

**Universidade Federal da Paraíba - UFPB**

**Pró-Reitoria para Assuntos do Interior**

**Centro de Ciência e Tecnologia - Campus II**

**Departamento de Engenharia Civil**

**Relatório de Estágio Supervisionado**

**Professor: Vajapeyam S. Srinivasan**

**Aluno: Ricardo de Aragão**

**Determinação da Equação Intensidade/Duração/Frequência  
para a Bacia Experimental de Sumé-PB**

*V. Srinivasan*

---

**Prof. Dr. Vajapeyam S. Srinivasan**  
**Orientador**

*Ricardo de Aragão*

---

**Ricardo de Aragão**  
**Estagiário**



Biblioteca Setorial do CDSA. Agosto de 2021.

Sumé - PB

## Índice

<b>1. Introdução</b>	<b>2</b>
<b>2. Objetivo Geral</b>	<b>3</b>
<b>3. Revisão de Literatura</b>	<b>3</b>
<b>4. A Bacia Experimental de Sumé</b>	<b>5</b>
<b>5. Materiais e Métodos</b>	<b>6</b>
<b>5.1 Os arquivos de dados e programa utilizados</b>	<b>8</b>
<b>5.2 Obtenção dos parâmetros</b>	<b>10</b>
<b>6. Resultados e discussão</b>	<b>11</b>
<b>7. Conclusão</b>	<b>14</b>
<b>8. Bibliografia</b>	<b>15</b>

## 1. Introdução

A distribuição da chuva no espaço e no tempo é de fundamental importância no dimensionamento de obras hidráulicas, como drenos, vertedouros de barragens, diques de proteção contra cheias, bueiros de estrada, etc. O dimensionamento dessas obras passa obrigatoriamente pelo estudo das chuvas intensas ocorridas no local.

Considera-se como chuvas intensas o conjunto de chuvas cuja intensidade ultrapasse um valor pré-estabelecido para uma dada aplicação *Pinto (1995)*.

Para que sejam empregados no dimensionamento de estruturas hidráulicas, os dados de chuva devem ser analisados, objetivando determinar as intensidades das chuvas com frequências e durações específicas, para a partir desta obtermos a vazão máxima que passará pela referida obra.

Três grandezas caracterizam a precipitação: *Intensidade, duração e frequência-período de retorno*. Com relação à erosão dos solos, a intensidade é um dos fatores mais importantes. A frequência também tem a sua relevância pois, se os intervalos entre as chuvas são curtos, o teor de umidade do solo é alto e, assim, as enxurradas são mais volumosas, mesmo com chuvas de menor intensidade (*Bertoni e Lombardi Neto, 1985*).

Devido ao fato de ser a intensidade um aspecto determinante na resposta hidrológica, é importante determinar o volume e a duração, ou a intensidade e a duração e não apenas o volume gerado quando um dado evento acontece, pois para um mesmo volume escoado, poderemos ter diferentes combinações de intensidade e duração.

Um dos primeiros estudos realizados no Brasil sobre chuvas intensas foi o do professor Parigot de Souza que teve como base a fórmula geral de *Merril* e que ficou conhecida como equação *intensidade-duração-frequência (i,d,f)*.

A determinação da relação entre as grandezas *(i,d,f)* acima, deve ser deduzida das observações de chuvas intensas durante um período longo e representativo dos eventos extremos do local (*Lanna, 1994*).

Com base nos pluviogramas obtidos da Bacia Experimental de Sumé pretende-se determinar as equações que relacionam intensidade duração e frequência para aquela região.

## 2. Objetivo Geral

O projeto tem como objetivo determinar os parâmetros de uma equação *I-D-F* para a Bacia Experimental de Sumé (PB), obtendo-se assim, informações necessárias para o apoio a decisão e a prevenção contra erosão do solo, inundações em áreas rurais e urbanas, como também servir de informação base para o dimensionamento de obras hidráulicas.

## 3. Revisão de Literatura

Na engenharia de drenagem superficial tem importância a relação de frequências de ocorrência de eventos extremos e o valor da magnitude da estrutura hidráulica a projetar-se.

Muitos trabalhos sobre a geração de curvas relacionando as três grandezas (*intensidade-duração-frequência*) têm sido desenvolvidos sendo o estudo elaborado por Pfafstetter (1957), um trabalho pioneiro, uma vez que ele estabeleceu curvas (*i, d, f*) para 98 postos no Brasil. O estudo foi realizado com base em dados obtidos de estações climatológicas localizadas em diferentes pontos e a partir destas curvas estabeleceu-se a seguinte equação empírica gerada para cada posto:

$$P = R \cdot [a \cdot t + b \cdot \log(1 + c \cdot t)] \quad (\text{Equação 1})$$

onde *P* é a precipitação máxima, em mm; *t* é a duração da precipitação, em horas; *a*, *b*, *c* são constantes relativas a cada posto e *R* um fator de probabilidade.

O fator de probabilidade é definido como:

$$R = Tr^{(\alpha + \beta / Tr^\gamma)} \quad (\text{Equação 2})$$

onde *Tr* é o tempo de retorno, em anos;  $\alpha$  e  $\beta$  são valores que dependem da duração da precipitação e  $\gamma$  uma constante de valor adotado igual a 0.25.

O fator  $[a \cdot t + b \cdot \log(1 + c \cdot t)]$  determina a precipitação em mm para um tempo de “recorrença” de 1 ano (Lanna, 1993).

Outro método a ser utilizado, seria determinar os parâmetros de uma equação genérica do tipo que relaciona intensidade com o tempo de retorno.

Para este estudo será utilizado a equação mostrada abaixo visando sintetizar as curvas desejadas,

$$i = \frac{a \cdot Tr^b}{(t + c)^d} \quad (\text{Equação 3})$$

onde  $i$  é a intensidade, em mm/h;  $Tr$  é o tempo de retorno, em anos;  $t$  é a duração da chuva, em minutos;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  são parâmetros relativos a cada local.

Para a obtenção dos parâmetros da equação de chuva será usada a metodologia apresentada por *Wilken (1978)* e utilizada por *Costa e Freitas (1996)* tendo sido obtidos bons resultados por estes autores, sendo esta uma metodologia geral e que poderá ser aplicada ao semi-árido brasileiro.

*Aquino (1983)* desenvolveu para duas cidades no Estado da Paraíba (João Pessoa e São Gonçalo) as curvas  $i$ ,  $d$ ,  $f$ . A partir deste trabalho, sempre que se faz necessário a determinação de vazões máximas em outras localidades no Estado, utiliza-se as curvas anteriormente determinadas, levando-se em consideração regiões de características meteorológicas semelhantes.

Sabe-se, no entanto, que as relações entre intensidade, duração e frequência variam de localidade para localidade, devendo, portanto, ser feitos estudos locais com os dados pluviométricos disponíveis, os quais dever ser revistos periodicamente, à medida que novos dados se acumulam *Pinto (1995)*.

Os critérios utilizados para a escolha do posto da Bacia Experimental de Sumé foram baseados no fato de que desde o início da pesque vem sendo coletado dados pluviométricos e hidro-sedimentológicos vazendo-se necessário um estudo sobre chuvas intensas naquela área para se verificar, num futuro próximo, a influência da intensidade das chuvas ocorridas na região, na produção de sedimentos.

A Bacia Experimental de Sumé possui características de solo, clima, vegetação semelhantes a uma boa parte do semi-árido nordestino, sendo portanto representativa desta área. Foi instalada nesta bacia, uma estação climatológica como também foram instalados pluviômetros e pluviógrafos espalhados na área compreendida pela mesma.

As pesquisas nesta bacia foram iniciadas no ano de 1981 e desde então muitos trabalhos têm sido realizados utilizando-se os dados provenientes da mesma, dando uma grande contribuição para o conhecimento dos regimes temporais do semi-árido, como também apoio na determinação da melhor maneira de se utilizar os recursos ali existentes.

#### 4. A Bacia Experimental de Sumé

A Bacia Experimental de Sumé está localizada na propriedade Fazenda Nova, no município de Sumé, Estado da Paraíba. Situa-se na altura do km 118 da BR-412, entre as cidades de Sumé e Monteiro. Faz parte da área superior da Bacia do Rio Paraíba, numa latitude de 7°40' Sul e longitude 37°00' Oeste (*Cadier e Freitas, 1982*).

O relevo existente é pouco ondulado a ondulado, com declividade variando entre 4% e 9% possuindo (dois) tipos de vegetação:

Caatinga de mata nativa (tipo "cariris velhos") Hiperxerófila arbustiva e arbórea.

Áreas desmatadas e anteriormente cultivadas em contorno.

O solo predominante na região é o bruno não cálcico vértico, representativo de parte da zona semi-árida com permeabilidade de 26,4 mm/h (método de MUNTZ), sendo representativo de mais de 85% da bacia.

O clima na região da bacia é do tipo subdesértico quente de tendências tropicais com precipitação média entre 550 e 600 mm, e concentrando entre 15 de fevereiro e 20 de abril (*Cadier et al., 1983*).

