

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E
TRANSFORMAÇÃO MINERAL
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL**

**PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL
LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE**

**CARTA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS
GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÃO**

**ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL
EQUAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA**

Município: Petrópolis-RJ

**Estação Pluviográfica: Rio da Cidade
Código 02243011**

**SÃO PAULO
2016**

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL
LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE
CARTA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS
GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÃO
ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL
EQUAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA

Executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM
Superintendência Regional de São Paulo

Copyright @ 2016 CPRM - Superintendência Regional de São Paulo
Rua Costa, 55 - Bairro Cerqueira César
São Paulo - SP - 01304-010
Telefone: 0(xx)(11) 3775-5101
Fax: 0(xx)(11) 3256-8430
<http://www.cprm.gov.br>

Ficha Catalográfica

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM

Atlas Pluviométrico do Brasil; Equações Intensidade-Duração-Frequência.
Município: Petrópolis/RJ. Estação Pluviográfica: Rio da Cidade, Código ANA
02243011. Vanesca Sartorelli Medeiros, Caluan Rodrigues Capozzoli; Karine
Pickbrenner e Eber José de Andrade Pinto – São Paulo: CPRM, 2016.

14 p.; anexos (Série Atlas Pluviométrico do Brasil)

1. Hidrologia 2. Pluviometria 3. Equações IDF 4. I - Título II – MEDEIROS, V.S.;
CAPOZZOLI, C.R.; PICKBRENER, K. e PINTO, E. J. A

CDU : 556.51

Direitos desta edição: CPRM - Serviço Geológico do Brasil e
É permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

MINISTRO DE ESTADO

Carlos Eduardo de Souza Braga

SECRETÁRIO EXECUTIVO

Luiz Eduardo Barata

**SECRETÁRIO DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E
TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

Carlos Nogueira da Costa Junior

**COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS SERVIÇO
GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB)**

CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO

Presidente

Carlos Nogueira da Costa Junior

Vice-Presidente

Manoel Barreto da Rocha Neto

Conselheiros

Ladice Peixoto

Demetrius Ferreira e Cruz

Jarbas Raimundo de Aldano Matos

Janaina Gomes Pires da Silva

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Manoel Barreto da Rocha Neto

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Stênio Petrovich Pereira

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Roberto Ventura Santos

Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Antônio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Administração e Finanças

Eduardo Santa Helena

SUPERINTENDÊNCIA DE SÃO PAULO

José Carlos Garcia Ferreira
Superintendente

Vanesca Sartorelli Medeiros
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Elizete Domingues Salvador
Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Lauro Gracindo Pizzatto
Gerente de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Marcos Evaristo da Silva
Gerente de Administração e Finanças

PROJETO ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL

Departamento de Hidrologia

Frederico Cláudio Peixinho

Departamento de Gestão Territorial

Jorge Pimentel

Divisão de Hidrologia Aplicada

Adriana Dantas Medeiros

Achiles Monteiro (*In memoriam*)

