

ANÁLISE DE EVENTOS CRÍTICOS DE PRECIPITAÇÃO OCORRIDOS NA REGIÃO SERRANA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO NOS DIAS 11 e 12 DE JANEIRO DE 2011

Vanesca Sartorelli Medeiros¹ e Mario Thadeu Leme de Barros²

RESUMO --- O presente trabalho analisa as chuvas ocorridas na Região Serrana do Rio de Janeiro, em particular os eventos ocorridos nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011, causadores de uma das maiores catástrofes naturais registradas no Brasil. Cidades como Nova Friburgo, Teresópolis, Petrópolis, Bom Jardim, Sumidouro, dentre outras, foram atingidas. Houve inundações, deslizamento de encostas, rolamento de blocos enormes de pedras. Bairros inteiros foram soterrados, causando inúmeras vítimas e deixando milhares de desabrigados. A análise dos dados de precipitação leva a crer que os deslizamentos tenham sido ocasionados pelo elevado volume de chuva precipitado entre os dias 11 e 12 de janeiro. As leituras diárias registraram chuvas de mais de 270 mm na estação Vargem Alta, localizada no município de Nova Friburgo. Os meses de novembro e dezembro, que antecedem os eventos críticos de precipitação, foram bastante chuvosos, fato que pode ter contribuído para a saturação do solo e a ocorrência dos deslizamentos de morros na região. A elevada declividade do solo na região também é fator predominante nos deslizamentos. A vulnerabilidade da área é elevada, existem muitas moradias em morros e em áreas ripárias. O trabalho pretende contribuir, com dados relevantes, a este tema, apresentando estatísticas básicas desses eventos.

ABSTRACT — This paper analyzes the rainfall events that occurred in the mountainous region of Rio de Janeiro, in particular the events observed on 11 and 12 January 2011. The events caused one of the greatest natural disasters recorded in Brazil. Cities such as Nova Friburgo, Teresópolis, Petrópolis, Bom Jardim, Sumidouro, among others, were tremendous damaged. The cities were almost destroyed by floods and landslides with huge rocks and mud. Whole neighborhoods were overwhelmed, causing numerous casualties and leaving thousands homeless. The analysis of rainfall data suggests that the landslides were caused by high rainfall observed between 11 and 12 January, 2011. The readings recorded daily rainfall over 270 mm at station Vargem Alta, located in Nova Friburgo. The months of November and December 2010 were very rainy, which may have contributed to soil saturation and the occurrence of landslides in the region. The high slope of the ground in the region is also a predominant factor in the area. The vulnerability of the area is high with many people living in mountains and riparian areas. This paper aims to contribute to the technical discussion about these events presenting some basic statistics about the observed rainfall volumes.

Palavras-chave: eventos extremos, enchentes, deslizamentos.

¹ Pesquisadora em Geociências, Engenheira da CPRM e Mestranda da EPUSP. Rua Costa, 55, 01304-010, São Paulo – SP. E-mail: vanesca.medeiros@cprm.gov.br

² Professor Titular da Escola Politécnica da USP. Av. Professor Almeida Prado, 83, Trav. 2, Cidade Universitária, 05508-900, São Paulo – SP. E-mail: mtbarros@usp.br

1 - INTRODUÇÃO

Em janeiro de 2011 as chuvas que atingiram a região serrana do estado do Rio de Janeiro foram responsáveis por uma das maiores tragédias ocorridas no Brasil. Várias cidades foram atingidas, como Nova Friburgo, Petrópolis, Teresópolis, Bom Jardim, São José do Vale do Rio Preto, Sumidouro, dentre outras. Houve deslizamento de encostas, enchentes, rolamento de blocos de pedras que soterraram bairros inteiros, deixando inúmeras vítimas e várias pessoas desabrigadas. As chuvas elevadas e o relevo íngreme da região contribuíram para o cenário de destruição.

A ocorrência de eventos extremos de precipitação, causadores de enchentes, deslizamentos, é tema de vários estudos e discussões sobre sua incidência e possível aumento das ocorrências nos últimos anos. O estudo da magnitude desses eventos críticos, se eles são fenômenos naturais ou sofrem influência antrópica, se possuem relação com possíveis mudanças climáticas é constantemente discutido na comunidade científica. A ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, em parceria com a ABMS – Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos e IAG – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP, promoveu, em fevereiro de 2011, a mesa redonda – “*Eventos Extremos: Fenômenos Naturais ou Consequência das Ações Humanas?*” A discussão sobre o tema despertou a necessidade de estudo mais detalhado das chuvas ocorridas na região serrana do Rio de Janeiro. O presente trabalho tem como objetivo contribuir para o entendimento da magnitude desses eventos, sua ocorrência e estimativa do seu período de retorno com base nas séries históricas obtidas das leituras dos pluviômetros localizados na região.

2 - METODOLOGIA

2.1 - Área de estudo

A região serrana do Rio de Janeiro está localizada na Serra do Mar, que particularmente recebe o nome de Serra dos Órgãos no entorno de algumas cidades como Petrópolis e Teresópolis. Possui relevo acentuado e escarpado, com altitudes que variam de 650 metros até 1.100 metros nos locais onde foram feitas as leituras de chuva, podendo atingir mais de 2.200 metros em alguns pontos turístico da região, como a Pedra do Sino, localizada no município de Teresópolis. As estações da região serrana fluminense, utilizadas nesse estudo, fazem parte da bacia do Paraíba do Sul, que banha os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. A figura 1 mostra a área de estudo e as estações selecionadas.

