ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Variabilidade das chuvas anuais na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e no Sistema Cantareira: classificação e frequência dos anos-padrão

Pedro Augusto Breda Fontão¹, João Afonso Zavattini²

¹ Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (IGCE/UNESP) - Rio Claro-SP. Autor correspondente: E-mail: pedrofontao@yahoo.com.br.

² Professor Adjunto no Departamento de Geografia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (IGCE/UNESP) - Rio Claro-SP; E-mail: zavattini@rc.unesp.br

Artigo recebido em 26/02/2018 e aceito em 24/01/2019

RESUMO

Trata-se de um estudo que busca, através de uma pesquisa avaliando a variabilidade das precipitações anuais, estabelecer anos-padrão habituais e extremos (secos e chuvosos) das chuvas na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), maior aglomerado urbano do hemisfério sul do planeta, e no Sistema Cantareira, principal sistema de abastecimento urbano de água da metrópole paulista. Identificar os anos-padrão, principalmente os períodos extremos, contribui para discernir períodos de irregularidades na circulação atmosférica, tornando possível prosseguir numa análise mais detalhada do ritmo pluvial. Para tanto, foram utilizados dados pluviométricos da série histórica de 1985 a 2014. Após a coleta, organização e mapeamento dos dados, foram aplicados o método da fórmula de Sturges para atribuir intervalos de classes representativos do volume das chuvas e o método de interpolação geoestatística da krigagem ordinária para mapear as classes. A partir dos resultados obtidos, foram realizadas análises a respeito da variabilidade temporal e espacial das precipitações, tornando possível, para ambas as regiões, classificar cada um dos 30 anos do período como ano-padrão: seco, tendente a seco, habitual, tendente a chuvoso ou chuvoso. Vale destacar a existência de alguns anos com o padrão dissemelhante entre a RMSP e o Sistema Cantareira, resultando em possíveis impactos nas atividades humanas. Palavras-chave: precipitação, variabilidade climática, fórmula de Sturges, abastecimento de água, Climatologia.

Variability of annual rainfall in São Paulo Metropolitan Region (RMSP) and Cantareira System: classification and frequency of the standard-years

ABSTRACT

This study aims to establish standard-years and extreme-years of rainfall (wet and dry) through a research evaluating the variability of the annual precipitations in the Metropolitan Region of São Paulo (MRSP), the largest urban cluster in the southern hemisphere of the planet, and in the Cantareira System, main system of urban water supply of the metropolis of São Paulo. Identifying 'standard-years', especially extreme periods, contributes to discern periods of irregularities in the atmospheric circulation, making it possible to proceed with a more detailed analysis of the rainfall rhythm. Therefore, rainfall data from the historical serie from 1985 to 2014 were used. After collecting, organizing and mapping the data, the method of Sturge's formula was applied to assign the ranges of data representing the volume of rainfall and the method of geostatistical interpolation of ordinary kriging was applied to map the data. From the results obtained, analyzes were carried out on the temporal and spatial variability of the precipitations, making it possible, for both regions, to classify each of the 30 years of the period as: dry, tending to dry, habitual, tending to rainy or rainy. It stands out the existence of some years with the dissimilar pattern between the MRSP and the Cantareira System, resulting in possible impacts on human activities.

Keywords: precipitation, climate variability, Sturge's formula, water supply, Climatology.

Introdução

A identificação de padrões e a classificação de períodos representativos em uma série autêntica de dados trata-se de um problema antigo, e amplamente discutido no meio científico. No caso da Geografia, tal questão torna-se ainda mais

complexa, tendo em vista que a ciência aborda a relação entre os seres humanos e as variáveis ambientais do planeta, através da sua organização espacial, estruturação, funcionamento e dinâmica. Para tanto, as análises geográficas acabam

abrangendo critérios que, em alguns casos, é provido de certa subjetividade no processo de escolha e frequentemente encontram dificuldades de estabelecer um parâmetro para algo proveniente de comportamentos amplamente variáveis.

Partindo desses pressupostos, as pesquisas de base geográfica no ramo da Climatologia tendem a considerar tais preceitos, observando sempre a complexidade das variabilidades climáticas na tentativa de estabelecer algum padrão. É nesse contexto que Lorenz (1996), contrariando o pensamento newtoniano da previsibilidade determinista de sua época (Christofolletti, 2007; Gleick, 2011), demonstra o comportamento caótico que ocorre em sistemas dinâmicos e não-lineares, como é o caso das variáveis atmosféricas. Tais aleatoriedades, apesar das grandes distorções provocadas em um sistema caótico como a atmosfera (Lorenz e Haman, 1996), apresentam certa ordem e regularidade, que podem ser analisadas através de diversas abordagens científicas e gerar resultados amplamente aplicáveis para fins de planejamento.

