



REGIONALIZAÇÃO DAS CHUVAS ANUAIS NA BACIA DO PARDO, BRASIL.

REGIONALIZATION OF THE ANNUAL RAINFALL IN THE PARDO BASIN, BRAZIL.

REGIONALIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA CUENCA DEL PARDO, BRASIL.

Pedro Augusto Breda Fontão

Mestrando em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia - Instituto de Geociências e Ciências Exatas - IGCE, Universidade Estadual Paulista - UNESP.
Avenida 24 A, 1515, Bela Vista, CEP: 13506-900, Rio Claro, SP, Brasil.
E-mail: pedrofontao@yahoo.com.br

João Afonso Zavattini

Professor Adjunto do Departamento de Geografia - Instituto de Geociências e Ciências Exatas - IGCE, Universidade Estadual Paulista - UNESP.
Avenida 24 A, 1515, Bela Vista, CEP: 13506-900, Rio Claro, SP, Brasil.
E-mail: zavattini@rc.unesp.br

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, buscando regionalizar a distribuição pluviométrica na área, e atingir uma visão integrada do fenômeno pluvial e seus reflexos em outras esferas geográficas. A bacia foi, a princípio, delimitada em compartimentos naturais de maior homogeneidade do ponto de vista altimétrico, geomorfológico e hidrológico. 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. Tais resultados permitiram observar e analisar detalhadamente a distribuição das chuvas nos compartimentos na bacia.

Palavras chave: Chuva, Bacia Hidrográfica, Rio Pardo, Dinâmica Atmosférica, 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, seeking to regionalize rainfall distribution in the area, and achieve an integrated view of the rain and its effects in other geographical areas. The basin was at first bounded in natural homogeneity compartments in terms of altimetry, geomorphological and hydrological. 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. Here, we analyzed in details the data and interpolated annual rainfall for each year of the series. These results allowed us to observe and analyze in detail the distribution of rainfall in the basin compartments.

Keywords: Rain, Watershed, Pardo River, Atmospheric Dynamics, Climatology.

Resumen: El área de estudio cubre toda la cuenca hidrográfica del Pardo, inserta en la parte noreste del estado de São Paulo y el sur / sudeste de Minas Gerais, Brasil. En específico, este estudio tiene como objetivo analizar la distribución espacial y temporal de las precipitaciones, tratando de regionalizar la distribución de las precipitaciones en la zona, y lograr una visión integrada del fenómeno de la lluvia y sus reflejos en otros ámbitos geográficos. La cuenca fue inicialmente encerrada en compartimentos naturales de mayor homogeneidad del punto de vista de la altimetría, geomorfología e hidrología. Se obtuvo el elenco de estaciones pluviométricas de la zona y sus mediciones. Estos datos se analizaron individualmente en un intento de elegir una buena serie de tiempo para análisis, es decir, el tiempo necesario para permitir observar mejor la dinámica de las variables. La serie elegida comprende 28 años de datos sin interrupciones y 93 estaciones pluviométricas. Se analizó y interpoló los datos de precipitación anual para cada año de la serie. Estos resultados permitieron observar y analizar en detalle la distribución de las lluvias en los compartimentos de la cuenca.

Palabras-clave: Lluvia, Cuenca Hidrográfica, Río Pardo, Dinámica Atmosférica, Climatología.

Introdução

Os limites naturais das bacias hidrográficas vêm sendo adotados, desde há muito tempo, como definidores de unidades paisagísticas que se prestam às pesquisas e análises geográficas, em particular àquelas da Geografia Física. Tais limites facilitam a identificação dos problemas ambientais relacionados à precipitação e aos fluxos de água superficial, que por sua vez, podem estar ligadas a processos naturais. Entretanto, é notório reconhecer, gradativamente, que o homem tem participado como um agente acelerador dos processos de desequilíbrio na paisagem (GUERRA e CUNHA, 1999), ação que muitas vezes, pode intensificar os processos naturais.

Todavia, a forma de ocupação humana pode expor a sociedade às situações de vulnerabilidade. No caso das chuvas, é evidente a fragilidade do ser humano, graças a sua irregularidade e variabilidade. Características estas, que se relacionam diretamente à atmosfera, pois é nela que reside a gênese das chuvas. Tal ambiente é dotado de dinamismo próprio, apresentando um ritmo ligado à sucessão dos diferentes sistemas atmosféricos em uma escala regional. Este pulsar é inerente ao conceito de

clima, e se manifesta nas condições atmosféricas em escala local.

Nesta perspectiva, o desenvolvimento deste estudo adota a concepção de clima como a série de estado da atmosfera, em sua sucessão habitual (SORRE, 1951). Concepção esta que dá um caráter verdadeiramente geográfico e dinâmico à noção de clima, na qual Monteiro (1971) inspira-se para sintetizar as noções de ritmo e habitual.

Assim, este artigo propõe analisar a variabilidade temporal e espacial das chuvas na bacia do Pardo, importante polo agropecuário do sudeste brasileiro, com destaque na produção em nível nacional (CPRM, 2002) e na qual estão localizadas importantes cidades brasileiras, como é o caso de Ribeirão Preto – SP e Poços de Caldas - MG. A bacia hidrográfica 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 1 localiza e ilustra a bacia em questão.

