

AVALIAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS DE CHUVAS NO NORTE DA VENEZUELA DE 13-17 DE DEZEMBRO DE 1999. ESTUDOS OBSERVACIONAIS

**JOSE A. MARENGO¹, JOSIANE F. BUSTAMANTE¹,
MARIA ISABEL ROJAS² e WAGNER R. SOARES¹**

¹ Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), Cachoeira Paulista, São Paulo, Brasil

² Universidad de los Andes, Merida, Venezuela

RESUMO

Em dezembro de 1999, chuvas abundantes causaram enchentes e avalanches de lodo e pedras, que afetaram uma faixa de quase 300 km na costa norte da Venezuela. Neste estudo, são avaliados os campos oceânicos e atmosféricos que precederam aos eventos de chuva no estado de Vargas, na seção norte da Venezuela, durante o período de 13 até 17 de dezembro de 1999. Os eventos foram relacionados com interações entre anomalias de temperatura de superfície do mar no Pacífico e na região Caribenha do Atlântico, que combinados com um alto grau de desmatamento nas encostas da montanha El Avila e com o solo saturado, produziram avalanches na seção norte da cidade de Caracas, destruindo bairros inteiros e causando a morte de mais de 30,000 pessoas. Análises das condições de temperatura da superfície do mar, e as circulações em níveis superiores e baixos da atmosfera, indicaram que os remanescentes de uma frente fria que se deslocou do Caribe e a convergência de ar úmido e quente que se deslocou sobre o oceano Atlântico tropical anormalmente aquecido próximo à região afetada, determinaram o desenvolvimento de forte atividade convectiva, produzindo chuvas intensas e abundantes, suficientes para gerar enchentes.

Palavras-chave: Avalanchas, anomalias de chuva, convecção, advecção de umidade

ABSTRACT: AN ASSESSMENT OF THE EXTREME RAINFALL EVENTS IN NORTHERN VENEZUELA DURING 13-17 DECEMBER 1999. Observational studies

In December 1999, heavy rainfall triggered thousand of debris flows and caused numerous flash floods in a 300 km long area of the North coast of Venezuela. In this paper, we assess some of the oceanic and atmospheric conditions that preceded the extreme rainfall events in the state of Vargas, in the northern Caribbean coast of Venezuela during December 13-17. These events were related to interactions between anomalies in sea surface temperature in both Pacific and Atlantic on the Caribbean side of the country, that combined with deforestation of the hills of the El Avila Mountain, and the saturated soil, they produced avalanches in the northern side of the city of Caracas, destroying entire neighborhoods and killing an estimate of 30,000 people. Detailed analysis of sea surface temperature and surface and upper air circulation indicate that the remains cold from the Caribbean and the convergence of moist war air from the east flowing over an anomalously warm tropical Atlantic nearby the affected region determined the developing of explosive convection, producing rainfall, which was intense and abundant enough to generate flash floods.

Key words: Avalanches, rainfall anomalies, convection, moisture advection

1. INTRODUÇÃO

No período de 13 até 17 de dezembro de 1999, uma combinação não usual de fatores oceânicos e atmosféricos afetou a costa Caribenha da Venezuela, e como consequência em poucos dias aconteceu uma quantia de chuva maior do que normalmente acumula-se em um ano. Os registros de chuva dos últimos 87 anos sugerem uma média anual de 900 mm. Porém, em 72 horas durante o período entre 14 e 16 de

dezembro de 1999, mais de 920 mm de chuva foram registrados no lado norte da Montanha El Ávila (altitude de 2800 msnm), numa faixa entre a montanha e o Mar do Caribe.

Estes eventos de chuvas extremas causaram um enorme prejuízo social. O efeito do desmatamento e mudanças de uso da terra na região foi tal que o solo ficou exposto numa extensa área da ladeira da montanha, de fato, a área

afetada pelo desastre foi **desprovida de sua vegetação** natural, devido a uma expansão da área urbana. Após a chuva dos dias, 12 e 13 de dezembro o solo ficou quase saturado. Com as chuvas dos dias 15 e 16 produziu-se uma correnteza de água e lama que desceu pelo vale levando sedimentos e arrastando casas, animais, carros e habitantes até o Mar do Caribe. Reportagens de jornais indicam que durante a noite de 16 de dezembro de 1999, uma avalanche de terra e lodo com ondas de mais de 3 metros de altura, afetou as cidades localizadas na beira da costa Caribenha da Venezuela (elipse vermelha Figura 1). Estudos e avaliações feitas por Larsen e Torres-Sierra (2000) do United States Geological Survey (USGS) estimaram os danos materiais e perdas humanas, assim como os aspectos hidrogeológicos do evento: Mais de 30.000 pessoas morreram nessa noite, ainda que números não oficiais apontam para aproximadamente 200.000 mortos. Mais de 140.000 ficaram desabrigados, e as perdas econômicas foram maiores que 3,4 bilhões de dólares, com um custo de reconstrução que excede os 10 bilhões de dólares. O porto de La Guaira, o principal porto de carga para Caracas, e o Aeroporto Internacional de Maiquetia ficaram paralisados por várias semanas. A região central de Caracas que está localizada no outro lado da montanha (lado sul) foi também afetada ainda que menos severamente.

O objetivo principal deste trabalho é apresentar uma análise observacional das chuvas que aconteceram na região norte da Venezuela, no estado de Vargas, próxima ao litoral Atlântico, com a finalidade de diagnosticar os mecanismos da circulação atmosférica e oceânica que deram lugar a estas chuvas extremas. Neste estudo analisa-se as condições da temperatura da superfície do mar, da circulação atmosférica e convecção que precederam os eventos extremos de chuva dos dias 12-13 e 15-16 de dezembro de 1999. Desta forma, foram analisadas: (a) a situação sinótica que antecedeu e prevaleceu durante estes episódios de chuvas intensas em dezembro de 1999; (b) as condições de chuva observada na região e sua variabilidade temporal durante dezembro; (c) o fluxo atmosférico em baixos níveis e em ar superior; (d) as condições da temperatura da superfície do mar na região do Caribe, assim como os padrões de convecção nesses períodos e o ciclo diurno da convecção e chuva durante o evento estudado.

2. ANTECEDENTES

As chuvas que atingiram a Venezuela na semana de 13-17 de dezembro de 1999 foram consideradas como o maior desastre natural ocorrido na história recente deste país. A

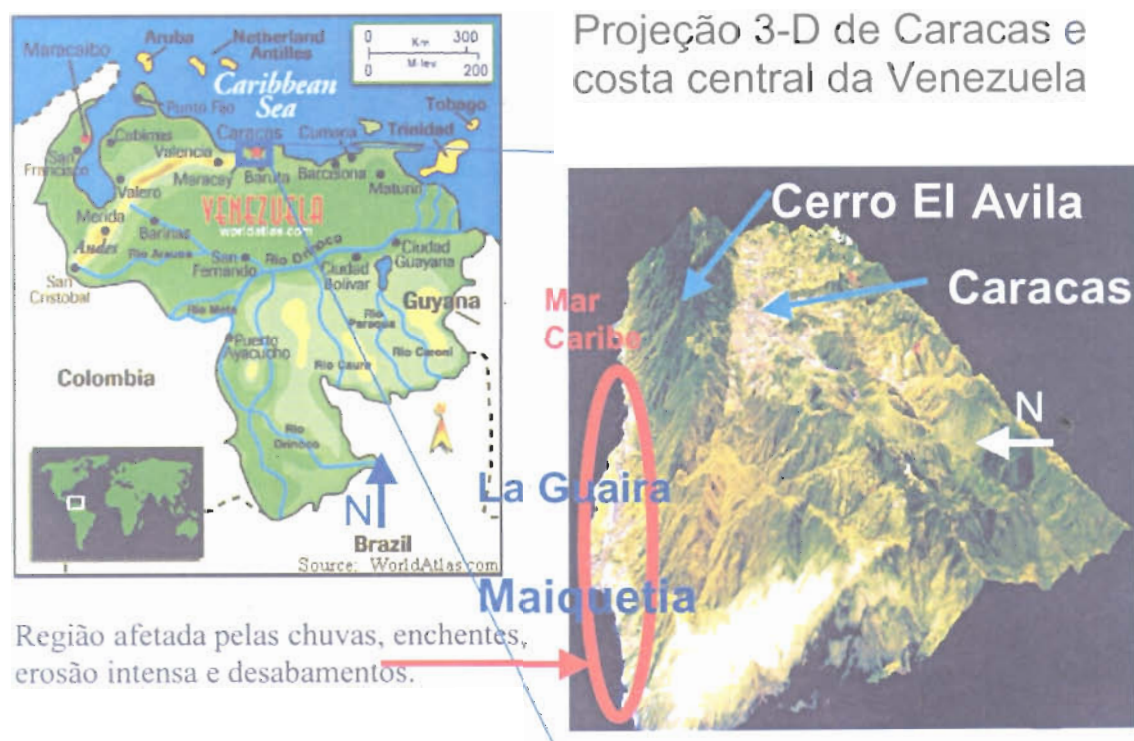


Figura 1. Localização da Venezuela. A Figura da direita mostra uma projeção tri-dimensional da região afetada pelas chuvas intensas, indicando dentro da elipse vermelha a região afetada pelos desabamentos e avalanches na faixa entre a Montanha El Avila e o Mar Caribe. A cidade de Caracas fica no lado sul da Montanha.

região mais atingida foi o litoral do Caribe, no Estado de Vargas, que ocupa uma faixa de terra entre o mar Caribe e as montanhas (Figura 1). Os registros de chuva em Caracas Distrito Federal (ao sul da Montanha El Avila na Figura 1) indicaram 85 mm acumulados para o dia 15 e 70 mm acumulados no dia 16 de dezembro de 1999. No entanto, próximo ao mar Caribe no aeroporto de Maiquetia as chuvas chegaram até 791 mm no mesmo período, numa estação do ano que climatologicamente corresponde a estação seca.

Os dias mais chuvosos foram no início do mês, nos períodos dos dias 12 e 13 e 15 até 17 de dezembro, sendo que as chuvas no decorrer destes períodos foram causadas por diferentes mecanismos físicos. Devido a problemas de infraestrutura na rede de observação de superfície e ar superior, não foi feita uma coleta contínua de informação de chuva nem de sondagens de ar superior na região durante os dias chuvosos, e só algumas estações da Força Aérea ou da Marinha da Venezuela reportaram algum tipo de informação de chuva, sendo que alguns destes postos não estão localizados nas áreas onde ocorreram as chuvas máximas.

