



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Variabilidade espacial e temporal das precipitações na Bacia Hidrográfica do Rio Tietê: 1988 a 2017

Olavo Tozete Tercini¹, César Gustavo da Rocha Lima², Isadora Vitali Lobo³

¹ Mestrando em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, São Paulo. olavo.tercini@unesp.br (autor correspondente). ² Professor Assistente Doutor, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, São Paulo. cesar.lima@unesp.br. ³ Mestranda em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, São Paulo. isadora.vitali@unesp.br.

Artigo recebido em 02/01/2024 e aceito em 02/06/2024

RESUMO

A variabilidade espacial e temporal das chuvas pode gerar desequilíbrios hídricos, o que pode causar impactos de caráter social e econômico. Por conta disto, o estudo da variabilidade das precipitações é de extrema importância para diversas áreas do conhecimento, principalmente em grandes bacias hidrográficas, como a do rio Tietê. Um dos fatores que podem influenciar a variabilidade espacial e temporal das precipitações é a ocorrência de eventos El Niño – Oscilação Sul (ENOS), que alteram a temperatura do Oceano Pacífico. O presente trabalho tem como objetivo estudar a variabilidade espaço-temporal das chuvas na bacia hidrográfica do rio Tietê entre os anos de 1988 e 2017 e avaliar estas variações com os eventos ENOS no período. A partir dos bancos de dados hidrológicos públicos, foram obtidos 560 postos pluviométricos dentro da área de interesse, os quais passaram por análise estatística descritiva e geoestatística. Posteriormente, foram gerados mapas a partir da técnica de krigagem. Os resultados obtidos possibilitaram identificar que a bacia em questão tem maiores precipitações na parcela sudeste (próximo do litoral) e menores precipitações a oeste, além do fato das sub-bacias não apresentarem necessariamente comportamento hidrológico análogo. A variabilidade temporal das chuvas ao longo da bacia foi analisada, sendo observados maiores volumes pluviométricos nos anos de 1991, 1995, 2009 e 2015, e os menores nos anos de 1994, 2002, 2003 e 2014. Em relação à influência dos eventos ENOS nas chuvas da bacia, os dados não permitiram observar uma influência direta sobre a região como um todo ou nas sub-bacias.

Palavras-chave: Krigagem, El Niño – Oscilação Sul (ENOS), Gestão Hídrica, Segurança hídrica, Escassez Hídrica.

Spatial and Temporal Variability of Precipitation in the Tietê River Watershed: 1988 to 2017

ABSTRACT

Spatial and temporal variability of rainfall can lead to hydrological imbalances, causing social and economic impacts. Consequently, the study of precipitation variability is of utmost importance in various fields of knowledge, particularly in large hydrographic basins such as the Tietê River basin. One of the factors influencing spatial and temporal variability of precipitation is the occurrence of El Niño – Southern Oscillation (ENSO) events, which affect the temperature of the Pacific Ocean. This study aims to investigate the space-time variability of rainfall in the Tietê River basin between 1988 and 2017 and evaluate these variations in relation to ENSO events during this period. Utilizing public hydrological databases, 560 rainfall stations within the area of interest were analyzed through descriptive and geostatistical techniques. Subsequently, maps were generated using kriging. The results identified higher precipitation in the southeastern portion (near the coast) and lower precipitation to the west of the basin, highlighting that sub-basins do not necessarily exhibit analogous hydrological behavior. Temporal variability of rainfall across the basin was analyzed, revealing higher rainfall volumes in the years 1991, 1995, 2009, and 2015, and lower volumes in 1994, 2002, and 2014. Regarding the influence of ENSO events on basin rainfall, the data did not show a direct impact on the region as a whole or on individual sub-basins.

Key words: Kriging, El Niño-Southern Oscillation (ENSO), Water Management, Water Security, Water Scarcity.

Introdução

Se caracterizando como componente vital do ciclo hidrológico, a chuva desempenha um papel de extrema importância no planejamento e gestão sustentável dos recursos hídricos (Jaman & Adhikary, 2020). Desde 1960, as mudanças climáticas ocorridas ocasionaram impacto no ciclo hidrológico, atingindo bacias de drenagem e causando eventos prejudiciais ao ser humano e ao meio ambiente (Núcleo de Assuntos Estratégicos [NAE], 2005).

Monitorar e analisar a distribuição das chuvas é, portanto, de grande relevância para uma boa gestão hídrica, principalmente diante das alterações notadas no comportamento do clima, como citado anteriormente. Isto posto, cada vez mais trabalhos investigam o comportamento espaço-temporal das chuvas e buscam compreender possíveis tendências (Borges et al., 2021; Furtunato et al., 2017; Furtunato et al., 2019; Gupta et al., 2017; Helmi et al., 2023; Jaman & Adhikary, 2020; Lucas et al., 2022; Sousa et al. 2023).

Uma das possíveis tendências encontradas são as variações climáticas devido aos eventos El Niño Oscilação Sul - ENOS (Rafee et al., 2019). Evangelista et al. (2007), Ferreira et al. (2018), Ingram e Dawson (2005), Souza et al. (2015) e Tsonis et al (2003), são alguns dos trabalhos publicados nas últimas décadas que analisaram variações climáticas e correlacionaram com a ocorrência dos eventos ENOS.

Os fenômenos ENOS são classificados pelo Índice Oceânico Niño (ONI), cuja escala categoriza os eventos de valores acima de 0,5 como “El Niño” e aqueles de valores abaixo de -0,5, como “La Niña”.

No Brasil, estes eventos impactam várias regiões. Em se tratando especificamente da região sudeste, estudos revelaram aumento da altura pluviométrica durante episódios de El Niño e episódios de seca durante episódios de La Niña (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos [CPTEC], 2022; Gonçalves et al., (2019); Marengo et al., 2021).

No evento de seca de 2021, (na Bacia hidrográfica do Rio Tietê – BHRT) alguns reservatórios de grande importância energética e de navegação atingiram níveis iguais ou inferiores aos da seca de 2013/2014, como o da UHE Ilha Solteira, UHE Três Irmãos e UHE Nova Avanhandava (BRASIL, 2016; Operador Nacional do Sistema Elétrico [ONS, 2023]).

A bacia do rio Tietê é a maior bacia inserida do estado de São Paulo (73.548 km²) e atravessa todo o estado de leste a oeste, abrangendo mais de 31 milhões de habitantes e responsável por cerca de 20% do PIB nacional (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2022; Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos [SIGRH], 2023). Além disso, a disponibilidade dos seus recursos hídricos tem papel essencial em diversas áreas, como abastecimento público, uso industrial, uso rural e navegação (SIGRH, 2023). Logo, conhecer a variabilidade espaço-temporal desta bacia hidrográfica é um dado fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

A geoestatística, ferramenta que correlaciona valores de uma amostragem de um parâmetro (como a chuva) com a distância entre as amostras, tem sido muito empregada para a análise de precipitações, obtendo resultados satisfatórios e gerando mapas que dão suporte na tomada de decisões para a gestão hídrica (Yamamoto & Landim; 2013).

Sendo assim, o presente artigo visa analisar, em primeiro lugar, a variabilidade espaço-temporal da pluviometria na bacia hidrográfica do rio Tietê entre os anos de 1988 e 2017 e, por fim, a tendência dos eventos ENOS na região.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Tietê (área de aproximadamente 73.548 km²) está inserida na região hidrográfica do Paraná (uma bacia internacional, abrangendo Brasil, Paraguai e Argentina), se destacando como a maior bacia do estado de São Paulo (com cerca de 72.409 km²), além de ter uma pequena parte da sua área (1139 km²) dentro do estado de Minas Gerais. Dentre os motivos que configuram a importância desta região hídrica, destacam-se a inserção de empreendimentos de geração hidrelétrica relevantes na matriz energética brasileira, a localização de diversos pontos de abastecimento humano, abastecimento industrial, coleta para irrigação de agricultura e, ainda, a formação de uma importante hidrovia (corredor Tietê-Paraná), que detém de uma capacidade de carga de 20 milhões de toneladas ao ano (Agência Nacional de Água e Saneamento Básico [ANA], 2015a; SÃO PAULO, 2023; SIGRH, 2023)

A bacia hidrográfica do rio Tietê (BHRT), é uma unidade de gestão e planejamento de recursos hídricos abrangendo seis sub-bacias hidrográficas: UGRHI 06-Alto Tietê (AT),

nascente do rio, onde está inserida a Região Metropolitana de São Paulo; UGRHI 10–Sorocaba/Médio Tietê (SMT); UGRHI 13–Tietê/Jacaré (TJ); UGRHI 16–Tietê/Batalha (TB), UGRHI 19–Baixo Tietê (BT); e UGRHI 05–Piracicaba/Capivari/Jundiá (PCJ), interestadual, que se inicia em território mineiro e importante bacia de contribuição do Rio Tietê. Os principais rios que formam esta bacia são o rio Tietê, rio Sorocaba, rio Piracicaba, rio Capivari, rio Batalha e rio Jacaré-Pepira (SIGRH, 2023). As regiões citadas nos parágrafos anteriores podem ser melhor observadas nas Figuras 1 e 2.

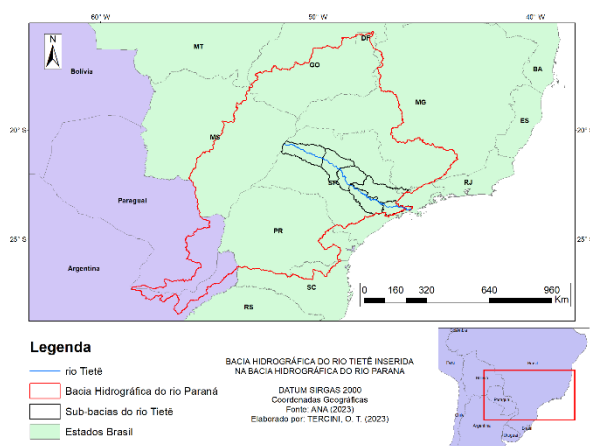


Figura 1. Bacia do rio Tietê inserida na Bacia do rio Paraná.

