

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

SOPHIA GUIMARÃES MAIA

ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA DO RIO TIETÊ COM DADOS DE POSTOS
PLUVIOMÉTRICOS E SENSORIAMENTO REMOTO.

João Pessoa
2022

SOPHIA GUIMARÃES MAIA

ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA DO RIO TIETÊ COM DADOS DE POSTOS
PLUVIOMÉTRICOS E SENSORIAMENTO REMOTO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano das Neves Almeida

João Pessoa
2022

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M217a Maia, Sophia Guimaraes.

ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA DO RIO TIETÊ COM
DADOS DE POSTOS PLUVIOMÉTRICOS E SENSORIAMENTO REMOTO.

/ Sophia Guimaraes Maia. - João Pessoa, 2022.

56 f.

Orientação: Cristiano das Neves Almeida.

Monografia (Graduação) - UFPB/de Tecnologia.

1. BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TIETÊ. 2. SENSORIAMENTO
REMOTO. 3. ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA. I. Almeida,
Cristiano das Neves. II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 624(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

SOPHIA GUIMARÃES MAIA

ANÁLISE DE PRECIPITAÇÃO NA BACIA DO RIO TIETÊ COM DADOS DE POSTOS PLUVIOMÉTRICOS E SENSORIAMENTO REMOTO

Trabalho de Conclusão de Curso em 23/06/2022 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Cristiano das Neves Almeida

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovado



Gerald Norbert Souza da Silva

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovado



Ana Claudia Fernandes Medeiros Braga

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovado

Prof^ª. Andrea Brasiliano Silva
Matrícula Siape: 1549557
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Dedico este trabalho aos meus pais, familiares e amigos
que sempre me incentivaram.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso contou com a ajuda de diversas pessoas, dentre as quais eu agradeço:

Ao meu orientador, Prof. Dr. Cristiano Almeida, por ser compreensivo, confiar no meu trabalho e caminhar comigo ao longo da escrita do TCC, com liberdade e constância na produção.

Aos professores, que não se limitaram a ensinar a ementa da disciplina, se mostraram solícitos e preocupados com as necessidades e futuro dos alunos, dentro os quais posso citar Ana Cláudia Medeiros, Cibelle Guimarães, Claudino Lins, Gilson Athayde e Isabelle Yruska.

À PLANEJ, Alliance e AMBEV, pela oportunidade de fazer amizades e crescer profissionalmente, me fazendo acreditar que posso muito mais.

À minha bisavó Laura Ramos (in memoriam) e aos meus avós Jorge, José Antonio, Norma e Valdira, por todo amor e carinho e sempre enxergarem o melhor de mim e se fazerem presente na minha vida, diminuindo a solidão de morar sozinha e longe da família.

Aos meus pais por me amarem, apoiarem e proporcionarem a oportunidade de estudar em ótimas escolas, de me dedicar aos estudos sem terceiras preocupações e de finalizar o curso na UFPB, como era meu desejo.

À minha irmã, por ser uma luz na minha vida e me fazer querer um mundo melhor para futuras gerações.

Aos meus amigos que tive a oportunidade de conhecer e me apoiaram durante o meu trajeto, em especial, Aline Dantas, Letícia Fernanda e Gabriel Monteiro.

RESUMO

Considerando a importância da água para existência humana, foram instituídos os Planos de Recursos Hídricos como instrumento de gestão dos recursos hídricos, previsto na Lei Federal nº 9.433/1997. Quando os Planos são desenvolvidos na escala do Estado, eles se denominam PERH (Plano Estadual de Recursos Hídricos). Para que essa gestão seja feita, é necessário que a fonte de dados para a modelagem hídrica não tenha grandes incertezas. No Brasil há uma carência de dados com a qualidade ideal, seja pela má distribuição e falta de manutenção dos postos ou mesmo pela falta de dados em determinados períodos determinados, assim, se torna necessário estudar e avaliar outras formas de coleta de dados, surge então o sensoriamento remoto. No presente trabalho será feita a análise de precipitação do período de 1981 até 2020 na bacia hidrográfica do rio Tietê, a mais populosa do estado de São Paulo, identificando anos secos e úmidos, além da sua distribuição espacial. A análise foi feita com duas fontes de dados, fazendo a comparação entre elas, os postos operados pelo DAAE-SP (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo) e o produto CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data) que disponibiliza dados diários de chuva na escala global oriundo do sensoriamento remoto, obtido através da plataforma do Google Earth Engine. Para a análise foi observada a média anual de precipitação e o Índice de Anomalia da Chuva, considerando as duas fontes de dados na escala da bacia hidrográfica, então foi feita uma análise desses dados e uma investigação pontual de 3 postos. Por fim, foram observados os anos em que os eventos ENOS (EL Niño Oscilação Sul) ocorreram para avaliar o impacto na média anual na bacia hidrográfica estudada. Os resultados indicaram que as fontes apresentaram resultados muito próximos, confirmando os mesmos anos secos e úmidos, alterando apenas suas intensidades, a partir do gráfico de dispersão do IAC foi encontrado um R^2 maior que 0,8, o que confirma a ideia de uma boa representação dos dados. Além disso, ao comparar os eventos ENOS com o histórico da chuva, não foi possível encontrar uma sequência de eventos coincidindo com o comportamento da precipitação na bacia hidrográfica.

Palavras-chave: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TIETÊ; SENSORIAMENTO REMOTO; ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA

ABSTRACT

Considering the importance of water for human existence, the Water Resources Plans were instituted as an instrument to manage water resources, provided for in Federal Law No. 9,433/1997. When the Plans are developed at the State scale, they are called PERH (State Water Resources Plan). To the management to be carried out, it is necessary that the data source for water modeling does not have great uncertainties. In Brazil there is a lack of data with the ideal quality, either due to poor distribution and lack of maintenance of the posts, or even due to the lack of data in certain determined periods, thus, it becomes necessary to study and evaluate other forms of data collection, that is when the remote sensing arises. In the present work, an analysis of precipitation will be carried out from the year 1981 to 2020 in the Tietê river basin, the most populous in the state of São Paulo, identifying dry and wet years, in addition to its spatial distribution. The analysis was made comparing two data sources, the stations operated by DAAE-SP (Department of Water and Electricity of the State of São Paulo) and the product CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data) which provides daily rainfall data on a global scale from remote sensing, obtained through the Google Earth Engine platform. For the analysis, the annual average of precipitation and the Rainfall Anomaly Index were observed considering the two sources of data at the scale of the watershed, then an analysis of these data was carried out with a punctual investigation of 3 stations. Finally, the years in which the ENSO events (EL Niño South Oscillation) occurred were observed to assess the impact on the annual average in the studied watershed. The results indicated that the sources presented very close results, confirming the same dry and wet years, changing only their intensities, from the IAC scatter plot an R^2 greater than 0,8 was found, which confirms the idea of a good data representation. Furthermore, when comparing ENSO events with the rainfall history, it was not possible to find a sequence of events coinciding with the behavior of precipitation in the watershed.

Keywords: RIVER TIETÊ BASIN; REMOTE SENSING; RAINFALL ANOMALY INDEX.

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1 — Classes de Intensidade do índice de Anomalia de Chuva da bacia do rio Paraíba	16
Quadro 1 — Classificações das intensidades das anomalias negativas e positivas de precipitação de acordo com o Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	16
Tabela 2 — Características Gerais das Regiões Hidrográficas (RHs) e UGRHIs Paulistas	21
Tabela 3 — Classes de cobertura da terra por URGHI (em %)	22
Quadro 2 — Anos com IACs divergentes na bacia do Tietê	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Precipitação média anual espacializada na bacia do rio Tietê	14
Figura 2 — Fluxograma de processamento dos dados	18
Figura 3 — Localização da RH Tietê e suas sub-bacias	19
Figura 4 — Localização das sub-bacias	20
Figura 5 — Localização dos postos	23
Figura 6 — Precipitação média anual na bacia a partir do CHIRPS	28
Figura 7 — Precipitação média anual na bacia a partir de postos pluviométricos	29
Figura 8 — Diferença entre precipitações médias anuais na bacia obtidas por diferentes métodos	30
Figura 9 — Localização do Posto 7	34
Figura 10 — Localização do Posto 10	38
Figura 11 — Localização do Posto 19	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 — Anos com ação dos fenômenos ENOS e suas intensidades	15
Gráfico 2 — Precipitação anual média na bacia	27
Gráfico 3 — IAC anual na bacia	31
Gráfico 4 — Dispersão do índice de anomalia de chuva	32
Gráfico 5 — Dispersão do índice de anomalias negativas	33
Gráfico 6 — Dispersão do índice de anomalias positivas	33
Gráfico 7 — Classificação do IAC no período estudado	34
Gráfico 8 — Análise de precipitação no posto 7	36
Gráfico 9 — Análise do IAC no posto 7	37
Gráfico 10 — Classificação do IAC no posto 7	37
Gráfico 11 — Análise de precipitação no posto 10	39
Gráfico 12 — Análise do IAC no posto 10	40
Gráfico 13 — Classificação do IAC no Posto 10	40
Gráfico 14 — Análise de precipitação no posto 19	42
Gráfico 15 — Análise do IAC do posto 19	43
Gráfico 16 — Classificação do IAC no Posto 19	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVO	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	PLUVIOMETRIA NA BACIA DO RIO TIETÊ	14
3.2	INFLUÊNCIA DO EL NIÑO E LA NIÑA NA PRECIPITAÇÃO	15
3.3	ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA (IAC)	16
3.4	GOOGLE EARTH ENGINE E SENSORIAMENTO REMOTO	17
3.5	PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS	18
4	MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1	ÁREA DE ESTUDO	19
4.2	OBTENÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS VIA SENSORIAMENTO REMOTO	22
4.3	OBTENÇÃO DE DADOS DE POSTOS PLUVIOMÉTRICOS	22
4.4	TRATAMENTO DOS DADOS OBTIDOS NOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS ..	23
4.5	ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA (IAC)	24
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1	PRECIPITAÇÃO	26
5.2	ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA	30
5.3	ANÁLISE CONSIDERANDO OS POSTOS ESPECÍFICOS	34
5.3.1	Posto 7	34
5.3.2	Posto 10	38
5.3.3	Posto 19	41
5.4	EFEITOS DOS EVENTOS EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL	44
6	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	47
	APÊNDICE A — CÓDIGO DO GOOGLE EARTH ENGINE PARA OBTENÇÃO DAS MÉDIAS ANUAIS DA BACIA.	50
	APÊNDICE B — CÓDIGO DO GOOGLE EARTH ENGINE PARA OBTENÇÃO DAS DIFERENÇAS MÉDIAS ANUAIS ENTRE FONTES DE DADOS.	52
	APÊNDICE C — RELAÇÃO ENTRE POSTOS, CIDADES, LOCALIZAÇÕES E MÉDIAS DE PRECIPITAÇÃO.	54
	APÊNDICE D — ANOS E IACS CORRESPONDENTES DE DIFERENTES FONTES PARA A BACIA DO TIETÊ.	55

1 INTRODUÇÃO

A água é um bem de demasiada importância para a sobrevivência humana e dos seres vivos no planeta Terra, o evento que reabastece as reservas subterrâneas e superficiais é a precipitação. Visto isto, a precipitação é muito importante, não só por reabastecer reservas, mas também pelo que os seus extremos causam, a falta de água pode causar secas, perda de plantações, morte de animais e pessoas, enquanto o seu excesso também pode causar enchentes, desmoronamentos, proliferação de doenças e morte de animais e pessoas (TUCCI, 2001).

Considerando tal importância, a gestão dos recursos hídricos deve garantir instrumentos para promoção da disponibilidade de água, além da sua utilização racional e integrada para a geração atual e futuras. Dessa forma, foi criado o PERH (Planejamento Estadual de Recursos Hídricos) como forma de gestão a nível estadual, previsto pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos na Lei Federal nº 9.433/1997. Para que essa gestão seja feita de maneira coerente e assertiva, é necessário que se saiba a situação atual de cada localidade, assim como o comportamento da chuva na região.

De acordo com Almeida e Serra (2007), a modelagem hídrica consiste na representação terrestre do ciclo hidrológico, transformando dados de precipitação, em dados de vazão em determinada sessão de um rio. Assim, a modelagem hídrica é uma ferramenta essencial nesse processo de tomada de decisões, para que o gerenciamento seja feito de maneira assertiva e para garantir a qualidade da modelagem, é importante que a fonte não tenha uma incerteza grande nos dados (ANJINHO et al., 2021).

Atualmente, a fonte de dados utilizadas para a modelagem hídrica utilizada no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo são postos pluviométricos, que fornecem valores coletados no solo de maneira pontual, que são interpolados para obter valores da área total. Infelizmente no Brasil há uma carência de dados com a qualidade ideal, seja pela distribuição e falta de manutenção dos postos ou mesmo pela falta de dados em determinados períodos determinados (SOUZA, 2017). Assim, os dados coletados dessa maneira não representam com 100% de precisão a precipitação.

Então surge a necessidade de outras formas de fazer a coleta de dados, a forma alternativa utilizada neste estudo é o sensoriamento remoto, que de acordo com Mol (2005) estima valores de precipitação a partir da intensidade da reflexão de um pulso de energia eletromagnética, emitido por uma antena, quando ele encontra gotas de água e cristais de gelo em suspensão na atmosfera.

O sensoriamento remoto apresenta vantagens como um grande banco de dados disponível com facilidade, tratamento de dados de maneira intuitiva através de plataformas como o *Google Earth Engine*, que possibilitam o armazenamento e processamento desses dados na nuvem, trazendo a facilidade e rapidez para trabalhar com grandes bancos de dados

(LEMOS et al., 2021).

Anjinho et al. (2021) fez análise da acurácia dos dados de sensoriamento remoto do CHIRPS - *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data (Version 2.0 Final)* (FUNK et al., 2015), considerando as escalas mensal e anual através de alguns índices, entre eles a regressão linear avaliando o R^2 , como também será utilizado no presente estudo. Ao final se obteve a resposta de um bom desempenho, onde os dados obtidos no CHIRPS representaram bem a magnitude dos dados quando comparados a estação estudada. A partir desse estudo o CHIRPS é uma possibilidade para a obtenção, mas devido às limitações do mesmo, foi enfatizada a necessidade de mais estudos sobre o tema com áreas maiores.

Para realizar a análise da precipitação, uma alternativa é utilizar o Índice de Anomalia da Chuva (IAC), com ele é possível entender como a unidade de tempo em questão se comporta com o período total estudado e então ser classificado como seco ou úmido dependendo do valor obtido (GROSS, 2015).

Considerando a atuação dos fenômenos ENOS (EL Niño Oscilação Sul) e a pouca quantidade de estudos sobre os efeitos na região sudeste do Brasil, será feita uma análise preliminar da precipitação e IAC nos anos com a presença de algum dos eventos.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo fazer a análise de precipitação na Bacia do Tietê, utilizando duas fontes de dados, o sensoriamento remoto e postos pluviométricos, então comparar resultados e verificar a viabilidade do uso de sensoriamento remoto para tal análise.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho é analisar a pluviometria entre os anos de 1981 e 2020 na Bacia Hidrográfica do Tietê, utilizando dados de sensoriamento remoto e dados de postos pluviométricos.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Os seguintes objetivos específicos buscam ser alcançados:

- Avaliar de forma quantitativa e espacial a diferença entre os dados de sensoriamento remoto e postos pluviométricos para a análise anual da precipitação;
- Identificar anos secos, normais e chuvosos;
- Relacionar a atuação dos fenômenos ENOS na bacia estudada.

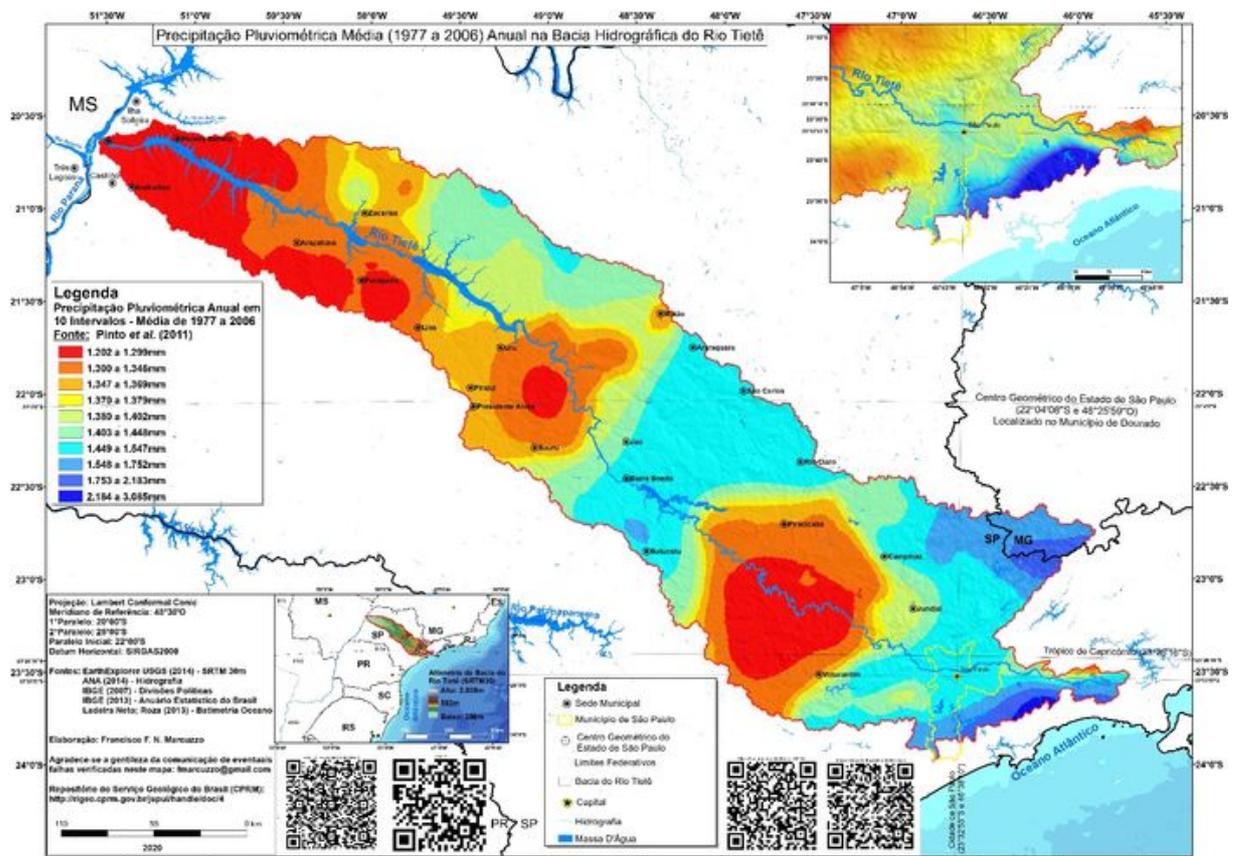
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PLUVIOMETRIA NA BACIA DO RIO TIETÊ

O mapeamento e análise da distribuição mensal da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Tietê no período de 1977 a 2006, foi feito a partir de dados de estações pluviométricas instaladas na região e analisadas com o *software ArcGis*. Nele, foram identificados os meses de Julho e Agosto como os meses de menor volume de chuva, enquanto Janeiro e Dezembro representam os meses com maior volume de precipitação nos anos, Marcuzzo (2020).