Coordenação Executiva do DEHID – Atlas Pluviométrico

Eber José de Andrade Pinto

Coordenação do Projeto Cartas Municipais de Suscetibilidade

Marlon Colombo Hoelzel

Coordenadores Regionais do Projeto Atlas Pluviométrico

Andressa Macêdo Silva de Azambuja-Sureg/BE

José Alexandre Moreira Farias-REFO

Karine Pickbrenner-Sureg/PA

Equipe Executora

Adriana Burin Weschenfelder - Sureg/PA

Albert Teixeira Cardoso – Sureg/GO

Caluan Rodrigues Capozzoli – Sureg/ SP

Catharina Ramos dos Prazeres Campos – Sureg/BE

Jean Ricardo da Silva do Nascimento - RETE

Luana Késsia Lucas Alves Martins – Sureg/BH

Osvalcélio Mercês Furtunato - Sureg/SA

Sistema de Informações Geográficas e Mapa

Ivete Souza do Nascimento - Sureg/BH

Apoio Técnico

Augusto Cezar Gessi Caneppele – Sureg/PA

Betânia Rodrigues dos Santos– Sureg/GO

Celina Monteiro - Sureg/BE

Danielle Cutolo - Sureg/SP

Douglas Sanches Soller – Sureg/PA

Edna Alves Balthazar - Sureg/SP

Eliamara Soares Silva– RETE

Priscila Nishihara Leo - Sureg/SP

APRESENTAÇÃO

O projeto Atlas Pluviométrico é uma ação dentro do programa de Levantamentos da Geodiversidade que tem por objetivo reunir, consolidar e organizar as informações sobre chuvas obtidas na operação da rede hidrometeorológica nacional.

Dentre os vários objetivos do projeto Atlas Pluviométrico, destaca-se, a definição das relações intensidade-duração-frequência (IDF). Essas relações serão estabelecidas para os pontos da rede hidrometeorológica nacional que dispõe de registros contínuos de chuva, ou seja, estações equipadas com pluviógrafos ou estações automáticas.

Entretanto, em localidades nas quais existem somente pluviômetros, ou seja, não existem registros contínuos das precipitações, obtidos com pluviógrafos ou estações automáticas, as relações IDF serão estabelecidas a partir da desagregação das precipitações máximas diárias.

As relações IDF são importantíssimas na definição das intensidades de precipitação associadas a uma frequência de ocorrência, as quais serão utilizadas no dimensionamento de diversas estruturas de drenagem pluvial ou de aproveitamento dos recursos hídricos. Também podem ser utilizadas de forma inversa, ou seja, estimar a frequência de um evento de precipitação ocorrido, definindo se o evento foi raro ou ordinário.

Na definição das relações IDF foram priorizados os municípios onde serão mapeadas, pela CPRM-Serviço Geológico do Brasil, as áreas suscetíveis a movimentos de massa e enchentes.

Este relatório, que acompanhará a carta municipal de suscetibilidade, apresenta a equação IDF estabelecida para o município de Petrópolis onde foram utilizados os registros contínuos da estação pluviográfica Rio da Cidade, código 02243011. Esta estação está localizada no município de Petrópolis, a uma distância de nove km da sede municipal.

1 - INTRODUÇÃO

A equação definida pode ser utilizada no município de Petrópolis.

O município de Petrópolis está localizado no estado do Rio de Janeiro, na Região Serrana, composta pelos municípios de: Bom Jardim, Cantagalo, Carmo, Cordeiro, Duas Barras, Macuco, Nova Friburgo, Petrópolis, Santa Maria Madalena, São José do Vale do Rio Preto, São Sebastião do Alto, Sumidouro, Teresópolis e Trajano de Moraes. O município possui área de 796 Km² e localiza-se na Latitude 22°30'00" S e Longitude 43°10'12" W, a uma altitude média de 985 metros. Sua população, segundo o censo de 2010 do IBGE, é de 296.044 habitantes.

A estação de Rio da Cidade, código 02243011, está localizada na Latitude 22°26'03" S e Longitude 43°10'17" W, acesso pela rodovia que liga Petrópolis ao Rio de Janeiro, na altura do km 66. Os dados para definição da equação IDF foram obtidos a partir dos pluviogramas de um pluviógrafo IH, modelo 4 (PLG 4). A Figura 01 apresenta a localização do município e da estação.