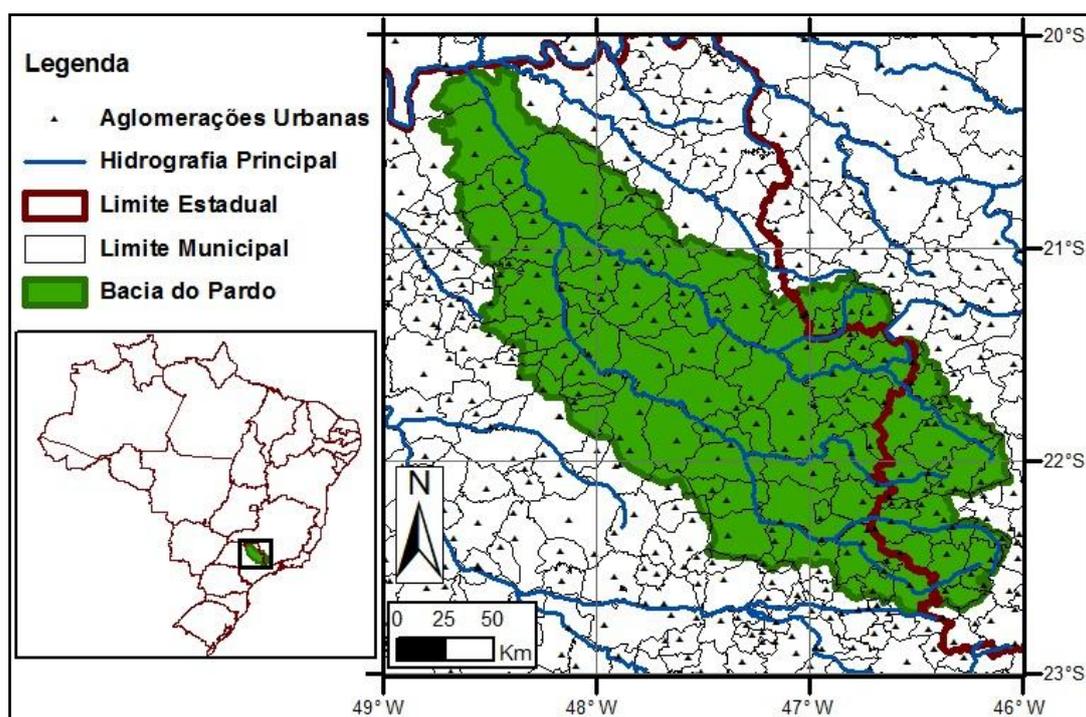


Figura 1 – Bacia hidrográfica do Pardo.
Elaboração: FONTÃO, Pedro Augusto Breda.

Pretende-se com a realização deste estudo delimitar compartimentos geográficos naturais (de características geográficas próprias) na bacia hidrográfica e analisar, a partir de tais setores, a distribuição das chuvas anuais, verificando

ossetores de maior e menor volume de precipitação. Tal procedimento contribuirá para a escolha de “anos-padrão” que representem o habitual e os extremos da bacia, e para a delimitação precisa dos setores de maior ou menor vulnerabilidade do ponto de vista das chuvas e cheia.

Ainda, o estudo busca contribuir para proporcionar uma visão integrada dos fenômenos climáticos a outros da esfera geográfica, pois embora a gênese dos episódios de chuva resida na dinâmica atmosférica regional, eles costumam ter diferentes repercussões a partir de um viés temporal e espacial, caso das cheias, das estiagens, da geração de energia hidrelétrica, do aproveitamento agropecuário, entre outros.

Materiais e método

A proposta inicial de regionalização da bacia foi feita a partir da identificação de variáveis delimitadoras, capazes de distinguir, especialmente, áreas com maior homogeneidade do ponto de vista altimétrico, geomorfológico e hidrológico. Para tanto, utilizou-se o software ArcGIS 10.0, em análise com geoprocessamento, para sobrepor tais camadas e permitir a delimitação dos compartimentos. Entre as bibliografias utilizadas, cita-se o plano da bacia do rio Mogi Guaçu (CBH-MOGI, 2008), as variáveis relevo e topografia fornecida pelo projeto Brasil em Relevo (MIRANDA, 2005) e o levantamento da hidrografia em diferentes escalas, fornecida pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2013).

Para a análise das chuvas, optou-se por trabalhar com postos pluviométricos inseridos na bacia e adjacências, delimitadas entre os paralelos de 20º a 23º latitude Sul e 46º a 49º longitude Oeste. Nesta área, foi feita inicialmente um levantamento das estações pluviométricas existentes através de um banco de dados fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), cujos dados foram coletados 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 adotou procedimento similar a outros estudos já consagrados no âmbito da Climatologia Geográfica, citando-se Zavattini (1983), Zavattini (2009), Boin (2000), Zandonadi (2009), Amaral (2012), entre outros. Tal procedimento consiste 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.

Neste procedimento, como critério empírico, optou-se por utilizar dados com até 10 falhas mensais, contemplando ao menos praticamente dois terços do total mensal com dados originais. A ocorrência de um ou mais períodos mensais com o número de falhas superior a 10, ou ausência total do dado anual, descartou a utilização deste ano, para cada posto analisado na pesquisa. Os postos selecionados tiveram, para os dados da série histórica utilizada, suas falhas preenchidas através da média aritmética dos três postos mais próximos, alocados em regiões climatologicamente semelhantes, e que tenham os dados faltantes.

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.

Resultados e discussões

A regionalização da bacia do Pardo permitiu a delimitação de seis compartimentos, proposta possível de ser visualizada através da Figura 2. As subunidades Alto Pardo e Alto Mogi, inseridas à montante da bacia, concentram as principais nascentes nas cabeceiras dos rios Pardo e Mogi e altitudes mais elevadas, características da Serra da Mantiqueira, drenando ainda (à jusante dos rios) trechos da Depressão Periférica paulista. Na região 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 característico do Planalto Ocidental, sendo a sexta subunidade intitulada Baixo Pardo.