No mesmo estudo foi calculada uma precipitação média anual máxima de 3.085mm e uma média anual mínima de 1.202 mm, na Figura 1 é possível notar que as regiões que possuem as maiores médias anuais estão na fronteira entre São Paulo e Minas Gerais e no Sudeste da bacia, enquanto as regiões com as menores médias anuais encontram-se na região Noroeste, Central e Sudoeste da bacia.

Figura 1 — Precipitação média anual espacializada na bacia do rio Tietê



Fonte: Marcuzzo (2020, p. 18)

3.2 INFLUÊNCIA DO EL NIÑO E LA NIÑA NA PRECIPITAÇÃO

De acordo com Alexander (2002), o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é um modo natural do sistema acoplado oceano-atmosfera na região do Pacífico Tropical, caracterizado por flutuações irregulares entre as fases quente (El Niño - EN) e a fria (La Niña -LN), de 2 a 7 anos, aproximadamente.

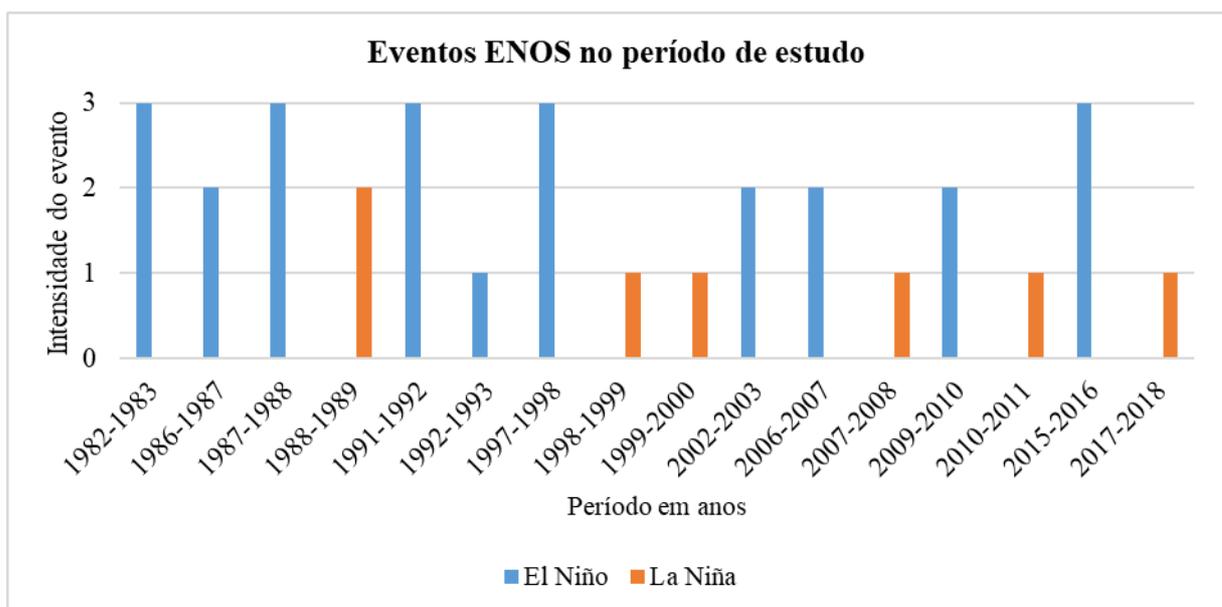
“El Niño está de volta e seus impactos já se espalham pelo Brasil: inverno mais quente e primavera mais chuvosa que o normal no Sul, primavera mais seca e mais quente na maior parte do Sudeste, além de seca no Norte e Nordeste do Brasil. Eventos extremos de precipitação, cuja frequência é significativamente aumentada por episódios El Niños, já produziram danos” (GRIMM, 2015).

De acordo com o INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, o Fenômeno El Niño se trata do aquecimento da temperatura do Oceano Pacífico na costa Peruana, enquanto o fenômeno La Niña se trata do esfriamento da mesma, que traz consequências não somente para o seu local de origem, mas para o mundo.

“A caracterização do ENOS é analisada por meio do cálculo de alguns índices, como o Índice Oceânico Niño (Oceanic Niño Index – ONI) definido pela média móvel trimestral da anomalia de temperatura da superfície do mar (ATSM) para a região do Niño 3.4, por no mínimo, cinco meses consecutivos, onde a anomalia maior que 0,5°C está associado a El Niño e inferior a -0,5°C está associado a La Niña” (INPE,2022)

Com dados disponibilizados pelo INPE (2022), foi possível montar o Gráfico 1, com os anos em que os fenômenos atuaram dentro do período de estudo e suas intensidades, variando de 1 a 3, respectivamente intensidade fraca, moderada e forte.

Gráfico 1 — Anos com ação dos fenômenos ENOS e suas intensidades



Fonte: Elaborado pela autora

3.3 ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA (IAC)

Criado por Rooy (1965), o Índice de Anomalia de Chuva (IAC), permite a classificação da precipitação de uma região em um dado período e o monitoramento de períodos secos e chuvosos a partir da comparação da precipitação de um período limitado com sua série histórica de precipitação.

Assim foi feito por Araújo, Neto e Sousa (2009), classificando a precipitação anual da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba e estudando períodos secos e chuvosos a partir do IAC da região. A avaliação do grau de severidade das anomalias encontradas foi feita através do IAC e foi adotada uma nova metodologia para classificação da precipitação, mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 — Classes de Intensidade do índice de Anomalia de Chuva da bacia do rio Paraíba

Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	Faixa do IAC	Classe de Intensidade
	De 4 acima	Extremamente Úmido
2 a 4	Muito Úmido	
0 a 2	Úmido	
0 a -2	Seco	
-2 a -4	Muito Seco	
De -4 abaixo	Extremamente Seco	

Fonte: Araújo, Neto e Sousa (2009, p. 5)

Gross (2015), realizou um estudo do período entre 1983 e 2012 no estado do Rio Grande do Sul e utilizou o IAC como forma de avaliar a variabilidade temporal das precipitações no período estudado. Com o emprego desse índice, o autor identificou que as variações combinavam com o que se esperava devido aos eventos ENOS e fez a análise mensal da variabilidade do IAC, utilizando o Quadro 1 como forma de classificação do IAC, fazendo uma adaptação da classificação de Araújo, Neto e Sousa (2009, p. 5), a mesma será utilizada no presente trabalho.

Quadro 1 — Classificações das intensidades das anomalias negativas e positivas de precipitação de acordo com o Índice de Anomalia de Chuva (IAC)

IAC	CLASSIFICAÇÃO DE INTENSIDADE
$\geq 4,00$	Umidade extremamente alta
3,00 a 3,99	Umidade alta
2,00 a 2,99	Umidade moderada
0,00 a 1,99	Umidade baixa
-1,99 a 0,00	Seca suave
-2,00 a -2,99	Seca moderada
-3,00 a -3,99	Seca alta
$\leq -4,00$	Seca extremamente alta

Fonte: Gross (2015, p. 7)

3.4 GOOGLE EARTH ENGINE E SENSORIAMENTO REMOTO

“A correta quantificação da precipitação em termos de bacia hidrográfica é fundamental é básica para a imensa maioria dos estudos hidrológicos. No entanto, postos pluviométricos convencionais fornecem registros válidos apenas para um pequeno entorno do instrumento, gerando a necessidade de extrapolação dos dados. Além disso, em áreas de difícil acesso como o Pantanal, os pluviômetros se encontram muito esparsamente localizados, aumentando a incerteza. Neste contexto, estimativas espaciais de precipitação podem se constituir numa ferramenta extremamente útil. Estas estimativas, embora pouco precisas quando comparadas com valores pontuais medidos no solo, fornecem uma boa noção da distribuição espacial das chuvas.” (COLLISCHONN et al., 2006, p. 1)

De acordo com Barret e Martin (1981), o sensoriamento remoto apresenta vantagens em relação aos postos pluviométricos, uma delas é poder captar a distribuição espacial da precipitação com maior precisão. Em contrapartida, de acordo com Calveti, Beneti e Filho (2003), ele possui erros relativos a estimativa da precipitação, provenientes principalmente ad calibração eletrônica do equipamento, da equação de transformação da refletividade efetiva em taxa de precipitação, do efeito da curvatura da Terra e da zona de derretimento de cristais de gelo na nuvem

O *Google Earth Engine* (GORELICK et al., 2017) é uma plataforma com banco de dados público de mais de 30 anos, proveniente de satélites prontos para uso, podendo ser tratados a partir de *JavaScript* e *Python* para análise instantânea. Na plataforma existe um editor de códigos embutido com *JavaScript* e atalhos para ferramentas que facilitam a obtenção de dados.

Um estudo realizado por Anjinho et al. (2021) compara as anomalias de precipitação calculadas a partir de dados de sensoriamento remoto da base CHIRPS, com dados da estação pluviométrica do CHREA e concluiu que no sensoriamento remoto, a precipitação em períodos secos era subestimada e em períodos úmidos, superestimada. Para a comparação mensal foi obtido um desempenho muito bom, já escala anual de análise, os resultados indicaram bom desempenho, porém inferior aos resultados mensais.

Dessa forma, os dados de sensoriamento remoto da base CHIRPS foram considerados condizentes quando comparados com a realidade dos postos pluviométricos e apresentam uma alternativa de obtenção de dados em locais que não possuem postos pluviométricos, ou que os resultados apresentam falhas demasiadas.

Lemos et al. (2021), fez o cálculo da anomalia de precipitação brasileira do ano de 2020 utilizando dois produtos de sensoriamento remoto de precipitação (CHIRPS e IMERG) e montou um fluxograma do processo, apresentado na Figura 2.

Figura 2 — Fluxograma de processamento dos dados



Fonte: Lemos et al. (2021, p. 4)

3.5 PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS

O PERH - Plano Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo é feito há 32 anos, com cada versão tendo a duração de 4 anos, tendo sua primeira versão no ano de 1990 e a última lançada para o período de 2020 até 2023, seguindo diretrizes e critérios gerais da Lei Estadual nº 16.337/2016 e estabelecendo diretrizes e metas para o gerenciamento dos recursos hídricos.

"Foi considerado 2016 o ano base, 2023 o ano de horizonte de curto prazo, 2035 de médio prazo, e 2050 de longo prazo.

O escopo do trabalho e o roteiro metodológico para elaboração de "Subsídios técnicos para o Plano Estadual de Recursos Hídricos 2020-2023" compreende o desenvolvimento das seguintes atividades principais:

- i) Diagnóstico Síntese;
- ii) Prognósticos para o PERH;
- iii) Análise integrada das diretrizes do PNRH, PIRHs, PBHs, Planos Setoriais e das questões macrorregionais; (iv) Subsídios intermediários do PERH, de curto prazo; e (v) Subsídios para o Plano de Ação e Programa de investimentos, de curto e médio prazo." (PERH-SP...).

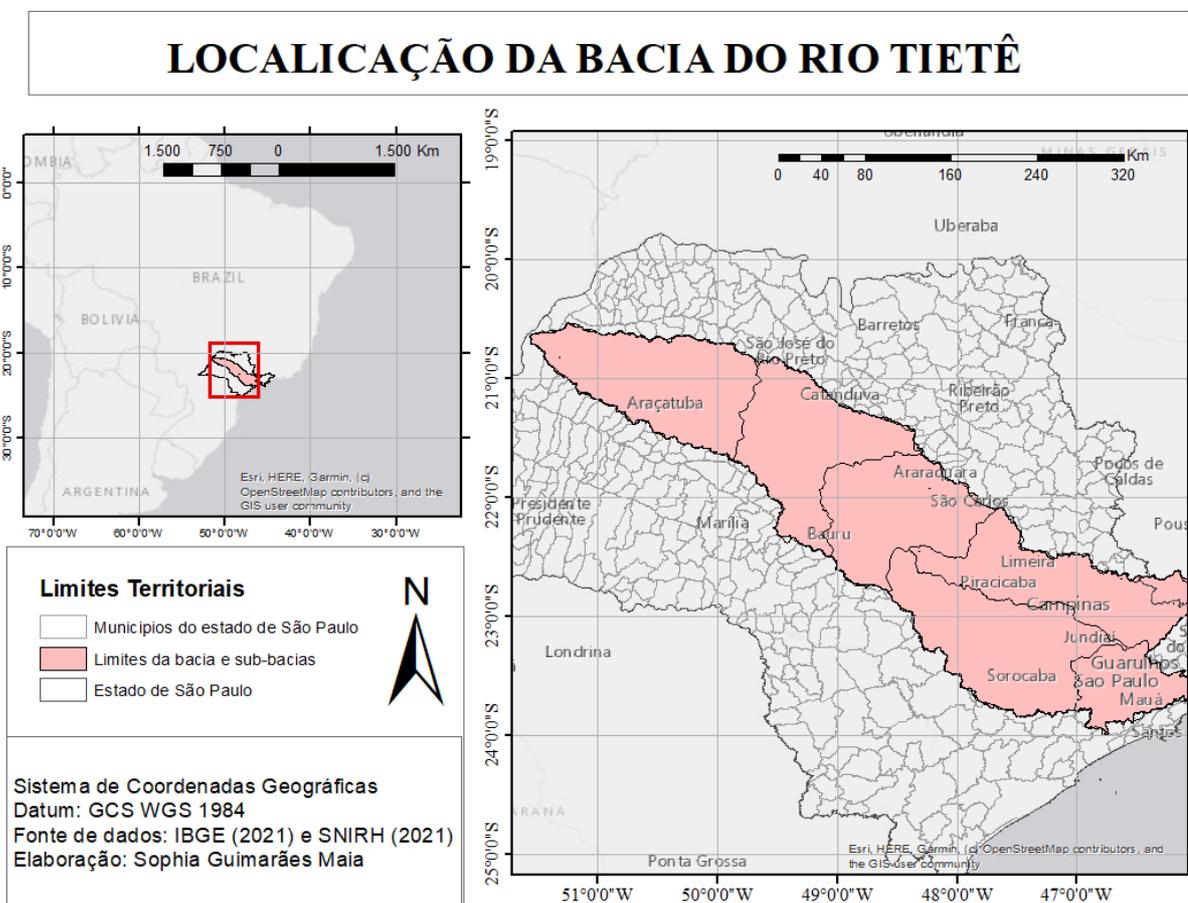
O diagnóstico propriamente dito, é o ponto de interesse, visto que é onde está a origem das informações sobre a situação dos recursos hídricos do Estado de São Paulo, este que foi publicado em 2017. Os dados para formulação do PERH são dados de postos pluviométricos consolidados na região, para fazer a estimativa dos dados foi necessário selecionar os postos de interesse e tratar os dados obtidos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do Rio Tietê, ocupa a Região Hídrica Tietê (RH Tietê), como conhecida no PERH (Plano estadual de Recursos Hídricos) de São Paulo. Se localiza na região oeste do Estado de São Paulo e em uma pequena porção no extremo sul de Minas Gerais, como é possível observar na Figura 3.

Figura 3 — Localização da RH Tietê e suas sub-bacias



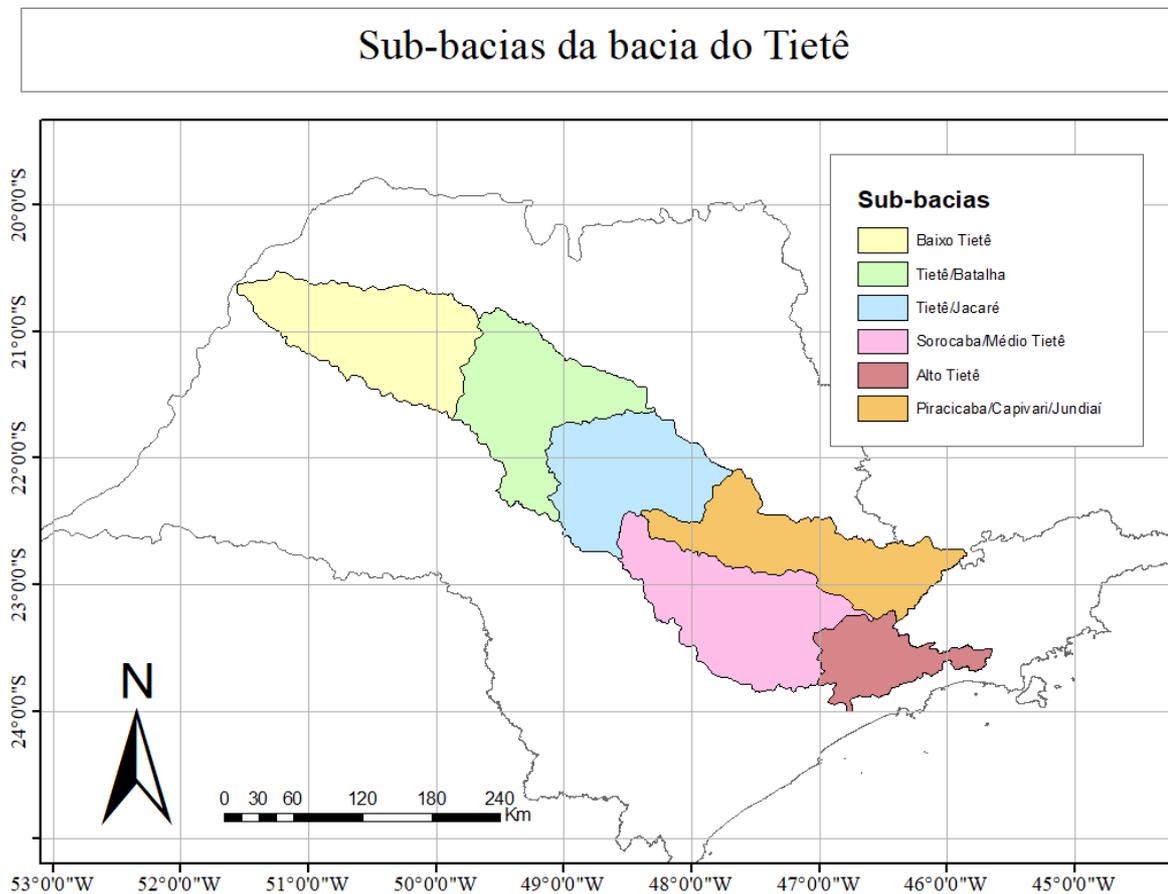
Fonte: Elaborado pela autora

Com uma área de 72.362 Km², a Bacia possui 6 sub-bacias, UGRHIs - Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos a partir do PERH, que podem ser observadas na Figura 4, sendo elas:

- (i) - UGRHI 05 - Piracicaba / Capivari / Jundiaí
- (ii) - UGRHI 06 - Alto Tietê
- (iii) - UGRHI 10 - Sorocaba / Médio Tietê
- (iv) - UGRHI 13 - Tietê / Jacaré

- (v) - UGRHI 16 -Tietê / Batalha
- (vi) - UGRHI 19 -Baixo Tietê

Figura 4 — Localização das sub-bacias



Fonte: Adaptado de PERH-SP... (p. 3)

De acordo com o PERH estadual, o estado de São Paulo possui duas grandes áreas de drenagem, a Bacia estudada é a maior RH do estado, com a maior densidade populacional de 427 hab/km².