Um laudo técnico divulgado pela Comisión Nacional de Meteorología e Hidrología (CNMH) do governo da Venezuela indica que durante o dia 16 de dezembro de 1999 ocorreu uma situação de divergência nos altos níveis da atmosfera sobre o centro-norte do país, o que possivelmente favoreceu a formação de nebulosidade de pouca espessura, associada a chuvas fracas e contínuas, que se desenvolveram até gerar nuvens convectivas responsáveis por temporais ocorridos durante a manhã do dia 16 de dezembro. Os meteorologistas locais explicam a presença das chuvas em parte, pelo efeito de remanescente de frentes frias vindas do norte, chamadas localmente de "*Situaciones Nortes*", as quais estão associadas a chuvas pouco intensas e muito persistentes.

Uma frente fria na sua parte mais ao norte, em latitudes altas, tem sua gênese nos centros de baixa pressão e, eventualmente, se estende até a região tropical. Nos meses das estações chuvosas o número de remanescentes de frentes varia de 4 a 6 vezes por ano para região norte-centro e seus impactos são fracos, porém, quando atingem a costa são afetados pela orografia, intensificando-se e gerando chuvas fracas por vários dias. Em alguns anos, os sistemas frontais podem chegar mais intensos e, conseqüentemente, geram precipitações maiores que o normal por vários dias consecutivos. Com pouca frequência, os efeitos remanescentes das frentes podem chegar muito intensos na região costeira da Venezuela, gerando chuvas por alguns dias e produzindo enchentes, como a ocorrida em fevereiro de 1951 e recentemente em dezembro de 1999.

Historicamente, eventos da mesma ordem de magnitude já aconteceram na região. Um episódio similar foi reportado

por Alexander von Humboldt (segundo a CNMH), na mesma área em fevereiro de 1798 (Tabela 1). Registros históricos fornecidos pela Força Aérea da Venezuela indicam também enchentes recordes na mesma área em 1912 e 1938. Foram reportados 600 mm de chuva em meados de fevereiro de 1951, também na faixa entre a montanha El Avila e o Mar Caribe, porém os danos e perdas de vidas humanas foram bastante menores devido ao pouco desenvolvimento da região quando comparado a 1999. A Tabela 1 mostra que alguns dos eventos extremos de chuva que afetaram o norte e centro da Venezuela aconteceram nos anos de La Niña (1938, 1951, 1975, 1984, 1988 e 1999), enquanto que outros foram durante anos de El Niño (1991, 1992 e 1995) ou durante anos neutros (1944, 1979 e 1996). Os acumulados de chuva no evento de 14-16 de dezembro de 1999 (1258 mm) são só comparáveis com os eventos de 15-18 de fevereiro de 1951 (529 mm) ou 15 de Novembro de 1944 (406 mm).

Tabela 1. Histórico de eventos extremos de chuva que afetaram as regiões norte e centro da Venezuela (Fonte: CNMH)

Data	Precip. Max total (mm)	Precip. Max 24H (mm)	ENOS
11/2 até 14/2 de 1978			
Novembro de 1878			
25/11/1938			La Niña
15/11/1944	406	406	Neutro
15/2 até 18/2 de 1951	529	419	La Niña
06/12/1975			La Niña
01/11/1979			Neutro
23/11/1984			La Niña
31/12/1988			La Niña
18/11 até 27/11 de 1991			El Niño
23/11 até 25/11 de 1992			El Niño
19/03 até 25/03 de 1995			El Niño
Março de 1996			
19/11 até 05/12 de 1996			Neutro
14/12 até 16/12 de 1999	1258		La Niña

3. DADOS E METODOLOGIA

Foram utilizadas informações diárias de estações do norte e centro da Venezuela, fornecidas pela Força Aérea Venezuelana (FAV), Armada de Venezuela (AV) Universidad Central de Venezuela (UCV), Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), e Comisión Nacional de Meteorología e Hidrología (CNMH) do governo da Venezuela

(Tabela 2). As Tabelas 3 e 4 mostram as observações (e estimativas em alguns casos) para o período de 1 até 30 de dezembro de 1999, assim como nos períodos mais chuvosos de entre 11 e 18 deste mês. Informações climáticas adicionais de Caracas desde 1901 até 1990 foram fornecidas pela Climate Research Unit-University of East Anglia, UK. A climatologia de chuva do país foi estimada baseada nos dados do Climate Prediction Center [CPC] Merged Analysis Precipitation-CMAP (Xie e Arkin, 1998). O CMAP é um produto derivado de informações de pluviômetros assim como de estimativas de chuva baseadas em satélites meteorológicos, tem um domínio global com uma resolução de 2.5-2.5 graus de latitude-longitude e cobre o período entre 1979-2000.

Tabela 2. Postos pluviométricos usados neste estudo. As Instituições são: Fuerza Aerca de Venezuela (FAV), Armada de Venezuela (AV), Ministério de Médio Ambiente e Recursos Naturais (MARN).

Estação	Longitude (W)	Latitude (N)
Maiquetia (FAV)	66° 56'	10° 35'
Caracas-Observ. Cagigal (AV)	66° 55'	10° 30'
Caracas-La Carlota (FAV.)	66° 50'	10° 29'
Mamo (AV)	67° 02'	10° 35'
Coro (FAV)	69° 40'	11° 24'
Tocopero (AV)	69° 15'	11° 29'
La Asunción (MARN)	63° 51'	11° 01'
San Juan (AV)	68° 15'	10° 12'
Barquisimeto (MARN)	69° 21'	10° 02'

Informações diárias da temperatura média semanal do oceano Atlântico (TSM) na região de estudo (30°N-15°S, 85°W-15°W) para as 0000Z no período de 9 até 19 de dezembro foram fornecidas pelo NCEP (National Center for Environmental Predictions). As análises diárias de circulação em superfície e em altitude (0000Z e 1200Z) foram fornecidas pelo NCEP a uma resolução de 1,875° x 1,875° graus de latitude-longitude. As variáveis analisadas são circulação e altura geopotencial em 200 e 850 hPa. Imagens do satélite GOES foram utilizadas para observar o deslocamento dos sistemas convectivos que produziram a chuva na região durante o período entre 14 e 16 de dezembro de 1999.

4. CLIMATOLOGIA DE CHUVAS NA REGIÃO E AVALIAÇÃO DAS CHUVAS INTENSAS DE DEZEMBRO DE 1999

A região norte da Venezuela próxima ao Mar do Caribe apresenta uma chuva média anual entre 1000 a 1500 mm entre os Rios Orinoco e Apure até o litoral norte do país. As

regiões próximas ao Golfo de Paria (ao leste de Caracas) apresentam chuvas de até 2500 mm. No estado de Zulia, próximo ao Lago Maracaibo no oeste do país, as chuvas podem variar entre 700 a 1200 mm. Na região de Caracas, na faixa entre o litoral e a montanha, a chuva varia entre 700 mm (adjacente ao mar) e 2000 mm próximo a serra (MARN, 1985). Segundo Trewartha (1981), o número médio de dias com chuva durante o ano, no litoral norte da Venezuela é de aproximadamente 165-200 próximo a Caracas, variando de 200 próximo ao Golfo de Paria até 100-150 próximo ao Lago Maracaibo.

A Figura 2 apresenta a climatologia de chuva de dezembro sobre a Venezuela (período de 1979-2000) do CMAP, assim como a chuva de dezembro 1999, e a anomalia média de chuva desde 1979 até 2000. Neste mês, as regiões mais chuvosas estão no sul do país, com mais de 200 mm, enquanto que a região do Distrito Federal entre os estados de Zulia (oeste do país) e Nueva Esparta (leste do país) só apresentam 40 mm (Figura 2a). Em dezembro de 1999 (Figura 2b) toda a região norte do país próxima ao litoral do Caribe apresenta chuvas maiores que 100 mm (Figura 2c), apresentando anomalias positivas de chuva de mais de 70 mm ao longo do litoral da Venezuela, no entanto a região sul do país, normalmente chuvosa neste mês, apresenta anomalias negativas de chuva da ordem de 50 mm abaixo do normal. Segundo Larsen e Torres-Sierra (2000), as chuvas foram entre 40-50% acima do normal em toda a região leste do Caribe durante 1999. Pelo tamanho da grade (2,5°-2,5° lat-lon) e a resolução temporal do fenômeno, é possível que detalhes de chuvas locais não tenham sido representados pelo CMAP. Desta forma foi feita uma análise em nível de estações que reportaram informações durante dezembro de 1999.

A Figura 3 mostra os valores diários observados em estações localizadas em diferentes regiões do país: estado Zulia (oeste do país, Figura 3a), Caracas Distrito Federal (no vale próximo à montanha El Avila) e estado de Vargas (estações próximas ao litoral do Caribe), onde as maiores chuvas foram registradas (Figuras 3b, d), estado Falcón na região central (Figura 3c), e Yaracuy e Nueva Esparta na região leste (Figuras 3e, f). As observações em Maiquetia, próximo ao Aeroporto Internacional Simón Bolívar de Caracas, superam grandemente as estimativas da Climate Reseach Unit CRU (Figura 4, que tem uma escala de 0,5° x 0,5° graus lat-lon).

A Figura 4 mostra a chuva média de dezembro derivada da CRU desde 1901 até 1998 em um ponto de grade próximo a Caracas. De fato, a média de dezembro aparece com 51 mm, enquanto que as chuvas de dezembro de 1999 chegaram a mais de 250 mm, a maior de todo o registro. Como estes valores representam uma média na grade, provavelmente sofrem uma subestimação.