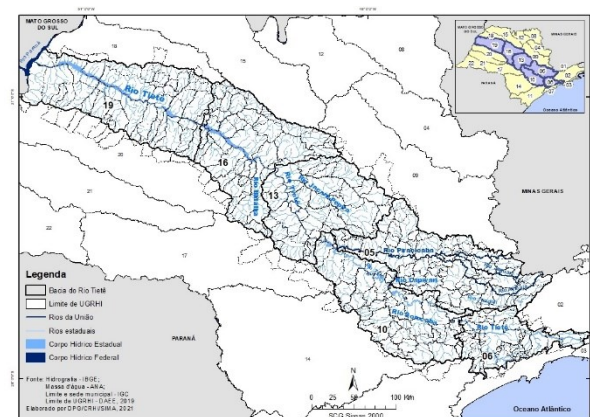


Figura 2. Bacia Hidrográfica do rio Tietê no estado de São Paulo e identificação das sub-bacias (06=Alto Tietê; 10=Sorocaba/Médio Tietê; 05=Piracicaba/Capivari/Jundiá; 13=Tietê/Jacaré; 16=Tietê/Batalha; 19=Baixo Tietê).

Metodologia

Inicialmente, de posse do shapefile da bacia hidrográfica do rio Tietê, disponibilizado pela ANA (2015b), definiu-se a área de interesse de estudo.

Por meio do software ARCGIS, foi utilizada a ferramenta “*buffer*”, que expande, num raio definido, a área de estudo, a partir de quaisquer pontos, linhas ou áreas selecionadas (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2013).

Para este trabalho, aplicou-se um *buffer* de 50 km ao redor da bacia em questão, obtendo-se uma nova área de interesse.

Todos os postos pluviométricos da rede meteorológica disponível foram inseridos nessa nova área de interesse e coletados para análise. Os postos que não apresentaram nenhum dado entre os anos de 1988 e 2017 foram descartados. Ao final, foram selecionadas 560 estações para o banco de dados do presente estudo (Figura 3).

A obtenção de postos em toda a área de interesse definida anteriormente é de extrema importância para que os postos fora da bacia sirvam de “âncora” durante a modelagem geoestatística, fazendo com que a análise contemple toda a bacia do rio Tietê.

Os dados de chuvas foram obtidos por meio do banco de dados hidrológicos do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), onde é permitido consultar e baixar os dados de postos fluviométricos e pluviométricos ao longo de todo o estado de São Paulo (Departamento de Águas e Energia Elétrica [DAEE], 2022). Também foram obtidos alguns “pontos de âncora” em estados adjacentes à São Paulo, como Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, obtidos por meio da ferramenta Hidroweb v.3.2.7 (ANA, 2022).

Posteriormente, foram realizadas as análises estatísticas descritivas para cada ano no intervalo entre 1988 e 2017. Foram calculados a média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose, parâmetros que auxiliam na análise do banco de dados.

Todos os dados pluviométricos, separados anualmente, foram inseridos no programa GeoStatistics for the Environmental Sciences – Gamma Design (GS+) versão 7.0. (Robertson, 2004). O software permitiu examinar a dependência espacial das amostragens e aplicar a técnica de interpolação e mapeamento por Krigagem. O cálculo do semivariograma experimental foi aplicado a partir da Equação 1 (Lima et al., 2020), enquanto a Krigagem foi calculada a partir da Equação 2 (Lima et al., 2020).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (1)$$

Em que:

$N(h)$ = refere-se ao número de pares experimentais de observação $Z(X_i)$ e $Z(X_i + h)$ distantes entre si a uma medida regular h .

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(X_i) \quad (2)$$

z^* = o valor a ser estimado no ponto não amostrado

x_0 ;

N = número de valores medidos $z(X_i)$ envolvidos na estimativa;

λ_i = os pesos associados a cada valor medido $z(X_i)$.

Em que:

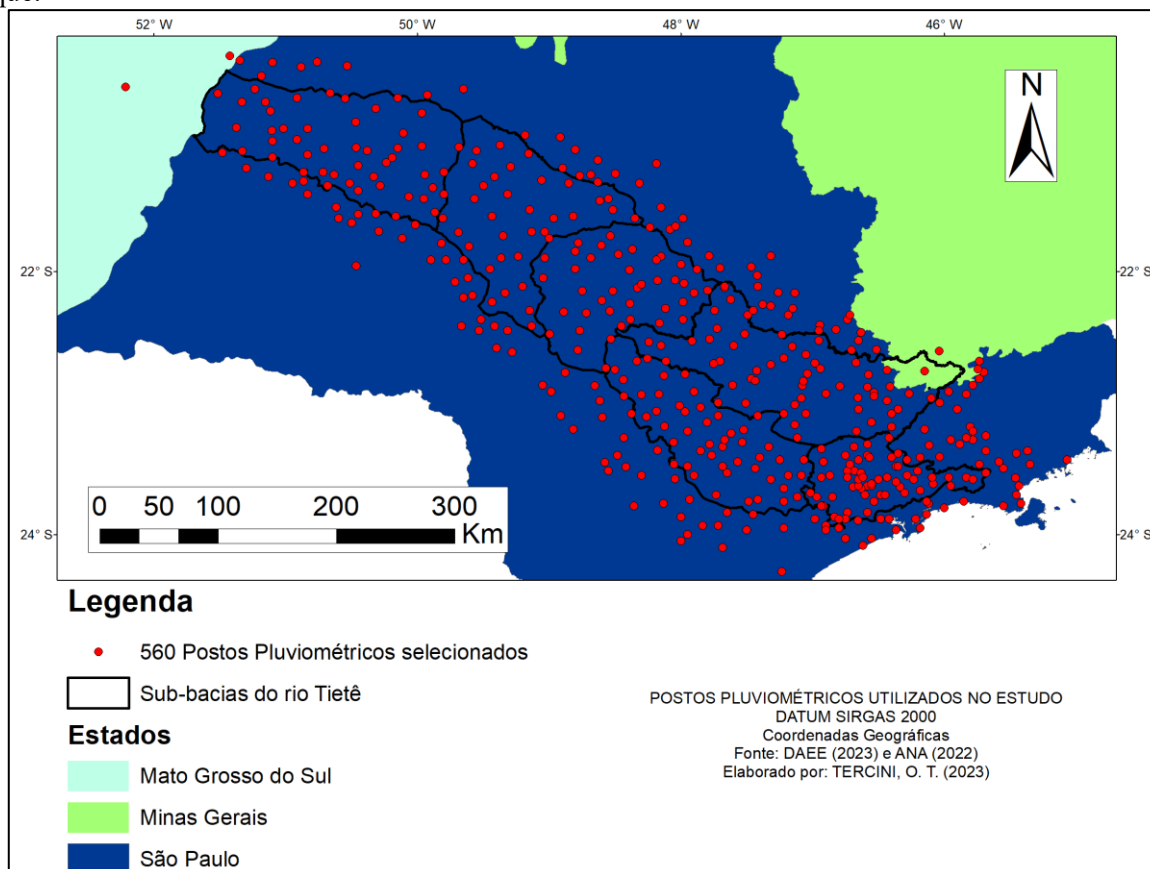


Figura 3. Postos pluviométricos utilizados no estudo.

Para inserção dos dados no programa, foi necessário transformar as coordenadas dos postos, que foram obtidos em projeção geográfica, para projeção Policônica, uma vez que este software só permite a entrada de dados no sistema métrico.

Durante a aplicação da geoestatística e determinação dos melhores ajustes dos semivariogramas, foram observados os valores mais pertinentes dos seguintes parâmetros: efeito pepita (C_0), patamar ($C + C_0$), alcance (a), coeficiente de determinação (R^2), soma dos quadrados dos desvios (SQR), avaliador da dependência espacial (ADE) e o coeficiente de correlação da validação cruzada (r). Desse modo, os mapas de chuva ao longo de toda bacia foram gerados pelo processo de Krigagem Ordinária. A Equação 3 apresenta o cálculo aplicado para obtenção do ADE (Robertson, 2008).

$$ADE = \frac{C}{C_0 + C} \quad (3)$$

Em que:

C = à variância estrutural;

C_0 = ao efeito pepita.

Por fim, os mapas de chuvas foram comparados com as intensidades dos eventos ENOS e o Índice Oceânico Niño (*Oceanic Niño Index* – ONI) entre os anos de 1988 e 2017, com o objetivo de averiguar relações entre estes eventos e as chuvas.

O ONI foi definido por Null (2022) e é o principal método utilizado pela Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (National Oceanic and Atmospheric Administration –

NOAA) para mensurar a intensidade da fase do ENOS no Pacífico Tropical Oriental.

Este parâmetro é calculado a partir da média dos últimos três meses da temperatura da superfície do mar na região Niño 3.4 (localizada entre 5° N -5° S e 120° - 170° W), localizada entre a Oceania e a América do Sul.

Logo, os fenômenos podem ser classificados em: Fraca (anomalias entre 0,5 e 0,9 °C), Moderada (anomalias entre 1,0 e 1,4 °C), Forte (anomalias entre 1,5 e 1,9 °C) e Muito Forte (anomalias acima de 2,0 °C). A Tabela 1 apresenta os eventos que ocorreram no intervalo estudado. Os períodos não apresentados são neutros, ou seja, sem influência do El Niño ou La Niña (anomalias entre 0 e 0,5 °C).

Tabela 1 – Períodos de eventos ENOS e sua respectiva intensidade

Período	Evento - Intensidade
1987-88	El Niño - Forte
1988-89	La Niña - Forte
1991-92	El Niño - Forte
1994-95	El Niño - Moderado
1995-96	La Niña - Moderado
1997-98	El Niño – Muito Forte
1998-99	La Niña - Forte
1999-2000	La Niña - Forte
2000-01	La Niña - Fraca
2002-03	El Niño – Moderado
2004-05	El Niño - Fraco
2005-06	La Niña – Fraca
2006-07	El Niño – Fraco
2007-08	La Niña – Forte
2008-09	La Niña – Fraca
2009-10	El Niño - Moderado
2010-11	La Niña - Forte
2011-12	La Niña – Moderada
2014-15	El Niño - Fraco
2015-16	El Niño – Muito Forte
2016-17	La Niña – Fraca
2017-18	La Niña - Fraca

Fonte: Adaptado de Null (2022).

Resultados e discussão

Os resultados referentes à análise estatística descritiva para os dados pluviométricos estão apresentados na Tabela 2.

A média anual da amostragem variou entre 1088,84 mm (2014) e 1833,66 mm (2009), com uma média geral de 1464 mm. Este valor é

considerado levemente acima da média, pois, conforme Maia (2022), a média da BH do rio Tietê varia entre 1346 mm e 1422 mm entre os anos de 1981 e 2020. Destaca-se também que esta média considera todos os postos empregados no estudo, sendo alguns deles na região litorânea do estado de São Paulo, o que aumenta a média da análise descritiva.

