

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL
LEVANTAMENTO DA GEODIVERSIDADE

ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL

CARTA DE SUSCETIBILIDADE A
MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS
DE MASSA E INUNDAÇÃO

Equações Intensidade-Duração-Frequência

Município: São Sebastião Caí

 **CPRM**
Serviço Geológico do Brasil



**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: São Sebastião Cai

**PORTO ALEGRE
2017**

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 Porto Alegre

Copyright @ 2017 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>

Ficha Catalográfica

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM

Atlas Pluviométrico do Brasil; Equações Intensidade-Duração-Frequência.
Município: São Sebastião Caí. Adriana Burin Weschenfelder; Karine Pickbrenner e
Eber José de Andrade Pinto – Porto Alegre: CPRM, 2017.

13p.; anexos (Série Atlas Pluviométrico do Brasil)

1. Hidrologia 2. Pluviometria 3. Equações IDF 4. I - Título II - WESCHENFELDER,
A.B.; PICKBRENNER, K. e PINTO, E. J. A.

CDU : 556.51

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

Fernando Bezerra Coelho Filho

SECRETÁRIO EXECUTIVO

Paulo Pedrosa

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

Vicente Humberto Lobo cruz

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

CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO

Presidente

Vicente Humberto Lobo Cruz

Vice-Presidente

Eduardo Jorge Ledsham

Conselheiros

Ladice Peixoto

Eduardo Carvalho Nepomuceno Alencar

Telton Elber Correa

Janaina Gomes Pires da Silva

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Eduardo Jorge Ledsham

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Stênio Petrovich Pereira

Diretor de Geologia e Recursos Minerais (Interino)

José Leonardo Silva Andriotti

Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Antônio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Administração e Finanças

Nelson Victor Le Cocq D'Oliveira

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PORTO ALEGRE

Eduardo Camozzato
Superintendente

Marcos Alexandre de Freitas
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

João Angelo Toniolo
Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Ana Claudia Viero
Gerente de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Marilene Fátima Bastos
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 memorian*)

Coordenação Executiva do DEHID – Atlas Pluviométrico

Eber José de Andrade Pinto

Coordenação do Projeto Cartas Municipais de Suscetibilidade

Diogo Rodrigues Andrade da Silva

Coordenadores Regionais do Projeto Atlas Pluviométrico

José Alexandre Moreira Farias - REFO

Karine Pickbrenner - Sureg/PA

Equipe Executora

Adriana Burin Weschenfelder-Sureg/PA

Caluan Rodrigues Capozzoli-Sureg/SP

Catharina Ramos dos Prazeres Campos – 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

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.

Na semana de 16 a 20 de outubro de 2016, um evento de chuva intensa provocou diversos transtornos em vários municípios da sub-bacia do rio Cai. Em apenas um dia choveu o equivalente a média histórica do acumulado de chuva em um mês. Na estação pluviométrica de Nova Palmira, código 02951022, localizada no eixo do rio Caí, na porção média da sub-bacia e distante cerca de 30 km a montante da cidade de São Sebastião do Caí, foi registrada uma magnitude máxima de chuva de 204 mm, referente ao total de chuva acumulada em 24h, do dia 16 até o dia 17 de outubro. Em Nova Palmira a média mensal de chuva para o mês de outubro, considerando o período de 1977 a 2006, apresenta-se em

181,1mm (Pinto *et al.*, 2011), o que comprova a excepcionalidade do evento ocorrido em outubro de 2016.

Este relatório, que acompanhará a carta municipal de suscetibilidade, apresenta a equação IDF estabelecida para o município de São Sebastião do Caí/RS.

1 - INTRODUÇÃO

A equação definida pode ser utilizada no município de São Sebastião do Caí.

O município de São Sebastião do Caí está localizado no estado do Rio Grande do Sul, na Latitude 29°35'20" S e Longitude 51°22'31,4" W. Situa-se a uma distância de 52 km da capital do estado, Porto Alegre. O município apresenta área de 112 Km² e a sede localiza-se a uma altitude de 21 metros. Sua população, segundo o censo de 2010 do IBGE, é de 21.932 habitantes (IBGE, 2010).

O município fica inserido na sub-bacia 87 (sub-bacia da Lagoa dos Patos), mais especificamente na sub-bacia do rio Caí, um dos principais rios formadores do Lago Guaíba, corpo hídrico de grande importância estratégica pelo fato de costear a capital do estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. O Lago Guaíba recebe também a contribuição das sub-bacias dos rios Gravataí, Sinos e Jacuí e deságua na Lagoa dos Patos, que apresenta seu exutório no Oceano Atlântico.

