



PREFEITURA MUNICIPAL
DE BELO HORIZONTE

INSTRUÇÃO TÉCNICA PARA ELABORAÇÃO DE ESTUDOS E PROJETOS DE DRENAGEM

APÊNDICE 1

INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA (IDF) PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE – RMBH

BELO HORIZONTE

MARÇO/2022



APÊNDICE 1 - INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA (IDF) PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE – RMBH

O estudo de chuvas intensas relaciona a intensidade (i), duração (d) e frequência (F) (ou Tempo de Retorno - T) da precipitação de um determinado local, por meio das chamadas relações IDF. Para a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) são atualmente utilizadas em estudos e projetos as relações IDF regionalizadas, desenvolvidas na dissertação de mestrado de Márcia Maria Guimarães Pinheiro (Escola de Engenharia da UFMG, Orientador: Prof. Mauro Naghettini, 1997). Esse trabalho tomou como base as precipitações históricas da Região Metropolitana de Belo Horizonte e hietogramas típicos de distribuição temporal, os quais foram apresentados e compilados na Revista Brasileira de Recursos Hídricos em 1998 (Pinheiro e Naghettini, 1998).

Em 2020/2021 foi realizada uma avaliação pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, através da Fundação Christiano Ottoni – FCO, com base em estudos recentes desenvolvidos no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – PPG-SMARH, sobretudo o estudo de Rodrigues (2020), o qual completou a série histórica utilizada por Pinheiro e Naghettini (1998), ampliando-a com dados mais recentes. Nessa avaliação, foi observado que as curvas das equações propostas por Pinheiro e Naghettini (1998) e Rodrigues (2020) são muito próximas para as durações analisadas. Além disso, as relações IDF propostas por Pinheiro e Naghettini (1998) foram obtidas com métodos de inferência estatística mais robustos. Assim, essa nova avaliação recomendou a permanência da aplicação da Equação IDF de Pinheiro e Naghettini (1998) para os casos ordinários.

O processo de estimação do hietograma de projeto a partir da equação IDF regional de Pinheiro (1997) é sumariado na Figura 1, e detalhado na sequência.

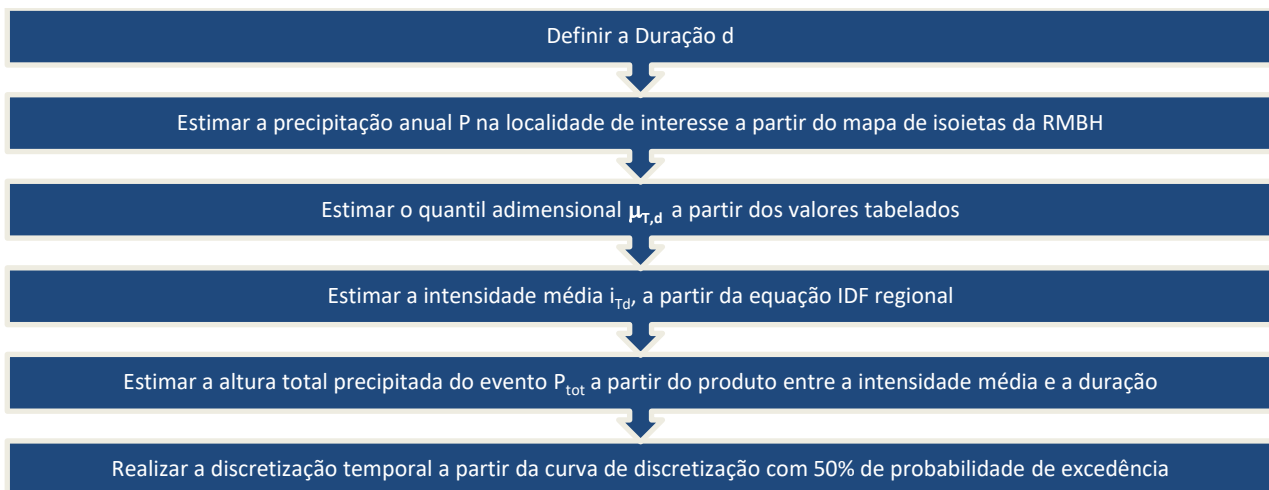


Figura 1 - Fluxograma para estimação do hietograma de projeto a partir da IDF regional de Pinheiro (1997)

Uma vez definida a duração d (em horas) da precipitação de projeto, o primeiro passo para a estimação da intensidade média da precipitação de projeto é a determinação da chuva média anual P a partir do mapa de isoietas mostrado na Figura 2. Para tal determinação em pontos situados entre duas isoietas, recomenda-se o uso de interpolação linear. A precipitação média anual no município de Belo Horizonte varia entre 1.400 a 1.600 mm. Usualmente, adota-se nos estudos e projetos a precipitação anual de 1.500 mm.