Os dados na Tabela 2 têm sua consistência corroborada com eventos registrados em anteriormente: 2014 foi marcado por uma das piores secas hídricas do estado de São Paulo, enquanto 2009 foi um dos anos com maior altura pluviométrica registrada (Carmello & Neto, 2015; Marengo et al., 2015).

Os valores de CV situam-se entre 15,69 e 41,85%. De acordo com a classificação proposta por Pimental-Gomes e Garcia (2002), 2 anos (6,67%) apresentam variabilidade média dos dados, 22 anos (73,33%) variabilidade alta e 6 anos (20%) variabilidade muito alta. Isto evidencia que a aplicação de técnicas geoestatísticas com o objetivo de mapear e representar a variabilidade espaço-temporal das precipitações ao longo da área de estudo é significativamente importante.

Outro fator identificado por meio da análise estatística é a ocorrência de assimetria positiva para todos os anos analisados, situação cuja constatação implica na recomendação de transformação dos dados da amostragem para a aplicação da (Lundgren et al., 2017). Entretanto, conforme Cressie (1991), tal resultado não é impeditivo quanto ao uso das técnicas de geoestatística, vez que a normalidade dos dados não restringe sua aplicação.

Os resultados encontrados para a análise geoestatística dos dados de chuva estão expostos na Tabela 3. Nota-se que os dados originais apresentaram ajustes variográficos satisfatórios para todos os anos avaliados, atendendo a hipótese intrínseca mediante a estabilização dos variogramas e confirmando a alta dependência espacial dos atributos não sendo necessário conversões.

Os valores apresentados para o ADE corroboram a informação anterior uma vez que todos os anos estudados indicaram uma forte dependência espacial dos dados de chuva segundo classificação de Zimback (2001). O ajuste variográfico que melhor se adequou a amostragem foi o modelo exponencial (17 ajustes), seguido do esférico (9 ajustes) e gaussiano (4 ajustes).

Os semivariográficos apresentaram coeficiente de determinação (R^2) com valores entre 0,63 e 0,97, alcances que variaram entre 39,1 km e

207,6 km, além de coeficiente de correlação (r) da validação cruzada variando de 0,32 a 0,74.

Apesar do parâmetro Alcance possuir certa relação com o tamanho da área de estudo, algumas comparações podem ser realizadas. Na análise espacial de eventos máximos de chuva na bacia do alto São Francisco e alto rio Doce, Amaral et al. (2007) obtiveram alcances entre 180 km e 250 km, sendo o ajuste exponencial o que melhor se adequou nas amostras. Nos trabalhos de Furtunato et al. (2017) e Furtunato et al. (2019), a análise geoestatística das chuvas na bacia do rio Grande (Bahia) também evidenciou o ajuste exponencial

como o melhor modelo matemático para a região, com alcances que variaram entre 102,5 km e 127,5 km.

Com base nos Alcances obtidos (Tabela 3), observou-se que os menores valores tendem a indicar maior recorte espacial com a presença de "ilha" ou fragmentos espaciais. Já os alcances maiores tendem a representar efeitos mais contínuos e com variações menos bruscas na pluviometria.

Tabela 2 Análise estatística descritiva das precipitações anuais nos postos coletados (1988-2017).

Ano ^(a)	Medidas da Estatística Descritiva das chuvas totais anuais							
	Média (mm)	Mediana (mm)	Valor (mm)		Desvio Padrão	Coeficiente		
			Min.	Max.		Variação (%)	Curtose	Assimetria
1988 ⁽⁴⁵⁰⁾	1483,78	1371	816	5013	457,64	30,84	17,14	3,42
1989 ⁽⁴⁴⁸⁾	1583,19	1536	764	3491	328,10	20,72	18,77	3,28
1990 ⁽⁴⁴⁸⁾	1383,90	1351	714	3026	297,53	21,50	16,08	2,98
1991 ⁽⁴²⁷⁾	1613,81	1597	947	2632	329,77	20,43	4,71	1,40
1992 ⁽⁴⁴⁰⁾	1416,39	1364	761	3772	366,89	25,90	23,78	3,92
1993 ⁽⁴³²⁾	1472,18	1439	340	4058	369,79	25,12	21,71	3,49
1994 ⁽³⁹⁹⁾	1287,74	1212	150	4230	404,42	31,41	21,85	3,80
1995 ⁽³⁸⁷⁾	1648,82	1576	294	4431	466,46	28,29	13,57	2,97
1996 ⁽³⁷⁴⁾	1549,32	1460	525	4154	501,36	32,36	9,31	2,42
1997 ⁽³⁵⁹⁾	1511,25	1476	689	3904	307,88	20,37	29,56	3,63
1998 ⁽³⁷¹⁾	1514,33	1467	473	3730	363,43	24,00	18,04	3,21
1999 ⁽³⁵⁷⁾	1331,80	1278	637	3726	349,16	26,22	22,14	3,45
2000 ⁽²⁸⁴⁾	1456,03	1448	735	3076	318,39	21,87	12,76	2,22
2001 ⁽²⁵⁰⁾	1387,62	1364	672	2429	217,69	15,69	3,21	1,00
2002 ⁽²⁵²⁾	1321,90	1258	778	3523	356,97	27,00	26,65	4,08
2003 ⁽²³⁶⁾	1281,71	1251	641	3621	319,76	24,95	16,34	2,98
2004 ⁽²²⁸⁾	1444,00	1394	579	4142	379,17	26,26	16,27	3,13
2005 ⁽²²⁴⁾	1397,33	1301	819	4176	461,68	33,04	24,73	4,30
2006 ⁽²¹⁵⁾	1413,34	1349	912	3270	362,21	25,63	19,47	3,54
2007 ⁽²¹⁶⁾	1399,32	1355	426	3179	291,58	20,84	16,86	2,73
2008 ⁽²⁰⁸⁾	1374,02	1306	827	3181	352,78	25,67	20,26	3,45
2009 ⁽¹⁹⁷⁾	1833,66	1808	863	3934	392,45	21,40	18,30	2,96
2010 ⁽¹⁹⁸⁾	1446,49	1277	889	5260	605,41	41,85	21,47	3,89
2011 ⁽²⁰⁰⁾	1587,43	1517	889	3936	447,36	28,18	18,76	3,37
2012 ⁽²⁰⁰⁾	1525,85	1482	892	2777	354,41	23,23	8,96	2,29
2013 ⁽²⁰³⁾	1441,19	1348	519	4325	456,38	31,67	19,58	3,58
2014 ⁽²⁰⁸⁾	1088,84	1023	440	2483	316,17	29,04	8,77	2,39
2015 ⁽²⁰⁸⁾	1652,46	1578	974	4966	459,58	27,81	18,02	3,64
2016 ⁽¹⁴²⁾	1526,73	1518	1111	3061	270,45	17,71	10,34	2,16
2017 ⁽¹²⁶⁾	1555,53	1451	1038	4085	412,39	26,51	16,16	3,41

^(a) = Número de amostras (postos pluviométricos); Mín. = mínimo; Máx. = Máximo.

Tabela 3 - Modelos e parâmetros de ajuste dos semivariogramas experimentais das precipitações anuais nos postos coletados (1988-2017).

Ano _{(amostragem)(a)}	Modelo _(b)	Medidas de Ajuste dos Semivariogramas						Validação Cruzada		
		C0	C0+C	A (km)	R ²	SQR _(c)	ADE _(d) %	a	B	r
1988 ₍₄₃₄₎	esf	1400	6,854x10 ⁴	56,8	0,926	5,55x10 ⁸	98,8	-0,62	1,003	0,737
1989 ₍₄₃₃₎	exp	5200	6,090x10 ⁴	86,7	0,905	5,87x10 ⁸	91,5	22,45	0,986	0,514
1990 ₍₄₃₂₎	esf	100	4,250x10 ⁴	43,6	0,842	4,37x10 ⁸	99,8	113,22	0,917	0,542
1991 ₍₄₀₉₎	exp	10300	5,938x10 ⁴	112,5	0,970	1,25x10 ⁸	82,7	5,36	0,997	0,661
1992 ₍₄₂₁₎	esf	2500	5,475x10 ⁴	48,7	0,785	1,01x10 ⁹	95,4	188,80	0,864	0,459
1993 ₍₄₁₁₎	exp	9100	4,261x10 ⁴	112,2	0,923	1,75x10 ⁸	78,6	14,15	0,990	0,512
1994 ₍₃₇₅₎	exp	8100	4,871x10 ⁴	134,4	0,912	3,39x10 ⁸	83,4	42,73	0,967	0,512
1995 ₍₃₆₉₎	exp	13400	7,232x10 ⁴	132,9	0,925	4,89x10 ⁸	81,5	-30,12	1,018	0,642
1996 ₍₃₆₅₎	exp	18700	1,432x10 ⁵	134,4	0,955	1,18x10 ⁹	86,9	10,46	0,996	0,724
1997 ₍₃₃₇₎	exp	2800	3,937x10 ⁴	59,7	0,764	4,67x10 ⁸	92,9	32,14	0,979	0,464
1998 ₍₃₅₈₎	exp	100	9,340x10 ⁴	78,0	0,602	8,42x10 ⁸	99,9	52,49	0,966	0,495
1999 ₍₃₄₁₎	exp	600	5,399x10 ⁴	95,7	0,882	6,86x10 ⁸	98,9	46,82	0,964	0,510
2000 ₍₂₇₁₎	esf	14500	5,488x10 ⁴	116,7	0,683	2,14x10 ⁹	75,6	8166	0,943	0,438
2001 ₍₂₃₇₎	exp	4160	2,802x10 ⁴	39,3	0,857	6,99x10 ⁷	85,2	-136,80	1,102	0,378
2002 ₍₂₄₂₎	exp	4900	3,726x10 ⁴	86,1	0,897	1,84x10 ⁸	86,8	-10,52	1,009	0,576
2003 ₍₂₂₃₎	gau	4100	4,554x10 ⁴	39,5	0,690	1,48x10 ⁹	91,0	127,57	0,902	0,524
2004 ₍₂₁₈₎	gau	3400	7,780x10 ⁴	39,1	0,679	4,34x10 ⁹	95,6	125,95	0,914	0,563
2005 ₍₂₁₅₎	gau	7100	7,458x10 ⁴	58,9	0,759	3,15x10 ⁹	90,5	168,17	0,875	0,612
2006 ₍₂₀₃₎	exp	10400	6,616x10 ⁴	207,6	0,753	2,77x10 ⁹	84,3	-62,37	1,048	0,656
2007 ₍₂₀₄₎	exp	3300	4,230x10 ⁴	68,4	0,739	5,52x10 ⁸	92,2	133,39	0,903	0,326
2008 ₍₁₉₈₎	exp	4200	5,725x10 ⁴	100,8	0,796	1,03x10 ⁹	92,7	82,53	0,941	0,454
2009 ₍₁₈₇₎	esf	8900	6,380x10 ⁴	76,0	0,659	2,52x10 ⁹	86,1	189,89	0,895	0,354
2010 ₍₁₉₁₎	esf	13900	1,850x10 ⁵	178,8	0,903	7,91x10 ⁹	92,5	38,68	0,972	0,745
2011 ₍₁₈₇₎	esf	900	8,130x10 ⁴	71,2	0,636	4,68x10 ⁹	98,9	14,00	0,987	0,678
2012 ₍₁₈₅₎	esf	12500	5,355x10 ⁴	105,1	0,657	1,51x10 ⁹	76,7	-69,00	1,045	0,501
2013 ₍₁₉₃₎	gau	13300	8,690x10 ⁴	56,8	0,710	4,06x10 ⁹	84,7	166,85	0,881	0,528
2014 ₍₂₀₃₎	exp	1100	8,300x10 ⁴	129,9	0,711	4,09x10 ⁹	98,7	-11,98	1,013	0,640
2015 ₍₁₉₈₎	esf	100	8,050x10 ⁴	54,6	0,461	7,25x10 ⁹	99,9	149,32	0,907	0,576
2016 ₍₁₃₂₎	exp	10	2,821x10 ⁴	51,6	0,784	7,35x10 ⁷	100,0	10,83	0,986	0,370
2017 ₍₁₁₇₎	exp	3400	5,971x10 ⁴	169,8	0,662	2,17x10 ⁹	94,3	-64,33	1,041	0,581

