

**PROGRAMA GESTÃO
DE RISCOS E DE DESASTRES**

Levantamentos, Estudos, Previsão
e Alerta de Eventos Hidrológicos Críticos

ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL

EQUAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA

Município: Brumadinho/MG



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Adolfo Sachsida

Secretária de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Lília Mascarenhas Sant'agostino

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor Presidente Interino

Cassiano de Souza Alves

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Márcio José Remédio

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Chefe do Departamento de Hidrologia

Frederico Cláudio Peixinho

Chefe da Divisão de Hidrologia Aplicada

Adriana Dantas Medeiros

Achiles Monteiro (*in memoriam*)

Chefe do Departamento de Gestão Territorial

Diogo Rodrigues Andrade da Silva

Chefe da Divisão de Geologia Aplicada

Tiago Antonelli

Coordenação Executiva do DEHID - Projeto Atlas Pluviométrico

Eber José de Andrade Pinto

Coordenação do Projeto - Cartas Municipais de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações

Raimundo Almir Costa Conceição

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE

Superintendente

Marlon Marques Coutinho

Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial

Fernando Silva Rego

Gerente de Infraestrutura Geocientífica

Júlio Murilo Martino Pinho

Gerência de Geologia e Recursos Minerais

Marcelo de Souza Marinho

Gerência de Administração e Finanças

Margareth Marques dos Santos

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

PROGRAMA GESTÃO DE RISCOS E DE DESASTRES
Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e
Alerta de Eventos Hidrológicos Críticos

ATLAS PLUVIOMÉTRICO DO BRASIL

EQUAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA

Município: Brumadinho/MG

AUTOR

Eber José de Andrade Pinto



Belo Horizonte

2022

REALIZAÇÃO

Superintendência de Belo Horizonte

AUTORES

Eber José de Andrade Pinto

COORDENADORES REGIONAIS DO PROJETO ATLAS PLUVIOMÉTRICO

José Alexandre Moreira Farias - REFO (*in memoriam*)

Karine Pickbrenner - SUREG/PA

EQUIPE EXECUTORA

Adriana Burin Weschenfelder - SUREG/PA

Cristiane Ribeiro de Melo - SUREG/RE

Caluan Rodrigues Capozzoli - SUREG/SP

Catharina dos Prazeres Campos de Farias - SUREG/BE

Jean Ricardo da Silva Nascimento – RETE

Osvalcélio Mercês Furtunato - SUREG/SA

EQUAÇÃO DEFINIDA

Pinheiro (1997)

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E MAPA

Ivete Souza do Nascimento - SUREG/BH

PROJETO GRÁFICO/EDITORIAÇÃO

Capa (DIEDIG)

Juliana Colussi

Referências

Ana Lúcia Borges Fortes Coelho (Organização e Formatação)

Serviço Geológico do Brasil – CPRM

www.cprm.gov.br

seus@sgb.gov.br

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

P659	Pinto, Eber José de Andrade Atlas Pluviométrico do Brasil: Equações Intensidade-Duração Frequência; município Brumadinho, MG / Eber José de Andrade Pinto. – Belo Horizonte : CPRM, 2022. 1 recurso eletrônico : PDF Programa Gestão de Riscos e de Desastres. Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos Críticos. ISBN 978-65-5664-302-1 1. Hidrologia. 2. Pluviometria - Brasil. 3. Equações IDF I. Título CDD 551.570981
------	--

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Ana Lúcia Borges Fortes Coelho – CRB10 - 840

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte.

APRESENTAÇÃO

O projeto Atlas Pluviométrico é uma iniciativa dentro do programa de Gestão de Riscos e de Desastres 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 as áreas suscetíveis a movimentos de massa e enchentes ou inseridos em sub-bacias monitoradas pelos Sistemas de Alerta Hidrológico e projetos executados pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM).

Este relatório apresenta a equação IDF estabelecida para a região metropolitana de Belo Horizonte por Pinheiro (1997).

Cassiano de Souza Alves

Diretor-Presidente Interino

Alice Silva de Castilho

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

RESUMO

Este trabalho apresenta a equação regional de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) estabelecida para a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) por Pinheiro (1997) e recomendada para Brumadinho/MG. As séries de dados utilizadas no referido estudo foram obtidas a partir de registros pluviográficos de 11 estações da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). A metodologia para definição da equação regional para RMBH está descrita em detalhes em Pinheiro (1997). O modelo adotado foi o Poisson-Pareto para séries de duração parcial, com os parâmetros calculados pelo método dos momentos-L. A família de curvas IDF podem ser aplicadas para durações entre 10min e 24h e são recomendadas para tempos de retorno até 200 anos. O emprego das relações IDF elaborada para a RMBH e aplicável ao município de Brumadinho/MG permite associar intensidades de precipitação, nas diferentes durações, a frequências de ocorrência, as quais serão utilizadas no dimensionamento de estruturas hidráulicas. Também pode ser utilizada de forma inversa, ou seja, estimar a frequência de um evento de precipitação ocorrido numa determinada duração, definindo se o evento foi raro ou ordinário, de acordo com a caracterização de chuva extrema local.