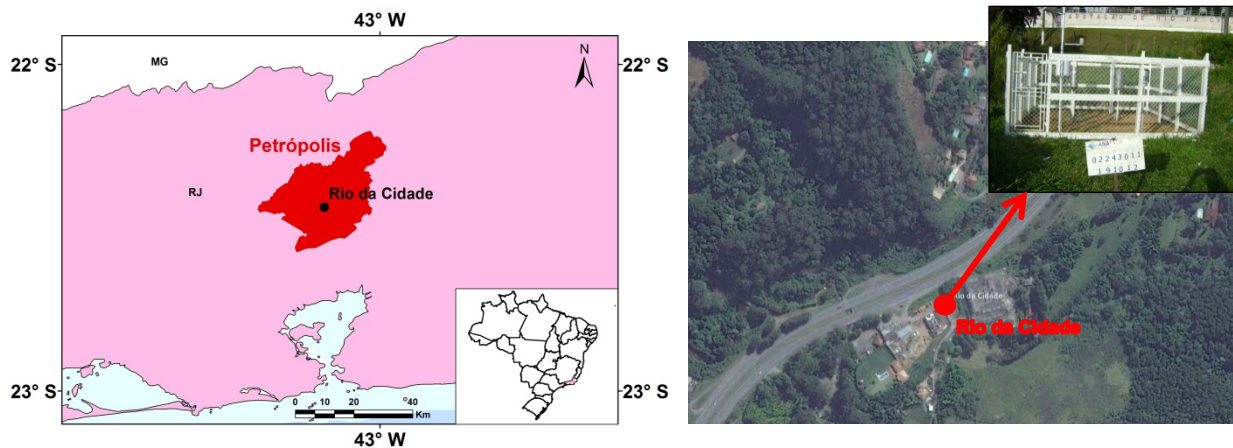


Figura 01 – Localização do Município e da Estação Pluviográfica

2 - EQUAÇÃO

A metodologia para definição da equação está descrita em detalhes em Pinto (2013). Na definição da equação Intensidade-Duração-Frequência da estação Rio da Cidade, código 02243011 foi utilizado séries de duração parcial e os dados utilizados constam do Anexo I. A distribuição de frequência ajustada aos dados foi a Exponencial. A Figura 02 apresenta as curvas ajustadas. O Anexo II apresenta as relações entre as alturas de chuvas de diferentes durações calculadas com os resultados das análises de frequência.