No território brasileiro, as chuvas despontam como elemento meteorológico que melhor representa a diversidade climática num país de características continentais e tropicais (Nimer, 1989), sendo dotada de ampla variabilidade e irregularidade, tanto em nível espacial quanto temporal. Tendo em vista isso, Monteiro (1973) introduziu ao conceito de ano-padrão, com o intuito de selecionar anos (ou períodos) representativos do ritmo habitual ou excepcional dos elementos climáticos, aplicando inicialmente suas análises para anos-padrão habituais e extremos (secos ou chuvosos) em termos de precipitação.

A identificação e o reconhecimento dos anos-padrão, desde as primeiras publicações de Monteiro (1971; 1973), apresentou um aprimoramento metodológico ao longo do tempo, com o intuito de estabelecer critérios mais objetivos para sua escolha. Dentre eles, atribui-se ao artigo publicado por Tavares (1976) a sistematização da técnica de agrupamento (cluster), pelo método da análise hierárquica por pares recíprocos para a construção das árvores de ligação (dendogramas), baseado em parâmetros propostos por Johnston (1968) e Diniz (1971). Outros procedimentos eclodiram ao longo da final do século XX e início do século XXI, como é o caso da análise do desvio padrão (Sant'Anna Neto, 1995; Buffon e Binda, 2014), distribuição por quartis, agregado posteriormente ao modelo Boxplot (Galvani e Luchiari, 2012; Schneider e Silva, 2014) e, recentemente, utilizando-se da fórmula de Sturges para propor um número ideal de classes (Zandonadi, 2009; Fontão, 2014).

Apesar dos recentes avanços, deve-se ressaltar que o intuito original de estabelecer os anos-padrão (ou períodos-padrão) é de identificar períodos ideais para prosseguir num tratamento dinâmico e mais aprofundado dos sistemas atmosféricos em nível diário, através do paradigma da análise rítmica em Climatologia (Monteiro, 1971; 2015). A respeito disso, Monteiro (1991, p. 39) expressa que:

A estratégia de projeção temporal foi feita a base da escolha de 'anos padrão' que representassem os diferentes graus de proximidade do ritmo 'habitual' ao lado daqueles afetados por irregularidades na circulação a modo de prever acidentes e impactos nas atividades humanas.

As precipitações, especialmente aquelas excepcionais, de repercussão intensa e para as quais a população residente em áreas afetadas não se encontra devidamente preparada, acaba tendo seus efeitos ampliados para outras esferas geográficas, sejam elas voltadas ao meio urbano ou rural, dotadas de dinamismo próprio como é o caso, por exemplo, do planejamento e gerenciamento de recursos hídricos direcionados ao abastecimento urbano e geração de energia elétrica (Setti et al., 2001). Estudos voltados à essas problemáticas tem o potencial de contribuir para um melhor aproveitamento desses recursos, tecendo contribuições à uma nova cultura de gestão da água (Agudo, 2008; Hespanhol, 2008).

No Brasil, a distribuição das chuvas, inerente ao ritmo pluvial, torna-se um fator relevante para o planejamento, tendo em vista que no território existem tanto regiões bem drenadas o ano todo quanto outras de elevada irregularidade pluvial e déficit hídrico. Entretanto, apesar desta característica, no geral quase a totalidade dos principais aglomerados urbanos nacionais "necessita de investimentos para a oferta de água, incluindo o aproveitamento de novos mananciais ou a adequação dos sistemas produtores" (ANA, 2010, p. 58). Nesse sentido, Tucci (2008) ao analisar as águas urbanas, aponta e elenca uma série de problemas enfrentados por estes aglomerados, pois o crescimento destas áreas impermeabilizadas pode contribuir para a perda da qualidade e aproveitamento da água pluvial.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2006, p. 65), paralelamente ao crescimento dessas áreas impermeabilizadas durante a expansão das cidades, "ocorre um adensamento da população e o consequente aumento da demanda por água potável, o que torna o abastecimento preocupante". Nesse ponto de vista, ao observar a demanda crescente de grandes volumes de água para o abastecimento e o

decorrente aumento do lançamento de efluentes, que contribui para a poluição de rios e represas em nível regional, Camargo e Pereira (2003, p.55) afirmam que quando a qualidade das águas é baixa a estação de tratamento “não tem capacidade para torná-la potável, assim há necessidade de buscar este recurso em outro local. Pode-se concluir que a poluição também promove a escassez do recurso hídrico”.

