

**CARACTERÍSTICAS DAS PRECIPITAÇÕES CONVECTIVAS INTENSAS NA ÁREA DO RADAR
METEOROLÓGICO DE SÃO PAULO**

Emanuella de Cássia Vicente
Clóvis Angeli Sansigolo
LMO, CPTEC, INPE, São José dos Campos, SP
Augusto José Pereira Filho
DCA, IAG, USP, São Paulo

ABSTRACT

The main characteristics of convective rainfall events in São Paulo were studied using meteorological radar CAPPIS. Most of the 30 events selected between 1990 and 1995 started between 13 and 15h at Serra da Mantiqueira, and reached its maximum evolution, between 16 and 17h, over the Great São Paulo and Paraíba Valley. The convective rainfall is predominantly forced by topography and enhanced by the urban heat island and sea breeze.

1 – INTRODUÇÃO

Os terrenos montanhosos tem um papel importante no início e desenvolvimento da atividade convectiva, como demonstrado por Marshall e Peterson (1980) num estudo climatológico de ecos de radar. A topografia e as características da superfície também têm uma considerável influência na organização de tempestades convectivas (Thielen e McIveen, 1992).

Huff e Vogel (1978) analisando a distribuição das chuvas de verão na região de St. Louis, nos EUA, concluíram que nos locais de grande efeito urbano ocorriam chuvas fortes entre as 14 e 17 horas.

Estudos climatológicos de 25 anos realizados por Huff & Changnon (1986) nos EUA, mostraram que os efeitos urbanos podem levar à um aumento de até 25% nas precipitações convectivas de verão.

As anomalias na precipitação convectiva, relacionadas ao efeito urbano, foram estudadas na cidade do México por Jauregui e Romales (1996). Analisando os dados de precipitação, eles observaram que a intensidade da chuva aumentou nas últimas décadas, e concluíram que esse aumento se devia à existência de uma ilha de calor urbana.

Thielen e Gadian (1997) mostraram num estudo numérico, que a combinação de brisa marítima, topografia e ilha de calor de centros urbanos têm influência no início e desenvolvimento das tempestades convectivas. Analisando a topografia, eles observaram a formação de células convectivas e considerando a presença da ilha de calor, constataram um aumento e prolongação da convecção sobre áreas urbanizadas.

Antonio (1978), utilizando dados do radar meteorológico de Bauru, no centro do Estado de São Paulo, verificou a maioria das precipitações convectivas, em torno de 58%, ocorrerem entre 12 e 15 horas.

Gandu (1984), utilizando dados do radar meteorológico de São Roque (SP), observou que havia uma predominância dos ecos de radar entre 11 e 15 horas, indicando o papel fundamental do aquecimento diurno no início da precipitação. Ele também observou a existência de dois picos entre estes horários: o primeiro entre as 11 e 12 horas e o segundo entre 13 e 14 horas. O segundo pico foi atribuído ao aquecimento diurno e o primeiro à uma contribuição de algum mecanismo local, que poderia ser a penetração de brisa marítima.

Pereira (1999) analisando os totais horários de precipitação no mês de fevereiro de 1998, entre as 15 e 20h, na área de abrangência do radar meteorológico de São Paulo, observou quantidades até 4 vezes superiores sobre a região metropolitana, que foram atribuídos ao aquecimento urbano e injeção de umidade pela brisa marítima.

O objetivo deste trabalho é uma análise das principais características (hora e local de início e da máxima evolução, fim, duração, intensidade e extensão) das precipitações convectivas intensas na área de abrangência do radar meteorológico de São Paulo.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

Os dados básicos utilizados neste trabalho são do tipo CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator), que é o campo de precipitação num plano de altitude constante. O CAPPI padrão do radar meteorológico de São Paulo,

com resolução de 2 x 2 km, está a 3,0 km de altura, normalmente usada por ser a melhor associada com as precipitações na superfície.

No período de setembro a março (período chuvoso) de 1990 a 95, entre as 12:00 às 17:00 horas, foram selecionados os eventos mais significativos (intensos) de precipitação convectiva na área de abrangência do radar meteorológico de São Paulo. Analisaram-se visualmente, usando o software Evento do DAEE, as imagens a cada 10 minutos com as intensidades de precipitação e a estatística dos pixels (quantidade de pixels com dada intensidade de chuva), as imagens CAPPI e selecionaram-se os principais eventos de precipitação convectiva, para os quais foram definidos os horários de início e de máxima evolução, deslocamento e magnitude.

