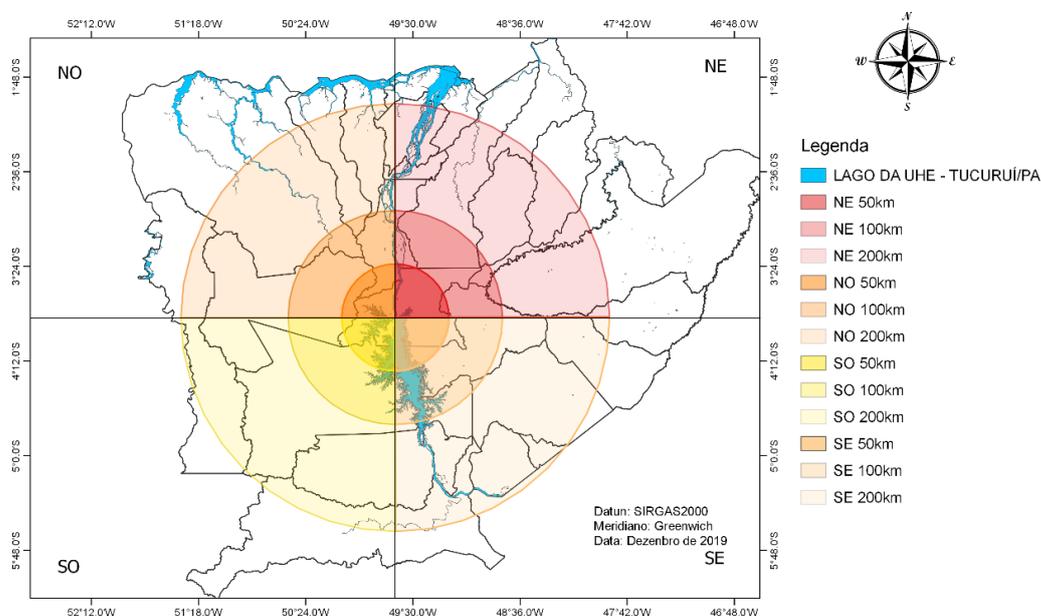
Onde $A_{i,i+1}$ é a área entre a isoietas i e a consecutiva $i+1$; P_i e P_{i+1} são as precipitações referentes às isoietas i e $i+1$; P_m é a precipitação média na bacia; e A é a área da bacia que, no caso, é equivalente ao somatório das áreas entre as isoietas.

4.4 ANÁLISE DA VARIABILIDADE TÊMPORO-ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO DE ESTUDO

Para verificar a escala da variabilidade do comportamento pluviométrico da região de estudo, devido a instalação da hidrelétrica que ocasionou a submersão de uma área da floresta pela formação do lago artificial, analisou-se a dinâmica pluviométrica na região numa distância de até 200 km de raio da UHE Tucuruí, tendo como referência as coordenadas de localização 03° 49' 55,66" S e 49° 38' 58.69" W, e dividiu-se a mesma em 4 quadrantes formados por duas linhas transversais sobre o ponto de referência, denominados de Nordeste (NE), Noroeste (NO), Sudoeste (SO) e Sudeste (SE), no período de 30 anos (1988 – 2017), que segundo Limberger (2007), é o período mínimo recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), que denominou esta série de normal climatológica completa.

Em seguida, dividiu-se a área de estudo em 12 quadrantes, formadas por 3 raios com diferentes níveis, onde o primeiro apresenta 50 km, o segundo 100 km e o terceiro 200 km de distância da UHE Tucuruí-PA (FIGURA 20).

Figura 20 - Subdivisão proposta para a área de estudo



Fonte: Autor (2019).

Depois analisou-se os índices de precipitação de cada quadrante, obtendo-se assim as regiões e os anos que apresentam períodos mais ou menos extensos de precipitação e, estatisticamente, também verificou-se o deslocamento e a dinâmica da precipitação na região, através de curvas de isoietas fazendo a avaliação se o volume anual de chuvas sofreu alterações no período, além de verificar como este volume está distribuído no espaço, de forma que possa ser avaliado o comportamento das chuvas ao longo destes últimos anos na região.

Com a obtenção e a sistematização das informações do volume de precipitação expostos e representados na área de estudo através de mapas de isoietas, foi analisado a homogeneidade, o comportamento e a distribuição espacial e temporal das chuvas.

Para a análise da tendência de crescimento ou decréscimo e magnitude da precipitação anual e mensal, foi aplicado o teste de Mann-Kendall, metodologia que foi realizada pelos autores: Loureiro et al. (2015); Ishihara et al. (2014); Bari et al. (2016); Kahsay et al. (2018), Pandey e Khare (2018).

Este teste compara cada valor de uma série temporal com os outros valores restantes em ordem sequencial, baseado na estatística definida por Yue, et al. (2002), Liu et al. (2009); Silva et al. (2010) representado na Equação 9:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (9)$$

Onde ' x_j ' são os valores sequenciais dos dados, ' n ' é o comprimento do conjunto de dados e ' $\text{sgn}(x_i - x_j)$ ' é -1 para ' $\text{sgn}(x_i - x_j) < 0$ ', ' $\text{sgn}(x_i - x_j)$ ' é 0 para ' $\text{sgn}(x_i - x_j) = 0$ ' e 1 para ' $\text{sgn}(x_i - x_j) > 0$ '. A média ' $E(S)$ ' e variância ' $Var(S)$ ' da estatística ' S ' pode ser dado como Equação 10 e 11:

$$E(S) = 0 \quad (10)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n-1) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (11)$$

Onde ' q ' é o número de grupos empatados e ' tp ' é o número de pontos de dados no grupo ' pth '. Considerando hipótese nula e ausência de ' q ' a variância ' $Var(S)$ ' pode ser dado como:

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (12)$$

A estatística de teste padronizada Z_{MK} é fornecida como Equação 13:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & se \quad S > 0 \\ 0 & se \quad S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & se \quad S < 0 \end{cases} \quad (13)$$

Uma série temporal tem uma tendência clara, definida como nível de significância de 5%, se $|Z_{MK}| > |Z_{\frac{\alpha}{2}} = 1.96|$. A positiva Z_{MK} indica uma tendência crescente no séries temporais, enquanto uma Z_{MK} negativo indica uma diminuição na tendência (YU, et al., 2002).

Nesta pesquisa o teste foi definido para nível de significância de 5%, que é a probabilidade de erro de rejeitar a H_0 quando esta for verdadeira. Portanto se o p-valor obtido através de Z_{MK} é menor que nível de significância alfa (0,05) rejeita-se a hipótese nula (H_0) e aceita-se a hipótese alternativa (H_a) o que indica a presença de tendência na série de dados para este nível.

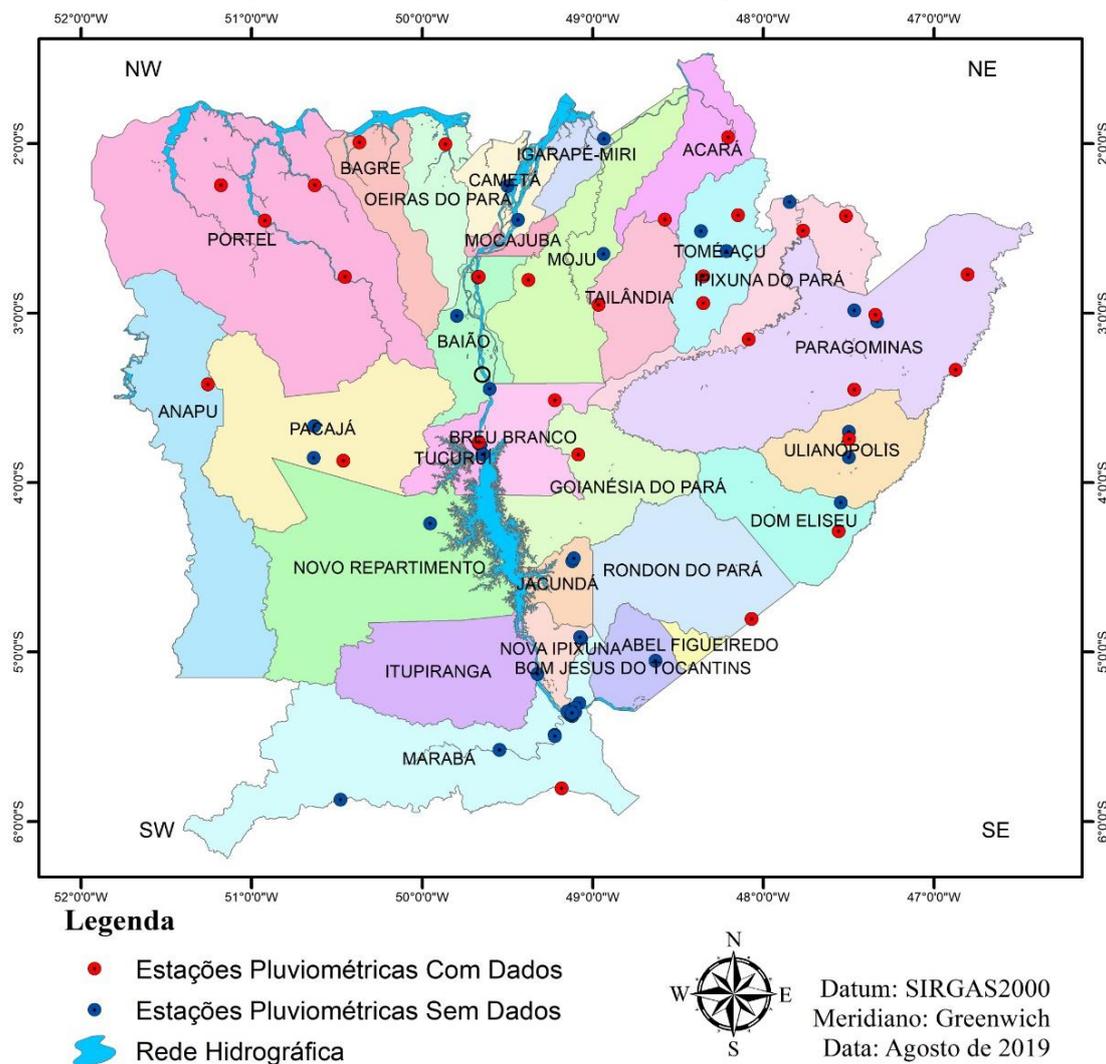
Para Salviano *et al.* (2016), trata-se de um teste bicaudal, para rejeitar a H_0 é preciso que o valor absoluto de Z_{MK} seja superior a $Z_{\alpha/2}$. Assim, para $\alpha = 5\%$, $Z_{0,05/2} = Z_{0,025} = 1,96$. Portanto, considera-se tendência significativa ao nível de significância de 5% caso $Z_{MK} > 1.96$.