Foram instaladas na bacia experimental, 4 (quatro) microbacias e 9 (nove) parcelas de erosão com cobertura e declividades variadas, visando permitir a medição do escoamento superficial e a erosão geradas por cada chuva. As microbacias possuem área que variam de 0.5 ha a 1 ha e as parcelas possuem uma área de 100 m<sup>2</sup> (22 m x 4.5 m).

Cinco pluviômetros e três pluviógrafos, registram a precipitação na Bacia Experimental de Sumé.

A estação Meteorológica é composta de pluviômetro, pluviógrafo, tanque evaporimétrico "Classe A", termômetros, anemômetros, conjunto psicrométrico e heliógrafo.



## 5. Materiais e Métodos

Segundo *Wilken(1978)* citado por *Costa e Freitas (1996)* deve-se fazer uma verificação prévia dos pluviogramas disponível com vistas a escolher os prováveis eventos com maior intensidade.

Após a escolha dos pluviogramas *Costas e Freita (1996)* efetuaram leituras no pluviograma em intervalos de 5 min, utilizando o limite de sensibilidade da leitura dos pluviogramas.

Geralmente utiliza-se chuvas cuja duração estão no intervalo entre 5 minutos e 24 horas. Os limites de duração são fixados em 5 minutos porque representam o menor intervalo que se pode ler nos registros pluviográficos com precisão adequada e 24 horas porque, para durações maiores, podem ser utilizados dados observados em pluviômetros. No caso da região de Sumé, as chuvas são intensas, mas de curta duração atingindo, na maioria das vezes, no máximo algumas hora. Tendo em vista o acima exposta, limitou-se a duração entre 5 minutos e 3 horas.

A Bacia Experimental de Sumé foi instalada em 1981 e desde então dados de pluviografia tem sido coletados. No entanto, os pluviogramas dos anos de 1982 e 1983 não encontravam-se disponíveis quando do início do processo de digitalização. Sendo assim digitalizou-se apenas os pluviogramas do período 1984/1997.

Apesar de existirem 3 pluviógrafos instalados, utilizou-se neste trabalho apenas os pluviogramas provenientes do pluviógrafo de referência 49 (PG49) por ser este o pluviógrafo mais antigo na área e com um maior número de dados.

Não foi possível no entanto trabalhar com dados além do ano de 1994, visto que a partir deste ano o pluviógrafo foi desativado, ficando outros 2 pluviógrafos.

Foi encontrado uma lacuna no ano de 1993 que consistiu na total falta de pluviogramas deste ano, não somente do pluviógrafo em estudo como também dos outros 2 pluviógrafo o que nos levou a utilizar somente os dados do período 1984/1992 por ser este um período contínuo na obtenção dos dados.

Diferente de outras trabalhos realizados com a mesma finalidade, preferiu-se utilizar todos os pluviogramas disponíveis para análise efetuando-se em seguida, com a ajuda de uma ferramenta computacional, a escolha das chuvas com maior intensidade para uma dada duração.

Como ferramenta de apoio fez-se uso de uma mesa digitalizadora e de uma programa que gerência as operações da mesa e que permite que sejam feitas digitalizações das informações contidas nos pluviograma na forma que venha a atender às necessidades do usuário.

Não foi utilizado neste trabalho o principio da duração prolongada (fazer a digitalização em intervalos constantes) visto que tempos muito pequenos poderia gerar superposição de informações o que acarretaria um grave erro. Outro motivo foi que o tempo necessário para a execução desta tarefa era maior do que o disponível. Apesar de ter sido usado apenas 9 anos de dados, o tempo necessário para a digitalização dos pluviogramas foi considerável. A eliminação de erros foi outro fator que reduziu bastante o tempo útil para outras tarefas relacionadas.

O critério utilizado para a digitalização dos pluviogramas foi o de, a cada mudança de direção um ponto seria digitalizado fazendo com que, ao final da digitalização, o conteúdo do arquivo resultante refletisse o perfil da curva gerada no pluviograma. A metodologia de utilização da mesa digitalizadora, assim como do programa gerenciador da mesa poderão ser visto em *Aragão (1994)*.

O pluviograma utilizado como exemplo poderá ser visto na Fig. 37 do Anexo 1 e o arquivo resultante da digitalização deste pode ser visto a seguir:

sume  
10/09/86  
4  
01 1310 7.3  
02 1336 8.5  
03 1348 8.7  
04 1883 8.7  
05 1909 9.8

**Quadro 1** - Arquivo resultante da digitalização

As informações como nome do posto, data e número de pontos digitalizados estão nas primeiras linha. Nas linhas restante tem-se, da esquerda para a direita, o número de ordem do ponto, a hora relativa à aquele ponto e a altura da precipitação.

### 5.1 Os arquivos de dados e programa utilizados

Para cada pluviograma digitalizado foi gerado um arquivo cujo nome é o indicativo do posto, no caso o 49, e o dia do evento de precipitação. Este processo é bastante demorado, mas que oferece um certo grau de precisão. Mesmo assim, se faz necessário que uma verificação seja feita, pois por motivos técnicos, muitos dos arquivos obtidos continham informações erradas o que ocasionou uma redigitalização dos pluviogramas com informações falsas.

Após a fase de digitalização se fez necessário a aglomeração dos arquivos digitalizados num único arquivo de forma que fosse possível o uso de uma ferramenta computacional para cálculo das intensidades.

Devido ao fato de a mesa só “encherar” informações cartesianas, ocorreu uma transformação das informações de hora, existente no pluviograma, do formato corrente para um sistema decimal cartesiano, fato este que pode ser visto no Quadro 1.

O programa utilizado neste trabalho teve como função, além de calcular as intensidades para cada intervalo digitalizado, fazer a transformação da hora decimal para a hora no formato conhecido, calculando em seguida a duração entre os intervalos e por último a intensidade no intervalo. O programa foi desenvolvido no Laboratório de Hidráulica da UFPB/Campus II, em linguagem FORTRAN 77 e tem mostrado bons resultado até então.

Cada vez que o programa processava os dados de um pluviograma, armazenava o resultado do processamento num arquivo geral e, em outro arquivo, somente as informações relativas às durações maiores ou iguais a 5 minutos. O resultado do processamento do pluviograma do Quadro 1 pode ser visto a seguir.

#### SUME

ANO	MES	DIA	HINI	HTER	PREC	INT	DUR
					mm	mm/min	min
1986	9	10	1330	1341	1.2	6.55	11.00
1986	9	10	1341	1348	.2	1.71	7.00
1986	9	10	1909	1916	1.1	9.43	7.00

PRECIPITACAO DO DIA = 2.5 MM

**Quadro. 2** - Resultado do processamento do pluviograma

Como citado acima, tem-se dois métodos de análise das frequências de chuvas intensa: séries de duração parcial e série de máximas anuais. As duas metodologias estabelecem as relações entre intensidade duração e frequência, trabalhando a primeiras com os maiores eventos encontrados no período em estudo para uma dada duração e o segundo o evento de maior intensidade de cada ano para uma dada duração.

Apesar do número limitado de informações, 9 anos de dados, o trabalho foi feito levando-se em consideração os dois casos, fazendo-se desta forma uma comparação dos valores obtidos para cada caso.

Após a geração dos arquivos, a próxima fase foi a formação das séries. Para as séries anuais foram tomados, em cada ano, os valores máximos para uma dada duração assumindo-se o erro de tomar valores de duração 2 minutos menor do que o necessário (exceção para o caso de 5 minutos).

Para as séries parciais tomou-se os 9 maiores valores de intensidade, visto que segundo o método anteriormente citado, deve-se tomar os "N" maiores valores onde "N" é o número de anos que estamos trabalhando. Utilizou-se nesta fase um programa para ordenar os valores provenientes do cálculo das intensidades, cujo objetivo principal foi o de facilitar o trabalho durante a procura das informações.

Apesar de estar disponível na literatura outros métodos para análise de frequência de eventos extremos (método de *Gumbel*), a verificação da frequência com que a intensidade assumia cada magnitude foi efetuada utilizando-se o método de *Kimbal*, visto que o método de *Gumbel* é mais utilizado para séries com grande quantidade de dados ( N anos de dados observados). No caso em estudo a quantidade de dados é reduzida adotando-se, portanto, o método citado.

A partir da frequência calculada, obteve-se o período com que cada evento poderá ser igualado ou superado (tempo de retorno). As séries utilizadas como também frequência/período de retorno associados podem ser vistos no Anexo 1 Tabelas 1 a 9 (séries anuais) e Tabelas 9 a 16 (séries parciais).

O período de retorno calculado variou de 1 ano até 10 anos.

Foram agrupados, para cada período de retorno, os valores máximos observados com relação as durações estudadas (Tabelas 17 e 18). Com base nestas

informações as curvas de intensidade duração e frequência para a Bacia Experimental de Sumé foram plotadas (Figs. 1 a 16). As curvas relacionando precipitação com o tempo de recorrência para as durações estudadas também foram plotadas (Figs. 17 a 30

## 5.2 Obtenção dos parâmetros

Como citado, as informações sobre chuvas intensas poderão ser organizadas através de curvas (Fig. 1 a 16), ou através de uma equação genérica como a Equação 3.