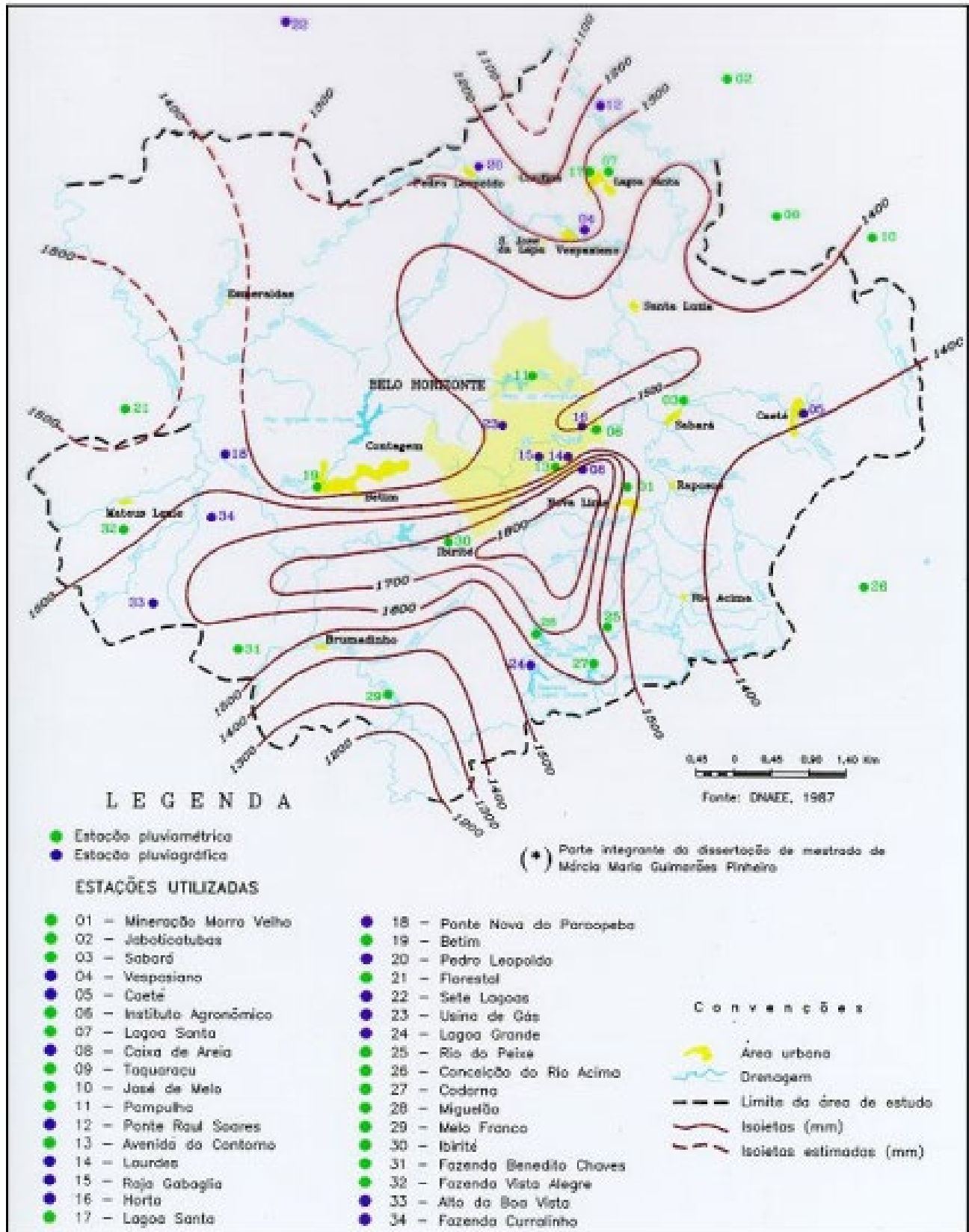


Figura 2 - Isoietas de precipitações totais anuais médias (Pinheiro e Naguettini,1998)



Em seguida, determina-se o quantil adimensional $\mu_{T,d}$, associado ao tempo de retorno T e à duração d, a partir da Tabela 1. Caso as durações ou tempos de retorno de interesse não sejam mostrados de maneira explícita na tabela, deve-se empregar interpolação linear entre os valores mais próximos.