5 RESULTADOS E DISCURSÕES

5.1 SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS

A partir da obtenção e a sistematização dos dados pluviométricos, foram georeferenciadas e espacializadas as 70 estações de acordo com a ANA, distribuídos em 24 municípios de 5 mesoregiões do Estado (FIGURA 21).

Figura 21 - Estações pluviométricas da região de estudo.



Fonte: Autor (2019).

A Tabela 6 apresenta a quantificação das estações pluviométricas por município e sua respectiva área de abrangência média.

Tabela 6 - Estações pluviométricas encontradas na região de estudo.

Nº	Município	Região	Nº Estações	Área Total (Km ²)	Km ² por Estações
01	Acará	Nordeste	3	4.343,77	1.447,92
02	Bagre	Marajó	1	4.397,29	4.397,29
03	Baião	Nordeste	3	3.758,29	1.252,75
04	B. J. do Tocantins	Sudeste	1	2.816,42	2.816,42
05	Breu Branco	Sudeste	1	3.943,17	3.943,17
06	Cametá	Nordeste	1	3.081,36	3.081,36
07	Dom Eliseu	Sudeste	2	5.267,51	2.633,75
08	Igarapé-Miri	Nordeste	1	1.996,82	1.996,82
09	Ipixuna do PA	Nordeste	1	5.216,94	5.216,94
10	Itupiranga	Sudeste	1	7.879,99	7.879,99
11	Jacundá	Sudeste	4	2.008,40	502,10
12	Marabá	Sudeste	15	15.092,28	1.006,15
13	Mocajuba	Nordeste	1	871,171	871,17
14	Moju	Nordeste	2	9.093,85	4.546,92
15	Nova Ipixuna	Sudeste	1	1.600,31	1.600,31
16	Oeiras do PA	Nordeste	1	3.852,25	3.852,25
17	Pacajá	Sudoeste	1	11.832,25	11.832,18
18	Paragominas	Sudeste	7	19.342,56	2.770,81
19	Portel	Marajó	7	25.384,96	3.626,42
20	S. D. do Capim	Nordeste	4	1.677,24	419,27
21	Tailândia	Nordeste	2	4.430,19	2.215,09
22	Tomé-Acu	Nordeste	3	5.145,32	1.715,10
23	Tucuruí	Sudeste	5	2.086,17	417,23
24	Ulianópolis	Sudeste	2	5.081,06	2.540,53
Total			70	150.199,57	2.145,70

Fonte: Autor (2019).

Segundo Garcez et al. (2002) existem propostas de alguns países ou regiões que admitem uma quantidade média de estações pluviométricas para monitoramento de suas áreas, para o Brasil a densidade ideal de postos para monitoramento pluviométrico é de 1 por 400 ou 500 km².

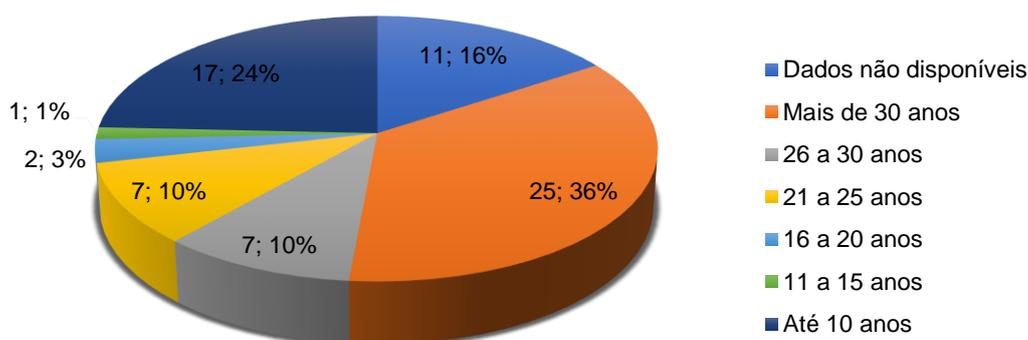
Em se tratando de densidade das estações de monitoramento, a Tabela 2 mostra que a média é uma estação a cada 2.145,70 km², apresentando uma densidade inferior a recomendada pela OMM (1994), que para regiões semelhantes, recomenda-se uma estação a cada 575 km², sendo necessário a instalação de mais estações na região. Segundo Ishihara (2013), a cobertura de estações pluviométricas para o monitoramento da Amazônia legal é muito pequena, sendo a média para a região de uma estação a cada 3.343,91 km².

A densidade de estações é importante para melhor poder subsidiar a gestão e planejamento dos recursos hídricos para os usos múltiplos da água, como navegação, geração hidroelétrica, irrigação, aquicultura, entre outros.

Em seguida realizou-se a seleção das estações pluviométricas que apresentaram dados suficientes (1988-2017), armazenando-as em um banco de dados utilizados no estudo.

O Gráfico 1 apresenta a temporalidade e o percentual das 30 estações com informações necessárias para o desenvolvimento do trabalho dentro da região de estudo, tendo um aproveitamento abaixo de 50% do número total de estações encontradas, devido ao baixo número de estações instaladas e/ou pouco tempo de funcionamento, onde 24% foram instaladas nesta década, 11% não apresentavam mais registros e apenas 25% estão ativas há mais de 30 anos.

Gráfico 1 - Série de dados históricos.



Fonte: Autor (2019).

Marabá foi o município que mais apresentou estações pluviométricas instaladas, porém, 4 não apresentavam dados e 7 foram instaladas recentemente, a partir do ano de 2014.

Selecionadas as estações, A Tabela 7 faz o georeferenciamento das estações com seu código e nome e destaca seu operador.

Tabela 7 - Estações pluviométricas utilizadas na área de estudo.

Nº	Código	Operador	Nome	Município	Lat	Long
1	447001	CPRM	Km Zero / PA-70	Dom Eliseu	-4,2867	-47,5592
2	251000	CPRM	Maracacuera Florestal	Portel	-2,2450	-51,1794
3	148009	CPRM	Acará	Acará	-1,9611	-48,2064
4	248003	CPRM	Tomé-Açu	Tomé-Açu	-2,4208	-48,1489
5	249002	CPRM	Vila Elim	Moju	-2,8044	-49,3778
6	247000	CPRM	Badajós	São Domingos do Capim	-2,5128	-47,7681
7	350000	CPRM	Faz. E. do Norte	Portel	-3,8706	-50,4628
8	347002	CPRM	Fazenda Planalto	Paragominas	-3,4522	-47,4672
9	349002	CPRM	Goianésia	Tucuruí	-3,8336	-49,0858
10	250002	CPRM	Irapuru	Portel	-2,4533	-50,9228
11	250001	CPRM	Vila São Benedito	Bagre	-1,9917	-50,3686
12	250000	CPRM	Cipoal	Portel	-2,7850	-50,4536
13	248001	CPRM	Fazenda Urucure	Acará	-2,4478	-48,5786
14	247004	CPRM	Fazenda São Raimundo	Ipixuna do Pará	-2,4261	-47,5161
15	348001	CPRM	Fazenda Maringa	São Domingos do Capim	-3,1544	-48,0858
16	247005	CPRM	Cafezal	Paragominas	-2,7717	-46,8025
17	248006	CPRM	PA-256 / R. Acará- Mirim	Tomé-Açu	-2,7822	-48,3522
18	347001	CPRM	Gurupizinho	Paragominas	-3,7425	-47,4978
19	249003	CPRM	Baião	Baião	-2,7850	-49,6694
20	448000	CPRM	Rondon do Pará	S. D. do Capim	-4,8036	-48,0689
21	346001	CPRM	Faz. Rural Zebu	Paragominas	-3,3342	-46,8733
22	247006	CPRM	PA-256 / R. Capim	Paragominas	-2,9417	-48,3519
23	549007	CPRM	Km 60 / PA-150	Marabá	-5,8031	-49,1833
24	149003	CPRM	Oeiras do Pará	Oeiras do Pará	-2,0019	-49,8636
25	347000	CPRM	Paragominas	Paragominas	-3,0100	-47,3433
26	348002	CPRM	Tailândia	Tailândia	-2,9503	-48,9669
27	250003	CPRM	Acangata	Portel	-2,2450	-50,6297
28	351000	UFC	Granja gazela	Portel	-3,4194	-51,2558
29	349000	INMET	Tucuruí	Tucuruí	-3,7603	-49,6667
30	349001	CPRM	C. Tracambeua	Moju	-3,5142	-49,2225

Fonte: Autor (2019).

Analisado os dados históricos das chuvas nas 30 estações pluviométricas selecionadas, nota-se que as séries históricas destas estações apresentam variações em quantidade de dados disponíveis, e os mesmos são apresentados na Tabela 8, contendo o número de estações de acordo com a sua respectiva quantidade de séries de dados anuais disponíveis.

Nota-se que apenas uma estação (3%) possui série histórica completa com 30 anos de dados, dezessete (66%) apresentam dados com até 5 anos de ausências e o restante (23%) apresentam falhas ou ausência de dados com 6 a 10 anos.

