

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: Santa Maria da Serra  
Estação Pluviográfica: Fazenda do Barreiro Rico  
Código ANA: 02248025  
Código DAEE: D5-044

 **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  
(Desagregação de Precipitações Diárias)**

**Município: Santa Maria da Serra/SP**

**Estação Pluviométrica: Fazenda do Barreiro Rico  
Códigos: 02248025 (ANA) D5-044(DAEE)**

**SÃO PAULO  
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 São Paulo

Copyright @ 2017 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: Santa Maria da Serra/SP. Estação Pluviométrica: Fazenda do Barreiro Rico, Códigos: 02248025 (ANA) D5-044(DAEE). Caluan Rodrigues Capozzoli; Karine Pickbrenner e Eber José de Andrade Pinto – São Paulo : CPRM, 2017.

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

1. Hidrologia 2. Pluviometria 3. Equações IDF 4. I - Título II – CAPOZZOLI C.R.; PICKBRENER, 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**

Otto Bittencourt 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**

Esteves Pedro Colnago

**Diretor de Administração e Finanças**

Nelson Victor Le Cocq D'Oliveira

## **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**

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

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**

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 Santa Maria da Serra onde foram utilizados os registros de precipitações diárias máximas por ano hidrológico da estação pluviométrica Fazenda do Barreiro Rico, Códigos ANA 02248025 (ANA) e D5-044 (DAEE), distante 14 km da sede municipal de Santa Maria da Serra.

## 1 - INTRODUÇÃO

A equação definida pode ser utilizada no município de Santa Maria da Serra.

O município de Santa Maria da Serra está localizado na mesorregião de Piracicaba, no estado de São Paulo, na Latitude  $22^{\circ}34'01''$  S e Longitude  $48^{\circ}09'39''$  W, a 218 km de São Paulo capital. O município possui área de 256 Km<sup>2</sup> e localiza-se a uma altitude de 495 metros. Sua população, segundo o censo de 2010 do IBGE, é de 5.413 habitantes.

A estação Fazenda do Barreiro Rico, Códigos 02248025 (ANA) e D5-044 (DAEE), está localizada na Latitude  $22^{\circ}41'13''$ S e Longitude  $48^{\circ}07'12''$ W, no município de Anhembi, a uma distância aproximada de 14 km da sede municipal. Esta estação pluviométrica é de responsabilidade da ANA e operada pelo DAEE-SP. Os dados para definição da equação IDF foram obtidos a partir dos dados diários de precipitação coletados em um pluviômetro. A Figura 01 apresenta a localização do município e da estação.



Figura 01 – Localização do Município, da Estação Pluviográfica e da Estação Pluviométrica

## 2 – EQUAÇÕES

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 Fazenda do Barreiro Rico, Códigos 02248025 (ANA) e D5-044 (DAEE), foi utilizada a série de precipitações diárias máximas por ano hidrológico (01/Octubro a 30/Setembro), 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 estabelecidas por Capozzoli *et al.* (2016) para o município de Ipeúna. As relações entre as alturas de chuvas de diferentes durações constam do Anexo II.

A Figura 02 apresenta as curvas ajustadas.