ABSTRACT

This work presents the regional equation of Intensity-Duration-Frequency (IDF) established to Metropolitan Region of Belo Horizonte (RMBH) and recommended for the municipality of Brumadinho/MG. The data series used in this study were obtained from rainfall records from 11 stations in the Metropolitan Region of Belo Horizonte (RMBH). The methodology for defining the regional equation for RMBH is described in detail in Pinheiro (1997). The model adopted was the Poisson-Pareto for partial duration series, with the parameters calculated by the L-moments method. The family of IDF curves can be applied for durations between 10min and 24h and are recommended for return period up to 200 years. The use of IDF relations developed for the RMBH and applicable to the municipality of Brumadinho/MG allows the association of precipitation intensities, in different durations, with frequencies of occurrence, which will be used in the design of hydraulic structures. It can also be used in an inverse way, that is, to estimate the frequency of a precipitation event that occurred over a given duration, defining how unusual or ordinary the event was, according to the local extreme rain characterization.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	01
EQUAÇÃO.....	02
EXEMPLO DE APLICAÇÃO.....	04
REFERÊNCIAS.....	09

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Localização do Município

Figura 02 – Isoietas anuais médias do município de Brumadinho (mm)

Figura 03 – Curvas Intensidade-Duração-Frequência (PA de 1450mm)

Figura 04 – Curvas Altura-Duração-Frequência (PA de 1450mm)

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Parâmetros β^* e α da equação 02

Tabela 02 – Intensidade da chuva em mm/h. (PA = 1450mm)

Tabela 03 – Altura de chuva em mm. (PA = 1450mm)

INTRODUÇÃO

As relações IDF podem ser locais, ou seja, utilizam as informações de uma estação pluviográfica na sua definição, ou regional, onde os dados de todas as estações pluviográficas de uma região considerada homogênea são utilizados no estabelecimento das relações IDF da região.

No caso da região metropolitana de Belo Horizonte foram realizados alguns estudos que procuraram estabelecer relações Intensidade-Duração-Frequência (IDF) local, geralmente para a estação do INMET de Belo Horizonte, e apenas um trabalho de análise regional. Dentre os estudos de análise local podemos destacar: Pfafstetter (1957), Freitas (1981), SUDECAP (1982), Pinto (1995), Versiani *et al.* (1995) e Nunes (2018).

Em termos de estudos regionais na definição das relações Intensidade-Duração-Frequência para a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), destaca-se o trabalho desenvolvido por Pinheiro (1997).

O município de Brumadinho está inserido na RMBH, sendo assim, as relações IDF podem ser estabelecidas pela equação regional elaborada por Pinheiro (1997).

O município de Brumadinho está localizado no Estado de Minas Gerais, está inserido na Região Metropolitana de Belo Horizonte, os municípios limítrofes são Ibitiré, Sarzedo, Mário Campos, São Joaquim de Bicas, Igarapé, Itatiaiuçu, Rio Manso, Bom fim, Belo Vale, Moeda, Itabirito, Nova Lima e Belo Horizonte. O município possui área territorial de 639,434 km² (IBGE, 2022) e sua altitude em relação ao nível médio do mar é aproximada de 780 metros. No censo de 2010 a população era de 33.973 habitantes (IBGE, 2022). A Figura 01 apresenta a localização do município.

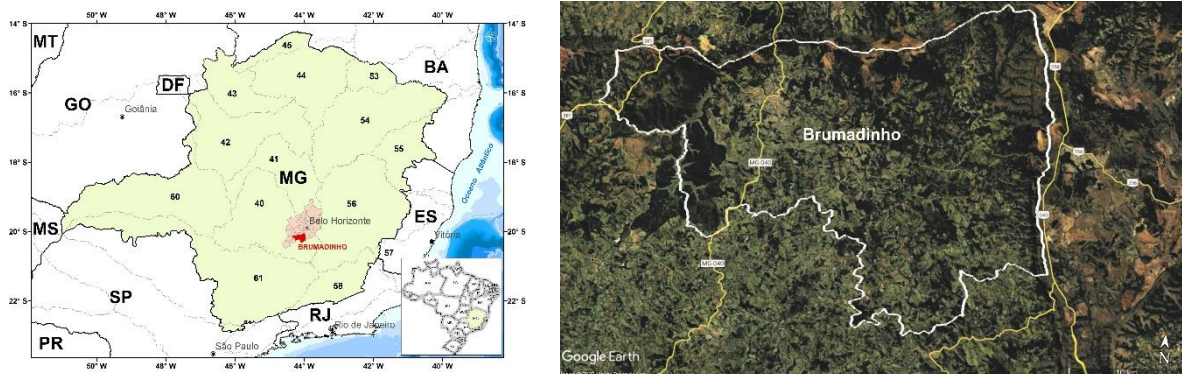


Figura 01 – Localização do Município. (Fonte: Google, 2022).

EQUAÇÃO

A equação IDF regional para a Região Metropolitana de Belo Horizonte, desenvolvido por Pinheiro (1997), foi definida a partir de uma metodologia de análise regional de precipitações intensas com o uso de momentos-L. A equação estabelecida foi a seguinte:

$$I_{T,i} = 0,76542d^{-0,7059}PA^{0,5360}\mu_{T,d} \quad (01)$$

sendo

$I_{T,i}$, (mm/h), a estimativa da intensidade média do local i , associada ao período de retorno T ;

d , (horas), a duração da precipitação;

PA , (mm), precipitação total anual média, a Figura 02 apresenta a configuração isoietal das precipitações totais anuais médias do município de Brumadinho;

$\mu_{T,d}$, quantil regional adimensionalizado associado ao período de retorno T e à duração da precipitação d , conforme a equação abaixo

$$\mu_{T,D} = \beta^* - \left[\alpha \left(\text{Ln} \left[-\text{Ln} \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right) \right] \quad (02)$$

onde β^* e α são parâmetros que variam com a duração da chuva e podem ser obtidos na Tabela 01.

