

**EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL E REDONDEZAS
NO PERÍODO DE 1997-2001**

Clovis Monteiro do Espírito Santo e Prakki Satyamurty

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
(INPE) – São José dos Campos – SP

clovis@cptec.inpe.br

saty@cptec.inpe.br

ABSTRACT

Statistics of extreme precipitation events in southeastern Brazil and surroundings in the 5-years period 1997-2001 are obtained from the meteorological data bank of Center for Weather Forecasts and Climate Studies (CPTEC). 90% of the well confirmed events of rainfall in excess of 100 mm in 24 hours happened in November through March season. Such precipitation events have a preference for the coastal stations Paranaguá and Caravelas. However continental stations like Londrina, Montes Claros and Buritis also reported two confirmed cases each. São Paulo station never reported rainfall in excess of 100 mm in 24 hours. Most events are associated to the South Atlantic Convergence Zone. The convergence of humidity flux during the Jan 1-5, 2000 heavy rainfall event was more than 10^{-6} g/kg/s and the K-index was greater than 40.

RESUMO

Estatísticas de eventos de precipitação intensa sobre o Sudeste do Brasil e redondezas durante o período de 1997 a 2001 foram obtidas através do Banco de Dados Meteorológicos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). 90% dos eventos de precipitação excedendo 100 mm em 24 horas ocorreram no período de novembro a março. Estes eventos mostraram uma preferência de ocorrência nas estações costeiras Paranaguá e Caravelas. Todavia as estações continentais Londrina, Montes Claros e Buritis reportaram dois casos cada. A Estação localizada na cidade São Paulo não registrou chuvas com mais do que 100 mm em 24 horas nesse período de 5 anos. A grande maioria dos eventos estava associada à Zona de Convergência do Atlântico Sul. A convergência de umidade em 850 hPa no caso de chuvas fortes do período de 1 a 5 de janeiro de 2000 atingiu valores 10^{-6} g/kg/s e o índice K superou o valor de 40.

INTRODUÇÃO

Grande maioria de desastres naturais no Brasil está relacionada com os fenômenos de tempo e clima severos. Secas prolongadas são responsáveis pelas queimadas florestais e aumento de fumaça no ar. Ondas de ar frio causam geadas que danificam as lavouras e hortaliças. Ciclones no litoral sul provocam ressacas no mar que atingem as cidades costeiras. Chuvas fortes associadas a tempestades de verão trazem enchentes e desabamentos. Estudos estatísticos e sinóticos dos eventos extremos são importantes para aumentar a destreza da previsão de tempo. Previsões confiáveis dos casos extremos servem para alertar a população, e permitir medidas de defesa contra os efeitos adversos causados por estas situações.

Um evento severo causa grande impacto sobre a sociedade. Por exemplo, uma chuva forte e rápida de intensidade 40 mm/hora, em uma grande cidade traz inundações repentinas. Na região da Grande São Paulo eventos desta magnitude acontecem três a seis vezes ao ano. Todavia, uma chuva desta ordem não é um evento raro e nem causa grandes desastres em áreas florestais.

Vários autores estudaram casos de precipitação intensa em diversas regiões do globo. Cavalcanti (1983) registrou casos de intensa precipitação nas regiões Sudeste e Sul do Brasil no período de 1979 a 1983. Gaza e Bosart (1985) estudaram a tempestade severa de 04 de junho de 1979 sobre o estado de Kansas no Estados Unidos. Ma e Bosart (1987) fizeram um estudo sinótico de um evento de chuvas fortes na sudeste do China.

Liebman et al. (2001) estudaram a variabilidade interanual das precipitações extremas no Estado de São Paulo. Em um estudo recente Carvalho et al. (2002) associaram extremos de precipitação a padrões convectivos de larga escala na região de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Chuvas intensas e ventos fortes no Brasil estão geralmente associados com sistemas convectivos de mesoescala. Todavia, sistemas meteorológicos de mesoescala desta região, em geral, ficam embutidos nos movimentos atmosféricos da escala sinótica como bandas frontais e ZCAS.