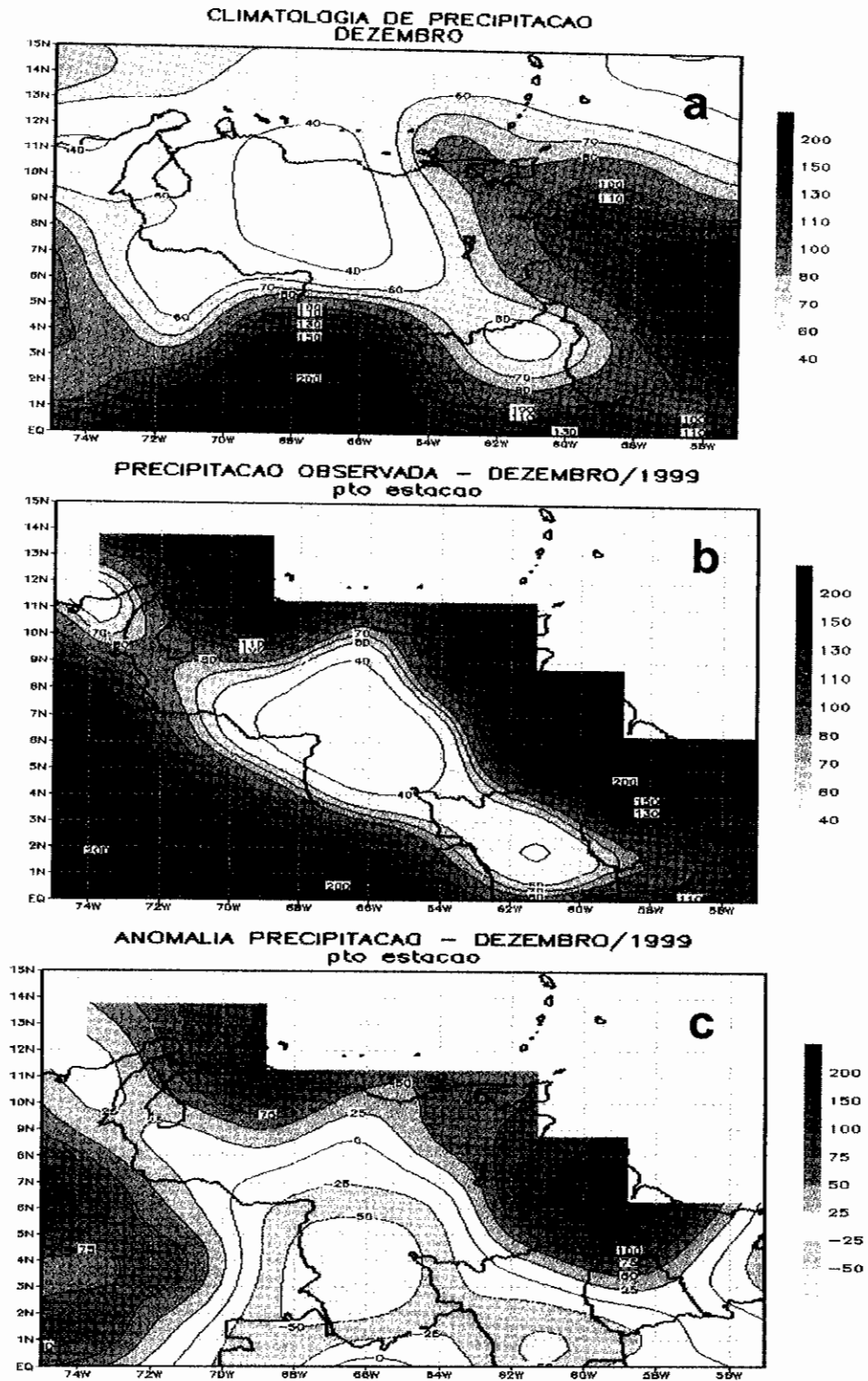


Figura 2. a) Climatologia de precipitação para a Venezuela para o mês de dezembro (média de 1979-1990), b) Precipitação observada em dezembro de 1999, c) Anomalia de precipitação para dezembro de 1999. Média histórica para determinar a anomalia e a climatologia 1979-2000 do CMAP. Os valores estão em mm/mês. Fonte de dados e CMAP (Xie e Arkin, 1998).

Avaliação dos eventos extremos de chuvas no norte da Venezuela de 13-17 de Dezembro de 1999.
Estudos observacionais

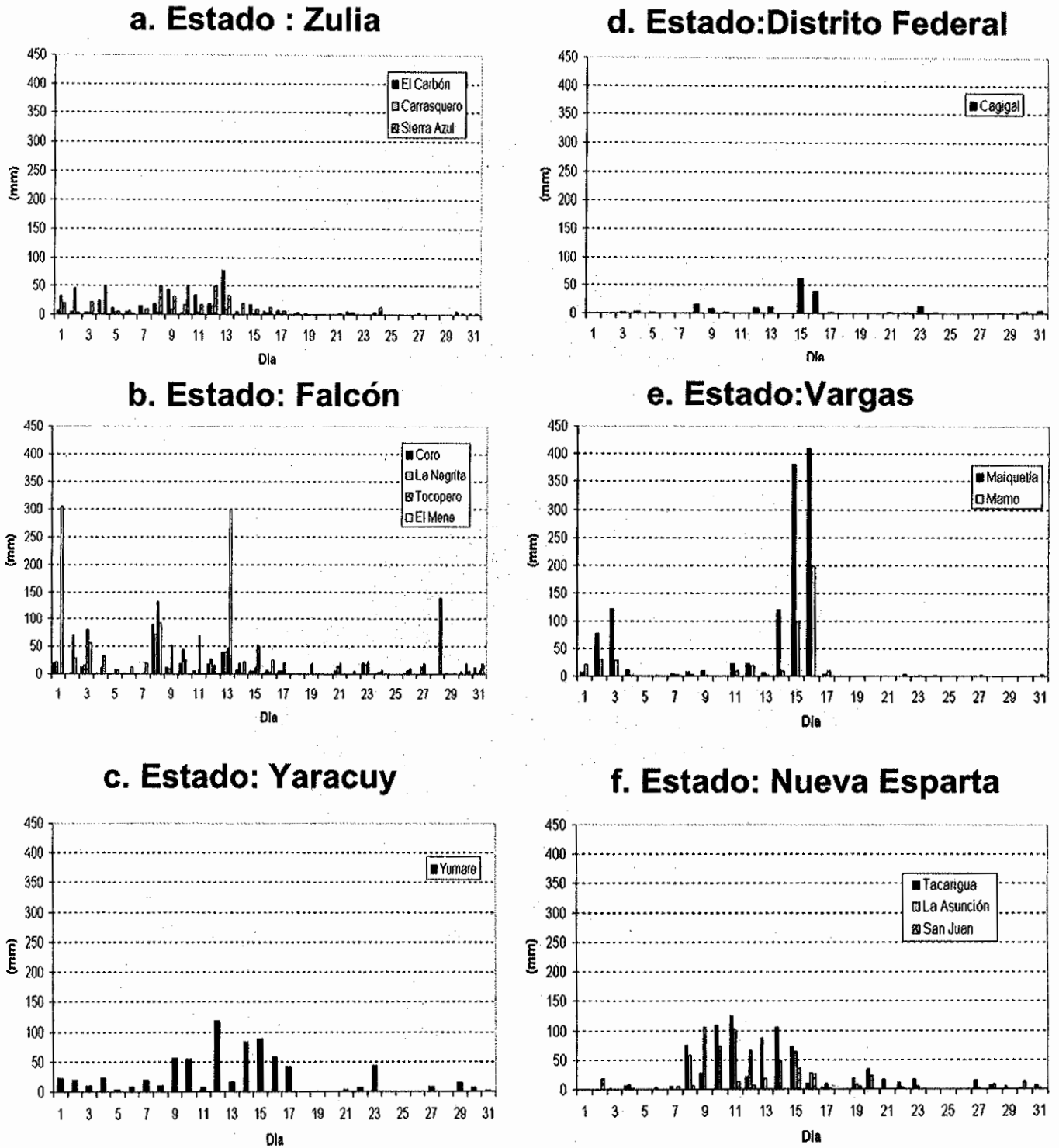


Figura 3. Precipitação diária (mm/dia) em vários estados da Venezuela, para o período de 1 a 31 de dezembro de 1999. a) Estado Zulia (postos El Carbón, Carrasquero, Sierra Azul), b) Estado Falcón (postos Coro, La Negrita, Tocopero, El Mene), c) Estado Yaracuy (posto Yumare), d) Distrito Federal (posto Caracas-Cagigal), e) Estado Vargas (postos Maiquetia, Mamo), f) Estado Nueva Esparta (Postos Taricagua, La Asunción, San Juan). Fonte: Comisión Nacional de Meteorología e Hidrología, Fuerza Aerea de Venezuela, Marina de Venezuela, Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales de Venezuela.

Na Tabela 3 pode-se observar os valores de chuva diária ocorridas em estações localizadas em diferentes partes da região norte da Venezuela, desde o início do mês até o dia 17 de dezembro. Nos dias 15 e 16, as chuvas registradas em Maiquetia acumularam 790 mm nesses dois dias. Os totais dos 17 dias foram muito maiores (1200,9 mm) que a média climatológica durante o mesmo período em Maiquetia, que é de apenas 58,7 mm (MARN, 1985).

5. SITUAÇÃO SINÓTICA E DE ÁGUAS OCEÂNICAS SUPERFICIAIS NO ATLÂNTICO TROPICAL

Durante os dias com chuva intensa no litoral norte do país, observa-se um escoamento com fluxo de leste proveniente do Atlântico tropical do norte próximo ao litoral do país, e também se observa a entrada de uma frente fria e o cavado associado a ela, que se estende desde o Mar do Caribe até o norte do país. Esta combinação de fatores

determinou uma advecção quente de umidade do oceano ao continente, o que permitiu o desenvolvimento de atividade convectiva e bandas de nebulosidade sobre a costa Caribenha da Venezuela, influenciando as precipitações, especialmente, sobre o norte do país.

a) Anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) e circulação de superfície e níveis superiores no Atlântico Tropical:

No decorrer no período de 13 até 17 de dezembro de 1999, observa-se temperatura superiores a 28°C no Atlântico tropical do norte, estendendo-se desde 40°W até 60°W e entre 12°N até o Equador adjacente no litoral da Venezuela (Figura 5). A partir do dia 13 aparece uma região de TSM de 28.5 C próximo ao litoral leste da Venezuela e Guianas, que intensifica-se em extensão até o dia 15, quando acontecem as chuvas mais intensas. Os campos de anomalias de TSM (não apresentados) mostram anomalias frias de TSM (de até -1,2°C) sobre o mar do Caribe próximo a Cuba e sudeste dos