Um ponto crítico nessa região é a disponibilidade hídrica per capita, no ano de 2017, a UGRHI - 06, apresentou uma disponibilidade de apenas 129 m³/hab.ano, sendo essa a menor em todo estado, após ela, outras 3 UGRHIs da bacia estudada também possuem entre as 4 menores disponibilidades de todo estado, demonstrando números alarmantes, uma vez que de acordo com o Sumário Executivo do PERH, a disponibilidade hídrica é considerada crítica no estado de São Paulo quando está abaixo de 1500m³/hab.ano.

Tabela 2 — Características Gerais das Regiões Hidrográficas (RHs) e UGRHs Paulistas

Região Hidrográfica	UGRHI	Área (km ²)	População (2017)	Densidade Demográfica (hab./km ²)	Grau de Urbanização (%)	TGCA 2016-2017 (%)	TGCA 2015-2016 (%)	Disponibilidade <i>per capita</i> em 2017* (m ³ /hab.ano)	Área Vegetada (%)	Erosões Lineares Cadastradas (n.)
Tietê	05-PCJ	14.136,71	5.529.450	131,71	96,69	1,015	1,013	981	13,31	3.204
	06-AT	5.773,19	20.540.641	3.468,56	98,98	0,665	0,664	129	29,94	788
	10-SMT	11.864,94	2.001.262	173,15	89,67	1,051	1,050	1.686	18,21	4.308
	13-TJ	11.777,87	1.566.306	133,22	96,39	0,697	0,696	1.953	9,41	342
	16-TB	13.105,88	530.158	40,39	92,52	0,434	0,433	5.829	6,81	603
	19-BT	15.703,34	789.404	50,25	92,60	0,582	0,580	4.514	5,57	726
	Subtotal	72.361,93	30.957.221							9.971
Paraíba do Sul	02-PS	14.446,70	2.127.893	147,93	93,84	0,827	0,826	3.201	26,74	4.054
	Subtotal	14.446,70	2.127.893							4.054
Vertente Litorânea	03-LN	1.958,10	312.955	159,43	97,62	1,331	1,331	10.782	86,03	55
	07-BS	2.903,74	1.781.727	620,58	99,82	0,923	0,920	2.743	77,09	33
	11-RB	17.058,76	369.743	21,96	73,83	0,311	0,310	44.863	72,80	432
	Subtotal	21.920,60	2.464.425							520
Grande/SJD	01-SM	676,83	66.523	98,39	88,46	0,374	0,376	10.429	48,57	54
	04-PARDO	8.987,07	1.185.180	131,71	96,01	0,832	0,830	3.699	13,30	666
	08-SMG	9.102,40	703.276	77,45	94,83	0,605	0,605	6.547	10,95	636
	09-MOGI	15.032,27	1.537.840	102,15	94,61	0,730	0,728	4.081	10,62	3.402
	12-BPG	7.259,45	343.630	47,34	95,71	0,385	0,384	7.984	5,57	51
	15-TG	15.920,25	1.295.609	79,83	93,65	0,576	0,574	2.945	6,84	653
	18-SJD	6.733,22	227.791	34,64	89,82	0,171	0,170	7.061	6,83	1.369
	Subtotal	63.711,49	5.359.849							6.831
Parapanema	14-ALPA	22.722,50	748.470	32,99	82,75	0,543	0,541	10.744	20,62	5.355
	17-MP	16.749,74	690.692	41,16	92,33	0,498	0,496	7.077	8,07	1.412
	22-PP	12.337,84	494.227	39,99	91,73	0,429	0,428	5.870	8,09	3.365
	Subtotal	51.810,08	1.933.389							10.132
Aguapeí/Peixe	20-AGUAPEI	13.050,32	371.211	28,38	90,30	0,244	0,243	8.241	6,56	2.764
	21-PEIXE	10.891,97	460.545	42,82	91,59	0,373	0,371	5.615	7,40	6.990
	Subtotal	23.942,29	831.756							9.754
Total – Estado de SP		248.193,10	43.674.533	176,10	96,37	0,728	0,726	2.254	17,51	41.262

Fonte: PERH-SP... (p. 15)

É possível observar alguns pontos importantes sobre o uso de terra na Tabela 3 baseada no levantamento feito pelo IBGE no ano de 2018, referente ao ano de 2016, uma vez que esse fator influencia diretamente a disponibilidade hídrica local qualitativamente e quantitativamente.

Duas das três UGRHs com maior percentual de áreas artificiais, que são áreas predominantemente formadas por infraestruturas urbanas e áreas de mineração, fazem parte da área estudada. A UGRHI 05 é a que possui maior percentual de Mosaico de Ocupações em Área Florestal, indicando que 40% da área é destinada para um misto de recuperação florestal para extração e pastagem para criação de animais.

A UGRHI 16 tem o 4º maior percentual de área ocupada por agricultura, com 40% e o 3º maior percentual de massas de água, indicando que 5% da sua área é coberta por corpos de água lineares.

Dessa forma, um percentual muito baixo da bacia do Tietê é ocupado por vegetação florestal, mesmo possuindo um percentual considerável de área úmida e massas d'água.

Tabela 3 — Classes de cobertura da terra por URGHI (em %)

URGHI	Área Artificial	Área Agrícola	Pastagem com Manejo	Mosaico de Ocupações em Área Florestal	Silvicultura	Vegetação Florestal	Área Úmida	Vegetação Campestre	Mosaico de Ocupações em Área Campestre	Massa d'Água	Corpo d'Água Costeiro
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
01 Mantiqueira	0,61	0,00	13,46	26,27	0,00	20,22	0,00	38,00	1,43	0,00	0,00
02 Paraíba do Sul	3,89	2,36	30,45	30,85	6,52	21,57	0,00	3,56	0,12	0,67	0,00
03 Litoral Norte	5,65	0,00	2,72	3,44	0,00	88,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,15
04 Pardo	2,75	58,25	4,45	22,26	2,45	2,36	0,00	1,92	5,42	0,14	0,00
05 Piracicaba/Capivari/Jundiaí	8,98	31,28	7,68	40,07	1,60	5,64	0,00	0,39	3,43	0,93	0,00
06 Alto Tietê	34,25	0,19	0,19	27,12	4,43	29,17	0,00	0,93	1,45	2,27	0,00
07 Baixada Santista	10,10	0,00	0,07	7,35	0,82	80,91	0,00	0,49	0,01	0,15	0,10
08 Sapucaí Mirim / Grande	1,68	68,98	2,20	12,90	0,87	1,71	0,00	2,10	8,27	1,30	0,00
09 Mogi Guaçu	2,34	67,55	3,25	14,96	3,85	2,47	0,00	1,66	3,91	0,01	0,00
10 Sorocaba / Médio Tietê	4,71	30,52	10,55	38,73	5,54	5,64	0,00	0,24	2,67	1,39	0,00
11 Ribeira do Iguape / Litoral Sul	0,51	1,30	1,14	20,40	2,90	73,30	0,00	0,25	0,01	0,15	0,03
12 Baixo Pardo / Grande	1,19	87,19	2,42	2,65	0,00	1,14	0,00	1,37	1,89	2,14	0,00
13 Tietê / Jacaré	3,21	66,92	3,04	12,03	4,59	1,38	0,01	2,44	5,46	0,94	0,00
14 Alto Paranapanema	0,81	28,42	9,43	25,28	18,94	7,24	0,00	1,78	6,03	2,08	0,00
15 Turvo / Grande	2,02	57,07	17,14	20,52	0,04	0,83	0,00	0,38	0,18	1,82	0,00
16 Tietê / Batalha	0,98	57,07	9,24	23,42	2,31	2,38	0,00	0,19	0,95	3,47	0,00
17 Médio Paranapanema	1,02	55,23	14,91	11,00	8,32	1,01	0,00	1,80	6,20	0,51	0,00
18 São José dos Dourados	0,80	35,74	31,16	26,72	0,04	1,50	0,03	0,06	0,00	3,95	0,00
19 Baixo Tietê	1,17	56,43	17,32	18,01	0,04	1,34	0,01	0,30	0,13	5,24	0,00
20 Aguapeí	0,96	44,33	26,07	23,88	0,80	3,04	0,02	0,67	0,02	0,21	0,00
21 Peixe	0,99	27,20	47,06	19,47	0,22	3,10	0,00	0,10	0,17	1,68	0,00
22 Pontal do Paranapanema	0,89	31,51	46,49	10,98	0,46	5,76	0,00	0,93	0,32	2,66	0,00
Estado de São Paulo	3,01	40,56	14,65	21,11	4,12	11,27	0,00	1,22	2,48	1,57	0,00

Fonte: PERH-SP... (p. 38)

4.2 OBTENÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS VIA SENSORIAMENTO REMOTO

Para a obtenção dos dados via sensoriamento remoto foi utilizada a base de dados CHIRPS na plataforma *Google Earth Engine* (GEE), então foi importado o *shapefile* da área de contribuição da Bacia do Tietê no catálogo de metadados do SNIRH (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos). Essa área foi tratada no *software ArcGis* e então levada à plataforma GEE para delimitação da Bacia estudada, a partir daí foi montado um código no *Code Editor* da plataforma e foram extraídas as precipitações anuais médias da Bacia do ano 1981 até o ano de 2020.

O resultado obtido foi um mapa com a precipitação anual média do período estudado, além de um gráfico com a precipitação média na bacia de cada ano. Além de obter os dados na plataforma, ela também foi utilizada para fazer operações entre os dados de sensoriamento remoto e dados obtidos no local, assim as diferenças de precipitações puderam ser observadas com mais facilidade.

Os códigos utilizados para obtenção e tratamento dos dados estão disponíveis nos Apêndices 1 e 2.

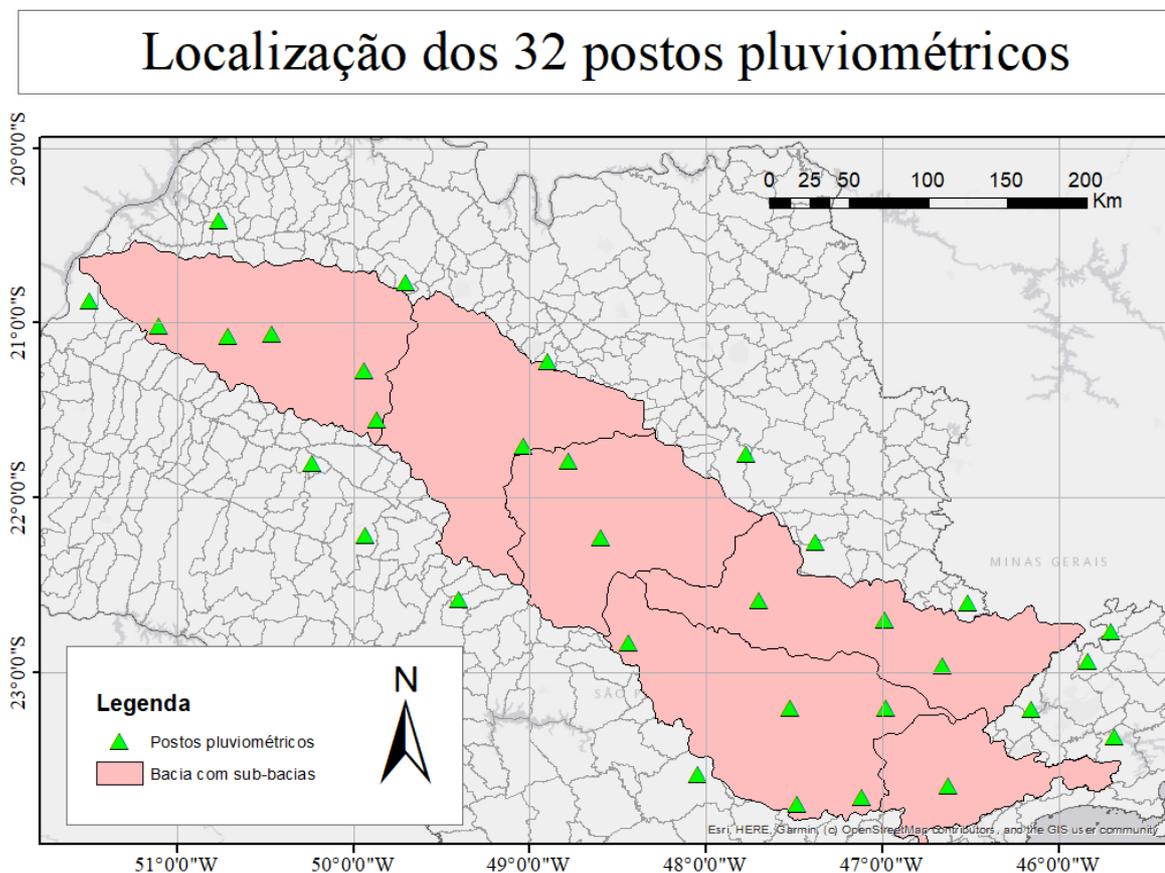
4.3 OBTENÇÃO DE DADOS DE POSTOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados utilizados para a elaboração dos planos estaduais de recursos hídricos são provenientes de postos pluviométricos distribuídos pelo estado de São Paulo. As séries históricas mensais foram baixadas do portal do DAEE (Departamento de Águas e Energia

Elétrica) de postos espaçados dentro da área e período estudados. Os postos enumerados e seus devidos códigos de identificação estão relacionados às cidades de origem no Apêndice 3, enumeradas de acordo com a posição do posto da esquerda para direita e de cima para baixo, a posição dos postos está mostrada na Figura 5.

Além disso, no catálogo de metadados do SNIRH (Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos) foi importado o *shapefile* das Ottobacias da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) para delimitar a área de estudo, que pode ser observada na Figura 5.

Figura 5 — Localização dos postos



Fonte: Elaborado pela autora

4.4 TRATAMENTO DOS DADOS OBTIDOS NOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS

A análise de consistência e correção dos dados observados de chuva foi realizada utilizando o método do Vetor Regional (Hiez, 1978). Esse método consiste na geração de dois vetores, um vetor coluna e um vetor linha. A multiplicação desses dois vetores resulta em uma matriz com n linhas, em que n é o número de anos analisados, e m colunas, em que m é o

número de postos pluviométricos analisados. Essa matriz resultante é uma série temporal sintética composta por valores de totais anuais precipitados, para os n anos e m postos. Ressalta-se ainda que a matriz é fruto da máxima verossimilhança das informações dos dados dos postos pluviométricos analisados.

A partir disso, no *software ArcMap* foram importados as coordenadas de latitude e longitude de cada posto, com sua média de precipitação, através de uma planilha excel. Após a importação, a função IDW - *Inverse Distance Weighting* foi utilizada para realizar a interpolação dos dados dos postos pluviométricos e então obter o mapa com as médias interpoladas.

4.5 INDICE DE ANOMALIA DE CHUVA (IAC)

O índice de anomalia de chuva avalia a precipitação do período estudado, podendo estar na média, acima ou abaixo do padrão. O cálculo pode ser feito a partir da média de precipitação anual relacionada a média de precipitação histórica, como foi desenvolvido por Rooy (1965) e mostrado nas Equações 1 e 2.

Para anomalias positivas:

$$IAC = 3 \cdot \frac{(N - Nm)}{(M - Nm)} \quad (1)$$

Para anomalias negativas:

$$IAC = 3 \cdot \frac{(N - Nm)}{(X - Nm)} \quad (2)$$

Para encontrar a anomalia de cada período foi necessário seguir a Equação 3

$$Anomalia = N - Nm \quad (3)$$

Onde:

N: precipitação (mm) do mês ou ano que será calculado o IAC;

Nm: precipitação média mensal ou anual da série histórica (mm);

X: média das dez maiores precipitações mensais ou anuais da série histórica (mm);

M: média das dez menores precipitações mensais ou anuais da série histórica (mm);

Para facilitar a realização dos cálculos foram utilizadas planilhas no *software Microsoft Office Excel*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta sessão serão apresentados em os resultados obtidos do estudo envolvendo o objetivo geral e os objetivos específicos, divididos em 4 tópicos que apresentam:

- (i) médias anuais de precipitação de ambas as fontes;
- (ii) identificação dos anos secos, normais e úmidos;
- (iii) verificação da relação entre eventos ENOS e médias anuais de precipitação na bacia;
- (iv) estudo de 3 pontos da bacia envolvendo os tópicos anteriores para verificação de resultados.

Os dados retratados com a sigla PERH representam dados obtidos a partir dos postos pluviométricos, enquanto dados retratados com a sigla CHIRPS, foram obtidos a partir do sensoriamento remoto.

