

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

CHUVAS INTENSAS EM PORTO ALEGRE  
DETERMINAÇÃO DE CURVAS I-D-F

PROF. JOEL AVRUCH GOLDENFUM  
PROF. EDITH BEATRIZ CAMAÑO SCHETTINI  
ENG. JORGE HUGO SILVESTRINI

Porto Alegre, dezembro de 1990

## INDICE

1 - Introdução.....	01
2 - Metodologia.....	03
3 - Resultados.....	06
3.1 - Dados disponíveis.....	06
3.2 - Posto Instituto de Pesquisas Hidráulicas.....	09
3.3 - Posto Aeroporto Salgado Filho.....	12
3.4 - Posto 8º Distrito de Meteorologia.....	16
3.5 - Comparação dos resultados.....	22
4 - Conclusões e comentários.....	25

# CHUVAS INTENSAS EM PORTO ALEGRE

## DETERMINAÇÃO DE CURVAS I-D-F

### 1 - INTRODUÇÃO

O sistema de drenagem urbana de uma cidade como Porto Alegre atinge uma grande quantidade de pessoas e propriedades. Quando este sistema é bem projetado, pode-se obter uma diminuição considerável de custos e garantir um bom funcionamento do mesmo, evitando-se que as inundações mais sérias ponham em risco propriedades e vidas humanas.

Em engenharia, nem sempre interessa construir uma obra que seja adequada para escoar qualquer vazão possível de ocorrer. No caso normal, pode-se correr o risco, assumido após considerações de ordem econômica, de que o sistema venha a falhar durante sua vida útil, sendo necessário, então, conhecer este risco, que pode ser interpretado a partir da probabilidade de ocorrência ou do período de retorno de um determinado evento.

Uma das grandes dificuldades no estudo de bacias urbanas é o conhecimento do hidrograma de projeto para um determinado período de retorno. Sua determinação torna-se difícil devido à falta de dados, às numerosas variáveis envolvidas na distribuição de chuva e às condições de cada bacia.

As precipitações são tanto mais raras quanto mais intensas. As chuvas de alta intensidade e de curta duração são o tipo de precipitação que mais contribui para a formação das vazões significativas numa bacia urbana. Sendo a chuva causa direta do hidrograma, a escolha de uma chuva de projeto é uma etapa básica na estimativa do hidrograma de projeto.

Uma ferramenta fundamental para a determinação da chuva de projeto ou da vazão de pico de um sistema de drenagem urbana são as

curvas de Intensidade - Duração - Frequência (Curvas I-D-F). Estas curvas, obtidas a partir de análise estatística de eventos passados permitem que se possa estimar a intensidade máxima de uma chuva, para uma determinada duração e um certo período de retorno.

O objetivo do presente trabalho é a determinação das curvas de Intensidade - Duração - Frequência para três postos pluviográficos distintos em Porto Alegre:

- Posto do Instituto de Pesquisas Hidráulicas;
- Posto do Aeroporto Salgado Filho;
- Posto do 8<sup>o</sup> Distrito de Meteorologia.

Os resultados obtidos são comparados entre si e também com a curva I-D-F determinada em 1972 em estudo efetuado para o DMAE, a partir dos dados pluviográficos do posto localizado no Parque Farroupilha. A partir dos resultados obtidos e das comparações efetuadas, sugerem-se critérios para a utilização das referidas curvas para o projeto de redes de drenagem urbana.

## 2 - METODOLOGIA

A determinação das curvas I-D-F é feita a partir de dados de pluviógrafos interpretados em intervalos de 5 ou 10 minutos. Analisando-se os pluviogramas de um posto pluviométrico para todo o período de registro (n anos), pode-se determinar o máximo valor de cada ano, para diferentes durações. No presente trabalho, foram selecionadas as durações de 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150 e 180 minutos.

A obtenção dos dados de intensidade para curtas durações exige a existência de pluviógrafos com resolução temporal alta. Dado que num número muito grande de postos só existe um pluviômetro, fornecendo apenas totais diários de chuva, foi desenvolvida uma metodologia pelo DAEE/CETESB<sup>1</sup> para desagregar essas chuvas diárias através de coeficientes médios, em outras durações menores, de até 5 minutos. Os valores obtidos para esses coeficientes no território brasileiro apresentam-se coerentes com outros calculados em estudos semelhantes desenvolvidos em outros países.

No presente trabalho, estes coeficientes foram comparados com coeficientes calculados a partir das séries históricas disponíveis para Porto Alegre, apresentando desvios mínimos. Estes coeficientes foram utilizados para complementar as séries, determinando-se os valores de precipitação para durações menores que a resolução dos dados disponíveis.

Obtém-se, assim, uma série anual, constituída por n valores máximos para cada duração, suscetível de ser tratada estatisticamente para determinar as frequências de ocorrência. Segundo Sanchez (1987)<sup>2</sup>, vários métodos podem ser usados, sendo o mais comum o de Ven Te Chow - Gumbel, que permite calcular o valor

---

1 DAEE/CETESB. 1980. Drenagem Urbana - Manual de Projeto. Departamento de Aguas e Energia Elétrica - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo. 468 p.

2 SANCHEZ, J. E. 1987. Fundamentos de Hidrologia. Porto Alegre, Instituto de Pesquisas Hidráulicas-UFRGS. 355 f.

da precipitação para um dado período de retorno segundo a equação

$$\bar{X} = X + K S \quad (1)$$

onde:

- X é a precipitação para um determinado Período de Retorno;
- $\bar{X}$  é o valor médio de X para a série disponível;
- K é um fator de frequência que depende do tamanho da amostra e do período de retorno, encontrando-se tabelado por Sanchez;
- S é o desvio padrão dos dados.

Cada série é analisada e são calculadas as intensidades máximas prováveis para vários períodos de retorno segundo a equação (1). A plotagem destes valores origina uma família de curvas relacionando Intensidade, Duração e Frequência, válidas para o local onde foram medidos os dados. No presente trabalho foram adotados os valores de período de retorno de 2, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos.

As equações genéricas que descrevem estas curvas são da forma

$$I_{\max} = \frac{a \text{ Tr}^b}{d (t_d + c)} \quad (2)$$

onde:

- $I_{\max}$  é a intensidade máxima em mm/h;
- Tr é o Período de Retorno em anos;
- $t_d$  é a duração do evento em minutos;
- a, b, c, d são constantes que devem ser determinados para cada local.