Diversos estudos de casos de chuvas fortes sobre os Estados Unidos (Uccellini e Koch 1987, Bauer-Messner et al. 1997, Junker et al. 1999, Pontrelli et al. 1999, etc.) atribuíram as ocorrências a uma variedade de situações sinóticas. As situações mais comuns são: (1) aproximação de frente fria; (2) onda curta em altos níveis; (3) desenvolvimento de alta pressão de meso-escala; (4) língua de ar seco na média troposfera na retaguarda da frente fria; (5) centro de baixa pressão quente; (6) defluência ou divergência forte em altos níveis; (7) fita ou esteira de ar quente úmido; ou (8) suas combinações. Sobre o Brasil existem poucos estudos que identificam os sistemas meteorológicos responsáveis por precipitações intensas. Todavia a experiência aponta para sistemas como ZCAS na Região Sudeste, aglomerados convectivos (sistemas convectivos de mesoescala) na Região Sul e linhas de instabilidades nas Regiões Norte e Nordeste, como responsáveis pelos episódios de chuvas fortes.

Para se ter uma noção dos extremos de chuva na região Sudeste do Brasil, é interessante citar resultados da análise dos dados observados dos últimos 80 anos no Estado do Rio de Janeiro. Em uma comunicação pessoal, Austin (2001), apontou para medições de chuvas recordes de 327,2 mm em 24 horas em Alto da Boa Vista em 12 de março de 1998 e 337,7 mm em 24 horas na Ilha Guaíba em 14 de maio de 1983. Chuva mensal acumulada de 850,2 mm foi registrada em Angra dos Reis em janeiro de 1967.

O presente trabalho se limita a estudar extremos de chuva na região Sudeste do Brasil e redondezas no período de cinco anos, 1997-2001. Esta região foi escolhida por ser a região mais importante para a economia do país.

DADOS E METODOLOGIA

Com a utilização do Banco de Dados Meteorológicos (BDM) do CPTEC as observações sinóticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a região do Brasil compreendida entre 15S a 25S (Fig. 1), foram examinadas para os acontecimentos extremos de precipitação acumulada em 24 horas. O BDM contém dados diários sinóticos a partir de janeiro de 1997. Por ter apenas 60 meses de dados os resultados não representam uma climatologia. A idéia é identificar alguns casos extremos ocorridos nos anos recentes para podermos estudar, posteriormente, a estrutura sinótica e dinâmica da atmosfera associada.

Para selecionar os casos de precipitação intensa adotou-se os limiares de 100 e 150 mm em 24 horas. Ao todo 95 estações meteorológicas na região Sudeste do Brasil e redondezas foram usadas no presente estudo. Para que possamos comparar as estatísticas ano a ano, considerou-se apenas 47 estações, as quais tiveram observações em mais de 66% de dias durante cada um dos 5 anos. As posições geográficas das estações estudadas e a topografia da região são mostradas na Figura 1. Uma das grandes tarefas foi a verificação da confiabilidade dos registros. Os registros com suspeita de erros foram desconsiderados. Para registros de chuva maior que 150 mm, a análise de isoietas para toda a região foi feita para D-2, D-1, D e D+1, onde D representa o dia do episódio e D-1 representa o dia precedente, etc. Quando as análises não mostram consistências espacial ou temporal o registro é desconsiderado.

EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO INTENSA

Algumas estatísticas interessantes da distribuição das chuvas e dos episódios de chuvas intensas são apresentadas a seguir.

A média de dias com chuva (≥ 1 mm em 24 horas) de toda região é de aproximadamente 360 em cinco anos, isto é, 72 dias por ano. A cidade com maior número de dias de chuva foi Paranaguá com 706 registros nos cinco anos que apresentou 1686 dias com observações, isto é 42% de dias. A cidade com menor número de dias com chuva foi Burity com apenas 273 dias (17%) em 1582 dias de observações.