Tabela 8 - Estações pluviométricas de acordo com a série de dados anuais

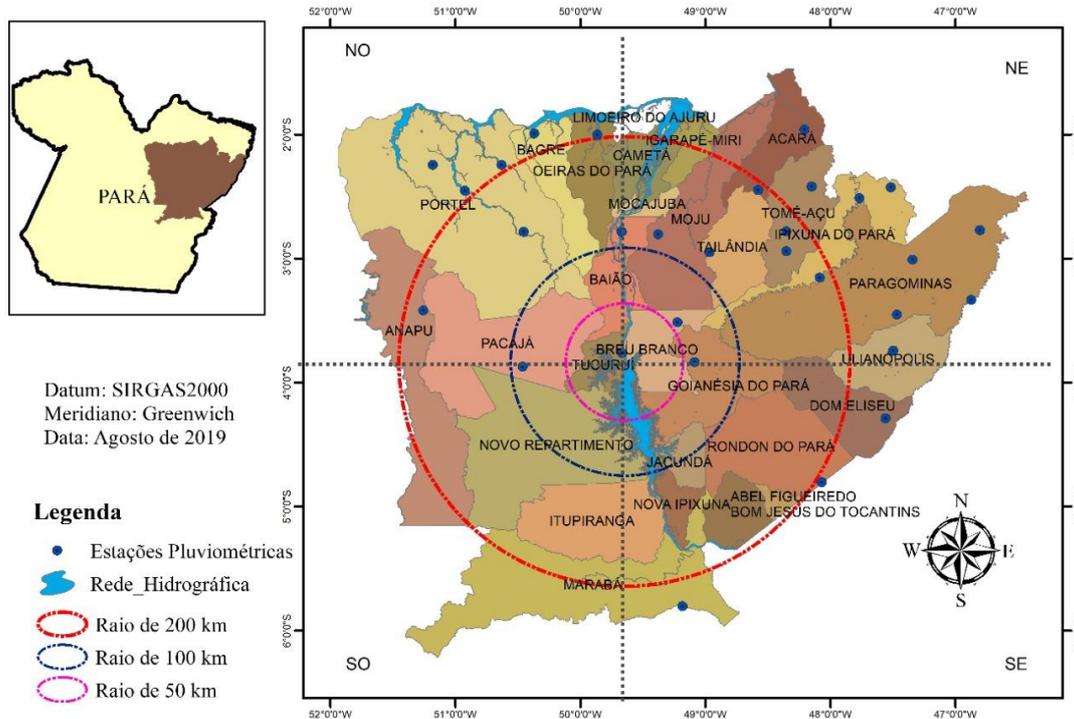
Anos	Nº de Estações	%
30	1	3%
29	3	10%
28	2	7%
27	4	13%
26	7	23%
25	1	3%
24	5	17%
23	4	13%
22	1	3%
20	2	7%
Total	30	100%

Fonte: Autor (2019).

Para viabilizar a pesquisa, foi necessário atingir um número máximo de estações com séries históricas completas e consistentes ou com dados disponíveis. Através do resultado obtido da disponibilidade de dados das séries históricas, notou-se necessário a correção dos dados pluviométricos em grande parte das estações utilizadas neste trabalho, pois foram poucas as estações que estavam com seus dados inteiramente disponibilizados e consistentes.

Observando a Figura 22, que apresenta a densidade das estações pluviométricas encontradas na região de estudo, nota-se que a distribuição espacial das estações que apresentam dados suficientes para o desenvolvimento do trabalho, não ocorre de forma homogênea, como por exemplo, no município de Novo Repartimento que possui uma área de 15.398,71 km², teve 44,29% da área total inundada para a formação do lago (ANEEL, 2008), e tem somente uma (01) estação de monitoramento.

Figura 22 - Estações Pluviométricas da Região de Influência do Lago da UHE Tucuruí – PA.

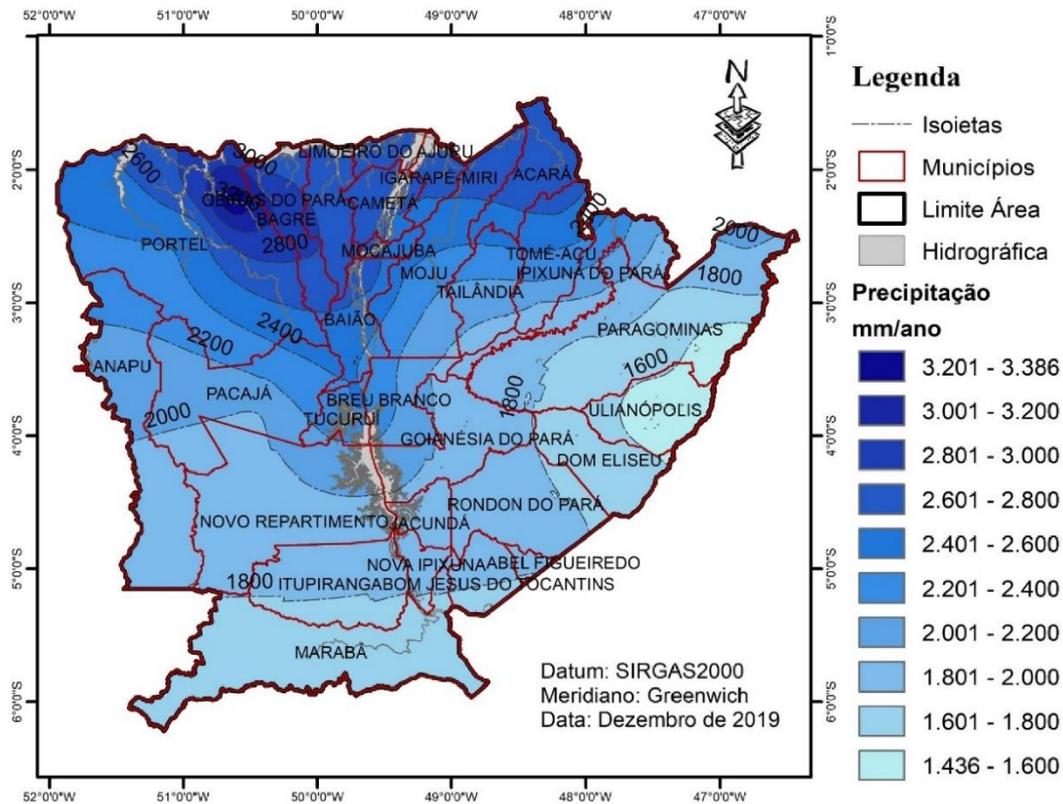


Fonte: Autor, (2019).

5.2 OBTENÇÃO DOS MAPAS DE ISOIETAS

Foram distribuídas espacialmente a precipitação anual média de longo período de 1988 a 2017 das 30 estações pluviométricas da região de estudo (Figura 23).

Figura 23 - Mapa de isoietas da região do Lago da UHE-Tucuruí-PA

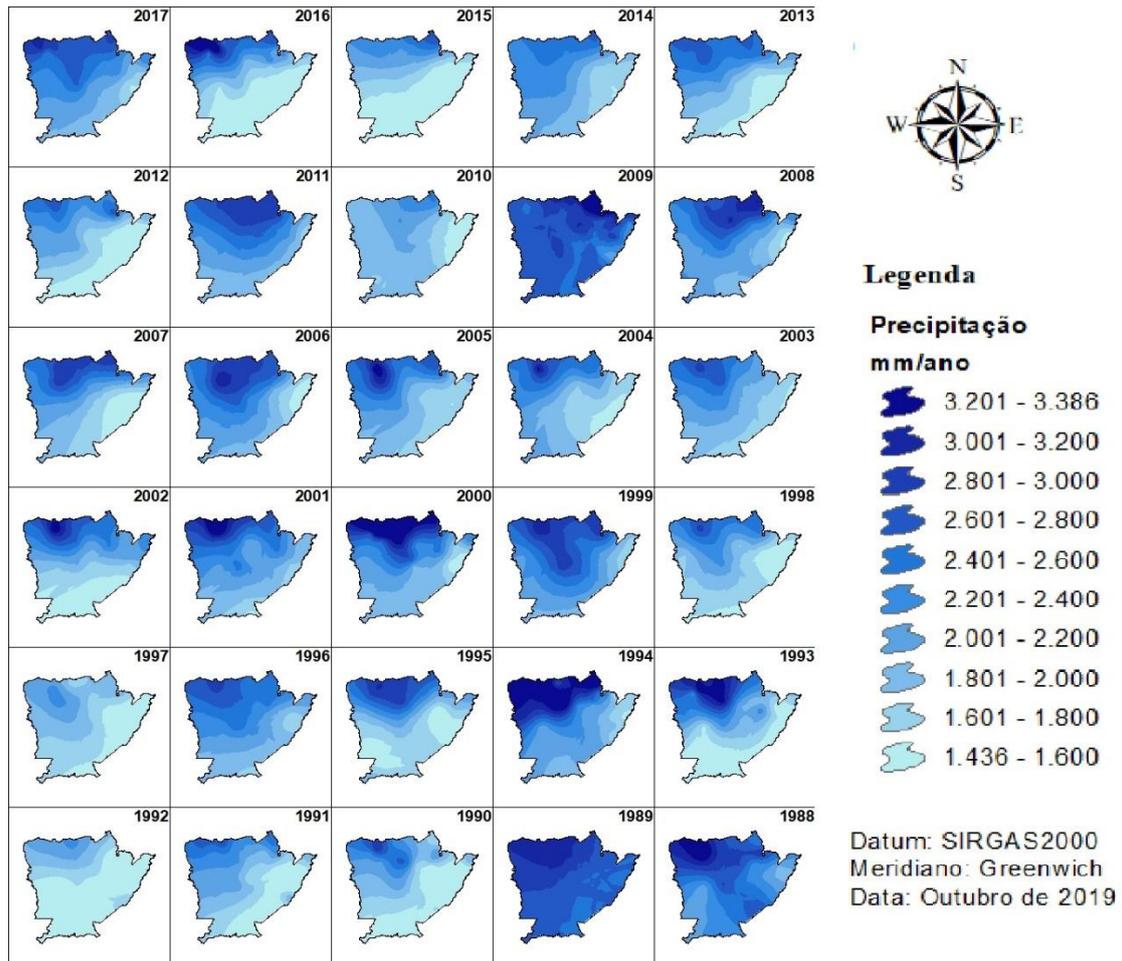


Fonte: Autor (2019).