A obtenção dos valores dos parâmetros da referida Equação seguiu-se a metodologia de *Sherman (19kk)* citada por *Wilken (1978)* e utilizada em vários trabalhos como o de *Costa e Freitas (1996)*.

Os parâmetros *c* e *d* foram determinados aplicando-se o método dos mínimos quadros à curva relativa a terceira grandeza, isto relativa ao período de retorno " $T = N/3$ ". Para a Bacia de Sumé a quantidade de eventos selecionados totaliza 9 anos de registros, adota-se assim a curva "*i x t*" correspondente a  $T = 3$  anos.

Através do método acima citado, plotou-se o gráfico da Figuras 33 e 34 do Anexo 1, obtendo-se a partir destes as retas que melhor se ajustam aos dados. O coeficiente linear da reta obtida será o parâmetro "*c*" e o coeficiente angular, o parâmetro "*b*".

As Equações obtidas para as séries anuais e parciais com  $T = 3$  anos são mostradas a seguir

$$i = \frac{5128.61}{(t + 3.712)^{1.82}} \quad (\text{Equação 4})$$

$$i = \frac{2788.68}{(t + 3.445)^{1.61}} \quad (\text{Equação 5})$$

Os parâmetros *a* e *b* da Equação 3 são determinados relacionando os valores de  $K (aTr^b)$  com *T*.

Tem-se previamente os valores dos parâmetros  $c$  e  $d$ , como visto nas Eqs. 4 e 5.

$$\text{Log}i + d\log(t+c) = \log K \quad (\text{Equação } 6)$$

Fixando-se um período de retorno atribui-se valores para  $t$  e os correspondentes valores para  $i$  na Eq. 6 obtendo-se assim valores de  $\log K$  para cada período de retorno. De posse da média dos valores de  $\log K$  para cada  $T$  e para uma dada duração plota-se num gráfico os valores de  $\text{Log}T$  x a média dos  $\text{Log}K$  que terá como resultado uma reta cuja equação fornecerá os valores dos parâmetros procurados (Figs. 35 e 36).

Foram obtidas as seguintes equações

*Séries Anuais*

$$K = 2035.63 T^{1.013} \quad (\text{Equação } 7)$$

*Séries parciais*

$$K = 2105.23 T^{0.379} \quad (\text{Equação } 8)$$

## 6. Resultados e discussão

De posse dos valores obtidos no processamento, várias curvas relacionando tempo de retorno com a precipitação foram traçadas tomando-se como base as durações em estudo. As curvas que relacionam intensidade e duração para um dado período de retorno também foram traçadas.

Quando se está utilizando uma longa série de dados é possível fazer a extrapolação dos valores com certa segurança para grandes períodos de retorno. No caso em análise o número de dados não é suficiente para que possa ser efetuado a extrapolação. Desta forma as curvas traçadas só são aplicáveis no intervalo entre 1 e 10 anos.

Com base nos valores dos parâmetros obtidos para as duas séries (anuais e parciais) chega-se as equações mostradas a seguir:

*Séries Anuais*

$$i = \frac{2035.63T^{1.013}}{(t + 3.712)^{1.82}} \quad (\text{Equação 9})$$

*Séries parciais*

$$i = \frac{2105.23T^{0.379}}{(t + 3.445)^{0.37}} \quad (\text{Equação 10})$$

Para verificação da confiabilidade das equações obtidas, atribuiu-se valores ao período de retorno ( $T$ ) e a duração  $t$  obtendo-se assim, valores que poderão ser comparados aos observado. Estes valores estão presentes nas Tabelas 19, 20, 22,23 do Anexo 1.

Nota-se claramente um decréscimo nas intensidades observadas e calculadas com o aumento da duração.

Para as séries anuais o desvio padrão em cada duração foi maior do que o obtido com as séries parciais o que vem mostrar a grande variação das intensidades ao longo do tempo. A média também foi algo que chamou a atenção, pois variou bastante ao longo da duração no caso desta série (série anual).

Observando as Tabelas 17 e 18 pode-se ver que a diferença entre o valor maior e o valor menor nas séries anuais é bem maior do que aquele encontrado nas séries parciais.

A proposta inicial era trabalhar com durações desde 5 minutos até 720 minutos, mas os dados obtidos após o processamento vieram mostrar que chuvas com duração de 120 minutos ou mais não eram freqüentes. Outro ponto a ser levado em consideração é o fato de que as chuvas naquela região não são uniformes. Sendo assim são raros os casos onde a duração da precipitação durante uma chuva, para o caso de chuvas intensas, ultrapassa a duração de 60 minutos.

Segundo *Pinto (1996)* para durações a partir de 120 minutos, o DAEE de São Paulo, considera uma altura de chuva constante, 25 mm, como limite para selecionar as chuvas intensas. Portanto, passou-se a trabalhar apenas como o intervalo entre 5 minutos e 60 minutos

Observa-se também (Tabs. 19, 20, 22, 23) que para durações entre 5 e 20 minutos os valores calculados divergem bastante dos valores observados, chegando-se a erros percentuais da ordem de 100 % ou mais para os casos extremos, como 10 anos.

Para as durações entre 30 e 60 minutos, foram obtidos erros percentuais entre os valores observados e os calculados abaixo na faixa dos 50 %.

Deve-se levar em consideração que estamos trabalhando com uma equação que melhor se ajusta aos dados obtidos o que significa dizer que poderemos obter valores maiores ou menores do que o valor observado.



## 7. Conclusão

Com base nos resultados obtidos observa-se que as curvas geradas a partir dos dados observados poderão ser utilizadas, mas deve-se levar em consideração a finalidade a que a obra a ser construída se destina e qual o risco que pretende-se adotar. A ressalva foi feita considerando-se que as curvas determinadas são válidas para um tempo de recorrência entre 1 ano e 10 anos

Em se tratando das equações obtidas, a partir dos dados observados, se faz necessário um estudo estatístico mais elaborado dos dados originais com a finalidade de fazer com que o valor calculado possam chegar o mais próximo possível dos valores observados. Desta forma seria possível aplicar as equações obtidas com um grau de confiabilidade maior, visto que os erros existentes entre os valores observados e os calculados estão acima de um valor aceitável.

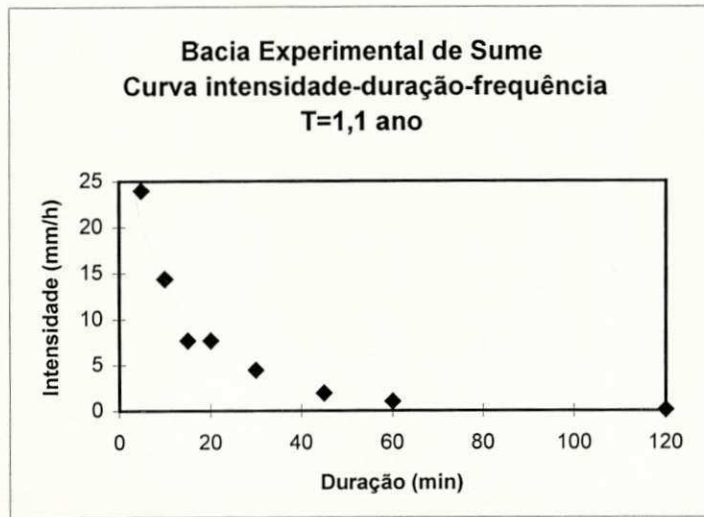
Observando-se as Tabs. 19, 20, 22, 23 conclui-se que para durações entre 30 minutos e 60 minutos os valores calculados com as equações estão próximos dos valores observados, como também os erros percentuais estão mais próximos do aceitável (Tabs. 21 e 24)

Os valores obtidos a partir da equação genérica utilizando-se os dados de séries parciais aproximaram-se mais dos valores observados do que os referido valores calculados com os dados das séries anuais.