Nas 47 estações selecionadas, a média de número de ocorrências de chuva maior que 100 mm em 24 horas foi de 8,4 (tabela 1). Isso mostra que chuva desta magnitude é um evento raro. Apenas 21 das 47 estações registraram ao menos um episódio nos cinco anos. A Figura 2 mostra estações com registro de ≥ 100 e ≥ 150 mm em 24 horas no período estudado e nota-se que as regiões litorâneas, são mais propícias às chuvas fortes, mesmo sendo eventos raros. Dois episódios de chuva igual ou superior a 150 mm em 24 horas, um em Burity no dia 15 de março de 2000 e outro em Londrina em 05 de junho de 1997 foram registrados.

A distribuição mensal dos eventos de chuva intensa está apresentada na Tabela 2. Nota-se que maior número de episódios ocorreu nos meses de verão e primavera. Entre novembro e março totalizam 70 casos num total de 103 ou seja 68% de casos.

Tabela 1. Distribuição interanual de eventos em diferentes limiares de chuva em 24 horas (mm)

ANO	1997	1998	1999	2000	2001	TOTAL
≥ 1	3471	3645	3574	4185	3898	18773
50-75	108	110	115	160	084	577
75-100	20	26	31	34	31	142
≥ 100	09	09	11	11	02	42

Tabela 2. Distribuição mensal dos eventos de chuva intensa registrados na Região Sudeste e no Estado de Paraná no período de janeiro de 1997 a dezembro de 2001.

Limiar	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
≥ 100 mm em 24 horas	13	03	08	00	00	01	01	00	02	00	05	09	42

O episódio de chuvas fortes no dia 3 de janeiro de 1997 registrou chuvas excedentes a 100 mm em 24 horas nas cidades de Araxá, Uberaba, Sete Lagoas, Belo Horizonte e Bambui. Chuvas fortes continuaram no dia seguinte e Belo Horizonte registrou chuva maior que 100 mm em 04 de março. Durante o episódio de 02 e 03 de janeiro de 2000, Resende, Machado e Três Lagoas foram atingidas. Devido à ocorrência simultânea ou quase simultânea em três ou mais estações, os registros desses episódios são altamente confiáveis.

As cidades de São Paulo e Rio de Janeiro não tiveram nenhum registro confiável de chuva acima de 100 mm em 24 horas no período estudado.

ESTUDO DE CASO DE CHUVAS FORTES

O caso de chuvas fortes no início do ano de 2000 no nordeste do estado de São Paulo e no Sul de Minas serve como um exemplo de chuvas fortes e persistentes com conseqüências desastrosas para a população da região. Cerca de 60 pessoas morreram e milhares de pessoas ficaram desabrigados. A tabela 3 mostra a chuva acumulada no período de 01 a 06 de janeiro de 2000 em várias cidades da região de sul de Minas e redondezas.

Tabela 3. Chuva acumulada no período de 1-6 de janeiro de 2000

Estação	Chuva acumulada (mm)	Média climatológica de janeiro (mm)
São José dos Campos	130	220
Campos do Jordão	440	310
Paraibuna	360	
Ubatuba	210	360
Guaratinguetá	340	
Cruzeiro	350	
Queluz	380	
Cachoeira Paulista	290	
Rezende	290	
Machado	370	
Itajubá	380	
Caraguatatuba	280	

A tabela 3 compara as chuvas de seis dias (01 a 06) de janeiro de 2000 com as chuvas mensais climatológicas (DNMET, 1992) para várias cidades do Vale do Paraíba e Sul de Minas. Pode-se notar que cidades de Paraibuna, Queluz e Machado registraram chuvas acima 350 mm e a cidade montanhosa Campos do Jordão acumulou acima de 400 mm, ultrapassando o valor mensal climatológico de janeiro (310 mm).

A evolução da situação sinótica que ocasionou esse episódio teve os seguintes ingredientes:

- (1) Uma frente fria chegou ao Vale do Paraíba no dia 31 de dezembro de 1999.