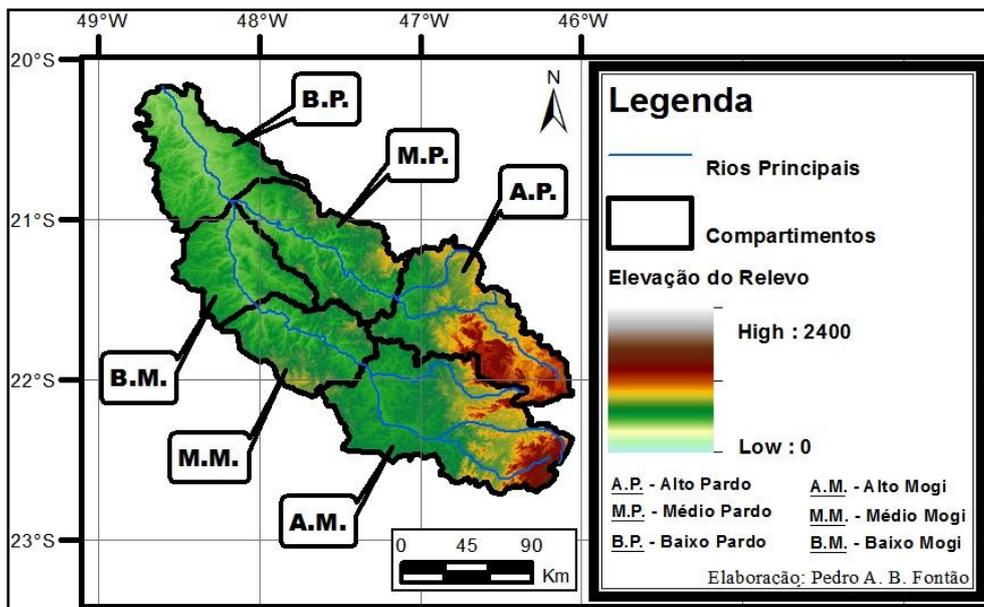


Figura 2 – Compartimentos da bacia do Pardo.

Fonte: MIRANDA, 2005.

O procedimento de levantamento do postos pluviométricos identificou 1.010 distribuídos ao longo de toda a área delimitada. Entretanto, foi possível ter acesso à coleta de 803 postos, descartando para a utilização neste estudo os 207 restantes. Desta maneira, a Figura 3 permite visualizar os 803 postos pluviométricos analisados neste estudo, conforme a disposição dos dados em séries históricas.

A princípio, é possível verificar uma boa densidade no número total de postos distribuídos na área. Verifica-se, ainda, uma menor densidade próxima às cabeceiras dos rios Pardo e Mogi, e a nordeste da área, região pertencente ao estado de Minas Gerais. Todavia, é importante ressaltar que esta distribuição apresentada revela somente os pluviômetros que existe e/ou existiram na área, e que foi possível ter acesso aos dados. Estes, por não apresentarem séries históricas ininterruptas e/ou homogêneas entre si, não necessariamente poderão ser comparados entre si.

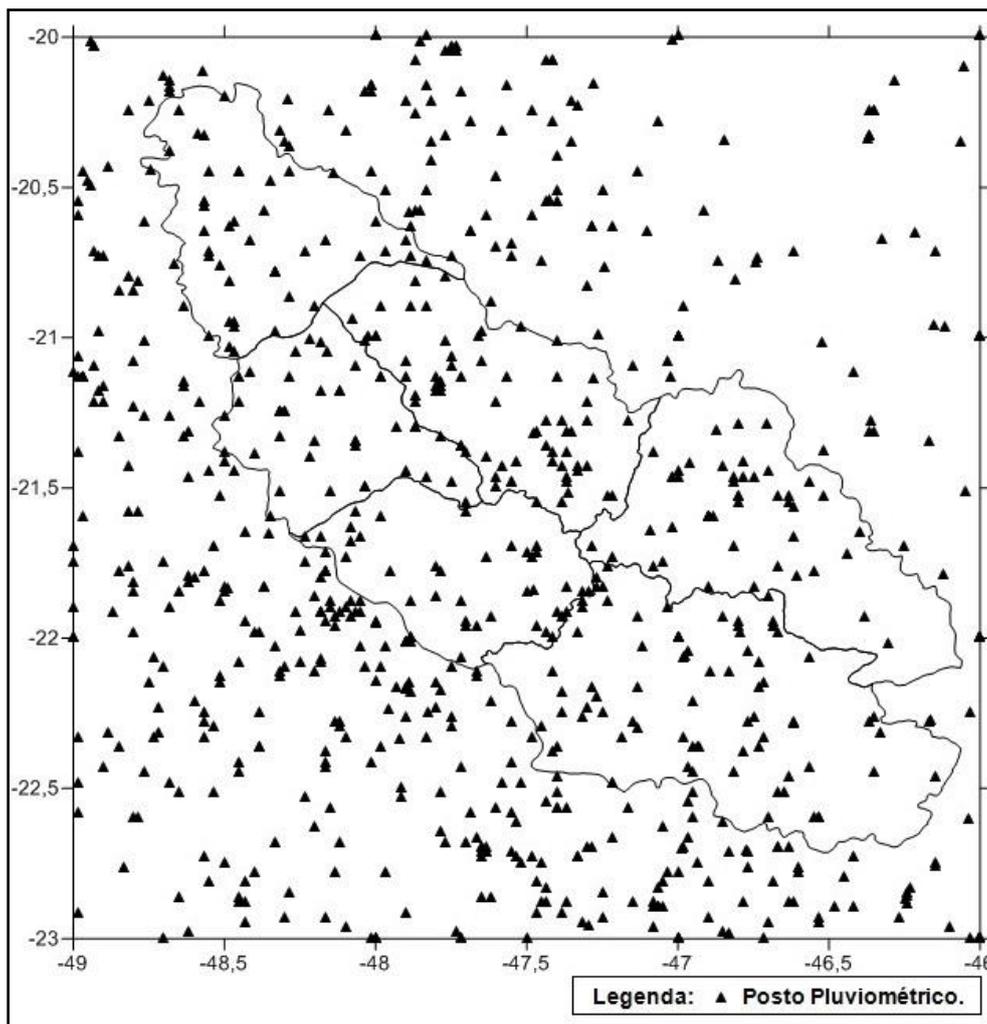


Figura 3 - Distribuição dos 803 postos pluviométricos (pontos) na bacia do Pardo e compartimentos.