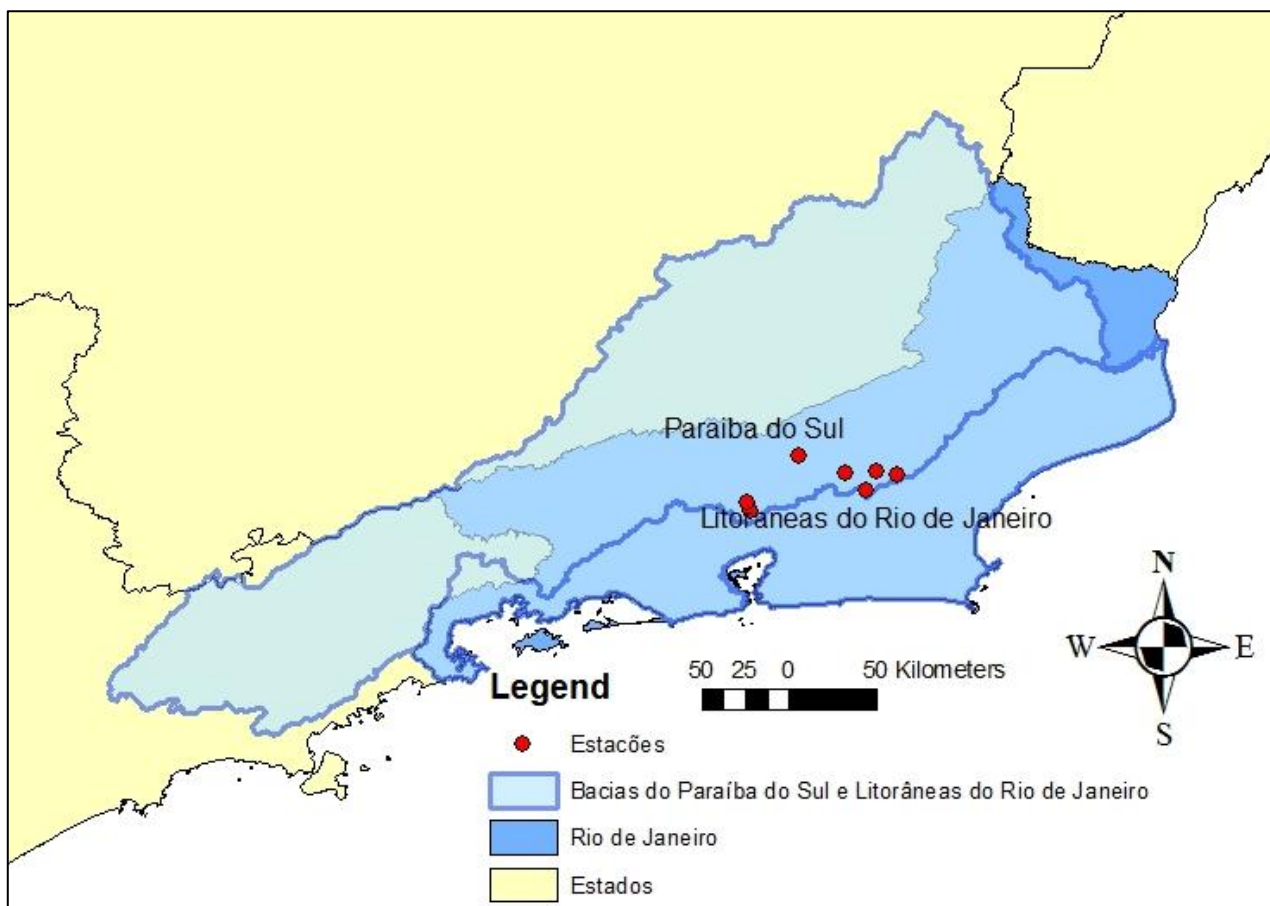


Figura 1 – Localização da área de estudo e a localização dos postos analisados

Na maior parte da Serra Fluminense, o clima, segundo a classificação de Köppen, é Subtropical de Altitude (Cwb), com verões chuvosos, temperaturas mais brandas que nas áreas de menor altitude e invernos mais frios e secos. A temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C (EMBRAPA). As chuvas variam de 1.342 a 3.235 mm anuais nas estações utilizadas no estudo.

2.2 - Estações pluviométricas utilizadas

Através do SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, da ANA, Agência Nacional de Águas, foram selecionadas todas as estações pluviométricas pertencentes à bacia do Paraíba do Sul e posteriormente as localizadas na região serrana fluminense. Depois da seleção dos postos existentes, verificou-se quais continham dados até janeiro de 2011, data em que ocorreram os eventos críticos de precipitação. Dessa seleção foram utilizadas sete estações pluviométricas operadas pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Os dados das séries históricas foram obtidos do site da ANA e complementados com os últimos boletins recolhidos em 2011 e digitados na CPRM. Algumas estações situam-se na divisa das bacias do Paraíba do Sul com a bacia das litorâneas do Rio de Janeiro. Suas altitudes variam de 650 metros a 1.100 metros. A

relação das estações utilizadas, seus códigos, bem como os municípios onde estão localizadas, latitude, longitude e altitude estão contidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação das sete estações pluviométricas

Código	Estação	Sub bacia	Latitude	Longitude	Altitude (metros)	Estado	Município
2242019	Vargem Alta	58	22,3008	-42,4000	1.100	RJ	Nova Friburgo
2242020	Vargem Grande	58	22,2767	-42,5022	680	RJ	Nova Friburgo
2242022	Fazenda Mendes	58	22,2858	-42,6600	1.010	RJ	Nova Friburgo
2242024	Teodoro de Oliveira	58	22,3789	-42,5542	1.100	RJ	Nova Friburgo
2242027	Fazenda Sobradinho	58	22,2011	-42,9000	650	RJ	Teresópolis
2243010	Itamarati - SE	58	22,4853	-43,1492	1.085	RJ	Petrópolis
2243011	Rio da Cidade	58	22,4381	-43,1703	704	RJ	Petrópolis

O mapa com a localização das estações na bacia do Paraíba do Sul é mostrado na figura 2. Na figura 3 está a imagem da região serrana no Google, onde se visualiza o relevo da região e os municípios onde estão localizados os postos.

