

O efeito do Planalto Ocidental Paulista na Variabilidade e nos Anos Extremos das Chuvas no período de 1979-2019

The effect of the Western Paulista Plateau on Variability and the Extreme Rain Years between the period of 1979-2019

Bruno César dos Santos

Doutorando em Ciências da Engenharia Ambiental da EESC/USP, São Carlos- SP, Brasil
bruno-unifal@hotmail.com

Paulo Henrique de Souza

Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental pela EESC/USP
Professor Associado da UNIFAL-MG, Alfenas-MG, Brasil
phsouza31@hotmail.com

Rafael Grecco Sanches

Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental pela EESC/USP
rafagsanches@usp.br

Talyson de Melo Bolleli

Doutorando em Ciências da Engenharia Ambiental da EESC/USP, São Carlos- SP, Brasil
bolleli@usp.br

Adriano Rogério Bruno Tech

Doutor em Zootecnia pela USP
Professor Associado da USP, Pirassununga-SP, Brasil
adriano.tech@usp.br

Resumo

O estudo ocupou-se com a análise da influência da orografia no comportamento da precipitação na região Centro-Leste do estado de São Paulo nos domínios das “Cuestas” Basálticas situadas na transição entre a Depressão Periférica Paulista e o Planalto Ocidental Paulista. As análises dos dados obtidos junto a plataforma online *hidroweb*, pertencente a Agência Nacional de Águas (ANA) e no site do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) empregaram as metodologias RCLimdex, Ponderação Regional, Interpolação (Inverso da Distância) e Anos Padrão. Segundo os resultados obtidos demonstraram, as chuvas permaneceram dentro da habitualidade (46%), seguida pelos anos secos (29,3%) e chuvosos (24,6%), concentrando-se especialmente nas superfícies onde a orografia destaca-se, a saber, as regiões central, sul e norte da área de estudo.

Palavras-chave: Precipitação; Orografia; Habitual; Método; Índices Climáticos.

Abstract

The study aimed to analyse the orography influence on the precipitation behaviour in the Center-Eastern region of the São Paulo state in the Basalt Cuestas domains located in the transition between the São Paulo Peripheral Depression and the São Paulo Western Plateau. The analysis of the data obtained from the *hidroweb* online platform, belonging to the National Water Agency (ANA) and from the Water and Electric Energy Department (DAEE) website used the RCLimdex, Regional Weighting, Interpolation (Distance Inverse) and Standard Years methodologies. According to the results obtained, the rains remained within the usual range (46%), followed by the dry (29.3%) and

rainy (24.6%) years, spatially concentrated on the surfaces where the orography stands out, namely, the central, southern and northern regions of the study area.

Keywords: Precipitation; Orography; Habitual; Method; Climatic Indices.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da dinâmica climática regional sobre a configuração do relevo como dinamizador dos regimes de precipitação é um fator importante para estudos de variabilidade das chuvas ao longo do tempo, pois, podem ocasionar valores pluviométricos diferenciados (CANDIDO; NUNES, 2008).

Nesse sentido, embora a atmosfera apresente condições habituais de tipos de tempo em sua habitualidade, os eventos pluviométricos quando diferenciados, têm o potencial de ocasionar situações para as quais a população de uma determinada área não se encontra preparada, como é o caso de chuvas intensas (GENOVEZ; ZUFFO, 2000; SANCHES *et al.*, 2018), enchentes e inundações (ABREU *et al.*, 2017), episódios de secas (estiagem) (SETH *et al.*, 2015), dentre outras conjunturas impactantes.

Esses eventos de precipitação intensos e longos, podem provocar diferenças (aumento ou redução) nos valores médios das chuvas entre as divisões topográficas (barreiras orográficas, fundo de vales, declives acentuados) de uma área (BARROS; LETTENMAIER, 1994).

A orografia não é fruto unicamente da relação da chuva com o relevo, mas resultado de uma interação dinâmica, somados a outros fatores de caráter local, no processo de eventos intensos de precipitação, devido à interação do fluxo de ar perturbado com a orografia (altitude e declividade) local que resulta no processo de nebulosidade e formação de nuvens (CONTI, 1975).

Em face disto, entende-se que adotar uma perspectiva espacial e geográfica nas análises climáticas contribui com o entendimento dos fenômenos e dos processos desencadeados pela atmosfera, recobrando, por conseguinte, atenção às particularidades regionais de cada superfície (ROE, 2005; EBTEHAJ E FOUFOULA-GEORGIU, 2010; E HOUZE, 2012).

Nessa perspectiva, as circunstâncias climáticas excepcionais passam a ser identificadas e a receber atenção na gestão de riscos por ocorrerem com maior frequência nos anos destoantes do padrão habitual esperado (EASTERLING *et al.*, 2000).

À vista disso, a escolha da superfície de investigação desse estudo não foi arbitrária, mas justifica-se pela região estar inserida em uma porção representativa de Área de Proteção Ambiental (APA-Corumbataí) de importância ecológica, situando-se numa área de transição geomorfológica com relativa influência das depressões, serras e cuevas na circulação atmosférica regional.

Nesse contexto, este estudo ocupou-se com a análise do comportamento pluviométrico nesta área de estudo, utilizando 31 postos de superfície dentro do período 1979-2019, buscando avaliar a contribuição do relevo na distribuição espacial da variabilidade das chuvas e em dois anos extremos (seco e chuvoso) representativos identificados na série histórica de quarenta anos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo, situa-se na região Sudeste do Brasil, no centro-leste do estado de São Paulo, totalizando 9.151,7 km² abrangendo um total de 16 municípios paulistas: Analândia, Brotas, Charqueada, Corumbataí, Descalvado, Dois Córregos, Dourado, Ibaté, Ipeúna, Itirapina, Ribeirão Bonito, Rio Claro, Santa Maria da Serra, São Carlos, São Pedro e Torrinha (Figura 01).

