



AS CHUVAS NA BACIA DO PARDO: PROCEDIMENTOS PARA A ESCOLHA DE “ANOS-PADRÃO”

PEDRO AUGUSTO BREDÁ FONTÃO¹
JOÃO AFONSO ZAVATTINI²

Resumo: A área de estudo abrange toda a bacia hidrográfica do Pardo, inserida na porção nordeste do Estado de São Paulo e sul/sudeste de Minas Gerais, Brasil. Em específico, este estudo tem como objetivo analisar a distribuição temporal e espacial das chuvas, propondo para tal finalidade a escolha de “anos-padrão” representativos de extremos (chuvoso e seco) e habitual para a região. Foi obtido o elenco de postos pluviométricos da área e respectivas medições. Tais dados foram analisados individualmente buscando selecionar uma série histórica possível de boa análise, ou seja, o melhor período que permita observar a dinâmica temporal das variáveis. A série escolhida compreende 28 anos de dados ininterruptos e 93 postos. Nela, foram analisados e interpolados os dados de chuva anual, para cada ano da série, procedimento que permitiu selecionar anos representativos das chuvas na bacia.

Palavras chave: chuva, bacia hidrográfica, climatologia.

Abstract: The study area covers the entire watershed of Pardo, inserted in the northeastern portion of the state of São Paulo and southern / southeastern Minas Gerais, Brazil. In particular, this study aims to analyze the temporal and spatial distribution of rainfall, proposing for this purpose the choice of "standard years" representing extremes (rainy and dry) and regular for the area. The list of rainfall stations in the region and their measurements were obtained. These data were analyzed individually to select a historical series of successful analysis is possible, ie, the best period to allow observing the temporal dynamics of the variables. The series chosen comprises 28 years uninterrupted data and 93 rain gauges. It analyzed and interpolated data from annual rainfall for each year of the series, a procedure that allowed the selection of representative years of rainfall in the basin.

Key words: rain, watershed, climatology.

1 – Introdução

O desenvolvimento deste estudo pauta-se na inspiração epistemológica presente nos ensinamentos e princípios da escola brasileira de Climatologia Geográfica. Tais ideias foram criadas e difundidas, a princípio, pelo professor Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro (ZAVATTINI e BOIN, 2013). Neste sentido, valoriza os fenômenos inerentes à atmosfera, e busca o entendimento de sua dinâmica (ritmo) tendo por base o paradigma proposto por Sorre (1951).

¹ Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), *campus* Rio Claro – SP. E-mail de contato: pedrofontao@yahoo.com.br.

² Professor Adjunto do Departamento de Geografia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), *campus* Rio Claro – SP. E-mail de contato: zavattini@rc.unesp.br.



Buscando tal compreensão este artigo propõe a escolha de “anos-padrão” para analisar o ritmo climático, proposta inicialmente por Monteiro (1973) para representar diferentes tipos de tempo atmosféricos ocorridos sobre um dado local (ou região) e revelar os encadeamentos rítmicos que os diversos sistemas atmosféricos ali atuam. A ideia de se escolher “anos-padrão” procura representar anos cuja variação na configuração dos elementos climáticos se caracterize como sendo de padrões extremos (seco e chuvoso) ou habitual para uma determinada região.

Tal método facilita na tarefa de arranjo e análise de dados climáticos, como é o caso dos dados pluviométricos, os quais podem apresentar um grande volume de informações. Diversos autores deram seqüência na aplicação e difusão, a citar Tavares (1976), que contribui com objetivos e critérios para a escolha de “anos-padrão” a fim de serem estudados pela análise rítmica.

Deve-se ressaltar que a técnica e procedimentos aqui apresentados é parte integrante de uma pesquisa maior, de dissertação de mestrado, intitulada “Gênese das chuvas, cheias e estiagens na bacia do Pardo: reflexos em reservatórios de usinas hidrelétricas”. Portanto, pretende-se que os resultados aqui apresentados sejam de grande valor para o desenvolvimento de futuras pesquisas na área da Climatologia Geográfica, seja nesta bacia hidrográfica, ou mesmo em outras.

2 – Discussão

Este artigo propõe analisar a variabilidade temporal e espacial das chuvas, a partir de procedimentos que permitam a escolha dos “anos-padrão”, na bacia hidrográfica do Pardo, importante polo agropecuário do sudeste brasileiro, com destaque na produção em nível nacional (CPRM, 2002) e na qual estão localizadas importantes cidades do país, como é o caso de Ribeirão Preto – SP e Poços de Caldas - MG. A bacia possui uma área total aproximada de 35.720 km² e está inserido na porção nordeste do estado de São Paulo e sul/sudoeste de Minas Gerais, tendo como principal drenagem o rio Pardo, principal tributário do rio Grande (formador do rio Paraná) e como afluente principal o rio Mogi-Guaçu, na porção meridional da bacia. A Figura 01 localiza e ilustra a bacia em questão.

