

TESE

Apresentada à ESCOLA POLITÉCNICA DA UFPB – CAMPINA GRANDE

em vista de obtenção do título

MESTRE EM CIÊNCIAS

por

JOSÉ AQUINO DE SOUZA



ESTUDO DAS CHUVAS INTENSAS NAS ZONAS RURAL E URBANA DE JOÃO PESSOA

Defendida em 25 de setembro de 1972, diante da Comissão Examinadora

VACLAV ELIAS – PhD Presidente

LUIZ EDUARDO M. HERNANDEZ }
NECOURT } Examinadores

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

ESTUDO DE UMA EQUAÇÃO DAS CHUVAS INTENSAS NAS ZONAS
RURAL E URBANA DA CIDADE DE JOÃO PESSOA

JOSÉ AQUINO DE SOUZA

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRÁU DE MESTRE EM CIÊNCIA (M.Sc.).

ORIENTADOR: VALCLAV ELIAS (Ph.D.)

APROVADO PELO COMISSÃO:

PROF.

Valclav Elias

VALCLAV ELIAS
-Presidente-

PROF.

Eduardo M. Hernandez

LUIZ EDUARDO M. HERNANDEZ

PROF.

Bernard Moinecourt

BERNARD MOINECOURT

CAMPINA GRANDE
ESTADO DA PARAÍBA - BRASIL
SETEMBRO - 1972

DIGITALIZAÇÃO:
SISTEMOTECA - UFCG

DEDICATÓRIA

AOS MEUS PAIS,

apesar das trevas do ontem em que nasceram,
me projetaram nas luzes dos conhecimentos
do hoje em que vivo e luto.

À MINHA ESPOSA,

doação total.

AGRADECIMENTOS

Meu reconhecimento aos professores Francisco Barbosa de Lucena, Hércules Gomes Pimentel e José Gomes da Silva, pela orientação e estímulo proporcionados durante toda a execução do trabalho; aos colegas da equipe de pesquisas Hidráulicas e Hidrológicas da ATECEL, pela amizade e compreensão no ambiente de trabalho; aos professores da Escola Politécnica da U.F.Pb. pelos incentivos constantes propiciados.

Gratidão Especial ao CONSELHO NACIONAL DE PESQUISAS-CNPq pelo constante apoio para a realização desta pesquisa.

A ATECEL, minha gratidão pelo avanço que vem propiciando ao desenvolvimento das pesquisas hidrológicas no Nordeste e, o indelével reconhecimento pelo particular incentivo dispensado a estes estudos.

Agradecimentos especiais aos mestres, Prof. Vaclav Elias e Luis Eduardo Machado Hernandez pelos ensinamentos, orientações e amizades, exemplos de virtudes que delinearam os caminhos desta pesquisa.

Finalmente, apraz-me manifestar protestos de amizade e reconhecimento ao Prof. Lynaldo Cavalcanti de Albuquerque, pelo arrojado esforço que desempenhou para a efetivação deste trabalho.

S I N O P S E

ESTUDO DE UMA EQUAÇÃO DAS CHUVAS INTENSAS PARA AS ZONAS RURAL E URBANA DA CIDADE DE JOÃO PESSOA

Este trabalho visa a determinação da equação de "intensidade-duração-frequência", para um intervalo de recorrência máximo de 100 anos, válida para as zonas rural e urbana da cidade de João-Pessoa - Paraíba.

Baseia-se em dados pluviográficos de 13 anos de observações e dá um tratamento estatístico para obtenção dos resultados. Apresenta ainda ábaco, gráficos e tabelas baseados na equação encontrada.

A equação obtida facilita solução de problemas relativos a Engenharia Civil, sobretudo a dimensionamento de galerias pluviais.

A B S T R A C T

STUDY OF THE EQUATION FOR INTENSE RAINFALLS THE URBAN AREA
OF JOAO PESSOA

This paper deals with the determination of the "intensity duration-frequency" curves for a 100 - years maximum recurrence interval. The validity of the proposed equation is limited to the urban and agricultural areas of the capital of the Paraíba State - João Pessoa.

The analysis is based, on a statistical treatment of pluviographical observations over a period of 13 years. The proposed equation is presented in abac, graphical as well as tabulated form.

The results of the investigation permit the determination of the Urban Stormwater Runoff, which serves as basic data for the project of the urban drainage facility.

R É S U M É

ÉTUDE DE L'ÉQUATION DES PLUIES INTENSES POUR LES ZONES
RURALES ET URBANES DE JOÃO PESSOA

Le but de ce travail est la détermination de l'équation "intensité-durée-fréquence", pour un intervalle de récurrence maximum de 100 ans. La validité de l'équation proposée est limitée aux aires urbaines et agricoles de la municipalité de João Pessoa-Paraíba.

L'analyse repose sur le traitement statistique des observations pluviométriques pendant un période de 13 ans. L'équation proposée est présentée sous formes d'abaques, de graphiques, et de tableau numériques.

L'équation obtenue facilite la solution de problèmes relatifs au Génie Civil, en particulier celui du dimensionnement des galeries pluviales.

C O N T E Ú D O

I. INTRODUÇÃO

1. Significado e Propósitos do Estudo	1
2. Desenvolvimento e Objetivo da Pesquisa	1
3. Escopo do Trabalho	2

II. REVISÃO DE LITERATURA

2.0 Parigot de Souza	4
2.1 Otto Pfafstetter	4
2.2 Outros Estudos	5

III. EQUIPAMENTOS E APARELHAGEM

3.0 Material Disponível	7
3.1 Aparelhagem	7

IV. ESTUDOS HIDROLÓGICOS DAS CHUVAS INTENSAS-RESULTADOS

4.0 Execução do Trabalho	8
4.1 Critérios Utilizados	8
4.2 Escolha da Série	10
4.3 Série Adotada	10
4.4 Distribuição	11
4.5 Extrapolação dos Intervalos de Recorrência	11
4.6 Gumbel	11
4.7 Série de Equações	13
4.8 Processo	13
4.9 Determinação de "a"	14

V. ANÁLISE COMPARATIVA

5.0 Considerações Gerais	17
5.1 Análise	17

VI. CONCLUSÃO

6.0	Utilização dos resultados	19
6.1	Execução de Projetos	19

APÊNDICE

I	Parâmetros Estatísticos	21
II	Programas Fontes Linguagem FORTRAN IV	25
III	Análise de Distribuição	37
IV	Curva Média de Gumbel	44

BIBLIOGRAFIA

SÍMBOLOS

a, B, K, m, n	=	Parâmetros da equação
$\alpha, \beta, \gamma,$	=	Parâmetros que dependem do posto em estudo
α, μ	=	Parâmetros de distribuição
$C, A, ASSM\mu$	=	Medidas de assimetria
$N, "n"$	=	Número de anos
\bar{X}, M, X	=	Intensidade média
x, i	=	Intensidade
x_c, x_o	=	Intensidades calculadas e observadas
x_f	=	Moda da distribuição
σ, Desvio	=	Desvio Padrão
F, T	=	Frequência extrapolada
Tr	=	Frequência calculada
$p(x)$	=	Probabilidade de não excedência do evento x
J	=	Probabilidade de ser igualado ou excedido o evento
k	=	"Fator de frequência"
σ_x	=	Desvio Padrão dos eventos X .
σ_n	=	Desvio Padrão das X 's amostras de n anos

TABELAS, QUADROS E GRÁFICOS

TABELA	-	IV-1	-	Registros das Chuvas Intensas - Modelo	8-a
QUADROS	-	4-A1/A9	-	Parâmetros Estatísticos	10a/i
QUADROS	-	4-I/II	-	Maiores Alturas Pluviométricas em João Pessoa	11a/b
QUADROS	-	4-L/J	-	Máximas Intensidades Médias Anu- ais Observadas.....	11c/d
QUADRO	-	4-B	-	Intensidades-Durações segundo Chow-Gumbel	12-a
GRÁFICO	-	4.2	-	Curvas das Intensidades observa- das em Escala Logarítmica	14-a
GRÁFICO	-	4.2.1	-	Curvas de Intensidade Anamorfo- seada de 5 min.	14-b
GRÁFICO	-	5.0	-	Precipitação-Frequência-Duração determinados por Otto Pfafstetter	18-a
QUADRO	-	5-A	-	Análise Comparativa	18-b
QUADROS	-	4-F1/F2	-	Estimativa de Erros	18-d/d
GRÁFICO	-	6.0	-	Intensidade-Duração-Frequência.	20-a
QUADRO	-	V I	-	" " "	20-b
ÁBACO	-	6-1	-	" " "	20-c
TABELA	-	1	-	Risco de Ocorrência/Vida útil do Projeto	24-c
TABELA	-	3.1	-	Fator de Frequência de Gumbel .	43
ÁBACO DE WEISS	-		-	43-a

I - INTRODUÇÃO

1. Significado e Propósitos do Estudo

O presente trabalho visa a obtenção das curvas de intensisidade - duração, para as diferentes frequências, da área metropolitana da cidade de João Pessoa - estado da Paraíba - bem como a equação que as represente. Estas curvas proporcionam relevante importância nas soluções de problemas relativos a Engenharia Civil, em particular às que dizem respeito à defesa contra as inundações, quer nas zonas rurais ou urbanas, a dimensionamento de galerias pluviais, rêdes de esgotos, etc.

2. Desenvolvimento e Objetivo da Pesquisa

Até então, quando se elaboravam projetos ligados à hidrologia, empregavam-se os estudos do Eng^o OTTO PFAFSTETTER (1) ou uma das equações aplicáveis a uma região de caracteristicas meteorológicas supostamente similares. Portanto, faltava um modelo racional, mais acurado, baseado em dados pluviográficos locais, afim de se poder efetuar uma comparaço com o que até o momento existia. Com êste objetivo e o incentivo do fato pioneiro de se poder oferecer a esse estado semelhante contribuição, alicerçaram-se os motivos que levaram a realização desta pesquisa.

Este trabalho serve de protótipo à pesquisa aplicada a este tópico aqui no Nordeste, e contribue de maneira incisiva nos cálculos de projetos técnicos econômicos que, em sua maioria, dependem de dados hidrológicos, infelizmente, ainda pouco difundidos nesta região.

3. Escopo do Trabalho

Nos capítulos que seguem, são feitos estudos estatísticos detalhados e cuidadosamente analisados, afim de evitar eventuais parcialidades.

O capítulo II, traz um sumário dos estudos sobre o tema apresentado, para as diferentes regiões do Brasil, incluindo as equações propostas a estas regiões por diversos pesquisadores. Sumariza também, a obra de PFAFSTETTER que tem prestado até o presente, incontestável contribuição.

O Apêndice III, apresenta de forma sintética o método de Gumbel, bem como o procedimento de sua utilização neste trabalho. Obviamente, não se prende a detalhes de demonstrações matemáticas deste método, visto que na bibliografia apresentada pode-se encontrar a exposição pormenorizada do método.

O capítulo IV, mostra detalhadamente os passos seguidos em busca da equação "intensidade-duração-frequência", assim como apresenta gráficos e tabelas utilizadas. No final do ca

pítulo é encontrada a equação resultante do estudo.

No capítulo V, fez-se uma análise comparativa dos resultados obtidos no capítulo precedente, analisando erros de estimativa e comparando estes resultados com outros trabalhos existentes sobre o assunto.

Finalmente, o capítulo VI apresenta as deduções lógicas, fundamentadas no texto. Foram expostas, clara e sucintamente, as delimitações e restrições que devem ser obedecidas nas aplicações práticas.

Os Apêndices, foram reservados para algumas aplicações teóricas, aproveitando-se o Apêndice I para fazer um exemplo prático da escolha do Tempo de Recorrência em função da vida útil da estrutura. São dadas ainda, algumas instruções para utilização dos programas fontes.

II - REVISÃO DE LITERATURA

No país, foram efetuados vários estudos sobre o tema de CHUVAS INTENSAS, todos eles trazendo enorme contribuição àqueles que trabalham em obras hidráulicas. Destacam-se no Quadro 2, alguns destes estudos realizados.

2.0 PARIGOT DE SOUZA

No Brasil, um dos primeiros estudos executado, foi o do professor Parigot de Souza que, com sua pesquisa baseada nos estudos de Mayer 1928, desenvolveu grandemente a técnica hidrológica no Paraná.

Os trabalhos de todos os pesquisadores tiveram como base a forma geral de Merrill (2) que ficou conhecida como equação de "intensidade-frequência-duração"

$$i = \frac{K F^m}{(t + B)^n} \quad (2.1)$$

onde:

- i = intensidade máxima (em mm/h)
- F = tempo de recorrência (em anos)
- t = duração (em min.)
- n, K e m = constantes que variam com a região

Esta equação só é válida para durações menores que 2 horas. Caso se deseje uma duração máxima é bastante fazer B=0.

2.1 OTTO PFAFSTETTER

Outros estudos foram realizados sobre o mesmo tema, porém com tratamento diferente, abrangendo todo o país. Trata-se dos estudos do Eng^o OTTO PFAFSTETTER, pertencente ao D.N.O.S.

Esse é um trabalho sobre chuvas intensas no Brasil, baseado em dados de postos pluviográficos do Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura. OTTO PFAFSTETTER apresenta gráficos de precipitações em função do tempo de recorrência e da duração em minuto. Porém a sua aplicação se limita a um período de retorno menor que o de observação. Para uma frequência maior, ele recomenda a utilização da fórmula (2.2)

$$P = K \left[at + b \cdot \log (1 + ct) \right] \quad (2.2)$$

onde:

$$K = T^\alpha + \frac{\beta}{T^\gamma} \quad (2.3)$$

os valores de K são plotados em gráficos e devem ser determinados em função dos parâmetros α , β e γ . As constantes a, b, c e γ dependem particularmente do posto em que se deseja a precipitação.

No capítulo V é feita uma análise comparativa entre os resultados aqui obtidos e os obtidos pelo Eng^o do D.N.O.S.

2.2 OUTROS ESTUDOS

Muitos outros estudos foram realizados em diversos esta

dos do país. O Quadro II apresenta um resumo destes estudos.

QUADRO II

LOCAL DE OCORRÊNCIA DAS CHUVAS INTENSAS	PERÍODO DE ESTUDOS		EQ. DE I PARA:		PESQUISADORES
	Nº DE ANOS	PERÍODO DO	i:	mm/h	
1. Curitiba, PR.	31	1921/51	$i = \frac{99,154 \cdot F^{0,217}}{(t + 26)^{1,15}}$		Parigot de Souza (3)
2. Jardim Botânico RJ-GB.	33	1922/45 1949/55 1958/59	$i = \frac{1239 \cdot F^{0,15}}{(t + 20)^{0,74}}$		M.A. de Alcântara (4) e Aginaldo R. Lima
3. São Paulo (Área Metropolitana)	25	1935/60	$i = \frac{3462,7 \cdot F^{0,172}}{(t + 22)^{1,025}}$		Paulo Wilken (5)
4. São Paulo-SP.	37	1928/64	$i = \frac{42,23 \cdot F^{0,15}}{t^{0,822}}$		A. Garcia Occhipinti (6) e P. Marques dos Santos
5. Belo Horizonte, MG.	31	1938/69	$i = \frac{1447,87 \cdot F^{0,10}}{(t + 20)^{0,84}}$		Adir José de Freitas e Ana Amélia Carvalho de Sousa (7)

III - EQUIPAMENTOS E APARELHAGEM

3.0 MATERIAL DISPONIVEL

Para o nosso estudo, necessitávamos de dados de pluviografo da região de João Pessoa, sòmente disponíveis no Departamento Nacional de Meteorologia, no Rio de Janeiro, enviados pelo seu 5º Distrito.

Estes pluviogramas, que nos foram gentilmente remetidos, referem-se à Estação de 2ª Ordem de João Pessoa, no período de 1942 a 1954.

3.1 APARELHAGEM

Para a execução do trabalho utilizou-se o computador digital, IBM 1130, do Centro de Processamento de Dados da Escola Politécica da Universidade Federal da Paraíba.