(a) = todos os anos avaliados apresentaram no mínimo 30 pares no primeiro lag; (b) = modelos ajustados, onde: esf = esférico, exp = exponencial e gau = gaussiano; (c) = SQR = soma dos quadrados dos resíduos; (d) = ADE - avaliador da dependência espacial.

Os anos com menores alcances foram os 1990, 1992, 2001, 2003 e 2004, enquanto os de maiores alcances foram os 1994, 1996, 2006, 2010 e 2017. Ao comparar com a análise descritiva, foi possível denotar que os anos com menores alcances tiveram os menores desvios padrão e menores coeficiente de variação, enquanto os com maiores alcances tiveram os maiores desvios padrão e maiores coeficientes de variação. No estudo de Silva (2019), concluiu-se que, para a região do

Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, o alcance em épocas chuvosas foi superior aos demais alcances, fato que, apesar de observado em alguns dos anos com alto índice pluviométrico, não é uma regra para a bacia hidrográfica do rio Tietê.

Considerando que a análise semivariográfica indicou apreciáveis ajustes, nas Figuras 4 a 9 são apresentados os mapas resultantes da krigagem ordinária para a pluviometria de cada

período e a sua respectiva fase do ENOS (classificado por intensidade).

Os mapas gerados evidenciaram que as chuvas anuais variaram entre 600 mm e 2800 mm nos 30 anos estudados, sendo que as maiores alturas pluviométricas estão atreladas a região sudeste da bacia, localizada mais próxima do litoral paulista. Em contrapartida, as menores alturas pluviométricas situaram-se na parcela oeste da bacia e na sub bacia do Sorocaba/Médio Tietê. Os valores médios de precipitação para cada ano

analisado podem ser observados na Figura 10. Os resultados obtidos são confirmados visto que os estudos de Alvares et al. (2014), Lemes (2019) e Marcuzzo (2020), apresentaram valores e conclusões análogas.

A variabilidade temporal das chuvas ao longo da bacia foi analisada, sendo observados maiores alturas pluviométricas nos anos de 1889, 1991, 1995, 2009 e 2015, e menores alturas nos anos de 1994, 2002 e 2014.

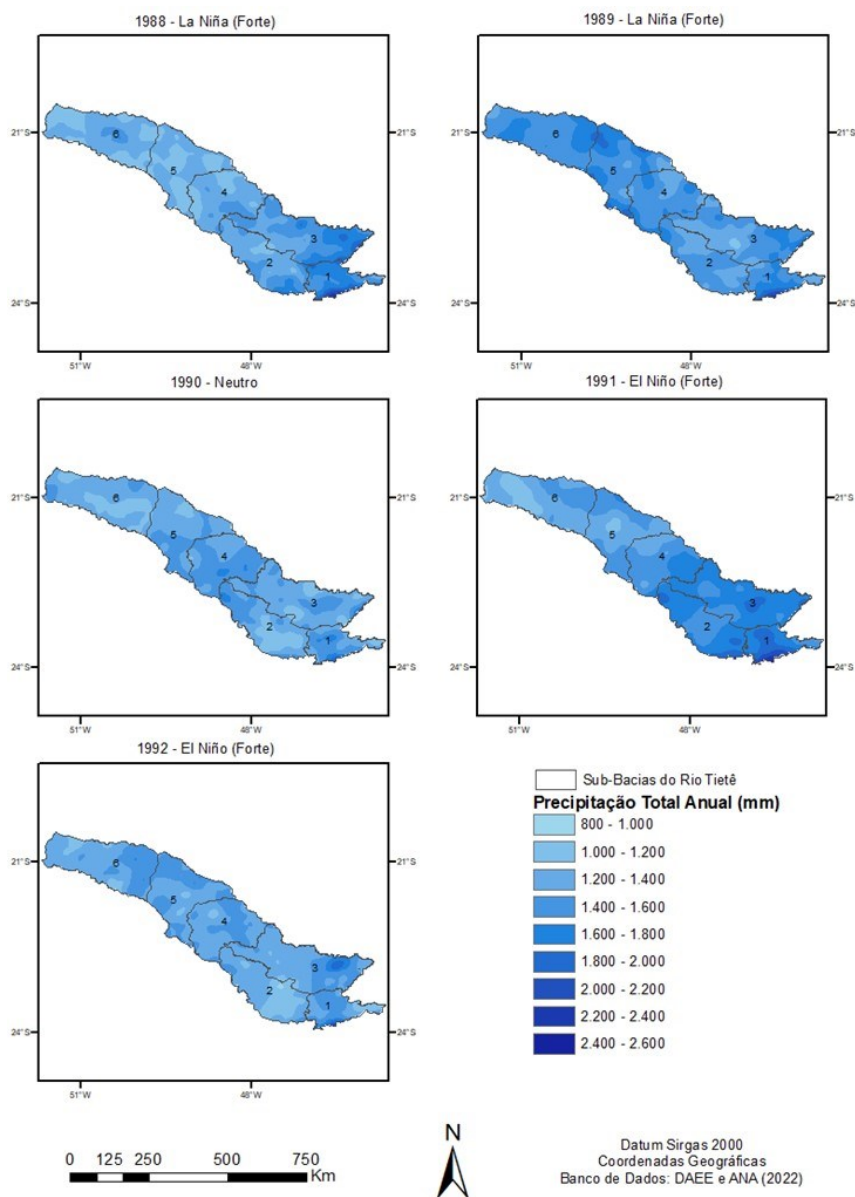


Figura 4. Precipitação total anual na bacia do rio Tietê de 1988 a 1992.

1=Alto Tietê; 2=Sorocaba/Médio Tietê; 3=Piracicaba/Capivari/Jundiaí; 4=Tietê/Jacaré; 5=Tietê/Batalha; 6= Baixo Tietê.

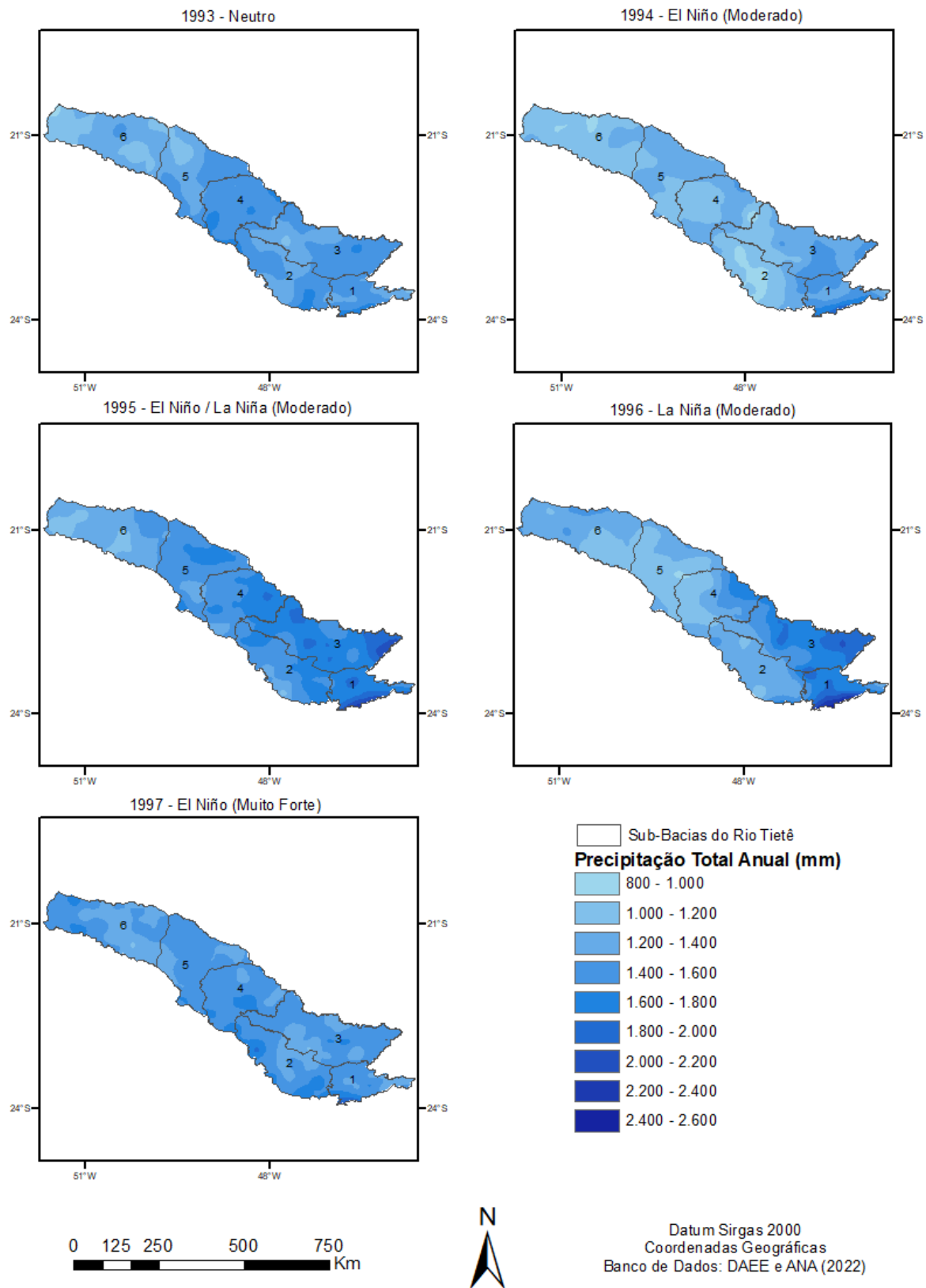


Figura 5. Precipitação total anual na bacia do rio Tietê de 1993 a 1997.