Fonte: ANA, 2013.

Elaboração: FONTÃO, Pedro Augusto Breda.

Para analisar a distribuição do fenômeno pluviométrico nos seis compartimentos da bacia, através de um viés temporal-espacial, selecionou-se o período homogêneo de estudo compreendido entre os anos 1967 a 1994, abrangendo 28 anos de dados e um total de 93 postos pluviométricos (Figura 4). A pesquisa buscou uma distribuição que contemplou, da melhor maneira possível, os seis compartimentos da bacia, e o maior arco de tempo possível. Os setores que mais apresentaram problemas na homogeneização dos dados foram o Alto Pardo, Alto Mogi e Baixo Pardo.

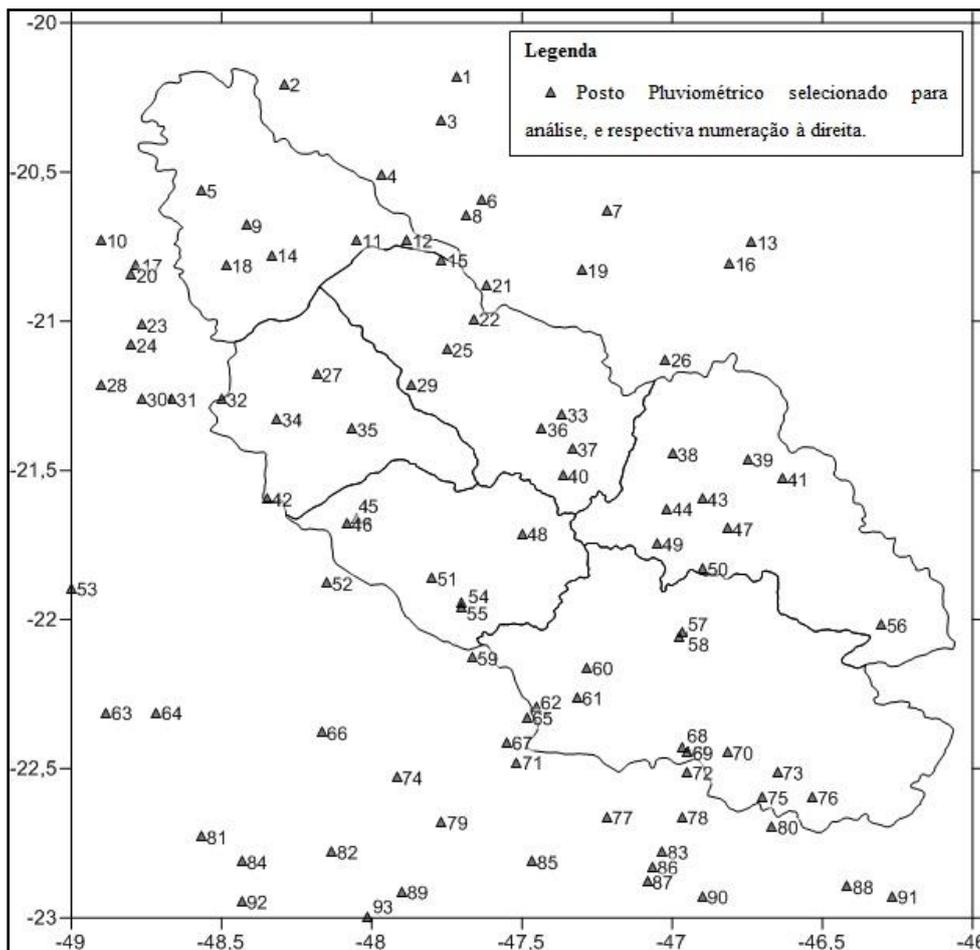


Figura 4 – Distribuição dos 93 postos pluviométricos (triângulos) selecionados na bacia do Pardo.

Fonte: ANA, 2013.

Elaboração: FONTÃO, Pedro Augusto Breda.

Os valores totais anuais dos 93 postos da área de estudo foram interpolados visando uma análise primária do comportamento das chuvas. A Figura 5 permite visualizar a média aritmética geral de todos os postos distribuída na área, entretendo deve-se analisar com muito discernimento, pois se trata uma medida de tendência central que se distancia da variabilidade real das chuvas. Porém, seve de auxílio comparativo para visualizar o que seria o padrão anual das chuvas, evidenciando as maiores médias anuais na porção nordeste da bacia, atingindo valores superiores a 1.600 mm, além de valores superiores a 1.500 mm predominando na porção central (Médio Mogi / Médio Pardo) e extremo leste, próximos às principais nascentes e maiores elevações da bacia. As menores médias anuais alocam-se ao sul e noroeste, próximas à jusante, destacando-se por apresentar valores inferiores a 1.400 mm, além de predominar valores inferiores a 1.500 mm nos setores mais rebaixados do relevo no Alto Mogi e Alto Pardo.

