

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE FILOSOFIA LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

Adriano de Souza Antunes

**El Niño Oscilação Sul: consequências do fenômeno na  
dinâmica hidroclimática da bacia hidrográfica do rio  
Piracicaba-SP**

VERSÃO CORRIGIDA

São Paulo

2023

Adriano de Souza Antunes

**El Niño Oscilação Sul: consequências do fenômeno na  
dinâmica hidroclimática da bacia hidrográfica do rio  
Piracicaba-SP**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Geografia Física da Faculdade de Filosofia,  
Letras e Ciências Humanas da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências  
(Geografia Física)

Orientador: Prof. Dr. Emerson Galvani

VERSÃO CORRIGIDA

São Paulo

2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação  
Serviço de Biblioteca e Documentação  
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

A627e Antunes, Adriano de Souza  
El Niño Oscilação Sul: consequências do fenômeno na dinâmica hidroclimática da bacia hidrográfica do rio Piracicaba-SP / Adriano de Souza Antunes; orientador Emerson Galvani - São Paulo, 2023. 164 f.

Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física.

1. ENOS. 2. precipitação pluvial. 3. vazão fluvial. 4. bacia hidrográfica . 5. rio Piracicaba. I. Galvani, Emerson, orient. II. Título.

## Folha de aprovação

Adriano de Souza Antunes

### **El Niño Oscilação Sul: consequências do fenômeno na dinâmica hidroclimática da bacia hidrográfica do rio Piracicaba-SP**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências (Geografia Física)

Aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Banca examinadora

Prof. Dr. Emerson Galvani (Orientador)  
Instituição: Universidade de São Paulo - USP

Assinatura: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

Prof. Dra. Maria Elisa Siqueira Silva

Instituição: Universidade de São Paulo - USP

Assinatura: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

Prof. Dra. Nadia Gilma Beserra Lima.

Instituição: Instituto de Pesquisas Ambientais - IPA

Assinatura: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Edson Cabral.

Instituição: Pontifícia Universidade Católica - PUC - SP.

Assinatura: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_



## *Agradecimentos*

Estar cercado por pessoas que nos fazem seres melhores a cada dia realmente é uma dádiva divina. Cada uma, de maneira direta ou indireta esteve nesses escritos. Fosse nos finais de semana de sol, fechado em casa, nas madrugadas silenciosas ou simplesmente em dias rotineiros de estudo e aprendizado.

Algumas participaram de maneira direta na composição desse trabalho. Meu grande amigo Jubileu, grande na altura e no coração. Muito obrigado pela sempre ajuda na cartografia. Ao Márcio Greick, pela paciência em sempre responder minhas dúvidas. Ao Roberto e Silveira pelo apoio rotineiro.

Finalmente ao professor Emerson, que com certeza é uma referência a todos nós que seguimos no caminho acadêmico. Agradeço imensamente pela compreensão e tão preciosa parceria.

De maneira indireta, a Sheila por todo companheirismo, amor e compreensão na ausência para a execução desse trabalho.

Meu pai, meu grande herói que em cada esquina que vai cita de maneira orgulhosa, que seu filho que estuda na USP.

Minha mãe, exemplo de força, sensatez e amor. A doce guerreira que enfrenta cada desafio de maneira leve.

Minha irmã, incansável, grandiosa, fonte de inspiração.

E finalmente a força divina, que está em cada canto e momento de minha vida.

Muito obrigado pela vida imensamente abençoada.

## ***Resumo***

ANTUNES, A. S.; **El Niño Oscilação Sul: consequências do fenômeno na dinâmica hidroclimática da bacia hidrográfica do rio Piracicaba-SP**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

A tese apresenta um estudo acerca da dinâmica hidroclimática na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba-SP, buscando possíveis interações entre os elementos físicos que compõem o meio. Para isso foram analisados dados de vazão fluvial, precipitação pluvial e o Índice de Oscilação Sul (IOS), no período de 1981 a 2017, com dados de 28 estações pluviométricas e 4 fluviométricas mantidos na região pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e pela Agência Nacional de Águas (ANA). Por meio da elaboração da autocorrelação e correlação cruzada buscou-se a relação entre vazão e a precipitação. Nesse contexto, a sazonalidade foi retirada trazendo a possibilidade da identificação da ação de outros fenômenos climáticos e a divisão da área de estudo dividida em 4 sub-bacias. Assim, foi possível verificar que a vazão é influenciada pela precipitação em até 11 meses após a origem do evento. Em seguida a relação entre o IOS, a precipitação e a vazão foi verificada. Segundo a correlação estabelecida, a precipitação é influenciada pelo IOS do mês anterior e a vazão por até 8 meses após sua origem. Posteriormente, por meio da metodologia dos anos padrão buscou-se identificar alguma relação entre os anos considerados chuvosos ou secos com a variação de ENOS. Nesse cenário, a relação entre os anos chuvosos e secos não se mostrou clara com os anos que os fenômenos ENOS esteve presente. Em seguida, foi utilizado o limiar de precipitação intensa de 94 mm já desenvolvido e calculado para a bacia hidrográfica para identificar uma possível relação entre os anos de El Niño e uma maior quantidade de eventos de precipitação intensa. Da mesma forma, a relação entre ENOS e os eventos de precipitação intensa não se fez clara. Em poucos momentos há o incremento de eventos intensos em anos com a presença do El Niño, assim como menor quantidade de ocorrências em anos de La Niña. Por fim, foram elaborados mapas de espacialização da precipitação dos anos de ENOS considerados fortes buscando uma possível dinâmica de precipitação com maiores ou menores totais em áreas específicas. Nesse cenário, a região nordeste da bacia hidrográfica recebe maior incremento de precipitação em anos de El Niño considerados intenso e a bacia hidrográfica tende a receber menores totais de precipitação em anos de La Niña. Em suma os modelos se apresentaram satisfatórios para elucidar a influência de ENOS na vazão e precipitação do local de estudo.

**Palavras-chave:** ENOS, precipitação pluvial, vazão fluvial, bacia hidrográfica, rio Piracicaba.

## ***Abstract***

ANTUNES, A.S.; El Niño Southern Oscillation: consequences of the phenomenon on the hydroclimatic dynamics of the Piracicaba river basin-SP. Thesis (Doctorate degree) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

The thesis presents a study about the hydroclimatic dynamics in the watershed of the Piracicaba River-SP, looking for possible interactions between the physical elements that make up the environment. For this, data on river flow, rainfall and the Southern Oscillation Index (IOS) were analyzed from 1981 to 2017, with data from 28 rainfall and 4 fluviometric stations maintained in the region by the Department of Water and Electric Energy (DAEE) and by the National Water Agency (ANA). Through the development of autocorrelation and cross-correlation, the relationship between flow and precipitation was sought. In this context, seasonality was removed, bringing the possibility of identifying the action of other climatic phenomena and the division of the study area into 4 sub-basins. Thus, it was possible to verify that the flow is influenced by precipitation in up to 11 months after the origin of the event. Then the relationship between IOS, precipitation and flow was verified. According to the established correlation, precipitation is influenced by the IOS of the previous month and the flow for up to 8 months after its origin. Subsequently, using the methodology of standard years, an attempt was made to identify any relationship between the years considered rainy or dry with the variation in ENOS. In this scenario, the relationship between rainy and dry years was not clear with the years that the ENSO phenomenon was present. Then, the 94 mm heavy precipitation threshold already developed and calculated for the watershed was used to identify a possible relationship between El Niño years and a greater number of heavy precipitation events. Likewise, the relationship between ENSO and heavy precipitation events is unclear. In a few moments there is an increase in intense events in years with the presence of El Niño, as well as a smaller number of events in La Niña years. Finally, maps of precipitation spatialization of years of ENSO considered strong were elaborated looking for a possible dynamics of precipitation with greater or lesser totals in specific areas. In this scenario, the northeast region of the watershed receives a greater increase in precipitation in El Niño years considered intense and the watershed tends to receive lower precipitation totals in La Niña years. In short, the models were satisfactory to elucidate the influence of ENSO on the flow and precipitation of the study site.

**Keywords:** ENSO, rainfall, river flow, hydrographic basin, Piracicaba river

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

BHRP - BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRACICABA

CB - CUMULONIMBUS

CCM - COMPLEXO CONVECTIVO DE MESOESCALA

CEPAGRI - CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA

CNRH - CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS

COMITÊ PCJ - COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ

CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA

ECI - EVENTO DE CHUVA INTENSA

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA

ENOS - EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL

ESALQ - ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ

GOES - GEOSTATIONARY ENVIRONMENTAL SATELLITE OPERATIONAL

IOS - ÍNDICE DE OSCILAÇÃO SUL

IRI - INTERNATIONAL RESEARCH INSTITUTE

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

LN - LA NINÃ

mPa - MASSA POLAR ATLÂNTICA

mTc- MASSA TROPICAL CONTINENTAL

mTa - MASSA TROPICAL ATLÂNTICA

mEc- MASSA EQUATORIAL CONTINENTAL

NCEP - NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL PREDICTION

NCAR - NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH

PR - PARANÁ

RS - RIO GRANDE DO SUL

SCM - SISTEMA CONVECTIVO DE MESOESCALA

SF - SISTEMAS FRONTAIS

SP - SÃO PAULO

TSM - TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR

USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

VCAN - VÓRTICE CICLÔNICO DE ALTOS NÍVEIS

ZCAS - ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Área da bacia hidrográfica do Rio Piracicaba.....  | 28 |
| <b>Figura 2.</b> Mapa da bacia hidrográfica conforme a divisão em sub-bacias presentes no local.....  | 29 |
| <b>Figura 3.</b> Mapa hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba.....   | 30 |
| <b>Figura 4.</b> Unidades climáticas da bacia hidrográfica do rio Piracicaba.....   | 32 |
| <b>Figura 5.</b> Dinâmica de uso d'água nas bacias PCJ.....   | 39 |
| <b>Figura 6.</b> Disponibilidade de águas superficiais nas bacias PCJ.....  | 40 |
| <b>Figura 7.</b> Modelo acerca das condições do fenômeno ENOS em sua fase positiva e negativa.....  | 45 |
| <b>Figura 8.</b> Regiões consideradas para determinação de anomalias de temperatura da superfície do mar no oceano Pacífico.....                  | 45 |
| <b>Figura 9.</b> Intensidade e ocorrência do fenômeno ENOS.....   | 49 |
| <b>Figura 10.</b> Fluxograma dos procedimentos e técnicas utilizados na pesquisa.....   | 51 |
| <b>Figura 11.</b> Distribuição das estações pluviométricos utilizados na pesquisa.....  | 53 |
| <b>Figura 12.</b> Raio de abrangência das estações segundo critério estabelecido pela WMO.....  | 54 |
| <b>Figura 13.</b> Área da bacia hidrográfica coberta pelas estações meteorológicas.....   | 54 |
| <b>Figura 14.</b> Pluviômetros localizado em Piracicaba.....  | 56 |
| <b>Figura 15.</b> Pluviômetro de balança convencional.....  | 57 |
| <b>Figura 16.</b> Localização das estações pluviométricas na BHRP.....  | 60 |
| <b>Figura 17.</b> Linímetros utilizados nas medições.....   | 62 |
| <b>Figura 18.</b> As 4 áreas de drenagem na BHRP.....   | 63 |
| <b>Figura 19.</b> Gráfico box plot, apresentando a dispersão dos eventos de precipitação em 24 horas na bacia hidrográfica do rio Piracicaba..... | 74 |
| <b>Figura 20.</b> Média pluviométrica anual (em mm) no período de 1981 à 2017 na BHRP.....  | 77 |
| <b>Figura 21.</b> Média sazonal de precipitação.....  | 78 |
| <b>Figura 22.</b> Média pluviométrica mensal no período de 1981 à 2017 na BHRP.....   | 79 |
| <b>Figura 23.</b> Gráfico da série de precipitação (mm) diária da sub-bacia Ártemis.....  | 82 |
| <b>Figura 24.</b> Gráfico da série de precipitação (mm) diária da sub-bacia Bairro da Ponte.....  | 82 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 25.</b> Gráfico da série de precipitação (mm) diária da sub-bacia Monte Alegre do Sul.....     | 82  |
| <b>Figura 26.</b> Gráfico da série de precipitação (mm) diária da sub-bacia Usina Ester.....             | 82  |
| <b>Figura 27.</b> Gráfico da série de precipitação (mm) mensal da sub-bacia Ártemis.....                 | 83  |
| <b>Figura 28.</b> Gráfico da série de precipitação (mm) mensal da sub-bacia Bairro da Ponte.....         | 83  |
| <b>Figura 29.</b> Gráfico da série de precipitação mensal (mm) da sub-bacia Monte Alegre do Sul.....     | 83  |
| <b>Figura 30.</b> Gráfico da série de precipitação mensal (mm) da sub-bacia Usina Ester.....             | 83  |
| <b>Figura 31.</b> Box plot da série de chuva mensal da sub-bacia Ártemis.....                            | 85  |
| <b>Figura 32.</b> Box plot da série de chuva mensal da sub-bacia Bairro da Ponte.....                    | 85  |
| <b>Figura 33.</b> Box plot da série de chuva mensal da sub-bacia Monte Alegre do Sul.....                | 85  |
| <b>Figura 34.</b> Box plot da série de chuva mensal da sub-bacia Usina Ester.....                        | 85  |
| <b>Figura 35.</b> Média mensal da vazão fluvial para o posto fluviométrico de Artêmis.....               | 91  |
| <b>Figura 36.</b> Média mensal da vazão fluvial para a estação fluviométrica de Bairro da Ponte.....     | 93  |
| <b>Figura 37.</b> Média mensal da vazão fluvial para a estação fluviométrica de Usina Éster.....         | 94  |
| <b>Figura 38.</b> Média mensal da vazão fluvial para a estação fluviométrica de Monte Alegre do Sul..... | 96  |
| <b>Figura 39.</b> Gráfico da série vazão diária da sub-bacia Ártemis.....                                | 97  |
| <b>Figura 40.</b> Gráfico da série vazão diária da sub-bacia Bairro da Ponte.....                        | 97  |
| <b>Figura 41.</b> Gráfico da série vazão diária da sub-bacia Monte Alegre do Sul.....                    | 97  |
| <b>Figura 42.</b> Gráfico da série vazão diária da sub-bacia Usina Ester.....                            | 97  |
| <b>Figura 43.</b> Gráfico da série vazão mensal da sub-bacia Ártemis.....                                | 98  |
| <b>Figura 44.</b> Gráfico da série vazão mensal da sub-bacia Bairro da Ponte.....                        | 98  |
| <b>Figura 45.</b> Gráfico da série vazão mensal da sub-bacia Monte Alegre do Sul.....                    | 98  |
| <b>Figura 46.</b> Gráfico da série vazão mensal da sub-bacia Usina Ester.....                            | 98  |
| <b>Figura 47.</b> Box plot da série de Vazão mensal da sub-bacia Ártemis.....                            | 99  |
| <b>Figura 48.</b> Box plot da série de Vazão mensal da sub-bacia Bairro da Ponte.....                    | 99  |
| <b>Figura 49.</b> Box plot da série de Vazão mensal da sub-bacia Monte Alegre do Sul.....                | 99  |
| <b>Figura 50.</b> Box plot da série de Vazão mensal da sub-bacia Usina Ester.....                        | 99  |
| <b>Figura 51.</b> Box plots por mês para a precipitação mensal da sub-bacia Ártemis.....                 | 101 |
| <b>Figura 52.</b> Box plots por mês para a Chuva mensal da sub-bacia Bairro da Ponte.....                | 101 |
| <b>Figura 53.</b> Autocorrelações da precipitação mensal da sub-bacia Ártemis.....                       | 101 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 54.</b> Autocorrelações da precipitação mensal da sub-bacia Bairro da Ponte.....                                 | 101 |
| <b>Figura 55.</b> Box plots por mês para a chuva mensal da sub-bacia Monte Alegre do Sul.....                              | 102 |
| <b>Figura 56.</b> Box plots por mês para a chuva mensal da sub-bacia Usina Ester.....                                      | 102 |
| <b>Figura 57.</b> Autocorrelações da precipitação mensal da sub-bacia Monte Alegre do Sul.....                             | 102 |
| <b>Figura 58.</b> Autocorrelações da precipitação mensal da sub-bacia Usina Ester.....                                     | 102 |
| <b>Figura 59.</b> Box plots por mês para a vazão mensal da sub-bacia Ártemis.....  | 103 |
| <b>Figura 60.</b> Box plots por mês para a vazão mensal da sub-bacia Bairro da Ponte.....                                  | 103 |
| <b>Figura 61.</b> Autocorrelações da vazão mensal da sub-bacia Artêmis.....  | 103 |
| <b>Figura 62.</b> Autocorrelações da vazão mensal da sub-bacia Bairro da Ponte.....  | 103 |
| <b>Figura 63.</b> Box plots por mês para a vazão mensal da sub-bacia Usina Ester.....                                      | 104 |
| <b>Figura 64.</b> Box plots por mês para a vazão mensal da sub-bacia Monte Alegre do Sul.....                              | 104 |
| <b>Figura 65.</b> Autocorrelações da vazão mensal da sub-bacia Usina Ester.....  | 104 |
| <b>Figura 66.</b> Autocorrelações da vazão mensal da sub-bacia Monte Alegre do Sul.....                                    | 104 |
| <b>Figura 67.</b> Série de precipitação sem sazonalidade na sub-bacia Ártemis.....   | 107 |
| <b>Figura 68.</b> Série da vazão sem sazonalidade na estação Artemis.....  | 107 |
| <b>Figura 69.</b> Autocorrelações da vazão na estação Ártemis.....   | 107 |
| <b>Figura 70.</b> Correlações cruzadas entre vazão e chuva na sub-bacia Ártemis.....                                       | 107 |
| <b>Figura 71.</b> Gráficos de resíduos para o modelo final da vazão explicada pela chuva na sub-bacia Ártemis.....         | 108 |
| <b>Figura 72.</b> Série de precipitação sem sazonalidade na sub-bacia Bairro da Ponte.....                                 | 111 |
| <b>Figura 73.</b> Série da vazão sem sazonalidade na sub-bacia Bairro da Ponte.....  | 111 |
| <b>Figura 74.</b> Autocorrelações da vazão na estação Bairro da Ponte.....   | 111 |
| <b>Figura 75.</b> Correlações cruzadas entre vazão e chuva na sub-bacia Bairro da Ponte.....                               | 111 |
| <b>Figura 76.</b> Gráficos de resíduos para o modelo final da vazão explicada pela Chuva na sub-bacia Bairro da Ponte..... | 112 |
| <b>Figura 77.</b> Série de precipitação sem sazonalidade na sub-bacia Usina Ester.....                                     | 115 |
| <b>Figura 78.</b> Série da vazão sem sazonalidade na estação Usina Ester.....  | 115 |
| <b>Figura 79.</b> Autocorrelações da vazão sem a sazonalidade na estação Usina Ester.....                                  | 115 |
| <b>Figura80.</b> Correlações cruzadas entre vazão e chuva na sub-bacia Usina Ester.....                                    | 115 |
| <b>Figura 81.</b> Gráficos de resíduos para o modelo final da vazão explicada pela chuva na sub-bacia Usina Ester.....     | 116 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 82.</b> Série de precipitação sem sazonalidade na sub-bacia Monte Alegre do Sul.....                                 | 118 |
| <b>Figura 83.</b> Série de vazão sem sazonalidade na estação Monte Alegre do Sul.....  | 118 |
| <b>Figura 84.</b> Autocorrelações da vazão sem a sazonalidade na estação Monte Alegre do Sul.....                              | 118 |
| <b>Figura 85.</b> Correlações Cruzadas na sub-bacia Monte Alegre do Sul.....   | 118 |
| <b>Figura 86.</b> Gráficos de resíduos para o modelo final da vazão explicada pela chuva na sub-bacia Monte Alegre do Sul..... | 119 |
| <b>Figura 87.</b> Gráfico da série de IOS.....   | 121 |
| <b>Figura 88.</b> Gráfico da média trimestral da Temperatura da Superfície do Mar na região 3.4 do Niño.....                   | 122 |
| <b>Figura 89:</b> série histórica interanual da TSM.....   | 125 |
| <b>Figura 90.</b> Gráfico de autocorrelação da série IOS.....  | 124 |
| <b>Figura 91.</b> Autocorrelações da precipitação na sub-bacia Ártemis.....  | 125 |
| <b>Figura 92.</b> Correlações cruzadas entre a chuva na sub-bacia Ártemis e o IOS.....   | 125 |
| <b>Figura 93.</b> Gráficos de resíduos para o modelo final da chuva mensal na sub-bacia Ártemis explicada pelo IOS.....        | 126 |
| <b>Figura 94.</b> Correlações cruzadas entre a vazão na estação Ártemis e o IOS.....   | 127 |
| <b>Figura 95.</b> Gráficos de resíduos para o modelo final da vazão na estação Ártemis explicada pelo IOS.....                 | 128 |
| <b>Figura 96:</b> Relação entre média de precipitação e determinação de anos padrão.....                                       | 130 |
| <b>Figura 97.</b> Precipitação acima de 94 mm na bacia do rio Piracicaba.....  | 132 |
| <b>Figura 98:</b> Precipitação média anual na bacia hidrográfica do rio Piracicaba.....  | 136 |
| <b>Figura 99.</b> Espacialização da precipitação no período 1982 - 1983 (El Niño) .....  | 137 |
| <b>Figura 100.</b> Espacialização da precipitação no período 1991 - 1992 (El Niño) .....                                       | 138 |
| <b>Figura 101.</b> Espacialização da precipitação no período 1997 - 1998 (El Niño).....  | 139 |
| <b>Figura 102.</b> Espacialização da precipitação no período 2015 - 2016 (El Niño).....  | 140 |
| <b>Figura 103.</b> Espacialização da precipitação no período 1989 - 1990 (La Niña).....  | 141 |
| <b>Figura 104.</b> Espacialização da precipitação no período 1999 - 2000 (La Niña).....  | 142 |
| <b>Figura 105.</b> Espacialização da precipitação no período 2007 - 2008 (La Niña).....  | 143 |

## LISTA DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabela 1.</b> Extensão territorial e dinâmica populacional dos municípios que abrangem a BHRP.....                                       | 26  |
| <b>Tabela 2.</b> Estações pluviométricas utilizadas na pesquisa.....  | 52  |
| <b>Tabela 3.</b> Coeficiente de determinação para os 27 postos pluviométricos na área de estudo.....  | 55  |
| <b>Tabela 4.</b> Estações fluviométricas utilizadas na pesquisa.....  | 61  |
| <b>Tabela 5.</b> Cálculo das diferentes faixas de precipitação.....   | 73  |
| <b>Tabela 6.</b> Classificação da precipitação diária.....  | 75  |
| <b>Tabela 7.</b> Análise estatística descritiva da série pluviométrica da área de estudo.....   | 76  |
| <b>Tabela 8.</b> Análise estatística descritiva da precipitação pluviométrica sazonal.....  | 77  |
| <b>Tabela 9.</b> Estatística descritiva da vazão fluvial média para a área de estudo.....   | 87  |
| <b>Tabela 10.</b> Estatística descritiva da vazão fluvial sazonal média para a área de estudo.....  | 90  |
| <b>Tabela 11.</b> Estatística descritiva da vazão fluvial mensal média para o posto fluviométrico de Artêmis na a área de estudo.....       | 91  |
| <b>Tabela 12.</b> Estatística descritiva da vazão fluvial mensal média para o posto fluviométrico de Bairro da Ponte na área de estudo..... | 92  |
| <b>Tabela 13.</b> Média mensal da vazão fluvial para a estação fluviométrica de Usina Éster na a área de estudo.....                        | 94  |
| <b>Tabela 14.</b> Média mensal da vazão fluvial para a estação fluviométrica de Monte Alegre do Sul na a área de estudo.....                | 95  |
| <b>Tabela 15.</b> Resumo do modelo final da vazão explicada pela chuva na sub-bacia Ártemis.....  | 109 |
| <b>Tabela 16.</b> Resumo do modelo final para vazão explicada pela chuva na sub-bacia Bairro da Ponte. ....                                 | 115 |
| <b>Tabela 17.</b> Resumo do modelo final da vazão explicada pela chuva na sub-bacia Usina Ester.....  | 118 |
| <b>Tabela 18.</b> Resumo do modelo final da vazão explicada pela chuva na sub-bacia Monte Alegre do Sul. ....                               | 121 |

# SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO E APRESENTAÇÃO.....</b>   | <b>17</b> |
| 1.1 Justificativa.....   | 19        |
| 1.2 Objetivos.....   | 24        |
| 1.2.1 Objetivo geral.....  | 24        |
| 1.2.2 Objetivos específicos.....   | 24        |
| 1.3 Hipótese da pesquisa.....  | 24        |
| 1.4 A bacia hidrográfica do rio Piracicaba, SP.....                                    | 26        |
| <b>2. EMBASAMENTO TEÓRICO CONCEITUAL.....</b>  | <b>34</b> |
| 2.1 A teoria sistêmica e a bacia hidrográfica como escala de análise.....              | 34        |
| 2.2 Dinâmica de precipitação, vazão e disponibilidade hídrica na área de estudo.....   | 36        |
| 2.3 O papel dos oceanos na configuração climática global.....                          | 41        |
| 2.4 O fenômeno ENOS e suas consequências.....  | 43        |
| <b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>   | <b>50</b> |
| 3.1 Procedimentos metodológicos .....  | 52        |
| 3.1.1 Obtenção de dados.....   | 52        |
| 3.1.2 Análise descritiva da precipitação.....  | 58        |
| 3.1.3 A vazão fluviométrica.....   | 59        |
| 3.1.4 Correlação vazão e precipitação na bacia hidrográfica do rio Piracicaba.....     | 62        |
| 3.1.5 Análise estatística para a correlação vazão e precipitação.....                  | 64        |
| 3.1.6 ENOS.....  | 71        |
| 3.1.7 Correlação ENOS, precipitação e vazão.....                                       | 72        |
| 3.1.8 Correlação ENOS - Anos Padrão.....   | 73        |
| 3.1.9 Correlação ENOS - Eventos de precipitação intensa.....                           | 74        |
| 3.1.10 ENOS - Espacialização da precipitação.....                                      | 75        |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>   | <b>76</b> |
| 4.1 Análise da estatística descritiva da precipitação.....                             | 76        |
| 4.1.1 Análise da precipitação e a divisão em sub-bacias hidrográficas .....            | 80        |
| 4.1.2 Considerações sobre a precipitação pluviométrica.....                            | 86        |
| 4.2 Análise e discussão dos resultados da vazão fluvia.....                            | 86        |
| 4.2.1 Estatística descritiva da vazão fluvial.....                                     | 86        |
| 4.2.2 Considerações sobre a vazão fluvial.....   | 100       |
| 4.3 Análise e discussão dos resultados da correlação entre precipitação e a vazão..... | 100       |

|  |     |
|--|-----|
| 4.4 Vazão ajustada pela chuva na sub-bacia Artemis.....  | 105 |
| 4.4.1 Vazão ajustada pela chuva na sub-bacia Bairro da Ponte .....   | 110 |
| 4.4.2 Vazão ajustada pela chuva na sub-bacia Usina Ester.....  | 113 |
| 4.4.3 Vazão ajustada pela chuva na sub-bacia Monte Alegre do Sul.....                                      | 117 |
| 4.4.4 Considerações sobre a relação a precipitação e vazão.....  | 120 |
| 4.5 Análise e discussão dos resultados da correlação entre ENOS, precipitação e vazão.....                 | 121 |
| 4.5.1 Precipitação na sub-bacia Ártemis ajustada pelo IOS.....   | 124 |
| 4.5.2 Vazão na sub-bacia Artêmis ajustada pelo IOS.....  | 127 |
| 4.6 Relação da precipitação média anual, por meio da metodologia dos anos padrão, com o fenômeno ENOS..... | 129 |
| 4.7 Relação do fenômeno ENOS com os eventos intensos de precipitação.....                                  | 131 |
| 4.8 ENOS: níveis de intensidade e espacialização da precipitação.....                                      | 133 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....   | 144 |
| 6. REFERÊNCIAS.....  | 147 |
| ANEXOS.....  | 154 |

# 1. INTRODUÇÃO E APRESENTAÇÃO

---

A disponibilidade de água é um tema crucial para a sobrevivência do planeta e de todas as formas de vida que nele habitam. O acesso à água potável e ao saneamento básico é um direito humano essencial e fundamental para garantir a saúde, a segurança alimentar e a sustentabilidade econômica. No entanto, a crescente demanda por água, especialmente em regiões com alta densidade populacional e escassez de recursos hídricos, tem gerado preocupações sobre a sua disponibilidade no futuro, conforme a ANA, 2021.

Para atender às necessidades do planeta, é necessário que haja um planejamento adequado do uso e da gestão dos recursos hídricos. Além disso, é fundamental a promoção de políticas públicas que garantam o acesso à água potável para a população e que incentivem a participação da sociedade na preservação desse patrimônio. (ANA, 2021).

Nesse cenário, a interação entre o oceano e a atmosfera é um processo fundamental para a regulação do clima global e para a manutenção da vida na Terra. Ferreira e Kemenes (2019), afirmaram que essa sinergia tem um papel importante na regulação do clima global, uma vez que o oceano atua como um grande regulador térmico, absorvendo calor da atmosfera e armazenando-o em profundidade, proporcionando momentos de elevada precipitação, assim como períodos de seca.

Logo, essa variabilidade climática pode ser considerada um tema de grande importância, já que a agricultura, a geração de energia hidrelétrica e a dinâmica de vida nas cidades são fortemente dependentes desse recurso natural.

Essa variabilidade pode ser atribuída a diversos fatores, entre os principais está o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Caracterizado pelo aquecimento anormal das

águas do Oceano Pacífico Equatorial, que pode afetar a circulação atmosférica global e, conseqüentemente, os padrões de chuva em diferentes partes do mundo. No Brasil, o El Niño costuma estar associado a chuvas acima da média em algumas regiões, como a região Sul e parte do Sudeste, e a períodos de seca em outras, como o Nordeste. Por outro lado, a ocorrência do La Niña, que é o resfriamento anormal das águas do Pacífico Equatorial, pode levar a uma redução da chuva em algumas áreas do país. Por isso, compreender a relação entre a variabilidade da chuva e o ENOS é fundamental para a gestão dos recursos hídricos de uma determinada localidade (CPTEC, 2016).

Logo, para facilitar esse processo de gestão e compreensão do clima, a divisão em bacias hidrográficas é um importante atributo, já que a distribuição da precipitação e a disponibilidade hídrica dependem diretamente das características geográficas da área. A partir da análise da precipitação, da evapotranspiração e do escoamento de água em uma bacia hidrográfica, é possível entender melhor as características climáticas da região, incluindo padrões sazonais, variações interanuais, assim como a previsão de vazão dos rios, que são fundamentais para a gestão das usinas hidrelétricas e para o planejamento energético de um país.

Contando com os elementos citados, a bacia hidrográfica do rio Piracicaba se torna alvo do presente estudo, assim como a influência das interações climáticas nessa localidade. Com um elevado contingente populacional, industrial e agrário, a demanda por água nas bacias hidrográficas do estado de São Paulo tem se elevado ano após ano. Entretanto, a situação é ainda mais preocupante na bacia hidrográfica do rio Piracicaba. Isso se deve ao fato de que essa bacia não fornece água apenas para os municípios que fazem parte de sua área de abrangência, mas também para a região metropolitana da cidade de São Paulo (ANA, 2021)

Dentro dessa perspectiva, identificar e analisar possíveis relações entre o fenômeno ENOS, a precipitação pluviométrica e a vazão fluvial em suas diversas escalas e especificidades se torna um instrumento valioso na obtenção e criação do planejamento do território. Fato que será o grande alvo do presente estudo nas etapas seguintes da pesquisa.

### **1.1. Justificativa**

O conhecimento acerca das consequências de um fenômeno climático, como as chuvas, pode ocasionar impactos econômicos, sociais e ambientais significativos em uma determinada localidade. Por exemplo, a previsão de chuvas fortes pode permitir que as autoridades tomem medidas preventivas, como o reforço de infraestruturas de drenagem e a evacuação de áreas vulneráveis, reduzindo assim os danos causados por enchentes e deslizamentos de terra. Além disso, o conhecimento acerca do clima também pode ajudar a planejar a agricultura, a pecuária, a pesca e outras atividades econômicas que dependem de condições específicas de tempo atmosférico. Por outro lado, a falta de informações adequadas pode levar a impactos negativos, como a ausência de planejamento para lidar com eventos climáticos extremos e a perda de produtividade em setores econômicos.

No caso da bacia do Rio Piracicaba, de acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população da região praticamente dobrou no período estudado, ou seja, 36 anos (1981 - 2017). Logo, a adaptação aos eventos de precipitação vem sendo estudada a medida que os níveis tecnológicos aumentam, com novos softwares ligados a meteorologia ou cartografia, além da participação de profissionais cada vez mais qualificados no direcionamento dessas atividades.

Como complemento do estudo iniciado em projeto realizado anteriormente, intitulado "Fenômenos de precipitação pluvial intensa: análise da espacialidade e variabilidade na bacia hidrográfica do rio Piracicaba-SP", cujo objetivo foi realizar o estudo do fenômeno de precipitações intensas na bacia hidrográfica do rio Piracicaba – SP, analisando sua frequência e espacialidade no período de 1981 a 2010, o presente trabalho se faz necessário já que a área de estudo pode ser considerada de extrema importância, tanto do ponto de vista econômico e ambiental, quanto social.

A bacia hidrográfica do rio Piracicaba abastece parte da Região Metropolitana de São Paulo através da captação de água do chamado Sistema Cantareira que pode ser considerado o maior produtor de água da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), utilizando  $33 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  de água para abastecer, aproximadamente, 46% da população da região (ANA, 2019).

O completo conhecimento sobre a dinâmica climática da região evitaria possíveis transtornos, como por exemplo, em 2014 e 2015 quando foi necessária a utilização do chamado "volume morto", que soma cerca de 480 bilhões de litros de água localizados abaixo das estruturas de operação dos reservatórios e acessíveis apenas por bombeamento. Na ocasião, o sistema chegou a operar com menos de 10% de sua capacidade. (ANA, 2019). Segundo dados da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), em janeiro de 2023, o Sistema Cantareira operava com cerca de 48,5% de sua capacidade total de armazenamento de água. Esse número representa uma recuperação significativa em relação aos níveis críticos registrados durante a citada crise hídrica.

Nesse contexto, Frederice, (2014) verificou a tamanha influência do sistema na vazão dos principais rios que compõem a bacia do rio Piracicaba. Enquanto os rios



Jaguari e Atibaia tiveram uma redução na vazão média de aproximadamente 42% e 24% respectivamente, o rio Piracicaba apresentou uma vazão 14% menor em relação ao período anterior à instalação do Sistema Cantareira. Já o rio Camanducaia, que não contribui com o efetivo de abastecimento, obteve um aumento médio na vazão de 28%, evidenciando a importância dos estudos sobre o clima local, garantindo assim o provimento de água para toda a RMSP.

Araújo et al. (2015), corroborou com os resultados de Frederice (2014), quando analisou a variação de vazão e precipitação na área de estudo após a construção do sistema Cantareira. Por meio do método de análise dos sistemas complexos, verificou que as séries de vazão foram alteradas, enquanto os níveis de precipitação continuaram os mesmos, mostrando a influência positiva dos reservatórios, já que poderiam armazenar a água e garantir o fornecimento mesmo em épocas de estiagem.

Esse fluxo de vazão vai contribuir decisivamente para a geração de energia na região. Nesse contexto, obtenção de energia hidrelétrica se dá pela presença de diversas usinas ao longo da bacia hidrográfica. Entre elas estão a Usina Hidrelétrica de Americana, de Barra Bonita, de Jaguari, Usina Hidrelétrica de Pedreira, de Santa Maria, São José, Usina Hidrelétrica de Três Irmãos, de Nova Avanhandava, Paraibuna e Usina Hidrelétrica de Jaguari-Mirim. Com relação aos aspectos econômicos, está inserida na região sudeste, que de acordo com dados do IBGE (2021), contribui com cerca de 55,6% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil e produz mais da metade dos bens e serviços do país.

Responsável por uma significativa parcela da produção de alimentos do Brasil, a área de estudo, segundo dados do IBGE, é encarregada por cerca de 40% da produção de cana-de-açúcar do estado de São Paulo, além de ser um importante produtor de

laranja, café, milho, soja, feijão e outras culturas. Nesse cenário concentra elevada população rural, com 176,7 mil pessoas, aproximadamente, conforme o Comitê PCJ (2018). Se comparado aos dados nacionais, segundo o IBGE (2020) a população rural do Brasil é de aproximadamente 29,7 milhões de pessoas, o que corresponde a cerca de 14,1% da população total do país.

Além disso, a região também é marcada por uma forte presença da agricultura familiar, que é responsável por grande parte da produção agrícola do país. Segundo o Censo Agropecuário de 2017, a região que abrange a bacia hidrográfica do rio Piracicaba-SP conta com aproximadamente 53 mil propriedades rurais, sendo que 80% delas são de agricultura familiar. Esses agricultores desempenham um papel importante na produção de alimentos e no desenvolvimento sustentável da região.

Sobre a atividade industrial, a bacia hidrográfica do rio Piracicaba-SP também apresenta grande potencial, com destaque para o setor de produção de açúcar e álcool, que é responsável por uma grande parte do desenvolvimento regional. Como exemplo desse dinamismo, a região da bacia hidrográfica do rio Piracicaba-SP conta com cerca de 130 usinas de açúcar e álcool (ANA, 2021). Possui também uma forte presença de indústrias alimentícias, químicas e de papel e celulose. Vale ressaltar que a região tem atraído investimentos de empresas nacionais e internacionais, graças à sua infraestrutura, mão de obra qualificada e localização estratégica. Por exemplo, em 2022, a empresa sul-coreana Hyundai inaugurou uma nova fábrica de motores em Piracicaba, sendo a primeira da América Latina responsável por esse segmento, conforme reportagem de Drehmer (2022).

A BHRP apresenta uma grande gama de opções na formação de recursos humanos, principalmente na área de tecnologia, ciência e inovação.

A localidade abriga importantes Universidades e institutos de pesquisa, como a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) e o Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

Sobre os aspectos sociais e urbanos possui uma população 3,67 milhões de habitantes estimados em 2016 dos quais 3,5 milhões residentes em áreas urbanas, ou seja, aproximadamente 95% do total. Estabelecendo uma comparação com o país, temos quase 85,9% da população vivendo em áreas urbanas (IBGE,2021). Nesse contexto, essa atividade relacionada a uma urbanização que ocupou as várzeas dos grandes rios, teve como consequência a ocorrência de alagamentos sazonais que prejudicaram a população local sob diversos aspectos.

Grande parte desses acontecimentos ocorridos nos grandes centros urbanos possui origem nos eventos climáticos, sendo um dos mais atuantes o El Niño Oscilação Sul (ENOS).

ENOS é um fenômeno climático que ocorre em ciclos irregulares e que pode causar impactos significativos em diferentes regiões do mundo. No sudeste brasileiro, os efeitos do ENOS são variados e podem incluir chuvas intensas e enchentes, ou períodos prolongados de seca e estiagem de acordo com sua fase (CPTEC - INPE, 2023).

Sendo assim, o conhecimento no que diz respeito a relação entre ENOS, precipitação e vazão é considerada de extrema importância para todas as esferas citadas anteriormente, permitindo o planejamento acerca de seus acontecimentos e minimizando possíveis prejuízos para todos os setores da sociedade em uma região absolutamente estratégica e importante para o país e o mundo.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral é identificar e analisar possíveis relações entre o fenômeno ENOS, a precipitação pluviométrica e a vazão fluvial no período de 1981 a 2017 na bacia hidrográfica do rio Piracicaba – SP buscando compreender as características físicas do local em suas diferentes escalas e especificidades.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Analisar por meio da estatística descritiva os dados de precipitação pluvial e vazão fluvial em suas diferentes escalas temporais;
- Compreender como se dá a relação entre precipitação e vazão, determinando a defasagem temporal entre as variáveis por meios de análise envolvendo autocorrelação e correlação cruzada;
- Compreender a dinâmica de defasagem temporal e as relações existentes entre ENOS, a precipitação e a vazão fluvial.
- Correlacionar o fenômeno ENOS com a variabilidade dos eventos de precipitação intensa;
- Verificar a relação entre os eventos de ENOS e a dinâmica de precipitação local segundo a metodologia de anos padrão;
- Buscar possíveis correlações entre a espacialização da precipitação e os eventos ENOS considerados de forte intensidade.

## **1.3 Hipótese da pesquisa**

A ocorrência de ENOS pode desencadear impactos significativos na oscilação hidroclimática da bacia hidrográfica do rio Piracicaba. Diversos autores destacam a importância de se compreender como esse evento pode afetar a precipitação e a vazão

dos rios que compõem a bacia hidrográfica, a fim de promover uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos na região.

Durante episódios do fenômeno, já é conhecido da literatura existente que a região sudeste do Brasil pode apresentar variações na precipitação, com reduções em alguns períodos e aumento em outros. Por consequência, essas variações podem levar a um aumento da irregularidade hidrológica da bacia hidrográfica, afetando a disponibilidade de água para usos múltiplos.

Nesse contexto, a ocorrência de fenômenos climáticos como o El Niño ou La Niña, pode contribuir para a redução da disponibilidade de água, trazendo consequências para toda a sociedade. Além disso, a intensidade e a duração dos episódios podem influenciar a quantidade de água armazenada no solo e nos reservatórios, impactando diretamente a atividade agrícola.

Logo, a compreensão dos efeitos do ENOS na dinâmica hidroclimática da bacia do rio Piracicaba-SP é fundamental para a adoção de medidas de adaptação e mitigação dos seus impactos assim como a importância da implementação de estratégias de gestão de recursos hídricos adaptativas, que considerem a variabilidade climática e os possíveis efeitos do ENOS na região.

Por consequência, o presente trabalho baseia-se na hipótese de que o fenômeno ENOS afeta significativamente a dinâmica hidroclimática da bacia hidrográfica do rio Piracicaba-SP, resultando em mudanças no regime de precipitação e níveis de vazão fluvial, podendo trazer impactos socioeconômicos significativos na área de estudo.

Diante disso, o questionamento norteador da pesquisa seria: existe relação entre totais de precipitação, volumes de vazão e ENOS em uma bacia hidrográfica de extensão territorial considerada pequena como a área de estudo?

#### 1.4 A bacia hidrográfica do rio Piracicaba, SP.

De paisagens heterogêneas, a bacia hidrográfica do rio Piracicaba abrange 61 municípios, sendo 56 no estado de São Paulo e 5 em Minas Gerais, conforme tabela e figura 1. Com uma área de aproximadamente 12.400 km<sup>2</sup>, possui extensão de 250 km e largura de 50 km, conforme Caram, (2010). Localizada entre os paralelos 22°00' e 23°30' de latitude Sul e os meridianos 46°00' e 48°30' de longitude Oeste, tem como principais formadores os rios Atibaia, Jaguari, Corumbataí, Piracicaba, Camanducaia, Capivari e o Jundiáí.

**Tabela 1** - Extensão territorial e dinâmica populacional dos municípios que abrangem a BHRP.

| Municípios                | Área (km <sup>2</sup> ) | População (habitantes) / IDHM | Municípios                  | Área (km <sup>2</sup> ) | População (habitantes) / IDHM |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 1 - Águas de São Pedro    | 3,62                    | 2.707 / 0,854                 | 32 - Morungaba              | 146,76                  | 11.769 / 0,715                |
| 2 - Americana             | 133,99                  | 210.638 / 0,811               | 33 - Nazaré Paulista        | 326,15                  | 16.414 / 0,678                |
| 3 - Amparo                | 445,34                  | 65.829 / 0,785                | 34 - Nova Odessa            | 73,83                   | 51.242 / 0,791                |
| 4 - Analândia             | 326,31                  | 4.293 / 0,754                 | 35 - Paulínia               | 138,83                  | 82.146 / 0,795                |
| 5 - Anhembi               | 737,90                  | 5.653 / 0,721                 | 36 - Pedra Bela             | 158,55                  | 5.780 / 0,677                 |
| 6 - Artur Nogueira        | 178,10                  | 44.177 / 0,749                | 37 - Pedreira               | 108,83                  | 41.558 / 0,769                |
| 7 - Atibaia               | 478,45                  | 126.603 / 0,765               | 38 - Pinhalzinho            | 154,51                  | 13.105 / 0,725                |
| 8 - Bom Jesus dos Perdões | 108,34                  | 19.708 / 0,713                | 39 - Piracaia               | 385,43                  | 25.116 / 0,739                |
| 9 - Botucatu              | 1486,11                 | 127.328 / 0,800               | 40 - Piracicaba             | 1379,76                 | 364.571 / 0,785               |
| 10 - Bragança Paulista    | 512,50                  | 146.744 / 0,776               | 41 - Rio Claro              | 498,89                  | 186.253 / 0,803               |
| 11 - Campinas             | 794,80                  | 1.080.113 / 0,805             | 42 - Rio das Pedras         | 226,87                  | 29.501 / 0,759                |
| 12 - Capivari             | 323,14                  | 48.576 / 0,750                | 43 - Saltinho               | 99,85                   | 7.059 / 0,791                 |
| 13 - Charqueada           | 176,05                  | 15.085 / 0,736                | 44 - Santa Bárbara D'Oeste  | 271,23                  | 180.009 / 0,781               |
| 14 - Cordeirópolis        | 137,68                  | 21.080 / 0,758                | 45 - Santa Gertrudes        | 98,38                   | 21.634 / 0,737                |
| 15 - Corumbataí           | 278,90                  | 3.874 / 0,754                 | 46 - Santa Maria da Serra   | 253,08                  | 5.413 / 0,686                 |
| 16 - Cosmópolis           | 154,73                  | 58.827 / 0,769                | 47 - Santo Antônio de Posse | 154,16                  | 20.650 / 0,702                |
| 17 - Dois Córregos        | 634,32                  | 24.761 / 0,725                | 48 - São Pedro              | 612,16                  | 31.662 / 0,755                |
| 18 - Engenheiro Coelho    | 109,99                  | 15.721 / 0,732                | 49 - Serra Negra            | 203,72                  | 26.387 / 0,767                |
| 19 - Holambra             | 65,60                   | 11.299 / 0,793                | 50 - Socorro                | 448,94                  | 36.686 / 0,729                |
| 20 - Hortolândia          | 62,44                   | 192.692 / 0,756               | 51 - Sumaré                 | 153,55                  | 241.311 / 0,762               |
| 21 - Ipeúna               | 190,22                  | 6.016 / 0,753                 | 52 - Torrinha               | 315,84                  | 9.330 / 0,744                 |
| 22 - Iracemópolis         | 115,22                  | 20.029 / 0,776                | 53 - Tuiuti                 | 126,72                  | 5.930 / 0,728                 |
| 23 - Itatiba              | 322,29                  | 101.471 / 0,778               | 54 - Valinhos               | 148,57                  | 106.793 / 0,819               |
| 24 - Itirapina            | 565,34                  | 15.524 / 0,724                | 55 - Vargem                 | 142,55                  | 8.801 / 0,699                 |

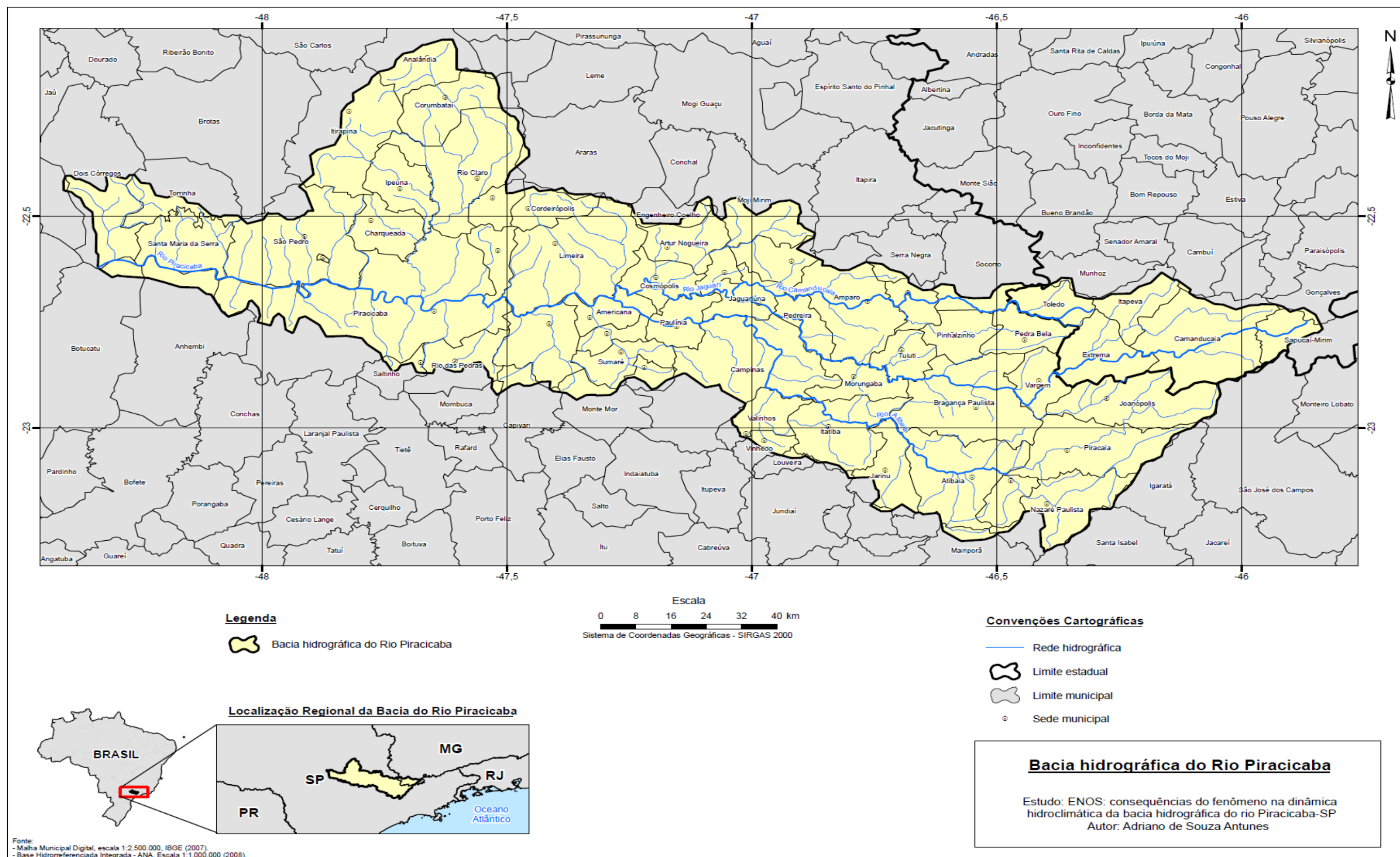
|                          |        |                 |                    |        |                |
|--------------------------|--------|-----------------|--------------------|--------|----------------|
| 25 - Jaguariúna          | 141,43 | 44.311 / 0,784  | 56 - Vinhedo       | 81,62  | 63.611 / 0,817 |
| 26 - Jarinu              | 207,54 | 23.847 / 0,733  | 57 - Camanducaia   | 528,42 | 21.080 / 0,689 |
| 27 - Joanópolis          | 374,14 | 11.768 / 0,699  | 58 - Extrema       | 244,49 | 28.599 / 0,732 |
| 28 - Limeira             | 581,09 | 276.022 / 0,775 | 59 - Itapeva       | 177,27 | 8.664 / 0,720  |
| 29 - Mogi Mirim          | 497,82 | 86.505 / 0,784  | 60 - Sapucaí-Mirim | 284,9  | 6.241 / 0,680  |
| 30 - Monte Alegre do Sul | 110,30 | 7.152 / 0,759   | 61 - Toledo        | 136,74 | 5.764 / 0,661  |
| 31 - Monte Mor           | 240,71 | 48.949 / 0,733  |                    |        |                |

Fonte: IBGE, 2010.

Possui parte de sua administração executada pelo Comitê das bacias do Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), por meio da Unidade Gerenciamento de Recursos Hídricos 5 (UGRHI 5), conforme figura 2. Criadas no Primeiro Plano Estadual de Recursos Hídricos de 1990, essas unidades de gerenciamento foram concebidas justamente com o propósito de facilitar e dinamizar a gestão das águas no estado de São Paulo.

Apresenta um desnível topográfico de cerca de 1.250 metros, desde suas cabeceiras na Serra da Mantiqueira, em Minas Gerais (MG), até sua foz no Rio Tietê, fator decisivo para o funcionamento do sistema Cantareira que funciona em grande parte através do movimento ocasionado pela gravidade. (IRRIGART, 2004)

A figura 3 exemplifica a variação da altitude na área de estudo.



**Figura 1:** Área da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba. **Fonte:** Antunes, 2015.



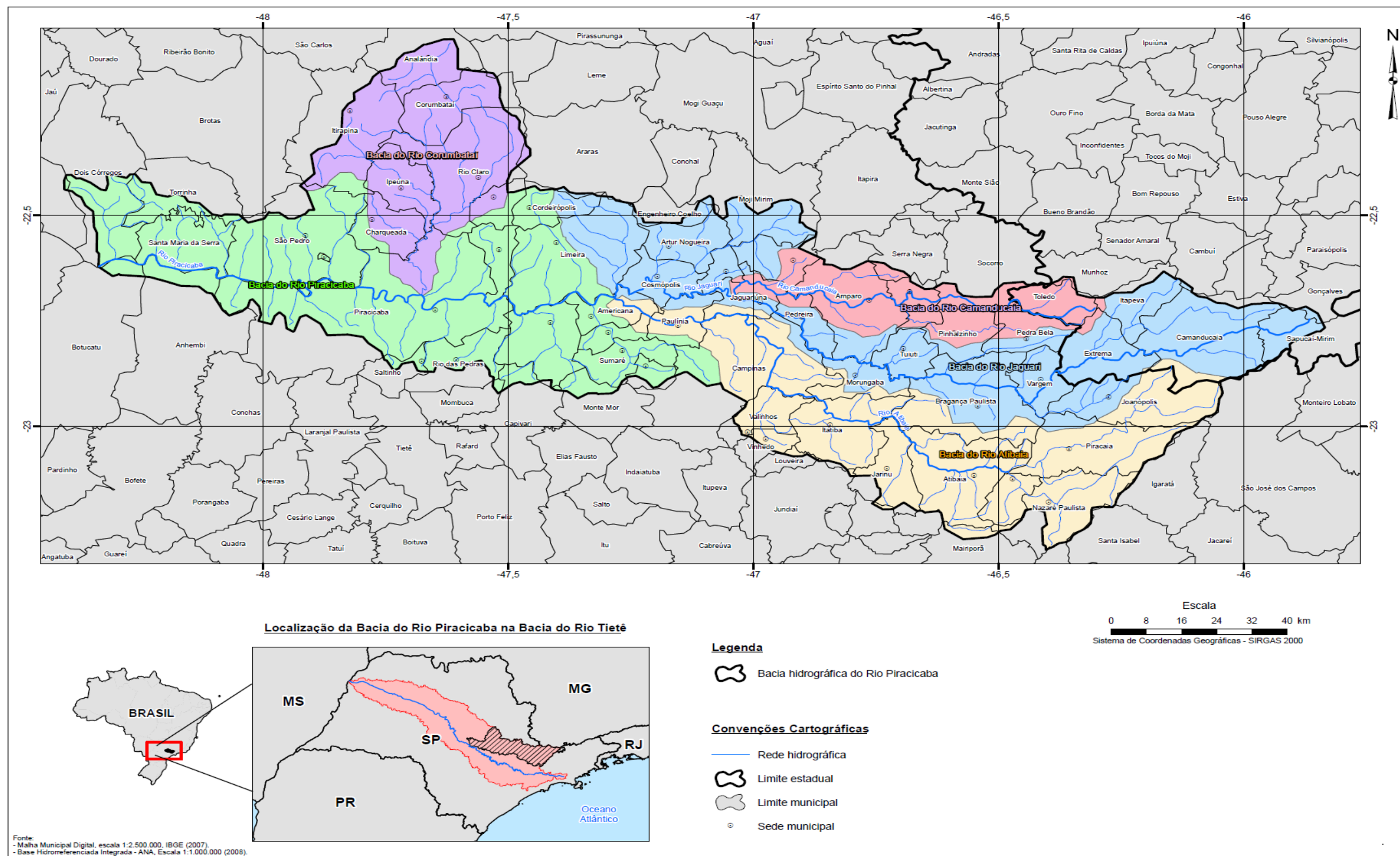


Figura 2. Mapa da bacia hidrográfica conforme a divisão em sub-bacias presentes no local. Org.: Adriano de Souza Antunes, 2023)



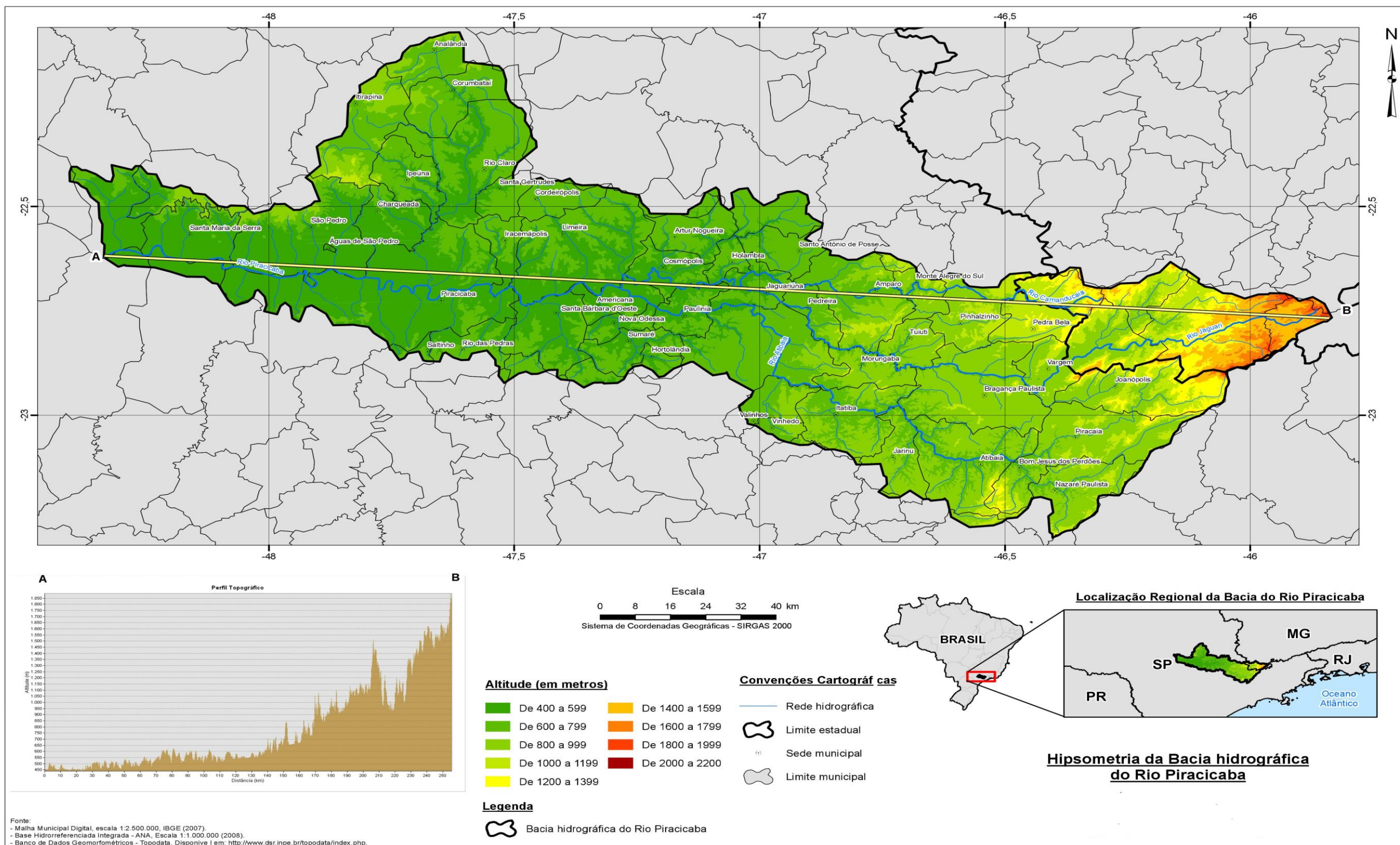


Figura 3: Mapa hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba. Fonte: Antunes, 2015.