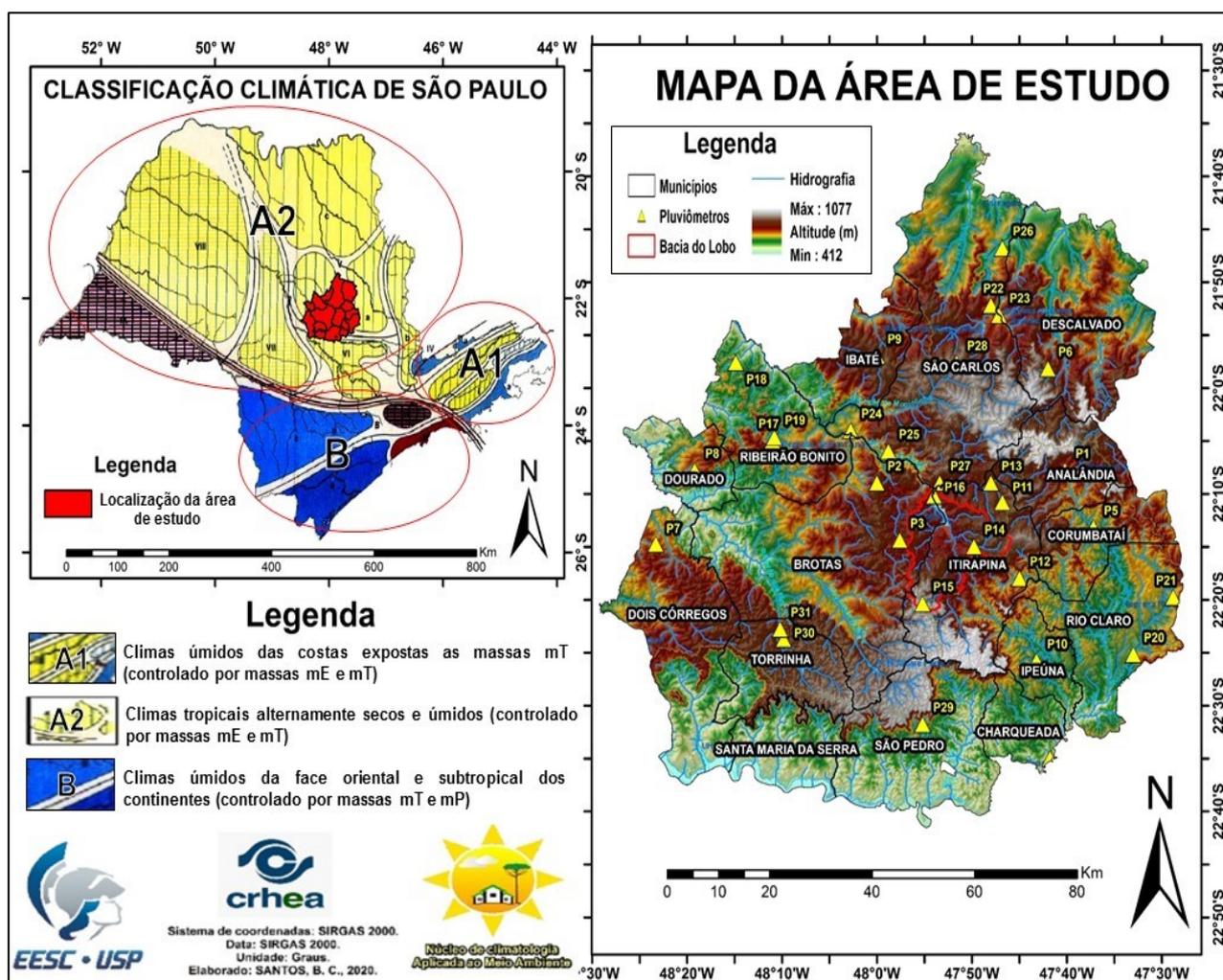


Figura 1 - Localização da área de estudo dentro da classificação climática de São Paulo e Mapa Hipsométrico com a delimitação da bacia hidrográfica do reservatório do Broa em vermelho e em amarelo a localização dos pontos de coletas (pluviômetros).

Fonte: Os autores.

Em aspectos climáticos os municípios enquadram, segundo a classificação de Monteiro (1973), em climas regionais tropicais alternadamente secos (abril a setembro) e úmidos (outubro a março) com predomínio do tipo A2/Vb (Serra de São Carlos). Isso, representa, um aspecto importante e pontual de variação sazonal da distribuição das chuvas frente ao padrão da circulação atmosférica regional que compõe a área estudada (MORUZZI e OLIVEIRA, 2009; ZILLI *et al.*, 2017; SANCHES *et al.*, 2018; 2020 e 2021; SANTOS *et al.*, 2017; 2018 e 2020), diante da eventualidade de episódios excepcionais se manifestarem na região.

Em termos geomorfológicos, a área encontra-se na transição de duas morfoestruturas; o Planalto Ocidental Paulista, caracterizado pelo relevo suave composto por colinas, morros baixos e serras, com uma altitude média de 900m, e, a Depressão Periférica Paulista que apresenta um relevo predominantemente colinoso e suave com a presença de morros e serras isoladas com níveis de altitude próximos a 600m (ROSS; MOROZ, 1997; PINHEIRO; QUEIROZ NETO, 2014).

2.2. Seleção dos dados pluviométricos

Para a realização do estudo, utilizou-se 31 postos pluviométricos (Figura 01), com dados diários, de séries históricas de 40 anos (1979-2019) com o mínimo possível de falhas (BABA *et al.*, 2014; BIER; FERRAZ, 2017; FERRARI, 2012; MACHADO; ASSIS, 2018). Os dados de chuva (Tabela 01), foram consultados na plataforma online *hidroweb*, pertencente a Agência Nacional de Águas (ANA) e no site do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE).

Tabela 1: Informações sobre os postos pluviométricos selecionados dentro da área de estudo.

CÓDIGO DO POSTO	NOME DO POSTO	ÓRGÃO RESPONSÁVEL	MUNICÍPIO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (Metros)	FALHAS (%)
2247004	ANALÂNDIA	DAEE-SP	ANALÂNDIA	-22 7 48.000	-47 40 12.000	660	0,4%
2247185	FAZENDA CAMPO ALEGRE	ANA	BROTAS	-22 9 0.000	-48 0 0.000	733	8,1%
2247197	EST. FERROVIÁRIA CAMPO ALEGRE	ANA	BROTAS	-22 14 24.000	-47 57 36.000	747	4,4%
2247208	RECREIO	DAEE-SP	CHARQUEADA	-22 35 1.000	-47 41 47.000	530	0%
2247010	CORUMBATAI	DAEE-SP	CORUMBATAÍ	-22 13 12.000	-47 37 12.000	600	0,4%
2147043	FAZENDA SANTA RITA	DAEE-SP	DESCALVADO	-21 58 12.000	-47 42 0.000	780	0,2%
2248116	GUARAPUA	DAEE-SP	DOIS CORREGOS	-22 14 46.000	-48 23 18.000	719	13,8%
2248009	DOURADO	DAEE-SP	DOURADO	-22 7 48.000	-48 19 12.000	700	0,6%
2148164	IBATÉ	ANA	IBATÉ	-21 57 0.000	-48 0 0.000	-	7%
2247021	IPEUNA	DAEE-SP	IPEUNA	-22 25 48.000	-47 43 12.000	630	7%

2247198	FAZENDA PEQUENA HOLANDA	ANA	ITIRAPINA	-22 10 48.000	-47 46 48.000	780	2,7%
2247015	GRAUNA	DAEE-SP	ITIRAPINA	-22 18 0.000	-47 45 0.000	610	4,4%
2247006	VISCONDE DE RIO CLARO	DAEE-SP	ITIRAPINA	-22 9 0.000	-47 48 0.000	740	11,5%
2247180	ITIRAPINA	ANA	ITIRAPINA	-22 15 0.000	-47 49 48.000	739	10,4%
2247184	ITAQUERI DA SERRA	ANA	ITIRAPINA	-22 20 24.000	-47 55 12.000	894	2,7%
2247196	CRHEA-BROA	ANA	ITIRAPINA	-22 10 12.000	-47 54 0.000	732	0%
2248005	RIBEIRÃO BONITO	DAEE-SP	RIBEIRÃO BONITO	-22 4 48.000	-48 10 48.000	590	7%
2148168	GUARAPIRANGA	ANA	RIBEIRÃO BONITO	- 21 57 36.000	-48 15 0.000	-	7,2%
2248110	RIBEIRÃO BONITO 2	ANA	RIBEIRÃO BONITO	-22 4 48.000	-48 10 48.000	486	6,4%
2247020	RIO CLARO	ANA	RIO CLARO	-22 25 12.000	-47 33 0.000	600	2,1%
2247018	FAZENDA SÃO JOSÉ	DAEE-SP	RIO CLARO	-22 19 48.000	-47 28 48.000	600	5,5%
2147059	USINA CAPÃO PRETO	DAEE-SP	SÃO CARLOS	-21 52 12.000	-47 48 0.000	610	8,3%
2247060	FAZENDA DA BARRA	DAEE-SP	SÃO CARLOS	-21 53 8.000	-47 47 9.000	610	0,2%
2247109	FAZENDA ÁGUA BRANCA	DAEE-SP	SÃO CARLOS	-22 4 3.000	-48 2 46.000	598	2,1%
2247206	FAZENDA SANTA BÁRBARA	DAEE-SP	SÃO CARLOS	-22 6 0.000	-47 58 48.000	780	1,4%
2147031	SANTA EUDOXIA	DAEE-SP	SÃO CARLOS	-21 46 48.000	-47 46 48.000	620	1,2%
2247182	RIBEIRÃO DO FEIJÃO	ANA	SÃO CARLOS	-22 9 0.000	-47 53 24.000	676	4,4%
83726	INMET/UFSCar	INMET	SÃO CARLOS	-21 57 37.723	-47 51 37.650	856	3,2%
2247025	SÃO PEDRO	DAEE-SP	SÃO PEDRO	-22 31 48.000	-47 55 12.000	600	1,4%
D5-006	SÍTIO BOA VISTA	DAEE-SP	TORRINHA	-22 23 45.000	-48 9 50.000	783	1,7%
2248045	PCH TRÊS SALTOS	JAYADITYA	TORRINHA	-22 22 48.000	-48 10 12.000	720	1,7%