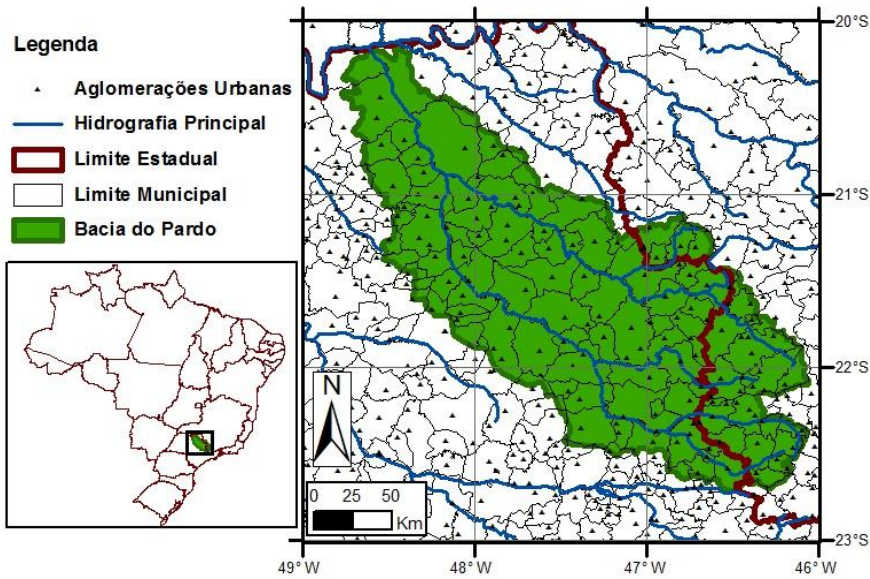


Figura 01 – Bacia hidrográfica do Pardo.

A região permite uma delimitação geográfica em seis compartimentos (Figura 02), conforme procedimentos descritos por Fontão e Zavattini (2013). Apresenta as subunidades Alto Pardo e Alto Mogi, inseridas à montante da bacia, concentram as principais nascentes nas cabeceiras dos rios e altitudes mais elevadas. Na porção central da bacia, a existência de três compartimentos é justificada pela influência de um relevo mais elevado nas bordas da bacia nas subunidades M.P. e M.M. (Médio Pardo e Médio Mogi), e um relevo menos acidentado na subunidade Baixo Mogi. Após o encontro do rio Mogi com o Pardo, à jusante, a região passa a apresentar um relevo aplainado, sendo a sexta subunidade intitulada Baixo Pardo.

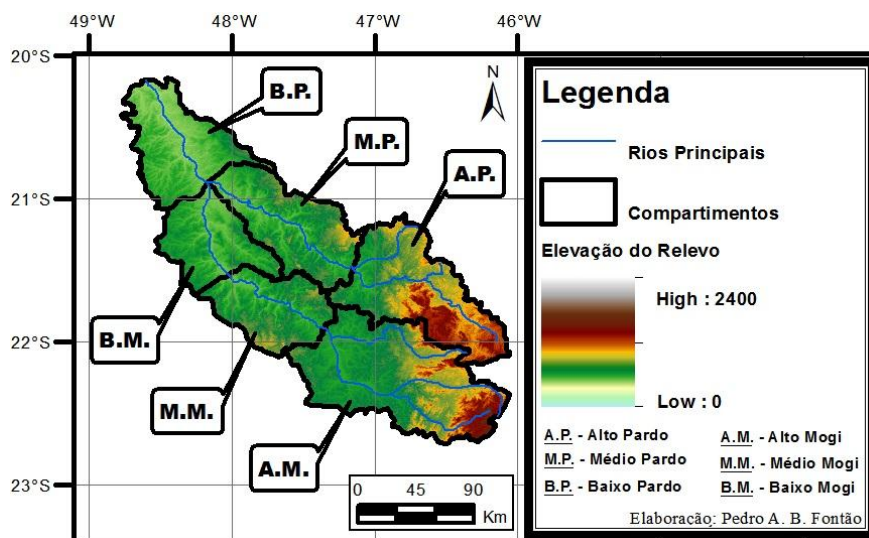


Figura 02 – Compartimentos da bacia do Pardo.
Fonte: FONTÃO e ZAVATTINI, 2013.



