



## ANÁLISE DO EFEITO OROGRÁFICO NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS CHUVAS NO MUNICÍPIO DE ITIRAPINA-SP

BRUNO CÉSAR DOS SANTOS<sup>1</sup>  
MAURICIO SANCHES DUARTE SILVA<sup>2</sup>  
ISABELA TAICI LOPES GONÇALVES HORTA<sup>3</sup>  
ADRIANO ROGÉRIO BRUNO TECH<sup>4</sup>

**Resumo:** A observação climatológica impõe, em sua interpretação espacial e temporal, elevada complexidade, o que se verifica junto ao fator escala de análise ou na heterogeneidade dos dados atmosféricos e presença de fatores climáticos. As chuvas expressam um dinamismo espacial e temporal, onde se destaca a influência da orografia e a dinâmica atmosférica regional. Para tanto, o objetivo desse estudo é avaliar e analisar a influência orográfica na distribuição espacial dos totais anuais pluviométricos em anos padrões (habitual, chuvoso e seco) no município de Itirapina-SP. Os resultados apontaram que a influência da orografia presente na área, pode contribuir na elevação dos totais pluviométricos anuais, principalmente ao sul, onde se encontra parte da Serra de Itaqueri.

**Palavras-chave:** Climatologia dinâmica, chuva orográfica, cuevas basálticas.

**Abstract:** Climatological studies imposes, high complexity in its spatial and temporal interpretation. It is verified with the different scale's analysis of the data, the heterogeneity of the data and the climatic factors. Rainfall expresses such spatial and temporal dynamism, the orography's influence and the regional atmosphere dynamic can be the reasons for this. Therefore, the objective of this study was to evaluate and analyze the orographic influence's in the spatial distribution of annual rainfall totals in standard years (usual, rainy and dry) in the municipality of Itirapina, Sao Paulo State, Brazil. The results showed that the influence of the Mountain Range of Itaqueri may contribute to the increase of annual rainfall, mainly in the south of Itirapina municipality.

**Keywords:** Dynamic climatology, orographic rainfall, basaltic slopes.

---

<sup>1</sup> Doutorando, Universidade de São Paulo, bruno-unifal@hotmail.com

<sup>2</sup> Doutorando, Universidade de São Paulo, mauriciosanches@usp.br

<sup>3</sup> Mestre, Universidade de São Paulo, isa.horta@usp.br

<sup>4</sup> Professor Associado, Universidade de São Paulo, adriano.tech@usp.br



## 1 - Introdução

A chuva é um processo de transformação físico-químico da água gerado pela dinâmica existente entre os oceanos, a atmosfera e o continente, tornando-se um dos elementos climáticos mais importantes para o desenvolvimento e perpetuação da vida. Ela apresenta diferentes configurações, com três tipos básicos; as frontais, as convectivas e as orográficas.

As chuvas frontais se formam a partir do contato de massas de ar quentes com frias, já as convectivas estão associadas às intensas correntes ascendentes se alocando nas células de convecções e, as orográficas quando uma massa de ar é forçada sob o relevo elevando-se e resfriando-se adiabaticamente, condensando e precipitando (STEINKE, 2012).

Segundo Conti (1975) a orografia não é fruto unicamente da relação da chuva com o relevo, mas resultado de uma interação dinâmica que considera além desses dois fatores, aqueles outros de caráter local.

Desta forma, vários mecanismos podem ser responsáveis no processo das chuvas orográficas, devido à interação do fluxo de ar perturbado pela orografia (altitude e declividade) em um determinado local.

### 1.1 - Objetivo

O presente estudo tem como objetivo avaliar e analisar a influência orográfica na distribuição espacial dos totais anuais pluviométricos em anos padrões (habitual, chuvoso e seco) no município de Itirapina-SP, no período de 1979 a 2014.