Tabela 01 – Parâmetros β^* e α da Equação 02.

	Duração										
	10 Min.	15 Min.	30 Min.	45 Min.	1 H	2 H	3 H	4 H	8 H	14 H	24 H
α	0,220	0,217	0,209	0,221	0,229	0,226	0,229	0,220	0,232	0,259	0,283
β^*	0,932	0,933	0,936	0,932	0,930	0,931	0,930	0,930	0,929	0,921	0,913

Fonte: Pinheiro (1997)

A equação IDF da região metropolitana de Belo Horizonte é válida para tempos de retorno até 200 anos e durações entre 10 minutos e 24 horas.

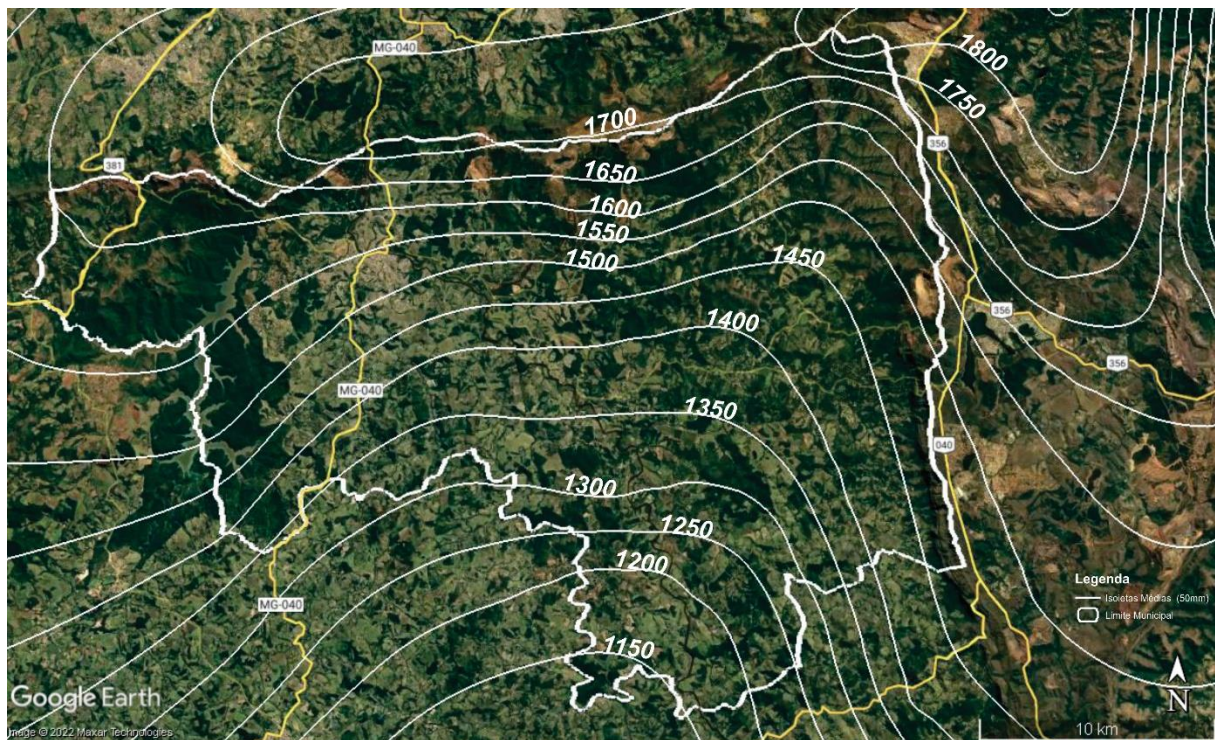
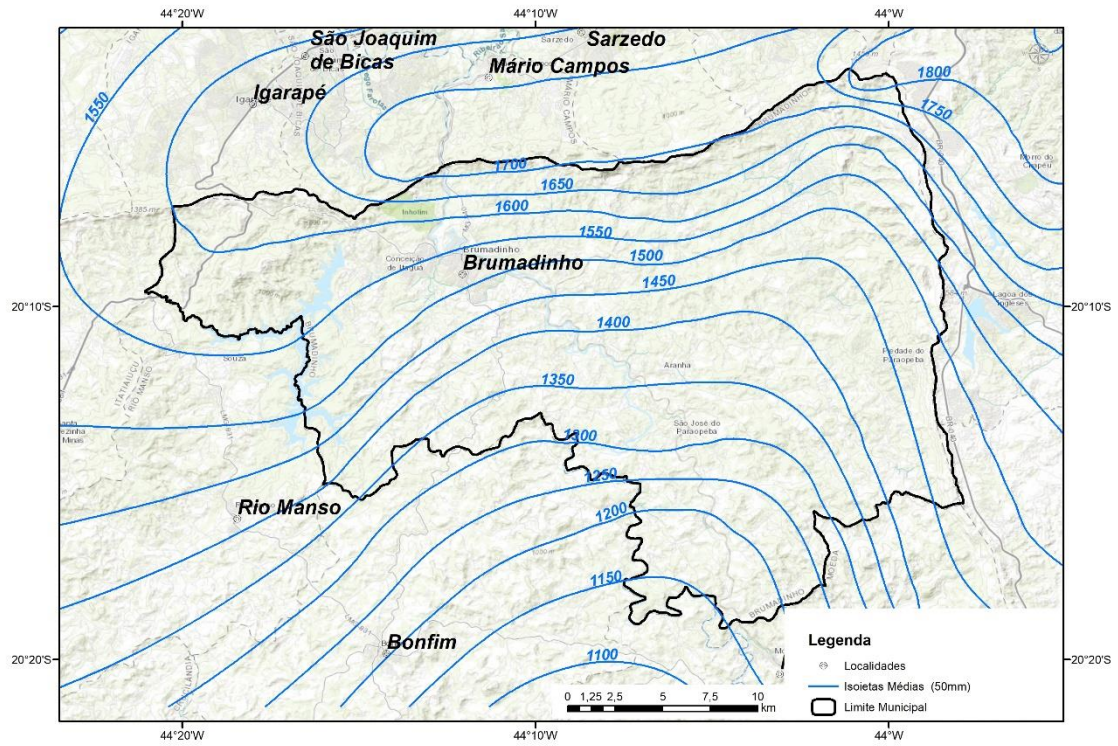