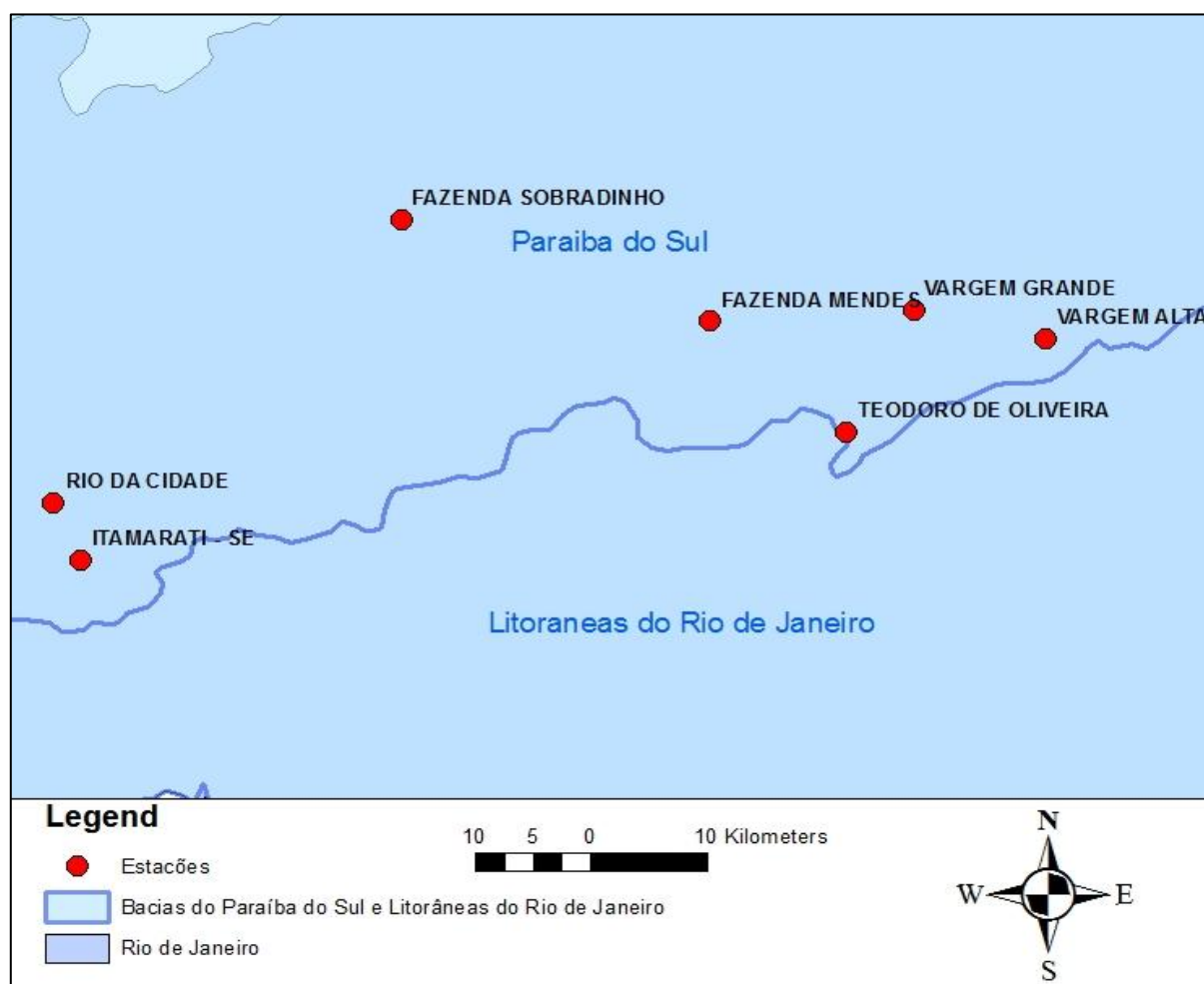


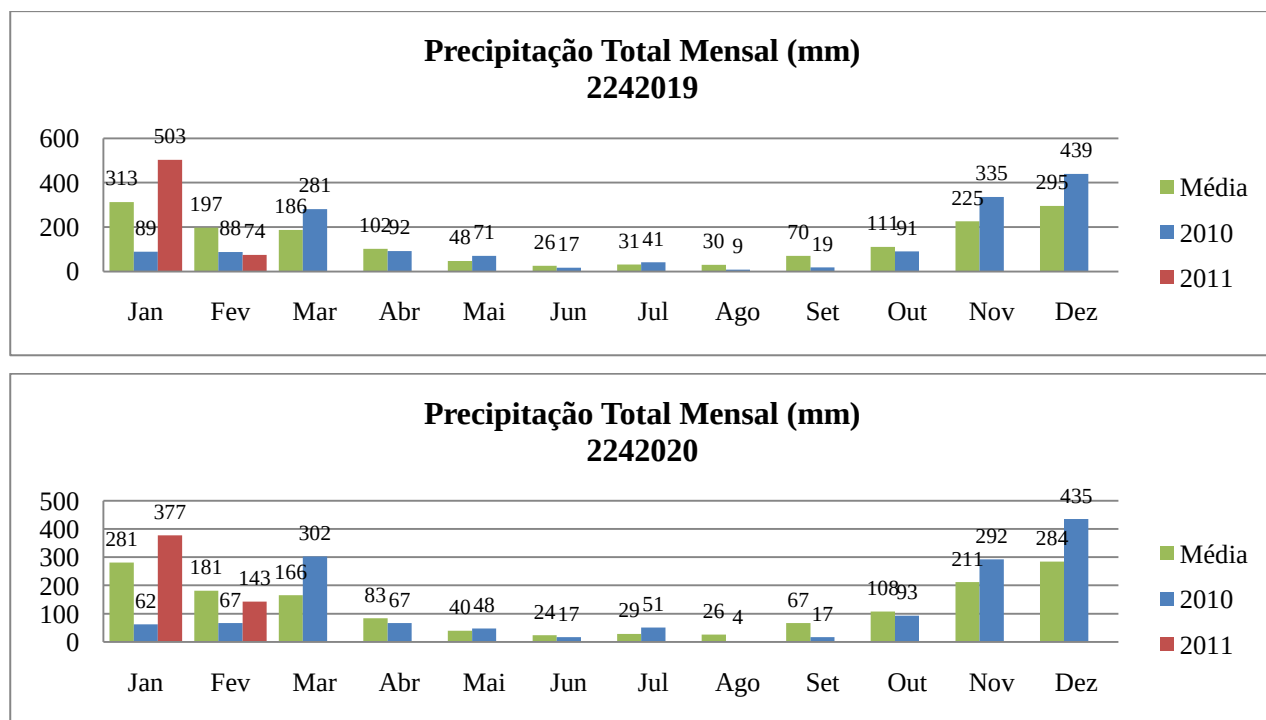
Figura 2 – Localização das estações pluviométricas na bacia do Paraíba do Sul



Figura 3 – Localização das estações pluviométricas no Google.

2.3 – Análises dos dados de chuva

As médias mensais de cada série histórica foram calculadas e plotadas nos gráficos da figura 3, que contém também os totais mensais do ano de 2010 e dos meses disponíveis de 2011.



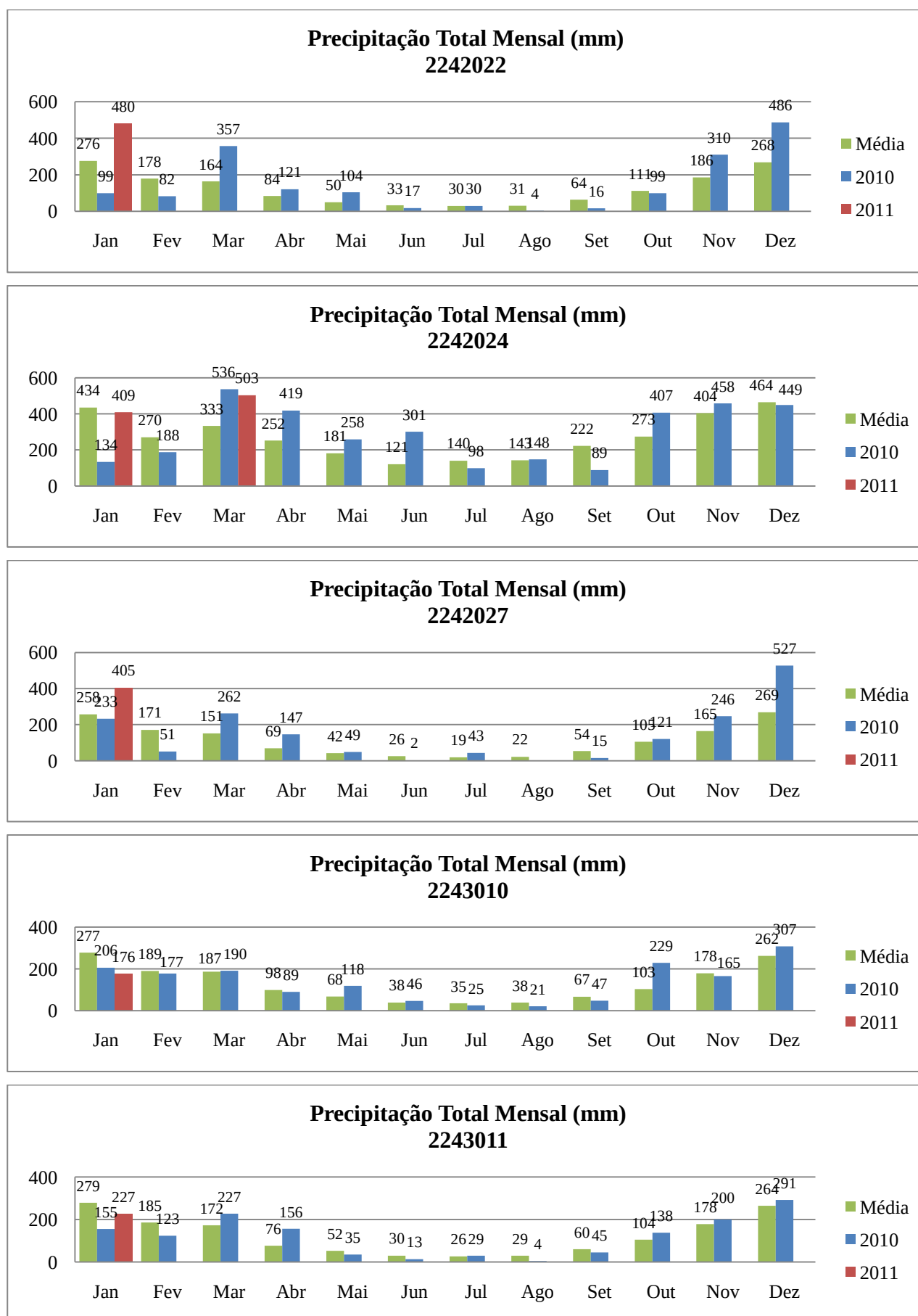


Figura 3 – Totais mensais dos anos 2010 e 2011 e média mensal histórica

Na maior parte das estações choveu mais que a média mensal nos meses de novembro de dezembro de 2010, que antecederam janeiro de 2011, onde ocorreram os eventos críticos. O mês de janeiro de 2011 também foi chuvoso, com exceção das estações Itamarati (2243010) e Rio da Cidade (2243011), localizadas em Petrópolis, onde as chuvas foram um pouco menores que a média. A estação de Teodoro de Oliveira (2242024), localizada em Nova Friburgo, possui regime de chuvas de magnitude bem mais elevada que as demais estações, com diferenças de aproximadamente 100 a 200 mm na estação chuvosa e 100 mm nos meses mais secos. No total anual a diferença é de quase 2.000 mm em relação ao posto menos chuvoso, Fazenda Sobradinho, localizado em Teresópolis. A tabela 2 mostra um resumo das chuvas nos postos da região.