## 2 - Revisão Bibliográfica

No procedimento de formação das chuvas orográficas destacam-se três processos básicos da precipitação e intensificação orográfica: autoconversão, *seeder-feeder* e convecção disparada (BLANCO; MASSAMBANI, 2000). A autoconversão se desenvolve por meio da condensação, resultante da ascensão do ar pelas vertentes do relevo. O mecanismo *seeder-feeder* é a ocorrência de nuvens mais altas precipitando, tanto frontais quanto orográficas, sobre nuvens mais baixas mantidas pela ascensão de ar úmido, de forma a aumentar a colisão entre as gotas. E por último, a convecção disparada é decorrente da formação de nuvens *Cumulus*, pela parte da vertente que recebe mais radiação solar.

Nesse contexto, saber de onde e como os fatores orográficos influenciam as chuvas, assume grande importância, afinal, tais fatores podem aumentar ou amenizar a quantidade e intensidade de precipitação.



A região escolhida para o estudo localiza-se no centro-leste do Estado de São Paulo, o município de Itirapina apresenta índices pluviométricos ao longo do ano bem definidos pela sazonalidade.

A região apresenta duas morfoestruturas, divididas entre a Depressão Periférica Paulista e o Planalto Ocidental. Na transição dessas unidades geomorfológicas encontra-se a Serra de Itaqueri, onde seu compartimento dissimétrico formado constitui de uma vertente íngreme compondo uma feição geomorfológica chamada de relevo de Cuestas, apresentando altitudes de aproximadamente 900 metros (PINHEIRO; QUEIROZ NETO, 2014).

O conhecimento da dinâmica climática e a particularidades fisiográficas regionais são de extrema importância para o desenvolvimento econômico local também, uma vez que as interações desses fatores podem incrementar os valores pluviométricos e influenciar atividades agrícolas, turísticas, o abastecimento e geração de energia, por exemplo (CANDIDO; NUNES, 2008).

### 3 – Metodologia

No presente estudo foi utilizado o tratamento quantitativo dos dados diários de precipitação, disponíveis na plataforma *online Hidroweb*, pertencente a Agência Nacional de Águas (ANA). Os postos acessados e selecionados possuem poucas falhas e a mesma série temporal de 35 anos, de 1979 a 2014 (Tabela 1).

**Tabela 1:** Informações sobre os postos pluviométricos selecionados.

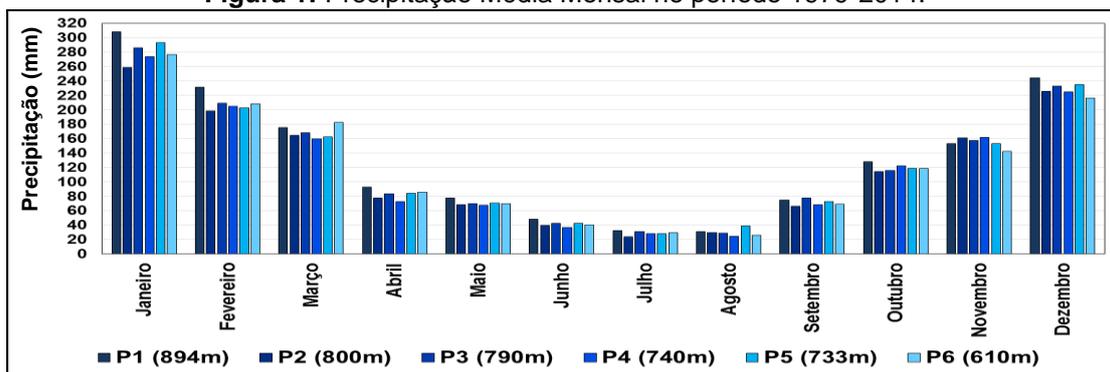
CÓDIGO DO POSTO	NOME DO POSTO	ÓRGÃO RESPONSÁVEL	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	SÉRIE TEMPORAL	FALHAS
2247184	Itaqueri da Serra (P1)	ANA	-22,34	-47,92	896m	1934-2016	Sim
2247198	Faz. Pequena Holanda (P2)	ANA	-22,18	-47,78	800m	1978-2016	Sim
2247180	Itirapina (P3)	ANA	-22,25	-47,83	754m	1977-2016	Sim
2247006	Visconde do Rio Claro (P4)	DAEE	-22,15	-47,8	749m	1934-2014	Sim
2247196	CRHEA-USP (P5)	USP	-22,17	-47,9	733m	1972-2017	Não
2247015	Graúna (P6)	DAEE	-22,3	-47,75	620m	1975-2015	Sim