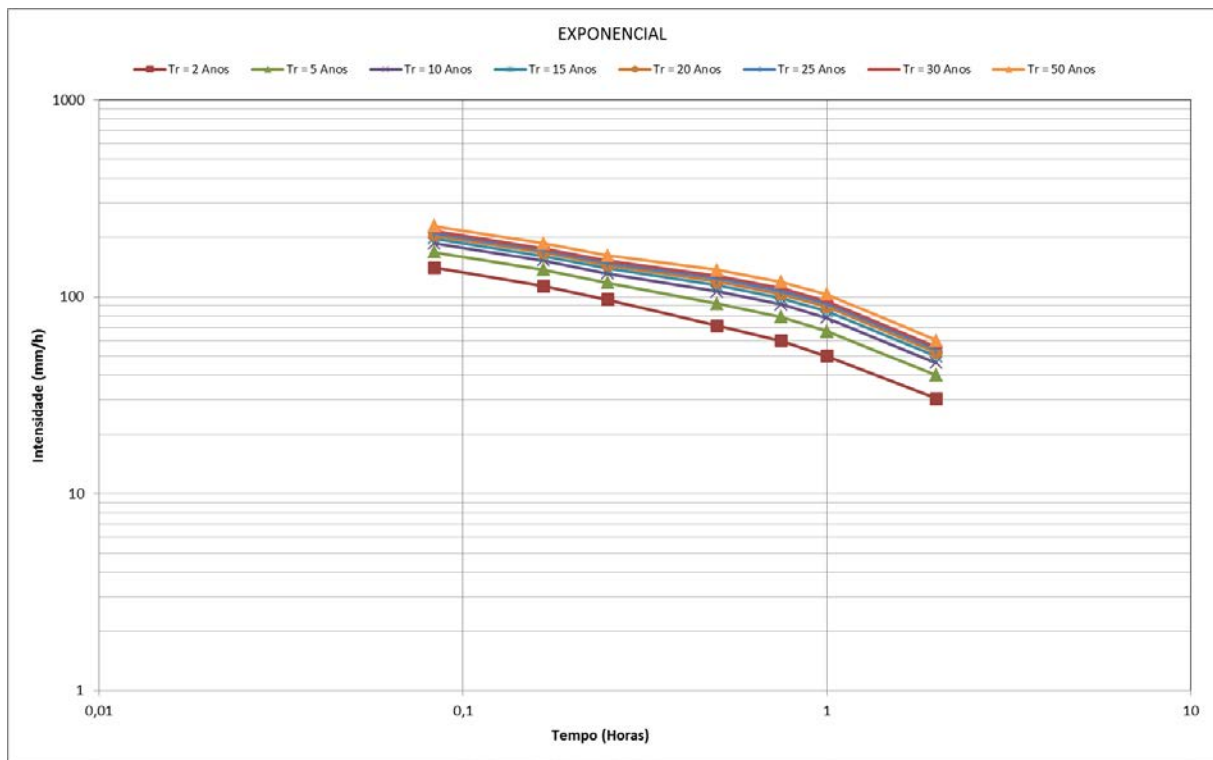


Figura 02 – Curvas intensidade-duração-frequência

A equação adotada para representar a família de curvas da Figura 02 é do tipo:

$$i = \frac{aT^b}{(t+c)^d} \quad (01)$$

Onde:

i é a intensidade da chuva (mm/h)

T é o tempo de retorno (anos)

t é a duração da precipitação (minutos)

a, b, c, d são parâmetros da equação

No caso de Petrópolis, os parâmetros da equação são os seguintes:

$a = 2655,6$; $b = 0,1644$; $c = 30,6$ e $d = 0,8862$, para as durações de 5 minutos a 2 horas

$$i = \frac{2655,6T^{0,1644}}{(t+30,6)^{0,8862}} \quad (02)$$

Estas equações são válidas para tempos de retorno até 50 anos.

A Tabela 01 apresenta as intensidades, em mm/h, calculadas para várias durações e diferentes tempos de retorno. Enquanto que na Tabela 02 constam as respectivas alturas de chuva, em mm, para as mesmas durações e os mesmos tempos de retorno.

Tabela 01 – Intensidade da chuva em mm/h

Duração da Chuva	Tempo de Retorno, <i>T</i> (anos)							
	2	5	10	15	20	25	40	50
5 Minutos	125,5	145,9	163,6	174,8	183,3	190,1	205,4	213,1
10 Minutos	111,7	129,9	145,6	155,6	163,1	169,2	182,8	189,7
15 Minutos	100,8	117,2	131,3	140,4	147,2	152,7	165,0	171,1
20 Minutos	91,9	106,9	119,8	128,0	134,2	139,2	150,4	156,0
30 Minutos	78,3	91,1	102,1	109,1	114,4	118,7	128,2	133,0
45 Minutos	64,4	74,9	83,9	89,7	94,0	97,6	105,4	109,3
1 HORA	54,9	63,8	71,5	76,4	80,1	83,1	89,8	93,1
2 HORAS	35,0	40,7	45,6	48,7	51,1	53,0	57,2	59,4

Tabela 02 – Altura de chuva em mm

Duração da Chuva	Tempo de Retorno, <i>T</i> (anos)							
	2	5	10	15	20	25	40	50
5 Minutos	10,5	12,2	13,6	14,6	15,3	15,8	17,1	17,8
10 Minutos	18,6	21,6	24,3	25,9	27,2	28,2	30,5	31,6
15 Minutos	25,2	29,3	32,8	35,1	36,8	38,2	41,2	42,8
20 Minutos	30,6	35,6	39,9	42,7	44,7	46,4	50,1	52,0
30 Minutos	39,2	45,5	51,0	54,6	57,2	59,3	64,1	66,5
45 Minutos	48,3	56,2	62,9	67,3	70,5	73,2	79,0	82,0
1 HORA	54,9	63,8	71,5	76,4	80,1	83,1	89,8	93,1
2 HORAS	69,9	81,3	91,1	97,4	102,1	105,9	114,4	118,7

3 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO

No dia 08 de janeiro de 2007, na estação pluviográfica de Rio da Cidade, foi registrada uma chuva de 120 mm com duração de 2 horas. Qual é o tempo de retorno dessa precipitação?