Figura 02 – Isoietas anuais médias do município de Brumadinho (mm).
Modificado de Pinheiro (1997).

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Para ilustrar o uso da equação acima em um ponto do município de Brumadinho vamos adotar o valor de precipitação média anual igual a 1450mm. As precipitações médias anuais de diferentes locais podem ser obtidas na Figura 02.

Substituindo a precipitação média anual de 1450mm e, por exemplo, a duração d de 0,5 horas (30 minutos), na Equação 01, temos:

$$I_{T,i} = 0,76542(0,5^{-0,7059})(1450^{0,5360})\mu_{T,d} \quad (03)$$

O parâmetro, $\mu_{T,d}$, quantil regional adimensionalizado associado ao período de retorno T e à duração da precipitação d , é calculado com a Equação 02. Por exemplo, se a duração é de 0,5 horas (30 minutos) e o tempo de retorno de 100 anos, temos na Tabela 01 que $\alpha = 0,209$ e $\beta^* = 0,936$, inserindo estes valores na Equação 02 vamos obter:

$$\mu_{T,D} = 0,936 - \left[0,209 \left(\text{Ln} \left[-\text{Ln} \left(1 - \frac{1}{100} \right) \right] \right) \right] = 1,8974 \quad (04)$$

Assim, levando o valor de $\mu_{T,d}$ na Equação 03 temos:

$$I_{T,i} = 0,76542(0,5^{-0,7059})(1450^{0,5360})1,8973 = 117,23 \text{ mm/h} \quad (05)$$

A Tabela 02 apresenta as intensidades, em mm/h, calculadas considerando várias durações e diferentes tempos de retorno para precipitação média anual de 1450mm.

Enquanto que na Tabela 03 constam as respectivas alturas de chuva, em mm, considerando as mesmas durações e os mesmos tempos de retorno da Tabela 02 para precipitação média anual de 1450mm. A altura da precipitação é obtida através da multiplicação da intensidade da Tabela 02 pela duração da chuva

Os dados das Tabelas 02 e 03 possibilitaram o traçado dos gráficos apresentados nas Figuras 03 e 04. Estes gráficos permitem visualizar a variação da intensidade, Figura 03, e da altura de precipitação, Figura 04, com a duração da chuva e o tempo de retorno para precipitação média anual de 1450mm.

Tabela 02 – Intensidade da chuva em mm/h (PA = 1450mm).