Dentro desta perspectiva, a presente pesquisa considera a importância dos anos-padrão para o prosseguimento de investigações no âmbito da “escola brasileira de Climatologia Geográfica” (Zavattini, 2004), tornando possível análises mais detalhadas que poderão contribuir para um melhor planejamento e gestão dos recursos hídricos em nível regional. Dessa maneira, pretende-se através da aplicação do método da fórmula de Sturges e do mapeamento geoestatístico, encontrar anos representativos do padrão rítmico habitual e excepcional (chuvosos e secos), para que a dinâmica atmosférica neles atuantes pudesse ser

estudada em detalhe na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e no Sistema Cantareira, sendo a RMSP o maior aglomerado urbano do hemisfério sul do planeta, e o Sistema Cantareira o principal sistema de abastecimento urbano da metrópole paulista.

Área de Estudo: a RMSP e o Sistema Cantareira

No que diz respeito ao universo de estudo, deve-se levar em conta toda a extensão político-administrativa da RMSP e as bacias hidrográficas integrantes do Sistema Cantareira que, sobrepostas as duas áreas, possuem a extensão total de 9.941,2 Km². A Figura 1 ilustra a localização de ambas as regiões e, na mesma imagem, revela a hidrografia principal e os limites hidrográficos das Unidades de Planejamento Hídrico (UPH), divisões de bacias hidrográficas para planejamento e gestão desses recursos adotada pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2010).

Figura 1. Localização da RMSP e do Sistema Cantareira.

A RMSP insere-se à leste do estado de São Paulo e apresenta uma população estimada superior a 21 milhões de habitantes, dos quais cerca de 12 milhões pertencentes à capital São Paulo-SP (EMPLASA, 2018), e contempla um total de 39 municípios, sendo 35 deles inseridos total ou parcialmente na bacia hidrográfica do Alto Tietê. Todavia, embora a área externa da RMSP à bacia do Alto Tietê seja relativamente grande, suas populações em conjunto correspondem a cerca de 0,5% do total de habitantes metropolitanos. Por conseguinte, 99,5% da população da RMSP estão

localizados na área da bacia do Alto Tietê (FUSP, 2009).

Na figura, ainda é possível notar que o Sistema Cantareira se localiza ao norte da RMSP, sendo a maior parte da sua área situada na bacia dos rios Piracicaba-Capivari-Jundiaí (PCJ), fora dos limites da metrópole. No caso, o Sistema Cantareira possui um total de seis reservatórios, integrados por meio de túneis ou bombeamento e regularizados através de barragens, sendo cinco delas na região das nascentes da bacia do PCJ e um na bacia do Alto Tietê.

Desse modo, as águas que abastecem cerca de metade da RMSP através do Sistema Cantareira derivam de uma região hidrográfica distinta da metrópole, sendo 45% da área de drenagem do sistema inserida no estado de Minas Gerais. Monteiro (1973), em seu estudo “A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo”, aponta para a existência de uma faixa de transição móvel dividindo o estado de São Paulo em duas porções e que, devido ao dinamismo atmosférico, definem-se dois grandes grupos climáticos distintos. No caso, a RMSP insere-se na bacia paulistana ao sul dessa faixa, dotada de maior influência de massas polares em relação ao Sistema Cantareira, localizado nos contrafortes da serra da Mantiqueira ao norte da faixa de transição climática.

Dentro desta perspectiva, um assunto intimamente relacionado à dinâmica atmosférica ganhou grande repercussão na área de estudo durante o triênio 2013-2015, desencadeado por um longo período de baixa precipitação e que repercutiu numa “crise hídrica” no sudeste brasileiro, em específico no estado de São Paulo (Custódio, 2015). Em virtude da intensa urbanização, a RMSP apresentou um quadro próximo de exaustão dos mananciais, em especial no Sistema Cantareira. Levando em conta as repercussões dessa crise, e considerando-se a necessidade de compreender a gênese e a distribuição temporal e espacial das chuvas nessas

distintas regiões, possíveis de repercutir em anos extremos de precipitação elevada ou episódios de secas meteorológicas (Wilhite, 2000), a investigação prossegue no intuito de identificar e estabelecer os anos-padrão para a área.

Material e Métodos

A primeira etapa da pesquisa consiste no levantamento, compilação e organização dos postos pluviométricos existentes na área de estudo, assim como a coleta e análise dos dados de precipitação. Para tanto, utilizou-se o elenco *Hidroweb*, da Agência Nacional de Águas (ANA), e o banco de dados de pluviometria do Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo (DAEE).

A escolha dos dados a serem utilizados buscou compreender uma longa e ininterrupta série histórica de pluviometria e uma boa cobertura de postos distribuídos ao longo da RMSP e do Sistema Cantareira. Dessa forma, utilizando-se de procedimentos já consagrados no âmbito da Climatologia Geográfica brasileira (Zavattini e Boin, 2013; Fontão, 2014), foi possível elencar uma série recente de 30 anos de dados em sequência, compreendida entre 1985 e 2014, e abrangendo 19 postos que foram selecionados para o prosseguimento deste estudo. A Figura 2 localiza os postos no mapa e descreve os dados na tabela.