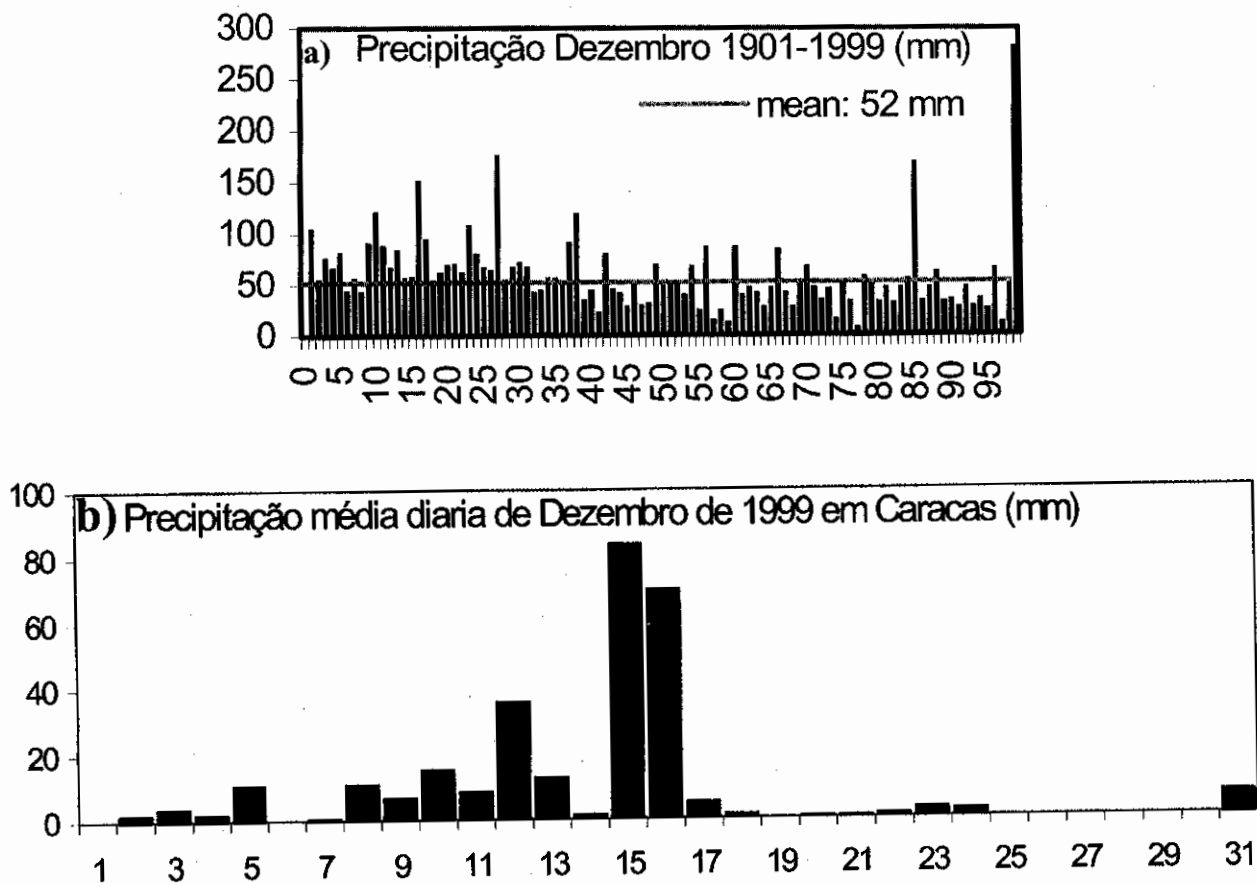


Figura 4. Precipitação diária de dezembro de 1999 sobre um ponto de grade próximo a Caracas. Os dados foram obtidos em ponto de grade 0.5°-0.5° graus lat-lon de precipitação continental entre 10-10.5° N e 65.5-66° W. a) Série de tempo de chuva do mês de dezembro na grade próxima a Caracas de 1901 até 1999, b) Precipitação diária durante dezembro de 1999 no ponto de grade próximo a Caracas. Fonte de dados: Climate Resesarch Unit da University of East Anglia (UK).

Estados Unidos (22°N 77°W) que se mantêm intensas até o dia 13 de dezembro (Figura 5 a, b). Neste mesmo período, sobre o oceano Atlântico tropical (8°N, 40°W), uma anomalia de TSM positiva é observada mantendo-se estável em torno de +1°C. Esta anomalia intensifica-se chegando em +1,2°C durante os dias chuvosos de 11 a 13, e continuando a incrementar até +1,6°C no período entre 14 e 16 de dezembro.

Tabela 3. Precipitação diária acumulada (mm) nas estações do norte da Venezuela no período de 1 a 31 de dezembro de 1999 (Fonte: FAV, AV, CNMH).

DIA	La Carlota FAV	Cagigal AV	Mamo AV	Maiquetía FAV
1	0,0	0,4	20,1	8,0
2	0,0	0,0	31,1	77,3
3	23,2	0,9	29,5	121,2
4	4,7	2,8	1,0	11,8
5	0,0	2,0	0,0	0,0
6	6,7	0,6	0,0	1,1
7	1,2	0,0	3,0	5,0
8	4,5	16,5	2,6	8,1
9	9,4	7,4	1,8	10,4
10	4,2	1,9	0,0	0,0
11	4,4	0,3	10,3	23,2
12	3,3	8,6	20,0	21,8
13	30,0	11,1	1,2	7,1
14	6,2	0,6	10,4	120,0
15	18,9	62,1	99,4	380,7
16	47,9	39,5	198,4	410,4
17	43,2	1,7	9,1	2,9
18	-	0,0	0,0	-
19	-	0,0	0,0	-
20	-	0,0	0,0	-
21	-	1,7	0,0	-
22	-	1,4	3,8	-
23	-	12,3	0,9	-
24	-	1,1	1,4	-
25	-	0,0	0,0	-
26	-	0,0	0,0	-
27	-	0,0	1,6	-
28	-	0,0	0,0	-
29	-	0,0	0,0	-
30	-	2,8	0,0	-
31	-	5,0	3,1	-
Total Precip.	207,8*	180,7	428,6	1209,0*

(*) Acumulado no período de 1 a 17 de dezembro 1999. (-) Sem dados.

A intensificação da TSM nesta região adjacente a costa da Venezuela e Guianas no período de 13 a 15 de dezembro de 1999 é consistente com os campos de circulação próximos à superfície também apresentados na Figura 5.

No campo de circulação em superfície no começo do período (Figuras 5 a, b) ventos predominantemente de componente zonal, tendem a se intensificar durante os episódios chuvosos de 15 e 16 de dezembro (Figuras 4d, e). Os ventos de leste durante 15 e 16 de dezembro são mais intensos com um escoamento sobre águas mais quentes (acima de 28.5°C na região 5-11°N e 40-57°W) no período que compreende os dias 14 e 15 de dezembro, e que favoreceram uma maior advecção quente nos baixos níveis (ventos mais quentes e úmidos), ajudando ao desenvolvimento de convecção sobre a região litorânea ao norte da Venezuela. Esta convecção é também favorecida pela circulação em altos níveis e pela presença de elevação no terreno numa faixa próxima ao litoral.

De fato, os campos de advecção térmica em 1000 hPa apresentados na Figura 6, mostram advecção quente próxima à costa da Venezuela e Guiana, que se intensifica desde o dia 13 e se estende entre 55 a 65°W, com maior intensidade nos dias 15 e 16, enquanto que advecção fria é observada no oceano Atlântico tropical Norte e Mar Caribe. Esta advecção quente de leste para o litoral da Venezuela aparece com maior intensidade ao nível do mar, porém não foi bem representada no nível de 850 hPa sugerindo um caráter superficial associado a uma superfície oceânica relativamente mais quente.

A Montanha El Avila é alta suficiente para permitir uma condensação do ar úmido e quente assim como precipitação intensa na região orientada para o mar Caribe, que é também a mais desprotegida devido a remoção de sua cobertura vegetal em função de urbanização. O fluxo de umidade que chega do Atlântico tropical do Norte pode chegar até a cidade de Caracas, ainda que com menor conteúdo de umidade e gerando menos chuva que na região do litoral.

A análise da circulação e advecção térmica nos baixos níveis das Figuras 5 e 6 é complementada pela análise do campo de pressão ao nível do mar da Figura 7. Nos dias anteriores aos eventos chuvosos, o campo apresenta uma circulação anticiclônica sobre a região próxima a Miami (1025 hPa) e uma baixa pressão intensa em aproximadamente 25°N e 50°W (1010 hPa) que tende a se deslocar para o norte dias depois. No interior do continente, encontra-se um centro de baixa pressão sobre o norte e nordeste da Amazônia (1009 hPa). Situação sinótica similar foi detectada no caso de 15 de fevereiro de 1951, com uma baixa pressão no sul da Venezuela com intensidade de 1008 hPa, com a alta do Caribe apresentando 1026 hPa. Durante os dias chuvosos de 11 de fevereiro e após, a maior mudança foi a intensificação do

Tabela 4. Chuvas acumuladas em eventos extremos de chuva na Venezuela (Fontes: FAV, AV, CNMH)

a) 11-13 de dezembro de 1999

Data	Estação (Estado)	Precipitação (mm)
11 - 13 de dezembro (72 horas)	Maiquetía (Vargas)	52,1
	Caracas-Cagigal (Distrito Federal)	
	Tocopero (Falcón)	131,2
	La Asunción (N.Esparta)	176,0
	San Juan (N. Esparta)	196,0
	Barquisimeto (Lara)	19,7
	El Carbón (Zulia)	129,9
	Sierra Azul (Zulia)	100,4
	Mamo (Vargas)	33,5
	La Asunción (N.Esparta)	186,5
	Yumare (Yaracuy)	142,4

b) 15-18 de dezembro de 1999

Data	Estação (Estado)	Precipitação (mm)
15-18 de dezembro (96 horas)	Caracas (Distrito Federal)	124,0
	Maiquetia (Vargas)	794,0
	Tocopero (Falcón)	34,4
	La Asunción (N.Esparta)	101,0
	San Juan (N. Esparta)	101,0
	El Infiernito (Vargas)	1259,0
	Barquisimeto (Lara)	1,8
	El Carbón (Zulia)	27,2
	Sierra Azul (Zulia)	29,0
	Caracas-Cagigal (Distrito Federal)	100,7
	La Guaira (Vargas)	248,0
	Mamo (Vargas)	306,9
	La Asunción (N.Esparta)	128,9
	Yumare (Yaracuy)	188,8

centro de baixa pressão em 25°N, chegando a 998 hPa, que coincide com a intensificação da frente fria que se estende até o interior da Venezuela, como também foi observado no episódio chuvoso de fevereiro de 1951.