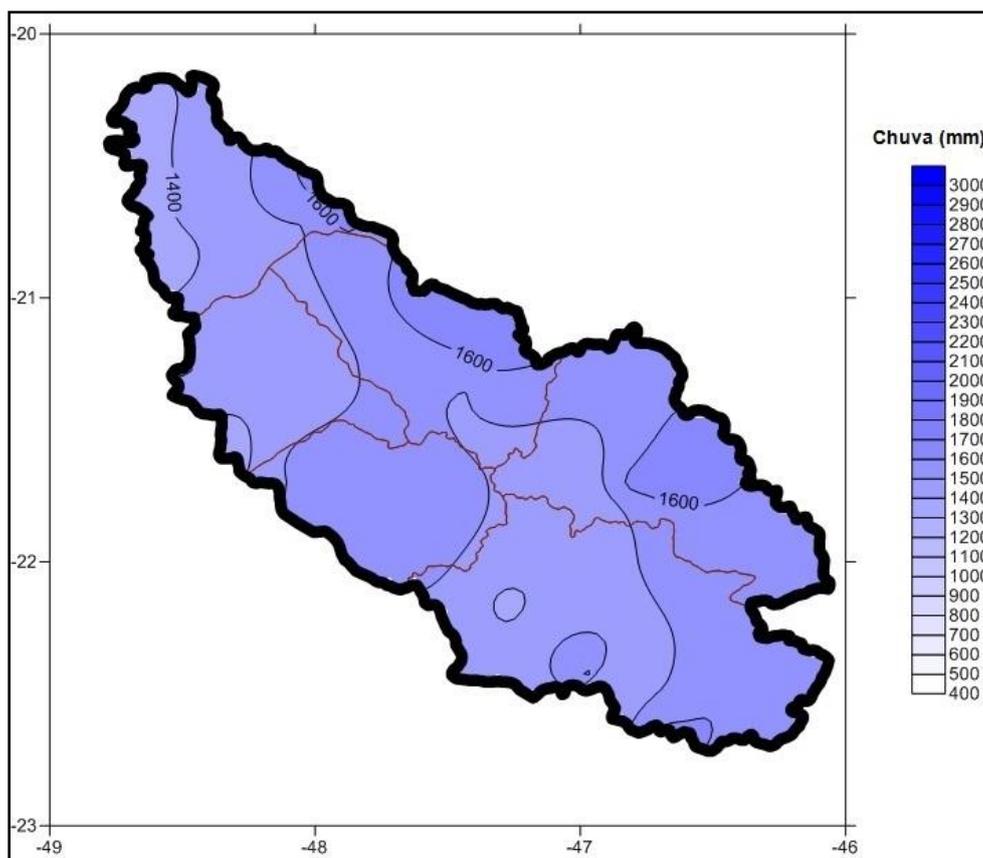


Figura 5 - Distribuição da chuva anual média na bacia do Pardo (1967 – 1994).

Para analisar a distribuição real das chuvas na bacia, realizou-se a interpolação dos totais anuais pluviométricos para toda a série histórica de 28 anos (Figuras 6a, 6b, 6c e 6d). Tal procedimento permitiu uma visualização detalhada da distribuição espacial da pluviosidade ao longo da área e, observando a variação temporal, possibilitou a identificação prévia de anos mais chuvosos e secos. A adoção de uma escala padrão na variação das cores e isoietas para todos os mapas, fixada em 100 mm, permite compará-los à média geral e a outros anos da série.

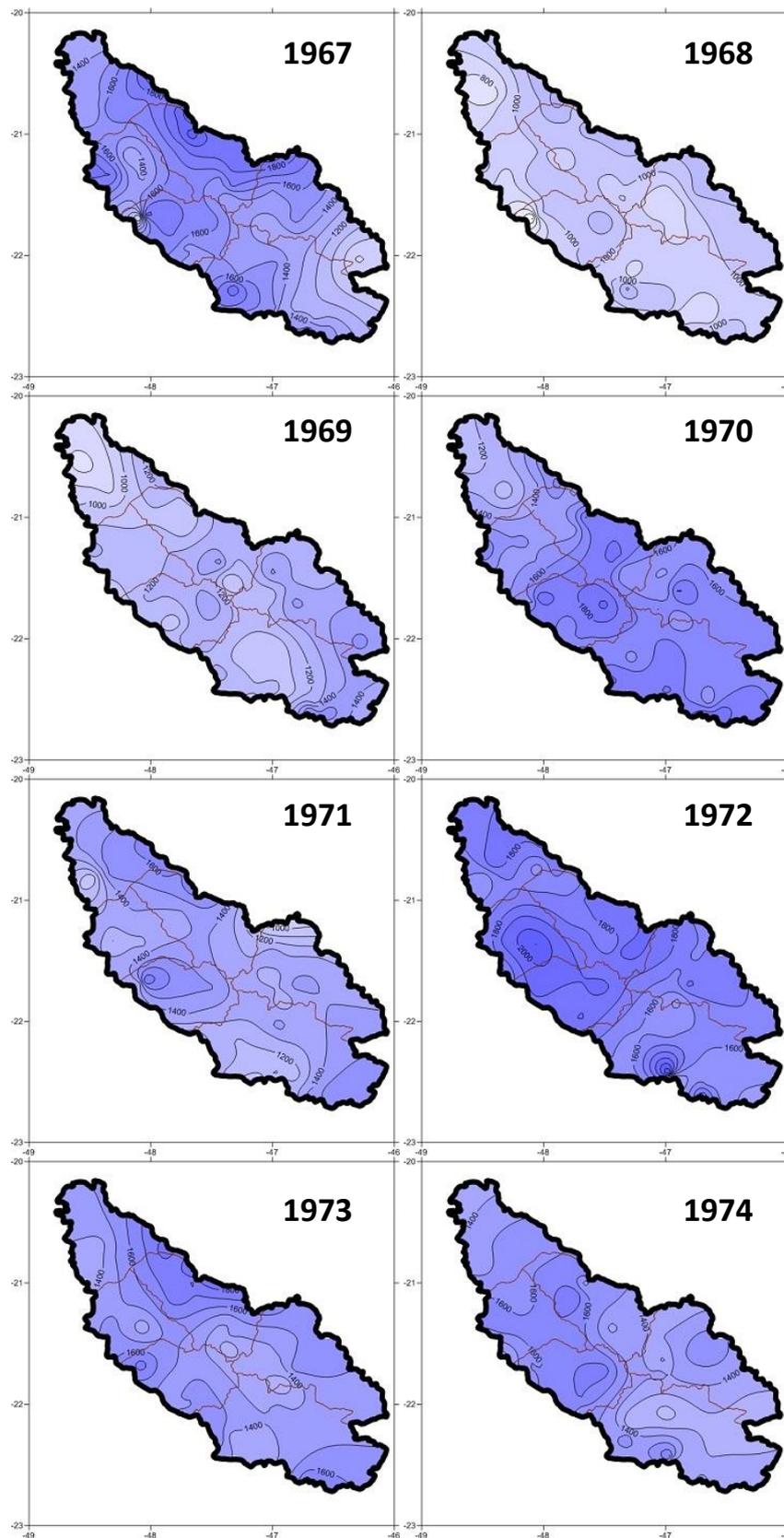


Figura 6a - Distribuição das chuvas anuais na bacia do Pardo (1967 – 1994).
Elaboração: FONTÃO, Pedro Augusto Breda.