No mapa, pode-se observar os maiores índices pluviométricos na bacia hidrográfica, encontram-se no Sudeste e Sudoeste paraense, onde estão localizados os municípios de Marabá, Itupiranga, Nova Ipixuna, Abel Figueiredo, Bom Jesus do Tocantins, Jacundá e Novo Repartimento, para a região do Baixo Amazonas, nos municípios de Portel, Oeiras do Pará, Cametá e Bagre, onde estão concentrados índices com mais de 2.400 mm, chegando até 3.386 mm.

Visando analisar a variabilidade espaço-temporal das chuvas na região traçou-se as isoietas através do Método da Krigagem Ordinária Linear, para todos os 30 anos de estudo, em ordem cronológica (Figura 24)

Figura 24 - Distribuição da precipitação anual da região da UHE-Tucuruí/PA de 1988 a 2017.



Fonte: Autor (2019).

Temporalmente observa-se que nos 30 anos de estudo, há uma variabilidade de aumento e diminuição de chuvas (variabilidade espacial), que também podem ser devidos as influências de fenômenos climatológicos, como por exemplo, o *El Niño* e *La Niña*.

Observa-se que os anos com menores índices pluviométricos são os de 1990, 1992, 1997 e 2015, atingindo precipitações anuais de no máximo 2.200 mm. Enquanto que os anos de 1988, 1989 e 2009 apresentam altos índices pluviométricos, atingindo precipitações de até 3.200 mm, com concentrações mais acentuadas na região do Baixo Amazonas.

5.3 VOLUME PRECIPITADO NA REGIÃO DE ESTUDO

Após a elaboração dos mapas de isoietas, realizou-se o cálculo do volume anual precipitado na área de estudo para os 30 anos (1988 a 2017). Assim, estimou-se que choveu o volume total de 10.757,84 km³ para o período de 1988 até 2017, na Tabela 9 encontram-se os valores do volume e das precipitações médias, mínimas e máximas anuais.

Tabela 9 - Volume anual de chuvas.

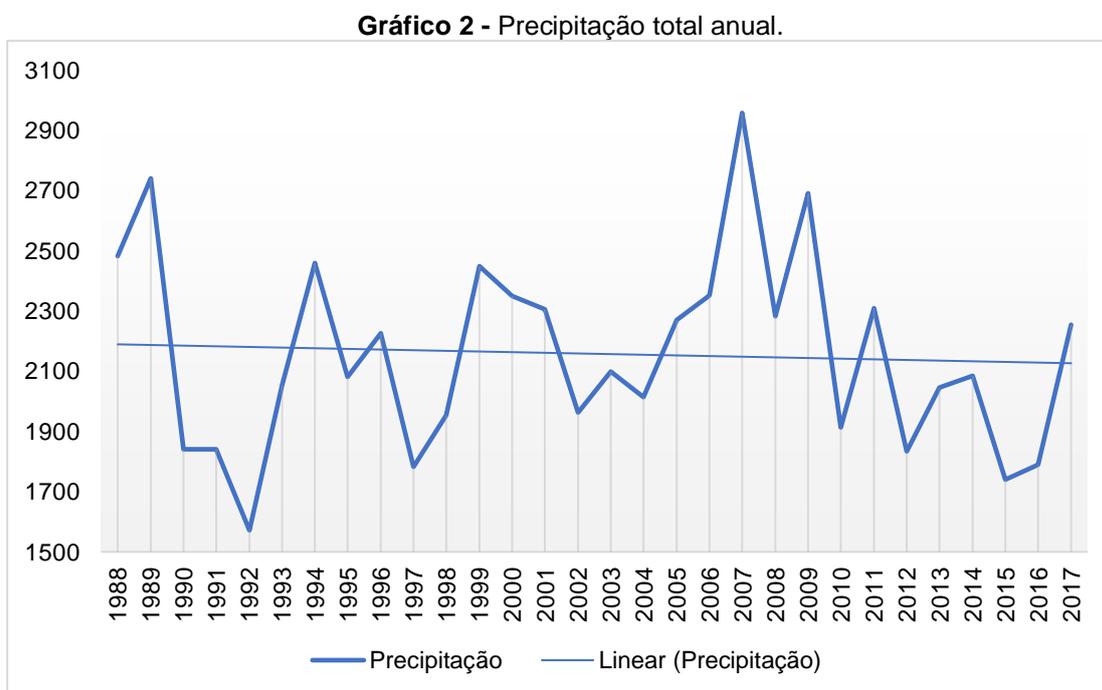
Ano	Volume (km ³)	Precipitação média (mm)	Mínima (mm)	Máxima (mm)
1988	415,90	2482,50	2116,9	4205,1
1989	454,04	2740,55	2151,2	3829,3
1990	309,49	1840,60	1136,8	3043,7
1991	309,36	1840,23	1090,2	3046,5
1992	259,30	1571,44	848,9	2734,4
1993	341,31	2054,07	1246,9	3335,9
1994	406,86	2459,27	1524,0	4059,7
1995	342,31	2080,50	780,0	3297,0
1996	373,93	2225,19	1038,3	3061,7
1997	300,12	1782,31	1057,2	2799,5
1998	328,04	1954,29	1116,1	3419,4
1999	418,47	2448,31	1529,7	3582,5
2000	390,96	2349,03	1521,1	3874,2
2001	384,54	2305,79	1362,9	3117,0
2002	324,92	1962,73	1302,6	4509,9
2003	351,88	2098,26	1322,1	4109,2
2004	329,00	2014,47	1329,9	4388,7
2005	370,97	2270,67	1501,2	4250,3
2006	394,70	2351,97	681,2	4051,6
2007	454,99	2957,47	566,1	4095,5
2008	381,27	2283,04	1473,0	3207,7
2009	448,16	2691,34	1843,9	4893,1
2010	320,73	1913,00	1155,9	2951,6
2011	386,70	2309,36	825,1	3687,7
2012	307,23	1833,39	785,9	3081,9
2013	341,60	2044,95	1325,6	2960,1
2014	350,12	2083,97	1240,9	3329,9
2015	286,26	1739,52	1111,2	3572,8
2016	295,43	1788,82	1022,0	2795,0
2017	379,27	2255,00	1548,2	2884,6
Total	10.757,84	2157,73	566,1	4893,1

Fonte: Autor (2019).

Os resultados demonstram que os anos de 1992, 2015 e 1997, foram os anos que apresentaram os menores índices pluviométricos, com precipitações médias de 1571,44 mm, 1739,52 mm e 1782,31 mm respectivamente. Já os anos que apresentaram maiores índices pluviométricos foram os anos de 2007, 1989

e 2009, todos apresentando índices acima de 2500 mm, destacando o ano de 2007, com 2957,47 mm, foi o ano que apresentou maior média de precipitação na região.

Para melhor compreensão e visualização dos resultados obtidos, foi feita uma análise gráfica do comportamento da precipitação média anual na região (GRÁFICO 02).



Fonte: Autor (2019).

O gráfico mostra o comportamento da precipitação média anual sobre a região de estudo nos últimos 30 anos (1988 a 2017). Nota-se que nesta série histórica houve algumas variações significantes, no entanto, observando a linha de tendência pode-se perceber que o comportamento desta série histórica mostra uma tendência de pequeno decréscimo na precipitação ocorrida sobre esta região com o passar dos anos.

5.4 VARIABILIDADE TÊMPORO-ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO NOS 12 QUADRANTES DA REGIÃO DE ESTUDO

Para verificar a escala da variabilidade do comportamento pluviométrico da região de estudo, analisou-se a dinâmica pluviométrica em 4 quadrantes,

denominados de Nordeste (NE), Noroeste (NO), Sudoeste (SO) e Sudeste (SE), no período de 30 anos (1988 – 2017), e, com a obtenção e a sistematização das informações do volume de precipitação, os mesmos foram demonstrados na tabela a seguir (TABELA 10).

Tabela 10 - Média de precipitação ocorrida nos quadrantes.