Toda a área próxima ao Golfo do México também apresenta condições de céu claro, associadas à intensificação da alta pressão sobre a área, com águas relativamente mais frias. Observa-se uma frente fria deslocando-se para o sudeste e convecção isolada sobre o litoral da Venezuela consistente com as anomalias positivas de TSM nesta área (Figuras 5 a-d). Em altitude (200 hPa, Figura 8), uma anomalia

ciclônica é detectada (associada a um vórtice ciclônico), assim como um cavado de altura se estendendo desde o noroeste do Brasil até o Golfo do México, e uma crista que se localiza desde o Atlântico tropical norte até o interior da Venezuela, desde o dia 9 até o dia 13. A alta troposférica da Bolívia aparece em 15°S. Estes padrões intensificam-se durante os dias 10 e 11.

A circulação de altos níveis (Figuras 8 a-f) também apresenta a crista mais deslocada para leste, aproximadamente a 70°W no dia 15, chegando até 65°W no dia 16 e estende-se através da Venezuela até Roraima. O cavado mais

Avaliação dos eventos extremos de chuvas no norte da Venezuela de 13-17 de Dezembro de 1999.
Estudos observacionais

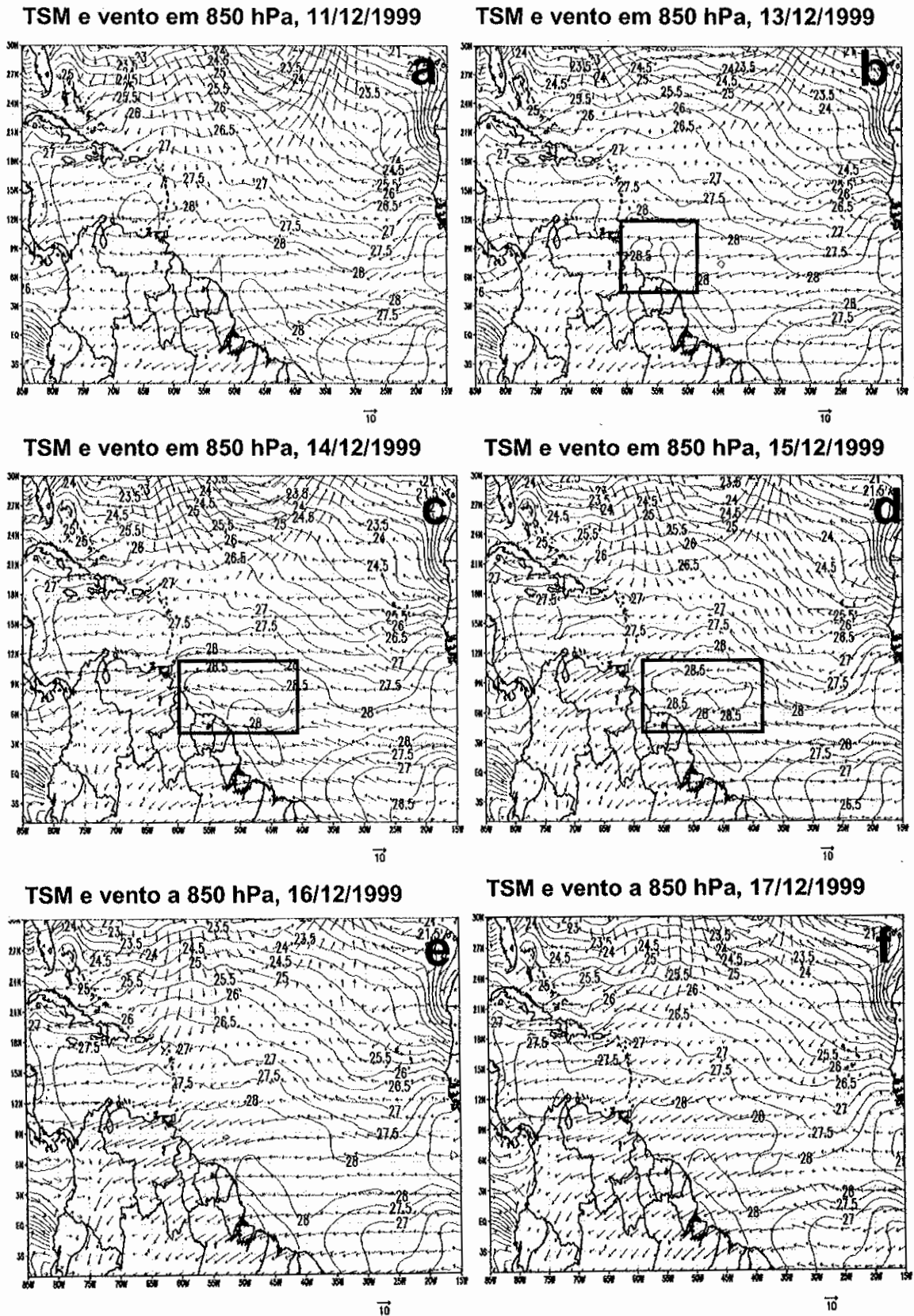


Figura 5. Campos de temperatura de superfície do mar (°C) e circulação (escala de vento aparece na parte inferior direita de cada painel) em 850 hPa (0000Z) para o período de 12-17 de dezembro de 1999. Fonte de dados: NCEP.

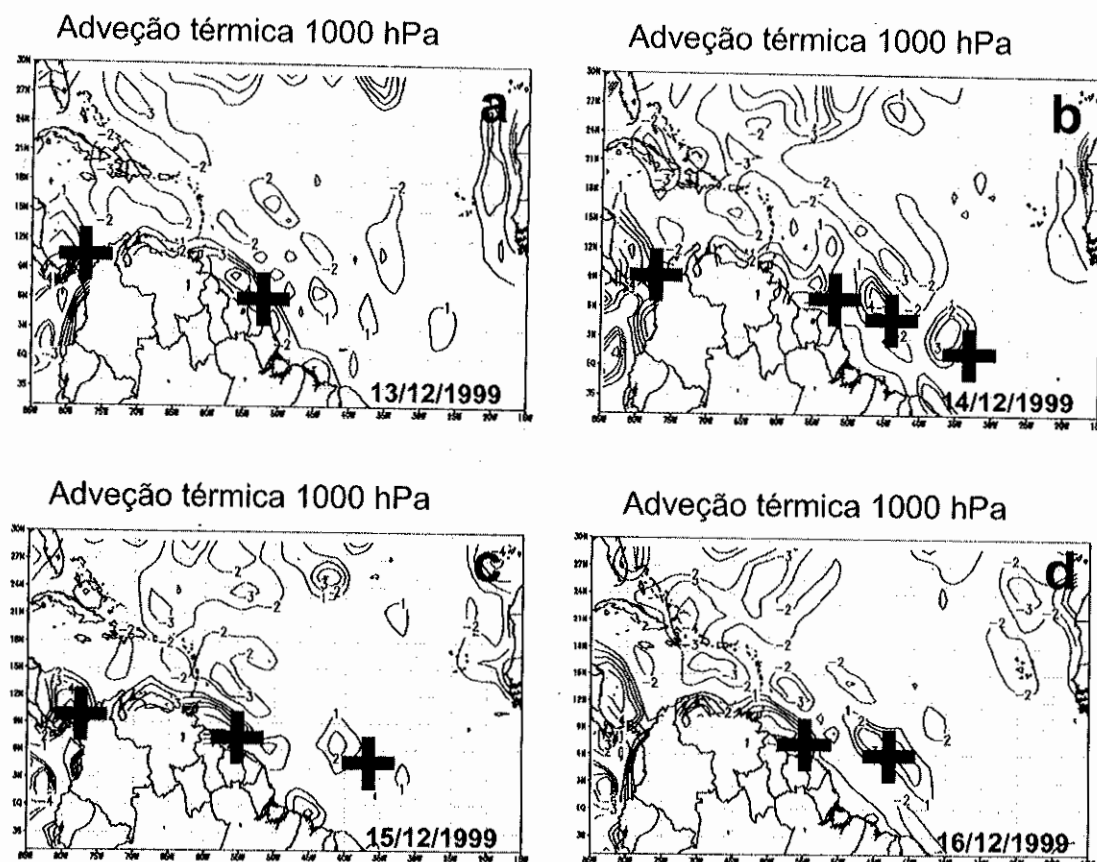


Figura 6. Campo de advecção térmica a 1000 hPa (em $^{\circ}\text{K}/\text{dia}$), para o período 13-16 de dezembro de 1999. Valores negativos aparecem em linhas quebradas. O sinal + mostra as áreas de advecção quente. Fonte de dados: NCEP.

intenso que fica a 40°W estende-se desde a foz do Rio Amazonas, atravessando a costa da Venezuela até o Mar Caribe próximo a Flórida. Um cavado associado a um vórtice ciclônico é observado próximo à foz do Rio Amazonas. A Alta da Bolívia permanece mais ao norte (10°S) que no evento anterior até o dia 16, e dissipa-se a partir do dia 17.

Não existem sondagens disponíveis na região durante o período estudado, pois a estação de radiossonda do Aeroporto Internacional Simón Bolívar não esteve em operação na maior parte de dezembro de 1999. Dessa forma foram utilizadas as reanálises do NCEP para explicar a estrutura vertical da atmosfera sobre a área próxima a Maiquetia (Figuras 9a-d). As reanálises mostram nos baixos níveis um fluxo de nordeste, que estende-se desde a superfície até 800 hPa, que é especialmente intenso nos dias 15 e 17 de dezembro em níveis inferiores a 900 hPa. Em níveis médios e altos a circulação ainda mostra vento de leste porém mais fraco. Os perfis de temperatura e umidade específica mostram a presença de ar mais quente e úmido nos dias 15 e 17 nos baixos níveis (925-1000 hPa), o que junto com os perfis de vento e as análises de circulação e advecção em baixos níveis,

sugere a entrada de ar quente e úmido desde regiões mais quentes do Atlântico tropical norte até o litoral da Venezuela, ao longo da faixa entre o Mar Caribe e a Montanha El Avila.

b) Variabilidade diurna de convecção e chuvas

As informações horárias de chuva fornecidas pela CNMH para estações localizadas na Universidad Central de Venezuela e no Aeroporto Internacional de Caracas em Maiquetia (Figuras 10 a-d), no período de 14 até 17 apontam para máximos de chuva entre as 0200-1000 LST (10 mm/hora) e 2000-2300 LST (15 mm/hora), claramente diferenciados no dia 15 de dezembro (Figura 9b). No outro dia chuvoso, 16 de dezembro a chuva parece mais uniformemente distribuída no decorrer do dia, chegando até 8 mm/hora entre 0200-0500 LST e 11-12 mm/hora entre 1000-1400 LST. Larsen e Torres-Sierra (2000) mostram que as chuvas aconteceram entre 1800Z do dia 15 até 1200Z do dia 17 de dezembro de 1999.