A constante c pode ser determinada por tentativas ou pelo

processo descrito por Wilken<sup>3</sup>, que é o procedimento seguido no presente trabalho. Segundo esta metodologia, emprega-se a curva de intensidade - duração, calculada em escala bi-logarítmica para a frequência  $F=n/5$ , onde  $n$  é o número total de anos da amostra. Para este fim, são calculados os valores de  $\log(I_{\max})$  e  $\log(t)$  para cada um dos pontos determinados conforme a equação (1) e escolhem-se dois pontos próximos aos valores extremos, cujas coordenadas são, respectivamente,  $(i_1, t_1)$  e  $(i_2, t_2)$ . Considera-se então, um terceiro ponto,  $(i_3, t_3)$ , da mesma curva, onde

$$i_3 = \sqrt{i_1 \cdot i_2} \quad (3)$$

sendo que  $t_3$  é obtido por interpolação na curva.

Desta forma, obtém-se o valor da constante  $c$  por

$$c = \frac{t_1^2 - t_2 \cdot t_3}{t_1 + t_2 - 2t_3} \quad (4)$$

As demais constantes ( $a$ ,  $b$ ,  $d$ ) são, então, determinadas pelo método de regressão múltipla através de técnica de mínimos quadrados. Para tanto, a equação (2) é linearizada através de logaritmos, obtendo-se

$$\log(I_{\max}) = \log(a) + b \log(Tr) - d \log(t_d + c) \quad (5)$$

Desta forma, tem-se  $\log(I_{\max})$  como variável dependente,  $\log(Tr)$  e  $\log(t_d + c)$  como variáveis independentes e  $b$ ,  $d$  e  $\log(a)$  como os parâmetros a serem ajustados por método de mínimos quadrados.

Para cada um dos postos estudados foi ajustada uma equação, que é apresentada neste relatório, juntamente com a representação gráfica das curvas I-D-F obtidas através destas equações.

### 3 - RESULTADOS

#### 3.1 - Dados disponíveis

A metodologia descrita para determinação das curvas I-D-F foi aplicada aos dados de três postos pluviográficos distintos em Porto Alegre:

- Posto do Instituto de Pesquisas Hidráulicas;
- Posto do Aeroporto Salgado Filho;
- Posto do 8º Distrito de Meteorologia.

O pluviógrafo do posto do Instituto de Pesquisas Hidráulicas pertencia à rede mantida pelo DEPREC e foi operado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS durante o período de 1964 a 1983. Ele localiza-se na área do referido Instituto, com as coordenadas de:

- Latitude: 30°04'
- Longitude: 51°08'

Para este posto foi possível dispor-se de registros pluviográficos que abrangem todo o seu período de observações, com uma resolução temporal de 30 minutos.

O pluviógrafo do posto do Aeroporto Salgado Filho é operado pelo Serviço Regional de Proteção ao Voo do Ministério da Aeronáutica. Ele localiza-se na área do Aeroporto, com as coordenadas de:

- Latitude: 30°00'
- Longitude: 51°11'

Para este posto foi possível dispor-se de registros pluviográficos que abrangem o período de 1973 a 1989, com uma resolução temporal de 1 hora.

O pluviógrafo do posto do 8º Distrito de Meteorologia (8º DISME) é operado desde 1974 pelo 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (INEMET), órgão do Ministério da Agricultura. Ele localiza-se na área do 8º DISME, à rua Cristiano Fischer, com as coordenadas de:

-Latitude: 30°04'

-Longitude: 51°08'

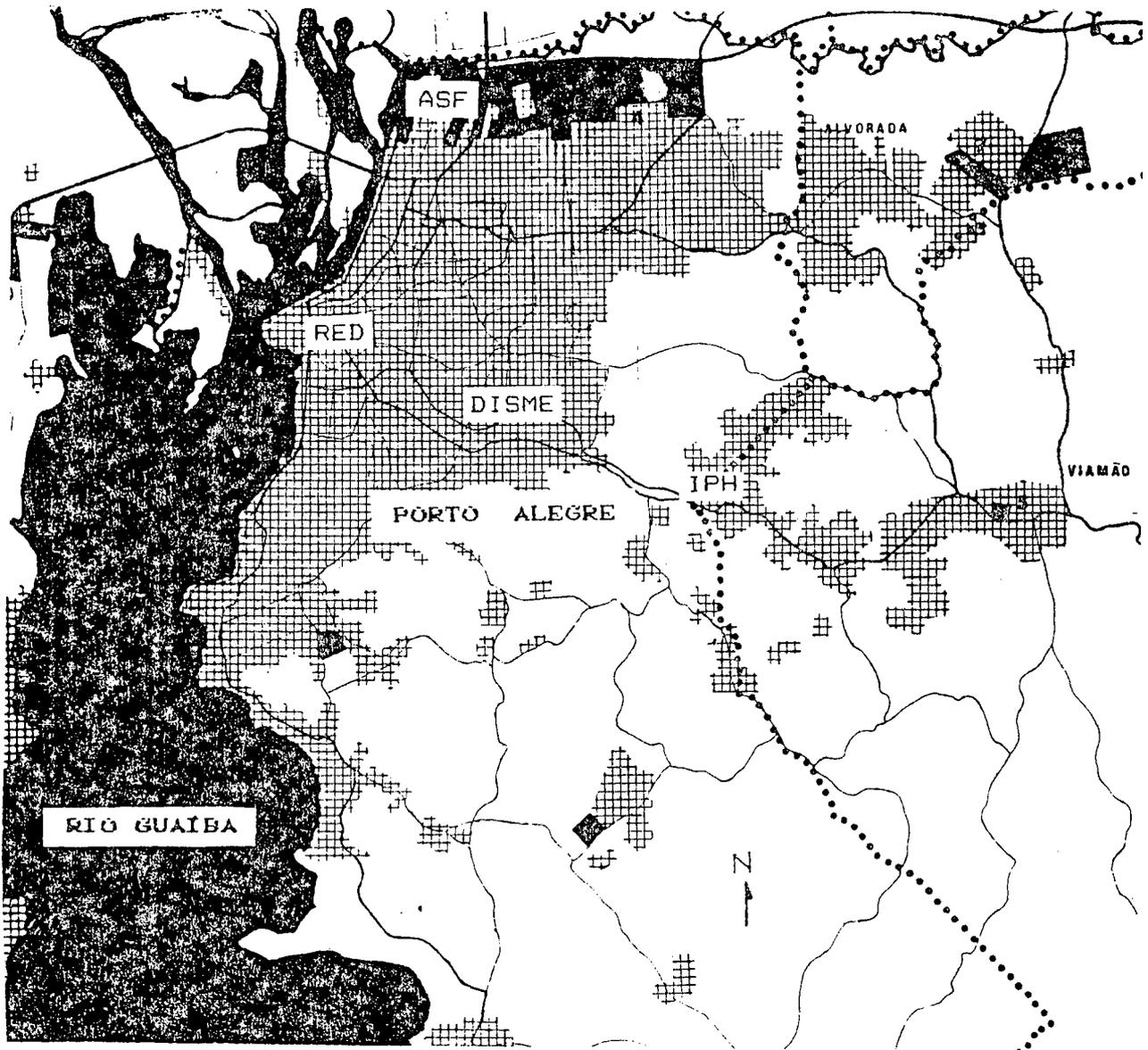
Para este posto foi possível dispor-se de registros pluviográficos que abrangem o período de 1974 a 1982 e de 1985 a 1989, com uma resolução temporal de 10 minutos.