Segundo a classificação de Koeppen, seguem na área de estudo, os climas Cfb - sem estação seca e com verões tépidos (mornos). Apresenta médias pluviométricas anuais entre 1.000 e 2.000 mm, distribuídas de forma relativamente uniforme ao longo do ano; Cfa - sem estação seca e com verões quentes, apresenta médias pluviométricas anuais acima de 1.500 mm, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano e Cwa - com inverno seco e verões quentes, nas regiões serranas. Apresenta médias pluviométricas anuais entre 1.000 e 1.500 mm, evidenciada na figura 4.

Dubreuil et al. (2018), propuseram uma classificação climática para o território nacional envolvendo a classificação de Köppen para definir os tipos de climas anuais (TCA). Utilizando dados médios mensais de temperatura e precipitação durante o período 1961-2015, determinaram um conjunto de 208 estações representativas da diversidade climática do Brasil. Nesse contexto, evidenciam a ideia de que o tipo de clima médio de Köppen nem sempre representa o que foi observado em uma determinada estação.

Logo, levando em consideração a dinâmica apresentada em relação a ocorrência dos TCA, a região da bacia hidrográfica do rio Piracicaba, passaria a apresentar predominantemente o tipo Cwa numa frequência de 50 a 80% do ano.

Dentro dessa perspectiva, o clima da região está submetido à influência das massas de ar tropicais, com características quentes (úmidas e secas) e polar, provocando diferenças regionais dadas pela distância em relação ao mar, e por fatores topoclimáticos como por exemplo, a Serra da Mantiqueira (Antunes, 2015).



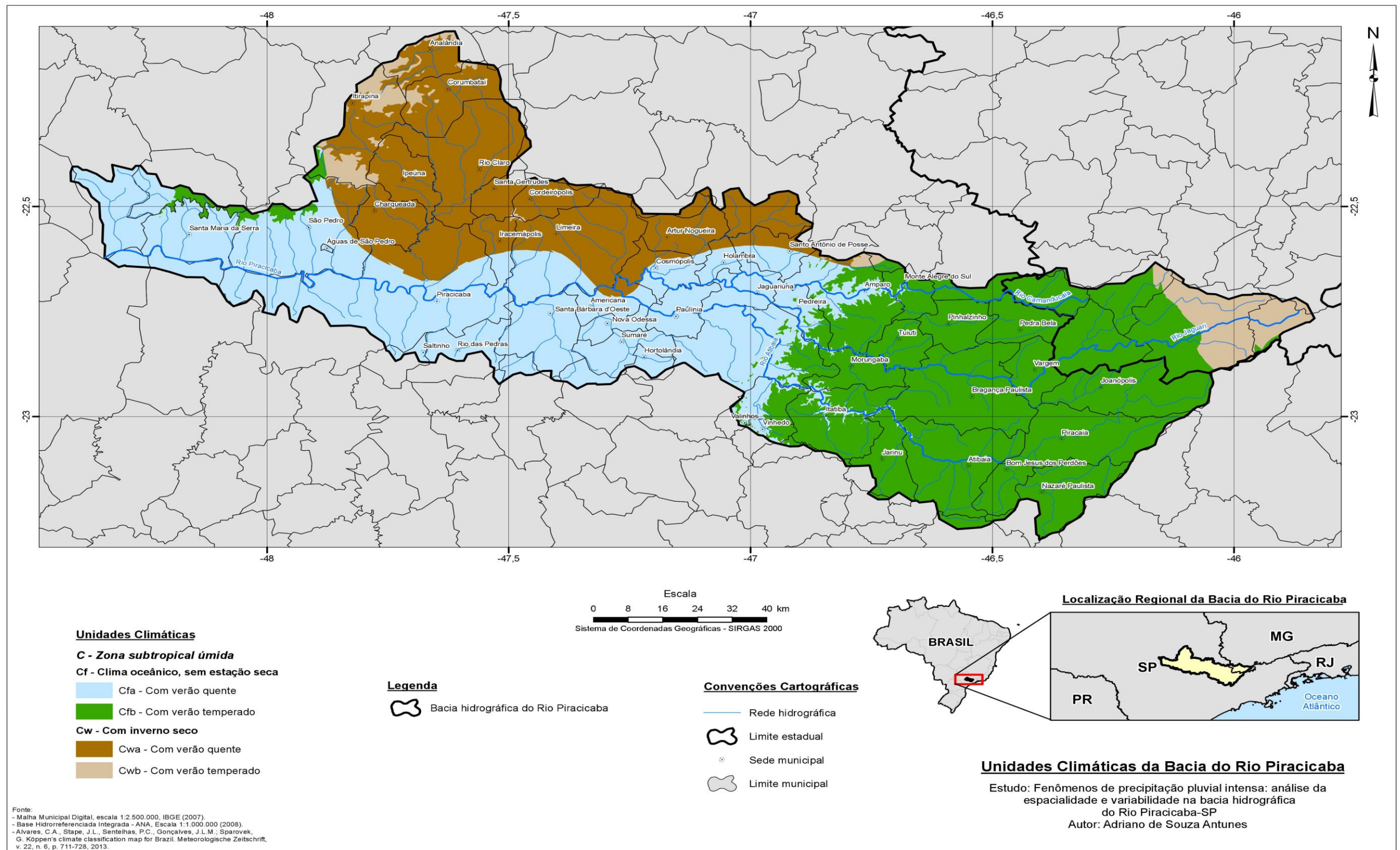


Figura 4. Unidades climáticas da bacia hidrográfica do rio Piracicaba. Fonte: Antunes, 2015.

Para caracterizar o ritmo climatológico da bacia hidrográfica, foram selecionados municípios de locais específicos da região, sendo um no curso superior ou alto, outro no médio e um no inferior ou baixo curso do rio Piracicaba.

Localizada no alto curso da bacia hidrográfica, na região mais baixa da serra da Mantiqueira, com aproximadamente 1015 metros de altitude, Camanducaia apresenta totais pluviométricos considerados elevados nas estações mais quentes do ano. (Prefeitura Municipal de Camanducaia, 2021). Janeiro é o mês com maior média pluviométrica, 334 mm, e o mais seco é agosto com média de 41 mm. Assim como a precipitação, a variação de temperatura acompanha a sazonalidade local. O mês mais quente do ano é fevereiro com uma temperatura média de 20,1°C, representando o verão, e a menor temperatura do ano é verificada em julho com média de 14,2°C, justamente o inverno no hemisfério sul.

Já no médio curso da bacia hidrográfica, está localizado o município de Americana. Com médias térmicas mais elevadas se compara a ao alto curso da área de estudo, apresenta a média de temperatura mais elevada em fevereiro média de 24,1 °C. Já a média mais baixa se dá em julho, aonde a média de temperatura é 18,1 °C. Já os totais máximos de precipitação se encontram no verão, com a média mais elevada em janeiro, de 274 mm e o mês mais seco é a julho com média de 34 mm (INMET, 2023).

São Pedro, localizado no extremo oeste da área de estudo, no baixo curso da bacia hidrográfica, apresenta características climáticas muito parecidas com aquelas vistas no médio curso. Apresenta médias de temperatura elevadas, com pico em janeiro quando atinge 24,5 °C. Já as menores médias de temperatura se encontram no inverno, sendo julho o mês considerado mais frio com média de 18,2 °C (INMET, 2023).

As médias de precipitação também se assemelham ao médio curso da área de estudo. Com média de 291 mm o mês de janeiro é o mês de maior precipitação e julho menor com média de precipitação de 35 mm (INMET, 2023).

Nesse cenário, as menores temperaturas estão associadas as regiões de altitude mais elevadas, a montante da bacia hidrográfica, assim como os maiores totais pluviométricos devido ao efeito orográfico. Deste modo há relativa similaridade climática no médio e baixo curso da área de estudo.

Os tipos climáticos se mostraram fundamentais para o desenvolvimento da agricultura e algumas culturas já citadas anteriormente. Além disso, seu dinamismo industrial vai dar origem as indústrias de tecnologia e inovação, com a presença de empresas de biotecnologia, nanotecnologia, energias renováveis, entre outras (OLIVEIRA et al., 2022).

## 2. EMBASAMENTO TEÓRICO-CONCEITUAL

---

### **2.1 A teoria sistêmica e a bacia hidrográfica como escala de análise.**

Diversas teorias foram propostas ao longo dos séculos sendo analisadas e aperfeiçoadas por um grupo considerável de cientistas. Dentro da ciência geográfica, muitas merecem destaque, entretanto, como elemento norteador do presente trabalho a teoria sistêmica é aquela que de maneira completa aborda e explica a realidade de maneira satisfatória.

Tendo como princípio a premissa da teoria dos sistemas, onde um elemento terrestre se conecta e influencia direta e indiretamente outros, o clima se apresenta como uma das forças naturais com maior potencial de poder sobre outros componentes terrestres. É capaz de promover a existência de florestas, desertos, rios, atividades

industriais e agrárias, determinar um tipo de organização social, entre outros (MONTEIRO, 1976). Logo, para alguns autores, os elementos climáticos devem ser analisados de maneira amplamente integrada, levando em consideração suas causas e consequências. (BRIGATTI, 2008)

Dentro dessa perspectiva, Silva e Silva (2012) afirmaram que o clima, devido ao seu dinamismo e irregularidade, interfere de maneira direta nos elementos em superfície terrestre. Os elementos sinópticos causam consequências diretas em superfície, determinando padrões climáticos em escala local ou regional. Limberger (2006), citou a complexidade de se abordar a teoria dos sistemas na geografia, levando em consideração a teoria da complexidade. Segundo a autora devido a necessidade da síntese da geografia, a complexa tarefa de compreender fatos e espaços coloca esse ramo da ciência em constante situação de análise.

Logo, a geografia devido a já citada complexidade de abordagem, dará origem a chamada teoria geossistêmica. Autores clássicos apresentados por diversos trabalhos ao longo das décadas, merecem destaque. Entre eles Sotchava (1977), Bertrand (1972) e Tricart (1977). Dentro desse contexto, Bertrand e Beroutchachvili (1978, p. 05) definem os geossistemas como algo que

"serve para designar um sistema geográfico natural homogêneo associado a um território. Ele se caracteriza por uma morfologia, isto é, pelas estruturas espaciais verticais (os geohorizontes), e horizontais (os geofácies): um funcionamento, que engloba o conjunto de transformações dependentes da energia solar ou gravitacional, dos ciclos da água, dos biogeociclos, assim como dos movimentos das massas de ar e dos processos de geomorfogênese: um comportamento específico, isto é, para as mudanças de estado que intervêm no geossistema em uma dada sequência temporal."

Por consequência, alguns elementos da geografia se encaixam perfeitamente nessa definição. Sendo assim, a bacia hidrográfica se apresenta como um grande alvo de

análise da teoria geossistêmica, por se tratar de um ambiente completamente integrado entre seus elementos. Segundo Rodrigues e Adami (2011, p. 57), a bacia hidrográfica pode ser definida como

[...] "um sistema que compreende um volume de materiais, predominantemente sólidos e líquidos, próximos à superfície terrestre, delimitado interno e externamente por todos os processos que, a partir do fornecimento de água pela atmosfera, interferem no fluxo de matéria e de energia de um rio ou de uma rede de canais fluviais. Inclui, portanto, todos os espaços de circulação, armazenamento, e de saídas de água e do material por ela transportado, que mantêm relações com esses canais."

A definição apresentada pode ser relacionada com as ideias de Christopherson (2012) que aborda os sistemas naturais como sistemas abertos, com entradas e saídas de fluxo de energia, constituídos por subsistemas que funcionam de maneira integrada. Logo a bacia hidrográfica seria objeto de análise, segundo o conceito apresentado já que, as planícies de inundação, os canais fluviais e as vertentes representariam o fluxo de trocas de energia dentro desses subsistemas (RODRIGUES e ADAMI, 2011).

Nesse caminho, de maneira integrada, os estudos sobre as bacias hidrográficas contribuem para a gestão ambiental e das águas tendo em vista que trazem conhecimentos sobre áreas específicas que podem subsidiar o planejamento e a gestão dos recursos hídricos.

## **2.2 - Dinâmica de precipitação, vazão e disponibilidade hídrica na Bacia hidrográfica do Rio Piracicaba**

Por se tratar de uma área economicamente importante para o cenário nacional, existe uma gama de pesquisas relativamente elevadas sobre a região. Os estudos sobre as especificidades hídricas do local evoluem a medida que as técnicas também avançam e passam a ser usadas de maneira sistêmica na academia. Contando com essa realidade, alguns autores se destacam em relação a área de estudo. Sansigolo (2008), em seus estudos sobre extremos de precipitação durante o período de 1917 a 2006 na Bacia



Hidrográfica do Rio Piracicaba (BHRP), verificou que tendências significativas de precipitação que poderiam estar associadas as mudanças climáticas não foram constatadas na série analisada.

Assis et al., (2018) verificaram que por meio da utilização de métodos estatísticos, entre eles verossimilhança e a distribuição de probabilidade gama, é possível traçar probabilidades de precipitação, no Município de Piracicaba, podendo auxiliar agricultores locais nos períodos de plantio. Pelegrino et al, (2001) destacaram o papel da atividade solar e das frentes frias na configuração dos eventos de precipitação da bacia hidrográfica em momentos úmidos e secos.

Em um estudo realizado por Sanches et al. (2021), os autores citaram a importância da implementação de estratégias de gestão de recursos hídricos adaptativas, que considerem a variabilidade climática e os possíveis efeitos do ENOS na região.

Zandonadi e Pascoalino (2012) e Antunes (2015), verificaram a distribuição temporo-espacial das chuvas na BHRP, apontando as regiões central e leste como aquelas que recebem o maior volume pluviométrico na região. Segundo esses mesmos estudos, os anos de 1995 e 1991 se apresentaram como muito chuvosos. Lima, (2010) destaca os fenômenos responsáveis pelos eventos de maior precipitação pluviométrica no Sudeste do Brasil, região onde se encontra a área de estudo, citando os Sistemas Frontais (SF) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), fenômenos esses já amplamente estudados e conhecidos pela comunidade científica.

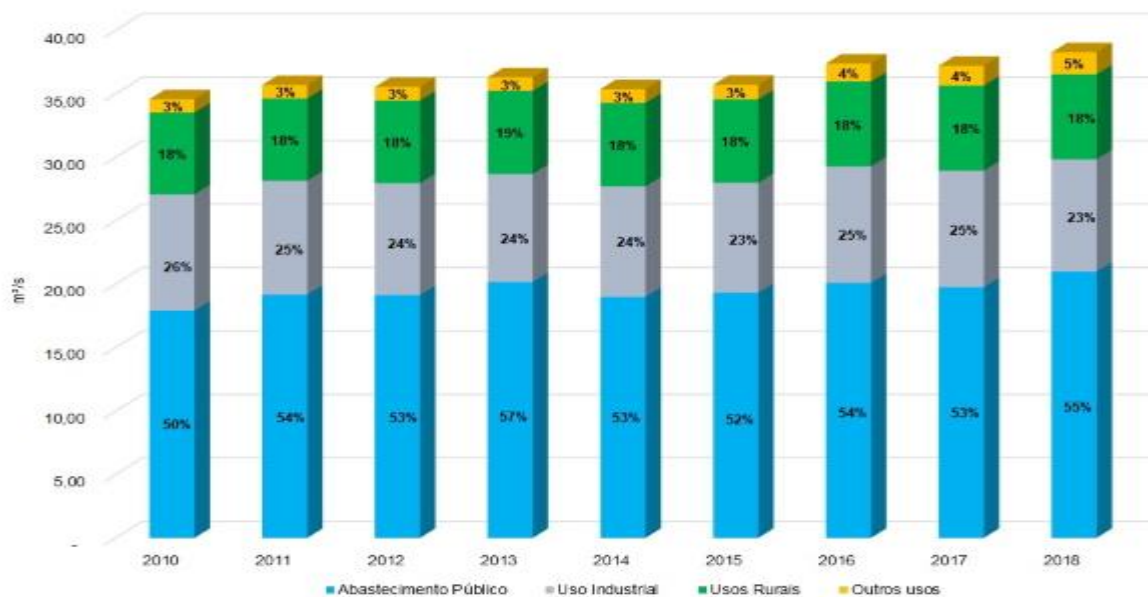
Gan et. al (2016), abordaram a influência das ZCAS e do Sistema de Monções da América do Sul (SMAS). Sendo um dos principais sistemas atmosféricos de grande escala que atua na faixa tropical o SMAS está relacionado, segundo Gan et al. (2016),

p.1, "com a reversão da direção dos ventos em baixos níveis durante a fase de transição entre o inverno (pouca chuva) e o verão (muita chuva)". Entretanto, não é observada a reversão dos ventos na América do Sul, porém outros fatores dão condição a existência das monções, entre elas a atuação das ZCAS, favorecendo o incremento da precipitação.

Cortez et al. (2019), compararam métodos probabilísticos na previsão de enchentes do rio Piracicaba, com série histórica de 76 anos da estação fluviométrica de Ártemis no município de Piracicaba–SP.

Os estudos apresentados, contribuem efetivamente para a compreensão acerca da disponibilidade hídrica local, ainda mais se levarmos em consideração a contribuição para o abastecimento da RMSP. O Comitê das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), (2019) aponta para o grande desafio relativo a mensuração da qualidade e da quantidade de recursos hídricos disponíveis numa determinada região. Groppo et al, (2006) utilizando a metodologia que envolve análise gráfica e aplicação de testes de tendência destacaram a piora na qualidade das águas da BHRP justamente pela presença de elementos que estariam associados a tendências positivas da análise como, por exemplo, coliformes fecais.

Ainda sobre a disponibilidade hídrica, Pereira et al, (2002) verificaram a tendência de consumo na bacia hidrográfica. Utilizando um modelo de previsão de dados estatísticos, apontaram uma estagnação no consumo industrial e aumento no consumo urbano e agropecuário. No mesmo estudo, os dados mostraram a sub-bacia do Jaguari como aquela que possui a maior vazão anual e que atende quase que por completo a demanda hídrica de consumo da região. O comitê PCJ, em seu Relatório de Gestão das Bacias, (2019) também verificou a dinâmica citada. A figura 5 apresenta os resultados após a análise de dados da região.



**Figura 5:** Dinâmica de uso d'água nas bacias PCJ. **Fonte:** Relatório de Gestão das Bacias PCJ 2019.

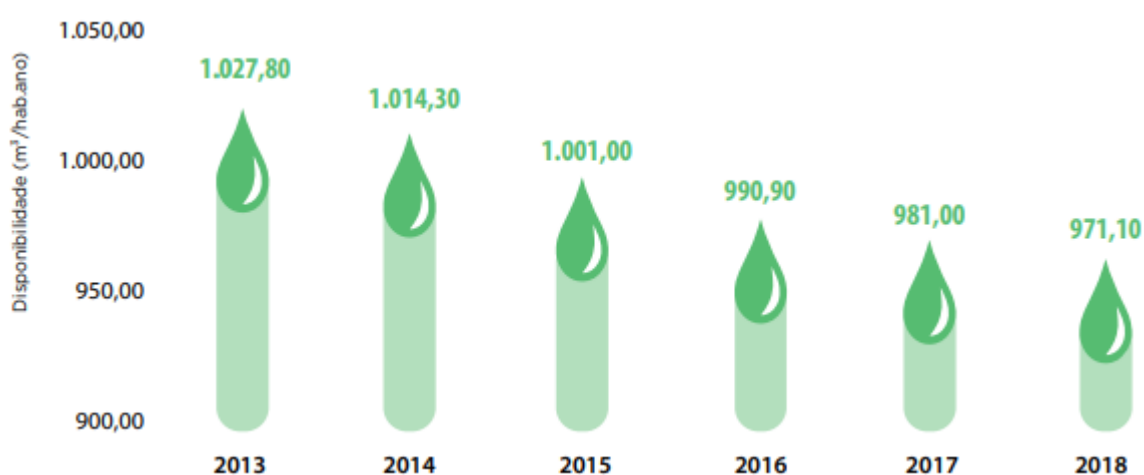
De acordo com o Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (CBH-PCJ), os principais usos da água nas bacias PCJ incluem abastecimento público, agricultura, indústria, produção de energia hidrelétrica, navegação, lazer e preservação do meio ambiente.

Segundo o Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias PCJ de 2020, o uso da água na região tem apresentado mudanças significativas nas últimas décadas. Houve uma redução no consumo de água para abastecimento público, devido à implementação de programas de uso racional da água e à melhoria dos sistemas de distribuição. Por outro lado, o consumo de água pela agricultura tem aumentado, com a expansão das áreas irrigadas e o uso intensivo de fertilizantes e agrotóxicos.

Além disso, o crescimento industrial e urbano nas bacias PCJ tem gerado um aumento na demanda de água para usos industriais e domésticos, o que tem levado a um aumento na captação de água nos rios da região. Como resultado, o uso da água nas bacias PCJ continua sendo uma questão crítica, que requer uma gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos.

O gráfico apresenta também outros importantes usos existentes da água nas bacias PCJ, como por exemplo, criação de peixes e outros animais aquáticos em atividades de piscicultura e aquicultura, irrigação de parques e jardins públicos e espaços verdes. Além disso, esse recurso também é usado em processos industriais, tais como a refrigeração de equipamentos, a limpeza de máquinas e a fabricação de produtos químicos e farmacêuticos (CBH - PCJ, 2020).

Sánchez et al, (2009) também discutiram sobre a disponibilidade de recursos hídricos na região, apontando para uma menor disponibilidade e um aumento na demanda de aproximadamente 76% e a importância da água do reúso que corresponderá por 39% da água disponível na região. Dinâmica essa apontada pelo Comitê no seu último relatório (2019). A disponibilidade de águas superficiais vem diminuindo na região, conforme evidencia a figura 6.



**Figura 6:** Disponibilidade de águas superficiais nas bacias PCJ.

**Fonte:** Coordenadoria de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, 2019.

Essa diminuição da disponibilidade hídrica deve ser alvo de análise, pois sabemos que existem outras variáveis, além da precipitação pluviométrica, envolvidas na gestão desses recursos.

### **2.3 - O papel dos oceanos na configuração climática global**

O papel dos oceanos já foi abordado em diversos âmbitos científicos. Estudos clássicos do início do século XX já marcam os debates sobre o assunto, como por exemplo, Walker (1924) e Walker e Bliss (1932).

O estudo de Walker (1928), intitulado "Oceanic circulation and climate", analisou a circulação oceânica global e sua influência no clima. O autor sugeriu que a circulação oceânica poderia influenciar os padrões de precipitação em diferentes regiões do mundo, e que mudanças na circulação poderiam ser um fator importante nos ciclos climáticos de longo prazo.

Já o estudo de Walker e Bliss (1932), intitulado "World Weather Vs. The World's Oceans", focou na relação entre a temperatura da superfície do mar (TSM) e o clima. Os autores descobriram que mudanças na TSM poderiam influenciar padrões de precipitação e pressão atmosférica em diferentes regiões do mundo, e sugeriram que a TSM poderia ser um fator importante para prever mudanças no clima.

É importante destacar que esses estudos foram marcos na compreensão da influência dos oceanos no clima e seus resultados ainda são relevantes para a pesquisa atual sobre o tema.

Nesse contexto, conforme o avanço e aprimoramento das técnicas ao longo das últimas décadas, os trabalhos se tornaram mais acessíveis e conclusivos. Atualmente, os oceanos vêm sendo considerado por muitos cientistas como um regulador do clima global, sendo capaz de alterar os padrões momentâneos da atmosfera entre eles Aceituno, 1989 e Ambrizzi, 2007.

Devido ao seu baixo albedo, os oceanos recebem mais da metade da energia que entra no sistema climático e, por consequência, absorvem muito bem a radiação solar.

Muito desta energia absorvida nos primeiros 100 metros será utilizada localmente para o processo de evaporação, tornando o oceano a fonte primária de vapor de água e de calor para a atmosfera, com um papel importante no ciclo hidrológico global (PHILANDER, 1989). Logo, variações climáticas da atmosfera podem ser relacionadas a variabilidade de temperatura da camada superficial do planeta, como afirmaram Coelho et al (2002).

Silva e Silva, (2012) a partir de um compilado de diversos autores, puderam verificar a a variação da TSM no Pacífico e no Atlântico Norte e suas consequências, principalmente na América do Sul. Grande parte da variabilidade interanual do clima nessa região, principalmente das precipitações, é modulada pelos efeitos do fenômeno *El Niño/ Southern Oscillation* (ENSO), no Oceano Pacífico Equatorial (PACE), além do gradiente meridional de temperatura da superfície do Atlântico Tropical. Para a América do Sul é importante considerar-se as variações das TSM do Atlântico Sul para a variabilidade anual das chuvas (DIAZ *et al.*,1998). Conforme os mesmos autores, a influência das TSM no Atlântico Sul e do PACE nas precipitações da região Sul do Brasil é de fundamental importância para o regime pluviométrico da região, existindo boa coerência espacial entre as anomalias de TSM, principalmente para o período de outubro a dezembro, com uma maior homogeneidade na região mais ao Sul.

Souza Neto et al., (2021) estudaram os fenômenos El Niño Oscilação Sul, Dipolo do Atlântico, Manchas solares e Oscilação Decadal do Pacífico e concluiu que há aumento da TSM tanto no oceano Pacífico quanto no Atlântico, sobretudo na porção sul dessas áreas.

Logo, um dos principais responsáveis da variabilidade de precipitação é o chamado fenômeno ENOS, por meio dos diversos estudos já existentes, pode ser

considerado um dos grandes fomentadores de anomalias de precipitação no Brasil assim como na América do Sul.

Alguns autores já citam a variação da TSM como uma das responsáveis pela variação dos eventos de precipitação intensa. Nóbrega, et al (2014), verificaram essa relação entre as mesorregiões da Paraíba, encontrado tendências positivas no período de 1935 a 1969 principalmente com a variação de temperatura do Atlântico. Hastenrath (2012), corroborou com essa relação na mesma região. Grimm et al (1998) e Minuzzi et al (2005), verificaram a mesma relação por dos dados de 315 estações na região Sudeste do Brasil. Os autores identificaram áreas cuja relação se tornou mais evidente, entretanto, devido as especificidades locais, como por exemplo, o relevo, essa influência não pode ser verificada em toda a região. É importante ressaltar que o fenômeno ENOS, pode ser considerado um dos grandes fomentadores de outros elementos que dão origem a eventos intensos, como por exemplo, os sistemas frontais, os CCMs, os VCANs, as ZCAS entre outros. Elementos já verificados por outros autores, como por exemplo, Rodrigues et al (2004) e Maddox (1980).

No próximo item o fenômeno ENOS será investigado com mais detalhes e suas consequências apresentadas em diferentes escalas.

#### **2.4 - O fenômeno ENOS e suas consequências**

Responsável por parte das anomalias de precipitação nas áreas que atua, o fenômeno ENOS ainda carece de estudos em diferentes escalas, evidenciando assim suas especificidades nessas regiões. Entretanto, é importante ressaltar qual é a dinâmica de funcionamento do fenômeno. Segundo o CPTEC - INPE O ENOS, ou El Niño Oscilação Sul "*representa de forma mais genérica um fenômeno de interação atmosfera-oceano, associado a alterações dos padrões normais da Temperatura da*

*Superfície do Mar (TSM) e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial, entre a Costa Peruana e no Pacífico oeste próximo à Austrália."*

É importante ressaltar, as especificidades da atmosfera. Podemos afirmar que a mesma se comporta de maneira compensatória: se em algum lugar específico há a ascensão de ar, em outro haverá a descensão. Logo, um importante elemento deve ser abordado: a circulação de Walker. Esse sistema consiste num padrão de circulação leste-oeste, conforme Walker e Bliss, 1932. O fenômeno ENOS ocorre justamente pela perturbação dessa circulação, que é caracterizada justamente pela forte convergência em baixos níveis, acarretando em grandes alterações nos padrões pluviométricos tendo como consequência as anomalias climáticas ao redor do globo. (MACPHADEN, 2002)

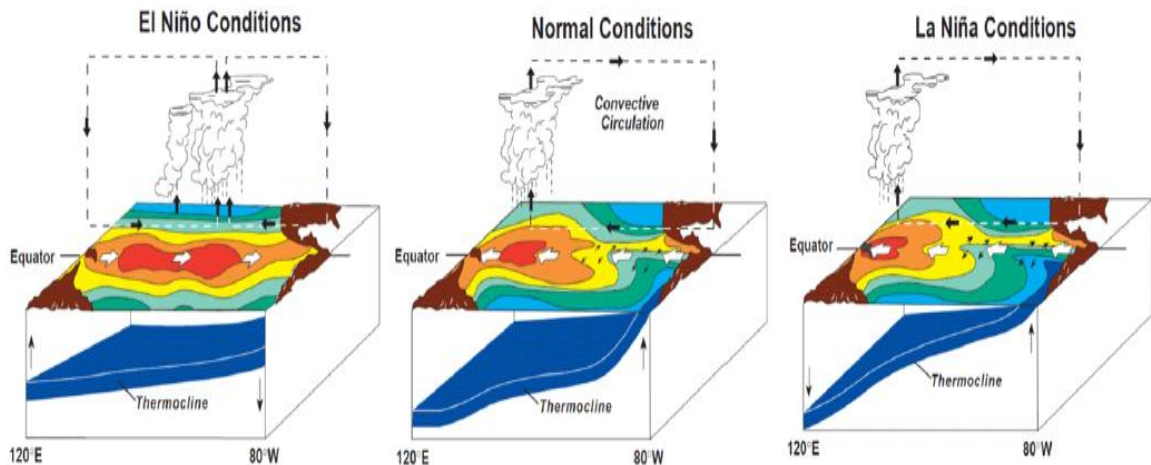
Segundo o mesmo órgão, existem três momentos distintos do ENOS: O El Niño - fase positiva do fenômeno ENOS; as condições normais de temperatura da TSM e o La Niña, sendo a fase negativa. O El Niño, ainda representado na figura 7, é caracterizado pelo enfraquecimento "dos ventos alísios e o aumento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Pacífico Equatorial Leste. Como consequência, ocorre uma diminuição das águas mais frias que afloram próximo à costa oeste da América do Sul". (CPTEC-INPE)

Em condições normais, os ventos alísios sopram de leste para o oeste favorecendo a ressurgência, próximo a costa oeste da América do Sul. *"Observam-se águas superficiais relativamente mais frias no Pacífico Equatorial Leste, junto à costa oeste da América do Sul, e relativamente mais aquecidas no Pacífico Equatorial Oeste, próximo à costa australiana e região da Indonésia"*.

Já o Fenômeno La Niña está associado à *"intensificação dos ventos alísios e ao declínio da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Pacífico Equatorial Leste. As*

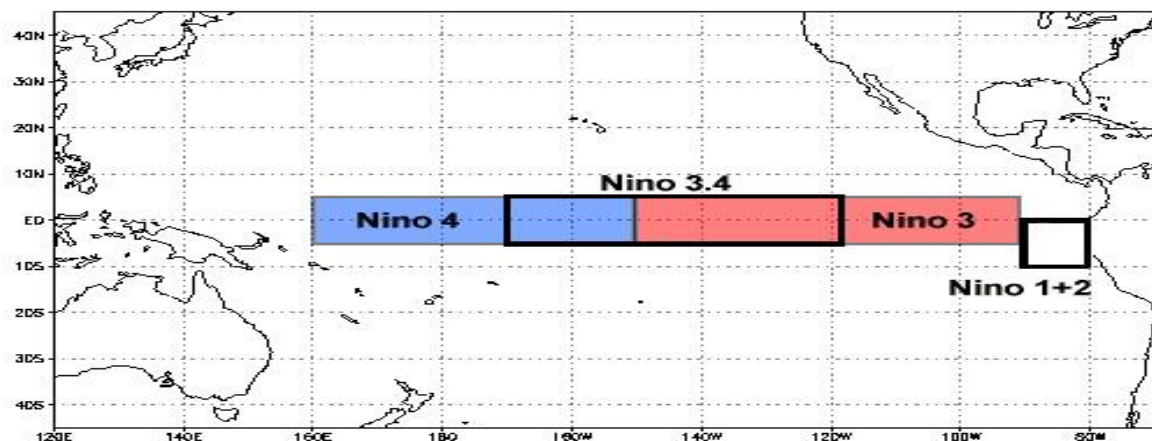


águas adjacentes à costa oeste da América do Sul tornam-se ainda mais frias devido à intensificação do movimento de ressurgência”. (CPTEC-INPE)



**Figura 7:** Modelo acerca das condições do fenômeno ENOS em sua fase positiva e negativa. **Fonte:** National Centers for Environmental Information, 2017.

A caracterização do ENOS é feita através do cálculo de índices, como o Índice de Oscilação Sul, calculado através da diferença de pressão entre duas regiões distintas: Taiti e Darwin. E posteriormente os índices nomeados Niño (Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4), conforme figura 8, que são, na verdade, as anomalias de TSM médias em diferentes regiões do Pacífico equatorial. (CPTEC-INPE).



**Figura 8:** Regiões consideradas para determinação de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) no oceano Pacífico. **Fonte:** National Centers for Environmental Information (NOAA), 2019.

Diversos autores analisaram as especificidades do fenômeno em suas diversas escalas. Pezzi e Cavalcanti (2001) verificaram a influência do dipolo de TSM no

Atlântico Tropical associados com situações de *El Niño* nas precipitações da América do Sul. Eles apresentaram resultados de um modelo de circulação geral, mostrando que na presença de um dipolo positivo (anomalias de TSM positivas no Atlântico tropical Norte e negativas no Atlântico Tropical Sul) ocorre um déficit de precipitação no Nordeste e um excesso no Sul da América do Sul. No caso de um dipolo negativo, observaram um regime de precipitação normal no Sul da América do Sul. Britto et al. (2011) e Nery (2005) evidenciaram as consequências no sul do Brasil.

Marengo et al. (2014), durante episódios de ENOS, afirmou que a região Sudeste do Brasil pode apresentar variações significativas na precipitação, com reduções em alguns períodos e aumento em outros. Essas variações podem levar a um aumento da irregularidade hidrológica da bacia do rio Piracicaba-SP, afetando a disponibilidade de água para usos múltiplos e a resiliência dos sistemas socioecológicos. Segundo Ferreira et al. (2019), os efeitos do fenômeno sobre a precipitação podem levar a uma redução da produção de culturas como a cana-de-açúcar e o milho.

Em um estudo realizado por Ribeiro et al. (2020), os autores verificaram que a ocorrência de episódios de ENOS pode gerar um aumento da evapotranspiração na bacia do rio Piracicaba-SP, o que pode contribuir para a redução da disponibilidade de água. Além disso, o estudo apontou que a intensidade e a duração dos episódios de ENOS podem influenciar a quantidade de água armazenada no solo e nos reservatórios

Moraes e Marengo (2022), relacionaram a relação entre a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO) e os eventos de El Niño sobre os eventos anômalos de precipitação na região sul do Brasil. Os resultados mostraram que a precipitação anômala mensal significativa ocorreu em toda a região somente durante eventos de El Niño intensos ou extremos, sem efeito de modulação do PDO independente de sua intensidade. Já com

presença de grandes eventos de La Niña a precipitação negativa esteve presente, já com alguma relação com a PDO.

Schossler et al. (2018), estudaram os padrões de precipitação na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (RS), por meio do teste *t* student, buscando possíveis conexões com a influência do Modo Anular do Hemisfério Sul (SAM) e o El Niño – Oscilação Sul (ENOS). Os autores confirmaram a influência dos elementos nos setores sul e central da planície.

Monteiro (2022), buscando teleconexões entre os diversos elementos climatológicos e a precipitação no semiárido do nordeste brasileiro, identificou a influência direta nos períodos de seca e o fenômeno El Niño, assim como um incremento da chuva no período de La Niña.

Mutti et al. (2020), analisaram o balanço hidro-climático na bacia hidrográfica do rio São Francisco, numa série histórica de 75 anos (1942 - 2016). Nesse contexto, observaram que em grande parte de áreas, onde houve aumento de temperatura, foi verificado um decréscimo de precipitação.

Viegas et al. (2019), aponta a existência de estudos recentes que têm destacado a existência de dois tipos de eventos de El Niño: do Pacífico oriental ou Canônico (EP, sigla em inglês) e do Pacífico Central ou Modoki (CP, sigla em inglês). Em seus escritos, utiliza diferentes modelos matemáticos para avaliar o impacto desses eventos na América do Sul.

Cavalcanti (1996), analisou as consequências para a América do Sul atribuindo o período mais longo dos últimos 50 anos para o El Niño durante os anos de 1990 a 1995. Para a autora, as anomalias que ocorrem sobre a América do Sul são associadas principalmente ao deslocamento da célula de Walker e do fortalecimento do jato

subtropical. Kousky et al (1984), verificou anomalias de precipitação negativa na região nordeste e positivas no sul do Brasil. Kumar et al. (2022), estabeleceram a relação entre as vazões máximas no período de monções na bacia hidrográfica do baixo Godavari, na Índia, e o fenômeno ENOS. Embora os autores tenham verificado um aumento das vazões no período, os testes não apresentaram um nível de confiança de 95% sendo necessários novos trabalhos para esclarecer essa conexão.

Ropelewski e Halpert (1987) analisando séries temporais de precipitação em 1700 estações, identificaram as principais regiões do globo cuja precipitação é relacionada com o evento *El Niño*. Na América do Sul, essa associação ocorreria no período da Primavera e Verão. Kousky *et al.* (1984) observaram que durante os eventos *El Niño* ocorreram precipitações excessivas em algumas regiões do Brasil, mas no período de inverno. Já em 1989, os mesmos autores estudaram novamente a mesma região e encontraram anomalias de precipitação negativas entre junho e dezembro para os anos de La Niña.

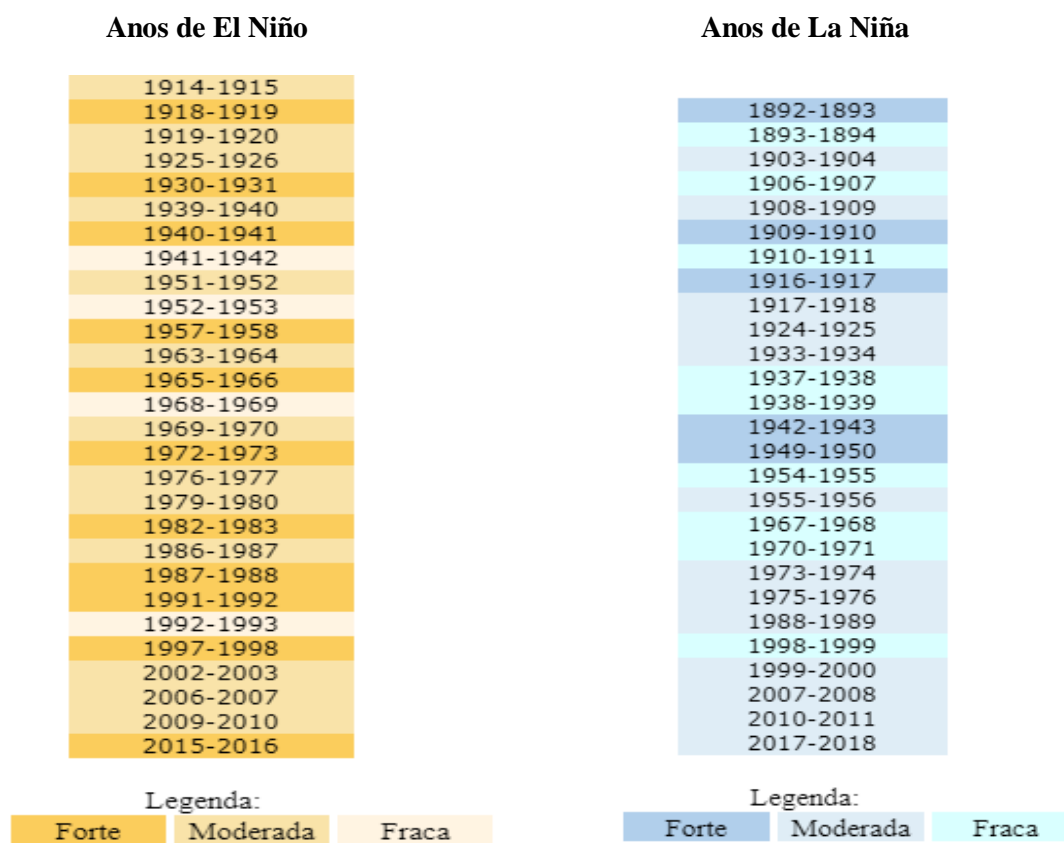
Rao e Hada (1990) correlacionaram as precipitações no Brasil com o Índice de Oscilação Sul (IOS) sendo um dos primeiros autores a estabelecer essa relação entre o ENOS e as anomalias climáticas. Diaz e Studzinski (1994), estudaram a influência das TSM no Atlântico Sul e do PACE nas precipitações, encontrando uma boa coerência espacial entre as anomalias de TSM.

Matzenauer (2017), observou, no Rio Grande do Sul, que em todas as estações do ano chove mais em eventos El Niño, com destaque para a primavera e menos em eventos La Niña na primavera. Já no verão, outono e inverno, as precipitações pluviais são similares em eventos La Niña e Neutros. Em março chove mais em eventos La Niña e em julho há maior precipitação em anos neutros.

Kiladis e Diaz (1989) concluíram que anomalias de precipitação relacionadas com El Niño e La Niña atingem as mesmas regiões em períodos iguais ou pouco defasados e apresentam características opostas. Importante ressaltar que as análises de ENOS não levam em consideração as especificidades locais, apresentando somente o fenômeno em sua escala pequena de análise.

As ocorrências do ENOS já foram datadas e quantificadas. De acordo com o CPTEC-INPE - os fenômenos podem ser classificados como fracos, médios e fortes. A metodologia utilizada pela classificação foi desenvolvida por Trenberth (1997), no qual são classificados como fortes as anomalias de TSM acima a 1,5°C em alguns meses da série, moderadas com valores entre 1,5°C e 1,0 °C e por fim as ocorrências consideradas fracas com valores inferiores a 1,0°C, mas superiores a 0,5°C. Os dados analisados são originados do Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST-v5).

A figura 9 classifica e temporiza os fenômenos.



**Figura 9.** Intensidade e ocorrência do fenômeno ENOS. **Fonte:** CPTEC - INPE.

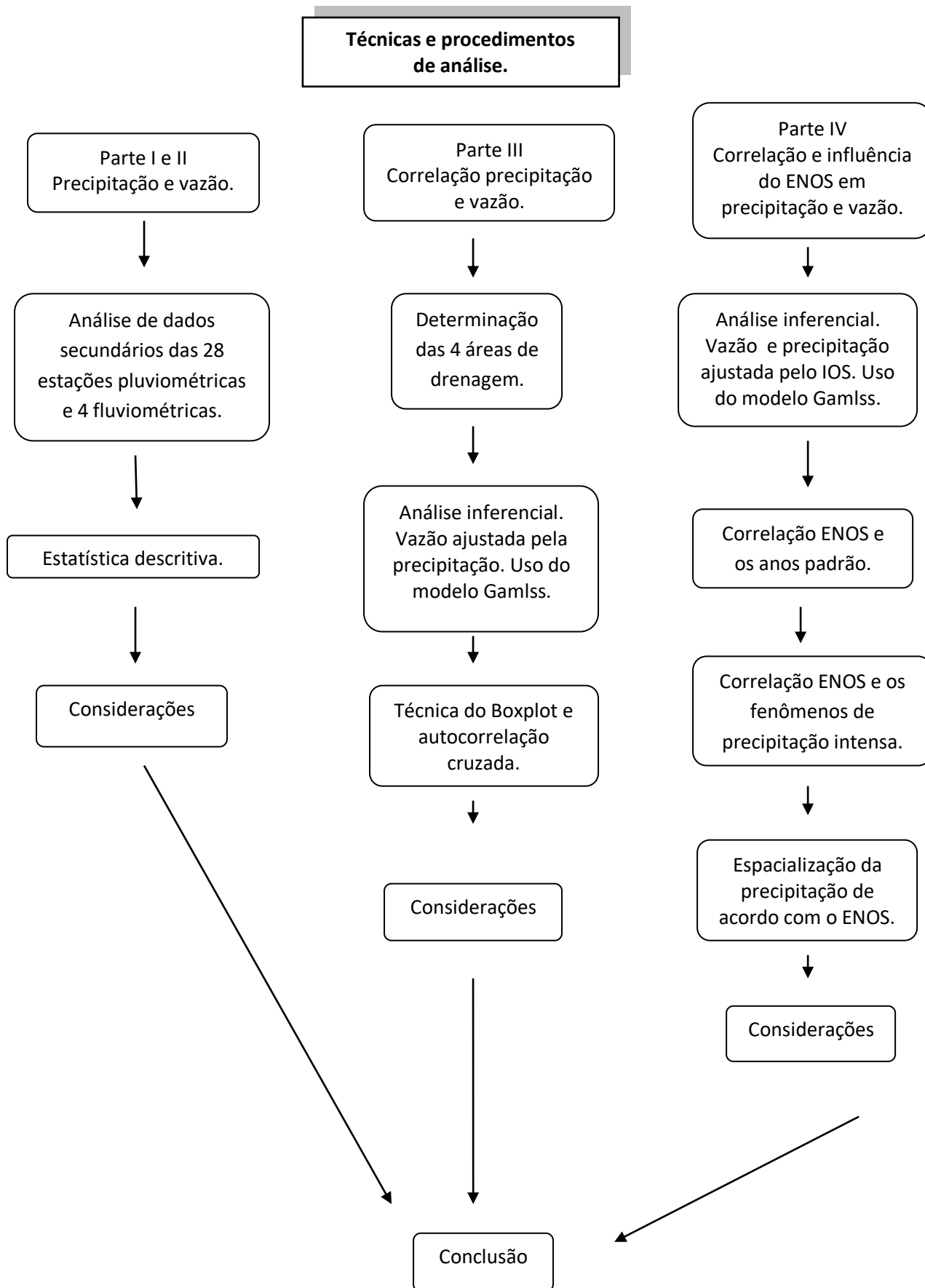
No próximo item a metodologia será apresentada, caracterizando o sistema de análise dos dados do presente trabalho.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

---

A presente pesquisa se baseou na observação e análise de dados diários de precipitação, vazão e IOS registrados nas estações meteorológicas que compõem a bacia hidrográfica do rio Piracicaba. Dentro dessa premissa, o método experimental dedutivo foi considerado o norteador dos passos aplicados durante a execução do trabalho. Segundo Rampazzo (2010), esse método parte da ideia de um elemento anterior, previamente conhecido, que por meio da análise de outros componentes chega-se a uma premissa geral. Logo, a hipótese apresentada consiste no princípio de ação e consequência do fenômeno ENOS em escalas cartográficas maiores, ou seja, áreas de menor abrangência, como no caso da bacia hidrográfica da presente pesquisa, já que se trata de elemento climático já conhecido, porém sem a precisão e influência em locais específicos. Para confirmar a hipótese apresentada foi utilizada uma série temporal de dados envolvendo precipitação pluviométrica, vazão fluvial e IOS. Conforme Shumway e Stoffer, 2017, o objetivo inicial de séries temporais é obter um conjunto estatístico que gere dados plausíveis, logo assume-se que uma série temporal é obtida por meio de variáveis aleatórias de acordo com o momento que foi registrada no tempo.

Nesse contexto, os dados foram analisados na primeira parte e segunda parte do trabalho de maneira isolada por meios de técnicas estatísticas descritivas, buscando compreender sua dinâmica de ação na área de estudo da pesquisa. Em seguida, as correlações, por meio de elementos probabilísticos, puderam ser estabelecidas na terceira e quarta parte da tese. A figura 10 exemplifica a sequência de métodos e técnicas utilizadas para a execução do trabalho.



**Figura 10.** Fluxograma dos procedimentos e técnicas utilizados na pesquisa.  
**Org.:** Adriano de Souza Antunes, 2023.

### 3.1 Procedimentos metodológicos

#### 3.1.1 - Obtenção de dados

Inicialmente, foram analisados dados diários de precipitação e vazão no período de 1981 a 2017, ou seja, 36 anos, fornecidos pela ANA (Agência Nacional de Águas) e pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), buscando compreender a dinâmica local da área de estudo. Por meio do software Excel e do sistema HidroWeb, foi realizada a análise integrada e estatística dos dados. Para a coleta dos dados, inicialmente foram escolhidas 31 estações meteorológicas, sendo 27 pluviométricas e 4 fluviométricas, mostradas na tabela 2.

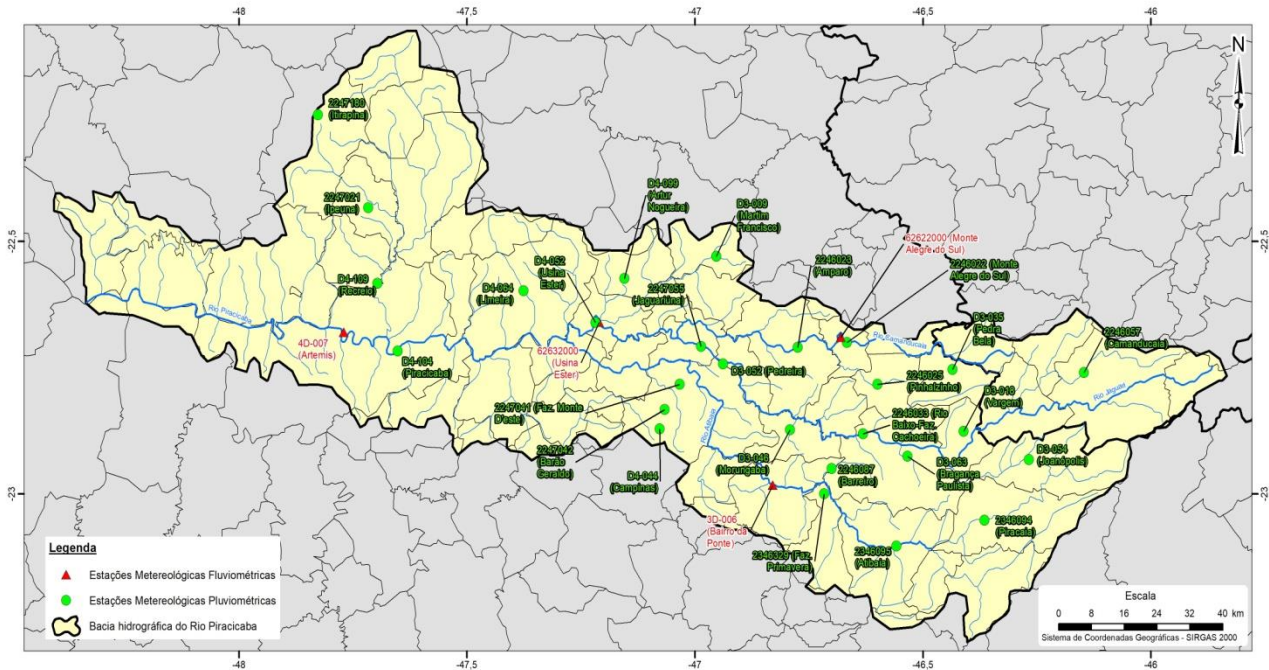
**Tabela 2.** Estações pluviométricas utilizadas na pesquisa.

| Posto | Código   | Nome da estação.     |
|-------|----------|----------------------|
| 1     | 2246057  | Camanducaia          |
| 2     | 2246025  | Pinhalzinho          |
| 3     | 2246023  | Amparo               |
| 4     | 2247055  | Jaguariúna           |
| 5     | 2246033  | Rio Abaixo           |
| 6     | 2246022  | Monte Alegre do Sul  |
| 7     | 2246087  | Barreiro             |
| 8     | 2346329  | Fazenda Primavera    |
| 9     | 2346095  | Atibaia              |
| 10    | 2346094  | Piracaia             |
| 11    | 2247041  | Fazenda Monte D'Este |
| 12    | 2247042  | Barão Geraldo        |
| 13    | 2247021  | Ipeúna               |
| 14    | 2247180  | Itirapina            |
| 15    | D3 - 009 | Martim Francisco     |
| 16    | D3 - 018 | Vargem               |
| 17    | D3 - 052 | Pedreira             |
| 18    | D3 - 054 | Joanópolis           |
| 19    | D3 - 063 | Bragança Paulista    |
| 20    | D4 - 052 | Usina Ester          |
| 21    | D4 - 099 | Artur Nogueira       |
| 22    | D3 - 035 | Pedra Bela           |
| 23    | D3 - 046 | Morungaba            |
| 24    | D4 - 044 | Campinas             |
| 25    | D4 - 064 | Limeira              |
| 26    | D4 - 104 | Piracicaba           |
| 27    | D4 - 109 | Recreio              |

Org. Adriano de Souza Antunes, 2023.



Sobre o critério para a seleção das estações, contemplou-se a consistência da coleta, ou seja, a série deveria estar completa entre 1981 e 2017. A figura 11 mostra o local exato das estações utilizadas no presente estudo.



**Figura 11.** Distribuição das estações pluviométricos utilizados na pesquisa. **Org.:** Adriano de Souza Antunes, 2020.