Figura 2. Postos pluviométricos selecionados na área de estudo e entorno.

Primeiramente, deve-se ressaltar que os postos 1, 4, 5 e 7, apesar de encontrarem-se fora dos limites da área de estudo, auxiliam na

interpolação geoestatística abrangendo áreas com menor densidade de postos. Assim, contando com 19 postos e um período de 30 anos, obteve-se uma

planilha com todo o elenco de dados de precipitação anual. Isto posto, aplicou-se a fórmula de Sturges (1926; Gerardi e Silva, 1981; Fontão, 2014) com o intuito de determinar os intervalos de classe, através da seguinte expressão, sendo K = número de classes e n = número total de observações:

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

Silva (1980) aponta a fórmula de Sturges como ideal para prescrever um número razoável de classes para fins de mapeamento, assim como Scott (2009) sugere que é amplamente utilizada na atualidade para a construção de histogramas. A amplitude total do elenco de dados irá sugerir quantitativamente o intervalo das classes resultantes e, de modo qualitativo, adotam-se termos e cores para classificar cada um dos anos conforme os intervalos em milímetros (chuvosos, tendente a chuvoso, habitual, tendente a seco e secos) e os conhecimentos prévios sobre as chuvas na área de estudo (Monteiro, 1973; Sant'Anna Neto, 1995; Tarifa e Azevedo, 2001).

O mapeamento das classes resultantes foi feito através do método de interpolação geoestatística da krigagem ordinária (ordinary kriging), por meio do *software* Golden Surfer 14. Optou-se por esse método pois permite a continuidade do fenômeno no espaço, inclusive através de lacunas entre os pontos de amostragem (Flores, 2000). Mesmo em estudos recentes, tal método apresenta grande eficiência por apresentar linhas de isoietas mais suavizadas (Lucas et. al., 2013) e melhor desempenho através de estudos comparativos envolvendo parâmetros de validação de modelos geoestatísticos (Viola et. al., 2010; Mello e Oliveira, 2016).

A classificação dos anos-padrão foi realizada através de uma análise empírica e qualitativa dos resultados, com destaque para a avaliação da influência e predomínio de classes chuvosas, secas ou habituais nos mapas de interpolação anuais sobre cada uma das regiões em questão. Nesse procedimento, observou-se a frequência dos intervalos de classe do padrão pluvial habitual e das categorias tendentes e extremas para categorizar cada um dos anos da série, caracterizando-os conforme a influência e maior presença de determinadas classes no interior da área de estudo, distinguindo-se nessa etapa os limites da RMSP e do Sistema Cantareira.

A organização, tratamento dos dados em planilhas, elaboração do histograma de frequência

e outros materiais necessários para a realização dessa pesquisa foram realizados por meio do *software* Microsoft Excel 2016. Os ajustes finais nas figuras foram feitos por meio do *software* CorelDRAW Graphics Suite X7, da Corel Corporation.

Resultados e Discussão

Tendo como base os 19 postos pluviométricos selecionados e a série ininterrupta de 30 anos de dados, compreendida entre o período de 1985 a 2014, obteve-se um número total 570 observações da precipitação em nível anual. Os dados foram elencados em ordem crescente de grandeza, resultando em uma amplitude de 1512,5 mm, sendo a máxima de 2326,3 mm e a mínima de 813,8 mm.

A aplicação da técnica da fórmula de Sturges para o número total de observações sugeriu, de maneira aproximada, um total de dez classes resultantes. Em relação ao intervalo de classes, o valor estabelecido foi de 151,2 mm para cada trecho, calculados a partir da amplitude total dos dados dividido pelo número de classes, e efetuaram-se ajustes empíricos necessários para arredondar os valores da última classe.

Os dados de precipitação anual foram elencados e agrupados em dez classes representativas. A partir do conhecimento regional prévio da área em relação à variabilidade do volume de chuvas anuais, e do número total de dados concentrados em cada classe, realizou-se uma classificação empírica das categorias por meio de cores representativas e adotando-se expressões relativas aos volumes de chuva habituais e extremos. A Figura 3 ilustra o histograma de frequência dos dados e os respectivos intervalos de classe, classificação e cores atribuídas.

A distribuição observada no histograma de frequência evidenciou um valor de 52,7% dos dados compreendidos nas duas classes incluídas entre os volumes de 1267,7 e 1570,2 mm. Tais classes receberam colorações de tonalidade esverdeadas e foram classificadas como habituais, respeitando-se resultados de estudos anteriores para a atribuição dessa denominação. Os volumes de chuva inferiores às classes habituais foram elencados em classes secas ou tendente a seca, enquanto os volumes superiores foram categorizados em classes tendente a chuvosa e efetivamente chuvosas em nível anual.