1=Alto Tietê; 2=Sorocaba/Médio Tietê; 3=Piracicaba/Capivari/Jundiaí; 4=Tietê/Jacaré; 5=Tietê/Batalha; 6=Baixo Tietê.

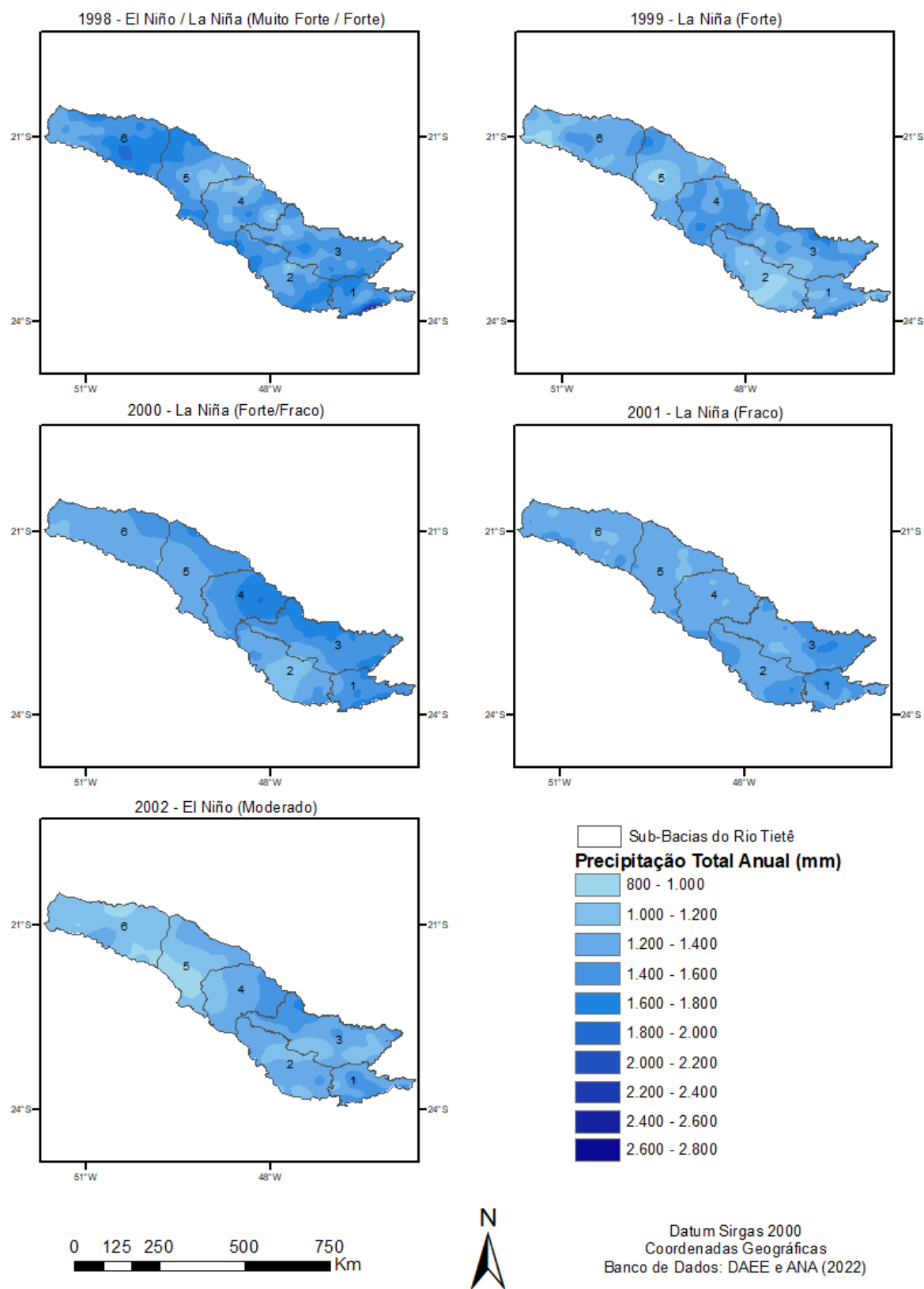


Figura 6. Precipitação total anual na bacia do rio Tietê de 1998 a 2002.

1=Alto Tietê; 2=Sorocaba/Médio Tietê; 3=Piracicaba/Capivari/Jundiá; 4=Tietê/Jacaré; 5=Tietê/Batalha; 6=Baixo Tietê.

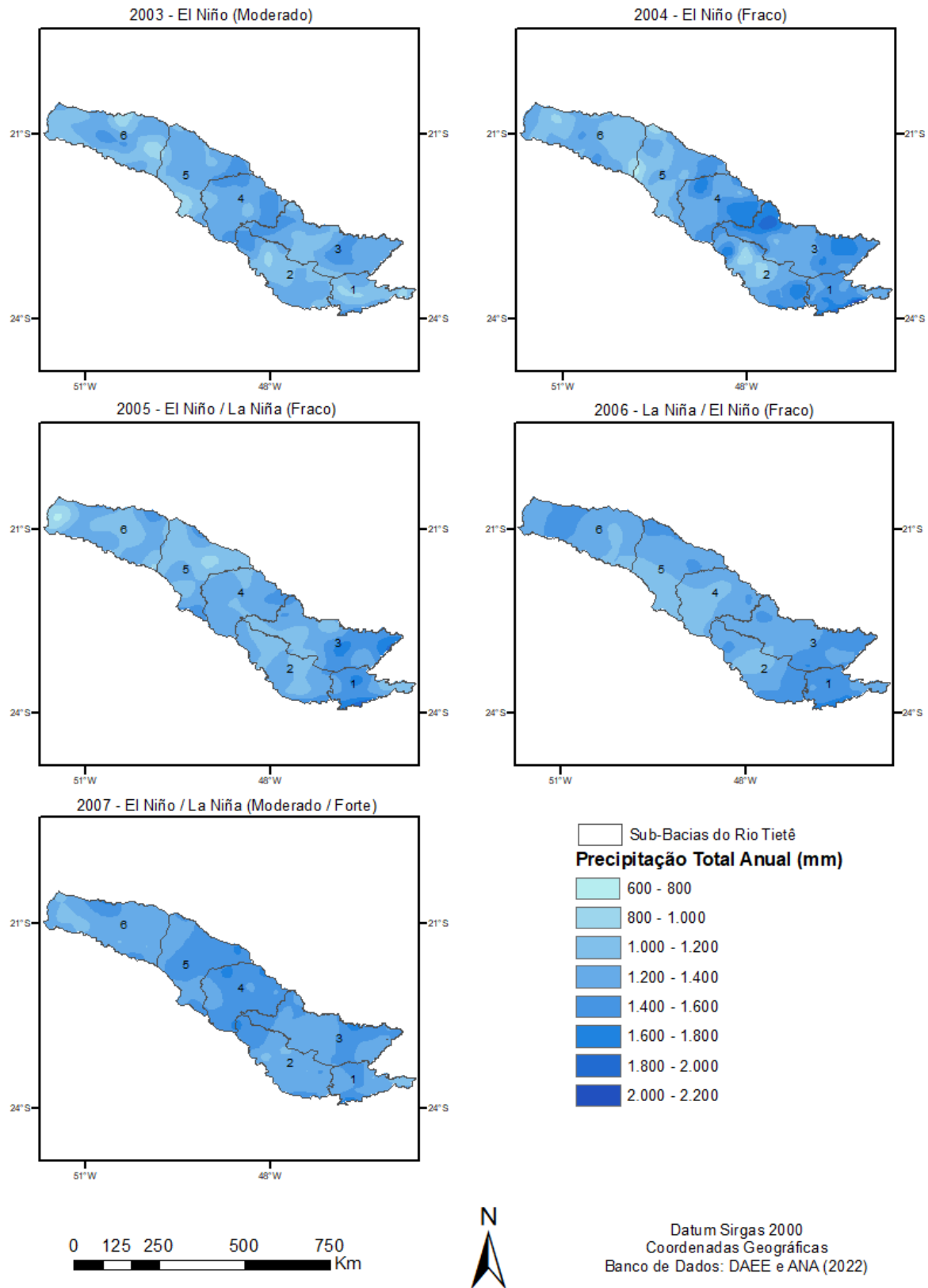


Figura 7. Precipitação total anual na bacia do rio Tietê de 2003 a 2007.

1=Alto Tietê; 2=Sorocaba/Médio Tietê; 3=Piracicaba/Capivari/Jundiaí; 4=Tietê/Jacaré; 5=Tietê/Batalha; 6= Baixo Tietê.