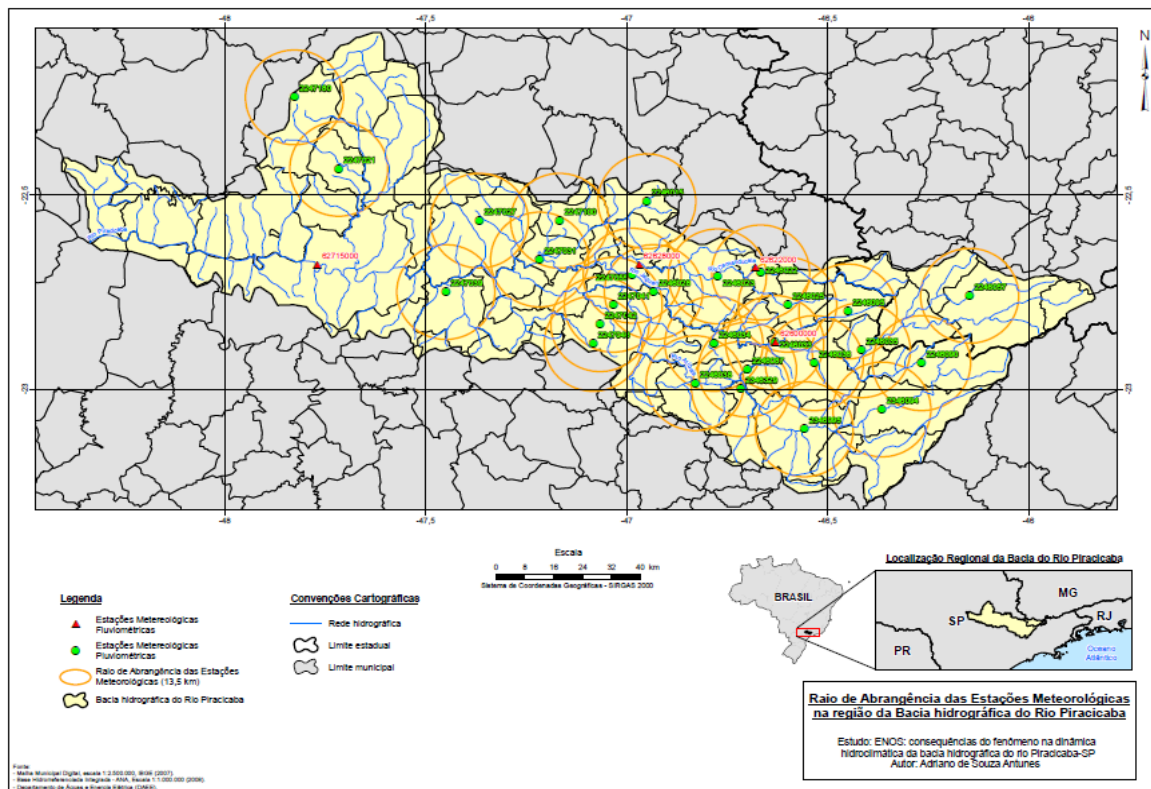
Segundo a Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1994) a densidade mínima de postos pluviométricos para a análise climatológica em áreas planas no interior do continente é de 575 km<sup>2</sup>. Para a realização dessa estimativa, foram considerados os aspectos físicos das diferentes paisagens, ou seja, relevo, características climáticas, entre outros. Logo, para a elaboração do raio de abrangência (buffer) dos postos pluviométricos, foi utilizada a fórmula da área do círculo representada abaixo e evidenciada na figura 12.

$$A = \pi r^2$$

$$575 = 3,1415 \cdot r^2$$

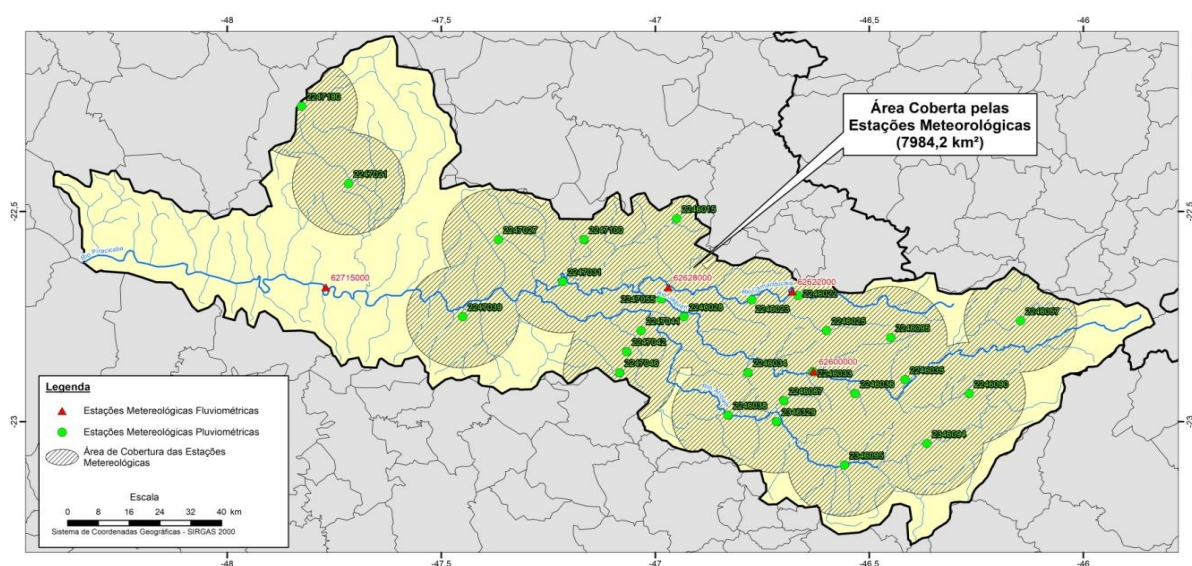
$$\sqrt{575/3,1415} = r$$

$$r = 13,5 \text{ km}$$



**Figura 12.** Raio de abrangência das estações pluviométricos segundo critério estabelecido pela WMO (1994). **Org.:** Adriano de Souza Antunes, 2020.

Observando a figura 13, pode-se observar que, segundo o método proposto pela WMO, a área da bacia hidrográfica possui uma cobertura considerável em relação a existência de postos pluviométricos, mais precisamente 66% da área.



**Figura 13:** Área da bacia hidrográfica coberta pelas estações meteorológicas. **Org.:** Adriano de Souza Antunes, 2022.

Após a seleção das estações, verificamos que o banco de dados apresentava 0,25% de falhas, incluindo dados ausentes ou discrepantes. Logo verificamos a necessidade da correção desses registros, que de certa forma poderiam comprometer os resultados do trabalho. Logo optamos pelo método da média aritmética, representado pela equação abaixo:

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$$

Segundo Bertoni e Tucci (2001), identifica-se o mês faltante calcula-se a média mensal do mesmo mês dos demais anos da série e o resultado será utilizado no preenchimento da lacuna, no qual N representa as estações pluviométricas, com as alturas de chuva medidas em cada estação indicadas por  $P_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, N$ ) e P a precipitação média na bacia.

Para verificar a consistência do banco de dados foi determinado o coeficiente de determinação para os 27 postos pluviométricos e suas respectivas precipitações mensais no período de 36 anos e comparou-se à média mensal de toda a série histórica. Os resultados de  $r^2$  verificados nos indicam que os postos não indicam valores destoantes, conforme a tabela 3, onde o menor coeficiente de determinação foi de 0,89 e o maior 0,97. Empregando o teste t-student todos os 27 postos resultaram em correlação significativa ao nível de 93%, demonstrando que os postos possuem valores congruentes com as séries analisadas.

**Tabela 3.** Coeficiente de determinação para os 27 postos pluviométricos na bacia hidrográfica do rio Piracicaba.

| Posto | Coeficiente de Det. ( $r^2$ ) | Posto | Coeficiente de Det. ( $r^2$ ) |
|-------|-------------------------------|-------|-------------------------------|
| 1     | 0,91                          | 15    | 0,94                          |
| 2     | 0,90                          | 16    | 0,93                          |
| 3     | 0,92                          | 17    | 0,92                          |
| 4     | 0,94                          | 18    | 0,93                          |

|    |      |    |      |
|----|------|----|------|
| 5  | 0,95 | 19 | 0,94 |
| 6  | 0,93 | 20 | 0,95 |
| 7  | 0,93 | 21 | 0,97 |
| 8  | 0,96 | 22 | 0,91 |
| 9  | 0,93 | 23 | 0,90 |
| 10 | 0,92 | 24 | 0,92 |
| 11 | 0,91 | 25 | 0,91 |
| 12 | 0,91 | 26 | 0,93 |
| 13 | 0,89 | 27 | 0,94 |
| 14 | 0,91 |    |      |

Org.; Adriano de Souza Antunes (2023)

Durante os dias de trabalho algumas estações pluviométricas foram observadas, buscando conhecer a dinâmica de instalação e localização dos equipamentos.

Parte dos equipamentos estavam localizados em campo gramado e espaçado, livre de qualquer barreira, exatamente como recomendado pela WMO (1994, 2008). Nesse contexto, parte dos pluviômetros da bacia hidrográfica são do sistema de balança convencional, como o da figura 14.



**Figuras 14:** Pluviômetros localizado em Piracicaba. **Foto:** Roberto Amaral.

Esses medidores funcionam de maneira automática, sendo a periodicidade de suas leituras reguladas de acordo com a necessidade do pesquisador. O aparelho possui uma abertura na parte superior do sensor, onde a chuva é coletada e, em seguida, canalizada por um funil para um dispositivo mecânico, chamado de balde de inclinação



ou báscula (SIGMA SENSOR). A medida que o volume da água "pesa" sobre a báscula, a mesma pende para um lado enviando a água para o funil onde o registro  realizado e o sistema volta para um novo ciclo de coleta.



**Figura 15.** Pluviômetro de báscula convencional. Fonte: <https://sigmasensors.com.br/produtos/pluviometro-de-bascula-tr-525m>. **Org.** Adriano de Souza Antunes (2023).

Durante os estudos de Pinheiro et al (2014), no qual foi investigada a acurácia de diferentes tipos de pluviômetros, foi verificado que aqueles que funcionam de maneira automática apresentam relativas diferenças de resultados se comparados aos equipamentos manuais. Segundo os autores, pluviômetros de báscula convencional e de compensao podem apresentar diferença de 13% no total diário ou período longo. Já em períodos curtos, como por exemplo 5 minutos, podem ocorrer sub medio de até 21%, afetando principalmente o planejamento urbano em relao as chuvas intensas de determinada localidade.

Posteriormente, para a composio dos mapas foram utilizados o software ArcGis 10.1 com as bases e informaes da BHRP disponíveis nos sites do IBGE, ANA e DAEE.

### 3.1.2 Análise descritiva da precipitação.

A estatística descritiva se apresenta como um importante elemento na busca por respostas envolvendo as diferentes dimensões climáticas do planeta.

Nesse cenário, Crespo (2002), a descreve como uma das áreas da matemática cujos objetivos são fornecer métodos para compreensão, organização e descrição dos dados da pesquisa.

Costa (2011, p.19), define estatística descritiva como:

*...aquela que possui um conjunto de técnicas para planejar, organizar, coletar, resumir, classificar, apurar, descrever, comunicar e analisar os dados em tabelas, gráficos ou em outros recursos visuais, além do cálculo de estimativas de parâmetros representativos desses dados, interpretação de coeficientes e exposição que permitam descrever o fenômeno...*

Dentro dessa esfera de conhecimento, foram analisados os dados de precipitação e vazão e os elementos estatísticos produzidos.

A média foi calculada como elemento central, a referência para a possível verificação de uma anomalia, assim como os referenciais mínimos, médios e máximos da sequência de dados. Na continuidade foram produzidos gráficos da média de precipitação mensal e anual. Após a seleção dos dados, a construção dos gráficos proporcionou uma melhor visualização da variabilidade pluviométrica na bacia hidrográfica, conforme Galvani (2011).

Posteriormente foi calculado o desvio de precipitação em relação a média, buscando assim identificar possíveis variações anomalias mensais e anuais, sendo criados gráficos e tabelas, assim como as linhas de tendência introduzidas em todo o processo.

O desvio padrão, que segundo Downing e Clark (2000), evidencia o grau de dispersão dos valores em relação ao valor médio, por meio da unidade de medida da

variável. Já o coeficiente de variação se apresenta como uma solução estatística utilizada em diversas análises. Por meio de porcentagem, fornece a variação dos dados obtidos em relação à média. Quanto menor for o seu valor, mais homogêneos serão os dados. O coeficiente de variação é considerado baixo quando for menor ou igual a 25%.

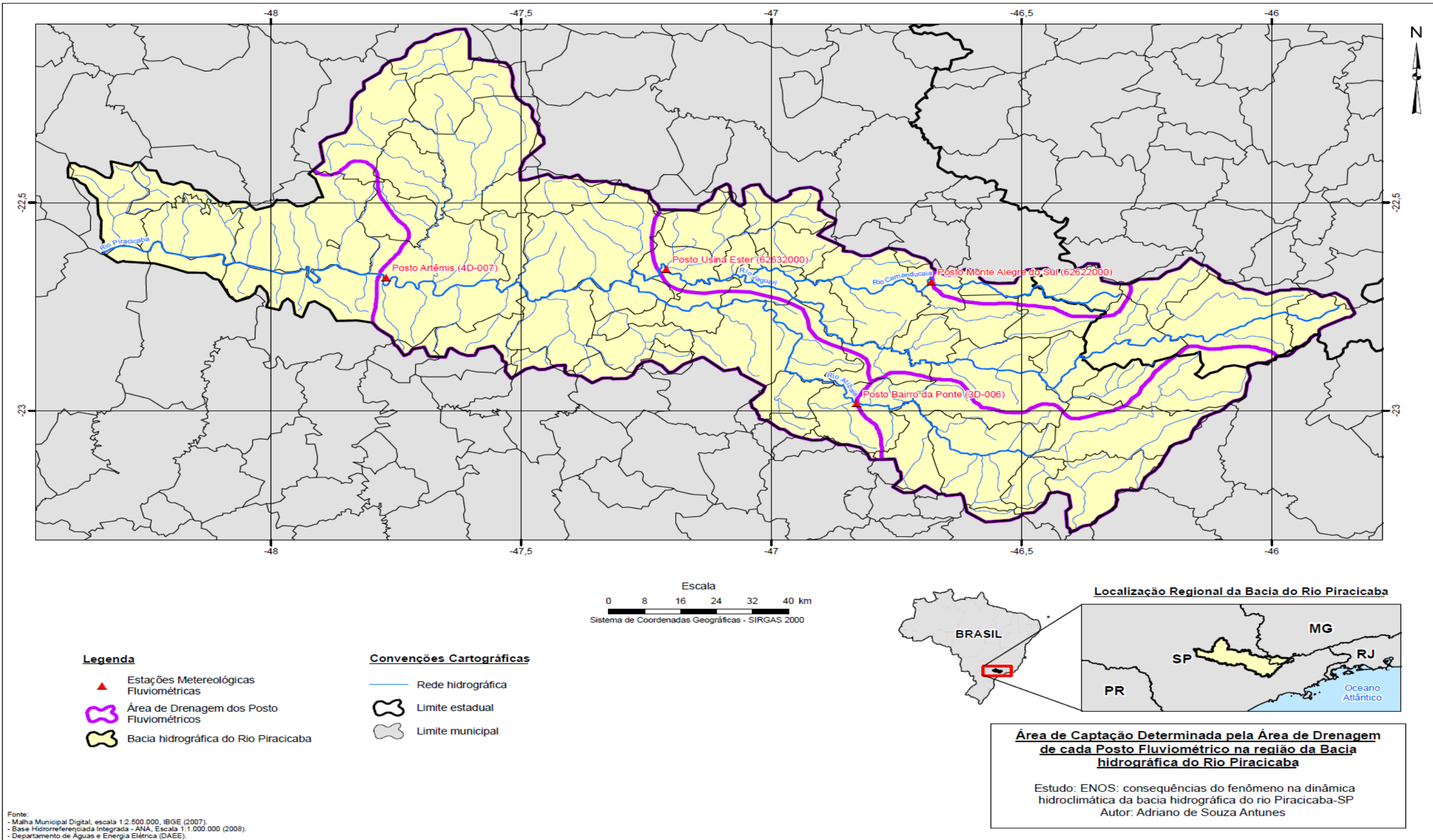
Bland e Altman 1996 p.1964, em seus escritos sobre o desvio padrão afirmaram que a variável indica uma medida de dispersão dos dados em torno de média amostral. "Um baixo desvio padrão indica que os pontos dos dados tendem a estar próximos da média ou do valor esperado. Um alto desvio padrão indica que os pontos dos dados estão espalhados por uma ampla gama de valores".

Finalmente os gráficos de frequência relativa foram produzidos, buscando a elucidação a acerca dos intervalos e volumes de precipitação em escala sazonal, mensal e anual.

Espera-se que com a análise estatística possamos perceber de fato a magnitude da influência do fenômeno ENOS, já que em anos considerados normais as características da sazonalidade climática são amplamente reconhecidas.

### **3.1.3 A vazão fluviométrica**

Os dados de vazão foram obtidos junto a Agência Nacional de Águas (ANA), sendo utilizadas as séries de 4 estações fluviométricas. A escolha se deu por meio da localização e da disponibilidade dos dados da série histórica. Logo, as estações selecionadas foram: Monte Alegre do Sul (código 62622000), Usina Ester (62632000) Bairro da Ponte (3D - 006) e Artêmis (4D -007), conforme mostra a figura 16 e a tabela 4. Nas estações selecionadas foram analisados os dados de vazão média mensal ( $m^3s^{-1}$ ).



16. Localização das estações fluviométricas na BHRP. **Org.:** Adriano de Souza Antunes (2023)

Figura



**Tabela 4:** Estações fluviométricas utilizadas na pesquisa.

| ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS        | LATITUDE (em graus) | LONGITUDE (em graus) |
|--------------------------------|---------------------|----------------------|
| 62632000 Usina Ester           | -22,88              | -46,63               |
| 62622000 (Monte Alegre do Sul) | -22,69              | -46,68               |
| 3D - 006 - Bairro da Ponte     | -22,69              | -46,68               |
| 4D -007 - Artêmis              | -22,68              | -47,77               |

Org. Adriano de Souza Antunes, 2020.

Segundo a ANA (2014, p.10), a vazão, também conhecida como descarga do rio, "é o volume de água que passa entre dois pontos por um dado período de tempo, normalmente, é geralmente expressa em metros cúbicos por segundo ( $m^3s^{-1}$ )". Entretanto a ANA, ressalta que a análise de apenas um dia da vazão do rio não é suficiente para a tomada de decisões, sendo necessário o registro de uma série histórica ou estabelecendo relação com as cotas do rio.

As cotas podem, conforme a ANA (2014, p.10), ser definidas como "o nível da água de um rio, sendo obtida por meio da leitura direta de uma régua, denominada régua linimétrica de alumínio, PVC ou fibra de vidro, graduada a cada 1 centímetro (cm) e numerada a cada 2 cm, instalada à margem do rio, seguindo sua seção transversal". Essas réguas podem ser dispostas sob diversas maneiras se adequando a dinâmica do rio. A figura 17 explicita essa realidade: para a leitura das cotas são instaladas as réguas em série, perpendicular ao eixo do rio, ou seja, acompanhando a seção transversal do rio.



**Figura 17:** Linímetros utilizados nas medições. **Fonte:** Maciel et al., 2015.

Logo a partir da relação das duas variáveis, vazão e cota é possível determinar qual é a vazão sem que exista a necessidade de observação diária, pois sem instaladas de maneira correta, as réguas, por meio da mecânica dos fluídos, sempre apontaram determinada vazão específica, ou seja, para cada medida verificada na régua existiria uma vazão já conhecida (ANA, 2014). Essa relação é denominada curva- chave.

### **3.1.4 Correlação vazão e precipitação na bacia hidrográfica do rio Piracicaba.**

A próxima etapa da pesquisa consiste na correlação entre os dados de vazão e precipitação. Para que a análise se desse especialmente de maneira mais clara entre as duas variáveis, optou-se por dividir a BHRP em 4 sub-bacias ou áreas de drenagem, como mostrado na figura 18.

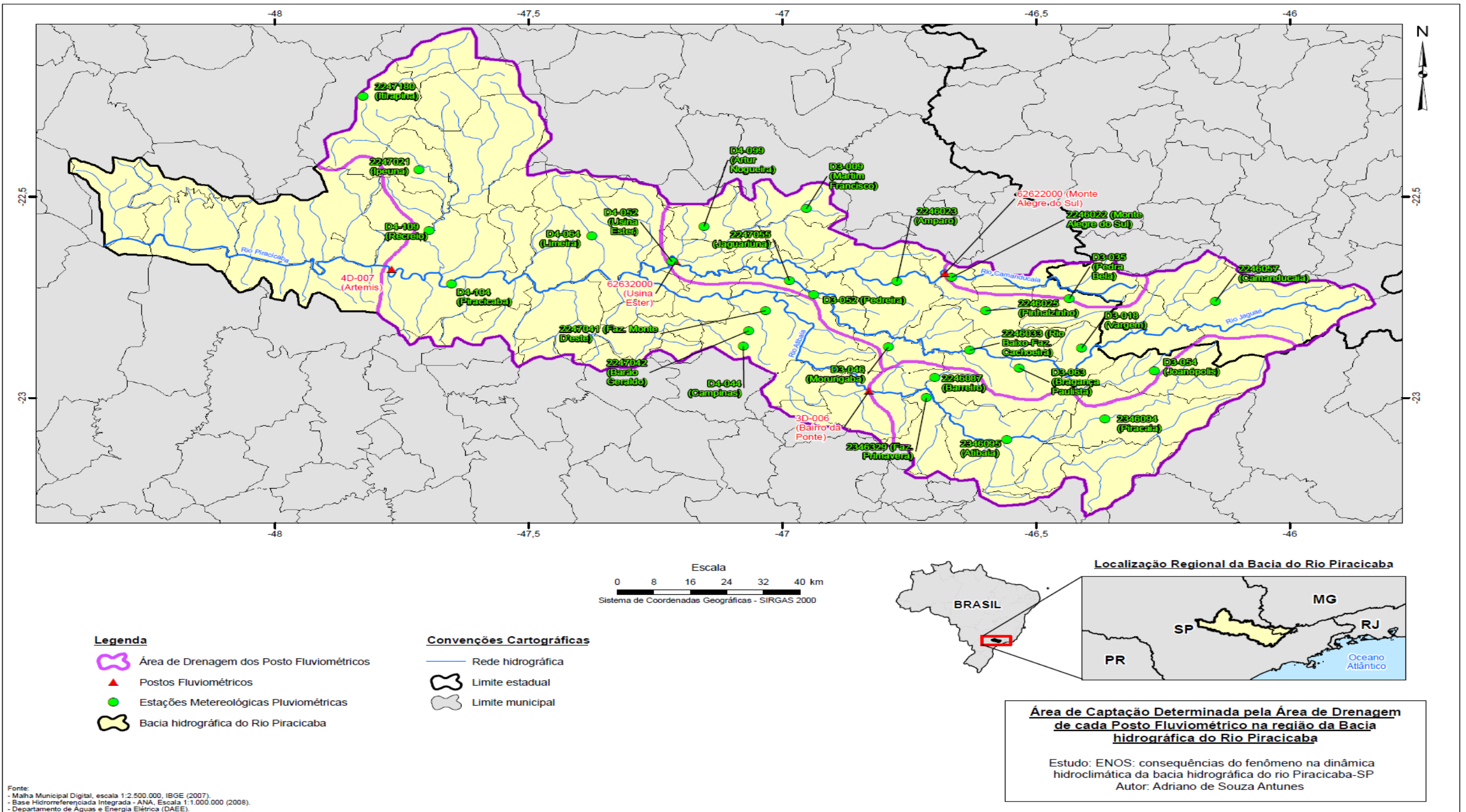


Figura 18. As 4 áreas de drenagem na e a localização das estações na BHRP.  
 Org. Adriano de Souza Antunes, 2023.

Cada sub-bacia hidrográfica recebeu o nome de sua estação fluviométrica correspondente. Nesse cenário obtivemos:

1. A sub-bacia hidrográfica de Ártemis. Com aproximadamente 10.839 km<sup>2</sup>, a maior área de drenagem da bacia hidrográfica, onde estão localizadas todas as estações pluviométricas. Localizada na região de mais baixa altitude da área de estudo, obtém os valores mais altos de vazão e sofre influência de toda a bacia a hidrográfica;

2. Usina Ester. Com aproximadamente 5.814 km<sup>2</sup>, é a segunda maior área de drenagem da região estudada. Nela estão inseridas as estações pluviométricas de Amparo, Artur Nogueira, Bragança Paulista, Camanducaia, Jaguariúna, Joanópolis, Martim Francisco, Pedreira, Pinhalzinho, Rio Abaixo - Faz. Cachoeira, Usina Ester e Vargem.

3. Bairro da Ponte. Com aproximadamente 1.993 km<sup>2</sup>, abriga as estações de pluviométricas de Atibaia, Barreiro, Fazenda Primavera e Piracaia;

4. Monte Alegre do Sul. Com aproximadamente 345 km<sup>2</sup>, sendo a menor das áreas de drenagem existentes na BHRP. Nela se encontram as estações pluviométricas de Monte Alegre do Sul e Pedra Bela;

Para transformar as séries das estações pluviométricas em um só elemento para cada sub-bacia, conforme o relatório de Chiann et al 2020, foi calculada a mediana das observações válidas de cada dia (para os gráficos de dados diários) e de cada mês (para os gráficos de dados mensais) das estações da sub-bacia.

### **3.1.5 - Análise estatística para a correlação vazão e precipitação**

Para que a correlação entre as variáveis pudesse ser estabelecida de maneira mais clara, a análise inferencial é iniciada nessa etapa do trabalho, onde foi modelada a relação entre a vazão mensal e a chuva mensal em cada sub-bacia. Todas as séries

analisadas foram sazonais. Entretanto foi compreendido que o efeito da sazonalidade pode esconder as consequências dos fenômenos ENOS na BHRP, logo optou-se pela elaboração dos gráficos com a presença e posteriormente sem a sazonalidade. Para isso, foi calculada a média para cada um dos doze meses do ano ao longo do período de estudo e subtraída cada observação da média do respectivo mês.

A modelagem de vazão ajustada pela precipitação foi executada nas 4 sub-bacias e apesar das diferentes etapas alguns procedimentos foram considerados comuns.

Neste momento do trabalho o termo *lag* será utilizado com frequência, que significa a distância temporal entre duas observações, ou seja, quando a chuva é de oito meses atrás em relação à vazão do mês atual, o lag será 8. Para chegarmos a essas conclusões, utilizamos a autocorrelação.

A Autocorrelação é uma técnica estatística que mede a relação entre uma série de dados e uma cópia de si mesma deslocada no tempo. O gráfico mostra a autocorrelação de cada observação em relação às observações anteriores, ou seja, quanto uma observação depende das anteriores. Os valores são plotados em relação ao tempo, com o eixo horizontal representando os atrasos ou defasagens, (ou lags) entre as observações. O eixo vertical representa os coeficientes de correlação entre as observações em cada atraso. Um valor de autocorrelação próximo a 1 indica uma forte correlação positiva, enquanto um valor próximo a -1 indica uma forte correlação negativa. Um valor próximo de 0 indica uma correlação fraca ou nenhuma correlação. O gráfico de autocorrelação é útil para analisar séries temporais e identificar padrões cíclicos ou sazonais nos dados, que é justamente o que buscamos nessa etapa do trabalho (GUIMARÃES, 2018).

Ainda conforme o autor, a linha pontilhada no gráfico representa o nível de significância estatística. Ela é chamada de limite de confiança e indica a região de não significância. Qualquer autocorrelação fora dessa linha é considerada estatisticamente significativa, o que significa que há uma alta probabilidade de que a autocorrelação observada não seja devido ao acaso. Se uma autocorrelação está acima da linha pontilhada, isso indica uma forte correlação positiva, enquanto que abaixo da linha pontilhada indica uma forte correlação negativa. Se a autocorrelação estiver na linha pontilhada, isso sugere que não há evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que a autocorrelação é igual a zero, ou seja, não há correlação significativa.

Buscando informações acerca da influência do ENOS, um passo a passo foi elaborado junto as diretrizes de modelagem e estatística. Para que se chegasse ao lag X, inicialmente foi construído um gráfico de correlação cruzada.

Um gráfico de correlação cruzada representa duas variáveis, onde a linha vertical representa o atraso da série temporal de uma variável em relação à outra. Cada linha representa um atraso específico. Conforme Figueiredo Filho (2009), quando a linha vertical está no centro do gráfico, significa que não há atraso entre as séries, ou seja, as duas séries temporais estão sendo comparadas no mesmo momento. À medida que a linha se move para a direita ou para a esquerda, o atraso entre as séries temporais aumenta ou diminui, respectivamente.

Ainda conforme o mesmo autor, a interpretação dos resultados do gráfico de correlação cruzada depende do objetivo da análise e das características das séries temporais em questão. A presença de correlação cruzada significativa em um determinado atraso pode indicar que uma variável é um bom preditor da outra em um determinado período de tempo. Por exemplo, a correlação cruzada empregada no

presente trabalho aborda a análise entre a precipitação e a vazão e dessa forma, podemos inferir que a precipitação é um fator importante na variação da vazão.

Além das linhas verticais e horizontais, o gráfico de correlações cruzadas também pode incluir uma linha pontilhada, que representa a significância estatística das correlações. Essa linha é traçada em um nível de confiança pré-estabelecido, geralmente 95% ou 99%, e indica se as correlações entre as séries são estatisticamente significativas. Quando uma correlação ultrapassa essa linha pontilhada, significa que a correlação é considerada significativa, ou seja, há evidência estatística para indicar que a relação entre as duas séries é real e não apenas fruto do acaso.

A função de correlação cruzada nada mais é do que a correlação entre as observações de duas séries temporais  $x_t$  e  $y_t$ , separadas por  $k$  unidades de tempo (a correlação entre  $y_{t+k}$  e  $x_t$ ) (CAMELO, 2019).

Nesse cenário, para que se chegasse ao lag  $X$  foram elaborados gráficos entre  $X$  no instante  $(t+h)$  (a série explicativa) e  $Y$  no instante  $t$  (a série resposta). Como o objetivo era que  $X$  explicasse  $Y$ , mesmo que haja correlações parciais significativas nos lags maiores que zero ( $h > 0$ ), elas foram ignoradas, pois  $X$  no instante  $t$  só pode influenciar  $Y$  no instante maior ou igual a  $t$  (no futuro ou no presente), nunca no passado. Por meio desse gráfico foram escolhidos quais lags deveriam ser testados para ficar ou não no modelo. Os lags escolhidos foram aqueles que estavam acima do intervalo de confiança tracejado no gráfico, ou seja, aquelas correlações estatisticamente superiores a zero. Além disso, a tendência foi testada, buscando se há indícios de que  $Y$  vem caindo ou crescendo ao longo do tempo.

A próxima etapa foi ajustar o modelo de regressão. Inicialmente o modelo clássico foi testado onde supõe-se que os dados tenham distribuição normal. Em nenhum dos casos tal suposição foi válida, o que foi possível avaliar através dos gráficos de resíduos, composto por quatro elementos: Against Fitted Values, Against Index, Density Estimate e QQ plot.

O gráfico "Against Fitted Values" mostra se há alguma relação entre os valores ajustados e os resíduos. Se houver, é um sinal de que o modelo pode estar inadequado. O gráfico representa os valores observados em relação aos valores ajustados pelo modelo de regressão. No eixo horizontal são plotados os valores ajustados e no eixo vertical os valores observados. Cada ponto representa um par de valores (observado e ajustado) para uma determinada observação (PRABHAKARAN, 2016).

Se os pontos estão concentrados próximos a zero e não há outliers visíveis, isso pode indicar que o modelo de regressão utilizado é adequado para explicar a relação entre as variáveis. Nesse caso, é possível interpretar que os valores observados da variável resposta, no eixo y, estão próximos dos valores previstos pelo modelo no eixo x (PRABHAKARAN, 2016).

Para interpretar o gráfico, é importante observar a distribuição dos pontos na representação. Se houver uma relação linear clara entre as variáveis, os pontos devem formar uma nuvem de pontos inclinada positivamente ou negativamente. Se não houver uma relação linear clara, os pontos podem estar dispersos aleatoriamente ou apresentar um padrão não linear (PRABHAKARAN, 2016).

No gráfico "against index", conforme Guimarães (2018), os pontos são plotados de acordo com o índice das observações no eixo horizontal e o desvio residual padronizado no eixo vertical. Os pontos que estão próximos de zero no eixo vertical



indicam que o modelo se ajustou bem aos dados, enquanto os pontos que estão distantes de zero podem indicar problemas de ajuste do modelo.

Já a escala de 0 a 400 no eixo vertical representa a magnitude do desvio residual padronizado em relação ao desvio padrão dos resíduos. Quando os pontos estão entre 2 e -2 na escala do eixo vertical, significa que o desvio residual padronizado tem magnitude menor que 2 desvios padrões, ou seja, está dentro de um intervalo considerado aceitável. Se algum ponto estiver acima de 2 ou abaixo de -2, isso pode indicar que o modelo não está se ajustando bem aos dados (GUIMARÃES, 2018).

Density estimate é um gráfico que apresenta a densidade de probabilidade de uma variável contínua. Conforme Prabhakaran (2016), é uma forma de visualizar a distribuição de probabilidade de uma variável, mostrando a frequência relativa dos valores em uma escala contínua. O eixo x do gráfico representa os valores da variável, enquanto o eixo y representa a densidade de probabilidade.

Ainda conforme o autor, a interpretação do gráfico depende da forma da curva. Se a curva for simétrica e unimodal, isso sugere que a variável segue uma distribuição normal ou gaussiana. Se a curva for assimétrica ou bimodal, isso sugere que a variável não segue uma distribuição normal.

O gráfico Q-Q plot é uma ferramenta útil para avaliar a adequação de um modelo aos dados, particularmente no que diz respeito à distribuição dos resíduos. Neste gráfico, os resíduos padronizados são plotados em relação aos quantis teóricos da distribuição normal. A linha diagonal no gráfico Q-Q plot é a linha de referência para essa distribuição. A linha ascendente que começa no ponto -2,5 e sobe até 3,0 no gráfico é a linha de referência para distribuição normal padronizada, também conhecida como distribuição normal padrão. Esta linha ajuda a avaliar a normalidade dos resíduos. Se os

pontos de dados estiverem distribuídos ao longo desta linha, isso sugere que a distribuição dos resíduos é normal. No entanto, se os pontos estiverem concentrados em um lado da linha ou apresentarem padrões claros, isso indica que a distribuição dos resíduos pode não ser normal (ANUNCIACÃO, 2021).

Conforme afirma Guimarães (2018), ao plotar os resíduos em um gráfico, é possível identificar se apresentam comportamento aleatório ou se existem padrões, como agrupamentos em determinadas regiões da representação, isso pode indicar que o modelo não está capturando corretamente algum efeito ou tendência presente nos dados. Assim, os gráficos de resíduos são úteis para avaliar a adequação do modelo aos dados, identificar possíveis problemas e ajustar o modelo, caso necessário. Eles também podem ser utilizados para verificar suposições importantes, como a normalidade e a homogeneidade da variância dos resíduos. Em resumo, podem ser considerados ferramentas valiosas para garantir a confiabilidade dos resultados obtidos em análises envolvendo diversas variáveis e situações.

Em seguida, utilizando-se a função `fitDist` do pacote `Gamlss`, disponível no software R, foi ajustado um modelo de regressão com uma distribuição sugerida que se adequasse aos dados. Em seguida, foi selecionado o melhor modelo através do método *stepwise*, que usa o AIC (Critério de Informação de Akaike) como critério de seleção das variáveis do modelo. O procedimento foi feito com a opção `direction=both`, isto é, o modelo com menor AIC será selecionado, e como foi escolhida a opção “ambas” para a direção do modelo, então o mesmo diminuirá e crescerá o número de variáveis conforme o AIC diminui até que encontre o modelo com melhor combinação de variáveis.

Vale ressaltar que para testar a influência de um lag, por exemplo a do lag 8, foi necessário eliminar os primeiros oito meses da variável resposta, para comparar o primeiro mês da variável explicativa com o nono mês da variável resposta. Como a amostra é grande o suficiente isso não foi um problema.

### 3.1.6 ENOS

A ocorrência de ENOS foi analisada por meio do Índice de Oscilação Sul (IOS). Correa e Galvani (2020) adotaram a classificação dos diferentes meses de acordo com a metodologia (Troup SOI) do Serviço de Meteorologia da Austrália, assim sendo o mesmo critério do presente trabalho,

Conforme os autores (p.24), nessa metodologia de análise do IOS,

(...) consideram-se os meses de ocorrência de IOS negativo (El Niño) inferior a -7 e IOS positivo (La Niña) superior a +7. Os valores de IOS apresentados pelo órgão responsável foram multiplicados por 10 (por convenção) e tem valores máximos variando entre -35 e +35.

O cálculo para a obtenção dos valores normalizados de IOS é apresentado na equação abaixo:

$$SOI = 10 \cdot (Pdiff - Pdiffav) / SD(Pdiff)$$

SOI = Índice de Oscilação Sul (IOS)

Pdiff = Diferença entre a pressão atmosférica medida no Taiti e Darwin para o mês.

Pdiffav = Média de Pdiff para o mês em questão.

SD(Pdiff) = Desvio padrão de Pdiff para o mês em questão

Fornecidos pelo Bureau of Meteorology – National Climate Centre Austrália, os dados da TSM foram mensurados em regiões denominadas de *Niño* no Pacífico Equatorial, quais sejam, *Niño* 1+2 (0-10°S, 90-80°W), *Niño* 3 (5°N-5°S, 150°-90°W), *Niño* 4 (5°N-5°S, 160°E-150°W) e *Niño* 3.4 (5°N-5°S, 170-120°W), esta última

abrangendo partes de *Niño* 3 e 4, que foi considerada para obtenção dos dados nesse trabalho.

Vale ressaltar que as regiões, embora próximas podem apresentar especificidades diferentes em virtude da diferença das forçantes naturais, entre elas, temperatura, pressão e velocidade dos ventos.

### **3.1.7 Correlação ENOS, Precipitação e Vazão.**

Para que a influência de ENOS fosse mensurada, a vazão e a precipitação foram ajustados pelo IOS na sub-bacia Artêmis. Essa área de drenagem é a maior, ocupando cerca de 85% da extensão total na BHRP.

Assim, alguns ajustes e técnicas foram executados dentro do processo de modelagem, averiguando a influência do ENOS na vazão da sub-bacia citada. Inicialmente buscou-se uma distribuição para a variável resposta (aquela que pode ser medida ou observada), uma vez que não foi possível um bom ajuste para um modelo com variável resposta normal. A distribuição sugerida pela função `fitDist` do modelo `Gamlss` foi a de Johnson Su. Conhecida como uma variável aleatória contínua, cuja definição pode ser estabelecida por

...uma função real (isto é, que assume valores em  $\mathbb{R}$ ), definida no espaço amostral  $\Omega$  de um experimento aleatório. Dito de outra forma, uma variável aleatória é uma função que associa um número real a cada evento de  $\Omega$ . (Farias, p.3, 2020)

Como próxima técnica, nesse caso, foi escolhido o modelo final através do processo `stepwise`. Segundo Alves et al, p.2, 2013,

O método `stepwise` é usado para selecionar quais variáveis mais influenciam o conjunto de saída podendo, assim, diminuir o número de variáveis a compor a equação de regressão.

Definidos os candidatos, o próximo estágio foi ajustar o modelo e analisar os resíduos por meio dos gráficos de resíduos versus ajustes.

### 3.1.8 Correlação ENOS - Anos Padrão.

Buscando uma possível relação entre os anos com incidência de ENOS e a dinâmica de precipitação da BHRP, foi realizada a metodologia de anos-padrão proposta por Santa'Anna Neto, 1995. Por meio dos dados de precipitação e do cálculo do desvio padrão é possível identificar os anos considerados secos, habituais ou chuvosos, de acordo com tabela 5. Nesse contexto:

**Tabela 5:** cálculo das diferentes faixas de precipitação

|                        |                                       |  |
|------------------------|---------------------------------------|--|
| Ano chuvoso            | $P > P_m + \sigma$                    |  |
| Ano tendente a chuvoso | $P_m + \sigma/2$                      |  |
| Ano habitual           | $P_m - \sigma/2 < P < P_m + \sigma/2$ |  |
| Ano tendente a seco    | $P_m - \sigma/2$                      |  |
| Ano seco               | $P < P_m - \sigma$                    |  |

Fonte: Antunes, 2015

$P_m$  - precipitação média

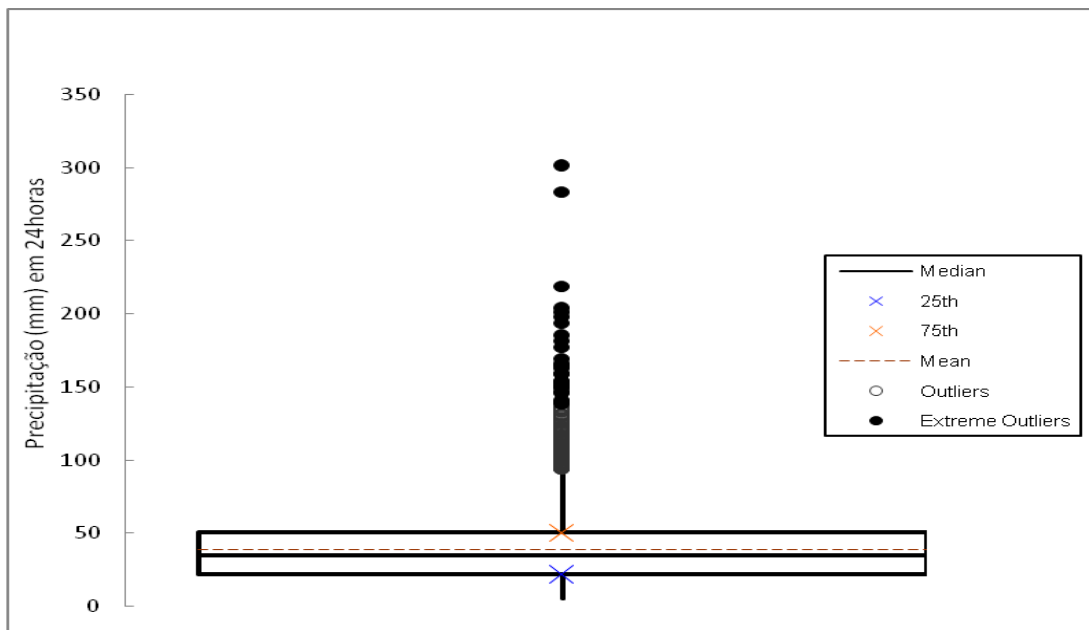
$\sigma$  - desvio padrão

$P$  - precipitação

Dessa forma, foi calculada a média e o desvio padrão das 27 estações pluviométricas durante a série temporal analisada. A partir dos cálculos foi possível identificar os anos chuvosos, tendentes a chuvosos, habituais, tendentes a secos e secos. Logo, estabelecemos uma possível relação entre os anos considerados chuvosos e a atuação de ENOS em sua fase positiva assim como o efeito contrário.

### 3.1.9 Correlação ENOS - Eventos de precipitação intensa.

Nessa mesma etapa os eventos de precipitação intensa também são correlacionados com o fenômeno ENOS. Utilizando a metodologia de determinação de eventos intensos do boxplot, utilizada por ANTUNES, 2015, será possível perceber a existência da relação entre os eventos intensos e o fenômeno ENOS. A figura 19 mostra o gráfico elaborado e a determinação do limiar de 94 mm em 24 horas.



**Figura 19:** Gráfico box plot, apresentando a dispersão dos eventos de precipitação em 24 horas na bacia hidrográfica do rio Piracicaba. **Fonte:** Antunes, 2015.

A técnica em foi empregada a partir de uma adaptação da metodologia *Box plot* para anos padrão, aplicada por Galvani e Luchiari (2004). A técnica propõe uma análise estatística de dados mensais de precipitação de séries consideradas longas (30 anos ou mais), determinando assim os anos com regime pluviométrico normal, seco ou úmido, além daqueles considerados super úmidos e super secos.

A partir do cálculo utilizando o box plot, os limiares foram definidos e os limites dos quartis expressados na tabela 6.

**Tabela 6:** Classificação da precipitação diária.

| <b>Precipitação diária (mm)</b> | <b>Classificação</b>  |
|---------------------------------|-----------------------|
| 5% menores da série (outliers)  | Muito fraca           |
| Entre Vmin e 1° quartil         | Fraca                 |
| Entre 1° quartil e 3° quartil   | Normal                |
| Entre 3° quartil e Vmax         | Forte                 |
| 5% maiores da série (outliers)  | Muito forte (Intensa) |

Fonte: adaptado de Galvani e Luchiari, 2004. Org. Adriano de Souza Antunes (2023).

Dessa forma, foi considerado intenso o evento pluvial que estiver na faixa dos 5% maiores da série em 24 horas, ou seja, 94 mm em 24 horas.

### **3.1.10 ENOS: espacialização da precipitação**

Buscando uma dinâmica espacial e possíveis relações entre locais com maiores níveis de precipitação em anos de atuação de ENOS foram elaborados mapas de espacialização da precipitação. Para a elaboração da cartografia foram considerados somente os anos El Niño e La Niña considerados intensos.

Para o cálculo dos anos de ocorrência do fenômeno ENOS foi utilizada a metodologia apresentada em Trenberth 1997, onde o período considerado se deu entre agosto de um ano até julho do ano seguinte. Os anos onde a intensidade do fenômeno foi considerada forte são aqueles em que a anomalia de temperatura da superfície do mar (TSM) foi superior a 1,5°C em algum dos meses pertencentes à série, enquanto os episódios de intensidade moderada tiveram valores inferiores à 1,5°C mas superiores à 1,0°C, e por fim, os episódios de intensidade fraca são aqueles com valores inferiores à 1,0°C, mas superiores à 0,5°C. Nesse cenário foram produzidos 7 mapas de acordo com as características citadas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análise da estatística descritiva da precipitação

A BHRP apresentou uma precipitação média anual de 1450,0 mm, conforme a série analisada por meio dos dados das 27 estações pluviométricas no período de 1981 a 2017.

A dinâmica mensal reflete o clima local, com verões úmidos e invernos secos. O mês mais chuvoso foi janeiro com média de 265,8 mm mensais e todos os meses apresentaram precipitação inexistente dentro dos 37 anos estudados no presente trabalho. Os meses de inverno, apresentaram o maior coeficiente de variação, sendo junho (110,41%), julho (114,79%) e agosto (116,22%). Já o maior desvio padrão aconteceu em janeiro e o menor em agosto, assim projetadas na tabela 7.

**Tabela 7:** Análise estatística descritiva da série pluviométrica da área de estudo.

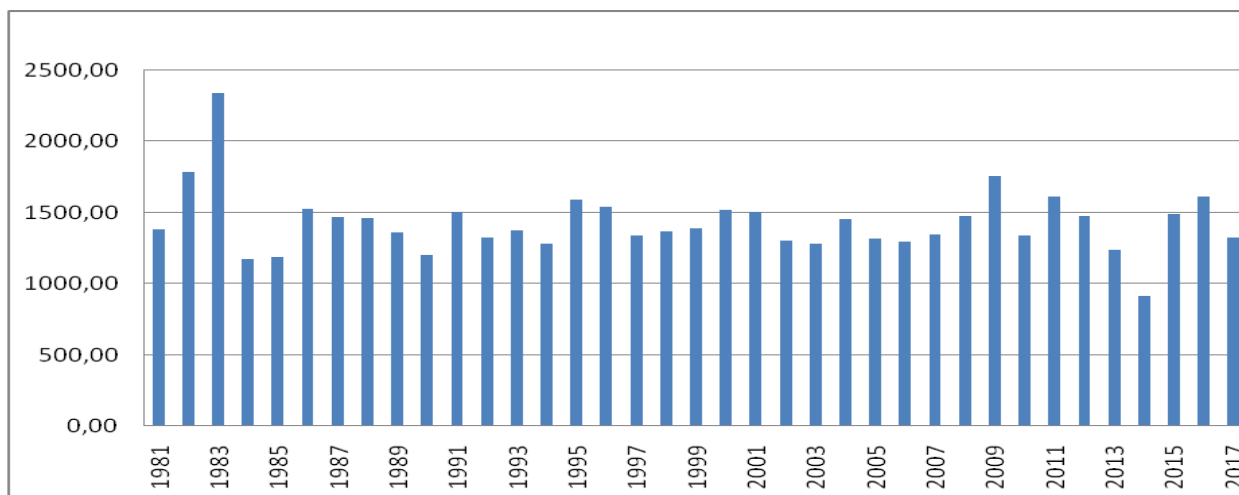
| Análise Descritiva |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Estatística        | JAN   | FEV   | MAR   | ABR   | MAI   | JUN   | JUL   | AGO   | SET   | OUT   | NOV   | DEZ   |
| Média (mm)         | 265,8 | 186,0 | 170,3 | 78,6  | 75,5  | 51,0  | 35,5  | 30,5  | 72,0  | 124,1 | 148,7 | 212,3 |
| Desvio Padrão (mm) | 119,7 | 97,3  | 83,0  | 53,3  | 59,2  | 56,3  | 40,8  | 35,4  | 58,9  | 73,9  | 68,3  | 89,7  |
| Mediana (mm)       | 260,1 | 178,5 | 162,1 | 69,4  | 60,7  | 31,2  | 22    | 18    | 64,7  | 111,3 | 143,3 | 201,2 |
| Máximo (mm)        | 346,1 | 795,8 | 536,5 | 553,2 | 404,7 | 399,7 | 217,1 | 181,3 | 359,6 | 501,2 | 418,4 | 778   |
| CV (%)             | 45,0  | 52,3  | 48,7  | 67,8  | 78,4  | 110,4 | 114,7 | 116,2 | 81,8  | 59,6  | 45,9  | 42,2  |

Org.; Adriano de Souza Antunes, 2023.

O ano mais chuvoso na BHRP foi 1983 com 2343 mm registrados, conforme a figura 20. Esse momento, coincide com o mais forte evento de *El Niño* registrado no período estudado. Gan et al. (2016), relata a relação oceano - atmosfera com uma das grandes fomentadoras de elevados totais de precipitação na América do Sul. O ano mais seco foi 2014 com 914,8 mm de chuva, ou seja, aproximadamente 61% a menos se comparado com o ano mais chuvoso. De maneira problemática, o ano de 2014 ficou conhecido pela crise hídrica que assolou o estado de São Paulo. A série apresentou uma



propensão a diminuição do volume pluviométrico durante os anos estudados. Embora a variabilidade tenha se feito presente, observamos uma ligeira homogeneidade das médias anuais.



**Figura 20:** Média pluviométrica anual (em mm) no período de 1981 à 2017 na BHRP.

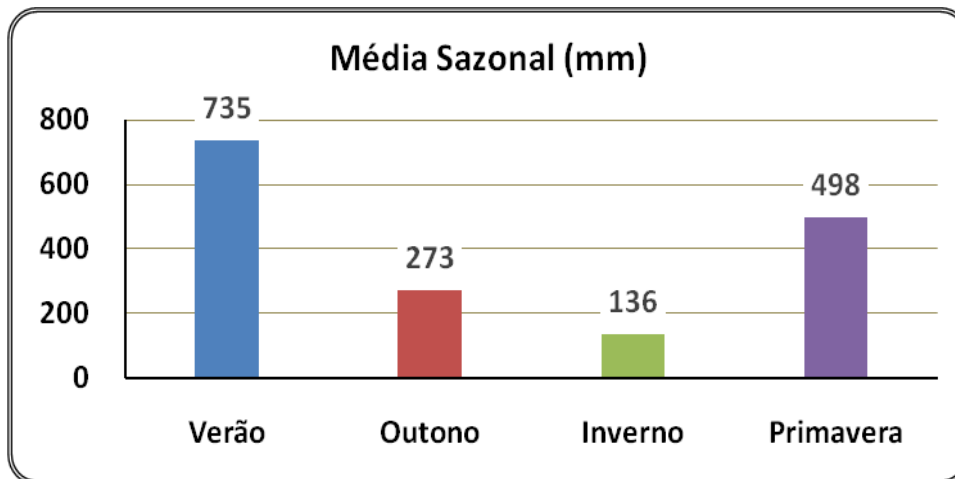
**Org.:** Adriano de Souza Antunes, 2023.

Do ponto de vista sazonal, a estação mais chuvosa foi o verão, com média de 735,3 mm, seguida da primavera com 497,9 mm. As estações com menores médias, como esperado em virtude da sazonalidade, são o outono com 272,5 mm e o inverno com 135,9 mm no período estudado, conforme a tabela 8 e figura 21.

**Tabela 8:** Análise estatística descritiva da precipitação pluviométrica sazonal.

| Estação do Ano | Média (mm) | D.P. (mm) | C.V.   | Máx. (mm) | Mín. (mm) | Amp. (mm) |
|----------------|------------|-----------|--------|-----------|-----------|-----------|
| Verão          | 735,3      | 187,0     | 25,43% | 867,6     | 603,1     | 264,4     |
| Outono         | 272,5      | 84,7      | 31,10% | 332,4     | 212,6     | 119,8     |
| Inverno        | 135,9      | 54,5      | 40,14% | 174,5     | 97,3      | 77,1      |
| Primavera      | 497,9      | 134,5     | 27,02% | 593,1     | 402,8     | 190,3     |

**Org.;** Adriano de Souza Antunes, 2023.



**Figura 21.** Média sazonal de precipitação. **Org.;** Adriano de Souza Antunes, 2023.

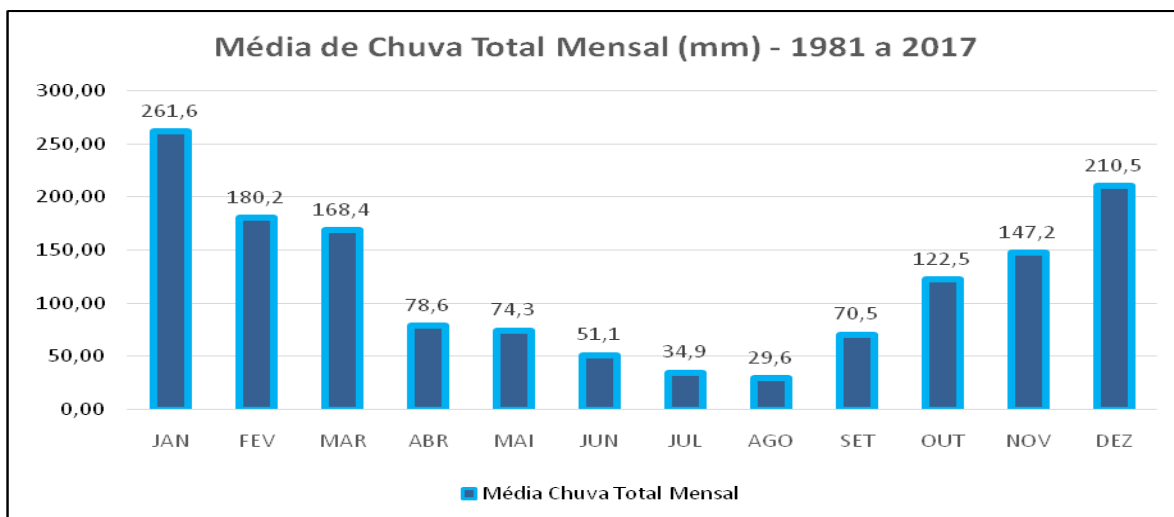
Levando em consideração as especificidades atmosféricas do sudeste do Brasil, as ZCAS são citadas por Nogués-Paegle et al. (2002), sendo considerados um dos principais responsáveis pelos elevados totais de precipitação na BHRP. Relacionado as ZCAS, o Sistema de Monção da América do Sul (SMAS) também vem atuando na região e, conseqüentemente, gerando grandes volumes de chuva na parte central do Amazonas e sudeste do Brasil. Grimm (2011) e Nielsen et al. (2019), também estabeleceram a mesma relação entre as ZCAS e o Sistema de Monção da América do Sul.

Sobre as monções, Gan et al. (2016), já determinaram a importância desse fenômeno para a configuração das chuvas na América do Sul. Entretanto, apontam que mudanças nesses padrões podem ocorrer de um ano para outro, trazendo como consequência a ocorrência de eventos extremos, entre eles, enchentes e secas. Nesse contexto, concluem que geralmente muitos destes eventos estão relacionados às interações entre oceano-atmosfera, principalmente sobre a região do oceano Pacífico Tropical, resultando no aparecimento natural do El Niño-Oscilação Sul (ENOS).

Já a Zona de Convergência do Atlântico Sul, as ZCAS, é um fenômeno atmosférico que desempenha papel fundamental no regime pluviométrico da América

do Sul, principalmente no Brasil, sendo responsável por intensos e persistentes períodos de precipitações (Ferreira et al., 2004), principalmente na primavera e no verão.

Além das ZCAS, os sistemas frontais também podem ser considerados grandes fomentadores de precipitação na região. Alvarenga 2012, aborda a questão do desenvolvimento temporal da precipitação por meio da existência das frentes frias. Segundo o autor, o período chuvoso começa mais cedo no sul da região sudeste em decorrência da existência desses fenômenos. Coincidindo com a atuação da ZCAS, no norte, observa-se um atraso da estação chuvosa de 2 a 3 meses em relação ao sul, em dezembro. Ainda conforme Alvarenga, o aquecimento das águas do oceano Pacífico também é um importante fator para as chuvas começarem mais cedo. A figura 22 mostra a média mensal de precipitação na BHRP durante o período estudado. O mês mais chuvoso foi janeiro com média de 261,6 mm e o menos chuvoso agosto com 34,1 mm verificados.



**Figura 22:** Média pluviométrica mensal no período de 1981 à 2017 na BHRP.

**Org.:** Adriano de Souza Antunes, 2023.

Dentro dessa perspectiva, as médias anuais de cada mês foram traçadas e de forma clara o ritmo climático marcado: invernos secos e os verões úmidos como já fato já amplamente conhecido pela ciência climática.

Durante o período analisado, a variabilidade anual apresenta volumes que podem ser considerados de elevada variabilidade. Entretanto, mesmo com a mudança de volumes entre os anos, a figura 22 nos mostra que o ritmo entre os meses dos diferentes anos continua muito parecido, denotando claramente a presença das especificidades tropicais na região.

#### **4.1.1 Análise da precipitação e a divisão em sub-bacias hidrográficas**

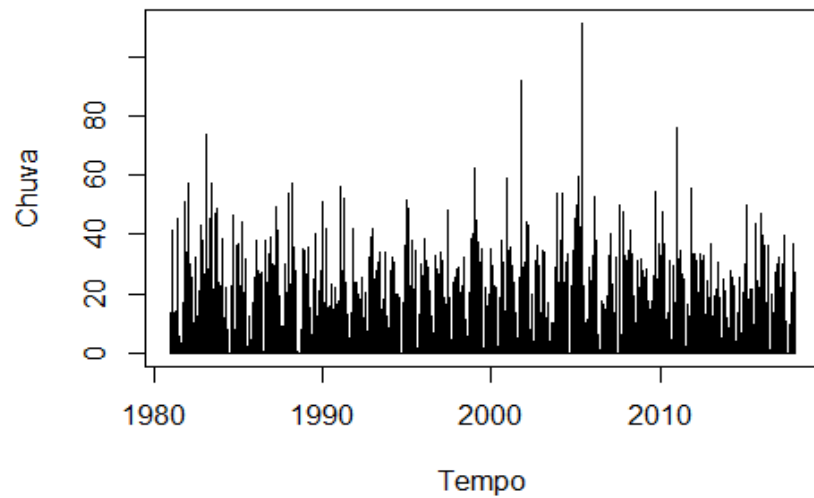
Para que os dados pluviométricos pudessem ser alinhados com os números fluviométricos a análise também foi realizada em cada uma das 4 sub-bacias.