Figura 3. Intervalos de classe e histograma de frequência dos dados.

Tendo em vista as características geográficas da área de estudo, e com a finalidade de observar a distribuição das classes atribuídas nessa pesquisa em nível espacial e temporal, gerou-se mapas de distribuição da precipitação (isoietas) para todos os anos da série de dados, distinguindo por meio de cores a ocorrência dos intervalos de classe sugeridos. A Figura 4 exibe os mapas resultantes da interpolação geoestatística desses valores.

Uma avaliação preliminar dos cartogramas sugere uma grande variabilidade das chuvas anuais a nível regional, resultando na ocorrência de diversas classes (habituais e extremas) em um mesmo mapa. Do mesmo modo, torna possível uma comparação entre as precipitações ocorridas na RMSP e no Sistema Cantareira, tanto no mesmo ano quanto ao longo do tempo.

Analisando-se qualitativamente a distribuição das classes de precipitação por toda a extensão da área de estudo, destacam-se alguns anos extremos em evidência. O ano de 2009 distinguiu-se como o mais chuvoso da série, tanto na RMSP quanto no Sistema Cantareira. Já o ano de 2014 foi atribuído como o mais seco do período, principalmente na porção norte onde encontra-se o Sistema Cantareira.

Dessa forma, apoiando-se numa investigação qualitativa dos mapas, foi realizada a identificação e escolha dos anos-padrão baseando-se na distribuição, participação e predomínio de determinadas classes de precipitação na RMSP e no Sistema Cantareira. Como resultado desse procedimento, a Figura 5 propõe a síntese da classificação dos anos-padrão na série de 1985-

2014, para as duas regiões em destaque (RMSP e Sistema Cantareira).

No geral, a síntese do comportamento do ritmo pluvial anual revela uma maior frequência de anos que foram considerados habituais. Tal predomínio de anos-padrão habituais ocorre justamente pela sua própria natureza conceitual, sinônimo de algo usual e mais frequente, no qual a dinâmica atmosférica do período resultou em um volume de chuvas normalmente esperado pela população residente, mesmo em uma região de caráter transicional como é o caso do estado de São Paulo.

O procedimento aplicado também resultou na identificação de anos tendentes à secos e tendentes à chuvosos, sendo oito no total para ambas as localidades. Os volumes de precipitação desses anos apresentaram diferenças evidentes em relação ao padrão habitual, e possivelmente podem ter causado alguns transtornos principalmente quando antecedem anos extremos como, por exemplo, os anos de 2002 e 2013, tendentes à seco e que eventualmente contribuíram para elevar os impactos dos anos secos de 2003 e 2014 no Sistema Cantareira.

Em relação aos anos representativos do padrão excepcional, verificou-se ao longo das três décadas a ocorrência simultânea nas duas localidades em: 2003 e 2014, classificados como anos-padrão secos e 1996 e 2009, atribuídos como chuvosos. De maneira individual, apontou-se o ano de 1985 como seco e os períodos de 1991 e 2010 como chuvosos na RMSP, enquanto o ano de 1988 e 1995 revelaram-se chuvosos no Sistema Cantareira.

(a)

(b)

(c)

Figura 4. Mapas de distribuição de classes para os anos: (a) 1985-1996, (b) 1997-2008 e (c) 2009-2014.

Classificação dos anos padrão para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)																																
Ano	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	Total	
Seco	X																		X											X	3	
Tend. a Seco										X					X			X														3
Habitual					X	X		X	X				X	X		X	X			X	X	X	X	X			X		X		15	
Tend. a Chuv.		X	X	X							X																	X			5	
Chuvoso							X					X													X	X					4	

Classificação dos anos padrão para o Sistema Cantareira																																
Ano	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	Total	
Seco																			X											X	2	
Tend. a Seco	X					X												X											X		4	
Habitual			X		X			X	X	X			X	X	X	X	X			X	X	X	X			X		X			16	
Tend. a Chuv.		X					X																	X			X				4	
Chuvoso				X							X	X													X						4	

Legenda	Símbolo representativo para a síntese de cada ano-padrão:	X	Seco	X	Habitual	X	Chuvoso
		X	Tendente a seco	X	Tendente a chuvoso		

Figura 5. Síntese do comportamento anual das chuvas (anos-padrão) para a RMSP e o Sistema Cantareira.

As diferenças evidentes em termos de precipitação anual nas duas regiões relativamente próximas revelam uma nítida distinção entre ambas à nível espacial. Tais resultados apontam para duas realidades climáticas particulares e que, apesar de volumes anuais de chuva próximos na maior parte dos anos, diferenciam-se através de eventos extremos. Ressalta-se que Monteiro (1973), desde seu estudo clássico baseado na dinâmica atmosférica e nas contribuições de Strahler (1951), já indicava a existência de uma faixa climática transicional na porção setentrional da RMSP, que atravessa o estado de São Paulo e inflete pelo Mato Grosso do Sul (Zavattini, 2009).