Para a análise das chuvas, optou-se por trabalhar com postos pluviométricos inseridos na bacia e adjacências, delimitadas entre os paralelos de 20° a 23° latitude Sul e 46° a 49° longitude Oeste. Utilizaram-se dados fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2013), em nível de escala diária, no formato/extensão msb (correspondente ao *software Access*), posteriormente exportados para o formato xlsx (correspondente ao *software Excel 2010*).

A compilação, análise, espacialização e tratamento dos dados pluviométricos nesta pesquisa adotou procedimentos similares a outros estudos já consagrados no âmbito da Climatologia Geográfica, citando-se Zavattini (2009), Zandonadi (2009), Amaral (2012), Zavattini e Boin (2013), entre outros. Tais procedimentos consistem na construção de planilhas contendo os postos e respectiva série histórica de dados, preenchendo as lacunas (falhas e/ou ausência de dados) nelas existentes, evidenciando a série de dados contínua e ininterrupta para cada um dos postos. Da posse das séries históricas, os postos são distribuídos em material cartográfico, para a escolha de um período temporal homogêneo que será utilizado na pesquisa.

A seleção dos “anos-padrão” (chuvoso, habitual e seco), períodos estes que servirão para futuras análises mais detalhadas, foi feita a partir da técnica da fórmula de Sturges (ZANDONADI, 2009), e procura determinar um número razoável de classes, variando conforme o número de ocorrências e a extensão total dos referidos dados. É dada pela seguinte expressão, sendo **k** = número de classes, **n** = número de observações e **Log** é o logaritmo para a base 10:

$$k = 1 + 3,3 \cdot \text{Log } n$$

Os dados anuais de chuva da série histórica, para cada um dos postos selecionados, foram interpolados através da aplicação do método geoestatístico da Krigagem, procedimento que permite a continuidade dos fenômenos no espaço, mesmo através das lacunas deixadas entre os pontos amostrais (FLORES, 2000, p. 105). Para a interpolação, utilizou-se o *software Surfer 11*.



3 – Resultados

A primeira etapa da pesquisa teve como procedimento o levantamento dos postos pluviométricos da bacia e entorno, sendo identificados 1.010 distribuídos ao longo de toda a área delimitada. Entretanto, só foi possível coletar dados de 803 deles, descartando os 207 restantes. Da análise dos 803 postos pluviométricos buscou-se, através de um viés temporal-espacial, contemplar uma boa distribuição do fenômeno pluviométrico nos seis compartimentos da bacia em um longo período temporal, utilizando dados homogêneos. Tal procedimento metodológico é descrito por Fontão e Zavattini (2013), e resulta na escolha do período temporal compreendido entre os anos de 1967 a 1994, abrangendo 28 anos de dados e um total de 93 postos pluviométricos utilizados, conforme é possível visualizar na Figura 03.