Tabela 2 – Resumo das chuvas de janeiro de 2011 e médias mensais e anuais

Código	Estação	Dados	Pmax jan/11 (mm)	Dia da max	Pmed das max (mm)	P total mensal jan/11 (mm)	Pmed mensal (mm)	Pmed anual (mm)
2242019	Vargem Alta	dez/65 a fev/11	271,5	12	90,3	503	313	1.627
2242020	Vargem Grande	dez/65 a fev/11	183,5	12	77,5	377	281	1.499
2242022	Fazenda Mendes	jul/49 a jan/11	225,4	12	74,6	480	276	1.478
2242024	Teodoro de Oliveira	dez/65 a mar/11	112,4	11	112,2	409	434	3.235
2242027	Fazenda Sobradinho	mai/36 a jan/11	145,5	12	77	405	258	1.342
2243010	Itamarati - SE	jul/38 a jan/11	45,7	12	89,2	176	277	1.541
2243011	Rio da Cidade	ago/38 a jan/11	60,4	12	86,2	227	279	1.455

Em seguida foram analisados os eventos críticos de janeiro de 2011. As chuvas diárias de todas as estações foram plotadas no gráfico da figura 4

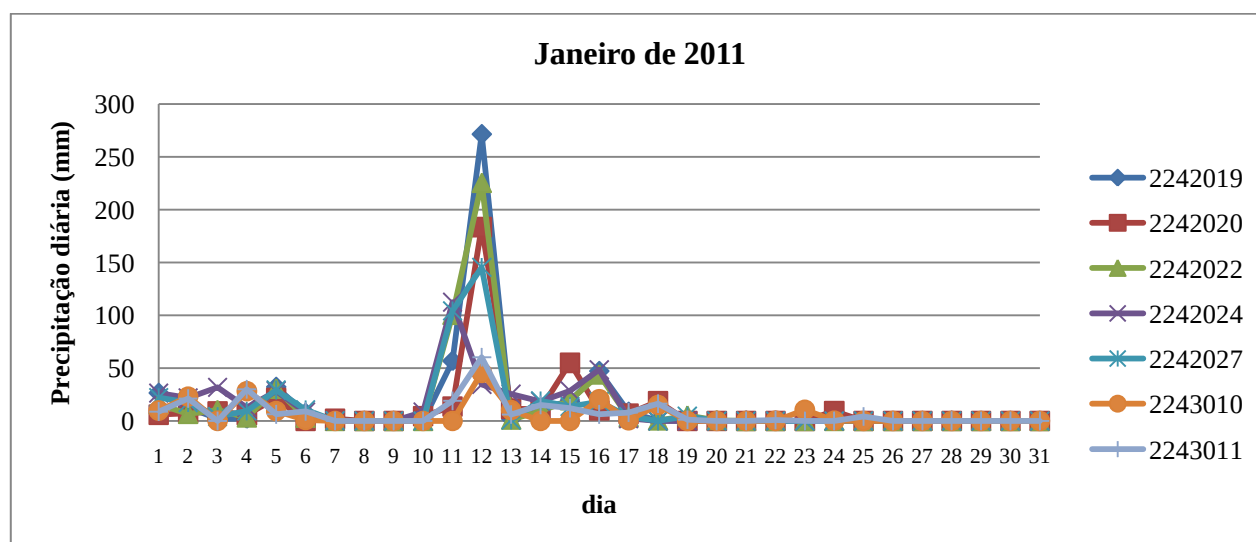


Figura 4 – Precipitação diária de janeiro de 2011

Nota-se que em todas as estações as chuvas foram elevadas nos dias 11 ou 12 de janeiro. Destaca-se o volume precipitado na estação Vargem Alta, localizada no município de Nova

Friburgo, que atingiu 271,5 mm, seguido de 225,4 mm em Fazenda Mendes e 183,5 mm em Vargem Grande. Em Teodoro de Oliveira, o volume precipitado foi de 112,4 mm. Na estação Fazenda Sobradinho, em Teresópolis, choveu 145,5 mm no dia 12 e no dia 11 estava registrado 104,3 mm, somando um volume de 249,8 mm nos dois dias. Nas estações Rio da Cidade e Itamarati, localizadas em Petrópolis as chuvas não foram de magnitude tão elevada, atingindo 60,4 mm e 45,7 mm.

A estação Vargem Alta possui pluviógrafo, que registrou a chuva das sete horas da manhã do dia 11 de janeiro de 2011 às sete horas da manhã do dia 12. A chuva acumulada neste período, de acordo com o gráfico, foi de aproximadamente 270,8 mm, muito semelhante à encontrada no pluviômetro, que foi de 271,5 mm. O pluviograma de Vargem Alta pode ser visualizado na figura 5. É uma figura histórica para a Hidrologia Brasileira.

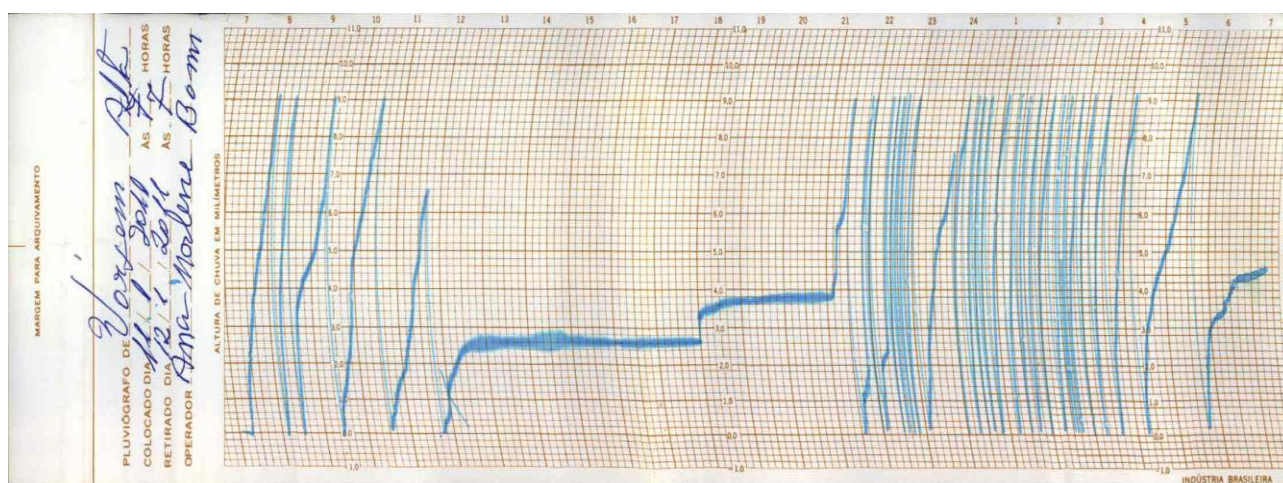


Figura 5 – Pluviograma da estação Vargem Alta

Outro fato relevante que se percebe no pluviograma é o volume de chuva precipitado no período das 21h30min da noite às 07h00min da manhã. O gráfico registra um volume acumulado elevadíssimo, de aproximadamente 219,2 mm durante a noite e a madrugada.