Tabela 1 – Quantis adimensionais $\mu_{T,d}$, correspondentes a probabilidades de não excedência da distribuição de Gumbel

Durações (minutos)	Período de retorno (anos)										
	1,05	1,25	2	10	20	25	50	100	200	500	1000
10	0,691	0,828	1,013	1,428	1,586	1,620	1,791	1,945	2,098	2,300	2,452
15	0,695	0,830	1,013	1,422	1,578	1,612	1,780	1,932	2,083	2,282	2,432
30	0,707	0,836	1,013	1,406	1,557	1,589	1,751	1,897	2,043	2,235	2,380
45	0,690	0,827	1,013	1,430	1,589	1,623	1,795	1,949	2,103	2,305	2,459
60	0,679	0,821	1,014	1,445	1,610	1,646	1,823	1,983	2,143	2,353	2,512
120	0,683	0,823	1,014	1,439	1,602	1,637	1,813	1,970	2,128	2,335	2,492
180	0,679	0,821	1,014	1,445	1,610	1,646	1,823	1,983	2,143	2,353	2,512
240	0,688	0,826	1,013	1,432	1,591	1,626	1,798	1,953	2,108	2,311	2,465
480	0,674	0,818	1,014	1,451	1,618	1,654	1,834	1,996	2,157	2,370	2,531
840	0,636	0,797	1,016	1,503	1,690	1,730	1,931	2,112	2,292	2,530	2,710
1440	0,603	0,779	1,017	1,550	1,754	1,798	2,017	2,215	2,412	2,672	2,868

O próximo passo consiste em se estimar a intensidade média da precipitação de projeto a partir da expressão geral da Equação IDF de Pinheiro e Naguezzini (1998):

$$i_{T,d} = 0,7642 \cdot d^{-0,7059} \cdot P^{0,5360} \cdot \mu_{T,d} \quad (\text{equação 01})$$

na qual:

$i_{T,d}$ - Intensidade em mm/h, para o tempo de retorno T (em anos) e a duração d (em horas);

d - Duração da chuva (em horas).

P - Precipitação média anual no local (mm).

$\mu_{T,d}$ - Quantil adimensional de frequência regional associado ao período de retorno T e à duração d (tabelado).

Em seguida, deve-se calcular a altura de precipitação ou precipitação total (P_t) associada ao evento de projeto. Para tanto, multiplica-se a intensidade média da precipitação de projeto, $i_{T,d}$, pela duração d do evento. Formalmente:

$$P_{tot} = i_{T,d} \cdot d \quad (\text{equação 02})$$

Para as aplicações práticas, foi elaborada, no âmbito do Plano Diretor de Drenagem (PDD), a Tabela 3 que apresenta a estimativa de Intensidades Pluviométricas para intensidade média anual de 1500 mm.



Tabela 2 – Estimativa de Intensidades Pluviométricas para intensidade média anual de 1500 mm

Duração (min)	T=10	T=25	T=50	T=100	Duração (min)	T=10	T=25	T=50	T=100
10	194,481	220,853	243,645	264,373	70	49,427	56,125	62,103	67,352
15	146,121	165,934	183,104	198,673	75	47,093	53,474	59,184	64,183
20	119,304	135,480	149,536	162,244	80	45,010	51,108	56,580	61,356
25	101,949	115,771	127,815	138,671	85	43,138	48,982	54,240	58,816
30	89,666	101,822	112,443	121,987	90	41,445	47,060	52,124	56,519
35	80,446	91,352	100,906	109,466	95	39,905	45,311	50,200	54,430
40	73,233	83,160	91,880	99,671	100	38,498	43,713	48,442	52,522
45	67,412	76,549	84,597	91,766	105	37,207	42,247	46,828	50,770
50	62,600	71,084	78,578	85,233	110	36,016	40,894	45,340	49,155
55	58,545	66,480	73,506	79,728	115	34,914	39,643	43,964	47,661
60	55,075	62,539	69,165	75,017	120	33,892	38,482	42,686	46,274
65	52,066	59,121	65,402	70,932	240	20,862	23,57	26,07	28,31

Nota: T corresponde ao período de retorno, em anos.