IV - ESTUDO HIDROLÓGICO DAS CHUVAS INTENSAS - RESULTADOS

4.0 EXECUÇÃO DO TRABALHO

Com base nos 13 anos de observações pluviográficas da Estação de 2^a Ordem do Serviço de Meteorologia da cidade de João Pessoa, Estado da Paraíba, tornou-se possível a realização deste trabalho.

Dos pluviogramas analisados foram selecionados 48, referentes às mais intensas precipitações verificadas nesse período. Esta seleção foi feita partindo-se do princípio de que, na análise de projetos hidrológicos, somente os grandes aguaceiros interessam.

Para a análise dos pluviogramas foram computadas todas as alturas de chuvas notáveis, dispondo-se em planilhas convenientemente elaboradas, Modelo - IV-1, e selecionadas as precipitações mais intensas, foram calculadas as máximas intensidades médias para os intervalos de 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90 e 120 minutos.

4.10 CRITÉRIOS UTILIZADOS

4.11 - Foram consideradas "chuvas notáveis" as precipitações de valores iguais ou maiores que 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0 e 8.0 para as durações acima discriminadas, respectivamente. A unidade destas precipitações é em mm.

= 8-a =

REGISTROS DAS CHUVAS INTENSAS

BACIA _____ ESTAÇÃO _____ ALTITUDE _____ METROS
 PLUVIÓGRAFO MARCA "FUSS" TIPO "SIFÃO"
 ESCALAS GRAFICAS: 1.0 cm = 1.0 mm de chuva - 0.1 cm = 5 minutos
 OBSERVADOR Aluisio Vasconcelos

Modelo IV-1

DATA E HORA	INTER- VALO Δt	ALTURA PARA			INTER- VALO ACUM. Δt	PREC. ACUM. P/CADA Δt	OBSERVAÇÃO		
		PREC. ACUM.	CADA Δt	PREC. TOTAL					
		P	P	DIÁRIA					
ABRIL-49	min.	m.m	m.m	m.m	min.	m.m			
28-7.30		13.2							
7.35	5	15.2	2.0						
7.40	5	16.7	1.5						
7.50	10	17.1	0.4						
9.20	0	23.3	-						
9.25	5	24.8	1.5						
9.30	5	26.6	1.8						
9.35	5	27.9	1.3						
9.40	5	28.0	0.1						
9.45	5	32.2	4.2						
9.50	5	34.2	2.0						
10.00	5	37.7	3.5						
10.20	15	40.4	1.5						
10.40	20	41.7	1.3		125	45.3	Interpolação p/ 120 min=45.0 mm		
10.45	5	45.2	3.5		105	44.0			
10.50	5	49.3	4.1						
10.55	5	50.8	1.5						
11.00	5	51.2	0.4		90	34.9			
11.10	10	52.6	1.4						
11.25	15	53.2	0.6						
11.40	15	55.9	2.7		60	32.5			
11.45	5	63.1	7.2		5	7.2	máxima altura para a duração de 5 min		
11.50	5	69.4	6.3		10	13.5			
11.55	5	74.0	5.0		15	18.5			
12.00	5	77.2	3.2		20	21.7			
12.10	10	81.3	4.1		30	25.8			
12.25	15	85.3	4.0		45	29.8			
12.40	15	86.0	0.7						
13.10	30	89.5	3.5						
				106.7			FIM DE CHUVA - 14 h		
ALTURAS E INTENSIDADES MÁXIMAS PARA OS INTERVALOS DADOS									
TEMPO	5	10	15	20	30	45	60	90	120
ALTURA	7.2	13.5	18.5	21.7	25.8	29.8	32.5	34.9	45.0
INTENSID.	86.5	81.0	74.0	65.1	51.6	39.7	32.5	23.3	22.5

mm/hora

4.12 - No cálculo das chuvas intensas não se levou em consideração o instante inicial da precipitação.

4.13 - Na determinação dos pontos para definir a forma da curva "intensidade-duração", foram adotados pontos regularmente próximos para as baixas durações e pouco mais afastados para a região mediana da curva. No trecho final foram considerados pontos ainda mais afastados. Foram portanto, as durações assim distribuídas, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60 e 120 minutos.

4.14 - Temporais de duração menor que 120 minutos tiveram seu prolongamento conforme princípio das chuvas prolongadas de Sherman (9). Segundo este princípio, os temporais de pequena duração podem ser prolongados desde que, deste prolongamento resultem intensidades-durações suficientemente altas, comparadas às de outros temporais.

4.15 - No cálculo das máximas intensidades médias quando a chuva notável não era atingida, os intervalos computados sendo maiores que 5 minutos, muitas vezes impediam a determinação de um requerido tempo, neste caso adotava-se uma interpolação linear para o referido cálculo. O modelo IV-1, mostra um exemplo (um exemplo) para o cálculo da intensidade correspondente a 120 minutos.

Segundo-se estes critérios, foram organizados os Qua -

dros 4-A1 a 4-A9 que representam o cálculo da intensidade média, do desvio padrão, da medida de assimetria, do coeficiente de variação, além de apresentar a Probabilidade e o Intervalo de Recorrência.

4.2 - ESCOLHA DA SÉRIE

De posse das intensidades-durações, organizou-se as séries de dados. Como os projetos hidrológicos são geralmente governados pelas condições críticas, existem três processos que são mais utilizados:

- a) o das séries dos valores extremos incompletos;
- b) o das séries das durações parciais;
- c) o das séries completas

A primeira é constituída dos maiores valores (ou menores) da série, com cada valor selecionado de um intervalo de tempo igual ao número de registro. Este intervalo de tempo é geralmente tomado como o ano hidrológico. Se a seleção é feita para os maiores valores, a série é chamada de "série anual máxima". A segunda é formada pelos valores maiores que uma certa base, geralmente a moda.

4.3 - SÉRIE ADOTADA

Na determinação das equações "intensidade-duração-freqüência", as séries anuais máximas são particularmente as mais indicadas (12), daí porque foram aqui adotadas. Os Quadros -

QUADRO 4 - A1

CALCULO DA MEDIA DO DESVIO PADRAO, DA ASSIMETRIA, DO COEF.
 DE VARIACAO PARA AS INTENSIDADES PERIODO DE RETORNO
 - DURACOES DE 5 MINUTOS -

M	X	X - XM	(X-XM) ²	(X-XM) ³	P	TR
1	150.00	36.73	1349.71	49586.63	0.07	14.00
2	134.40	21.13	446.83	9445.45	0.14	7.00
3	126.00	12.73	162.26	2067.07	0.21	4.66
4	117.60	4.33	18.82	81.66	0.28	3.50
5	116.40	3.13	9.85	30.91	0.35	2.80
6	114.00	0.73	0.54	0.40	0.42	2.33
7	108.00	-5.26	27.68	-145.65	0.50	2.00
8	108.00	-5.26	27.68	-145.65	0.57	1.75
9	105.60	-7.66	58.69	-449.71	0.64	1.35
10	105.60	-7.66	58.69	-449.71	0.71	1.40
11	105.60	-7.66	58.69	-449.71	0.78	1.27
12	96.00	-17.26	297.95	-5143.21	0.85	1.16
13	85.20	-28.06	787.44	-22096.94	0.92	1.07
	-----	-----	-----	-----		
	1472.39	0.00	3304.90	32331.45		

= 10 - 8 =

XM= 113.26 DESVIO PADRAO= 10.94 VAR= 0.140 ASSM= 0.61

QUADRO 4 - A2

CALCULO DA MEDIA DO DESVIO PADRAO, DA ASSIMETRIA, DO COEF.
 DE VARIACAO PARA AS INTENSIDADES PERIODO DE RETORNO
 - DURACOES DE 10 MINUTOS -

M	X	X - XM	(X-XM) ²	(X-XM) ³	P	TR
1	113.40	28.27	799.58	22609.91	0.07	14.00
2	108.60	23.47	551.16	12939.76	0.14	7.00
3	96.00	10.87	118.30	1286.84	0.21	4.66
4	94.80	9.67	93.64	906.18	0.28	3.50
5	94.60	9.47	89.81	851.15	0.35	2.30
6	91.00	5.87	34.53	202.98	0.42	2.33
7	86.40	1.27	1.63	2.08	0.50	2.00
8	84.00	-1.12	1.26	-1.41	0.57	1.75
9	79.80	-5.32	28.33	-150.82	0.64	1.55
10	74.40	-10.72	114.98	-1232.96	0.71	1.40
11	70.80	-14.32	205.14	-2938.35	0.78	1.27
12	60.00	-25.12	631.16	-15856.79	0.85	1.16
13	52.80	-32.32	1044.77	-33770.37	0.92	1.07
	-----	-----	-----	-----		
	1106.59	0.00	3714.36	-15151.83		

= 10 - b =

XM= 85.12 DESVIO PADRAO= 16.90 VAR= 0.198 ASSM=-0.24

QUADRO 4 - A3

CALCULO DA MEDIA DO DESVIO PADRAO, DA ASSIMETRIA, DO COEF.
 DE VARIACAO PARA AS INTENSIDADES PERIODO DE RETORNO
 - DURACOES DE 15 MINUTOS -

M	X	X - XM	(X-XM) ²	(X-XM) ³	P	TR
1	94.20	19.81	392.65	7780.55	0.07	14.00
2	92.00	17.61	310.30	5466.12	0.14	7.00
3	87.20	12.81	164.23	2104.74	0.21	4.66
4	85.60	11.21	125.78	1410.74	0.28	3.50
5	82.60	8.41	70.81	595.97	0.35	2.80
6	79.60	5.21	27.20	141.86	0.42	2.33
7	74.00	-0.38	0.14	-0.05	0.50	2.00
8	68.80	-5.58	31.18	-174.16	0.57	1.75
9	66.00	-8.38	70.30	-589.44	0.64	1.55
10	60.80	-13.58	184.54	-2506.90	0.71	1.40
11	59.20	-15.18	230.57	-3501.12	0.78	1.27
12	58.40	-15.98	255.50	-4084.16	0.85	1.16
13	58.40	-15.98	255.50	-4084.16	0.92	1.07
	-----	-----	-----	-----		
	966.99	0.00	2118.75	2559.96		

= 10 - 0 =

XM= 74.38 DESVIO PADRAO= 12.76 VAR= 0.171 ASSM= 0.09

QUADRO 4 - A4

CALCULO DA MEDIA DO DESVIO PADRAO, DA ASSIMETRIA, DO COEF.
DE VARIACAO PARA AS INTENSIDADES

- DURACOES DE 20 MINUTOS -

PERIODO DE RETORNO

M	X	X - XM	(X-XM) ²	(X-XM) ³	P	TR
1	86.40	20.81	433.28	9018.95	0.07	14.00
2	81.00	15.41	237.63	3663.25	0.14	7.00
3	79.50	13.91	193.63	2694.57	0.21	4.66
4	78.90	13.31	177.30	2360.83	0.28	3.50
5	65.40	-0.18	0.03	-0.00	0.35	2.80
6	65.10	-0.48	0.23	-0.11	0.42	2.33
7	64.80	-0.78	0.61	-0.48	0.50	2.00
8	60.00	-5.58	31.18	-174.16	0.57	1.75
9	59.70	-5.88	34.62	-203.77	0.64	1.55
10	55.80	-9.78	95.73	-936.75	0.71	1.40
11	52.80	-12.78	163.44	-2089.57	0.78	1.27
12	51.90	-13.68	187.26	-2562.67	0.85	1.16
13	51.30	-14.28	204.04	-2914.75	0.92	1.07
	-----	-----	-----	-----		
	852.59	0.00	1759.05	8855.31		

10
-
P
=

XM= 65.58

DESVIO PADRAO= 11.63

VAR= 0.177

ASSM= 0.43

QUADRO 4 - A5

CALCULO DA MEDIA DO DESVIO PADRAO, DA ASSIMETRIA, DO COEF.
 DE VARIACAO PARA AS INTENSIDADES PERIODO DE RETORNO
 - DURACOES DE 30 MINUTOS -

M	X	X - XM	(X-XM) ²	(X-XM) ³	P	TR
1	70.20	15.66	245.28	3841.54	0.07	14.00
2	69.80	15.26	232.91	3554.65	0.14	7.00
3	68.40	13.86	192.14	2663.40	0.21	4.66
4	62.80	8.26	68.25	563.88	0.28	3.50
5	59.60	5.06	25.61	129.67	0.35	2.80
6	57.00	2.46	6.05	14.91	0.42	2.33
7	55.00	0.46	0.21	0.09	0.50	2.00
8	50.40	-4.13	17.12	-70.87	0.57	1.75
9	45.20	-9.33	87.20	-814.36	0.64	1.55
10	43.80	-10.73	115.31	-1238.28	0.71	1.40
11	42.40	-12.13	147.34	-1788.49	0.78	1.27
12	42.40	-12.13	147.34	-1788.49	0.85	1.16
13	42.00	-12.53	157.21	-1971.19	0.92	1.07
	----- 708.99	----- 0.00	----- 1442.02	----- 3096.46		

n = 10

XM= 54.53 DESVIO PADRAO= 10.53 VAR= 0.193 ASSM= 0.20

QUADRO 4 - A6

CALCULO DA MEDIA DO DESVIO PADRAO, DA ASSIMETRIA DO COEF.
 DE VARIACAO PARA AS INTENSIDADES PERIODO DE RETORNO
 - DURACOES DE 45 MINUTOS -

M	X	X - XM	(X-XM) ²	(X-XM) ³	P	TR
1	58.90	15.36	235.97	3624.98	0.07	14.00
2	54.60	11.06	122.35	1353.47	0.14	7.00
3	51.20	7.66	58.69	449.73	0.21	4.66
4	49.20	5.66	32.05	181.47	0.28	3.50
5	47.10	3.56	12.68	45.17	0.35	2.80
6	46.20	2.66	7.08	18.85	0.42	2.33
7	40.80	-2.73	7.49	-20.53	0.50	2.00
8	39.70	-3.83	14.73	-56.55	0.57	1.75
9	37.90	-5.63	31.79	-179.25	0.64	1.55
10	37.60	-5.93	35.26	-209.41	0.71	1.40
11	35.60	-7.93	63.01	-500.26	0.78	1.27
12	34.80	-8.73	76.36	-667.26	0.85	1.16
13	32.40	-11.13	124.06	-1381.88	0.92	1.07
	-----	-----	-----	-----		
	565.99	0.00	821.59	2658.50		

= 10 - f =

XM= 43.53 DESVIO PADRAO= 7.94 VAR= 0.182 ASSM= 0.40

QUADRO 4 - A7

CALCULO DA MEDIA DO DESVIO PADRAO, DA ASSIMETRIA, DO COEF.
 DE VARIACAO PARA AS INTENSIDADES PERIODO DE RETORNO
 - DURACOES DE 60 MINUTOS -

M	X	X - XM	(X-XM) ²	(X-XM) ³	P	TR
1	55.40	19.36	374.86	7258.05	0.07	14.00
2	48.70	12.66	160.31	2029.83	0.14	7.00
3	42.20	6.16	37.96	233.92	0.21	4.36
4	38.20	2.16	4.67	10.09	0.28	3.50
5	37.40	1.36	1.85	2.52	0.35	2.80
6	35.10	-0.93	0.88	-0.82	0.42	2.33
7	32.50	-3.53	12.52	-44.30	0.50	2.00
8	31.70	-4.33	18.82	-81.65	0.57	1.75
9	30.00	-6.03	36.46	-220.17	0.64	1.55
10	30.00	-6.03	36.46	-220.17	0.71	1.40
11	29.50	-6.53	42.75	-279.52	0.78	1.27
12	29.20	-6.83	46.76	-319.79	0.85	1.16
13	28.60	-7.43	55.33	-411.57	0.92	1.07
	-----	-----	-----	-----		
	468.49	0.00	829.66	7956.38		

= 10 - 8 =

XM= 36.03 DESVIO PADRAO= 7.98 VAR= 0.221 ASSM= 1.20

QUADRO 4 - A8

CALCULO DA MEDIA DO DESVIO PADRAO, DA ASSIMETRIA, DO COEF.
 DE VARIACAO PARA AS INTENSIDADES PERIODO DE RETORNO
 - DURACOES DE 90 MINUTOS -