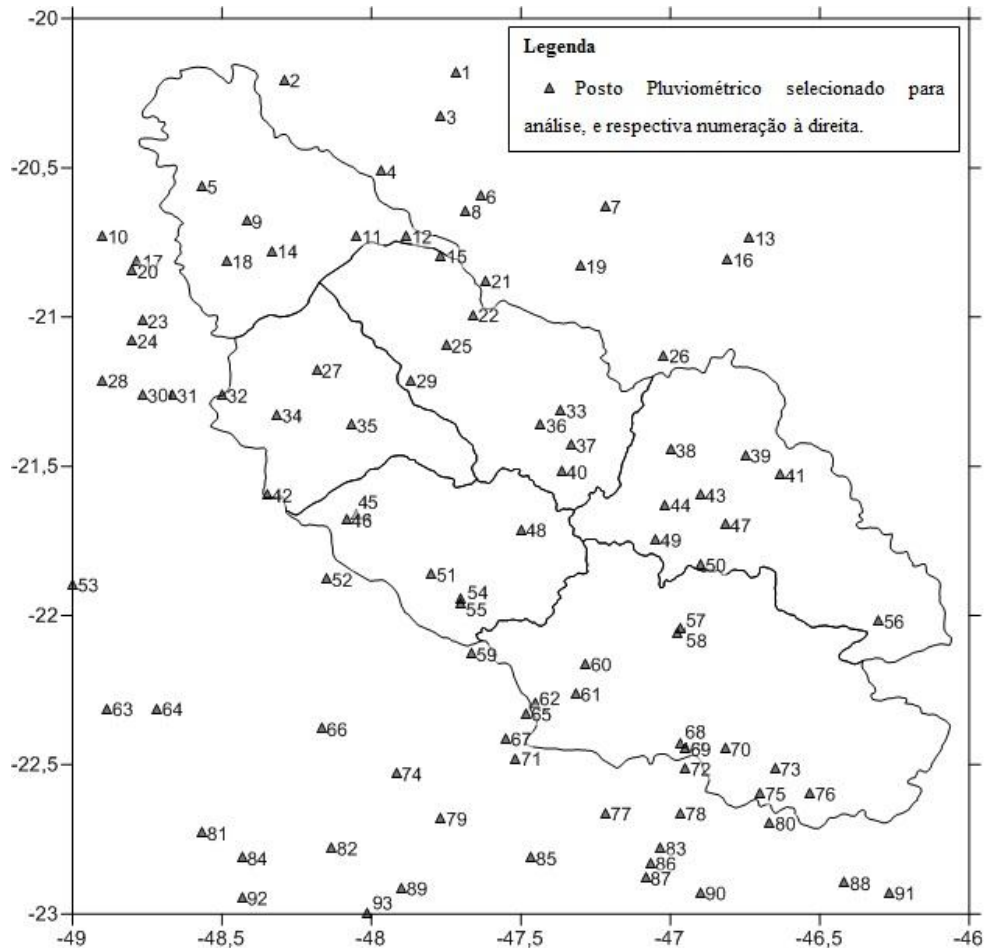


Figura 03 – Distribuição dos 93 postos pluviométricos (triângulos) selecionados na bacia do Pardo.
Fonte dos dados: ANA, 2013.
Organização: FONTÃO, Pedro Augusto Breda.



Na etapa posterior, calcularam-se os totais anuais de chuvas dos postos para cada ano da série histórica, em tabelas específicas utilizadas na pesquisa. A soma dos totais anuais de toda a série histórica de 28 anos (1967 – 1994) ininterruptos, para cada um dos 93 postos pluviométricos da área, permitiu obter um total de 2.604 observações. Tais valores, ao serem colocados em um rol na ordem crescente de grandeza, apresentaram uma elevada amplitude total de variação e baixa frequência de valores extremos. O valor mínimo foi de 453,6 mm, obtido no ano de 1968 pelo Posto 46 (Usina Santa Lúcia), e o valor máximo 2.956,3 mm, no ano de 1983 pelo Posto 19 (Usina Esmeril), resultando em uma amplitude total de variação de 2.502,7 mm.

A frequência total de observações foi calculada de acordo com os intervalos sugeridos pela fórmula de Sturges, conforme procedimento já descrito, cujo cálculo resultou em 12 classes com intervalo de 208,6 mm, e analisados em uma tabela específica. A Figura 04 permite visualizar uma síntese dos resultados obtidos, expondo o número de ocorrências de cada classe para cada um dos anos da série, e ainda a frequência absoluta de observações para cada classe. Tais colorações adotadas evidenciam os totais anuais tendentes ou considerados secos (cores vermelha, laranja ou amareladas), chuvosos (cores azuladas) e habituais (tonalidades de verde).

Classificação	Intervalo de Classes			Ocorrência no Ano (Frequência)																											Total						
	Min.	Max.	Cor	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93		94					
Extrem. Seco	453,6	662,2		0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Extrem. Seco	662,3	870,8		0	27	4	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35
Seco	870,9	1079,4		3	46	28	1	9	0	2	0	5	0	1	7	4	2	5	0	0	25	4	1	1	2	0	2	0	2	1	10				161		
Tend. a Seco	1079,5	1288		11	18	44	7	29	0	16	14	31	0	11	19	19	8	21	0	0	38	44	5	12	18	4	27	1	9	10	49				465		
Habitual	1288,1	1496,6		30	1	14	30	36	14	41	42	46	5	34	32	38	33	33	7	0	26	33	28	43	45	36	50	19	37	40	29			822			
Habitual	1496,7	1705,2		33	0	3	27	13	31	22	30	11	11	32	26	21	26	25	28	1	3	9	42	32	22	42	13	27	24	30	3				587		
Tend. a Chuvoso	1705,3	1913,8		12	0	0	24	3	35	10	7	0	32	13	7	10	13	7	30	4	0	3	14	5	5	10	1	37	17	10	2				311		
Chuvoso	1913,9	2122,4		4	0	0	4	0	12	2	0	0	32	2	1	1	9	2	22	11	0	0	3	0	1	0	0	6	3	1	0				116		
Chuvoso	2122,5	2331		0	0	0	0	0	1	0	0	0	10	0	0	0	0	0	5	32	0	0	0	0	0	1	0	3	1	1	0				54		
Extrem. Chuvoso	2331,1	2539,6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				31		
Extrem. Chuvoso	2539,7	2748,2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				14		
Extrem. Chuvoso	2748,3	2956,3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				6		