Uma vez obtida a altura precipitada (P_{tot}), é necessário realizar a discretização temporal do evento para a obtenção do hietograma de projeto. Pinheiro e Naghettini (1998) fornecem curvas de discretização temporal, estimadas a partir de dados pluviográficos de estações localizadas na RMBH, para os seguintes intervalos de durações: i) inferior a 1 hora; ii) entre 1 e 2 horas; iii) entre 2 e 4 horas; e iv) entre 4 e 10 horas.

A Figura 3 mostra a representação gráfica das curvas de distribuição temporal de precipitações (expressas em percentagens da duração e da precipitação total, para probabilidades de excedência de 10 a 90%) para cada classe de duração da precipitação.

Há no meio técnico a prevalência da utilização das curvas com 50% de probabilidade de excedência, as quais correspondem ao “padrão” mais frequente de eventos de precipitação. Os percentuais acumulados de precipitação, em função do percentual da duração do evento, são apresentados na Tabela 4 para a curva de 50% de probabilidade de excedência.

Por fim, de posse dos totais acumulados de precipitação, estima-se as alturas de chuva correspondentes a cada intervalo de tempo por meio da subtração entre as alturas acumuladas em intervalos de tempo adjacentes. As tabelas 5 a 8 trazem a discretização para os eventos com T variando de 10 a 100 anos e durações de 10 a 120 minutos.