M	X	X - XM	(X-XM) ²	(X-XM) ³	P	T _R
1	45.30	16.92	286.39	4846.61	0.07	14.00
2	38.90	10.52	110.73	1165.27	0.14	7.00
3	34.50	6.12	37.49	229.56	0.21	4.66
4	32.00	3.62	13.12	47.55	0.28	3.50
5	28.90	0.52	0.27	0.14	0.35	2.80
6	28.30	-0.07	0.00	-0.00	0.42	2.33
7	27.40	-0.97	0.95	-0.93	0.50	2.00
8	25.80	-2.57	6.64	-17.11	0.57	1.75
9	22.60	-5.77	33.37	-192.79	0.64	1.55
10	22.50	-5.87	34.53	-202.97	0.71	1.40
11	22.30	-6.07	36.92	-224.41	0.78	1.27
12	21.30	-7.07	50.08	-354.43	0.85	1.16
13	19.10	-9.27	86.06	-798.38	0.92	1.07
	-----	-----	-----	-----		
	368.89	0.00	696.60	4498.12		

= 10 - h =

XM= 28.37 DESVIO PADRAO= 7.32 VAR= 0.257 ASSM= 0.88

QUADRO 4 - A9

CALCULO DA MEDIA DO DESVIO PADRAO, DA ASSIMETRIA, DO COEF.
 DE VARIACAO PARA AS INTENSIDADES PERIODO DE RETORNO
 - DURACOES DE 120 MINUTOS -

M	X	X - XM	(X-XM) ²	(X-XM) ³	P	TR
1	44.00	19.97	399.07	7972.35	0.07	14.00
2	29.20	5.17	26.80	138.74	0.14	7.00
3	29.00	4.97	24.76	123.27	0.21	4.66
4	27.10	3.07	9.46	29.13	0.28	3.50
5	25.90	1.87	3.52	6.61	0.35	2.80
6	24.00	-0.02	0.00	-0.00	0.42	2.33
7	21.90	-2.12	4.50	-9.56	0.50	2.00
8	21.20	-2.82	7.96	-22.49	0.57	1.75
9	20.30	-3.72	13.86	-51.60	0.64	1.55
10	19.70	-4.32	18.68	-80.79	0.71	1.40
11	17.50	-6.52	42.55	-277.55	0.78	1.27
12	16.80	-7.22	52.17	-376.84	0.85	1.16
13	15.70	-8.32	69.27	-576.56	0.92	1.07
	-----	-----	-----	-----		
	312.29	0.00	672.66	6874.67		

= 10 - 1 =

XM= 24.02 DESVIO PADRAO= 7.19 VAR= 0.299 ASSM= 1.42

4-I e 4-II, apresentam as séries anuais máximas para as alturas de chuvas, enquanto que os quadros 4-J e 4-L, relacionam a série de valores das máximas intensidades médias anuais.

4.4 - DISTRIBUIÇÃO

A distribuição dos valores extremos de Gumbel (Apêndice III), é atualmente a mais aplicável nos estudos hidrológicos (11), baseados nisto, empregou-se esta distribuição para a série anual máxima das intensidades aqui estudadas.

4.5 - EXTRAPOLAÇÃO DOS INTERVALOS DE RECORRÊNCIA

Tendo-se em conta o número de anos de registro pluviográfico ser relativamente curto, foi extrapolado um Período de Retorno Médio máximo de 100 anos correspondente a aproximadamente 8 vezes o período de registro. Para evitar uma previsão estatística destituída de qualquer apóio científico, não é pretensão deste trabalho tornar válidos os resultados aqui obtidos, para altas frequências, tal como a frequência milenar, por exemplo, embora seja relativamente ampla a gama de confiança que se costuma dar na precisão dos estudos hidrológicos. Assim sendo, foram considerados os seguintes Intervalos de Recorrência: 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos.

4.6 - GUMBEL

Definidos os Intervalos de Recorrência, determinou-se para cada desses intervalos os valores das intensidades- dura-

Quadro 4-I

Data		Maidres alturas pluviométricas em João Pessoa (em mm)										
		Durações (em minutos)										
		5	10	15	20	30	45	60	90	120		
4-4-42	7.1	10.0	15.1	20.0	24.0	32.1	41.9	50.4	51.2			
2-5-42	8.8	15.8	23.8	28.8	34.9	36.9	37.4	38.7	40.7			
18-5-42	6.5	10.4	11.7	12.7	13.7	14.5	15.6	23.1	32.9			
30-6-42	5.4	8.9	11.5	12.3	14.0	21.5	23.3					
20-3-43	9.8	15.6	20.7	21.6	21.9	22.2	22.2"					
11-4-43	7.5	10.0	12.0	12.8	12.9	13.0	29.2	32.0	33.7			
15-4-43	6.5	9.3	11.9	15.6	18.8	26.1	22.1	32.4	38.0			
21-5-43	5.3	9.8	13.3	15.2	16.6	18.9	17.3					
20-4-44	8.8	9.0	11.8	14.8	16.3	16.9	55.4	67.9	83.9			
9-5-44	8.1	16.0	21.8	26.3	35.1	44.2						
26-6-44	5.0	9.6	11.6	16.6	19.3	22.8	24.6	24.6"				
21-03-45	5.8	8.8	12.8	15.8	21.7	24.4	25.1	25.2	25.9			
4-04-45	12.5	18.1	23.0	27.0	31.4	31.4"	31.4"	31.4"	31.4"			
3-06-45	7.5	13.0	17.0	19.1	25.5	31.0	35.1	41.1	54.2			
28-06-45	7.1	8.8	10.6	12.3	17.0	21.9	23.1	25.3	28.5			
03-01-46	7.6	12.4	14.6	18.6	21.2	24.3	30.0	33.8	35.0			
26-01-46	9.7	9.7"										
04-05-46	5.0	7.3	8.8	9.8	11.8	14.8	18.5	20.3	21.3			
22-04-47	7.2	11.7	15.4	19.8	23.5	34.7	38.2	42.5	42.5"			
02-05-47	10.5	14.0	17.2	19.9	21.6	25.2	25.2"	25.2"	25.2"			
07-05-47	6.2	10.9	12.9	14.0	16.0	22.9	25.1	25.5	28.9			
09-05-47	7.7	11.0	14.0	17.0	19.0	24.7	29.8	31.5	33.6			
17-12-47	5.0	7.4	9.4	13.8	15.3	24.3	27.6	28.3	30.3			

Quadro 4-II

Maiores alturas pluviométricas em João Pessoa (em mm)									
Data	Durações (em minutos)								
	5	10	15	20	30	45	60	90	120
26-03-48	7.8	11.8	14.8	17.6	17.6"	17.6"	17.6"		
30-03-48	8.0	8.4	9.7	9.7	9.8	15.5	16.4		
03-04-48	6.0	10.6	12.6	14.9	22.6	30.6	31.7	48.1	58.0
16-05-48	7.8	8.8	12.7	14.3	16.8	16.8	16.9	26.2	26.2"
02-01-49	7.8	9.0	10.0	10.2	12.8	13.2	15.8	24.8	30.5
28-04-49	7.2	13.5	18.5	21.7	25.8	29.8	32.5	34.9	45.0
27-11-49	5.5	7.1	7.1	8.9	9.9	12.1	18.1		
20-03-50	11.2	11.5	16.3	21.8	25.8	38.4	42.2	58.4	58.4"
04-04-50	7.0	9.5	12.0	13.5	18.7	23.2	28.3	37.2	46.5
22-04-50	7.0	13.3	16.5	21.7	27.5	30.9	30.9"	30.9"	30.9"
12-05-51	7.0	8.6	14.6	17.3	19.7	25.9	29.6	43.4	48.0
30-05-51	5.6	8.3	11.6	14.1	19.3	22.6	25.1	29.0	29.0"
14-06-51	6.4	9.6	12.6	15.4	21.0	23.7	23.7"		
27-12-51	9.0	10.0	11.0	13.5	13.5"	13.5"			
06-02-52	9.5	18.9	19.9	20.0	20.0"	20.0"	20.0"		
18-04-52	8.4	9.4	17.3	18.8	25.2	28.2	28.6	28.7	31.4
19-04-53	5.0	8.0	12.0	14.0	17.0	24.0	30.0	30.4	32.6
23-04-53	5.4	8.8	11.3	13.8	18.3	18.3	18.3"		
22-06-53	6.7	8.0	15.2	15.7	21.2	26.2	27.7	33.4	39.4
23-07-53	6.4	8.7	11.1	17.1	18.0	21.5	23.2	25.7	32.5
21-01-54	8.8	9.5	9.8	10.6	10.6"				
11-04-54	7.8	14.4	21.4	26.5	34.2	40.7	48.7	51.7	51.7"
12-05-54	5.0	8.1	10.7	12.7	16.4	21.6	24.3	31.3	31.5
31-05-54	5.0	8.2	10.7	15.7	20.4	27.5	35.0	44.0	53.6
02-09-54	5.4	7.9	10.9	13.4	17.4	23.8	27.3	33.9	44.7

= 11 - b =

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO DNM - EM JOÃO PESSOA - PARAÍBA

QUADRO 4-J

MAXIMAS INTENSIDADES MEDIAS ANUAIS EM(mm/h) P/ AS DIVERSAS							
DURAÇÕES	DURAÇÕES. (em minutos)						
	A N O S						
	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948
5	105.6	117.6	105.6	150.0	116.4	126.0	96.0
10	94.8	94.6	96.0	108.6	74.4	84.0	70.8
15	94.2	82.8	87.2	92.0	58.4	68.8	59.2
20	86.4	64.8	78.9	81.0	55.8	59.7	52.8
30	69.8	43.8	70.2	62.8	42.4	45.2	59.6
45	49.2	34.2	58.9	<u>47.1</u>	32.4	46.2	40.8
60	37.4	29.2	55.4	35.1	30.0	38.2	31.7
90	25.8	21.3	45.3	27.4	22.5	28.3	32.0
120	20.3	16.8	44.0	27.1	17.5	<u>21.2</u>	29.0

As intensidades sublinhadas foram obtidas pelo prolongamento da chuva, consoante o princípio das chuvas prolongadas de Sherman.

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO DNM - EM JOÃO PESSOA - PARAÍBA

QUADRO 4L

MÁXIMAS INTENSIDADES MÉDIAS ANUAIS EM(mm/h) P/ AS DIVERSAS							
DURAÇÕES	DURAÇÕES. (em minutos)						
	A N O S						
	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955
5	108.0	134.4	108.0	114.0	85.2	105.6	-
10	91.0	79.8	60.0	113.4	52.8	86.4	
15	74.0	66.0	58.4	79.6	60.8	85.6	
20	65.1	65.4	51.9	60.0	51.3	79.5	
30	59.6	55.0	42.0	50.4	42.4	68.4	
45	39.7	51.2	37.9	37.6	35.6	54.6	
60	32.5	42.2	29.5	28.6	30.0	48.7	
90	22.5	38.9	28.9	19.1	22.3	34.5	
120	21.9	<u>29.2</u>	24.0	15.7	19.7	<u>25.9</u>	

As intensidades sublinhadas foram obtidas pelo prolongamento das chuvas, consoante princípio das chuvas prolongadas de Sherman.

ções, aplicando-se na determinação o método Chow-Gumbel (14), tendo-se para isto elaborado o PROGRAMA 1 (Anexo).

Conforme descrição no Apêndice terceiro, o método de Chow-Gumbel fornece a função de frequências para intensidades máximas prováveis, como segue:

$$x = \bar{x} - k \cdot \sigma_x \quad (4.1)$$

Com os elementos dos Quadros 4-A1 e 4-A9, utilizando-se a média e o desvio padrão σ_x para as diversas durações; e com os valores de k calculados pelo ábaco de Weiss ou através da TABELA (3-1 - APÊNDICE III), tornou-se possível elaborar o quadro 4 - B que fornece as máximas intensidades médias prováveis, para os intervalos de recorrências desejados. Neste quadro figuram ainda a média \bar{x} , o coeficiente de variação, a medida da assimetria, o desvio padrão e as máximas intensidades observadas.

Com os valores do quadro 4-B, podiam-se traçar as curvas "Intensidade-duração". No entanto, para as aplicações práticas, é mais conveniente a utilização de uma fórmula que forneça diretamente o valor da máxima intensidade média provável, para qualquer duração e frequência. Procurou-se, portanto, determinar a equação de "Intensidade-Duração-Frequência", que tem como forma geral (cujos parâmetros foram descritos no capítulo II) a equação (4.2) seguinte.

QUADRO 4 - B

INTENSIDADES-DURACOES CALCULADAS PELO METODO DE CHOW - GUMBEL
PARA 2 5 10 15 20 25 50 E 100 ANOS DE PERIODO DE RETORNO

CAO MEDIA	DADOS ESTATISTICOS			INTENSIDADES MAXIMAS PROVAVEIS EM MM/H, COM INTERVALO DE RECORRENCIA DE								
	DESVIO	COEF VAR	ASSM	2ANOS	5ANOS	10ANOS	15ANOS	20ANOS	25ANOS	50ANOS	100ANOS	XMAX
113.26	15.94	0.14	0.61	111.66	128.90	141.13	147.82	152.64	156.29	167.55	178.71	150.00
85.12	16.90	0.19	-0.24	83.43	101.70	114.66	121.76	126.87	130.74	142.67	154.51	108.60
74.38	12.76	0.17	0.09	73.10	86.90	96.70	102.06	105.91	108.84	117.85	126.79	87.20
65.58	11.63	0.17	0.43	64.42	76.99	85.91	90.80	94.31	96.98	105.19	113.33	78.90
54.53	10.53	0.19	0.20	53.48	64.87	72.94	77.37	80.55	82.96	90.40	97.77	59.60
43.53	7.94	0.18	0.40	42.74	51.33	57.43	60.77	63.17	64.99	70.60	76.17	46.20
36.03	7.98	0.22	1.20	35.23	43.87	50.00	53.35	55.77	57.60	63.24	68.83	32.50
28.37	7.32	0.25	0.88	27.64	35.55	41.17	44.24	46.45	48.13	53.30	58.42	25.80
24.02	7.19	0.29	1.42	23.30	31.07	36.59	39.61	41.79	43.43	48.51	53.55	20.30

$$i = \frac{K.F^m}{(t + B)^n} \quad (4.2)$$

4.7 - SÉRIE DE EQUAÇÕES

Muitas vezes, dada a impossibilidade de se conseguir uma fórmula capaz de englobar as três variáveis, contenta-se com uma série de equações, com cada uma delas aplicáveis a uma determinada frequência. Esta série de equações é do tipo (4.3) abaixo:

$$i = \frac{a}{(t + B)^n} \quad (4.3)$$

Comparando estas duas últimas equações, conclui-se que "a" pode ser expresso como função da Frequência

$$a = K.F^m \quad (4.4)$$

4.8 - PROCESSO

Para se chegar a equação (4.2), buscou-se inicialmente, para cada intervalo de recorrência, a fórmula do tipo (4.3) e, posteriormente, a correspondente função de frequência $a = f(F)$, conforme procedimento abaixo:

Aplicando-se logaritmo à equação (4.3), vem,

$$\log i = \log a + n \log (t + B) \quad (4.5)$$

que representa a equação de uma reta do tipo $Y = m X + b$ em que,

$m = n$	- coeficiente angular
$b = \log a$	- parâmetro linear
B	- valor constante
$Y = \log i$	- variável real dependente
$X = (t + B)$	- variável real independente