T (anos)	Duração										
	10 Min.	15 Min.	30 Min.	45 Min.	1 H	2 H	3 H	4 H	8 H	14 H	24 H
2	135,87	102,04	62,56	47,01	38,41	23,54	17,68	14,39	8,85	5,97	4,09
5	169,34	126,84	77,20	58,64	48,24	29,49	22,21	17,94	11,15	7,70	5,38
10	191,49	143,24	86,89	66,33	54,75	33,43	25,21	20,29	12,66	8,84	6,23
15	203,98	152,50	92,36	70,67	58,42	35,65	26,90	21,61	13,52	9,49	6,71
20	212,73	158,99	96,19	73,71	60,99	37,21	28,08	22,54	14,12	9,94	7,05
25	219,48	163,98	99,14	76,06	62,97	38,41	29,00	23,26	14,58	10,29	7,31
30	224,95	168,05	101,53	77,96	64,58	39,38	29,74	23,84	14,96	10,57	7,52
35	229,58	171,47	103,55	79,57	65,94	40,20	30,36	24,33	15,28	10,81	7,70
40	233,58	174,43	105,30	80,96	67,12	40,91	30,91	24,75	15,55	11,01	7,85
45	237,10	177,04	106,84	82,18	68,15	41,54	31,38	25,13	15,79	11,19	7,99
50	240,24	179,36	108,22	83,27	69,07	42,10	31,81	25,46	16,01	11,36	8,11
55	243,08	181,47	109,46	84,26	69,91	42,60	32,19	25,76	16,20	11,50	8,22
60	245,67	183,39	110,60	85,16	70,67	43,06	32,54	26,04	16,38	11,64	8,32
65	248,06	185,16	111,63	85,98	71,37	43,49	32,86	26,29	16,55	11,76	8,41
70	250,26	186,79	112,60	86,75	72,02	43,88	33,16	26,52	16,70	11,87	8,49
75	252,31	188,30	113,50	87,46	72,62	44,24	33,44	26,74	16,84	11,98	8,57
80	254,23	189,72	114,34	88,13	73,18	44,58	33,70	26,95	16,97	12,08	8,65
85	256,03	191,06	115,13	88,75	73,71	44,90	33,94	27,14	17,09	12,17	8,72
90	257,72	192,31	115,87	89,34	74,21	45,21	34,17	27,32	17,21	12,26	8,78
95	259,33	193,50	116,57	89,90	74,68	45,49	34,39	27,49	17,32	12,34	8,84
100	260,85	194,63	117,23	90,43	75,13	45,76	34,59	27,65	17,42	12,42	8,90
105	262,30	195,71	117,87	90,94	75,56	46,02	34,79	27,80	17,52	12,49	8,96
110	263,68	196,73	118,47	91,41	75,96	46,26	34,98	27,95	17,62	12,57	9,01
115	264,99	197,71	119,05	91,87	76,35	46,50	35,16	28,09	17,71	12,63	9,06
120	266,25	198,64	119,60	92,31	76,72	46,72	35,33	28,22	17,79	12,70	9,11
125	267,46	199,54	120,13	92,73	77,08	46,94	35,49	28,35	17,88	12,76	9,16
130	268,63	200,40	120,64	93,14	77,42	47,14	35,65	28,47	17,96	12,82	9,20
135	269,74	201,22	121,13	93,52	77,75	47,34	35,80	28,59	18,03	12,88	9,24
140	270,83	202,03	121,60	93,90	78,06	47,54	35,94	28,71	18,11	12,93	9,29
145	271,86	202,80	122,05	94,26	78,37	47,72	36,09	28,82	18,18	12,99	9,33
150	272,87	203,54	122,49	94,61	78,66	47,90	36,22	28,92	18,25	13,04	9,36
155	273,84	204,26	122,92	94,94	78,95	48,07	36,35	29,03	18,31	13,09	9,40
160	274,78	204,95	123,33	95,27	79,22	48,24	36,48	29,12	18,38	13,14	9,44
165	275,69	205,63	123,73	95,59	79,49	48,40	36,60	29,22	18,44	13,19	9,47
170	276,57	206,28	124,12	95,90	79,75	48,56	36,72	29,32	18,50	13,23	9,51
175	277,43	206,92	124,49	96,19	80,00	48,71	36,84	29,41	18,56	13,28	9,54
180	278,26	207,54	124,85	96,48	80,25	48,86	36,95	29,49	18,62	13,32	9,57
185	279,08	208,14	125,21	96,76	80,48	49,00	37,06	29,58	18,67	13,36	9,60
190	279,87	208,72	125,56	97,04	80,72	49,14	37,17	29,67	18,73	13,40	9,63
195	280,64	209,30	125,89	97,31	80,94	49,28	37,27	29,75	18,78	13,44	9,66
200	281,39	209,85	126,22	97,57	81,16	49,41	37,37	29,83	18,83	13,48	9,69

Tabela 03 – Altura de chuva em mm. (PA = 1450mm).