Na figura 1, a seguir, é apresentado o mapa de localização dos referidos postos. Neste mapa é localizado também o Posto Redenção, situado no Parque Farroupilha. Este posto serviu de base para estudo anterior, semelhante a este trabalho, no qual foram determinadas as curvas I-D-F para este posto. Os resultados deste trabalho, publicados pelo DMAE<sup>4</sup>, foram utilizados para comparação com os resultados obtidos no presente trabalho.

---

<sup>4</sup>DMAE. 1972. Chuvas Intensas em Porto Alegre. Porto Alegre. 200 p.

Figura 1 - Localização dos Postos Pluviográficos



Legenda:

- IPH - Posto Instituto de Pesquisas Hidráulicas
- ASF - Posto Aeroporto Salgado Filho
- DISME - Posto 8º Distrito de Meteorologia
- RED - Posto Redenção

### 3.2 - Posto Instituto de Pesquisas Hidráulicas

Conforme descrito na metodologia, foram determinados os valores máximos anuais para a série disponível de dados para as durações de 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120 e 150 minutos. Como a resolução temporal dos dados disponíveis para este posto era de 30 minutos, foi necessário aplicar a metodologia de desagregação de chuvas desenvolvida pelo DAEE/CETESB para se obter os valores de 10, 20 e 45 minutos. Para tanto, foram aplicados os coeficientes de desagregação que, multiplicados pelos valores disponíveis, permitiram a obtenção dos valores desejados.

Na tabela 1, a seguir, são apresentados os valores de intensidade máxima anual determinados para cada ano e cada uma das durações selecionadas, bem como a média e o desvio padrão da amostra para cada uma das durações.

A seguir, foram obtidos os valores de intensidade em função da duração e do período de retorno pela aplicação da fórmula (1) aos períodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos. Os resultados são apresentados na tabela 2, a seguir, onde, para cada período de retorno é informado o valor do fator de frequência K para uma série de 20 anos de dados e os valores de média e desvio padrão para cada duração, necessários para a aplicação da formulação.

Estes valores originam uma família de curvas de Intensidade, Duração e Frequência, à qual foi ajustada uma equação do tipo da equação (2), pelo método de regressão múltipla através de técnica de mínimos quadrados, conforme descrito na metodologia, com a constante c sendo determinada pelo processo descrito por Wilken. A equação obtida para este posto foi:

$$I_{\max} = \frac{509,859 \cdot Tr^{0.196}}{(t_d + 10)^{0.72}} \quad (6)$$

Tabela 1 - Intensidades Maximais Anuais em mm/h - Posto IPH

ANO	DURACAO (min)								
	10	20	30	45	60	90	120	150	180
1964	78.7	59.1	48.6	30.1	24.3	17.3	15.8	13.7	13.2
1965	44.4	33.3	27.4	25.4	23.3	17.3	14.8	15.0	15.2
1966	58.6	44.0	36.2	31.2	25.2	21.1	17.3	16.7	15.1
1967	47.6	35.7	29.4	28.2	27.0	19.0	14.8	12.6	10.9
1968	57.8	40.3	33.2	24.6	19.8	15.5	15.5	13.6	12.9
1969	62.5	46.9	38.6	34.8	31.0	21.5	16.6	13.8	11.7
1970	40.8	30.6	25.2	21.4	17.3	12.9	16.0	13.0	12.0
1971	44.1	33.0	27.2	25.0	20.2	17.1	17.1	15.9	14.0
1972	118.6	88.9	73.2	47.6	38.4	25.9	20.2	19.5	16.9
1973	80.0	60.0	49.4	43.1	34.8	26.3	20.7	16.9	14.2
1974	54.8	41.1	33.8	31.5	25.4	19.8	15.1	12.3	11.1
1975	100.8	75.6	62.2	57.8	46.6	31.4	28.8	19.5	17.1
1976	54.4	40.8	33.6	31.2	25.2	18.2	14.6	12.0	10.6
1977	73.5	55.2	45.4	29.5	23.8	19.1	11.9	12.9	10.9
1978	74.5	55.9	46.0	29.1	23.5	15.5	12.3	10.4	8.7
1979	62.9	47.1	38.8	27.0	21.8	20.0	16.0	13.4	11.6
1980	34.0	25.5	21.0	19.8	18.7	17.3	17.7	16.4	14.8
1981	63.5	47.6	39.2	39.2	39.2	39.2	32.9	26.9	22.8
1982	60.6	45.4	37.4	31.5	25.4	20.7	19.1	19.1	16.8
1983	63.2	47.4	39.0	29.1	23.5	17.5	13.5	11.2	9.5
MEDIA	63.8	47.7	39.2	31.9	26.7	20.6	17.5	15.2	13.5
DESVIO	19.7	14.8	12.2	8.9	7.4	5.9	5.0	3.7	3.2

OT

Tabela 2 - Intensidades em mm/h em função de  $t_d$  e  $T_r$   
 Posto Instituto de Pesquisas Hidráulicas

DT	DURACAO	MÉDIA	DESVIO	T (Período de Retorno em anos)								
				2	3	5	10	15	20	25	50	100
min	mm/h	mm/h	K	-0.180	0.390	0.919	1.625	2.018	2.302	2.517	3.179	3.836
10	63.8	19.7		60.2	71.4	81.9	95.8	103.5	109.1	113.3	126.4	139.3
20	47.7	14.8		45.0	53.5	61.3	71.8	77.6	81.8	85.0	94.8	104.6
30	39.2	12.2		37.0	44.0	50.5	59.1	63.9	67.3	70.0	78.0	86.0
45	31.9	8.9		30.3	35.3	40.0	46.2	49.7	52.2	54.1	60.0	65.8
60	26.7	7.4		25.4	29.6	33.5	38.7	41.6	43.7	45.3	50.2	55.1
90	20.6	5.9		19.6	22.9	26.1	30.3	32.6	34.3	35.5	39.5	43.4
120	17.5	5.0		16.6	19.5	22.1	25.7	27.6	29.1	30.1	33.4	36.7
150	15.2	3.7		14.6	16.7	18.7	21.3	22.8	23.9	24.7	27.2	29.6
180	13.5	3.2		12.9	14.8	16.4	18.7	20.0	20.9	21.6	23.7	25.8

onde:

- $I_{max}$  é a intensidade máxima em mm/h;
- $Tr$  é o Período de Retorno em anos;
- $t_d$  é a duração do evento em minutos;

O coeficiente de determinação para a regressão ( $R^2$ ) foi de 99,443 % .