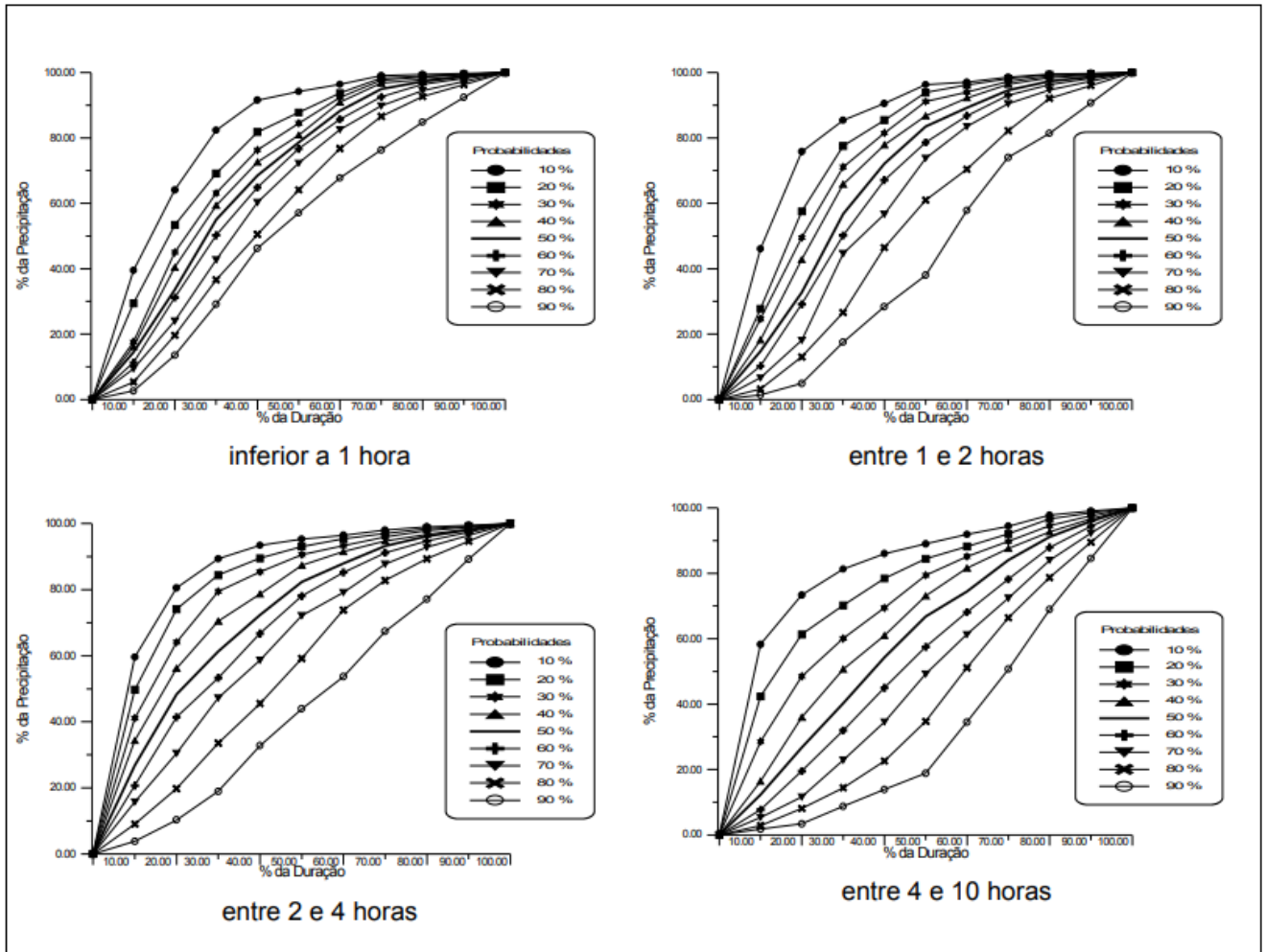


Figura 3 - Distribuições temporais da precipitação para diferentes probabilidades de excedência e durações
(Fonte: Pinheiro e Naghettini, 1998)

Tabela 3 – Percentual acumulado de precipitação em função do percentual da duração do evento para a curva de 50% de probabilidade de excedência

Duração < 1h		Duração entre 1h e 2h		Duração entre 2h e 4h		Duração entre 4h e 10h	
% Duração	% Precipitação	% Duração	% Precipitação	% Duração	% Precipitação	% Duração	% Precipitação
10	14,3	10	14,6	10	26,2	10	11,2
20	34,1	20	32,3	20	48,0	20	25,2
30	55,3	30	56,7	30	61,1	30	39,1
40	68,7	40	72,1	40	72,5	40	53,0
50	79,0	50	83,2	50	82,3	50	65,4
60	88,5	60	89,5	60	88,3	60	73,2
70	95,3	70	94,7	70	93,2	70	82,6
80	97,4	80	97,2	80	96,2	80	90,0
90	98,7	90	98,3	90	97,6	90	95,9
100	100,0	100	100,0	100	100,0	100	100,0



Tabela 5 – Discretização temporal da precipitação para Eventos com T= 10 anos

Duração (min)			Duração (min)			Duração (min)		
10			30			45		
Intensidade (mm/h)			Intensidade (mm/h)			Intensidade (mm/h)		
194,48			89,67			67,41		
Pt (mm)			Pt (mm)			Pt (mm)		
32,41			44,83			50,56		
Δt (min)			Δt (min)			Δt (min)		
1			3			4,5		
t (min)	P (mm)	ΔP (mm)	t (min)	P (mm)	ΔP (mm)	t (min)	P (mm)	ΔP (mm)
1	4,86	4,86	3	6,72	6,72	4,5	7,58	7,58
2	10,7	5,83	6	14,79	8,07	9	16,68	9,1
3	17,5	6,81	9	24,21	9,41	13,5	27,3	10,62
4	22,04	4,54	12	30,49	6,28	18	34,38	7,08
5	25,61	3,57	15	35,42	4,93	22,5	39,94	5,56
6	28,52	2,92	18	39,45	4,03	27	44,49	4,55
7	30,79	2,27	21	42,59	3,14	31,5	48,03	3,54
8	31,77	0,97	24	43,94	1,34	36	49,55	1,52
9	32,09	0,32	27	44,38	0,45	40,5	50,05	0,51
10	32,41	0,32	30	44,83	0,45	45	50,56	0,51
Duração (min)			Duração (min)			Duração (min)		
60			90			120		
Intensidade (mm/h)			Intensidade (mm/h)			Intensidade (mm/h)		
55,08			41,45			33,89		
Pt (mm)			Pt (mm)			Pt (mm)		
55,08			62,15			67,78		
Δt (min)			Δt (min)			Δt (min)		
6			9			12		
t (min)	P (mm)	ΔP (mm)	t (min)	P (mm)	ΔP (mm)	t (min)	P (mm)	ΔP (mm)
6	8,26	8,26	9	9,33	9,33	12	10,17	10,17
12	18,17	9,91	18	20,52	11,19	24	22,37	12,2
18	29,74	11,57	27	34,81	14,3	36	37,96	15,59
24	37,45	7,71	36	44,76	9,95	48	48,8	10,85
30	43,51	6,06	45	51,6	6,84	60	56,26	7,46
36	48,47	4,96	54	55,33	3,73	72	60,33	4,07
42	52,32	3,86	63	59,06	3,73	84	64,39	4,07
48	53,97	1,65	72	60,92	1,87	96	66,43	2,03
54	54,52	0,55	81	61,55	0,62	108	67,11	0,68
60	55,08	0,55	90	62,17	0,62	120	67,78	0,68