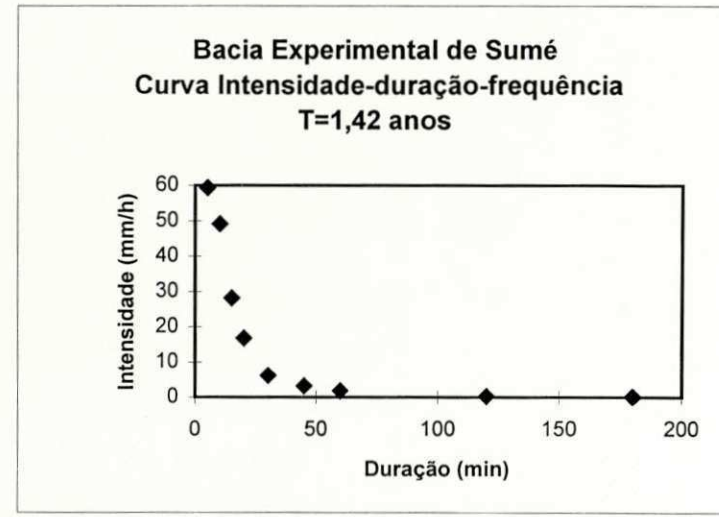
## 8. Bibliografia

- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. (1985) *Conservação do solo*. Piracicaba, Livroceres, . 392p
- CADIER, E.; FREITAS, B. J. de & LEPRUN, J. C. (1983). *Bacia Experimental de Sumé; instalação e primeiros resultados*. Recife, SUDENE, 87 p
- COSTA A. R. de, FREITAS G. V. N. (1996) *Equações intensidade/duração/período de retorno para Miracema do Norte (GO) e Niquelândia (GO)*, In: *Anais do III simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador, Bahia, vol. 1*.
- GALVAO, C. de O. (1990). *Modelagem do escoamento superficial e da erosão do solo em microbacias*. Campina Grande, UFPB, Dissertação de Mestrado, 185 p.
- GOMES, H. P.; SRINIVASAN, V. S.; CADIER, E. & GALVÃO C. de O. (1987). *Um estudo experimental do escoamento superficial e erosão na região semi-árida paraibana*. In: *Anais do VII simpósio brasileiro de hidrologia e recursos hídricos*, Salvador, ABRH, Vol. 3, p. 322-336.
- LANNA, A. E. (1993) *Elementos de estatística e probabilidade*. In: *TUCCI, C.E.M., org. Hidrologia*. Porto Alegre, EDUSP, ABRH, p. 79-164, 201-211, (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4).
- PINTO F. A. (1995) *Chuvas intensas no Estado de Minas Gerais: Análise e Modelos*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 87p
- PFAFSTETTER, O. (1957) *Chuvas intensas no Brasil*. Rio de Janeiro, Ministério da Viação e Obras Públicas, DNOS, . 420p.
- VILLELA, S. M. & MATTOS, *Hidrologia Aplicada*, São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975, p. 29-62
- WILKEN, P. S. (1978) *Engenharia de drenagem superficial*. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 487p.

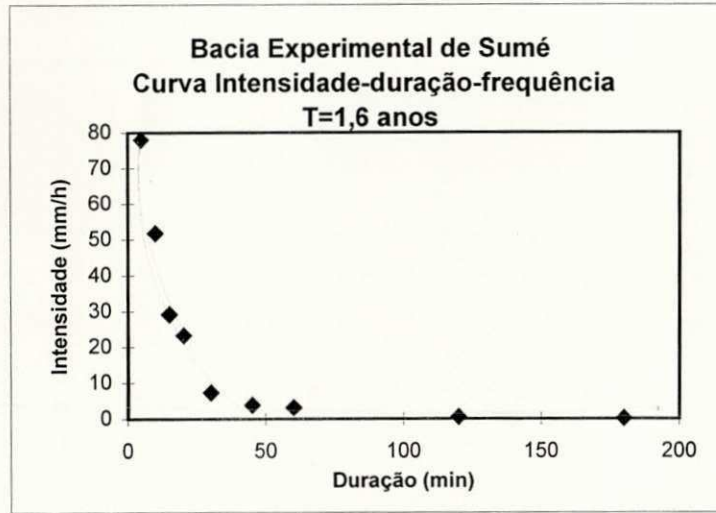
## **ANEXO 1**



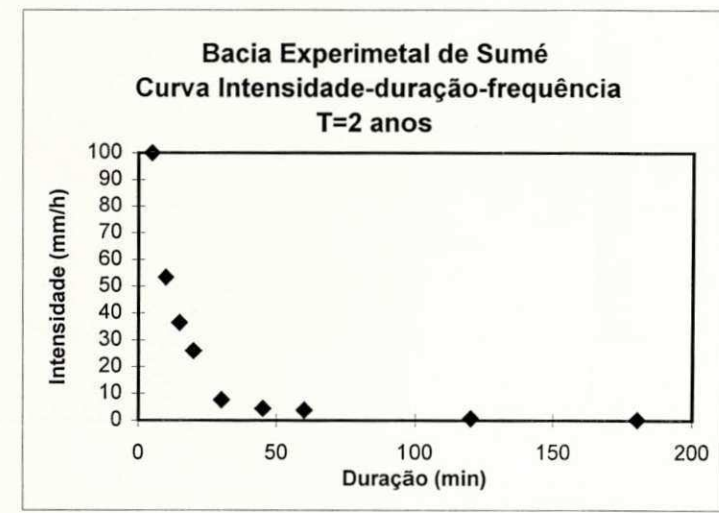
**Figura 01** Curva intensidade-duração-frequência



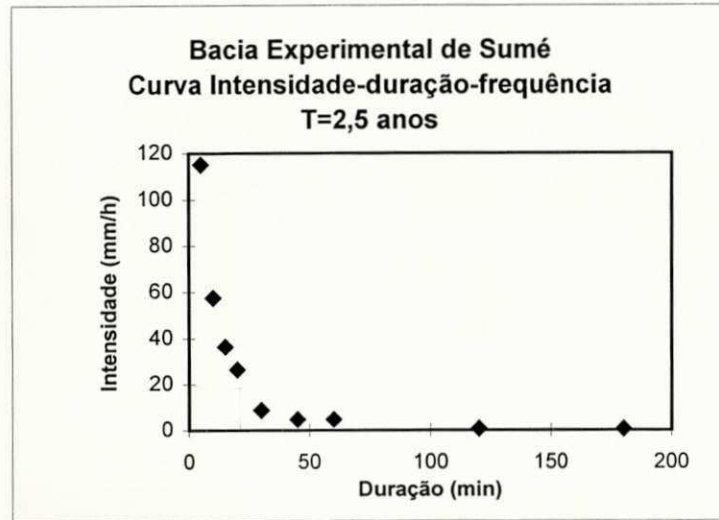
**Figura 02** Curva intensidade-duração-frequência



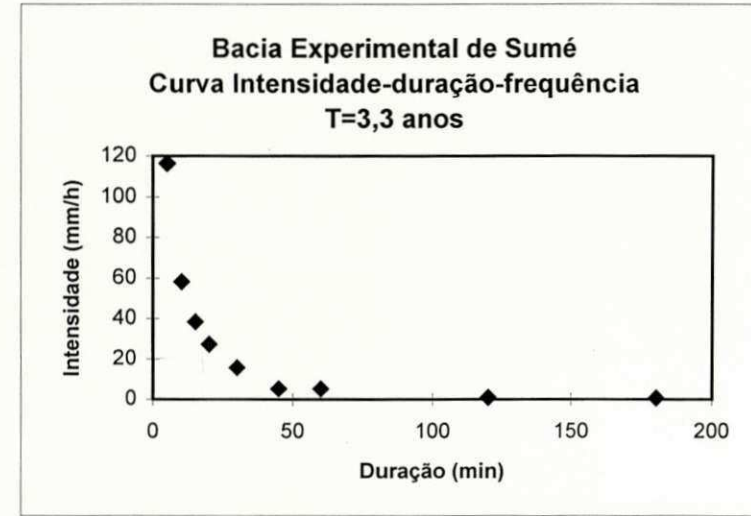
**Figura 03** Curva intensidade-duração-frequência



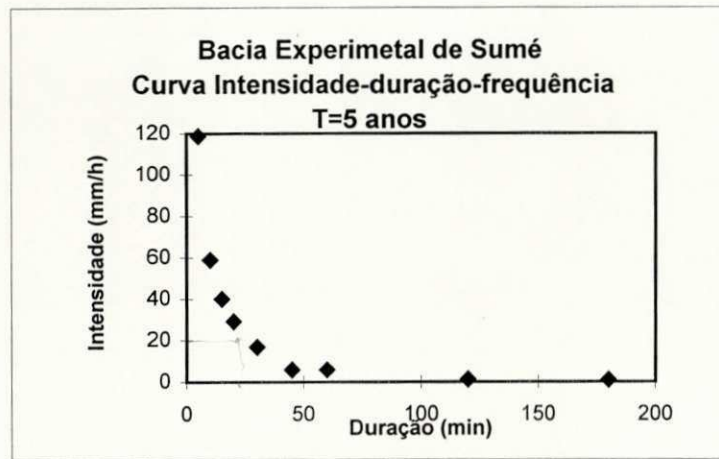
**Figura 04** Curva intensidade-duração-frequência



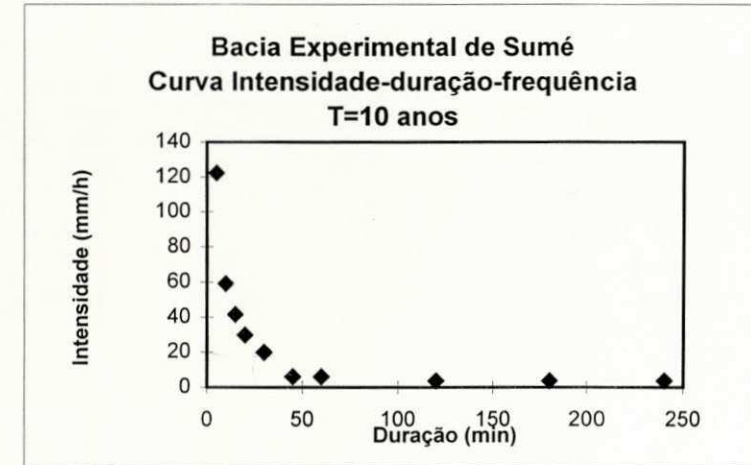
**Figura 05** Curva intensidade-duração-frequência