Fonte: Adaptado de hidroweb-ANA (2019).

2.3. Tratamento dos dados pluviométricos

Após aquisição dos dados, foi realizado uma seleção das informações obtidas e um tratamento quantitativo dos dados diários de precipitação, organizando tudo na forma de tabelas e gráficos através do *software Microsoft Excel*.

Na etapa seguinte realizou-se o processo de preenchimento mensal/anual das lacunas existentes nos dados dos postos que apresentaram falhas, e para isto, foi utilizado o método da ponderação regional (BERTONI e TUCCI, 2009). Assim, foram considerados os valores de precipitação dos três postos vizinhos para preenchimento mensal e anual.

A Eq. (1) apresenta o método de ponderação regional utilizado:

$$Px = \frac{1}{3} \left(\frac{Pz}{Pzm} + \frac{Py}{Pxm} + \frac{Pw}{Pwm} \right) \cdot Pxm \quad (1)$$

Sendo, Px é o posto com a existência de lacunas a preencher e Pz , Py e Pw que são os postos com dados disponíveis no mesmo intervalo de tempo, nos arredores do posto Px . Já as variáveis Pxm , Pzm , Pym e Pwm , são os valores médios da precipitação para cada posto.

2.4. Procedimentos para definição dos anos-padrão e análise das séries históricas (1979-2019)

Para a análise das chuvas optou-se por estabelecer classes percentuais representativas do total das precipitações anuais, para fins de individualizar os postos pluviométricos e os anos representativos do ritmo excepcional, mais chuvosos ou mais secos em relação ao habitual na região, ao longo de quatro décadas. Assim, utilizou-se o conceito de “anos padrão”, tipificando os dados a partir da série histórica dos postos selecionados e, assim, estabelecendo classes que representassem o comportamento pluviométrico em escala temporal anual (MONTEIRO, 1973; 2015).

Utilizou-se a ferramenta do desvio-padrão em relação à média, que estabelece categorias a partir dos valores dos desvios, podendo os agrupamentos serem avaliados qualitativamente para o comportamento da precipitação do período e no processo de classificação dos anos extremos (SILVESTRE *et al.*, 2013; BUFFON E BINDA, 2014; SANTOS *et al.*, 2020).

As classes dos anos-padrão habituais e excepcionais pelo total médio anual de chuvas e seu respectivo desvio-padrão, conforme o modelo e os parâmetros estabelecidos na figura 02.

Classificação	Padrões Pluviométricos	Intervalos de Classe
Ano seco	Extremamente seco	(-) <30%
	Muito seco	(-) 30 a 25%
	Seco	(-) 25 a 20%
	Tendente seco	(-) 20 a 15%
	Levemente seco	(-) 15 a 10%
Ano Normal	Habitual levemente seco	(-) 10 a 5%
	Habitual (-)	(-) 5 a 0%
	Habitual (+)	(+) 0 a 5%
	Habitual levemente chuvoso	(+) 5 a 10%
Ano chuvoso	Levemente chuvoso	(+) 10 a 15%
	Tendente chusoso	(+) 15 a 20%
	Chuvoso	(+) 20 a 25%
	Muito chuvoso	(+) 25 a 30%
	Extremamente chuvoso	(+) >30%

Figura 2 - Classificação da pluviosidade conforme a metodologia dos Anos Padrões.

Fonte: Adaptado de Neves (2018).

A utilização de anos-padrão foi feita em inúmeras pesquisas ao longo das últimas décadas no campo da Climatologia Geográfica (MONTEIRO, 2015) mesmo com variações nas técnicas e critérios utilizados para estabelecer classes representativas (SILVESTRE *et al.*, 2013; FONTÃO e ZAVATTINI, 2019, NEVES *et al.*, 2017).

Foram selecionados dois anos padrões excepcionais (chuvoso e seco) e, posteriormente, verificou-se a influência do relevo na intensificação e distribuição das chuvas ao longo dos dozes meses do ano por meio de índices climáticos, para os dois anos extremos distintos e, para a área de estudo (SANCHES, 2019; E SANCHES *et al.*, 2020).

2.5. RCLimdex e índices climáticos

A observação temporal das chuvas é de grande interesse, permitindo, por meio de diferentes métodos a identificação de suas oscilações, como em frequência, picos de variância, significância, entre outros aspectos estatísticos. A importância de se estudar essas oscilações possibilita a compreensão de suas tendências temporais e espaciais por meio de índices climáticos, em seu volume, e em valores diários acumulados (DUFEK; AMBRIZZI, 2008; e HAYLOCK *et al.*, 2006), ou ainda da correlação que mantém com as anomalias oceânicas (HAYLOCK *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2012; SUGAHARA *et al.*, 2009; VÁSQUEZ P. *et al.*, 2018; e ZILLI ET AL., 2017) requerendo em algumas situações a interpolação de dados (satélites e de superfície) espaciais (RAO *et al.*, 2016).

Atentando para isto, os índices climáticos para observação dos dados pluviométricos, foram analisados também através do script RCLimdex (ZHANG; YANG, 2004; SANCHES *et al.*, 2018; SANTOS; RAMOS, 2018; STEPHENSON *et al.*, 2014). Essa metodologia foi desenvolvida por Byron Gleason do *National Climate Data Center* (NCDC) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), cujo uso é apresentado em diversos workshops e reuniões do CCI/CLIVAR (*International Research Programme on Climate Variability and Predictability*) sobre elementos climáticos e sua variabilidade desde 2001 (SANTOS *et al.*, 2012).

O R apresenta diversas modelagens lineares e não lineares, testes estatísticos clássicos, análise de séries temporais, classificação, clustering, entre outras técnicas estatísticas e gráficas, além de fornecer uma rota open source para participação nessa atividade (SANCHES, 2019). Diversos trabalhos utilizaram a ferramenta a fim de analisar a evolução temporal e espacial dos climas em diferentes regiões do Brasil e de outros países (DRUMOND; AMBRIZZI, 2008; DUFEK; AMBRIZZI, 2008; HAYLOCK *et al.*, 2006; MEKIS; VINCENT, 2011; SANTOS *et al.*, 2012; SANTOS; RAMOS, 2018; E STEPHENSON *et al.*, 2014).

