

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL
LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE

ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL

Equações Intensidade-Duração-Frequência

Estado: São Paulo
Município: Votorantim
Estação Pluviométrica: Eden
Código ANA: 02347028
Código DAEE: E4-128

 **CPRM**
Serviço Geológico do Brasil



2019

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA
DEPARTAMENTO DE GESTÃO TERRITORIAL
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PORTO ALEGRE

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

(Desagregação de Precipitações Diárias)

Município: Votorantim/SP

Estação Pluviométrica: Eden

Códigos: 02347028 (ANA) / E4-128 (DAEE)

Karine Pickbrenner

Eber José de Andrade Pinto



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM

PORTO ALEGRE

2019

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL
LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE
ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL
EQUAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA
(Desagregação de Precipitações Diárias)

Executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM
Superintendência Regional de Porto Alegre

Copyright @ 2019 CPRM - Superintendência Regional de Porto Alegre
Rua Banco da Província, 105 – Santa Tereza
Porto Alegre - RS - 90.840-030
Telefone: 0(xx)(51) 3406-7300
Fax: 0(xx)(51) 3233-7772
<http://www.cprm.gov.br/>

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Pickbrenner, Karine

P594 Atlas Pluviométrico do Brasil: Equações Intensidade-Duração-Frequência
(Desagregação de Precipitações Diárias): Município Votorantim/SP / Karine
Pickbrenner; Eber José de Andrade Pinto. – Porto Alegre: CPRM, 2019.

12p.; anexos

Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade

ISBN 978-85-7499-571-7

1. Hidrologia. 2. Pluviometria - Brasil. 3. Equações IDF I. Pinto, Eber José
de Andrade. II. Título

CDD 551.570981

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Ana Lúcia B. F. Coelho CRB10 - 840

Direitos desta edição: CPRM - Serviço Geológico do Brasil

É permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

MINISTRO DE ESTADO

Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Junior

SECRETÁRIO EXECUTIVO

Marisete Fátima Dadald Pereira

SECRETÁRIO DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

Alexandre Vidigal de Oliveira

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB)

CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO

Presidente

Alexandre Vidigal de Oliveira

Vice-Presidente

Esteves Pedro Colnago

Conselheiros

Cassio Roberto da Silva

Geraldo Medeiros de Moraes

Lília Mascarenhas Sant'Agostino

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Antônio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

José Leonardo Silva Andriotti

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Fernando Carvalho

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PORTO ALEGRE

Lucy Takehara Chemale
Superintendente

Diogo Rodrigues Andrade da Silva
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Carla Klein
Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Raquel Barros Binotto
Gerente de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Alexandre Trevisan Chagas
Gerente de Administração e Finanças

PROJETO ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL

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

Departamento de Hidrologia
Frederico Cláudio Peixinho

Departamento de Gestão Territorial
Maria Adelaide Mansini Maia

Divisão de Hidrologia Aplicada
Adriana Dantas Medeiros
Achiles Monteiro (*In memorian*)

Divisão de Geologia Aplicada
Sandra Fernandes da Silva

**Coordenação Executiva do DEHID
Projeto Atlas Pluviométrico**
Eber José de Andrade Pinto

**Coordenação do Projeto Cartas
Municipais de Suscetibilidade**
Tiago Antonelli

Coordenadores Regionais do Projeto Atlas Pluviométrico

José Alexandre Moreira Farias - REFO (*In memorian*)

Karine Pickbrenner - SUREG /PA

Equipe Executora

Adriana Burin Weschenfelder - SUREG/PA

Adriano da Silva Santos – SUREG/RE

Caluan Rodrigues Capozzoli – SUREG /SP

Catharina dos Prazeres Campos de Farias– SUREG /BE

Jean Ricardo da Silvado 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

Maximiliano Paschoaloti Messa – SUREG /PA

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 Votorantim/SP, onde foram utilizados os registros de precipitações diárias máximas por ano hidrológico da estação pluviométrica Éden, códigos 02347028 (ANA) e E4-128 (DAEE), localizada a cerca de 15 km da sede municipal de Votorantim.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	01
2 – EQUAÇÃO	01
3 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO	04
4 – REFERÊNCIAS	04
ANEXO I	05
ANEXO II	06

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Localização do Município e da Estação Pluviométrica

Figura 02 – Curvas intensidade-duração-frequência

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Intensidade da chuva em mm/h

Tabela 02 – Altura de chuva em mm

1 – INTRODUÇÃO

A equação definida pode ser utilizada no município de Votorantim/SP.