Neste período foram selecionados visualmente os eventos com taxas iniciais de precipitação superiores a 20 mm/h e a cada um deles foi associado um horário e um local de início na área de cobertura do RMSPP, que foi subdividida em 5 áreas: Região de Campinas, Serra da Mantiqueira, Serra do Mar, Grande São Paulo e Vale do Paraíba, que podem ser vistas na figura 1.

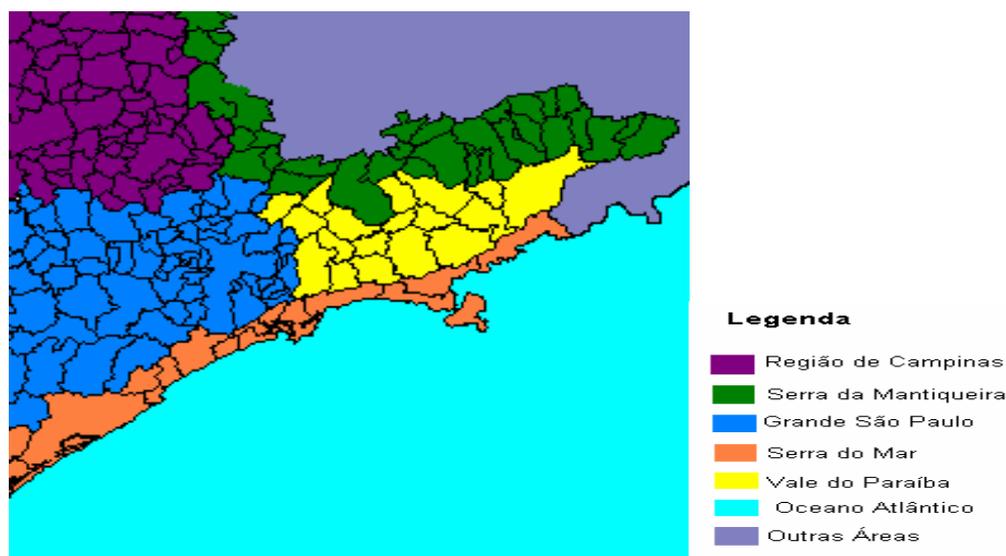


Figura 1 - Mapa da Região Leste do Estado de São Paulo com a subdivisão das áreas consideradas.

Da mesma forma que para o início, foram definidos horários e locais para a máxima evolução (máxima intensidade da chuva) e fim dos eventos que também tiveram seus horários e locais definidos.

As intensidades médias, quando das máximas evoluções dos eventos, foram calculadas pelas médias aritméticas das intensidades nos pixels (> 10 mm/h), e as extensões pelos produtos do número de pixels (> 10 mm/h) pelas suas áreas (4 km²).

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

As principais características temporais e espaciais (início, máximo, fim, magnitude e extensão) dos 30 eventos de precipitação selecionados no período de primavera-verão, entre os meses de setembro e março de 1990 a 95, encontram-se na tabela 1.

Observa-se que a maior parte dos eventos teve início entre 13 e 15 horas (76%), sendo que 40% dos casos iniciaram-se na Serra da Mantiqueira, 24% na Grande São Paulo, 23% na Serra do Mar e 10% na região de Campinas. A evolução máxima dos eventos ocorreu entre 16 e 17 horas representando 33% dos casos, porém, há outro pico entre 14 e 15 horas com 30% dos casos. A área com maior número de ocorrência de casos de evolução máxima é a Grande São Paulo com 36% dos eventos selecionados, Vale do Paraíba com 23%, Serra do Mar com 15% e, finalmente, a região de Campinas e a Serra da Mantiqueira, cada uma com 13% dos casos. Verifica-se também que as intensidades médias, na máxima evolução, variaram de 18,9 mm/h a 42,1 mm/h, as extensões de 1320 a 7500 km² e as durações totais de 2 a 4,40 horas.

XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, 2002

Tabela 1 – Principais características dos 30 eventos de precipitação convectiva selecionados no período de setembro a março de 1990 a 95.