Na área de estudo foram utilizados os dados de precipitação (KARL *et al.*, 1999; PETERSON, *et al.*, 2001), dos quais serão utilizados, apenas, os índices associados à precipitação

pluviométrica, conforme descrito na tabela 02. O controle de qualidade dos dados se fez pela substituição de todos os dados faltosos por -99.9 (reconhecido como faltoso pelo script).

O cálculo dos índices para os dados pluviométricos refere-se às chuvas totais (PRCPTOT) e, ao valor máximo acumulado em um único dia de chuva (RX1 dia). Assim, os dados gerados pelo cálculo dos índices são condensados mensalmente (RX1 dia) e anualmente (PRCPTOT).

Tabela 2: Metodologias Utilizadas para Análise dos Dados de Precipitação.

Índice (Identificação)	Nome do índice	Definição	Unidade Observada
PRCPTOT	Total de chuvas acumuladas em um ano	Valor total anual de chuvas acumuladas nos dias úmidos (dias ≥ 1 mm)	mm
RX1day	Máximo de chuva acumulada em 1 dia	Máximo de chuva acumulada em um único dia	mm

Fonte: Adaptado de Zhang e Yang (2004).

2.7. Interpolação dos resultados e produção dos mapas

Para a elaboração dos mapas, foi utilizado um SIG (Sistema de Informação Geográfica). Nesse, a confecção dos mapas se deu por meio do método inverso do quadrado da distância (*IDW – Inverse Distance Weighting*) ou ponderação do inverso das distâncias (FILHO *et al.*, 2019).

Os usos dos SIGs estabelecem duas principais categorias de interpolação de dados: globais e locais, com superfícies de tendência e polinômios de baixa ordem, respectivamente (FILHO *et al.*, 2019; LANDIM, 2007).

Ademais, o emprego do Sistema de Informação Geográfica (SIG) permite estimar espacialmente um valor para um determinado local que não apresenta informações, por meio do cálculo da média ponderada das amostras vizinhas pelo inverso da distância entre o ponto a ser interpolado dentro de uma vizinhança (FARIAS *et al.*, 2017).

Na análise dos mapas, levou-se em conta também a influência da orografia existente dentro da área de estudo, diante dos diferentes processos (tipos) de precipitação e/ou intensificação orográfica descrita na figura 03 (ROE, 2005). Por fim, selecionou-se dois anos padrão representativos do ritmo excepcional (chuvoso e seco) na área de estudo para aprofundar a investigação da circulação atmosférica.

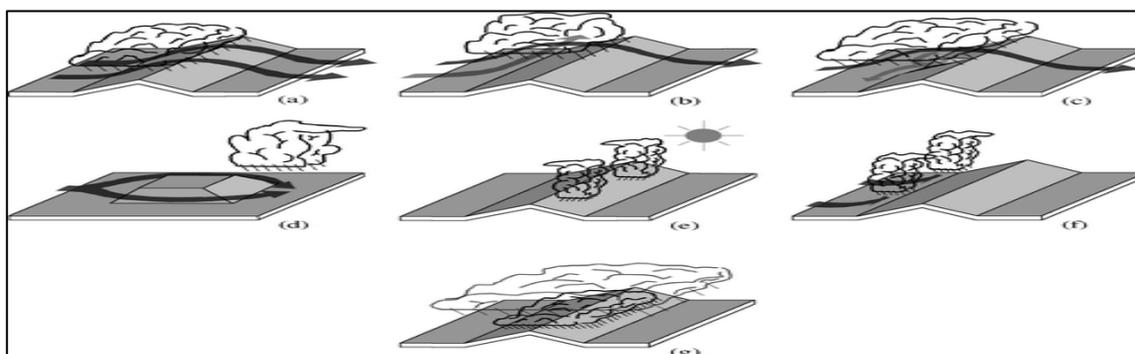


Figura 03: (a) o mecanismo mais simples, as chuvas ocorrem quando uma massa de ar é forçada a ascender sobre um relevo elevado, se resfriando adiabaticamente, condensando e precipitando, (b) o efeito de bloqueio parcial ou desvio da massa de ar ao redor da montanha, devido a estabilidade atmosférica ou o fluxo do ar incapaz de ascender ao longo do relevo, (c) o efeito do fluxo de ar forte no vale, onde a precipitação e evaporação da precipitação esfriam o ar quando cai e colide com o ar ascendente sobre o relevo, (d) o efeito do fluxo do ar dividido em torno do relevo, converge a sotavento e levando a precipitação (e) o efeito da convecção disparada, decorrente da vertente do relevo iluminada pelo Sol (f) o efeito da autoconversão que desenvolve por meio da condensação, resultante das vertentes do relevo elevar do ar acima do seu nível de convecção livre e (g) efeito “alimentador-semeador”, pela ocorrência de nuvens mais altas precipitando, tanto frontais quanto orográficas, sobre nuvens mais baixas mantidas pela ascensão de ar úmido, aumentando a colisão entre as gotas.

Fonte: Adaptado de Roe (2005).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Análise da variabilidade anual das chuvas

A figura 04 sintetiza o total de frequência da precipitação anual entre as quatorze classes, no período de 1979-2019 para os 31 postos selecionados. No total foram 1271 classificações (anos), com os valores dos desvios variando entre as categorias habituais (0 a $\pm 10\%$), chuvosos (10 a $>30\%$) e secos (-10 a $<-30\%$).

Dentre as 1271 classificações, as tidas como habituais (0 a $\pm 10\%$) apresentaram aproximadamente 46% de ocorrência. As classes situadas fora da habitualidade (chuvoso e seco) manifestaram respectivamente ocorrências de 24,6% para os anos chuvosos (10 a $>30\%$) e 29,3% para os anos secos (-10 a $<-30\%$), em relação às médias anuais das chuvas de 1468,8 mm. A figura 05 a seguir, apresenta o histograma de frequência da quantidade do número de ocorrência entre as quatorze classes, e, também, a distribuição da classificação anual da variabilidade das chuvas, entre o período de 1979 a 2019.

Classificação	Classes	Desvio (mm)	Nº ocorrência	%
Ano seco	Extremamente seco	(-) >440,6	57	4,5
	Muito seco	(-) 367,2 a 440,6	30	2,4
	Seco	(-) 293,7 a 367,2	58	4,6
	Tendente seco	(-) 220,3 a 293,7	91	7,2
	Levemente seco	(-) 146,8 a 220,3	137	10,8
Ano Normal	Habitual levemente seco	(-) 73,4 a 0	143	11,3
	Habitual (-)	(-) 0	150	11,8
	Habitual (+)	(+) 0	157	12,4
	Habitual levemente chuvoso	(+) 73,4 a 0	135	10,6
Ano chuvoso	Levemente chuvoso	(+) 146,8 a 220,3	91	7,2
	Tendente chuvoso	(+) 220,3 a 293,7	70	5,5
	Chuvoso	(+) 293,7 a 367,2	49	3,9
	Muito chuvoso	(+) 367,2 a 440,6	41	3,2
	Extremamente chuvoso	(+) >440,6	62	4,9
Total		1468,8 mm	1271	100%

Figura 4 - Número de ocorrência e porcentagem entre as classes de anos-padrão.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota-se, que ao longo de quatro décadas as chuvas ocorreram com maior frequência dentro de intervalos percentualmente próximos da média, ou seja, dentro do padrão habitual. Em relação as classes extremas seco e chuvoso, observa-se um equilíbrio de ocorrência com respectivamente 4,5% e 4,9% alcançando juntos cerca de 9,5% das manifestações totais. Vale ressaltar, que a normalidade das chuvas prevalece dentro da área de estudo, principalmente, na região centro-sul, como pode ser observado na cartografia histórica dos quarenta mapas (Figura 05).