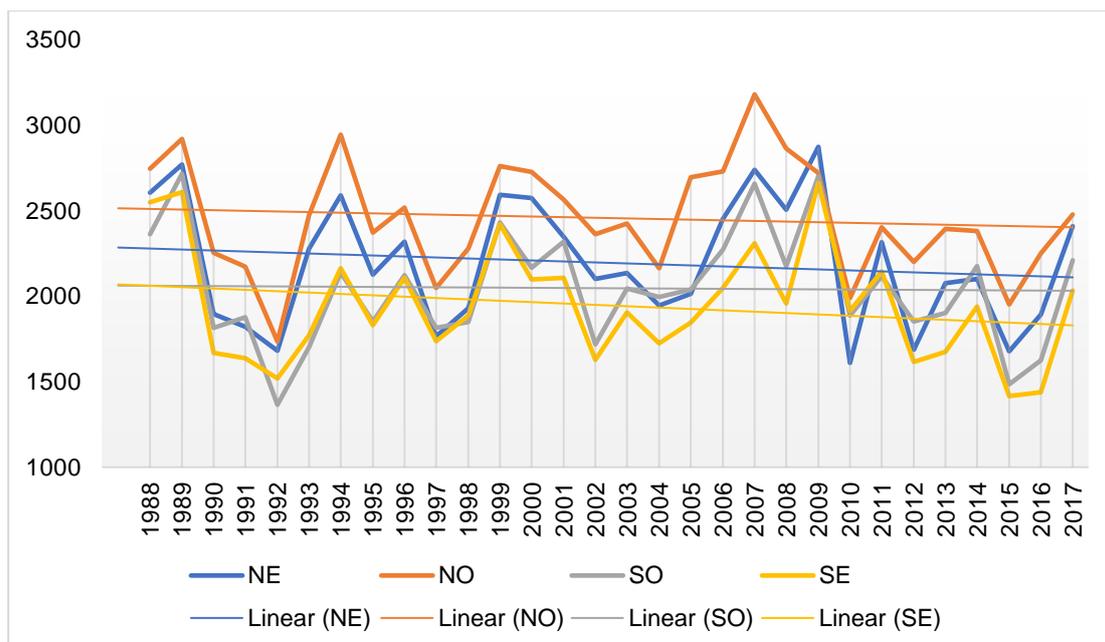
QD	Área (km ²)	Precipitação Média (mm)	Volume (Km ³)
NE	43.985,12	2274,61	100,05
NO	40.178,68	2561,06	102,90
SO	40.782,23	2028,31	82,72
SE	43.536,52	1987,07	86,51
Total/Média	168.483,06	2209,00	372,18

Fonte: Autor (2019).

Os resultados demonstram que os quadrantes ao norte têm maiores índices de precipitação, destacando-se a região noroeste que tem uma precipitação média anual da ordem de 2561,06 mm. Enquanto na região sudeste este valor é bem menor, 1987,07 mm, sendo o único quadrante que apresenta precipitação média anual abaixo de 2000 mm.

Com a obtenção e a sistematização das informações do volume e média de precipitação dos 4 quadrantes, para melhor visualização dos resultados obtidos, foi representado o comportamento de precipitação média anual através de uma análise gráfica (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Média de precipitação anual por quadrantes.



Fonte: Autor (2019).

O gráfico apresenta o comportamento da precipitação média anual sobre os 4 quadrantes (NE, NO, SO e SE), nota-se que todos apresentam variações e tendência de decréscimos das chuvas no período estudado, conforme indicado pelas linhas de tendências. Os quadrantes ao sul (SO, SE), onde encontra-se situado o lago da UHE-Tucuruí/PA, indicam um acentuado decréscimo na precipitação além de índices pluviométricos inferiores.

Este decréscimo no regime pluviométrico da região e grande variabilidade espaço-temporal podem estar relacionados à interferência da UHE Tucuruí, pois, como ressalta Fearnside (2015), estas obras trazem como consequências alterações climáticas significativas para a região.

O teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall foi aplicado nas séries históricas anuais, para a análise da tendência e a magnitude da precipitação na região da UHE-Tucuruí/PA. Para analisar a dispersão, foi aplicado o método de desvio padrão, juntamente com as médias de precipitação por áreas e médias totais anuais (Tabelas 11 e 12).

Tabela 11 - Análise de tendência nas subáreas dos quadrantes NE e NO.

ANO	QUADRANTE NORDESTE				QUADRANTE NOROESTE			
	50	100	200	PRC_MD	50	100	200	PRCP_MD
1988	2720,02	2671,94	2581,77	2606,77	2694,05	2644,83	2771,84	2744,38
1989	2687,14	2722,67	2789,67	2771,10	2768,16	2861,25	2943,34	2919,82
1990	2020,90	1959,68	1871,75	1896,88	2751,97	2170,46	2245,94	2255,14
1991	1903,04	1810,53	1816,81	1820,07	2048,29	2083,40	2200,50	2171,46
1992	1615,03	1626,61	1700,05	1681,13	1604,50	1626,65	1769,70	1735,18
1993	2241,78	2246,55	2290,81	2279,52	2271,16	2259,77	2538,05	2473,42
1994	2523,29	2576,18	2598,53	2590,19	2575,98	2771,34	3008,04	2943,59
1995	2059,42	2101,93	2135,88	2125,19	2142,05	2253,36	2416,26	2372,98
1996	2438,29	2396,73	2290,70	2319,32	2490,68	2482,31	2530,51	2519,61
1997	1914,62	1851,57	1733,76	1766,44	1981,63	2017,39	2059,11	2047,69
1998	2111,91	1984,32	1904,88	1931,35	2241,45	2231,38	2294,01	2279,81
1999	2950,69	2776,15	2518,77	2592,08	2919,11	2869,64	2727,02	2762,70
2000	2602,14	2589,72	2569,08	2574,88	2587,27	2617,45	2763,31	2727,76
2001	2344,52	2350,26	2347,31	2347,75	2482,77	2580,86	2565,97	2564,92
2002	1945,13	1972,14	2147,86	2102,62	2041,91	2162,05	2429,58	2361,39
2003	2230,05	2164,79	2119,48	2134,19	2307,80	2372,91	2446,90	2426,57
2004	1806,16	1825,53	1988,86	1947,11	1861,68	2085,83	2199,62	2162,62
2005	2083,15	1990,23	2014,87	2013,58	2282,78	2380,86	2800,00	2697,33
2006	2516,35	2488,22	2440,03	2453,52	2642,16	2679,36	2748,93	2730,92
2007	2048,76	2046,56	2969,66	2739,54	2177,97	2331,25	3449,24	3180,39
2008	2459,48	2476,31	2516,86	2505,87	2542,60	2580,86	2951,05	2862,61
2009	2750,00	2754,00	2913,92	2873,82	2750,00	2735,01	2717,42	2722,23
2010	2050,00	2011,94	1473,57	1609,84	1950,00	1999,40	1987,76	1988,20
2011	2524,35	2588,94	2231,57	2317,33	1467,82	2496,99	2438,03	2404,28
2012	1882,22	1783,19	1647,11	1686,22	2094,64	2119,07	2227,90	2201,29
2013	2037,85	2016,36	2095,20	2076,66	2150,00	2260,59	2442,79	2395,02
2014	2192,24	2128,30	2087,07	2100,69	2350,00	2342,87	2393,16	2381,71
2015	1721,73	1756,19	1653,55	1677,35	1750,00	1838,98	1990,99	1951,29
2016	1811,70	1757,26	1932,30	1891,48	1940,02	2015,65	2328,18	2251,51
2017	2499,95	2430,43	2399,69	2410,99	1606,00	2565,99	2508,38	2477,51
MED	2223,06	2195,17	2192,71	2194,78	2249,14	2347,92	2496,45	2457,11
DP	343,62	346,02	387,57	363,42	382,31	307,89	353,92	329,52
MK	- 0,88	- 0,72	- 0,82	-	- 2,24	- 0,74	- 0,60	-

Fonte: Autor (2019).

Tabela 12 - Análise de tendência nas subáreas dos quadrantes SO e SE.

ANO	QUADRANTE SUDOESTE				QUADRANTE SUDESTE			
	50	100	200	PRC_MD	50	100	200	PRCP_MD
1988	2550,85	2364,83	2348,93	2361,98	2638,52	2565,34	2537,99	2549,334
1989	2689,31	2700,51	2722,88	2716,90	2635,18	2610,05	2604,33	2607,27
1990	1962,10	1933,26	1773,27	1813,50	1878,24	1730,33	1634,59	1668,047
1991	1999,15	1941,54	1851,88	1876,47	1801,00	1848,01	1568,41	1638,462
1992	1474,10	1368,16	1357,22	1365,11	1955,61	1482,81	1495,74	1519,676
1993	1959,12	1731,15	1679,86	1703,57	2002,56	1857,19	1727,78	1769,853
1994	2259,98	2155,54	2127,16	2139,21	2305,84	2225,04	2134,52	2162,744
1995	1930,72	1833,99	1850,00	1850,90	1905,29	1814,41	1830,69	1831,701
1996	2245,29	2226,28	2090,34	2124,25	2225,81	2202,31	2073,16	2108,129
1997	1901,37	1853,88	1797,45	1813,48	1883,19	1868,43	1690,22	1737,452
1998	1811,00	1817,33	1861,24	1850,28	2034,73	1993,03	1845,29	1886,148
1999	2813,34	2600,00	2364,92	2432,48	2841,61	2686,40	2316,25	2421,545
2000	2314,27	2188,33	2152,92	2167,74	2225,75	2145,87	2074,39	2097,605
2001	2307,00	2302,44	2325,30	2319,98	2223,82	2146,27	2088,50	2108,013
2002	1857,55	1774,33	1694,39	1717,89	1793,91	1693,60	1595,56	1626,867
2003	2191,18	2118,67	2016,88	2045,15	2125,06	2017,02	1858,11	1905,705
2004	1849,90	1911,25	2027,50	1996,27	1777,82	1749,41	1713,03	1724,138
2005	1177,26	2116,71	2076,15	2039,54	2056,84	1955,68	1799,25	1845,803
2006	2472,26	2348,26	2241,97	2273,88	2399,05	2259,61	1963,71	2048,771
2007	2012,71	1986,04	2873,56	2659,62	1908,54	1797,98	2480,48	2309,241
2008	2354,76	2199,62	2158,96	2176,49	2279,17	1833,40	1965,27	1956,691
2009	2743,82	2713,04	2696,46	2702,00	2749,61	2687,27	2649,99	2663,292
2010	1950,00	1916,53	1876,66	1887,98	2050,00	1966,95	1890,81	1915,421
2011	2317,27	2212,80	2078,10	2115,94	2467,82	2277,76	2083,87	2145,305
2012	2021,76	1937,30	1819,31	1852,10	1893,73	1762,86	1553,24	1615,351
2013	2036,35	1953,23	1880,70	1902,40	1916,25	1786,77	1624,35	1674,097
2014	2246,21	2220,32	2160,93	2176,61	2156,64	2048,51	1892,50	1939,346
2015	1633,17	1582,09	1451,58	1485,76	1601,82	1520,64	1373,03	1416,134
2016	1752,53	1635,88	1612,80	1624,17	1673,84	1548,88	1391,16	1439,423
2017	2428,68	2300,10	2173,17	2210,31	2312,64	2150,20	1979,49	2033,298
MED	2223,06	2195,17	2192,71	2194,78	2249,14	2347,92	2496,45	2457,11
DP	368,57	315,26	350,67	332,59	317,80	328,85	345,746	331,32
MK	- 0,24	0,10	0,34	-	- 0,51	- 0,70	- 0,59	-