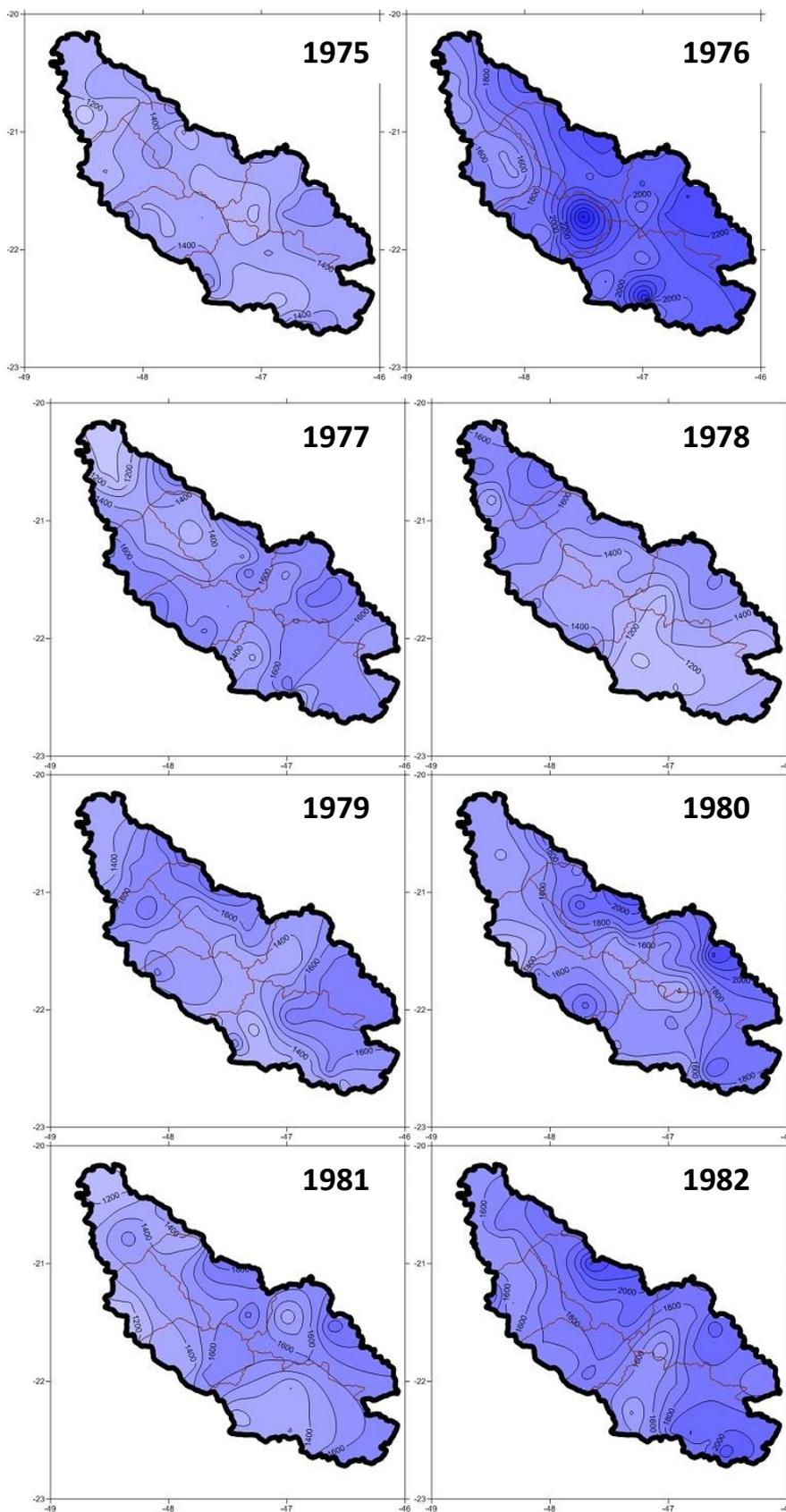


Figura 6b - Distribuição das chuvas anuais na bacia do Pardo (1967 – 1994).
Elaboração: FONTÃO, Pedro Augusto Breda.