As imagens de satélite (Figura 11) apresentam um desenvolvimento convectivo no dia 15 que as 0427Z começa a intensificar-se próximo a Caracas, chegando a maiores intensidades às 1357Z, e dissipando-se às 2357Z. A

Avaliação dos eventos extremos de chuvas no norte da Venezuela de 13-17 de Dezembro de 1999.
Estudos observacionais

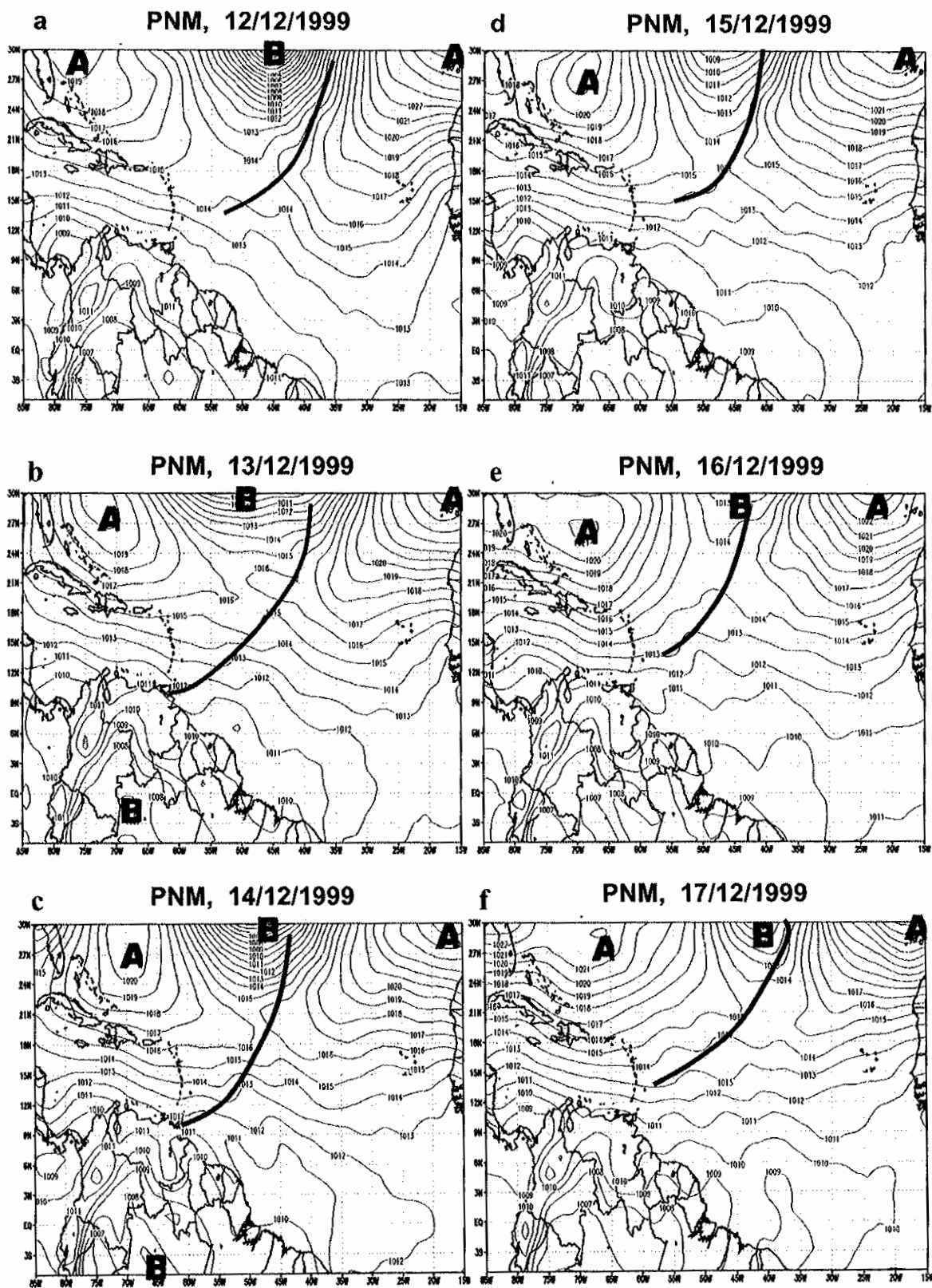
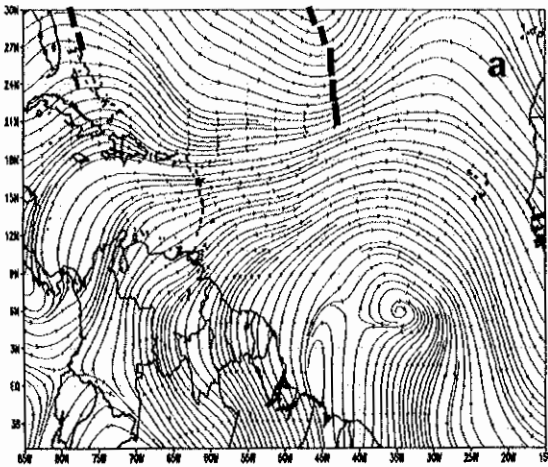
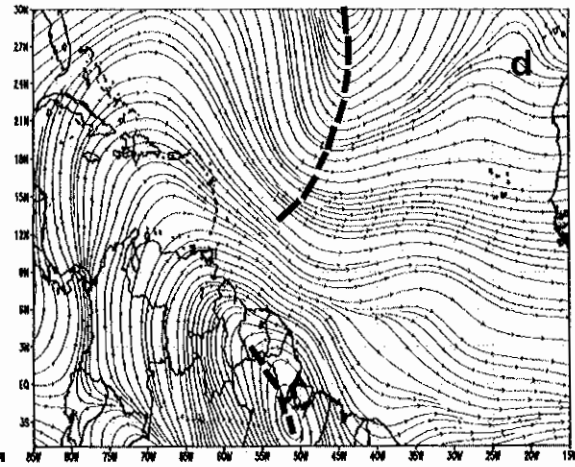


Figura 7. Campo de pressão no nível (hPa) do mar as 0000Z para o período de 12 a 17 de dezembro de 1999. Fonte de dados: NCEP.

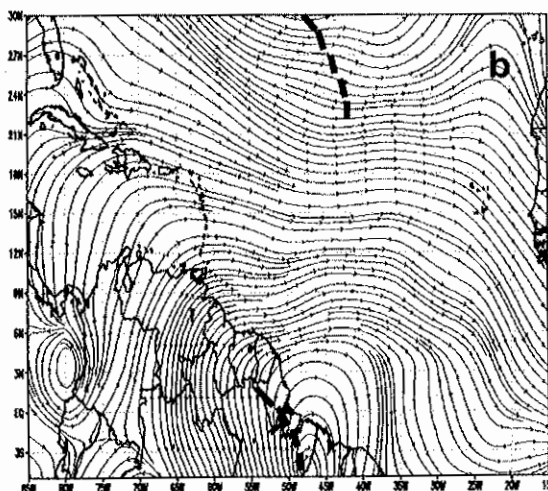
Altura geopotencial 200 hPa-12/12/1999



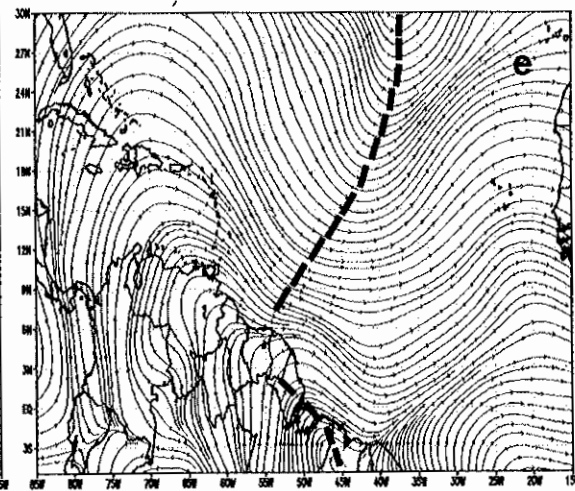
Altura geopotencial 200 hPa-15/12/1999



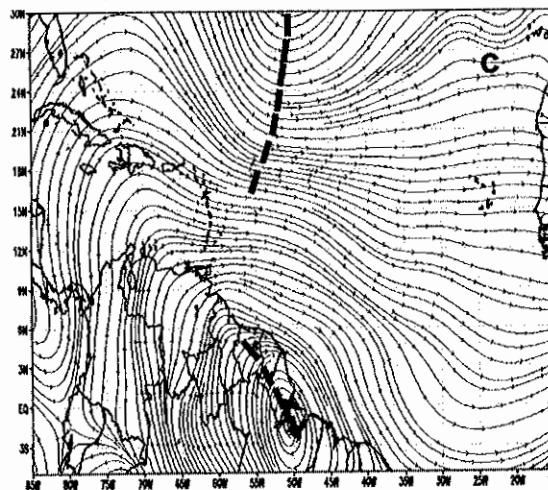
Altura geopotencial 200 hPa-13/12/1999



Altura geopotencial 200 hPa-16/12/1999



Altura geopotencial 200 hPa-14/12/1999



Altura geopotencial 200 hPa-17/12/1999

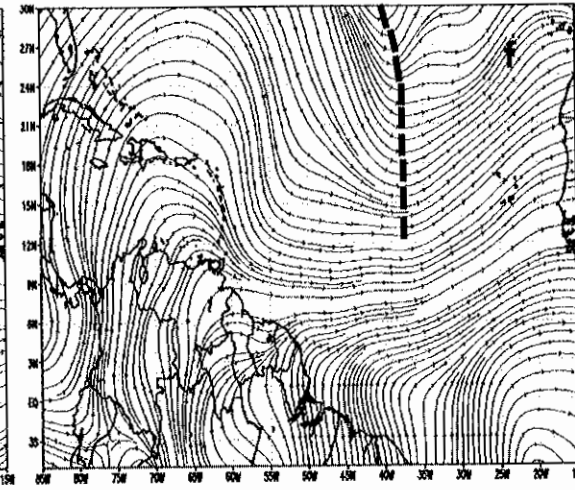


Figura 8. Análises de altura geopotencial (em gpm) a 200 hPa as 0000Z para o período 12-17 de dezembro de 1999. Fonte de dados: NCEP.

convecção desenvolve-se novamente desde 0457Z ficando intensa entre 0647Z e 1357Z, deslocando-se após para o oeste, e dissipando-se a partir de 2157Z. Os sistemas convectivos foram mais intensos e contínuos no dia 15, comparado com o dia 16, como mostrado pelas imagens de satélite. Este evento foi caracterizado por chuvas superiores a 150 mm nos dois dias, com máximos cedo da manhã e na

noite do dia 15, e com picos de chuva e convecção mais contínuos no dia 16, onde os máximos são próximos ao meio-dia, o que é confirmado pelos picos de chuva na Figura 10. As imagens de satélite mostram o deslocamento das nuvens convectivas para oeste, consistente com a advecção quente sobre áreas do Atlântico Tropical do norte mais quente que o normal.