Nesse contexto, importante ressaltar que a sub-bacia Ártemis engloba todas as estações da área de estudo. As outras sub-bacias não compartilham de nenhuma estação comum entre si.

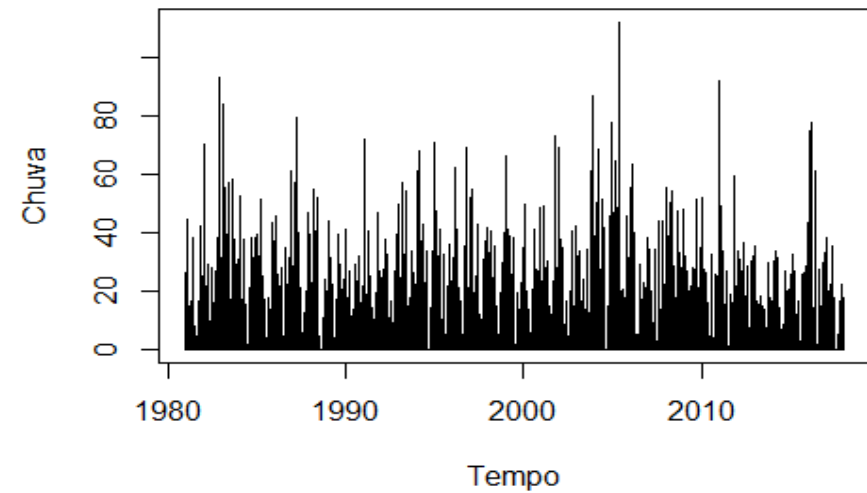
Nas figuras 23 a 26 podemos verificar a série da média da chuva diária em mm (milímetros) das 4 sub-bacias, enquanto nas figuras 27 a 30 encontra-se a série transformada para a verificação mensal. Estabelecendo uma relação entre as duas séries, é possível notar semelhanças nos registros com valores acima da média, já que nos meses de maiores máximas diárias, a tendência é que tenhamos maiores volumes acumulados no mês também.

É importante ressaltar que a relação entre a precipitação diária e mensal pode variar de acordo com a região analisada e com as condições climáticas locais. Duarte et. al (2015), ressaltam que em regiões onde a chuva é mais intensa e frequente, pode haver uma maior correlação entre a precipitação diária e mensal, pois geralmente há uma maior quantidade de sistemas meteorológicos passando pela área, o que leva a uma maior variabilidade na precipitação diária, mas também uma maior média de chuva mensal. Nesses locais, a relação entre a precipitação diária e mensal pode ser mais evidente, já que as chuvas diárias tendem a se somar e acumular ao longo do mês.

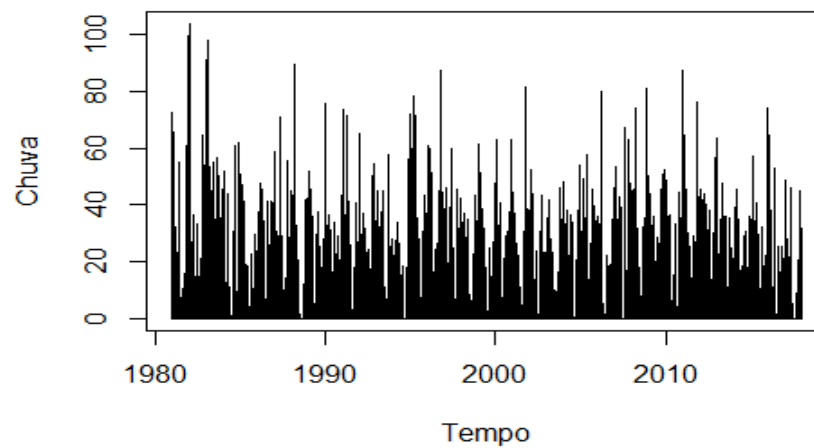
Ainda segundo os autores, por outro lado, em regiões com chuvas mais espaçadas e irregulares, geralmente há menos sistemas meteorológicos afetando a área, o que pode levar a uma menor variabilidade na precipitação diária e uma menor média de chuva mensal. Nesses locais, a relação entre a precipitação diária e mensal pode ser menos evidente, já que as chuvas diárias podem ser muito diferentes em quantidade e distribuição, o que torna mais difícil a identificação de uma relação clara os volumes de chuva em diferentes níveis de espaço e tempo. As figuras 23 a 30 evidenciam o ritmo de precipitação diária e mensal na área de estudo.



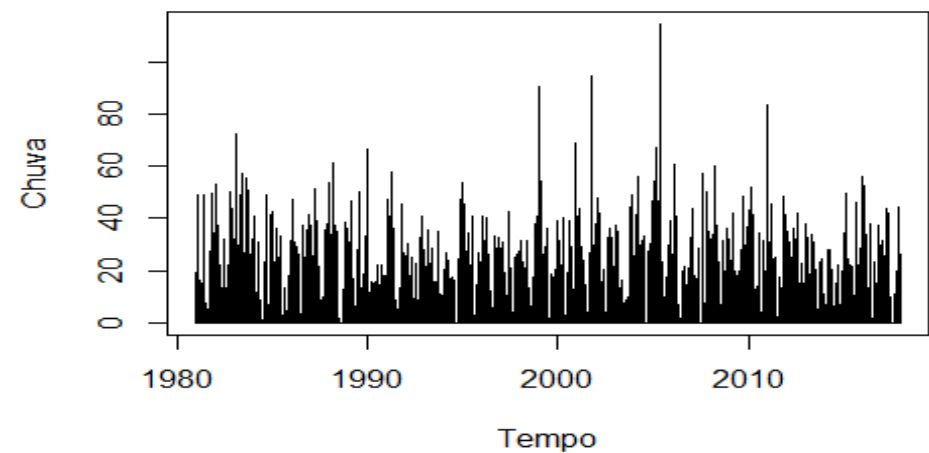
**Figura 23.** Gráfico da série de precipitação (mm) diária da sub-bacia Ártemis.



**Figura 24.** Gráfico da série de precipitação (mm) diária da sub-bacia Bairro da Ponte.

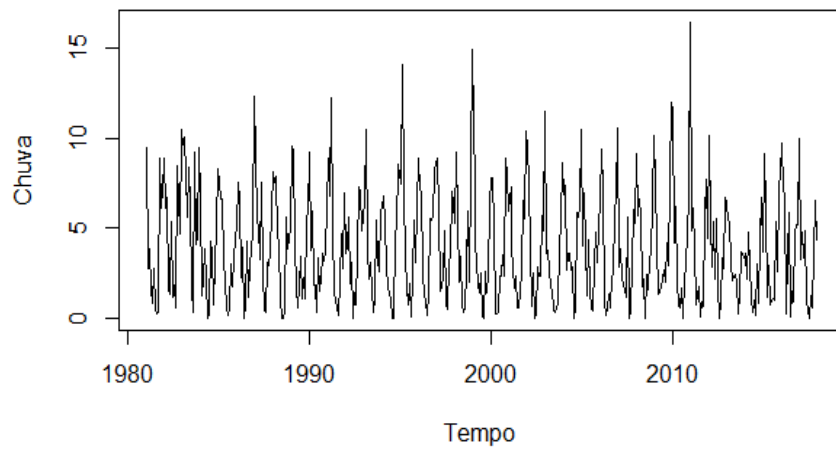


**Figura 25.** Gráfico da série de precipitação (mm) diária da sub-bacia Monte Alegre do Sul.

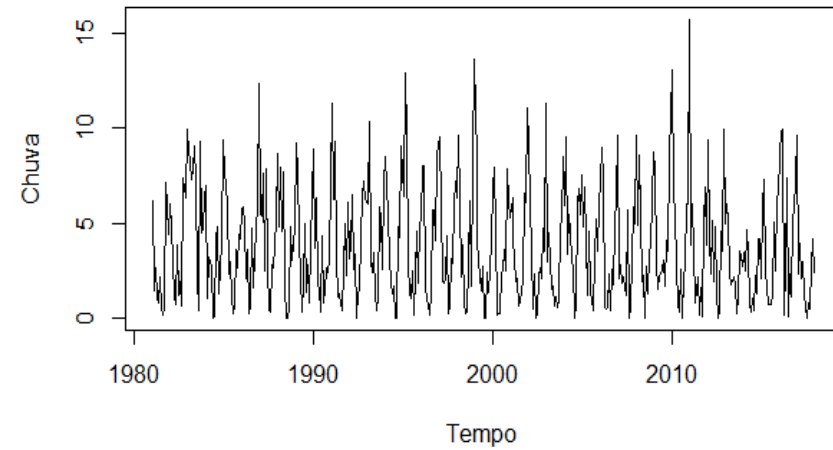


**Figura 26.** Gráfico da série de precipitação (mm) diária da sub-bacia Usina Ester.

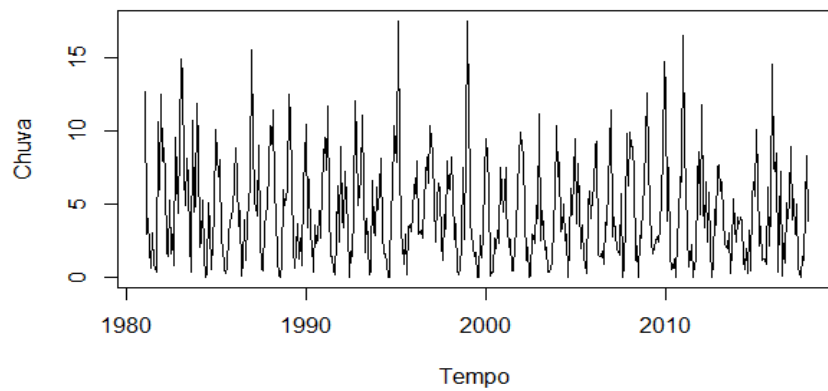
**Org:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).



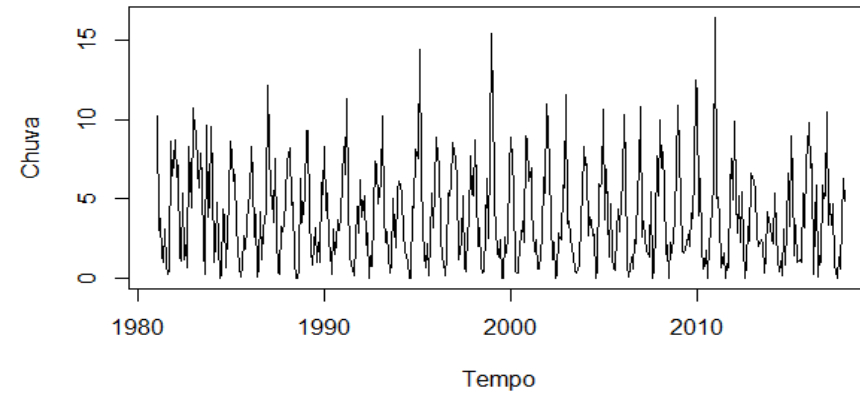
**Figura 27.** Gráfico da série de precipitação (mm) mensal da sub-bacia Ártemis.



**Figura 28.** Gráfico da série de precipitação (mm) mensal da sub-bacia Bairro da Ponte.



**Figura 29.** Gráfico da série de precipitação mensal (mm) da sub-bacia Monte Alegre do Sul.

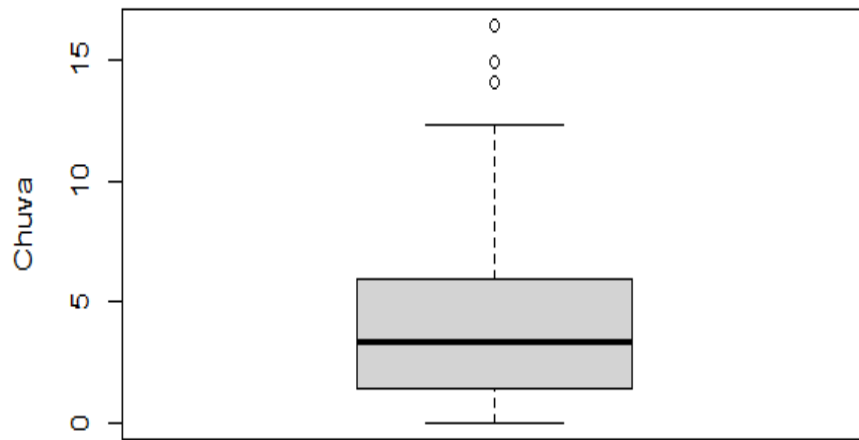


**Figura 30.** Gráfico da série de precipitação mensal (mm) da sub-bacia Usina Ester.

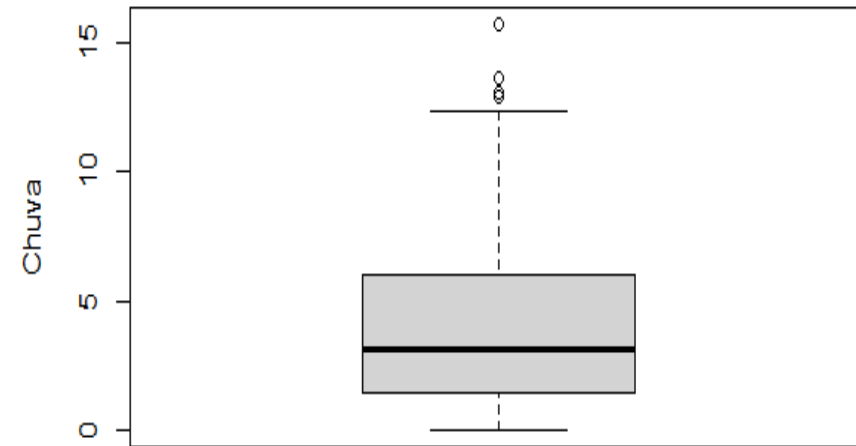
**Org:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

Já nas figuras 31 à 34, estão dispostos os box plot de precipitação mensal para as quatro sub-bacias. Nota-se que a sub-bacia de Bairro da Ponte, possui os valores mais voláteis de precipitação, enquanto os maiores pontos de outliers estão em Monte Alegre do Sul. Percebe-se que, os valores aumentam a partir de junho, para todas as sub-bacias. A partir de agosto o volume de precipitação aumenta até janeiro, decrescendo a partir de fevereiro. Além disso, nos meses em que os quartis e limites superiores e inferiores crescem, também dilata a variabilidade dos dados. Vale ressaltar que, à exceção da sub-bacia Bairro da Ponte, o mês de junho parece ser aquele com maior quantidade de outliers, evidenciando maior variabilidade dos eventos de precipitação.

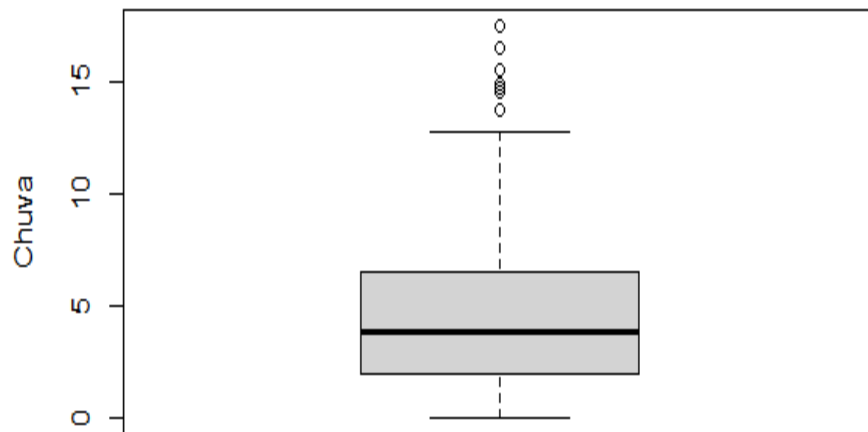




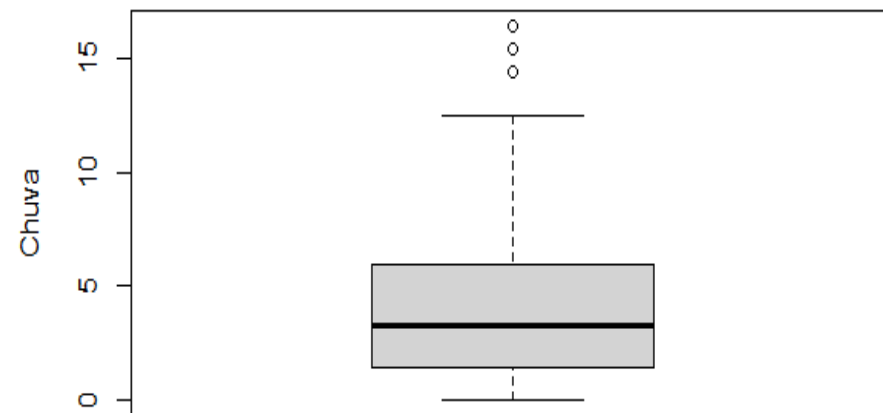
**Figura 31.** Box plot da série de chuva mensal da sub-bacia Ártemis.



**Figura 32.** Box plot da série de chuva mensal da sub-bacia Bairro da Ponte.



**Figura 33.** Box plot da série de chuva mensal da sub-bacia Monte Alegre do Sul.  
Org: Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).



**Figura 34.** Box plot da série de chuva mensal da sub-bacia Usina Ester.

## **4.1.2 Considerações sobre a precipitação pluviométrica**

Levando em consideração os dados apresentados, a bacia hidrográfica apresentou uma média anual de precipitação de 1400,5 mm. O ano mais chuvoso da série foi 1983 com média de 2343,3 mm e o menos chuvoso foi 2014 com 914,8 mm ou seja, um volume pluviométrico 39% menor do que se comparado com a ano de 1983.

Quando analisamos o volume anual de precipitação da série, observamos uma diminuição do volume conforme os anos avançam, seguindo a linha de tendência traçada na figura que apresenta a média de precipitação anual da série.

As estações climáticas que apresentam o maior volume de precipitação foram o verão e a primavera e as menores o outono e o inverno, evidenciando a forte e clara dinâmica sazonal do local. O mês com o maior registro de precipitação da série foi janeiro e o menor agosto.

Quando analisamos os gráficos de chuva diária e mensal nas 4 sub-bacias, percebemos que o ritmo se repete em vários momentos das séries de maneira igualitária, tanto em instantes considerados normais como aqueles em que fenômenos conhecidos estavam presentes, estando em consonância com os exemplos verificados em 1983 com a presença de um El Niño de grande intensidade ou a escassez hídrica de 2014.

## **4.2 Análise e discussão dos resultados da vazão fluvial**

### **4.2.1 Estatística descritiva da vazão fluvial**

Os dados de vazão foram analisados segundo a dinâmica das sub-bacias hidrográficas e suas respectivas áreas de drenagem.

Em bacias hidrográficas cuja importância das informações se torna fundamental, a precisão na coleta das informações envolvendo a vazão pode ser considerada elevada. Inicialmente a acurácia está relacionada ao método empregado. Nos postos pluviométricos utilizados na pesquisa, predomina o equipamento denominado molinete.

Esse equipamento consiste em um sensor de velocidade que é acoplado a um molinete, que gira com a correnteza do rio. A partir da velocidade medida pelo sensor, é possível calcular a vazão (ANA, 2019).

No caso específico do molinete, a precisão do equipamento utilizado é de 1 a 5% do valor medido, o que significa que a medição pode apresentar um erro de até 5% para mais ou para menos em relação ao valor real da vazão. Esse intervalo de precisão é considerado aceitável para a maioria das aplicações hidrológicas e é comum em equipamentos de medição de vazão (ANA, 2019).

Acerca dos dados observados na bacia hidrográfica do rio Piracicaba, os valores vão decrescendo conforme sua posição e tamanho da área de drenagem. A estação Artêmis, à jusante na bacia hidrográfica, apresenta os maiores valores de vazão, justamente por que apresenta a maior área de drenagem da bacia hidrográfica, ocupando aproximadamente 75% do total da área de estudo. A média de vazão durante o período estudado foi de  $129,0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , com máxima de  $1.418,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e mínima de  $5,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , indicando uma grande variabilidade de vazão no período estudado, conforme a tabela 9. Essa especificidade fica mais evidente quando observamos os dados de acordo com a sazonalidade do período.

**Tabela 9-** Estatística descritiva da vazão fluvial média para a bacia hidrográfica do rio Piracicaba de 1981 a 2017.

| <b>Estação</b>             | <b>Média<br/>(<math>\text{m}^3 \text{ s}^{-1}</math>)</b> | <b>D.P.<br/>(<math>\text{m}^3 \text{ s}^{-1}</math>)</b> | <b>C.V.</b> | <b>Máx.<br/>(<math>\text{m}^3 \text{ s}^{-1}</math>)</b> | <b>Mín.<br/>(<math>\text{m}^3 \text{ s}^{-1}</math>)</b> | <b>Amp.<br/>(<math>\text{m}^3 \text{ s}^{-1}</math>)</b> |
|----------------------------|---|--|-------------|--|--|--|
| <b>ARTEMIS</b>             | 129,0   | 119,8  | 92,87%      | 1.418,4  | 5,5  | 1.413,1  |
| <b>BAIRRO DA PONTE</b>     | 22,3  | 19,6   | 87,84%      | 240,6  | 1,6  | 238,9  |
| <b>MONTE ALEGRE DO SUL</b> | 7,0   | 6,0  | 85,77%      | 88,7   | 0,2  | 88,4   |
| <b>USINA ESTER</b>         | 39,1  | 39,8   | 101,90%     | 596,4  | 0,3  | 596,1  |

Org.: Adriano de Souza Antunes, 2023.

Os volumes máximos de vazão também estão na estação mais quente do ano, ou seja, dezembro, janeiro, fevereiro e março, assim como as mínimas predominam no inverno, sendo os meses de julho e agosto com as menores médias do ano. Ainda conforme a tabela 10, é possível verificar o desvio padrão (DP), quase que com a mesma ordem de grandeza da média. Esse fato ocorre, especialmente quando os dados possuem uma grande variabilidade ou dispersão, algo muito comum em dados envolvendo vazão fluvial já que é uma variável influenciada por diversos fatores, como a precipitação, a evapotranspiração, a geologia e a topografia da bacia hidrográfica. Esses fatores podem levar a variações significativas na vazão ao longo do tempo. Portanto, é comum que os dados de vazão apresentem um alto grau de dispersão, o que pode resultar em um desvio padrão elevado (SAPORTA, 2006).

Logo, o coeficiente de variação também se mostrou elevado, com média de aproximadamente 90% na bacia hidrográfica, justamente pela variabilidade dos dados citada acima, ressaltando a influência da sazonalidade.

Nesse contexto, a vazão fluvial é maior de maneira geral no verão. Em Ártemis a média apresentada no período foi de  $222,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , em Usina Ester  $66,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , na estação Bairro da Ponte com  $34,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e finalmente em Monte Alegre do Sul com vazão de  $11,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , exibidos na tabela 9.

Já os menores valores, também de maneira geral, foram verificados no inverno. A estação de Ártemis registrou média de  $70,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  no período, Usina Ester  $21,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , Bairro da Ponte  $14,8 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e Monte Alegre do Sul com registro de  $4,0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ .

Esse movimento mais uma vez exalta a sazonalidade climática local, com verões chuvosos e invernos secos. Já as estações climáticas intermediárias, como o outono e a primavera, apresentam maior variabilidade das médias de vazão, fato registrado nos

números referentes ao coeficiente de variação. Com exceção de Monte Alegre do Sul, os maiores valores foram registrados no outono, mostrando maior variabilidade nessa época do ano.

Predominam no inverno os coeficientes de variação menores, com exceção de Usina Ester, onde o dado foi verificado no verão.

Com relação aos valores máximos e mínimos, todos os registros de menor valor, em todas as estações climáticas e fluviométricas foram verificados em 2014 e os dados conferidos na tabela 10.

Para a estação de Artemis, a máxima vazão registrada no verão foi no ano de 2011 ( $1.418,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), no outono o maior registro se deu em 1983 ( $1.141,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), no inverno também em 1983 ( $656,0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e na primavera no ano de 2009 ( $758,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ).

Para Usina Ester, a máxima vazão fluvial no verão foi verificada no ano de 1983 ( $596,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), no outono também em 1983 ( $444,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), no inverno mais uma vez em 1983 ( $167,9 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e na primavera em 2009 ( $206,9 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ).

Para a estação de Bairro da Ponte, no verão a máxima obtida se deu no ano de 1999 ( $240,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), no outono em 1983 ( $177,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), no inverno também em 1983 ( $98,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e no finalmente na primavera no ano de 2009 ( $140,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ).

Completando a sazonalidade da vazão fluviométrica, a estação de Monte Alegre do Sul, apresentou os maiores valores no verão no ano de 1983 ( $88,7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), outono a máxima também se deu em 1983 ( $60,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), no inverno mais uma vez em 1983 ( $28,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e na primavera repetindo o ano de 1983 ( $50,7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ).

**Tabela 10-** Estatística descritiva da vazão fluvial sazonal média para a bacia hidrográfica do rio Piracicaba de 1981 a 2017.

| Posto Pluviométrico        | Estação   | Média<br>(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | D.P.<br>(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | C.V.   | Máx.<br>(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | Mín.<br>(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | Amp.<br>(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) |
|----------------------------|-----------|--|---|--------|---|---|---|
| <b>ARTEMIS</b>             | verão     | 222,15                                     | 161,43                                    | 72,67% | 1.418,64                                  | 14,97                                     | 1.403,67                                  |
|                            | outono    | 125,69                                     | 101,65                                    | 80,87% | 1.141,49                                  | 14,96                                     | 1.126,52                                  |
|                            | inverno   | 70,55                                      | 50,73                                     | 71,91% | 656,07                                    | 7,52                                      | 648,55                                    |
|                            | primavera | 101,41                                     | 79,49                                     | 78,39% | 758,36                                    | 5,54                                      | 752,83                                    |
| <b>BAIRRO DA PONTE</b>     | verão     | 34,49                                      | 26,64                                     | 77,25% | 240,63                                    | 1,67                                      | 238,95                                    |
|                            | outono    | 21,13                                      | 17,93                                     | 84,86% | 177,31                                    | 2,54                                      | 174,77                                    |
|                            | inverno   | 14,83                                      | 10,31                                     | 69,53% | 98,14                                     | 2,59                                      | 95,55                                     |
|                            | primavera | 19,54                                      | 14,52                                     | 74,34% | 140,63                                    | 2,02                                      | 138,61                                    |
| <b>MONTE ALEGRE DO SUL</b> | verão     | 11,36                                      | 7,99                                      | 70,34% | 88,71                                     | 0,64                                      | 88,07                                     |
|                            | outono    | 7,21                                       | 4,73                                      | 65,64% | 60,47                                     | 1,03                                      | 59,44                                     |
|                            | inverno   | 4,08                                       | 2,65                                      | 64,90% | 28,19                                     | 0,47                                      | 27,72                                     |
|                            | primavera | 5,56                                       | 4,85                                      | 87,21% | 50,74                                     | 0,25                                      | 49,75                                     |
| <b>USINA ESTER</b>         | verão     | 66,64                                      | 53,15                                     | 79,76% | 596,47                                    | 1,96                                      | 594,51                                    |
|                            | outono    | 38,21                                      | 36,34                                     | 95,13% | 444,69                                    | 2,51                                      | 442,18                                    |
|                            | inverno   | 21,63                                      | 18,87                                     | 87,24% | 167,92                                    | 0,65                                      | 167,27                                    |
|                            | primavera | 31,14                                      | 28,30                                     | 90,87% | 206,98                                    | 0,31                                      | 206,67                                    |

Org.: Adriano de Souza Antunes, 2023.

Para a estação fluviométrica de Ártemis, o maior da área de estudo, no mês de janeiro a maior vazão foi registrada no ano de 2011 (1418,64 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) e a mínima em 2014 (25,98 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), para fevereiro a maior foi no ano de 1983 (1126,67 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) e a menor também em 2014 (14,97 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), para março o maior valor registrado foi no ano de 1999 (1262,49 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) e a menor em 1994 (32,69 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), em abril a máxima foi em 1991 (776,24 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) e a mínima em 2014 (23,07 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), no mês de maio a máxima foi no ano de 1983 (1141,49 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) e a menor em 2014 (15,26 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), para junho a máxima foi em 1983 (1096,22 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) e a menor mais uma vez em 201 (12,95 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>).

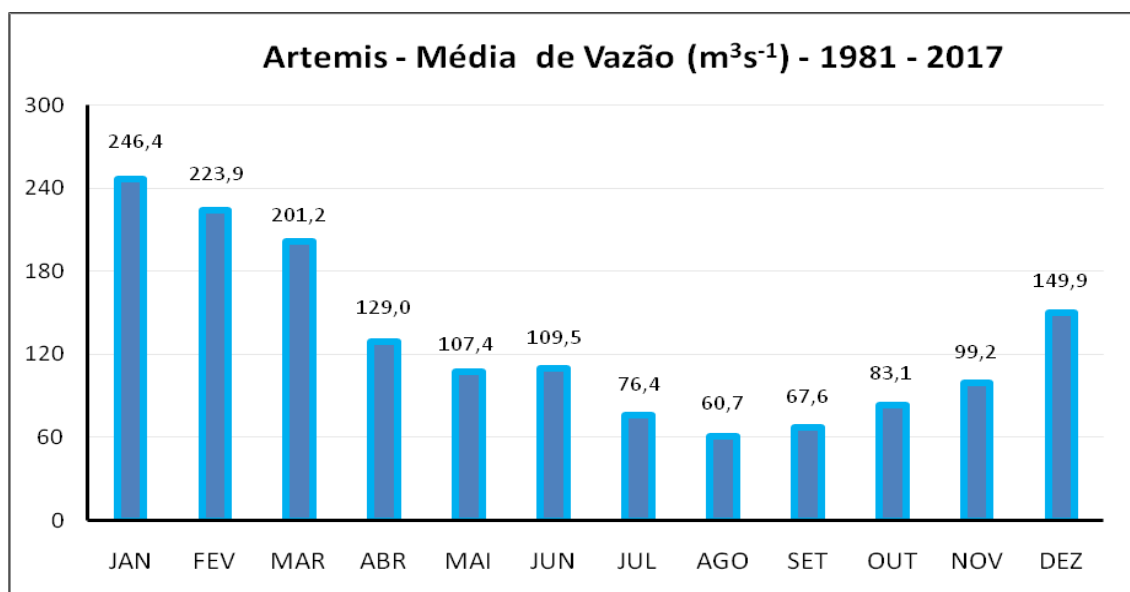
Seguindo com o mês de julho a maior foi em 2005 (473,27 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) e a mínima vazão em 2014 (11,23 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), agosto a máxima foi em 1981 (264,70 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) e mínima também em 2014 (7,52 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), para setembro a maior vazão ocorreu no ano de 1983 (656,07 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) e a menor vazão no ano de 2014 (8,09 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), para outubro a máxima foi em 1982 (471,47 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) e a mínima também em 2014 (5,54 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), em novembro a maior foi no ano de 2011 (748,37 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) e a mínima no ano de 2014 (5,55 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) e em

dezembro a máxima foi em 2009 ( $942,98 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e como na maior parte da série a menor vazão registrada foi em 2014 ( $13,24 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), expostos na tabela 11 e figura 35.

**Tabela 11** - Estatística descritiva da vazão fluvial mensal média para o posto fluviométrico de Artêmis na bacia hidrográfica do rio Piracicaba de 1981 a 2017.

| Mês       | Média<br>( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) | D.P.<br>( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) | C.V.    | Máx.<br>( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) | Mín.<br>( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) | Amp.<br>( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) |
|-----------|--|---|---------|---|---|---|
| Janeiro   | 246,40                                   | 189,77                                  | 77,02%  | 1.418,64                                | 25,98                                   | 1.392,66                                |
| Fevereiro | 223,88                                   | 149,75                                  | 66,89%  | 1.126,67                                | 14,97                                   | 1.111,70                                |
| Março     | 201,22                                   | 133,40                                  | 66,30%  | 1.262,49                                | 32,69                                   | 1.229,80                                |
| Abril     | 129,03                                   | 82,28                                   | 63,77%  | 776,24                                  | 23,07                                   | 753,17                                  |
| Mai       | 107,37                                   | 77,00                                   | 71,72%  | 1.141,49                                | 15,26                                   | 1.126,23                                |
| Junho     | 109,50                                   | 115,84                                  | 105,79% | 1.096,22                                | 12,95                                   | 1.083,27                                |
| Julho     | 76,39                                    | 48,89                                   | 64,00%  | 473,27                                  | 11,23                                   | 462,04                                  |
| Agosto    | 60,68                                    | 31,74                                   | 52,31%  | 264,70                                  | 7,52                                    | 257,18                                  |
| Setembro  | 67,57                                    | 59,62                                   | 88,23%  | 656,07                                  | 8,09                                    | 647,98                                  |
| Outubro   | 83,06                                    | 61,12                                   | 73,59%  | 471,47                                  | 5,54                                    | 465,93                                  |
| Novembro  | 99,19                                    | 70,19                                   | 70,77%  | 748,37                                  | 5,55                                    | 742,83                                  |
| Dezembro  | 149,87                                   | 108,02                                  | 72,08%  | 942,98                                  | 13,24                                   | 929,74                                  |

Org.: Adriano de Souza Antunes, 2023.



**Figura 35** - Média mensal da vazão fluvial para o posto fluviométrico de Artêmis na bacia hidrográfica do rio Piracicaba de 1981 a 2017. Org.: Adriano de Souza Antunes, 2023.

As estações fluviométricas Bairro da Ponte e Usina Éster apresentaram dados intermediários na área de estudo, justamente por apresentarem extensões parecidas. A média verificada no período foi de  $22,38 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e  $39,10 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  respectivamente.

Para o posto fluviométrico de Bairro da Ponte, no mês de janeiro a maior vazão foi obtida no ano de 1999 ( $240,63 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a menor em 2015 ( $1,67 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), já em fevereiro a maior foi em 1983 ( $184,37 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a menor no ano de 2014 ( $2,32 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), para março a máxima registrada foi no ano de 2016 ( $184,46 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a mínima em 2014 ( $4,16 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), em abril a máxima foi em 1995 ( $118,01 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a mínima em 2015 ( $3,32 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), para o mês de maio a máxima vazão foi no ano de 1983 ( $174,29 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a mínima em 2015 ( $2,54 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), para junho a máxima foi em 1983 ( $177,31 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a mínima em 2015 ( $2,85 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ).

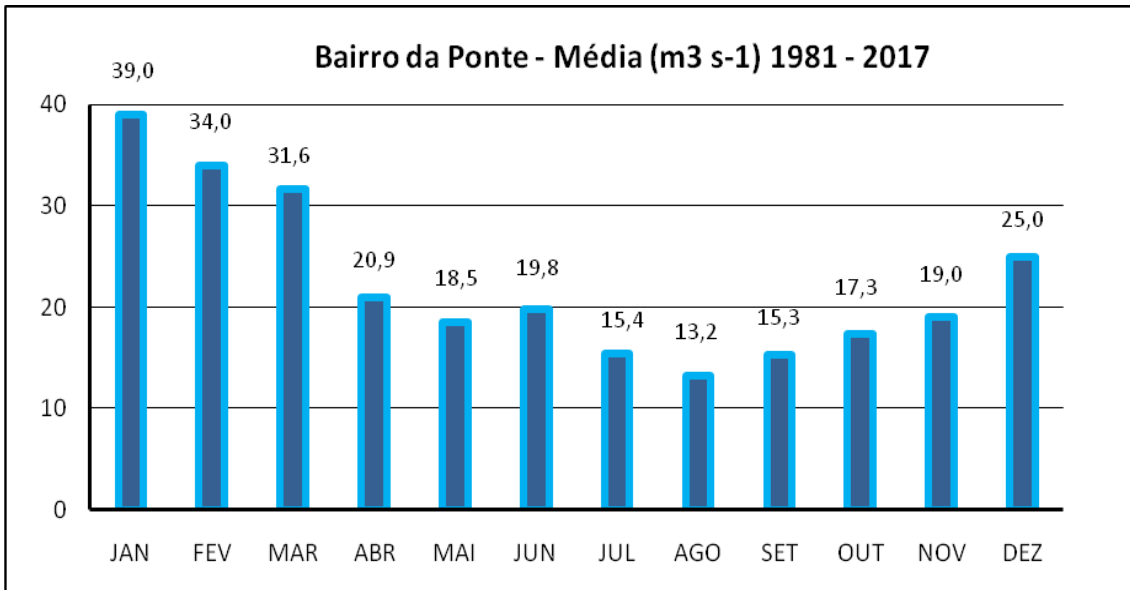
No mês de julho a maior vazão foi em 1989 ( $88,18 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a menor em 2014 ( $2,59 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), agosto a maior foi em 1983 ( $75,16 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e menor em 2015 ( $2,79 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), para setembro a maior vazão foi registrada no ano de 1983 ( $94,13 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a menor vazão no ano de 2014 ( $2,65 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), para outubro a maior foi em 1981 ( $88,01 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a menor em 2014 ( $2,50 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), em novembro o maior registro foi no ano de 2009 ( $87,29 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e o menor em 2014 ( $2,02 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e em dezembro a máxima foi em 2009 ( $140,63 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a mínima foi em 2014 ( $2,16 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), conforme tabela 12 e figura 36.

**Tabela 12** - Estatística descritiva da vazão fluvial mensal média para o posto fluviométrico de Bairro da Ponte na bacia hidrográfica do rio Piracicaba de 1981 a 2017.

| Mês       | Média<br>( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) | D.P.<br>( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) | C.V.    | Máx.<br>( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) | Mín.<br>( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) | Amp.<br>( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) |
|-----------|--|---|---------|---|---|---|
| Janeiro   | 38,96                                    | 33,08                                   | 84,90%  | 240,63                                  | 1,67                                    | 238,95                                  |
| Fevereiro | 33,99                                    | 22,82                                   | 67,14%  | 184,37                                  | 2,32                                    | 182,05                                  |
| Março     | 31,61                                    | 22,40                                   | 70,86%  | 184,46                                  | 4,16                                    | 180,29                                  |
| Abril     | 20,95                                    | 14,57                                   | 69,55%  | 118,01                                  | 3,32                                    | 114,69                                  |
| Mai       | 18,54                                    | 13,43                                   | 72,42%  | 174,29                                  | 2,54                                    | 171,74                                  |
| Junho     | 19,81                                    | 21,91                                   | 110,59% | 177,31                                  | 2,85                                    | 174,47                                  |
| Julho     | 15,41                                    | 10,63                                   | 69,00%  | 88,18                                   | 2,59                                    | 85,59                                   |
| Agosto    | 13,25                                    | 7,55                                    | 57,01%  | 75,16                                   | 2,79                                    | 72,37                                   |
| Setembro  | 15,26                                    | 11,30                                   | 74,02%  | 94,13                                   | 2,65                                    | 91,49                                   |
| Outubro   | 17,32                                    | 11,57                                   | 66,78%  | 88,01                                   | 2,50                                    | 85,51                                   |
| Novembro  | 19,02                                    | 12,01                                   | 63,14%  | 87,29                                   | 2,02                                    | 85,27                                   |
| Dezembro  | 25,00                                    | 18,39                                   | 73,55%  | 140,63                                  | 2,16                                    | 138,47                                  |

Org.; Adriano de Souza Antunes, 2023.





**Figura 36.** Média mensal da vazão fluvial para a estação fluviométrica de Bairro da Ponte na bacia hidrográfica do rio Piracicaba de 1981 a 2017. **Org.:** Adriano de Souza Antunes, 2023.

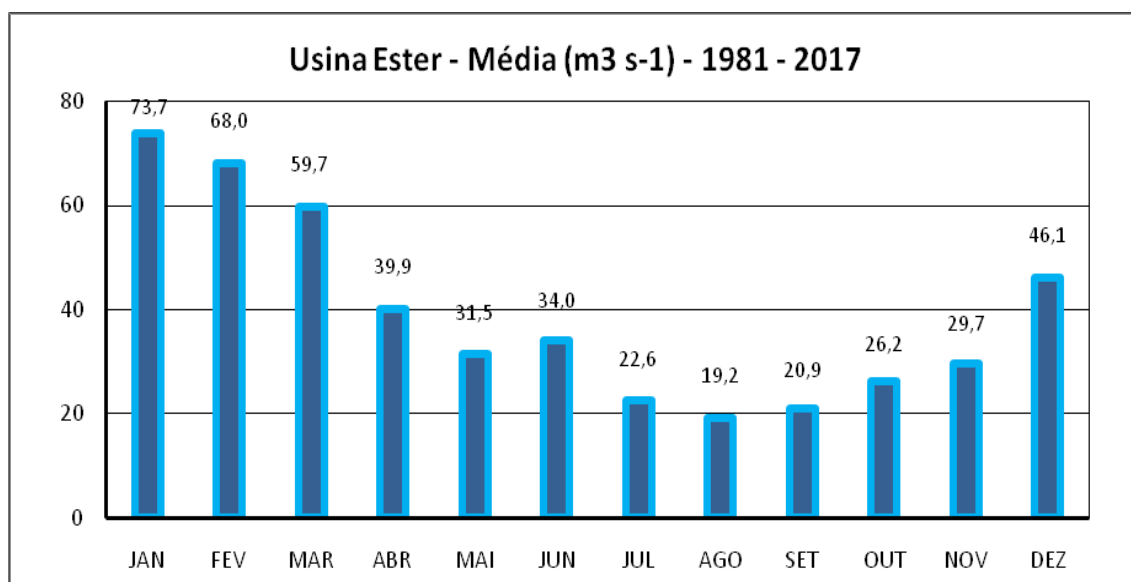
Para a estação fluviométrica de Usina Éster, no mês de janeiro a maior vazão foi registrada no ano de 1999 ( $458,45 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a menor em 2014 ( $1,96 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), para fevereiro a máxima foi no ano de 1983 ( $596,47 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a mínima em 2014 ( $2,13 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), para março a mais elevada foi no ano de 1996 ( $347,54 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a menor em 2014 ( $7,35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), em abril a máxima foi em 1991 ( $247,38 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a mínima em 2014 ( $4,53 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), para o mês de maio a máxima vazão foi no ano de 1983 ( $426,29 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a mínima foi em 2015 ( $2,71 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), para junho a máxima foi em 1983 ( $444,69 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a mínima em 2014 ( $1,64 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ).

No mês de julho a maior vazão foi em 1983 ( $143,56 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a menor em 2014 ( $1,50 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), agosto a maior foi em 1983 ( $89,36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e menor se repetiu em 2014 ( $0,65 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), para setembro a maior vazão foi registrada no ano de 1983 ( $196,17 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a menor vazão no ano de 2014 ( $0,94 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), para outubro a maior foi em 1983 ( $151,26 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a menor em 2014 ( $0,31 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), em novembro a maior vazão foi no ano de 1983 ( $169,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a menor no ano de 2014 ( $0,53 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e em dezembro a máxima foi em 2009 ( $409,31 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a mínima como em toda a sequência da série se deu mais uma vez em 2014 ( $1,88 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), de acordo com a tabela 12 e a figura 37.

**Tabela 13** - Média mensal da vazão fluvial para a estação fluviométrica de Usina Éster na bacia hidrográfica do rio Piracicaba de 1981 a 2017.

| Mês       | Média<br>(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | D.P.<br>(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | C.V.    | Máx.<br>(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | Mín.<br>(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | Amp.<br>(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) |
|-----------|--|---|---------|---|---|---|
| Janeiro   | 73,67                                      | 60,88                                     | 82,63%  | 458,45                                    | 1,96                                      | 456,49                                    |
| Fevereiro | 67,96                                      | 50,65                                     | 74,53%  | 596,47                                    | 2,13                                      | 594,34                                    |
| Março     | 59,65                                      | 43,28                                     | 72,56%  | 347,54                                    | 7,35                                      | 340,19                                    |
| Abril     | 39,89                                      | 28,38                                     | 71,13%  | 247,38                                    | 4,53                                      | 242,85                                    |
| Mai       | 31,49                                      | 26,07                                     | 82,78%  | 426,29                                    | 2,71                                      | 423,58                                    |
| Junho     | 33,99                                      | 44,99                                     | 132,36% | 444,69                                    | 1,64                                      | 443,05                                    |
| Julho     | 22,59                                      | 17,20                                     | 76,14%  | 143,56                                    | 1,50                                      | 142,06                                    |
| Agosto    | 19,18                                      | 14,79                                     | 77,13%  | 89,36                                     | 0,65                                      | 88,71                                     |
| Setembro  | 20,95                                      | 22,14                                     | 105,69% | 196,17                                    | 0,94                                      | 195,23                                    |
| Outubro   | 26,25                                      | 24,58                                     | 93,65%  | 151,26                                    | 0,31                                      | 150,96                                    |
| Novembro  | 29,66                                      | 23,67                                     | 79,80%  | 169,00                                    | 0,53                                      | 168,47                                    |
| Dezembro  | 46,09                                      | 39,20                                     | 85,06%  | 409,31                                    | 1,88                                      | 407,43                                    |

Org.: Adriano de Souza Antunes, 2023.



**Figura 37.** Média mensal da vazão fluvial para a estação fluviométrica de Usina Éster na bacia hidrográfica do rio Piracicaba de 1981 a 2017. Org.: Adriano de Souza Antunes, 2023.

A estação fluviométrica de Monte Alegre do Sul, à montante, apresentou os menores volumes de vazão na área e período estudado. Com uma pequena área de drenagem a média verificada foi de 7,00 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, a menor entre as 4 sub-bacias. Importante ressaltar que a mínimas vazões ficam perto de 0,0 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, conforme tabela 12, indicando uma grande variabilidade mesmo que em volumes menores, na área de estudo.

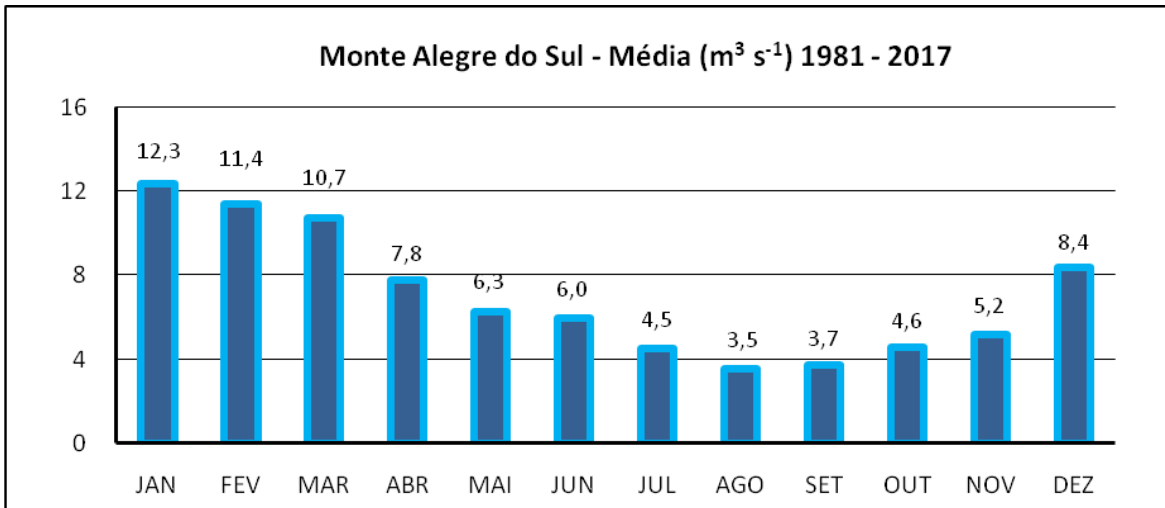
Para o posto fluviométrico de Monte Alegre do Sul, no mês de janeiro a maior vazão foi registrada no ano de 1994 ( $62,51 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a menor em 2014 ( $0,68 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), para fevereiro a maior foi no ano de 1982 ( $88,71 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a menor em 2014 ( $0,64 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), para março a máxima registrada foi no ano de 1983 ( $69,94 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a mínima em 2014 ( $1,20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), em abril a máxima foi em 1995 ( $33,46 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a mínima em 2014 ( $1,69 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), para o mês de maio a máxima vazão foi no ano de 1983 ( $60,47 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a mínima em 2014 ( $1,03 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), para junho o maior valor foi em 1983 ( $47,61 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e o menor mais uma vez foi em 2014 ( $0,99 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ).

No mês de julho a maior vazão foi em 2009 ( $27,69 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a menor em 2014 ( $0,82 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), agosto a maior foi em 2008 ( $15,35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a menor em 2014 ( $0,54 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), para setembro a maior vazão foi registrada no ano de 1983 ( $32,24 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a menor vazão no ano de 2014 ( $0,47 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), para outubro a maior foi em 1992 ( $36,44 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a menor se repetiu no ano de 2014 ( $0,25 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), em novembro a maior vazão foi no ano de 2013 ( $28,71 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a menor no ano de 2014 ( $0,54 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e em dezembro a máxima foi em 1983 ( $50,70 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a mínima foi em 2014 ( $0,68 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), detalhadas na tabela 14 e figura 38.

**Tabela 14** - Média mensal da vazão fluvial para a estação fluviométrica de Monte Alegre do Sul na bacia hidrográfica do rio Piracicaba de 1980 a 2017.

| Mês       | Média<br>( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) | D.P.<br>( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) | C.V.   | Máx.<br>( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) | Mín.<br>( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) | Amp.<br>( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) |
|-----------|--|---|--------|---|---|---|
| Janeiro   | 12,33                                    | 9,19                                    | 74,50% | 62,51                                   | 0,68                                    | 61,83                                   |
| Fevereiro | 11,38                                    | 7,69                                    | 67,53% | 88,71                                   | 0,64                                    | 88,07                                   |
| Março     | 10,75                                    | 6,31                                    | 58,72% | 69,94                                   | 1,20                                    | 68,74                                   |
| Abril     | 7,78                                     | 4,16                                    | 53,46% | 33,46                                   | 1,69                                    | 31,77                                   |
| Maio      | 6,25                                     | 3,83                                    | 61,21% | 60,47                                   | 1,03                                    | 59,44                                   |
| Junho     | 5,96                                     | 4,91                                    | 82,42% | 47,61                                   | 0,99                                    | 46,62                                   |
| Julho     | 4,53                                     | 2,72                                    | 60,17% | 27,69                                   | 0,82                                    | 26,87                                   |
| Agosto    | 3,54                                     | 1,72                                    | 48,75% | 15,35                                   | 0,54                                    | 14,82                                   |
| Setembro  | 3,73                                     | 3,15                                    | 84,47% | 32,24                                   | 0,47                                    | 31,77                                   |
| Outubro   | 4,56                                     | 3,73                                    | 81,74% | 36,44                                   | 0,25                                    | 36,19                                   |
| Novembro  | 5,17                                     | 3,74                                    | 72,36% | 28,71                                   | 0,54                                    | 28,18                                   |
| Dezembro  | 8,39                                     | 6,69                                    | 79,74% | 50,70                                   | 0,68                                    | 49,32                                   |

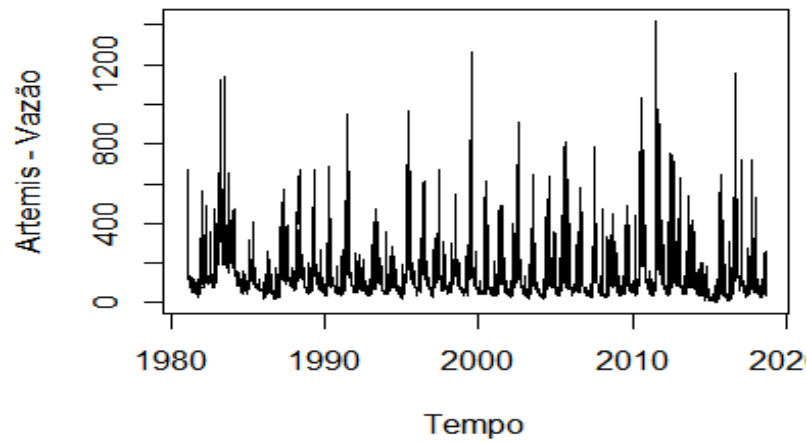
Org.: Adriano de Souza Antunes, 2023.



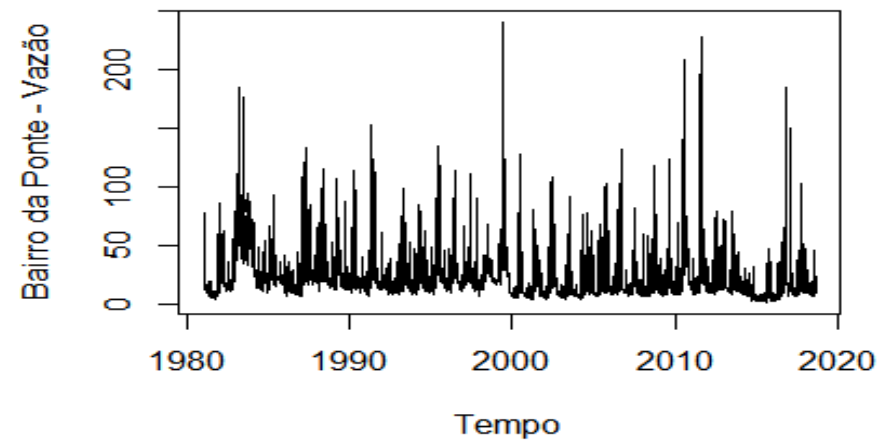
**Figura 38.** Média mensal da vazão fluvial para a estação fluviométrica de Monte Alegre do Sul na bacia hidrográfica do rio Piracicaba de 1981 a 2017. **Org.:** Adriano de Souza Antunes, 2023.

Os dados de vazão, assim como os de precipitação evidenciaram a crise hídrica de 2014, com os menores volumes de vazão ocorrendo predominantemente nesse ano devido a escassez de chuva, assim como o El Niño de 1982 e 1983 com os maiores níveis de vazão de toda a série. Nesse contexto, ao observarmos os gráficos de vazão diária e mensal, figuras 39, à 46, é possível perceber que esses momentos são absolutamente visíveis nas imagens apresentando semelhanças entre si, com picos quase que nos mesmos períodos.

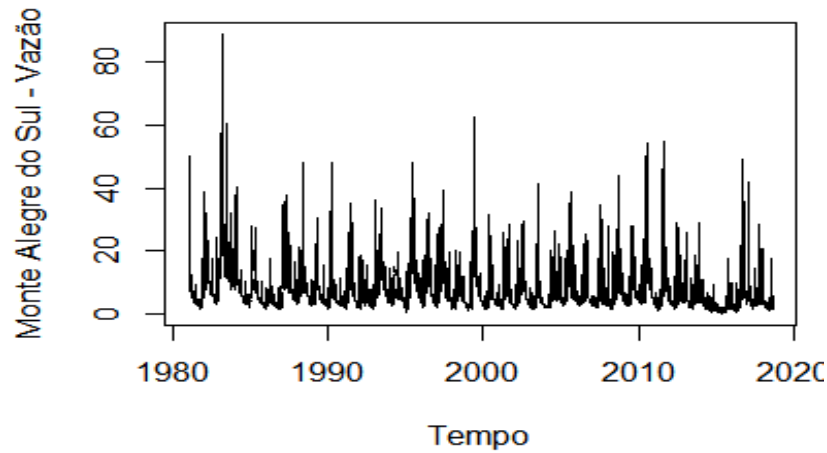
. Em seguida, avaliando os gráficos de box plot, figuras 47 à 50, verificamos que na estação fluviométrica de Ártemis, predominam valores entre o segundo e terceiro quartis, apresentando registros predominantemente acima de  $100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Essa situação se repete nas outras 3 estações ou sub-bacias, entretanto com valores bem abaixo daqueles detectados em Ártemis. Como exemplo podemos citar a estação de Monte Alegre do Sul, onde o terceiro quartil ocorre a partir de  $5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Com relação ao outliers ficou evidente uma maior quantidade de registros na sub-bacia de Usina Ester. Essa dinâmica se dá pela maior homogeneidade dos dados nesse local, com vazões apresentando um comportamento similar por um período mais longo, destacando de maneira mais expressiva os eventos que são considerados extremos.



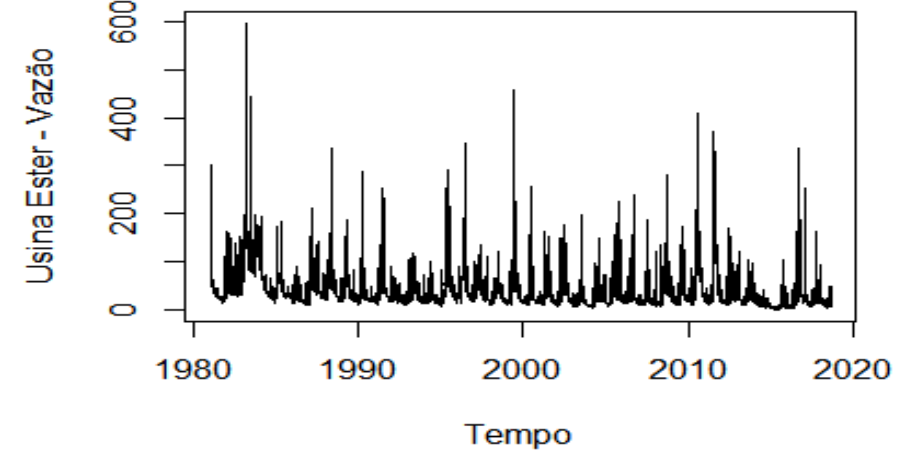
**Figura 39.** Gráfico da série vazão diária da sub-bacia Ártemis.