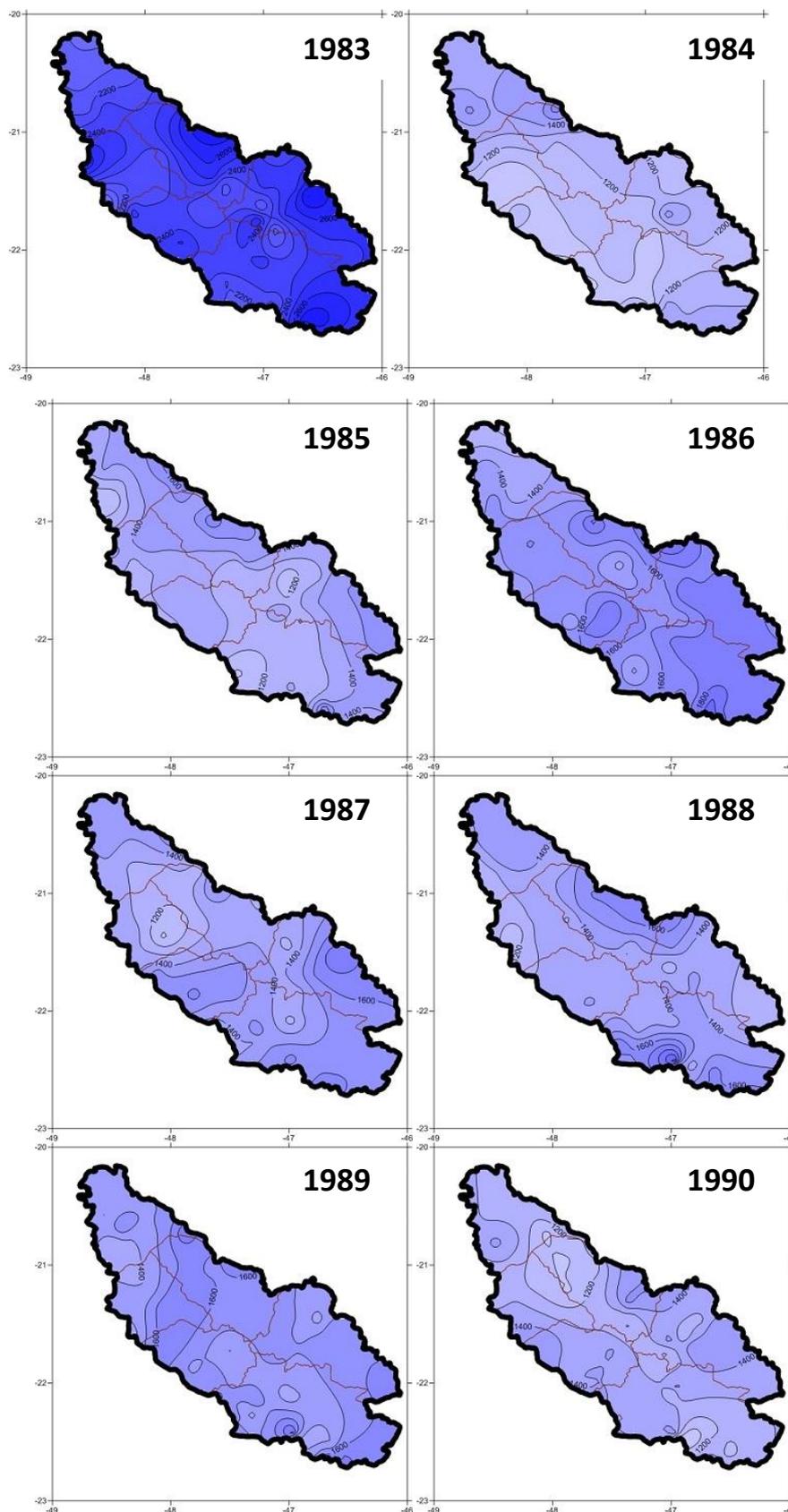


Figura 6c - Distribuição das chuvas anuais na bacia do Pardo (1967 – 1994).
Elaboração: FONTÃO, Pedro Augusto Breda.

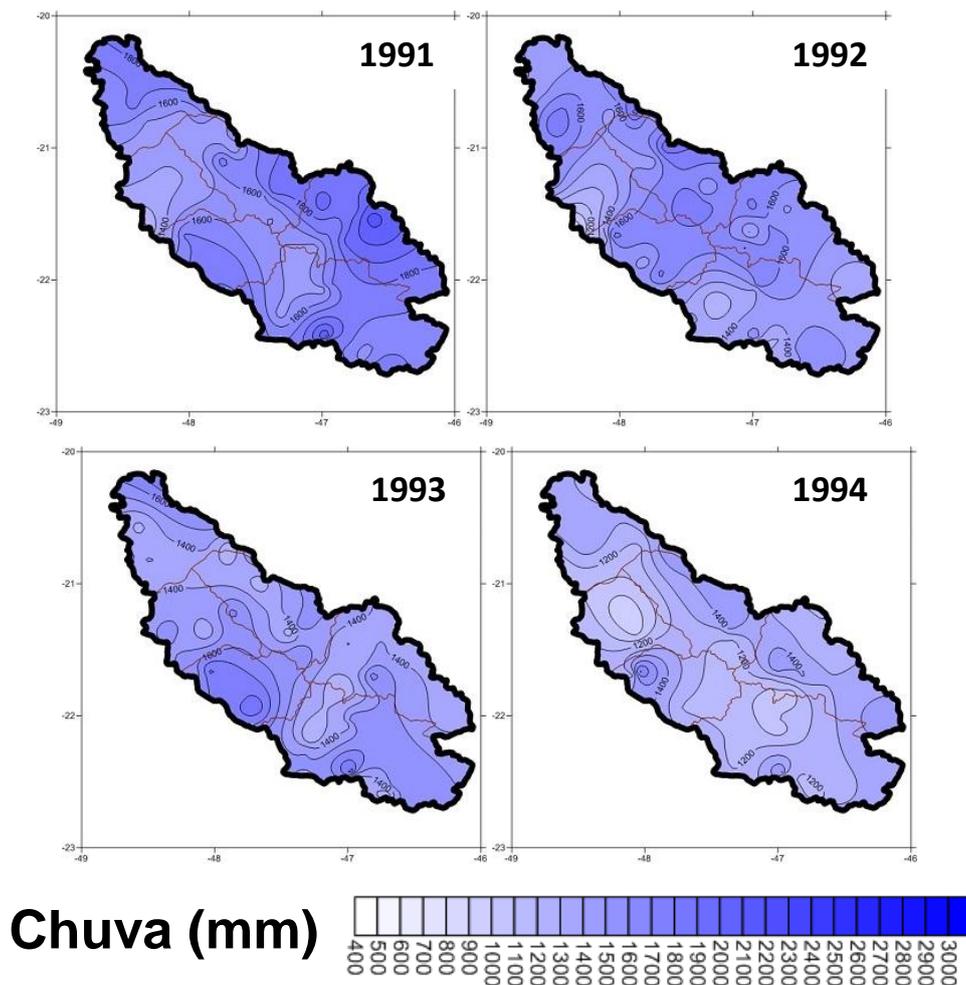


Figura 6d - Distribuição das chuvas anuais na bacia do Pardo (1967 – 1994).
Elaboração: FONTÃO, Pedro Augusto Breda.