Na figura 2, a seguir, é apresentada , sob a forma gráfica, a família de curvas descrita por esta equação.

### 3.3 - Posto Aeroporto Salgado Filho

Conforme descrito na metodologia, foram determinados os valores máximos anuais para a série disponível de dados para as durações de 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120 e 150 minutos. Como a resolução temporal dos dados disponíveis para este posto era de 1 hora, foi necessário aplicar a metodologia de desagregação de chuvas desenvolvida pelo DAEE/CETESB para se obter os valores de 10, 20, 30 e 45 minutos. Para tanto, foram aplicados os coeficientes de desagregação que, multiplicados pelos valores disponíveis, permitiram a obtenção dos valores desejados.

Na tabela 3, a seguir, são apresentados os valores de intensidade máxima anual determinados para cada ano e cada uma das durações selecionadas, bem como a média e o desvio padrão da amostra para cada uma das durações.

A seguir, foram obtidos os valores de intensidade em função da duração e do período de retorno pela aplicação da fórmula (1) aos períodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos. Os resultados são apresentados na tabela 4, a seguir, onde, para cada período de retorno é informado o valor do fator de frequência  $K$  para uma série de 17 anos de dados e os valores de média e desvio padrão para cada duração, necessários para a aplicação da formulação.

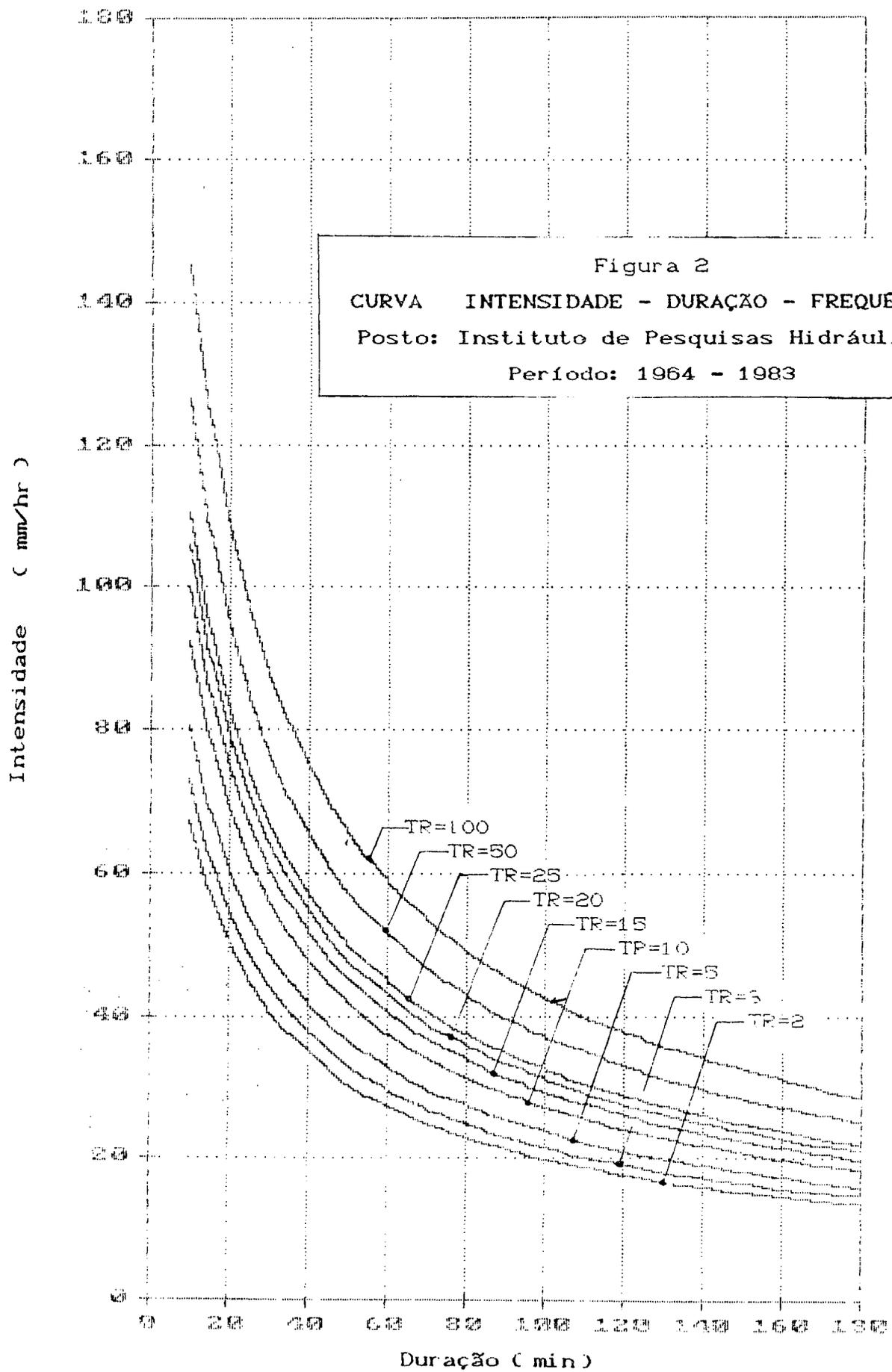


Tabela 3 - Intensidades Maximais Anuais em mm/h - Posto Aeroporto Salgado Filho

ANO	DURACAO (min)								
	10	20	30	45	60	90	120	150	180
1973	70.3	52.7	43.4	33.2	26.8	24.3	19.2	19.7	17.5
1974	53.4	40.1	33.0	25.3	20.4	15.6	12.3	12.1	10.7
1975	66.9	50.2	41.3	31.6	25.5	16.3	12.9	12.4	11.0
1976	65.9	49.4	40.7	31.1	25.1	17.3	13.7	13.3	11.8
1977	48.8	36.6	30.1	23.1	18.6	13.6	10.7	12.2	10.8
1978	41.9	31.5	25.9	19.8	16.0	15.9	12.6	10.9	9.7
1979	64.6	48.5	39.9	30.5	24.6	19.6	15.5	11.8	10.5
1980	65.8	55.9	46.0	35.2	28.4	19.8	15.6	13.9	12.3
1981	101.7	76.3	62.8	48.1	38.8	29.8	23.5	21.9	19.4
1982	63.0	47.3	38.9	29.8	24.0	20.3	16.0	14.2	12.6
1983	65.6	49.2	40.5	31.0	25.0	17.6	13.9	10.9	9.7
1984	89.7	67.3	55.4	42.4	34.2	22.3	17.6	13.3	11.8
1985	53.3	40.0	32.9	25.2	20.3	19.0	15.0	13.1	11.6
1986	112.3	84.2	69.3	53.1	42.8	29.9	23.6	19.5	17.3
1987	101.1	75.8	62.4	47.7	38.5	27.1	21.4	16.1	14.3
1988	67.7	50.8	41.8	32.0	25.8	18.9	14.9	12.7	11.3