5.1 PRECIPITAÇÃO

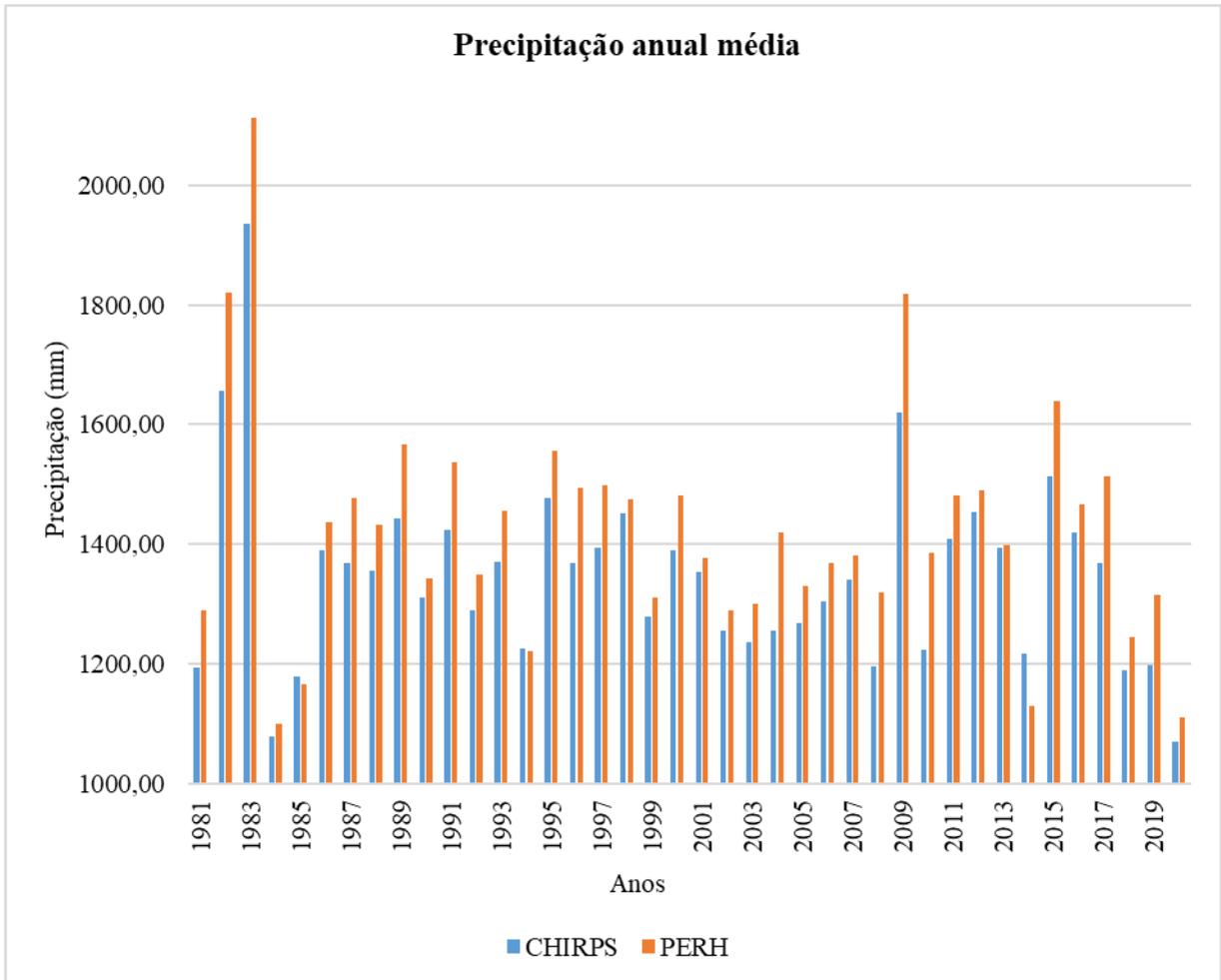
A partir da análise feita no *Google Earth Engine* com o CHIRPS, foi alcançada uma precipitação média anual para a Bacia de 1.346 mm, sendo o ano de 1983 o mais chuvoso com 1.936 mm e o ano de 2020 o mais seco, com uma precipitação média de 1.070 mm.

Já com os dados dos postos pluviométricos tratados no *Excel* e no *ArcMap*, a média anual alcançada para a Bacia foi de 1.422 mm, o ano mais chuvoso continuou sendo 1983, porém com 2.113 mm, e o mais seco foi 1984 com 1.099 mm de chuva.

A partir do processamento de dados foi possível gerar o Gráfico 2 relacionando a média de precipitação anual de ambos os métodos com os anos. Em 37 dos 40 anos estudados a média obtida através do CHIRPS foi menor, porém nos anos de 2014, 1994 e 1985 a média obtida para o PEHR foi menor.

No geral, os valores do PEHR são 5,7% maiores que os valores do CHIRPS, quando a situação se inverte, os valores do PEHR são 3% menores que os valores do CHIRPS. Uma pequena diferença que durante a análise do IAC com gráfico de dispersão será aprofundada.

Gráfico 2 — Precipitação anual média na bacia



Fonte: Elaborado pela autora

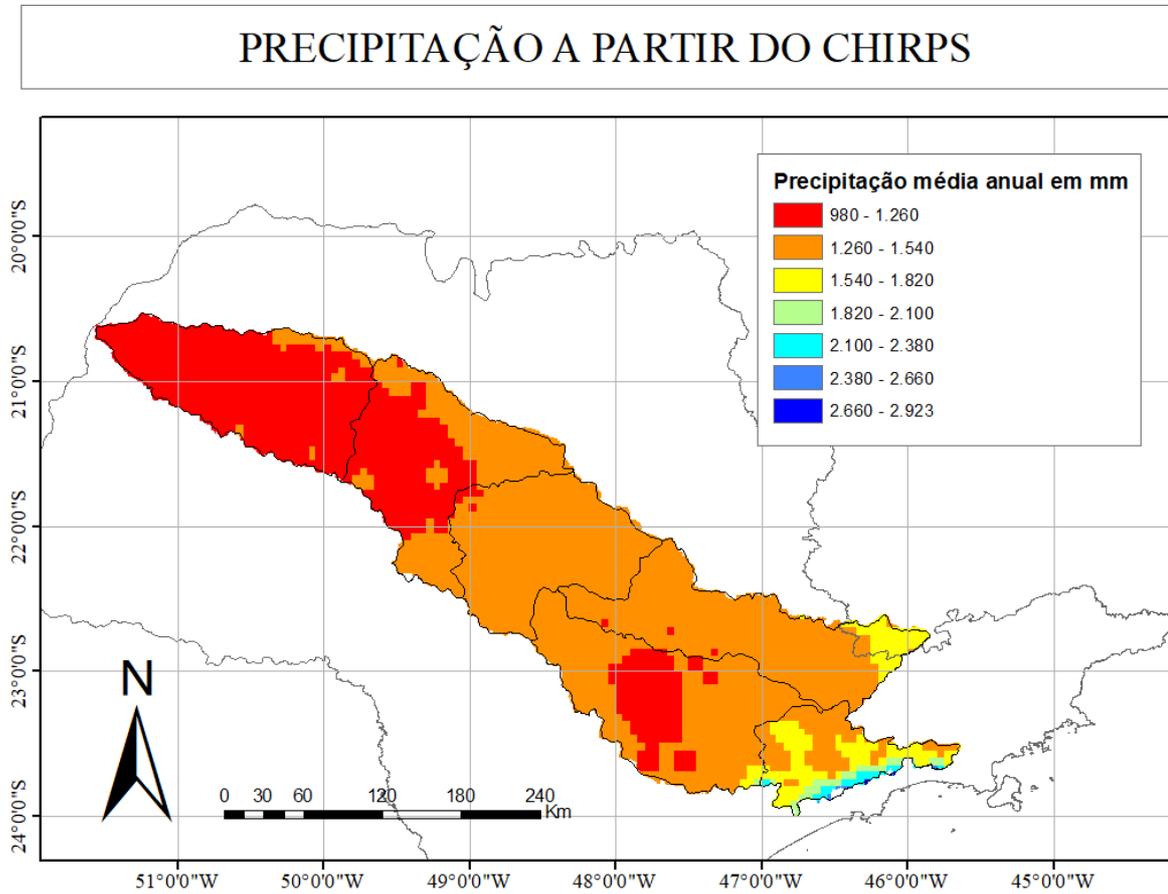
Além da diferença quantitativa entre as fontes, também é possível observar a mudança nas regiões da concentração e da falta de chuvas. É possível observar que os valores mais extremos de precipitação foram encontrados nos dados obtidos através do CHIRPS pela intensidade das cores das Figuras 6 e 7.

As regiões do Baixo Tietê e Tietê/Batalha se encontram em grande parte na faixa de 980mm e 1.260mm de precipitação quando observadas no CHIRPS, porém ao observar através do PERH, a situação muda e aparecem em uma faixa de precipitação mais elevada, 1.260mm a 1.540mm. Já a região Tietê/Jacaré está localizada na mesma faixa de precipitação em ambas as fontes, assim como a região de Piracicaba que se divide em duas faixas de precipitação coincidentes nas fontes.

Ao focar na região Sorocaba/Médio Tietê observamos ao centro uma menor precipitação, fazendo-a possuir duas faixas a partir do CHIRPS, enquanto no PERH, apresenta uma precipitação maior e uniforme na faixa de 1.260mm a 1.540mm. Por fim, a região do Alto Tietê é a mais chuvosa da bacia no CHIRPS, enquanto no PERH a região mais chuvosa fica entre ela e a região de Piracicaba, não atingindo as faixas acima de 1.820mm de

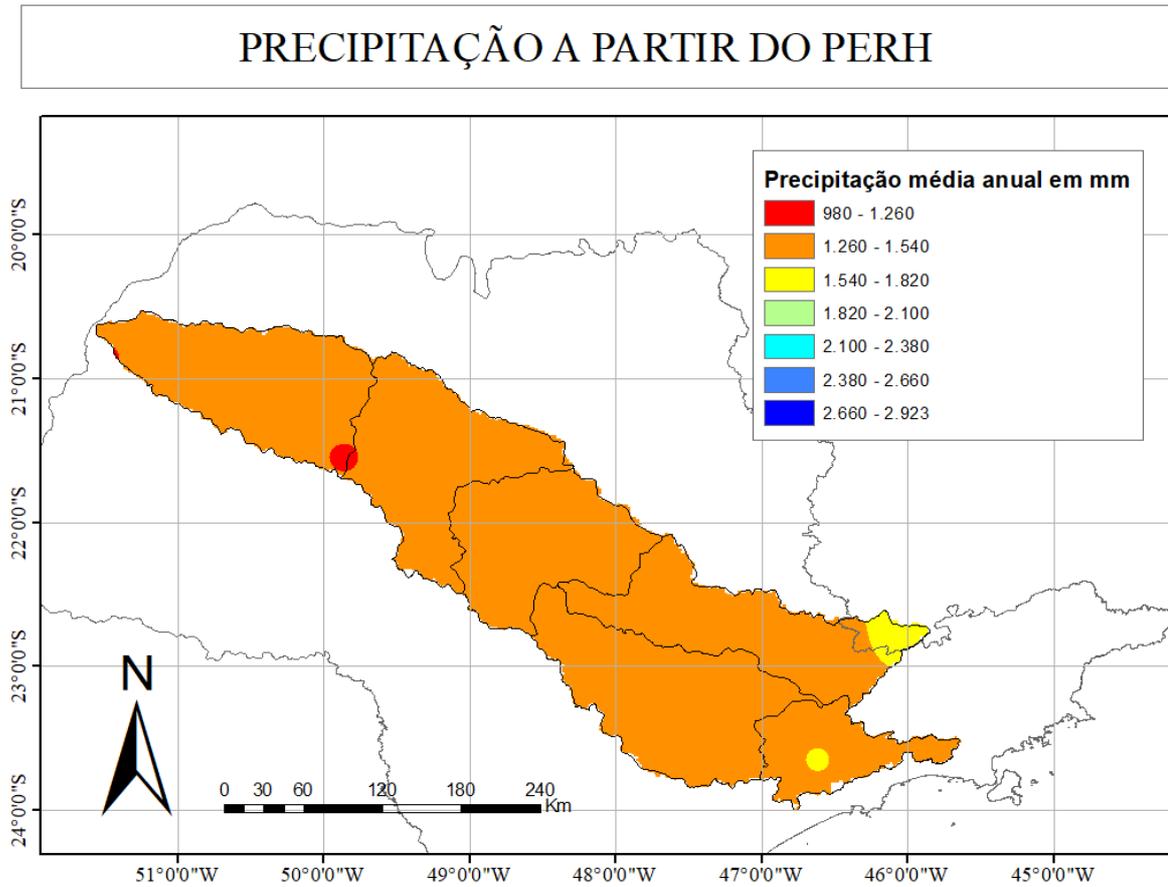
chuva como os dados do CHIRPS.

Figura 6 — Precipitação média anual na bacia a partir do CHIRPS



Fonte: Elaborado pela autora

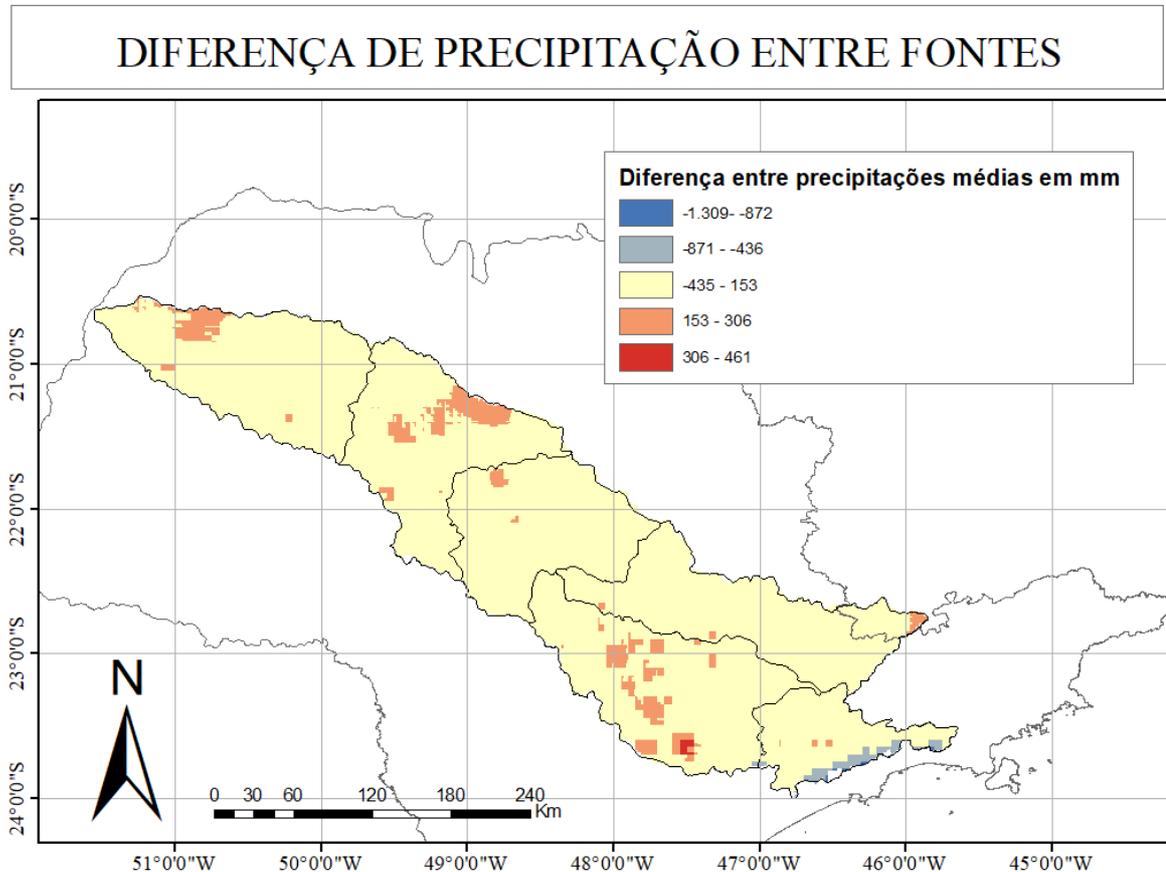
Figura 7 — Precipitação média anual na bacia a partir de postos pluviométricos



Fonte: Elaborado pela autora

As diferenças entre as precipitações estão bem distribuídas na bacia, não apresentando uma região de destaque porém podemos observar a região do Alto Tietê, onde a diferença se inverte. Nesse mapa os valores são referentes aos valores do CHIRPS subtraídos dos valores do PEHR, em mm, os valores em azul mostram as diferenças negativas, enquanto em vermelho mostram diferenças positivas, já variações dessas cores mais claras até o amarelo mostram diferenças com menores magnitudes, dessa forma, grande parte da bacia tem os valores da diferença próximos a faixa nula, entre -435mm e 153mm, a segunda maior aparição é da faixa entre 153mm e 306 mm, onde os valores do PERH são maiores que os do CHIRPS, porém na sub-bacia Alto Tietê essa situação se inverte, chegando até o extremo de -1.309mm

Figura 8 — Diferença entre precipitações médias anuais na bacia obtidas por diferentes métodos



Fonte: Elaborado pela autora

5.2 ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA

A partir dos resultados mostrados na tabela do Apêndice D e no Gráfico 3 é possível observar que as anomalias apresentaram pequenas diferenças entre os resultados do CHIRPS e PERH, enquanto foram obtidas 19 anomalias negativas e 21 positivas a partir de dados do CHIRPS, indicando que houve mais anos chuvosos, foram obtidas 21 negativas e 19 positivas a partir de dados do PERH, indicando que houve mais anos secos.

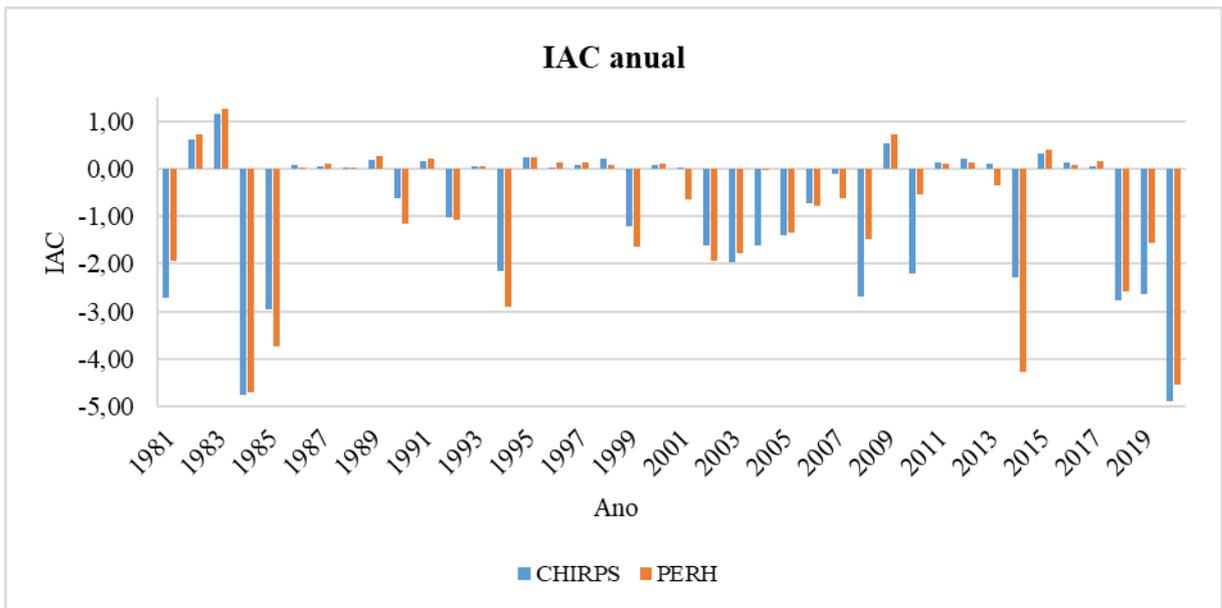
Os valores extremos para o CHIRPS foram 1,15 e -4,88 com uma amplitude de 6,03, enquanto para os dados do PERH os valores extremos foram de 1,5 e -4,7 e a amplitude 6,2.