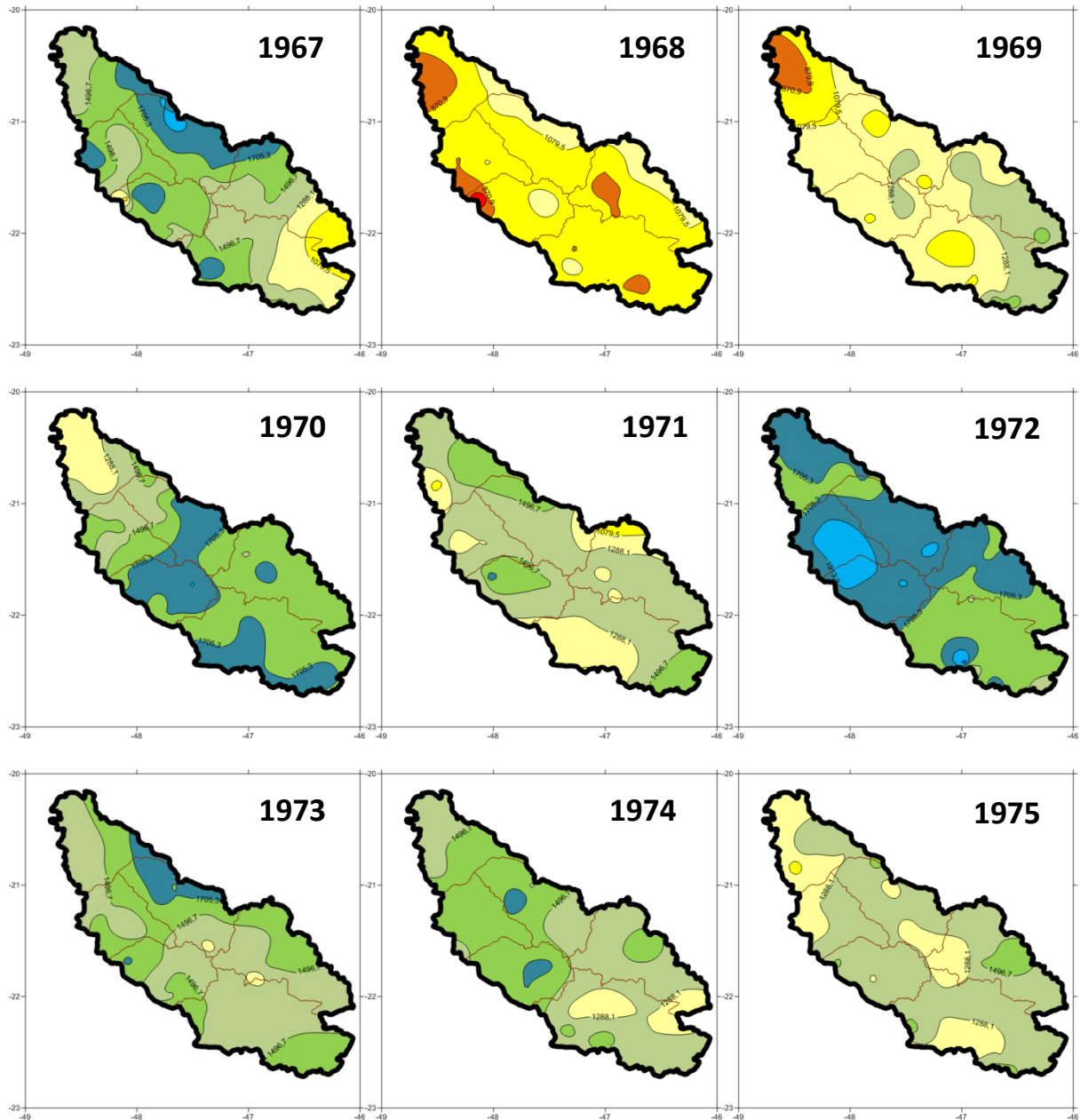
Figura 04 – Distribuição dos 93 postos pluviométricos (triângulos) selecionados na bacia do Pardo.