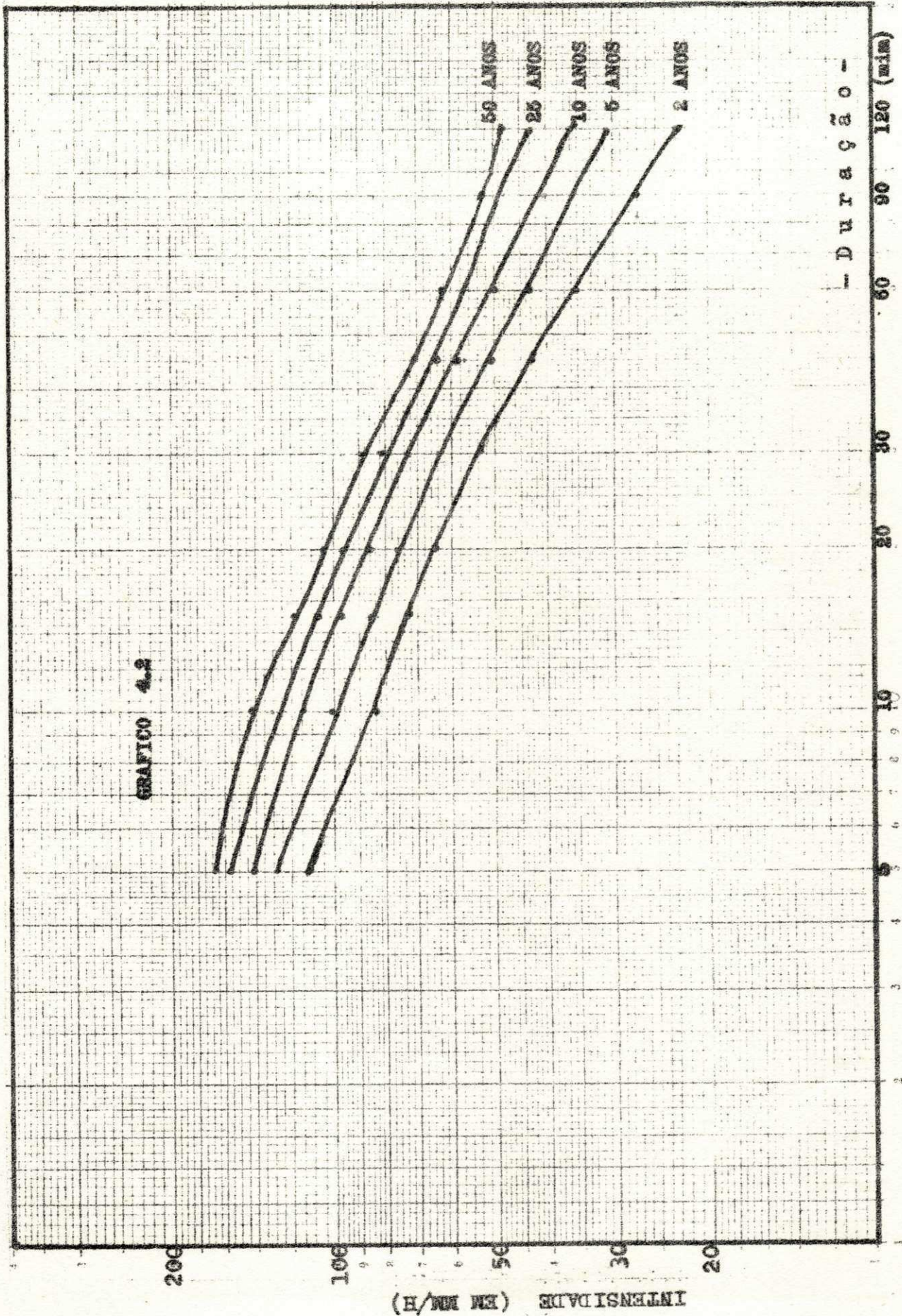
Para cada frequência e os valores correspondentes encontrados no Quadro 4-B, traçou-se os gráficos 4-2. Observando estes gráficos, notam-se que as curvas se apresentam praticamente paralelas. Baseados nisto, procurou-se determinar o valor B que anamorfoseasse uma destas curvas, numa reta de declividade " n " ajustada à equação (4.5). Utilizando-se o método dos mínimos quadrados (21) e a curva de frequência quinzenal, encontrou-se no ajustamento os valores:(QUADRO 4C1).

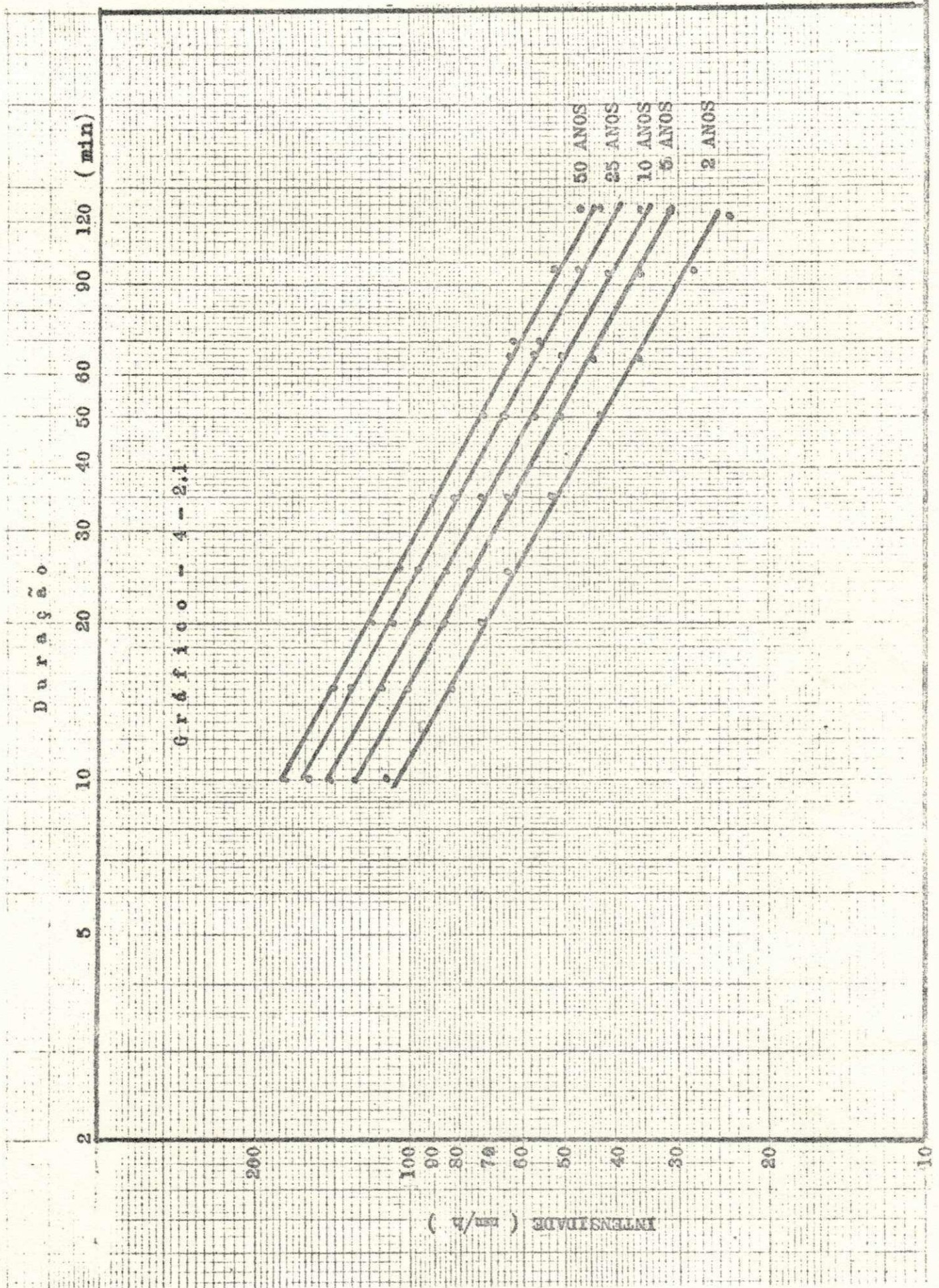
$$B = 5 \text{ minutos e } n = 0,568 \quad \text{Quadro 4-C6(Apêndice-IV)}$$

Determinados B e n , estes valores foram fixados para as outras curvas, tornando-se assim estas curvas, em retas paralelas, anamorfoseadas do valor B . (Gráfico 4-2.1). No entanto, como para estes valores os desvios quadráticos em relação à média, apresentaram-se relativamente grandes, pôde-se reduzi-los variando o valor do parâmetro linear " $\log a$ ", determinando para cada frequência o valor de " a ", como segue .

4.9 - DETERMINAÇÃO DE " a "

Sejam x_c os valores das máximas intensidades calculadas e x_o os valores observados. Para uma dada frequência $a = \text{cons}$





= 15 =

tante e, portanto, x_c será uma função somente do tempo t , dada por

$$x_c = \frac{a}{(t+B)^n} \quad (4.6)$$

De acordo com a equação (2.a), o Desvio Padrão será

$$\sigma_x = \frac{\sum (x_c - x_o)^2}{N} \quad (4.7)$$

que terá seu valor minimizado quando $\frac{\partial \sigma}{\partial t} = 0$, ou simplesmente:

$$\frac{\partial \sum}{\partial t} (x_c - x_o)^2 = 0 \quad (4.8)$$

ou

$$\frac{\partial \sum}{\partial t} \left(\frac{a}{(t+B)^n} - x_o \right)^2 = 0 \quad (4.9)$$

$$\sum 2 \left(\frac{a}{(t+B)^n} - x_o \right) \left(\frac{-an}{(t+B)^{n+1}} \right) = 0 \quad (4.10)$$

$$2an \sum \left(\frac{x_o}{(t+B)^{n+1}} - \frac{a}{(t+B)^{2n+1}} \right) = 0 \quad (4.11)$$

$$\sum \frac{x_o}{(t+B)^{n+1}} = \sum \frac{a}{(t+B)^{2n+1}} \quad (4.12)$$

$$a = \frac{\sum \frac{x_o}{(t+B)^{n+1}}}{\sum \frac{1}{(t+B)^{2n+1}}}$$

Para cada intervalo de recorrência, foram obtidos os valores a , constantes no Quadro 4 - D.

QUADRO 4 - D

F (ANOS)	a	n	B
2	404,207	0,568	5
5	477,385	0,568	5
10	528,278	0,568	5
15	556,465	0,568	5
20	576,750	0,568	5
25	592,127	0,568	5

Da equação (4 + 4) $a = K.F^m$, aplicando-se o método dos mínimos quadrados, foi determinado o valor de cada parâmetro K e m , conforme PROGRAMA 2 (Apêndice) que resolve o sistema:

$$\sum \log a = 6 \cdot \log K + m \sum \log F \quad (4.14)$$

$$\sum \log a \cdot \log F = \log K \cdot \sum \log F + m \sum \log^2 F \quad (4.15)$$

para os valores do Quadro acima, obteve-se como resultados os valores:

$$\begin{aligned} K &= 369.409 \\ m &= 0.150 \end{aligned} \quad \begin{array}{l} \text{Quadro (4-C6)} \\ \end{array} \quad (4.16)$$

Portanto a equação procurada será, finalmente:

$$i = \frac{369.409 \times F^{0.15}}{(t + 5)^{0.568}} \quad (4.17)$$

que representa a equação de "intensidade-duração-frequência", para a cidade de João Pessoa.

V - ANÁLISE COMPARATIVA

5.0 CONSIDERAÇÕES GERAIS

No capítulo precedente foi obtida a equação da "intensidade-duração-frequência", da cidade de João Pessoa. Agora, será feita uma análise comparativa entre os resultados desta equação e outros existentes.

5.1 - ANÁLISE

Outra análise pode ser feita entre este trabalho e o trabalho do Eng^o OTTO PFAFSTETTER, até então único existente sobre o assunto na área urbana da cidade Tabajarina. Neste Capítulo, está anexo o gráfico 5.0, retirado do livro "Chuvas Intensas no Brasil (1)", que apresenta gráficos das máximas precipitações em função do tempo de recorrência, para as durações de 5, 15, 30, 60 e 120 minutos. A partir destes gráficos foram calculadas as intensidades máximas prováveis para os intervalos de recorrências de 5, 10, 25 e 50 anos, com o fim de efetuar a comparação. A Tabela 5 - A, apresenta os resultados assim obtidos.

Da citada tabela, pode-se concluir que o trabalho de PFAFSTETTER, apesar de proceder de um estudo menos acurado, apresenta para algumas frequências e durações, boa consonância com a equação determinada. A fórmula encontrada dá, quantitativamente, um resultado mais avançado e, doravante, será apre

= 18 =

sentada definitivamente como a equação das CHUVAS INTENSAS para as áreas rural e urbana de João Pessoa:

$$i = \frac{369.4 \times F^{0.15}}{(t + 5)^{0.568}} \quad (5.1)$$

Onde:

F = Frequência desejada (em anos)

t = Duração (em min)

i = intensidade procurada (em mm/h)

01 = 18 - a =

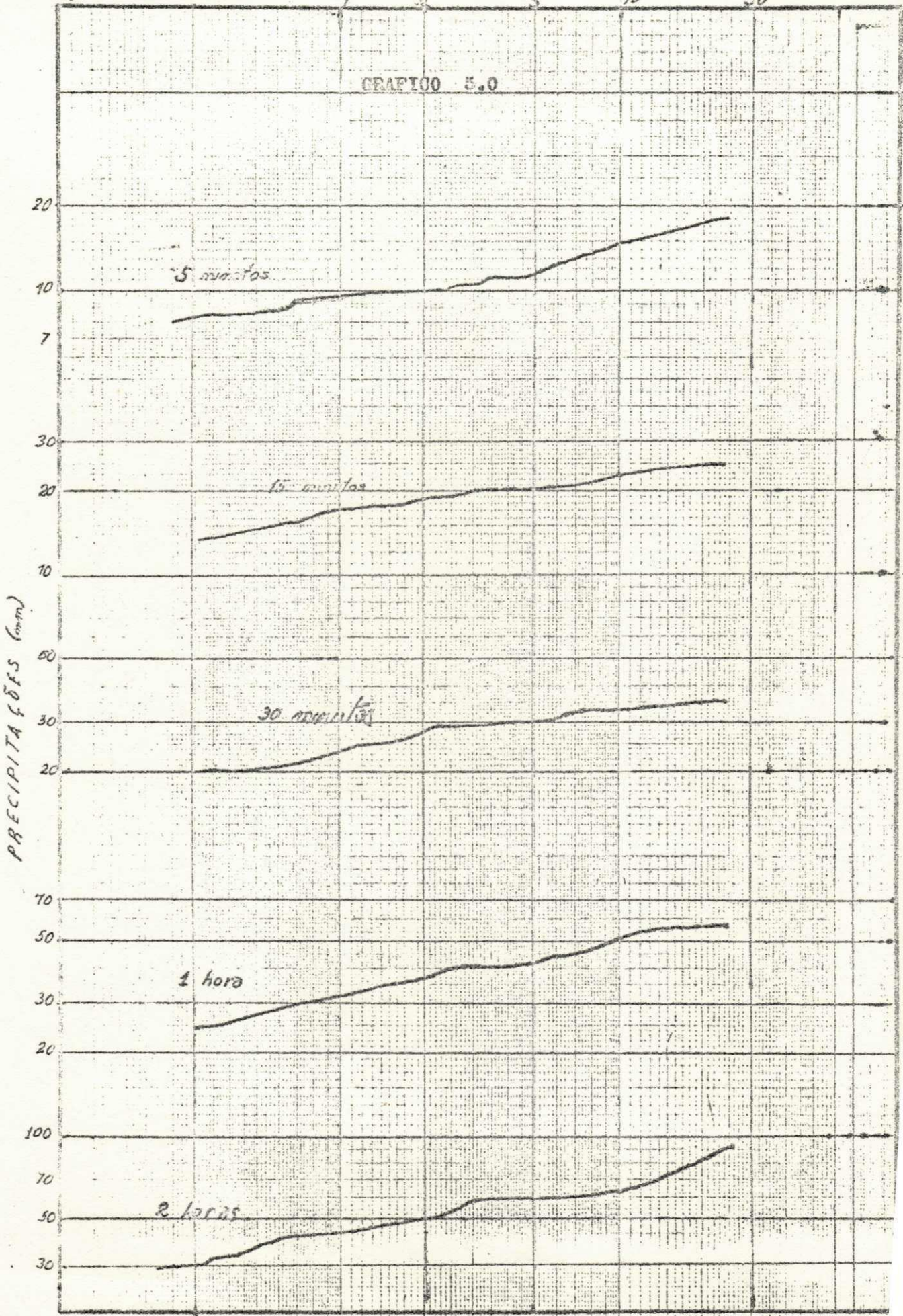
40 - JOÃO PESSOA - Paraíba

10

50

100

GRAFICO 5.0



QUADRO 5 - A

DURAÇÕES	2 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		25 ANOS		50 ANOS	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
5	120.0	110.8	134.0	127.1	180.0	141.1	204.0	161.8	216.0	179.6
15	76.0	74.7	80.0	85.7	92.0	95.1	96.0	109.1	104.0	121.1
30	56.0	54.3	60.0	62.3	67.0	69.2	70.0	79.4	72.0	88.1
60	37.0	38.7	43.0	43.8	50.0	48.6	56.0	55.8	60.0	62.0
120	25.0	26.3	30.0	30.2	32.0	39.2	35.0	38.5	50.0	42.7

= 18 - b =

OS VALORES DA COLUNA:

A = Foram calculados utilizando-se os gráficos de OTTO PFAFSTETTER

B = Foram calculados através da equação "intensidade-duração-frequência" de João Pessoa.