Resp: Inicialmente, para se calcular o tempo de retorno será necessária a inversão da equação 01. Dessa forma temos:

$$T = \left[\frac{i(t+c)^d}{a} \right]^{1/b} \quad (04)$$

A intensidade da chuva registrada é a altura da chuva dividida pela duração, ou seja, 120 mm dividido por 2 h é igual a 60 mm/h. Substituindo os valores na equação 04 temos:

$$T = \left[\frac{60(120 + 30,6)^{0,8862}}{2655,6} \right]^{1/0,1644} = 53 \text{ anos}$$

O tempo de retorno de 53 anos corresponde a uma probabilidade de que esta intensidade de chuva seja igualada ou superada em um ano qualquer de 1,89%, ou

$$P(i \geq 73\text{mm/h}) = \frac{1}{T} 100 = \frac{1}{53} 100 = 1,89\%$$

Mesmo estando fora do limite de aplicação da equação, o tempo de retorno estimado da intensidade da precipitação ocorrida, 53 anos, indica a excepcionalidade do evento.

4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Banco de Dados de Registro de Desastres – Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2ID – Disponível em: <http://150.162.127.14:8080/pngr/pngr.html> Acesso em: Julho de 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Cidades. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=330390#>. Acesso em 28 de março de 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/total_populacao_rio_de_janeiro.pdf. Acesso em 28 de março de 2016.

PINTO, E. J. A. *Metodologia para definição das equações Intensidade-Duração-Frequência do Projeto Atlas Pluviométrico*. CPRM. Belo Horizonte. Mar, 2013.

SEBRAE, 2011. Informações socioeconômicas do município de Petrópolis. Disponível em: [http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/AA02B78CB59DDACC8325795300662B03/\\$File/Petrópolis.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/AA02B78CB59DDACC8325795300662B03/$File/Petrópolis.pdf). Acesso em 28 de março de 2016.

ANEXO I

Série de Dados Utilizados por Duração – Altura de Chuva (mm)