**Figura 40.** Gráfico da série vazão diária da sub-bacia Bairro da Ponte.

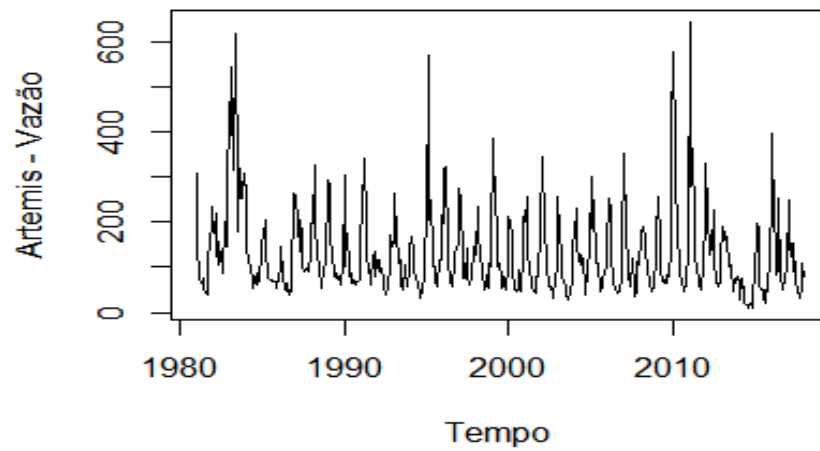


**Figura 41.** Gráfico da série vazão diária da sub-bacia Monte Alegre do Sul.

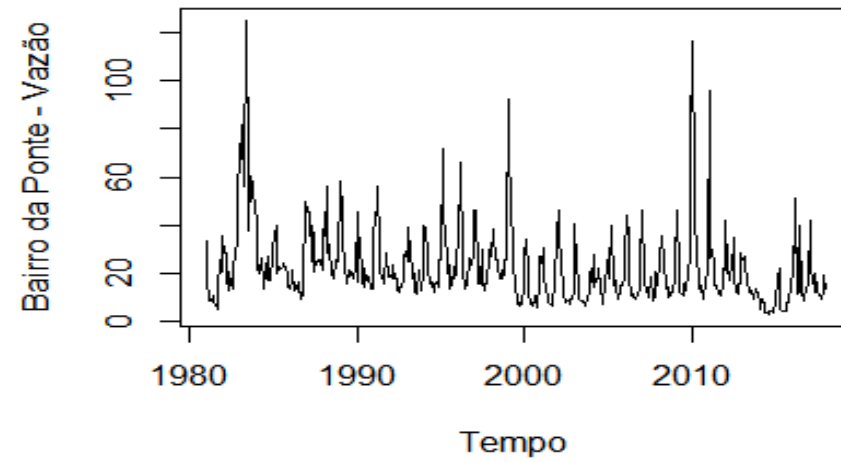


**Figura 42.** Gráfico da série vazão diária da sub-bacia Usina Ester.

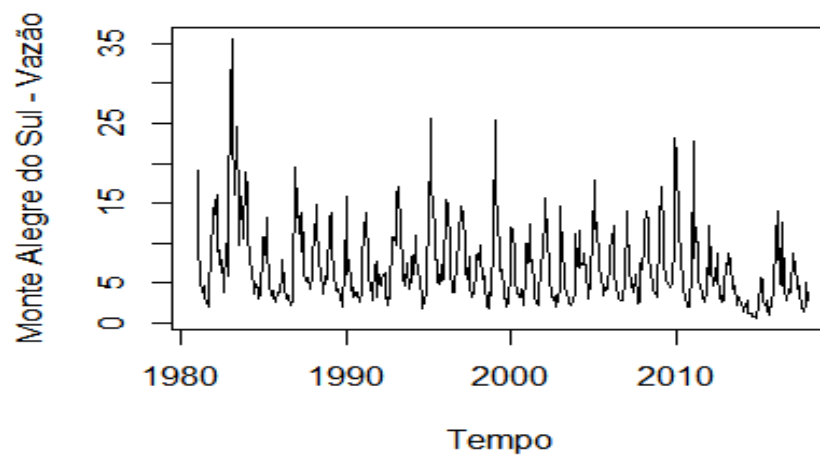
**Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).



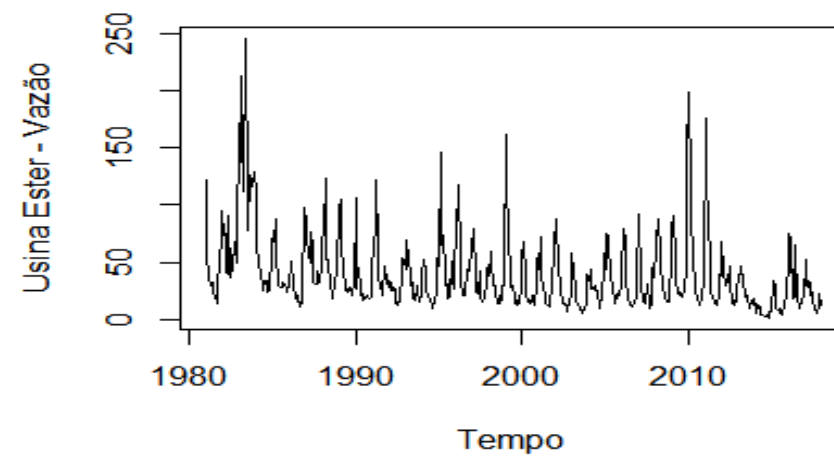
**Figura 43.** Gráfico da série vazão mensal da sub-bacia *Ártemis*.



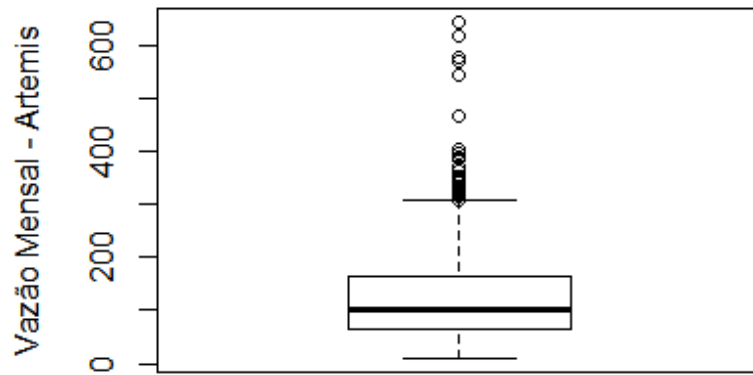
**Figura 44.** Gráfico da série vazão mensal da sub-bacia *Bairro da Ponte*.



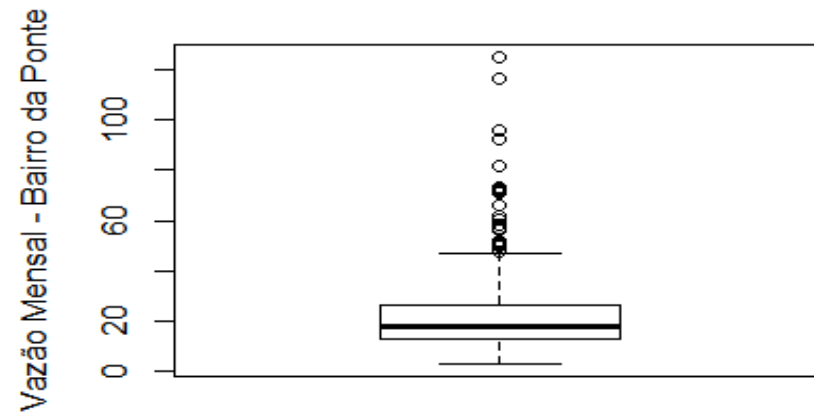
**Figura 45.** Gráfico da série vazão mensal da sub-bacia *Monte Alegre do Sul*.  
**Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).



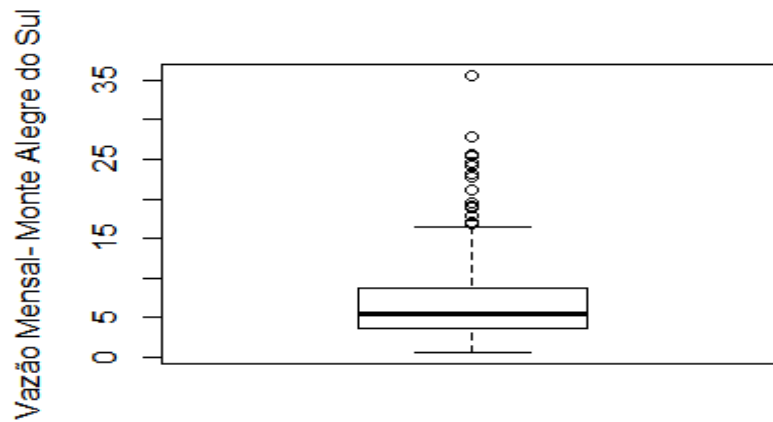
**Figura 46.** Gráfico da série vazão mensal da sub-bacia *Usina Ester*.



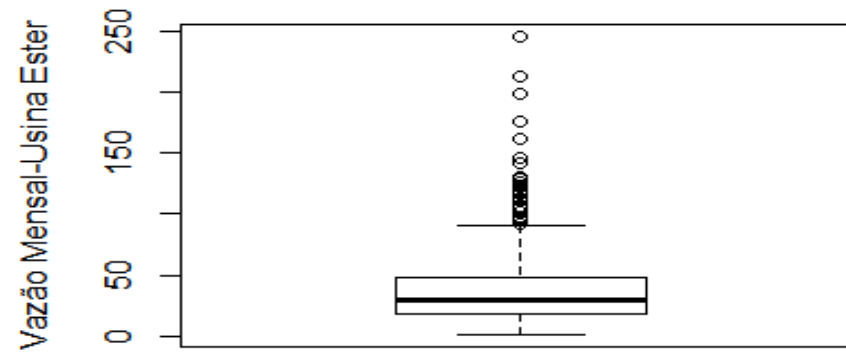
**Figura 47.** *Box plot* da série de Vazão mensal da sub-bacia Ártemis



**Figura 48.** *Box plot* da série de Vazão mensal da sub-bacia Bairro da Ponte



**Figura 49.** *Box plot* da série de vazão mensal da sub-bacia Monte Alegre do Sul.



**Figura 50.** *Box plot* da série de Vazão mensal da sub-bacia Usina Ester.

**Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

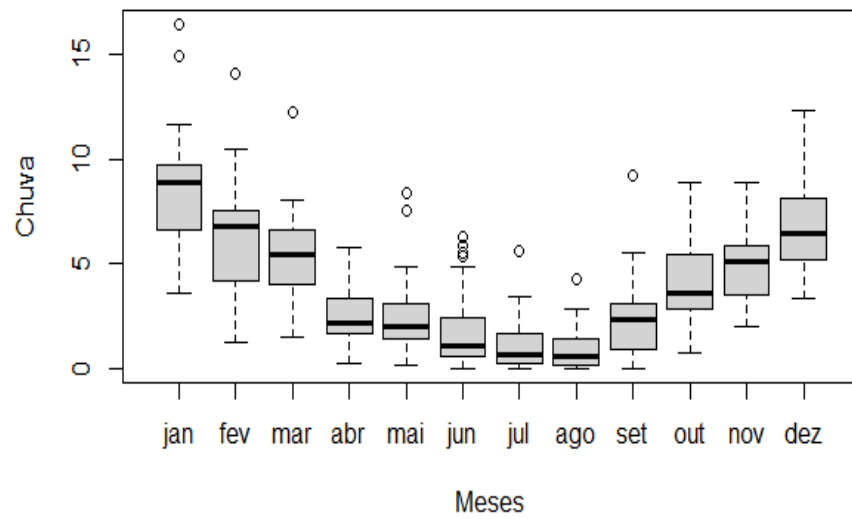
#### **4.2.2 Considerações sobre a vazão fluvial**

A vazão fluvial na bacia hidrográfica do rio Piracicaba é claramente marcada pela sazonalidade local. Os gráficos de vazão diária e mensal se apresentam muito semelhantes com picos nos anos de 1982 e 1983, coincidindo com o um evento de El Niño considerado forte e 2014 com os valores mais baixos da série. Os meses de junho a agosto estão mais suscetíveis a períodos secos e dezembro a março, sendo aqueles que apresentam maior oferta hídrica no período, corroborando com a sazonalidade do período. Durante o período de estudo foi verificado um decréscimo de vazão na bacia hidrográfica como um todo. Fato não obtido durante a análise da precipitação. Vale ressaltar que bacia hidrográfica do rio Piracicaba contribui com aproximadamente 36% das suas águas para o Sistema Cantareira, onde a partir da inclusão do rio Jaguari no sistema em 1981, passa a fazer parte decisivamente da cooperação com o abastecimento hídrico da região metropolitana de São Paulo.

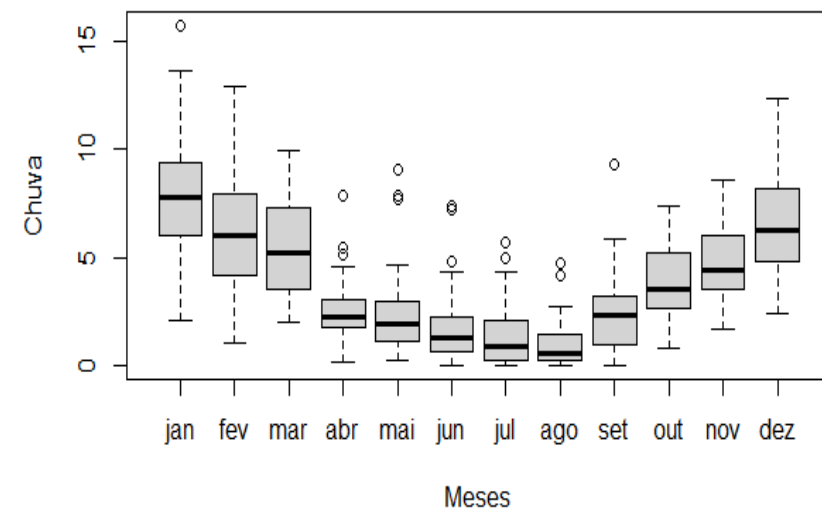
#### **4.3 Análise e discussão dos resultados da correlação entre precipitação e a vazão**

Nesta etapa do trabalho foi realizada a análise inferencial dos dados, modelando a relação entre vazão e a precipitação mensal. Inicialmente, foi realizada a autocorrelação das variáveis. Nesse contexto, os efeitos da sazonalidade se tornaram evidentes nos gráficos produzidos com a série da área de estudo, conforme evidenciam as figuras 51 a 66 que apresentam as autocorrelações dos dados mensais para cada sub-bacia. Percebe-se que os resultados são muito similares, com comportamento sazonal de 12 meses em cada área de drenagem, isto é, os valores oscilam com mesmo período de alternância, marcando um ritmo de 12 meses. Grande parte das autocorrelações aparentam ser estatisticamente diferente de zero, apresentando um comportamento que não pode ser considerado aleatório, uma vez que estão fora do intervalo de confiança tracejado em azul.

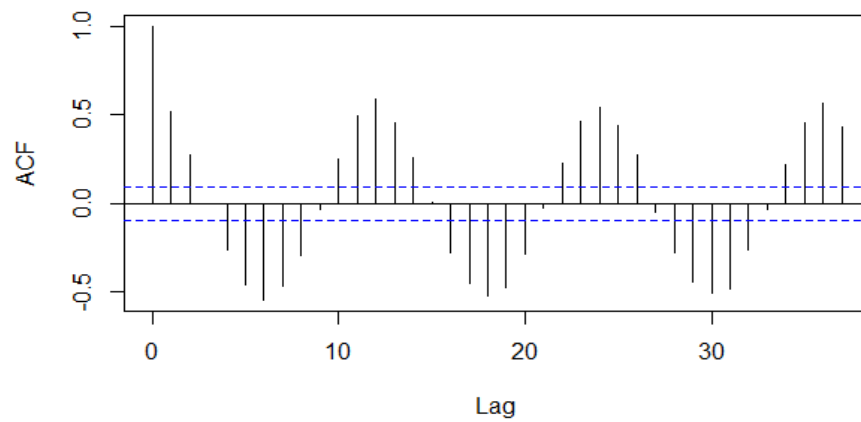




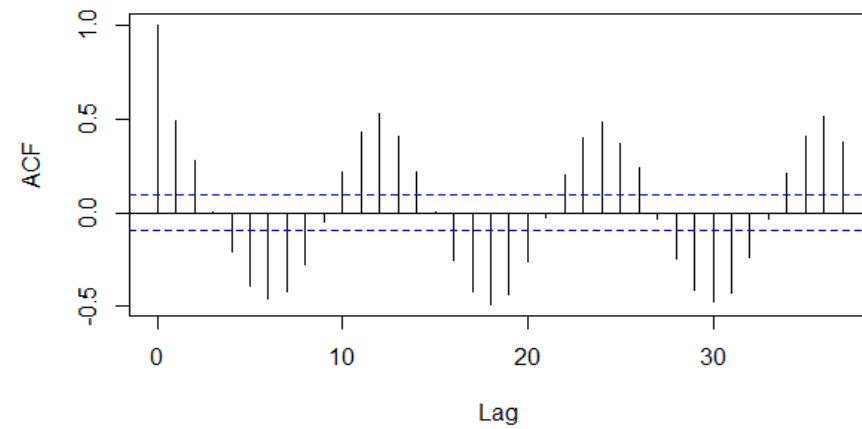
**Figura 51.** Box plots por mês para a precipitação mensal da sub-bacia Ártemis.



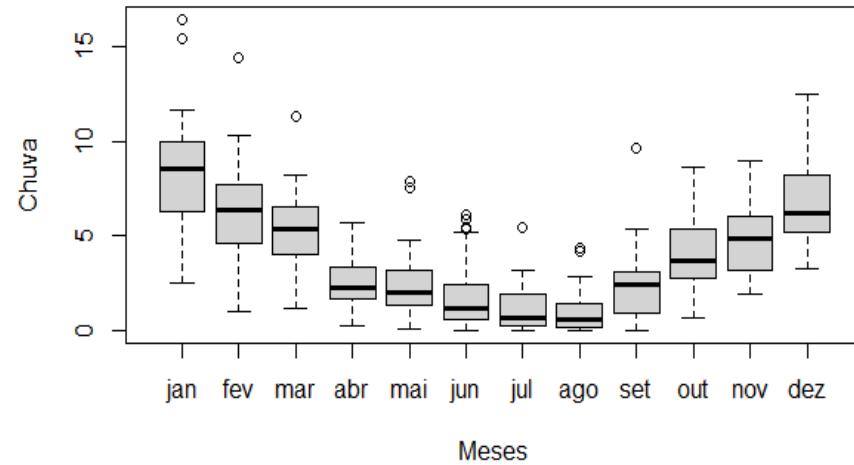
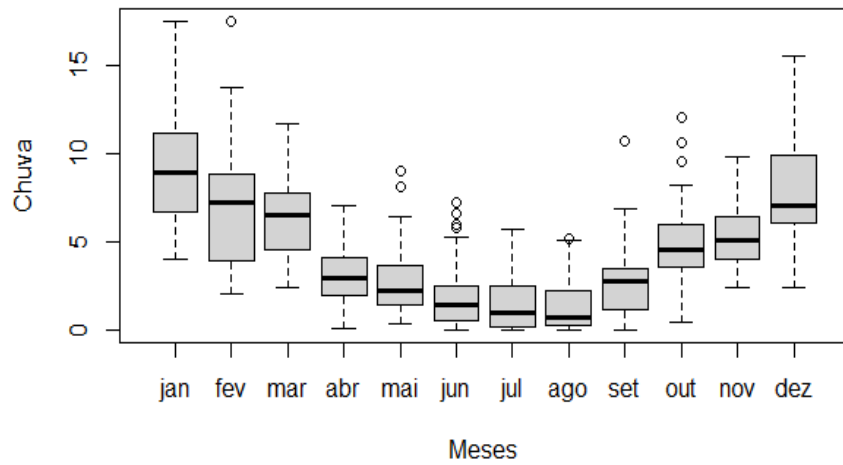
**Figura 52.** Box plots por mês para a Chuva mensal da sub-bacia Bairro da Ponte.



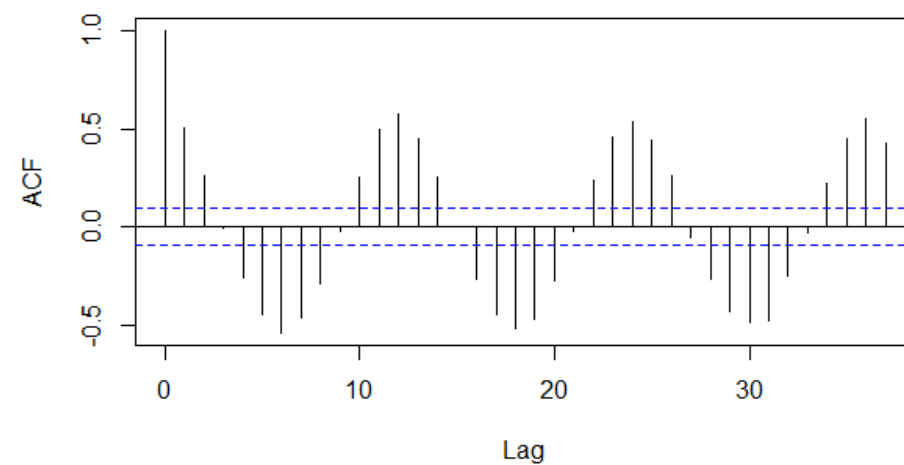
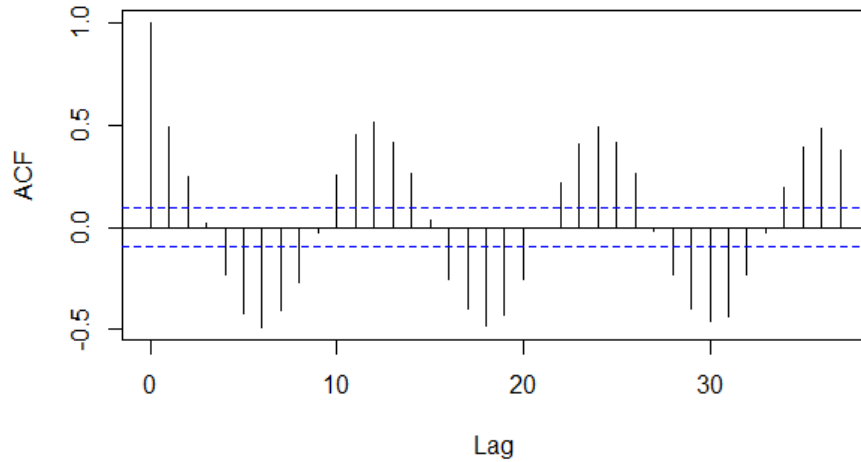
**Figura 53.** Autocorrelações da precipitação mensal da sub-bacia Ártemis.  
Org.: Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).



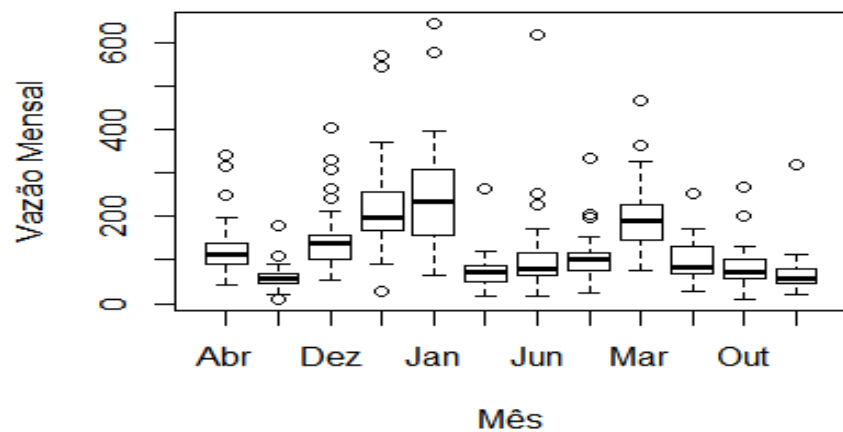
**Figura 54.** Autocorrelações da precipitação mensal da sub-bacia Bairro da Ponte.



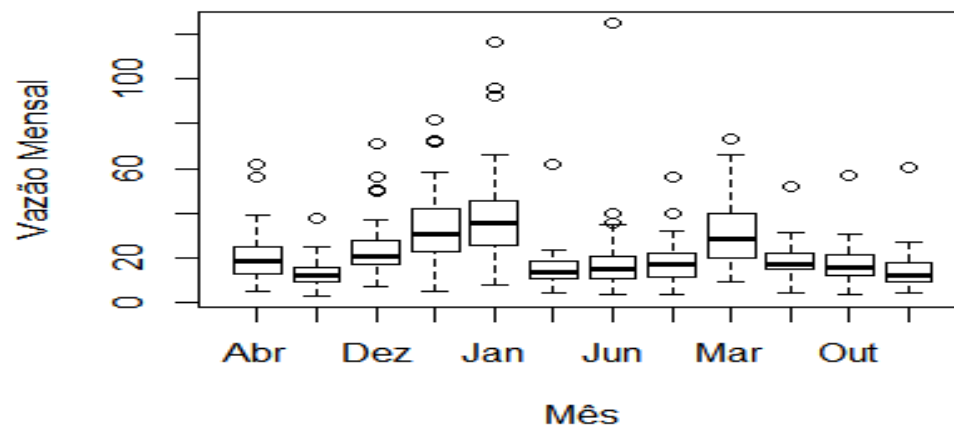
**Figura 55.** Box plots por mês para a Chuva mensal da sub-bacia Monte Alegre do Sul. **Figura 56.** Box plots por mês para a Chuva mensal da sub-bacia Usina Ester.



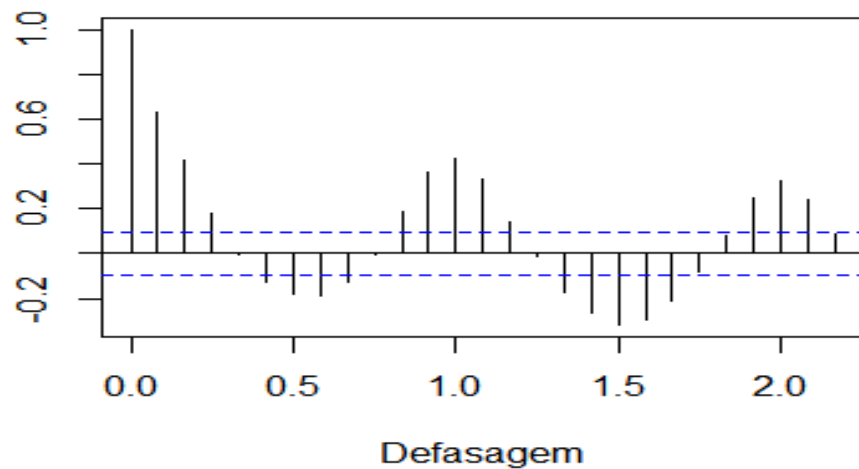
**Figura 57.** Autocorrelações da precipitação mensal da sub-bacia Monte Alegre do Sul. **Figura 58.** Autocorrelações da precipitação mensal da sub-bacia Usina Ester.  
**Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).



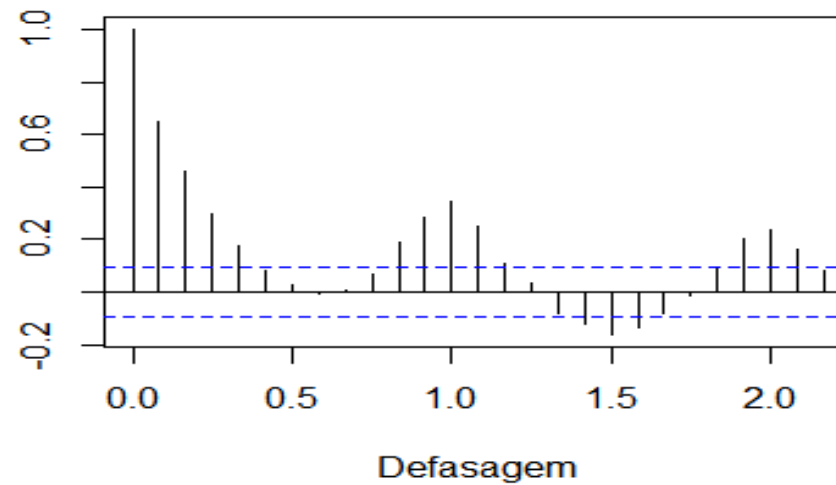
**Figura 59.** Box plots por mês para a vazão mensal da sub-bacia Ártemis.



**Figura 60.** Box plots por mês para a vazão mensal da sub-bacia Bairro da Ponte.

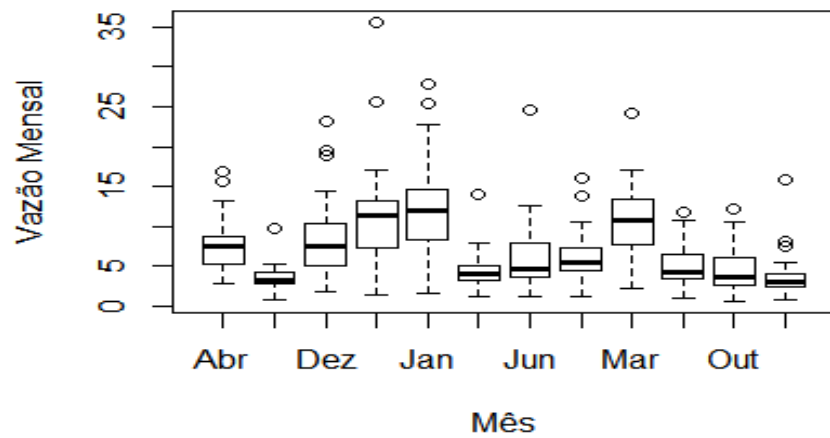


**Figura 61.** Autocorrelações da vazão mensal da sub-bacia Artêmis.

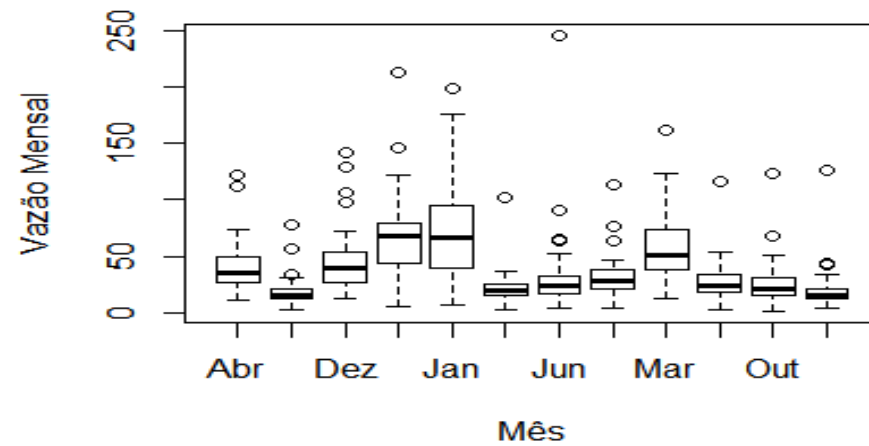


**Figura 62.** Autocorrelações da vazão mensal da sub-bacia Bairro da Ponte

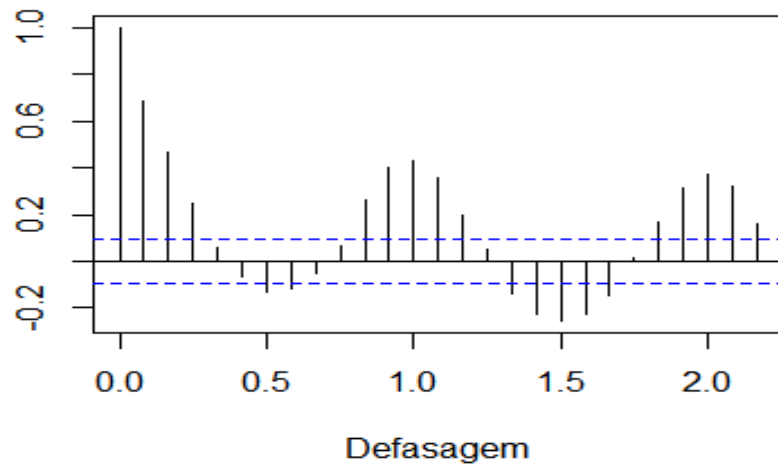
**Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).



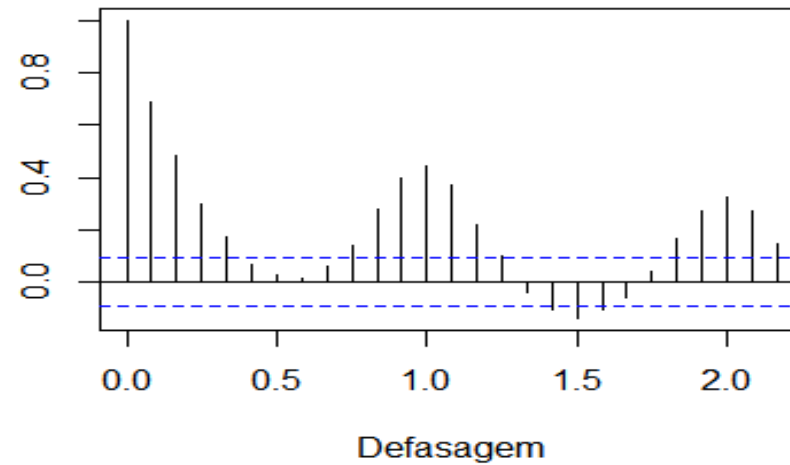
**Figura 63.** Box plots por mês para a Vazão mensal da sub-bacia Usina Ester



**Figura 64.** Box plots por mês para a Vazão mensal da sub-bacia Monte Alegre do Sul



**Figura 65.** Autocorrelações da Vazão mensal da sub-bacia Usina Ester.  
**Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).



**Figura 66.** Autocorrelações da Vazão mensal da sub-bacia Monte Alegre do Sul.

Nessa circunstância, a sazonalidade atua de maneira evidente e para que pudéssemos perceber a influência de outras forçantes naturais, como por exemplo, ENOS, foi realizado um procedimento para eliminar a sazonalidade dos dados. Para chegar até essa análise, foi calculada a média para cada um dos doze meses do ano ao longo do período de estudo e subtraída cada observação da média do respectivo mês.

As figuras apresentadas na seqüência, trazem as séries da chuva para cada sub-bacia com o procedimento para retirada da sazonalidade já adotado, como relatado acima. Comparando as novas séries com as que foram adaptadas, percebemos que alguns dos pontos de máximo visíveis pelo gráfico se mantêm enquanto outros são suavizados. Essa mudança se dá justamente devido ao procedimento de retirada da sazonalidade, que busca evitar que se leve em consideração o aumento ou queda dos níveis de chuva ou vazão em consequência do ritmo climático já marcado. Nessa característica climática local amplamente conhecida, os níveis de precipitação tendem a ser maiores no verão (dezembro a março) e diminuem no inverno (junho a agosto), porém, com o advento do ENOS essa dinâmica pode ser alterada, com incremento ou diminuição dos valores de vazão e precipitação.

Os próximos itens abordam a relação chuva e vazão nas diferentes sub-bacias, para isso alguns procedimentos foram adotados, entre eles o cálculo do coeficiente de correlação cruzada (CCF) que foi obtido para avaliar as relações entre a série de precipitação, vazão e posteriormente com o fenômeno ENOS (Morettin e Tolo, 2006).

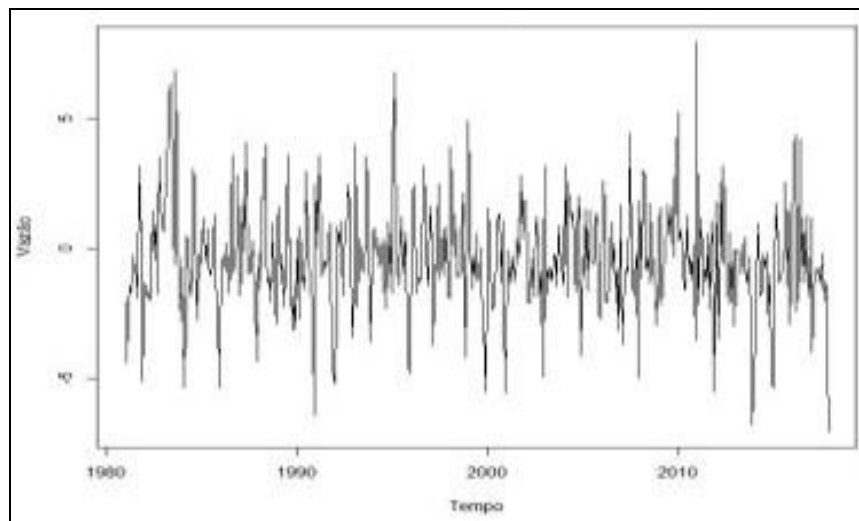
#### **4.4 Vazão ajustada pela chuva na sub-bacia Artemis.**

Observando as figuras 67 e 68, referentes à sub-bacia Ártemis, podemos observar a relação precipitação vazão, mesmo sem a sazonalidade, de maneira clara. Essa relação fica evidente nos anos de 1982, 1991, 1995 e 1998, coincidindo com

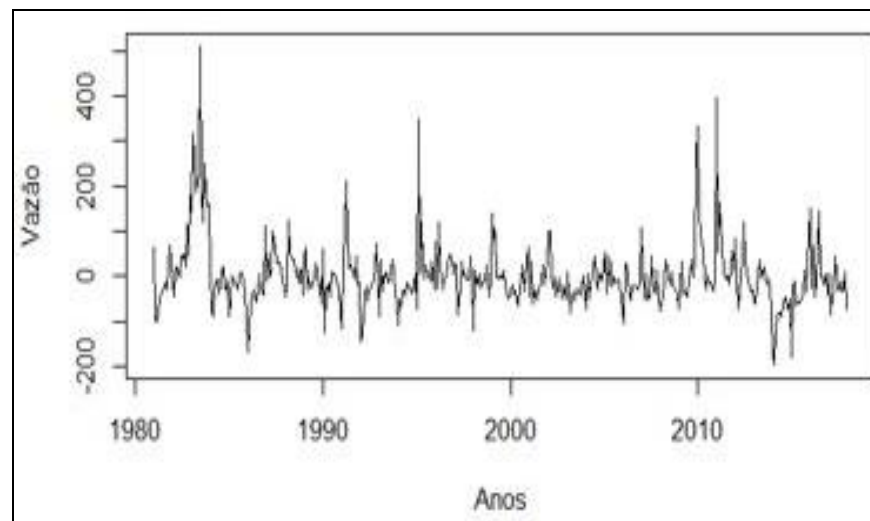
eventos de ENOS de elevada intensidade. Assim como no evento de escassez hídrica de 2014.

Ao avaliar a figura 69 podemos notar que a sazonalidade da série de vazão não mais existe, como citado anteriormente, pois não há um ritmo marcado ou uma variação de alternância comum, como na figura 63. Já a figura 70, evidencia a correlação cruzada entre vazão e precipitação.

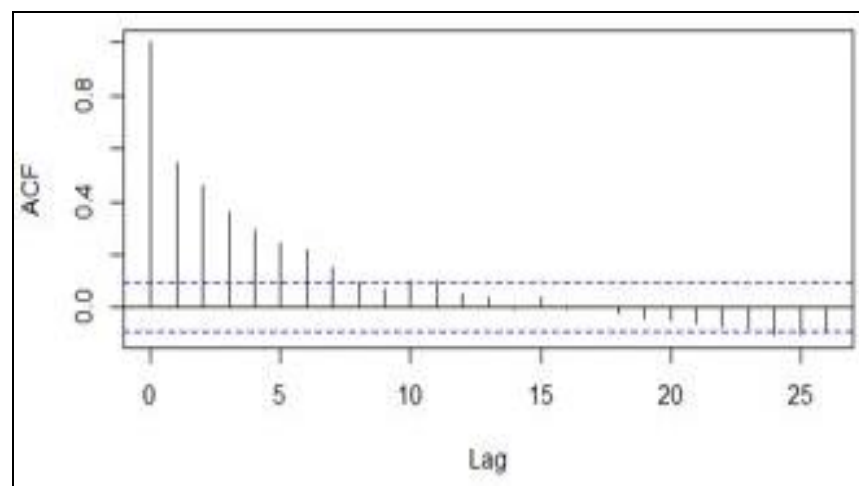
Logo, a correlação cruzada construída na estação fluviométrica de Artemis, nos mostra que os lags negativos 0 a 7 são candidatos a participar do modelo. Conforme a figura 70, as linhas que representam os lags ultrapassam o limite tracejado (nível de confiança) e vão diminuindo conforme se afastam da origem do evento. Pela função fitDist escolhemos a distribuição de Johnson Su para a variável resposta. Todas as variáveis foram significativas no modelo ajustado final, conforme Chiann et al. (2020).



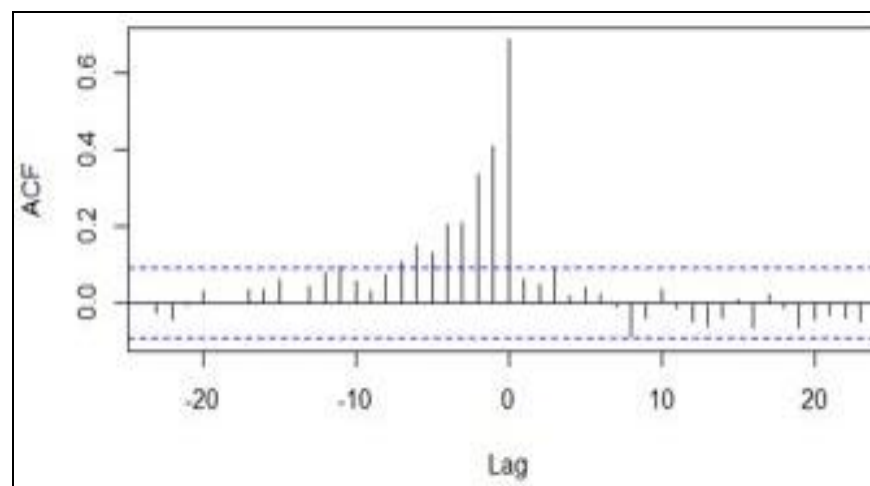
**Figura 67.** Série de precipitação sem sazonalidade na sub-bacia Ártemis.



**Figura 68.** Série da vazão sem sazonalidade na estação Artemis.



**Figura 69.** Autocorrelações da vazão na estação Ártemis.



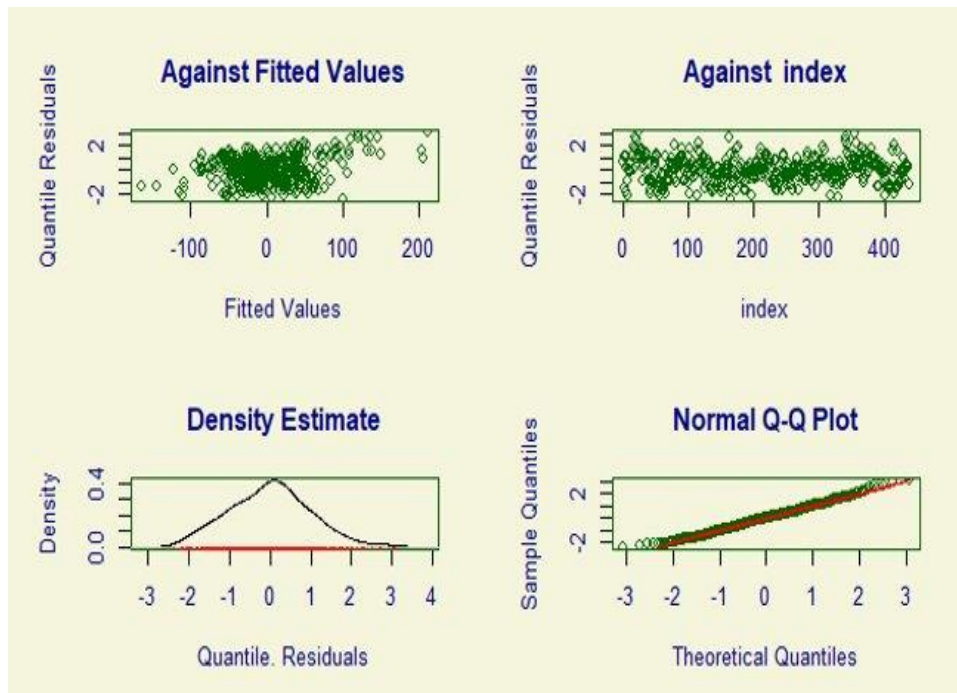
**Figura 70.** Correlações cruzadas entre vazão e chuva na sub-bacia Ártemis.

**Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

Para verificar que o modelo elaborado está bem ajustado, ou seja, que pode fornecer informações precisas, foram elaborados gráficos de resíduos.

Os gráficos de resíduos, na figura 71 mostram que o modelo está bem ajustado, pois no gráfico Against Fitted Values os pontos estão concentrados, formando uma nuvem em torno do zero, não havendo outliers visíveis, mostrando que o modelo é adequado para explicar as variáveis. Observando o gráfico Against Index destaca os pontos distribuídos de forma homogênea na representação, entre 2 e -2 não apresentando um padrão específico, mostrando que os dados estão em um intervalo aceitável. Já o gráfico Density Estimate, conforme mencionado nos parágrafos acima, também mostra uma distribuição normal dos dados já que a curva se apresenta simétrica na imagem, nos intervalos entre 3 e -3.

Por fim, o gráfico Q Q Plot, apresenta os pontos distribuídos por toda a linha vertical, em seus dois lados, não evidenciando um padrão unilateral, destacando distribuição normal dos dados.



**Figura 71.** Gráficos de resíduos para o modelo final da vazão explicada pela chuva na sub-bacia Ártemis. Org.: Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).



Pela tabela 15 podemos notar que a tendência e todos os lags entre 0 e 7 são negativos e significativos ao nível de 5%. De acordo com Guimarães (2018), o valor-p, também conhecido como valor de probabilidade, é uma medida estatística que indica a probabilidade de se obter um resultado igual ou mais extremo do que o observado, considerando-se que a hipótese nula seja verdadeira. Na prática, segundo o autor, é utilizado como uma medida de significância estatística. Se o valor-p for menor do que um nível de significância pré-determinado (geralmente 0,05), então a hipótese nula é rejeitada e os resultados são considerados estatisticamente significativos. Caso contrário, a hipótese nula não é rejeitada e não se pode afirmar com segurança que os resultados são significativos.

**Tabela 15.** Resumo do modelo final da Vazão explicada pela Chuva na sub-bacia Ártemis.

|             | <b>Estimativa</b> | <b>Erro Padrão</b> | <b>Estatística do teste</b> | <b>Valor-p</b> |
|-------------|-------------------|--------------------|-----------------------------|----------------|
| Intercepto  | 18,056            | 2,813              | 6,419                       | < 0,001        |
| Tendência   | -0,030            | 0,01               | -3,094                      | 0,002          |
| Chuva [t]   | 18,733            | 0,879              | 21,318                      | < 0,001        |
| Chuva [t-1] | 10,07             | 0,723              | 13,934                      | < 0,001        |
| Chuva [t-2] | 7,838             | 0,694              | 11,296                      | < 0,001        |
| Chuva [t-3] | 4,776             | 0,668              | 7,148                       | < 0,001        |
| Chuva [t-4] | 4,598             | 0,631              | 7,289                       | < 0,001        |
| Chuva [t-5] | 2,495             | 0,521              | 4,791                       | < 0,001        |
| Chuva [t-6] | 2,97              | 0,52               | 5,712                       | < 0,001        |
| Chuva [t-7] | 2,152             | 0,625              | 3,444                       | < 0,001        |

**Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

O modelo final pode ser escrito como:

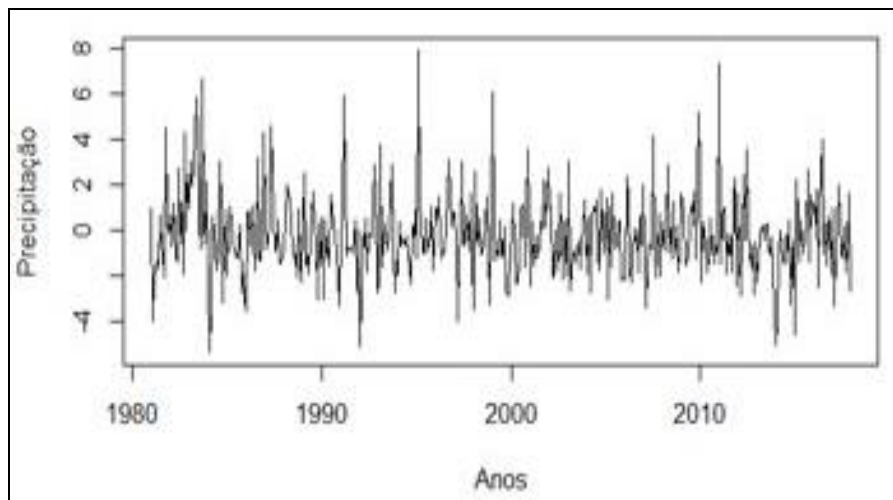
$$\text{Vazão (t)} = 18,056 - 0,03 t + 18,733 \cdot \text{Chuva(t)} + 10,07 \cdot \text{Chuva(t-1)} + 7,838 \cdot \text{Chuva(t-2)} + 4,776 \cdot \text{Chuva(t-3)} + 4,598 \cdot \text{Chuva(t-4)} + 2,495 \cdot \text{Chuva(t-5)} + 2,97 \cdot \text{Chuva(t-6)} + 2,152 \cdot \text{Chuva(t-7)}.$$

No contexto apresentado, "t" se refere ao tempo. A equação apresentada é um modelo de regressão que relaciona a vazão do rio com a precipitação ocorrida em diferentes momentos anteriores, sendo "t" o tempo atual e "t-1", "t-2", "t-3", e assim por diante, representando o tempo da chuva anterior ao tempo atual.

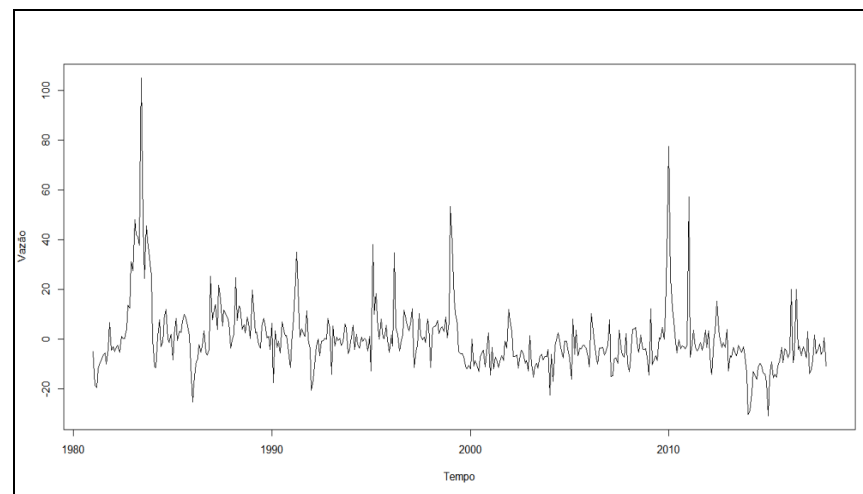
Logo, podemos interpretar o modelo acima da seguinte forma: na sub-bacia Ártemis, que representa grande parte da área de estudo, a vazão é influenciada pela chuva desde o mês do evento até os próximos 7 meses posteriores. Tal influência é maior nos meses próximos ao evento e sempre menor nos meses mais distantes, com exceção do sexto mês se comparado ao quinto.

#### **4.4.1 Vazão ajustada pela chuva na sub-bacia Bairro da Ponte**

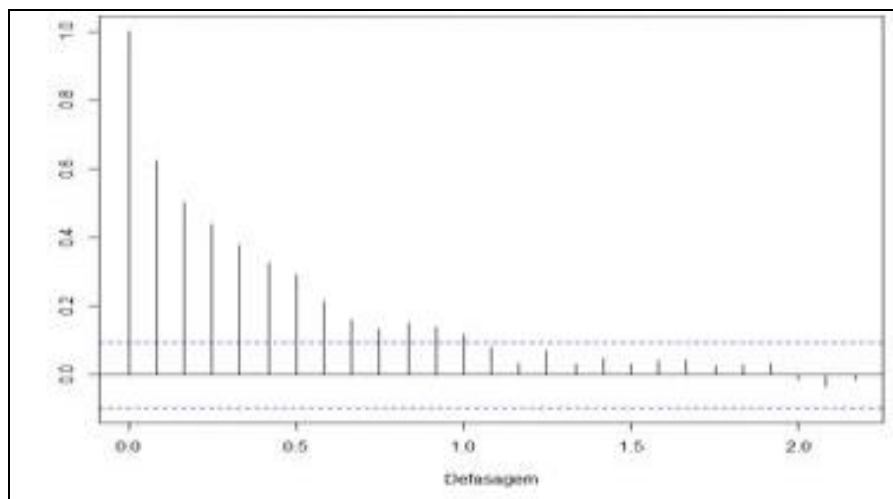
A série de precipitação e vazão mensal sem sazonalidade são mostradas nas figuras 72 e 73 Assim como em Ártemis, nos momentos onde em que há um elevado incremento ou grande diminuição da precipitação a similaridade também é observada na vazão, como por exemplo em 1982, 1983 e 1998 e na crise hídrica de 2014. A relação mais uma vez é evidente na sub-bacia hidrográfica Bairro da Ponte. A figura 74 mostra que a sazonalidade foi retirada efetivamente da série, pois mais uma vez não há um padrão de oscilação dos dados. Já a figura 75 mostra que os lags 0 e negativos até 7 foram os escolhidos para serem testados no modelo inicial, pois ultrapassam o intervalo de confiança tracejado em azul.



**Figura.72.** Série de precipitação sem sazonalidade na sub-bacia Bairro da Ponte

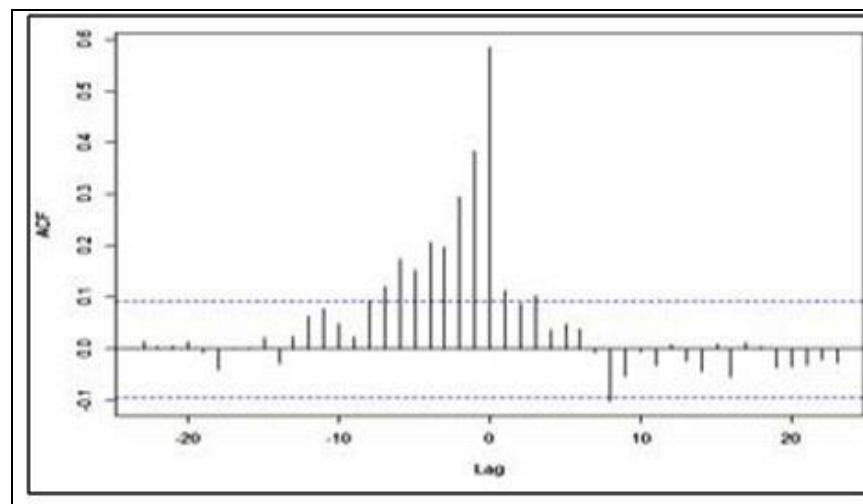


**Figura 73.** Série da vazão sem sazonalidade na sub-bacia Bairro da Ponte



**Figura 74.** Autocorrelações da vazão na estação Bairro da Ponte.

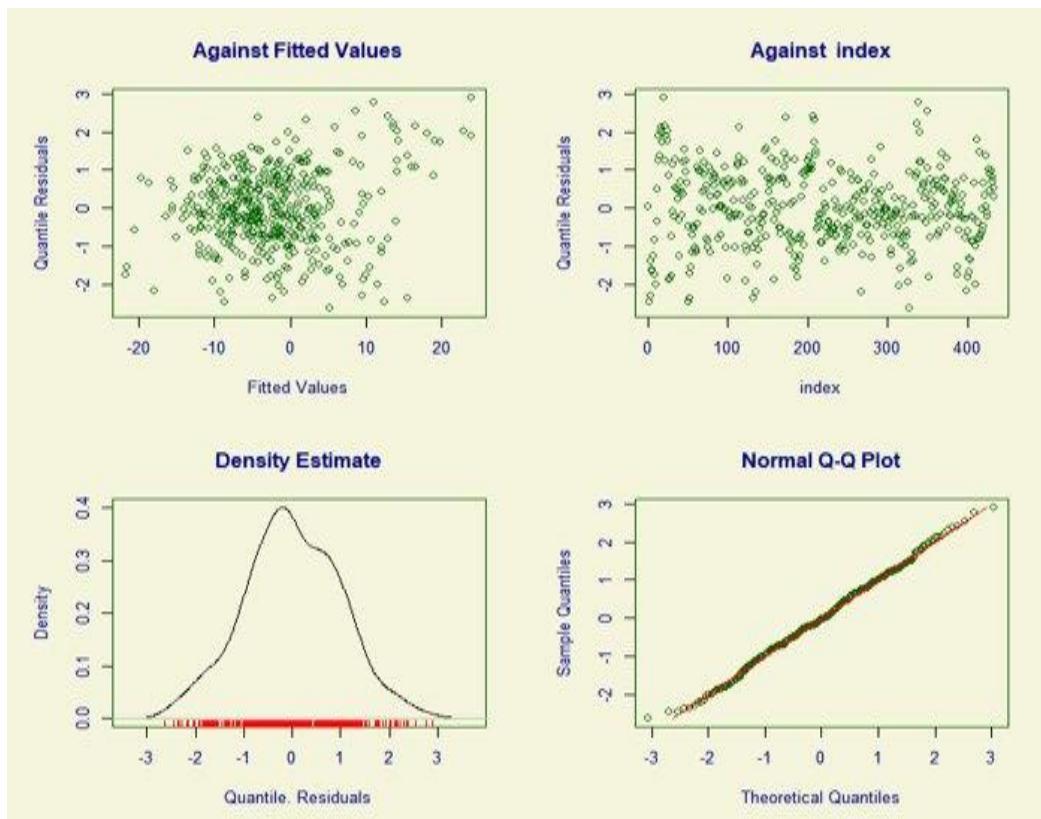
**Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).