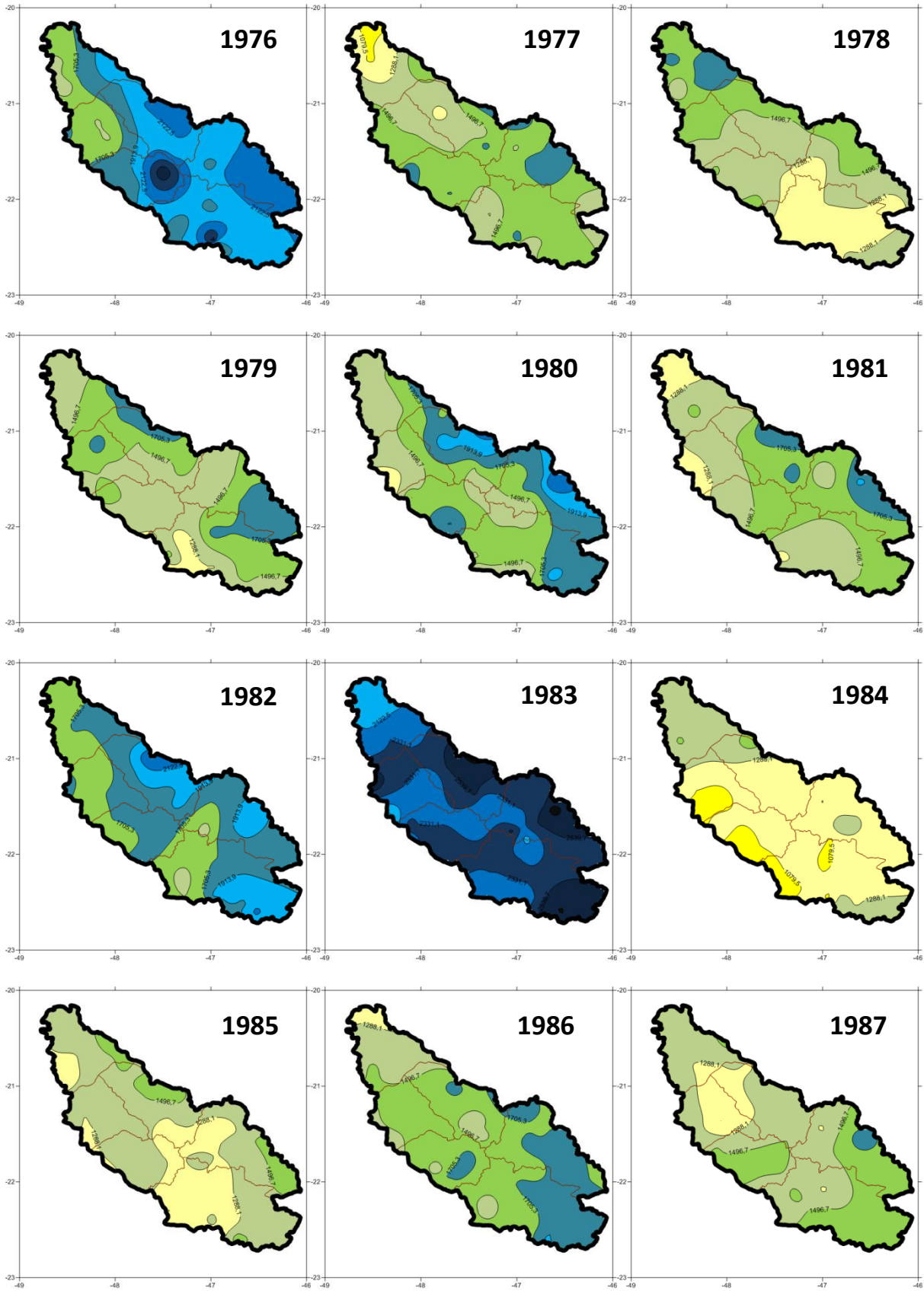
Organização: FONTÃO, Pedro Augusto Breda.

Os resultados da frequência absoluta permitem verificar, a princípio, anos que apresentam o maior número de quadrículas em classes chuvosas, secas ou habituais. Todavia, é importante lembrar que o estudo abrange uma imensa área, de escala regional, de padrão irregular na distribuição das chuvas. Assim, antes de tomar qualquer decisão a respeito do comportamento pluviométrico anual, é preciso visualizar a distribuição do



mesmo no espaço. Desta maneira, foram construídos 28 cartogramas respeitando os intervalos de classe sugeridos, representados na Figura 05.