Tabela 6 – Discretização temporal da precipitação para Eventos com T= 25 anos

Duração (min)			Duração (min)			Duração (min)		
10			30			45		
Intensidade (mm/h)			Intensidade (mm/h)			Intensidade (mm/h)		
220,85			101,82			76,55		
Pt (mm)			Pt (mm)			Pt (mm)		
36,81			50,91			57,41		
Δt (min)			Δt (min)			Δt (min)		
1			3			4,5		
t (min)	P (mm)	ΔP (mm)	t (min)	P (mm)	ΔP (mm)	t (min)	P (mm)	ΔP (mm)
1	5,52	5,52	3	7,64	7,64	4,5	8,61	8,61
2	12,15	6,63	6	16,8	9,16	9	18,95	10,33
3	19,88	7,73	9	27,49	10,69	13,5	31	12,06
4	25,03	5,15	12	34,62	7,13	18	39,04	8,04
5	29,08	4,05	15	40,22	5,6	22,5	45,36	6,32
6	32,39	3,31	18	44,8	4,58	27	50,52	5,17
7	34,97	2,58	21	48,37	3,56	31,5	54,54	4,02
8	36,07	1,1	24	49,89	1,53	36	56,26	1,72
9	36,44	0,37	27	50,4	0,51	40,5	56,84	0,57
10	36,81	0,37	30	50,91	0,51	45	57,41	0,57
Duração (min)			Duração (min)			Duração (min)		
60			90			120		
Intensidade (mm/h)			Intensidade (mm/h)			Intensidade (mm/h)		
62,54			47,06			38,48		
Pt (mm)			Pt (mm)			Pt (mm)		
62,54			70,59			76,96		
Δt (min)			Δt (min)			Δt (min)		
6			9			12		
t (min)	P (mm)	ΔP (mm)	t (min)	P (mm)	ΔP (mm)	t (min)	P (mm)	ΔP (mm)
6	9,38	9,38	9	10,59	10,59	12	11,54	11,54
12	20,64	11,26	18	23,29	12,71	24	25,4	13,85
18	33,77	13,13	27	39,53	16,24	36	43,1	17,7
24	42,53	8,76	36	50,82	11,29	48	55,41	12,31
30	49,41	6,88	45	58,59	7,76	60	63,88	8,47
36	55,03	5,63	54	62,83	4,24	72	68,5	4,62
42	59,41	4,38	63	67,06	4,24	84	73,12	4,62
48	61,29	1,88	72	69,18	2,12	96	75,42	2,31
54	61,91	0,63	81	69,88	0,71	108	76,19	0,77
60	62,54	0,63	90	70,59	0,71	120	76,96	0,77



Tabela 7 – Discretização temporal da precipitação para Eventos com T=50 anos

Duração (min)			Duração (min)			Duração (min)		
Intensidade (mm/h)			Intensidade (mm/h)			Intensidade (mm/h)		
Pt (mm)			Pt (mm)			Pt (mm)		
Δt (min)			Δt (min)			Δt (min)		
t (min)	P (mm)	ΔP (mm)	t (min)	P (mm)	ΔP (mm)	t (min)	P (mm)	ΔP (mm)
1	6,09	6,09	3	8,43	8,43	4,5	9,52	9,52
2	13,4	7,31	6	18,55	10,12	9	20,94	11,42
3	21,93	8,53	9	30,36	11,81	13,5	34,26	13,32
4	27,61	5,69	12	38,23	7,87	18	43,14	8,88
5	32,08	4,47	15	44,41	6,18	22,5	50,12	6,98
6	35,73	3,65	18	49,47	5,06	27	55,83	5,71
7	38,58	2,84	21	53,41	3,94	31,5	60,28	4,44
8	39,8	1,22	24	55,1	1,69	36	62,18	1,9
9	40,2	0,41	27	55,66	0,56	40,5	62,81	0,63
10	40,61	0,41	30	56,22	0,56	45	63,45	0,63
Duração (min)			Duração (min)			Duração (min)		
Intensidade (mm/h)			Intensidade (mm/h)			Intensidade (mm/h)		
Pt (mm)			Pt (mm)			Pt (mm)		
Δt (min)			Δt (min)			Δt (min)		
t (min)	P (mm)	ΔP (mm)	t (min)	P (mm)	ΔP (mm)	t (min)	P (mm)	ΔP (mm)
6	10,37	10,37	9	11,95	11,95	12	12,81	12,81
12	22,82	12,45	18	26,3	14,34	24	28,17	15,37
18	37,35	14,52	27	44,62	18,33	36	47,81	19,64
24	47,03	9,68	36	57,37	12,75	48	61,47	13,66
30	54,64	7,61	45	66,14	8,77	60	70,86	9,39
36	60,87	6,22	54	70,92	4,78	72	75,98	5,12
42	65,71	4,84	63	75,7	4,78	84	81,1	5,12
48	67,78	2,07	72	78,09	2,39	96	83,66	2,56
54	68,47	0,69	81	78,89	0,8	108	84,52	0,85
60	69,17	0,69	90	79,69	0,8	120	85,37	0,85