Em seguida foi feito o ajuste das distribuições de probabilidade das chuvas máximas diárias de cada estação, calculadas por ano hidrológico. Duas distribuições foram adotadas: a Log-Normal e a Gumbel. As chuvas máximas foram ordenadas de forma decrescente, foi calculada a posição de plotagem, o tempo de retorno, a média e desvio-padrão da distribuição empírica e então feito o ajuste das duas distribuições para cada estação.

Inicialmente a posição de plotagem q_i foi calculada através da fórmula (1)

$$q_i = i / (N + 1) \quad (1)$$

Onde i é a ordem de classificação e N o tamanho da série.

O período de retorno (Tr) é obtido através do inverso da probabilidade de ocorrência, que corresponde à posição de plotagem da série empírica

$$Tr = 1 / (q_i) \quad (2)$$

Foi observado que para séries mais curtas, como é o caso da série de Vargem Alta, com 42 anos de dados de máximas diárias, o cálculo do período de retorno para a chuva máxima foi de apenas 43 anos. A chuva de 2011 estaria ainda mais fora da curva para esta estação.

Existem diferentes fórmulas para o cálculo da posição de plotagem, que variam conforme a especificação da distribuição de probabilidades $F_x(x)$. A maioria destas fórmulas pode ser expressa por:

$$q_i = (i - a) / (N + 1 - 2a) \quad (3)$$

Onde a varia conforme a especificação de $F_x(x)$.

Como alternativa para o cálculo das posições de plotagem, foi utilizada a fórmula de Cunnane. A motivação da utilização desta fórmula são os quantis aproximadamente não enviesados para todas as distribuições (Naghetini e Pinto, 2007).

Na fórmula de Cunnane, a corresponde ao valor 0,40 e a posição de plotagem é dada por:

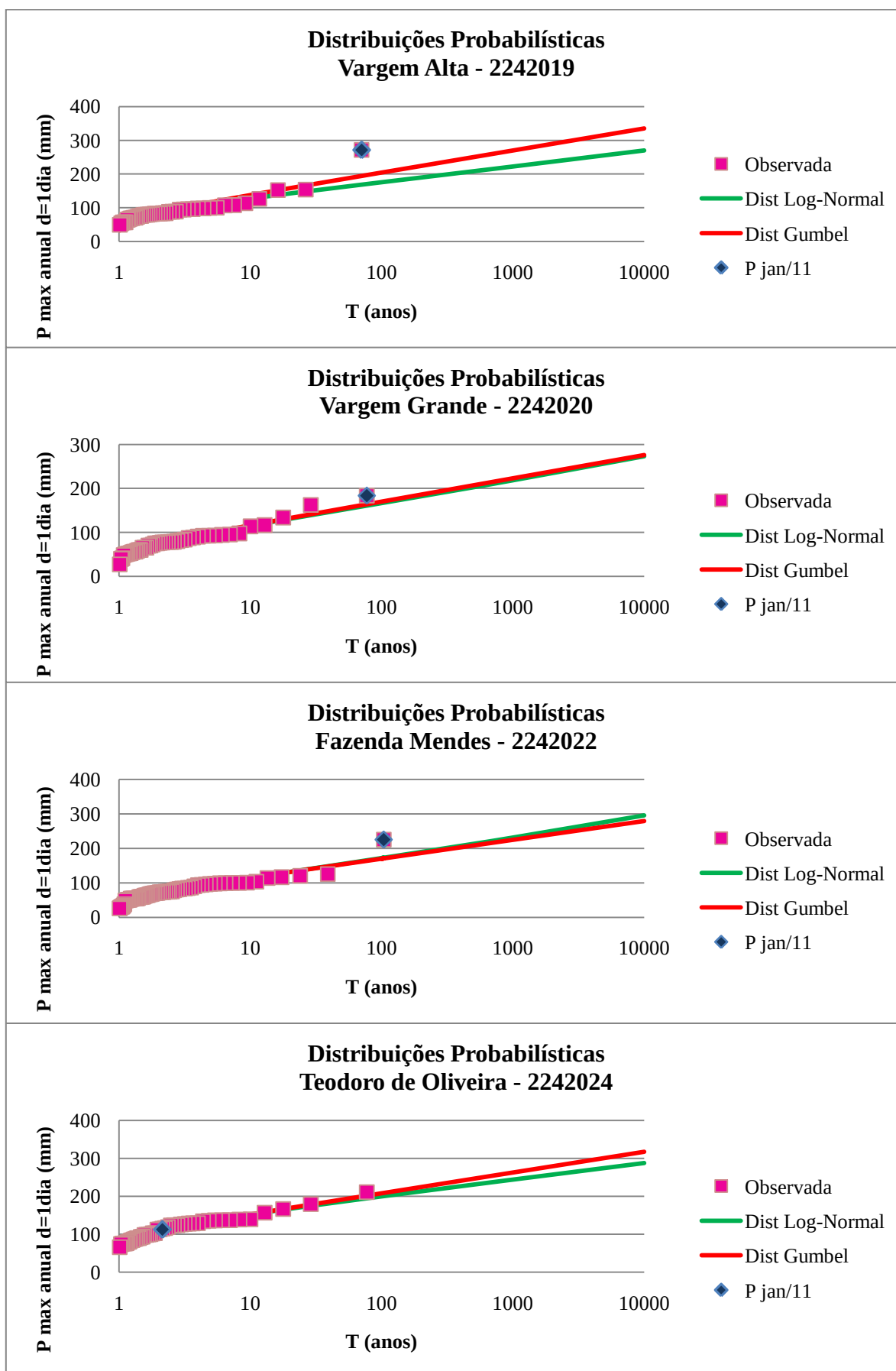
$$q_i = (i - 0,40) / (N + 0,2) \quad (4)$$

A tabela abaixo mostra o resumo dos parâmetros estimados de cada distribuição.

Tabela 3 – Resumo dos parâmetros estimados de cada distribuição

Estação	Parâmetros Estimados	Distribuição		
		Empírica	Log-Normal	Gumbel
2242019	Média μ	90,3	89,5	90,0
	Desvio-padrão σ	36,4	27,5	35,1
	Assimetria γ	3,3	0,8	0,9
2242020	μ	77,5	77,2	77,2
	σ	29,5	27,5	28,4
	γ	1,6	0,9	0,9
2242022	μ	74,6	74,5	74,4
	σ	30,4	29,4	29,5
	γ	2,0	1,0	0,9
2242024	μ	112,2	112,0	111,9
	σ	30,5	29,2	29,4
	γ	0,9	0,7	0,9
2242027	μ	77,0	76,9	76,8
	σ	22,7	21,9	22,1
	γ	0,9	0,8	0,9
2243010	μ	89,2	89,0	89,0
	σ	27,9	26,5	27,2
	γ	1,1	0,8	0,9
2243011	μ	86,2	85,9	86,0
	σ	27,2	25,1	26,5
	γ	1,3	0,8	0,9

Os gráficos das distribuições de cada estação podem ser visualizados na figura 6.