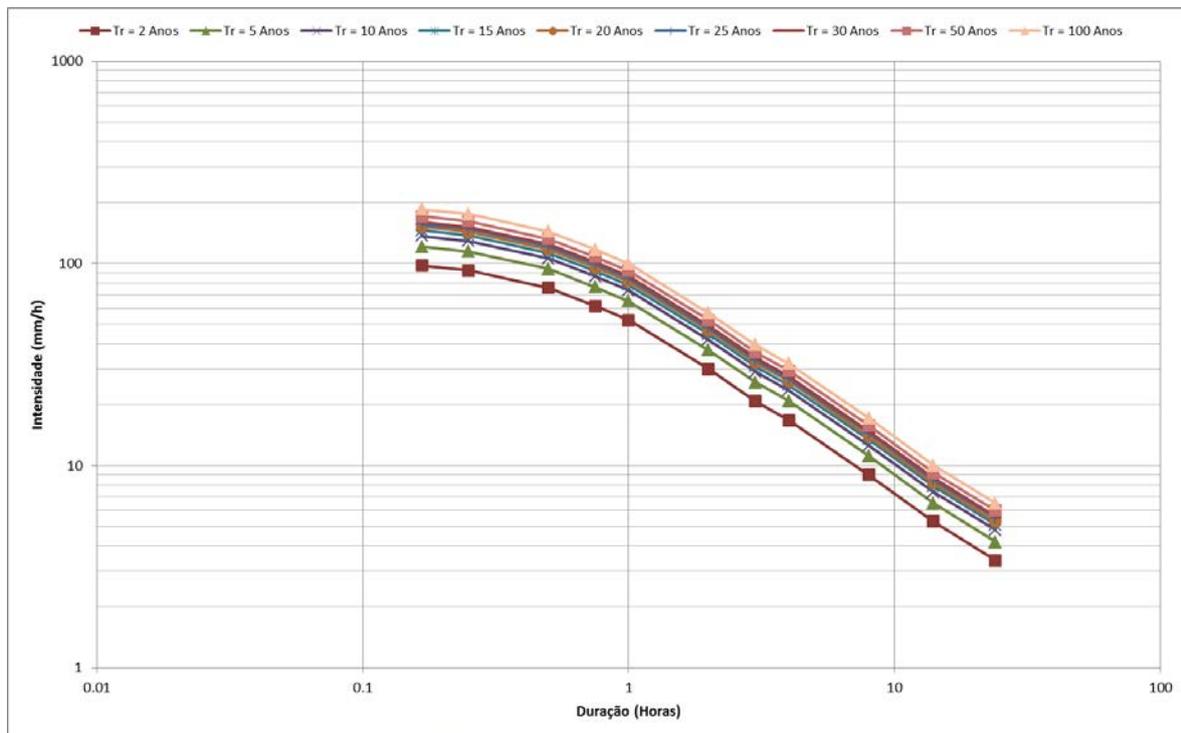


Figura 02 – Curvas intensidade-duração-frequência

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 Santa Maria da Serra os parâmetros da equação são os seguintes:

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

$$a = 4373,4; b = 0,1509; c = 35,4 \text{ e } d = 0,9939;$$

$$i = \frac{4373,4T^{0,1509}}{(t+35,4)^{0,9939}} \quad (02)$$

Estas equações são válidas para tempos de retorno até 100 anos e durações de 10 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, <i>T</i> (anos)												
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	75	100
10 Minutos	109,5	125,7	139,6	148,4	155,0	160,3	164,7	172,0	177,9	182,9	187,2	189,2	197,5
15 Minutos	98,7	113,3	125,8	133,7	139,7	144,5	148,5	155,1	160,4	164,9	168,7	170,5	178,1
20 Minutos	89,8	103,1	114,5	121,7	127,1	131,5	135,2	141,2	146,0	150,1	153,6	155,2	162,1
30 Minutos	76,2	87,5	97,1	103,2	107,8	111,5	114,6	119,7	123,8	127,2	130,2	131,6	137,4
45 Minutos	62,0	71,2	79,1	84,1	87,8	90,8	93,3	97,5	100,8	103,6	106,1	107,2	111,9
1 HORA	52,3	60,1	66,7	70,9	74,1	76,6	78,7	82,2	85,1	87,4	89,5	90,4	94,4
2 HORAS	32,2	37,0	41,1	43,7	45,6	47,2	48,5	50,6	52,4	53,8	55,1	55,7	58,1
3 HORAS	23,3	26,7	29,7	31,6	33,0	34,1	35,1	36,6	37,9	38,9	39,8	40,2	42,0
4 HORAS	18,2	21,0	23,3	24,7	25,8	26,7	27,5	28,7	29,7	30,5	31,2	31,5	32,9
5 HORAS	15,0	17,2	19,1	20,3	21,2	22,0	22,6	23,6	24,4	25,1	25,7	25,9	27,1
6 HORAS	12,7	14,6	16,2	17,3	18,0	18,6	19,2	20,0	20,7	21,3	21,8	22,0	23,0
7 HORAS	11,1	12,7	14,1	15,0	15,7	16,2	16,7	17,4	18,0	18,5	18,9	19,1	20,0
8 HORAS	9,8	11,2	12,5	13,3	13,9	14,3	14,7	15,4	15,9	16,4	16,7	16,9	17,7
12 HORAS	6,7	7,7	8,5	9,1	9,5	9,8	10,1	10,5	10,9	11,2	11,4	11,6	12,1
14 HORAS	5,8	6,6	7,4	7,8	8,2	8,5	8,7	9,1	9,4	9,7	9,9	10,0	10,4
20 HORAS	4,1	4,7	5,2	5,6	5,8	6,0	6,2	6,5	6,7	6,9	7,0	7,1	7,4
24 HORAS	3,4	4,0	4,4	4,7	4,9	5,0	5,2	5,4	5,6	5,7	5,9	5,9	6,2