1989	93.5	70.1	57.7	44.1	35.6	36.1	28.5	23.7	21.0
MEDIA	72.1	54.5	44.8	34.3	27.7	21.4	16.9	14.8	13.1
DESVID	19.7	14.7	12.1	9.3	7.5	5.9	4.7	3.8	3.4

Tabela 4 - Intensidades em mm/h em função de  $t_d$  e  $T_r$   
Posto Aeroporto Salgado Filho

DT	MEDIA	DESVIO PADRAO	T (Período de Retorno em anos)									
			2	3	5	10	15	20	25	50	100	
min	mm/h	mm/h	K	-0.182	0.396	0.934	1.649	2.047	2.335	2.552	3.223	3.888
10	72.1	19.7		68.5	79.9	90.4	104.5	112.3	118.0	122.3	135.4	148.5
20	54.5	14.7		51.8	60.3	68.2	78.7	84.5	88.7	91.9	101.8	111.5
30	44.8	12.1		42.6	49.6	56.1	64.8	69.6	73.1	75.7	83.8	91.8
45	34.3	9.3		32.6	38.0	42.9	49.6	53.2	55.9	57.9	64.1	70.3
60	27.7	7.5		26.3	30.6	34.6	40.0	43.0	45.1	46.7	51.7	56.7
90	21.4	5.9		20.3	23.7	26.9	31.2	33.6	35.3	36.6	40.5	44.5
120	16.9	4.7		16.0	18.7	21.3	24.6	26.5	27.8	28.9	32.0	35.1
150	14.8	3.8		14.1	16.3	18.4	21.1	22.6	23.8	24.6	27.2	29.7
180	13.1	3.4		12.5	14.5	16.3	18.7	20.1	21.1	21.8	24.1	26.3

Estes valores originam uma família de curvas de Intensidade, Duração e Frequência, à qual foi ajustada uma equação do tipo da equação (2), pelo método de regressão múltipla através de técnica de mínimos quadrados, conforme descrito na metodologia, com a constante  $c$  sendo determinada pelo processo descrito por Wilken. A equação obtida para este posto foi:

$$I_{\max} = \frac{748,342 \cdot Tr^{0,191}}{(t_d + 10)^{0,803}} \quad (7)$$

onde:

- $I_{\max}$  é a intensidade máxima em mm/h;
- $Tr$  é o Período de Retorno em anos;
- $t_d$  é a duração do evento em minutos;

O coeficiente de determinação para a regressão ( $R^2$ ) foi de 99,391 %..

Na figura 3, a seguir, é apresentada, sob a forma gráfica, a família de curvas descrita por esta equação.

### 3.4 - Posto 8º Distrito de Meteorologia

Conforme descrito na metodologia, foram determinados os valores máximos anuais para a série disponível de dados para as durações de 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120 e 150 minutos. Como a resolução temporal dos dados disponíveis para este posto era de 10 minutos, não foi necessário aplicar a metodologia de desagregação de chuvas desenvolvida pelo DAEE/CETESB,

Na tabela 5, a seguir, são apresentados os valores de intensidade máxima anual determinados para cada ano e cada uma das durações selecionadas, bem como a média e o desvio padrão da amostra para cada uma das durações.