- (2) Formou-se uma baixa pressão no litoral Sudeste, na forma de cavado invertido no início, e tornou-se uma baixa fechada no dia 01 de janeiro de 2000.
- (3) Configurou-se uma situação de bloqueio (centro de baixa pressão ao norte da alta pressão) no Atlântico Sul.
- (4) O índice K atingiu valores de aproximadamente 45 numa faixa que se estende sobre os estados de MT, GO, MG, norte de SP, RJ, ES, no dia 31 e nos quatro dias posteriores.
- (5) Formou-se um vórtice de altos níveis (VCAN) sobre o Nordeste brasileiro no dia 01 de janeiro.
- (6) Formou-se a Alta de Bolívia com grande intensidade ($\approx 2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$).
- (7) Anomalias de SST foram ligeiramente acima da normal ($1,0^\circ\text{C}$) no litoral de RJ e ES, mas abaixo do normal no alto mar do Atlântico Sul.
- (8) A chuva manteve-se contínua e apresentou significativa variação diurna com aumento no período da tarde. Na chegada da frente houve pancadas fortes, e no terceiro dia (02 de janeiro) a chuva era mais contínua.
- (9) Durante as chuvas contínuas o vento não era forte (abaixo de 10 m/s).
- (10) Observou-se uma defluência na saída do jato em altos níveis sobre SP, Sul de MG e RJ no dia da chegada da frente no Vale do Paraíba.
- (11) Em 31 de dezembro às 00 UTC, a Alta de Bolívia estava fraca e larga, os ventos sopravam de sul, sobre o leste do país e VCAN estava em 30W. O jato subtropical estava sobre o Rio Grande do Sul e deslocou o seu eixo para o nordeste. Ao sudeste do jato surgiu um ciclone de pequena escala na superfície. Em 250 hPa formou-se um cavado a sudeste do jato.
- (12) Em altos níveis a Alta da Bolívia permaneceu na fronteira entre Chile e Peru e VCAN ficou sobre o Atlântico em 5-10S. Em média, um cavado profundo permaneceu sobre o Paraguai, MS e GO. O anticiclone sobre o Atlântico Sul intensificou-se e aproximou do continente, assim desfazendo ou desintensificando o cavado.
- (13) A convergência de umidade em 925 hPa (um bom diagnóstico para ZCAS) mostrou núcleos fortes de valores $> 3 \times 10^{-6} \text{ g/kg/s}$ na região do Vale do Paraíba, Sul de MG e RJ.
- (14) As bandas de convergência de umidade e de chuva acumulada localizaram-se a leste do centro de baixa pressão, e/ou cavado no campo de pressão ao nível do mar.
- (15) Às 12 UTC de 03 de janeiro o ciclone na superfície estava em 30S sobre o nordeste do Rio Grande do Sul. Observou-se forte defluência em altos níveis sobre os Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, Goiás e Tocantins. A convergência de umidade em 850 hPa esteve $\approx 3 \times 10^{-6} \text{ (kg/kg/s)}$, o índice K na região Sul esteve ≈ 36 e no sul de MG acima de 40.

Estas características da circulação regional apontam para a atuação do ZCAS sobre o norte do Estado de São Paulo, Sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro durante o episódio.

O estudo de Harnack et al. (1999) sobre a região de Nova Jersey dos Estados Unidos enumera também as condições favoráveis nos episódios de chuva intensa. Muitos itens da lista de ingredientes achados por eles concordam com as condições observadas no presente caso, especialmente no que diz respeito a ventos fracos e fortes, convergência de umidade, convergência de massa na baixa troposfera e divergência na alta troposfera. Dosewell et al. (1996) apontam para o movimento lento do sistema como um fator importante para um sistema convectivo se tornar um caso extremo de chuva. No episódio do início de 2000, um sistema frontal se estacionou sobre a região de ZCAS sazonal (Satyamurty et al. 1988).

CONCLUSÕES

Uma das responsabilidades maiores da meteorologia operacional é prover avisos e alertas sobre fenômenos de tempo severos. Deve-se lembrar que alarmes falsos devem ser minimizados para aumentar a credibilidade da meteorologia. Em princípio previsões de probabilidade de ocorrência dos eventos extremos reduz o número de alarmes falsos. Em geral previsões baseadas numa única rodada de um modelo determinístico não consegue atribuir probabilidades. Portanto, múltiplas previsões obtidas por sistemas de previsão por “ensemble” são mais adequadas para esta finalidade.