**Tabela 02 – Altura de chuva em mm**

Duração da Chuva	Tempo de Retorno, <i>T</i> (anos)												
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	75	100
10 Minutos	18,2	21,0	23,3	24,7	25,8	26,7	27,5	28,7	29,7	30,5	31,2	31,5	32,9
15 Minutos	24,7	28,3	31,4	33,4	34,9	36,1	37,1	38,8	40,1	41,2	42,2	42,6	44,5
20 Minutos	29,9	34,4	38,2	40,6	42,4	43,8	45,1	47,1	48,7	50,0	51,2	51,7	54,0
30 Minutos	38,1	43,7	48,5	51,6	53,9	55,7	57,3	59,8	61,9	63,6	65,1	65,8	68,7
45 Minutos	46,5	53,4	59,3	63,1	65,9	68,1	70,0	73,1	75,6	77,7	79,6	80,4	84,0
1 HORA	52,3	60,1	66,7	70,9	74,1	76,6	78,7	82,2	85,1	87,4	89,5	90,4	94,4
2 HORAS	64,4	74,0	82,2	87,3	91,2	94,3	97,0	101,3	104,7	107,7	110,2	111,4	116,3
3 HORAS	69,9	80,2	89,1	94,7	98,9	102,3	105,2	109,8	113,6	116,7	119,5	120,7	126,1
4 HORAS	73,0	83,8	93,0	98,9	103,3	106,8	109,8	114,7	118,6	121,9	124,8	126,1	131,7
5 HORAS	75,0	86,1	95,6	101,6	106,2	109,8	112,9	117,9	121,9	125,3	128,3	129,6	135,3
6 HORAS	76,4	87,8	97,4	103,6	108,2	111,9	115,0	120,1	124,2	127,7	130,7	132,0	137,9
7 HORAS	77,5	89,0	98,8	105,0	109,7	113,4	116,6	121,8	125,9	129,4	132,5	133,9	139,8
8 HORAS	78,3	89,9	99,8	106,1	110,8	114,6	117,8	123,0	127,3	130,8	133,9	135,3	141,3
12 HORAS	80,3	92,2	102,4	108,9	113,7	117,6	120,9	126,2	130,5	134,2	137,3	138,8	144,9
14 HORAS	80,9	92,9	103,2	109,7	114,6	118,5	121,8	127,2	131,5	135,2	138,4	139,8	146,0
20 HORAS	82,1	94,3	104,7	111,3	116,2	120,2	123,5	129,0	133,4	137,2	140,4	141,9	148,1
24 HORAS	82,6	94,8	105,3	111,9	116,9	120,9	124,3	129,8	134,2	138,0	141,2	142,7	149,0

### 3 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Em um determinado dia foi registrado na estação pluviográfica de Santa Maria da Serra uma Chuva de 120 mm com duração de 4 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:*

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

*A intensidade da chuva registrada é a altura da chuva dividida pela duração, ou seja, 120 mm dividido por 4 h é igual a 30 mm/h. Substituindo os valores na equação 03 temos:*

$$T = \left[ \frac{30(240 + 35,4)^{0,9939}}{4373,4} \right]^{1/0,1509} = 54 \text{ anos}$$