O município de Votorantim está localizado a 103 km da capital do estado de São Paulo, região metropolitana de Sorocaba e faz fronteira com os municípios de Sorocaba, Alumínio, Mairinque, Ibiúna, Piedade e Salto de Pirapora. O município possui uma área aproximada de 183,517 km² (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2010) e localiza-se a uma altitude de 570 metros em sua sede. A população de Votorantim, segundo IBGE (2010), é de 108.809 habitantes.

A estação Eden, códigos 02347028 (ANA) e E4-128 (DAEE), está localizada na Latitude 23°25'0.00"S e Longitude 47°24'0.00"W, na sub-bacia 62, sub-bacia dos rios Paraná, Tietê e outros, a uma distância aproximada de 15 km da sede do município de Votorantim. Esta estação pluviométrica encontra-se em operação desde 1971 e o período utilizado na elaboração da IDF foi de 1971 a 2016. Os dados para definição da equação IDF foram obtidos a partir dos dados diários de precipitação coletados em um pluviômetro convencional operado pelo DAEE-SP-Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo.

A Figura 01 apresenta a localização do município.



Figura 01 – Localização do Município e da Estação Pluviométrica

2 – EQUAÇÃO

A metodologia para definição da equação por desagregação das precipitações diárias está descrita em detalhes em Pinto (2013). Na definição da equação Intensidade-Duração-Frequência da estação Eden, códigos 02347028 (ANA) e E4-128 (DAEE), foi utilizada a série de precipitações diárias máximas por ano hidrológico (01/Out a 31/Set), apresentada no Anexo I. A distribuição de frequência ajustada aos dados diários foi a Gumbel, com os parâmetros calculados pelo método dos momentos-L.

A desagregação dos quantis diários em outras durações foi efetuada com as relações entre alturas de chuvas de diferentes durações obtidas com as relações IDF obtidas a partir da equação estabelecida para o município de Itu por Martinez Júnior e Magni (1999 apud DAEE 2018). As relações entre as alturas de chuvas de diferentes durações constam do Anexo II.

A Figura 02 apresenta as curvas ajustadas.