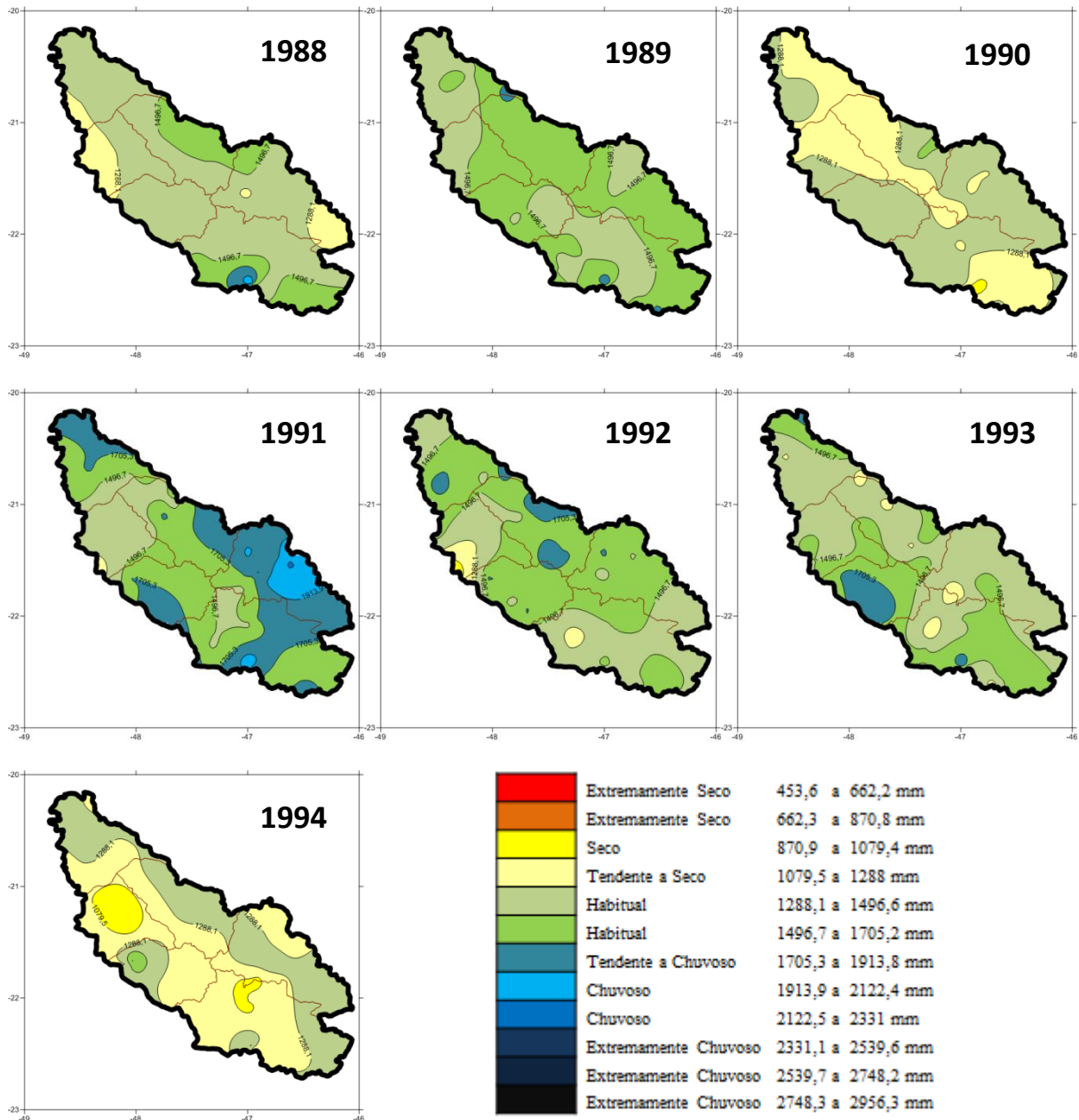


Figura 05 - Distribuição das classes sugeridas pela fórmula de Sturges na bacia do Pardo, para cada ano da série (1967 – 1994).

A análise dos cartogramas permite indicar, de maneira empírica, a existência de dois anos cujas colorações verdes, que representam o habitual, não ocorreram em nenhum setor da bacia: o ano de 1968, com o predomínio de coloração amarela e laranja considerado o mais seco da série, e o ano de 1983, predominando diferentes tons azulados, considerado ele o mais chuvoso de toda a série histórica.

Representativa do padrão habitual, os dois intervalos de frequência ilustrados na cor verde ocorreram em 26 anos de toda a série. Entretanto, é possível destacar o ano de 1989



como de maior predomínio desta coloração, pois conta com somente duas pequenas “manchas” azuis, em setores tradicionalmente mais chuvosos na bacia.

Uma análise empírica da frequência dos intervalos de classe na bacia, somada a outras análises durante a pesquisa, permite propor uma síntese do comportamento anual da série histórica, resultado apresentado na Figura 06.