Já falando da magnitude dos índices, as anomalias negativas foram muito mais intensas que as positivas, tendo uma média de -2,12 contra 0,21 a partir dos dados do CHIRPS, representando assim, 10 vezes a intensidade da positiva. Para os dados obtidos a partir do PERH, a média negativa foi de -1,89 contra uma média positiva de 0,26, representando cerca de 7 vezes a média positiva. Ambos indicaram as anomalias negativas sendo mais intensas, porém os dados do CHIRPS mostraram uma intensidade 40% maior que

os dados do PERH.

Sendo assim, apesar de aparecerem com frequências próximas, os anos com anomalias negativas, isto é, anos secos, foram mais intensos que os com anomalias positivas, anos chuvosos, nos dados de ambas as fontes.

Gráfico 3 — IAC anual na bacia



Fonte: Elaborado pela autora

Além disso, em dois anos os dados se contrapuseram, mas com uma diferença insignificante, mostrados no Quadro 2.

Quadro 2 — Anos com IACs divergentes na bacia do Tietê

ANO	IAC	
	GEE	POSTOS
2001	0,01	-0,65
2013	0,10	-0,35

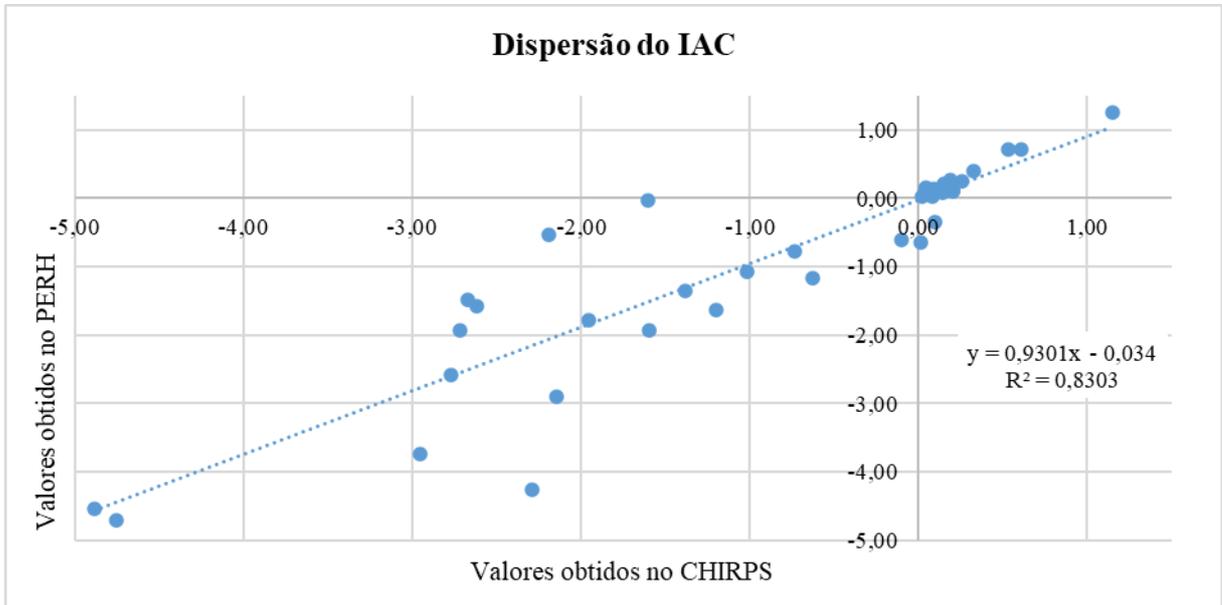
Fonte: Elaborado pela autora

O Gráfico 4 mostra a dispersão dos valores de IAC, onde podemos observar a maior dispersão dos pontos na parte negativa do gráfico, o que pode ser duvidoso devido a escala usada, uma vez que os valores abaixo de zero alcançam números maiores que os valores positivos, para confirmar foi necessário separar o gráfico em dois, um para anomalias positivas e outro para anomalias negativas.

A equação que representa a curva da dispersão está no gráfico junto com seu coeficiente de determinação (R^2), que possui um valor de 0,83, como está acima de 0,80, demonstra que os pontos estão próximos o suficiente da linha da equação para serem

utilizados.

Gráfico 4 — Dispersão do índice de anomalia de chuva

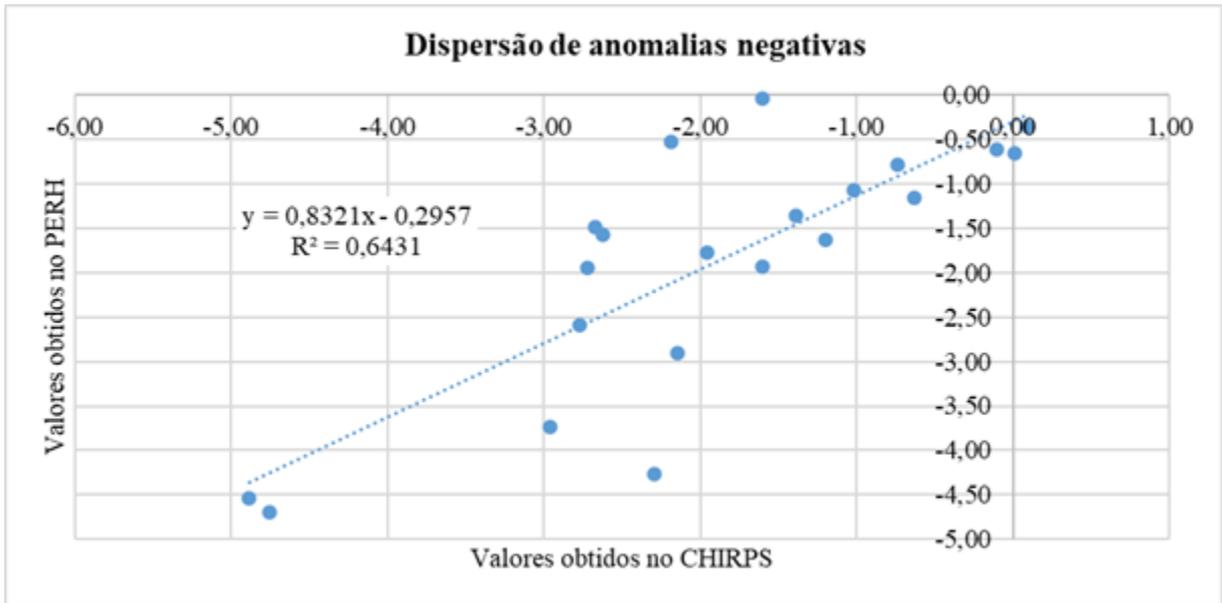


Fonte: Elaborado pela autora

A partir desses resultados, é interessante fazer uma análise mais detalhada, seguimos assim para o Gráfico 5, que apresenta apenas os valores de anomalias negativas e para o Gráfico 6, apenas com os valores das anomalias positivas. É importante notar que ambos os gráficos possuem dois pontos de divergência já citados, onde os valores do Eixo X (CHIRPS) e Eixo Y (PERH) tem sinais diferentes.

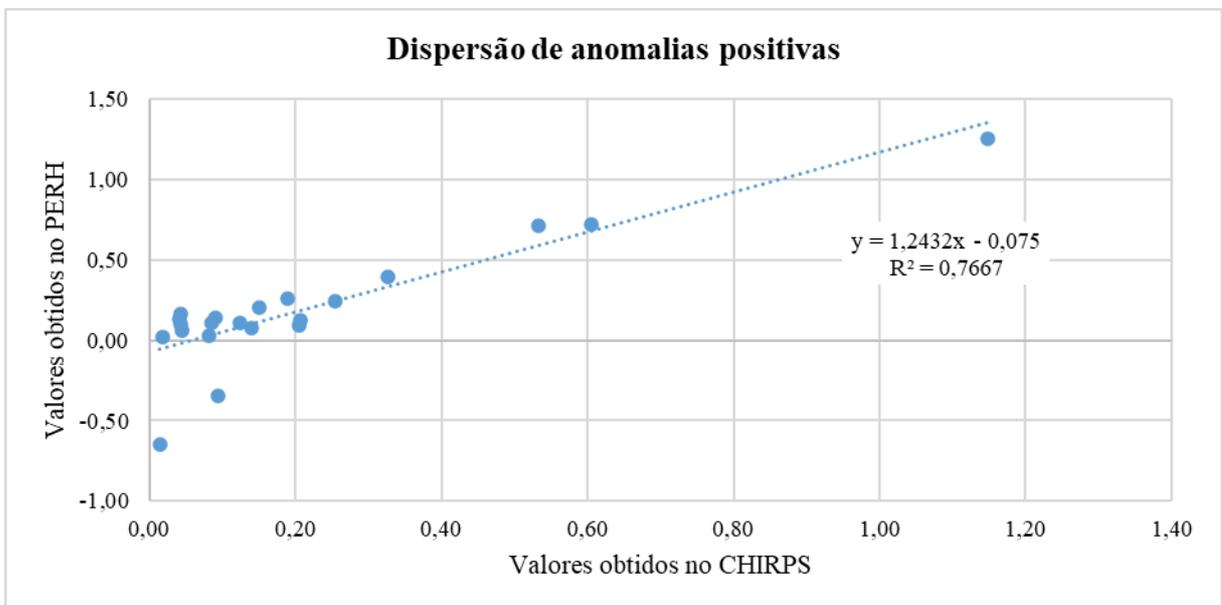
Enquanto o R^2 das anomalias negativas é de 0,64, o das anomalias positivas tem um valor de 0,77, mostrando que os valores positivos têm uma proximidade maior entre as duas fontes, porém ao separar as anomalias positivas das negativas obtivemos uma qualidade menor dessa correlação.

Gráfico 5 — Dispersão do índice de anomalias negativas



Fonte: Elaborado pela autora Alexander (2002)

Gráfico 6 — Dispersão do índice de anomalias positivas



Fonte: Elaborado pela autora

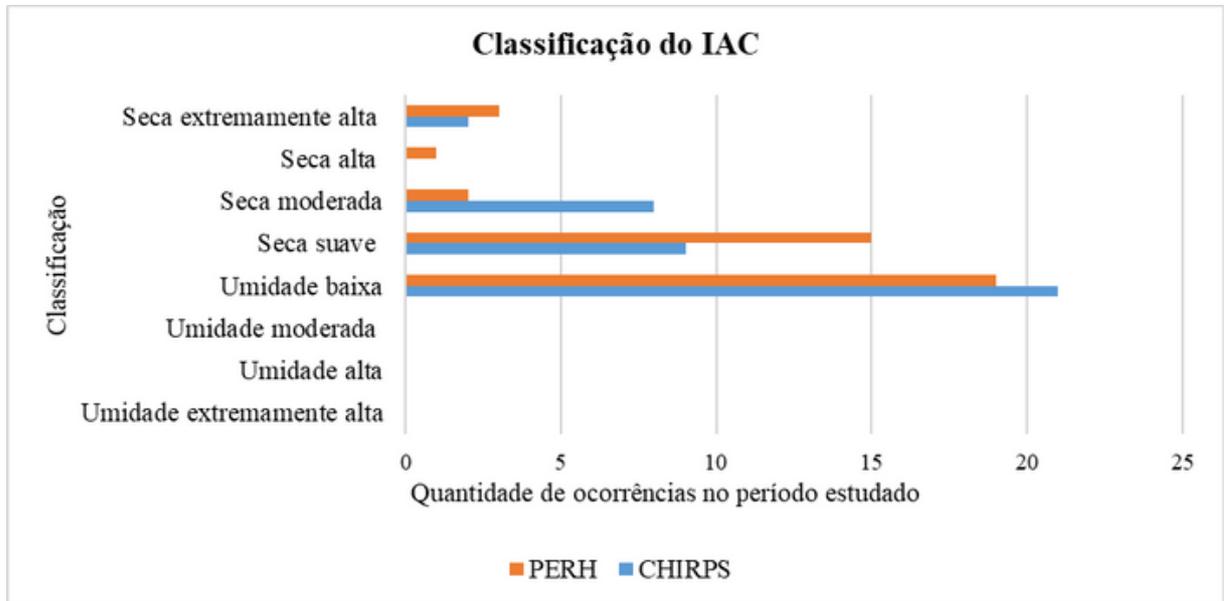
Por fim, a partir da classificação das anomalias mostrada no Quadro 1, pode-se chegar no Gráfico 7, relacionando a quantidade de anos por classificação.

A partir da contagem os dados do CHIRPS, não houve anos de umidade extremamente alta, umidade alta, umidade moderada e seca alta, mas houve 21 anos de umidade baixa, 9 anos de seca suave, 8 anos de seca moderada e 2 anos de seca extremamente alta.

Através dos dados do PERH não foram obtidos anos de umidade extremamente alta,

umidade alta e umidade moderada, mas foram obtidos 19 anos de umidade baixa, 15 anos de seca suave, 2 anos de seca moderada, 1 ano de seca alta e 3 anos de seca extremamente alta.

Gráfico 7 — Classificação do IAC no período estudado



Fonte: Elaborado pela autora

5.3 ANÁLISE CONSIDERANDO OS POSTOS ESPECÍFICOS

No presente tópico será apresentado um detalhamento de 3 postos pluviométricos, como mais uma forma de verificar a conformidade da espacialização com o histórico de precipitação entre as fontes estudadas maneira pontual.

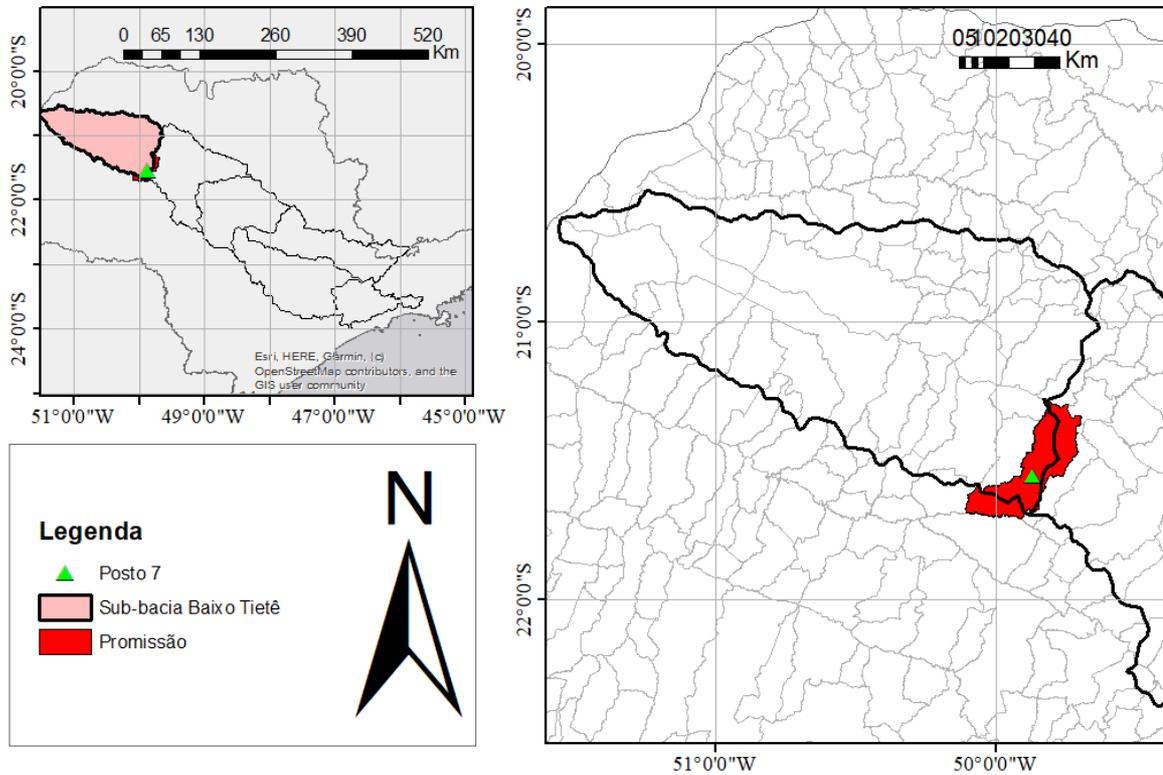
Os postos foram escolhidos na seguinte ordem, menor média de precipitação, na média e maior média de precipitação. Então o ponto com sua Longitude e Latitude foram levados ao GEE para obtenção dos dados do CHIRPS relacionados a cada posto.

5.3.1 Posto 7

O posto 7 fica localizado na cidade chamada Promissão, dentro do estado de São Paulo, ela fica em duas sub-bacias, a Tietê/Batalha e a sub-bacia Baixo Tietê, como é possível ver na Figura 9, o Posto 10 fica na sub-bacia Baixo Tietê.