DATA	5 MIN	DATA	10 MIN	DATA	15 MIN	DATA	30 MIN	DATA	45 MIN	DATA	1 HORA
01/10/1997	14,1	01/10/1997	18,6	01/10/1997	20,8	01/10/1997	24,0	01/10/1997	32,4	01/10/1997	33,1
06/11/1997	10,1	15/11/1997	22,3	15/11/1997	29,2	15/11/1997	31,3	15/11/1997	33,5	15/11/1997	33,9
15/11/1997	14,8	06/01/1998	22,4	06/01/1998	29,3	06/01/1998	54,7	06/01/1998	65,6	06/01/1998	68,5
22/11/1997	10,9	17/02/1998	16	17/02/1998	20,2	17/02/1998	36,2	17/02/1998	55,3	17/02/1998	65,1
06/01/1998	15,5	20/03/1998	17,7	20/03/1998	23,6	20/03/1998	35,2	20/03/1998	44,4	20/03/1998	50,1
17/02/1998	12,3	09/03/1999	14,8	09/03/1999	18,7	09/03/1999	29,4	09/03/1999	40,9	09/03/1999	44,1
20/03/1998	9,6	11/03/1999	13,7	11/03/1999	18,3	11/03/1999	26,4	11/03/1999	34,4	11/03/1999	37,1
01/04/1998	8,9	30/12/1999	16,9	30/12/1999	20,21	31/12/1999	25,8	31/12/1999	32,0	31/12/1999	36,9
06/01/1999	9,7	17/01/2000	15,9	17/01/2000	21,1	17/01/2000	23,2	01/09/2000	27,9	10/12/2000	55,0
09/03/1999	10,7	01/09/2000	16,6	01/09/2000	21,0	01/09/2000	26,8	10/12/2000	40,8	30/01/2001	40,0
11/03/1999	9,1	10/12/2000	15,9	10/12/2000	20,9	10/12/2000	35,7	03/02/2001	38,2	10/03/2001	33,8
15/09/1999	10,2	03/02/2001	19,2	03/02/2001	24,1	03/02/2001	35,5	10/03/2001	28,2	27/03/2001	69,2
30/12/1999	10,1	05/02/2001	13,7	27/03/2001	35,6	27/03/2001	49,1	27/03/2001	63,8	15/11/2001	34,6
17/01/2000	9,0	27/03/2001	29,7	17/01/2003	23,8	15/11/2001	23,0	15/11/2001	29,0	17/01/2003	75,8
01/09/2000	8,8	11/12/2002	13,9	21/01/2003	28,9	17/01/2003	46,5	17/01/2003	60,4	21/01/2003	73,3
10/12/2000	9,2	11/01/2003	19,2	23/12/2003	22,0	21/01/2003	50,9	21/01/2003	63,3	23/12/2003	34,6
03/02/2001	11	21/01/2003	20,1	19/02/2004	18,5	23/12/2003	29,5	23/12/2003	33,5	19/02/2004	32,5
05/02/2001	10,2	23/12/2003	17,0	09/07/2004	19,6	19/02/2004	24,7	27/02/2004	30,3	27/02/2004	33,4
27/03/2001	15,6	09/07/2004	15,8	25/01/2005	18,8	27/02/2004	25,5	20/04/2004	30,3	20/03/2004	32,3
27/12/2001	9,01	25/01/2005	15,6	25/02/2005	18,7	20/04/2004	23,5	25/02/2005	28,1	20/04/2004	34,7
09/01/2002	9,9	25/02/2005	15,7	27/11/2006	18,7	27/11/2006	29,5	27/11/2006	31,2	25/02/2005	32,1
11/01/2003	11,5	27/11/2006	13,8	16/12/2006	20,6	16/12/2006	28,3	16/12/2006	28,6	27/11/2006	31,2
21/01/2003	11,02	16/12/2006	19,2	23/12/2006	29,3	23/12/2006	39,0	23/12/2006	45,6	23/12/2006	46,7
23/12/2003	9,62	23/12/2006	21,2	26/12/2006	20,2	08/01/2007	52,3	08/01/2007	72,4	08/01/2007	90,7
09/07/2004	11,1	26/12/2006	16,2	08/01/2007	30,8	26/01/2007	25,2	26/01/2007	28,9	26/01/2007	30,4
25/02/2005	10,1	08/01/2007	21,4	13/01/2007	19,3	02/02/2007	23,4	16/03/2007	41,2	16/03/2007	42,4
16/12/2006	11,0	13/01/2007	18,4	26/01/2007	19,6	16/03/2007	38,5	22/12/2007	32,2	22/12/2007	32,5
23/12/2006	14,8	26/01/2007	14,4	16/03/2007	28,1	22/12/2007	31,9	02/02/2008	35,2	02/02/2008	40,0
26/12/2006	8,9	16/03/2007	20,2	04/11/2007	18,1	02/02/2008	27,3	22/02/2008	29,3	22/02/2008	32,6
08/01/2007	11,7	04/11/2007	15,8	22/12/2007	28,1	09/11/2009	36,5	09/11/2009	43,7	09/11/2009	49,1
13/01/2007	13,2	22/12/2007	22	02/02/2008	17,4	17/02/2010	23,0	25/01/2010	30,1	25/01/2010	39,6
16/03/2007	11,1	09/11/2009	13,4	09/11/2009	19,5	24/02/2010	25,1	04/04/2010	27,9	04/04/2010	33,3
04/11/2007	9,8	24/02/2010	15	24/02/2010	20,1	30/10/2010	29,2	30/10/2010	29,4	01/11/2010	33,5
22/12/2007	14,7	01/10/2010	15,7	01/10/2010	18,6	07/12/2010	32,6	01/11/2010	29,4	07/12/2010	45,5
24/02/2010	9,91	30/10/2010	19,5	30/10/2010	27,0	06/01/2012	23,1	07/12/2010	40,2	12/01/2011	31,5
01/10/2010	10,8	07/12/2010	14,4	07/12/2010	20,3	31/01/2012	25,2	06/01/2012	28,4	06/01/2012	30,9
30/10/2010	9,8	31/01/2012	17,2	31/01/2012	20,1	05/12/2013	31,9	31/01/2012	29,8	31/01/2012	32,9
31/01/2012	12,7	05/12/2013	17,2	05/12/2013	21,9	24/01/2014	24,6	05/12/2013	43,0	05/12/2013	50,1
05/12/2013	8,9	24/01/2014	15,7	24/01/2014	19,4	04/02/2014	35,2	04/02/2014	44,6	04/02/2014	45,7
24/01/2014	9,6	04/02/2014	14,21	04/02/2014	19,9	07/03/2014	27	07/03/2014	38,3	07/03/2014	46,8