QUADRO 4 - F1
ERROS PADRAO DE ESTIMATIVA DA EQUACAO INTENSIDADE-DURACAO-FREQUENCIA

5 ANOS			2 ANOS			10 ANOS			15 ANOS		
I	I'	(I-I') ²	I	I'	(I-I') ²	I	I'	(I-I') ²	I	I'	(I-I') ²
127.122	128.900	3.158	110.780	111.660	0.774	141.068	141.130	0.003	149.925	147.820	4.434
100.962	101.700	0.544	87.982	83.430	20.726	112.038	114.660	6.873	119.072	121.760	7.222
85.735	86.900	1.355	74.713	73.100	2.603	95.141	96.700	2.429	101.114	102.060	0.893
75.525	76.990	2.145	65.815	64.420	1.948	83.810	85.910	4.406	89.072	90.800	2.983
62.381	64.870	6.193	54.361	53.480	0.777	69.224	72.940	13.802	73.571	77.370	14.432
50.936	51.330	0.154	44.388	42.740	2.716	56.524	57.430	0.819	60.073	60.770	0.485
43.881	43.870	0.000	38.240	35.230	9.061	48.695	50.000	1.701	51.752	53.350	2.550
35.369	35.550	0.032	30.822	27.640	10.127	39.249	41.170	3.687	41.713	44.240	6.381
30.262	31.070	0.652	26.371	23.300	9.435	33.582	36.590	9.047	35.690	39.610	15.362

DESVIO PADRAO= 1.25

DESVIO PADRAO= 2.54

DESVIO PADRAO= 2.18

DESVIO PADRAO= 2.46

= 18 - 0 =

QUADRO 4 - F2
ERROS PADRAO DE ESTIMATIVA DA EQUACAO INTENSIDADE-DURACAO-FREQUENCIA

20 ANOS			25 ANOS			50 ANOS			100 ANOS		
I	I'	(I-I') ²	I	I'	(I-I') ²	I	I'	(I-I') ²	I	I'	(I-I') ²
6.544	152.640	15.248	161.879	156.290	31.246	179.639	167.550	146.145	199.346	178.710	425.870
4.329	126.870	6.453	128.566	130.740	4.723	142.671	142.670	0.000	158.323	154.510	14.539
15.578	105.910	0.109	109.177	108.840	0.113	121.154	117.850	10.919	134.445	126.790	58.611
73.005	94.310	1.702	96.174	96.980	0.648	106.725	105.190	2.358	118.434	113.330	26.054
76.819	80.550	13.918	79.437	82.960	12.410	88.151	90.400	5.053	97.822	97.770	0.002
52.725	63.170	0.197	64.863	64.990	0.016	71.979	70.600	1.902	79.875	76.170	13.734
54.037	55.770	3.000	55.879	57.600	2.960	62.009	63.240	1.513	68.812	68.830	0.000
43.555	46.450	8.377	45.039	48.130	9.549	49.981	53.300	11.015	55.464	58.420	8.736
37.266	41.790	20.464	38.536	43.430	23.949	42.763	48.510	33.018	47.455	53.550	37.145

DESVIO PADRAO= 2.77

DESVIO PADRAO= 3.08

DESVIO PADRAO= 4.85

DESVIO PADRAO= 8.06

= 18 - p =

VI - CONCLUSÃO

6.0 UTILIZAÇÃO DOS RESULTADOS

Quando se deseja conhecer a máxima intensidade média provável, em João Pessoa, para uma duração e frequência desejados, é suficiente substituir os valores "t" e "F" correspondentes, na equação (5.1) ou usar o gráfico (6.0), podendo-se ainda utilizar diretamente os valores "I", tabelados no quadro VI. Há a possibilidade de se utilizar ainda o ábaco (6.1), construído especialmente para a solução da equação (5.1).

Não é aconselhável a utilização desta fórmula para um período de retorno superior a 100 anos. Também não é válida para uma duração maior que duas horas.

O Apêndice I, fornece uma tabela que dá ao projetista uma sugestão para a escolha do Tempo de Recorrência (Frequência) a ser adotado no projeto, função da vida útil da estrutura. Está bem claro que a tabela expressa a porcentagem de risco de ocorrência de uma dada precipitação, uma vez, para o período de retorno considerado. O que equivale dizer que, para altas probabilidades, haverá quase certeza de que essa precipitação ocorra.

6.1 - EXECUÇÃO DE PROJETOS

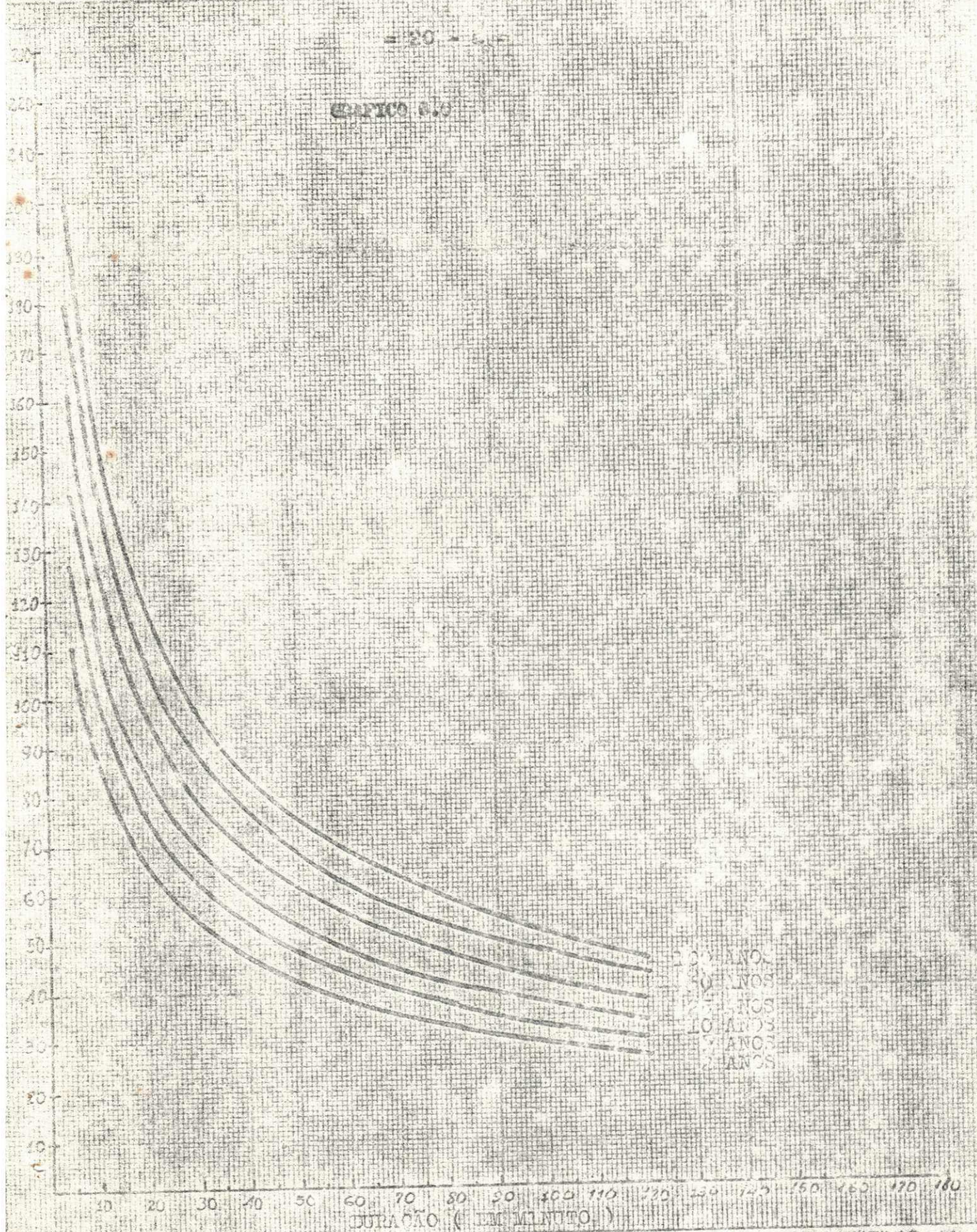
Portanto, a execução do projeto de acordo com a importância da obra deve ser feita para as baixas probabilidades de

ocorrências.

Nos projetos de galerias pluviais, adotando-se por exemplo uma duração de 15 min. para frequência de 10 anos e uma probabilidade de 50% de ocorrência, haverá 50% de chance de ocorrer uma precipitação, cuja intensidade é de 95.17 mm/h, uma vez cada 6,6 anos de acordo com a tabela 1, Apêndice I.

Nas unidades práticas para dimensionamento, isto representa 257,948 l/s/ha.

GRÁFICO 10



QUADRO VI

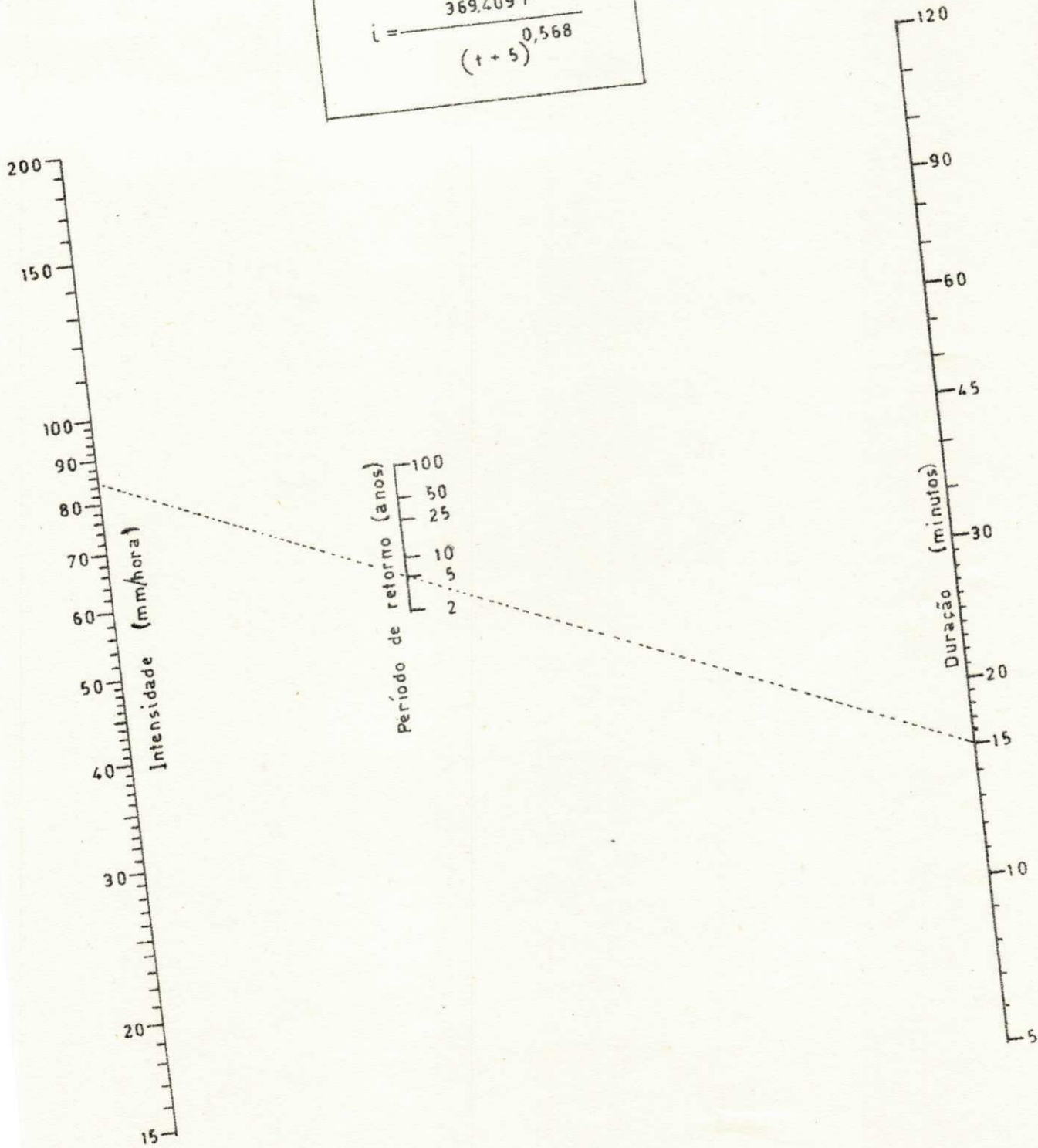
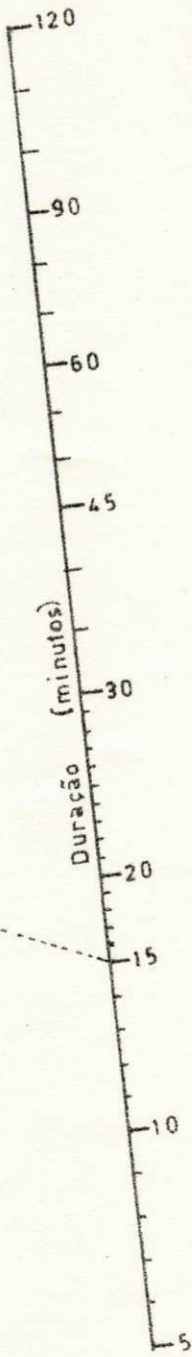
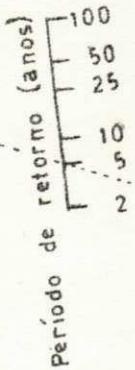
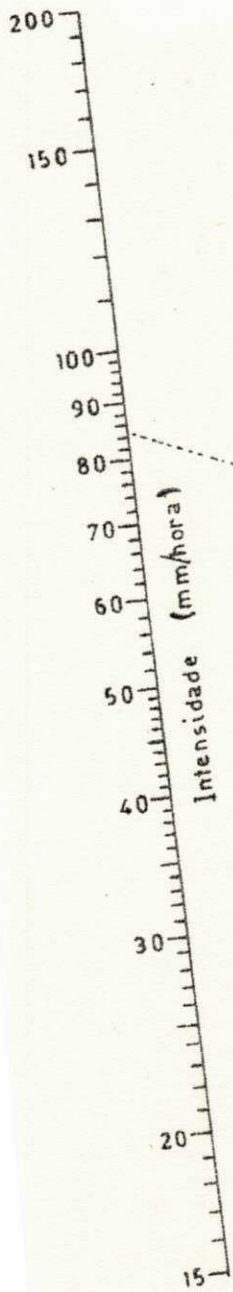
DURACAO	INTENSIDADES (EM MM/H) PARA INTERVALOS DE RECORRENCIA EM ANOS							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5	110.83	127.16	141.09	149.94	156.55	161.88	179.61	199.30
10	88.03	101.00	112.06	119.09	124.34	128.58	142.67	158.30
15	74.76	85.77	95.17	101.14	105.60	109.19	121.16	134.43
20	65.86	75.56	83.84	89.10	93.03	96.19	106.73	118.43
25	59.38	68.13	75.59	80.33	83.87	86.73	96.23	106.78
30	54.40	62.41	69.25	73.60	76.84	79.46	88.17	97.83
35	50.43	57.86	64.20	68.22	71.23	73.65	81.73	90.68
40	47.16	54.11	60.04	63.81	66.62	68.89	76.44	84.81
45	44.42	50.97	56.55	60.10	62.75	64.89	72.00	79.89
50	42.08	48.28	53.57	56.93	59.44	61.47	68.20	75.68
60	38.27	43.91	48.72	51.78	54.06	55.90	62.03	68.82
90	30.85	35.40	39.27	41.74	43.58	45.06	50.00	55.48
100	29.14	33.44	37.10	39.43	41.17	42.57	47.24	52.41
120	26.40	30.29	33.60	35.71	37.29	38.56	42.78	47.47

= 20 - p =

6-1
= 20 - c =

ÁBACO PARA SOLUÇÃO DA
EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS EM
JOÃO PESSOA

$$i = \frac{369,409 F^{0,15}}{(t + 5)^{0,568}}$$



APENDICE I

PARAMETROS ESTATÍSTICOS

Introdução

Neste APENDICE, serão dadas algumas definições estatísticas que serviram de apoio básico aos estudos estatísticos (7) deste trabalho.