Figura 9 — Localização do Posto 7

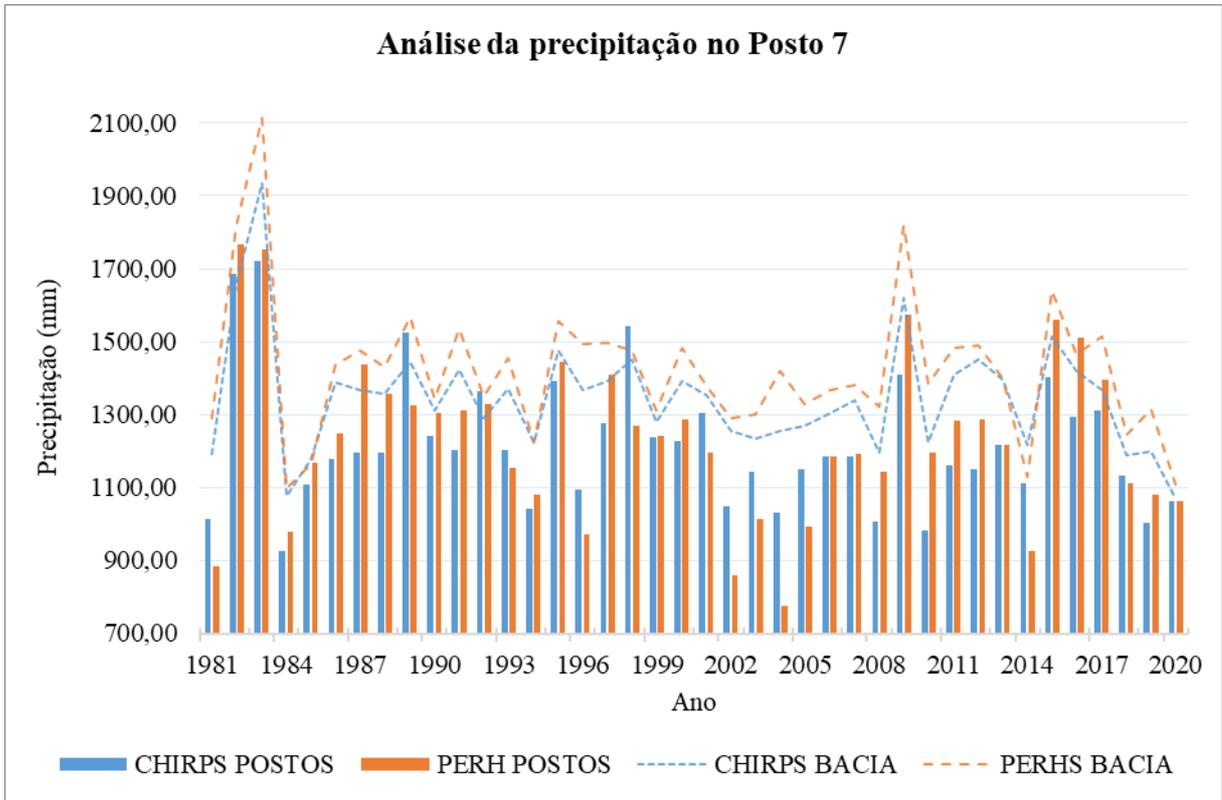
Localização do Posto 7



Fonte: Elaborado pela autora

No Gráfico 8 é possível observar que a partir do CHIRPS, 37 dos 40 anos, a média de precipitação anual do posto foi menor que a da bacia, enquanto a partir do PERH, 38 dos 40 anos apresentaram esse comportamento, em ambas as fontes de dados mais de 90% dos anos estudados mostram o mesmo comportamento, o que confirma a ideia inicial da média do posto ser menor que a média de precipitação da bacia.

Gráfico 8 — Análise de precipitação no posto 7



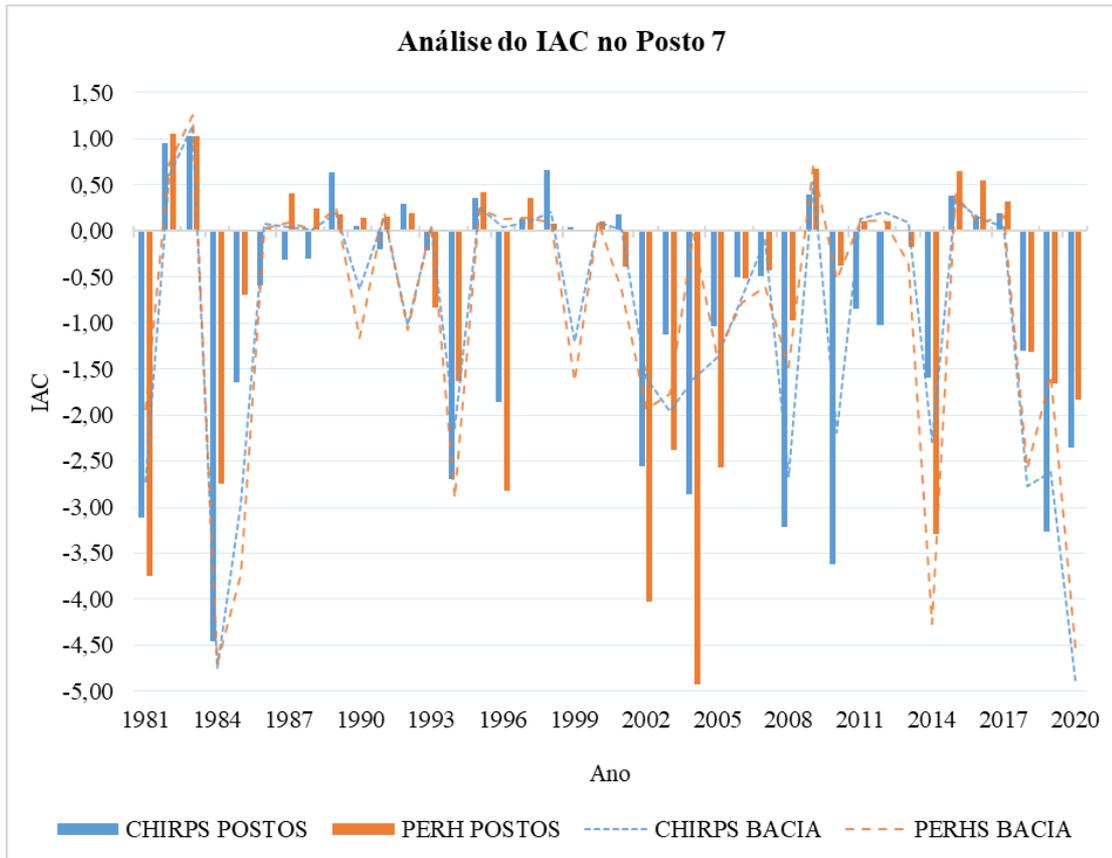
Fonte: Elaborado pela autora

A partir dos Gráficos 9 e 10 é possível observar que em ambas as fontes não houve anos de umidade moderada, alta e extremamente alta. Porém houve pequenas diferenças na distribuição de anos entre as classificações.

Nos dados do CHIRPS tiveram 16 anos de umidade baixa, 15 anos de seca suave, 4 anos de seca moderada, 4 anos de seca alta e 1 anos de seca extremamente alta. Enquanto a partir do PEHR as quantidades foram na mesma ordem anterior: 20, 12, 4, 2 e 2. Assim, foi possível notar que houve uma concordância entre os dados.

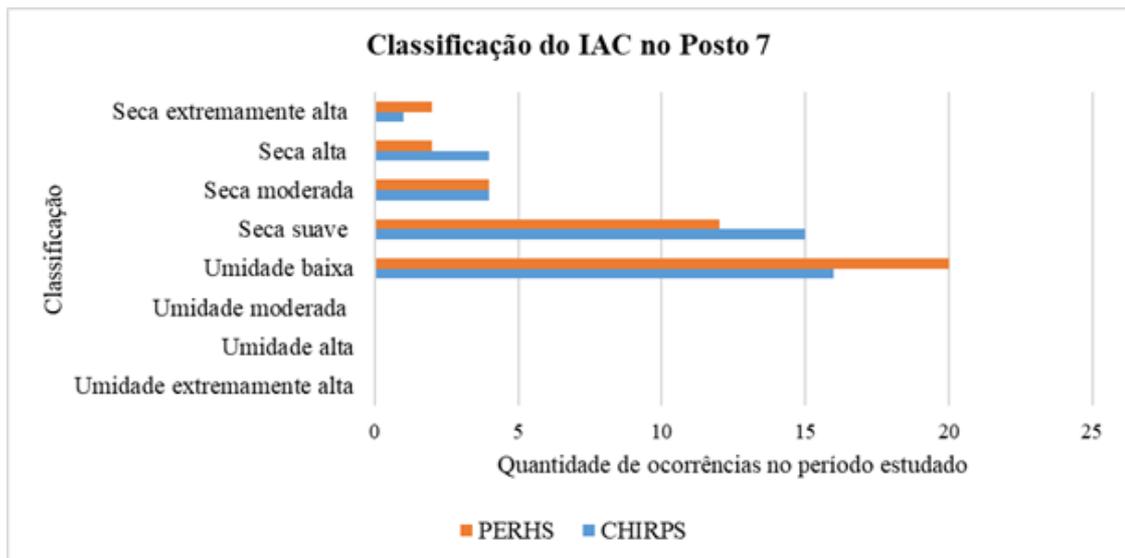
Por fim, comparando com os dados da bacia, o posto teve em média, para o CHIRPS, uma quantidade menor de anos com umidade baixa, maior de seca suave, menor de seca moderada, maior de seca alta e menor de seca extremamente alta. Já no PERH, uma quantidade maior de anos com umidade baixa, menor de seca suave, menor de seca moderada, maior de seca alta e menor de seca extremamente alta.

Gráfico 9 — Análise do IAC no posto 7



Fonte: Elaborado pela autora

Gráfico 10 — Classificação do IAC no posto 7

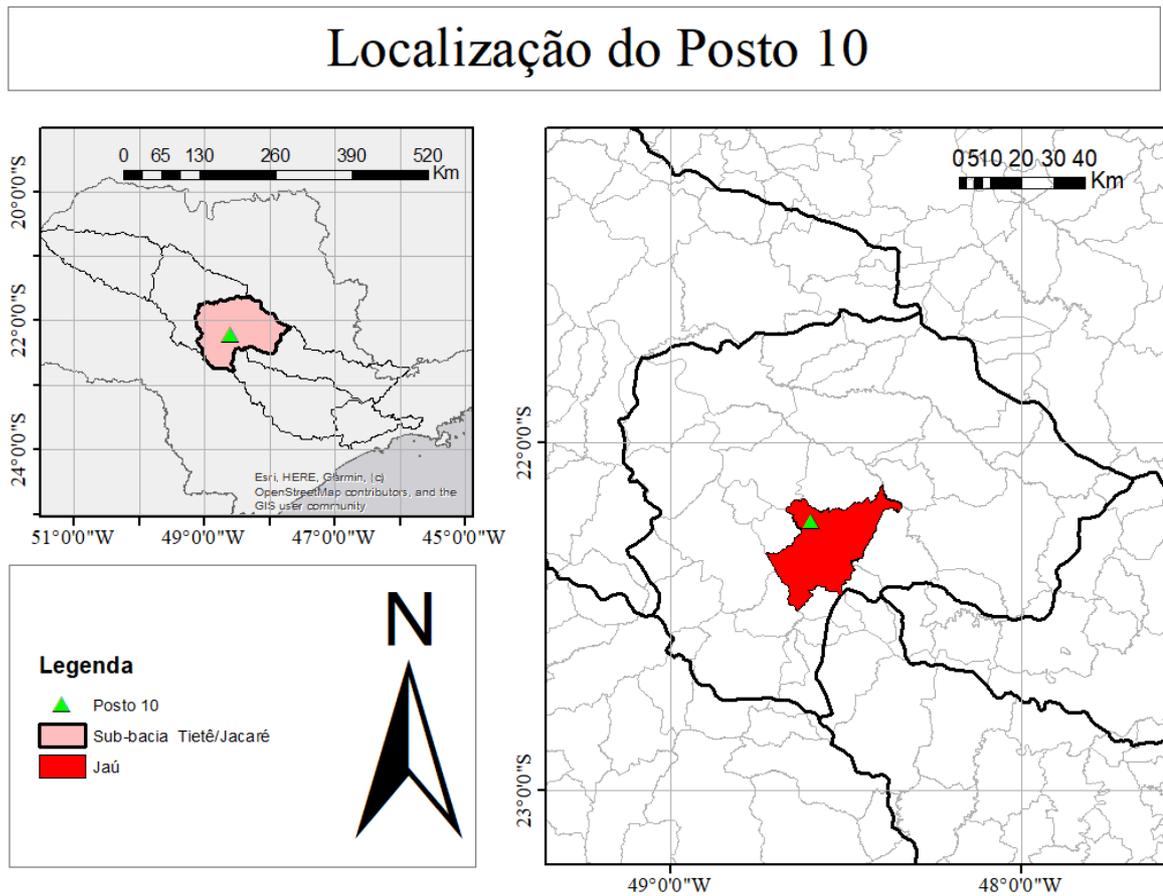


Fonte: Elaborado pela autora

5.3.2 Posto 10

O posto 10 fica localizado na cidade chamada Jaú, dentro do estado de São Paulo como mostra a Figura 10, ela fica na UGRHI 19 do Tietê/Jacaré.

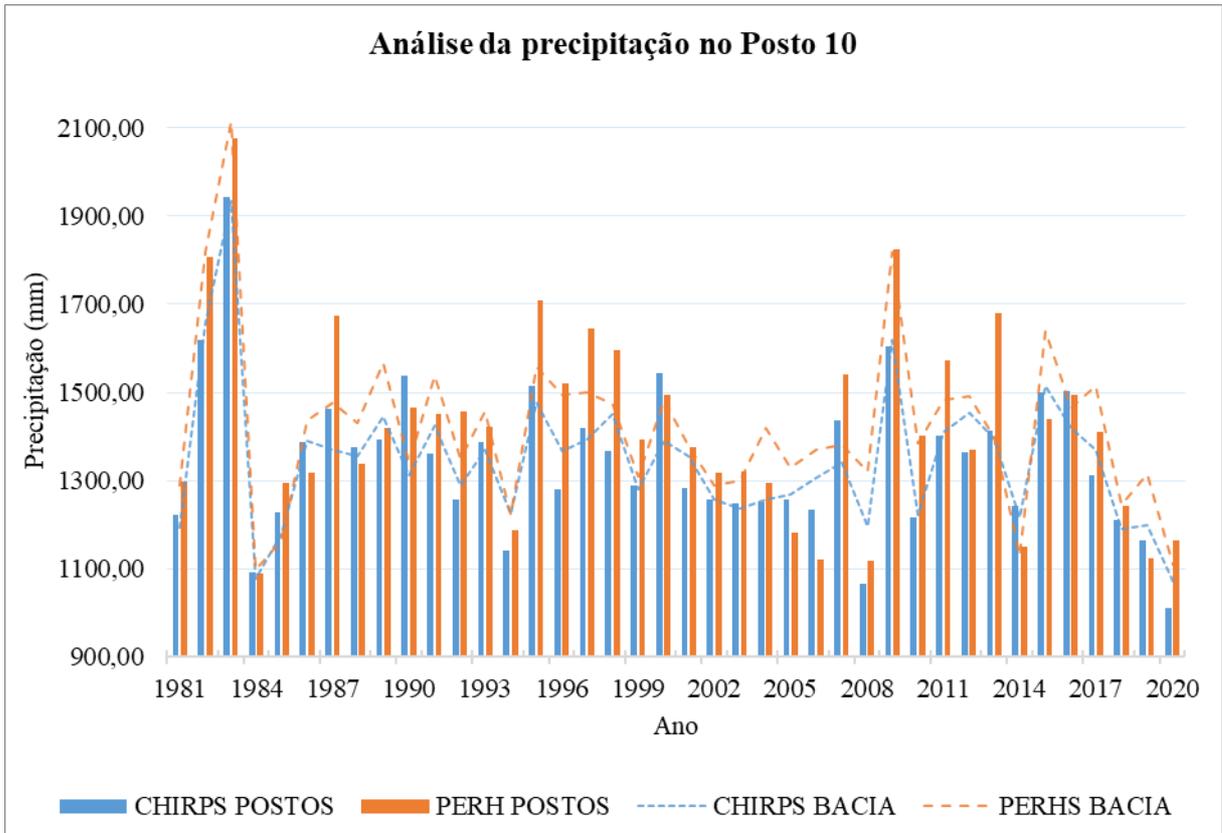
Figura 10 — Localização do Posto 10



Fonte: Elaborado pela autora

No Gráfico 11 é possível observar que a partir do CHIRPS, em 21 dos 40 anos, a média de precipitação anual do posto foi maior que a da bacia, enquanto a partir do PERH, 19 dos 40 anos apresentaram esse comportamento, em ambas as fontes cerca de 50% dos anos estudados mostram o mesmo comportamento, o que confirma a ideia inicial da média do posto ser a média de precipitação da bacia.

Gráfico 11 — Análise de precipitação no posto 10



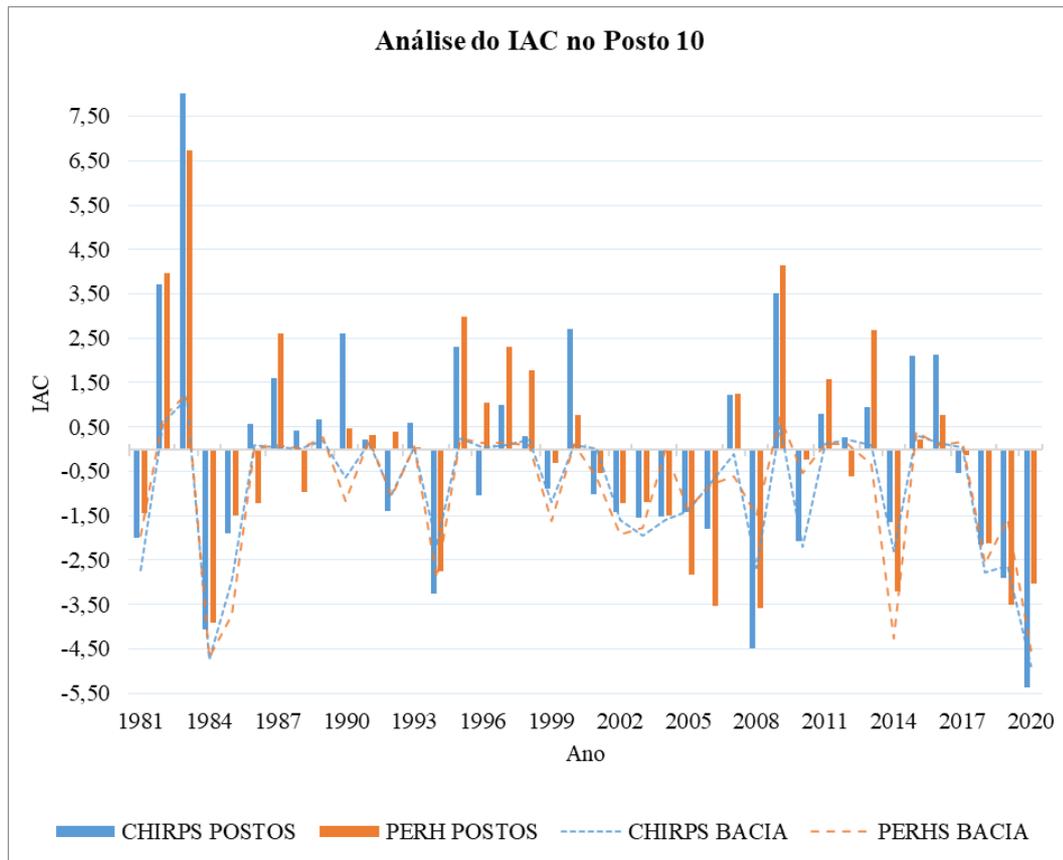
Fonte: Elaborado pela autora

A partir dos Gráficos 11 e 12, nos dados do CHIRPS tiveram 3 anos de seca extremamente alta, 1 ano de seca alta, 3 anos de seca moderada, 12 anos de seca suave, 12 anos de umidade baixa, 5 anos de umidade moderada, 2 anos de umidade alta e 1 ano de umidade extremamente alta. Enquanto a partir do PEHR as quantidades foram na mesma ordem anterior: 0, 6, 3, 13, 11, 4, 1, 2.