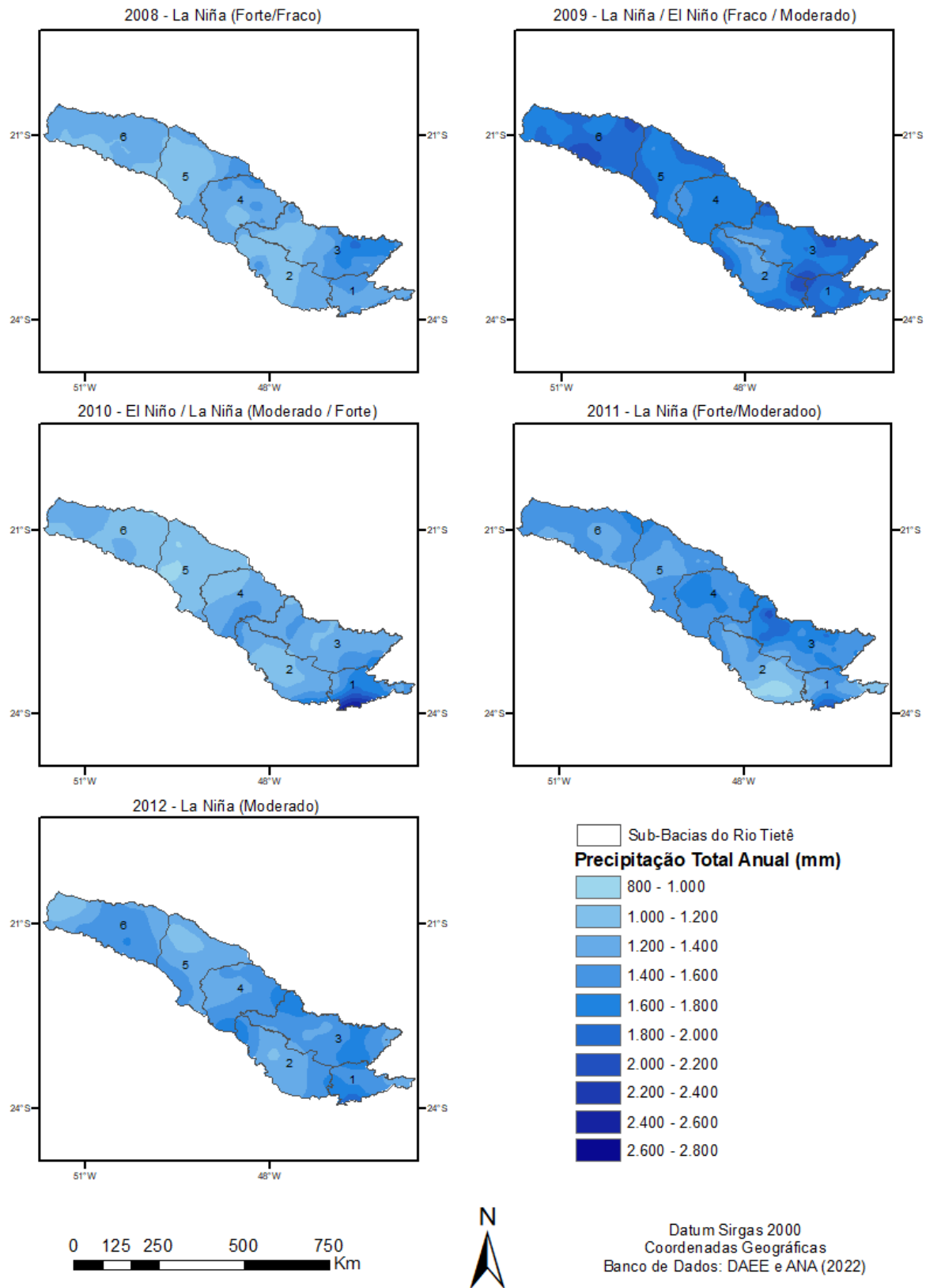


Figura 8. Precipitação total anual na bacia do rio Tietê de 2008 a 2012.

1=Alto Tietê; 2=Sorocaba/Médio Tietê; 3=Piracicaba/Capivari/Jundiá; 4=Tietê/Jacaré; 5=Tietê/Batalha; 6=Baixo Tietê.

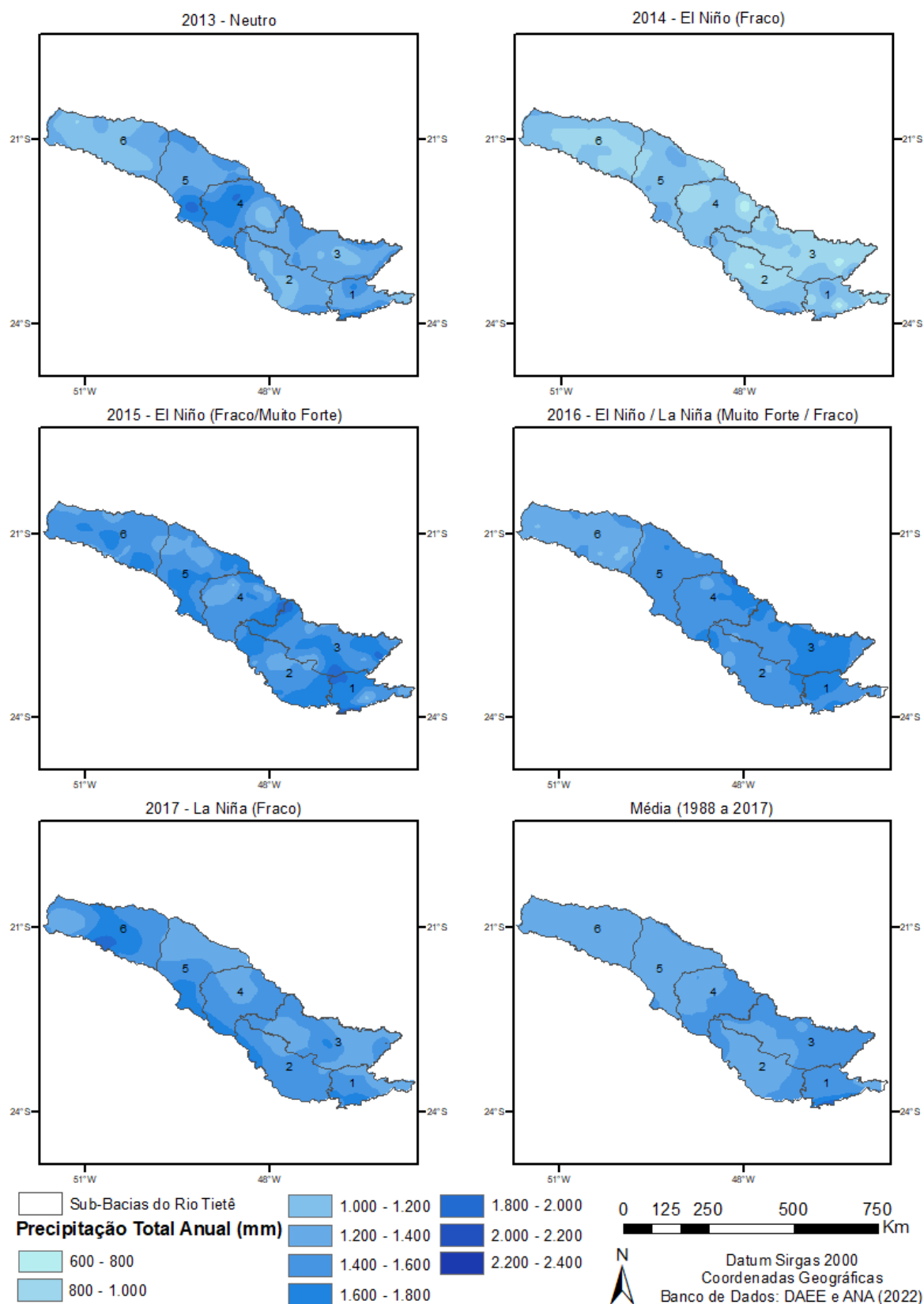


Figura 9. Precipitação total anual na bacia do rio Tietê de 2013 a 2017.

1=Alto Tietê; 2=Sorocaba/Médio Tietê; 3=Piracicaba/Capivari/Jundiaí; 4=Tietê/Jacaré; 5=Tietê/Batalha; 6=Baixo Tietê.

Sub-bacia do rio Tietê	MÉDIA PLUVIOMÉTRICA ANUAL (mm)																	MÉDIA
	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	
06-Alto Tietê	1676	1586	1422	1801	1406	1454	1480	1753	1787	1487	1557	1306	1529	1430	1370	1147	1484	1500,0
10-Sorocaba-Médio Tietê	1366	1443	1311	1661	1243	1442	1117	1532	1310	1505	1466	1145	1266	1390	1248	1216	1298	1351,0
05-Piracicaba-Capivari-Jundiá	1506	1449	1322	1675	1375	1445	1282	1717	1662	1434	1433	1356	1523	1387	1308	1299	1476	1441,3
13-Tietê-Jacaré	1284	1498	1436	1503	1369	1516	1200	1589	1311	1508	1342	1417	1563	1285	1286	1343	1432	1407,1
16-Tietê-Batalha	1207	1585	1335	1388	1385	1358	1224	1514	1164	1450	1431	1234	1395	1279	1121	1223	1212	1335,0
19-Baixo Tietê	1235	1563	1245	1304	1348	1220	1101	1283	1259	1417	1539	1253	1310	1280	1086	1185	1184	1306,6

Legenda (cores das células)

Valores mais altos

Valores mais baixos

Figura 10. Médias pluviométricas em cada UGRHI inserida na bacia do rio Tietê entre os anos de 1988 e 2017.

Sub-bacia	Médias Decenais (mm)			Média Total (mm)
	1988-1997	1998-2007	2008-2017	
Bacia do rio Tietê	1406,8	1324,5	1406,9	1379,4
06-Alto Tietê	1585,2	1408,0	1506,8	1500,0
10-Sorocaba-Médio Tietê	1393,0	1299,7	1360,2	1351,0
05-Piracicaba-Capivari-Jundiá	1486,7	1389,0	1448,2	1441,3
13-Tietê-Jacaré	1421,4	1364,4	1435,4	1407,1
16-Tietê-Batalha	1361,0	1273,8	1370,1	1335,0
19-Baixo-Tietê	1297,5	1263,5	1358,7	1306,6

Figura 11. Médias pluviométricas em cada UGRHI inserida na bacia do rio Tietê em intervalos decenais e média total.