1-a - Média Aritmética - Definida como a relação entre a soma dos eventos aliatórios (X_1, X_2, \dots, X_n), pelo número destes eventos:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N} \quad (1.a)$$

2-a - Desvio Padrão - Dá uma indicação da dispersão dos pontos em torno da média. A sua representação matemática é:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N}} \quad (2.a)$$

3-a - Coef. de Variação - É uma característica adimensional da distribuição de frequências dando indicação da dispersão dos valores, em torno da média.

$$C.V = \frac{\frac{\sigma_x}{\bar{X}}}{\bar{X}} \quad (3.a)$$

4-a - Medida de Assimetria - Este coeficiente fornece a medida de assimetria da distribuição de frequência das inten

sidades observadas.

$$C.A = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^3}{N \sigma_x^3}} \quad (4.a)$$

5-a - Moda - É o valor da variável que ocorre com maior frequência representada simplesmente por X_f (11)

6-a - Tempo de recorrência - Na previsão das chuvas intensas o Tempo de Recorrência corresponde ao número médio de anos em que uma dada precipitação será igualada ou excedida. Segundo Chow (11) a fórmula de WEIBULL, como se apresenta abaixo, é teóricamente a mais adequada para o cálculo do intervalo de recorrência, quando se usa a série anual máxima.

$$T_r = \frac{N + 1}{m} \quad (6.a)$$

onde N é o número de anos de registro e m o número de ordem dos eventos, dispostos em ordem decrescentes.

A definição (6.a) supõe que no futuro as condições meteorológicas no posto em estudo, durante o período de observação, mantem-se a mesma. Portanto, a precipitação de dada duração e o Tempo de Recorrência T , terá probabilidade máxima de ser igualada ou excedida $N + 1/T$ vezes em N anos.

Isto não significa que as precipitações de tempo de recorrência T vão ocorrer em intervalos regulares de T anos. É possível, embora pouco provável, que precipitações de tempo

de recorrência muito grande, ocorram duas vezes seguidas num espaço de tempo relativamente curto. Uma precipitação de tempo de recorrência muito longo pode ocorrer qualquer época, independente da extensão e do início do período considerado.

Para valores da relação N/T superiores a 5 a diferença entre os tempos de recorrência previstos e os observados é praticamente desprezível.

Portanto, se se desejar projetar uma estrutura para a qual não ocorra, durante a sua vida útil, precipitações de uma determinada intensidade se faz necessário usar um período de retorno maior que a vida estimada.

A probabilidade P de uma precipitação com tempo de recorrência T ser igualado ou excedido em um ano qualquer é dado por:

$$P = 1/T \quad (1-A1)$$

A probabilidade J de uma precipitação com tempo de recorrência T ser igualada ou excedida uma vez, num número qualquer de anos " n " será dada por:

$$J = 1 - (1 - 1/T)^n \quad (1-A2)$$

A tabela 1 mostra estes valores calculados para diferentes tempos de recorrência.

Exemplo:

Desejando-se projetar uma estrutura com 10 anos de vida útil, por exemplo, é que durante esta vida a estrutura corra

= 24 =

o risco de 50% de ser submetida, uma vez, a uma dada precipitação, pode-se projetá-la para um tempo de recorrência T de 15 anos. No entanto, querendo-se reduzir esta probabilidade, para 20% por exemplo, deve-se projetá-la para um período de retorno de 50 anos.

TABELA - 1

RISCO DE OCORRÊNCIA	PERÍODO DE RETORNO							
	2 Anos	5 Anos	10 Anos	15 Anos	20 Anos	25 Anos	50 Anos	100 Anos
0.01	0.	0.	0.1	0.1	0.2	0.2	0.5	1
0.10	0.1	0.5	1	1.5	2	2.6	5.2	10.5
0.20	0.3	1	2.1	3.2	4.3	5.5	11.0	22.2
0.25	0.4	1.3	2.7	4.2	5.6	7	14.2	28.6
0.30	0.5	1.6	3.4	5.2	6.9	8.7	17.6	35.5
0.50	1.0	3.1	6.6	10	13.5	17	34.3	69
0.75	2	6.2	13.1	20.1	27	33.9	68.6	137.9
0.99	6.6	20.6	20.6	66.7	89.8	112.8	227.9	458.2

VIDA ESPERADA PARA O PROJETO (EM ANOS)

APENDICE II

EMPREGO DO PROGRAMA I

Notação:

INT() = Intensidades observadas
IM () = Intensidade Média
N = Período de Observações
K () = Fator de Frequência
X () = Intensidade Calculada Pelo Método Chow-Gumbel
NANOS() = Anos escolhidos para Intervalos de Recorrência
NDUR () = Durações
XMAX () = Máximas Intensidades Observadas
P,T = Probabilidade e Período de Retorno
DESV(), VAR (), ASSM () = Parâmetros Estatísticos

SÍNTESE

Este programa ordena as intensidades observadas, para as diversas durações, na ordem decrescente de seus valores e calcula:

- 1) Probabilidade e Período de Retorno destas intensidades
- 2) As máximas intensidades médias prováveis, segundo Chow-Gumbel
- 3) Os parâmetros estatísticos necessários à análise da Distribuição e,
- 4) Traça os gráficos para as intensidades calculadas por Gumbel.

ENTRADAS DE DADOS

INPUT :

- 1) Intensidade INT (), lidas no FORMAT 5
- 2) Fator de Frequência K (), lidos no FORMAT 59
- 3) Durações NDUR (), FORMAT 49
- 4) Número de Anos dos Intervalos de Recorrência NANOS(),
FORMAT 58 e,
- 5) Período de Observação N.

As Intensidades devem ser lidas em (mm/h) e as durações em minutos.

= 27 =

PAGE 1

PROGRAMA 1

// JOB T

LOG DRIVE CART SPEC CART AVAIL PHY DRIVE
0000 1115 1115 0000

V2 M10 ACTUAL 16K CONFIG 16K

// FOR

*IOCS(1132PRINTER,CARD,PLOTTER)

*LIST SOURCE PROGRAM

REAL INT(14),IM(14),K(8)

DIMENSION DESV(9),VAR(9),ASSM(9),X(9),NDUR(9),XMAX(9),A(9,8)

X,P(13),T(13),NANOS(8)

N=13

J=0

NN=0

READ(2,49)(NDUR(I),I=1,9)

49 FORMAT(9I3)

READ(2,58)(NANOS(I),I=1,8)

58 FORMAT(8I3)

READ(2,59)(K(L),L=1,8)

59 FORMAT(8F6.3)

1 READ(2,5)(INT(I),I=1,N)

5 FORMAT(14F5.1)

J=J+1

SOMA=0.

10 KK=0

DO 12 I=2,N

IF(INT(I-1)-INT(I))11,12,12

11 TEMP=INT(I)

INT(I)=INT(I-1)

INT(I-1)=TEMP

KK=1

12 CONTINUE

IF(KK)10,25,10

25 DO 13 I=1,N

13 SOMA=SOMA+INT(I)

SOMD=0.

SOMD2=0.

SOMD3=0.

IM(J)=SOMA/N

WRITE(3,60) J

60 FORMAT('1',30X,'QUADRO 4 - A',I1,')

WRITE(3,50)NDUR(J)

DO 200 M=1,N

D=INT(M)-IM(J)

D2=D**2

D3=D*D2

SOMD=SOMD+D

SOMD2=SOMD2+D2

SOMD3=SOMD3+D3

C ... CALCULO DO PERIODO DE RETORNO

T(M)=FLOAT(N+1)/M

P(M)=1./T(M)

WRITE(3,30)M,INT(M),D,D2,D3,P(M),T(M)

30 FORMAT(I3,6F13.2)

200 CONTINUE


```

WRITE(3,70)SOMA,SOMD,SOMD2,SOMD3
70 FORMAT(7X,'-----',5X,'-----',5X,'-----',3X,'-----'
1,/,3X,4F13.2)
DESV(J)=SQRT(SOMD2/N)
VAR(J)=DESV(J)/IM(J)
ASSM(J)=SOMD3/(N*DESV(J)**3)
WRITE(3,40)IM(J),DESV(J),VAR(J),ASSM(J)
40 FORMAT(///,1X,'XM=',F7.2,5X,'DESVIO PADRAO=',F6.2,5X,'VAR=',F6.3,5
XX,'ASSM=',F5.2)
50 FORMAT(2X,'CALCULO DA MEDIA DO DESVIO PADRAO, DA ASSIMETRIA, DO
2COEF.',/,2X,'DE VARIACAO PARA AS INTENSI
3DADES',/,18X,' - DURACOES DE',I4,' MINUTOS - ',16X,'PERIODO DE RET
YORNO',///,2X,'M',8X,' X ', 8X,' X - XM'6X,'(X-XM)2',6X,'(X-XM)3',
110X,'P',12X,'TP')
XMAX(J)=INT(J)
IF(NN-7)33,33,44
33 NN=NN+1
GO TO 1
44 WRITE(3,43)
43 FORMAT('I',30X,'QUADRO 4 - B',/)
WRITE(3,48)
48 FORMAT(20X,'INTENSIDADES-DURACOES CALCULADAS PELO METODO DE CHOW -
1 GUMBEL',/,20X,'PARA 2 5 10 15 20 25 50 E 100 ANOS DE PERIODO DE
2 RETORNO',///,20X,'DADOS ESTATISTICOS',7X,'INTENSIDADES MAXIMAS PRO
47AVEIS EM MM/H,COM INTERVALO DE RECORRENCIA DE',/,1X,'DURACAO',1X,
5'MEDIA',4X,'DESVIO',2X,'COEF VAR',3X,'ASSM',4X,'2ANOS 5ANOS 1
60ANOS 15ANOS 20ANOS 25ANOS 50ANOS 100ANOS',2X,'XMAX')
DO 1001 I=1,9
DO 1000 J=1,8
X(J)=IM(I)+K(J)*DESV(I)
1000 A(I,J) = X(J)
1001 WRITE(3,1002)NDUR(I),IM(I),DESV(I),VAR(I),ASSM(I),(X(J),J=1,8),
7XMAX(I)
1002 FORMAT(2X,I3,8F9.2,1X,5F8.2)
C ... TRACADO DAS CURVAS 'INTENSIDADE-DURACAO'
CALL SCALF(6./120.,8./180.,0.0,0.0)
DO 14 I=1,9
DUR = FLOAT(NDUR(I))
CALL FPLLOT(2,DUR,0.0)
CALL FPLLOT(2,DUR,1.0)
CALL FPLLOT(2,DUR,-1.0)
14 CALL FPLLOT(2,DUR,0.0)
DO 19 I=1,9
II = 10-I
CALL FCHAR(NDUR(II)-24./9.,-3.5,0.07,0.07,0.0)
WRITE(7,16) NDUR(II)
16 FORMAT(I3)
IF (I-4) 19,17,19
17 CALL FCHAR(30.0,-7.5,0.10,0.10,0.0)
WRITE(7,18)
18 FORMAT('DURACAO T (EM MIN)')
19 CONTINUE
CALL FGRID(1,0.0,0.0,10.,18)
DO 23 I=1,18
II = 190-I*10
CALL FCHAR(-2.0,II-3.0,0.1,0.1,1.57)
WRITE(7,20) II

```

PAGE 3

```
20  FORMAT(I3)
    IF (I-15) 23,21,23
21  CALL FCHAR(-7.0,30.0,0.1,0.1,1.57)
    WRITE(7,22)
22  FORMAT('INTENSIDADE I (EM MM/H)')
23  CONTINUE
    DO 26 J=1,8
    CALL FPLLOT(1,FLOAT(NDUR(I)),A(I,J))
    DO 24 I=2,9
24  CALL FPLLOT(2,FLOAT(NDUR(I)),A(I,J))
    CALL FCHAR(121.0,A(9,J)-0.7,0.07,0.07,0.0)
26  WRITE(7,27) NANOS(J)
    CALL FPLLOT(1,0.0,0.0)
27  FORMAT(I3)
    CALL EXIT
    END
```

FEATURES SUPPORTED
IOCS

CORE REQUIREMENTS FOR
COMMON 0 VARIABLES 436 PROGRAM 1454

END OF COMPILATION

// XEQ

EMPREGO DO PROGRAMA 2

Notação:

- I () = Intensidades obtidas, segundo Chow-Gumbel
INT () = Intensidades calculadas segundo a série de equações (4-3)
NINT () = Intensidades calculadas utilizando-se a equação geral encontrada
T () = Duração
F () = Frequência
DESV () = Desvio Padrão
N, K, M = Parâmetros da equação encontrada
B = Valor encontrado que dá a anamorfose das curvas em retas.

SÍNTESE

Este programa tem como objetivo, determinar:

- 1) O melhor valor de B que transforma a curva de determinada frequência, numa reta para a qual o Desvio Quadrático em relação à média é mínimo;
- 2) Os valores de "a", da equação (4-3)
- 3) Os parâmetros K, M, N da equação geral e,
- 4) Fazer a análise dos erros de estimativas, como traçar os gráficos da equação encontrada.

= 31 =

DADOS DE ENTRADA

INPUT :

- 1) Intensidades I (), lidas no FORMAT
- 2) Durações T (), FORMAT 98
- 3) Frequência F (), FORMAT 444

PROGRAMA 2

AGE 1

/ JOB

LOG DRIVE CART SPEC CART AVAIL PHY DRIVE
0000 1115 1115 0000

V2 M10 ACTUAL 16K CONFIG 16K

// FOR

*LIST SOURCE PROGRAM

*IOCS(CARD,1132PRINTER,PLOTTER)

REAL I(9),N,LOGI(9),LOG(9),DESV(40),PROD1(9),PROD2(9),INT(9),K,M

REAL LOGA(6),LOGF(6),LOGF2(6),LOGPR(6),AA(6),NINT(10),DIF1(9)

INTEGER T(9),F(8),B,BB

DIMENSION Z(9,9),DIF2(9),AI(9,9),BI(9,9),DI(9,9),DP(8,8)

NN=9

BB=1

SA=0.

SB=0.

SC=0.

SD=0.

L=1

LX=1

LL=10

READ(2,45)(T(LK),LK=1,9)

98 READ(2,444)F(L)

444 FORMAT(I7)

45 FORMAT(9I3)

READ(2,108)(I(LK),LK=1,9)

108 FORMAT(9F6.2)

L3=L

DO 109 LK=1,9

109 BI(L3,LK)=I(LK)

WRITE(3,12)F(L),L

12 FORMAT('1',//////,10X,'CALCULO PARA FREQUENCIA DE=',I3,2X,'ANOS',

Y '***',2X,'QUADRO 4 - C',I1)

IF(L-2)41,42,42

42 WRITE(3,43)

43 FORMAT(//,7X,'T',5X,'T+B',7X,'I',10X,'INT',10X,'I-INT',5X,'(I-INT)

X2')

GO TO 720

41 WRITE(3,2)

WRITE(3,34)

2 FORMAT(10X,'REAJUSTAMENTO PELO METODO DOS MINIMOS QUADRADOS',/,

210X,'DA RETA DE FREQUENCIA QUINQUENAL')

34 FORMAT(//,23X,'A',6X,'B',31X,'C',/,3X,'T',2X,'T+B',4X,'I',6X,'LOG

3(I)',1X,'LOG(T+B)',1X,'B.B',4X,'A.B',5X,'INT',6X,'I-INT',5X,'C.C')

720 DO 110 JB=1,LL

DO 10 J=1,NN

IF(LX-2)19,29,221

19 B=JB

29 JK=T(J)+R

LOGI(J)=0.4343*ALOG(I(J))

LOG(J)=0.4343*ALOG(FLOAT(JK))

PROD1(J)=LOG(J)*LOG(J)

10 PROD2(J)=LOGI(J)*LOG(J)

SOM1=0.