**Figura 06** Curva intensidade-duração-frequência



**Figura 07** Curva intensidade-duração-frequência



**Figura 08** Curva intensidade-duração-frequência

Séries Parciais

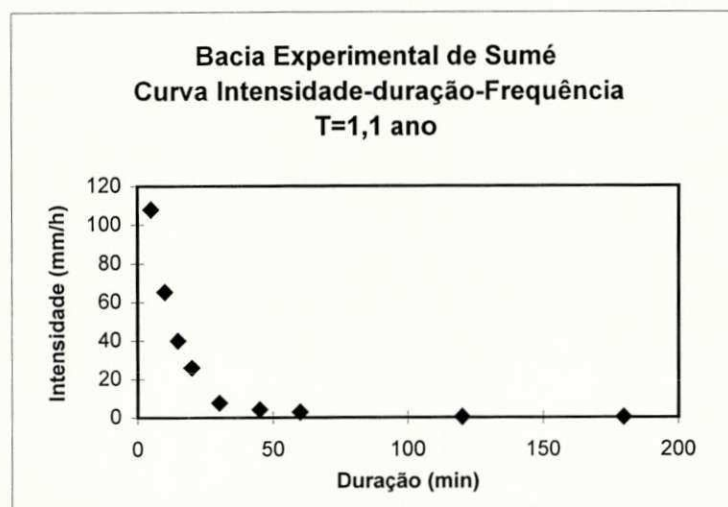


Figura 09 Curva intensidade-duração-frequência

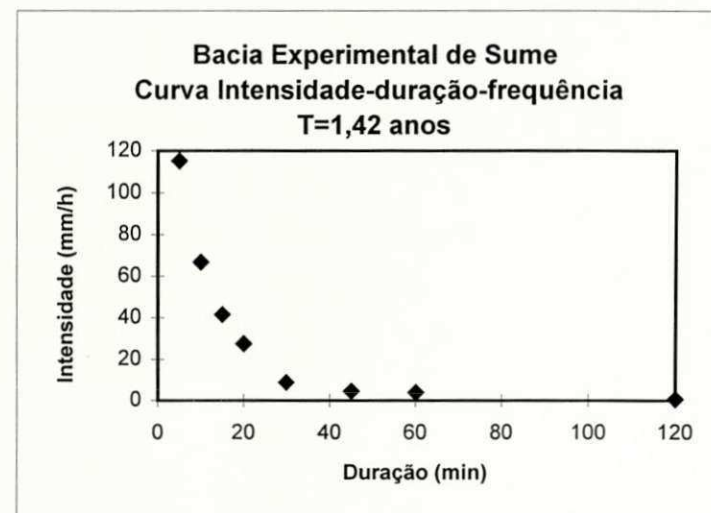


Figura 10 Curva intensidade-duração-frequência

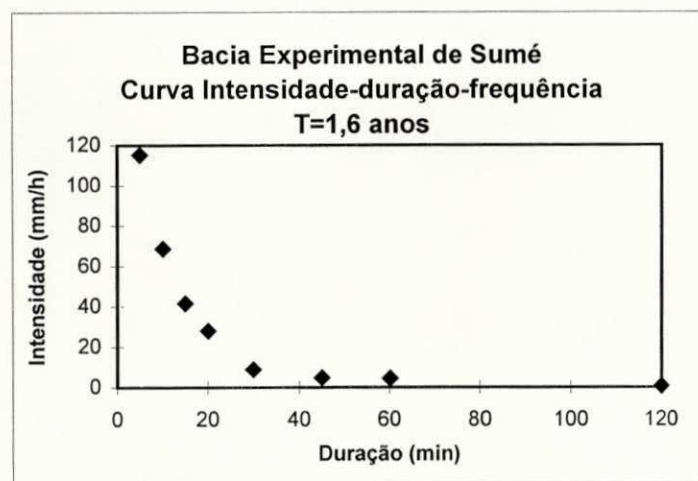


Figura 11 Curva intensidade-duração-frequência

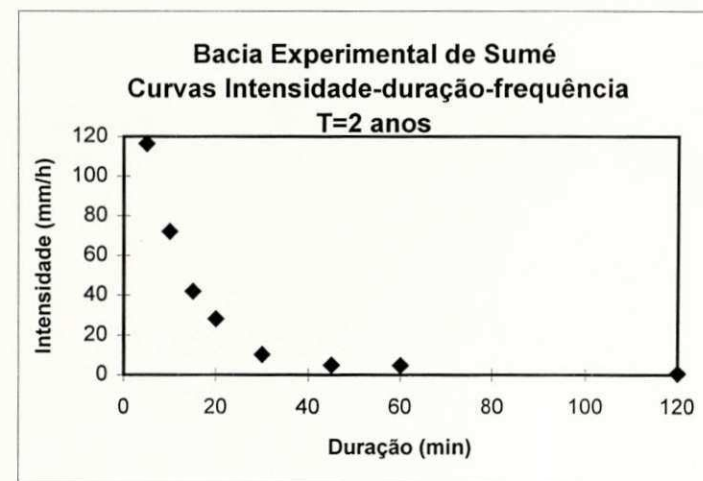
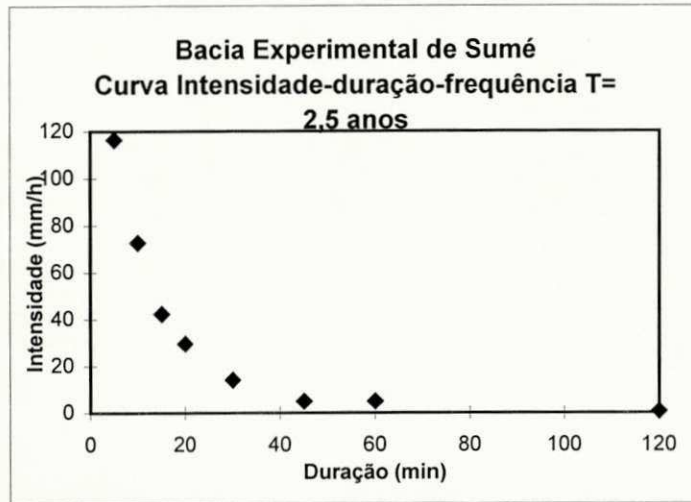
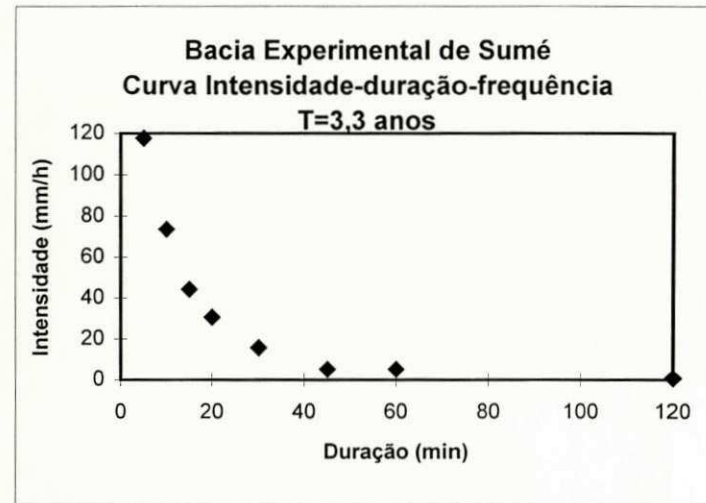


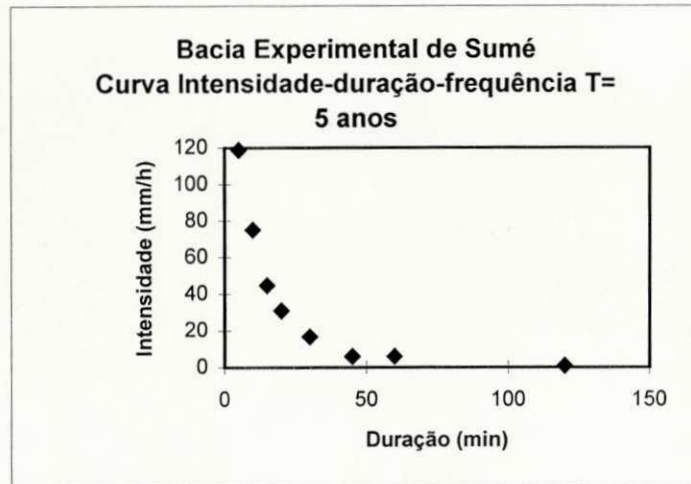
Figura 12 Curva intensidade-duração-frequência