Por fim, comparando com os dados da bacia, o posto teve em média, para o CHIRPS, uma quantidade maior de anos com seca extremamente alta, maior de seca alta, menor de seca moderada, maior de seca suave, menor de umidade baixa, maior de umidade moderada, maior de umidade alta, maior de umidade extremamente alta. Visto que para a bacia não foram obtidos anos de umidade extremamente alta, umidade alta, umidade moderada e seca alta.

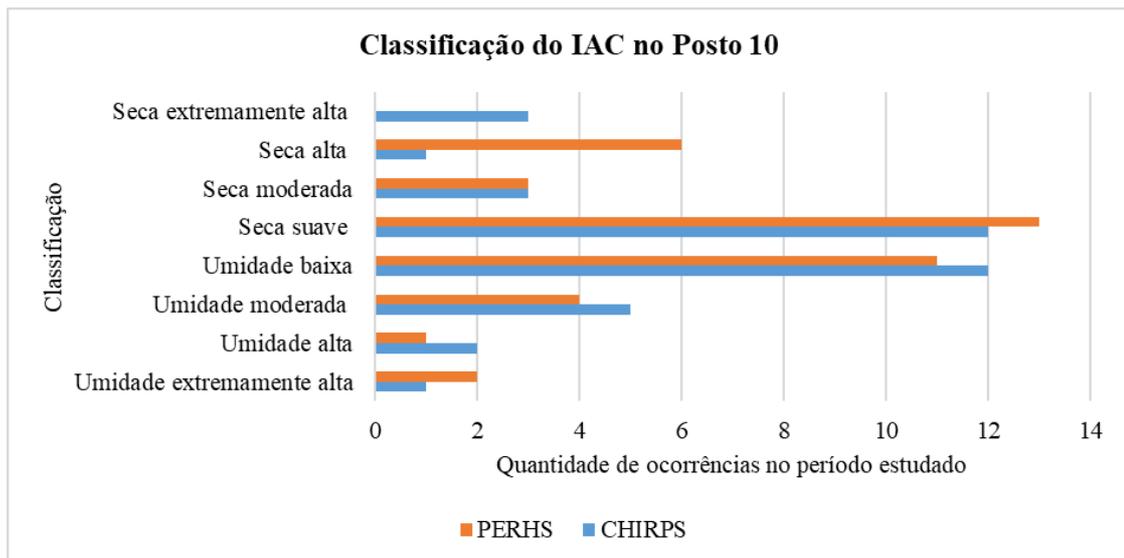
Já no PERH, uma quantidade igual de anos com seca extremamente alta, maior de seca alta, maior de seca moderada, menor de seca suave, menor de umidade baixa, maior de umidade moderada, maior de umidade alta, maior de umidade extremamente alta. Visto que para a bacia não foram obtidos anos de umidade extremamente alta, umidade alta e umidade moderada, já no posto não foram obtidos anos de seca extremamente alta.

Gráfico 12 — Análise do IAC no posto 10



Fonte: Elaborado pela autora

Gráfico 13 — Classificação do IAC no Posto 10

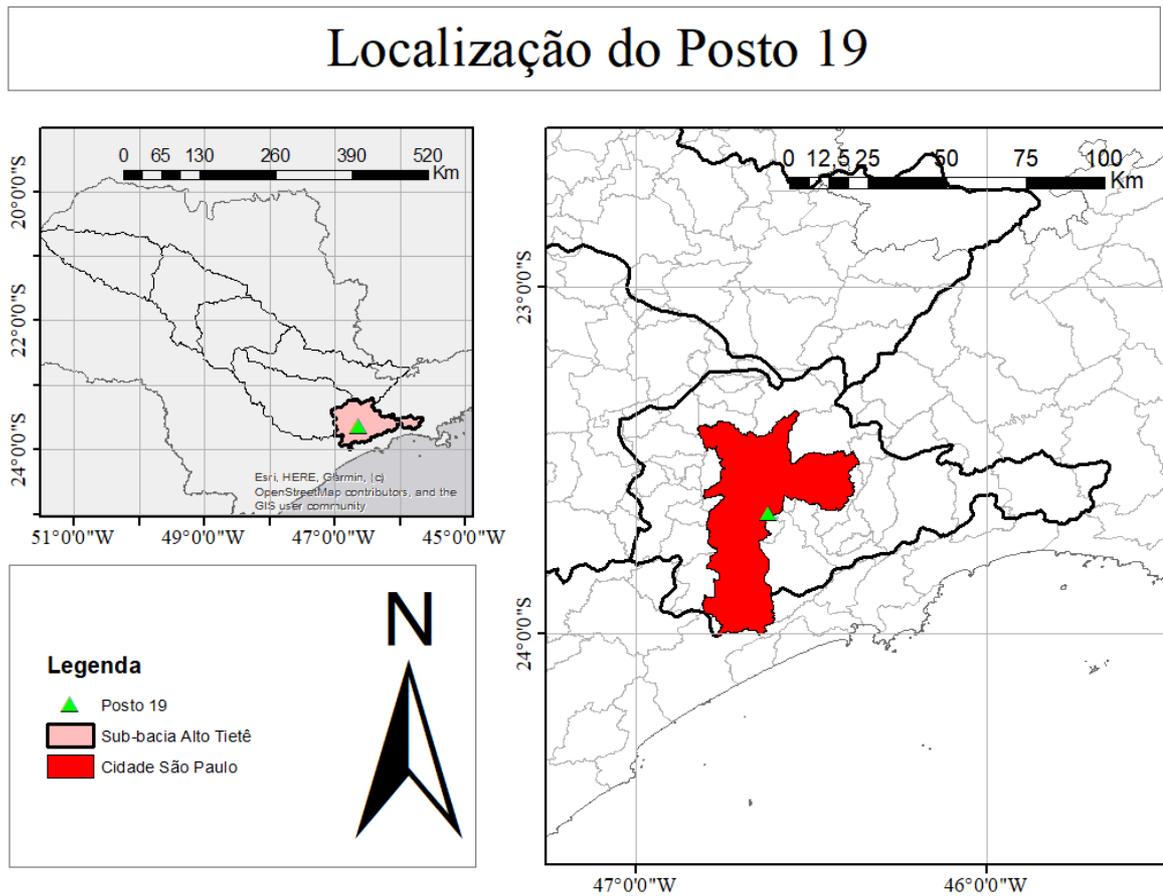


Fonte: Elaborado pela autora

5.3.3 Posto 19

O posto 19 fica localizado na cidade chamada São Paulo, capital do estado de São Paulo como mostra a Figura 11, ela fica na sub-bacia do Alto Tietê.

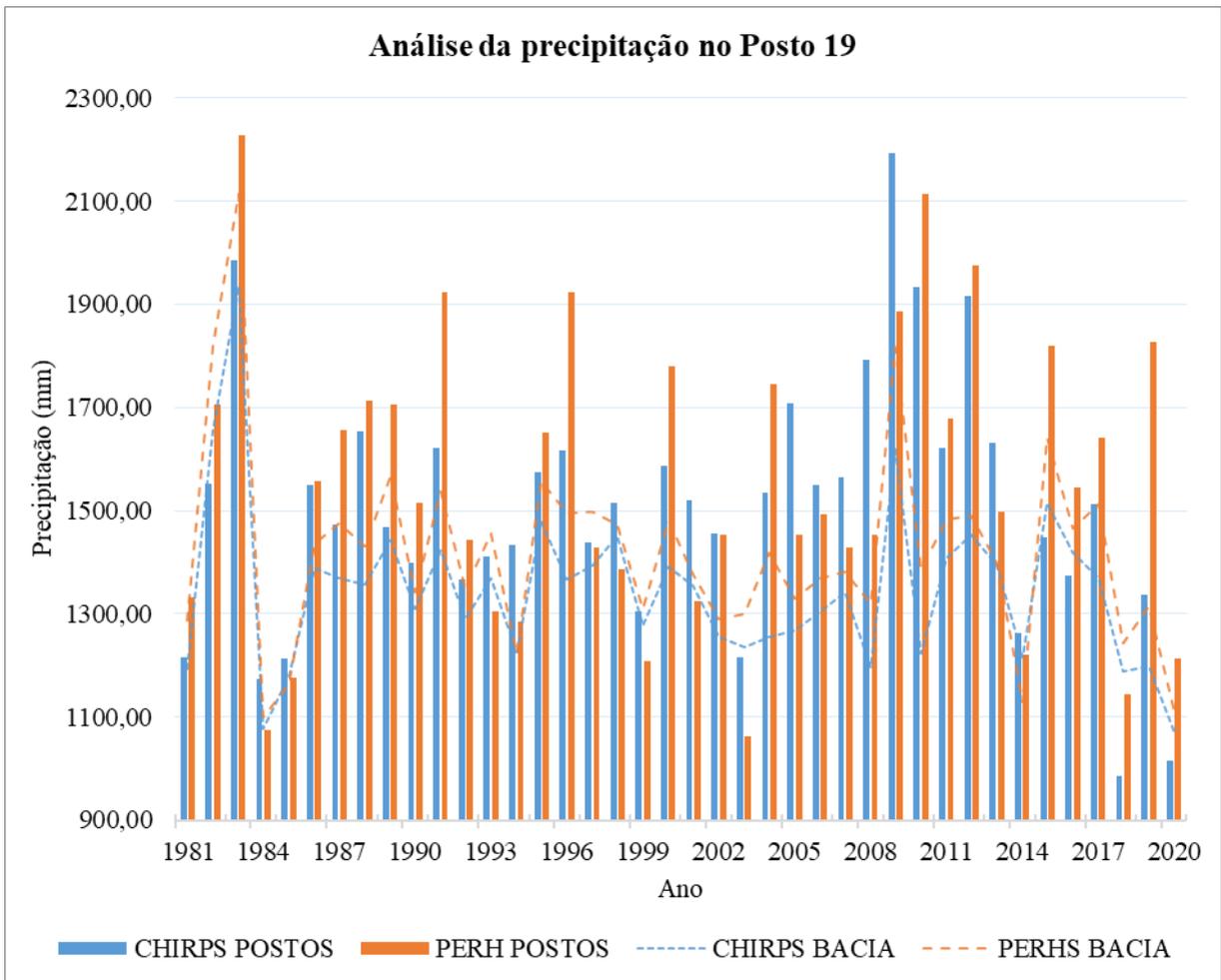
Figura 11 — Localização do Posto 19



Fonte: O autor (2022)

No Gráfico 14 é possível observar que a partir do CHIRPS, em 34 dos 40 anos, a média de precipitação anual do posto foi maior que a da bacia, enquanto a partir do PERH, 31 dos 40 anos apresentaram esse comportamento, em ambas as fontes mais de 75% dos anos estudados mostram o mesmo comportamento, o que confirma a ideia inicial da média do posto ser a média de precipitação da bacia.

Gráfico 14 — Análise de precipitação no posto 19



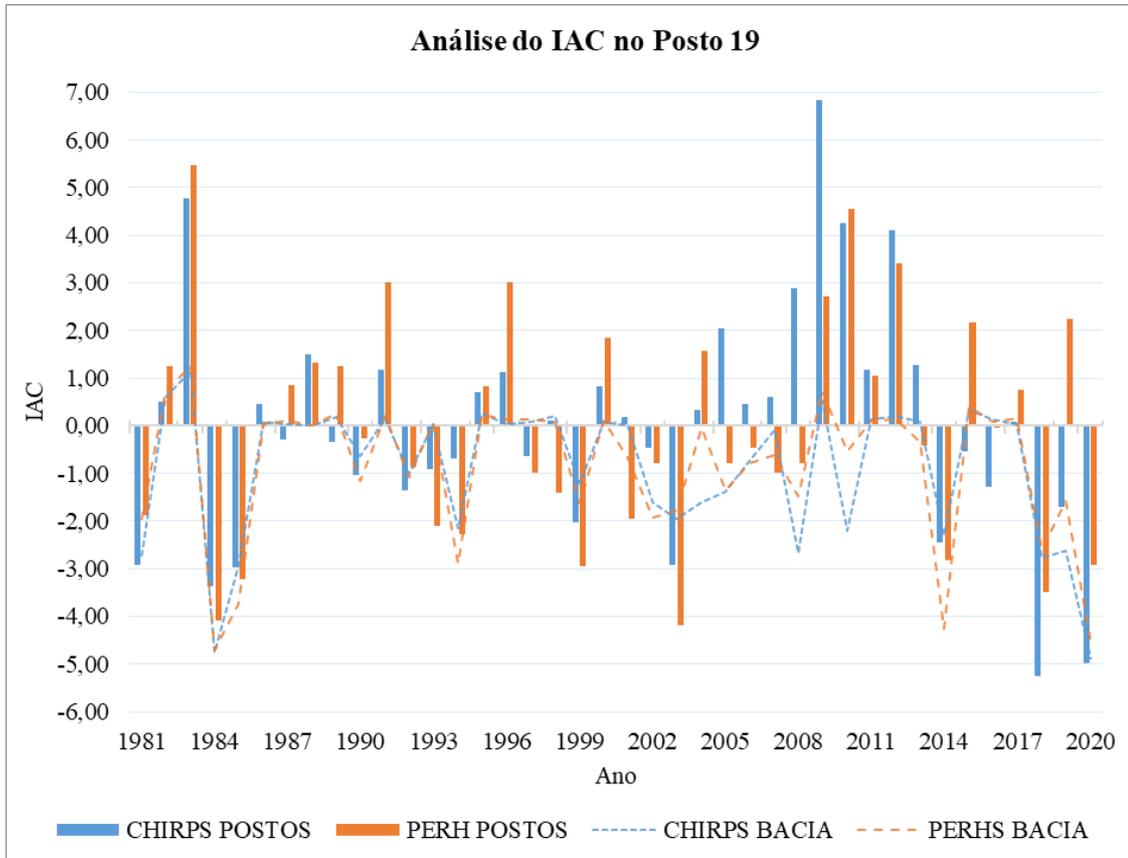
Fonte: Elaborado pela autora

Observando os Gráficos 15 e 16, nos dados do CHIRPS houve 2 anos de seca extremamente alta, 1 ano de seca alta, 5 anos de seca moderada, 11 anos de seca suave, 15 anos de umidade baixa, 2 anos de umidade moderada, não teve anos de umidade alta e 4 anos de umidade extremamente alta. Enquanto a partir do PEHR as quantidades foram na mesma ordem anterior: 2, 2, 5, 13, 10, 3, 3 e 2.

Por fim, comparando com os dados da bacia, o posto teve em média, para o CHIRPS, uma quantidade igual de anos com seca extremamente alta, maior de seca alta, menor de seca moderada, maior de seca suave, menor de umidade baixa, maior de umidade moderada, maior de umidade alta, maior de umidade extremamente alta. Visto que para a bacia não foram obtidos anos de umidade extremamente alta, umidade alta, umidade moderada e seca alta.

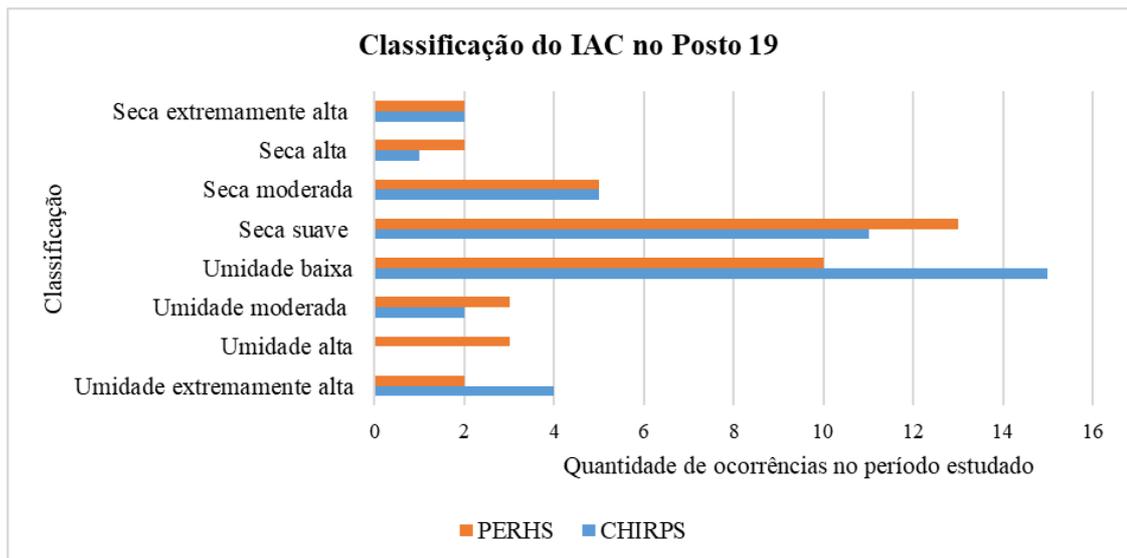
Já no PERH, uma quantidade menor de anos com seca extremamente alta, maior de seca alta, maior de seca moderada, menor de seca suave, menor de umidade baixa, maior de umidade moderada, maior de umidade alta, maior de umidade extremamente alta. Visto que para a bacia não foram obtidos anos de umidade extremamente alta, umidade alta e umidade moderada, já no posto não foram obtidos anos de seca extremamente alta.