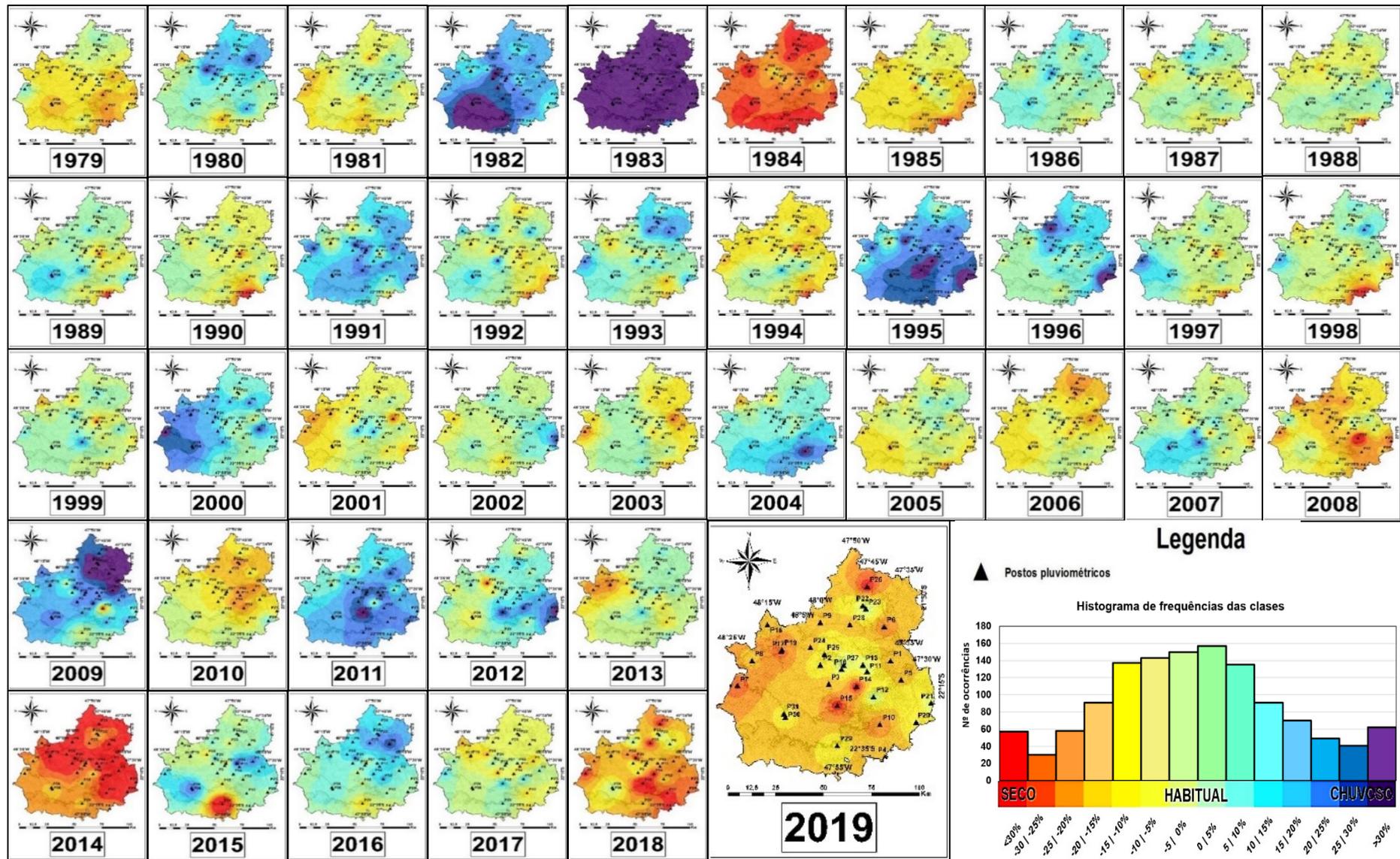


Figura 5: Distribuição das classes pluviométricas ao longo do período 1979 a 2019, na área de estudo.

Fonte: Elaborado pelos autores

Porém, pode-se atentar que essa “normalidade” está se distanciando, devido a manifestação da eventualidade de classes com valores de chuvas dentro de intervalos mais distantes da média, sobretudo, nos últimos anos (2018 e 2019). Já entre as classes extremas (seco e chuvoso), o ano de 1983 foi o mais chuvoso, seguido dos anos 1982, 1995, 2009 e 2011 e o ano de 2014 o mais seco, seguido dos anos 1984, 2018 e 2019.

No propósito de visualizar a distribuição espacial dos dados por classes de frequência, a figura 06, apresenta os locais onde concentraram o maior número de ocorrências entre as quatorze categorias pluviométricas para a área de estudo.

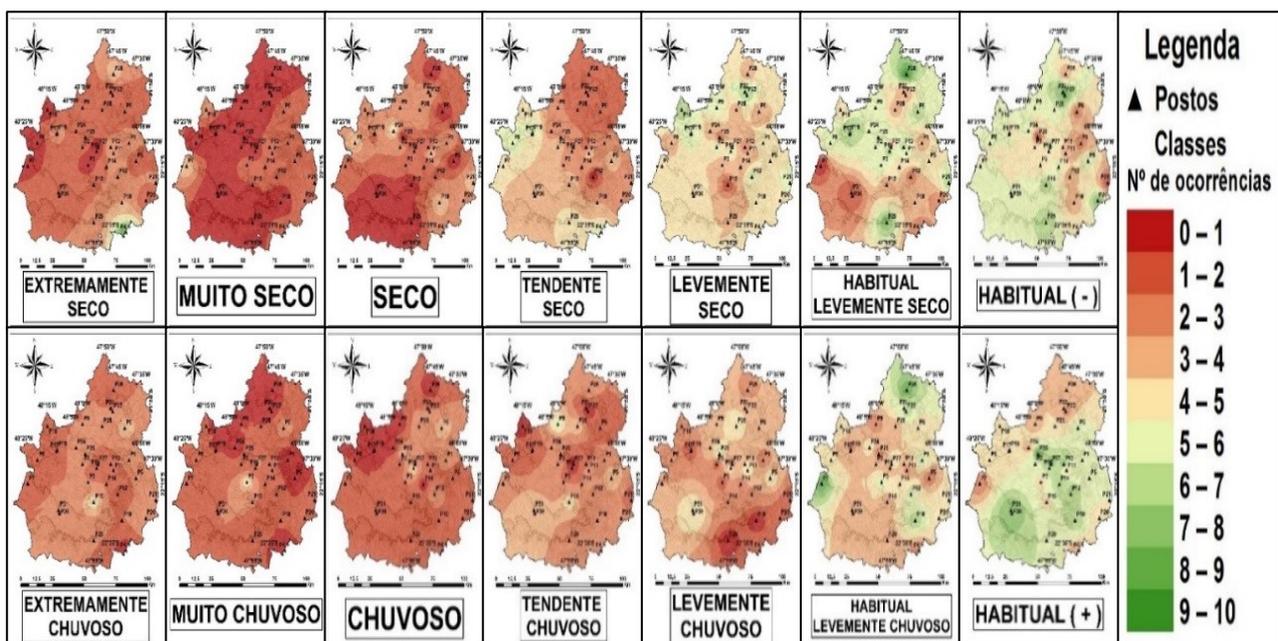


Figura 6 - Distribuição do número de ocorrência para cada classe pluviométrica.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Notam-se, entre as classes habituais, foram as classes que apresentaram uma maior recorrência dentro da área de estudo, sendo que a porção centro-sul e nos arredores da borda do Planalto Ocidental Paulista, foram as regiões que apresentaram maior frequência de anos dentro da média, além de algumas porções ao norte. E, em algumas extensões da Depressão Periférica Paulista, localizadas a leste, somado, a outras ao sul, foram as que apresentaram menor ocorrência de anos dentro da habitualidade das chuvas.