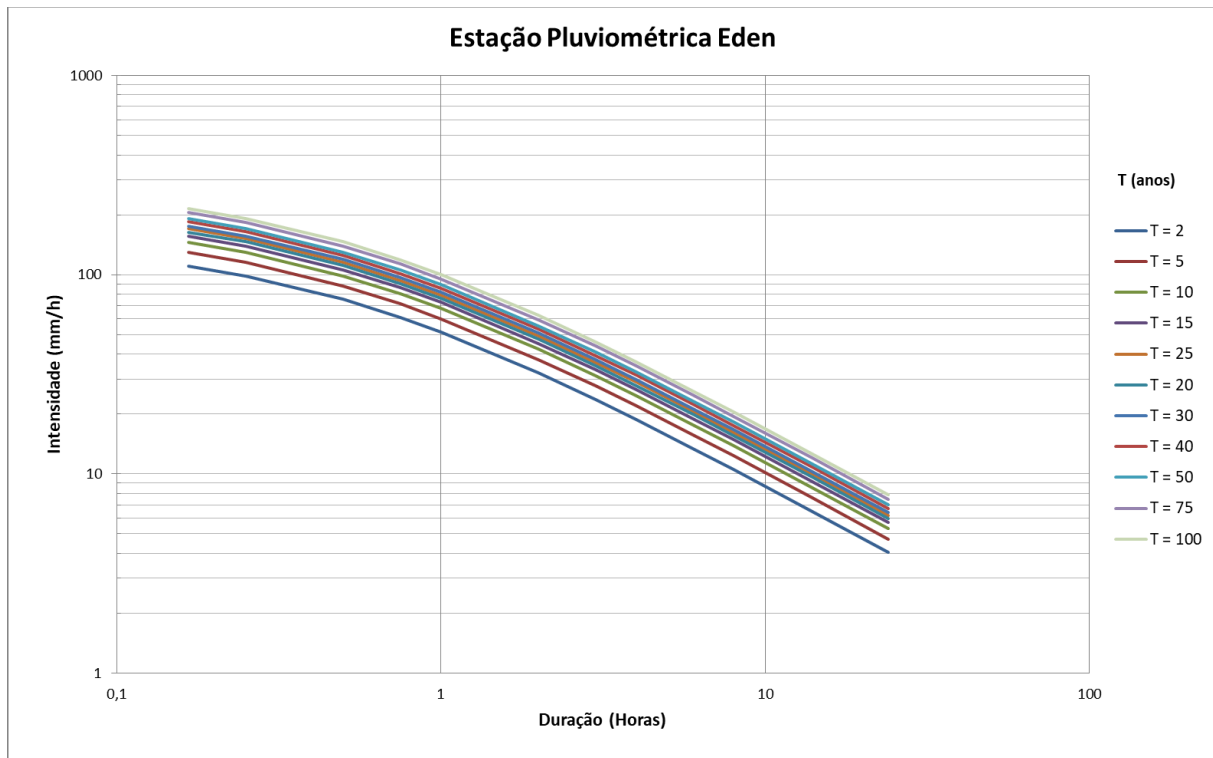


Figura 02 – Curvas intensidade-duração-frequência

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 Eden os parâmetros da equação são os seguintes:

$$10\text{min} \leq t \leq 24\text{h}$$

$$a = 2595,1; b = 0,1702; c = 27,5; d = 0,9030$$

$$i = \frac{2595,1T^{0,1702}}{(t+27,5)^{0,9030}} \quad (02)$$

A equação acima é válida para tempos de retorno de até 100 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, T (anos)												
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	90	100
10 Minutos	110,7	129,4	145,5	155,9	163,8	170,1	175,5	184,3	191,4	197,4	205,1	211,6	215,4
15 Minutos	98,8	115,5	130,0	139,3	146,3	151,9	156,7	164,6	171,0	176,3	183,2	188,9	192,4
20 Minutos	89,4	104,5	117,6	126,0	132,3	137,4	141,7	148,9	154,6	159,5	165,7	170,9	174,0
30 Minutos	75,2	87,9	98,9	106,0	111,3	115,6	119,3	125,3	130,1	134,2	139,4	143,8	146,4
45 Minutos	61,0	71,3	80,3	86,0	90,3	93,8	96,8	101,6	105,5	108,9	113,1	116,6	118,8
1 HORA	51,5	60,2	67,7	72,6	76,2	79,1	81,6	85,7	89,1	91,9	95,4	98,4	100,2
2 HORAS	32,1	37,6	42,3	45,3	47,6	49,4	50,9	53,5	55,6	57,3	59,5	61,4	62,5
3 HORAS	23,6	27,6	31,1	33,3	34,9	36,3	37,4	39,3	40,8	42,1	43,8	45,1	46,0
4 HORAS	18,8	21,9	24,7	26,5	27,8	28,9	29,8	31,3	32,5	33,5	34,8	35,9	36,5
5 HORAS	15,6	18,3	20,6	22,0	23,1	24,0	24,8	26,0	27,0	27,9	29,0	29,9	30,4
6 HORAS	13,4	15,7	17,7	18,9	19,9	20,6	21,3	22,4	23,2	24,0	24,9	25,7	26,1
7 HORAS	11,8	13,8	15,5	16,6	17,5	18,1	18,7	19,6	20,4	21,0	21,9	22,5	23,0
8 HORAS	10,5	12,3	13,8	14,8	15,6	16,2	16,7	17,5	18,2	18,8	19,5	20,1	20,5
12 HORAS	7,4	8,7	9,8	10,5	11,0	11,4	11,8	12,4	12,8	13,2	13,8	14,2	14,4
14 HORAS	6,5	7,6	8,5	9,1	9,6	10,0	10,3	10,8	11,2	11,6	12,0	12,4	12,6
20 HORAS	4,7	5,5	6,2	6,7	7,0	7,3	7,5	7,9	8,2	8,5	8,8	9,1	9,2
24 HORAS	4,0	4,7	5,3	5,7	6,0	6,2	6,4	6,7	7,0	7,2	7,5	7,7	7,9