ANO	Índice ONI (°C)	Bacia do rio Tietê (mm)	06-Alto Tietê (mm)	10-Sorocaba-Médio Tietê (mm)	05-Piracicaba-Capivari-Jundiá (mm)	13-Tietê-Jacaré (mm)	16-Tietê-Batalha (mm)	19-Baixo Tietê (mm)
1988	-0,8	1351	1676	1366	1506	1284	1207	1235
1989	-0,6	1515	1586	1443	1449	1498	1585	1563
1990	0,3	1333	1422	1311	1322	1436	1335	1245
1991	0,6	1526	1801	1661	1675	1503	1388	1304
1992	0,6	1351	1406	1243	1375	1369	1385	1348
1993	0,3	1394	1454	1442	1445	1516	1358	1220
1994	0,5	1210	1480	1117	1282	1200	1224	1101
1995	-0,2	1542	1753	1532	1717	1589	1514	1283
1996	-0,5	1386	1787	1310	1662	1311	1164	1259
1997	1,2	1460	1487	1505	1434	1508	1450	1417
1998	-0,1	1455	1557	1466	1433	1342	1431	1539
1999	-1,2	1285	1306	1145	1356	1417	1234	1253
2000	-0,8	1422	1529	1266	1523	1563	1395	1310
2001	-0,3	1333	1430	1390	1387	1285	1279	1280
2002	0,6	1220	1370	1248	1308	1286	1121	1086
2003	0,3	1243	1147	1216	1299	1343	1223	1185
2004	0,5	1333	1484	1298	1476	1432	1212	1184
2005	0,0	1260	1432	1230	1354	1282	1161	1182
2006	0,1	1318	1479	1397	1373	1222	1255	1325
2007	-0,6	1376	1346	1341	1381	1472	1427	1291
2008	-0,8	1284	1390	1202	1396	1305	1200	1244
2009	0,3	1748	1821	1647	1732	1686	1754	1850
2010	-0,5	1259	1718	1253	1328	1263	1065	1075
2011	-0,9	1471	1426	1241	1615	1579	1447	1452
2012	-0,2	1427	1568	1387	1521	1460	1302	1387
2013	-0,3	1342	1386	1288	1338	1511	1403	1186
2014	0,1	1039	1083	1028	975	1045	1104	1033
2015	1,5	1542	1624	1554	1587	1505	1522	1497
2016	0,3	1497	1594	1506	1591	1543	1487	1329
2017	-0,2	1460	1458	1496	1399	1457	1417	1534

Legenda (cores das células)

Valores mais altos

Valores mais baixos

Figura 12. Comparação da precipitação total anual da BHRT com a média anual do Índice Oceânico Niño entre 1988 e 2017.

A UGRHI 06-AT apresentou a maior média pluviométrica entre as sub-bacias (1500 mm) com amplitude de 738 mm (1821 mm em 2009 e 1083 mm em 2014). A UGRHI 10-SMT apresentou uma média pluviométrica de 1351 mm com amplitude de 633 mm (1661 mm em 1991 e 1028 mm em 2014). A UGRHI 05-PCJ apresentou uma média pluviométrica de 1441 mm com amplitude de 757 mm (1732 mm em 2009 e 975 mm em 2014). A UGRHI 13-TJ apresentou uma média pluviométrica de 1407 mm com amplitude de 641 mm (1686 mm em 2009 e 1045 mm em 2014). A UGRHI 16-TB apresentou uma média pluviométrica de 1335 mm com amplitude de 689 mm (1754 mm em 2009 e 1065 mm em 2010). A UGRHI 19-BT apresentou a menor média pluviométrica (1307 mm) com amplitude de 817 mm (1850 mm em 2009 e 1033 mm em 2014).

Conforme a Figura 10, fica evidente que as sub-bacias compartilharam comportamentos hidrológicos, como baixas pluviometrias em alguns anos: 2002, 2003, 2014; e altas pluviometrias em 1995, 2009, 2015. Em contrapartida, em outros anos, as sub-bacias tiveram comportamentos diferentes, como em 1988, 2010, 2011. Um comportamento similar foi observado por Teixeira et al. (2017), em um estudo que analisou o balanço hídrico do estado de São Paulo nos anos de 2013 e 2015, sendo observado que balanços hídricos positivos (umidade) em uma região não caracteriza umidade para as áreas vizinhas.

Na Figura 11 pode ser observada as médias decenais no período estudado comparada à média total, tanto na bacia como todo quanto nas sub-bacias. A média total da bacia do rio Tietê equivale a 1379,4 mm entre 1988 e 2017, um valor dentro do intervalo obtido por Maia (2022).

Também foi possível averiguar que o intervalo decenal com menor altura pluviométrica é a mesma para todas as bacias, sendo entre 1998 e 2007. Destaca-se que dois dos anos com menores alturas pluviométricas se encontram neste intervalo (2002 e 2003), enquanto nenhum ano com alto volume pluviométrico se encontra no período. Os demais períodos decenais (1988-1997 e 2008-2017) obtiveram valores acima da média para todas as bacias estudadas.

Com vista a verificar a possível influência dos eventos ENOS nas alturas pluviométricas na bacia hidrográfica do rio Tietê, foi elaborado a Figura 12, que compara os valores da média anual do Índice Oceânico Niño (ONI) com as alturas totais anuais para cada sub-bacia. Os valores (tanto de média anual quanto do ONI) com células com mais intensidade na cor azul indicam maiores

valores para a coluna em questão, enquanto as células com mais intensidade na cor vermelha indicam menores valores. Destaca-se que ONI positivos indicam ocorrência do fenômeno do El Niño e negativas da La Niña.

As maiores médias do ONI, que correspondem a eventos El Niño de maior intensidade, ocorreram nos anos de 1991, 1992, 1997, 2002 e 2015. Destes anos, foram observados altos volumes pluviométricos em 1991, 1992, 1997 e 2015, apesar de não ocorrer em toda a bacia do rio Tietê. Não obstante, o ano de 2002 apresentou anomalias negativas. Já nas menores médias de ONI (1988, 1999, 2000, 2008 e 2011), foram observados baixos volumes de precipitação em todos os anos, apesar de não ocorrer em toda a bacia do rio Tietê.

Os anos com maiores alturas pluviométricas foram 1991, 1995, 2009, 2015, que ocorreram em anos de El Niño (forte), transição de El Niño (moderado) para La Niña (moderada), transição de La Niña (fraca) para El Niño (moderado) e transição de El Niño (fraco) para El Niño (muito forte), respectivamente. Os anos com as menores alturas pluviométricas foram 1994, 2002, 2003 e 2014, que ocorreram em anos de El Niño (moderado), El Niño (moderado), El Niño (moderado) e El Niño (fraco), respectivamente.

Analisando as Figuras 11 e 12 conjuntamente, observou-se que no intervalo decenal 1998-2007 teve a menor somatório do índice ONI, sendo seu valor -1,5, indicando presença majoritária de La Niña no período. Os demais períodos decenais (1988-1997 e 2008-2017) apresentaram somatório de ONI de 1,4 e -0,7, respectivamente.

Com os parágrafos anteriores, Figura 11 e Figura 12, se torna evidente que não há relação direta entre os eventos ENOS e os índices pluviométricos na BHRT. Este aspecto também foi observado por Maia (2022), na mesma área de estudo e por Terassi et al. (2018), na região norte do estado do Paraná.

Conclusões

A partir dos resultados obtidos, observou-se que a média anual da amostragem variou entre 1088,84 mm (2014) e 1833,66 mm (2009), com uma média geral de 1464 mm. Os valores de coeficiente de variação (CV) situam-se entre 15,69 e 41,85%, sendo a maioria da amostragem considerada de variabilidade alta, corroborando com o uso da geoestatística para análise do parâmetro chuva na área de estudo.

A média pluviométrica obtida ao longo dos 30 anos estudados na BHRT e calculado pela krigagem foi de 1379,4 mm, sendo considerado um valor dentro da média histórica. Os dados de precipitação coletados ao longo do trabalho (de 1988 até 2017) têm forte dependência espacial ($ADE > 75\%$), evidenciando que a geoestatística pode gerar mapas satisfatórios na região estudada. Os semivariogramas apresentaram coeficiente de determinação espacial (R^2) com valores entre 0,63 e 0,97 e alcances que variaram entre 39,1 km e 207,6 km.

Os mapas de precipitação total anual gerados dos anos estudados (1988-2017) com auxílio da geoestatística demonstraram que as chuvas anuais na bacia do rio Tietê variaram entre 600 mm e 2800 mm, com destaque para a região sudeste da bacia, que apresentou as maiores alturas pluviométricas da área, enquanto as menores alturas situaram-se na parcela oeste da bacia e na sub-bacia do Sorocaba/Médio Tietê (SMT-10). A sub-bacia com maior média pluviométrica anual no período estudado é a do Alto-Tietê (AT-06) com 1500,0 mm e a com menor média anual no período estudado é a Baixo-Tietê (BT-19) com 1306,6 mm. O ano com a maior média de chuvas foi 2009 e o com a menor média foi 2014. Também ficou evidente que as sub-bacias do rio Tietê não necessariamente compartilha comportamentos pluviométricos análogos ao longo dos anos.

Analisando a ocorrência dos eventos ENOS e correlacionando-os com as alturas pluviométricas nos trinta anos estudados, indicou-se que estes eventos parecem não exercer uma influência direta na área de estudo, possivelmente pela magnitude e posicionamento da área de estudo. Foram observados eventos El Niño e La Niña tanto em cenários de umidade quanto em cenários de seca. Tomando por exemplo os anos de 1999 e 2011 (ambos anos com ocorrência de La Niña com forte intensidade), em 1999 foi notada uma tendência de seca ao longo da bacia do rio Tietê (embora nem todas as sub-bacias tenham sofrido eventos de seca no mesmo ano). Já em 2011, observou-se uma tendência de umidade ao longo da bacia do rio Tietê (embora nem todas as sub-bacias tenham sofrido eventos de umidade naquele ano). Tal análise contempla não somente a bacia inteira do rio Tietê, mas também as suas sub-bacias.

Outro exemplo seriam as médias decenais de chuva. No período decenal com menor volume de chuvas (1998-2007), foi observada uma predominância de eventos de La Niña, porém nos demais períodos decenais (1988-1997 e 2008-2017), que constaram com valores de chuva acima

da média, foi observado predominância de eventos El Niño apenas no intervalo 1988-1997.