**Figura 75.** Correlações cruzadas entre vazão e chuva na sub-bacia Bairro da Ponte.

A Figura 76 mostra que o modelo está bem ajustado, pois seus resíduos aparentam satisfazer as suposições feitas de normalidade, aleatoriedade (independência) e homocedasticidade conforme as características citadas na descrição de cada gráfico no item anterior.

A normalidade dos resíduos significa que eles seguem uma distribuição normal, o que é importante porque muitos testes estatísticos assumem que os dados seguem uma distribuição normal. A aleatoriedade ou independência dos resíduos significa que eles não apresentam padrões ou dependências entre si, o que garante que cada observação contribua de forma independente para o modelo. A homocedasticidade significa que a variância dos erros é constante em toda a faixa dos valores ajustados, o que garante que a precisão do modelo é a mesma em toda a faixa dos valores ajustados (RIBOLDI, 2014).



**Figura 76.** Gráficos de resíduos para o modelo final da Vazão explicada pela Chuva na sub-bacia Bairro da Ponte. **Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

Todos os lags candidatos se mostraram significativos, ao nível de 5%, conforme tabela 16.

**Tabela 16.** Resumo do modelo final para Vazão explicada pela Chuva na sub-bacia Bairro da Ponte.

|            | Estimativa | Erro Padrão | Estatística do teste | Valor-p |
|------------|------------|-------------|----------------------|---------|
| Intercepto | 4,976      | 1,034       | 4,812                | <0,001  |
| Tendência  | -0,025     | 0,002       | -12,508              | < 0,001 |
| Chuva[t-7] | 0,272      | 0,107       | 2,539                | 0,011   |
| Chuva[t-6] | 0,348      | 0,111       | 3,119                | 0,002   |
| Chuva[t-5] | 0,337      | 0,116       | 2,902                | 0,004   |
| Chuva[t-4] | 0,62       | 0,116       | 5,357                | <0,001  |
| Chuva[t-3] | 0,674      | 0,127       | 5,315                | <0,001  |
| Chuva[t-2] | 0,966      | 0,121       | 8,000                | <0,001  |
| Chuva[t-1] | 1,218      | 0,13        | 9,377                | < 0,001 |
| Chuva[t]   | 2,192      | 0,149       | 14,716               | < 0,001 |

**Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

Portanto o modelo final pode ser escrito como:

$$\text{Vazão}(t) = 4,976 - 0,025 t + 0,272 \cdot \text{Chuva}(t-7) + 0,348 \cdot \text{Chuva}(t-6) + 0,337 \cdot \text{Chuva}(t-5) + 0,62 \cdot \text{Chuva}(t-4) + 0,674 \cdot \text{Chuva}(t-3) + 0,966 \cdot \text{Chuva}(t-2) + 1,218 \cdot \text{Chuva}(t-1) + 2,192 \cdot \text{Chuva}(t).$$

Esse modelo nos diz que, para a sub-bacia Bairro da Ponte, a vazão sofre influência da precipitação desde a origem do evento até os 7 meses subsequentes. Essa influência é maior conforme aproximamo-nos da origem da chuva e diminui a medida que o tempo avança, com exceção do mês 6 para o 7. Além disso, observamos que existe uma tendência de queda nos níveis de vazão da sub-bacia dentro do período de estudo.

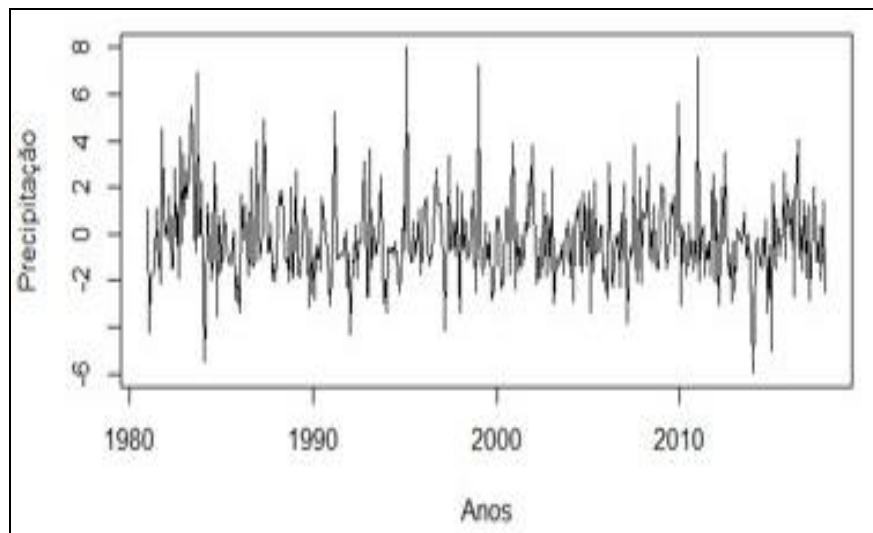
#### 4.4.2 Vazão ajustada pela chuva na sub-bacia Usina Ester

A sub-bacia de Usina Ester apresenta comportamentos semelhantes àqueles vistos até o momento no restante da área de estudo. A relação chuva e vazão está

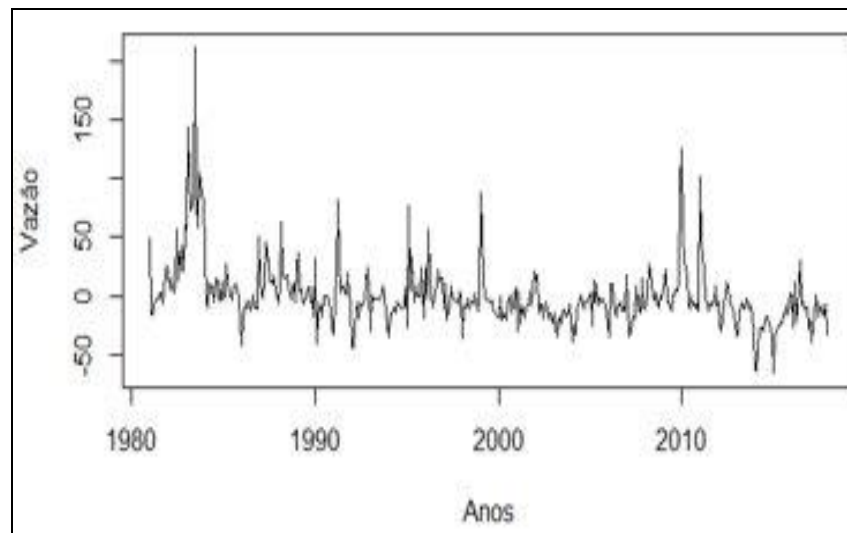
presente nos momentos de maior variação da série de dados. As figuras 77 e 78, nos mostram essa relação no início da década de 1980 em que há um crescimento bastante acentuado nos níveis de vazão, ocorrido justamente pelos elevados níveis de precipitação. Note que algo semelhante acontece com os anos de 2008, 198 e 2014, trazendo mais uma vez a relação no período de estudo.

Avançando para a figura 79, podemos ver que de fato o procedimento adotado para a retirada da sazonalidade da vazão na estação Usina Ester foi efetivado. A ciclicidade nos registros de vazão desapareceu.

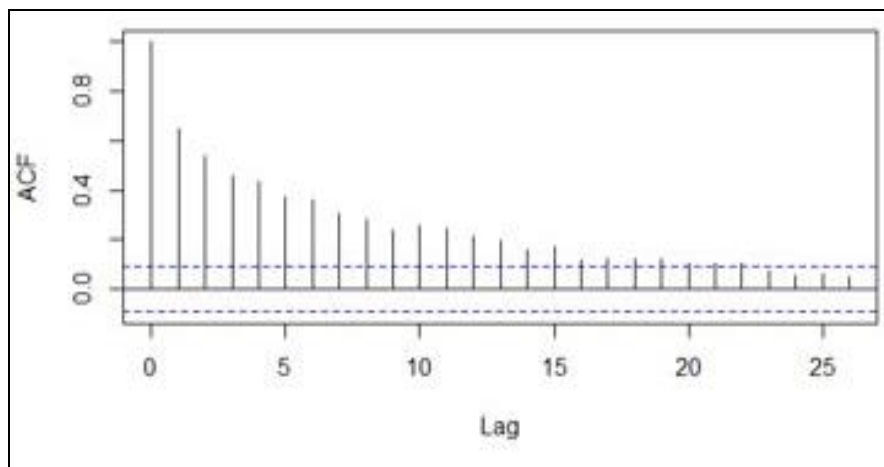
Na Figura 82 podemos verificar que a correlação cruzada entre vazão e a precipitação pluviométrica foi estabelecida. Logo, observamos que a correlação cruzada entre vazão e a precipitação pluviométrica aponta como candidatos os lags negativos 0 a 8, e depois os lags 10, 11 e 12. São esses lags que foram testados para avaliar qual o melhor modelo final para esse caso, pois ultrapassaram o limite de confiança conforme o gráfico.



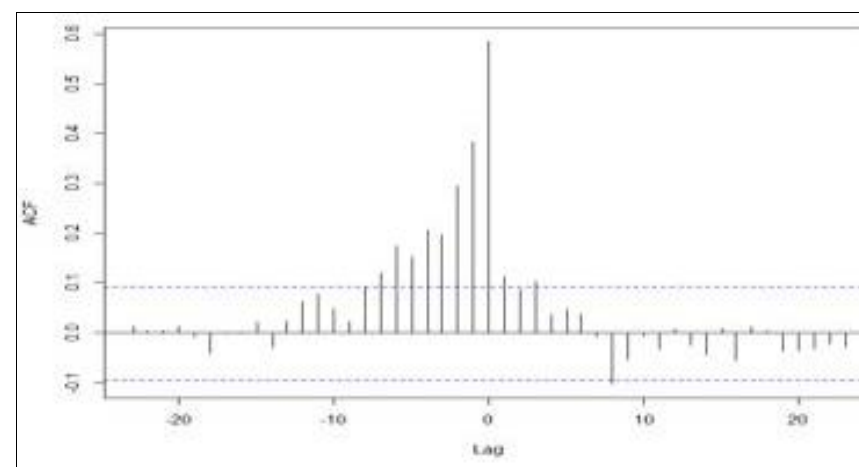
**Figura 77.** Série de precipitação sem sazonalidade na sub-bacia Usina Ester.



**Figura 78.** Série da vazão sem sazonalidade na estação Usina Ester.



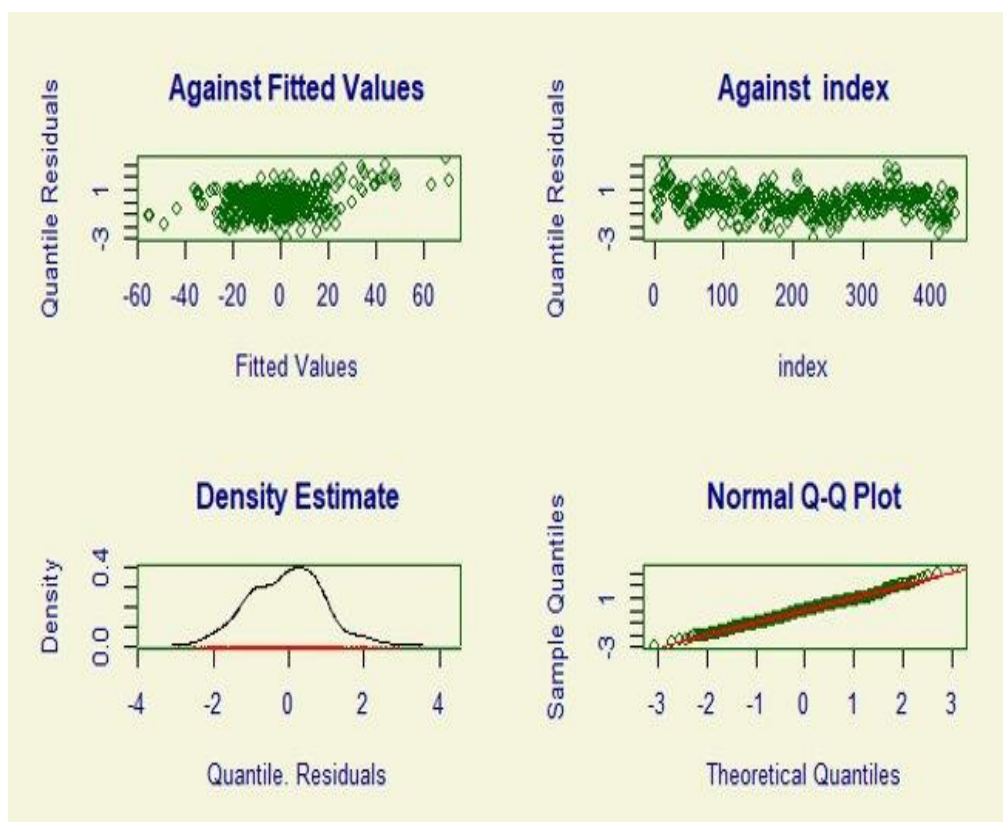
**Figura 79.** Autocorrelações da vazão sem a sazonalidade na estação Usina Ester.



**Figura 80.** Correlações cruzadas entre vazão e chuva na sub-bacia Usina Ester.

Org.: Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

Analisando os resíduos na figura 81 podemos observar que o modelo está bem ajustado, pois obedece a todos os critérios citados anteriormente.



**Figura 81.** Gráficos de resíduos para o modelo final da vazão explicada pela chuva na sub-bacia Usina Ester. **Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

A tabela 17 apresenta o modelo final com os lags negativos 0 a 8, mais os lags 10 e 11 e a tendência.

**Tabela 17.** Resumo do modelo final da Vazão explicada pela Chuva na sub-bacia Usina Ester.

|              | <b>Estimativa</b> | <b>Erro Padrão</b> | <b>Estatística do teste</b> | <b>Valor-p</b> |
|--------------|-------------------|--------------------|-----------------------------|----------------|
| Intercepto   | 13,612            | 1,127              | 12,082                      | < 0,001        |
| Tendência    | -0,049            | 0,004              | -12,090                     | < 0,001        |
| Chuva [t]    | 5,476             | 0,373              | 14,681                      | < 0,001        |
| Chuva [t-1]  | 2,759             | 0,267              | 10,325                      | < 0,001        |
| Chuva [t-2]  | 2,534             | 0,27               | 9,397                       | < 0,001        |
| Chuva [t-3]  | 1,428             | 0,249              | 5,744                       | < 0,001        |
| Chuva [t-4]  | 1,456             | 0,228              | 6,396                       | < 0,001        |
| Chuva [t-5]  | 0,962             | 0,208              | 4,624                       | < 0,001        |
| Chuva [t-6]  | 0,975             | 0,199              | 4,905                       | < 0,001        |
| Chuva [t-7]  | 0,502             | 0,216              | 2,322                       | 0,021          |
| Chuva [t-8]  | 0,695             | 0,244              | 2,840                       | 0,005          |
| Chuva [t-10] | 0,895             | 0,244              | 3,670                       | < 0,001        |
| Chuva [t-11] | 0,679             | 0,213              | 3,196                       | 0,001          |

**Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).



O modelo final pode ser escrito como:

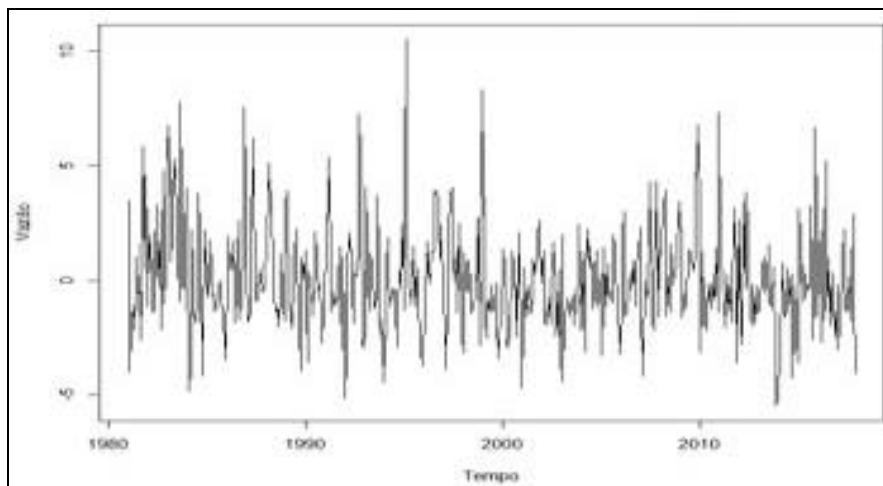
$$\text{Vazão}(t) = 13,612 - 0,049 t + 5,476 \cdot \text{Chuva}(t) + 2,759 \cdot \text{Chuva}(t-1) + 2,534 \cdot \text{Chuva}(t-2) + 1,428 \cdot \text{Chuva}(t-3) + 1,456 \cdot \text{Chuva}(t-4) + 0,962 \cdot \text{Chuva}(t-5) + 0,975 \cdot \text{Chuva}(t-6) + 0,502 \cdot \text{Chuva}(t-7) + 0,695 \cdot \text{Chuva}(t-8) + 0,895 \cdot \text{Chuva}(t-10) + 0,679 \cdot \text{Chuva}(t-11).$$

No modelo acima concluímos que, dentro da sub-bacia Usina Ester, a vazão é influenciada pela chuva desde sua origem até o oitavo mês atual e então o décimo e o décimo primeiro mês seguinte. Essa influência é maior nos primeiros meses e cai linearmente com exceção do quarto mês, que mostra uma influência bem próxima a do terceiro mês, além do sexto mês que apresenta influência muito próxima a do quinto mês, do oitavo mês que influencia mais que o sétimo, do décimo que influencia mais que o sétimo e oitavo e finalmente do décimo primeiro que influencia mais que o sétimo. O modelo também mostra uma tendência de diminuição da vazão no período.

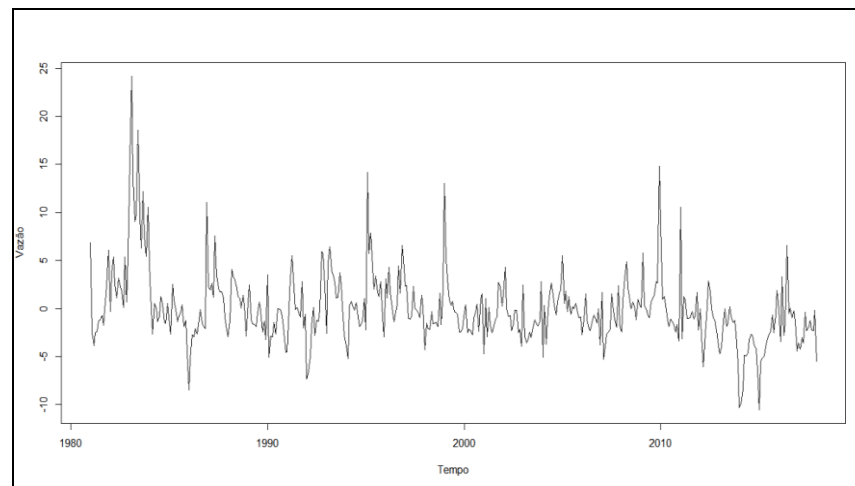
#### **4.4.3 Vazão ajustada pela Chuva na sub-bacia Monte Alegre do Sul**

Finalmente, a menor sub-bacia da área de estudo, Monte Alegre do Sul. A série de precipitação mensal sem sazonalidade é mostrada na figura 82 e a série da vazão mensal sem sazonalidade está na figura 83. Nesse contexto também é possível notar pontos de similaridade entre os gráficos, como por exemplo, em 2005, 2008, 2009, 2014 e 2015.

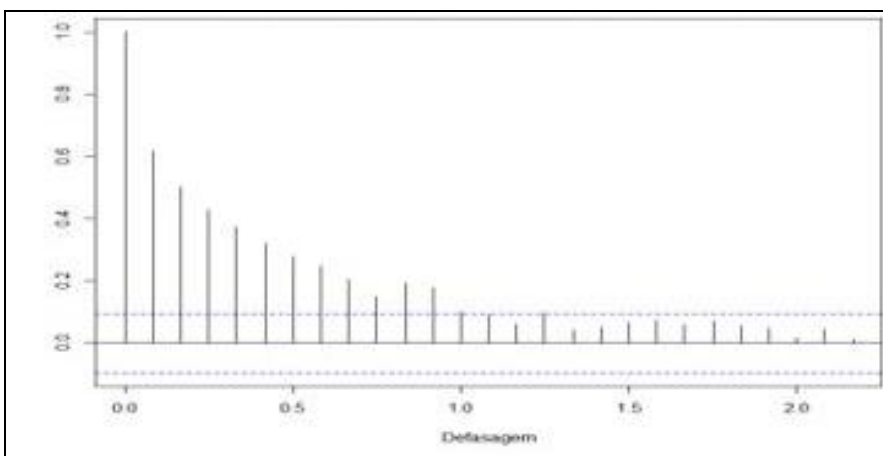
Mais uma vez a função `fitDist` da família GAMLSS foi aplicada, a fim de se determinar a melhor distribuição que se ajustava aos dados da variável resposta. A distribuição obtida foi a Johnson Su original. A figura 84 confirma a retirada de sazonalidade da série. Em seguida foram determinados os lags candidatos a serem significantes. A figura 85, de autocorrelação cruzada entre vazão e precipitação, mostra que os lags negativos de 0 até 8 foram os candidatos.



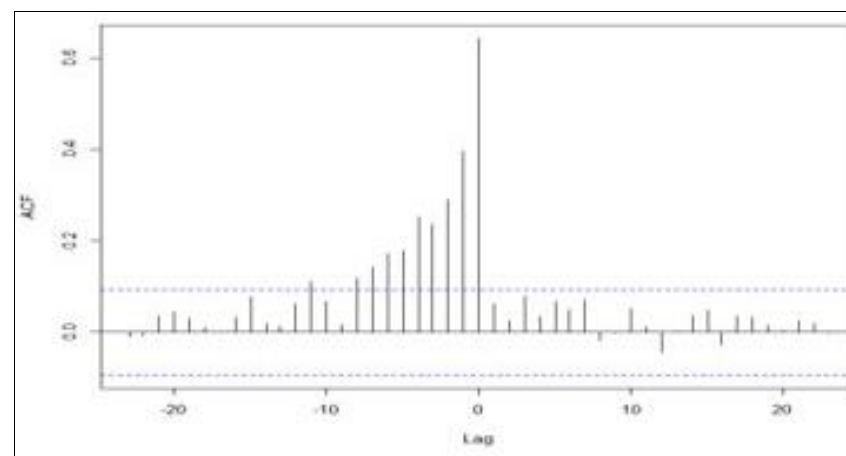
**Figura 82.** Série de precipitação sem sazonalidade na sub-bacia Monte Alegre do Sul.



**Figura 83.** Série de vazão sem sazonalidade na estação Monte Alegre do Sul.



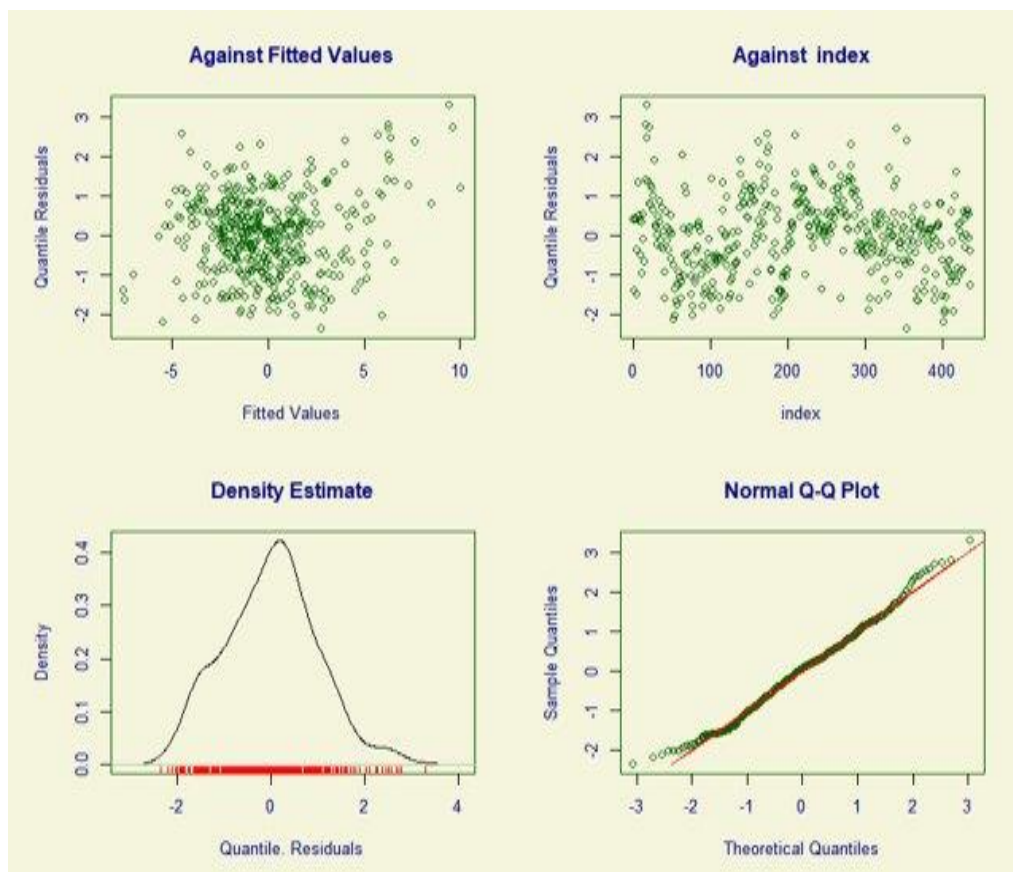
**Figura 84.** Autocorrelações da Vazão sem a sazonalidade na estação Monte Alegre do Sul.



**Figura 85.** Correlações Cruzadas na sub-bacia Monte Alegre do Sul.

**Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

Analisando os resíduos na figura 86 podemos observar que o modelo está bem ajustado pois, os dados foram plotados conforme as especificidades citadas nos itens anteriores.



**Figura 86.** Gráficos de resíduos para o modelo final da Vazão explicada pela Chuva na sub-bacia Monte Alegre do Sul. **Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

A tabela 18 apresenta o modelo final com os lags negativos 0 a 8 e a tendência.

**Tabela 18.** Resumo do modelo final da vazão explicada pela chuva na sub-bacia Monte Alegre do Sul.

|            | <b>Estimativa</b> | <b>Erro Padrão</b> | <b>Estatística do teste</b> | <b>Valor-p</b> |
|------------|-------------------|--------------------|-----------------------------|----------------|
| Intercepto | 0,760             | 0,257              | 2,962                       | 0,003          |
| Tendência  | -0,004            | 0,001              | -6,333                      | < 0,001        |
| Chuva[t-8] | 0,095             | 0,033              | 2,878                       | 0,004          |
| Chuva[t-7] | 0,094             | 0,032              | 2,945                       | 0,003          |
| Chuva[t-6] | 0,144             | 0,033              | 4,340                       | < 0,001        |
| Chuva[t-5] | 0,146             | 0,034              | 4,248                       | < 0,001        |

|            |       |       |        |         |
|------------|-------|-------|--------|---------|
| Chuva[t-4] | 0,195 | 0,033 | 5,956  | < 0,001 |
| Chuva[t-3] | 0,215 | 0,038 | 5,693  | < 0,001 |
| Chuva[t-2] | 0,327 | 0,038 | 8,574  | < 0,001 |
| Chuva[t-1] | 0,383 | 0,038 | 9,925  | < 0,001 |
| Chuva[t]   | 0,757 | 0,042 | 18,178 | < 0,001 |

**Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

O modelo final pode ser escrito como:

$$\text{Vazão}(t) = 0,76 - 0,004 t + 0,757 \cdot \text{Chuva}(t) + 0,383 \cdot \text{Chuva}(t-1) + 0,327 \cdot \text{Chuva}(t-2) + 0,215 \cdot \text{Chuva}(t-3) + 0,195 \cdot \text{Chuva}(t-4) + 0,146 \cdot \text{Chuva}(t-5) + 0,144 \cdot \text{Chuva}(t-6) + 0,094 \cdot \text{Chuva}(t-7) + 0,096 \cdot \text{Chuva}(t-8).$$

O modelo acima nos mostra que, para a sub-bacia Monte Alegre do Sul, a vazão é influenciada pela origem do evento de precipitação desde a origem até os 8 meses posteriores ao acontecimento. Essa força também é maior nos meses próximos a chuva e vai diminuindo linearmente conforme se afasta.

Da mesma forma que nas 3 outras sub-bacias, observamos um decréscimo na vazão fluvial no período estudado.

Correa (2017), em seus escritos acerca da influência de ENOS na bacia hidrográfica do Rio Piquiri-PR, verificou a influência dos IOS no maior intervalo de confiança de 1 a 3 meses de defasagem, corroborando com as leituras feitas na BHRP.

#### **4.4.4 Considerações sobre a relação a precipitação e vazão.**

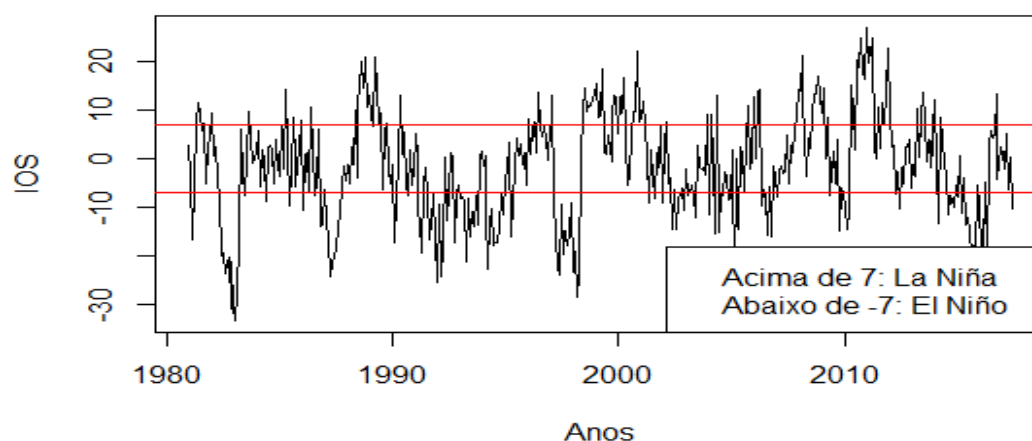
Após a análise dos dados, foi possível perceber o nível de influência da precipitação na vazão da bacia hidrográfica do rio Piracicaba. Houve tendência negativa e significativa em todos os casos, o que mostra que a vazão modelada para cada caso tem diminuído durante o período do estudo. De maneira geral, a chuva influencia na vazão da bacia em até 11 meses após sua origem. De maneira específica, na sub-bacia de Ártemis, a influência se deu após 7 meses desde sua origem. Em Usina Ester, a

influência se deu em 8 e depois em 10, 11 e 12 meses. Em Bairro da Ponte 7 meses anteriores e finalmente Monte Alegre do Sul 8 meses após sua origem.

#### 4.5 Análise e discussão dos resultados da correlação entre ENOS, precipitação e vazão fluvial

O fenômeno El Niño vem sendo responsabilizado pelas anomalias climáticas em algumas regiões do planeta nas últimas décadas, como, por exemplo, secas ou chuvas intensas em determinados setores do Brasil (Galvani et al, 1998). Sob essa condição, a variação da TSM foi quantificada, posteriormente o IOS determinado e assim os anos de El Niño e La Niña verificados.

A partir dos dados do Bureau of Meteorology – National Climate Centre Austrália , foi possível elaborar o gráfico da série de IOS, conforme a figura 87.

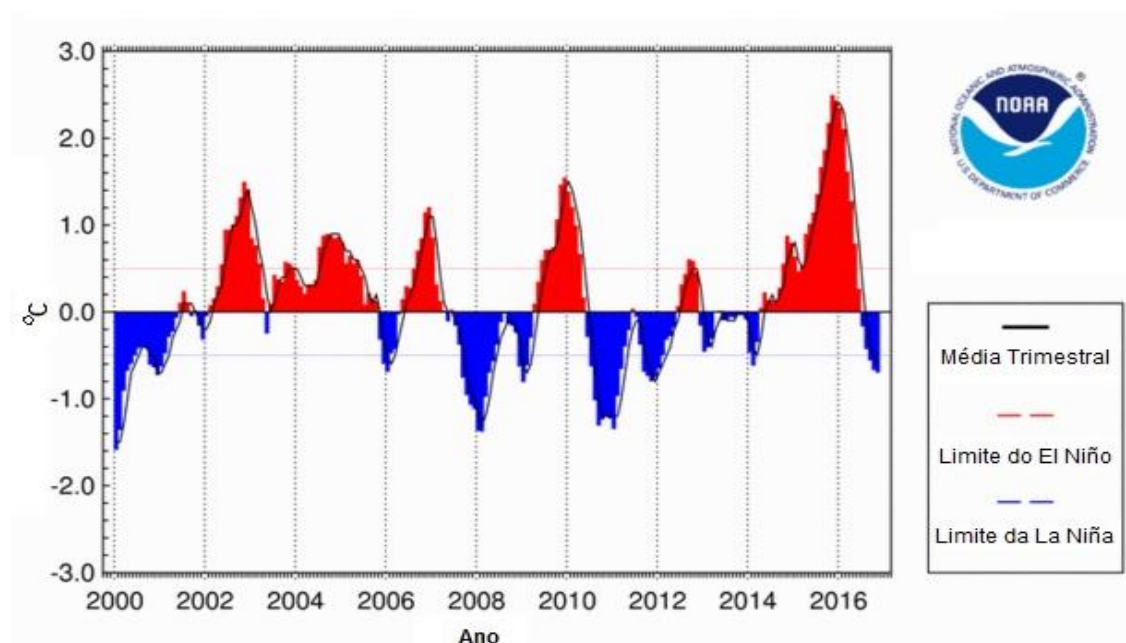


**Figura 87.** Gráfico da série de IOS com retas indicando possível classificação de fenômeno. **Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

Levando em consideração a variação da TSM e outros fatores são possíveis determinar a existência de momentos de El Niño e La Niña. Segundo a NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), a observação por meio de bóias flutuantes, análise de nível do mar e satélites de maneira combinada pode ser considerada comum e eficiente.

Entretanto, outros elementos devem ser observados, entre eles, fluxo de ventos considerados anômalos, a radiação de ondas longas de saída, que medida ano topo da nuvem podem indicar menor fluxo de radiação infravermelha. Importante ressaltar que essas medições podem ser consideradas simples sendo conseguidas via satélite.

A figura 88 apresenta a variação do TSM, configurando eventos de El Niño e La Niña, elaborado por meio dos métodos já descritos.



**Figura 88.** Gráfico da média trimestral da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na região 3.4 (região central do Pacífico equatorial) do Niño. **Fonte:** NOAA, 2020.

Durante a série analisada, foi possível verificar, para cada mês, o comportamento interanual dos valores de TSM. A figura 89, evidencia essa realidade. Por meio dessa análise ficou notório que as maiores temperaturas medianas do fenômeno El Niño ocorreram durante abril a junho. Nesses mesmos meses, a variabilidade de temperatura também pode ser considerada a menor se comparada com o resto da série.

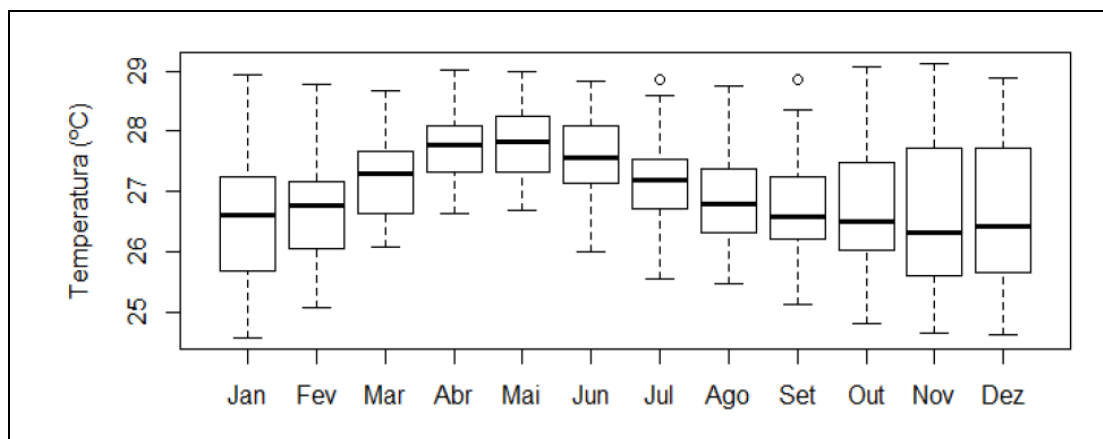
Alguns estudos verificaram a variabilidade interanual da TSM do Pacífico, apontando os ciclos interanuais, entre eles, Gu e Philander, 1995 e Setoh et al., 1999.

Por meio dos estudos dos diferentes autores ficou evidente que o ciclo anual de TSM do Oceano Pacífico equatorial varia muito mais em uma escala temporal interanual do que decenal

Souza Neto (2021), verificando a variabilidade climática dos oceanos Pacífico e Atlântico, concluíram que há maior aquecimento no oceano Pacífico e que os setores sul estão com temperaturas mais elevadas se comparado ao norte.

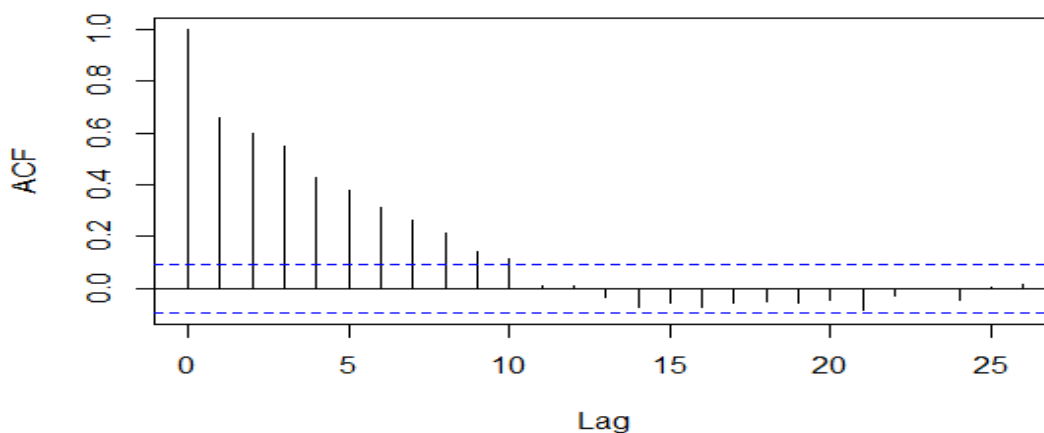
Wu et al. (2020) evidenciaram que maiores frequências de eventos de El Niño, no Pacífico Tropical relacionados com o período mais quente do Atlântico Norte exercem forte influência sobre as chuvas em todo o nordeste brasileiro e os eventos extremos de secas estão se tornando mais fortes e duradouros.

A variabilidade do ciclo anual de TSM, na escala decenal ou de mais baixa frequência, pode refletir também as interações entre os modos de variabilidade interanual e anual de TSM do Pacífico. Wang e Wang (1996) mostraram que tanto o aquecimento, como o resfriamento anômalo das águas superficiais no Pacífico equatorial leste, alcançam seu máximo na estação fria deste setor oceânico, de setembro a janeiro, resultando em ciclo do ENOS em fase com o ciclo do anual de TSM do Pacífico Tropical. Já no setor estudado, Niño 3,4, o ápice do aquecimento e resfriamento se deu em épocas diferentes, ocorrendo entre abril a novembro. Durante o período estudado, a média de TSM foi de 27,02 °C, a temperatura mínima 24,58 °C e a máxima 29,12°C.



**Figura 89:** série histórica interanual da TSM.  
**Org.:** Adriano de Souza Antunes

A figura 90 mostra o gráfico de autocorrelação para essa série, e nele não vemos sinais de sazonalidade, uma vez que as alturas das retas verticais, que ultrapassaram o intervalo de confiança, caem suavemente e constantemente, sem alternância de subidas e descidas.



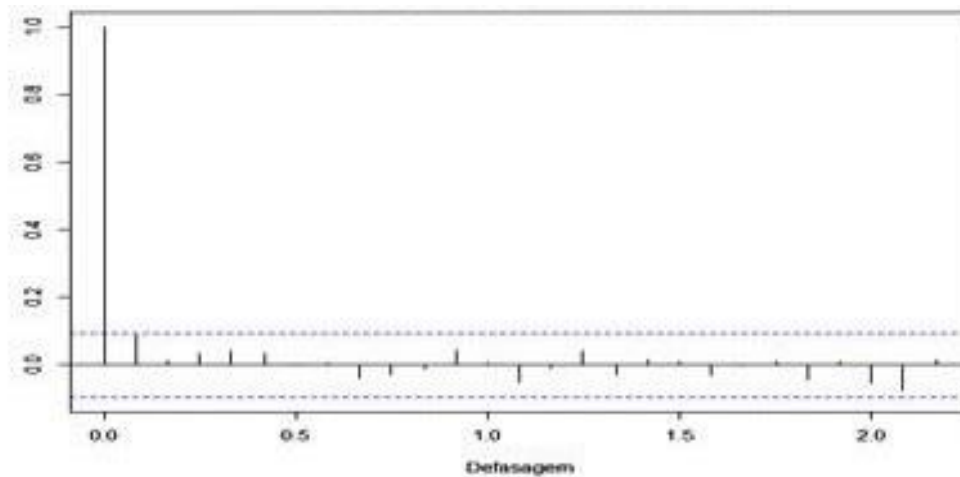
**Figura 90.** Gráfico de autocorrelação da série IOS.  
**Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

#### 4.5.1 Precipitação na sub-bacia Ártemis ajustada pelo IOS

Assim como em outras etapas do estudo, a função `fitdist` do pacote `Gamlss` foi aplicada, a fim de obter-se a distribuição que melhor ajustasse aos dados da variável resposta, esta função retornou a Skew exponential power.

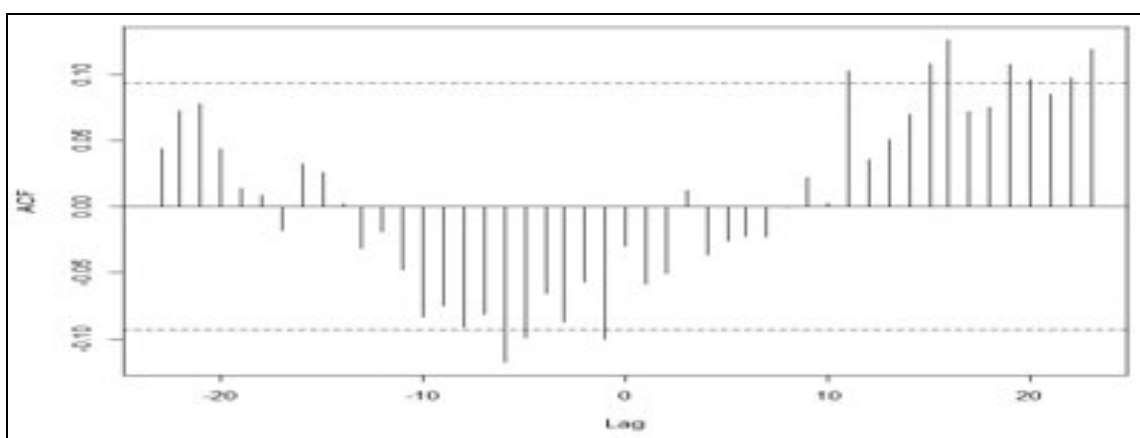


A figura 91 mostra que a sazonalidade foi retirada, pois não há um ritmo ou variação cíclica aparente. As linhas não ultrapassam o intervalo de confiança pré-estabelecido, traçado por meio do tracejado em azul, logo a correlação não é considerada significativa, ou seja, não há evidência estatística para indicar que a relação entre as duas séries é real.



**Figura 91.** Autocorrelações da precipitação na sub-bacia Ártemis.  
**Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

Em seguida foram estabelecidos os candidatos a lags para uso na modelagem. Foram utilizadas as correlações cruzadas entre a série IOS e a série de precipitação pluviométrica da sub-bacia Ártemis. A figura 92 mostra que os candidatos são os lags 6, 5 e 1, negativos.



**Figura 92.** Correlações cruzadas entre a chuva na sub-bacia Ártemis e o IOS.  
**Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

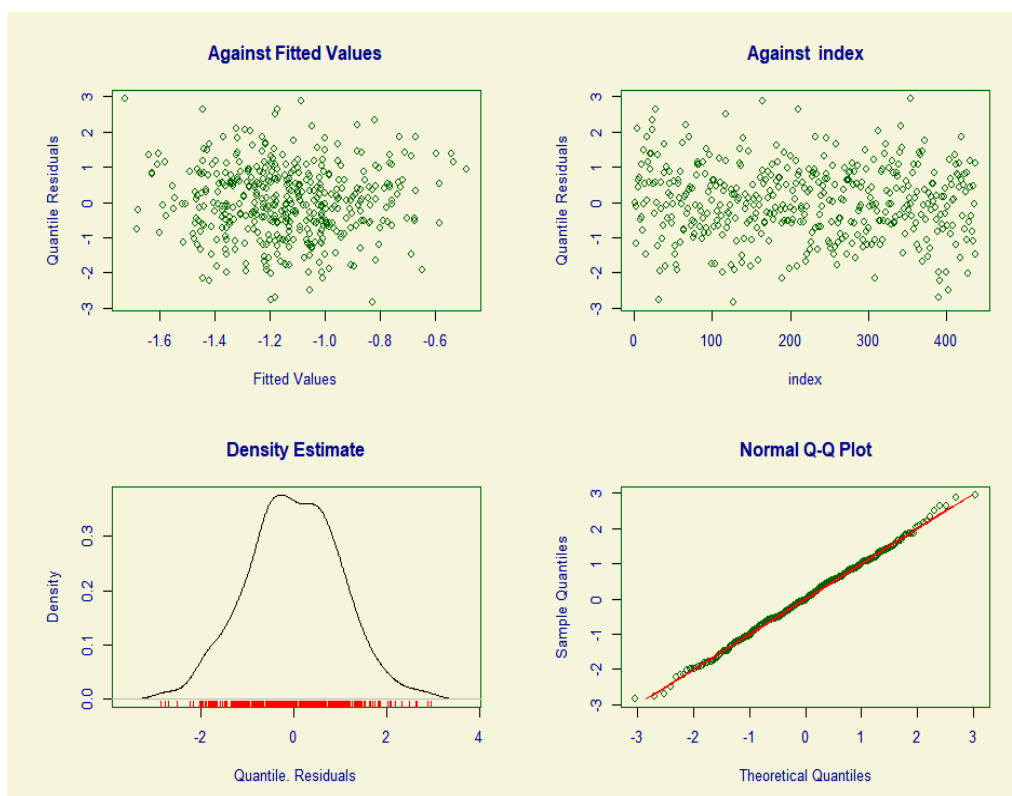
Estabelecidos os candidatos à modelagem, o próximo estágio foi ajustar o modelo e analisar os resíduos. Por meio da tabela 19, observamos que os lags 6 e 5, assim como a tendência, não foram significantes ao nível de significância de 5%, enquanto, o lag 1 foi significativo.

**Tabela 19.** Resumo do modelo final da precipitação na sub-bacia Ártemis explicada pelo IOS.

|            | Estimativa | Erro Padrão | Estatística do teste | Valor-p |
|------------|------------|-------------|----------------------|---------|
| Intercepto | -1,169     | 0,066       | -17,650              | < 0,001 |
| IOS [t-1]  | -0,020     | 0,006       | -3,310               | 0,001   |

Org.: Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

A figura 93 mostra que podemos considerar o modelo bem ajustado, pois obedece aos requisitos de normalidade e homocedasticidade.



**Figura 93.** Gráficos de resíduos para o modelo final da chuva mensal na sub-bacia Ártemis explicada pelo IOS. Org.: Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

O modelo final pode ser escrito como:

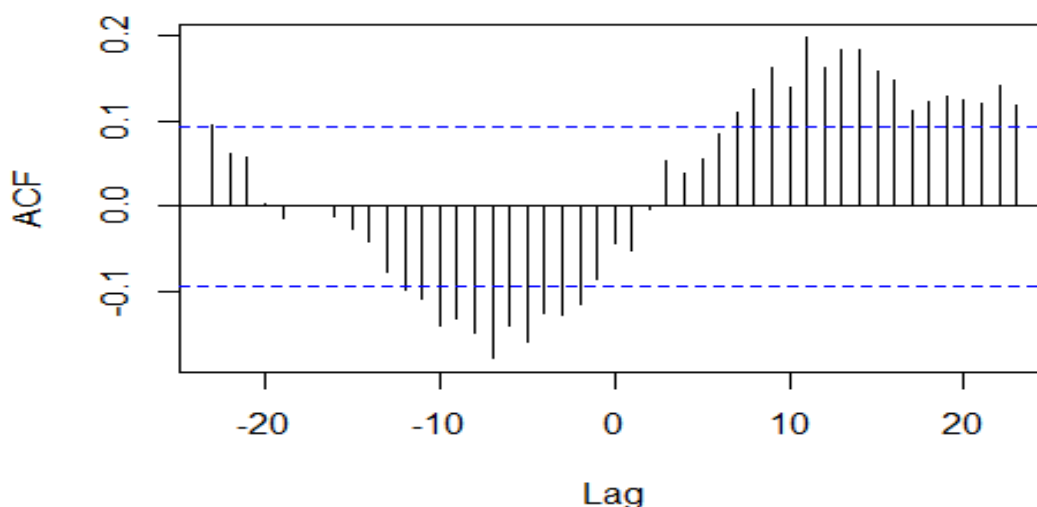
$$\text{Chuva}(t) = -1,169 - 0,02 \cdot \text{IOS}(t-1).$$

Concluimos que a chuva na sub-bacia Ártemis é influenciada pelo IOS do mês anterior. Logo, como tal influência é negativa, o IOS baixo indicaria a presença do El Niño, trazendo como consequência aumento da chuva na região no mês seguinte.

#### 4.5.2 Vazão na sub-bacia Artêmis ajustada pelo IOS.

Nessa etapa do trabalho é mais difícil estabelecer uma relação entre a série de variação de IOS, figura 89, e a série de variação da vazão sem a sazonalidade, figura 70. Entretanto, é perceptível a relação entre o período de maior crescimento da vazão, 1982 e 1983 o menor valor de IOS, justamente o período de um evento de El Niño de elevada intensidade.

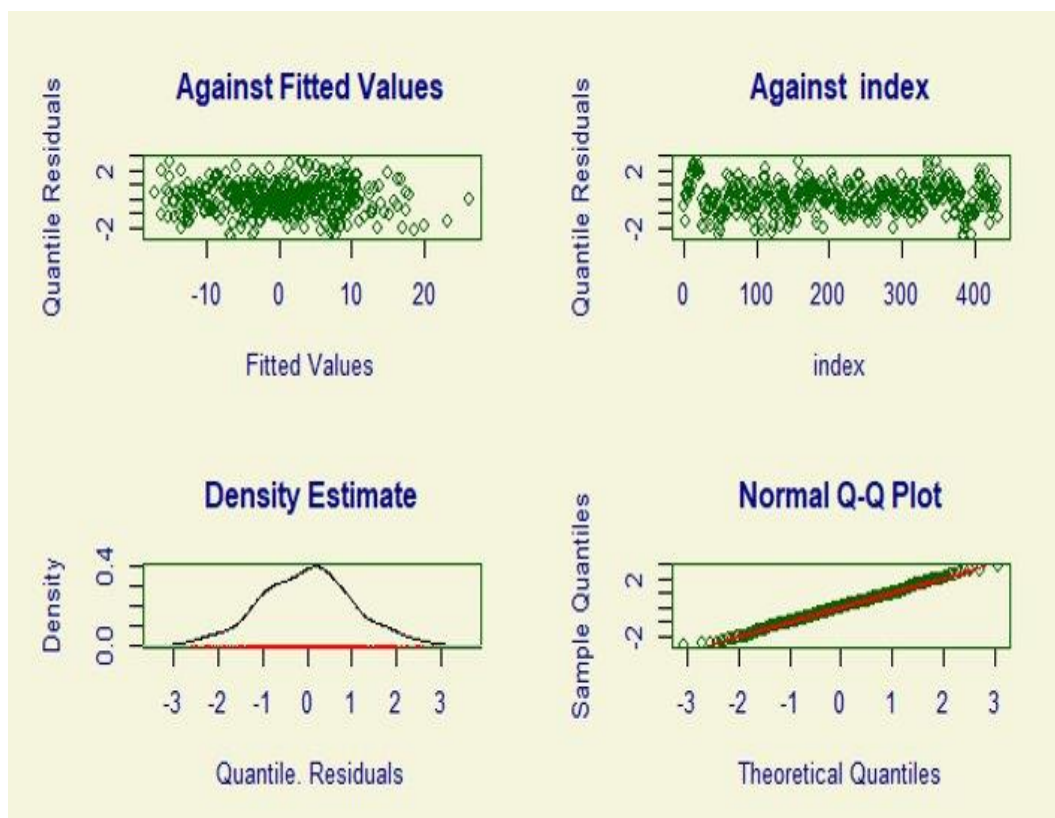
A figura 94 nos mostra os lags negativos candidatos para o modelo de regressão sendo aqueles de 2 a 12. Nesse caso as correlações cruzadas são negativas, indicando que à medida que o IOS muda, a vazão pode mudar de forma oposta. Por exemplo, durante um evento de IOS negativo, pode haver um aumento na precipitação na área de estudo, o que pode levar a um aumento na vazão dos rios, por se tratar do El Niño. Já durante um evento de IOS positivo, pode haver uma diminuição na precipitação, o que pode levar a uma diminuição na vazão, por se tratar do La Niña.



**Figura 94.** Correlações cruzadas entre a vazão na estação Ártemis e o IOS.

**Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

Em seguida, a busca se deu por uma distribuição para a variável resposta. A composição sugerida pela função fitdist foi a de Johnson Su, assim como em todos os casos anteriores, visto que a variável resposta é a mesma. Para esse caso, foi escolhido o modelo final através do processo stepwise. Logo, o mesmo é composto por três variáveis: os lags negativos 8 e 11 e a tendência como apresentando na tabela 18. A figura 95 mostra que o modelo está bem ajustado.



**Figura 95.** Gráficos de resíduos para o modelo final da vazão na estação Ártemis explicada pelo IOS.  
**Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

Na tabela 20, o item tendência refere-se à direção geral que os dados estão seguindo ao longo do tempo, ou seja, se eles estão aumentando, diminuindo ou permanecendo estáveis (GUIMARÃES, 2018)

Logo, foi observado que existe uma tendência negativa na vazão no período estudado dentro da sub-bacia de Artêmis, que compõe quase toda a bacia hidrográfica do rio Piracicaba, o que é consistente com os demais modelos.

**Tabela 20.** Resumo do modelo final da Vazão na sub-bacia Ártemis explicada pelo IOS.

|            | <b>Estimativa</b> | <b>Erro Padrão</b> | <b>Estatística do teste</b> | <b>Valor-p</b> |
|------------|-------------------|--------------------|-----------------------------|----------------|
| Intercepto | 12,556            | 5,244              | 2,394                       | 0,017          |
| Tendência  | -0,054            | 0,016              | -3,300                      | 0,001          |
| IOS [t-8]  | 0,442             | 0,227              | 1,946                       | 0,052          |
| IOS [t-11] | -0,387            | 0,238              | -1,624                      | 0,105          |

**Org.:** Adriano de Souza Antunes (Com base no relatório desenvolvido por Chiann et al., 2020).

O modelo final pode ser escrito como:

$$\text{Vazão}(t) = 12,556 - 0,054 t + 0,442 \cdot \text{IOS}(t-8) - 0,387 \cdot \text{IOS}(t-11).$$

Nesse contexto, foi possível verificar que o IOS influencia na vazão nesta sub-bacia por até 8 meses após sua origem, de maneira positiva, ou seja, maior IOS naquele mês implica uma vazão maior do que a esperada para aquele mês do ano. É possível perceber que o décimo primeiro mês anterior do IOS está como variável controle, já que ele não é significativo, pois se encontra sobre a linha do intervalo de confiança. Seu valor é negativo, ou seja, se no décimo primeiro mês anterior havia um valor baixo de IOS e no oitavo mês esse valor aumentar, nessa situação, então a vazão no atual mês tende a ser mais alta.

#### **4.6 Relação da precipitação média anual, por meio da metodologia dos anos padrão, com o fenômeno ENOS.**

Buscando estabelecer relações significantes entre as variáveis estudadas, relacionamos os eventos de ENOS, de acordo com seus níveis de intensidade, com os anos padrão, metodologia proposta por Sant'Anna Neto (1995).