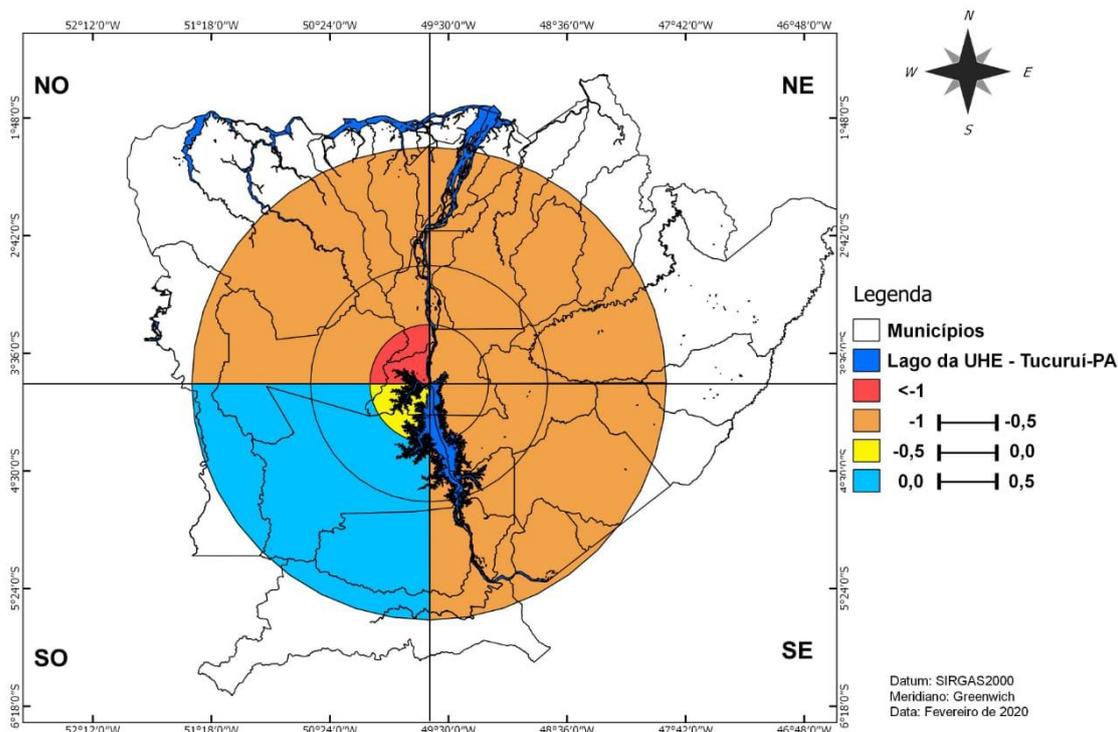
Fonte: Autor (2019).

Os resultados do desvio padrão foram significativos, devido à alta variabilidade pluviométrica da região, dando destaque para a subárea SO 100 que apresenta o menor valor, com 315,26 mm, já a subárea NE 200, apresentou o maior valor de 387,57 mm. O quadrante NO apresentou o menor valor de todos

os quadrantes, com 329,52 mm e o quadrante NE apresentou a maior, com 363,42 mm.

Para melhor analisar a tendência estatisticamente, foi utilizado o teste de Mann-Kendall nas 12 subáreas e seus resultados foram inseridos na Figura 25.

Figura 25 - Representação de tendência de Mann-Kendall nas subáreas da região de estudo.



Fonte: Autor (2019).

A análise pelo método clássico de Mann-Kendall (MK) indicou tendência significativa de diminuição da precipitação na área denominada de NO50, para um nível de significância de 5%. Apenas 2 zonas, localizadas a Sudoeste, apresentaram acréscimo na precipitação (SO 100 e SO 200), o restante das áreas apresentaram decréscimo das chuvas na região no período estudado.

Analisando os resultados do método de Mann-Kendall (MK) obtidos nos 12 (doze) quadrantes, em nível micro, meso e macro escala, nota-se que os quadrantes da microescala, os mais próximos do barramento da UHE-Tucuruí, 3 (três) dos 4 (quatro) quadrantes, apresentaram maiores índices de decréscimo.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os objetivos propostos neste estudo, com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que a densidade de estações é bem inferior ao ideal para monitoramento, sendo necessário a manutenção e implantação de mais estações pluviométricas na região, visto o grande potencial energético apresentado pela bacia hidrográfica.

No decorrer dos anos, após a instalação da hidrelétrica de Tucuruí, os índices pluviométricos apresentaram índices de decréscimo na maior parte da região de estudo analisada.

Os quadrantes da região Sudoeste (SE), onde encontra-se situado a maior parcela do lago da UHE-Tucuruí/PA, indicaram um decréscimo na precipitação, apesar de possibilitar maior área de lâmina d'água para evaporação, com destaque para o quadrante SE e sua subárea SE 200 que apresentaram as menores médias de precipitação, de 1945,50 mm e 1914,52 respectivamente.

Notou-se que utilizando a análise a partir dos mapas de isoietas, pode-se identificar de forma espacial a distribuição das chuvas na região e que conseqüentemente, possibilitando a identificação de que há uma variabilidade pluviométrica, tanto espacial quanto temporalmente, com tendências decrescentes em quase todas as subáreas, principalmente as mais próximas da UHE-Tucuruí.

Diferentemente de Sanches et al. (2005), que analisou a região em apenas dois pontos da região da UHE Tucuruí, este trabalho analisou espacialmente o comportamento da precipitação (através das isoietas) e identificou que está havendo, em geral, decréscimos nos índices pluviométricos na região, no período em estudo. Os resultados de Mann-Kendall (MK) apresentaram maior decréscimo nos quadrantes da microescala (próximo ao barramento), em especial na NO50, que apresentou significativa tendência de decréscimo das chuvas na região de estudo ($Z=-2,24$).

Para dar continuidade neste estudo e contribuir na gestão e no planejamento dos recursos hídricos da região amazônica recomendam-se:

- Que seja investido mais no monitoramento pluviométrico da região, criando novos postos de monitoramento em áreas com pouca ou sem nenhuma cobertura; além disso, reativar muitos postos que estão desativados;
- Desenvolver estudo semelhante a este em regiões similares a área de estudo impactadas por barramentos de empreendimentos hidrelétricos para comparação dos resultados;
- Estudos que aprofundem na questão da influência dos fenômenos climatológicos e das ações antrópicas na precipitação da região;
- Correlacionar os valores de aumento e redução dos índices pluviométricos com a ação antrópica de ocupação na área de estudo;
- Estudar a sazonalidade das chuvas na região para dar subsídios nas atividades e empreendimentos dentro da região.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C.A.; COUTINHO, A.C.; ESQUERDO, J.C.D.M.; ADAMI, M.; VENTURIERI, A.; DINIZ, C.G.; DESSAY, N.; DURIEUX, L.; GOMES, A.R. HIGH spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. *Acta Amazonica*, Vol 46 (3), 291-302, 2016.

ALVES, E. D. L. A.; VECCHIA, F. A. S. Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no Estado de Goiás. *Act Scientiarum. Human and Social Sciences*, Maringá, v. 33, n. 2, p.193-197, 2011.

ANA - Agência Nacional de Águas. Bacias Hidrográficas. Disponível em: <www.ana.gov.br>. Acesso em: 06 dez. 2018.

ANA – Agência Nacional de Águas; MMA – Ministério do Meio Ambiente. Disponibilidade e Demanda de Recursos Hídricos no Brasil. [s.L.]: 2005.

ANJOS, R. S.; CANDEIAS, A. L. B.; NÓBREGA, R. S. Mapeamento da Precipitação Estimada e Observada no Semiárido Pernambucano e sua relação com a Modelagem de Dados Espaciais. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, n. 69, p. 447-467, mar/2017.

ANNEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas da Energia Elétrica no Brasil. 3ª edição. Brasília 2008.

ARRUDA, D. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MORAES, M. L. B. de. Relações entre atributos do solo e vegetações da região ecotonal do médio rio São Francisco, Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 1524-1532, nov./dez. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcs20150241>>.doi:10.1590/01000683rbcs20150241.

ASCE. *Hydrology Handbook*. 2ª ed. American Society of Civil Engineers, New York, 1996. 462p.

BARBOSA, L. K. L. Zoneamento de aquíferos através da delimitação de perímetros de proteção de poços de abastecimento público de água: o caso da cidade de João Pessoa – PB. 2007. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

BAXTER, R. M.; GLAUDE, P. Environmental effects of dams and impoundments in Canada: experience and prospects. Ottawa: Department of Fisheries and Oceans, 1980.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: Tucci, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e aplicação*. Porto Alegre: UFRGS, 2007. p.177-241.

CAMPOS, F. S. 1990. Estudo de variabilidade de precipitação. São José dos Campos. 56pp. Monografia - Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

CECH, THOMAS V. Recursos Hídricos: história, desenvolvimento, política e gestão. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

CHIBANA, E. Y.; FLUMIGNAM, D.; MOTA, R. G.; VIEIRA, A. S.; FARIA, R. T. Estimativas de falhas em dados meteorológicos. In: Congresso brasileiro de Agroinformática, 9, 2005, Londrina. Anais...Londrina: SBI-AGRO, 2005. CD-Rom.