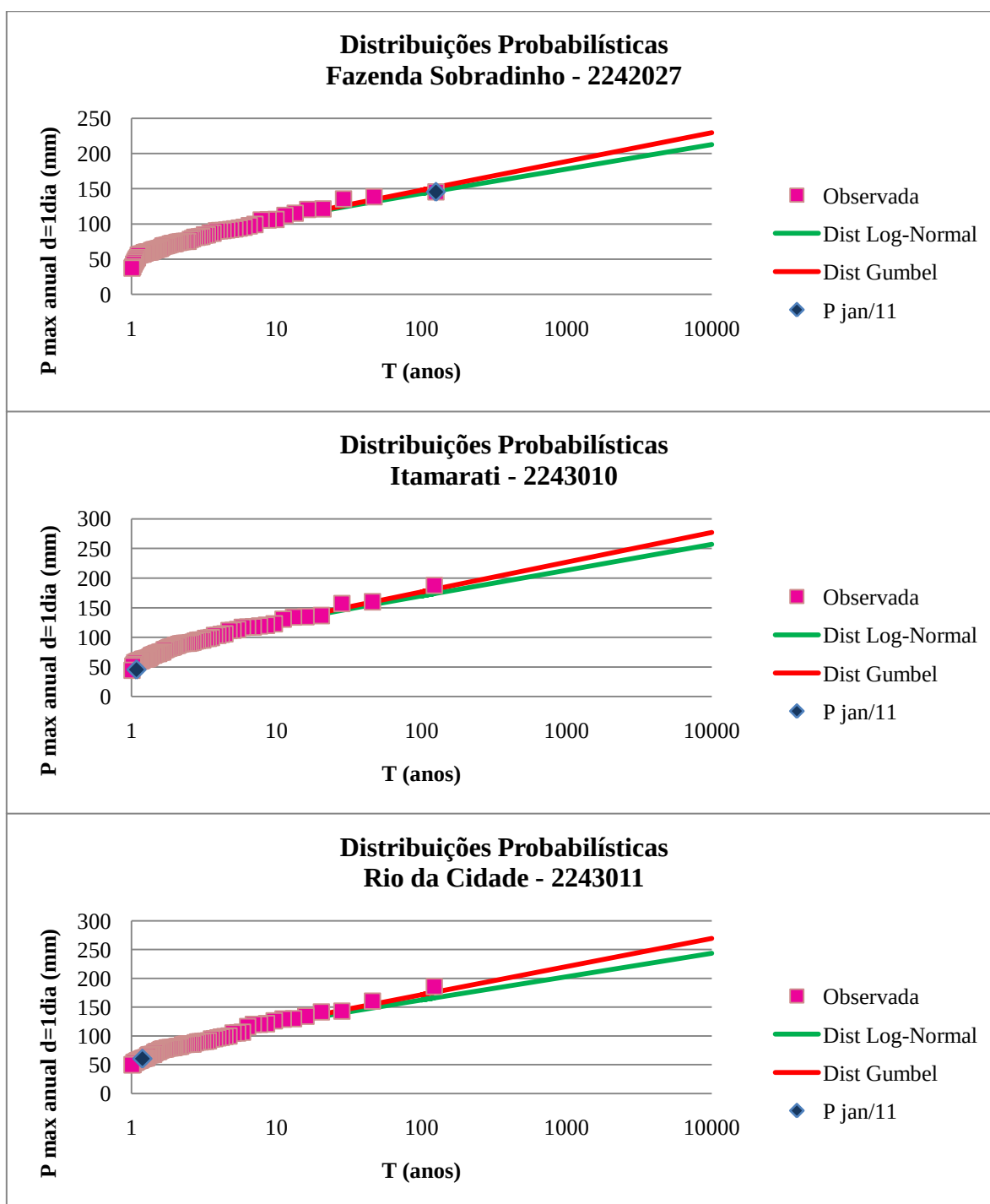


Figura 6 – Modelos de Probabilidade Utilizados e a Distribuição Empírica

Nota-se que a precipitação de janeiro de 2011 foi a máxima registrada na maioria das estações, com exceção das estações Teodoro de Oliveira, localizada em Nova Friburgo, que possui magnitude de chuvas máximas mais elevadas que as demais estações, e nos postos Itamarati e Rio da Cidade, localizados em Petrópolis.

Foram estimadas as chuvas para os períodos de retorno de 10, 50, 100, 1.000 e 10.000 anos com as distribuições Log-Normal e Gumbel para a construção dos gráficos da Figura 6. A tabela 4 contém os resultados das estimativas.

Tabela 4 – Estimativas de altura de chuva para os períodos de retorno de 10, 50, 100, 1000 e 10000 anos com as Distribuições Log-Normal e Gumbel

Estação	T (anos)	Dist Log-Normal	Dist Gumbel	Estação	T (anos)	Dist Log-Normal	Dist Gumbel
2242019	10	127	138	2242020	10	115	116
	50	161	185		50	151	154
	100	175	205		100	167	170
	1.000	222	270		1000	219	223
	10.000	270	336		10000	273	276
2242022	10	114	114	2242024	10	152	152
	50	154	153		50	186	191
	100	172	170		100	200	208
	1.000	231	225		1.000	244	262
	10.000	296	279		10.000	288	317
2242027	10	106	107	2243010	10	125	126
	50	132	136		50	157	161
	100	143	148		100	170	177
	1.000	178	189		1.000	213	227
	10.000	212	229		10.000	257	277
2243011	10	120	122				
	50	150	157				
	100	162	171				
	1.000	203	220				
	10.000	243	269				

Os valores pintados de azul correspondem às chuvas mais próximas aos eventos ocorridos em janeiro de 2011 estimados para as duas distribuições.

Em seguida foram estimados os períodos de retorno das chuvas ocorridas em janeiro de 2011 para as mesmas distribuições de probabilidade adotadas e para a série empírica. Os resultados dos valores estimados podem ser vistos na tabela 5.

Tabela 5 – Períodos de retorno estimados da máxima chuva diária observada em janeiro de 2011 com as duas distribuições de probabilidades empregadas

Estação	P max janeiro de 2011 (mm)	Tr Empírica (anos) (Cunnane)	Tr Log-Normal (anos)	Tr Gumbel (anos)
2242019	271,5	70	11.000	1.050
2242020	183,5	77	210	180
2242022	225,4	104	802	1.035
2242024	112,4	2	2	2
2242027	145,5	125	117	87
2242010	45,7	1	1	1
2242011	60,4	1	1	1

Nota-se que apesar do Tr da distribuição empírica da chuva de Vargem Alta ser de 70 anos, o Tr calculado para as distribuições de Gumbel é de 1.050 anos e da Distribuição Log-Normal é de mais de 10.000 anos. Isso acontece porque a chuva de 2011 é um outlier, fazendo com que as estimativas do Tr através das distribuições sejam bem mais elevadas. A Log-Normal está bem abaixo da curva da Gumbel para valores elevados de Tr. Neste caso a Log-Normal não seria uma distribuição adequada para estimar os valores, a melhor opção seria a distribuição de Gumbel. A análise gráfica também indica que a melhor opção seria a Gumbel.

Em Fazenda Mendes, onde a chuva de 2011 também está bem fora da curva das distribuições adotadas, o Tr do evento de janeiro, calculado pela distribuição de Gumbel, é bem próximo ao de Vargem Alta, em torno de 1.000 anos. O Tr da Log-Normal é um pouco menor.

O Tr calculado pela Gumbel e Log-Normal não difere tanto na estação de Vargem Grande, ficando em torno de 180 a 210 anos.

Em Fazenda Sobradinho, o Tr fica em torno de 87 a 117 anos e é menor que o calculado através da distribuição empírica, de 125 anos.

As chuvas ocorridas nas demais estações são comuns e acontecem em média todo ano ou a cada dois anos. Nestes casos o período de retorno é o mesmo em todas as distribuições.

Foi feito o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) para os níveis de significância de $\alpha = 1\%$, 5% e 10% para testar a aderência das distribuições.

O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov é um teste não paramétrico, cuja estatística do teste tem como base a diferença máxima entre as funções de probabilidade acumuladas empírica e teórica (Naghettini e Pinto, 2007).