**Fonte:** Adaptado da ANA (2017).

O clima na área de estudo tem seu território inserido nas zonas de atuação dinâmica das massas equatoriais, tropicais e polares, apresentando-se devido ao relevo e latitude como região de clima tropical de altitude. Entre os períodos sazonais, destacam-se o seco (outono-inverno) limitado pelos meses de abril a setembro e o chuvoso (primavera-verão) estabelecido entre outubro a março (Figura 1) (MONTEIRO, 1973).



Figura 1: Precipitação Média Mensal no período 1979-2014.

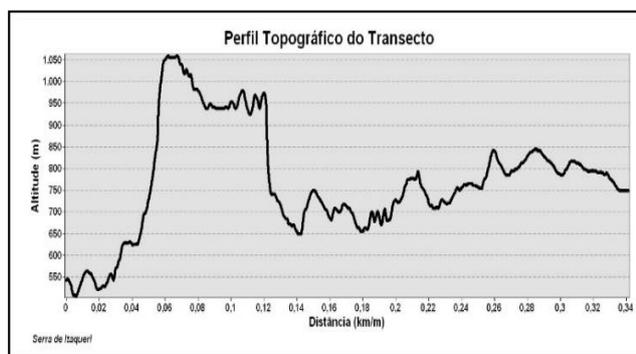
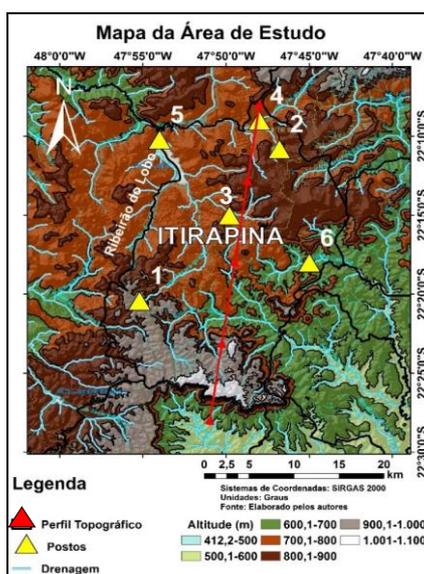


Fonte: Os Autores.

Conforme mencionado anteriormente, o aspecto geomorfológico (Figura 2) da área encontra-se na transição de duas morfoestruturas, o Planalto Ocidental, formada numa grande zona de relevo suave compostas por colinas, morros baixos e serras, com uma altitude média aproximadamente de 900m e a Depressão Periférica Paulista apresentando um relevo predominantemente colinoso e suave, além de morros e serras isoladas com níveis de aproximadamente 600m (ROSS; MOROZ, 1997; PINHEIRO; QUEIROZ NETO, 2014).

A área encontra-se inserida dentro da bacia do Jacaré-Guaçu, integrante da sub-bacia do sistema Paraná-Tietê. Entre os cursos d'água que fazem parte da bacia, nasce no alto da Serra de Itaqueri, o Ribeirão do Lobo, a uma altitude aproximada de 940 metros. Ao longo do seu trecho apresenta cotas variando entre 940 a 700 metros com declividade acentuadas na porção sudoeste da área. (VILLA, 2002).

Figura 2: Caracterização da área de estudo.



Fonte: Elaborados pelos autores.



Para a análise pluviométrica foi realizado um tratamento estatístico dos dados de maneira a extrair o máximo de informações na escala anual e mensal, otimizando a análise regional do estudo. Para o preenchimento de falhas dos dados de precipitação, foi aplicado o método da ponderação regional (TUCCI, 2001).