SOM2=0.

AGE 2

```
SOM3=0.
SOM4=0.
DO 100 J=1,NN
SOM1=SOM1+LOGI(J)
SOM2=SOM2+LOG(J)
SOM3=SOM3+PROD1(J)
100 SOM4=SOM4+PROD2(J)
DISC=SOM2*SOM2-9.*SOM3
DX=SOM2*SOM4-SOM1*SOM3
DY=9.*SOM4-SOM2*SOM1
IF(DISC)3,4,3
4 WRITE(3,5)
5 FORMAT('DETERMINANTE DIS E NULO')
GO TO 11
3 X=DX/DISC
Y=DY/DISC
291 N=Y
SOMT=0.
SOMY=0.
IF(L-2)131,132,132
132 DO 133 JV=1,NN
SOMY=I(JV)/(T(JV)+B)**(N+1)+SOMY
133 SOMT=SOMT+1./T(JV)+B)**(2*N+1)
A=SOMY/SOMT
GO TO 999
131 A=10.**X
999 SDIF2=0.
DO 200 J=1,NN
INT(J)=A/(T(J)+B)**N
DIF1(J)=I(J)-INT(J)
DIF2(J)=DIF1(J)*DIF1(J)
200 SDIF2=SDIF2+DIF2(J)
DESV(B)=SQRT(SDIF2/9.)
110 CONTINUE
IF(LX-2)71,73,73
71 DEVM=DESV(1)
DO 1500 J1=2,LL
IF(DESV(J1)-DEVM)2000,1500,1500
2000 RB=J1
DEVM=DESV(J1)
1500 CONTINUE
DEVM=DESV(BB)
B=BB
LX=LX+1
LL=1
GO TO 720
73 DEVM=DESV(B)
LX=LX+1
DO 321 J=1,NN
JK=T(J)+B
IF(L-2)77,78,78
77 WRITE(3,30)T(J),JK,I(J),LOGI(J),LOG(J),PROD1(J),PROD2(J),INT(J),DI
3F1(J),DIF2(J)
30 FORMAT(2I4,2X,F7.3,2X,4(2X,F5.3),2X,F7.3,2X,2(2X,F6.3))
GO TO 321
78 WRITE(3,33)T(J),JK,I(J),INT(J),DIF1(J),DIF2(J)
33 FORMAT(2I8,5F12.3)
```


AGE 3

```
321 CONTINUE
    AA(L)=A
    IF(L-2)61,62,62
62  WRITE(3,63)DEVM,N,A,BB
63  FORMAT(///,7X,'DESVIO =',F5.2,5X,'N=',F8.5,5X,'A=',F9.3,/,7X,
    Z'B=',I3)
    GO TO 64
61  WRITE(3,21)SOM1,SOM2,SOM3,SOM4,SDIF2, DEVM ,N,A,BB
21  FORMAT(/ ,19X,4F7.3,20X,F7.3,/,2X,'DESVIO=',F5.2,5X,'N=',
    6F8.5,5X,'A=',F9.3,/,2X,'B=',I3)
64  IF(L-5)171,171,172
171 L=L+1
    GO TO 98
172 DO 1000 JL=1,L
    XF=F(JL)
    LOGA(JL)=0.4343*ALOG(AA(JL))
    LOGF(JL)=0.4343*ALOG(XF)
    LOGF2(JL)=LOGF(JL)*LOGF(JL)
    LOGPF(JL)=LOGA(JL)*LOGF(JL)
    SA=SA+LOGA(JL)
    SB=SB+LOGF(JL)
    SC=SC+LOGF2(JL)
1000 SD=SD+LOGPR(JL)
    DET=FLOAT(L)*SC-SB*SB
    DETX=SA*SC-SB*SD
    DETY=FLOAT(L)*SD-SB*SA
    XX=DETX/DET
    M=DETY/DET
    K=10.**XX
    WRITE(3,203)M,K
203  FORMAT(/,10X,'PARAMETROS',2X,'M=',F6.3,5X,'K=',F10.3)
    L=L+1
    L1=1
    L2=4
    F(7)=50
    F(8)=100
    DO 1800 JO=1,2
    L3=L3+1
    READ(2,298)(I(LK),LK=1,9)
298  FORMAT(9F6.2)
    DO 199 LK=1,9
199  BI(L3,LK)=I(LK)
    WRITE(3,201)JO
201  FORMAT('1',50X,'QUADRO 4 - F',I1)
    WRITE(3,202)(F(L),L=L1,L2)
202  FORMAT(25X,'ERROS PADRAO DE ESTIMATIVA DA EQUACAO INTENSIDADE-DURA
    1CAO-FREQUENCIA',/,14X,I3,' ANOS',18X,I3,' ANOS',18X,I3,' ANOS',18
    4X,I3,' ANOS')
    WRITE(3,204)
204  FORMAT(3X,'T',(5X,'I',8X,'I''',4X,'(I-I''')2'),3(4X,'I',8X,'I''',4
    3X,'(I-I''')2'))
    DO 810 J=1,8
    SOMJJ=0.
    DO 820 JJ=1,NN
    NINT(JJ)=K*(F(J)**M)/(T(JJ)+B)**N
    Z(JJ,J)=NINT(JJ)
    AI(J,JJ)=NINT(JJ)
```

```
DI(J,JJ)=(NINT(JJ)-BI(J,JJ))*2
SOMJJ=SOMJJ+DI(J,JJ)
820 CONTINUE
DP(J,J)=SQRT(SOMJJ/NN)
810 CONTINUE
DO 800 J1=1,NN
800 WRITE(3,205)T(J1),(AI(J2,J1),BI(J2,J1),DI(J2,J1),J2=L1,L2)
205 FORMAT(1X,I3,4(F9.3,F9.3,F8.3))
WRITE(3,206)(DP(JL,JL),JL=L1,L2)
206 FORMAT(/,5X,4(6X,'DESVIO PADRAO=',F5.2))
L1=5
L2=8
1800 CONTINUE
CALL SCALF(6./120.,8./180.,0.0,0.0)
DO 14 L=1,9
CALL FPLOTT(2,FLOAT(T(L)),0.0)
CALL FPLOTT(2,FLOAT(T(L)),1.0)
CALL FPLOTT(2,FLOAT(T(L)),-1.0)
14 CALL FPLOTT(2,FLOAT(T(L)),0.0)
DO 15 L=1,9
II = 10-L
CALL FCHAR(T(II)-24./9.,-3.5,0.07,0.07,0.0)
WRITE(7,16) T(II)
16 FORMAT(I3)
IF (L-4) 15,17,15
17 CALL FCHAR(30.0,-7.5,0.10,0.10,0.0)
WRITE(7,18)
18 FORMAT('DURACAO J (EM MIN)')
15 CONTINUE
CALL FGRID(1,0.0,0.0,10.,18)
DO 23 L=1,18
II = 190-L*10
CALL FCHAR(-2.0,II-3.0,0.1,0.1,1.57)
WRITE(7,20) II
20 FORMAT(I3)
IF (L-15) 23,25,23
25 CALL FCHAR(-7.0,30.0,0.1,0.1,1.57)
WRITE(7,22)
22 FORMAT('INTENSIDADE I (EM MM/H)')
23 CONTINUE
DO 26 J=1,8
CALL FPLOTT(1,FLOAT(T(1)),Z(1,J))
DO 24 L=2,9
24 CALL FPLOTT(2,FLOAT(T(L)),Z(L,J))
CALL FCHAR(121.0,Z(9,J)-0.7,0.07,0.07,0.0)
26 WRITE(7,27) F(J)
27 FORMAT(I3)
CALL FPLOTT(1,0.0,0.0)
11 CALL EXIT
END
```

FEATURES SUPPORTED
IOCS

CORE REQUIREMENTS FOR
COMMON 0 VARIABLES 1220 PROGRAM 2278

// JOB

```
LOG DRIVE   CART SPEC   CART AVAIL  PHY DRIVE
  0000       1114       1114       0000
```

V2 M10 ACTUAL 16K CONFIG 16K

// FOR

*IOCS(1132PRINTER,CARD)

*LIST SOURCE PROGRAM

C ... CALCULO DA INTENSIDADE MAXIMA PROVAVEL

C ... CIDADE DE JOAO PESSOA

INTEGER T(14),F(8)

DIMENSION X(14)

DATA T/5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,60,90,100,120/,F/2,5,10,15,20,
125,50,100/

WRITE(3,7)

7 FORMAT('1',80X,'QUADRO VI',/,/,)

WRITE(3,1)(F(J),J=1,8)

1 FORMAT(25X,'INTENSIDADES (EM MM/H) PARA INTERVALOS DE RECORREN
2CIA EM ANOS',/,7X,'DURACAO',4X,2(6X,I3),6(6X,I3))

DO 2 I=1,14

DO 3 L=1,8

X(L)=369.409*F(L)**0.15/(T(I)+5)**0.568

3 CONTINUE

WRITE(3,4)T(I),(X(M),M=1,8)

4 FORMAT(9X,I3,8X,8F9.2)

2 CONTINUE

CALL EXIT

END

FEATURES SUPPORTED

IOCS

CORE REQUIREMENTS FOR

COMMON 0 VARIABLES 86 PROGRAM 222

END OF COMPILATION

// XEQ

APÊNDICE III

III - ANÁLISE DE DISTRIBUIÇÃO

III - DISTRIBUIÇÃO EXPONENCIAL DUPLA

3.0 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O uso da Distribuição Exponencial Dupla na análise de frequência de uma série anual máxima de eventos hidrológicos, embora não se possa dar uma rigorosa justificativa, é largamente aceitável e oferece resultados empiricamente satisfatórios que justificam a sua aceitação. Nas aplicações hidrológicas se destaca o MÉTODO DE GUMBEL que utiliza um ajustamento à Distribuição Exponencial Dupla.

3.01 - Variáveis Hidrológicas - Os valores das variáveis hidrológicas de uma série anual máxima, são comumente supostas distribuídas de acordo com a Distribuição Exponencial Dupla (14).

$$p(X) = \exp(-\exp - \alpha(X-u)) \quad (3.01)$$

onde $p(X)$ é a probabilidade de um evento não excedendo X e α e u são parâmetros de distribuição.

3.02 - Método de Gumbel - Pela teoria de Gumbel, (8) se um conjunto é formado pelos mais altos valores de uma série, tal como as máximas intensidades médias, esta distribuição será independente dos valores menores e, de acordo com a Distribuição Exponencial, pode ser definida como:

= 38 =

$$p(X) = \exp(-\exp(-Y)) \quad (3.02)$$

em que Y é dado por

$$Y = a(X - X_f) \quad (3.021)$$

onde X_f é a moda da distribuição e a um parâmetro de dispersão.

Para uma amostragem ampla pode-se mostrar, da teoria dos valores extremos, que a moda X_f e o parâmetro a são funções da média aritmética \bar{x} e do desvio padrão σ_x ,

$$X_f = \bar{x} - 0.45005\sigma_x \quad (3.022)$$

$$a = 1./0.7797\sigma_x \quad (3.023)$$

e escrevendo a equação (3.021), com estes valores

$$Y = \frac{X - \bar{x} + 0.45\sigma_x}{0.78\sigma_x} \quad (3.024)$$

3.03 - Curva Média - Segundo Gumbel, as equações (3.01) e (3.023) definem a "curva média" que melhor se ajusta ao conjunto de valores observados das máximas intensidades médias em função de suas probabilidades.

3.04 - Variável Reduzida - Por inversão da equação (3.01) a relação pode ser escrita em termos do Período de Retorno T_r (inverso da probabilidade de excedência). A variável Y é designada por "variável reduzida", dada por:

$$Y = - \ln \ln \frac{T_r}{T_r - 1} \quad (3.04)$$

$$T_r = \frac{1}{1 - p(X)} \quad (3.041)$$

3.05 - Papel de Probabilidade de Gumbel - Para facilitar o traçado da "curva média", Gumbel imaginou um papel com graduação tal que esta curva é linearizada, bastando portanto dois pontos para determinação desta curva. Este gráfico é formado por três escalas. As abcissas possuem os valores da variável reduzida Y, em escala proporcional, e o intervalo de recorrência T_r em distâncias que podem ser calculadas pela expressão (3.041).

Nas ordenadas são marcadas as variáveis X observadas, em escalas proporcionais. Como a variável reduzida Y é função linear de X, a representação gráfica da curva média, neste gráfico, será uma reta.

3.06 - Aplicação Prática.

3.07 - Ajustamento dos pontos observados - Para se obter a reta Y função das intensidades máximas observadas X, que dá a Lei de Probabilidade de Gumbel, foi dada a seguinte sequência:

3.071 - Foram calculadas, para as diversas durações, a intensidade média \bar{x} e o desvio Padrão σ_x das intensidades obser

vadas (Quadros 4-A1 e 4-A9).

3.072 - Tomaram-se dois pontos quaisquer destas intensidades x para se obter os dois valores da variável reduzida Y correspondentes, mediante equação (3.024). No Apêndice IV -são apresentados estes cálculos para as durações de 5 e 10 minutos.

3.073 - Marcando-se estes dois pontos no gráfico de Gumbel e, unindo-os por uma reta, obtêm-se finalmente a Lei de Probabilidade de Gumbel.

3.08 - Avaliação do Ajustamento - Para avaliar a qualidade do ajustamento, foram marcadas, no papel de Gumbel para as diversas durações, as intensidades máximas anuais observadas em função do intervalo de recorrência. O método de Gumbel usa geralmente (12) no ajustamento, a fórmula de Weibull, equação (6 - A) - Apêndice I.

Verifica-se agora, o comportamento destes pontos em relação a reta da lei de Probabilidade de Gumbel. Caso a média dos pontos apresentem uma curvatura de concavidade voltada para cima, afastando-se da curva, há indícios de que seria preferível adotar-se a distribuição estatística de Fréchet. Apêndice IV.

3.09 - Lei de Fréchet (13) - Esta lei se assemelha à de Gumbel, com a diferença de que a variável reduzida é agora proporcional aos logaritmos das intensidades.

3.10 - Justificativa da Aplicação - Tendo-se observado o comportamento da média dos pontos das intensidades máximas fi cou verificado que os resultados satisfaziam às exigências do método de Gumbel, uma vez que estes pontos não apresentam grande dispersão em relação à reta das probabilidades, nem curvatura acentuada.

O próximo passo é a utilização de um "fator de frequência" para a análise das frequências. Com a introdução deste fator, torna-se possível ajustar os valores das máximas intensidades médias à distribuição de Gumbel, utilizando-se para isto o seu método correspondente.