Em nível urbano, Tarifa e Armani (2000) apontam para diferentes unidades climáticas entre a área amplamente urbanizada da bacia sedimentar de São Paulo e as localidades inseridas ao norte da Serra da Cantareira, dotadas de relevo diferenciado e já fora dos limites hidrográficos da bacia do Tietê. Além das diferenças geográficas, Nobre e Young (2011) e Dias et. al. (2013) indicam a influência das "ilhas de calor" no aumento da intensidade das chuvas sobre a área urbana da RMSP.

Apesar das tendências climáticas recentes discutidas no parágrafo anterior, os sistemas frontais notadamente ainda despontam como responsáveis pela maior parte das chuvas volumosas e bem distribuídas na região e, embora existam variações na frequência mensal, três frentes, em média, chegam à RMSP no mês (Moraes et al., 2010). Nessa perspectiva, é nítida a influência da topografia no deslocamento dos sistemas atmosféricos sobre o complexo serrano da Cantareira (Rodrigues e Villela, 2016), e consequentemente sobre a região dos mananciais de abastecimento urbano inseridos ao norte da RMSP.

Os anos considerados habituais aproximam-se do volume de chuvas esperado, no qual a população residente encontra-se acostumada. Todavia, os anos extremos, como é o caso dos períodos chuvosos de 1996 e 2009, apesar de contribuírem vigorosamente para elevar o nível dos mananciais próximos à RMSP, tendem a aumentar os riscos hidrometeorológicos e ocasionar um maior número de desastres como inundações e deslizamento de terra (Alves Filho e Ribeiro, 2006), servindo de alerta para o planejamento na região.

No caso do ano 2014, a classificação desse período como ano-padrão mais seco da série reforça a significância da 'crise hídrica' que assolou boa parte do sudeste brasileiro, e que contribuiu para falta d'água e exaustão dos mananciais para abastecimento urbano. A

identificação desses anos representativos torna possível análises comparativas entre anos-padrão secos na região como, por exemplo, o estudo de Fontão e Zavattini (2017).

Em termos gerais, o procedimento de classificação dos anos-padrão visa contribuir para a compreensão do comportamento pluviométrico habitual e excepcional, aplicando-se nesse estudo a análise das áreas da RMSP e do Sistema Cantareira. Todavia, deve-se ressaltar que existem outros métodos de classificação de anos-padrão além da técnica da fórmula de Sturges, contando inclusive com estudos que comparam tais procedimentos entre si, como é o caso das obras de Barrios e Hernández (1992), Zandonadi (2009), Silvestre et al. (2013), entre outras.

No entanto, embora existam diferenças pormenores entre os métodos de classificação o propósito permanece o mesmo, ressaltando-se que nesta pesquisa a interpolação e o mapeamento das classes mostrou-se adequada e colaborou para a classificação do comportamento pluvial, a exemplo de outros estudos que incluíram o critério espacial nesse tipo de análise (Zandonadi, 2009; Gomes et al., 2012; Fontão, 2014, entre outros).

Conclusão

Para o período compreendido entre 1985 e 2014, observou-se na RMSP a ocorrência de quinze anos-padrão habituais, oito com tendência à secos ou chuvosos e, de caráter excepcional, classificou-se os anos 1985, 2003 e 2014 como secos e 1991, 1996, 2009 e 2010 como chuvosos. No caso do Sistema Cantareira, foram verificados dezesseis anos-padrão habituais, oito anos tendentes e destacaram-se como extremos os anos secos de 2003 e 2014, e como chuvosos 1988, 1995, 1996 e 2009.

Os procedimentos aplicados para a identificação dos anos-padrão, através do método da fórmula de Sturges e da interpolação geoestatística das classes atribuídas, mostraram-se capazes de distinguir períodos de caráter habitual e excepcional em termos de volume de precipitação. Tais resultados auxiliam na apreensão de anos representativos do padrão rítmico das chuvas, propícios para direcionar posteriormente análises mais detalhadas em nível sazonal, mensal e diária do ritmo pluvial, e associá-las à episódios de repercussão na área de estudo, como por exemplo, a ocorrência de secas ou inundações.

Assim, na pretensão de avançar no conhecimento científico dessa área de estudo de ampla complexidade e relevância, os anos-padrão habituais e extremos propostos nessa análise

tenderão a representar a variabilidade interanual e o comportamento usual ou excepcional das chuvas, em períodos ideais para aplicação de metodologias específicas que visam avaliar a circulação atmosférica e a gênese do fenômeno pluvial em nível diário/horário, como é o caso da análise rítmica em Climatologia (Monteiro, 1971; 2015).