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

$$P_X = \frac{1}{3} \left( \frac{P_Z}{P_{Zm}} + \frac{P_Y}{P_{Ym}} + \frac{P_W}{P_{Wm}} \right) \cdot P_{Xm}, \quad (1)$$

Para análise a partir da série histórica (1979-2014), foi utilizado a metodologia dos “anos padrões”, que classifica e caracteriza o comportamento pluviométrico ao longo de uma série. Essa caracterização nos mostra os diferentes graus de proximidade do ritmo habitual em relação aqueles alterados por irregularidades na circulação atmosférica (MONTEIRO, 1991). Dessa forma, os padrões habituais e excepcionais, obtido pelo total pluviométrico médio anual e do desvio-padrão, estabelecem categorias qualitativas para o comportamento da precipitação na classificação dos anos extremos (Tabela 2).

**Tabela 2:** Classificação de Anos Padrões.

Classificação	Padrões Pluviométricos	Siglas	Desvio (+) ou (-) em %
Anos Secos	Extremamente Seco	(S)	< 30%
	Tendente a seco	(TS)	15 – 30 %
Anos Normais	Normal levemente tendente a seco	(NTS)	5 – 15%
	Normal	(N)	0 – 5%
	Normal levemente tendente a chuvoso	(NTC)	5 – 15%
Anos Chuvosos	Tendente a chuvoso	(TC)	15 – 30%
	Extremamente chuvoso	(C)	> 30%

Fonte: adaptado de SANT’ANA NETO (1995).

Por último, foi utilizado um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que possibilitou a interpolação das informações, por meio do método de IDW em português, (Interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância). Este método pode 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; FRANCISCO; SENNA, 2017).

Desta maneira foi possível verificar a distribuição espacial das chuvas e suas alterações (aumento ou redução) pluviométricas, ao longo do período.



#### 4 – Resultados

A Tabela 4 sintetiza a classificação anual da precipitação no período de 1979-2014 para os 6 postos selecionados. No total foram 216 classificações, variando entre as categorias normais (N, NTC e NTS), chuvosos (TC e C) e secos (TS e S).

**Tabela 4:** Ocorrência do número de classes.

CLASSES	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Porcentagem	Ordem de frequência
<b>C</b>	2x	3x	2x	3x	1x	1x	5,5%	6º
<b>TC</b>	5x	5x	3x	1x	6x	5x	11,5%	5º
<b>NTC</b>	5x	5x	5x	7x	5x	9x	16,6%	3º
<b>N</b>	7x	9x	13x	12x	6x	8x	25,4%	1º
<b>NTS</b>	11x	7x	7x	7x	11x	7x	23,1%	2º
<b>TS</b>	5x	4x	6x	3x	7x	3x	12,9%	4º
<b>S</b>	1x	3x	-	3x	-	3x	4,6%	7º
<b>TOTAL</b>	<b>216 Classificações</b>						<b>100%</b>	

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Dentre as 216 classificações, as tidas como normais (N, NTC e NTS) apresentaram aproximadamente 65,1% de ocorrência. Já o comportamento entre as classes excepcionais, das séries foram semelhantes, ou seja, os eventos chuvosos (TC e C) somaram 17% e os eventos secos (TS e S) 17,5%. Em relação às médias anuais das chuvas, a Figura 3(d) apresenta os postos selecionados em Itirapina, georreferenciado com cota altimétrica. Nota-se que em relação aos valores médios anuais (Tabela 5), o posto **P1** (sudoeste) foi o que apresentou maior valor (1597,8 mm) em seus totais pluviométricos.

**Tabela 5:** Valores da precipitação anual dos anos representativos no município de Itirapina.

POSTOS (ALTITUDE)	ANO REPRESENTATIVO	ANO REPRESENTATIVO	ANO REPRESENTATIVO	MÉDIA ANUAL (1979-2014)
	CHUVOSO (1983)	HABITUAL (2000)	SECO (2014)	
<b>P1 (894M)</b>	2629,3mm	1756,4mm	1218mm	<b>1597,8mm</b>
<b>P2 (800M)</b>	2169,3mm	1490,6mm	840,4mm	<b>1428,7mm</b>
<b>P3 (790M)</b>	2388,6mm	1454mm	1301,9mm	<b>1504,06mm</b>
<b>P4 (740M)</b>	2449,7mm	1479,7mm	955,3mm	<b>1445,4mm</b>
<b>P5 (733M)</b>	2487,3mm	1503,6mm	1111,9mm	<b>1501,9mm</b>
<b>P6 (610M)</b>	2193,7mm	1475,5mm	973,5mm	<b>1464,06mm</b>