CHOW, V. T. Handbook of Applied Hydrology. McGraw – HillBook CompanyInc., New York, NY, 1964. 1468p

CINTRA, I. H. A; et al. A pesca no reservatório da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, Amazônia, Brasil. Actapesca, v. 1, n. 1, p. 57-78, 2013.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. F.; NOBRE, C. A. Aspectos Climatológicos das Linhas de Instabilidade na Amazônia. Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática, V 4, N. 11, P. 34-40, NOV. 1989. (INPE-6028-PRE/2143).

CZARNOBAI, A.F.; PRUDENCIO, R.S.; RODRIGUES, M.L.G. A circulação atmosférica local na região da Usina Hidrelétrica de Itá. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Anais. Florianópolis, 2006.

DEUTSCH, C. V., JOURNEL, A. G., GSLIB. Geostatistical Software Library and User's Guide, 2ª edição. Oxford University Press, New York, 1998.

DIAS, N. L.; OKAWA, C. M. P.; ARAÚJO, A. A. M.; GOBBI, M. F. Estudo dos impactos sobre o clima urbano regional do reservatório de Itaipu. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 15, 1999, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, 1999.

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A. Sistema de Informações do Potencial hidrelétrico Brasileiro – SIPOT. Informações referentes à atualização de dezembro de 2006.

ELETRONORTE, 2015. Manual do Sistema de Gestão Ambiental – UHE Tucuruí.

EWALD, K. H.; LIMBERGER, L. Caracterização do regime pluviométrico no Município de Marechal Cândido Rondon – PR entre os anos de 1941 a 2008. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DOS ESPAÇOS DE FRONTEIRA. 1; SEMINÁRIO REGIONAL SOBRE TERRITÓRIO, FRONTEIRA E CULTURA. 3; EXPEDIÇÃO GEOGRÁFICA DA UNIOESTE: ESPAÇO DE FONTEIRA – TERRITÓRIO E AMBIENTE. 7, 2011, Marechal Cândido Rondon. Anais... Marechal Cândido Rondon, 2011. p.01-10.

FEARNSIDE, P., M. Hidrelétricas na Amazônia: Impactos Ambientais e Sociais na Tomada de Decisões sobre Grandes Obras. Vol. 1. Editora INPE. 2015.

FILL, H. D. Informações Hidrológicas. In: BARTH, F. T.; POMPEU, C. T.; FIL, H. D., TUCCI, C. E. M.; KELMAN J. BRAGA JUNIOR, B. P. F. Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. São Paulo: Nobel/ABRH, 1987. p.95-202.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. Revista Acta Amazônica, v. 22, n. 2, p. 101- 126, 1998.

FURLAN, D. N. Variabilidade temporal e espacial das chuvas e do balanço hídrico no estado de Rondônia: caracterização e análise de tendência. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 129p. 2009.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. Hidrologia. 2o ed., São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

GARRIDO, R. J. S. Água, uma preocupação mundial. Revista CEJ, Brasília, DF, n. 12, p. 08-12, set./dez. 2000.

GLEICK, Peter H. Water in crises – A guide to the world's fresh water resources. Oxford, Oxford Press. 476 p, 1993.

GOMES, Marco Antônio Ferreira. A água nossa de cada dia. Artigos-2009 da EMBRAPA. Brasília, DF, 2009.

GOODLAND, R. J. A. Environmental optimization in hydrodevelopment of tropical forest regions. In. MAN-MADE LAKES AND HUMAN HEALTHY. Paramaribo, Suriname, 1977. Proceedings of the symposium on man-made and human healthy, Faculty of Medicien, University of Suriname, Paramaribo: ed. Panday R.S, 1977.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. Annales Geophysicae, Berlin, v. 4, n. B4, p. 385-400, 1986.

GOOVAERTS, P. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. Journal of Hydrology, v. 228, n. 1/2, p.113-129, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00144-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00144-X)

GRIMM, Alice M. Verificação de variações climáticas na área do lago de Itaipu. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 5. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 1988.

GUIDON, Maria Antonieta Aguiar de Oliveira. Estudo das variações climáticas na área do lago de Tucuruí. São Paulo, 1991, 2v. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo, 1991.

INPE/CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos). Dados de 2009. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/>>. Acessado em: dez/2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE; Portal IBGE Cidades, Pará, Tucuruí. Publicado em: agosto de 2018.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD). Small dams – Design, surveillance and rehabilitation. Bulletin 157, 2011. 149 p.

ISAAK, E. H.; SRISVASTAVA, R. M. Applied geostatistic: an introduction. New York: Oxford University, 1989, 561 p.

ISHIHARA, J. H.; FERNANDES, L.L.; DUARTE A.A.M.; DUARTE, A.R. C.L.M.; PONTE, M.X.; LOUREIRO, G.E. Quantitative and spatial assessment of precipitation in the Brazilian Amazon (Legal Amazon) – (1978 to 2007). Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH, Vol. 19 n.1, p. 29-39 – Jan/Mar 2014.

JAKOB, A. A. E. Análise Sócio-Demográfica da Constituição do Espaço Urbano

da Região Metropolitana da Baixada Santista no período 1960-2000. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Doutorado em Demografia do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Estadual de Campinas sob a orientação do Prof. Dr. Jose Marcos Pinto da Cunha. Campinas, SP: [s.n.], 2003.

JUNK, W.J., DE MELLO, J.A.S.N. 1990. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. Estudos Avançados 4(8):126-143. doi: 10.1590/S0103- 40141990000100010

KAHSAY,K,D.; PINGALE, S.M.; HATIYE, S.D. Impact of climate change on groundwater recharge and base flow in the sub-catchment of Tekeze basin, Ethiopia. Groundwater for Sustainable Development, 6: 121–133, 2018.

KARL, T. R.; DIAZ, H.; KUKLA, G. Urbanization: its detection and effect in the United States climate record. Journal of Climate, Boston, v. 1, n. 11, p. 1099-1123, 1988.

KENDALL, M. G. Rank correlation methods. London. Charles Griffin. 272p, 1975.

LANDIM, P. M. B. Análise Estatística de Dados Geológicos. Editora UNESP, São Paulo, 1998, 226p.

LANNA, A. E. Economia dos Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre: UFRGS/IPH, 2000.

LAZZAROTTO, C.; PEIXOTO, P. P. P. Estação meteorológica da EMBRAPA – CPAO. Documento 6. EMBRAPA-CPAO, 1995.

LIMA, C. H. P. (2014). Avaliação das Alterações Hidrológicas da Jusante de Barragens por Meio de Análise de Sensibilidade à Variação de Variáveis de Projeto.

LIMBERGER, Leila. O clima do oeste do Paraná: análise da presença do lago de Itaipu. Rio Claro, 2007, 136f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2007.

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

LOUREIRO, Renata Silva de; GOMES, Roseli Gueths; ROCHA, Edson Jose Paulino. 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.

LUCAS, E. W. M. Aplicação de modelos hidrológicos determinístico e estocástico mensais na bacia hidrográfica do Xingu – Pará. Dissertação de mestrado, programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2007.

LUNDGREN, W.J.C.; Souza, I.F.de; Lundgren, G.A. Krigagem na construção de mapa pluviométrico do Estado de Sergipe. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.10, n.0. 2017.

LUO, W.; TAYLOR, M. C.; PARKER, S. R. A comparison of spatial interpolation methods to estimate continuous wind speed surfaces using irregularly distributed data from England and Wales. *International Journal of Climatology*, v. 28, n. 7, p. 947-959, 2007. <http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450>

LYRA, G.B.; OLIVEIRA-JUNIOR, J.F.; ZERI, M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. *International Journal of Climatology*, v. 34, n. 13, p. 3546-3558, 2014

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, v.13, p.245-259, 1945. Disponível em: <<http://www.jstor.org/pss/19071987>> Acessado em setembro de 2018.

MARCUZZO, F.F.N.; MELO, D.C.R.; ROCHA, H.M. Distribuição espaço-temporal e sazonalidade das chuvas no Estado do Mato Grosso. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)*, v.16, n.4 p. 157-167, 2011.

MARENGO, J. NOBRE, C. A. and SAMPAIO, G., 1998. "On the associations between hydrometeorological conditions in Amazonia and the extremes of the Southern Oscillation". *Bulletin de l'Institut Français d' Études andines*, 27, 789—802.

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

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Clima da região amazônica. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Org.). *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.197-2012.

MARENGO, J. A.; HASTENRATH, S. Case studies of extreme climatic events in the Amazon basin. *Journal of Climate*, v.6, n. 4, p. 617-627, 1993.

MEDEIROS, F.J.; LUCIO, P. S.; SILVA, H.J.F. Análise de Métodos de Krigagem na Estimativa da Precipitação no Estado do Rio Grande do Norte. Revista Brasileira de Geografia Física, Vol. 10, n.5. 2017.

MENDONÇA, F. de A. et. al. O represamento dos rios e seu impacto ambiental: o caso da Hidrelétrica de Itaipu. Londrina, PR: Departamento de Geografia, 1985.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. Climatologia: noções básicas e climas no Brasil. Oficina de textos, São Paulo, 2007.

MENEZES, F. P.; FERNANDES, L. L.; ROCHA, E. J. P. O uso da estatística para regionalização da precipitação no Estado do Pará, Brasil. Revista brasileira de climatologia.

MITTERMEIER, R.A. et al. Wilderness and biodiversity conservation. Proceedings of the National Academy of Science, Los Gatos, CA, v. 100, n. 18, pp. 10303- 10313, set. 2003. DOI: 10.1073/pnas.1732458100.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Caderno da Região Hidrográfica do Tocantins – Araguaia. Brasília: MMA, 2006. 132 p.

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

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro (RJ), v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002. Disponível em: <http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_artigo.php?id_artigo=548>. Acesado em agosto de 2019.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature, London, v. 403, pp. 853-858, fev. 2000. DOI: 10.1038/35002501.