Tabela 8 – Discretização temporal da precipitação para Eventos com T=100 anos

Duração (min)			Duração (min)			Duração (min)		
Intensidade (mm/h)			Intensidade (mm/h)			Intensidade (mm/h)		
Pt (mm)			Pt (mm)			Pt (mm)		
Δt (min)			Δt (min)			Δt (min)		
t (min)	P (mm)	ΔP (mm)	t (min)	P (mm)	ΔP (mm)	t (min)	P (mm)	ΔP (mm)
1	6,61	6,61	3	9,15	9,15	4,5	10,32	10,32
2	14,54	7,93	6	20,13	10,98	9	22,71	12,39
3	23,79	9,25	9	32,94	12,81	13,5	37,17	14,45
4	29,96	6,17	12	41,48	8,54	18	46,8	9,64
5	34,81	4,85	15	48,18	6,71	22,5	54,37	7,57
6	38,77	3,97	18	53,67	5,49	27	60,57	6,19
7	41,86	3,08	21	57,94	4,27	31,5	65,38	4,82
8	43,18	1,32	24	59,77	1,83	36	67,45	2,06
9	43,62	0,44	27	60,38	0,61	40,5	68,14	0,69
10	44,06	0,44	30	60,99	0,61	45	68,82	0,69
Duração (min)			Duração (min)			Duração (min)		
Intensidade (mm/h)			Intensidade (mm/h)			Intensidade (mm/h)		
Pt (mm)			Pt (mm)			Pt (mm)		
Δt (min)			Δt (min)			Δt (min)		
t (min)	P (mm)	ΔP (mm)	t (min)	P (mm)	ΔP (mm)	t (min)	P (mm)	ΔP (mm)
6	11,25	11,25	9	12,72	12,72	12	13,88	13,88
12	24,76	13,5	18	27,98	15,26	24	30,54	16,66
18	40,51	15,75	27	47,48	19,5	36	51,83	21,29
24	51,01	10,5	36	61,04	13,56	48	66,63	14,81
30	59,26	8,25	45	70,37	9,33	60	76,81	10,18
36	66,01	6,75	54	75,45	5,09	72	82,37	5,55
42	71,27	5,25	63	80,54	5,09	84	87,92	5,55
48	73,52	2,25	72	83,08	2,54	96	90,7	2,78
54	74,27	0,75	81	83,93	0,85	108	91,62	0,93
60	75,02	0,75	90	84,78	0,85	120	92,55	0,93



REFERÊNCIAS

MOURA et. al. Relatório final sobre as relações intensidade duração Frequência das precipitações em Belo Horizonte - Estabelecimento de Nova Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem no Município de Belo Horizonte. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni - UFMG, v. 1, 2020.

PINHEIRO. M. M. G. Estudo de chuvas intensas na região metropolitana de Belo Horizonte – RMBH. Belo Horizonte: EE-UFMG. Dissertação de Mestrado, 1997.

PINHEIRO, M. M. G., & NAGHETTINI, M. Análise regional de frequência e distribuição temporal das tempestades na Região Metropolitana de Belo Horizonte–RMBH. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 3(4), 73-88, 1998.

RODRIGUES, G. S. A. Invariância de escala temporal em equações intensidade-duração-frequência (IDF) da região metropolitana de Belo Horizonte. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, 2020.