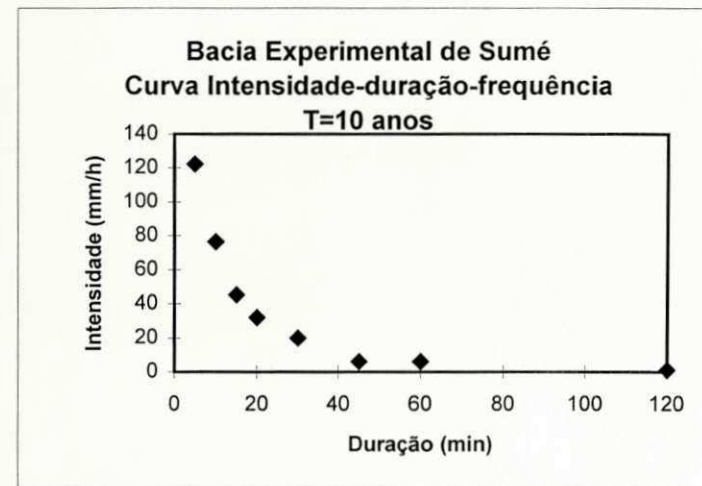
**Figura 13** Curva intensidade-duração-frequência



**Figura 14** Curva intensidade-duração-frequência



**Figura 15** Curva intensidade-duração-frequência



**Figura 16** Curva intensidade-duração-frequência

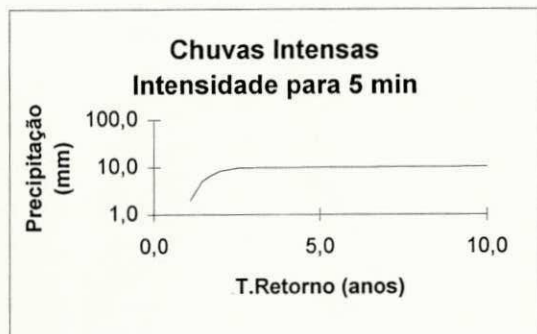


Figura 17 Curva Precipitação x T. Retorno

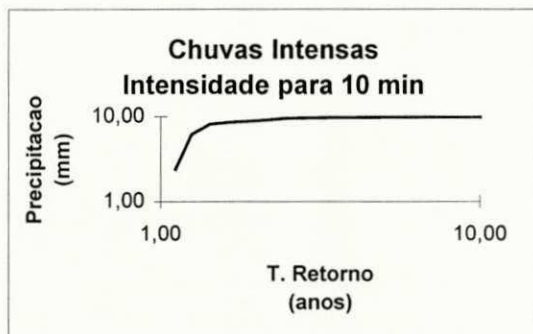


Figura 18 Curva Precipitação x T. Retorn

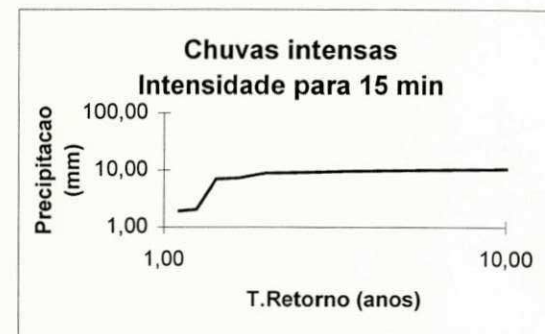


Figura 19 Curva Precipitação x T. Retorno

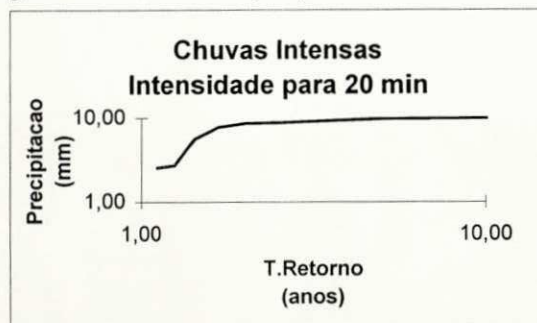


Figura 20 Curva Precipitação x T. Retorno

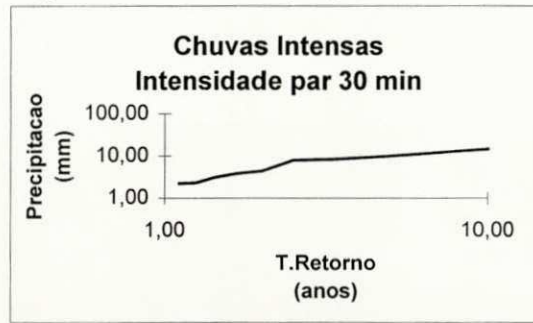


Figura 21 Curva Precipitação x T. Retorn



Figura 22 Curva Precipitação x T. Retorno

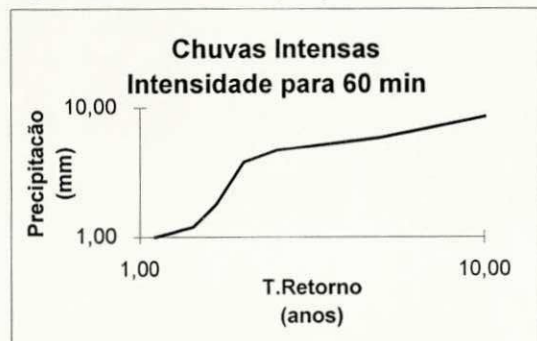


Figura 23 Curva Precipitação x T. Retorno



Figura 24 Curva Precipitação x T. Retorno

Séries Anuais





Figura 25 Curva Precipitação x T. Retorno

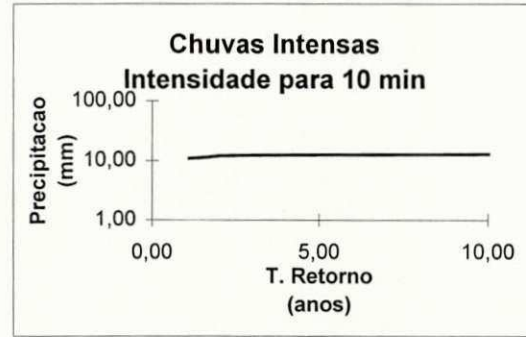


Figura 26 Curva Precipitação x T. Retorno

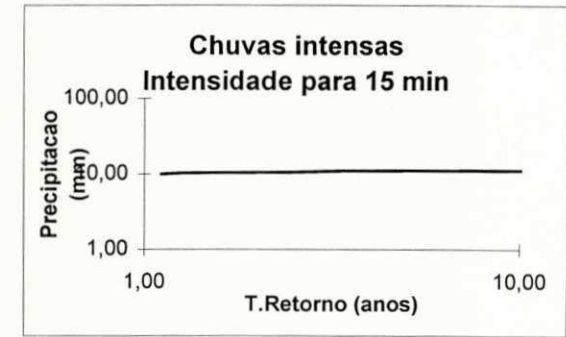


Figura 27 Curva Precipitação x T. Retorno

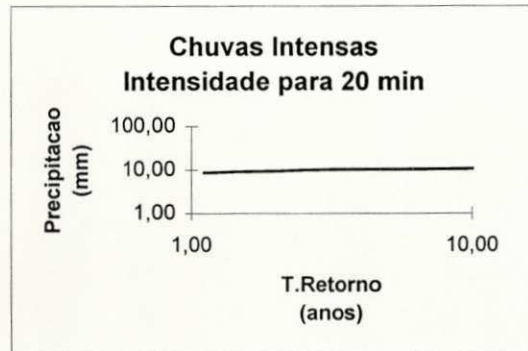


Figura 28 Curva Precipitação x T. Retorno

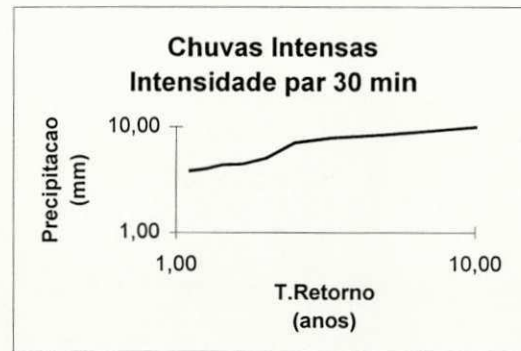


Figura 29 Curva Precipitação x T. Retorno

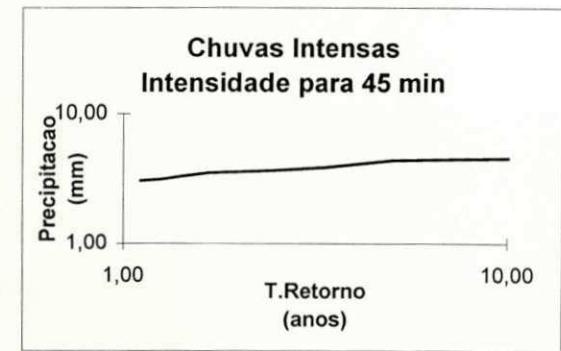


Figura 30 Curva Precipitação x T. Retorno

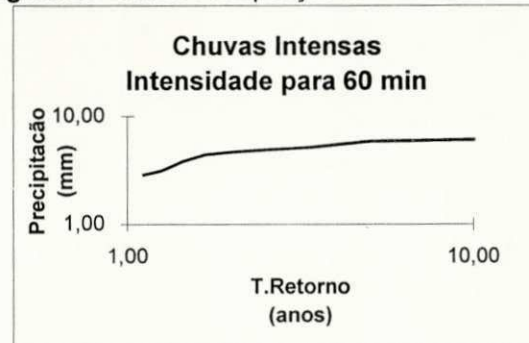


Figura 31 Curva Precipitação x T. Retorno

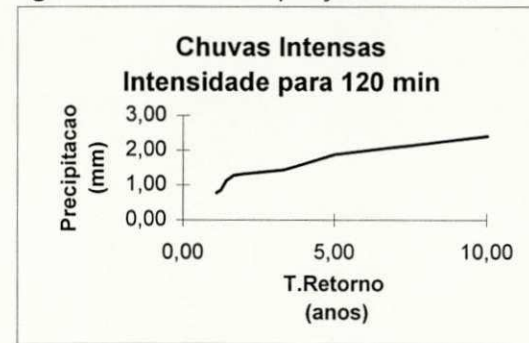
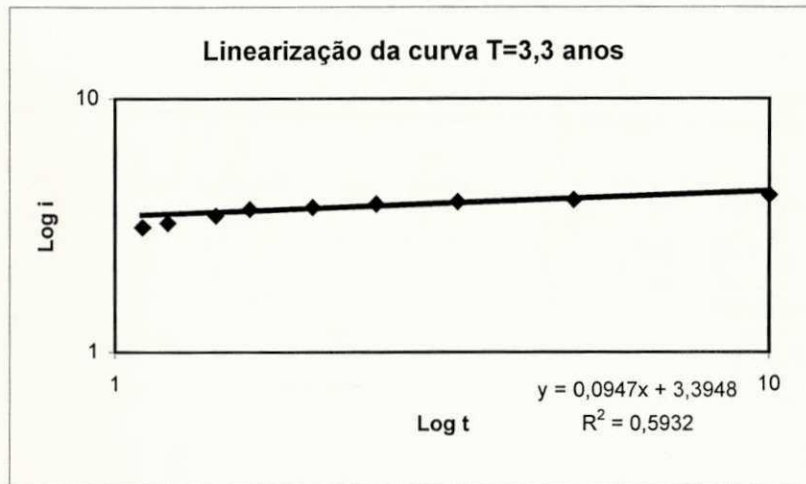
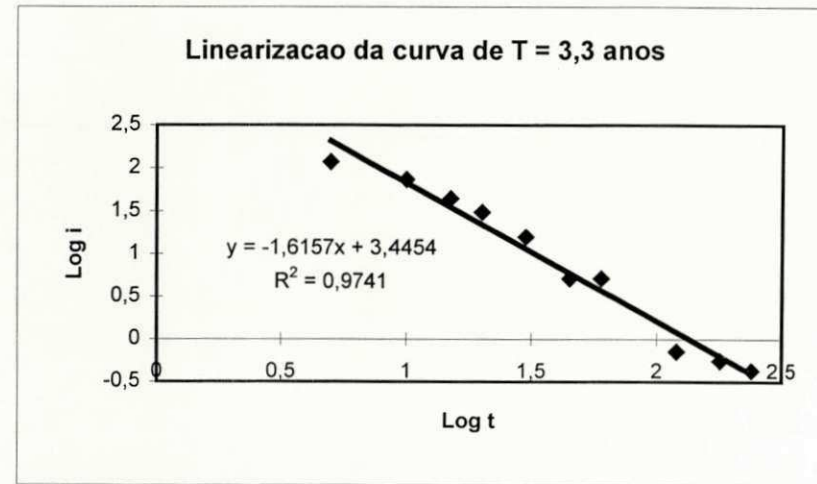


Figura 32 Curva Precipitação x T. Retorno

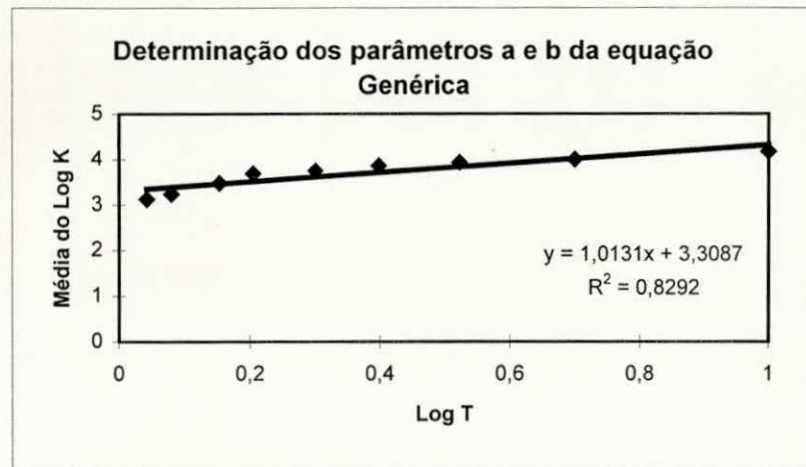
Séries Parciais



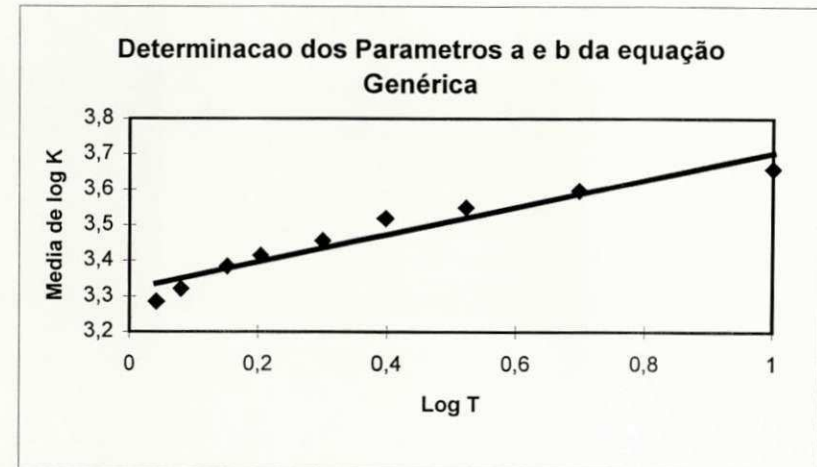
**Figura 33** - Determinação dos parâmetros  $c$  e  $d$  -- T=3,3 anos  
Séries Anuais