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

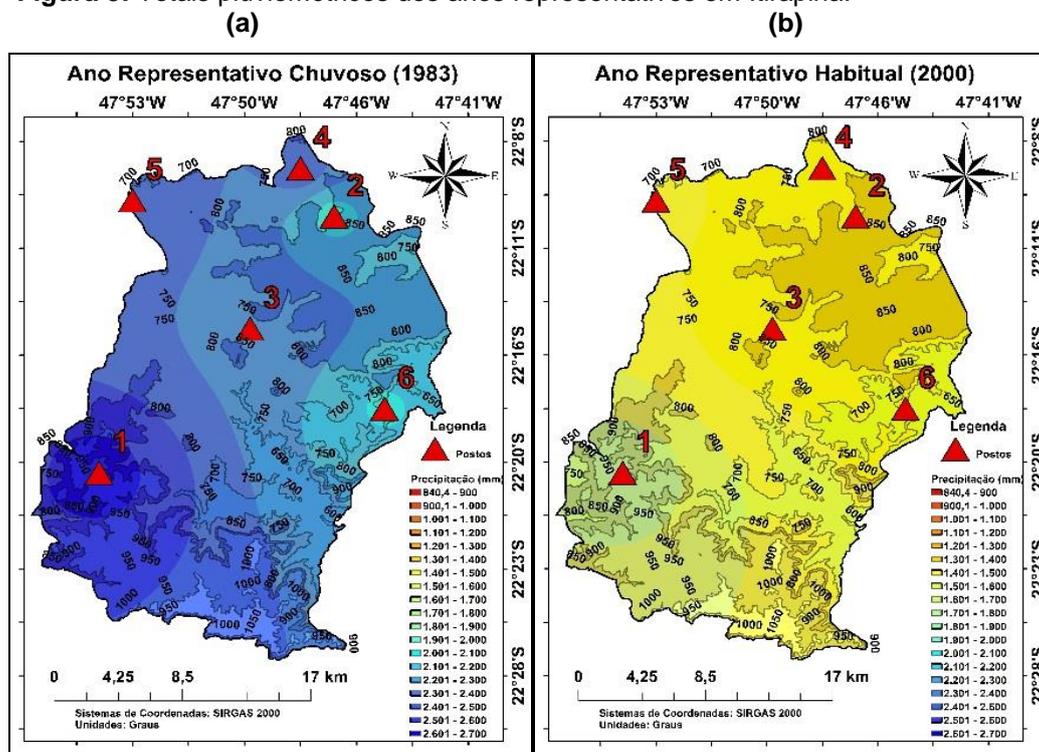


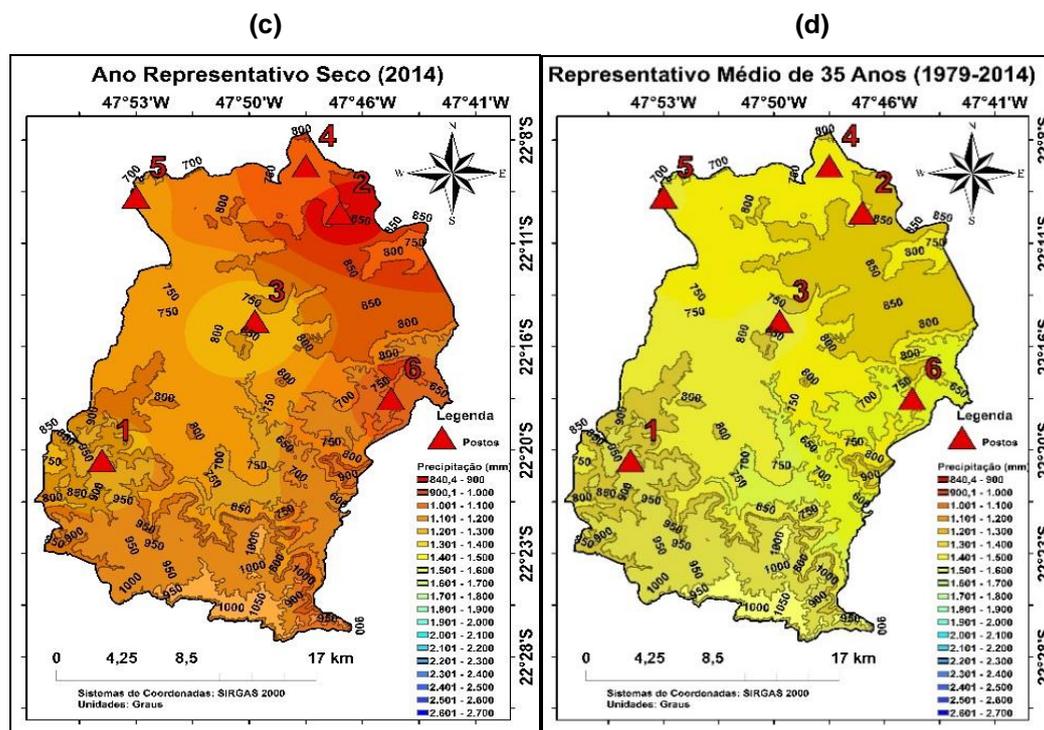
Já nos 17% da ocorrência dos anos classificados como chuvosos (1982, 1983, 1995, 2009, 2011 e 2012), o ano de 1983 destacou-se com desvios positivos extremos (>30%) em relação às médias. Com isso, foi possível observar o gradiente pluviométrico entre os postos (Tabela 5), sendo, o posto **P1** o que apresentou valores superiores aos demais.

A Figura 3(a) representa a distribuição espacial da precipitação no ano representativo de 1983, considerado chuvoso. O posto **P1**, localizado no topo da Serra de Itaqueri ao sudoeste de Itirapina, superou em cerca de 200 mm nos totais superiores dos demais. Em anos chuvosos, a maior recorrência dos processos frontogenéticos que contribuem na formação de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), incrementam o volume de chuva de maneira expressiva, saindo completamente da caracterização padrão esperada.

Desta forma, todo o processo dinâmico da atmosfera pode colaborar na precipitação e intensificação orográfica por meio do mecanismo de *seeder-feeder*, ou seja, nuvens mais altas (frentes ou ZCAS) alimentando a formação de nuvens mais baixas, devido ascensão da dinâmica regional do ar com o relevo. Os outros postos demonstraram valores positivos significativos e possivelmente estejam sendo influenciados pelas condições geomorfológicas locais.

**Figura 3:** Totais pluviométricos dos anos representativos em Itirapina.





Fonte: Elaborado pelos autores.

Já entre os anos classificados como secos (1984, 2010 e 2014) representam 17,5% da ocorrência ao longo da série. O ano de 2014 (Tabela 5) foi o que apresentou maiores desvios negativos, com extremos de abaixo de 30% em relação às médias. Sendo possível observar o gradiente pluviométrico entre os postos, destacando-se os postos **P1** e **P3** que apresentaram valores superiores aos demais.

Note-se na Figura 3(c), que novamente o posto **P1**, apresentou um comportamento diferente em seus totais pluviométricos. Desta maneira, nota-se a influência da orografia (altitude e declividade) no processo de intensificação das chuvas. Salienta-se também que esta contribuição também ocorreu em anos de padrões secos. Pois, para esses anos, as ocorrências de bloqueios atmosféricos são mais frequentes, dificultando o processo de convecção, consequente alterando a precipitação.

Porém, o efeito da interação da circulação regional do ar com as vertentes do relevo naquele ponto, possivelmente contribuiu significativamente na formação do mecanismo orográfico de autoconversão, devido toda sua conjuntura morfoambiental ali encontrada.