Os dados para a definição da equação IDF foram obtidos de 15 estações pluviométricas que configuraram uma região hidrologicamente homogênea, englobando o município de São Sebastião do Caí. As estações pluviométrica utilizadas foram Capela São José dos Ausentes (02850002), Fazenda Roseira (02851010), Camisas (02950008), Capão dos Coxos (02950010), Lajeado Grande (02950019), Renânia (02950026), Seca (02950033), Serra do Pinto (02950034) e Jansen (02951017), sob responsabilidade da CEEE (Companhia Estadual de Energia Elétrica); Passo Tainhas (02850009), Antônio Prado (02851003), Passo do Prata (02851021), Prata (02851024), Nova Palmira (02951022) e São Vendelino (02951027), operadas pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais).

A Figura 01 apresenta a localização do município de São Sebastião do Caí e a delimitação da região homogênea, cuja equação subsidiou a elaboração da IDF do município de São Sebastião do Caí.



Figura 01 – Localização do Município e da Região Homogênea

2 - EQUAÇÃO

A metodologia para definição da equação por desagregação das precipitações diárias está descrita em detalhes em Pinto (2013).

A metodologia utilizada para o levantamento da série de precipitações diárias máximas anuais está apresentada em Pinto, Pickbrenner e Weschenfelder (2017). Neste trabalho, os autores aplicaram metodologia de análise de frequência regional utilizando 15 séries de precipitações máximas diárias em uma região hidrológicamente homogênea, de maneira a permitir a transferência espacial de informações nos limites da região. A distribuição de frequência regional ajustada às séries de máximos diários de precipitação, considerando a Região Homogênea 7.2, foi a Logística Generalizada, de maneira a permitir o cálculo dos quantis regionais adimensionais para vários tempos de retorno. A variabilidade espacial ao longo da região foi relacionada ao fator de adimensionalização dado pela média das séries das precipitações diárias máximas anuais. Esta variável foi especializada através da construção de isolinhas e posterior rasterização.

Para a elaboração da equação IDF do município de São Sebastião do Cai, utilizou-se como referência para a obtenção do fator de adimensionalização a coordenada da sede deste município.

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 estabelecidas por Pfafstetter (1982), para a estação de Caxias do Sul, localizada no município de Caxias do Sul, distante aproximadamente 50 km do município de São Sebastião do Cai.

As relações entre as alturas de chuvas de diferentes durações constam do Anexo I.

A Figura 02 apresenta as curvas ajustadas.