A análise da distribuição temporal-espacial das chuvas anuais, a princípio, torna evidente a concentração do volume das chuvas nas porções de maior elevação do relevo, em específico próximo a porção leste/nordeste da bacia, nos contrafortes da Mantiqueira. Os maiores volumes de chuva foram observados à nordeste dos setores Médio e Alto Pardo e leste do Alto Mogi e, ainda, na porção meridional do Médio Mogi, junto ao relevo mais acidentado, conhecido geomorfologicamente como relevo de Cuestas.

Duas áreas se destacam pelo predomínio de um menor volume de chuvas ao longo do tempo, em relação ao seu entorno, advindas de regiões meridionais da área de estudo. Uma das porções em destaque é a área mais rebaixada do Alto Mogi, a oeste de seu compartimento, com relevo aplainado característico da Depressão Periférica paulista. A outra área em evidência fica na região do Planalto Ocidental, a oeste do Baixo Mogi e Baixo Pardo, responsáveis por, em várias das cartas

analisadas, apresentar o menor volume anual precipitado.

O ano mais chuvoso da série foi 1983, e apresentou volumes elevados de chuva distribuídos ao longo de toda a área, que superaram a casa dos 2.000 mm para todos os compartimentos da bacia. Neste ano, os volumes totais de chuva superaram os 2.700 mm nos compartimentos Alto e Médio Pardo. Ainda, os anos de 1976 e 1982 também apresentaram volumes de chuva elevados, porém não tão bem distribuídos quando o ano de 1983.

Destacou-se como o mais seco de toda a série o ano de 1968, tendo em vista os valores de chuva mais baixos em relação aos demais distribuídos em todos os compartimentos, com a ocorrência de valores inferiores a 900 mm em ambas as regiões da bacia. Os anos de 1969 e 1984 também resultaram em volumes de chuva reduzidos, todavia não tão evidentes quando o ano de 1968.

Considerações finais

O procedimento de regionalização adotado, através da adoção de critérios geográficos, possibilitou auxiliar na interpretação da distribuição das chuvas na bacia do Pardo. Verificou-se de maneira empírica os setores Médio Mogi, Baixo Mogi e Baixo Pardo, ao longo da distribuição temporal da precipitação, como nitidamente distintos do ponto de vista da pluviosidade. O setor baixo Pardo apresentou, a noroeste, uma menor concentração dos volumes de chuva, entretanto, na porção de maior elevação do relevo (leste), concentrou-se uma maior precipitação. Ainda, os setores Alto Pardo e Mogi apresentaram uma maior precipitação na porção leste/nordeste, entretanto foi nitidamente distinta da porção oeste, que devido a um relevo mais aplainado, resultou em menores volumes de chuva.

É importante ressaltar que tais resultados foram obtidos a partir do emprego de volumes totais anuais. Deste ponto de partida, será verificado o comportamento das chuvas através de outras escalas de análise, como a sazonal, mensal e diária. Em específico a diária, pretende-se investiga-la do ponto de vista da Análise Rítmica (MONTEIRO, 1971), ou seja, associar tais dados a outros elementos climáticos e meteorológicos, buscando a identificação dos sistemas atmosféricos atuantes e as “sequências rítmicas”, permitindo revelar a gênese dos fenômenos climáticos.

Para tanto os resultados da pesquisa, até o momento, serão utilizados para o procedimento de escolha de “anos-padrão”, ou seja, períodos temporais representativos do padrão habitual e excepcional das chuvas na bacia. A aplicação da

Análise Rítmica nestes anos representativos será capaz de oferecer parâmetros válidos à consideração de diferentes e variados problemas geográficos na região, caso das cheias, das estiagens, os movimentos rápidos do solo, além de outros.

Financiamento

Este estudo foi desenvolvido com apoio da “Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Níveis Superior” (CAPES), e conta com auxílio financeiro, através de uma bolsa de mestrado, desde Outubro de 2012. O apoio da referida instituição torna possível o desenvolvimento e a continuidade desta pesquisa.

Referências Bibliográficas

AMARAL, Adriano Araujo do. **As Chuvas e a Erosividade na bacia hidrográfica do rio Jordão – PR**.2012.Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, campus de Rio Claro. p. 1-156.

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

BOIN, Marcos Norberto. **Chuvas e Erosões no Oeste Paulista**: uma análise climatológica aplicada. 2000. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, campus de Rio Claro. p. 1-254.

CBH-MOGI. COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOGI GUAÇU. **Plano da Bacia 2008-2011**. Pirassununga: FMPFM e GEOSYSTEC, 2008.

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.

GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da (Org.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

FLORES, Edilson Ferreira. **Modelagem em climatologia geográfica**: um ensaio metodológico aplicado ao Oeste Paulista. 2000. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, campus de Rio Claro. p. 1-237.

MIRANDA, Evaristo Eduardo de (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 19 mar. 2013.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. A análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. **Climatologia**, São Paulo: Universidade de São Paulo/Instituto de Geografia, n. 01, p. 01-21. 1971.

SORRE, Maximilien. Le climat et l'homme. In: SORRE, Maximilien. **Les Fondements de la Géographie Humaine**. Paris: Librairie Armand Colin, 1951. Chap. 5. p.13-43.

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.

ZAVATINI, João Afonso. **Variações do Ritmo Pluvial no Oeste de São Paulo e no Norte do Paraná**: eixo Araçatuba-Presidente Prudente-Londrina. 1983. Dissertação (Mestrado em Geografia). USP, São Paulo, 1983. p. 1-225.

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.

Recebido em: 14/03/2014

Aceito para publicação em: 12/05/2014