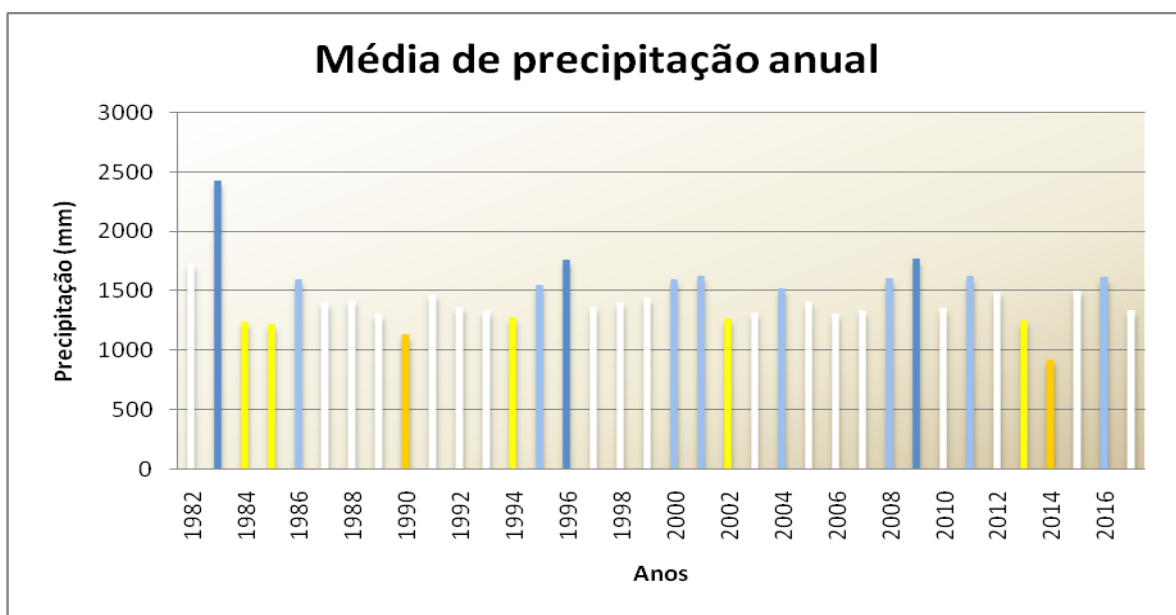
Para definir a intensidade do evento de ENOS, foi utilizada a metodologia de TRENBERTH (1997). Nesse contexto foi considerado

(...)o período entre agosto de um ano até julho do ano seguinte. Anos onde a intensidade do fenômeno foi considerada forte são aqueles em que a anomalia de temperatura da superfície do mar (TSM) foi superior a 1,5°C em algum dos meses pertencentes à série, enquanto os episódios de intensidade moderada tiveram valores inferiores à 1,5°C mas superiores à 1,0°C, e por fim, os

episódios de intensidade fraca são aqueles com valores inferiores à 1,0°C mas superiores à 0,5°C...

Levando em consideração essa segmentação, os anos de *El Niño* forte são, 1982 - 1983, 1987 - 1988, 1991 - 1992, 1997 - 1998 e 2015 - 2016. Com relação aos eventos de *La Niña* não foram detectados eventos considerados fortes entre 1981 e 2017, sendo verificados somente ocorrências consideradas moderadas. Entre eles os anos de 1988 - 1989, 1999 - 2000, 2007 - 2008, 2010 - 2011 e 2017.

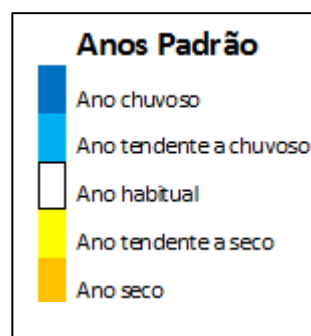
A metodologia dos anos padrão é aplicada em seguida. Por meio dessa análise foi possível classificar os anos considerados secos, tendente a secos, habituais, tendente a chuvosos e chuvosos. A figura 96 mostra essa dinâmica.



**Figura 96:** Relação entre média de precipitação e determinação de anos padrão.

**Fonte:** adaptado de Antunes, 2015.

|                        |               |
|------------------------|---------------|
| Ano chuvoso            | <1646,8       |
| Ano tendente a chuvoso | 1523,5-1646,7 |
| Ano habitual           | 1276,9-1523,4 |
| Ano tendente a seco    | 1153,5-1276,8 |
| Ano seco               | >1153,4       |



Conforme a análise dos dados, a relação entre o fenômeno ENOS e a variação da precipitação se apresentou satisfatória. Nas ocorrências de *El Niño* considerado forte, o ano 1983 apontou relação com o ano chuvoso. Nos anos de 1987, 1988 e 1991, 1992, 1997, 1998 e finalmente 2017 obtivemos ano habitual, porém com maiores totais de precipitação. Nos anos de El Niño moderado, obtivemos, 2002 como ano seco e 1992, 1993, 2003, 2006, 2007 e 2010, sendo mostrados anos habituais e no ano de 2009 obtivemos um ano tendente a chuvoso.

Nos anos em que o fenômeno *La Niña* de intensidade moderada esteve presente, 1988, 1989, 1999, 2000, 2007 e 2017 foram considerados anos habituais. Já os anos de 2008, 2010 e 2011 foram considerados tendentes a chuvosos. Nessas circunstâncias não encontramos relações entre La Niña e anos tendentes a secos ou secos.

Importante destacar que verificamos nos itens anteriores que existem lags envolvendo a precipitação em anos de ocorrência de ENOS. Nesse contexto, com os lags verificados, existem relações que possam estabelecidas de maneira mais evidente, como por exemplo em 1999 - 2000 e 2010 - 2011.

Logo, foi possível perceber que em anos cujo El Niño foi considerado intenso os totais pluviométricos apresentados podem ser considerados mais elevados para a média da bacia.

#### **4.7 Relação do fenômeno ENOS com os eventos intensos de precipitação**

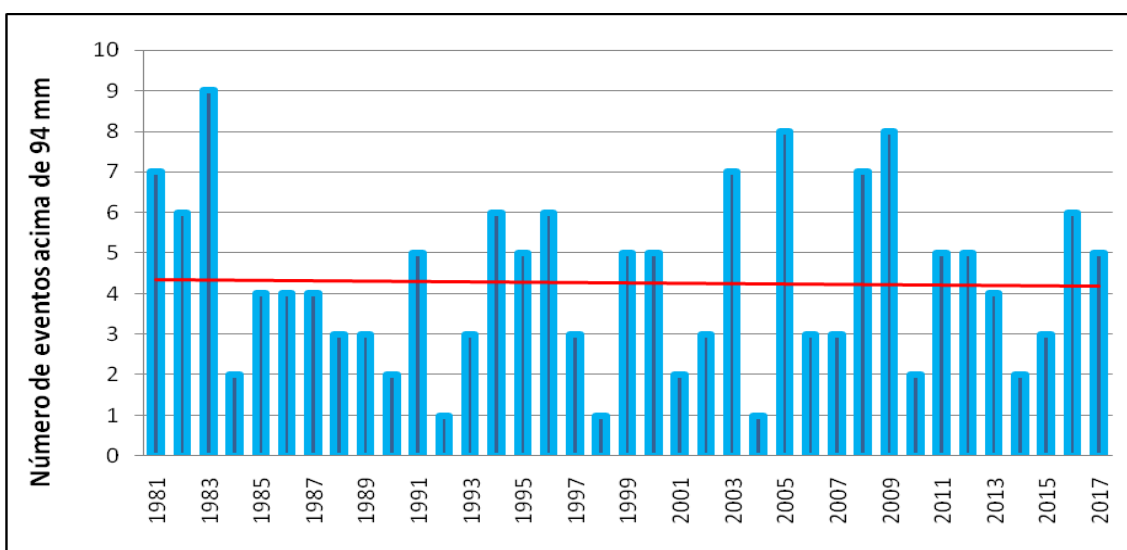
Os eventos de chuva intensa podem ser considerados de baixa previsibilidade e de grande impacto social, conforme Carmo et. al 2019. Devido a sua escala temporal e espacial, a maior parte das nuvens possui um tamanho menor que a resolução espacial da maioria dos modelos de previsão utilizados atualmente, segundo Chan et al., 2014.

Nascimento 2005, disserta sobre estratégias específicas para a previsão dos eventos de chuva intensa no Brasil, para isso, segundo o autor, é necessário que se tenha

conhecimento total sobre os sistemas sinópticos e de mesoescala que originam esses eventos em maior número.

Logo a relação com sistemas considerados fomentadores de precipitação se torna uma importante estratégia. Sendo assim, a relação entre os anos de El Niño e La Niña e os eventos de precipitação intensa se torna válido para a realização da previsão de ocorrência desses eventos. Dentro dessa perspectiva, os eventos de chuva intensa foram selecionados e a relação com o fenômeno ENOS realizada.

Observando a variabilidade da precipitação intensa na bacia do rio Piracicaba, por meio da figura 39, a influência do fenômeno *El Niño/La Niña* não se fez presente. Nos anos de *El Niño* forte 1982 - 1983, 1987 - 1988, 1991 - 1992, 1997 - 1998 e 2015 - 2016 não houve um aumento dos eventos de precipitação intensa. A correspondência se dá somente nos anos de 1983. Da mesma com os eventos de *La Niña* considerados moderados, entre eles os anos de 1988 - 1989, 1999 - 2000, 2007 - 2008, 2010 - 2011 e 2017, conforme a figura 97. A relação com o baixo número de eventos de precipitação intensa não foi corroborada, já que na maior parte dos anos citados houve um aumento no número de eventos e não uma diminuição.



**Figura 97.** Precipitação acima de 94 mm na bacia do rio Piracicaba.

**Fonte:** adaptado de Antunes, 2015.



A variação dos eventos de chuva intensa ocorreu conforme a peculiaridade de um evento climático, corroborando a idéia da dinamicidade do clima e de outras variáveis amplamente estudadas pela ciência geográfica.

Nesse contexto, a influência das ZCAS, como citado anteriormente, dos sistemas frontais e, em menor escala, dos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), pode ser citada, sendo grandes fomentadores dos eventos intensos de precipitação na região, como afirmaram Junior et al. (2008), Malvestio (2012) e Antunes (2015). No inverno há uma tendência de diminuição das chuvas intensas justamente pelo enfraquecimento desses fenômenos e pelo fortalecimento de outros, como, por exemplo, o anticiclone subtropical. Além disso, a estação seca irá contribuir para a menor formação de zonas de convecção devido aos baixos índices de umidade.

#### **4.8 ENOS: níveis de intensidade e espacialização da precipitação**

A espacialização da precipitação pode ser considerada um importante instrumento para o planejamento de diversas atividades, assim como para fomentar novos estudos no futuro.

Nessa conjuntura, buscando novas relações entre ENOS e os eventos de precipitação, foi realizada a espacialização da chuva na bacia hidrográfica do rio Piracicaba em anos de ENOS considerados intensos ou moderados, conforme figuras 99 a 105

Logo, foram elaborados os mapas de precipitação pluviométrica com os dados dos anos de 1982 - 1983, 1987 - 1988, 1991 - 1992, 1997 - 1998 e 2015, anos de *El Niño* de forte intensidade. Assim como os mapas dos anos de 1988 - 1989, 1999 - 2000, 2007 - 2008, períodos considerados de *La Niña* de intensidade moderada.

A espacialidade da precipitação foi verificada por Antunes (2015) e cartografada conforme a figura 98. O objetivo é estabelecer uma possível dinâmica de relação com os anos de ENOS de forte intensidade.

Conforme Menardi (2000) e Antunes (2015) a região Sudoeste da bacia hidrográfica apresenta menor média pluviométrica, enquanto que o setor oeste da área de estudo possui médias pluviométricas relativamente homogêneas. Cândido e Nunes (2008) destacaram que essa dinâmica é afetada pela presença das Cuestas Basálticas, as quais intensificam o fenômeno orográfico, localizadas no contato entre a Depressão Periférica e o Planalto Ocidental Paulista.

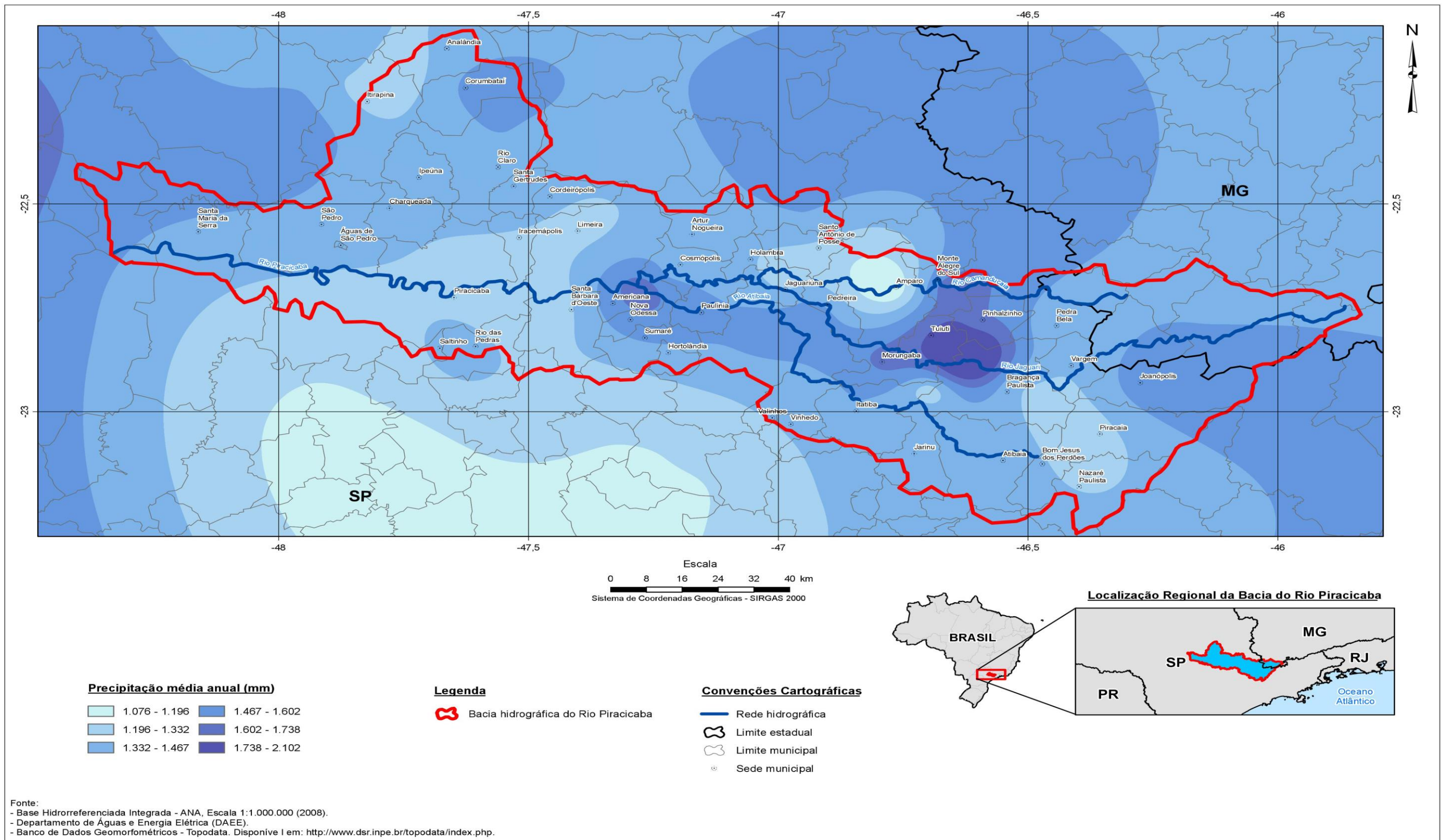
Esse processo se dá devido à influência das ZCAS, apresentando um corredor de nuvens que corta o Brasil, desde o sul da região Amazônica até o oceano Atlântico, passando pela faixa central do país trazendo a umidade em uma corrente sentido noroeste - sudeste, afetando diretamente o clima da região sudeste. Segundo Malvestio (2012), a ZCAS fornece suporte termodinâmico para a formação de nuvens de chuva por um período igual ou superior a quatro dias e é considerada um elemento diretamente relacionado ao desencadeamento dos movimentos de massa e inundações em muitas localidades da região Sudeste.

Espacializando a precipitação nos anos de 1982 - 1983, 1987 - 1988, 1991 - 1992, 1997 - 1998 e 2015, em anos de *El Niño* de forte intensidade, foi possível perceber que o setor oeste da bacia hidrográfica continua com maiores totais de precipitação. Entretanto os maiores volumes se deslocam ligeiramente para o nordeste da bacia hidrográfica, mais precisamente na sub-bacia de Monte Alegre do Sul.

Com relação aos períodos considerados de La Niña de intensidade moderada, pudemos verificar que nos anos de 1988 - 1989, os totais de precipitação podem ser considerados elevados na área de estudo com destaque para maiores concentrações na

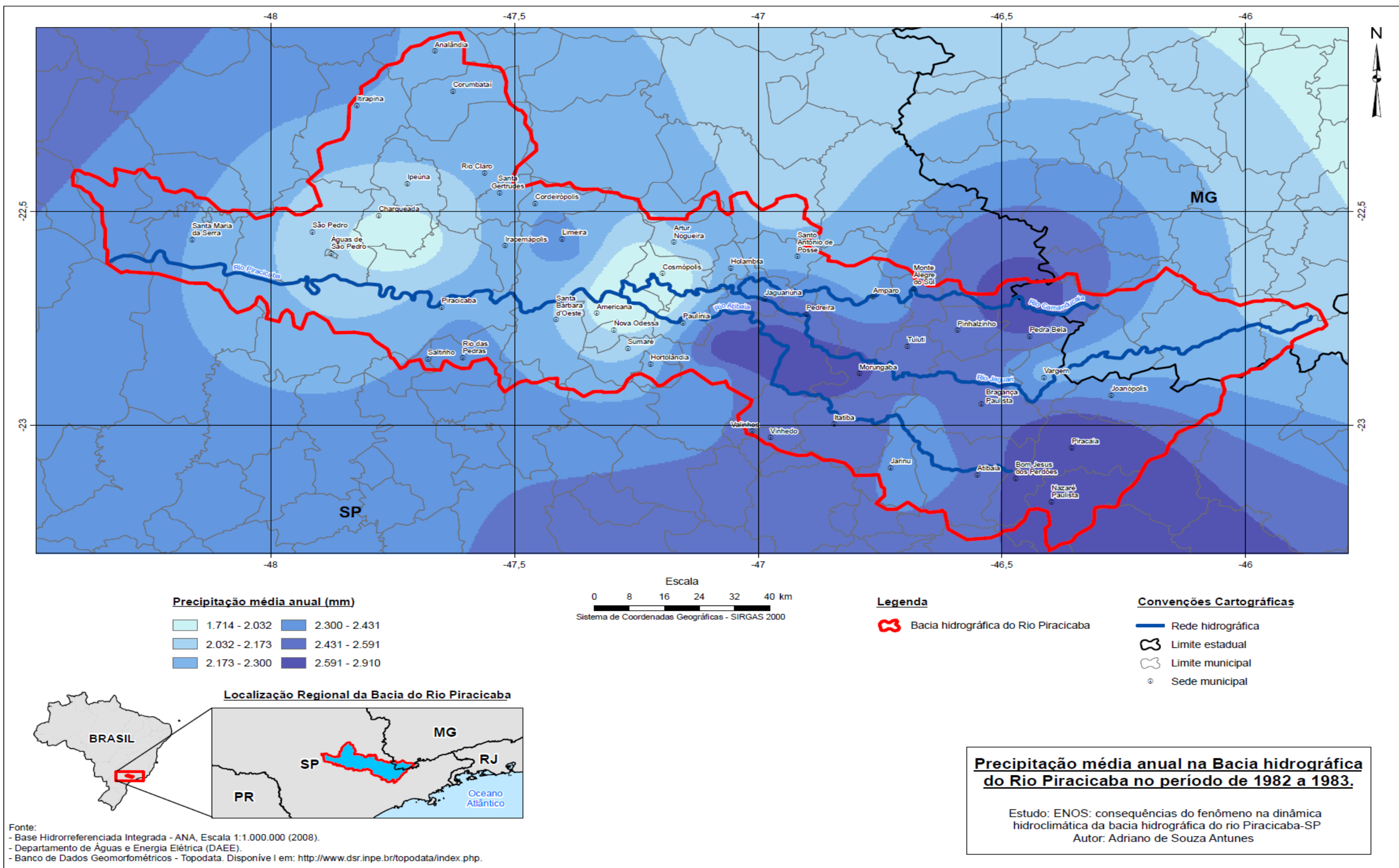
parte nordeste e sul da bacia hidrográfica. Enquanto que nos anos de 1999 - 2000 e 2007 - 2008, é perceptível, na própria espacialização da precipitação que a área de estudo recebeu totais de precipitação menores, não existindo uma área de concentração específica.

Logo, exceto pela concentração na região nordeste, não há de fato uma espacialização cíclica ou homogênea na bacia hidrográfica do rio Piracicaba em anos de ENOS considerados fortes.



**Figura 98:** Precipitação média anual na bacia hidrográfica do rio Piracicaba. **Fonte:**Antunes, 2015.





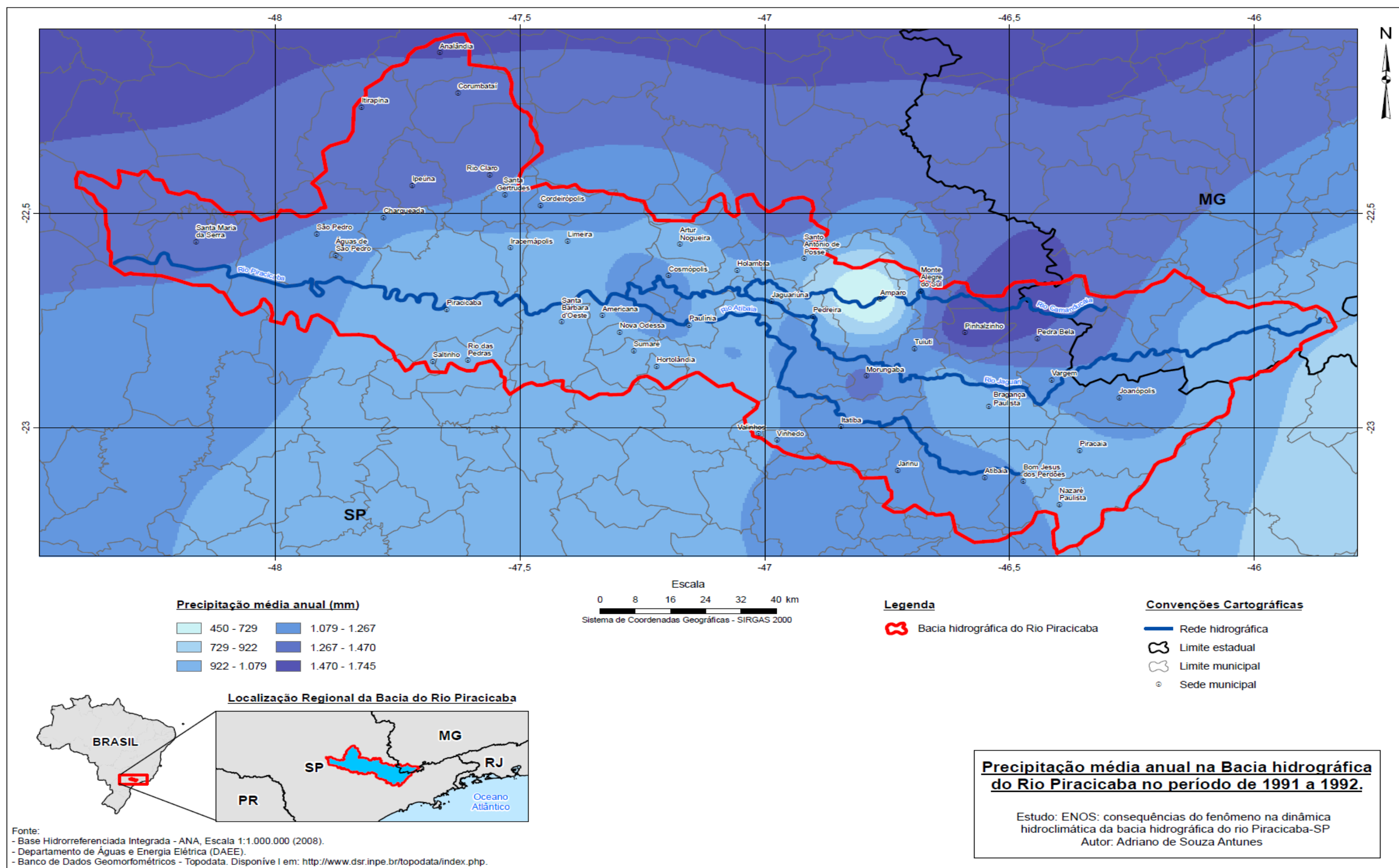


Figura 100. Espacialização da precipitação no período 1991 - 1992 (El Niño). Org.: Adriano de Souza Antunes, 2023.

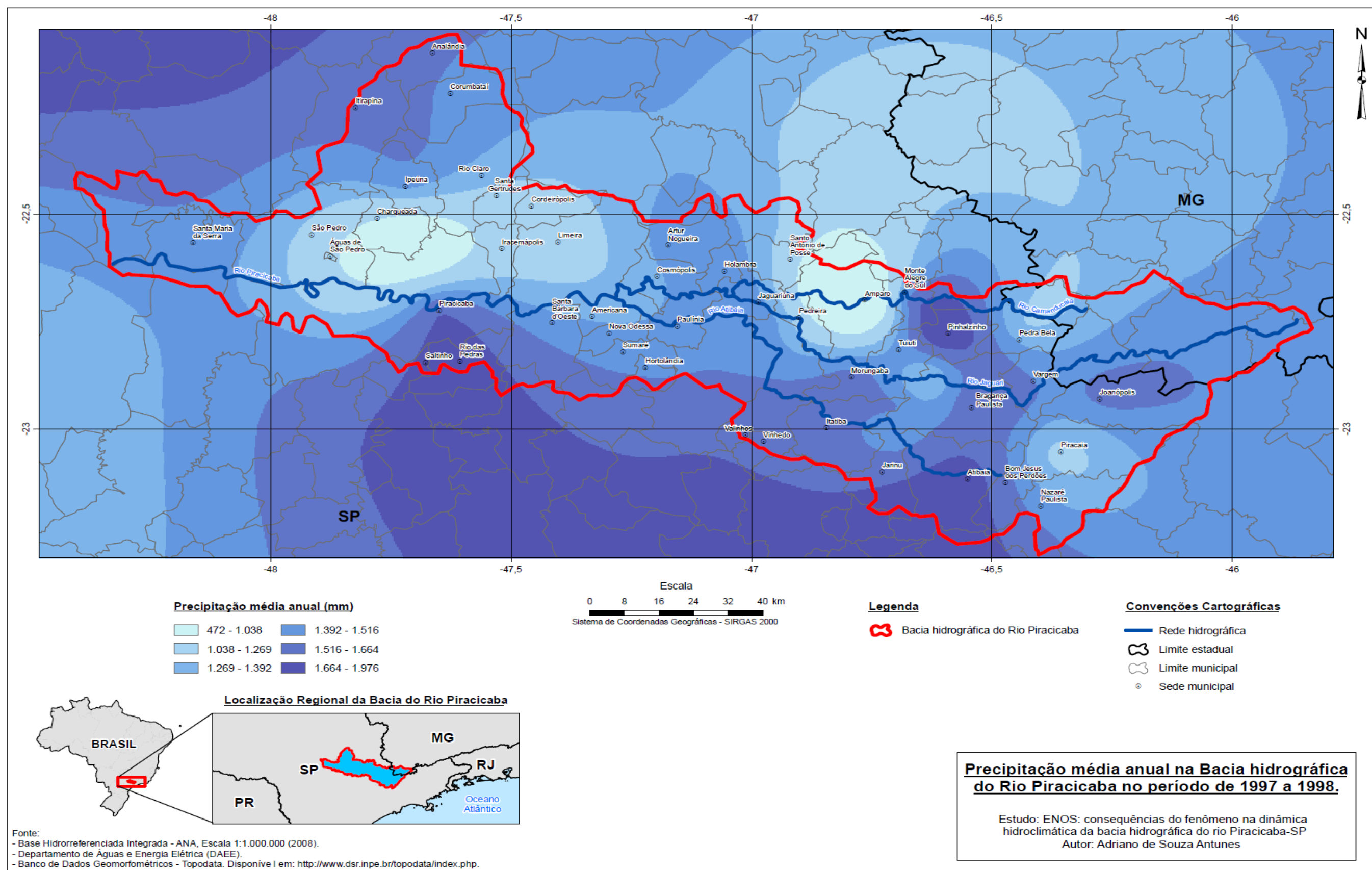


Figura 101. Espacialização da precipitação no período 1997 - 1998 (El Niño). Org.: Adriano de Souza Antunes, 2023.



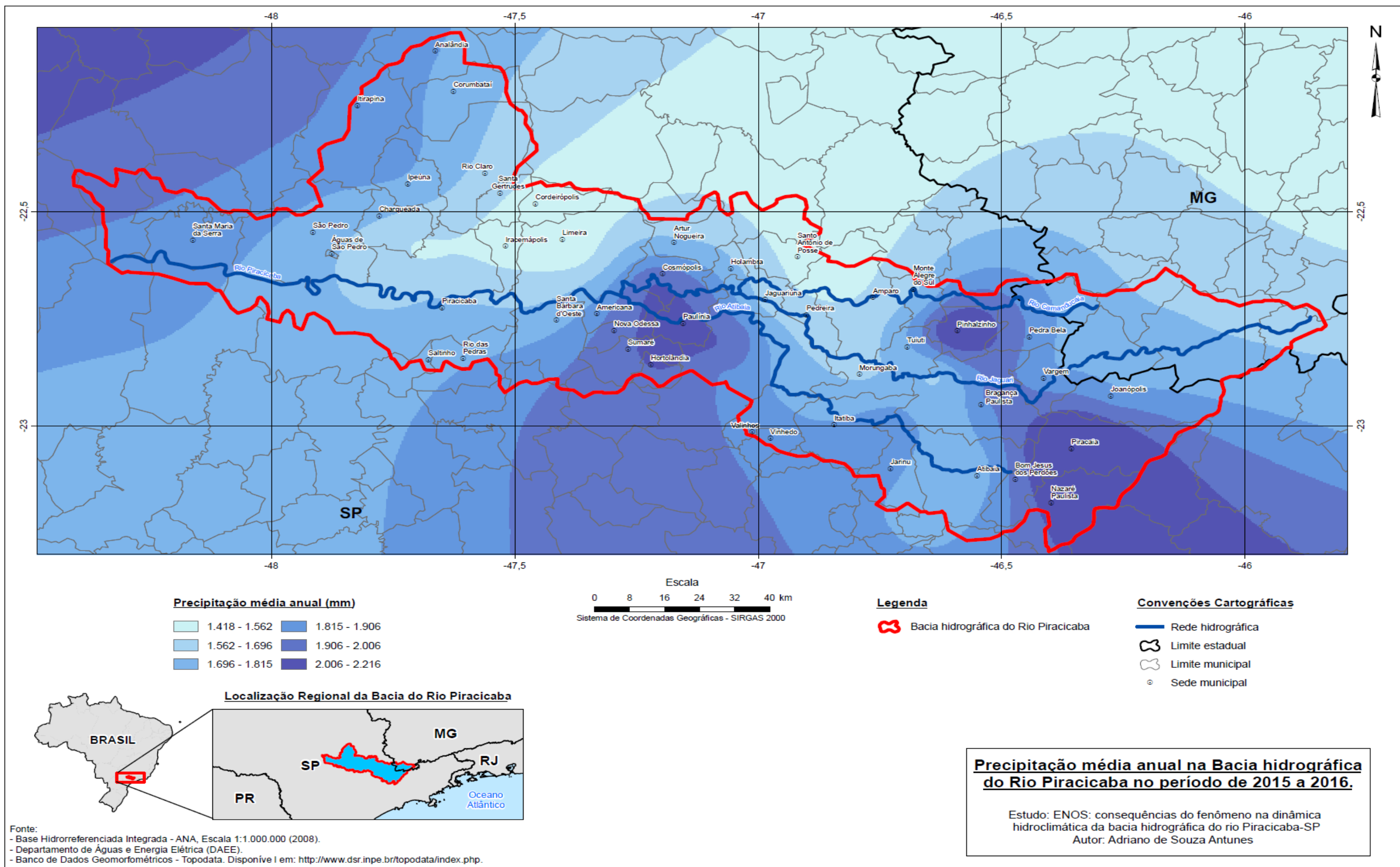


Figura 102. Espacialização da precipitação no período 2015 - 2016 (El Niño). Org.: Adriano de Souza Antunes, 2023.



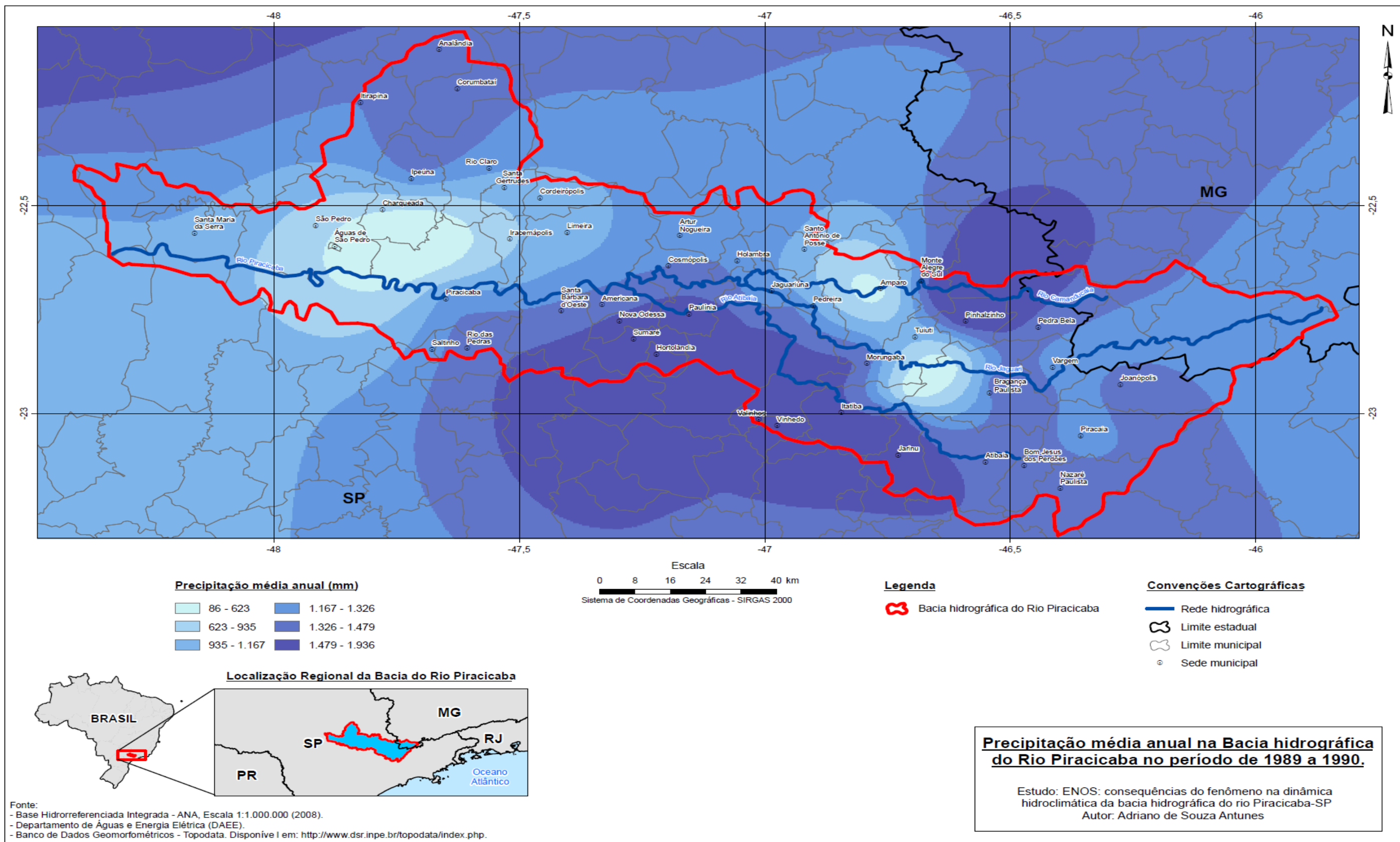
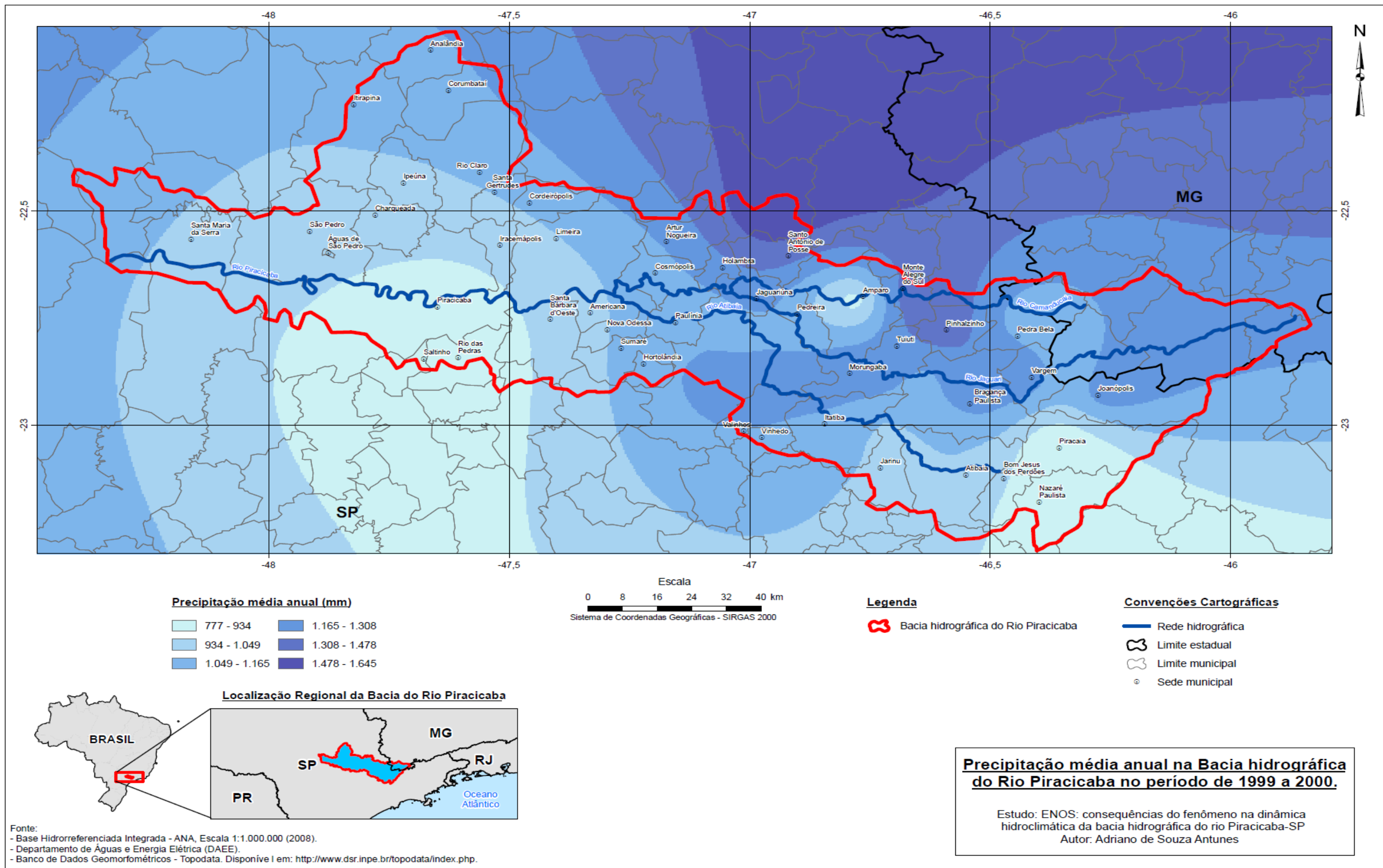
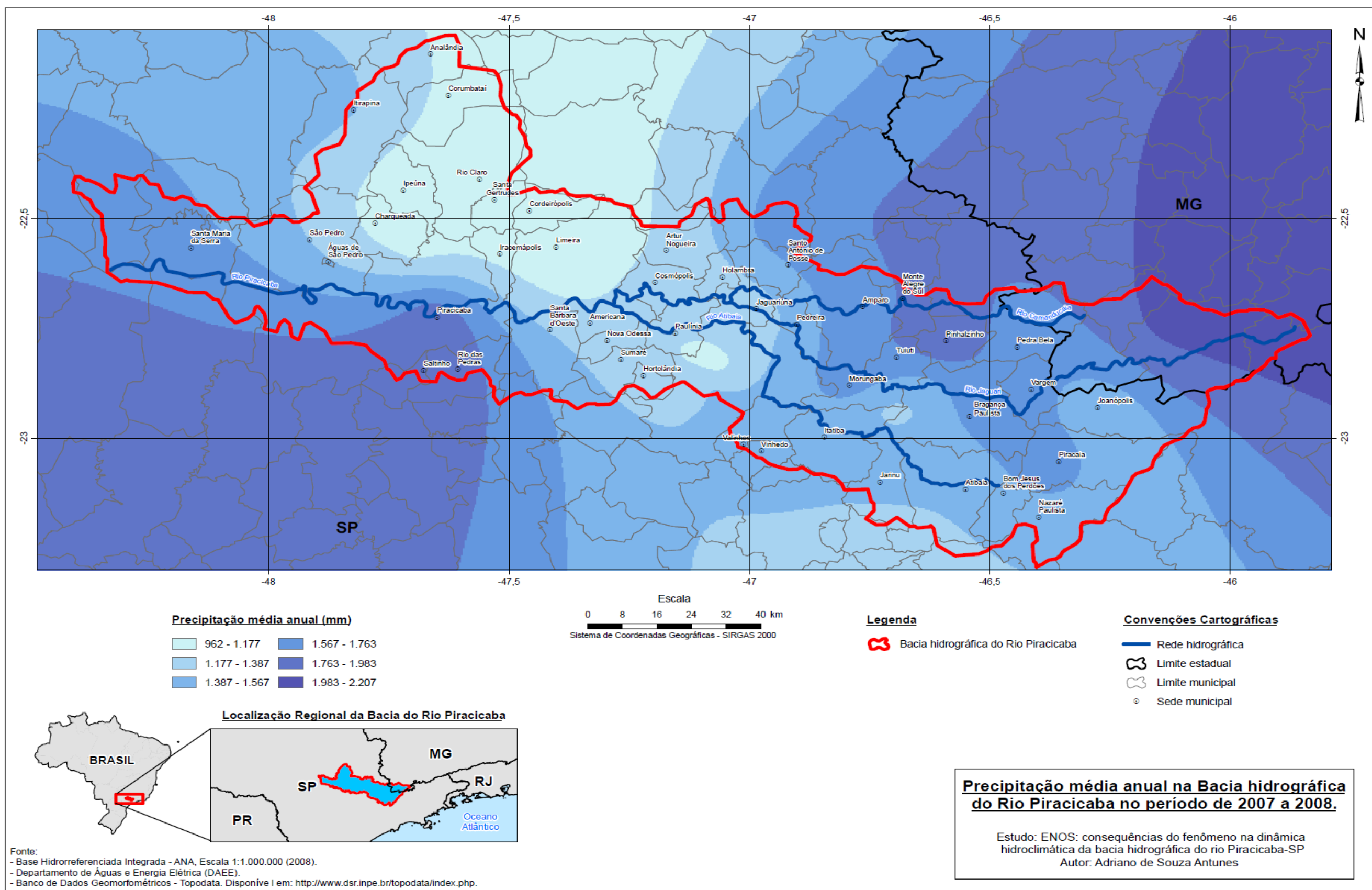


Figura 103. Espacialização da precipitação no período 1989 - 1990 (La Niña). Org.: Adriano de Souza Antunes, 2023.



**Figura 104.** Espacialização da precipitação no período 1999 - 2000 (La Niña). **Org.:** Adriano de Souza Antunes, 2023.



**Figura 105.** Espacialização da precipitação no período 2007 - 2008 (La Niña). **Org.:** Adriano de Souza Antunes, 2023.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

Após a análise dos dados e a investigação estatística da precipitação e da vazão na bacia hidrográfica em questão, pudemos concluir que:

- A análise descritiva da precipitação média anual foi de 1400,2 mm, tendo como o ano mais chuvoso 1983 e o ano menos chuvoso 2014. A primavera e o verão apresentam-se como os mais chuvosos enquanto outono e inverno como menos chuvosos e com maior coeficiente de variação, desvio padrão e amplitude. Janeiro é o mês mais chuvoso e agosto o menos chuvoso. A vazão máxima foi registrada na estação fluviométrica de Ártemis, o maior da área de estudo, no ano de 2011 ( $1418,64 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ). O outono e o verão apresentaram as maiores vazões médias e a primavera e o inverno as menores. Janeiro é o mês com maior vazão e agosto com menor.
- . As funções de correlação cruzada indicaram que os lags entre precipitação e vazão da bacia ocorrem, de maneira geral, em até 11 meses após a origem do evento. De maneira específica, na sub-bacia de Ártemis, a influência se deu após 7 meses. Em Usina Éster, a influência se deu em 8 e depois em 10, 11 e 12 meses. Em Bairro da Ponte 7 meses e finalmente Monte Alegre do Sul 8 meses após sua origem. Logo, a vazão recebe influência direta da precipitação por até um período determinado.
- A precipitação é influenciada, a um nível de significância de 5%, pelo IOS do mês anterior. Na vazão, que está ligada diretamente a chuva, a influência acontece pelo IOS de 8 meses anteriores, com nível de significância de 10%. Essa ocorrência se dá de maneira positiva, ou seja, maior IOS naquele mês implica uma vazão maior do que a esperada para aquele mês do ano.

- A relação ENOS e a metodologia anos-padrão se apresentou satisfatória. Anos considerados chuvosos, em grande parte da série, apresentaram anos de El Niño assim como anos considerados secos ocorreram La Niña.
- A relação eventos de precipitação intensa e ENOS não se mostrou satisfatória. Eventos de El Niño não necessariamente representam uma grande quantidade de ocorrências de chuvas intensas, assim como eventos de La Niña não representam sua diminuição.
- A espacialização da precipitação na bacia hidrográfica em anos de ENOS de forte intensidade de ENOS mostrou o nordeste da bacia hidrográfica recebendo maiores totais de precipitação. As demais áreas da BHRP apresentaram heterogeneidade de precipitação em suas diferentes áreas.

A sazonalidade é um fator importante que afeta a dinâmica hidroclimática da bacia hidrográfica do rio Piracicaba, como evidenciado pela diferença entre o mês com menor precipitação e o mês com maior vazão (agosto e janeiro).

As correlações mostram que o fenômeno IOS exerce influência sobre a dinâmica hidroclimática da bacia hidrográfica do rio Piracicaba, afetando tanto a precipitação quanto a vazão, com uma maior confiança de até 8 meses de lag. Vale ressaltar que a vazão está diretamente relacionada com a chuva. O modelo utilizado foi satisfatório para determinar a influência do fenômeno nessas variáveis. Logo, conclui-se com maior confiabilidade que um aumento em uma unidade do IOS leva a um aumento correspondente na vazão.

Embora a influência do IOS na vazão seja mais difícil de constatar, podemos concluir que isso se deve, em parte, ao fato de que essa variável é influenciada por vários fatores além da precipitação, como por exemplo, o relevo local e o uso da terra.

Logo, pode-se concluir que o fenômeno traz consequências sobre a dinâmica hidroclimática da bacia hidrográfica do rio Piracicaba. Entretanto, o nível de influência não pode ser considerado elevado. Em resumo, este estudo destaca a complexidade da inter-relação entre as variáveis hidrológicas e climáticas e sua importância para o gerenciamento da água em bacias hidrográficas e a manutenção da qualidade de vida para a população local.

## 6. REFERÊNCIAS

---

ACEITUNO, P. On the functioning of the southern oscillation in the South American sector. Part I: surface climate. **Journal of Climate**, vol. 2, issue 4. pp 341-355. (1989).

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano**. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília: ANA, 332 p., 2021.

ALVARENGA, L. A. Precipitação no sudeste brasileiro e sua relação com a Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Agrogeoambiental**, v.4, n.2, ago.2012.

ALVES, M.F.; LOTUFO, A.P.D.; LOPES, M.L.; Seleção de variáveis stepwise aplicadas em redes neurais artificiais para previsão de demanda de cargas elétricas. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics**, Vol. 1, N. 1, 2013.

ANTUNES, A.S. **Fenômenos de precipitação pluvial intensa: análise da espacialidade e variabilidade na bacia hidrográfica do rio Piracicaba-SP**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo (USP).2015.

ANUNCIACAO, L.; **Conceitos e Análises Estatísticas com R e JASP**. Nila Press ISBN: 978-65-990457-5-2. (2021).

ARAÚJO, L. S. et al.; Avaliação da influência do sistema Cantareira na bacia do rio Piracicaba através da análise de complexidade. **Rev. Bras. Biom.**, São Paulo, v.33, n.3, p.403-413, 2015.

ASSIS, J. P.; SOUSA, R. P.; BATISTA, B. D. O.; LINHARES, P. C. F. Probabilidade de Chuva em Piracicaba, SP, Através da Distribuição Densidade de Probabilidade Gama. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.11, n.03, 814-825, 2018.

AZZALINI, A.; Further results on a class of distributions which includes the normal ones. **Statistica** v.46, p. 199–208, 1986.

BEROUTCHACHVILI, N.L.; BERTRAND, G.. **Le Géosystème ou Système territorial naturel**. *Revue Géographique des Pyrénées et du sud-ouest*. Toulouse. 1978. p. 167-180.

BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico**. Tradução Olga Cruz – **Caderno de Ciências da Terra**. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, nº13, 1972.

BLAND, J. M; ALTMAN, D. G. **Measurement Error**. (PDF). *BMJ*, V.312, 1996. Acesso em 25 de janeiro de 2020.

BRIGATTI, N. **Variação do nível do mar associada aos tipos de tempo na geração de episódios extremos no município de Ubatuba/SP**. (Dissertação de Mestrado) FCT-UNESP de Presidente Prudente. (2008).

BRITTO, P. F.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Variabilidade especial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: Influencia do fenômeno El Niño Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, 2011.

CAMELO, H. N.; **Modelos híbridos estocástico - matemático para previsão de velocidade do vento**. 138f.: il. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas. Natal, 2019.

CAVALCANTI, I. F. A. **Episódios el niño / oscilação sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influências sobre o Brasil**. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) - 1996. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/nino.html>

CARAM, R. O.; **Mudanças no uso e cobertura do solo e resposta hidrológica da bacia do rio Piracicaba** / ESALQ- Piracicaba, 2010. 140 p. (Tese de Doutorado)

CEMADEN. CENTRO DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS. **Relatório da situação atual e projeção hidrológica para o Sistema Cantareira**. São José dos Campos: Cemaden, 5 nov. 2015.

CHALITA, D. D.; TRAZZI, J. S.; **Relatório de consulta**. Centro de Estatística Aplicada – CEA – USP, 2019.

CHAN, S. C.; KENDON, E.J.; FOWLER, H.J.; BLENKINSOP, S.; ROBERTS, N.M. FERRO, C.A. The value of high-resolution Met Office regional climate models in the simulation of multihourly precipitation extremes. **Journal of Climate**, 27 (16), 6155–6174, 2014.

CHANG, C.; PAULA, G.C.M.; SILVA, P.P.S.A. **Relatório de análise estatística sobre o projeto: “ENOS: Consequências do fenômeno na dinâmica hidroclimática da bacia hidrográfica do Rio Piracicaba - SP”**. São Paulo, IME-USP, 2020. (RAE–CEA-20P05)

CHRISTOFOLETTI, A. A aplicação da abordagem em sistemas na geografia física. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, v. 52, n. 2, 1990.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas: uma introdução à geografia física**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

COELHO, C. A. S.; UVO, C. B.; AMBRIZZI, T. Exploring the impacts of the Tropical Pacific SST on the precipitation patterns over South America during ENSO periods. **Theoretical and Applied Climatology**, Austria, v. 71, p. 185-197, 2002.

CORREA, M. G. G. **Dinâmica hidroclimática e o fenômeno ENOS na bacia hidrográfica do rio Piquiri-PR**. Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo (USP) - São Paulo. 2017.

CORREA, M. G. G.; GALVANI, E. O impacto do ENOS na variabilidade temporal da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Piquiri-PR. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 41 (3), 21-33, 2020.

CORTEZ, J. R. M.; PANTOJA FILHO, J.R.L.; CALSOLARI, T.O.; Comparação dos métodos probabilísticos na previsão de enchentes do rio Piracicaba, no município de Piracicaba – SP. **Braz. J. Anim. Environ. Res.**, Curitiba, v. 2, n. 6, p. 1968-1974, out./dez. 2019.

COSTA, P. R.; **Estatística**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Curso Técnico em Automação Industrial, 3. ed., 2011.

CRESPO, A. A.; **Estatística fácil** – 17. ed – São Paulo. Saraiva, 2002



DIAZ, A.F.; STUDZINSKI, C.D.; MECHOSO, R.C. Relationship between precipitation anomalies in Uruguay and southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. **Journal of Climate**, v.11, p.251-271, 1998.

DOWNING, D.; CLARK, J. **Estatística Aplicada**. São Paulo: Editora Saraiva, 2000.

DUARTE, C. C, NÓBREGA R. S, COUTINHO, R. Q.; Análise climatológica e dos eventos extremos de chuva no município do Ipojuca, Pernambuco. **Revista de Geografia (UFPE)** V. 32, No. 2, 2015

DUBREUIL, V.; PECHUTTI, K.; PLANCHON, F. O.; SANT'ANNA NETO, J. L; Os tipos de climas anuais no Brasil : uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**. n. 37, 2018.

FARIAS, A.M L; **Variáveis aleatórias discretas**. Instituto de Matemática e Estatística. Universidade Federal Fluminense. 2020. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.professores.uff.br/anafarias/wp-content/uploads/sites/210/2020/09/VADiscreta-0.pdf>.

FERREIRA, L. G. C.; KEMENES, A.; A influência dos eventos climáticos extremos sobre reservatórios do nordeste. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 15 – Vol. 25 – JUL/DEZ 2019.

FERREIRA, N.J.; SANCHES, M. Dias, M.A.F.S. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em Períodos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 19(1): 89-98, 2004

FIGUEIREDO FILHO, D.B. F, SILVA J. A. Junior. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**.;18(1):115-46, 2009.

FREDERICE, A. **Análise do impacto do sistema Cantareira sobre o regime de vazões na bacia hidrográfica do rio Piracicaba**. Dissertação. Mestrado em Ciências. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

GALLO, Z.; O processo de industrialização e urbanização na Bacia do Rio Piracicaba (1970/2000). **Revista de Ciência e Tecnologia**, Piracicaba, v.8, n.17, p.9-17, jun.2001.

GALVANI, E. Estatística descritiva em sala de aula. In: VENTURI, L. A. B. **Geografia: Práticas de campo, laboratório e sala de aula**. São Paulo: Editora Sarandi, 2011.

GALVANI, E; LUCHIARI, A. **Crítérios para classificação de anos com regime pluviométrico normal, seco e úmido**. In: VI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Aracajú, anais, p. 20-29., 2004.

GAN, M. A.; SANTOS, L. F.; LIMA, J. R. A.; AFONSO, J. M. S.; SILVA, A. B.; Monção da América do Sul. **Revista Climanálise**. Edição Especial de 30 anos. 2016.

GESTÃO DAS BACIAS PCJ / FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. **Relatório de Gestão das Bacias PCJ 2019 - ano base 2018** - v.1, (2019).

GUIMARÃES, P. R. B.; **Métodos quantitativos estatísticos**. - [2. ed.] - Curitiba [PR] : IESDE Brasil, 174 p. : il. Inclui bibliografia ISBN 978-85-387-6447, 2018.

- GRIMM, A.M.; FERRAZ, S.E.T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, Boston, v.11, n.1, p.2863-2880, 1998.
- GRIMM, A.M. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, 25(4): 537-554, 2011.
- GROPPO, J.D.; MORAES, J.M.; MARTINELLI, L.A.; GENOVEZ, A.M. Estudo de Tendência de Parâmetros de Qualidade de Água na Bacia do Rio Piracicaba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.11, p.79-87, 2006.
- HASTENRATH, S. Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. **Climatic Change**, v. 112, p.243-251, 2012.
- KILADIS, G. N. e DIAZ, H. F., Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. **Journal of Climate**, 2, 1069-1090, 1989.
- KOUSKY, V. E; I. F. A. CAVALCANTI,. **Eventos Oscilação Sul / El Niño. Características, evolução e anomalias de precipitação**. Ciência e Cultura, Vol.36 (11):1888-1899. 1984.
- KUMAR, S; GURRAPU, S; THAKURAL, L.N; PATRA, J.P; **Trends in annual maximum flow series and their relationship with el niño-southern oscillation**. ResearchGate, 2022. [https://www.researchgate.net/publication/359163072\\_Trends\\_in\\_annul\\_maximum\\_flow\\_series\\_and\\_their\\_relationship\\_with\\_El\\_Niño-Southern\\_Oscillation](https://www.researchgate.net/publication/359163072_Trends_in_annul_maximum_flow_series_and_their_relationship_with_El_Niño-Southern_Oscillation). Acesso em 16 de Agosto de 2022;
- LIMBERGER, L. **Abordagem sistêmica e complexidade na geografia**. p.95-109. Geografia. Londrina, v.15, n.2, 2006.
- NASCIMENTO, E.L.. **Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: Uma estratégia operacional adotável no Brasil?** Revista Brasileira de Meteorologia, 20(1), 121-140. 2005.
- NOGUÉS-PAEGLE, J.; MECHOSO, C.R.; Fu, R.; BERBERY, E.H.; CHAO, W.C.; CHEN, T.C.; Cook, K.; DIAZ, A.F.G.; ENFIELD, D.; FERREIRA, R.; GRIMM, A.M.; KOUSKY, V.; LIEBMANN, B.; MARENGO, J.; MO, K.; NEELIN, J.D.; PAEGLE, J.; ROBERTSON, A.W.; SETH, A.; VERA, C.S. & ZHOU, J. 2002. Progress in Pan American CLIVAR Research: understanding the South American Monsoon. **Meteorological**, 27: 3-30.
- MAGALHÃES, I. A. L., THIAGO, C.R.L., DOS SANTOS, A.R., **Identificação de Fragmentos Florestais Potencias para a delimitação de Corredores Ecológicos na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, ES por meio técnicas de Sensoriamento Remoto**. Revista Brasileira de Geografia Física [online], 13, 595–612, 2020. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p595-612>, 2020. Acesso: 09 dez 2020.
- MCPHADEN, M.J. **El Niño and La Niña: causes and global consequences**. Encyclopedia of Global Environmental Change, Anonymous John Wiley and Sons, LTD, 353- 370. (2002).
- MADDOX, R. A. Mesoscale convective complexes. **Bull. Am. Meteorol. Soc.** 61, 1374-1387. 1980.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 19, n. 3, p. 485-494, mês. ISSN 2179-0892, 2016.