T (anos)	Duração										
	10 Min.	15 Min.	30 Min.	45 Min.	1 H	2 H	3 H	4 H	8 H	14 H	24 H
2	22,6	25,5	31,3	35,3	38,4	47,1	53,0	57,6	70,8	83,6	98,2
5	28,2	31,7	38,6	44,0	48,2	59,0	66,6	71,8	89,2	107,8	129,1
10	31,9	35,8	43,4	49,7	54,8	66,9	75,6	81,2	101,3	123,8	149,5
15	34,0	38,1	46,2	53,0	58,4	71,3	80,7	86,4	108,2	132,9	161,0
20	35,5	39,7	48,1	55,3	61,0	74,4	84,2	90,2	113,0	139,2	169,2
25	36,6	41,0	49,6	57,0	63,0	76,8	87,0	93,0	116,6	144,1	175,4
30	37,5	42,0	50,8	58,5	64,6	78,8	89,2	95,4	119,7	148,0	180,5
35	38,3	42,9	51,8	59,7	65,9	80,4	91,1	97,3	122,2	151,3	184,8
40	38,9	43,6	52,7	60,7	67,1	81,8	92,7	99,0	124,4	154,1	188,4
45	39,5	44,3	53,4	61,6	68,2	83,1	94,1	100,5	126,3	156,7	191,8
50	40,0	44,8	54,1	62,5	69,1	84,2	95,4	101,8	128,1	159,0	194,6
55	40,5	45,4	54,7	63,2	69,9	85,2	96,6	103,0	129,6	161,0	197,3
60	40,9	45,8	55,3	63,9	70,7	86,1	97,6	104,2	131,0	163,0	199,7
65	41,3	46,3	55,8	64,5	71,4	87,0	98,6	105,2	132,4	164,6	201,8
70	41,7	46,7	56,3	65,1	72,0	87,8	99,5	106,1	133,6	166,2	203,8
75	42,1	47,1	56,8	65,6	72,6	88,5	100,3	107,0	134,7	167,7	205,7
80	42,4	47,4	57,2	66,1	73,2	89,2	101,1	107,8	135,8	169,1	207,6
85	42,7	47,8	57,6	66,6	73,7	89,8	101,8	108,6	136,7	170,4	209,3
90	43,0	48,1	57,9	67,0	74,2	90,4	102,5	109,3	137,7	171,6	210,7
95	43,2	48,4	58,3	67,4	74,7	91,0	103,2	110,0	138,6	172,8	212,2
100	43,5	48,7	58,6	67,8	75,1	91,5	103,8	110,6	139,4	173,9	213,6
105	43,7	48,9	58,9	68,2	75,6	92,0	104,4	111,2	140,2	174,9	215,0
110	43,9	49,2	59,2	68,6	76,0	92,5	104,9	111,8	141,0	176,0	216,2
115	44,2	49,4	59,5	68,9	76,4	93,0	105,5	112,4	141,7	176,8	217,4
120	44,4	49,7	59,8	69,2	76,7	93,4	106,0	112,9	142,3	177,8	218,6
125	44,6	49,9	60,1	69,5	77,1	93,9	106,5	113,4	143,0	178,6	219,8
130	44,8	50,1	60,3	69,9	77,4	94,3	107,0	113,9	143,7	179,5	220,8
135	45,0	50,3	60,6	70,1	77,8	94,7	107,4	114,4	144,2	180,3	221,8
140	45,1	50,5	60,8	70,4	78,1	95,1	107,8	114,8	144,9	181,0	223,0
145	45,3	50,7	61,0	70,7	78,4	95,4	108,3	115,3	145,4	181,9	223,9
150	45,5	50,9	61,2	71,0	78,7	95,8	108,7	115,7	146,0	182,6	224,6
155	45,6	51,1	61,5	71,2	79,0	96,1	109,1	116,1	146,5	183,3	225,6
160	45,8	51,2	61,7	71,5	79,2	96,5	109,4	116,5	147,0	184,0	226,6
165	45,9	51,4	61,9	71,7	79,5	96,8	109,8	116,9	147,5	184,7	227,3
170	46,1	51,6	62,1	71,9	79,8	97,1	110,2	117,3	148,0	185,2	228,2
175	46,2	51,7	62,2	72,1	80,0	97,4	110,5	117,6	148,5	185,9	229,0
180	46,4	51,9	62,4	72,4	80,3	97,7	110,9	118,0	149,0	186,5	229,7
185	46,5	52,0	62,6	72,6	80,5	98,0	111,2	118,3	149,4	187,0	230,4
190	46,6	52,2	62,8	72,8	80,7	98,3	111,5	118,7	149,8	187,6	231,1
195	46,8	52,3	62,9	73,0	80,9	98,6	111,8	119,0	150,2	188,2	231,8
200	46,9	52,5	63,1	73,2	81,2	98,8	112,1	119,3	150,6	188,7	232,6

Relações IDF em Brumadinho com PA de 1450 mm

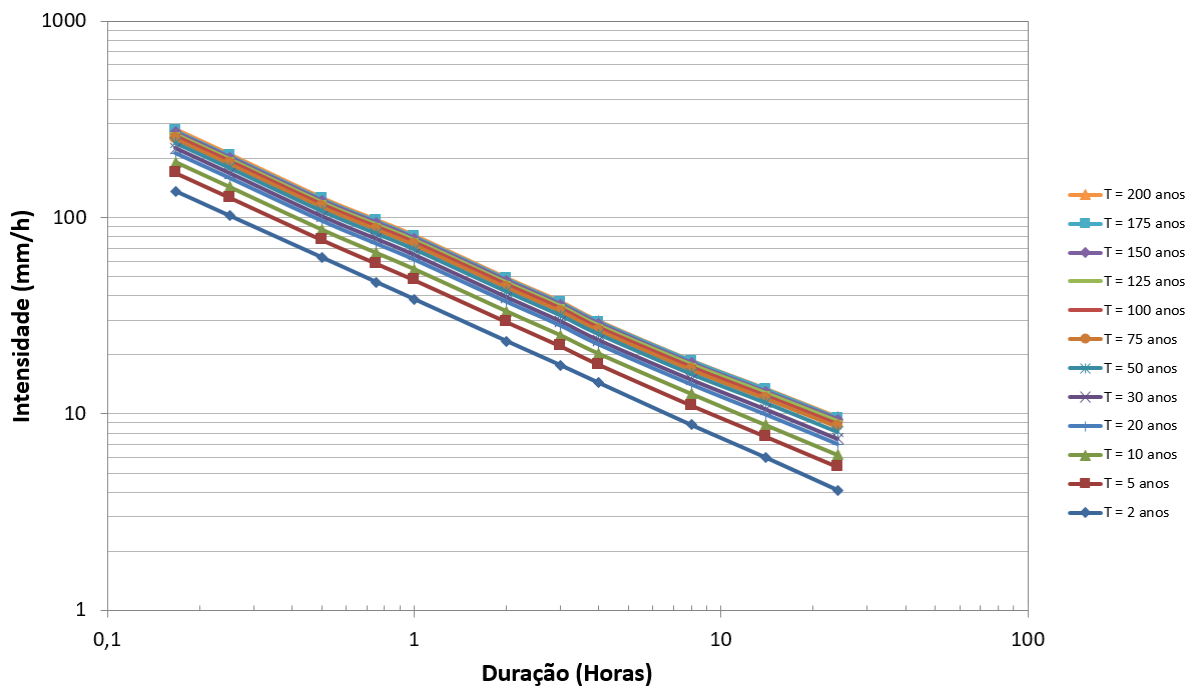


Figura 03 – Curvas Intensidade-Duração-Freqüência (PA de 1450mm).