Entretanto, no caso das classes extremas secas e chuvosos, a frequência mostrou-se restrita ao intervalo de 0 a 5 vezes para a classe extremamente chuvoso e, de 0 a 9 vezes para a classe extremamente seco, a depender do posto pluviométrico.

No caso do mapa extremamente chuvoso, é possível observar uma faixa representando um número maior de ocorrências nas áreas onde se encontram as serras inseridas ao norte e sul da região, destacando-se em relação às áreas periféricas a leste e oeste do mapa que possuem menor altitude.

E, no mapa e na classe extremamente seco, as áreas situadas em níveis mais rebaixados do relevo, principalmente em domínios da Depressão Periférica Paulista, apresentaram um número maior de postos pluviométricos com anos-padrão atipicamente secos, contrastando com a região serrana situada à sudoeste e central da área de estudo, que apresentou baixa ou nenhuma frequência de anos secos.

Diante disso, na área de estudo, observou-se que as características geomorfológicas influenciam o desempenho da precipitação, mesmo nos momentos em que a dinâmica da circulação atmosférica atuou de maneira diferenciada sazonalmente ao longo do período de 1979 a 2019.

3.2. Análise dos anos padrão extremo chuvoso e seco

Entre as classificações, os anos mais extremos observados em toda a série histórica (1979-2019) foram os anos de 1983 (chuvoso) e 2014 (seco), ou seja, os que tiveram maiores desvios variando ($\pm 440,6\text{mm}$) em relação à média ($1468,8\text{mm}$).

Assim, a circulação atmosférica foi, nitidamente, distinta em ambos os anos, sobretudo durante o primeiro semestre, reproduzindo numa dinâmica hidroclimática discrepante e denotando um processo que resultou em chuvas intensas no verão do ano de 1983 e, em uma acentuada e prolongada, estiagem no ano de 2014 (SANTOS *et al.*, 2020),

Diante disso, é possível observar nos mapas (Figura 07) a precipitação anualmente (parte superior) e distribuída mensalmente (parte central), além do máximo de chuva acumulado em único dia (parte inferior) para o ano de 1983 e 2014.

Nota-se, que na porção centro-sul do mapa, estão as áreas que exibem as maiores altitudes e, os índices pluviométricos anuais foram extremamente elevados ao longo dos dozes meses do ano de 1983 e, ligeiramente, superiores em relação às outras áreas ao longo dos meses do ano de 2014. Em suma, o fator também observado com menor magnitude em pequenas porções elevadas no setor norte da área. Porém, nas áreas de menor altitude à sudeste e noroeste da região, as chuvas mostraram-se reduzidas em ambos os mapas.

Notou-se ainda que a distribuição espacial de RX1 dia (máximo de chuva acumulado em 1 dia) para o ano de 1983, manifestaram os maiores valores (120 mm a 160 mm) nas áreas norte e sul do mapa. Porém, na região ao sul, novamente apresentaram condições diferenciadas por conta da barreira orográfica, quando comparado com áreas rebaixadas, no processo de intensificação das chuvas no período de vinte quatro horas.

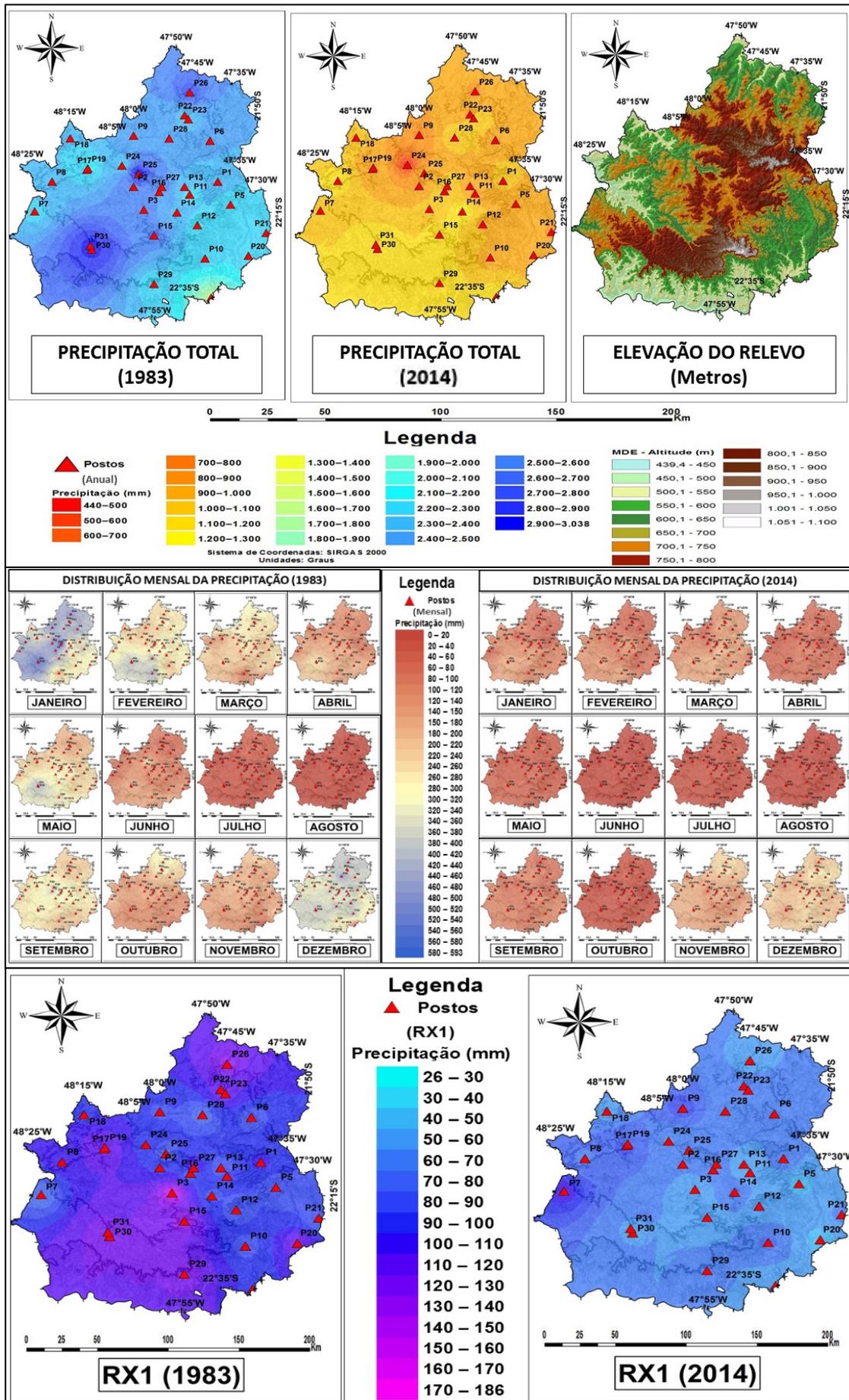


Figura 7 - Distribuição do total anual, mensal e diária das chuvas para o ano de 1983 e 2014.