**Figura 34** - Determinação dos parâmetros  $c$  e  $d$  -- T=3,3 anos  
Séries Parciais



**Figura 35** - Determinação dos parâmetros  $a$  e  $b$   
Séries Anuais



**Figura 36** - Determinação dos parâmetros  $a$  e  $b$   
Séries Parciais

**Séries Parciais**

**Tabela 13 - Determinação de Frequência, períodos de retorno**

Intensidade para duração 30 min				
m	i	Fre.(kimbal)	T.retorno(kim)	Precipitacao
1	19,86	0,1	10,00	9,93
2	16,76	0,2	5,00	8,38
3	15,73	0,3	3,33	7,87
4	14,14	0,4	2,50	7,07
5	10,07	0,5	2,00	5,04
6	8,89	0,6	1,67	4,45
7	8,76	0,7	1,43	4,38
8	8	0,8	1,25	4,00
9	7,69	0,9	1,11	3,85
Desvio Padra	4,49		Média de i =	12,21

**Tabela 14 - Determinação de Frequência, períodos de retorno**

Intensidade para duração 45 min				
m	i	Fre.(kimbal)	T.retorno(kim)	Precipitacao
1	6,06	0,1	10,00	4,55
2	5,84	0,2	5,00	4,38
3	5,14	0,3	3,33	3,86
4	4,9	0,4	2,50	3,68
5	4,75	0,5	2,00	3,56
6	4,68	0,6	1,67	3,51
7	4,42	0,7	1,43	3,32
8	4,18	0,8	1,25	3,14
9	4,08	0,9	1,11	3,06
Desvio Padra	0,69		Média de i =	4,89

**Tabela 15 - Determinação de Frequência, períodos de retorno**

Intensidade para duração 60 min				
m	i	Fre.(kimbal)	T.retorno(kim)	Precipitacao
1	6,06	0,1	10,00	6,06
2	5,84	0,2	5,00	5,84
3	5,14	0,3	3,33	5,14
4	4,9	0,4	2,50	4,90
5	4,68	0,5	2,00	4,68
6	4,42	0,6	1,67	4,42
7	3,8	0,7	1,43	3,80
8	3,15	0,8	1,25	3,15
9	2,88	0,9	1,11	2,88
Desvio Padra	1,10		Média de i =	4,54

**Tabela 16 - Determinação de Frequência, períodos de retorno**

Intensidade para duração 120 min				
m	i	Fre.(kimbal)	T.retorno(kim)	Precipitacao
1	1,2	0,1	10,00	2,40
2	0,94	0,2	5,00	1,88
3	0,72	0,3	3,33	1,44
4	0,68	0,4	2,50	1,36
5	0,66	0,5	2,00	1,32
6	0,64	0,6	1,67	1,28
7	0,56	0,7	1,43	1,12
8	0,43	0,8	1,25	0,86
9	0,39	0,9	1,11	0,78
Desvio Padra	0,25		Média de i =	0,69