Tabela 02 – Altura de chuva em mm

Duração da Chuva	Tempo de Retorno, T (anos)												
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	90	100
10 Minutos	18,4	21,6	24,3	26,0	27,3	28,4	29,2	30,7	31,9	32,9	34,2	35,3	35,9
15 Minutos	24,7	28,9	32,5	34,8	36,6	38,0	39,2	41,1	42,7	44,1	45,8	47,2	48,1
20 Minutos	29,8	34,8	39,2	42,0	44,1	45,8	47,2	49,6	51,5	53,2	55,2	57,0	58,0
30 Minutos	37,6	44,0	49,5	53,0	55,7	57,8	59,6	62,6	65,1	67,1	69,7	71,9	73,2
45 Minutos	45,8	53,5	60,2	64,5	67,7	70,3	72,6	76,2	79,2	81,7	84,8	87,5	89,1
1 HORA	51,5	60,2	67,7	72,6	76,2	79,1	81,6	85,7	89,1	91,9	95,4	98,4	100,2
2 HORAS	64,3	75,1	84,5	90,6	95,1	98,8	101,9	107,0	111,2	114,7	119,1	122,9	125,1
3 HORAS	70,8	82,8	93,2	99,8	104,8	108,9	112,3	117,9	122,5	126,4	131,3	135,4	137,9
4 HORAS	75,1	87,8	98,8	105,8	111,1	115,4	119,1	125,0	129,9	134,0	139,1	143,5	146,1
5 HORAS	78,2	91,4	102,8	110,2	115,7	120,2	124,0	130,2	135,2	139,5	144,9	149,5	152,2
6 HORAS	80,6	94,2	106,0	113,6	119,3	123,9	127,8	134,2	139,4	143,8	149,4	154,1	156,9
7 HORAS	82,6	96,5	108,6	116,3	122,2	126,9	130,9	137,5	142,8	147,3	153,0	157,8	160,7
8 HORAS	84,2	98,4	110,8	118,7	124,6	129,5	133,5	140,3	145,7	150,3	156,1	161,0	163,9
12 HORAS	89,1	104,1	117,1	125,5	131,8	136,9	141,2	148,3	154,0	158,9	165,0	170,2	173,3
14 HORAS	90,8	106,2	119,5	128,0	134,4	139,6	144,0	151,3	157,1	162,1	168,3	173,6	176,8
20 HORAS	94,8	110,9	124,7	133,6	140,4	145,8	150,4	157,9	164,0	169,2	175,8	181,3	184,6
24 HORAS	96,9	113,2	127,4	136,5	143,3	148,9	153,6	161,3	167,5	172,8	179,5	185,2	188,5

3 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Em Votorantim, foi registrada uma Chuva de 90 mm com duração de 1 hora. 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:*

$$T = \left[\frac{i(t+c)^d}{a} \right]^{1/b} \quad (03)$$

A intensidade da chuva registrada é a altura da chuva dividida pela duração, ou seja, 90 mm dividido por 1,0h é igual a 90 mm/h. Substituindo os valores na equação 03 temos:

$$T = \left[\frac{90(60+27,5)^{0,9030}}{2595,1} \right]^{1/0,1702} \approx 53 \text{ anos}$$

O tempo de retorno de 53 anos corresponde a uma probabilidade de 1,9% que esta intensidade de chuva seja igualada ou superada em um ano qualquer, ou

$$P(i \geq 90\text{mm/h}) = \frac{1}{T} 100 = \frac{1}{53} 100 = 1,9\%$$

4 – REFERÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (São Paulo). **Precipitações intensas no estado de São Paulo**. São Paulo: DAEE; Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos da USP, 2018. p. 104-106.

Disponível em:

https://www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=743%3Apluviografia&catid=43%3Ahidrometeorologia&Itemid=30drive.google.com/file/d/0B8iXiltOrl5acHV6cXNaYUJBSGM/view. Acesso em: 21 out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estatística por cidade e estado: Votorantim**. Brasília: IBGE, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/votorantim/panorama>. Acesso em: 21 out. 2019.

PINTO, Eber José de Andrade **Metodologia para definição das equações Intensidade-Duração-Frequência do Projeto Atlas Pluviométrico**. Belo Horizonte: CPRM, 2013.