Dia	Início (h)	Local de Início	Máximo (h)	Local de Máximo	Fim (h)	Duração (h)	Intensidade Média (mm/h)	Extensão (Km²)
02/03/90	14:53	SQ	15:33	RC	16:43	2:00	39,3	1320
04/10/90	15:03	SP, SQ	16:03	SP, SQ	17:43	2:40	37,2	2200
17/11/90	14:23	SQ	16:13	RC	17:43	3:00	41,4	4240
05/12/90	14:23	SP	15:33	SP	17:13	2:50	40,7	2560
23/01/91	15:33	SQ	16:43	VP, SQ	17:33	2:00	42,1	2560
06/02/91	15:13	SR, SQ	16:23	VP	17:33	2:20	29,4	6530
11/03/91	14:53	SP	16:13	SP, VP	17:43	2:50	32,1	4820
12/11/91	13:03	SQ	15:33	SP	17:03	4:00	29,9	5680
29/11/91	14:43	SQ	17:03	SR	17:53	3:10	39,3	3340
15/12/91	13:03	SQ	14:43	SP	16:23	3:20	28,4	4890
22/12/91	12:33	SP	13:43	VP	15:33	3:00	32,7	6590
21/01/92	13:03	SQ	14:23	RC	17:13	4:10	32,7	3050
29/01/92	13:33	SQ	15:03	SP	17:23	3:50	37,9	4260
23/02/92	13:13	SP	14:33	SR	16:53	3:40	23,7	4400
06/03/92	13:03	SQ	14:53	SQ	16:43	3:30	30,2	3020
10/03/92	12:13	SQ	13:53	SP	15:23	3:10	28,1	3700
13/03/92	13:03	SR	16:13	VP	17:43	4:40	29,1	3220
17/09/92	13:03	SQ	14:43	SQ	16:03	3:00	32,9	6480
20/11/92	14:03	SQ	15:43	SQ	17:33	3:30	33,8	1584
24/11/92	13:33	SQ	14:43	RC	17:13	2:40	31,7	3000
07/12/92	14:53	SR, SQ	16:33	VP	17:53	3:00	31,2	3570
17/12/92	16:03	SQ	17:23	VP	18:03	2:00	28,5	5420
02/02/93	13:03	SR	15:23	SP, VP	16:53	3:50	35,1	6520
17/03/93	14:13	SQ	15:53	SP	17:03	2:50	28,9	5100
19/12/93	15:33	SQ	16:53	SP	18:03	2:30	24,6	7060
27/11/94	13:13	SR	14:03	SR	15:13	2:00	28,6	4740
15/12/94	13:03	RC, SR	14:03	SR	15:43	2:40	25,6	4800
11/02/95	13:03	SP	14:53	SP	15:53	2:50	18,9	3620
09/03/95	14:03	SP, SR	16:03	SP, SR	17:23	3:20	28,6	7500
19/03/95	14:03	SP	16:43	SQ	17:33	3:30	28,1	3520

(RC - Região de Campinas; SP - Grande São Paulo; SQ - Serra da Mantiqueira;
SR - Serra do Mar; VP - Vale do Paraíba)

O horário preferencial de início das precipitações na região de Campinas é entre 13 e 14 horas (100% dos casos). Na região da Grande São Paulo, os horários de início tem um máximo entre 14 e 15 horas (47% dos casos). Essa diferença se justifica, pois a região de Campinas está situada numa região plana e relativamente distante do mar. Desta forma, a convecção tem um comportamento padrão iniciando-se em torno das 13 horas, devido ao aquecimento solar. No caso da Grande São Paulo, como mencionado anteriormente, existem outros fatores que contribuem de forma diferenciada para forçar a convecção, como a brisa marítima, que ocorre a partir das 14 horas. Por outro lado, devido aos efeitos topográficos, a convecção inicia-se mais cedo na Serra da Cantareira.

Na Serra da Mantiqueira, o início da atividade convectiva ocorre entre 14 e 15 horas (42% dos casos) e na Serra do Mar ocorre entre 13 e 14 horas (75% dos casos). Essa diferença de comportamento pode ser explicada devido aos distintos padrões de circulação que ocorrem nestas regiões.

Os CAPPI dos eventos com início da convecção associado à penetração de brisa marítima (29/01/92 e 07/12/92) são mostrados na figura 2, dos eventos com início associado à ilha de calor da cidade de São Paulo (11/03/91 e 22/12/91) na figura 3, e dos eventos com início associado à topografia da Serra da Mantiqueira (04/10/90, 23/01/91, 24/11/92 e 19/12/93), na figura 4.