**Tabela 17 - Família de Curvas - Séries anuais**

	1,1 ano	1,2 ano	1,42 ano	1,60 ano	2,0 ano	2,5 ano	3,33 ano	5,0 ano	10 anos
duracao	intensidade	intensidade	intensidade	intensidade	intensidade	intensidade	intensidade	intensidade	intensidade
5	24	34,8	59,33	78	100	115,2	116,4	118,8	122,4
10	14,4	37,2	49,2	51,8	53,4	57,6	58,2	58,8	59,1
15	7,69	8,16	28,16	29,17	36,4	36,4	38,4	40	41,6
20	7,69	8,16	16,85	23,28	25,91	26,4	27,43	29,17	29,7
30	4,42	4,6	6,19	7,35	7,69	8,76	15,73	16,76	19,86
45	1,92	2,4	3,15	3,8	4,42	4,75	5,14	5,84	6,06
60	1	1,08	1,8	3,15	3,8	4,68	5,14	5,84	6,06
120	0,09	0,14	0,23	0,56	0,68	0,72	0,94	1,2	3,63
180	0,03	0,03	0,06	0,17	0,2	0,56	0,68	0,94	3,63
240	0,02	0,03	0,04	0,15	0,17	0,39	0,56	0,94	3,63

**Tabela 18 - Família de Curvas - Séries Parciais**

	1,1 ano	1,2 ano	1,42 ano	1,60 ano	2,0 anos	2,5 anos	3,33 anos	5,0 anos	10 anos
duracao	intensidade	intensidade	intensidade	intensidade	intensidade	intensidade	intensidade	intensidade	intensidade
5	108	114	115,2	115,2	116,4	116,4	117,6	118,8	122,4
10	65,33	66	66,67	68,67	72	72,75	73,5	75	76,5
15	40	41,14	41,54	41,6	42	42,43	44,31	44,77	45,23
20	25,91	26,4	27,43	28	28,11	29,7	30,63	30,95	32
30	7,69	8	8,76	8,89	10,07	14,14	15,73	16,76	19,86
45	4,08	4,18	4,42	4,68	4,75	4,9	5,14	5,84	6,06
60	2,88	3,15	3,8	4,42	4,68	4,9	5,14	5,84	6,06
120	0,39	0,43	0,56	0,64	0,66	0,68	0,72	0,94	1,2
180	0,15	0,17	0,2	0,23	0,39	0,43	0,56	0,68	0,94
240	0,05	0,07	0,13	0,15	0,17	0,39	0,43	0,56	0,94

**Tabela 19** - Valores observados e calculados utilizando a equação Genérica - Séries Anuais

	1,1 ano		1,2 ano		1,42 ano		1,6 ano		2 anos	
duracao (min)	intensidade valor observ.	intensidade valor calc.	intensidade valor observ.	intensidade valor calc.	intensidade valor observ.	intensidade valor calc.	intensidade valor observ.	intensidade valor calc.	intensidade valor observ.	intensidade valor calc.
5	24	43,61	34,8	47,63	59,33	56,48	78	63,74	100	79,91
10	14,4	19,1	37,2	20,83	49,2	24,74	51,8	27,92	53,4	35
15	7,69	10,48	8,16	11,84	28,16	14,05	29,17	15,85	36,4	19,87
20	7,69	7,04	8,16	7,69	16,85	9,13	23,28	10,3	25,91	12,91
30	4,42	3,71	4,6	4,05	6,19	4,81	7,35	5,43	7,69	6,8
45	1,92	1,9	2,4	2,07	3,15	2,46	3,8	2,77	4,42	3,48
60	1	1,16	1,08	1,27	1,8	1,51	3,15	1,7	3,8	2,13
120	0,09	0,34	0,14	0,38	0,23	0,45	0,56	0,5	0,68	0,63

**Tabela 20** - Valores observados e calculados utilizando a equação Genérica - Series Anuais

2,5 anos	3,33		5 anos		10 anos	
intensidade	intensidade	intensidade	intensidade	intensidade	intensidade	intensidade
valor observ.	valor calc.	valor observ.	valor calc.	valor observ.	valor calc.	valor observ.
115,2	100,18	116,4	133,94	118,8	202,18	122,4
57,6	43,88	58,2	58,66	58,8	88,55	59,1
36,4	24,92	38,4	33,31	40	50,29	41,6
26,4	16,19	27,43	21,65	29,17	32,68	29,7
8,76	8,53	15,73	11,41	16,76	17,22	19,86
4,75	4,36	5,14	5,84	5,84	8,81	6,06
4,68	2,67	5,14	3,58	5,84	5,4	6,06
0,72	0,8	0,94	1,07	1,2	1,01	3,63

**Tabela 21 - Erro percentual (valor observado/valor calculado)**

Duração	1,1 ano	1,2 ano	1,42 ano	1,60 ano	2,0 ano	2,5 ano	3,33 ano	5,0 ano	10 anos
5	-81,71	-36,87	4,80	18,28	20,09	13,04	-15,07	-70,19	-233,35
10	-32,64	44,01	49,72	46,10	34,46	23,82	-0,79	-50,60	-202,40
15	-36,28	-45,10	50,11	45,66	45,41	31,54	13,26	-25,73	-143,97
20	8,45	5,76	45,82	55,76	50,17	38,67	21,07	-12,03	-122,05
30	16,06	11,96	22,29	26,12	11,57	2,63	27,46	-2,74	-75,03
45	1,04	13,75	21,90	27,11	21,27	8,21	-13,62	-50,86	-193,56
60	-16,00	-17,59	16,11	46,03	43,95	42,95	30,35	7,53	-80,03
120	-277,78	-171,43	-95,65	10,71	7,35	-11,11	-13,83	15,83	10,19

**Tabela 22 - Valores observados e calculados utilizando a equação Genérica - Séries Parciais**

duracao (min)	1,1 ano		1,2 ano		1,42 ano		1,6 ano		2 anos	
	intensidade valor observ.	intensidade valor calc.	intensidade valor observ.	intensidade valor calc.	intensidade valor observ.	intensidade valor calc.	intensidade valor observ.	intensidade valor calc.	intensidade valor observ.	intensidade valor calc.
5	108	69,35	114	71,62	115,2	76,4	115,2	79,94	116,4	87
10	65,33	32,73	66	33,83	66,67	36,06	68,67	37,73	72	41,07
15	40	19,64	41,14	20,3	41,54	21,64	41,6	22,64	42	24,65
20	25,91	13,33	26,4	13,78	27,43	14,69	28	15,37	28,11	16,73
30	7,69	7,51	8	7,76	8,76	8,27	8,89	8,66	10,07	9,42
45	4,08	4,13	4,18	4,26	4,42	4,55	4,68	4,76	4,75	5,18
60	2,88	2,62	3,15	2,76	3,8	2,94	4,42	3,07	4,68	3,35
120	0,39	0,911	0,43	0,94	0,56	1	0,64	1,05	0,66	1,14
180	0,15	0,48	0,17	0,49	0,2	0,52	0,23	0,55	0,39	0,6
240	0,05	0,3	0,07	0,31	0,13	0,33	0,15	0,35	0,17	0,38

**Tabela 23** - Valores observados e calculados utilizando a equação Genérica -Séries Parciais

2,5 anos		3,3 anos		5 anos		10 anos	
intensidade valor observ.	intensidade valor calc.	intensidade valor observ.	intensidade valor calc.	intensidade valor observ.	intensidade valor calc.	intensidade valor observ.	intensidade valor calc.
116,4	94,68	117,6	105,56	118,8	123,16	122,4	160,19
72,75	44,69	73,5	49,83	75	58,14	76,5	75,62
42,43	26,82	44,31	29,9	44,77	34,89	45,23	45,38
29,7	18,21	30,63	20,3	30,95	23,68	32	30,81
14,14	10,26	15,73	11,43	16,76	13,34	19,86	17,33
4,9	5,63	5,14	6,28	5,84	7,33	6,06	9,54
4,9	3,64	5,14	4,06	5,84	4,74	6,06	6,17
0,68	1,24	0,72	1,38	0,94	1,61	1,2	2,1
0,43	0,65	0,56	0,73	0,68	0,85	0,94	1,11
0,39	0,41	0,43	0,46	0,56	0,54	0,94	0,7

**Tabela 24** - Erro percentual (valor observado/valor calculado)

Duração	1,1 ano	1,2 ano	1,42 ano	1,60 ano	2,0 ano	2,5 ano	3,33 ano	5,0 ano	10 anos
5	35,79	37,18	33,68	30,61	25,26	18,66	10,24	-3,67	-30,87
10	49,90	48,74	45,91	45,06	41,31	38,57	32,20	22,48	1,15
15	50,90	50,66	47,91	45,58	40,48	36,79	32,52	22,07	-0,33
20	48,55	47,80	46,45	45,11	6,45	38,69	33,73	23,49	3,72
30	2,34	3,00	5,59	2,59	-9,05	27,44	27,34	20,41	12,74
45	-1,23	-1,91	-2,94	-1,71	28,42	-14,90	-22,18	-25,51	-57,43
60	9,03	12,38	22,63	30,54	-72,73	25,71	21,01	18,84	-1,82
120	-133,59	-118,60	-78,57	-64,06	-53,85	-82,35	-91,67	-71,28	-75,00