Precipitações em Brumadinho com a PA de 1450 mm

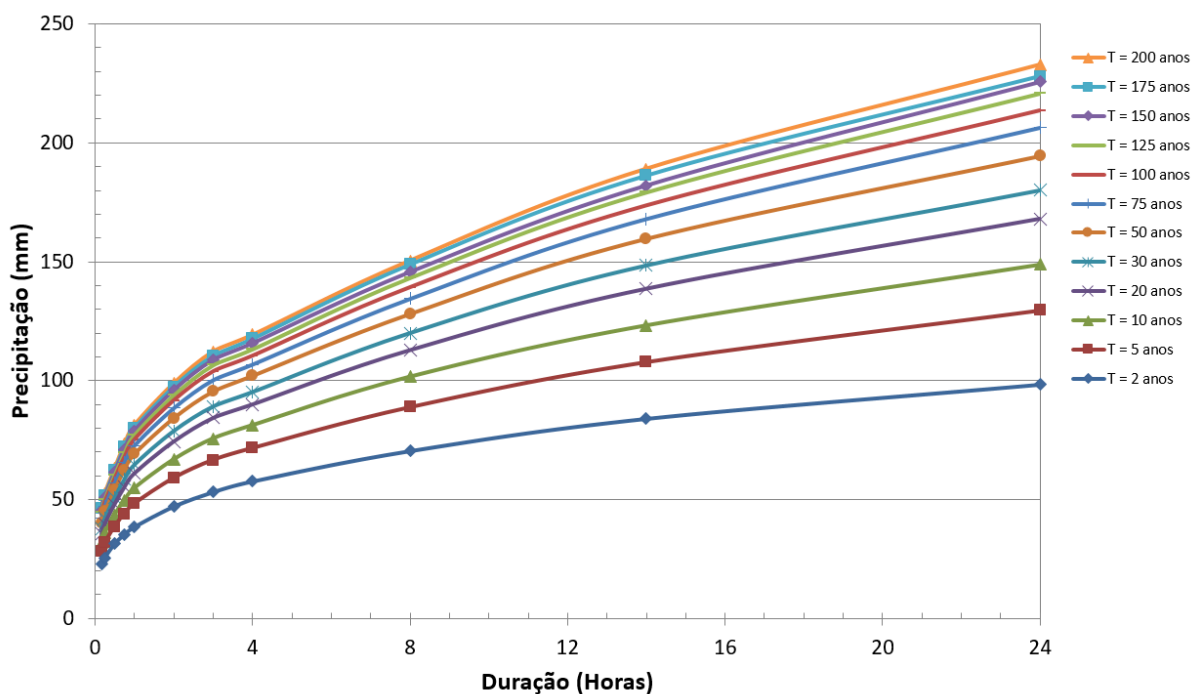


Figura 04 – Curvas Altura-Duração-Freqüência (PA de 1450mm).

Outra maneira de utilizar a equação regional é estimar o tempo de retorno de um evento de precipitação intensa observada. Para ilustrar este uso resolveremos o seguinte exemplo. Suponha que foi observada uma precipitação de 200mm, com duração de 24 horas, em um local onde a precipitação média anual de 1450mm.

Inicialmente é necessário inverter a Equação (01) para estimar o parâmetro, $\mu_{T,d}$, quantil regional adimensionalizado associado ao período de retorno T e à duração da precipitação d . Dessa forma, temos:

$$\mu_{T,d} = \frac{I_i}{0,76542d^{-0,7059}PA^{0,5360}} \quad (06)$$

Substituindo os valores de duração, 24 horas, de precipitação média anual, 1450 mm, e de intensidade, a qual é calculada pela razão entre a precipitação e a duração, $i(mm/h) = 200mm/24h = 8,33mm/h$, na Equação (06) obtém-se:

$$\mu_{T,d} = \frac{8,33}{0,76542(24^{-0,7059})(1450^{0,5360})} = 2,0736 \quad (07)$$

Após o cálculo do parâmetro, $\mu_{T,d}$, é possível calcular o tempo de retorno, em anos, a partir inversão da Equação (02), ou seja,

$$T = \frac{1}{1 - \left[\exp\left(-\exp\left(\frac{\beta^* - \mu_{T,d}}{\alpha}\right)\right)\right]} \quad (08)$$

O tempo de retorno pode ser calculado com a equação (08) inserindo os valores de $\mu_{T,d}$, calculado com a equação (07), e os parâmetros β^* e α que variam com a duração da chuva e podem ser obtidos na Tabela 01. No caso da duração de 24 horas temos $\alpha = 0,283$ e $\beta^* = 0,913$, assim,

$$T = \frac{1}{1 - \left[\exp\left(-\exp\left(\frac{0,913 - 2,0736}{0,283}\right)\right)\right]} = 60,9 \text{ anos} \quad (09)$$

O tempo de retorno de 60,9 anos corresponde a uma probabilidade de 1,64% de que a intensidade de chuva de 8,33 mm/h seja igualada ou superada em um ano qualquer, ou

$$P(i \geq 8,33 \text{ mm/h}) = \frac{1}{T} 100 = \frac{1}{60,9} 100 = 1,64\% \quad (10)$$

REFERÊNCIAS

FREITAS, A. J. **Precipitações: suas aplicações aos dados obtidos pela estação meteorológica de Lourdes**, do Departamento Nacional de Meteorologia, do Ministério da Agricultura. 1981. 1 v. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas gerais, Belo Horizonte, 1981.