Ano / Série	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
Habitual							X	X	X				X		X					X	X	X	X			X	X	
Seco		X	X		X													X	X					X				X
Chuvoso						X				X				X		X	X								X			
Misto	X			X								X	X															

Figura 06 – Síntese proposta do comportamento anual da chuva nos 28 anos da série histórica.

Tal arranjo proposto na Figura 06 revela que dos vinte e oito anos da série, considerando-se os critérios anuais previamente analisados, onze possuem características representativas do padrão Habitual. Treze anos foram classificados no padrão excepcional, sendo seis deles chuvosos e sete secos. Ainda, exibe quatro anos cuja classificação não se enquadra em nenhuma das modalidades, pois apresentaram um padrão irregular de distribuição das chuvas, denominados assim mistos. A existência de anos irregulares pode evidenciar predomínios setorizados na precipitação, ao longo do período anual, gerando características pluviais que se diferem da habitual. Podem coexistir, assim, setores secos e chuvosos em um mesmo ano, ou ainda, caráter distinto quando ao padrão da distribuição pluviométrica do setor (ou compartimento) da bacia, como a ocorrência de um ano seco num setor tradicionalmente chuvoso, caso do ano de 1967 (seca nas cabeceiras do rio Pardo).

A análise empírica permitiu ainda evidenciar, em ordem decrescente, os anos de 1983, 1976 e 1982 como os mais chuvosos, para todo o interior da bacia. Os anos de 1968, 1969 e 1984 se destacaram como os mais secos da série histórica. Para o padrão habitual, os três anos que mais se destacaram e se aproximaram do padrão representativo da bacia foram 1989, 1973 e 1981, respectivamente.



4 – Conclusões

Partindo do princípio deste estudo, que procura investigar e evidenciar do ponto de vista rítmico, os tipos de tempo atmosférico cuja ocorrência pode resultar em cheias e estiagens, é preferível escolher os anos de maior excepcionalidade pluviométrica de toda a série para detalhar, em nível sazonal, mensal e diário. Assim, os anos de 1968 e 1983 foram tomados como melhores exemplos do “ano-padrão” seco e chuvoso, respectivamente. Neste sentido, elegeu-se o ano de 1989 como o de maior representação do habitual das chuvas.

A metodologia utilizada nesta pesquisa, e descrita neste artigo, demonstrou que a técnica da fórmula de Sturges obteve bons resultados na identificação da distribuição temporal das chuvas, apresentando resultados satisfatórios do ponto de vista da escolha dos “anos-padrão”. Tal resultado pode ser complementado por outras pesquisas que obtiveram sucesso anteriormente, a citar Zandonadi (2009), Amaral (2012), Zavattini e Boim (2013), entre outras.

5 - Referências Bibliográficas

AMARAL, A. A. As chuvas e a erosividade na bacia hidrográfica do rio Jordão – PR (**Dissertação de Mestrado**). UNESP, Rio Claro, 2012. 156 p.

ANA. **Agência Nacional de Águas**. [Site institucional]. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 02 de agosto de 2013.

CPRM. **Atlas geoambiental das bacias hidrográficas dos rios Mogi Guaçu e Pardo - SP**: subsídios para o planejamento territorial e gestão ambiental. São Paulo: CPRM, 2002. p. 1-77.

FLORES, E. F. **Modelagem em Climatologia Geográfica**: um ensaio metodológico aplicado ao oeste paulista (Tese de Doutorado). UNESP, Rio Claro, 2000. 237 p.

FONTÃO, P. A. B; ZAVATTINI, J. A. Regionalização das chuvas anuais na bacia do Pardo. **Anais do IV Workshop Internacional sobre Planejamento e Desenvolvimento Sustentável em bacias hidrográficas**. Presidente Prudente - SP: FCT-UNESP, 2013.

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.

SORRE, M. Les fondements de la Géographie Humaine. Tome: I- Lês foundements biologiques Essai d'une écologie de l'homme. Livre I - **Le climat et l'homme**. Chp Ier Le Climat. Paris: Librairie Armand Colin, 1951. p. 13-43.

TAVARES, A. C. Critérios de escolha de anos padrões para análise rítmica. **Geografia**, n.1, v.1, Rio Claro, abril 1976, p.79-87.



ZANDONADI, Leandro. **As Chuvas na Bacia do Paraná**: aspectos temporais, espaciais e rítmicos. 2009. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, campus de Rio Claro. p. 1-122.

ZAVATTINI, João Afonso. **As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul**: estudo geográfico com vista à regionalização climática. 1. ed. São Paulo – SP: Editora UNESP, 2009. p. 1-214.

ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. **Climatologia Geográfica**: teoria e prática de pesquisa. Campinas-SP: Editora Alínea, 2013. 145 p.