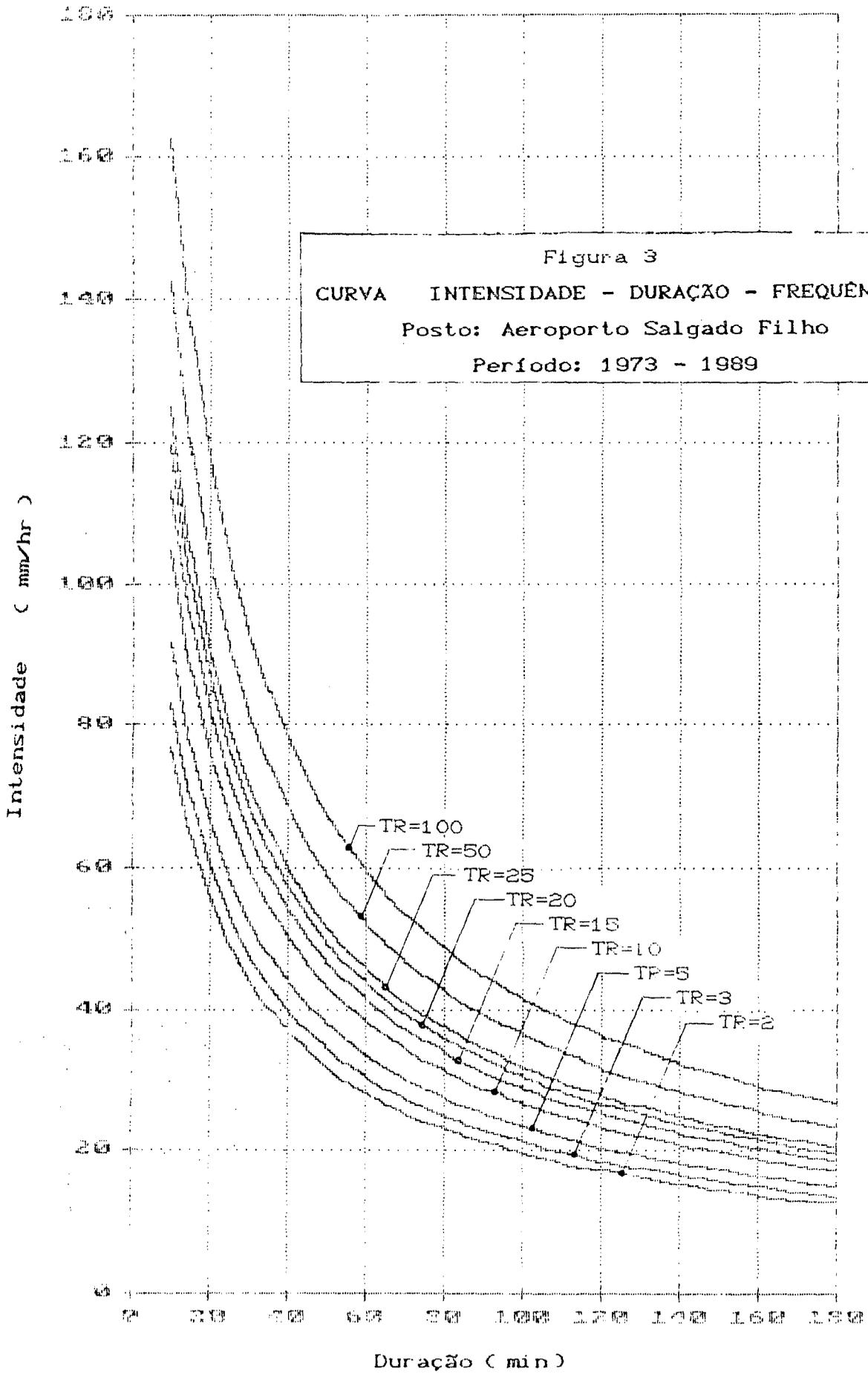


Tabela 5 - Intensidades Maximais Anuais em mm/h - Posto 8 DISME

ANO	DURAÇÃO (min)								
	10	20	30	45	60	90	120	150	180
1974	144.0	97.8	73.6	50.8	38.8	26.7	20.2	16.3	13.7
1975	81.6	53.4	48.2	38.0	30.8	25.6	21.8	17.9	15.0
1976	106.8	69.6	51.8	40.5	33.4	24.5	18.4	15.1	14.3
1977	82.2	56.4	50.4	38.7	33.8	24.1	18.7	15.4	13.5
1978	69.6	43.8	38.0	27.5	21.2	14.3	11.3	9.8	8.9
1979	96.0	66.0	50.0	33.9	26.6	17.9	13.5	11.7	10.3
1980	106.8	77.4	53.2	35.9	31.2	23.6	19.1	16.1	15.5
1981	103.8	77.7	61.8	48.0	37.8	26.3	20.1	16.5	13.8
1982	54.0	48.0	48.0	37.9	29.8	22.0	18.0	16.0	14.3
1985	166.2	114.9	76.6	55.1	41.3	27.7	21.1	17.3	14.5
1986	100.8	75.9	67.4	56.1	44.1	31.7	24.2	20.2	17.1
1987	101.4	98.4	87.8	74.7	50.3	34.2	25.6	20.5	17.1
1988	37.8	34.8	29.6	29.2	21.1	15.9	11.9	10.0	10.6
1989	54.0	48.0	39.2	33.2	27.2	27.2	23.9	19.9	16.9
MEDIA	89.3	66.5	54.0	42.2	33.0	24.2	19.0	15.9	14.0
DESVIO	31.3	21.8	15.4	12.6	8.3	5.5	4.4	3.4	2.5

Tabela 6 - Intensidades em mm/h em função de  $t_D$  e  $T_r$   
 Posto 8<sup>o</sup> Distrito de Meteorologia

DT	DESVIO	T (Período de Retorno em anos)										
		DURACAO	MEDIA	PADRAO	2	3	5	10	15	20	25	50
min	mm/h	mm/h	K	-0.192	0.416	0.981	1.721	2.138	2.437	2.663	3.360	4.052
10	89.3	31.3		83.3	102.3	120.0	143.1	156.1	165.5	172.5	194.3	216.0
20	66.5	21.8		62.3	75.6	87.9	104.0	113.1	119.6	124.6	139.7	154.8
30	54.0	15.4		51.1	60.4	69.1	80.4	86.8	91.4	94.9	105.6	116.2
45	42.2	12.6		39.8	47.5	54.6	64.0	69.2	73.0	75.9	84.7	93.4
60	33.0	8.3		31.4	36.4	41.1	47.2	50.6	53.1	55.0	60.8	66.5
90	24.2	5.5		23.2	26.5	29.6	33.7	36.0	37.7	38.9	42.8	46.6
120	19.0	4.4		18.2	20.9	23.3	26.6	28.4	29.7	30.7	33.8	36.8
150	15.9	3.4		15.2	17.3	19.2	21.8	23.2	24.2	25.0	27.4	29.8
180	14.0	2.5		13.5	15.0	16.5	18.3	19.4	20.1	20.7	22.5	24.2

A seguir, foram obtidos os valores de intensidade em função da duração e do período de retorno pela aplicação da fórmula (1) aos períodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos. Os resultados são apresentados na tabela 6, a seguir, onde, para cada período de retorno é informado o valor do fator de frequência K para uma série de 14 anos de dados e os valores de média e desvio padrão para cada duração, necessários para a aplicação da formulação.

Estes valores originam uma família de curvas de Intensidade, Duração e Frequência, à qual foi ajustada uma equação do tipo da equação (2), pelo método de regressão múltipla através de técnica de mínimos quadrados, conforme descrito na metodologia, com a constante c sendo determinada pelo processo descrito por Wilken. A equação obtida para este posto foi:

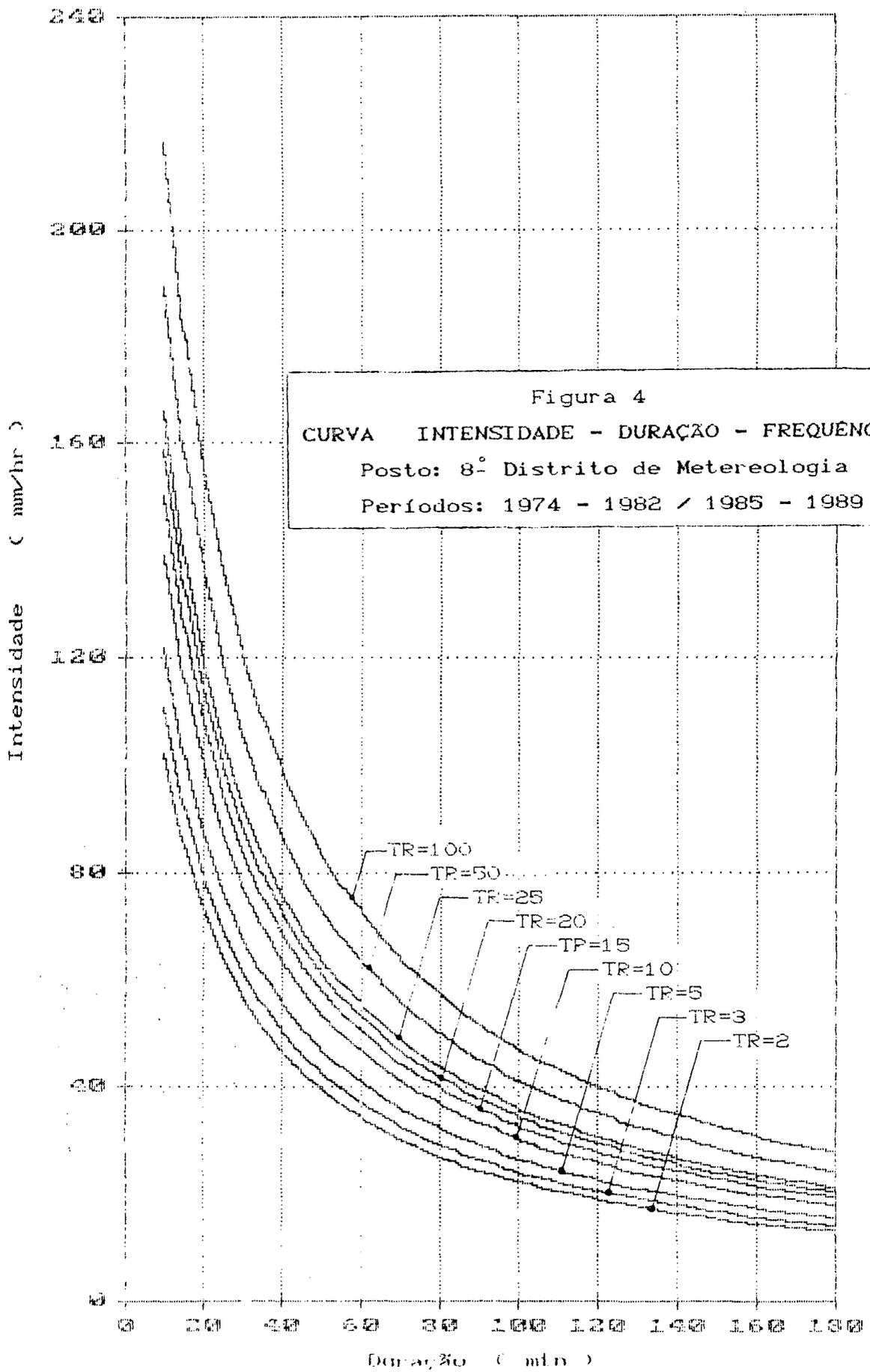
$$I_{\max} = \frac{2491,782 \cdot Tr^{0,192}}{(t_d + 16)^{1,021}} \quad (8)$$

onde:

- $I_{\max}$  é a intensidade máxima em mm/h;
- Tr é o Período de Retorno em anos;
- $t_d$  é a duração do evento em minutos;

O coeficiente de determinação para a regressão ( $R^2$ ) foi de 99,390 %..

Na figura 4, a seguir, é apresentada, sob a forma gráfica, a família de curvas descrita por esta equação.



### 3.5 - Comparação dos resultados

Com a finalidade de verificar-se a qualidade das curvas determinadas no presente estudo, efetuou-se uma comparação entre os resultados obtidos para cada um dos três postos estudados e também com os resultados do estudo efetuado em 1972, para o DMAE, com os dados do posto Redenção. As curvas I-D-F obtidas neste estudo para o posto Redenção são apresentadas a seguir, na figura 5.

Para efetuar-se esta comparação, foram selecionados os períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos e, para cada um destes períodos de retorno, foram determinadas as intensidades máximas de chuva conforme as curvas I-D-F de cada posto, para as durações de 10, 30, 60 e 120 minutos. Os valores encontrados são apresentados na tabela 7, a seguir.

A análise dos resultados apresentados na tabela 7 permite-nos formar dois grupos distintos:

- Grupo I → Posto Redenção e Posto 8<sup>o</sup> DISME;
- Grupo II → Posto IPH e Posto Aeroporto Salgado Filho.