MARENGO J. A; CHOU S. C; TORRES, R.R; GIAROLLA A; ALVES L. M; LYRA A. Climate change in Central and South America: Recent trends, future projections, and impacts on regional agriculture. CCAFS Working Paper no. 73. Copenhagen, Denmark: CGIAR. **Research Program on Climate Change**, Agriculture and Food Security (CCAFS), 2014.

MATZENAUER, R.; RADIN, B.; MALUF, J.R.T; O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Revista da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**. v. 25, n. 2 (2017).

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, A.; COSTA, J. M. N. El Niño: ocorrência e duração dos veranicos do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(3), p. 364-371, 2005.

MONTEIRO, C. A. F; **Teoria e clima urbano**. São Paulo: USP – Instituto de Geografia, 1976.

MONTEIRO, J. B; A influência de teleconexões e sistemas meteorológicos produtores de precipitação no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.15, n.01, p. 312-332, 2022

MORAES, L.L O.; MARENGO A. J; PDO-ENSO Effects on Southern Brazilian Precipitation. **Research Square**. Disponível em: <https://www.researchsquare.com/article/rs-1809542/v1>. Acesso em 15 de Agosto de 2022.

MUTTI, P.R; DUBREUIL, V; BEZERRA, G. B; ARVOR, D; OLIVEIRA, C.P; SILVA, C.M.S.; Assessment of Gridded CRU TS Data for Long-Term Climatic Water Balance Monitoring over the São Francisco Watershed, Brazil. **Atmosphere** 2020, 11, 1207; doi:10.3390/atmos11111207. (2020)

NERY, J. T. Dinâmica climática da região sul do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*. São Paulo, v.1, n. 1. 2005.

NIELSEN, D.M.; BELÉM, A.L.; MARTON. E. CATALDI, M. Dynamics-based regression models for the South Atlantic Convergence Zone. **Climate Dynamics**, 52: 5527-5553, 2019.

NÓBREGA, J. N., SANTOS, C. A. C., GOMES, O. M., BEZERRA, B. G., e BRITO, J. I. B. Eventos extremos de precipitação nas mesorregiões da Paraíba e suas relações com a TSM dos oceanos tropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 29:197–208, 2014.

OLIVEIRA, G. B. et al. **Estudo do setor industrial e sua relação com os recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Piracicaba**. Boletim de Geografia, v. 40, n. 3, p. 44-64, 2022.

PEREIRA, N.M.; PEREIRA, S.Y.; CAVALCANTI, R.N.; GENOVEZ, A.M.; PAULA, G.; Disponibilidade hídrica da bacia do rio Piracicaba, estado de São Paulo, Brasil. **Holos Environment**. v.4, n°2, p.97, 2002.

PEZZI, L.P.; CAVALCANTI, I.F.A. The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. **Clim Dyn.**, v.17, p.205-212, 2001.

PHILANDER, S. G. **El Niño, La Niña, and the Oscillation**. New York: Academic Press, v. 46 International Geophysics Series, 239p. 1989.

PINHEIRO, A.; DÖRING, J.; KAUFMANN, V.; LEÃO, J.S.; NASCIMENTO, M. Acurácia na medição da altura de precipitação em pluviômetros de báscula. **REA – Revista de estudos ambientais** (Online) v.16, n. 1, p. 38 - 44, jan./jun. 2014.

RAMPAZZO, L. **Metodologia científica**. São Paulo: Edições Loyola, 2010.

RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of Rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**. v. 42. 1990.

RIBOLDI, J., BARBIAN, M. H., KOLOWSKI, A. B. S., SELAU, L. P. R., TORMAN, V. Precisão e poder de testes de homocedasticidade paramétricos e não-paramétricos avaliados por simulação. **Revista Brasileira de Biomedicina**, 32(3), 334-344, (2014).

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. **Técnicas de hidrografia**. In: VENTURI, L. A. B. Geografia: Práticas de campo, laboratório e sala de aula. São Paulo: Sarandi, 2011.

RODRIGUES, M. L. G.; FRANCO, D.; SUGAHARA, S. Climatologia de Frentes Frias no Litoral de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.22, n. 2, p. 135-151, 2004.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, n. 8, p.1606-1626. 1987.

SÁNCHEZ-ROMÁN, R.M.; FOLEGATTI, M.V.; ORELLANA-GONZÁLEZ, A.M.G. Situação dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá utilizando modelo desenvolvido em dinâmica de sistemas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.4, p.578-590, 2009.

SANSIGOLO, C. A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006). **Revista Brasileira de Meteorologia** 23, 341-346, 2008.

SANT'ANNA NETO, J. L. **As chuvas no estado de São Paulo: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica**. 1995. 202f. Tese (Doutorado em Geografia) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SCHOSSLER, V.; SIMÕES, J.C.; AQUINO, F.E.; VIANA, D.R.; Precipitation anomalies in the Brazilian southern coast related to the SAM and ENSO climate variability modes. **Brazilian Journal of Water Resources**. RBRH, Porto Alegre, v. 23, e14, 2018

SAPORTA, G. Probabilités – **Analyse des Données et Statistiques**. Paris: Éditions Technip. (2006)

SÃO PAULO (estado). SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS. COORDENADORIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Banco de Indicadores para Gestão dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Base de dados preparada pelo Departamento de Gerenciamento de Recursos Hídricos, em Microsoft Office Excel**. São Paulo: CRHi, 2019.

SHUMWAY, R.H. STOFFER, D.S. **Time Series Analysis and Its Applications: With R Examples**. Fourth Edition, Springer Texts in Statistics, Springer, Cham. (2017)

SILVA, M. E. S.; SILVA, C. B.; Variabilidade Climática - processos físicos e dinâmicos nos oceanos e atmosfera. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, Volume Especial 30 anos p. 372-406. (2012).

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas**. Instituto de Geografia. Universidade de São Paulo. São Paulo: Ed. Lunar, 1977.

SOUZA NETO, P.F.; SILVA, D.F.; ALMEIDA H. R. R F.; Análise da Variabilidade Climática dos Oceanos Atlântico e Pacífico. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 14, n. 4, (2021).

TRENBERTH E. K. The definition of El Niño. **Bulletin of American Meteorological Society**., 78, 2771–2777, 1997.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Superintendência de Recursos Naturais e Meio ambiente. Diretoria Técnica. Rio de Janeiro, p. 97, 1977. Original publicado em 1965, na França.

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L> F. S. **Evaporação e Evapotranspiração**. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. da Universidade – UFRGS, ABRH, 2001.

VIEGAS, J. et al.; Caracterização dos Diferentes Tipos de El Niño e seus Impactos na América do Sul a Partir de Dados Observados e Modelados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 1, 43- 67, 2019

WALKER, G.T. **World weather**, Q. J. R. M. S., 54, 79 - 87, 1928.

WALKER , G.T. e BLISS, E.M.; World Weather. V Mem. Roy. **Meteor. Soc.**, 4:53 - 84, 1932.

WU, H. et al. Uncovering episodic influence of oceans on extreme drought events in Northeast Brazil by ordinal partition network approaches. **Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science**, v. 30, n. 5, p. 053104, 2020.

ZANDONADI, L.; PASCOALINO, A.; Distribuição temporo-espacial das chuvas nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ). **REVISTA GEONORTE**, Edição Especial, V.2, N.4, p.830 – 843, 2012.

#### **Sítios:**

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias PCJ 2020**. Disponível em: [https://agencia.baciaspcj.org.br/wp-content/uploads/Relatório\\_situacao-2020-2019.pdf](https://agencia.baciaspcj.org.br/wp-content/uploads/Relatório_situacao-2020-2019.pdf). Acesso em: 11 jan. 2022.

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos 2021 (Ano Base 2020)**. 2021. Disponível em: <https://agencia.baciaspcj.org.br/wp-content/uploads/Relatorio-de-Situacao-dos-Recursos-Hidricos-nas-Bacias-PCJ-2021-Ano-Base-2020.pdf>. Acesso em 25 de novembro de 2022.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Sistema Cantareira**. 2018. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sala-de-situacao/sistema-cantareira/sistema-cantareira-saiba-mais>. Acesso em 05 de março de 2022.

IBGE. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/>. Acesso em 05 de janeiro de 2023.

IBGE. **Produto Interno Bruto dos Municípios 2019**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 10 abr. 2022.

COMITÊ PCJ - **Primeira Revisão do Plano de Bacias PCJ 2010-2020: Relatório Final da Etapa 1 (plano vigente)**. Disponível em: [https://www.comitespcj.org.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=851:primeira-revisao-pb-relatorio-final-etapa-1&catid=148:plano-das-bacias&Itemid=332](https://www.comitespcj.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=851:primeira-revisao-pb-relatorio-final-etapa-1&catid=148:plano-das-bacias&Itemid=332). Consultado em 10 de Janeiro de 2020.

CPTEC - INPE: **ENOS -Característica e monitoramento**. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Consultado em 11 de fevereiro de 2023.

DREHMER V.; **Hyundai inaugura fábrica de motores em Piracicaba (SP) após 10 anos de produção do HB20**. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/industria/noticia/2022/09/hyundai-inaugura-fabrica-de-motores-em-piracicaba-sp-apos-10-anos-de-operacoes-no-brasil.ghhtml>. Acesso em 01 de fevereiro de 2023.

IRRIGART. Relatório Irrigart – **Bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Situação dos recursos hídricos – 2004/2006. Relatório Síntese**. Disponível em: [https://agencia.baciaspcj.org.br/wp-content/uploads/2021/01/RS-04-06\\_Relatorio-Sintese.pdf](https://agencia.baciaspcj.org.br/wp-content/uploads/2021/01/RS-04-06_Relatorio-Sintese.pdf). Acesso em 14 de Abril de 2019.

MINITAB, LCC. **Gráficos de resíduos para Ajuste do modelo de regressão**. Suporte ao Minitab, 20. (2021). Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/20/help-and-how-to/statistical-modeling/regression/how-to/fit-regression-model/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/residual-plots/>

PRABHAKARAN, S.; **r-statistics.co**. 2016. Disponível em: <http://r-statistics.co/Linear-Regression.html#Correlation>. Acesso em 12 de janeiro de 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMANDUCAIA. Disponível em: <https://www.camanducaia.mg.gov.br/cidade/dados-da-cidade>. Acesso em 11 de janeiro de 2022

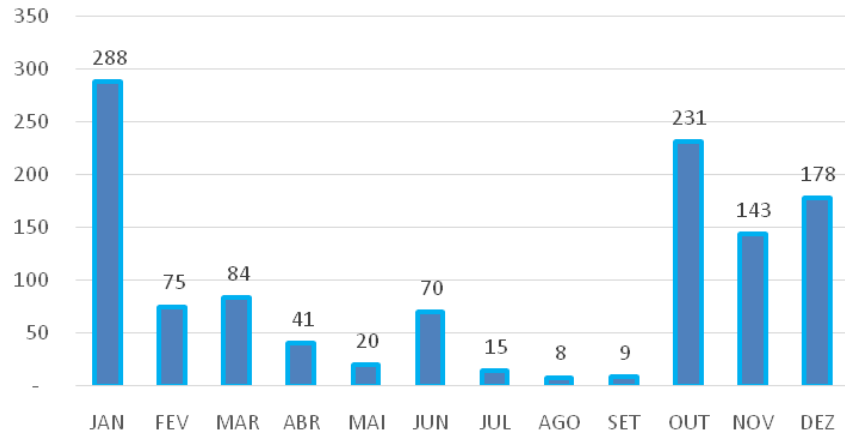
INMET - Portal Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em 11 de janeiro de 2023.

SABESP - **Situação dos Mananciais**. Disponível em: <https://mananciais.sabesp.com.br/Situacao>. Acesso em 11 de janeiro de 2023.

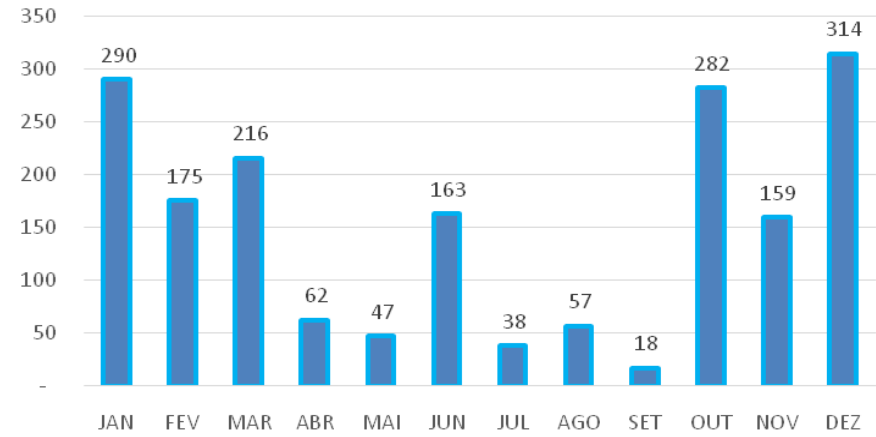
## ANEXOS

---

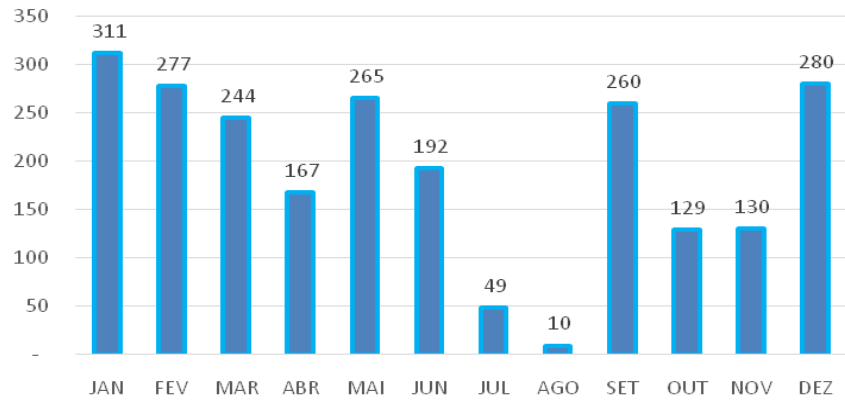
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 1981**



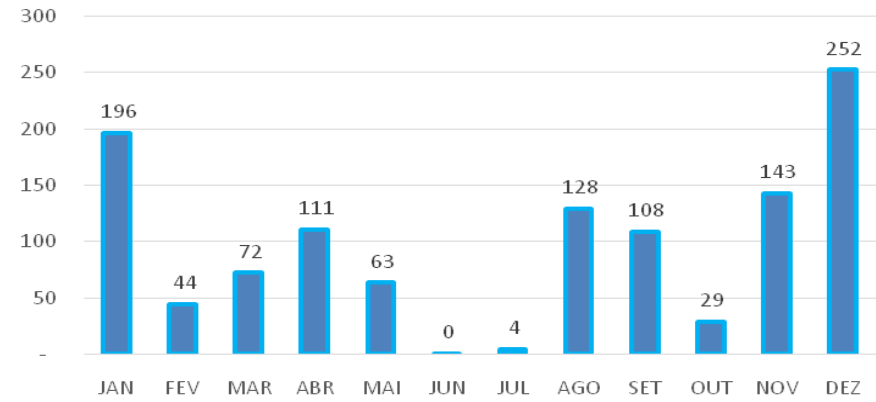
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 1982**



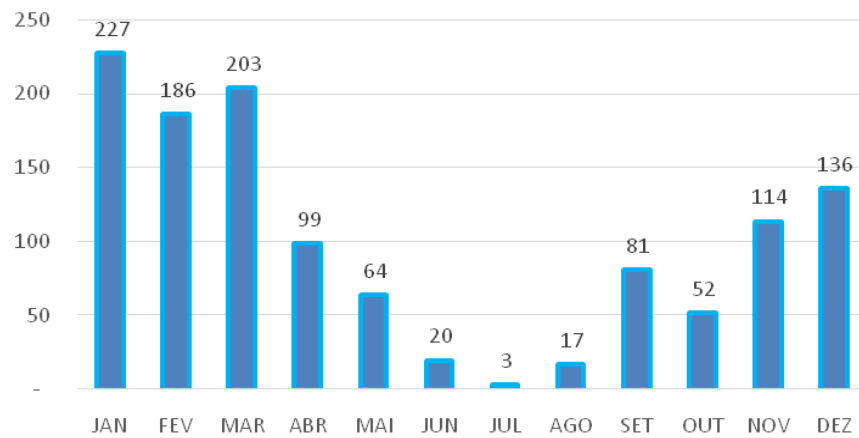
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 1983**



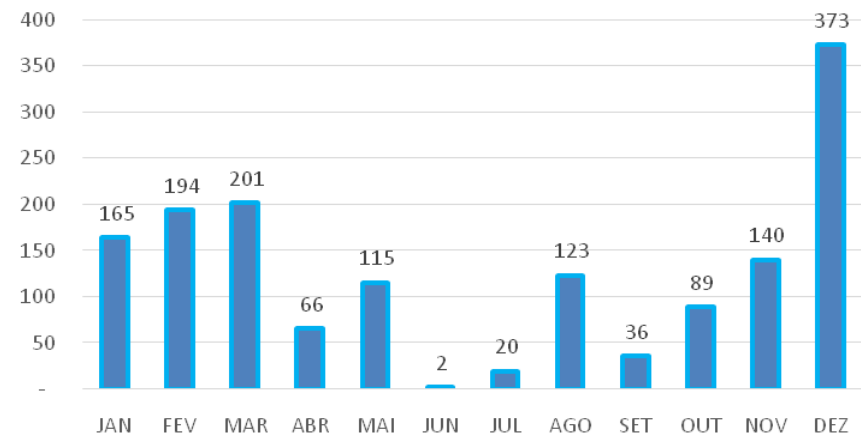
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 1984**



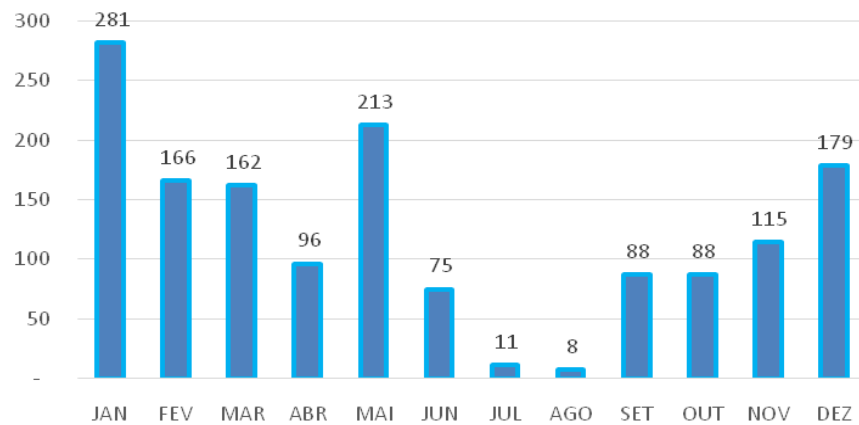
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 1985**



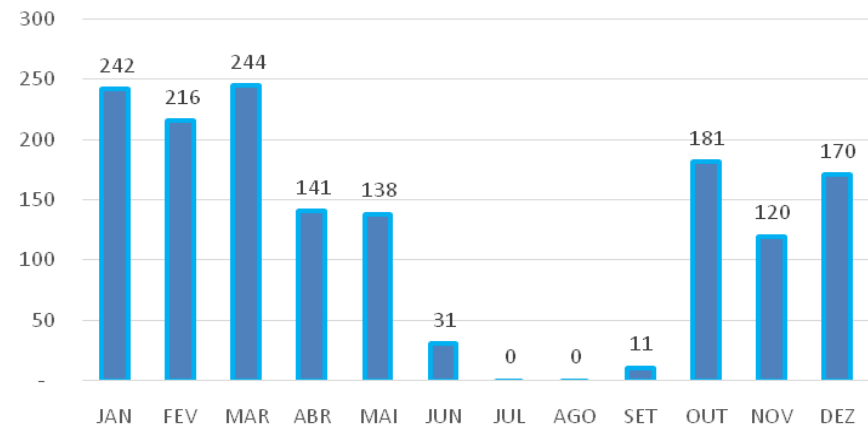
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 1986**



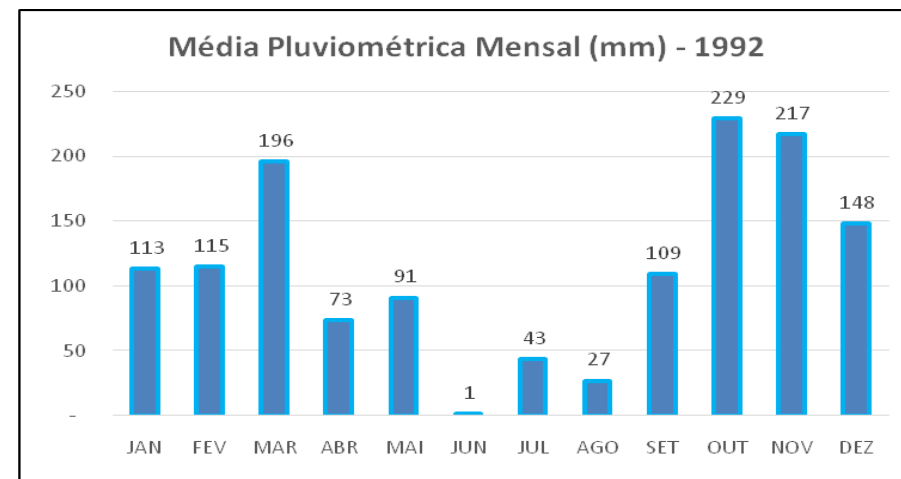
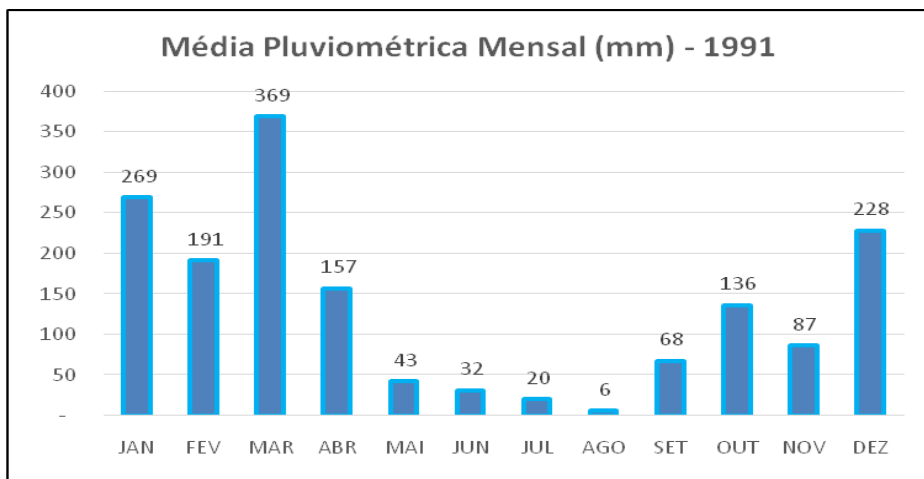
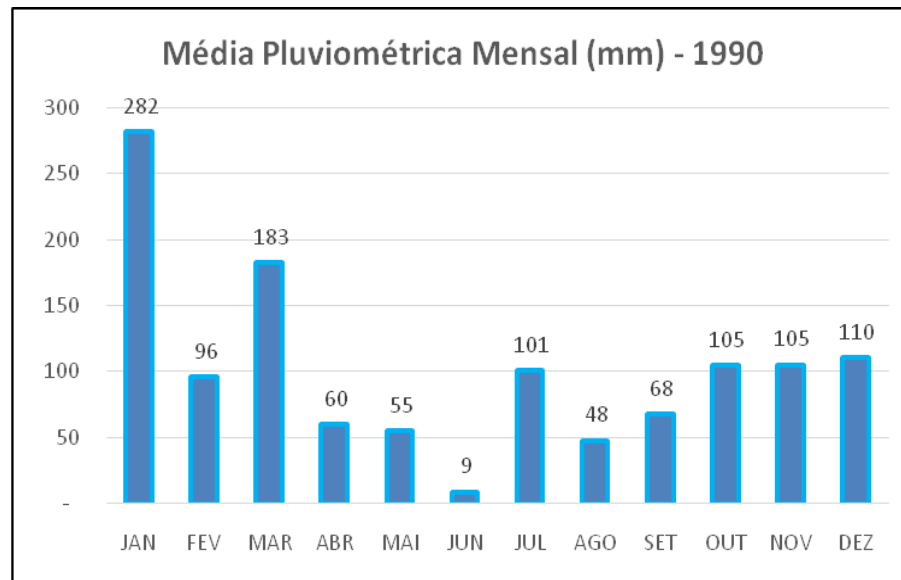
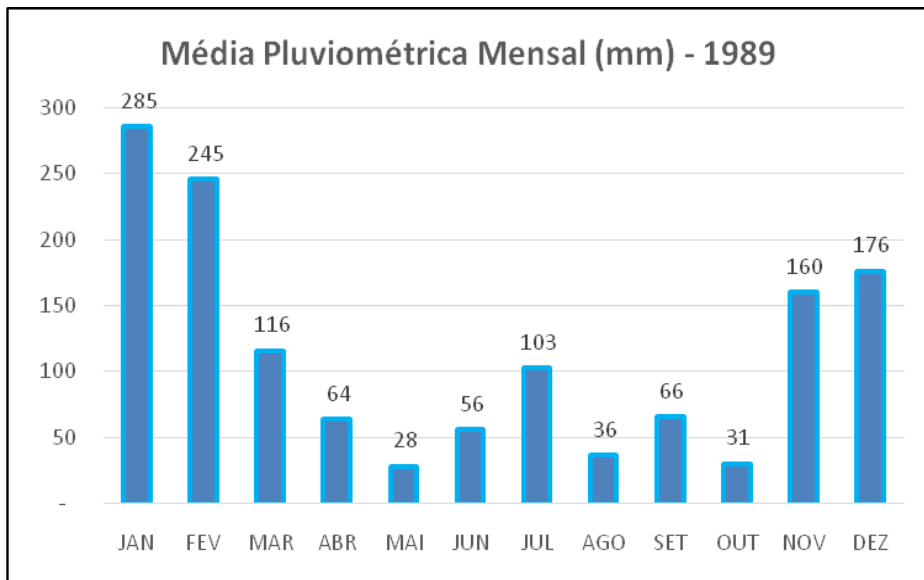
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 1987**



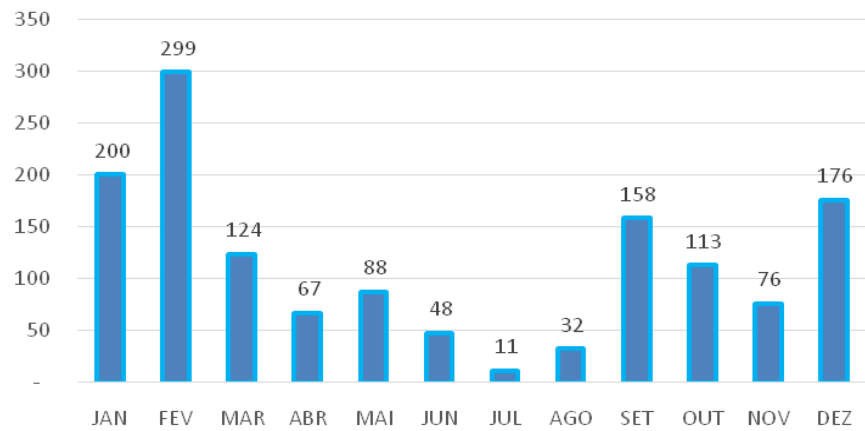
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 1988**



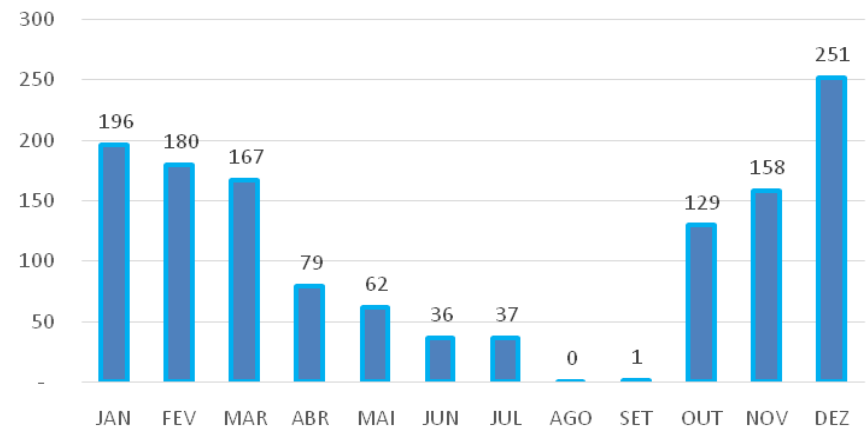




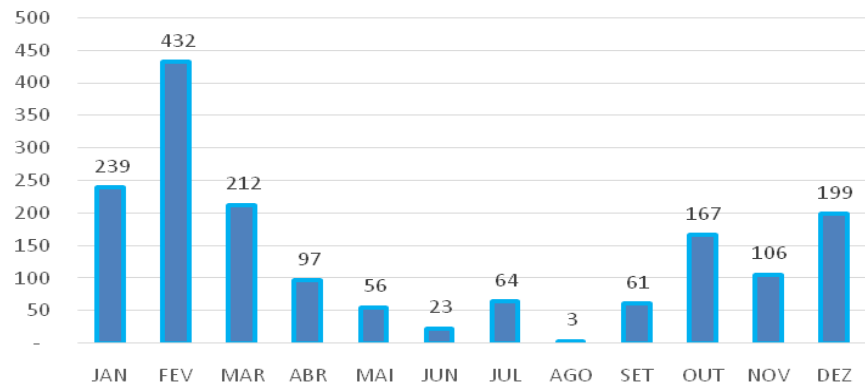
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 1993**



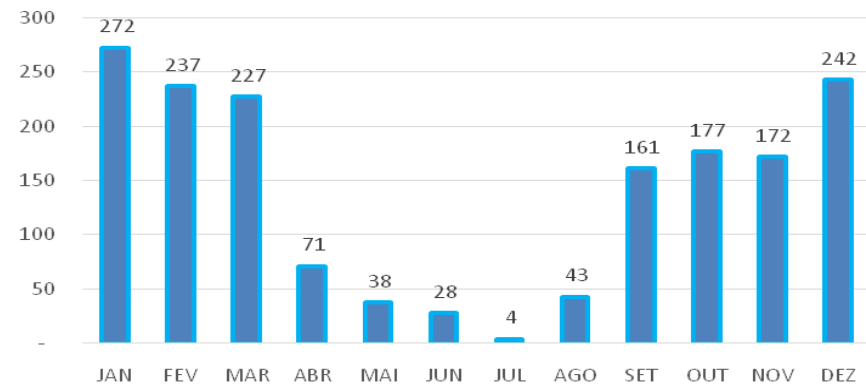
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 1994**



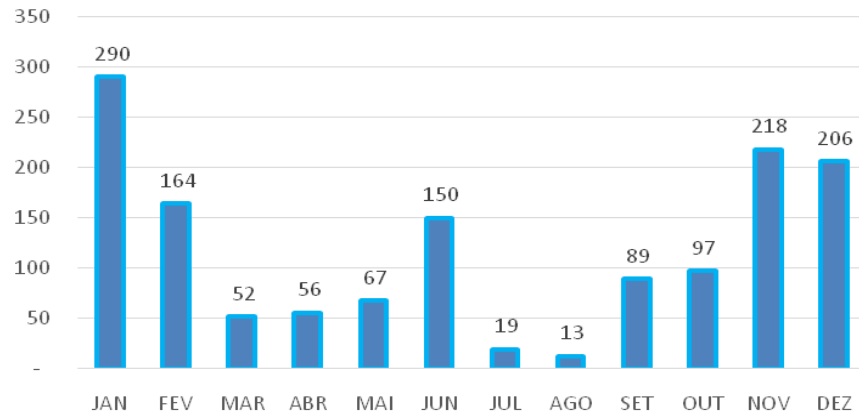
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 1995**



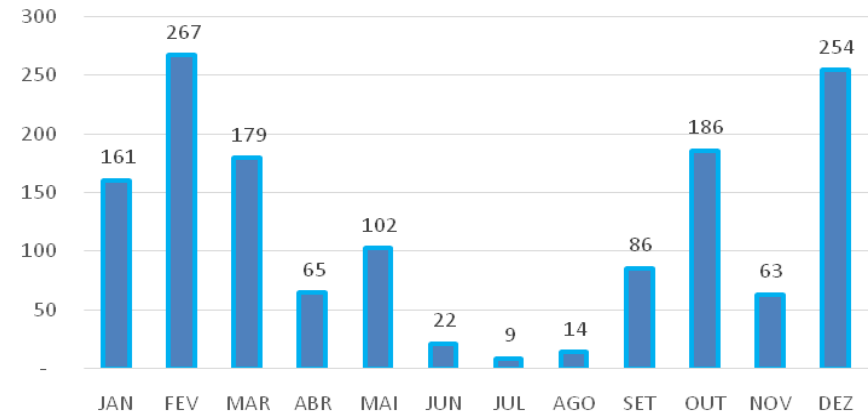
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 1996**



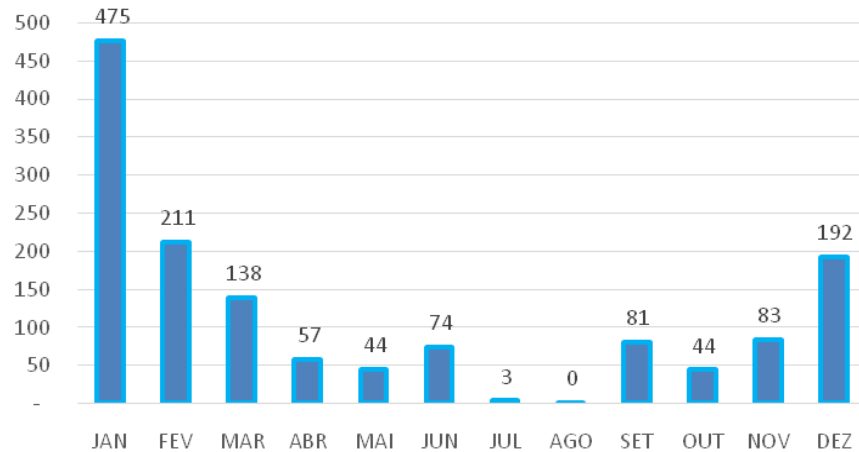
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 1997**



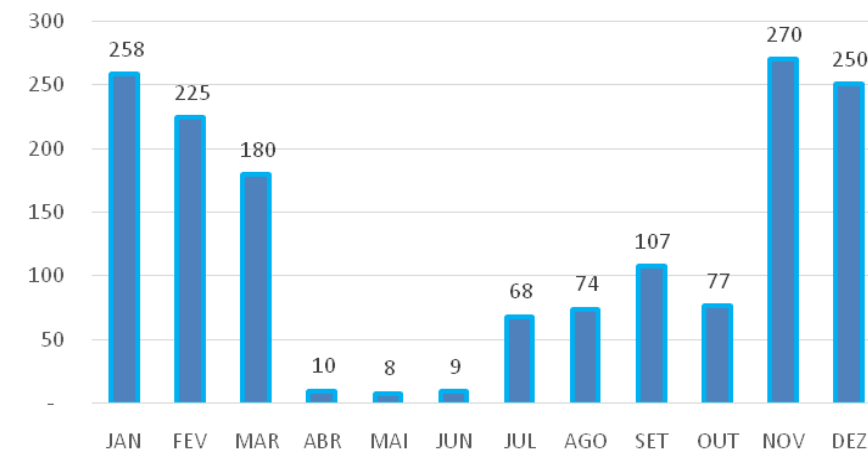
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 1998**



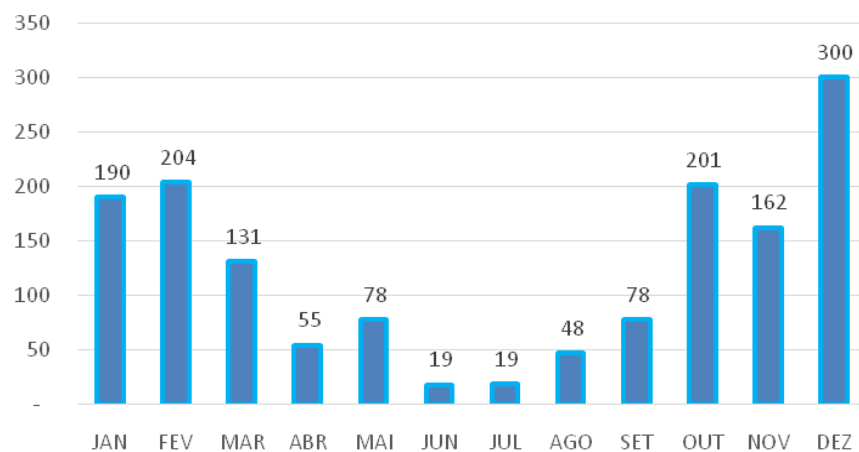
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 1999**



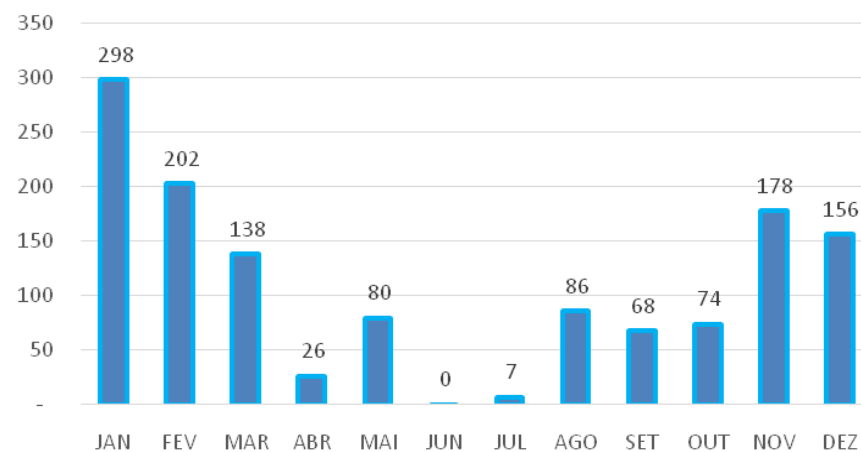
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 2000**



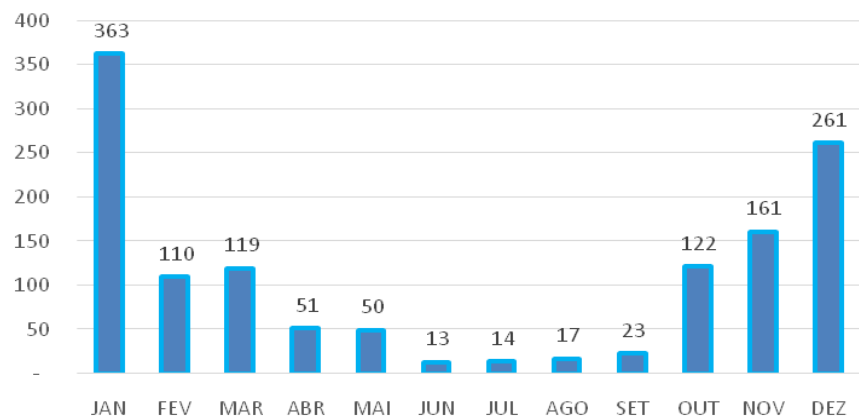
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 2001**



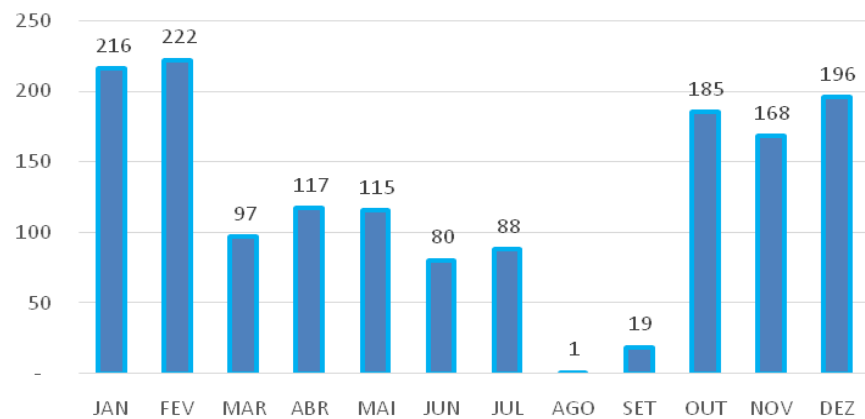
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 2002**



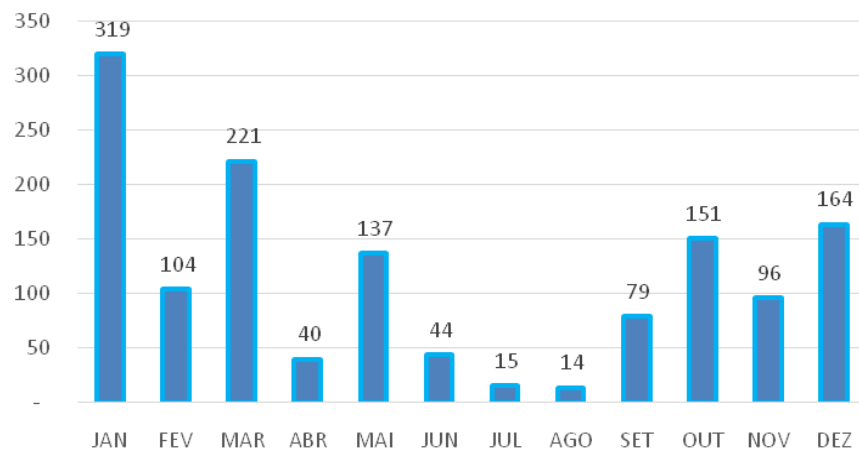
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 2003**



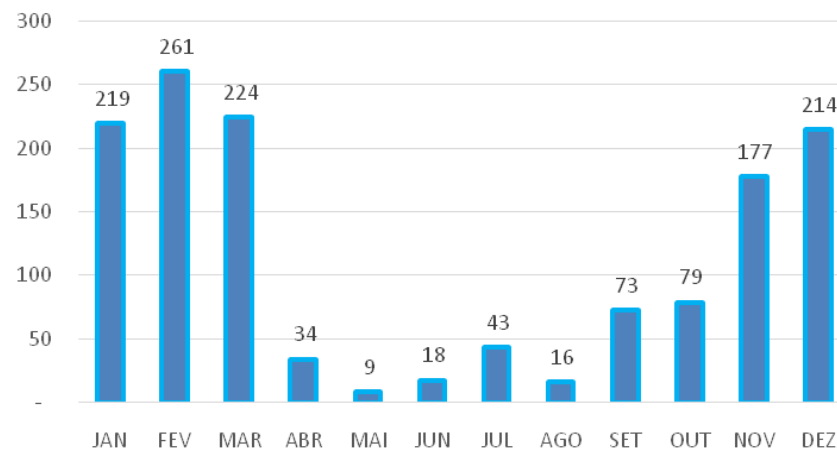
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 2004**



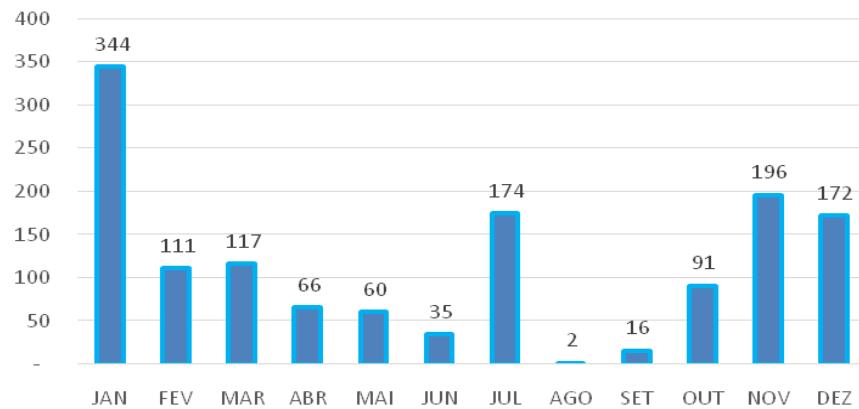
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 2005**



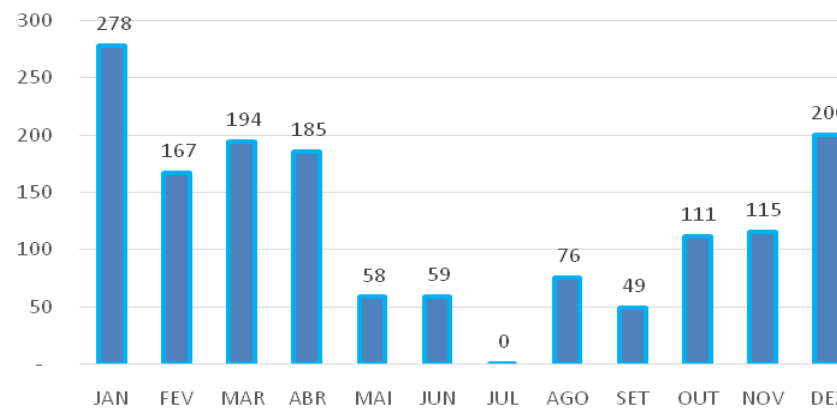
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 2006**



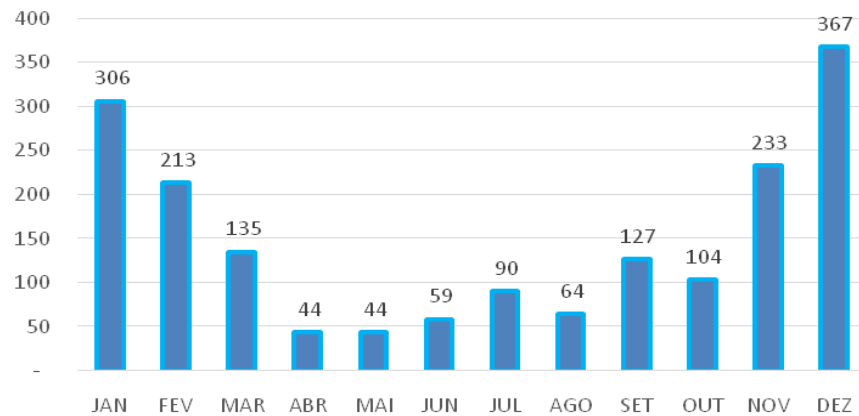
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 2007**



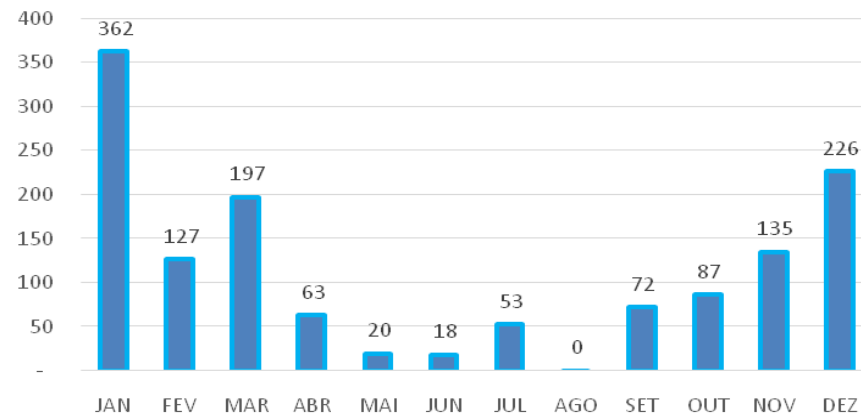
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 2008**



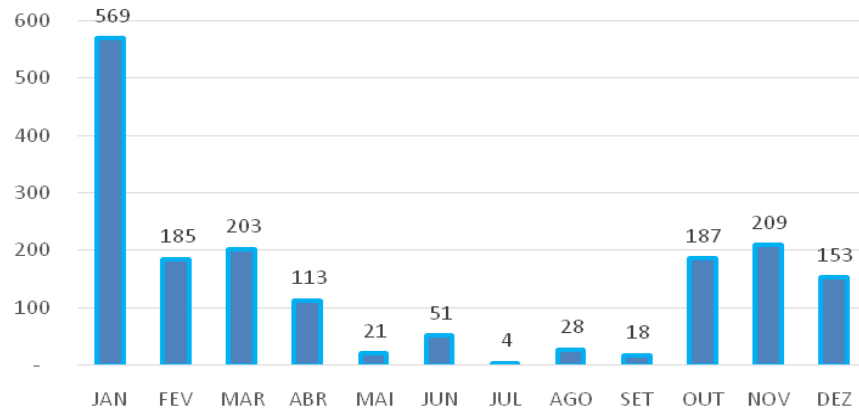
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 2009**



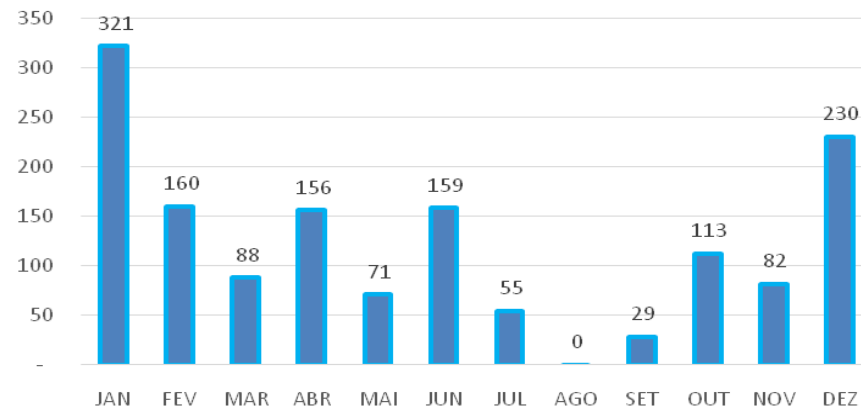
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 2010**



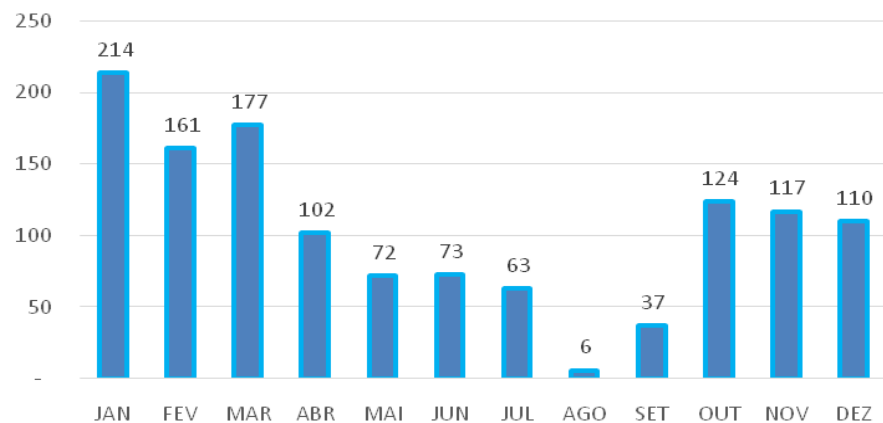
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 2011**



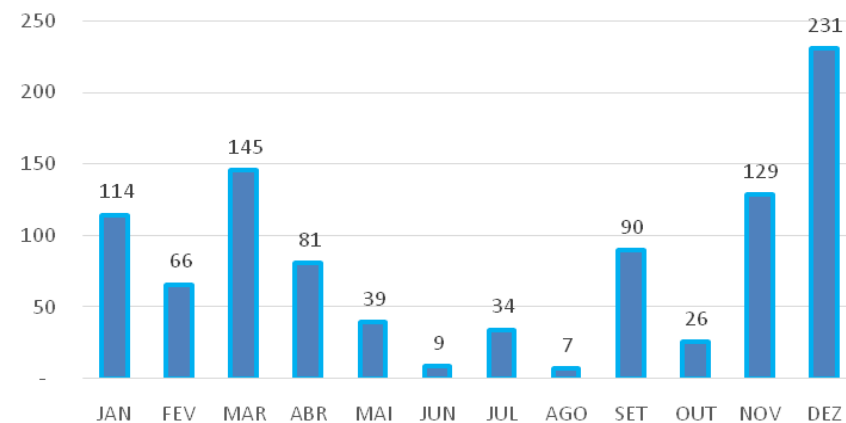
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 2012**



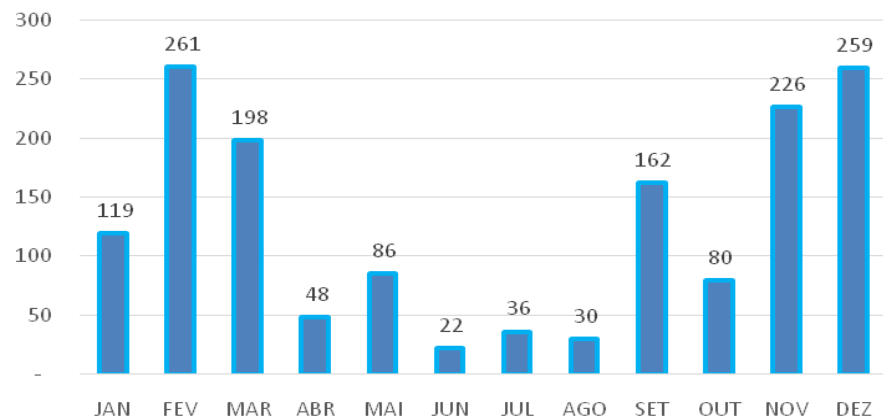
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 2013**



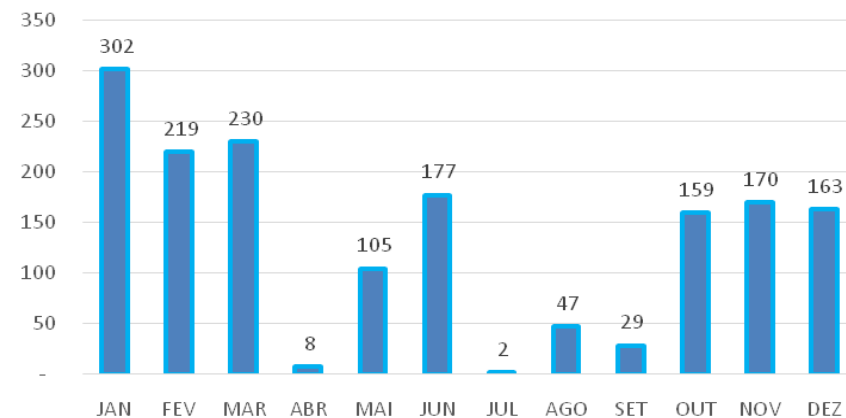
**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 2014**

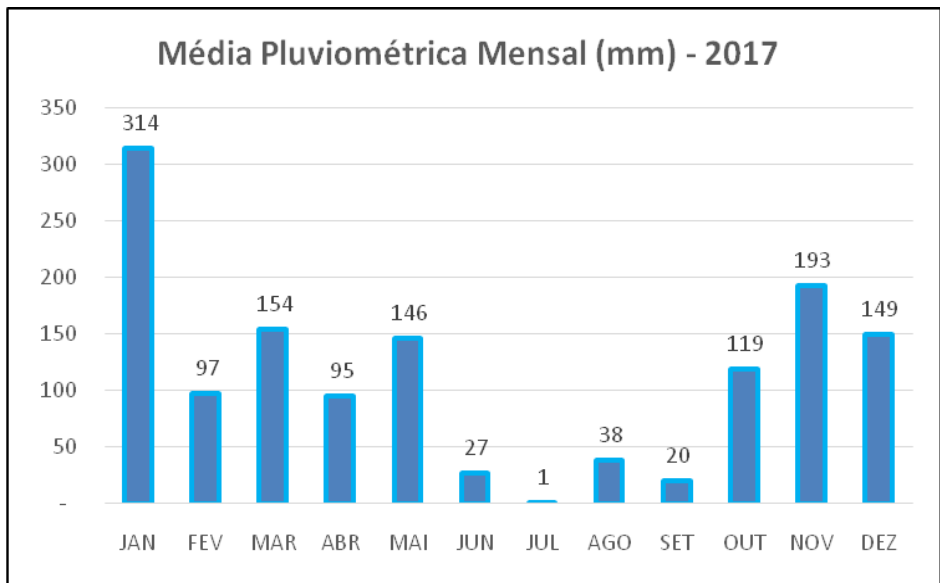


**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 2015**



**Média Pluviométrica Mensal (mm) - 2016**







## ENTREGA DO EXEMPLAR CORRIGIDO DA DISSERTAÇÃO/TESE

### Termo de Anuência do orientador


**Nome do aluno: Adriano de Souza Antunes**

**Data da defesa: 28/06/2023**

**Nome do Prof. orientador: Emerson Galvani (365.133)**

Nos termos da legislação vigente, declaro **ESTAR CIENTE** do conteúdo deste **EXEMPLAR CORRIGIDO** elaborado em atenção às sugestões dos membros da comissão Julgadora na sessão de defesa do trabalho, manifestando-me **plenamente favorável** ao seu encaminhamento ao Sistema Janus e publicação no **Portal Digital de Teses da USP**.

São Paulo, 28/08/2023.

Documento assinado digitalmente  
 **EMERSON GALVANI**  
Data: 25/08/2023 09:21:38-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

*(Assinatura do orientador)*

*Prof. Dr. Emerson Galvani*