E por último, os anos que classificaram como normais (1988, 1992, 2000 e 2013) que representaram 65,1% da série. O ano de 2000 foi o que apresentou desvio entre 0 e 5%, bem próximo das médias (Tabela 5).



Na Figura 3(b), novamente o posto **P1** se destacou com valores superiores nos totais anuais acumulados. Desta forma, em anos normais as condições habituais da atmosfera contribuem de maneira mais expressiva com a interação do relevo, ao longo do processo de formação de nuvens e precipitação, onde, toda a umidade transportada da região Amazônica pela massa equatorial, somados aos avanços das frentes durante o período de primavera-verão, contribuem para que alguns dos três mecanismos do efeito orográfico ocorra.

## 5 – Considerações Finais (ou Conclusões)

Em relação às classificações (habitual, chuvoso e seco) durante os 35 anos (1979-2014), o padrão habitual prevalece bem estabelecido na área com 69% da sua ocorrência. Já entre os padrões atípicos (Seco ou Chuvoso), suas manifestações foram de 17% ao longo dos 35 anos (1979-2014).

Entre os anos representativos (habitual, chuvoso e seco) selecionados, o ano de 1983 foi o mais chuvoso, o ano de 2014 o mais seco e o ano de 2000 o mais habitual.

Desta forma, as distribuições espaciais das chuvas para os anos representativos selecionados apontaram uma possível influência da orografia nos totais pluviométricos anuais. Esta contribuição pode estar associada por toda a conjuntura geoambiental, ou seja, o tipo de relevo, de vegetação, de hidrografia e o uso e ocupação encontrada naquela área e assim, influenciando na característica climática peculiares intensificadas do efeito orográfico.

A próxima fase será ampliar a região de estudo, afim de verificar se estes mesmos processos ocorrem em outros locais geomorfologicamente semelhantes ao relevo de Cuestas Basálticas encontradas no entorno do Planalto Ocidental Paulista.

## Bibliografia

BLANCO, C.M.R.; MASSAMBANI, O. Processos de Intensificação Orográfica da Precipitação na Serra do Mar em São Paulo. III Congresso Brasileiro de Meteorologia, Anais..., p. 1884-1892, Rio de Janeiro, RJ, Outubro, 2000.

CÂNDIDO, D. H.; NUNES, L. H. Influência da orografia na precipitação da área entre o Vale do Rio Tietê e a Serra da Mantiqueira. **GEOUSP: espaço e tempo**, São Paulo, nº24, p.08-27, 2008.

CONTI, J. B. Circulação secundária e efeitos orográficos na gênese das chuvas na região lesnordeste paulista. Tese (Doutorado), Série Teses e Monografias, IGOG-USP 18, 82 p. São Paulo: 1975.



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**, ano 13-vol. 21, p.172-185, jul/dez, 2017.

MONTEIRO, C. A. de F. Dinâmica Climática e as chuvas no Estado de São Paulo. Estudo geográfico sob forma de atlas. São Paulo: Universidade de São Paulo/Instituto de Geografia, 1973.

MONTEIRO, C. A. de F. Clima e excepcionalidade: conjunturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno climático. Florianópolis: UFSC, 1991.

PINHEIRO, M. R.; QUEIROZ NETO, J. P. Reflexão 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**, São Paulo, nº35 (1), p. 47-59, 2014.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. São Paulo, DG-FFLCH-USP, IPT, FAPESP, 1997.

SANT'ANNA NETO, J. L. As chuvas no Estado de São Paulo. São Paulo. Tese (Doutorado em Geografia Física). Departamento de Geografia Física, Universidade de São Paulo, 1995, 200 p.

STEINKE, E. T.; Climatologia Fácil. São Paulo, **Oficina de Textos**, 2012.

TUCCI, C. E. M.; Hidrologia – ciência e aplicação. **Editores da Universidade/UFRS**, ABRH, Porto Alegre, 2001.

VILLA, E. A. Contribuição ao estudo do ritmo climático na bacia do Ribeirão do Lobo (Itirapina/SP). Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002.