DATA	2 HORAS
06/01/1998	69,8
17/02/1998	69,4
20/03/1998	66,5
09/03/1999	44,7
11/03/1999	46,1
31/12/1999	45
11/03/2000	47,5
10/12/2000	66,7
30/01/2001	54,3
10/03/2001	49,2
27/03/2001	72,3
02/05/2002	43,3
17/01/2003	96,6
21/01/2003	76,8
20/11/2003	39,5
19/02/2004	49,1
27/02/2004	42,8
20/03/2004	38,7
20/04/2004	42,3
07/11/2004	38,5
29/11/2004	45,1
18/01/2005	43,5
29/11/2006	40,4
23/12/2006	56,8
08/01/2007	120,4
15/01/2007	38,8
16/03/2007	44,2
02/02/2008	65,8
25/10/2009	44,7
09/11/2009	66
25/01/2010	46,7
04/04/2010	39,2
07/12/2010	52,5
27/12/2010	39,21
11/01/2011	46,4
31/01/2012	43,2
16/10/2013	42,4
05/12/2013	53,8
04/02/2014	45,8
07/03/2014	67

ANEXO II

RELAÇÕES ENTRE AS ALTURAS DE PRECIPITAÇÕES DE DIFERENTES DURAÇÕES (Pd1/Pd2)

Tempos de Retorno de 2 a 50 anos

	Relação 5 min/10 min	Relação 10 min/15 min	Relação 15 min/30 min	Relação 30 min/45 min	Relação 45 min/1h
Máxima	0,62	0,78	0,68	0,80	0,90
Mínima	0,61	0,77	0,59	0,77	0,87
Média	0,61	0,77	0,61	0,77	0,87
Mediana	0,61	0,77	0,60	0,77	0,87

	Relação 1h/2h
Máxima	0,86
Mínima	0,82
Média	0,85
Mediana	0,85

RELAÇÕES ENTRE AS ALTURAS DE PRECIPITAÇÕES DE DIFERENTES DURAÇÕES (Pd/P1hora)

Tempos de Retorno de 2 a 50 anos

	Relação 5 min/1h	Relação 10 min/1h	Relação 15 min/1h	Relação 30 min/1h	Relação 45 min/1h
Máxima	0,23	0,38	0,49	0,71	0,90
Mínima	0,18	0,30	0,39	0,67	0,87
Média	0,20	0,32	0,41	0,68	0,87
Mediana	0,19	0,31	0,40	0,67	0,87