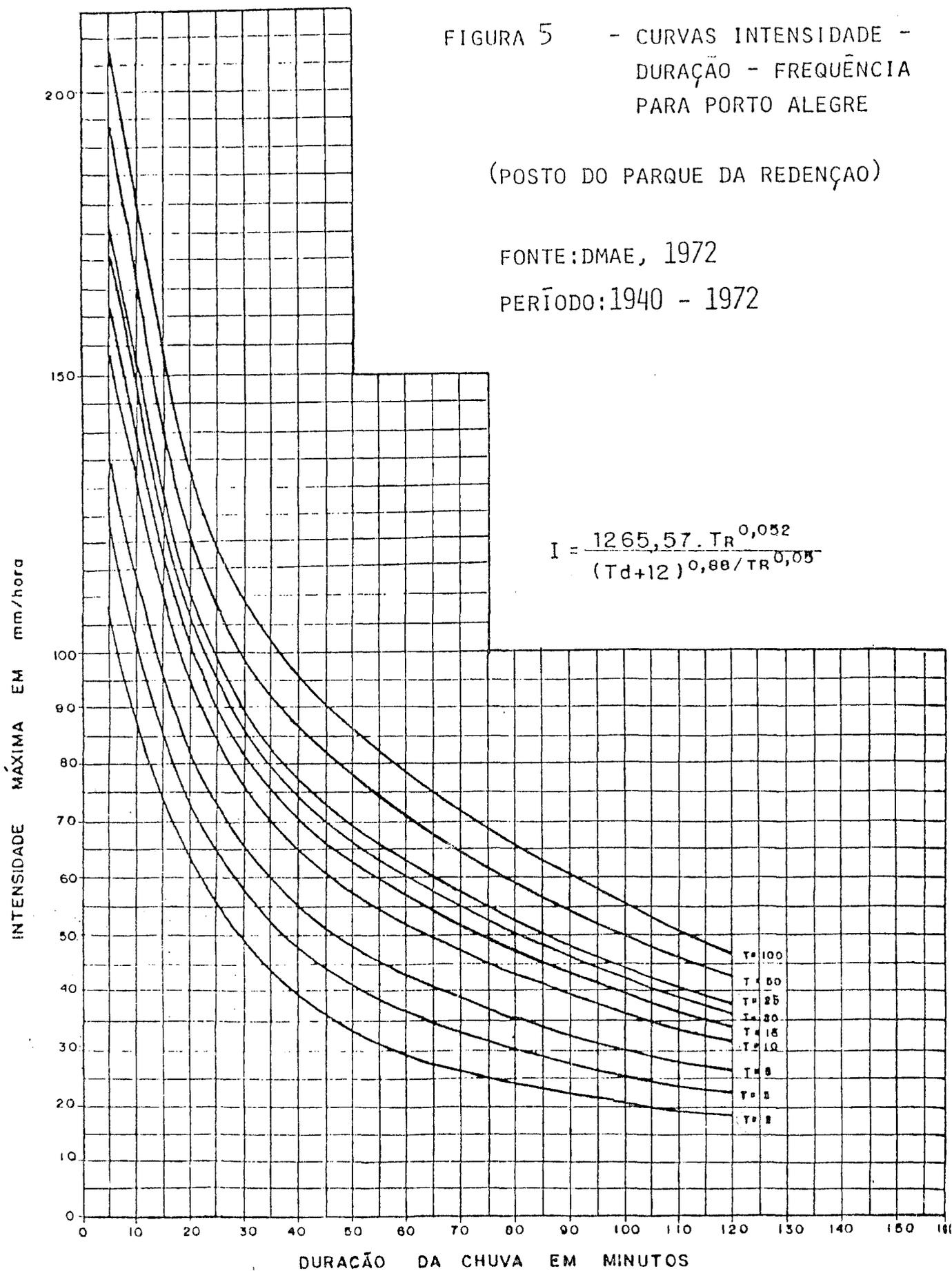
Observa-se que, dentro de cada um dos grupos, os resultados obtidos são extremamente semelhantes, sendo praticamente iguais em alguns casos. Este fato confirma a qualidade das curvas, uma vez que nenhum dos postos apresenta resultados completamente diversos do conjunto dos demais. Por outro lado, observa-se que os resultados do Grupo I são bastante superiores aos obtidos no Grupo II. Estas diferenças poderiam ser explicadas pela não coincidência dos períodos de dados ou pelo fato de que o Grupo I apresenta postos localizados em regiões centrais da cidade com um comportamento completamente urbano, enquanto que o Grupo II apresenta postos localizados na periferia da cidade, com um comportamento que já tende para o rural. Porém, nenhuma destas explicações é absolutamente conclusiva, sendo necessário novos estudos para se obter respostas definitivas.

FIGURA 5 - CURVAS INTENSIDADE -  
DURAÇÃO - FREQUÊNCIA  
PARA PORTO ALEGRE

(POSTO DO PARQUE DA REDENÇÃO)

FORTE:DMAE, 1972

PERÍODO:1940 - 1972



$$I = \frac{1265,57 \cdot TR^{0,052}}{(Td+12)^{0,88} / TR^{0,05}}$$

Tabela 7 - Comparação dos resultados

Tr	td	Intensidades em mm/h			
		Redenção	B <sup>o</sup> DISME	Aeroporto	IPH
2	10	95	102	77	68
	30	55	57	44	41
	60	35	34	28	27
	120	21	19	17	18
5	10	112	122	92	81
	30	66	68	53	49
	60	43	41	34	33
	120	26	23	20	21
10	10	126	139	105	93
	30	76	78	60	56
	60	50	47	38	38
	120	31	26	23	24
25	10	148	166	125	110
	30	91	93	72	67
	60	61	55	46	45
	120	39	31	28	29
50	10	166	189	143	123
	30	104	106	82	77
	60	70	63	52	51
	120	45	35	32	33
100	10	185	216	163	145
	30	118	121	93	88
	60	81	72	60	59
	120	53	40	36	38

#### 4 - CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS

Foram determinadas neste trabalho as curvas de Intensidade - Duração - Frequência para três postos pluviográficos distintos em Porto Alegre:

- Posto do Instituto de Pesquisas Hidráulicas;
- Posto do Aeroporto Salgado Filho;
- Posto do 8º Distrito de Meteorologia.

Os resultados obtidos foram comparados entre si e também com a curva I-D-F determinada em 1972 em estudo efetuado para o DMAE, a partir dos dados pluviográficos do Posto Redenção. A partir desta comparação, obtém-se duas importantes observações:

- As curvas I-D-F dos postos estudados apresentam resultados diferentes para cada um dos postos, sendo esta diferença significativa em alguns casos;
- Embora os resultados obtidos apresentem diferenças entre si, nenhum dos postos apresenta resultados completamente diversos do conjunto dos demais.

Estas observações nos permitem que concluir que a qualidade das curvas é boa, mas que sua utilização deve ser efetuada de forma criteriosa, uma vez que os resultados obtidos com uma ou outra curva podem ser bastante diferentes.

Sugerimos, para utilização destas curvas, o seguinte procedimento:

- 1 - Determinação dos valores de intensidade máxima utilizando cada um dos três conjuntos de curvas determinados no presente trabalho e também com as curvas do Posto Redenção, obtendo-se quatro resultados distintos;

2 - Comparação dos resultados entre si, com a adoção, a critério do projetista, de:

- a) o maior dos resultados obtidos (critério conservador);
- b) o resultado do posto mais próximo do local de projeto.

Obs.: Não recomendamos a utilização de um valor médio entre os quatro valores obtidos, pois isto poderia mascarar os resultados, uma vez que filtraria os valores extremos, que são de enorme importância em um estudo de drenagem urbana.

Sugerimos, ainda, que sejam efetuados estudos para a extensão e complementação da série de dados do Posto Redenção, uma vez que a curva determinada para este posto abrange o período de 1940 a 1972, podendo, portanto, haver alterações nos resultados se forem incluídos dados dos anos seguintes de operação. Ressaltamos a grande importância deste posto devido ao fato de ser aquele que apresenta a maior série disponível de dados pluviográficos com alta resolução temporal, o que torna sua curva altamente confiável. A complementação destas curvas poderá trazer explicações para as variações encontradas entre os três postos estudados no presente trabalho.