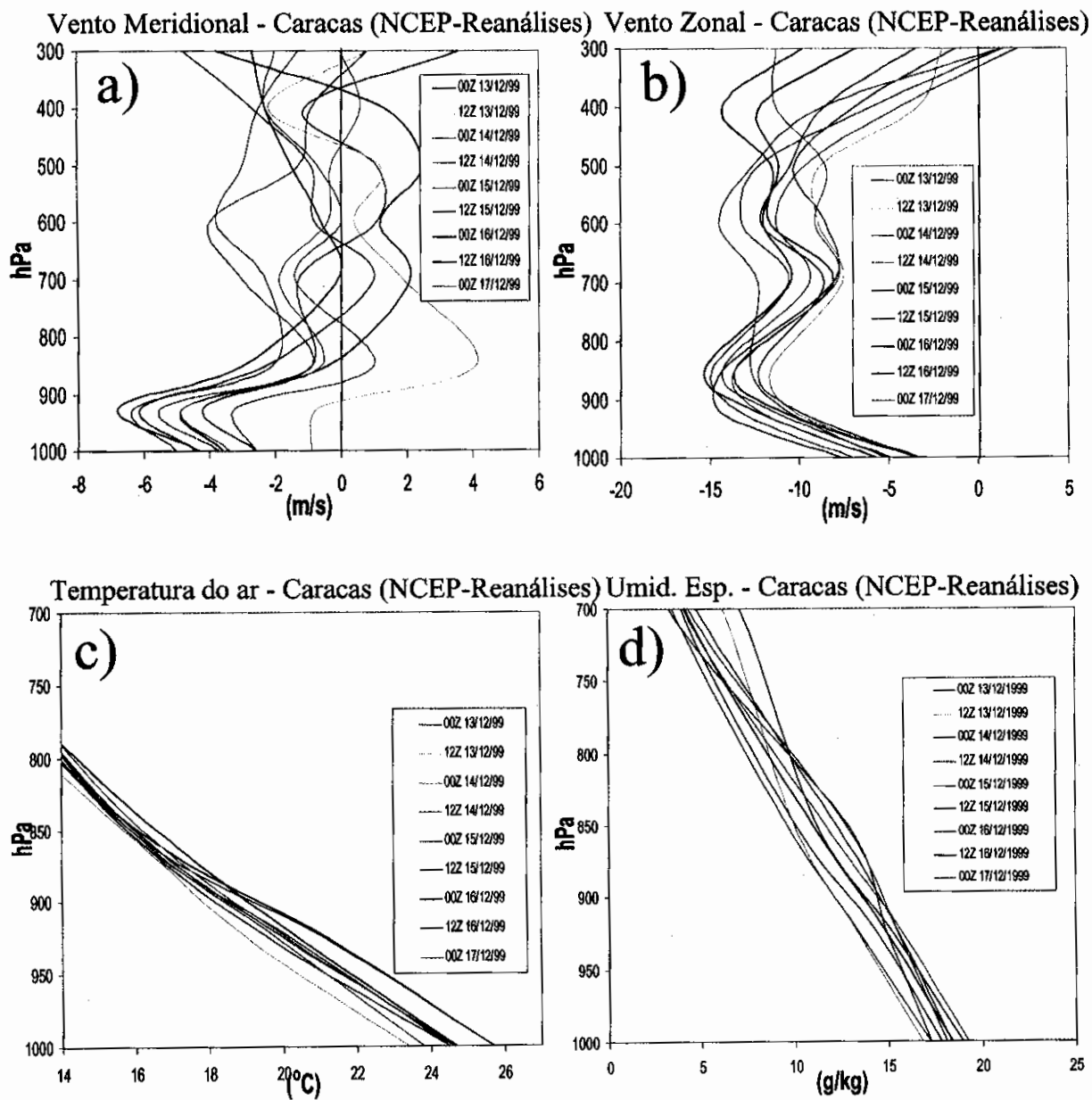


Figura 9. Perfis verticais de circulação, temperatura e umidade no período entre 13 e 19 de dezembro de 1999 sobre um ponto de grade próxima a Maiquetia. a) Vento meridional, m/s, b) Vento zonal, m/s, c) temperatura do ar (°C), d) Umidade específica (g/kg). Valores são reanálises de NCEP, para as 0000 e 1200Z.

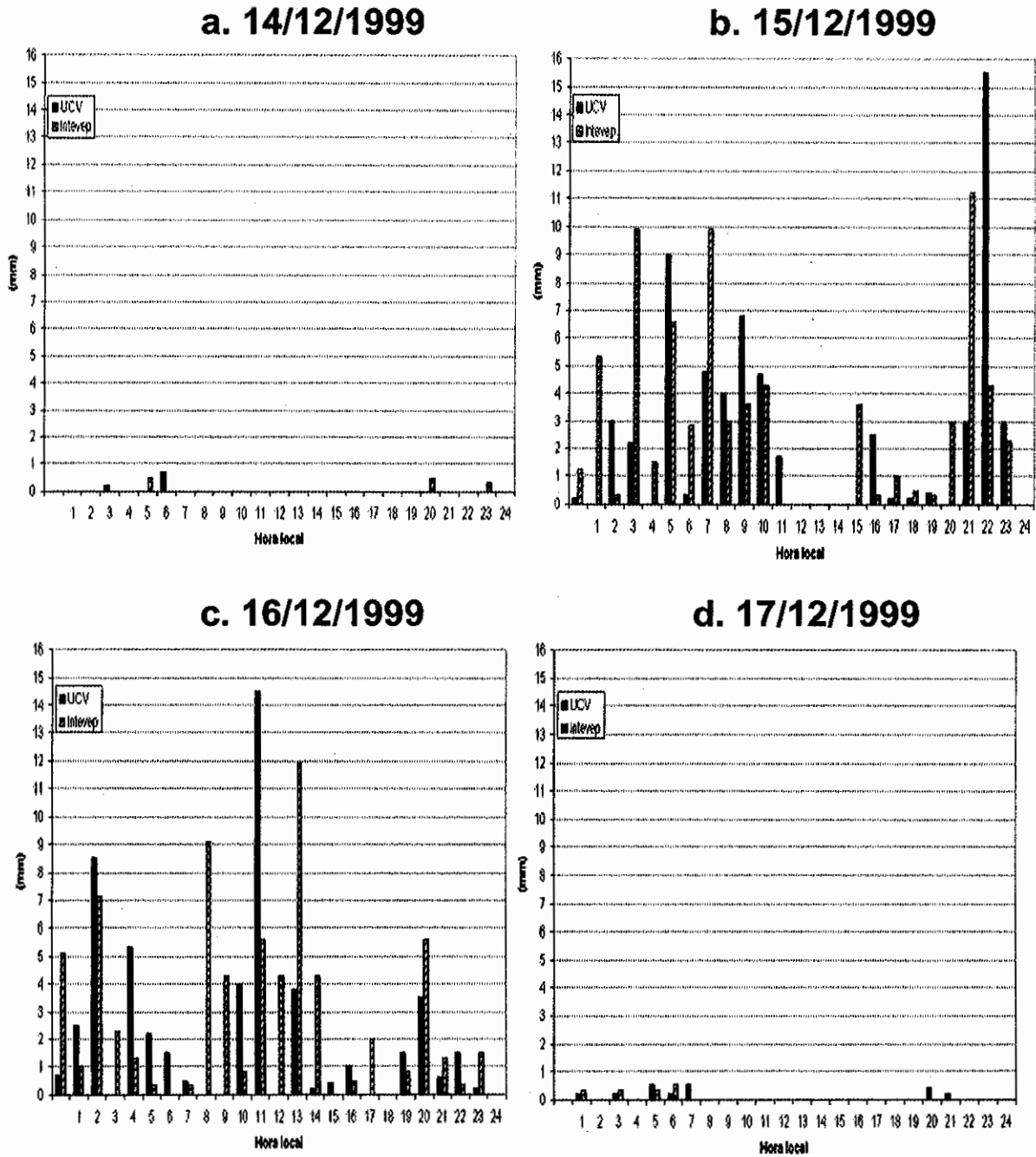


Figura 10. Chuva horária (mm) no período de 14 a 17 de dezembro de 1999, em postos na cidade de Caracas (Universidad Central de Venezuela-UCV e Aeroporto Internacional Simón Bolívar em Maiquetía).

e) Sumário das condições de circulação e variabilidade diurna de convecção e chuvas

As primeiras chuvas fortes atingiram a região de Caracas e o norte da Venezuela nos dias 3 e 4 de dezembro de 1999. Porém, as chuvas mais intensas nesta região aconteceram durante o período de 13 até 16 de dezembro. Estas chuvas associaram-se a uma intensificação do sistema de alta pressão localizada ao noreste de Cuba, acompanhado de um sistema frontal (frente fria) e de um cavado associado a esta frente, que ficaram estacionárias sobre o litoral da Venezuela, e que tiveram uma influência direta sobre a chuva na faixa entre o mar Caribe e a Montanha El Avila. Estas chuvas foram também favorecidas pela presença de águas superficiais relativamente mais quentes no Atlântico tropical norte estendendo-se até o litoral leste da Venezuela e das Guianas, que juntamente com a intensificação do fluxo de leste produziram uma forte advecção quente em baixos níveis. Esta advecção quente do Atlântico tropical para o continente, favoreceu o desenvolvimento de atividade convectiva.

A presença de um fluxo de leste mais intenso circulando sobre as regiões anormalmente quentes do Atlântico tropical próximos ao litoral da Venezuela e Guiana fez com que alguns meteorologistas locais associassem as chuvas da Venezuela a algum tipo de distúrbio de leste.