3.11 - Propósitos Práticos - Na prática o engenheiro requer estimar o Período de Retorno de uma amostragem limitada e, portanto as equações (3.022) (3.023) não são estritamente aplicáveis. Há várias possíveis aproximações para determinar os valores dos parâmetros a X_f da série anual. A aproximação defendida por Gumbel tem como base a análise da equação (3.021) pelo método dos mínimos quadrados. Esta equação pode ser representada por uma reta e a solução de Gumbel minimiza o quadrado dos desvios, medidos perpendicularmente à linha derivada dos valores extremos. O resultado será:

$$X_f = \bar{x} - \sigma_x \frac{Y_n}{\sigma_1} \quad (3.10)$$

$$a = \frac{\sigma_n}{\sigma_x} \quad (3.11)$$

onde:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (X - \bar{X})^2} \quad \text{e} \quad \sigma_n = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Y - \bar{Y})^2}$$

que combinando as equações (3.021) e (3.11), dá

$$X = \bar{X} - \frac{\sigma_x}{\sigma_n} (Y - \bar{Y}) \quad (3.12)$$

Ven Te Chow mostrou que as funções de frequências aplicáveis a análise hidrológicas, podem ser resolvidas pela forma geral

$$X = \bar{X} + k \cdot \sigma_x \quad (3.13)$$

Comparando as duas últimas equações, observa-se que

$$k = \frac{Y - \bar{Y}}{\sigma_n} \quad (3.14)$$

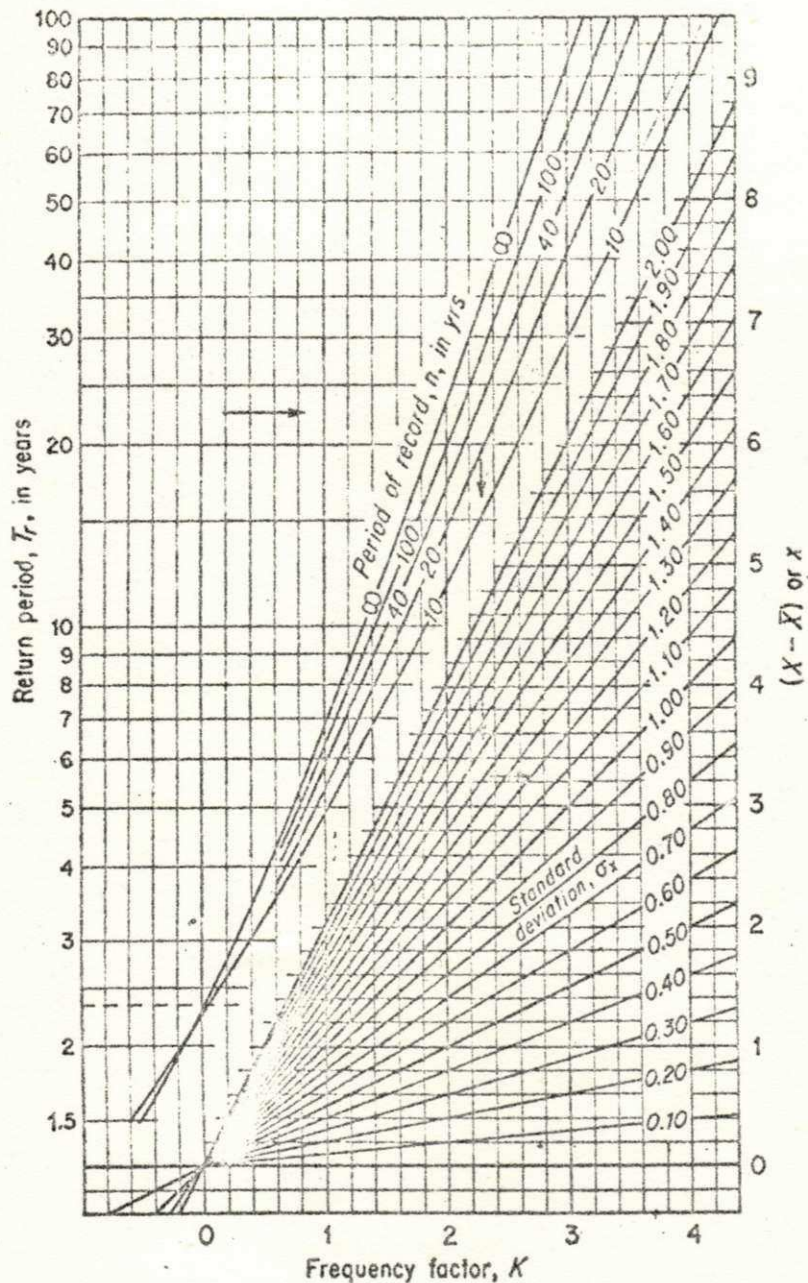
e pode ser expresso em função de T_r e n . O "fator de frequência" k toma valores diferentes para métodos diferentes. Utilizando-se o método de Gumbel, pode-se utilizar a Tabela (3.1) ou o ábaco de Weis (11) anexo. Este ábaco é baseado no método de Gumbel e permite resolver para $(X - \bar{X})$. Se o valor σ_x cai fora da gama mostrada neste ábaco, os valores de $(X - \bar{X})$ e σ_x podem ser multiplicados convenientemente por um fator k .

TABELA 3 - 1

Nº DE ANOS.	PERÍODO DE RECORRÊNCIA T ANOS						
	5	10	15	20	25	50	100
10	1.050	1.848	2.289	2.606	2.847	3.588	4.323
11	1.034	1.809	2.242	2.553	2.789	3.516	4.238
12	1.013	1.777	2.202	2.509	2.741	3.456	4.166
13	0.996	1.748	2.168	2.470	2.699	3.405	4.105
14	0.981	1.724	2.138	2.437	2.663	3.360	4.052
15	0.967	1.703	2.112	2.410	2.632	3.321	4.005

F A T O R D E F R E Q U Ê N C I A D E " G U M B E L "

Abaco de Weis



APÊNDICE IV

CURVA MÉDIA DE GUMBELL

A partir dos Quadros 4-A1 e 4-A2, correspondentes às durações de 5 e 10 minutos respectivamente, e tomando-se dois pares de pontos quaisquer (X, tR) , substituindo os valores necessários na equação (3.024), obtemos:

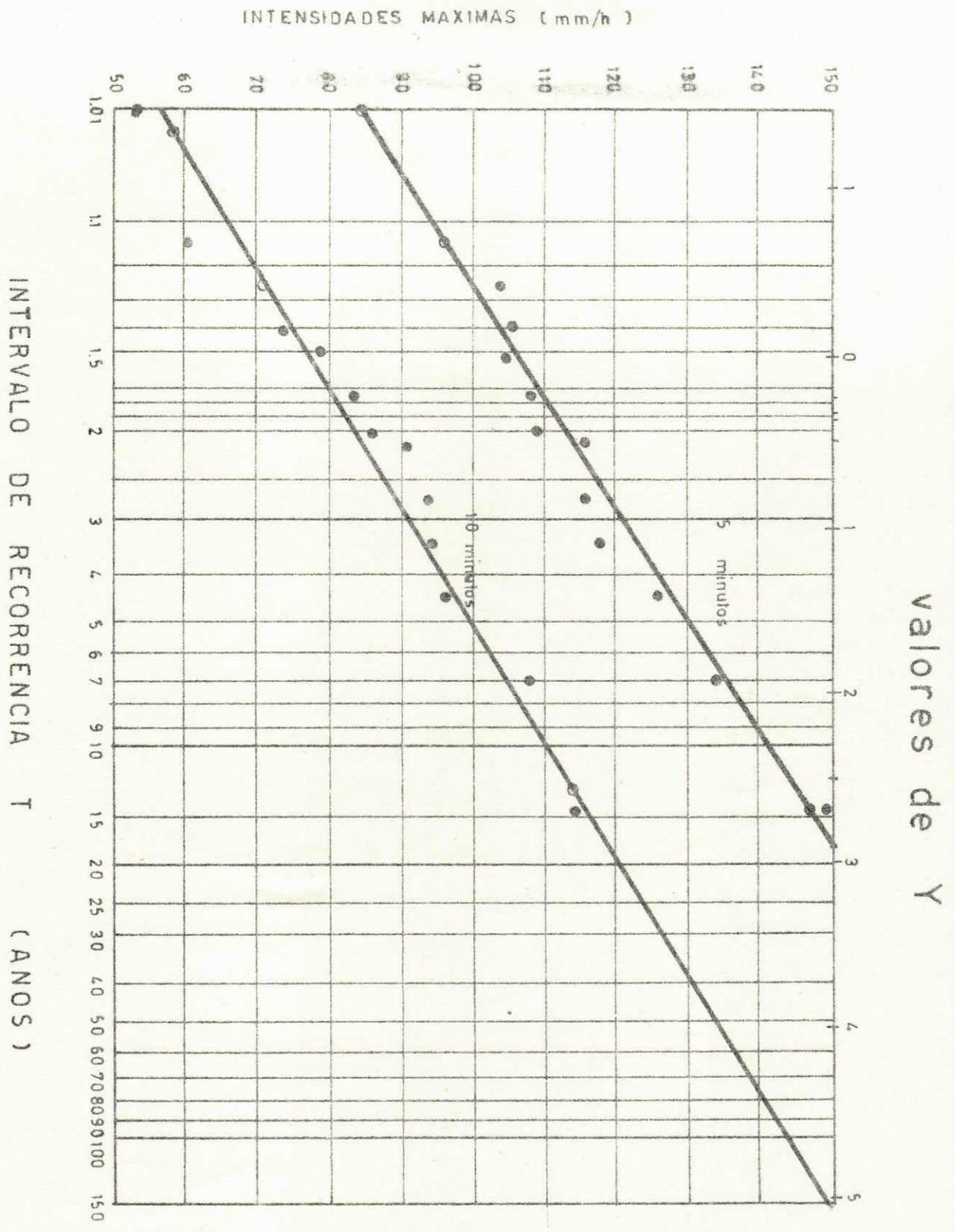
Para duração de 5 minutos

(X, Tr)	Y
(150, 14.0)	3.5
(95, 1.16)	-0.8

Para duração de 10 minutos

(X, Tr)	Y
(113.4, 14.0)	2.1
(60.0, 1.16)	-1.3

Marcando-se agora os pares de pontos (Y, X) obtemos a lei de Probabilidade de Gumbel - gráfico anexo:



REQ
 PEL
 QUE

PERIODO DE 5 ANOS *** QUADRO 4 - C1
 METODO DOS MINIMOS QUADRADOS
 PERIODO QUINQUENAL

= 44 - b =

A	B		A.B	INT	C	
(I)	LOG(T+B)	B.B			I-INT	C.C
110	1.000	1.000	2.110	129.007	-0.107	0.011
007	1.176	1.383	2.360	102.458	-0.758	0.575
939	1.301	1.692	2.522	87.006	-0.106	0.011
886	1.397	1.954	2.637	76.644	0.345	0.119
812	1.544	2.384	2.797	63.306	1.563	2.445
710	1.698	2.886	2.905	51.691	-0.361	0.130
640	1.812	3.286	2.977	44.532	-0.662	0.438
550	1.977	3.911	3.067	35.893	-0.343	0.118
490	2.096	4.397	3.129	30.710	0.359	0.129
150	14.005	22.896	24.508			3.980

Σ 825 A = 477.385

47

CALCULO PARA FREQUENCIA DE= 5 ANOS *** QUADRO 4 - C1
 REAJUSTAMENTO PELO METODO DOS MINIMOS QUADRADOS
 DA RETA DE FREQUENCIA QUINQUENAL

T	T+B	I	A				B		C	
			LOG(I)	LOG(T+B)	B.B	A.B	INT	I-INT	C.C	
5	10	128.900	2.110	1.000	1.000	2.110	129.007	-0.107	0.011	
10	15	101.700	2.007	1.176	1.383	2.360	102.458	-0.758	0.575	
15	20	86.900	1.939	1.301	1.692	2.522	87.006	-0.106	0.011	
20	25	76.990	1.886	1.397	1.954	2.637	76.644	0.345	0.119	
30	35	64.870	1.812	1.544	2.384	2.797	63.306	1.563	2.445	
45	50	51.330	1.710	1.698	2.886	2.905	51.691	-0.361	0.130	
60	65	43.870	1.642	1.812	3.286	2.977	44.532	-0.662	0.438	
90	95	35.550	1.550	1.977	3.911	3.067	35.893	-0.343	0.118	
120	125	31.070	1.492	2.096	4.397	3.129	30.710	0.359	0.129	
			16.150	14.005	22.896	24.508			3.980	

DESVIO= 0.66

N= 0.56825

A= 477.385

B= 5

= 44 - b =

11

CALCULO PARA FREQUENCIA DE= 25 ANOS *** QUADRO 4 - C6

T	T+B	I	INT	I-INT	(I-INT) ²
5	10	156.290	160.015	-3.725	13.875
10	15	130.740	127.085	3.654	13.355
15	20	108.840	107.919	0.920	0.847
20	25	96.980	95.066	1.913	3.659
30	35	82.960	78.522	4.437	19.695
45	50	64.990	64.116	0.873	0.763
60	65	57.600	55.235	2.364	5.590
90	95	48.130	44.521	3.609	13.024
120	125	43.430	38.092	5.337	28.491

DESVIO = 3.32	N= 0.56825	A= 592.127
B= 5		

PARAMETROS	M= 0.150	K= 369.409
------------	----------	------------

= 48 - 0 =

28

B I B L I O G R A F I A

- 1 - PFAFSTETTER, Otto. Chuvas Intensas no Brasil. DNOS. Rio de Janeiro - 1957. 419 p.
- 2 - BERNARD, Merrill M. Fórmulas for rainfall intensities of long duration. In: American Society of Civil Engineers . 1930. 40 p il.
- 3 - SOUZA, P. V. Parigot de. Possibilidades Pluviais de Curitiba, em Relação a Chuvas de Grande Intensidade. 1969 15 p. il.
- 4 - ALCANTARA, M. A. de; LIMA, A. Rocha. Estudos Hidrológicos das Chuvas no Jardim Botânico. I Cong. Bras. de Eng. Sanitária - RJ-GB. 1960. 34 p.
- 5 - WILKEN, Paulo- In: GARCEZ, Lucas Nogueira. Hidrologia . Ed. Edgard Ltda. São Paulo, 1967. p. 125.
- 6 - OCCHIPINTI, A Garcia; SANTOS, P. Marques. Análise das máximas intensidades de chuvas na cidade de São Paulo . Instituto Astronômico e Geofísico d USP. 1965. 40 p.il
- 7 - FREITAS, Adir José; CARVALHO Ana Amélia. Equação das Chuvas Intensas em Belo Horizonte. II Simpósio Brasileiro de Hidrologia, Porto Alegre. 1972.
- 8 - LINSLEY, Kohler Paulhus. Applied Hydrology. Mac Graw - Hill. 1949 - 554 - 577 p.
- 9 - SHERMAN, Charles W. Frequency and Intensity of Excessive Rainfalls at Boston. Massachusetts. IM: American Society of Civil Engineers Abril, 1930. p. 951-968.
- 10 - ANDRADE, H. X. Pedrosa de; Hidráulica Aplicada. Rio de Janeiro. 1957. 74 p.
- 11 - LINSLEY, Kohler Paulhus. Hydrology for Engineers. Mc Graw Hill Civil Engineering Series. New York Toronto London. 1958. 260 p.

- 12 - CHOW - Ven Te. Handbook of Applied Hydrology. Mc Graw Hill, Inc. 1964
- 13 - PFAFSTETTER, Otto. Deflúvio Superficial. Revista Saneamento, nº 42 - Rio-GB. Abril/Dezembro-1971. 38-53 p.
- 14 - LOWERY, M.D; NASH, J.E. A Comparison of Fitting The Double Exponential Distribution. Journal of Hydrology. Amsterdam, 1970. North Holland Publishing. Co. 259-270 p.
- 15 - CHOW, Ven Te. Frequency Analysis of Hydrologic Data With Special Application To Rainfall Intensities. University of Illinois, Urbana Bulletin Series nº 444.
- 16 - REMENIERAS. G. - Colletion Du Laboratoire National D'Hydraulique L'Hydrologie de L'Ingénieur. Paris, 1970. 135-151. p. il
- 17 - TOEBES C.; URIVAEV. V. - Les Bassins Représentatifs et Expérimentaux. UNESCO. 1970. 233-236 p.
- 18 - GARCEZ, Lucas Nogueira. Construções Hidráulicas. São Paulo. 1962 - Vol. I. 48 p.
- 19 - BENJAMIM, Jack R.; CORNELL, C. Allin. Probability Statistics and Decision for Civil Engineers. Mc Graw Hill 1970 - pp. 14 il
- 20 - WISLER, Cherter O.; BRATER F. - Hidrologia - Rio. 1964 103-122 p.
- 21 - MURRAY, R. Spiegel - Estatística - Mc Graw Hill do Brasil, Ltda. - Coleção Shauum - Rio de Janeiro - 1971 - 365 - 368 p.