ANEXO I

Série de Dados Utilizados– Altura de Chuva diária (mm)

Máximos por ano hidrológico (01/Out a 31/Set)

N	AI	AF	Data	Precipitação Máxima Diária (mm)	N	AI	AF	Data	Precipitação Máxima Diária (mm)
1	1971	1972	23/01/1972	108,0	21	1992	1993	29/10/1992	68,1
2	1972	1973	04/10/1972	75,3	22	1993	1994	08/01/1994	62,1
3	1973	1974	30/12/1973	83,9	23	1994	1995	13/02/1995	71,4
4	1974	1975	26/02/1975	79,3	24	1995	1996	26/12/1995	115,5
5	1975	1976	08/02/1976	82,3	25	1996	1997	15/01/1997	53,2
6	1976	1977	10/04/1977	81,1	26	1997	1998	07/11/1997	60,9
7	1977	1978	09/06/1978	58,0	27	1998	1999	14/01/1999	52,4
8	1978	1979	27/12/1978	73,3	28	1999	2000	11/02/2000	80,3
9	1979	1980	16/12/1979	58,2	29	2001	2002	20/01/2002	133,6
10	1980	1981	14/01/1981	104,5	30	2002	2003	13/01/2003	79,7
11	1981	1982	07/02/1982	178,4	31	2005	2006	03/01/2006	94,2
12	1982	1983	02/02/1983	119,1	32	2006	2007	18/01/2007	71,0
13	1983	1984	02/12/1983	93,1	33	2007	2008	21/12/2007	60,1
14	1984	1985	18/03/1985	74,0	34	2008	2009	09/03/2009	67,7
15	1985	1986	19/03/1986	58,1	35	2009	2010	09/11/2009	74,3
16	1986	1987	11/11/1986	96,5	36	2010	2011	17/02/2011	79,3
17	1987	1988	19/12/1987	75,5	37	2013	2014	13/04/2014	126,0
18	1988	1989	04/01/1989	58,7	38	2014	2015	18/02/2015	56,0
19	1989	1990	27/10/1989	48,0	39	2015	2016	11/03/2016	90,0
20	1991	1992	07/10/1991	95,8					

ANEXO II

As razões entre as alturas de chuvas de diferentes durações obtidas a partir das relações IDF estabelecidas por Martinez e Magni (1999) apud DAEE (2018) para o município de Itu/SP.

Relação 24h/1dia: 1,13

Relação 14h/24h	Relação 8h/14h	Relação 6h/8h	Relação 4h/6h	Relação 3h/4h	Relação 2h/3h	Relação 1h/2h
0,94	0,93	0,96	0,93	0,94	0,91	0,80

Relação 45min/1h	Relação 30min/45min	Relação 15min/30min	Relação 10min/15min
0,89	0,82	0,66	0,75

ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL



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).

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.

ENDEREÇOS

Sede

SGAN- Quadra 603 – Conjunto J – Parte A – 1º andar
Brasília – DF – CEP: 70830-030
Tel: 61 2192-8252
Fax: 61 3224-1616

Escritório Rio de Janeiro

Av Pasteur, 404 – Urca
Rio de Janeiro – RJ Cep: 22290-255
Tel: 21 2295-5337 - 21 2295-5382
Fax: 21 2542-3647

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial

Tel: 61 3223-1059 - 21 2295-8248
Fax: 61 3323-6600 - 21 2295-5804

Departamento de Gestão Territorial

Tel: 21 2295-6147 - Fax: 21 2295-8094

Diretoria de Infraestrutura Geocientífica

Tel: 21 2295-5837 - 61 3223-1059
Fax: 21 2295-5947 - 61 3323-6600

Superintendência Regional de Porto Alegre

Rua Banco da Província, 105-Santa Teresa
Porto Alegre - RS - CEP: 90840-030
Tel.: 51 3406-7300 - Fax: 51 3233-7772

Assessoria de Comunicação

Tel: 61 3321-2949 - Fax: 61 3321-2949
E-mail: asscomdf@cprm.gov.br

Divisão de Marketing e Divulgação

Tel: 31 3878-0372 - Fax: 31 3878-0370
E-mail: marketing@cprm.gov.br

Ouvidoria

Tel: 21 2295-4697 - Fax: 21 2295-0495
E-mail: ouvidoria@cprm.gov.br

Serviço de Atendimento ao Usuário – SEUS

Tel: 21 2295-5997 - Fax: 21 2295-5897
E-mail: seus@cprm.gov.br

www.cprm.gov.br



PAC