Deve-se lembrar que chuva de um dia, temperatura mínima ou temperatura máxima extrema num episódio não podem ser atribuídas aos fenômenos de El Niño ou La Niña. Por outro lado uma frequência muito maior ou muito menor da ocorrência de extremos está possivelmente relacionada com anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico adjacente e no Pacífico tropical. Contudo, deve-se lembrar que a região Sudeste do Brasil é menos afetada pelos fenômenos El Niño e La Niña. Os extremos acontecem em consequência da intensidade e posicionamento do sistema sinótico responsável. Estes aspectos e outros serão tratados na continuação deste estudo.

Recentemente chuvas fortes e persistentes causaram grandes prejuízos a sociedade nos estados de Rio de Janeiro, Minas Gerais e Goiás no final do ano 2001 e no início do ano 2002. A chuva em Petrópolis e várias outras localidades excedeu 100 mm em 24 horas no dia 24 de dezembro de 2001. Este episódio será estudado com detalhes, para comparar com o caso do início do ano 2000 apresentado neste trabalho.

FIGURAS

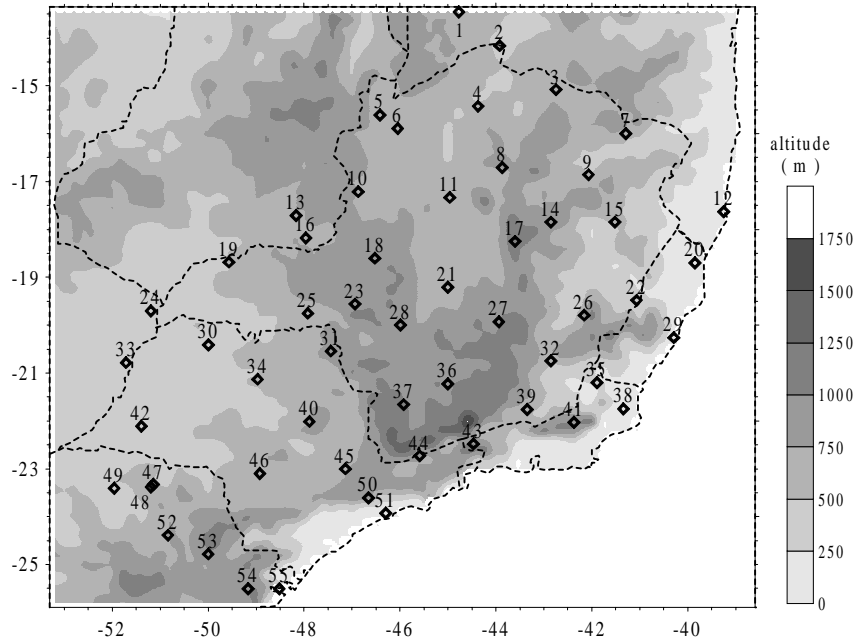


Figura 1 – Região de estudo e distribuição geográfica das estações meteorológicas consideradas na Tabela 1. Os níveis de cinza mostram a topografia da região (dados topográficos são do USGS com resolução espacial de 1’).