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (IGCE/UNESP) por permitir o uso dos laboratórios e equipamentos da instituição durante a realização do doutorado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 (abril de 2015 a setembro de 2017). Do mesmo modo, a pesquisa contou com apoio financeiro (bolsa de doutorado) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (outubro de 2017 a dezembro de 2018).

Referências

- Agudo, P.A., 2008. La Nueva Cultura del Agua del Siglo XXI. Sociedad Estatal Zaragoza Exoagua, Zaragoza, España.
- Alves Filho, A.P., Ribeiro, H., 2006. A percepção do caos urbano, as enchentes e as suas repercussões nas políticas públicas da região metropolitana de São Paulo. *Saúde e Sociedade* 15, 145-161.
- ANA. Agência Nacional de Águas, 2010. Atlas Brasil - Abastecimento Urbano de Água: panorama nacional. Engecorps/Cobrape e Agência Nacional de Águas, Brasília-DF.
- Barrios, N.A.Z., Hernández, M.C.M., 1992. Aplicação de técnicas para escolha de anos-padrão, com base de estudo dinâmico das chuvas no extremo oeste paulista. *Caderno Prudentino de Geografia* 14, 119-157.
- Buffon, E.M., Binda, A.L., 2014. 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* 13, 285-297.
- Camargo, A.F.M., Pereira, A.M.M., 2003. Qualidade da água em áreas urbanas, in: Braga, R., Carvalho, P.F. (Org.), Recursos Hídricos e Planejamento Urbano e Regional. Laboratório de Planejamento Municipal – DEPLAN – UNESP – IGCE, Rio Claro-SP, pp. 37-48.
- Christoforetti, A., 2007. Modelagem de Sistemas Ambientais, 3 ed., Editora Blücher, São Paulo-SP.
- Custódio, V., 2015. A crise hídrica na região metropolitana de São Paulo (2014-2015). *GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)* 19, 45-463.
- Dias, M.A.F.S., Dias, J., Carvalho, L.M.V., Freitas, E.D., Dias, P.L.S., 2013. Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. *Climatic Change* 116, 705-722.
- Diniz, J.A.F., 1971. Classificação de uma variável e sua aplicação na geografia. *Boletim de Geografia Teórica* 1, 25-39.
- Flores, E.F., 2000. Modelagem em Climatologia Geográfica: um ensaio metodológico aplicado ao oeste paulista. Tese (Doutorado). Rio Claro-SP, IGCE-UNESP.
- Fontão, P.A.B., 2014. Ritmo das Chuvas na Bacia do Pardo (SP/MG): reflexos na vazão dos rios Pardo e Mogi-Guaçu. Dissertação (Mestrado). Rio Claro-SP, IGCE-UNESP.
- Fontão, P.A.B., Zavattini, J.A., 2017. Tipos de tempo e ritmo pluvial na região metropolitana de São Paulo (RMSP): análise comparativa dos anos 2003 e 2014, in: Perez Filho, A., Amorim, R.R. (Org.), Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. IG-UNICAMP, Campinas-SP, pp. 2193-2204.
- FUSP. Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo, 2009. Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: Relatório Final. FUSP, São Paulo-SP.
- Galvani, E., Luchiari, A., 2012. Critérios para classificação de anos com regime pluviométrico normal, seco e úmido, in: Galvani, E., Lima, N.G.B. (Org.), Climatologia Aplicada: resgate aos estudos de caso. Editora CRV, Curitiba-PR, pp. 19-32.
- Gerardi, L.H.O., Silva, B-C.N., 1981. Quantificação em Geografia, 1 ed. Editora Difel, São Paulo-SP.
- Gleick, J., 2011. Chaos: making a new science, Open Road Media, New York, USA.
- Gomes, L.P.O., Silva, A.A.F., Souza, L.B., 2012. Notas sobre a seleção de anos-padrão para o estudo da gênese e da dinâmica climática no estado do Tocantins: aspectos metodológicos a