Em altos níveis, no período prévio às chuvas intensas, uma anomalia ciclônica intensa é detectada (associada a um vórtice ciclônico) desde o dia 9 até o dia 13 sobre o interior do nordeste Brasileiro estendendo-se até Cuba e o Atlântico Norte e cruzando o litoral da Venezuela e Guiana. Uma crista intensa se estende desde o Atlântico tropical Norte até a costa da Venezuela, seguindo a direção de noroeste para sudoeste. As imagens de satélite mostram convecção localizada sobre o litoral do país aproximadamente as 1100-1200 Z que depois se desloca para o interior do país, com maiores intensidades após as 2000 Z. Esta convecção é também favorecida pela circulação em altos níveis, com a alta da Bolívia chegando a 10°S e vórtice ciclônico com centro entre 0-5°S, que dissipa-se após o dia 16.

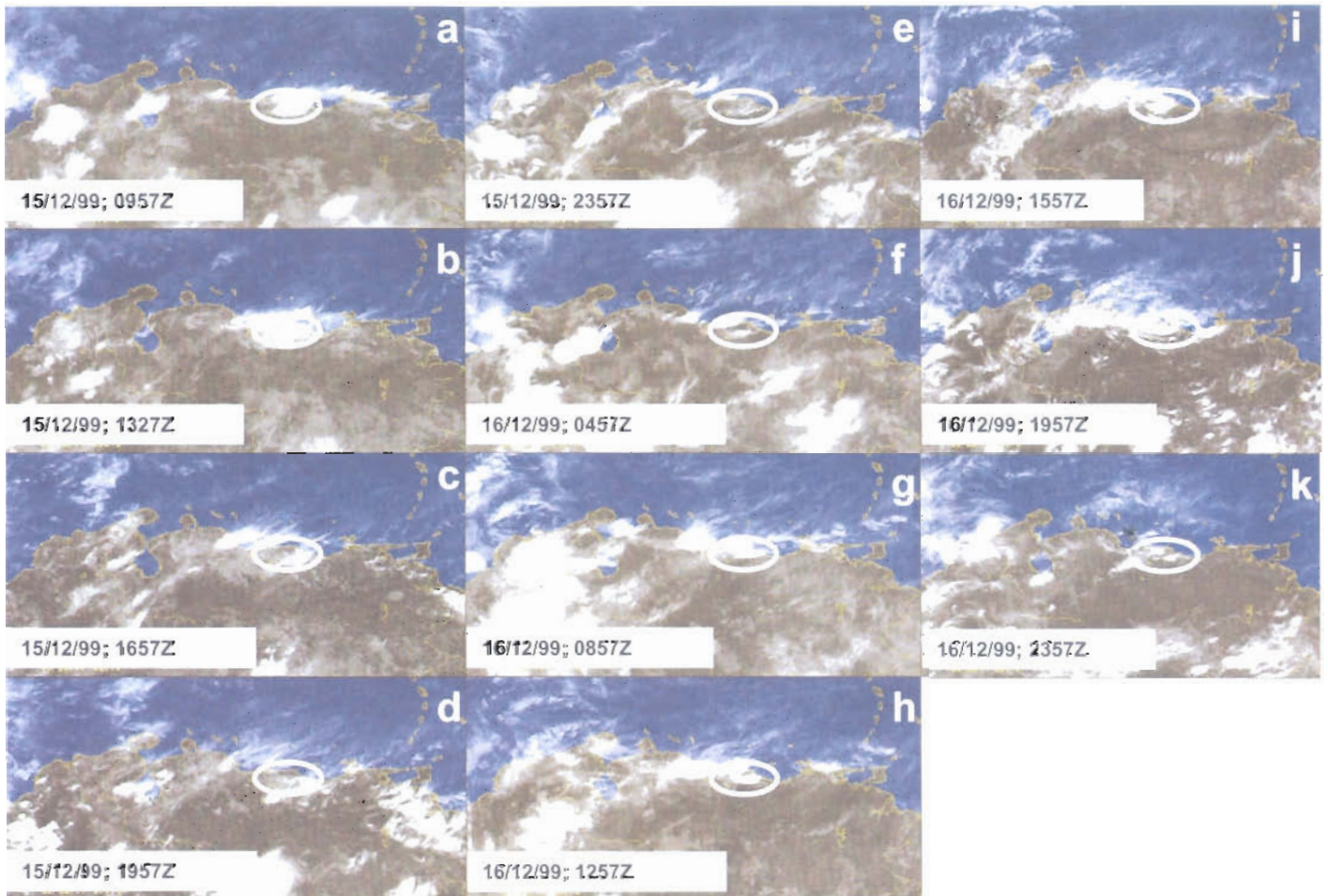


Figura 11. Sequência de imagens de satélite GOES no período dos dias 15 e 16 de dezembro 1999. Data e hora da imagem aparece na parte inferior

Uma análise dos campos termodinâmicos do índice de instabilidade atmosférica CAPE (Convective Available Potential Energy, não apresentado) mostra valores maiores que 3000 Joules sobre a região mais quente do Atlântico tropical do Norte durante o dia mais chuvoso (15 de dezembro), enquanto que próximo ao litoral leste da Venezuela o CAPE alcança valores de até 2699-2800 Joules entre os dias 14 e 15. Nestas regiões, nos dias anteriores as chuvas (12 e 13 de dezembro) os valores de CAPE chegaram até 2400 Joules, e nos dias posteriores aos eventos de chuvas intensas, toda a região ao leste da Venezuela até do Atlântico tropical do norte mostra valores de até 2200 Joules. Os valores de CAPE mostra também o grande desenvolvimento convectivo entre os dias 15 e 16 de dezembro, consistente com as análises de circulação, TSM, convecção e chuva no mesmo período. Esta análise é baseada nos campos dinâmicos de circulação.

6. CONCLUSÃO

O Serviço Meteorológico da Força Aérea da Venezuela reportou que nos dias 14, 15 e 16 de dezembro de 1999 um sistema frontal do Caribe alcançou o litoral da região norte do país e manteve-se quase-estacionário durante esses dias. No começo de dezembro de 1999, detectou-se um escoamento com fluxo de oeste proveniente da América Central, o que determinou também uma intensa convergência de umidade sobre a região afetada, o que favoreceu a intensificação da convecção na área. Este padrão de circulação esteve associado com a parte ativa de um cavado em altitude, permitindo o desenvolvimento de nuvens convectivas sobre a costa Caribenha da Venezuela, influenciando as precipitações, especialmente, sobre o norte do país.

Nos dias 15 e 16 de dezembro de 1999 o fluxo de superfície indica a presença de forte escoamento de leste que transporta umidade sobre um Atlântico anormalmente mais quente, o que alimenta esta convecção noturna e chuva nessa data. Nestes dias ocorreu transbordamento de alguns rios no estado de Táchira, e relatórios indicam quantidades de cerca de 150mm de chuva entre as 0330 e 0930 (hora local venezuelana).

O aquecimento das águas superficiais e a intensificação do fluxo de leste sobre estas águas relativamente mais quentes geraram uma advecção quente intensa desde o oceano até o norte e centro da Venezuela, alimentando também a convecção. Os valores de CAPE maiores que 3000 Joules sobre a área quente também aponta para um desenvolvimento convectivo forte que intensificou a chuva nos dias 15 e 16 de dezembro.

A situação sinótica das chuvas intensas de 14 até 16 de dezembro de 1999 também se apresentou durante outros

eventos de fortes chuvas no passado, como em fevereiro de 1951. Não há dúvida que parte dos danos foi causado pelo desenvolvimento urbano feito sem planejamento, numa área de alto risco a adversidades do tempo. A área afetada também foi desmatada para permitir o crescimento urbano, e o desmatamento ocorreu também nos leitos dos rios, alguns deles com vazões intermitentes que desembocam no Mar Caribe, precisamente na área afetada pelas avalanches. Aconteceram grandes inundações após os dias de chuvas muito intensas, o que não acontecia desde fevereiro de 1951. Tudo isto causou uma das maiores catástrofes na história da Venezuela.

Este evento pode se caracterizar como um recorrente, e um estudo de diagnóstico das causas físicas associadas a estas chuvas intensas, podem ajudar a conhecer melhor as características oceânicas e atmosféricas associadas à geração destes eventos. Estudos de modelagem podem ajudar a prever situações como esta, que não somente acontecem na Venezuela, mas também em outras regiões, tais como a que aconteceu no norte do Peru durante as chuvas intensas associadas ao fenômeno El Niño (567 mm em 24 horas em 15 de abril de 1983), ou a ocorrida nas cidades do nordeste do Brasil tal como em Recife em 1996.

Em situações como a estudada aqui, cabe perguntar se as chuvas e a catástrofe associada ao excesso de chuvas vão acontecer de novo? na mesma região? ou em outra região? é possível detectar e prever fenômenos de tempo como o reportado em 16 de dezembro e alertar a população? Poderia-se tomar medidas preventivas para aliviar ao menos em parte os danos de adversidades de tempo e clima?

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer aos órgãos do governo da Venezuela: Dirección General de Planificación y Ordenamiento Ambiental, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Fuerza Aerea e Marina de Guerra, assim como a Comisión Nacional de Meteorología e Hidrología pelas informações fornecidas para este estudo. Marcus Botino do CPTEC forneceu as imagens do satélite GOES. Maria Isabel Rojas foi em parte apoiada pelo financiamento do Projeto IAI-PESCA N° 011 entre o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Brasil e a Universidad Simón Bolívar de Caracas, Venezuela.

7. BIBLIOGRAFIA

CHOU, S.C.; ROZANTE, J.R.; BUSTAMANTE, J.F. Influência da resolução horizontal das condições iniciais e de contorno na previsão de chuvas tropicais. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000. CD ROM.

FAV. Reporte interno sobre las lluvias de Diciembre 1999 que afectaron el Estado de Vargas, Norte de Venezuela. Fuerza Aerea Venezolana, 1999. 12 p. (Trabalho não publicado)

LARSEN M., TORRES-SIERRA. Preliminary observations: Flash-Flood and landslide disaster of Venezuela. Disponível no web site do United State Geological Survey USGS <<http://pr.water.usgs.gov/public/webb/>>, 2000.

TREWARTHA, G. The Earth's climates problems. Madison: University of Wisconsin Press, 1981. 378 p.

VENEZUELA. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables. Dirección General de información e investigación del ambiente. División de vegetación. 1985. 109 p.

XIE, P.; ARKIN, P. Global monthly precipitation estimates from satellite-observed outgoing longwave radiation. J. Climate, v.11, p.137-64, 1998.