NEVES, R.R.; GONÇALVES, E.D; PESSOA, F.C.L.; FERNANDES, L.L.; GÓMEZ, Y.D.; SANTOS, J.I.N. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas na sub bacia Trombetas. Revista AIDIS, 10, No.2:125–135, 2017.

NOBRE, A. D. O futuro climático da Amazônia: relatório de avaliação científica. 1. ed. São José dos Campos: ARA; CCST-INPE; INPA, 2014.

OLIVEIRA, J.R.T.; SANDANIELO, V. L. M.; Padovani, C.R.; ARAGON, F.F. Variabilidade Pluviométrica Decenal para a Região Sudeste do Estado de Mato Grosso. In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste, 2007, Cuiabá/MT.

OMM - Organização Mundial de Meteorologia. Guia de Práticas Hidrológicas. Adquisición y Proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones. 5ª edição, nº158, Genebra – Suíça, 1994, Cap. 20, 259 – 278p.

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

PAULO, R. G. F. de. Ferramentas para a determinação de vazões ecológicas em trechos de vazão reduzida: destaque para aplicação do método do perímetro molhado no caso de capim branco I. 2001.114 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2007.

PAZ, A. R. (Coord.). Hidrologia Aplicada. Apostila do Curso em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul-UERGS, Campus Caixas do Sul. 2004. p. 1-138

PENEREIRO, J. C.; ORLANDO, D. V. Análises de tendência em séries temporais anuais de dados climáticos e hidrológicos na bacia do rio Parnaíba entre os Estados do Maranhão e Piauí/Brasil. *Revista Geográfica Acadêmica, Boa Vista*, v.7, n.2, p.5-21, 2013.

PINHEIRO, A.; GRACIANO, R. L. G.; SEVERO, D. L. Tendência das series temporais de precipitação da região sul do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia, São José dos Campos*, v.28, n.3, p.281-290, 2013.

PINTO, Lúcio Flávio. De Tucuruí a Belo Monte: a história avança mesmo? *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas, Belém*, v. 7, n. 3, p. 777-782, 2012.

PDRS. Plano de desenvolvimento regional sustentável do lago de Tucuruí. Governo do estado do Pará, 2013. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=0a6eac82-0b58-40bf-a60e-c80828c0ec90&groupId=10157>. Acesso em: 18 dez. 2018.

PRUSKI, F.F; PEREIRA, S.B.; DE NOVAES, L.F.; DA SILVA, D.D; RAMOS, M.M. Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na Baciado São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, n.2/3, p.247-253, 2004.

QUEIROGA, Y. G. A. Análise das previsões de precipitação do modelo ETA realizadas durante a operação do sistema de alerta contra enchentes da bacia do rio Doce. 2006. 31 p. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Departamento de Cartografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. da; AMBRIZZI, T. 2010. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista brasileira de meteorologia, São Paulo*, v. 25, n. 2, p. 185-204.

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

REBOUCAS, A. C. et al. Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. Escrituras Editora – 3a Edição, São Paulo, 2006.

RIBEIRO, R.E.P.; ÁVILA, P.L.R.; BRITO, J.I.B.; SANTOS, E.G.; SOUSA, L.F. Análise da tendência climática nas séries temporais de temperatura e precipitação de Tucuruí-Pará. Revista Brasileira de Geografia Física, v.07, p.798-807, 2014.

RICHTER, B.D., POSTEL, S., REVENGA, C., SCUDDER, T., LEHNER, B., CHURCHILL, A., CHOW, M. 2010. Lost in development's shadow: The downstream human consequences of dams. Water Alternatives 3(2): 14-42.

ROCHA, A. G.; GANDU. South Atlantic Convergence Zone, In: Climanalise, Edição Especial. CPTEC/INPE, 1993, 140-142. Disponível em: <http://www.icesb.ucsb.edu/asr/cjones.sacz.extremes.pdf>>. Acessado em: dezembro de 2018.

RODRIGUES, M.L.G.; CANÔNICA, E. Análise preliminar do impacto do reservatório de Itá no clima local. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Anais. Florianópolis, 2006.

ROSA – JÚNIOR, W. O.; BASTOS, M. N. C.; AMARAL, D. D.; SOARES, C. C. Composição florística de remanescente florestais na área de influencia do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Tucuruí, Pará, Brasil. Biota Amazônia, 2015, v. 5, n. 2, 10-17p.

SALGUEIRO, Joao Hipolito Paiva de Britto. Avaliação de rede pluviométrica e análise de variabilidade espacial da precipitação: Estudo de caso na Bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Pernambuco – CTG, Engenharia Civil. Recife, 2005. 122 p.

SALVIANO MF, GROppo JD, PELLEGRINO GQ. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia. Vol 31(1):64–73. 2016.

SANCHES, Fábio; FISCH, Gilberto. As possíveis alterações microclimáticas devido a formação do lago artificial da hidrelétrica de Tucuruí - PA. Acta Amazônica, v. 35, n. 1, p. 41-50,2005.

SANCHES, Fábio. O; FERRAZO, Suéllen T., SILVA, Roberto V. INFLUENCE OF THE HYDROELECTRIC POWER PLANT OF PASSO FUNDO LAKE (RS, BRAZIL) ON LOCAL RAINFALL PAT-TERN. Revista Brasileira de Climatologia V. 20 p. 299-3012, 2017.

SANTANA, A. C; BENTES, E. S.; HOMMA, A. K. O; OLIVEIRA, F.A; OLIVEIRA, C.M. Influência da barragem de Tucuruí no desempenho da pesca artesanal, estado do Pará. Rev. Econ. Sociol. Rural vol.52 no.2 Brasília Apr./June 2014.

SANTANA, D. P. Manejo integrado de bacias hidrográficas. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2003. (Documentos, 30).

SEPOF. Estatística municipal de Tucuruí - Pará. Secretaria de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças- Instituto de desenvolvimento econômico, social e ambiental do Pará, 2011.

SERRÃO EA de O; SANTOS CA dos Wanzeler RTS; GONÇALVES L de JM; LIMA AMM de. Avaliação da seca de 2005 e 2010 na Amazônia: análise da bacia hidrográfica do rio Solimões. Revista Geografia Acadêmica. 9(2):5–20. 2015.

SHIKLOMANOV, I.A.. World water resources: A new appraisal and assessment for the 21st century. Paris (Unesco), 1998.

SILVA, S; OLIVEIRA, M; VULCÃO, J; MENEZES, M; SARAIVA, A. Influência da Precipitação e Operação de um Reservatório na Qualidade da Água: Um Estudo de Caso para Usina Hidrelétrica de Tucuruí – PA. Congresso Brasileiro de Química. 2016.

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

SOARES, Fernanda Silva; FRANCISCO, Cristiane Nunes; SENNA, Mônica Carneiro Alves. Distribuição espaço-temporal da precipitação na região hidrográfica da Baía da Ilha Grande - RJ. Revista Brasileira de Meteorologia, v.29, n.1, 125 - 138, 2014

SOUSA, P. Estudo da Variabilidade da Precipitação no Estado do Paraná associado à Anomalia da TSM no Oceano Pacífico. 2006. 139 f. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil – Curso do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Engenharia Civil, UFPE, Maringá.

STRECK, N. A.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; GABRIEL, L. F.; PAULA, G. M. de. Associação da variabilidade da precipitação pluvial em Santa Maria com a oscilação decadal do Pacífico. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.44, n.12, p.1553-1561, 2009.

SUBRAMANYA, K. Engineering Hidrology. 3 ed. New Delhi: Mecgraw-Hill, 2008, 452p.

TEIXEIRA, C. A. (Coord.). Apostila de Hidrologia Aplicada. Apostila do Curso de Engenharia de Produção Civil da Universidade Tecnologia Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC, Campus Curitiba. 2010. p. 1-133.

TERRA, M. de C. N.; MELLO, J. M. de; MELLO, C. R. de. Relação espacial do carbono da vegetação e matéria orgânica do solo na Serra da Mantiqueira. Revista Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 22, n. 4, p. 446-455, out./dez. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.059713>>. doi: 10.1590/2179-8087.059713

THOM, H. C. S. Some methods of climatological analysis. Genève: World Meteorological Organization, 1966. 54 p. (WMO Technical Note, 81).

TRENBERTH, K. E., STEPANIAK, D. P. 2001. Indices of El Niño Evolution. Journal Of Climate. Vol. 14, American Meteorological Society. Disponível em: [http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/15200442\(2001\)014%3C1697%3ALIOENO%3e2.0.CO%3B2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/15200442(2001)014%3C1697%3ALIOENO%3e2.0.CO%3B2)> Acessado em: dez. 2018.

TUCCI, C. E. M. Regionalização de vazão. Porto Alegre: UFRGS, 2002, 256p.

TUCCI, C. E.M. (org). Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4a Edição. Porto Alegre – RS. Editora da UFRGS e EDUSP ABRH, 2007. 944p.

VICHI, F. M.; MELLO, L. F. de. A questão energética no Brasil. In: HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. (Orgs.). Energia e meio ambiente. Trad. da 3. ed. norte-americana por VICHI, F. M.; MELLO, L. F.de. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

VIEIRA, W. da C. Dinâmica de sistemas aplicada à gestão de recursos hídricos em bacia hidrográfica. Revista de economia e agronegócio, vol.6, n. 3. p. 415-448. 2008.

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

WORLD VISION. Manual de manejo de Cuencas. [S.l.:s.n], [199--]. Disponível em: <http://biblioteca.catie.ac.cr/cursocuencas/documentos/Manual_de_Manejo_de_Cuencas_Vision_Mundial_mod.pdf>. Acesso em 24 jan. 2013.

XU, C. -Y.; SINGH, V. P. Review on Regional Water Resources Assessment Models under Stationary and Changing Climate. Water Resources Management, Amsterdam, v.18, n. 6, p.591-612, 2004.