A amostra é classificada em ordem crescente de modo que $1 \leq m \leq N$ é a ordem de classificação. Para cada elemento da amostra, a distribuição empírica $F_N(x)$ é calculada pela proporção de valores que não excedem $x_{(m)}$

$$F_N(x_m) = m / N \quad (5)$$

A estatística do teste KS é dada por:

$$D_N = \sup_{-\infty \leq x \leq \infty} |F_N(x) - F_x(x)| \quad (6)$$

Para amostras de tamanho superior a 40, os valores críticos da estatística de teste D_N, α utilizados na tabela 7 são calculados pelas fórmulas contidos na tabela 6.

Tabela 6 – Valores críticos de D_N, α

N	$D_{N,0,10}$	$D_{N,0,05}$	$D_{N,0,01}$
> 40	$1,22 / \sqrt{N}$	$1,36 / \sqrt{N}$	$1,63 / \sqrt{N}$

Os resultados do teste de KS, que são mostrados a seguir (tabela 7), indicam que as duas distribuições foram aderentes em todas as estações para todos os níveis de significância adotados.

Tabela 7 – Resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov

Distribuição			Log-Normal	Gumbel
2242019				
Estatística do teste D max			0,1408	0,1628
N		42	Decisão	
Região Crítica para α igual a	1%	0,2515	Aceito H0	Aceito H0
	5%	0,2099	Aceito H0	Aceito H0
	10%	0,1883	Aceito H0	Aceito H0
2242020				
Estatística do teste D max			0,0968	0,1008
N		46	Decisão	
Região Crítica para α igual a	1%	0,2403	Aceito H0	Aceito H0
	5%	0,2005	Aceito H0	Aceito H0
	10%	0,1799	Aceito H0	Aceito H0
2242022				
Estatística do teste D max			0,0732	0,0769
N		62	Decisão	
Região Crítica para α igual a	1%	0,2070	Aceito H0	Aceito H0
	5%	0,1727	Aceito H0	Aceito H0
	10%	0,1549	Aceito H0	Aceito H0
2242024				
Estatística do teste D max			0,0968	0,1008
N		46	Decisão	
Região Crítica para α igual a	1%	0,2403	Aceito H0	Aceito H0
	5%	0,2005	Aceito H0	Aceito H0
	10%	0,1799	Aceito H0	Aceito H0
2242027				
Estatística do teste D max			0,1065	0,0927
N		75	Decisão	
Região Crítica para α igual a	1%	0,1882	Aceito H0	Aceito H0
	5%	0,1570	Aceito H0	Aceito H0
	10%	0,1409	Aceito H0	Aceito H0
2242010				
Estatística do teste D max			0,0695	0,0681
N		73	Decisão	
Região Crítica para α igual a	1%	0,1908	Aceito H0	Aceito H0
	5%	0,1592	Aceito H0	Aceito H0
	10%	0,1428	Aceito H0	Aceito H0
2242011				
Estatística do teste D max			0,0936	0,0865
N		73	Decisão	
Região Crítica para α igual a	1%	0,1908	Aceito H0	Aceito H0
	5%	0,1592	Aceito H0	Aceito H0
	10%	0,1428	Aceito H0	Aceito H0

Em seguida as séries de máximas chuvas diárias das estações analisadas foram plotadas no gráfico para comparar seus valores

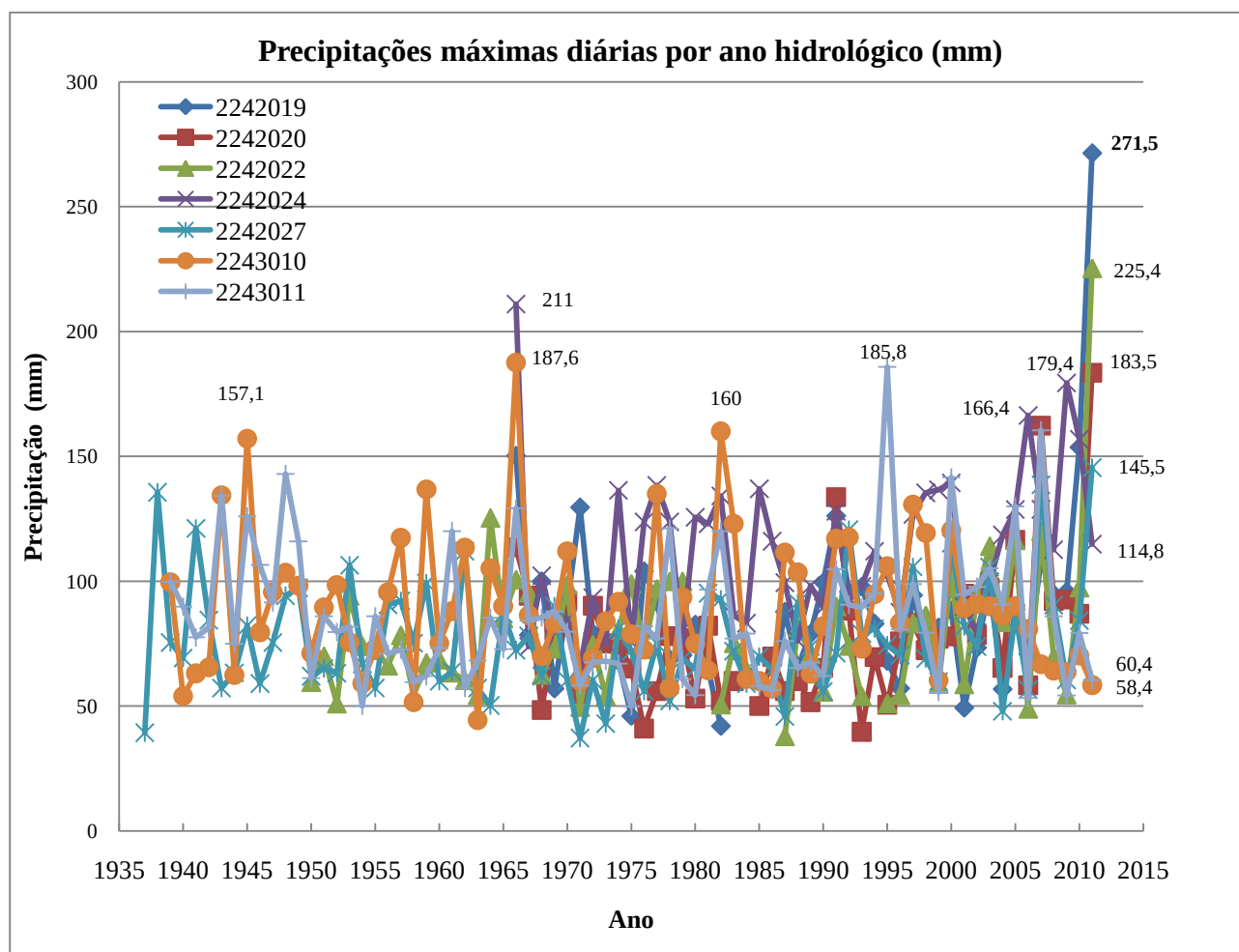


Figura 7 – Precipitações máximas diárias nos postos analisados

Os quatro maiores volumes precipitados em janeiro de 2011 correspondem também às máximas históricas das estações em que foram feitas as leituras.

Nota-se que a chuva registrada na estação de Vargem Alta, além de ser a máxima registrada na estação, é maior que todos os eventos já registrados nas demais estações desde que se iniciaram as leituras.

A segunda máxima foi registrada na estação Teodoro de Oliveira, no ano de 1966, localizada em Nova Friburgo e corresponde ao valor de 211 mm. Neste mesmo ano chuvas elevadas foram registradas em Itamarati, localizada em Petrópolis e em Vargem Alta, também localizada em Nova Friburgo.