Gráfico 15 — Análise do IAC do posto 19



Fonte: Elaborado pela autora

Gráfico 16 — Classificação do IAC no Posto 19



Fonte: Elaborado pela autora

5.4 EFEITOS DOS EVENTOS EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL

A partir dos Gráficos 1, que indica os anos em que os eventos estiveram presentes e 3, que indica a anomalia em cada ano, foi possível observar algumas anomalias em comum e divergentes.

Os anos de 1982-1983, 2009-2010, 2015-2016 tiveram os maiores IACs do período estudado em ambas as fontes e sofreram o efeito esperado do fenômeno El Niño, entretanto para os eventos de 1986-1987, 1987-1988, 1991-1992, 1992-1993, 1997-1998, 2002-2003 e 2006-2007, não foram observadas impactos em escala anual.

Já os anos de 1988-1989, 1998-1999, 1999-2000, 2007-2008, 2010-2011 e 2017-2018 não se destacaram entre os maiores IACs, não confirmando impactos dos eventos La Niña na região nesses anos.

6 CONCLUSÃO

Este estudo, de modo geral, buscou analisar a pluviometria entre os anos de 1981 e 2020 na Bacia Hidrográfica do Tietê, utilizando dados de sensoriamento remoto e de postos pluviométricos, por meio das análises realizados um conjunto de conclusões foram alcançadas, as quais são apresentadas a seguir.

Em relação à análise comparativa entre os produtos na escala anual, as precipitações no sensoriamento remoto alcançaram valores mais extremos quando comparados aos postos pluviométricos, é interessante notar que os postos pluviométricos, diferentemente do sensoriamento remoto, possuem falhas em dias, meses e anos, tornando necessário o preenchimento dessas falhas com artifícios de cálculo que não são tão precisos quando um funcionamento contínuo.

Sobre a precipitação, quando os valores das médias anuais obtidas são maiores que no CHIRPS, eles são 5,7% maiores que os valores obtidos no CHIRPS, quando a situação se inverte, os valores dos postos são 3% menores que os valores do CHIRPS. Já na espacialização dessa precipitação, ambas as fontes indicaram a sub-bacia do Alto Tietê como a mais chuvosa, enquanto as sub-bacias do Baixo Tietê e Tietê Batalha foram consideradas as mais secas. é importante salientar que na distribuição espacial da precipitação ao longo dos 40 anos, o CHIRPS obteve valores mais extremos nos mínimos e máximos, o que é possível observar na Figura 8.

Os 4 anos mais secos coincidiram entre as fontes, sendo eles em ordem decrescente 1983, 1982, 2009 e 1025, já os 4 anos mais úmidos se diferenciaram um pouco, enquanto para o CHIRPS foi em ordem decrescente 2020, 1984, 1985 e 2018, para o PERH foram 1984, 2020, 2014 e 1985, com a mudança de 1 ano entre as fontes e a ordem de relevância alterada, com valores ainda próximos.

Com base no que foi apresentado, foi possível encontrar dados compatíveis entre CHIRPS e postos, começando pelos gráficos de dispersão, o gráfico que engloba todas as anomalias, apresentou um valor de R^2 maior que 0,8 e os gráficos com as divisões apresentaram valores abaixo de 0,8, com o gráfico de anomalias positivas se aproximando mais de 0,8, a análise deve ser feita com os valores em sua totalidade.

Quando a presença dos fenômenos ENOS na RH do Tietê é observada, apenas os períodos de 1982-1983 e 2009-2010 apresentaram os valores mais altos de precipitação, em ambas as fontes, o primeiro período com um fenômeno El Niño considerado forte e o segundo período com o evento considerado médio. Sendo assim, grande parte das ocorrências não provocou um aumento ou diminuição fora da média da precipitação nas duas fontes, sendo esse um resultado inconclusivo, uma vez que a precipitação na bacia estudada pode sofrer efeito de outros eventos além dos dois que foram estudados no presente estudo.

Ao analisar individualmente os Postos 7, 10 e 19, foi possível observar que o

comportamento da sua média para os 40 anos se repetiu na maioria das médias anuais em ambas as fontes e nos IACs anuais também, como foi discutido.

Por fim, foi possível identificar a região do Alto Tietê como a mais chuvosa e a do Baixo Tietê como a mais seca, além dos anos secos e úmidos já identificados, com as proximidades dos resultados alcançados entre os postos e CHIRPS, os dados de sensoriamento são viáveis para a análise anual, visto que entre eles não houve grandes distorções.

Como forma de sugestão para trabalhos futuros, deixo a análise de outro período de tempo (mensal ou sazonal) dos efeitos dos eventos ENOS na bacia estudada, análise da diferença entre os dados sensoriamento remoto e postos pluviométricos e, por fim, o estudo da coexistência de fenômenos atuantes na precipitação da bacia.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, Michael A.. The Atmospheric Bridge: The Influence of ENSO Teleconnections on Air-Sea Interaction over the Global Oceans. **Journal of Climate**. 2205–2231 p, ago, ano 2002, 15 ago. 2002. Disponível em: :
<https://www.researchgate.net/publication/241092472>. Acesso em: 20 abr. 2022.
- ALMEIDA, Lizane ; SERRA, Juan Carlos Valdés . Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. **FAE**, v.20, n.1, Curitiba, p. 129 - 136, jun./jun 2007. Disponível em:
<https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/viewFile/113/435>. Acesso em: 25 jun. 2022.
- ANJINHO, Phelipe da Silva *et al.* ANÁLISE DA ACURÁCIA DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO OBTIDO PELO PRODUTO CHIRPS. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, n. XXIV . 2021. Disponível em:
<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13574>. Acesso em: 19 abr. 2022.
- ARAÚJO, Lincoln Eloi de; NETO, João Miguel de Moraes; SOUSA, Francisco de Assis Salviano de . Classificação da precipitação anual e da quadra chuvosa da bacia do rio Paraíba utilizando índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**,. Taubaté, p. 93-110, 2009. Vol. 4. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92812346007>. Acesso em: 7 fev. 2022.
- BARRET, E.C; MARTIN, D.W. **The Use of Satellite Data in Rainfall Monitoring**. Academic Press. London., 1981.
- BRASIL. Lei n. 9433, de 07 de janeiro de 1997. **Diário Oficial da União**, ano 1997.
- CALVETI, L; BENETI, C; FILHO, A. J. P. **Integração do Radar Meteorológico Doppler do SIMEPAR e uma Rede de Pluviômetros para a Estimativa de Precipitação**. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte, 2003, p. 1137-1144.
- CATÁLOGO DE METADADOS SNIRH. Disponível em:
<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork>. Acesso em: 1 abr. 2022.
- COLLISCHONN, Bruno *et al.* Estimativas de precipitação por sensoriamento remoto passivo: desempenho do satélite TRMM na bacia do alto Paraguai até Descalvados. *In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL*, n. 1. 2006, Campo Grande, 2006. Disponível em:
<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17276/000562079.pdf?sequence=1>. Acesso em: 20 abr. 2022.
- FREITAS, Marcos Airton de Sousa . Gestão e modelagem hídrica em bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 7. Brasília, p. 8344 - 8351, ano 2019, 1 jul. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n7-053>. Acesso em: 24 jun. 2022.
- FUNK, Chris *et al.* *In: "THE CLIMATE HAZARDS INFRARED PRECIPITATION WITH STATIONS—A NEW ENVIRONMENTAL RECORD FOR MONITORING EXTREMES"*, n. Scientific Data 2, 150066. 2015. Disponível em: doi:10.1038/sdata.2015.66. Acesso em: 5 abr. 2022.

GORELICK, Noel *et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, p. 18-27, ano 2017, 6 jul. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>. Acesso em: 12 mar. 2022.

GRIMM, Alice M. El Niño, novamente!. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, p. 351-357, dez 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620152000>. Acesso em: 20 abr. 2022.

GROSS, Joceli Augusto. Índice de anomalia de chuva do estado o Rio Grande do Sul. **Ambiência Guarapuava**, Paraná, v. 11, dez 2015. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/3300/pdf>. Acesso em: 29 mai. 2022.

HIEZ, G. Processamento dos dados pluviométricos do Nordeste: a homogeneização dos dados. Recife: SUDENE/ORSTOM, 1978. .

INPE. **CONDIÇÕES ATUAIS DO ENOS: LA NIÑA**. 2022. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 29 mai. 2022.

LEMONS, Filipe Carvalho *et al.* USO DO GOOGLE EARTH ENGINE PARA ANÁLISE DA ANOMALIA DA PRECIPITAÇÃO ANUAL DO BRASIL EM 2020 A PARTIR DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, n. XXIV. 2021. 2021. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13068>. Acesso em: 12 fev. 2022.

MARCUZZO, Francisco F. N.. Bacia Hidrográfica do Rio Tietê: Precipitação pluviométrica espacializada. **Geografia Meridionalis**, Pelotas, 18 set 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/344293092>. Acesso em: 16 abr. 2022.

MARTINS, Maria Eugénia Graça . Diagrama ou gráfico de dispersão. **Revista de Ciência Elementar**, v. 2, 30 set 2014. Disponível em: doi.org/10.24927/rce2014.214. Acesso em: 28 mai. 2022.

MARTINS, Maria Eugénia Graça. Coeficiente de determinação. **Revista de Ciência Elementar**, v. 6, mar 2018. Disponível em: doi.org/10.24927/rce2018.024. Acesso em: 28 mai. 2022.

MOL, Juliana Maria Duarte. **Estimativa de Precipitação por Meio de Sensoriamento Remoto**. Brasília, 2005 Dissertação (Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2005. Disponível em: <http://ptarh.unb.br/dissertacoes/estimativa-de-precipitacao-por-meio-de-sensoriamento-remoto/>. Acesso em: 25 jun. 2022.

OLIVEIRA, Kelly Christina Ramos de; PALIARI, José Carlos. ESTRATIFICAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA MÃO DE OBRA NA EXECUÇÃO DO REVESTIMENTO DE GESSO EM PASTA. *In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA CONTECC*. 2019, Palmas/TO, 2019.

PERH-SP - Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, Diagnóstico Síntese, 2020-2023. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/perh20202023>. Acesso em: 1 fev. 2022.

PERH-SP - Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, Sumário Executivo, 2020-2023. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/perh20202023>. Acesso em: 28 jun. 2022.

PERH-SP - Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, Termo de Referência, 2020-2023. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/perh20202023>. Acesso em: 1 mar. 2022.

ROOY, M.P. Van. A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space. **Notes**, v. 14, n. 43, 1965.

SOUZA, José Rui Castro de . **Hydrology Plus**: Sistema computacional para estudos meteorológicos e hidrológicos. Viçosa, 2017. 145 p Tese (Meteorologia) - Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/20392/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2022.

TUCCI, Carlos E. M.. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2 ed. PPorto Alegre: Universidade UFRGS, v. 4, 2001. 943 p.

APÊNDICE A — CÓDIGO DO GOOGLE EARTH ENGINE PARA OBTENÇÃO DAS MÉDIAS ANUAIS DA BACIA.

```

//Definição do intervalo de anos para análise
var years = ee.List.sequence(1981,2020,1);
print(years);
//Precipitação anual
var chuva_anual = function(ano){
var
                                p_anual
                                =
CHIRPS.filter(ee.Filter.calendarRange(ano,ano,'year')).sum().clip(BACIA_TIETE);
    return p_anual.set('system:time_start', ee.Date.fromYMD(ano,1,1).millis());};
var ic_chuva_anual = ee.ImageCollection(years.map(chuva_anual));
print(ic_chuva_anual);
//Precipitação média do período estudado
var chuva_media = ic_chuva_anual.mean();
//Configuração do mapa
//CORES
var palette = [
    '000096','0064ff', '00b4ff', '33db80', '9beb4a',
    'ffeb00', 'ffb300', 'ff6400', 'eb1e00', 'af0000'
].reverse();
var precipitationVis = {min: 1000, max: 1950, palette: palette};
//CENTRO
Map.centerObject(BACIA_TIETE, 7);
//CAMADAS
Map.addLayer(chuva_media, precipitationVis, 'chuvas media anual');
// Configuração dos gráficos
var chart =
    ui.Chart.image.series({
        imageCollection: ic_chuva_anual,
        region: BACIA_TIETE,
        reducer: ee.Reducer.mean(),
        scale: 3000,
        xProperty: 'system:time_start'
    })
    .setSeriesNames(['Precipitação'])
    .setChartType('ColumnChart')
    .setOptions({

```

```
    title: 'Precipitação média anual',
    hAxis: {title: 'Date', titleTextStyle: {italic: false, bold: true}},
    vAxis: {
      title: 'Precipitação (mm)',
      titleTextStyle: {italic: false, bold: true}
    },
    lineWidth: 2,
    colors: ['1d6b99'],
    curveType: 'function'
  });
print(chart);
//EXPORTAR IMAGEM
Export.image.toDrive({
  image:chuva_media,
  description:"chuva_media_gee",
  folder:"TCC",
  region: GEOMETRIA,
  scale:1000,
  maxPixels:10000000000
});
```

APÊNDICE B — CÓDIGO DO GOOGLE EARTH ENGINE PARA OBTENÇÃO DAS DIFERENÇAS MÉDIAS ANUAIS ENTRE FONTES DE DADOS.

```

//Definição do intervalo de anos para análise
var years = ee.List.sequence(1981,2020,1);
print(years);
//Precipitação anual GEE
var chuva_anual = function(ano){
    var p_anual =
    CHIRPS.filter(ee.Filter.calendarRange(ano,ano,'year')).sum().clip(BACIA_TIETE);
    return p_anual.set('system:time_start', ee.Date.fromYMD(ano,1,1).millis());
};
var ic_chuva_anual = ee.ImageCollection(years.map(chuva_anual));
print(ic_chuva_anual);
//Precipitação média do período estudado GEE
var chuva_media = ic_chuva_anual.mean();
//Diferença entre precipitações PERHS-GEE
var diferenca_media = PERHS.subtract(chuva_media);
//Configuração cores do mapa
var palette = [
    '000096','0064ff', '00b4ff', '33db80', '9beb4a',
    'ffeb00', 'ffb300', 'ff6400', 'eb1e00', 'af0000'
].reverse();
var precipitationVis = {min: -500, max: 400, palette: palette};
//Centralizando mapa
Map.centerObject(BACIA_TIETE, 7);
//Configuração das camadas
Map.addLayer(diferenca_media, precipitationVis, 'diferença média');
//-----Map.addLayer(PERHS, precipitationVis, 'PERHS');
//-----Map.addLayer(chuva_media, precipitationVis, 'GEE');
//EXPORTAR IMAGEM
Export.image.toDrive({
    image:diferenca_media,
    description:"diverenga_precipitacao_media",
    folder:"TCC",
    region: GEOMETRIA,
    scale:1000,
    maxPixels:10000000000

```

});

APÊNDICE C — RELAÇÃO ENTRE POSTOS, CIDADES, LOCALIZAÇÕES E MÉDIAS DE PRECIPITAÇÃO.

ID	Nome	Longitude	Latitude	Precipitação (mm)
1	Castilho	51°29'47"	20°52'16"	1249,61
2	Palmeira D'Oeste	50°45'49"	20°24'41"	1463,85
3	Aracatuba	50°27'58"	21°03'40"	1301,38
4	Guararapes	50°42'39"	21°04'15"	1309,60
5	Monte Aprazível	49°42'04"	20°46'05"	1307,48
6	Barbosa	49°56'32"	21°16'03"	1301,94
7	Promissão	49°52'00"	21°33'14"	1232,23
8	Pindorama	48°53'52"	21°13'08"	1534,93
9	Ibitinga	48°46'48"	21°47'07"	1437,22
10	Jau	48°35'56"	22°13'29"	1419,63
11	Paulistânia	49°24'00"	22°35'00"	1277,47
12	São Carlos	47°46'06"	21°44'53"	1427,12
13	Itapetininga	48°02'36"	23°34'46"	1354,73
14	Charqueada	47°41'47"	22°35'01"	1318,14
15	Porto Feliz	47°31'18"	23°12'16"	1272,40
16	Araras	47°22'34"	22°15'17"	1485,31
17	Ibiúna	47°07'00"	23°43'00"	1414,72
18	Jundiáí	46°58'47"	23°12'07"	1496,49
19	São Paulo	46°37'21"	23°39'04"	1549,27
20	Socorro	46°30'56"	22°35'51"	1535,82
21	Igaratá	46°09'20"	23°12'27"	1448,35
22	Santo Antonio do Pinhal	45°42'00"	22°46'00"	1944,88
23	Monteiro Lobato	45°50'00"	22°56'00"	1762,09
24	Paraibuna	45°41'00"	23°22'00"	1297,24
25	Mirandópolis	51°06'07"	21°00'49"	1296,59
26	Queiros	50°14'00"	21°48'00"	1478,64
27	Marília	49°56'04"	22°12'45"	1517,80
28	Borborema	49°02'00"	21°42'00"	1279,41
29	Botucatu	48°26'15"	22°49'34"	1525,23
30	Piedade	47°29'00"	23°45'00"	1455,52
31	Jaguariuna	46°58'55"	22°42'03"	1430,18
32	Bragança Paulista	46°39'18"	22°57'43"	1385,79

**APÊNDICE D — ANOS E IACS CORRESPONDENTES DE DIFERENTES FONTES
PARA A BACIA DO TIETÊ.**

ANO	IAC	
	CHIRPS	PERHS
1981	-2,72	-1,94
1982	0,60	0,72
1983	1,15	1,25
1984	-4,75	-4,70
1985	-2,96	-3,74
1986	0,08	0,03
1987	0,04	0,10
1988	0,02	0,02
1989	0,19	0,26
1990	-0,63	-1,16
1991	0,15	0,21
1992	-1,02	-1,07
1993	0,04	0,06
1994	-2,14	-2,90
1995	0,25	0,24
1996	0,04	0,13
1997	0,09	0,14
1998	0,21	0,09
1999	-1,20	-1,63
2000	0,09	0,11
2001	0,01	-0,65
2002	-1,60	-1,93
2003	-1,96	-1,78
2004	-1,61	-0,04
2005	-1,38	-1,35
2006	-0,74	-0,78
2007	-0,10	-0,61
2008	-2,67	-1,48
2009	0,53	0,72
2010	-2,19	-0,53
2011	0,12	0,11
2012	0,21	0,12
2013	0,09	-0,35
2014	-2,29	-4,26
2015	0,33	0,39
2016	0,14	0,08
2017	0,04	0,16
2018	-2,77	-2,59
2019	-2,62	-1,57
2020	-4,88	-4,54