GOOGLE EARTH. **Imagem de localização do município de Brumadinho**. Disponível em: <http://www.google.com/earth>. Brasil: Google, [2022]. Acesso em: 03 mai. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estatística por cidade e estado: Brumadinho**. Brasília: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/brumadinho/panorama> Acesso em: 03 mai. 2022.

NUNES, A. A. **Tendências em eventos extremos de precipitação na região metropolitana de Belo Horizonte: detecção, impactos e adaptabilidade**. 2018. 207 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2018. Disponível em: https://www.smarh.eng.ufmg.br/tese_defesas_detalhes.php?aluno=1164. Acesso em: 03 mai. 2022.

PFRAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas em 98 postos com pluviógrafos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1982.

PINHEIRO, M. M. G. **Estudo de chuvas intensas na região metropolitana de Belo Horizonte**. 1997. 216 f. Dissertação (Mestrado) - – RMBH. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 1997.

PINHEIRO, M. M. G; NAGHETTINI, M. Análise regional de frequência e distribuição temporal das tempestades na Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.3, n.4, p. 73-88, out./dez., 1998.

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

PINTO, F. A. **Chuvas Intensas no Estado de Minas Gerais: análises e modelos**. 1995. 1 v. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.

SUDECAP. **Plano de Urbanização e Saneamento Básico de Belo Horizonte: canalização do Ribeirão Arrudas; memória justificativa dos estudos hidrológicos do Vale do Ribeirão Arrudas**. Belo Horizonte: SUDECAP, 1982.

VERSIANI, B. R.; COELHO, M. F. C. D.; MAGALHÃES, P. H. V.; SPERANDIO SÁ, A. **Equações intensidade-duração-frequência para a região metropolitana de Belo Horizonte: estudo e nova abordagem**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11. ; SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 2., 1995, Recife. Anais [...] Recife: ABAS, v.1.

O SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM E OS OBJETIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ODS

Em setembro de 2015 líderes mundiais reuniram-se na sede da ONU, em Nova York, e formularam um conjunto de objetivos e metas universais com intuito de garantir o desenvolvimento sustentável nas dimensões econômica, social e ambiental. Esta ação resultou na *Agenda 2030*, a qual contém um conjunto de *17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS*.

A Agenda 2030 é um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade. Busca fortalecer a paz universal, e considera que a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões é o maior desafio global, e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável.

Os 17 ODS incluem uma ambiciosa lista 169 metas para todos os países e todas as partes interessadas, atuando em parceria colaborativa, a serem cumpridas até 2030.



O **Serviço Geológico do Brasil – CPRM** atua em diversas áreas intrínsecas às Geociências, que podem ser agrupadas em quatro grandes linhas de atuação:

- Geologia
- Recursos Minerais;
- Hidrologia; e
- Gestão Territorial.

Todas as áreas de atuação do SGB-CPRM, sejam nas áreas das Geociências ou nos serviços compartilhados, ou ainda em seus programas internos, devem ter conexão com os ODS, evidenciando o comprometimento de nossa instituição com a sustentabilidade, com a humanidade e com o futuro do planeta.

A tabela a seguir relaciona as áreas de atuação do SGB-CPRM com os ODS.

Áreas de atuação do Serviço Geológico do Brasil – CPRM e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS

ÁREA DE ATUAÇÃO GEOCIÊNCIAS

LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS



LEVANTAMENTOS AEROGEOFÍSICOS



AValiação DOS RECURSOS MINERAIS DO BRASIL



LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS MARINHOS



LEVANTAMENTOS GEOQUÍMICOS



LEVANTAMENTOS BÁSICOS DE RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS



SISTEMAS DE ALERTA HIDROLÓGICO



AGROGEOLOGIA



LEVANTAMENTOS BÁSICOS DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS



RISCO GEOLÓGICO



GEODIVERSIDADE



PATRIMÔNIO GEOLÓGICO E GEOPARQUES



ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO



GEOLOGIA MÉDICA



RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO



ÁREA DE ATUAÇÃO SERVIÇOS COMPARTILHADOS

GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO



TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO



LABORATÓRIO DE ANÁLISE MINERAIS



MUSEU DE CIÊNCIAS DA TERRA



PALEONTOLOGIA



PARCERIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS



REDE DE BIBLIOTECAS



REDE DE LITOTECAS



GOVERNANÇA



ÁREA DE ATUAÇÃO PROGRAMAS INTERNOS

SUSTENTABILIDADE



PRÓ-EQUIDADE



COMITÊ DE ÉTICA



O projeto Atlas Pluviométrico é uma iniciativa dentro do programa de Gestão de Riscos e de Desastres 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.



SECRETARIA DE
GEOLOGIA, MINERAÇÃO
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