Nas estações Itamarati e Rio da Cidade, localizadas em Petrópolis muitos eventos elevados já foram registrados.

Apesar do alto volume precipitado em janeiro de 2011, nota-se na figura 7 que estes eventos são característicos da região. Muitos valores elevados já foram registrados nos postos utilizados.

Na tabela 8 está o resumo das cinco maiores chuvas diárias registradas em cada posto e o ano hidrológico em que ocorreram.

Tabela 8 – Os cinco maiores eventos diários de precipitação (em mm) registrados em cada estação

Ano	P max diária	Ano	P max diária	Ano	P max diária	Ano	P max diária
2242019		2242020		2242022		2242024	
2011	271,5	2011	183,5	2011	225,4	1966	211
2010	153,7	2007	162,3	1964	125,4	2009	179,4
1979	152,6	1991	133,7	2007	120,1	2006	166,4
1991	126,2	2005	116,5	2005	116,5	2010	156,8
1967	113,4	1966	113,6	2003	114,1	2000	139,4
2242027		2242011		2242011			
2011	145,5	1966	187,6	1995	185,8		
2007	138,6	1982	160	2007	160,4		
1938	135,6	1945	157,1	1948	143		
1941	121,2	1959	136,8	2000	141,6		
1992	120,6	1977	135	1943	134,3		

Verifica-se que o ano de 2011 foi o mais chuvoso na maioria das estações. O ano de 1966 foi o mais chuvoso de duas estações e 1995 de uma delas.

Na figura abaixo está a visualização no Google de cada uma das sete estações utilizadas e uma visualização da área entre as estações Vargem Grande e Fazenda Mendes, ambas localizadas em Nova Friburgo, onde se percebe os deslizamentos ocorridos.





Figura 8 – sete estações e deslizamentos

3 - CONCLUSÕES

A estação mais chuvosa é a Teodoro de Oliveira. Ela se localiza em Nova Friburgo, a uma altitude de 1.100 metros. As médias das máximas diárias nesta estação são de 112,5 mm e a precipitação média anual é de 3.235 mm, muito superior às demais estações analisadas. Teodoro de Oliveira está localizada na divisa da bacia. Pode ser que as condições do relevo ali existentes façam com que as chuvas sejam intensificadas nesta estação. A segunda estação mais chuvosa é Vargem Alta, localizada na mesma cidade, também a 1.100 metros de altitude, com precipitação anual de 1.627 mm e média das máximas de 90,3 mm. Nas outras duas estações de Nova Friburgo as chuvas anuais são 1.478 e 1.499 mm e as médias das máximas são de 74,6 e 77,4 mm. Nas estações de Petrópolis os totais anuais são de 1.455 e 1.541 mm e a média das máximas de 86,2 e 89,2 mm. A estação de Teresópolis é a menos chuvosa das estações analisadas, com total anual de 1.342 mm e média das máximas de 77 mm.

Foram ajustadas as distribuições Log-Normal e Gumbel para todas as estações. O teste de KS indicou que as duas distribuições foram aderentes em todas as estações para todos os níveis de significância adotados. Na estação Vargem Alta a melhor distribuição seria a Gumbel, pois os Tr 's calculados pela Log-Normal neste posto são superestimados.

Os eventos críticos dos dias 11 e 12 de janeiro de 2011 correspondem às máximas chuvas diárias históricas registradas desde que se iniciaram as leituras em quatro dos sete postos utilizados: Vargem Alta, Vargem Grande, Fazenda Mendes e Fazenda Sobradinho, com Tr's variando de 70 a 125 anos, calculados pela fórmula de Cunnane. Nos demais postos, os eventos registrados são de recorrência comum, com Tr's de 1 e 2 anos, indicando que, em média, estes eventos são iguais ou superados a cada ano ou a cada dois anos.

A chuva de 11 e 12 de janeiro de 2011 foi de magnitude mais elevada ao redor dos municípios de Nova Friburgo e Teresópolis. Na estação de Vargem Alta, localizada em Nova Friburgo, o volume precipitado foi de 271,5 mm e pode ser confirmado através do pluviograma recolhido nesta estação, que registrou 270,8 mm. Os deslizamentos ocorridos próximos a Nova Friburgo foram impressionantes, atingindo enormes áreas, soterrando bairros inteiros. As “cicatrices” deixadas na área podem ser visualizadas nas imagens do Google (figura 8). Áreas que antes eram totalmente cobertas de mata verde hoje estão com o solo aparente nos lugares onde ocorreram os deslizamentos. Nos demais postos de Nova Friburgo as chuvas variaram de 225,4 mm, 183,5 mm e 112,5 mm. Em Teresópolis a precipitação foi de 145,5 mm. Nas estações localizadas em Petrópolis as chuvas não foram de magnitude tão elevada, com registros de 45,7 mm e 60,4 mm, mas também causaram estragos neste município. Foram contabilizadas mais de novecentas vítimas e milhares de desabrigados nas cidades de Nova Friburgo, Teresópolis, Petrópolis, Sumidouro, São José do Vale do Rio Preto e Bom Jardim. Outras cidades da região também foram atingidas.

Os meses de novembro e janeiro de 2010 foram chuvosos na maioria das estações, condição que certamente contribuiu para a saturação do solo da bacia e posteriormente para a ocorrência de deslizamentos após as chuvas elevadas de 11 e 12 de janeiro de 2011. A elevada declividade do relevo da região foi determinante para os deslizamentos.

Apesar das chuvas 11 e 12 de janeiro de 2011 serem elevadíssimas, outros eventos de magnitude elevada já foram registrados nessas estações pluviométricas (figura 7). Tudo indica que estes eventos sempre ocorreram, não tem influência antrópica e são característicos da região serrana.

O estudo também mostra a importância da coleta de dados básicos para realização de estudos hidrológicos. O pluviograma do dia 11 para 12 de janeiro de 2011, registrado na estação Vargem Alta, é um dado histórico para a Hidrologia Brasileira.

AGRADECIMENTOS

Ao hidrotécnico da CPRM, Francisco Eugênio Ernandes Dias, responsável pela operação das estações analisadas, coleta de dados, coleta do pluviograma de Vargem Alta e por informações transmitidas sobre o estado em que se encontravam as estações atingidas pela chuva.

À observadora da estação Vargem Alta, Ana Marlene Bom Freiman, por zelar pela estação, fazer a leitura dos dados de chuva e a troca de gráficos e sem a qual os dados pluviográficos históricos desta estação não estariam nesse estudo.

À CPRM e ao Departamento de Engenharia Hidráulica da Escola Politécnica da USP.

BIBLIOGRAFIA

ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Website acessado em 07/06/2011.

<http://www.abas.org/eventosexremos/>

DAVIS, E. G., NAGHETTINI, M. (2001). *Estudo das Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro*. CPRM, 140p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Website acessado em 15/06/2011.
<http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>

G1 – “Chuvas no Rio de Janeiro” - Website acessado em 19/06/2011.

<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/chuvas-no-rj/noticia/2011/02/passa-de-900-o-numero-de-mortos-na-regiao-serrana-apos-chuvas.html>

MENDONÇA, F., PINTO, DANNI-OLIVEIRA; I. M. (2007). *Climatologia – noções básicas e climas no Brasil*. Oficina de Textos, 206p.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. de A. (2007). *Hidrologia Estatística*. CPRM, 561p.

ROSAL, M. C. F.; MEDEIROS, V. S. (2010). “Análise das precipitações máximas e dos eventos extremos ocorridos em São Luís do Paraitinga e municípios vizinhos”. In Anais do XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Fortaleza, CE, Nov. 2010. CD-ROM.