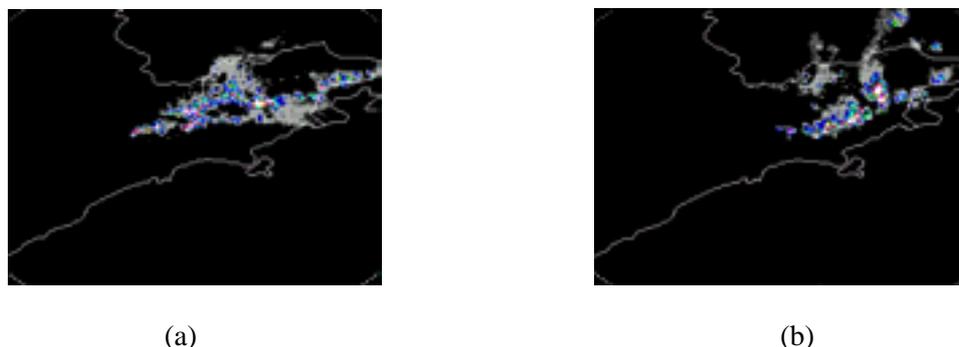


Figura 2 - CAPPI dos eventos de 29/01/92 (a) e 07/12/92 (b), com precipitação começando a formar uma linha paralela à costa, devido à penetração da brisa marítima.



Figura 3 - CAPPI dos eventos de 11/03/91 (a) e 22/12/91 (b), com início das precipitações associado à ilha de calor da cidade de São Paulo.

Em relação à distribuição regional dos locais onde os eventos atingem sua máxima evolução, observa-se que o maior número de casos se deu sobre a região da Grande São Paulo (36%), seguido do Vale do Paraíba (23%), Serra do Mar (15%), e as regiões de Campinas e Serra da Mantiqueira (13%). O fato da maioria dos casos terem sua máxima evolução sobre a Grande São Paulo enfatiza a influência da ilha de calor urbana e da penetração da brisa marítima, que intensificam a atividade convectiva nesta região, assim como no Vale do Paraíba. No caso da Serra do Mar além da circulação marítima, há o efeito orográfico, enquanto que, na Serra da Mantiqueira, o efeito topográfico é a principal forçante.

A maioria dos eventos tem seu máximo entre 16-17 horas (33% dos casos), porém há um outro pico entre as 14-15 horas com 30%. Os casos de máxima evolução entre as 14 e 15 horas, podem ser associados à penetração da brisa marítima, que segundo Oliveira e Dias (1982) acontece por volta das 14 horas na cidade de São Paulo.

O tempo de vida médio dos eventos variou de 2 a 5 horas, com predominância das durações entre 2,5 e 3,5 horas. A menor intensidade média foi de 17,0 mm/h e a maior 39,3 mm/h. As extensões médias das células convectivas variaram de 1094 a 6272 km². Verificou-se através de correlações, que tanto as extensões quanto as intensidades médias e máximas são independentes do tempo de duração do evento.

De um modo geral, observou-se que 40% dos casos (12) tem origem na Serra da Mantiqueira e estão associados à orografia. 36% dos casos atingem sua evolução máxima sobre a Grande São Paulo, o que pode ser atribuído à circulação de brisa marítima e ilha de calor urbana. 23% dos casos (7), atingem sua máxima evolução no Vale do Paraíba, 1 hora mais tarde que na Grande São Paulo (15-16 h).

Os eventos convectivos analisados ocorrem de forma aleatória ou formando uma linha de precipitação sobre o continente. A região preferencial para o início da convecção é a Serra da Mantiqueira. A convecção é

predominantemente forçada pela orografia (aproximadamente 68% dos 30 casos) e a maior parte dos eventos (50%) se desloca para sudeste.