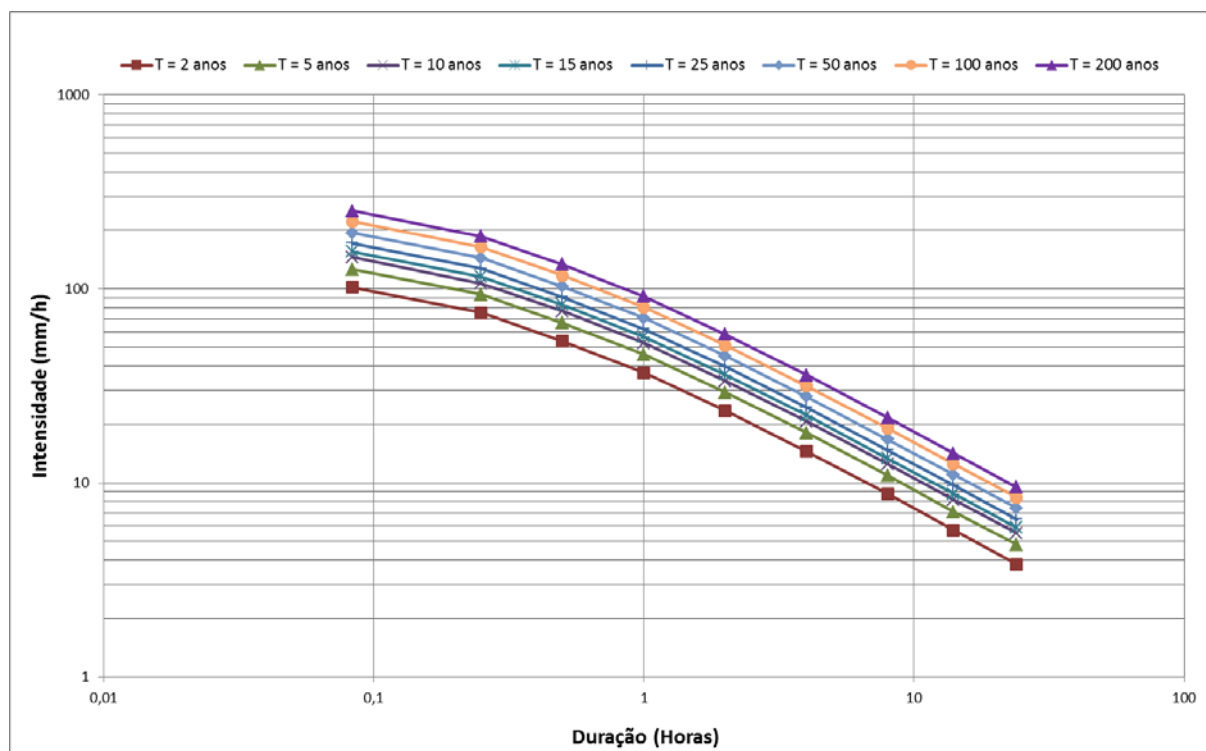


Figura 02 – Curvas intensidade-duração-frequência

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 São Sebastião do Cai os parâmetros da equação são os seguintes:

$$5\text{min} \leq t \leq 24\text{h}$$

$$a = 909,6; b = 0,1873; c = 14,7 \text{ e } d = 0,7614;$$

$$i = \frac{909,6T^{0,1873}}{(t+14,7)^{0,7614}} \quad (02)$$

Estas equações são válidas para tempos de retorno até 200 anos e durações de 5 minutos a 24 horas. 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	200
5 Minutos	107,1	127,1	144,7	156,1	164,8	171,8	177,8	187,6	195,6	202,4	211,1	218,4	222,8	253,6
10 Minutos	90,1	107,0	121,8	131,4	138,7	144,6	149,7	157,9	164,7	170,4	177,7	183,9	187,5	213,5
15 Minutos	78,3	93,0	105,9	114,2	120,6	125,7	130,1	137,3	143,1	148,1	154,4	159,8	163,0	185,6
20 Minutos	69,6	82,6	94,0	101,5	107,1	111,7	115,5	121,9	127,1	131,6	137,2	141,9	144,8	164,8
30 Minutos	57,4	68,1	77,6	83,7	88,3	92,1	95,3	100,5	104,8	108,5	113,1	117,0	119,4	135,9
45 Minutos	46,0	54,6	62,2	67,1	70,8	73,9	76,4	80,7	84,1	87,0	90,7	93,9	95,8	109,0
1 HORA	38,8	46,1	52,5	56,6	59,7	62,3	64,4	68,0	70,9	73,4	76,5	79,2	80,7	91,9
2 HORAS	24,8	29,4	33,5	36,1	38,1	39,8	41,1	43,4	45,3	46,8	48,8	50,5	51,5	58,7
3 HORAS	18,7	22,2	25,3	27,3	28,8	30,0	31,1	32,8	34,2	35,4	36,9	38,2	38,9	44,3
4 HORAS	15,3	18,1	20,6	22,2	23,5	24,5	25,3	26,7	27,9	28,8	30,1	31,1	31,7	36,1
5 HORAS	13,0	15,4	17,5	18,9	20,0	20,8	21,6	22,8	23,7	24,5	25,6	26,5	27,0	30,8
6 HORAS	11,4	13,5	15,4	16,6	17,5	18,2	18,9	19,9	20,8	21,5	22,4	23,2	23,7	26,9
7 HORAS	10,2	12,1	13,7	14,8	15,6	16,3	16,9	17,8	18,6	19,2	20,0	20,7	21,1	24,1
8 HORAS	9,2	10,9	12,4	13,4	14,2	14,8	15,3	16,1	16,8	17,4	18,1	18,8	19,1	21,8
12 HORAS	6,8	8,1	9,2	9,9	10,5	10,9	11,3	11,9	12,4	12,9	13,4	13,9	14,2	16,1
14 HORAS	6,1	7,2	8,2	8,8	9,3	9,7	10,1	10,6	11,1	11,5	12,0	12,4	12,6	14,4
20 HORAS	4,6	5,5	6,3	6,8	7,1	7,5	7,7	8,1	8,5	8,8	9,2	9,5	9,7	11,0
24 HORAS	4,0	4,8	5,5	5,9	6,2	6,5	6,7	7,1	7,4	7,7	8,0	8,3	8,4	9,6