Fonte: Elaborado pelos autores.

No ano de 2014, as chuvas acumuladas em um único dia apresentaram valores de 50 a 60 mm para grande parte da região. Porém, áreas do centro-sul e leste tiveram valores, na média, inferiores a 50 mm. Além desses, alguns postos localizados ao oeste do mapa, evidenciaram valores superiores (90 a 120 mm), na média, comparada aos outros postos e, assim, demonstrando que em regiões onde a declividade e altitude são elevadas, os índices pluviométricos manifestam-se mais elevados em relação ao que se registra nas demais porções da área estudada.

Esse input nas chuvas ocorre durante o período primavera-verão, período em que os sistemas atmosféricos atuantes, como os jatos de baixos níveis, transportam o fluxo de umidade da região Amazônica para o ganho hídrico da região.

Somando-se a essa movimentação atmosférica as características fisiográficas locais (orografia) que, contribuem no desencadeamento do processo de formação de nuvens e nos valores totais pluviométricos nas chuvas (SERRA; RATISBONNA, 1942; ROE, 2005; DUFEK; AMBRIZZI, 2008; HOUZE, 2012; STEINKE, 2012; VÁSQUEZ P. et al., 2018; ZILLI *et al.*, 2017).

Tal complexidade, na presença marcante de regiões orográficas, podem influenciar nos valores de chuvas (DINKU *et al.*, 2011, RAHMAN *et al.*, 2009, TOTÉ *et al.*, 2015;) e, com isso, resultar o desempenho pluviométrico distinto por efeito orográfico (SANTOS *et al.* 2018 e 2020).

Em suma, a ação dos sistemas frontais e ZCAS distribuem por toda a área de estudo um volume médio de precipitação que unifica a descrição climática adotada pelos autores e suas classificações, no entanto, a orografia favorece uma particularidade em porções específicas em razão da contribuição extra que proporciona para essas porções.

Assim sendo, por se tratar de dois anos representativos para a série histórica que se situam nos seus extremos opostos, entende-se que a maior pluviosidade destas regiões em relação às demais tanto em 1983 (chuvoso) e, como em 2014 (seco ou estiagem) indica possivelmente a influência do processo orográfico na formação de chuvas e nos elevados volumes precipitados (SMITH e BASTARD, 2004; ROE, 2005; EBTEHAJ e FOUFOULA-GEORGIU, 2010; HOUZE, 2012).

4. CONCLUSÃO

Entre os quarenta anos de registros históricos das chuvas, a classificação dos anos-padrão apontou maior ocorrência de anos normais onde as chuvas permaneceram dentro da habitualidade (46%), seguido de anos secos (29,3%) e chuvosos (24,6%). Ainda, foi observado por meio dos mapas que as chuvas anuais ao longo de 1979 a 2019, apresentaram maior incidência espacial nas superfícies onde a presença do relevo é marcante, como verificou-se nas regiões central, sul e norte da área de estudo.

Em relação aos anos mais extremos da série histórica, o ano de 1983 foi excepcionalmente o mais chuvoso e 2014 o mais seco. A pluviometria mensal na área de estudo em 1983 (chuvoso), prova como as tendências das chuvas ficaram positivas no verão (Dez-Jan-Fev), principalmente nas regiões centro-sul e norte.

Entretanto, as chuvas por 1 dia (RX1 Dia), também comprovaram a influência exercida pela orografia mediante chuvas mais intensas em morfoestruturas de serras e cuevas existentes na região. No entanto, nas chuvas mensais na área de estudo em 2014 (estiagem), verificaram-se tendências reduzidas no verão (semestre hidrológico, ou seja, em Out-Nov-Dez-Jan-Fev-Mar) porém, em algumas localidades o relevo influenciou e contribuiu ligeiramente no total acumulado mensal e diário (RX1 Dia) das chuvas nessas áreas.

Diante disso, o estudo pode comprovar que as técnicas estatísticas possuem significativa precisão nos climas tropicais, deixando nítida a relação de ganho que o índice pluviométrico obtém graças a orografia. Atentando para isto, os próximos estudos cuidarão em verificar as semelhanças ou diferenças que os dados coletados dos postos pluviométricos de superfície mantêm em relação àqueles que são estimados pelos satélites geoestacionários meteorológicos, nas chuvas tropicais no sudeste da América do Sul em áreas onde a orografia interfere na pluviosidade.

REFERÊNCIAS

- BABA, R. K.; VAZ, M. S. M. G.; COSTA, J. Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 4, p. 515–526, 2014.
- BARRY, G. R.; CHORLEY, J. R. **Atmosfera, tempo e clima**. 9. ed. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2013. 528p.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009. p. 177-241.
- BIER, A. A.; FERRAZ, S. E. T. Comparação de Metodologias de Preenchimento de Falhas em Dados Meteorológicos para Estações no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 215–226, 2017.
- BUFFON, E. M.; BINDA, A. L. Variabilidade no regime pluvial do município de Abelardo Luz (SC) no período de 1958 a 2008: interações entre mecanismos de teleconexão decadal e interanual. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, p. 285-297, 2014.
- DINKU, T.; CECCATO, P.; CONNOR, S. J. Challenges of satellite rainfall estimation over mountainous and arid parts of east Africa. **Int. J. remote Sens.**, v. 32, n. 21, p. 5965-5979, 2011.
- DRUMOND, A. R. M.; AMBRIZZI, T. The role of the South Indian and Pacific oceans in South American monsoon variability. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 94, n. 3, p. 125–137, 2008.

DUFEK, A. S.; AMBRIZZI, T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 93, n. 3, p. 167–178, 2008.

EBTEHAJ, M.; FOUFOULA-GEORGIU, E. Orographic signature on multiscale statistics of extreme rainfall: A storm-scale study. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 115, n. 23, p. 1-14, 2010.

FARIAS, O. G.; FRANCISCO, C. N.; SENNA, M. C. A. Avaliação de métodos de interpolação espacial aplicados à pluviosidade em região montanhosa no litoral sul do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 172-185, 2017.

FERRARI, A. L. **Variabilidade e tendência da temperatura e pluviosidade nos municípios de Pirassununga, Rio Claro, São Carlos e São Simão (SP): estudo sobre mudança climática de curto prazo em escala local.** 2012. 172 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

FILHO, D. F. F.; BEZERRA, P. E. S.; SILVA, M. N. A.; RODRIGUES, R. S. S.; FIGUEIREDO, N. M. Aplicação de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas da rede hidrográfica: estudo de caso Calha Norte – PA. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, p. 1-19, 2019.

FONTÃO, P. A. B.; ZAVATTINI, J. A. Variabilidade das chuvas anuais na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e no Sistema Cantareira: classificação e frequência dos anos-padrão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 2, p. 457-469, 2019.

HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T. C.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIAÇÃO, Y. M. T.; BAEZ, J.; BARROS, V. R.; BERLATO, M. A.; BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GARCIA, V. J.; GRIMM, A. M.; KAROLY, D.; MARENGO, J. A.; MARINO, M. B.; MONCUNILL, D. F.; NECHET, D.; QUINTANA, J.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J. L.; TREBEJO, I.; VICENT, L. A. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. **Journal of Climate**, v. 19, n. 8, p. 1490–1512, 2006.