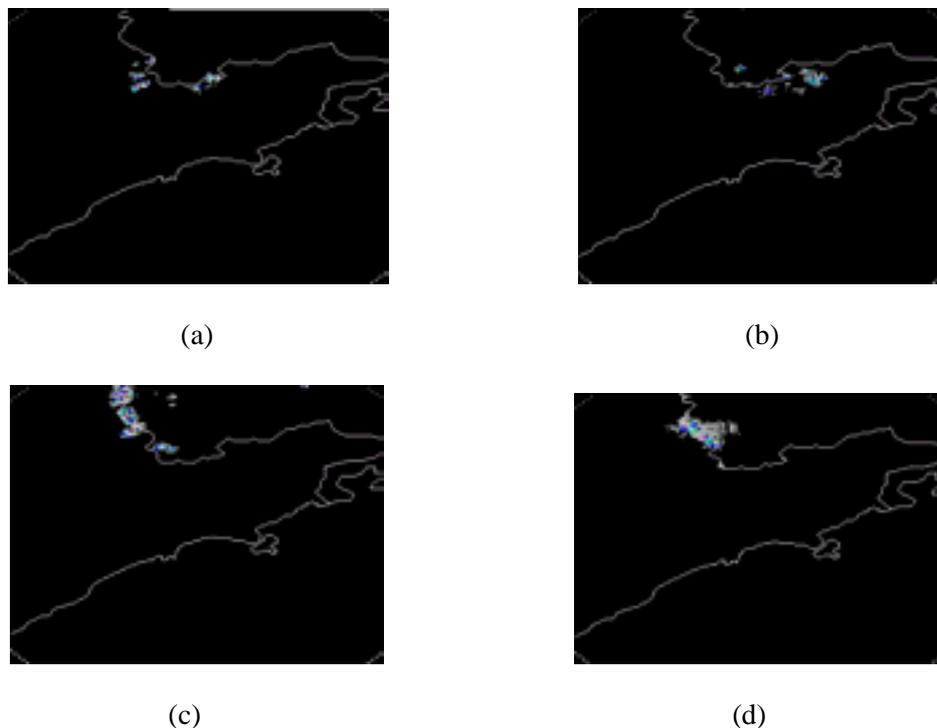


Figura 4 - CAPPI dos eventos de 04/10/90 (a), 23/01/91 (b), 24/11/92 (c) e 19/12/93 (d), com início das precipitações associado à topografia da Serra da Mantiqueira.

4 - CONCLUSÕES

A maioria dos eventos de precipitação analisados teve início entre 13 e 15 horas na Serra da Mantiqueira e atingiram sua máxima evolução entre 16 e 17 horas sobre a Grande São Paulo e Vale do Paraíba.

Os eventos convectivos analisados ocorreram de forma aleatória ou formando uma linha de precipitação sobre o continente, com a convecção predominantemente forçada pela orografia e com deslocamento para Sudeste.

As precipitações intensas sobre a Grande São Paulo e Vale do Paraíba estão associada às ilhas de calor urbanas e à penetração de brisa marítima.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTONIO, M. A.. Efeito da Distância na Estimativa de Chuva por Radar. III Congresso Brasileiro de Meteorologia, *Anais*, p. 407-414, Belo Horizonte, MG, Dezembro, 1984.
- 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.
- CARVALHO, L.M.V.; PEREIRA, A.J.; BARROS, M.T.L. Climatologia da Precipitação na Área do Radar Meteorológico de Bauru. V Congresso Brasileiro de Meteorologia, *Anais*, p. VIII.25-VIII.29, Rio de Janeiro, RJ, Novembro, 1988.
- ELTAHIR, E.A.B.; PAL, J.S. Relationships Between Surface Conditions and Subsequent Rainfall in Convective Storms. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 101, n. D21, p. 26,237-26,245, Novembro, 1996.
- GANDU, A. W. *Análise Estatística de Ecos de Radar Associados a Sistemas de Precipitação na Região Leste do Estado de São Paulo*. Dissertação de Mestrado. São Paulo: IAG, USP. Abril, 1984.

XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, 2002

- JAUREGUI, E.; ROMALES, E. Urban Effects on Convective Precipitation in Mexico City, **Atmospheric Environment** Vol. 30, n. 20, p. 3383-3389, 1996.
- MARSHALL, T.P.; PETERSON, R.E. Topographic Influences on Amarillo Radar Echo Climatology. VIII AMS Conference on Weather Forecasting and Analysis, **Preprints**, p. , Denver , Colorado, Junho, 1980.
- MURILLO, F.; SCHILLER, S. Efecto Isla de Calor y Planificación Urbana. VIII Congreso Argentino de Meteorología – Congreso Latino Americano e Ibérico de Meteorología. **Anais** p. 387-388, Buenos Aires, Argentina, Setembro, 1996.
- OLIVEIRA, A.P.; DIAS, P.L.S. Aspectos Observacionais da Brisa Marítima em São Paulo. II Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais**, p. 129-161, Pelotas, RS, Vol. II, Outubro, 1982.
- PEREIRA FILHO, A. J. Radar Measurements of Tropical Summer Convection: Urban Feedback on Flash Floods, 29th International Conference on Radar Meteorology, **Preprints**, Quebec, Canadá, Julho, 1999.
- PEREIRA FILHO, A. J. Chuvas de Verão e as Enchentes na Grande São Paulo: El Niño, Brisa Marítima e Ilha de Calor. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais**, p. 1391-1398, Rio de Janeiro, RJ, Outubro, 2000.
- THIELEN, J.; GADIAN, A. Influence of Topography and Urban Heat Island Effects on the Outbreak of Convective Storms Under Unstable Meteorological Conditions: a Numerical Study. **Meteorological Applications**. vol 4, p.139-149, 1997.
- VICENTE, E. C. **Características dos Eventos Convectivos no Período Primavera-Verão na Área de Abrangência do Radar Meteorológico de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos: INPE. Dezembro, 2001. 63 p.