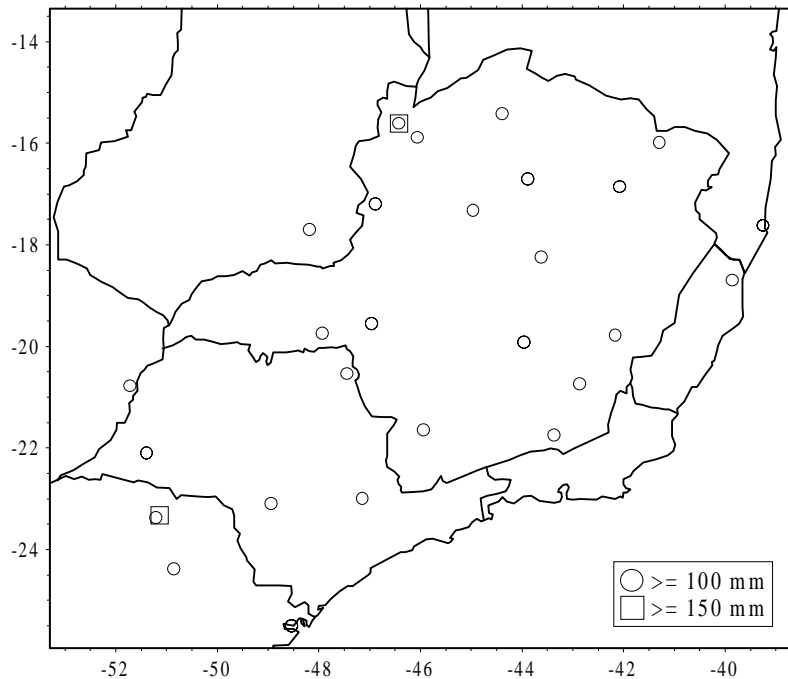


Figura 2 – Estações com registros de chuvas ≥ 100 mm em 24 horas (bolinhas) e ≥ 150 mm em 24 horas (quadrados) no período de 1997-2001.

REFERÊNCIAS

1. Austin, 2001: Temperaturas e chuvas recordes registradas no estado de Rio de Janeiro durante o século vinte. *Comunicação pessoal*.
2. Bauer-Messner, B.; Smith, J. A.; Baeck, M. L.; Zhao, W.; 1997: Heavy rainfall: Contrasting two current great plains thunderstorms. *Wea. Forecasting*, **12**, 785-798.
3. Carvalho, L. M. V.; C. Jones; Liebman, B.; 2002 (in press): Extreme precipitation events in Southeastern South América and large scale convective patterns in the SACZ. *J. Climate*.
4. Cavalcanti, I. F. A.; 1983: *Casos de intensa precipitação nas regiões Sul e Sudeste do Brasil no período de inverno de 1979 a 1983*. INPE-3743-RPE/498, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, S. J. Campos, SP, 40 pp.
5. DNMET, 1992: *Normais Climatológicas (1961-1990)*. Departamento Nacional de Meteorologia, Brasília, 1992, 84 pp.
6. Dosewell, C. A., III; H. E. Brooks; R. A. Maddox, 1996: Flash flood forecasting: An ingredients-based methodology. *Wea. Forecasting*, **11**, 560-581.
7. Gaza, R. S.; L. F. Bosart; 1985: The Kansas City severe weather event of June 1979. *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 1300-1320.
8. Hannack, R. P.; K. Apffel; J. R. Cermack III, 1999: Heavy precipitation events in New Jersey: Attendant upper air conditions. *Wea. Forecasting*, **14**, 933-954.
9. Junker, N. W.; Schneider, R. S.; Fauver, S. L.; 1999: A study of heavy rainfall events during the great midwest flood of 1993. *Wea. Forecasting*, **14**, 701-712.
10. Liebman, B., C. Jones, L. M. V. de Carvalho, 2001: Interannual variability of extreme precipitation events in the state of São Paulo, Brazil. *J. Climate*, **14**, 208-218.
11. Ma, K-Y., L. F. Bosart, 1987: A synoptic overview of a heavy rain event in Southern China. *Wea. Forecasting*, **2**, 89-112.
12. Pontrelli, M. D.; Bryan, G.; Fritch, J. M.; 1999: The Madison county , Virginia, flash flood of 27 June 1995. *Wea. Forecasting*, **14**, 384-404.
13. Satyamurty, P.; C. A. Nobre; P. L. Silva Dias, 1998: Tropics: South América, *Meteorology of the Southern Hemisphere*. D. Karoly and D. Vincent, Eds., American Meteorological Society, 119-140.
14. Uccellini, L. W., Kock, S. E., 1987: The synoptic setting and possible energy sources for mesoscale wave disturbances. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 721-729.