*O tempo de retorno de 54 anos corresponde a uma probabilidade de que esta intensidade de chuva seja igualada ou superada em um ano qualquer de 1,85%, ou*

$$P(i \geq 30,0 \text{ mm/h}) = \frac{1}{T} 100 = \frac{1}{54} 100 = 1,85\%$$

#### 4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPOZZOLI, C.R.; PICKBRENNER, K.; PINTO, E. J. A. *Atlas Pluviométrico do Brasil; Equações Intensidade-Duração-Frequência (Desagregação de Precipitações Diárias)*. Município: Ipeuna/SP. Estação Pluviométrica: Ipeuna, Códigos ANA 02247021 (ANA) e D4-074 (DAEE). São Paulo,SP: CPRM, 2016. 13p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010, Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php>, Acesso em 13 de março de 2017,

GOOGLE EARTH, Estação pluviográfica de Santa Maria da Serra, Disponível em: <http://www.google.com/earth>, Acesso em 13 de março de 2017,

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

ANEXO I

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

Máximo por Ano Hidrológico (01/Out a 30/Set)

Data	Precipitação Máxima Diária (mm)
01/02/1940	91,6
01/01/1941	40,5
21/06/1945	82,0
27/12/1945	87,3
08/01/1947	64,0
13/01/1949	57,4
02/12/1949	84,0
25/11/1951	68,7
28/01/1953	88,0
10/03/1954	77,4
15/02/1956	70,7
10/01/1957	52,0
26/01/1958	115,4
06/01/1959	97,0
08/12/1959	49,0
12/03/1962	58,8
15/01/1963	59,0
14/02/1964	63,6
19/01/1965	93,5
07/01/1966	102,8
15/01/1967	91,3
22/10/1967	61,0
10/03/1971	70,3
11/10/1971	73,9
15/02/1973	85,3
21/12/1973	67,7
05/02/1975	73,0
06/06/1976	68,1
21/11/1976	64,7
11/03/1978	73,6
26/01/1979	77,7
26/01/1980	86,8
15/01/1981	67,8
15/04/1982	73,7
13/10/1982	76,8
22/11/1983	56,7

ANEXO I (Continuação)

13/12/1984	57,1
04/01/1987	55,0
07/01/1988	102,2
21/12/1988	134,0
07/02/1991	99,2
04/05/1992	56,8
17/02/1993	65,0
20/03/1994	58,7
03/02/1995	108,9
12/02/1996	61,2
25/01/1997	68,3
14/02/1998	75,3
06/12/1998	69,2
06/01/1999	69,2
11/02/2000	81,3
14/12/2000	85,2
13/01/2002	80,0
22/02/2003	102,8
04/12/2003	87,5
25/05/2005	130,4
09/02/2006	80,9
09/02/2007	93,6
25/10/2007	56,0
09/09/2009	54,2
24/02/2010	57,3
11/01/2011	45,1
09/12/2011	88,2
29/12/2013	59,5

## ANEXO II

As razões entre as alturas de chuvas de diferentes durações obtidas a partir das relações IDF estabelecidas por Capozzoli *et al.* (2016) para o município de Ipeuna-SP.

Relação 24h/1dia: 1,13

Relação 14h/24h	Relação 8h/24h	Relação 4h/24h	Relação 3h/24h	Relação 2h/24h	Relação 1h/24h
0,90	0,88	0,82	0,76	0,73	0,64

Relação 45 min/1h	Relação 30 min/1h	Relação 15 min/1h	Relação 10 min/1h
0,88	0,72	0,44	0,31

## 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 São Paulo

Rua Costa, 55 - Centro  
São Paulo - SP - CEP: 01304-010  
Tel.: 11 3775-5100 - Fax: 11 3256-8430

### Assessoria de Comunicação

Tel: 61 3321-2949 - Fax: 61 3321-2949  
E-mail: [asscomdf@cprm.gov.br](mailto:asscomdf@cprm.gov.br)

### Divisão de Marketing e Divulgação

Tel: 31 3878-0372 - Fax: 31 3878-0370  
E-mail: [marketing@cprm.gov.br](mailto:marketing@cprm.gov.br)

### Ouvidoria

Tel: 21 2295-4697 - Fax: 21 2295-0495

[www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)



**PAC**