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	200
5 Minutos	8,9	10,6	12,1	13,0	13,7	14,3	14,8	15,6	16,3	16,9	17,6	18,2	18,6	21,1
10 Minutos	15,0	17,8	20,3	21,9	23,1	24,1	24,9	26,3	27,4	28,4	29,6	30,6	31,3	35,6
15 Minutos	19,6	23,2	26,5	28,6	30,1	31,4	32,5	34,3	35,8	37,0	38,6	39,9	40,7	46,4
20 Minutos	23,2	27,5	31,3	33,8	35,7	37,2	38,5	40,6	42,4	43,9	45,7	47,3	48,3	54,9
30 Minutos	28,7	34,1	38,8	41,8	44,2	46,0	47,6	50,3	52,4	54,2	56,6	58,5	59,7	68,0
45 Minutos	34,5	41,0	46,7	50,3	53,1	55,4	57,3	60,5	63,1	65,3	68,1	70,4	71,8	81,8
1 HORA	38,8	46,1	52,5	56,6	59,7	62,3	64,4	68,0	70,9	73,4	76,5	79,2	80,7	91,9
2 HORAS	49,5	58,8	67,0	72,3	76,3	79,5	82,3	86,8	90,5	93,7	97,7	101,1	103,1	117,4
3 HORAS	56,1	66,6	75,9	81,9	86,4	90,1	93,2	98,4	102,6	106,1	110,7	114,5	116,8	133,0
4 HORAS	61,0	72,4	82,5	89,0	93,9	97,9	101,3	106,9	111,5	115,3	120,3	124,4	126,9	144,5
5 HORAS	64,9	77,1	87,7	94,7	99,9	104,2	107,8	113,8	118,6	122,7	128,0	132,4	135,1	153,8
6 HORAS	68,2	81,0	92,2	99,5	105,0	109,5	113,3	119,5	124,6	129,0	134,5	139,1	141,9	161,6
7 HORAS	71,1	84,4	96,1	103,6	109,4	114,0	118,0	124,5	129,9	134,4	140,1	145,0	147,9	168,4
8 HORAS	73,6	87,4	99,5	107,3	113,3	118,1	122,2	129,0	134,5	139,2	145,1	150,1	153,1	174,4
12 HORAS	81,7	97,0	110,4	119,1	125,7	131,1	135,7	143,2	149,3	154,5	161,1	166,6	170,0	193,5
14 HORAS	84,9	100,8	114,8	123,9	130,7	136,3	141,0	148,9	155,2	160,6	167,5	173,3	176,7	201,2
20 HORAS	92,8	110,2	125,5	135,4	142,9	149,0	154,2	162,7	169,7	175,6	183,0	189,4	193,2	220,0
24 HORAS	97,1	115,3	131,3	141,6	149,5	155,9	161,3	170,2	177,5	183,6	191,5	198,1	202,1	230,1

3 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Exemplo: Em outubro de 2016 ocorreram chuvas elevadas na região de São Sebastião do Caí, que geraram vários problemas de inundações. Na estação pluviométrica de Nova Palmira, a montante do município, foi registrada uma Chuva de 204,4 mm com duração de 24 horas; na estação de Passo Montenegro, a jusante do município, foi registrada uma Chuva de 201,6 mm, também em 24h. Supondo-se que em São Sebastião do Caí tenha ocorrido uma Chuva de 200 mm em 24h, 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, 200 mm dividido por 24 h é igual a 8,3 mm/h. Substituindo os valores na equação 03 temos:

$$T = \left[\frac{8,3(1440 + 14,7)^{0,7614}}{909,6} \right]^{1/0,1873} = 95 \text{ anos}$$

O tempo de retorno de 95 anos corresponde a uma probabilidade de que esta intensidade de chuva seja igualada ou superada em um ano qualquer de 1,1%, ou

$$P(i \geq 8,3 \text{ mm/h}) = \frac{1}{T} 100 = \frac{1}{95} 100 = 1,1\%$$

4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php>. Acesso em outubro de 2016.

PFAFSTETTER, O. *Chuvas Intensas no Brasil*. 2ª ed. DNOS, 1982.

PINTO, Eber José de Andrade (Coord.) et al. *Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos*. Brasília: CPRM, 2011. 1 DVD. Escala 1.5:000.000. Sistema de Informação Geográfica-SIG - versão 2.0 - atualizada em novembro/2011; Programa Geologia do Brasil; Levantamento da Geodiversidade.

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

PINTO, E. J. A.; PICKBRENNER, K.; WESCHENFELDER, A.B. *Análise de Frequência das Precipitações Diárias Máximas Anuais na Região Serrana Nordeste do Rio Grande do Sul*. CPRM. Belo Horizonte. Jan, 2017.

ANEXO I

As razões entre as alturas de chuvas de diferentes durações obtidas a partir das relações IDF estabelecidas por Pfafstetter (1982) para o município de Caxias do Sul/RS

Relação 24h/1dia: 1,13

Relação 14h/24h	Relação 8h/24h	Relação 4h/24h	Relação 2h/24h	Relação 1h/24h
0,87	0,76	0,63	0,51	0,40

Relação 40 min/1h	Relação 15 min/1h	Relação 5 min/1h
0,73	0,51	0,23

CARTA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÃO

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 Relações Institucionais e Desenvolvimento

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

www.cprm.gov.br



PAC