HOUZE, R. A. Orographic effects on precipitating clouds. **Reviews Geophysics**, v. 50, p. 1-47, 2012.

KARL, T. R.; NICHOLLS, N.; GHAZI, A. Clivar/GCOS/WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes Workshop Summary. **Climatic Change**, v. 42, n. 1, p. 3–7, 1999.

LANDIM, P. M. B. Sobre Geoestatística e mapas. **Terrae Didactica**, v. 2, n. 1, p. 19–33, 2007.

MACHADO, L. A.; ASSIS, W. L. Comparação entre métodos de preenchimento de falhas em séries de dados meteorológicos da bacia hidrográfica do Rio das Velhas (MG). **Revista Geografias**, v. 26, n. 1, p. 73–90, 2018.

MEKIS, É.; VINCENT, L. A. An Overview of the Second Generation Adjusted Daily Precipitation Dataset for Trend Analysis in Canada. **Atmosphere-Ocean**, v. 49, n. 2, p. 163–177, 2011.

MONTEIRO, C. A. F. **A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo:** estudo geográfico sob a forma de atlas. São Paulo: USP/IG, 1973. 130p.

MONTEIRO, C. A. F. **Clima e Excepcionalismo:** conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico. Florianópolis: UFSC, 1991. 241p.

MONTEIRO, C. A. F. (Org.). **A construção da Climatologia Geográfica no Brasil**. 1. ed. São Paulo: Editora Alínea, 2015. 194p.

MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C. Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Rio Claro, SP: métodos e aplicação. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n. 13, p. 59-68, 2009.

NEVES, G. Z. F.; GALLARDO, N. P.; VECCHIA, F. A. S. A Short Critical History on the Development of Meteorology and Climatology. **Climate**, v. 5, p. 23, 2017.

NEVES, G. Z. F. **Distribuição geográfica das chuvas no Estado de Goiás e Distrito Federal: dinâmica e aplicações nos estudos rítmicos**. 2018. 215 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

PETERSON, T.C.; FOLLAND, C.; GRUZA, G.; HOGG, W.; MOKSSIT, A.; PLUMMER, N. **Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001**. Geneva: World Meteorological Organization, 2001. 143p.

PINHEIRO, M. R.; QUEIROZ NETO, J. P. Reflexões sobre a gênese da Serra Geral e da Depressão Periférica Paulista: O exemplo da região da Serra de São Pedro e do Baixo Piracicaba, SP. **Revista do Instituto Geológico**, v. 35, n. 1, p. 47-59, 2014.

RAO, V. B.; FRANCHITO, S. H.; SANTO, C. M. E.; GAN, M. A. An update on the rainfall characteristics of Brazil: seasonal variations and trends in 1979–2011. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 1, p. 291–302, 2016.

RAHMAN, S. H.; SENGUPTA, D.; RAVICHANDRAN, M. Variability of Indian summer monsoon rainfall in daily data from gauge and satellite. **J. Geophys. Res. Atmos.**, v. 114, p. 1-14, 2009.

RIBEIRO, A. G. Climatologia geográfica e a organização do espaço agrário. **Boletim de Geografia Teórica**, Rio Claro, v. 23, n. 45-46, p. 34-38, 1993.

ROE, G. H. Orographic precipitation. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 33, p. 645-671, 2005.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 10, p. 41-58, 1996.

SANCHES, R. G.; SANTOS, B. C.; SILVA, M. S. D.; NEVES, G. Z. F.: Análise da tendência pluviométrica anual na região central do estado de São Paulo, no período de 1979 a 2019. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA. 14., 2021, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: UFPB, 2021. p. 3312-3326.

SANCHES, R. G.; NEVES, G. Z. F.; SANTOS, B. C.; SILVA, M. S. D.; PEREIRA, D. N. B.; TECH, A. R. B. Intense Rainfall in São Carlos/SP: Determination of Threshold Values Using Climate Indices and Their Spatio-Temporal Repercussion. **American Journal of Climate Change**, v. 07, p. 388, 2018.

SANCHES, R. G.; SANTOS, B. C. D.; MIANI, R. S.; NEVES, G. Z. F.; SILVA, M. S. D.; TECH, A. R. B. Analysis of Daily Rainfall in São Carlos/SP, Brazil over 1979-2017 Using Laplace Trend Test. **Journal of Geoscience and Environment Protection**, v. 8, n. 7, p. 104–125, 2020.

SANTOS, C. A. C.; RAMOS, A. R. D. Avaliação dos eventos extremos de precipitação no estado do Piauí. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, p. 47-57, 2018.

SANTOS, C. A. C.; SATYAMURTY, P.; GOMES, O. M.; SILVA, L. E. M. G. Variability of extreme climate indices at Rio Claro, São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 395–400, 2012.

SANTOS, B. C.; SOUZA, P. H.; VECCHIA, F. A. S. A caracterização da precipitação do ano hidrológico de 2013-2014 na região de São Carlos/SP e sua repercussão no espaço geográfico. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 135-152, 2017.

SANTOS, B. C.; SANCHES, R. G.; SILVA, M. S. D.; KAYANO, T. Y. K.; SOUZA, P. H.; TECH, A. R. B. Análise do efeito orográfico por meio da interpolação de índices climáticos. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 8, n. 2, p. 114-132, 2018.

SANTOS, B. C.; FONTÃO, P. A. B.; SOUZA, P. H. O efeito do relevo nas chuvas na porção central do Estado de São Paulo em anos padrão extremos. **Revista Do Departamento de Geografia**, v. 40, p. 132-147, 2020.

SERRA, A.; RATABONNA, L. **Massas de ar na América do Sul**. Rio de Janeiro: Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura, 1942.

SMITH, R.B.; BARSTAD, I. A linear theory of orographic precipitation. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 61, n. 12, p. 1377-1391, 2004.

STEPHENSON, T. S.; VINCENT, L. A.; ALLEN, T.; et al. Changes in extreme temperature and precipitation in the Caribbean region, 1961–2010. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 9, p. 2957–2971, 2014.

SILVESTRE, M. R.; SANT'ANNA NETO, J. L.; FLORES, E. F. Critérios estatísticos para definir anos padrão: uma contribuição à climatologia geográfica. **Revista Formação**, v. 2, n. 20, p. 23-53, 2013.

SUGAHARA, S.; ROCHA, R. P.; SILVEIRA, R. Non-stationary frequency analysis of extreme daily rainfall in Sao Paulo, Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 29, n. 9, p. 1339–1349, 2009.

TOTE, C.; PATRICIO, D.; BOOGAARD, H.; VAN DER WIJNGAART, R.; TARNAVSKY, E.; FUNK, C. Evaluation of satellite rainfall estimates for drought and flood monitoring in Mozambique. **Remote Sens.**, v. 7, n. 2, p. 1758-1776, 2015.

VÁSQUEZ, I. L.; ARAUJO, L. M. N.; MOLION, L. C. B.; ABDALAD, M. A.; MOREIRA, D. M.; SANCHEZ, A.; BARBOSA, H. A.; ROTUNNO FILHO, O. C. Historical analysis of interannual rainfall variability and trends in southeastern Brazil based on observational and remotely sensed data. **Climate Dynamics**, v. 50, n. 3-4, p. 801-824, 2018

YANG, F.; RCLimDex (1.0). **User Guide**. Climate Research Branch Environment Canada: Downsview. Ontario, 2004.

ZILLI, M. T.; CARVALHO, L. M. V.; LIEBMANN, B.; SILVA DIAS, M. A. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 5, p. 2269–2279, 2017.