- partir da inclusão do critério espacial. *Revista Geonorte* 2, 628-641.
- Hespanhol, I., 2008. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. *Estudos Avançados* 22, 131-158.
- Johnston, R.J., 1968. Choice in Classification: the subjectivity of objective methods. *Annals of the Association of American Geographers* 58, 575-589.
- Lorenz, E.N., 1996. *A Essência do Caos*. Editora UNB, Brasília-DF.
- Lorenz, E.N., Haman, K., 1996. The essence of chaos. *Pure and Applied Geophysics* 147, 598-599.
- Lucas, T.P.B., Plec, D., Abreu, M.L., Parizzi, M.G., 2014. Identificação de interpoladores adequados a dados de chuva a partir de parâmetros estatísticos. *Revista Brasileira de Climatologia* 13, 7-21.
- Mello, Y.R., Oliveira, T.M.N., 2016. Análise estatística e geoestatística da precipitação média para o município de Joinville (SC). *Revista Brasileira de Meteorologia* 31, 229-239.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente, 2006. *Plano Nacional de Recursos Hídricos*. MMA e Secretaria de Recursos Hídricos de Brasília, Brasília – DF.
- Monteiro, C.A.F., 1971. A análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. *Climatologia* 1, 1-21.
- Monteiro, C.A.F., 1973. *A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo: estudo geográfico sob a forma de atlas*. USP/IG, São Paulo-SP.
- Monteiro, C.A.F., 1991. *Clima e Excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico*. UFSC, Florianópolis-SC.
- Monteiro, C.A.F. (Org.), 2015. *A Construção da Climatologia Geográfica no Brasil*, 1 ed. Editora Alínea, Campinas-SP.
- Morais, M.A., Castro, W.A.C., Tundisi, J.G., 2010. Climatologia de frentes frias sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e sua influência na limnologia dos reservatórios de abastecimento de água. *Revista Brasileira de Meteorologia* 25, 205-217.
- Nimer, E., 1989. *Climatologia do Brasil*. IBGE, Rio de Janeiro-RJ.
- Nobre, C., Young, A. (Eds.), 2011. *Vulnerabilidade das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo*. UNICAMP/INPE, São Paulo-SP.
- Rodrigues, C., Villela, F.N.J., 2015. Disponibilidade e escassez de água na Grande São Paulo: elementos-chave para se compreender a origem da atual crise de abastecimento. *GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)* 19, 399-421.
- Sant'Anna Neto, J.L., 1995. *As Chuvas no Estado de São Paulo: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica*. Tese (Doutorado). São Paulo-SP, USP/FFLCH.
- Schneider, H., Silva, C.A., 2014. O uso do modelo box plot na identificação de anos-padrão secos, chuvosos e habituais na microrregião de Dourados, Mato Grosso do Sul. *Revista do Departamento de Geografia* 27, 131-146.
- Scott, D.W., 2009. Sturges' rule. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics* 1, 303-306.
- Setti, A.A., Lima, J., Chaves, A.G.M., Pereira, I.C., 2001. *Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília-DF.
- Silva, B.-C.N., 1980. A propósito de uma técnica de seleção de intervalos de classe para fins de mapeamento. *Geografia* 5, 85-96.
- Silvestre, M.R., Sant'Anna Neto, J.L., Flores, E.F., 2013. Critérios estatísticos para definir anos padrão: uma contribuição à climatologia geográfica. *Revista Formação* 2, 23-53.
- EMPLASA. Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano, 2018. *Sobre a RMSP*. Disponível:<https://www.emplasa.sp.gov.br/RMSP/>. Acesso: 12 jan. 2018.
- Strahler, A.H., 1951. *Physical Geography*, 1 ed. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Sturges, H.A., 1926. The choice of a class interval. *Journal of the American Statistical Association* 21, 65-66.
- Tarifa, J.R., Armani, G., 2000. *Atlas Ambiental do Município de São Paulo: Unidades Climáticas Urbanas da Cidade de São Paulo*. SVMA/PMS e Secretaria de Planejamento–SEMPA/PMSP, São Paulo-SP.
- Tarifa, J.R., Azevedo, T.R. (Org.), 2001. *Climas na Cidade de São Paulo: teoria e pratica*. EdUSP, São Paulo-SP.

- Tavares, A.C., 1976. Critérios de escolha de anos padrões para análise rítmica. *Geografia* 1, 79-87.
- Tucci, C.E.M., 2008. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos Avançados* 22, 7-16.
- Viola, M.R., Mello, C.R., Pinto, D.B.F., Mello, J.M., Ávila, L.F., 2010. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi* 14 (9), 970-978.
- Wilhite, D.A., 2000. Drought as a Natural Hazard: concepts and definitions, in: Wilhite, D.A. (Org.), *Drought: A global assessment*. Routledge, London, UK, pp. 3-18.
- Zandonadi, L., 2009. As Chuvas na Bacia do Paraná: aspectos temporais, espaciais e rítmicos. Dissertação (Mestrado). Rio Claro-SP, IGCE-UNESP.
- Zavattini, J.A., 2004. *Estudos do Clima no Brasil*. Editora Alínea, Campinas-SP.
- Zavattini, J.A., 2009. As Chuvas e as Massas de Ar no Estado de Mato Grosso do Sul: estudo geográfico com vista à regionalização climática. Editora UNESP, São Paulo-SP.
- Zavattini, J.A., Boin, M.N., 2013. *Climatologia Geográfica: teoria e prática de pesquisa*. Editora Alínea, Campinas-SP.