Referências

- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. (2015a). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras. Brasília, ANA. <https://www.snirh.gov.br/porta1/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. (2015b). Catálogo de Metadados da ANA: Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Tietê. <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/29c5995f-5bbd-4698-b301-694a3c1ca748>.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. (2022). Hidroweb. v. 3.2.7, Sistema de informações hidrológicas. <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, 711-728. http://143.107.18.37/material/mftandra2/ACA0225/Alvares_et al_Koppen_climate_classBrazil_MeteoZei_2014.pdf.
- Amaral, I.R., Gripp, A.H., Versiani, B.R. (2007). Análise espacial de eventos máximos de precipitação pelo método geoestatístico: estudo para bacias do alto rio São Francisco e alto rio Doce. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo. https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=3&ID=19&SUMARIO=4458&ST=analise_espacial_de_eventos_maximos_de_precipitacao_pelo_metodo_geoestatistico_estudo_para_bacias_do_alto_rio_sao_francisco_e_alto_rio_doce.
- Borges, A., Fujita, R.H., Binda, A.L. (2021). As chuvas do baixo rio Iguaçu (Sudoeste do Paraná) no período de 1976 a 2016. GEOSUL – Revista do Departamento de Geociências, v. 36, n. 78, 64-85. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e71496>.
- BRASIL. Diretoria de Hidrografia e Navegação. (2016). Roteiro hidrovía Tietê-Paraná, 2ª edição, Niterói, Rio de Janeiro. 146 p. <https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br/chm/files/u1974/rot-tiete-par.pdf>.
- Carmello, V.; Neto, J.L.S. (2015). Variabilidades das chuvas na vertente paranaense da bacia do

- rio Paranapanema – 1999-200 a 2009-2010. Raega – O Espaço Geográfico em Análise, v. 33, 225-247. <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/34729>.
- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. (2022) Condições Atuais do ENOS: La Niña. <http://enos.cptec.inpe.br>.
- Cressie, N.A.C. (1991). Statistics for spatial data. New York, John Wiley & Sons, 920 p.
- Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE. (2022). Banco de dados hidrológico. <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br>.
- Environmental Systems Research Institute – ESRI. (2013). ArcGIS for Desktop – ArcMap, version 10.3. <https://www.esri.com/pt-br/arcgis/products/index>.
- Evangelista, H., Godiva, D.; Sifeddine, A., Leão, Z.M.A.N., Rigozo, N.R., Segal, B., Ambrizzi, T., Kampel, M., Kikuchi, R.K.P., Le Cornec, F. (2007). Evidences linking ENSO and coral growth in the Southwestern-South Atlantic. Climate Dynamics, v. 29, 869-880. 10.1007/s00382-007-0271-8.
- Ferreira, P. dos S., De Souza, W.M., Da Silva, J.F., Gomes, V.P. (2018). Variabilidade Espaço-Temporal das Tendências de Precipitação na Mesorregião Sul Cearense e sua Relação com as Anomalias de TSM. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 33, n. 1, 141-152. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786331006>.
- Furtunato, O., Cidreira, M., Neto, G.G., Araujo, G.R., Bertazo, V. (2017) Análise da variabilidade espacial da precipitação na bacia do rio Grande: Estudo para o período de outubro de 2016 a março de 2017. In: Anais XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis. <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=2532>.
- Furtunato, O., Neto, G.G., Cidreira, M., Paiva, R.F., Campos, J.M. (2019). Variabilidade espacial da precipitação na bacia do rio Grande: Estudo para o período de outubro de 2018 a fevereiro de 2019. In: Anais XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu. https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=6071&Name=variabilidade_espacial_da_precipitacao_na_bacia_do_rio_grande_estudo_para_o_periodo_de_outubro_de_2018_a_fevereiro_de_2019.
- Gupta, A., Kamble, T., Machiwal, D. (2017). Comparison of ordinary and Bayesian kriging techniques in depicting rainfall variability in arid and semi-arid regions of north-west India. Environmental Earth Sciences, v. 76, 512. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6814-3>.
- Helmi, A M., Elgamal, M., Farouk, M.I., Abdelhamed, M.S., Essawy, B.T. (2023). Evaluation of Geospatial Interpolation Techniques for Enhancing Spatiotemporal Rainfall Distribution and Filling Data Gaps in Asir Region, Saudi Arabia. Sustainability, v. 15, n. 8, 14028. <https://doi.org/10.3390/su151814028>.
- Ingram, J.C., Dawson, T.P. (2005). Climate change impacts and vegetation response on the island of Madagascar. Philosophical Transactions of the Royal Society, 363, 55-59. 10.1098/rsta.2004.1476.
- Instituto Brasileiro de geografia e Estatística – IBGE. (2022). Produto Interno Bruto – PIB. <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>.
- Jaman, N.I., & Adhikary, S.K. (2020). A positive kriging approach for missing rainfall estimation. In: 5th International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development (ICCESD 2020), Khulna, Bangladesh. http://www.iccesd.com/proc_2020/Papers/WR_E-4908.pdf.
- Lemes, M.C.R. (2019). Caracterização climática das adjacências do rio Tietê-SP [Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá]. Repositório da UNIFEI. <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/2102>.
- Lima, C.G. da R., Lollo, J.A., Bacani, V.M., Costa, N.R. (2020). Variabilidade espaçotemporal das águas subterrâneas do aquífero Bauru impróprias para o consumo humano: concentrações de Bário, Crômio Total e Vanádio. Pesquisas em Geociências, v. 47, n. 2, e096380. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.108582>.
- Lucas, M.P., Longman, R.J., Giambelluca, T.W., Frazier, A.G., Mclena, J., Cleveland, S.B., Huang, Y.-F.; Lee, J. (2022). Optimizing automated kriging to improve spatial interpolation of Monthly rainfall over complex terrain. Journal of Hydrometeorology, v. 23, 561-572. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-21-0171.1>.
- Lundgren, W.J.C., Silva, J. A. A., Ferreira, R.L.C. (2017). A precisão da estimativa do erro da krigagem pela validação cruzada. Floresta e Ambiente, v. 24, 1-12. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.124114>.
- Maia, G.S. (2022). Análise da precipitação na bacia do rio Tietê com dados de postos pluviométricos

- e sensoriamento remoto. [Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa]. Repositório Institucional da Universidade Federal da Paraíba. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/25496>.
- Marcuzzo, F.F.N. (2020). Bacia hidrográfica do rio Tietê: precipitação pluviométrica especializada. *Geographia Meridionalis*, v. 5, n. 3, 243-266. <https://doi.org/10.15210/gm.v5i3.16926>.
- Marengo, J.A., Nobre, C.A., Seluchi, M.E., Cuartas, A., Alves, L.M., Mendiondo, E.M., Obregón, G., Sampaio, G. (2015). A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. *Revista USP*, n. 106, 31-44. [10.11606/issn.2316-9036.v0i106p31-44](https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p31-44).
- Marengo, J.A., Cunha, A.P., Cuartas, L.A., Leal, K.R.D., Broedel, E., Seluchi, M.E., Michelin, C.M., Baião, C.F. da P., Ângulo, E.C., Almeida, E.K., Kazmierczak, M.L., Mateus, N.P.A., Silva, R.C., Bender, F. (2021). Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019-2020: Characterization, Causes, and Impacts. *Frontiers in Water*, 3:639204. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.639204>.
- Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República – NAE. (2005). Mudança do clima, v.1. Brasília. <https://livroaberto.ibict.br/handle/1/574>.
- Null, J. (2022). El Niño and La Niña years and intensities. Golden Gate Weather Services. <https://ggweather.com/enso/oni.htm>.
- Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. (2023). Resultados da Operação: Dados gerais. <https://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/dados-gerais>.
- Rafee, S.A.A., Uvo, C.B., Martins, J.A., Domingues, L.M., Rudke, A.P., Fujita, T., Freitas, E.D. (2019). Large-Scale Hydrological Modelling of the Upper Paraná River Basin. *Water*, v. 11(5), 882, 1-20. <https://doi.org/10.3390/w11050882>.
- Robertson, G.P. (2004). GS+: geostatistics for environmental sciences. 7.ed. Michigan: Gamma Design Software, 159 p.
- SÃO PAULO (Estado). Departamento Hidroviário. (2023). Sistema Hidroviário Paulista. <http://www.dh.sp.gov.br/sistema-hidroviario-paulista/>.
- Silva, L.R.T. (2019) Análise da continuidade espacial do comportamento da precipitação em área que engloba as mesorregiões do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba - Minas Gerais e Sul goiano – Goiás [Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia]. Repositório da Universidade Federal de Uberlândia. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/24493>
- Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - SIGRH. (2023). Relatório de Situação dos Recursos Hídricos de São Paulo: Ano-base 2021. <https://sigrh.sp.gov.br/relatoriosituacaodosrecursoshidricos>.
- Sousa, A.M.L., Da Rocha, E.J.P., Vitorino, M.I., De Souza, P.J.O.P., Botelho, M.N. (2015). Variabilidade Espaço-Temporal da Precipitação na Amazônia Durante Eventos Enos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, n. 1, 13-24. [10.13140/RG.2.1.4123.2401](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4123.2401).
- Sousa, L.B., Montenegro, A.A.A., Silva, M.V., Almeida, T.A.B., Carvalho, A.A., Silva, T.G.F., Lima, J.L.M.P. (2023). Spatiotemporal analysis of rainfall and droughts in a semiarid basin of Brazil: Land use and land cover dynamics. *Remote Sensing*, 15, 2550. <https://doi.org/10.3390/rs15102550>.
- Teixeira, A.H.C., Leivas, J.F., Bayma-Silva, G. (2017). Índices de seca para o estado de São Paulo através do uso conjunto de imagens MODIS e estações climáticas. In: Anais 2017 do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis-SC. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170476/1/4906.pdf>.
- Terassi, P.M. de B., De Oliveira-Júnior, J.F., De Gois, G., Galvani, E. (2018). Variabilidade do Índice de Precipitação Padronizada na Região Norte do Estado do Paraná Associada aos Eventos de El Niño-Oscilação Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 33, n. 1, 11-25. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786331002>.
- Tsonis, A.A., Hunt, A.G., Elsner, J.B. (2003). On the relation between ENSO and global climate change. *Metereology and Atmospheric Physics*, 84, 229,242. <https://doi.org/10.1007/s00703-003-0001-7>.
- Yamamoto, J.K., Landim, P.M.B. (2013). Geoestatística: conceitos e aplicações. São Paulo: Oficina de Textos, 215 p.
- Zimback, C.R.L. (2001). Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade solo [Tese (Livro-Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu].