

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**AJUSTE DE EQUAÇÕES INTENSIDADE – DURAÇÃO –  
FREQUÊNCIA A REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS NO ESTADO DO  
ESPÍRITO SANTO**

**LUIZ EDUARDO SCOTTA ANGELI**

**VITÓRIA**

**2015**

**LUIZ EDUARDO SCOTTA ANGELI**

**AJUSTE DE EQUAÇÕES INTENSIDADE – DURAÇÃO –  
FREQUÊNCIA A REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS NO ESTADO DO  
ESPÍRITO SANTO**

Projeto de graduação apresentado ao  
Colegiado de Engenharia Ambiental da  
Universidade Federal do Espírito Santo, com  
área de orientação em recursos hídricos.

Orientador: Ph.D Antônio Sérgio Ferreira  
Mendonça

**VITÓRIA**

**2015**

LUIZ EDUARDO SCOTTA ANGELI

**AJUSTE DE EQUAÇÕES INTENSIDADE – DURAÇÃO –  
FREQUÊNCIA A REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS NO ESTADO  
DO ESPÍRITO SANTO**

Aprovado em 02 de dezembro de 2015.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

Prof. Antônio Sérgio Ferreira Mendonça  
Orientador - UFES

Prof. José Antônio Tosta dos Reis  
Examinador Interno - UFES

Prof. Marco Aurélio Costa Caiado  
Examinador Externo - IFES

## **AGRADECIMENTOS**

..."*Não pense que a cabeça aguenta se você parar*"... (Raul Seixas)

Ao meu orientador Antônio Sérgio, por toda prestatividade e paciência,  
me tirando dúvidas e dando sugestões essenciais ao trabalho.

A meu pai José Luiz, por sempre me proporcionar as melhores  
condições possíveis, colocando seus filhos sempre em primeiro plano.

A toda minha família, pelo apoio e conselhos, em especial minha tia  
Ceia, indispensável na minha vida.

A toda família Hoffmann, pelos conselhos, puxões de orelha e bons  
momentos.

A Fernanda, pela compreensão, suporte, e principalmente por me fazer  
acreditar mais em mim mesmo, essa conquista também é sua.

Em memória de minha mãe, Rosimeri.

## RESUMO

Para dimensionamento de obras hidráulicas, é de grande importância o conhecimento das chuvas intensas na região de estudo, a partir de registros pluviométricos. Geralmente, o objetivo do estudo de chuvas intensas é estabelecer estimativas das intensidades das precipitações máximas para períodos de retorno determinados. Existem diversos modelos probabilísticos utilizados em hidrologia para estimativas das máximas de chuva. O presente trabalho tem como objetivo estimar equações de intensidade-duração-frequência para diferentes regiões do estado do Espírito Santo, através da aplicação dos modelos estatísticos Gumbel, Log Pearson III e Log Normal III. Foram escolhidos 69 postos de medição no estado, e para cada um deles foram estimadas as precipitações máximas para períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, com o uso do software SISCAH. A partir das precipitações máximas e admitindo-se as relações de intensidade e duração, utilizou-se regressão linear para estimativas dos parâmetros. . A análise dos resultados mostrou a grande importância da escolha do modelo mais adequado para uma série de dados. Além disso, mostrou que a ausência de períodos relativos a precipitações máximas anuais mais significativas pode conduzir a resultados pouco confiáveis.. A análise das consequências da inclusão, ou não, de dados relativos ao período de grandes enchentes em diversas regiões do Estado do Espírito Santo, em 2013, permitiu a verificação de que mesmo precipitações pluviométricas acumuladas mensais muito altas podem ser de pouca influência nos resultados de estudos probabilísticos de chuvas intensas, como o desenvolvido nesta pesquisa, que consideram apenas valores de máximas precipitações diárias anuais.

**Palavras-chave:** Chuvas intensas, Equações IDF, Métodos probabilísticos em hidrologia.

## ABSTRACT

For hydraulic works sizing its essential a heavy rains analysis on the study area, using measured data on rainfall network. The aim of heavy rains studies is establish maximums rainfalls intensities for determined return periods. There are several probabilistic models used in hydrology for maximum rainfall estimates. The aim of this study is provide intensity-duration-frequency equations for all the state of Espírito Santo regions, with the application of Gumbel, Log Pearson III and Log Normal III statistical models, and based on the state rainfall network data. Were selected 69 measurement points on the state, and for each one was established the maximum estimates for returns periods of 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 and 100 years, calculated from the SISCAH software. Based on the maxims and making the intensity and duration relations, the equations were parameterized with linear regression. The data analysis demonstrates the importance of choosing the most appropriate model for a data series, and how the data absence can impair the results as well.

**Keywords:** Heavy rains, IDF equations, Probabilistic methods in hydrology.

## LISTA DE SÍMBOLOS

*b* – Parâmetro da equação intensidade – duração - frequência

*d* – Variável relacionada à equação IDF para regressão linear

*D* – Parâmetro utilizado nas distribuições Pearson III e Log Pearson III calculado a partir do período de retorno

*e* – Algarismo neperiano

$E_i$  – Somatório dos desvios quadrados

$ERM$  – Erro relativo médio

*F* – Frequência de totais precipitados

*i* – Intensidade de chuva

*k* – Fator de frequência para equação de Ven Te Chow

*K* – Parâmetro da equação intensidade – duração - frequência

*m* – Parâmetro da equação intensidade – duração - frequência

*M* – Ordem do evento, numa série ordenada do maior para o menor

*M* – Magnitude de um evento estimado para um dado período de retorno

$M_y$  – Magnitude de um evento estimado para um dado período de retorno, com base na série logarítmica de dados

*n* – Parâmetro da equação intensidade – duração - frequência

*N* – número de anos de observação

*P* – Probabilidade de um evento ser superado

$r^2$  - Coeficiente de determinação

$T$  – Período de retorno

$Var(x)$  – Variância de uma série de dados

$W$  - Parâmetro utilizado na distribuição Log Normal III, calculado a partir do parâmetro  $\omega$

$z$  – razão entre desvio padrão e média de uma série de dados

$\alpha$  – Limite inferior da distribuição Log Normal III

$\beta_{sup}$  – Limite superior do intervalo de confiança

$\beta_{inf}$  – Limite inferior do intervalo de confiança

$\gamma$  – Coeficiente de assimetria de uma série de dados

$\delta$  - Erro padrão da função de probabilidade

$\mu$  - Média da série de máximas anuais

$\mu_y$  - Média da série logarítmica de máximas anuais

$\omega$  – Parâmetro utilizado na distribuição Log Normal III, calculado a partir do coeficiente de assimetria

$\sigma$  – Desvio padrão de uma série de dados

$\sigma_n$  – Desvio padrão da variável reduzida da distribuição de Gumbel

$\sigma_y$  – Desvio padrão da série logarítmica de dados

$\theta$  – Variável reduzida da distribuição de Gumbel

$\theta_n$  – Média da variável reduzida da distribuição de Gumbel

## **LISTA DE ABREVIAÇÕES**

ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos

ANA – Agência Nacional de Águas

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DNOS – Departamento Nacional de Obras de Saneamento.

IDF – Intensidade – Duração – Frequência

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico

SisCAH – Sistema Computacional para Análises Hidrológicas

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFV – Universidade Federal de Viçosa

Unoesc - ACET – Universidade do Oeste de Santa Catarina – Área das Ciências  
Exatas da Terra

USP – Universidade de São Paulo

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Tela de consulta de estações pluviométricas do hidroweb .....	36
<b>Figura 2.</b> Localização das estações pluviométricas utilizadas.....	40
<b>Figura 3.</b> Tela inicial do software SISCAH.....	41
<b>Figura 4.</b> Interface de pré-processamento do SISCAH .....	42
<b>Figura 5.</b> Interface de estimativas de máximas do SISCAH .....	43
<b>Figura 6.</b> Localização das estações com altos valores de máximas no período 08/03/1960 a 09/03/1960 .....	53
<b>Figura 7.</b> Localização das estações com altos valores de máximas no período 15/01/1982 a 17/01/1982 .....	53
<b>Figura 8.</b> Localização das estações com altos valores de máximas no período 08/03/1994 a 09/03/1994 .....	54
<b>Figura 9.</b> Localização das estações com altos valores de máximas no período 17/12/2000 a 18/12/2000 .....	55
<b>Figura 10.</b> Localização das estações com altos valores de máximas no período 19/11/2001 a 21/11/2001 .....	55
<b>Figura 11.</b> Localização das estações com altos valores de máximas no período 27/10/2009 a 30/10/2009 .....	56
<b>Figura 12.</b> Gráfico de amplitude do intervalo de confiança em função do período de retorno, para a estação localizada no município de São Mateus .....	69
<b>Figura 13.</b> Gráfico de amplitude do intervalo de confiança em função do período de retorno, para a estação localizada no município da Serra .....	70
<b>Figura 14.</b> Gráfico de amplitude do intervalo de confiança em função do período de retorno, para a estação localizada no município de Castelo .....	71

**Figura 15.** Gráfico de intensidade – duração – frequência para durações de chuvas mais curtas com base na equação parametrizada para a estação pluviométrica de Vitória ..... 88

**Figura 16.** Gráfico de intensidade – duração – frequência para durações de chuvas mais longas com base na equação parametrizada para a estação pluviométrica de Vitória ..... 88

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Valores da média da variável reduzida em função do tamanho da amostra .....	26
<b>Tabela 2.</b> Valores de desvio padrão da variável reduzida em função do tamanho da amostra .....	27
<b>Tabela 3.</b> Relações entre alturas pluviométricas em função das durações de chuva .....	34
<b>Tabela 4.</b> Estações Pluviométricas utilizadas .....	38
<b>Tabela 5.</b> Relações entre alturas pluviométricas (CETESB 1979).....	44
<b>Tabela 6.</b> Resumo das Séries de Máximas Anuais.....	47
<b>Tabela 7.</b> Período considerado para cada estação e anos excluídos da análise por ausência de dados .....	49
<b>Tabela 8.</b> Valores e datas de ocorrência dos quatro maiores valores da série de máximas anuais da estação .....	51
<b>Tabela 9.</b> Precipitações máximas diárias e acumuladas no mês de dezembro de 2013, para as estações que apresentaram maior acumulado de chuvas neste período.....	58
<b>Tabela 10.</b> Máximas estimadas pela distribuição de Gumbel em função do período de retorno .....	60
<b>Tabela 11.</b> Máximas estimadas pela distribuição Log Pearson III em função do período de retorno .....	63
<b>Tabela 12.</b> Máximas estimadas pela distribuição Log Normal III em função do período de retorno .....	66
<b>Tabela 13.</b> Amplitude do intervalo de confiança em função do período de retorno, para a estação localizada no município de São Mateus .....	69
<b>Tabela 14.</b> Amplitude do intervalo de confiança em função do período de retorno, para a estação localizada no município da Serra.....	70
<b>Tabela 15.</b> Amplitude do intervalo de confiança em função do período de retorno, para a estação localizada no município de Castelo .....	71
<b>Tabela 16.</b> Distribuições de probabilidade de melhores ajustes em função dos padrões de amplitude do intervalo de confiança .....	72
<b>Tabela 17.</b> Comparação entre as máximas estimadas para a estação pluviométrica de Ibiraçu.....	74

<b>Tabela 18.</b> Comparação entre as máximas estimadas para a estação pluviométrica de Santa Teresa.....	74
<b>Tabela 19.</b> Comparação entre as máximas estimadas para a estação pluviométrica de Rio Bananal.....	75
<b>Tabela 20.</b> Precipitações máximas estimadas pela distribuição de Gumbel para o município de Vitória para diferentes durações em função do período de retorno .....	76
<b>Tabela 21.</b> Precipitações máximas estimadas pela distribuição Log Pearson III para o município de Vitória para diferentes durações em função do período de retorno ..	76
<b>Tabela 22.</b> Precipitações máximas estimadas pela distribuição Log Normal III para o município de Vitória para diferentes durações em função do período de retorno ..	77
<b>Tabela 23.</b> Intensidades máximas estimadas pela distribuição de Gumbel para o município de Vitória para diferentes durações em função do período de retorno .....	77
<b>Tabela 24.</b> Intensidades máximas estimadas pela distribuição Log Pearson III para o município de Vitória para diferentes durações em função do período de retorno .....	78
<b>Tabela 25.</b> Intensidades máximas estimadas pela distribuição Log Normal III para o município de Vitória para diferentes durações em função do período de retorno .....	78
<b>Tabela 26.</b> Parâmetros das equações IDF com base nas estimativas da distribuição de Gumbel.....	80
<b>Tabela 27.</b> Parâmetros das equações IDF com base nas estimativas da distribuição de Log Pearson III .....	82
<b>Tabela 28.</b> Parâmetros das equações IDF com base nas estimativas da distribuição Log Normal III .....	84
<b>Tabela 29.</b> Parâmetros finais das equações de Intensidade- Duração- Frequência para o modelo de distribuição probabilística mais adequado .....	89

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	15
2. OBJETIVOS .....	17
2.1. Objetivos Gerais .....	17
2.2. Objetivos Específicos.....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1. Ciclo Hidrológico .....	18
3.2. Precipitação .....	18
3.3. Medição da Precipitação .....	20
3.3.1. Equipamentos de medição .....	21
3.4. Frequência de totais precipitados .....	21
3.4.1. Séries Históricas para estudos de precipitações máximas .....	22
3.5. Estatística Básica.....	23
3.5.1. Média Aritmética.....	23
3.5.2. Variância e Desvio Padrão .....	23
3.5.3. Coeficiente de assimetria .....	23
3.6. Modelos Probabilísticos .....	24
3.6.1. Distribuição Gumbel ou tipo I de Fisher-Tippet.....	25
3.6.2. Distribuição Log Normal tipo II.....	27
3.6.3. Distribuição Log Normal tipo III.....	29
3.6.4. Distribuição Pearson tipo III.....	30
3.6.5. Distribuição Log Pearson tipo III.....	30
3.6.6. Intervalo de Confiança.....	31

3.7. Estudo de Precipitações Máximas ou Chuvas Intensas .....	31
3.7.1. Método das relações das durações .....	33
3.7.2. Parametrização das equações de chuvas intensas.....	34
3.7.3. Critérios para adequabilidade da parametrização .....	34
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
4.1. Dispositivo hidroweb (ANA) .....	36
4.2. Área de estudo.....	37
4.3. Software SISCAH 1.0 .....	41
4.3.1. Pré-processamento de dados.....	42
4.3.2. Estimativa de precipitações máximas .....	42
4.4. Parametrizações das Equações IDF.....	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5.1. Séries de Máximas Anuais.....	46
5.2. Analise temporal e espacial das séries de máximas anuais .....	48
5.2.1. Análise da chuva histórica de dezembro de 2013 .....	56
5.3. Máximas de Precipitação Estimadas .....	58
5.3.1. Máximas Estimadas pela Distribuição de Gumbel.....	59
5.3.2. Máximas Estimadas pela Distribuição Log Person III.....	62
5.3.3. Máximas Estimadas pela Distribuição Log Normal III.....	65
5.3.4. Amplitude dos Intervalos de Confiança das estimativas .....	68
5.3.4.1. Padrão A de amplitude dos intervalos de confiança.....	68
5.3.4.2. Padrão B de amplitude dos intervalos de confiança.....	69
5.3.4.3. Padrão C de amplitude dos intervalos de confiança .....	70

5.3.4.4. Adequabilidade dos modelos em função da amplitude do intervalo de confiança .....	71
5.3.5. Análise da influência das chuvas de dezembro de 2013 nas estimativas de máximas .....	73
5.4. Parametrizações das Equações Intensidade-Duração-Frequência .....	75
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	91
7. REFERÊNCIAS.....	93

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso determinante no contexto dos ecossistemas bem como na construção das sociedades. No decorrer histórico as atividades humanas foram se desenvolvendo predominantemente em áreas abastecidas por bacias hidrográficas, e com o crescimento desenfreado das cidades, aliado à má gestão dos recursos hídricos, se torna comum observar problemas de falta de água para as mais variadas atividades. As bacias hidrográficas dependem da água das chuvas para seu abastecimento, e apesar da já citada escassez e suas consequências, o excesso de chuvas passa a se tornar também um problema, podendo causar efeitos desastrosos tanto no âmbito rural como urbano, principalmente através das enchentes.

Fazem-se necessários, portanto, estudos de chuvas intensas para os mais variados projetos de engenharia, sobretudo de drenagem urbana e rural. Chuvas intensas caracterizam-se como precipitações de alta intensidade em curto período de tempo. A quantificação destas chuvas pode ser feita aplicando-se o modelo Intensidade - Duração - Frequência (IDF), que relaciona a máxima intensidade em uma determinada duração da chuva para um período de retorno desejado.

Segundo Genovez (2003) a necessidade de estudos que relacionam intensidades de determinadas durações a períodos de retorno é muito grande para os mais variados projetos de drenagem rural e urbana, tais como galerias de águas pluviais, bueiros, reservatórios de detenção, vertedores, dentre outros.

No meio rural, o conhecimento das características das chuvas intensas é de grande importância, uma vez que a sua intensidade é fator expressivo no processo de erosão do solo (REYES *et al.* apud CARDOSO *et al.*, 2011).

As equações IDF são constituídas por coeficientes determinados de forma empírica através dos registros pluviométricos da área de estudo. Com os dados de pluviometria, se faz a determinação destes coeficientes da equação.

Estudos de Oliveira *et al.* (2005), Silva *et al.* (2012) e Colombelli *et al.* (2013) e Campos *et al.* (2014) apresentam parametrizações de equações IDF para diferentes regiões, usando métodos de regressão linear.

No Brasil existe uma vasta rede pluviométrica. Porém, de acordo com Silva *et al.* (2010), ainda existem poucos estudos de chuvas intensas feitos com essa base de dados.

O estado do Espírito Santo, apesar da rede pluviométrica relativamente vasta, também possui uma defasagem em termos de estudos de chuvas intensas, de tal maneira que o presente trabalho objetiva utilizar registros desta rede para estimativa e atualização das equações IDF para diferentes regiões do estado, contribuindo para futuros projetos de engenharia, e atualizando equações de chuvas intensas de trabalhos já realizados com a adição de dados mais recentes.

## 2. OBJETIVOS

### **2.1. Objetivos Gerais**

Parametrizar e atualizar equações de intensidade, duração e frequência (IDF), para diferentes regiões do estado do Espírito Santo, a partir de registros da rede pluviométrica e aplicação de modelos de distribuição probabilística.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Para se atender aos objetivos do projeto, aplicou-se a seguinte sequencia de tópicos:

- Coleta de dados de precipitação da rede pluviométrica do estado do Espírito Santo.
- Análise de consistência de dados e caracterização das séries de máximas anuais.
- Análise de aspectos temporais e espaciais das séries de dados analisadas.
- Estimar precipitações máximas pelos modelos de distribuição probabilística, bem como a verificação da adequabilidade das estimativas através de critérios estabelecidos.
- Parametrização das equações IDF através das estimativas previamente calculadas, por meio de modelos de regressão linear.
- Verificação da adequabilidade das equações parametrizadas.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico é entendido como a circulação de águas da superfície e oceanos para a atmosfera, formando um ciclo que é impulsionado pela radiação solar, gravidade e rotação da terra. Tal qual definiu Silveira (2004):

“O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre”.

Segundo Carriello (2005) o ciclo hidrológico constitui a maior circulação de matéria dentro do sistema terra-atmosfera. A circulação de água ocorre em 2 âmbitos: Na forma de vapor indo da superfície terrestre e oceanos para a atmosfera, através dos fenômenos de evapotranspiração. E no processo inverso, a água na forma sólida ou líquida regressando da atmosfera para a superfície através do fenômeno de precipitação (chuva, granizo, nevasca, entre outros).

Numa visão mais completa, o ciclo se inicia na evaporação da água dos oceanos. Através das massas de ar este vapor se desloca para a superfície terrestre, onde em grande parte será precipitado. Uma vez em contato na superfície, parte desta água irá escoar para os rios, outra parte penetra o solo até suprir os lençóis freáticos, e outra parte é devolvida à atmosfera através da transpiração de seres vivos e da evaporação (VILLELA *et al*, 1975).

De acordo com Tucci *et al* (2002), a água pode ser considerada um recurso renovável graças ao ciclo hidrológico, sendo importantes os estudos de todos os componentes deste ciclo e suas relações: Precipitação, infiltração, intercepção, percolação e evapotranspiração.

#### 3.2. Precipitação

Dentro do ciclo hidrológico, a precipitação representa o retorno do vapor de água da atmosfera para a superfície na forma líquida. No processo o vapor é condensado pela saturação do ar provocada pelo resfriamento ou descompressão adiabática (OMETTO, 1981).

Segundo Villela e Mattos (1975), o movimento das massas de ar é requisito fundamental no processo de condensação do vapor em suspensão, de tal maneira que as chuvas podem ser classificadas em acordo com as características destes movimentos de massas de ar da seguinte maneira:

a) Ciclônicas

Devido a não uniformidade do processo de aquecimento da superfície terrestre, surgem diferenciais de pressão entre as regiões, de maneira que as massas de ar acabam de deslocando de zonas de alta pressão para zonas de baixa pressão. As chuvas ciclônicas podem ser classificadas em Frontais e não frontais (VILLELA e MATTOS, 1975).

A precipitação ciclônica frontal consiste no encontro de duas massas de ar com temperaturas diferentes. Já a precipitação ciclônica não frontal é formada por uma baixa barométrica. Em áreas de baixa pressão, o ar é elevado a uma convergência horizontal. As chuvas ciclônicas se caracterizam por serem de grandes durações, baixa a moderada intensidade e que atingem grandes áreas. (CARVALHO E SILVA, 2006).

b) Orográficas

Resultam de massas de ar úmido deslocadas do oceano para o continente e que encontram barreiras naturais como as montanhas e se elevam na atmosfera. Essa elevação promove um resfriamento adiabático da massa de ar e consequente condensação, formação de nuvens e precipitação. As precipitações da serra do mar são exemplos típicos (CARVALHO E SILVA, 2006).

Segundo Villela e Mattos (1975), as chuvas orográficas são caracterizadas como chuvas de pequena intensidade e grande duração.

c) Convectivas

Chuvas típicas de regiões tropicais. O aquecimento desigual da superfície cria um perfil de estratificação térmica na atmosfera instável, com camadas de ar com densidades diferentes. Se algum fator externo interferir nesse equilíbrio, ocorre uma súbita verticalização do ar menos denso, formando a precipitação. Estas chuvas se

caracterizam como de pequena duração e grandes intensidades. (CARVALHO E SILVA, 2006).

### **3.3. Medição da Precipitação**

Segundo Carvalho e Silva (2006) a quantificação da chuva é caracterizada pela altura de água precipitada num superfície plana e impermeável.

Segundo Tucci *et al* (2002) os parâmetros de chuva característicos são:

- a) Altura pluviométrica: Altura da lâmina d'água precipitada sobre uma área. É usualmente expressa em mm. Para tal, se admite que essa água não se infiltra, evapora ou escoa para fora da região a ser analisada. A altura de chuva é definida como a quantidade de precipitação referente a um 1 litro por metro quadrado de superfície.
- b) Duração: Período de tempo contando do início ao fim da precipitação, expresso em horas ou minutos.
- c) Intensidade de precipitação: Relação direta entre altura pluviométrica e duração, expresso em mm/h ou mm/min. A intensidade de precipitação varia com o tempo, mas para efeitos de análises são estabelecidos intervalos de tempos em que a intensidade é considerada constante.
- d) Tempo de recorrência: É interpretado como o número de anos durante os quais se espera que uma dada precipitação seja igualada ou ultrapassada.

#### **3.3.1. Equipamentos de medição**

Os equipamentos de medição de pluviosidade podem ser divididos em: Pontuais que consistem em postos pluviométricos localizados em regiões específicas; e espaciais que consistem em medições de grandes áreas a partir de radares (COLLISCHONN, 2006).

##### **a) Pluviômetros e pluviógrafos**

Pluviômetros são aparelhos de medição que consistem num recipiente aberto de bordas delgadas para que fique bem definida a abertura exposta para captação horizontal da chuva. Internamente, o recipiente possui uma forma de漏斗, para que

a água sai apenas por um pequeno orifício, reduzindo o contato com a atmosfera e as consequentes perdas de água por evaporação. As precipitações armazenadas ao longo do tempo são descartadas após o registro de chuva coletado (RIGHETTO, 2009).

Os pluviógrafos consistem numa versão automática dos pluviômetros, de forma a registrar continuamente os dados de precipitação. Pluviógrafos eliminam a etapa de medição manual, formando assim uma base de dados mais detalhada que os pluviômetros, com a formação de hietogramas, que apresentam a variação da chuva ao longo do tempo (RIGHETTO, 2009).

b) Radar meteorológico

O radar meteorológico utiliza de ondas eletromagnéticas irradiadas, que ao entrar em contato com as gotas de chuva são refletidas de volta para o radar. Através das características das ondas são determinadas as taxas de precipitação, e a posição geográfica do ponto de precipitação é relacionado ao tempo de retorno do sinal (COLLISCHONN, 2006).

De acordo com Righetto (2009), os radares consistem em equipamentos caros e complexos, mas muito importantes no controle de inundações urbanas, por fornecerem informações de precipitação quase em tempo real. Além disso, os radares são capazes de cobrir vastas áreas de medição. Segundo Collischonn (2006), apesar da grande área de cobertura, e tempo de resposta curto, os radares meteorológicos, apresentam grande defasagem nas leituras de pluviosidade, sobretudo quando comparados a postos pluviométricos. Ademais, os radares necessitam de constante calibração de dados de entrada, necessitando, assim, de dados de leitura de postos pluviométricos.

### **3.4. Frequência de totais precipitados**

A determinação das características de precipitações máximas numa dada área tem aplicação recorrente em projetos de obras hidráulicas, pois o regime de chuvas tem influência direta no dimensionamento das mesmas. Em obras de drenagem, por exemplo, se faz necessário o conhecimento dos riscos de uma chuva exceder determinados valores, para que se tenha segurança de que a capacidade da obra não seja excedida pela vazão da chuva escoada. Para tal, é feito um estudo de

frequência, com base nos dados medidos em postos pluviométricos. A partir deste estudo se consegue relacionar a magnitude de eventos com a frequência de ocorrência (CARVALHO E SILVA, 2006).

Segundo Carvalho e Silva (2006), primeiramente deve-se ordenar os eventos do maior para o menor. A partir desse ordenamento, dado um evento de ordem  $m$ , a frequência com que este evento é igualado ou superado é dada por:

$$F = \frac{M}{N} \quad \text{ou} \quad F = \frac{M}{N+1} \quad (1)$$

Onde,

$M$  = Ordem do evento;

$N$  = número de anos de observação; e

$F$  = Frequência

Estes métodos são respectivamente denominados método da Califórnia e método de Kimbal.

Sendo o período de retorno ( $T$ ) o tempo médio para que um dado evento seja igualado ou superado, segue a seguinte relação:

$$T = \frac{1}{F} \quad (2)$$

Na prática, a análise de frequências pode ter um ajuste razoável para períodos de retorno bem menores que o total de anos observados na série, porém, para grandes períodos, se faz necessário o ajuste da frequência a modelos probabilísticos (CARVALHO E SILVA, 2006).

### 3.4.1. Séries Históricas para estudos de precipitações máximas

A série histórica original, medida em postos pluviométricos, possui, em regra, os dados de chuva referentes a todo período de tempo, normalmente com medições diárias. Para estudo de chuvas máximas, são utilizados apenas os valores máximos de cada ano da série original. Essa série é denominada de série de máximos anuais, e não considera, por exemplo, o segundo ou terceiro maior valor da série anual, que ocasionalmente pode ser superior aos da máxima de outros anos. Em estudos mais

complexos esses valores descartados podem vir a ser considerados (CARVALHO e SILVA, 2006).

### 3.5. Estatística Básica

Segundo Meyer (1970), as variáveis estatísticas apresentam de forma resumida, a distribuição de uma série de dados. Além disso, estas variáveis possuem aplicação direta nos modelos estatísticos de cálculos de eventos máximos.

#### 3.5.1. Média Aritmética

Dada uma amostra finita de dados, composta por  $n$  elementos  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , a média destes elementos é dada por:

$$\bar{x} = (x_1 + x_2 + \dots + x_n)/n \quad (3)$$

#### 3.5.2. Variância e Desvio Padrão

Segundo Meyer (1970), para calcular a dispersão de uma amostra, se eleva ao quadrado as diferenças de cada valor em relação a média aritmética. Sendo assim, a variância de um conjunto de valores  $x$ ,  $var(x)$ , é dada por:

$$var(x) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4)$$

O desvio padrão é basicamente calculado fazendo-se a raiz quadrada da variância, sendo assim, o desvio padrão  $\sigma$  de uma amostra é dado por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

#### 3.5.3. Coeficiente de assimetria

O coeficiente de assimetria tem como principal função a verificação se uma dada série de dados possui uma distribuição que se aproxima do modelo normal.

Define-se coeficiente de assimetria,  $\gamma$  como o número dado pela seguinte expressão:

$$\gamma = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^3}{\sigma^3} \quad (6)$$

### **3.6. Modelos Probabilísticos**

Segundo Tucci *et al* (2002), no estudo do ciclo hidrológico, as observações dos dados denotam que os pontos acabam sendo espalhados numa alta amplitude, diferentemente de sequências matemáticas, onde os pontos de dados caem sobre curvas suavizadas. Dessa forma, para o estudo de precipitações e vazões, se fazem necessários modelos estatísticos mais complexos para descrever o comportamento das variáveis hidrológicas.

O comportamento exato das variáveis hidrológicas para anos futuros não segue um comportamento padrão para ser previsto. Assim recorre-se às leis de probabilidade, utilizando a base de dados medidas, e projetando para os períodos futuros. Para estudos de máximas, parte-se do pressuposto que as máximas observadas possam ocorrer novamente num futuro, uma expectativa de repetição (VILLELA e MATTOS, 1976).

Watanabe (2013) analisou várias funções de distribuição de frequência para dimensionamento de vertedouros, adotando que os modelos Log Normal II, Log Normal III, Gumbel e Log Pearson III são válidos para este tipo de estimativa, e recomendou uma análise complementar, ou seja, a utilização de mais de um modelo de distribuição para melhores resultados.

Estudos de Damé (1995), Montenegro e Rosal (2011), Martins *et al* (2011), Souza *et al* (2012), utilizaram métodos probabilísticos para determinar vazões ou precipitações futuras.

Segundo DNIT (2005), os modelos estatísticos possuem aplicação mais recomendável para períodos de retorno de, no máximo, 100 anos ou o dobro do período de dados disponíveis. Nesses casos, os resultados entre os modelos estatísticos diferem pouco entre si.

De acordo com Carvalho e Silva (2006), a estimativa que associa a magnitude de um evento com um período de retorno pré-estabelecido pode ser dada pela seguinte equação atribuída a Ven Te Chow:

$$M = \mu + k\sigma \quad (7)$$

Onde:

$M$ = Magnitude do evento para o dado tempo de retorno;

$\mu$  = Média da série de máximos anuais;

$k$  = Fator de frequência, calculado a partir do tempo de retorno; e

$\sigma$  = Desvio padrão dos eventos da amostra.

O fator de frequência é obtido conforme as funções de distribuição de frequência.

### 3.6.1. Distribuição Gumbel ou tipo I de Fisher-Tippet

As distribuições de valores extremos ou de Fisher-Tippet, podem ser divididas dentre os tipos I, II e III. As mais utilizadas em estudos de hidrologia sobretudo para precipitações, são as de tipo I também conhecidas como distribuição de Gumbel (PINTO e NAGHETTHINI, 2007).

Segundo DNIT (2005), a distribuição de Gumbel é baseada na teoria de extremos de amostras ocasionais. Parte do princípio de que se o numero de vazões máximas anuais tende para infinito a probabilidade de um evento ser superado é dado por:

$$P = 1 - e^{-e^{-\theta}} \quad (8)$$

Sendo  $\theta$  a variável reduzida da distribuição de Gumbel. Na prática, para uma série finita de dados, adequa-se a equação anterior à formula de Ven Te Chow.

Segundo Carvalho e Silva (2006), o fator de frequência  $k$  é calculado pela seguinte expressão:

$$k = \frac{\theta - \theta_n}{\sigma_n} \quad (9)$$

Sendo:

$k$  = Fator de frequência;

$\theta$  = Variável reduzida;

$\theta_n$  = Média da variável reduzida, valor pré-estabelecido de acordo com a quantidade de anos da amostra; e

$\sigma_n$  = Desvio padrão da variável reduzida, valor pré-estabelecido de acordo com a quantidade de anos da amostra.

Os valores de  $\theta_n$  e  $\sigma_n$  já são pré-estabelecidos, de acordo com as tabelas 1 e 2 respectivamente, restando-se calcular a variável reduzida  $\theta$ .

A Tabela 1 apresenta os valores de média da variável reduzida,  $\theta_n$ , de acordo com o tamanho da série de dados.

**Tabela 1:** Valores da média da variável reduzida em função do tamanho da amostra.

Tamanho da Amostra	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4496	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5402	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600									

A Tabela 2 apresenta os valores do desvio padrão da variável reduzida,  $\sigma_n$ , de acordo com o tamanho da série de dados.

**Tabela 2:** Valores de desvio padrão da variável reduzida em função do tamanho da amostra.

Tamanho da Amostra	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1086
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065									

$$T = \frac{1}{P} = \frac{1}{1 - e^{-e^{-\theta}}} \quad (10)$$

Assim sendo, toma-se o logaritmo neperiano duas vezes na expressão (10), consegue-se determinar  $\theta$  em função de  $T$ :

$$\theta = -\ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (11)$$

Dessa forma, a partir das equações (7), (9) e (11) é possível determinar o evento máximo de precipitação, para um período de retorno pré-estabelecido, a partir de uma base de dados. Para se determinar os valores de  $\theta_n$  e  $\sigma_n$ , utiliza-se a base de dados já tabelada, que se baseia no número de anos da série histórica de dados.

### 3.6.2. Distribuição Log Normal tipo II

Segundo Watanabe (2013), a série de máximas anuais não segue um padrão para a distribuição normal de Gauss. Todavia, se os valores de precipitação utilizados forem substituídos por seus respectivos logaritmos, fazendo-se assim uma série de logaritmos das máximas anuais, tem-se uma distribuição normal bem adequada. Dessa forma, para uma variável hidrológica  $x$ , a distribuição Normal de Gauss é dada por:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (12)$$

Sendo  $\mu$  e  $\sigma$  respectivamente a média e o desvio padrão da amostra. Fazendo-se  $y = \log x$ , e aplicando na equação (12), tem-se:

$$F(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma_y^2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right] \quad (13)$$

Sendo  $\mu_y$  e  $\sigma_y$  respectivamente a média e o desvio padrão da amostra da série logarítmica de  $x$ .

Para o modelo Log- Normal, deve-se adequar a equação de Chow para a série de logaritmos, tendo assim:

$$M_y = \mu_y + k\sigma_y \quad (14)$$

Sendo:

$$M = 10^{M_y} \quad (15)$$

O fator de frequência da equação (14) é determinado por:

$$k = \frac{\left[ e^{\sqrt{\ln(z^2+1)}} T - \frac{\ln(z^2+1)}{2} \right] - 1}{z} \quad (16)$$

Sendo:

$$z = \frac{\sigma}{\mu} \quad (17)$$

Em que:

$T$  = Período de retorno

$\mu$  = Média da série de máximos anuais; e

$\sigma$  = Desvio padrão dos eventos da amostra.

Sendo assim a partir das equações (14), (16) e (17), é possível calcular o logaritmo do montante de precipitação máxima para um período de retorno pré-estabelecido, com base nos logaritmos da série histórica de máximas anuais. A partir do valor encontrado na expressão (14), se utiliza a relação (15), para se determinar o montante real para o período de retorno estabelecido.

### 3.6.3. Distribuição Log Normal tipo III

A distribuição Log Normal tipo III ou log normal de 3 parâmetros funciona de maneira semelhante ao modelo Log Normal tipo II, com o diferencial de subtrair o valor de  $x$  por um limite inferior  $\alpha$ , tendo assim:

$$y = \ln(x - \alpha) \quad (18)$$

Substituindo na expressão (12), tem-se:

$$F(x) = \frac{1}{(x-\alpha)\sqrt{2\pi\sigma_y^2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right] \quad (19)$$

Sendo que  $\mu_y$  e  $\sigma_y$  são calculados em acordo com a expressão (18).

O fator de frequência de Chow, será calculado pela seguinte expressão:

$$k = \frac{\left[e^{\sqrt{\ln(z^2+1)}} T - \frac{\ln(z^2+1)}{2}\right] - 1}{W} \quad (20)$$

Sendo:

$$W = \frac{1 - \omega^{\frac{2}{3}}}{\omega^{\frac{1}{3}}} \quad (21)$$

Em que:

$$\omega = \frac{-\gamma + \sqrt{\gamma^2 + 4}}{2} \quad (22)$$

Sendo  $\gamma$  o coeficiente de assimetria calculado pela equação (6).

### 3.6.4. Distribuição Pearson tipo III

O estatístico inglês Karl Pearson desenvolveu um sistema de distribuição de probabilidades composto por oito famílias de distribuição. Dentre estas funções, as distribuições da família gama ou Pearson III foram as que mais se adequaram aos estudos de variáveis hidrológicas e, portanto, são as mais comumente utilizadas em estudos de precipitações máximas (WATANABE apud PORTER, 2010, p.38 ).

Aplicando o modelo de Pearson tipo III para a equação de Chow, obtém-se a seguinte função para o fator de frequência  $k$ :

$$k = D + (D^2 - 1) \frac{\gamma}{6} + \frac{1}{3}(D^3 - 6D) \left(\frac{\gamma}{6}\right)^2 - (D^2 - 1) \left(\frac{\gamma}{6}\right)^3 + D \left(\frac{\gamma}{6}\right)^4 + \frac{1}{3} \left(\frac{\gamma}{6}\right)^5 \quad (23)$$

Sendo  $\gamma$  o coeficiente de assimetria da série de dados, e sendo  $D$  calculado por:

$$D = T - \frac{2,30753 + 0,27061T}{1 + 0,99229T + 0,04481T^2} \quad (24)$$

Em que:

$T$  = Período de retorno;

$\gamma$  = Coeficiente de assimetria da série de máximas anuais; e

$D$  = Variável da distribuição de Pearson, calculada a partir do período de retorno.

### 3.6.5. Distribuição Log Pearson tipo III

De maneira análoga ao que ocorre entre a distribuição Normal de Gauss, e a distribuição Log Normal II, a série de dados é submetida a uma transformação logarítmica, e com essa série adaptada é aplicado a distribuição Pearson III. Dessa forma, dado um valor  $x$  da série de máximas anuais, esse valor é submetido a seguinte equação:

$$y = \log x \quad (25)$$

Assim sendo, são calculados o desvio padrão, média aritmética e assimetria para a série de dados transformada, e aplicando-se às equações (23) e (24), obtém-se o evento máximo para o dado período de retorno, através da relação (25).

### **3.6.6. Intervalo de Confiança**

Segundo Kite (1988), o intervalo de confiança é um bom parâmetro para se comparar qual distribuição de probabilidade se adequa melhor numa dada base de dados. Em hidrologia, é recomendável um nível de confiança de 95%, para o qual os extremos do intervalo de confiança são dados por:

$$\beta_{sup} = M + 1,96\delta \quad (26)$$

$$\beta_{inf} = M - 1,96\delta \quad (27)$$

Sendo:

$\beta_{sup}$  = Limite superior do intervalo de confiança;

$\beta_{inf}$  = Limite inferior do intervalo de confiança;

M = Magnitude do evento; e

$\delta$  = Erro padrão da função de probabilidade.

Dessa maneira, como comparação entre os modelos, é adotada a amplitude do intervalo de confiança, dada pela diferença entre o limite superior e inferior.

### **3.7. Estudo de Precipitações Máximas ou Chuvas Intensas**

Segundo Tucci (2002), entende-se como precipitação máxima a ocorrência extrema com duração, distribuição temporal e espacial, crítica para uma área ou bacia hidrográfica. As precipitações máximas são retratadas pelas curvas de intensidade, duração e frequência (IDF), que relacionam o risco de uma intensidade de precipitação ser igualada ou superada para uma dada duração.

Segundo Carvalho e Silva (2006), a precipitação tem efeitos diretos sobre a erosão do solo, enchentes em áreas rurais e urbanas, obras hidráulicas e outras, de maneira que o estudo das precipitações máximas é necessário para as mais variáveis obras hidráulicas, como: sistema de drenagem, vertedouros de barragens, galerias pluviais, bueiros, estruturas de contenção de escoamento superficial, entre outras.

Segundo DNIT (2005), na ausência de dados pluviométricos, deve-se recorrer a dados bibliográficos, destacando-se o livro “Chuvas Intensas no Brasil” do engenheiro Otto Pfafstetter, que desenvolveu equações de chuva para várias localidades do Brasil. Quando existem dados de rede pluviométrica disponíveis, de pelo menos 10 a 15 anos de medições, pode-se correlacionar a análise à série de dados medida.

Para análise de intensidade, duração e frequência de chuvas em locais com base de dados, é necessária uma série de dados suficientemente longa e representativa dos eventos extremos do local. Existem dois enfoques principais na análise estatística de chuvas intensas, as séries parciais, e as séries anuais. As séries parciais são pouco utilizadas e tem aplicação para séries de dados pequenas, e para períodos de retorno também pequenos. Já a metodologia de séries anuais, mais comumente utilizada, baseia-se na escolha das maiores precipitações anuais, da série de dados (TUCCI, 2002).

Segundo Tucci (2002), as curvas de intensidade duração e frequência, podem ser matematicamente expressas pela equação genérica:

$$i = \frac{KT^m}{(t+b)^n} \quad (28)$$

Sendo:

$i$  = Intensidade da chuva, dada em mm/min ou mm/h;

$T$  = Período de retorno, dado em anos;

$t$  = Duração da chuva, dada em min ou h; e

$K, m, n, b$ : Parâmetros da equação que devem ser determinados para cada local.

### **3.7.1. Método das relações das durações**

Segundo DNIT (2005), o estudo de chuvas intensas requer dados de chuva para intensidades menores que 24 horas, cuja medição geralmente não é feita nos postos pluviométricos, visto que as medições são comumente feitas apenas uma vez num intervalo de 24 horas. Dessa forma, se faz necessária conversão dos dados medidos para períodos menores.

De acordo com Tucci (2002), o método que relaciona a precipitação para diferentes períodos de duração se baseia em características de curvas IDF localizadas em diversas partes do mundo, que apontaram uma tendência das curvas de intensidade para diferentes durações num mesmo período de retorno, se manterem paralelas entre si. Além disso, se observou que para menores durações, a intensidade de chuva tende a aumentar. Dessa forma foram criadas relações entre as diferentes durações, que consistem basicamente na divisão entre as respectivas intensidades de cada duração.

Os valores destas relações variam muito pouco, mesmo ao se comparar países diferentes. CETESB (1979) disponibiliza as relações para diferentes durações com base em dados obtidos de postos no Brasil através de estudo do Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), que junto com os dados para os Estados Unidos são mostrados na Tabela 3. Ressalta-se que a precipitação diária corresponde ao intervalo de tempo entre os horários de observação, ao passo que a precipitação de 24 horas corresponde ao maior valor correspondente a um período consecutivo de 24 horas, que não necessariamente coincide com o período de observação (TUCCI, 2002).

**Tabela 3:** Relações entre alturas pluviométricas em função das durações de chuva.

Relação entre alturas pluviométricas	Obtidos do estudo do DNOS (médios)	Estados Unidos U.S.W. Bureau	Estados Unidos Denver
5min / 30min	0,34	0,37	0,42
10min / 30min	0,54	0,57	0,63
15min / 30min	0,70	0,72	0,75
20min / 30min	0,81		0,84
25min / 30min	0,91		0,92
30min / 1h	0,74	0,79	
1h / 24h	0,42		
6h / 24h	0,72		
8h / 24h	0,78		
10h / 24h	0,82		
12h / 24h	0,85		
24h / 1 dia	1,14	1,13	

Fonte: Adaptado de CETESB(1979).

### 3.7.2. Parametrização das equações de chuvas intensas

Para determinação da equação de chuvas intensas numa dada região, é necessário que se determinem os quatro parâmetros empíricos da equação:  $K, m, n$  e  $b$ . O ajuste desses parâmetros é feito a partir da série de máximas anuais, calculando-se as máximas através dos modelos estatísticos, e por fim são determinados os parâmetros por meio de regressão linear ou não-linear (CAMPOS *et al*, 2014).

Estudos de Oliveira *et al* (2000), Oliveira *et al* (2005), Moruzzi e Oliveira (2009), Silva *et al* (2012), Colombelli e Mendes (2013), Farias *et al* (2013) e Campos *et al* (2014), fizeram o ajuste de parâmetros para equações IDF utilizando de regressão linear ou regressão linear e não-linear.

Os parâmetros da equação IDF são determinados por regressão linear ou não linear. O procedimento de regressão linear, mais comumente utilizado, se baseia na linearização da equação de chuvas intensas através da aplicação de logaritmos. Já o procedimento de regressão não linear demanda de softwares matemáticos que farão a parametrização da equação.

### 3.7.3. Critérios para adequabilidade da parametrização

Para analisar se a equação IDF parametrizada se adequa aos valores obtidos das distribuições de probabilidade, deve-se adotar métodos que retornam valores numéricos simplificados que irão classificar a adequabilidade da equação parametrizada.

Silva *et al* (2012), e Campos *et al* (2014); para avaliar a adequabilidade das equações IDF parametrizadas, usaram como critério o coeficiente de determinação  $r^2$ , que é determinado pela equação:

$$r^2 = \frac{\sum_i(x_i - x_m)(y_i - y_m)}{\sqrt{\sum_i(x_i - x_m)^2 \sum_i(y_i - y_m)^2}} \quad (29)$$

Sendo,

$r^2$  = Coeficiente de determinação

$x_i$  = Valor observado (modelo probabilístico);

$x_m$  = Média dos valores observados (modelo probabilístico);

$y_i$  = Valor estimado (equação IDF parametrizada);

$y_m$  = Média dos valores estimados (equação IDF parametrizada).

Colombelli e Mendes (2013) utilizaram como parâmetro de verificação o somatório dos desvios quadrados,  $E_i$  dado por:

$$E_i = \sum_i(x_i - y_i)^2 \quad (30)$$

Sendo  $x$  e  $y$  respectivamente os valores observado e estimado.

Oliveira *et al* (2000), utilizou como critério de adequabilidade a estimativa de erro relativo médio (ERM), calculado pela seguinte equação:

$$ERM = 100 \sum_i \frac{|x-y|}{y} \quad (31)$$

Sendo  $x$  e  $y$  respectivamente o valor observado e estimado.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Dispositivo Hidroweb (ANA)

A Agência Nacional de Águas (ANA) disponibiliza em seu website uma coletânea de dados para estudo de hidrologia, denominada Hidroweb, encontrada em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Esse conteúdo contem dados hidrológicos, dentre eles, séries históricas de pluviometria e fluviometria. Os dados de precipitação utilizados neste trabalho foram obtidos, portanto, do dispositivo Hidroweb, conforme a ferramenta de busca mostrada na Figura 1

**Figura 1:** Tela de consulta de estações pluviométricas do Hidroweb

<b>Formulário de Consulta</b>	
Código (8 dígitos):	<input type="text"/> até <input type="text"/> (Ex.: 00047000 até 90300000)
Tipo de Estação:	<input type="text"/> Pluviométrica ▼
Nome:	<input type="text"/> (Ex.: Barra Mansa)
Rio:	<input type="text"/> (Ex.: Rio Javari)
Sub-bacia (código):	<input type="text"/> (Ex.: 10)
Bacia (código):	<input type="text"/> (Ex.: 1)
Município:	<input type="text"/> (Ex.: Itaperuna)
Estado:	<input type="text"/> (Ex.: Rio de Janeiro)
Responsável (sigla):	<input type="text"/> (Ex.: ANA)
Operadora (sigla):	<input type="text"/> (Ex.: CPRM)
Estação telemétrica:	<input type="text"/> ▼
Altitude (m):	<input type="text"/> até <input type="text"/> (Ex.: 1 até 9999)
Área de drenagem (km <sup>2</sup> ):	<input type="text"/> até <input type="text"/> (Ex.: 1 até 9999999)
* A consulta pode ser feita por qualquer campo.	
<b>Listar</b>	

**Fonte:** Agência Nacional de Águas (ANA)

Conforme visualizado na Figura 1, o Hidroweb disponibiliza um conjunto de estações pluviométricas ou fluviométricas, que são denominadas por códigos. A série de dados de uma estação pode ser baixada do Hidroweb, no formato texto (.txt) ou banco de dados (.mdb).

#### **4.2. Área de estudo**

Para escolha das estações pluviométricas utilizadas no trabalho, adotou-se o critério de escolher uma estação para cada município do estado do Espírito Santo, visando uma boa caracterização geográfica das chuvas intensas. Contudo, alguns municípios não possuem estações pluviométricas no Hidroweb, ou as séries de precipitações correspondentes a estações localizadas em alguns municípios não apresentam registros suficientes para estudos de chuvas intensas. Foram selecionados registros de 69 estações, localizadas em 58 municípios, para o presente estudo. As 11 estações adicionais são consideradas representativas de município próximo.

A Tabela 4 apresenta as estações pluviométricas utilizadas no trabalho:

**Tabela 4:** Estações pluviométricas utilizadas.

Município	Código da Estação	Nome da Estação
Afonso Cláudio	02041023	AFONSO CLAÚDIO - MONTANTE
Água Doce do Norte	01840007	ÁGUA DOCE
Águia Branca	01840000	ÁGUIA BRANCA
Alegre	02041003	RIVE
Alfredo Chaves	02040011	MATILDE (DNOS)
Alto Rio Novo	01941012	ALTO RIO NOVO
Anchieta	02040009	ANCHIETA (DNOS)
Apiaçá <sup>1</sup>	02141014	PONTE DO ITABAPOANA
Aracruz	01940003	RIACHO
Atílio Vivacqua	02041000	ATÍLIO VIVACQUA
Baixo Guandu	01941003	BAIXO GUANDU
Barra de São Francisco	01840004	BARRA DE SÃO FRANCISCO
Boa Esperança	01840002	FAZENDA ALEGRIA
Cachoeiro do Itapemirim	02041021	BURARAMA
Cariacica	02040014	DUAS BOCAS (DNOS)
Castelo	02041002	CASTELO
Colatina	01940006	COLATINA - CORPO DE BOMBEIROS
Conceição da Barra	01839001	CONCEIÇÃO DA BARRA
Conceição do Castelo	02041011	CONCEIÇÃO DO CASTELO (DNOS)
Domingos Martins	02040015	PEROBINHA (DNOS)
Dores do Rio Preto	02041014	DORES DO RIO PRETO
Ecoporanga	01840013	ECOPORANGA
Fundão	01940007	FUNDÃO
Governador Lindemberg	01940013	NOVO BRASIL
Guaçuí	02041001	GUAÇUÍ
Guarapari	02040004	GUARAPARI (DNOS)
Ibitirama	01940021	ARACRUZ
Iconha	02040005	IBITIRAMA
Irupi	02041017	ICONHA - MONTANTE
Itaguaçu	01940012	SANTA CRUZ - CAPARAÓ
Itapemirim	02040006	ITAIMBÉ
Itarana	01940000	USINA PAINEIRAS
Iúna	02041013	ITARANA
Jaguaré <sup>3</sup>	01840008	IÚNA
João Neiva	01940005	PONTE NOVA (BR-101)
Laranja da Terra	01941008	CAVALINHO
Linhares	01939002	LARANJA DA TERRA
Mantenópolis	01841009	POVOAÇÃO
Marataízes <sup>4</sup>	02140000	MANTENÓPOLIS
Marechal Floriano	02040012	BARRA DO ITAPEMIRIM (DNOS)
Marilândia <sup>5</sup>	01940025	MARECHAL FLORIANO (DNOS)
Mimoso do Sul	02141015	SERRARIA (ALTO DO MOACIR)
Montanha	01840012	MIMOSO DO SUL
Mucurici	01840006	FAZENDA LIMOEIRO
Muniz Freire	02041018	MUCURICI
Muqui	02041015	USINA FORTALEZA
Nova Venécia	01840005	FAZENDA MONTE ALEGRE
Pancas	01940009	NOVA VENÉCIA
Pedro Canário	01839000	PANCAS
Pinheiros	01840017	MORRO D'ANTA (PEDRO CANÁRIO)
Ponto Belo <sup>6</sup>	01840015	SÃO JOÃO DO SOBRADO
		PATRIMÔNIO SANTA LUZIA DO NORTE

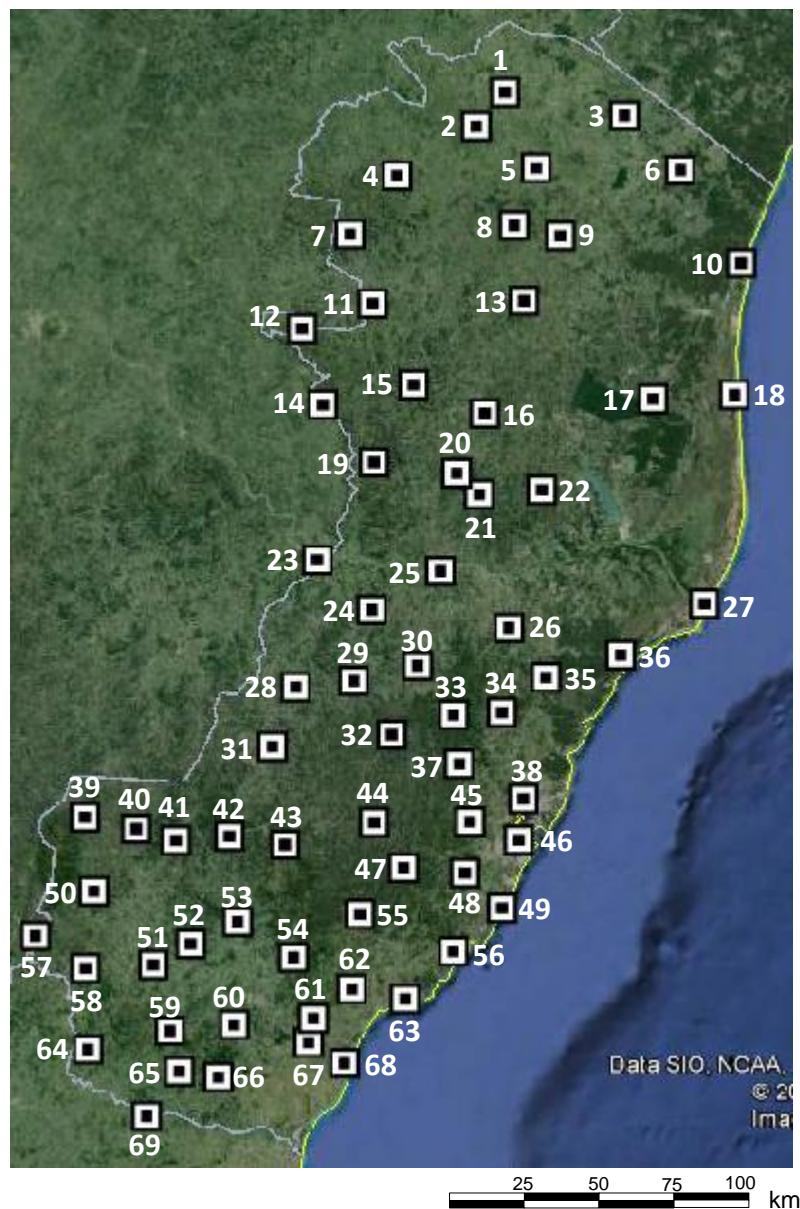
**Continuação da Tabela 4:** Estações pluviométricas utilizadas

Município	Código da Estação	Nome da Estação
<b>Presidente Kennedy</b> <sup>1</sup>	02141017	SÃO JOSÉ DAS TORRES
Rio Bananal	01940023	RIO BANANAL
Rio Novo do Sul	02040013	RIO NOVO DO SUL
Santa Leopoldina	02040010	SANTA LEOPOLDINA
Santa Maria	02040007	SANTA MARIA DO JETIBÁ
Santa Teresa	01940010	VALSUGANA VELHA - MONTANTE
São Gabriel da Palha	01940016	BARRA DE SÃO GABRIEL
São José do Calçado	02141016	SÃO JOSÉ DO CALÇADO
São Mateus	01839006	BARRA NOVA
São Roque <sup>7</sup>	01940001	SÃO JOÃO DE PETRÓPOLIS
Serra	02040003	FAZENDA FONTE LIMPA (DNOS)
Vargem Alta <sup>8</sup>	02041010	JACIGUA (DNOS)
Venda Nova do Imigrante <sup>9</sup>	02041020	ARACE (FAZENDA MODELO)
Viana	02040001	FAZENDA JUCURUABA
Vila Pavão <sup>10</sup>	01840016	PATRIMÔNIO XV
Vila Velha	02040022	PONTA DA FRUTA
Vitória	02040035	VITÓRIA

<sup>1</sup>: Estações localizadas no município de Mimoso do Sul<sup>2</sup>: Estação localizada no município de Aracruz<sup>3</sup>: Estação localizada no município de Linhares<sup>4</sup>: Estação localizada no município de Itapemirim<sup>5</sup>: Estação localizada no município de Colatina<sup>6</sup>: Estação localizada no município de Ecoporanga<sup>7</sup>: Estação localizada no município de Santa Teresa<sup>8</sup>: Estação localizada no município de Cachoeiro do Itapemirim<sup>9</sup>: Estação localizada no município de Domingos Martins<sup>10</sup>: Estação localizada no município de Nova Venécia**Fonte:** Agência Nacional de Águas (ANA)

A Figura 2 apresenta um mapa criado a partir do software Google Earth ®, com a distribuição geográfica das estações, de acordo com as coordenadas disponíveis no Hidroweb.

**Figura 2:** Localização das estações pluviométricas utilizadas.



1:Mucurici	15: Águia Branca	29: Itarana	43: Venda Nova	57:Dores Rio Preto
2:Ponto Belo	16: São Gabriel	30: São Roque	44: Domingos Martins	58: Guaçuí
3:Montanha	17: Jaguaré	31: Afonso Cláudio	45: Cariacica	59: Muqui
4:Ecoporanga	18: São Mateus	32: Santa Maria	46: Vitória	60: Atilio Vivacqua
5:Pinheiros	19: Pancas	33: Santa Teresa	47:Marechal Floriano	61:Rio Novo do Sul
6:Pedro Canário	20: Gov. Lindemberg	34: Fundão	48: Viana	62: Iconha
7:Agua D. Norte	21: Marilândia	35: Ibiraçu	49: Vila Velha	63: Anchieta
8:Vila Pavão	22: Rio Bananal	36: Aracruz	50: Ibitirama	64:S. José Calçado
9:Boa Esperança	23: Baixo Guandu	37:Santa Leopoldina	51: Alegre	65: Mimoso do Sul
10:Conc. da. Barra	24: Itaguacu	38: Serra	52: Cach. Itapemirim	66:Pres. Kennedy
11:B. São Francisco	25: Colatina	39:Irupi	53: Castelo	67: Itapemirim
12:Mantenópolis	26: João Neiva	40: Iúna	54: Vargem Alta	68: Marataízes
13:Nova Venécia	27: Linhares	41: Muniz Freire	55:Alfredo Chaves	69: Apiacá
14:Alto Rio Novo	28: Laranja da Terra	42: Conc. Castelo	56:Guarapari	

**Fonte:** Google Earth®, Agência Nacional de águas (ANA)

### **4.3. Software SISCAH 1.0**

O Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SISCAH) é um software para tratamento de séries históricas de dados hidrológicos, desenvolvido por Sousa *et al* (2009), em projeto da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em parceria com outras instituições de pesquisa. A Figura 3 mostra a tela inicial do programa.

**Figura 3:** Tela inicial do software SISCAH



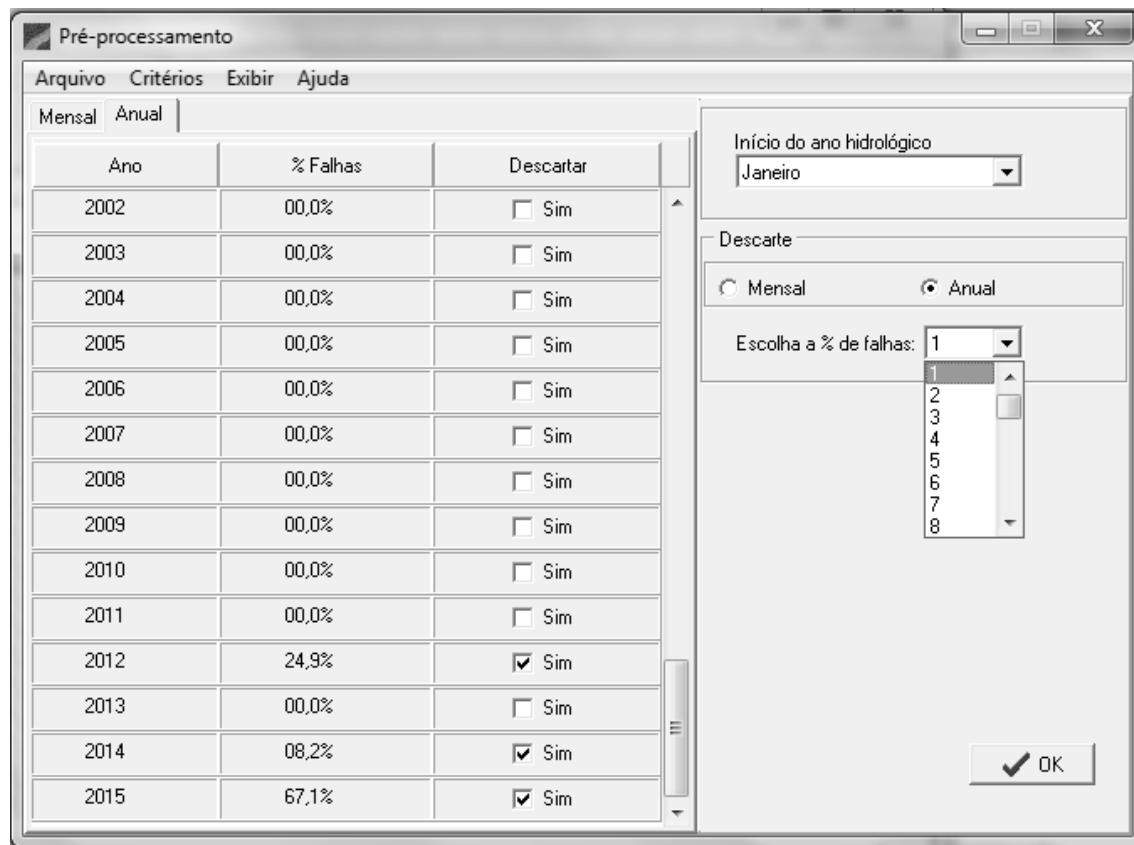
O SISCAH foi desenvolvido para diversas funcionalidades em hidrologia, como: cálculo de vazões máximas, mínimas e médias; curvas de permanência, hidrógrafas; regularização de vazões; entre outras. No presente trabalho, o software foi utilizado para estimativas de chuvas máximas.

O programa foi desenvolvido para importação de dados de vazão. Desta forma, foi feita a adequação nas séries históricas de chuva, para o modelo de vazão através de arquivos de bancos de dados Access e planilha eletrônica Excel, para que o software SISCAH seja capaz de fazer a leitura correta dos dados de precipitação.

#### 4.3.1. Pré-processamento de dados

O software possui um modelo de processamento de dados, que pode modificar a série de forma rápida, sobretudo descartando períodos de tempo com falhas. A Figura 4 apresenta a interface do pré-processamento de dados do programa.

**Figura 4** Interface de pré-processamento do SISCAH

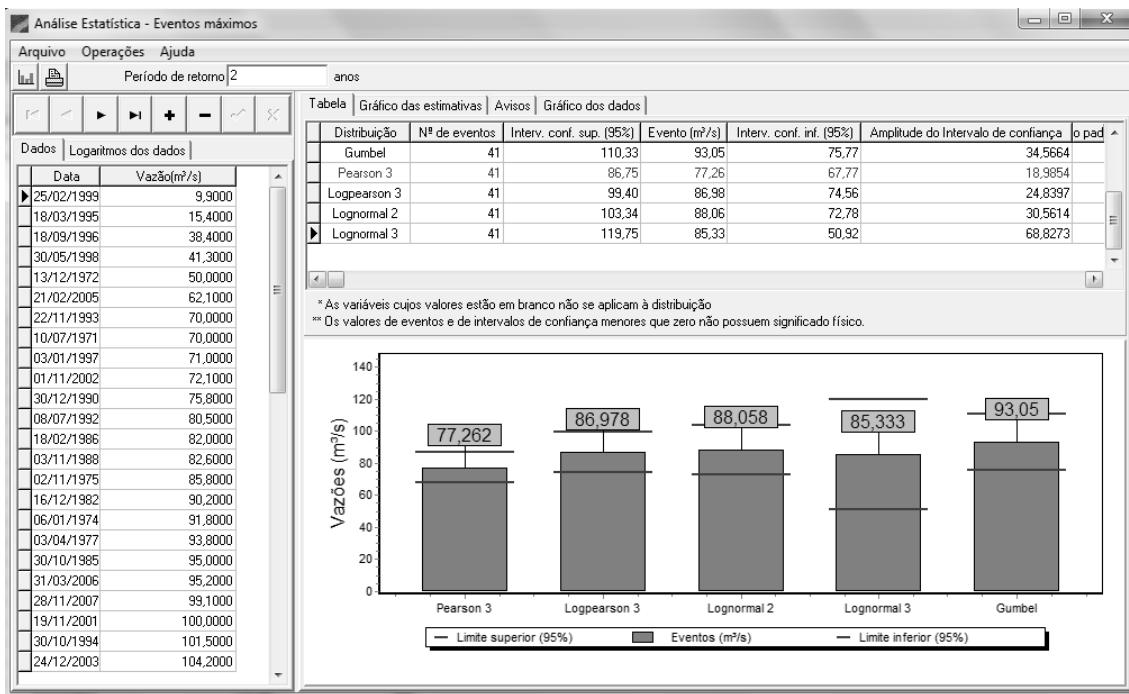


No presente estudo, foram descartados os anos que apresentaram mais de 1% de falhas na base de dados.

#### 4.3.2. Estimativa de precipitações máximas

Para estudo de máximas o software dispõe de módulo denominado “Vazões máximas”, que utiliza métodos probabilísticos que também pode ser utilizado para estimativas de precipitações máximas para diferentes períodos de retorno. A Figura 5 apresenta a interface do módulo de análise estatística para máximas.

**Figura 5:** Interface de estimativas de máximas do SISCAH



A análise de máximas do SISCAH utiliza as principais distribuições probabilísticas usadas em hidrologia para valores máximos: Pearson III, Log Pearson III, Log Normal II, Log Normal III e Gumbel.

Para o trabalho, foram utilizados os modelos de distribuição Log Pearson III, Log Normal III e Gumbel. O método de Gumbel é o mais comumente utilizado na literatura, como nos trabalhos de Oliveira *et al* (2000), Farias *et al* (2009), Silva *et al* (2012) e Campos *et al* (2014). Poucos trabalhos utilizam dos modelos Log Pearson III e Log Normal III, como Moruzzi *et al* (2009), de maneira que no presente estudo esses dois métodos serão incluídos nas estimativas, de maneira a se comparar os resultados em relação ao método de Gumbel, e também para que se tenha um estudo mais completo.

Como parâmetro de comparação entre os modelos, o SISCAH apresenta, além das máximas calculadas, as amplitudes dos intervalos de confiança para um nível de 95%, que também foram utilizadas no trabalho como critério para análise de adequabilidade dos modelos estatísticos para uma dada estação pluviométrica.

#### **4.4. Parametrizações das Equações IDF**

Para parametrização de equações IDF a partir das análises estatísticas calculadas no software SISCAH, foi utilizado o método de regressão linear adotado por Oliveira *et al* (2000).

O método utiliza períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, que podem ser calculados pelo software SISCAH. A partir das máximas estimadas, são calculadas as máximas para as durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos, através das relações dadas por CETESB (1979).

**Tabela 5:** Relações entre alturas pluviométricas  
(CETESB 1979)

<b>Relação entre alturas pluviométricas</b>	<b>Obtidos do estudo do DNOS (médios)</b>
5min / 30min	0,34
10min / 30min	0,54
15min / 30min	0,70
20min / 30min	0,81
25min / 30min	0,91
30min / 1h	0,74
1h / 24h	0,42
6h / 24h	0,72
8h / 24h	0,78
10h / 24h	0,82
12h / 24h	0,85
24h / 1 dia	1,14

**Fonte:** Adaptado de CETESB(1979) e TUCCI(2002).

Dada a equação padrão de chuvas intensas (28), são adotados os seguintes passos, utilizando planilha eletrônica Excel ®:

Passo 1: Sobre a equação (28) adota-se a seguinte relação:

$$d = KT^m \quad (32)$$

$$i = \frac{d}{(t+b)^n} \quad (33)$$

Passo 2 : As equações (32) e (33) são linearizadas pela aplicação do logaritmo:

$$\log i = \log d - n \log(t + b) \quad (34)$$

$$\log d = \log K + m \log T \quad (35)$$

Passo 3 : Na equação (34), são calculadas por regressão linear, as variáveis  $d$  e  $n$ , adotando-se um valor arbitrário para o coeficiente  $b$ . Através de tentativas sucessivas, é adotado o valor de  $b$  com até 3 casas decimais depois da vírgula, que fornece o melhor coeficiente de determinação  $r^2$ , calculado pela equação (29).

Passo 4: Com os valores de  $n$  e  $b$ , calculados, e utilizando-se da relação (36), são determinados por regressão linear os coeficientes  $m$  e  $K$ .

$$d = i(t + b)^n \quad (36)$$

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### **5.1. Séries de Máximas Anuais**

Após tratamento dos dados de cada estação pluviométrica da área de estudo, via processamento no software SISCAH, e seleção das precipitações máximas para cada ano, foram formadas séries de máximas anuais. Estas séries se baseiam nos dados originais dos postos pluviométricos, de acordo com o critério de medição diária estabelecido para cada uma. Para caracterizar as séries para cada estação pluviométrica de uma forma mais resumida e concisa, foram adotadas variáveis estatísticas, que são mostradas na Tabela 6.

As maiores séries encontradas estão nos municípios de Baixo Guandu (71 anos), Guaçuí (72 anos), Alegre (74 anos), Castelo (75 anos), Apiacá (77 anos), Conceição da Barra (82 anos) e Vitória (83 anos). As menores séries correspondem a Mucurici (22 anos) e Nova Venécia (26 anos).

Os maiores valores de precipitação foram registrados em Mimoso do Sul (396,5 mm), Apiacá (414,6 mm), São Mateus (420,0 mm), Presidente Kennedy (570,1 mm) e Água Doce do Norte (660,6 mm). Para estes postos destacam-se os altos valores de desvio padrão, devido à grande diferença entre a máxima e os demais valores da série, sobretudo nas séries mais curtas

Em relação as médias das séries de máximas anuais, os maiores valores correspondem a Cachoeiro do Itapemirim (100,2 mm), Iconha (100,4 mm), Presidente Kennedy (101,6 mm), Fundão (101,8 mm) e Cariacica (102,1). Ressalta-se que estas séries com maiores médias não necessariamente coincidem com as séries que possuem as maiores máximas de precipitação.

**Tabela 6:** Resumo das séries de máximas anuais.

Município	Precipitação Máxima (mm)	Precipitação Média (mm)	Desvio Padrão	Total de dados (anos)
Afonso Cláudio	153,0	82,3	27,8	46
Água Doce do Norte	660,6	92,1	86,4	52
Águia Branca	214,0	94,5	33,0	46
Alegre	153,2	83,4	22,4	74
Alfredo Chaves	195,4	92,2	28,5	64
Alto Rio Novo	126,2	68,9	24,1	42
Anchieta	195,0	86,9	31,1	66
Apiaçá	414,6	81,2	42,7	77
Aracruz	175,0	84,8	35,5	65
Atílio Vivacqua	160,4	77,3	24,6	67
Baixo Guandu	136,6	69,4	20,8	71
Barra de São Francisco	153,5	74,1	27,9	65
Boa Esperança	175,1	86,0	31,7	41
Cachoeiro do Itapemirim	196,2	100,2	30,2	49
Cariacica	231,5	102,1	42,0	52
Castelo	127,0	74,2	19,2	75
Colatina	137,8	81,1	20,6	46
Conceição da Barra	193,8	93,6	30,7	82
Conceição do castelo	147,2	73,2	25,2	65
Domingos Martins	130,0	74,2	21,1	43
Dores do Rio Preto	138,5	82,2	23,3	62
Ecoporanga	182,5	93,9	32,1	43
Fundão	230,0	101,8	37,3	66
Governador Lindemberg	169,5	82,4	27,1	46
Guaçuí	297,2	87,1	32,1	72
Guarapari	231,0	93,2	35,9	66
Ibiraçu	252,0	96,3	44,9	40
Ibitirama	199,0	90,4	31,0	57
Iconha	186,0	100,4	35,3	66
Irupi	158,0	86,0	23,2	57
Itaguaçu	200,2	90,0	31,4	56
Itapemirim	238,6	80,7	32,7	65
Itarana	165,0	81,8	26,4	65
Iúna	138,4	74,6	24,6	60
Jaguaré	310,2	91,1	42,7	41
João Neiva	197,4	96,3	31,2	64
Laranja da Terra	118,2	74,0	20,7	66
Linhares	231,9	90,6	46,6	39
Mantenópolis	168,0	77,1	22,8	44
Marataízes	147,6	74,4	26,6	67
Marechal Floriano	150,0	84,2	23,0	65
Marilândia	186,5	84,8	29,8	40
Mimoso do Sul	396,5	97,6	55,6	47
Montanha	140,4	88,8	30,1	43
Mucurici	144,6	90,5	25,6	22
Muniz Freire	176,2	82,9	25,0	56
Muqui	158,4	73,9	31,9	58
Nova Venécia	129,6	72,2	25,3	26
Pancas	158,7	84,2	28,7	57
Pedro Canário	231,8	86,4	37,8	53
Pinheiros	180,0	86,5	28,4	42
Ponto Belo	166,8	86,5	28,4	42

**Continuação da Tabela 6:** Resumo das séries de máximas anuais

Município	Precipitação Máxima (mm)	Precipitação Média (mm)	Desvio Padrão	Total de dados (anos)
Presidente Kennedy	570,1	101,6	80,4	40
Rio Bananal	280,8	92,1	44,9	44
Rio Novo do Sul	165,2	84,9	30,8	40
Santa Leopoldina	209,0	90,0	35,1	65
Santa Maria	250,0	82,2	34,4	67
Santa Teresa	197,4	98,1	33,4	58
São Gabriel da Palha	185,6	93,2	32,4	45
São José do Calçado	130,0	87,5	21,2	58
São Mateus	420,0	102,6	61,3	41
São Roque	158,0	81,2	28,8	66
Serra	170,0	70,4	40,9	66
Vargem Alta	184,0	93,6	32,2	62
Venda Nova do Imigrante	188,2	78,9	22,7	52
Viana	156,4	89,4	26,4	64
Vila Pavão	156,3	82,8	24,7	40
Vila Velha	138,0	80,5	21,9	45
Vitória	182,2	94,4	31,7	83

## **5.2. Analise temporal e espacial das séries de máximas anuais**

A Tabela 7 ordena as estações pluviométricas de acordo com o código da Agência Nacional de Águas (ANA), de forma a organizar os postos pluviométricos de acordo com a posição latitudinal dos mesmos, visto que os códigos aplicados pela ANA às estações seguem esta regra. Além disso, a Tabela 7 apresenta o período de anos da série de máximas das estações, e os anos excluídos da análise por falta de dados. A Tabela 8 apresenta as quatro maiores precipitações observadas na série de máximas anuais, com as respectivas datas de ocorrência das mesmas.

Dessa forma, as Tabelas 7 e 8 mostram datas de ocorrência de máximas em postos pluviométricos localizados em municípios próximos além de permitir a observação de ausência de registros que podem influenciar significativamente na respectiva série e, consequentemente, nas estimativas de parâmetros das curvas IDF.

**Tabela 7:** Período considerado para cada estação e anos excluídos da análise por ausência de dados.

Município	Código	Período de anos	Anos excluídos da análise por falta de dados
Pedro Canário	1839000	1951-2014	1960,1961,1964,1965,1966,1967,1968,1972,1987,1989,1994
Conceição da Barra	1839001	1931-2014	1987,1989
São Mateus	1839006	1971-2013	1987,2012
Águia Branca	1840000	1969-2014	
Boa Esperança	1840002	1948-1989	1987
Barra de São Francisco	1840004	1948-2014	1951,1987
Nova Venécia	1840005	1948-1975	1965,1968
Mucurici	1840006	1969-1993	1970,1987,1989
Água Doce do Norte	1840007	1960-2014	1987,1989,1997
Jaguaré	1840008	1972-2013	1987
Montanha	1840012	1970-2014	1987,1989
Ecoporanga	1840013	1970-2014	1987,1989
Ponto Belo	1840015	1970-2014	1987,1989,
Vila Pavão	1840016	1970-2014	1971,1972,1981,1987,1989
Pinheiros	1840017	1970-2014	1972,1987,1989,
Mantenópolis	1841009	1970-2014	1972
Linhares	1939002	1975-2014	1987
Itarana	1940000	1948-2014	2003,2006
São Roque	1940001	1948-2014	2003
Aracruz	1940003	1948-2014	1965,1989
João Neiva	1940005	1949-2014	1969,1974
Colatina	1940006	1968-2014	1986
Fundão	1940007	1949-2014	
Pancas	1940009	1958-2014	
Santa Teresa	1940010	1957-2014	
Itaguaçu	1940012	1958-2014	2003
Governador Lindemberg	1940013	1969-2014	
São Gabriel da Palha	1940016	1968-2014	1974,1989
Ibiraçu	1940021	1970-2014	1987, 1988,1989, 1997,1998
Rio Bananal	1940023	1970-2014	1972
Mariândia	1940025	1970-2009	
Baixo Guandu	1941003	1942-2014	1989,2013
Laranja da Terra	1941008	1948-2014	2003
Alto Rio Novo	1941012	1970-2014	1994
Viana	2040001	1951-2014	
Serra	2040003	1948-2014	1969
Guarapari	2040004	1948-2014	2000
Iconha	2040005	1948-2014	1953
Itapemirim	2040006	1949-2014	1989
Santa Maria	2040007	1948-2014	
Anchieta	2040009	1949-2014	
Santa Leopoldina	2040010	1950-2014	
Alfredo Chaves	2040011	1950-2014	
Marechal Floriano	2040012	1950-2014	
Rio Novo do Sul	2040013	1969-2009	
Cariacica	2040014	1953-2014	1966,1967,1968,1969,1970,1971 1996,1997
Domingos Martins	2040015	1971-2014	1989
Vila Velha	2040022	1970-2014	
Vitória	2040035	1925-2014	1959,1964,1967,1968,1969,2001,2002
Atílio Vivacqua	2041000	1945-2014	1956,1968,1989
Guaçuí	2041001	1940-2014	1972,1984,2005
Castelo	2041002	1940-2014	
Alegre	2041003	1940-2014	1989
Vargem Alta	2041010	1948-2014	1950,1953,1956,1965,1989
Conceição do castelo	2041011	1949-2014	2013

**Continuação da Tabela 7:** Período de anos considerado para cada estação e anos excluídos da análise por ausência de dados.

Município	Código	Período de anos	Anos excluídos da análise por falta de dados
Iúna	2041013	1955-2014	
Dores do Rio Preto	2041014	1949-2014	1974,1984,1999,2005
Muqui	2041015	1955-2014	1967,1989
Ibitirama	2041016	1955-2014	1964,1965,1989
Irupi	2041017	1957-2014	1989
Muniz Freire	2041018	1957-2014	1960,1989
Venda Nova do Imigrante	2041020	1963-2014	
Cachoeiro do Itapemirim	2041021	1965-2014	1989
Afonso Cláudio	2041023	1968-2014	2003
Marataízes	2140000	1948-2014	
Apiacá	2141014	1938-2014	
Mimoso do Sul	2141015	1964-2014	1968,1984,1986,2005
São José do Calçado	2141016	1953-2014	1984,1987,1994,2005
Presidente Kennedy	2141017	1969-2014	1971,1984,1994,2005,2012 ,2013

**Tabela 8:** Valores e datas de ocorrência dos quatro maiores valores da série de máximas anuais da estação.

Município	4ª máxima		3ª máxima		2ª máxima		Máxima Geral	
	Valor	Data	Valor	Data	Valor	Data	Valor	Data
Pedro Canário	144	02/03/2005	154	28/09/2000	192	22/12/1953	232	05/12/1971
Conceição da Barra	160	11/12/1980	161	01/09/1971	175	04/01/1960	194	20/11/2001
São Mateus	144	12/10/1976	152	01/12/1989	181	28/11/1981	420	16/05/1984
Águia Branca	141	07/12/2003	142	15/01/2004	149	18/02/2011	214	04/12/1983
Boa Esperança	150	08/02/1952	161	26/02/1985	175	16/01/1982	277	22/11/1948
Barra de São Francisco	128	09/12/1980	133	28/01/1961	140	25/11/2011	154	29/09/1959
Nova Venécia	109	21/02/1949	110	12/02/1948	111	17/12/1950	130	24/12/1952
Mucurici	128	02/11/1975	130	10/11/1991	139	10/12/1984	145	22/11/1977
Água Doce do Norte	136	26/03/2009	146	27/10/2004	224	25/11/2008	661	14/08/1964
Jaguaré	122	16/01/1982	136	04/01/1974	161	11/03/2006	310	21/12/1979
Montanha	136	02/12/2008	137	20/11/2001	137	18/11/2000	140	20/03/1985
Ecoporanga	147	23/01/2009	148	15/01/2004	179	10/12/2006	183	26/02/2011
Ponto Belo	151	23/11/1981	151	29/03/2008	156	02/11/1975	167	10/12/1984
Vila Pavão	117	20/01/1992	124	07/12/2000	126	03/11/1975	156	19/12/2009
Pinheiros	132	05/01/1985	135	18/11/2001	140	16/01/1982	180	07/12/2010
Mantenópolis	104	16/10/1978	108	17/01/2001	138	08/12/2005	168	12/11/1979
Linhares	153	01/03/2010	171	09/01/2008	178	23/10/1976	232	30/10/2009
Itarana	137	12/03/1987	148	21/12/2013	150	17/12/2000	165	27/12/2010
São Roque	137	23/11/1974	138	02/03/1956	144	18/12/2000	158	10/12/1980
Aracruz	143	16/10/1978	159	30/10/2009	172	13/05/1961	175	10/12/1980
João Neiva	156	28/10/2009	171	15/03/1960	185	14/11/1995	197	18/02/2005
Colatina	108	09/03/1994	108	01/01/1981	113	12/11/1979	138	05/12/1983
Fundão	159	23/12/2013	161	30/05/2005	206	18/12/2000	230	07/01/2009
Pancas	144	28/10/2009	157	11/02/1981	159	18/01/1958	159	21/12/2013
Santa Teresa	157	12/11/1981	159	09/03/1960	182	21/12/2013	197	18/11/2007
Itaguáçu	140	13/02/2005	149	20/10/1984	171	21/12/2013	200	21/03/1958
Governador Lindemberg	131	15/01/1980	132	14/11/1991	135	17/12/2013	170	30/10/2009
São Gabriel da Palha	147	25/11/1990	154	30/12/2010	171	16/03/1995	186	21/01/1985
Ibiraçu	172	23/12/2013	183	09/12/1980	188	31/10/2014	252	04/11/1983
Rio Bananal	146	30/10/2009	150	11/04/2004	209	16/01/1982	281	17/12/2013
Marilândia	128	18/12/2000	136	19/11/1996	149	17/11/1976	187	30/10/2009
Baixo Guandu	101	27/01/1961	106	02/11/2010	118	03/02/2002	137	14/04/1980
Laranja da Terra	112	13/01/1982	113	22/11/1999	115	31/10/1965	118	23/11/1976
Alto Rio Novo	103	28/10/2009	110	28/12/2006	118	27/10/2004	126	22/09/1987
Viana	139	19/03/1975	143	14/05/2012	146	17/05/1967	156	18/12/2000
Serra	152	18/12/2000	153	04/11/1983	161	01/02/2005	170	03/02/2002
Guarapari	165	04/12/1983	168	02/03/1991	178	09/03/1994	231	13/01/1948
Iconha	173	29/11/1978	177	02/03/2013	180	07/12/1950	186	21/01/1962
Itapemirim	139	11/12/2002	146	02/03/2013	152	24/01/1983	239	09/03/1994
Santa Maria	128	26/01/1961	138	05/12/1948	188	27/12/2010	250	22/12/1949
Anchieta	137	13/08/1982	148	07/11/2012	161	04/04/1987	195	08/03/1994
Santa Leopoldina	155	21/12/2013	157	11/01/2012	177	30/05/2005	209	09/03/1960
Alfredo Chaves	136	31/03/1964	141	17/11/2007	175	15/03/1957	195	01/12/2012
Marechal Floriano	137	06/12/2009	139	04/01/1994	145	13/11/1987	150	27/11/2000
Rio Novo do Sul	130	25/05/1997	137	04/11/1969	138	04/12/1983	165	20/12/2003
Cariacica	183	27/01/1962	188	14/03/2011	207	27/12/2010	232	09/03/1960
Domingos Martins	104	18/12/2000	114	16/12/1974	129	08/02/1973	130	09/12/1996
Vila Velha	112	29/12/1984	118	08/06/1999	128	29/10/2009	138	04/12/1983
Vitória	154	19/03/1975	168	10/01/1992	171	19/03/2013	182	06/01/2004
Atílio Vivacqua	136	10/12/2002	141	31/07/1982	145	04/03/2005	160	09/03/1994
Guaçuí	125	09/01/1945	128	23/11/1974	130	22/11/1983	297	04/11/1952
Castelo	113	04/11/1969	115	29/12/2010	118	14/01/1985	127	14/12/1987
Alegre	136	30/12/2010	141	12/12/2013	146	22/03/1991	153	02/04/1977
Vargem Alta	162	20/11/1971	163	05/12/1957	166	23/03/1976	184	09/03/1994
Conceição do castelo	118	03/11/1959	130	06/12/2009	144	14/10/1973	147	19/03/1967

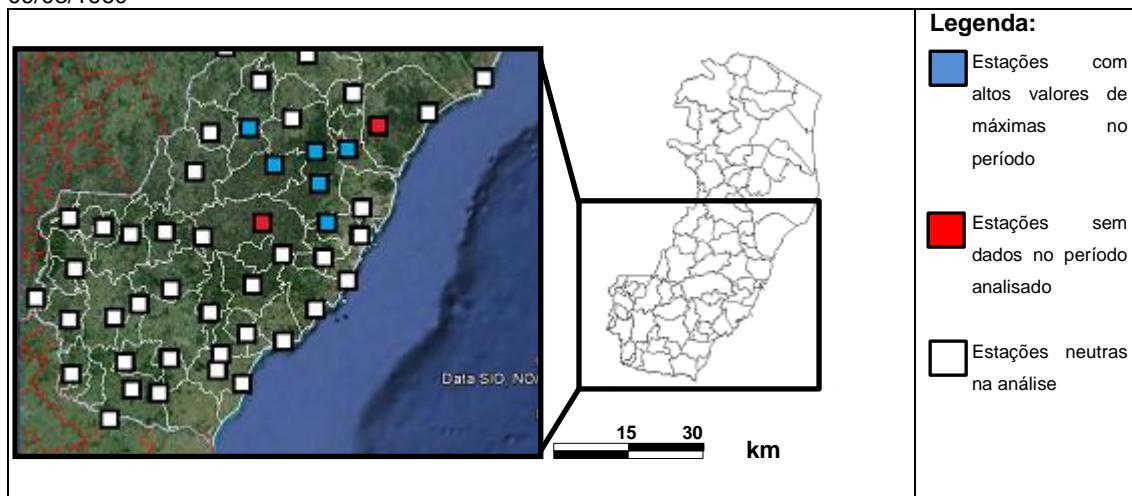
**Continuação da Tabela 8:** Valores e datas de ocorrência dos quatro maiores valores da série de máximas anuais da estação.

Município	4 <sup>a</sup> máxima		3 <sup>a</sup> máxima		2 <sup>a</sup> máxima		Máxima Geral	
	Valor	Data	Valor	Data	Valor	Data	Valor	Data
Iúna	126	01/01/1996	129	12/01/2004	132	15/09/1989	138	12/11/1961
Dores do Rio Preto	128	16/02/1953	133	26/01/1955	135	24/12/1994	139	25/12/1969
Muqui	132	04/01/1965	138	01/07/2003	139	12/12/2013	158	13/02/2005
Ibitirama	152	01/11/2002	157	02/03/1979	188	10/11/1981	199	15/12/2005
Irupi	121	23/11/1974	121	15/02/1967	143	20/12/1962	158	14/11/1981
Muniz Freire	121	27/01/1962	127	21/03/1982	175	11/11/1991	176	02/01/1992
Venda Nova do Imigrante	106	10/12/1983	107	06/03/1979	115	03/11/1996	188	06/12/2009
Cachoeiro do Itapemirim	135	29/11/2014	153	16/12/1997	174	02/03/2013	196	20/11/1971
Afonso Cláudio	125	23/03/1991	125	11/01/1994	135	19/01/2000	153	12/05/2009
Marataízes	127	14/03/1983	135	11/12/1978	136	27/11/2000	148	01/02/1979
Apiaçá	112	06/12/2006	112	25/02/1964	118	22/12/1958	415	03/04/1977
Mimoso do Sul	176	04/04/1969	187	29/10/1973	188	09/03/1994	397	07/12/2000
São José do Calçado	126	27/11/1975	129	10/11/1969	130	05/01/2009	130	02/03/2013
Presidente Kennedy	135	02/02/1980	141	11/12/1978	151	07/04/1983	570	13/03/1982
Iúna	126	01/01/1996	129	12/01/2004	132	15/09/1989	138	12/11/1961
Dores do Rio Preto	128	16/02/1953	133	26/01/1955	135	24/12/1994	139	25/12/1969
Muqui	132	04/01/1965	138	01/07/2003	139	12/12/2013	158	13/02/2005
Ibitirama	152	01/11/2002	157	02/03/1979	188	10/11/1981	199	15/12/2005

A partir da análise das Tabelas 7 e 8, e das séries de máximas anuais para cada estação pluviométrica, observou-se recorrência de chuvas intensas em determinadas datas em algumas regiões listadas a seguir.

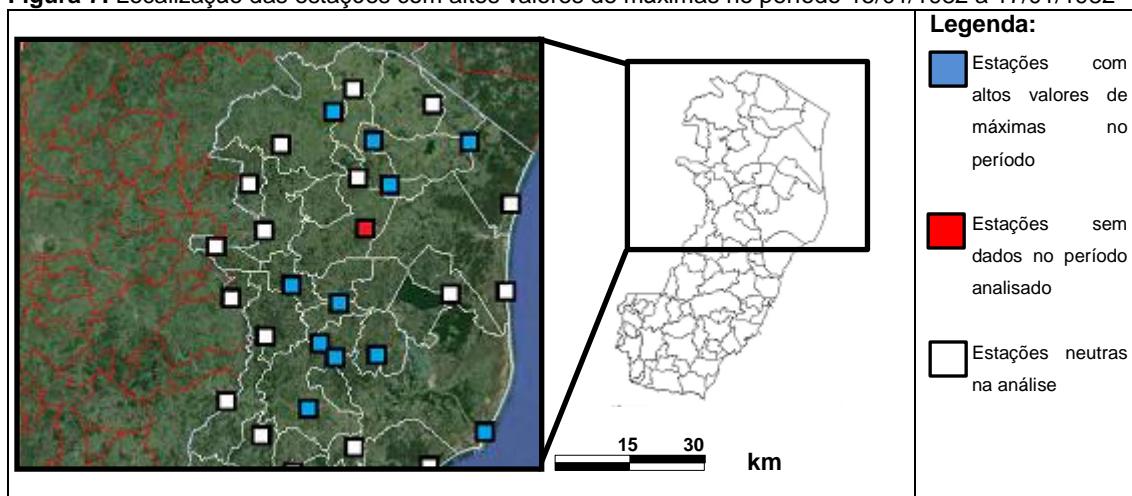
Na Tabela 8 podem ser observadas máximas no período 08/03/1960 - 09/03/1960 em Cariacica (231,5 mm), Santa Leopoldina (209,0 mm) e Santa Teresa (158,8 mm). Apesar de fora das máximas contidas na Tabela 8, para o ano de 1960 também foram observados altos valores de máximas para as estações localizadas em Fundão, Itarana e Santa Maria de Jetibá. Cabe observar que não existem registros para este período para as estações representativas de Domingos Martins e Ibiraçu. A Figura 6 apresenta a localização geográfica das estações citadas.

**Figura 6:** Localização das estações com altos valores de máximas no período 08/03/1960 a 09/03/1960



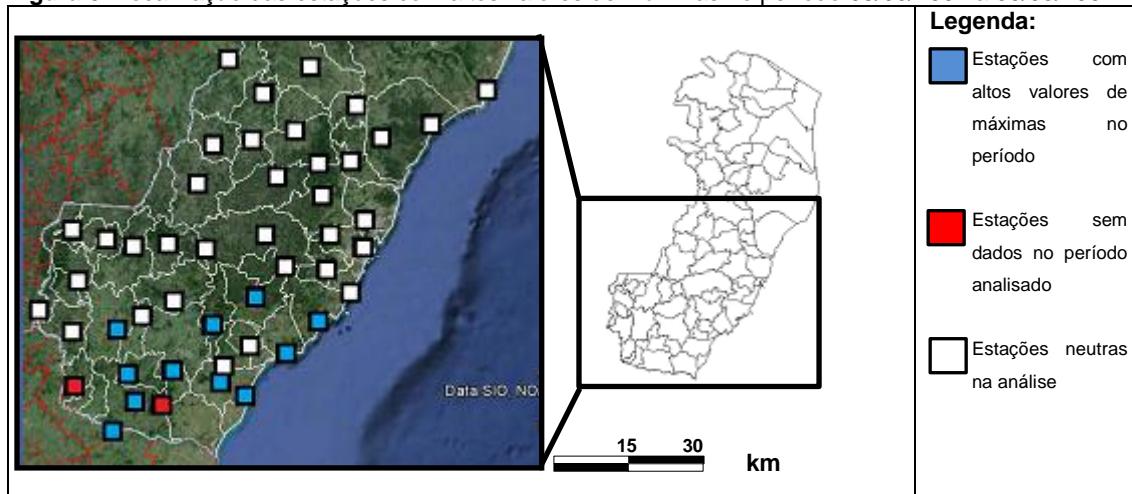
Na Tabela 8 podem ser observadas máximas no período 15/01/1982 - 17/01/1982 em Boa Esperança (175,1 mm), Jaguaré (122,2 mm), Pinheiros (140,0 mm) e Rio Bananal (209,0 mm). Apesar de fora das máximas contidas na Tabela 8 para o ano de 1982 também foram observados altos valores de máximas para as estações localizadas em Águia Branca, Colatina, Governador Lindemberg, Linhares, Marilândia, Pedro Canário, Ponto Belo e São Gabriel da Palha. Cabe observar que não existem registros para este período para a estação localizada em Nova Venécia. A Figura 7 apresenta a localização geográfica das estações citadas.

**Figura 7:** Localização das estações com altos valores de máximas no período 15/01/1982 a 17/01/1982



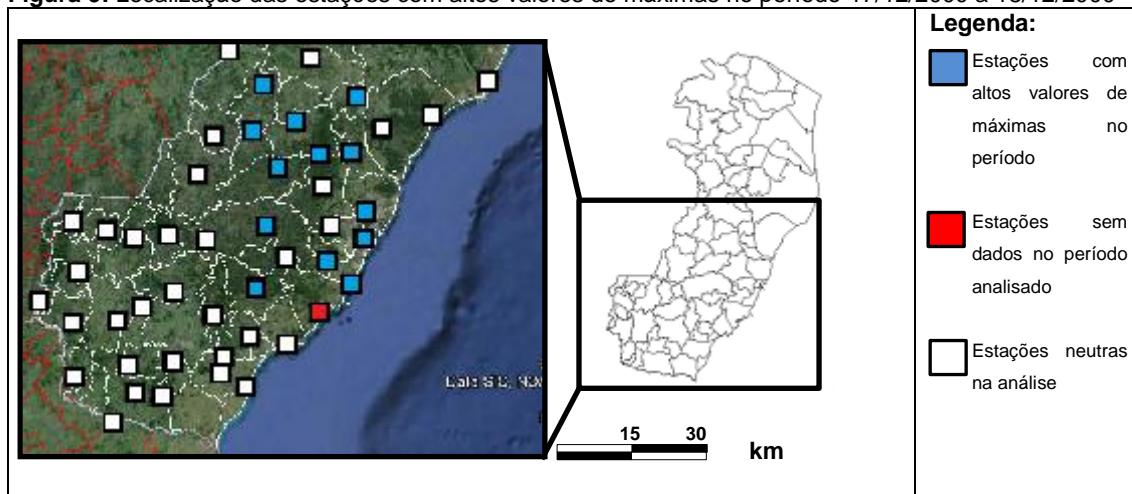
Na Tabela 8 podem ser observadas máximas no período 08/03/1994 -09/03/1994 em Atílio Vivacqua (160,4 mm), Guarapari (178,0 mm), Itapemirim (238,6 mm), Mimoso do Sul (188,3 mm). Apesar de fora das máximas contidas na Tabela 8, para o ano de 1994 também foram observados altos valores de máximas para as estações localizadas em Alegre, Alfredo Chaves, Anchieta, Apiacá, Marataízes e Muqui. Cabe observar que não existem registros para este período para as estações localizadas em Presidente Kennedy e São José do Calçado. A Figura 8 apresenta a localização geográfica das estações citadas.

**Figura 8:** Localização das estações com altos valores de máximas no período 08/03/1994 a 09/03/1994



Na Tabela 8 podem ser observadas máximas no período 17/12/2000 - 18/12/2000 em Domingos Martins (104,2 mm), Fundão (206,2 mm), Itarana (150,1 mm), São Roque (143,6 mm), Serra (151,7 mm) e Viana (156,4 mm). Apesar de fora das máximas contidas na Tabela 8, para o ano de 2000 também foram observados altos valores de máximas para as estações localizadas em Alfredo Chaves, Itaguaçu, João Neiva, Santa Maria de Jetibá, Santa Teresa, Vila Velha e Vitória. Cabe observar que não existem registros para este período para a estação localizada em Guarapari. A Figura 9 apresenta a localização geográfica das estações citadas.

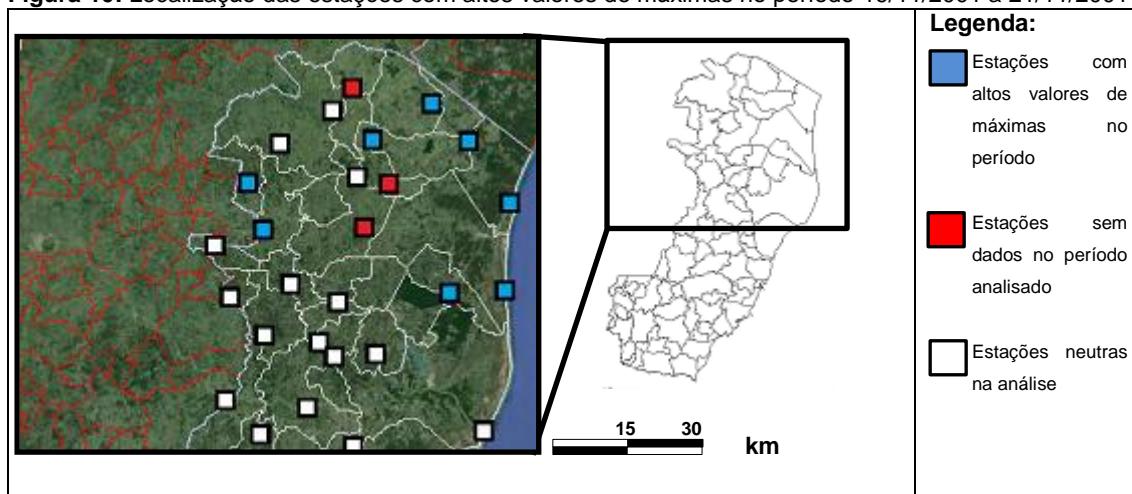
**Figura 9:** Localização das estações com altos valores de máximas no período 17/12/2000 a 18/12/2000



Fonte: Google Earth®

Na Tabela 8 podem ser observadas máximas no período 19/11/2001 - 21/11/2001 em Conceição da Barra (193,8 mm), Montanha (136,6 mm) e Pinheiros (135,4 mm). Apesar de fora das máximas contidas na Tabela 8, para o ano de 2001 também foram observados altos valores de máximas para as estações localizadas em Água Doce do Norte, Barra de São Francisco, Jaguaré, Pedro Canário e São Mateus. Cabe observar que não existem registros para este período para as estações localizadas em Boa Esperança, Mucurici e Nova Venécia. A Figura 10 apresenta a localização geográfica das estações citadas.

**Figura 10:** Localização das estações com altos valores de máximas no período 19/11/2001 a 21/11/2001

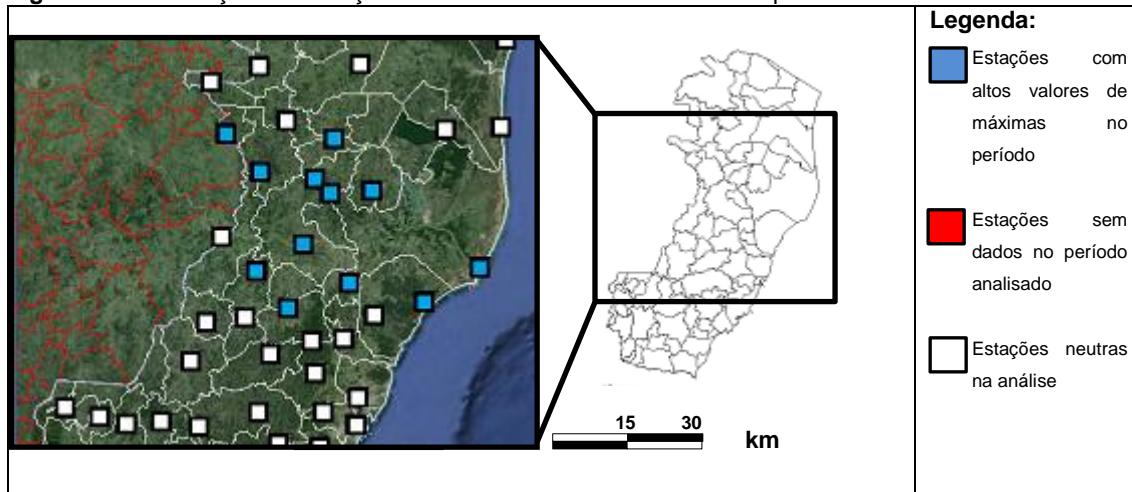


Fonte: Google Earth®

Na Tabela 8 podem ser observadas máximas no período 27/10/2009 - 30/10/2009 em Alto Rio Novo (102,7 mm), Aracruz (159,2 mm), Governador Lindemberg (169,5

mm), João Neiva (155,6 mm), Linhares (231,9 mm), Marilândia (186,5 mm). Apesar de fora das máximas contidas na Tabela 8, para o ano de 2009 também foram observados altos valores de máximas para as estações localizadas em Colatina, Itaguaçu, São Gabriel da Palha e São Roque do Canaã. A figura 11 apresenta a localização geográfica das estações citadas.

**Figura 11:** Localização das estações com altos valores de máximas no período 27/10/2009 a 30/10/2009



### 5.2.1. Análise da chuva histórica de dezembro de 2013

Segundo relato do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), em dezembro de 2013 ocorreram os maiores índices de precipitações acumuladas desde que se iniciaram as medições no estado do Espírito Santo. Vários municípios foram atingidos por fortíssimas enchentes. A Tabela 9 apresenta as estações pluviométricas com maiores valores de precipitação acumulada para o mês de dezembro de 2013, dentre as estações selecionadas para o estudo.

Na Tabela 9 pode ser observado, que apesar das grandes quantidades de chuva acumulada no mês de dezembro, em diversas estações não ocorreram chuvas muito intensas em intervalos de um dia, como as estações localizadas em Iúna, Serra e Vila Pavão. Por outro lado, estações em Ibiraçu, Santa Teresa e Rio Bananal apresentaram altas máximas diárias no mês e altos totais mensais acumulados de chuvas.

As chuvas de dezembro de 2013 destacam-se principalmente por um alto valor acumulado de precipitações neste período. Cabe observar que as séries de

máximas anuais, utilizam apenas os valores das precipitações máximas dos referidos anos. Para muitas das estações listadas na Tabela 9, a máxima de precipitação diária observada em dezembro de 2013 nem sequer foi incluída na série de máximas como, por exemplo, pode ser citada a estação situada no município de Iúna, cuja máxima diária em dezembro foi 59,0 mm, e a máxima do ano de 2013 foi de 74,4 mm, ocorrida no mês de Fevereiro.

Em algumas estações como a de Rio Bananal, a máxima do período de dezembro de 2013, foi 280,8 mm, correspondendo a maior máxima de toda a série para esta estação. Este fato exerceu forte influência nas análises de chuvas intensas.

Dessa maneira, apesar do grande valor de precipitação acumulada, as chuvas de dezembro de 2013 só exercem influência na análise de chuvas intensas, se além do alto valor acumulado ocorrido, ocorrer um alto valor de precipitação no intervalo de um dia (em acordo com os horários de medição do posto pluviométrico).

Cabe ressaltar que este período analisado corresponde ao período de enchentes ocorrido em dezembro de 2013 em diversas regiões do estado do Espírito Santo, mostrando claramente que altos valores de precipitação acumulada mensal, muitas vezes não significam altos valores de precipitação diária, que são de fato os valores que influenciam no estudo de chuvas intensas.

**Tabela 9:** Precipitações máximas diárias e acumuladas no mês de dezembro de 2013, para as estações que apresentaram maiores valores acumulados de chuvas neste período.

Município	Total Acumulado (mm)	Máxima diária do período (mm)	Município	Total Acumulado (mm)	Máxima do período (mm)
Afonso Cláudio	593,7	91,1	Laranja da Terra	560,7	82,1
Águia Branca	709,6	108,0	Linhares	773,2	140,6
Aracruz	565,4	135,1	Marechal Floriano	509,4	89,8
Baixo Guandu	789,7	133,3	Nova Venécia	785,4	158,7
Barra de São Francisco	577,2	96,9	Pancas	785,4	158,7
Cariacica	685,3	93,7	Rio Bananal	942,3	280,8
Colatina	507,4	83,2	Santa Leopoldina	720,2	155,1
Domingos Martins	588,6	94,0	Santa Maria de Jetibá	847,0	112,9
Ecoporanga	630,6	86,8	Santa Teresa	751,4	182,1
Fundão	789,6	159,0	São Gabriel da Palha	562,1	84,5
Governador Lindemberg	760,5	135,4	São José do Calçado	554,1	92,0
Ibiraçu	765,2	172,3	São Roque	680,5	96,9
Ibitirama	669,1	86,4	Serra	564,9	78,5
Irupi	540,3	81,5	Venda Nova do Imigrante	599,5	88,4
Itaguaçu	843,8	171,0	Viana	578,0	97,2
Itarana	849,3	148,0	Vila Pavão	522,7	79,7
Iúna	511,7	59,0	Vila Velha	588,5	98,3
João Neiva	629,8	141,3	Vitória	713,9	126,9

### **5.3. Máximas de Precipitação Estimadas**

Para análise de estimativas de máximas para os três modelos utilizados no projeto (Gumbel, Log Pearson III e Log Normal III) é importante analisar primeiramente a equação de Ven Te Chow (7), que é base destes modelos estatísticos:

Observa-se que aplicando a equação para uma série de máximas anuais os fatores média aritmética  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$  são fixos, não se alterando com o período de retorno. A única variante é o fator de frequência  $K$ , que de forma geral se calcula de maneiras diferentes, mas sempre a partir do período de retorno. Desta forma, para períodos de retorno mais curtos, onde os valores de  $K$  são menores, é esperado que se tenha mais influência da média aritmética no cálculo da máxima estimada, bem como que para períodos de retorno mais longos se espera influência maior do desvio padrão.

### 5.3.1. Máximas Estimadas pela Distribuição de Gumbel

As máximas calculadas para períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, com base na série de máximas anuais são mostradas na Tabela 10.

Para períodos de retorno mais curtos (dois anos), observa-se que as maiores máximas encontradas correspondem às seguintes estações pluviométricas: Iconha (94,8 mm), Cachoeiro do Itapemirim (95,5 mm), Cariacica (95,5 mm) e Fundão (95,9 mm). Ressalta-se que pela análise feita na seção 5.1, as máximas para períodos de retorno de dois anos foram observadas predominantemente nas estações com maiores médias aritméticas nas séries de máximas anuais, tendo assim resultados dentro do esperado pela análise da equação de Ven Te Chow.

Para os períodos de retorno mais longos (cem anos), Os maiores valores estimados correspondem às estações de: Mimoso do Sul (292,5 mm), São Mateus (319,8 mm), Presidente Kennedy (387,5 mm) e Água Doce do Norte (392,9 mm). Ressalta-se que pela análise feita na seção 5.1, as máximas para períodos de retorno de cem anos foram observadas predominantemente nas estações com maiores desvios padrão nas séries de máximas anuais, tendo assim resultados dentro do esperado pela análise da equação de Ven Te Chow.

**Tabela 10:** Máximas estimadas pela distribuição de Gumbel em função do período de retorno.

Município	Máximas estimadas em mm, em função do período de retorno em anos							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Afonso Cláudio	78,0	105,2	123,3	133,5	140,6	146,1	163,0	179,8
Água Doce do Norte	78,5	162,7	218,4	249,9	271,9	288,8	341,1	392,9
Águia Branca	89,3	121,7	143,1	155,2	163,7	170,2	190,3	210,2
Alegre	79,8	101,2	115,3	123,3	128,9	133,2	146,5	159,7
Alfredo Chaves	87,7	115,1	133,3	143,5	150,7	156,2	173,2	190,1
Alto Rio Novo	68,6	88,8	102,2	109,8	115,1	119,2	131,8	144,2
Anchieta	82,0	111,9	131,6	142,8	150,6	156,6	175,2	193,6
Apiaçá	74,4	115,1	142,0	157,2	167,8	176,0	201,2	226,3
Aracruz	79,1	113,2	135,7	148,5	157,4	164,2	185,3	206,3
Atilio Vivacqua	73,4	96,9	112,5	121,3	127,5	132,2	146,8	161,3
Baixo Guandu	66,1	86,0	99,1	106,5	111,7	115,7	128,0	140,3
Barra de São Francisco	69,7	96,4	114,2	124,2	131,2	136,6	153,2	169,7
Boa Esperança	81,1	112,5	133,3	145,0	153,3	159,6	179,1	198,4
Cachoeiro do Itapemirim	95,5	125,0	144,6	155,6	163,4	169,3	187,7	205,9
Cariacica	95,5	136,3	163,4	178,6	189,3	197,6	222,9	248,1
Castelo	71,2	89,5	101,6	108,4	113,2	116,9	128,2	139,5
Colatina	77,9	98,1	111,6	119,1	124,4	128,5	141,1	153,6
Conceição da Barra	88,7	117,9	137,2	148,0	155,7	161,5	179,6	197,6
Conceição do castelo	69,2	93,4	109,5	118,5	124,9	129,7	144,8	159,7
Domingos Martins	70,9	91,7	105,5	113,3	118,7	122,9	135,8	148,6
Dores do Rio Preto	79,7	100,7	114,6	122,5	128,0	132,2	145,2	158,2
Ecoporanga	88,9	120,5	141,5	153,3	161,6	168,0	187,6	207,1
Fundão	95,9	131,7	155,4	168,8	178,1	185,3	207,6	229,6
Governador Lindemberg	78,1	104,8	122,4	132,4	139,4	144,7	161,3	177,7
Guaçuí	82,0	112,6	132,9	144,4	152,4	158,6	177,6	196,5
Guarapari	87,5	122,0	144,7	157,6	166,6	173,5	194,9	216,1
Ibiracu	88,1	132,3	161,7	178,2	189,8	198,7	226,2	253,4
Ibitirama	85,5	115,6	135,4	146,6	154,5	160,5	179,2	197,6
Iconha	94,8	128,6	151,1	163,7	172,6	179,4	200,4	221,3
Irupi	82,3	104,8	119,7	128,1	133,9	138,5	152,4	166,3
Itaguaçu	85,0	115,5	135,6	147,0	154,9	161,0	179,9	198,6
Itapemirim	75,5	106,9	127,7	139,4	147,7	154,0	173,5	192,8
Itarana	77,6	103,0	119,8	129,3	135,9	141,0	156,8	172,4
Iúna	70,8	94,5	110,2	119,0	125,2	130,0	144,7	159,3
Jaguaré	84,4	126,8	154,8	170,7	181,7	190,3	216,6	242,7
João Neiva	91,3	121,3	141,2	152,4	160,2	166,3	184,9	203,4
Laranja da Terra	70,7	90,6	103,7	111,1	116,3	120,3	132,6	144,8
Linhares	83,4	129,8	160,6	177,9	190,0	199,4	228,2	256,8
Mantenópolis	73,6	96,1	111,0	119,4	125,3	129,8	143,8	157,6
Marataízes	70,2	95,7	112,6	122,1	128,8	133,9	149,8	165,5
Marechal Floriano	80,5	102,6	117,2	125,4	131,2	135,6	149,3	162,9
Marilândia	80,2	109,8	129,3	140,4	148,1	154,1	172,5	190,7
Mimoso do Sul	88,9	143,4	179,5	199,9	214,1	225,1	258,9	292,5
Montanha	84,1	113,8	133,5	144,7	152,4	158,4	176,9	195,3
Mucurici	86,6	113,6	131,5	141,6	148,6	154,1	170,8	187,5
Muniz Freire	79,0	103,2	119,2	128,2	134,6	139,4	154,4	169,3
Muqui	68,8	99,7	120,1	131,7	139,8	146,0	165,1	184,2
Nova Venécia	68,4	94,5	111,9	121,7	128,5	133,8	150,0	166,2
Pancas	79,6	107,4	125,8	136,2	143,4	149,0	166,3	183,4
Pedro Canário	80,5	117,3	141,6	155,4	165,0	172,4	195,2	217,9
Pinheiros	82,1	110,2	128,8	139,3	146,6	152,3	169,7	187,0
Ponto Belo	87,6	119,1	139,9	151,7	159,9	166,3	185,8	205,2

**Continuação da Tabela 10:** Máximas estimadas pela distribuição de Gumbel em função do período de retorno.

<b>Município</b>	<b>Máximas estimadas em mm, em função do período de retorno em anos</b>							
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
<b>Presidente Kennedy</b>	89,1	169,0	221,9	251,7	272,6	288,7	338,3	387,5
<b>Rio Bananal</b>	85,1	129,4	158,7	175,2	186,7	195,7	223,1	250,3
<b>Rio Novo do Sul</b>	80,1	110,6	130,7	142,1	150,1	156,2	175,2	193,9
<b>Santa Leopoldina</b>	84,5	118,2	140,6	153,2	162,0	168,8	189,7	210,5
<b>Santa Maria</b>	76,8	109,7	131,5	143,8	152,5	159,1	179,5	199,8
<b>Santa Teresa</b>	92,8	125,1	146,5	153,6	167,0	173,5	193,6	213,5
<b>São Gabriel da Palha</b>	88,1	120,0	141,1	153,0	161,3	167,8	187,5	207,2
<b>São José do Calçado</b>	84,1	104,6	118,2	125,9	131,2	135,3	148,1	160,7
<b>São Mateus</b>	93,0	153,8	194,0	216,6	232,5	244,8	282,4	319,8
<b>São Roque</b>	83,0	115,5	137,9	150,6	159,6	166,5	187,8	209,0
<b>Serra</b>	63,9	103,1	129,1	143,8	154,0	161,9	186,3	210,4
<b>Vargem Alta</b>	88,5	119,5	140,0	151,6	159,7	165,9	185,1	204,2
<b>Venda Nova do Imigrante</b>	75,3	97,4	112,1	120,3	126,1	130,6	144,3	157,9
<b>Viana</b>	85,2	110,6	127,4	136,9	143,5	148,6	164,4	180,0
<b>Vila Pavão</b>	78,9	103,4	119,6	128,8	135,2	140,1	155,3	170,4
<b>Vila Velha</b>	77,1	98,6	112,8	120,9	126,5	130,8	144,2	157,5
<b>Vitória</b>	89,4	119,4	139,3	150,5	158,4	164,4	183,1	201,6

### 5.3.2. Máximas Estimadas pela Distribuição Log Person III

A Tabela 11 apresenta as máximas estimadas através da distribuição Log Pearson III para períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, com base nas séries de máximas anuais.

Para o período de retorno de dois anos, as maiores máximas estimadas correspondem as estações: Cariacica (92,3 mm), Iconha (92,7 mm), Santa Teresa (92,8 mm), Fundão (93,3 mm) e Cachoeiro do Itapemirim (95,2 mm). As estimativas miram o padrão esperado, com séries que apresentam maiores médias aritméticas de precipitações apresentando maiores estimativas para períodos de retorno mais curtos.

Para os períodos de retorno mais longos (100 anos), os maiores valores estimados se observam em: São Mateus (328,5 mm), Aracruz (382,3 mm), Linhares (382,3 mm), Presidente Kennedy (405,3 mm), Água Doce do Norte (422,2 mm) e Serra (666,9 mm). Para as estações de São Mateus, Linhares, Presidente Kennedy e Água Doce do Norte, o padrão esperado via análise da equação de Ven Te Chow procede, com maiores estimativas de longo período nas séries de dados com maiores desvios padrão. Já nas estações de Aracruz e Serra, as máximas encontradas na série de dados, e consequentemente os desvios padrão não são altos o suficiente para justificar tais estimativas, tendo que se recorrer a uma análise mais específica da distribuição Log Pearson III.

Para a distribuição Log Pearson III, os valores do desvio padrão e do coeficiente de assimetria são usados no cálculo do fator de frequência  $k$ , ampliando assim a influência da variação de valores da série de máximas nas estimativas de longos períodos de retorno. Além disso, a distribuição Log Pearson III trabalha com a série original em escala logarítmica, intensificando a variância da série para os menores valores da mesma, visto o padrão da função logaritmo (inverso à exponencial, inclinação da curva decrescente). Analisando-se as séries de máximas das estações localizadas nos municípios de Aracruz e Serra, observam-se muitos valores baixos de precipitação máxima anual, o que acarreta altos valores de desvio padrão e coeficiente de assimetria para uma série em escala logarítmica.

**Tabela 11:** Máximas estimadas pela distribuição Log Pearson III em função do período de retorno.

Município	Máximas estimadas em mm, em função do período de retorno em anos							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Afonso Cláudio	75,2	103,2	124,0	136,6	145,8	153,1	176,9	202,6
Água Doce do Norte	68,3	124,8	175,4	209,2	235,4	257,0	332,4	422,2
Águia Branca	89,2	118,5	137,5	148,1	155,5	161,2	178,7	196,1
Alegre	80,4	100,5	113,1	120,0	124,7	128,3	139,3	150,0
Alfredo Chaves	87,3	112,2	128,9	138,4	145,0	150,2	166,3	182,7
Alto Rio Novo	68,3	87,3	100,0	107,1	112,1	116,0	128,0	140,1
Anchieta	80,1	110,0	131,2	143,7	152,6	159,6	182,0	205,4
Apicá	69,6	97,9	122,6	139,1	151,8	162,3	199,2	243,4
Aracruz	70,8	110,7	146,7	171,1	190,2	206,1	262,7	332,0
Atilio Vivacqua	73,0	94,5	108,9	117,0	122,7	127,2	141,0	155,0
Baixo Guandu	65,4	85,3	98,9	106,7	112,2	116,6	130,2	144,1
Barra de São Francisco	65,2	94,8	118,9	134,2	145,8	155,1	186,8	222,9
Boa Esperança	80,5	108,9	127,8	138,5	146,0	151,8	169,7	187,8
Cachoeiro do Itapemirim	95,2	123,0	141,1	151,3	158,4	163,9	180,8	197,8
Cariacica	92,3	132,2	161,1	178,3	190,8	200,6	232,1	265,5
Castelo	71,7	89,0	99,8	105,7	109,8	112,9	122,4	131,6
Colatina	76,5	97,0	111,5	119,9	126,0	130,8	145,9	161,7
Conceição da Barra	88,6	116,4	134,7	144,9	152,0	157,5	174,4	191,3
Conceição do castelo	67,7	92,0	109,3	119,4	126,6	132,3	150,4	169,3
Domingos Martins	71,5	90,1	101,7	108,1	112,4	115,8	125,9	135,7
Dores do Rio Preto	80,1	99,9	112,5	119,4	124,2	127,9	139,1	150,1
Ecoporanga	88,7	117,4	136,0	146,5	153,8	159,4	176,7	193,9
Fundão	93,3	129,4	155,4	170,8	181,9	190,6	218,6	248,2
Governador Lindemberg	78,1	102,4	118,1	126,8	132,9	137,6	151,9	166,2
Guaçuí	78,3	101,8	121,4	134,0	143,5	151,3	177,8	208,5
Guarapari	87,0	118,6	139,6	151,5	159,8	166,2	186,1	206,1
Ibiracu	85,9	125,2	152,7	168,6	179,9	188,8	216,6	245,2
Ibitirama	84,9	111,9	130,1	140,5	147,8	153,5	171,3	189,5
Iconha	92,7	126,6	150,6	164,6	174,7	182,6	207,7	233,9
Irupi	82,8	103,7	116,9	124,1	129,1	132,9	144,6	156,0
Itaguaçu	85,0	112,9	130,9	141,0	148,1	153,5	170,0	186,5
Itapemirim	73,4	100,5	120,5	132,5	141,2	148,1	170,4	194,3
Itarana	77,7	101,1	116,2	124,6	130,4	134,8	148,5	162,0
Iúna	69,6	93,1	109,3	118,7	125,4	130,6	147,1	164,2
Jaguaré	80,2	112,2	138,0	154,4	166,8	176,7	210,4	248,8
João Neiva	90,8	118,0	136,3	146,7	154,0	159,7	177,5	195,5
Laranja da Terra	67,8	89,8	106,7	117,3	125,0	131,3	151,9	174,8
Linhares	74,0	123,0	166,6	195,8	218,4	237,2	303,1	382,3
Mantenópolis	72,3	91,4	105,2	113,4	119,3	124,0	139,1	155,1
Marataízes	69,0	94,0	111,3	121,3	128,5	134,0	151,5	169,6
Marechal Floriano	80,8	101,1	114,0	121,2	126,2	130,1	141,8	153,5
Marilândia	79,4	105,2	122,7	132,7	139,8	145,3	162,6	180,3
Mimoso do Sul	83,4	124,4	158,0	179,4	195,5	208,7	253,1	303,8
Montanha	78,7	111,3	138,1	155,2	168,1	178,6	214,4	255,5
Mucurici	86,5	109,7	124,8	133,1	139,0	143,5	157,3	171,1
Muniz Freire	77,5	98,4	113,6	122,6	129,2	134,3	150,9	168,6
Muqui	60,4	97,0	131,5	155,5	174,5	190,6	248,8	322,4
Nova Venécia	66,3	90,9	108,8	119,5	127,2	133,3	153,0	173,9
Pancas	79,4	104,6	121,2	130,6	137,2	142,2	157,9	173,6
Pedro Canário	79,2	112,3	134,9	147,8	157,0	164,1	186,2	208,8
Pinheiros	82,1	107,0	123,2	132,3	138,6	143,5	158,4	173,2
Ponto Belo	85,6	116,3	138,0	150,7	159,9	167,0	189,9	213,8

**Continuação da Tabela 11:** Máximas estimadas pela distribuição Log Pearson III em função do período de retorno.

<b>Município</b>	<b>Máximas estimadas em mm, em função do período de retorno em anos</b>							
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
<b>Presidente Kennedy</b>	80,1	134,5	181,8	213,0	236,9	256,6	324,8	405,3
Rio Bananal	82,1	119,2	146,6	163,1	175,1	184,5	215,2	247,9
Rio Novo do Sul	75,9	107,8	132,7	148,3	159,9	169,1	200,1	234,5
Santa Leopoldina	81,4	115,8	141,1	156,4	167,4	176,2	204,7	235,1
Santa Maria	74,4	102,7	123,7	136,4	145,7	153,0	177,0	202,8
Santa Teresa	92,8	125,1	146,5	153,6	167,0	173,5	193,6	213,5
São Gabriel da Palha	87,2	117,0	137,0	148,5	156,5	162,8	182,3	202,1
São José do Calçado	83,2	103,9	118,2	126,4	132,3	136,8	151,2	166,0
São Mateus	87,0	132,9	170,1	193,7	211,4	225,7	273,9	328,5
São Roque	81,1	114,1	139,2	154,5	165,6	174,4	203,1	233,9
Serra	48,0	97,8	157,1	204,8	246,3	283,7	436,7	666,9
Vargem Alta	88,5	117,1	135,7	146,1	153,3	158,9	176,0	192,9
Venda Nova do Imigrante	73,7	92,5	106,4	114,8	120,9	125,7	141,3	158,1
Viana	83,6	109,6	127,8	138,5	146,1	152,1	171,2	191,1
Vila Pavão	77,8	101,5	117,8	127,3	134,1	139,3	155,9	173,1
Vila Velha	76,6	97,3	111,0	118,8	124,3	128,5	141,7	155,0
Vitória	87,6	118,3	139,8	152,5	161,5	168,6	191,2	214,8

### 5.3.3. Máximas Estimadas pela Distribuição Log Normal III

As máximas estimadas através da distribuição Log Normal III para períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, a partir da série de máximas anuais são mostradas na Tabela 12.

Para períodos de retorno mais curtos (2 anos), observa-se que as maiores máximas estimadas correspondem às seguintes estações pluviométricas: Cariacica (96,2 mm), Iconha (96,4 mm), Cachoeiro do Itapemirim (96,7 mm) e Fundão (97,5 mm). Assim como nas distribuições anteriores, as maiores máximas estimadas foram observadas predominantemente nas séries de máximas anuais com maiores valores de média aritmética, se adequando ao padrão esperado na análise da equação de Ven Te Chow.

Para período de retorno de 100 anos o padrão esperado também é observado, com as máximas estimadas seguindo o comportamento das máximas das séries de dados. Os maiores valores estimados correspondem a: Mimoso do Sul (311,8 mm), São Mateus (336,4 mm), Presidente Kennedy (420,0 mm) e Água Doce do Norte (435,4).

Observa-se que a distribuição Log Normal III também trabalha em escala logarítmica. Porém o efeito da variância provocada em estações com alguns valores muito abaixo da média, não foi tão significativo quanto na distribuição Log Pearson III. Este comportamento pode ser explicado ao se analisar o cálculo do fator de frequência  $k$ , para ambos os modelos. Na distribuição Log Pearson III, o coeficiente de assimetria  $\gamma$  está elevado a quinta potência no cálculo de  $k$ , enquanto na distribuição Log Normal III este coeficiente fica num grau de potenciação abaixo de 1.

**Tabela 12:** Máximas estimadas pela distribuição Log Normal III em função do período de retorno.

Município	Máximas estimadas em mm, em função do período de retorno em anos							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Afonso Cláudio	80,3	104,8	118,8	126,1	131,1	134,8	145,7	155,9
Água Doce do Norte	66,2	121,4	173,7	209,3	237,1	260,1	340,4	435,4
Águia Branca	89,5	118,9	137,8	148,3	155,5	161,1	178,1	194,9
Alegre	80,7	100,8	113,0	119,6	124,1	127,6	137,9	147,9
Alfredo Chaves	87,2	112,5	129,5	139,0	145,7	150,9	166,9	183,0
Alto Rio Novo	69,8	88,0	98,8	104,5	108,4	111,3	120,1	128,4
Anchieta	83,3	111,1	128,1	137,2	143,4	148,2	162,4	176,1
Apiaçá	68,4	94,6	120,0	137,5	151,3	162,7	203,0	251,2
Aracruz	83,1	114,0	131,1	139,9	145,7	150,1	162,8	174,5
Atilio Vivacqua	72,9	94,8	109,3	117,5	123,3	127,7	141,5	155,3
Baixo Guandu	67,5	86,0	96,8	102,6	106,5	109,4	118,1	126,4
Barra de São Francisco	72,4	96,8	110,7	117,8	122,6	126,2	136,7	146,6
Boa Esperança	81,2	109,5	127,7	137,8	144,8	150,1	166,5	182,7
Cachoeiro do Itapemirim	96,7	123,7	140,1	149,0	155,0	159,6	173,4	186,7
Cariacica	96,2	133,7	157,4	170,3	179,3	186,2	207,0	227,3
Castelo	72,1	89,2	99,6	105,1	108,9	111,8	120,5	128,7
Colatina	80,4	98,2	107,9	112,9	116,1	118,6	125,6	132,1
Conceição da Barra	89,4	116,9	134,1	143,6	150,1	155,1	170,3	185,1
Conceição do castelo	70,5	93,0	106,5	113,8	118,7	122,5	133,6	144,4
Domingos Martins	71,5	90,4	102,0	108,4	112,7	116,1	126,1	135,8
Dores do Rio Preto	80,8	100,3	112,0	118,3	122,5	125,7	135,4	144,6
Ecoporanga	89,2	117,9	136,1	146,1	153,1	158,4	174,5	190,4
Fundão	97,5	130,8	151,1	162,0	169,5	175,1	192,1	208,4
Governador Lindemberg	78,5	102,8	118,1	126,5	132,3	136,8	150,3	163,5
Guará	77,7	101,0	121,3	134,6	144,6	152,8	180,6	212,2
Guarapari	87,0	119,0	140,1	152,0	160,3	166,7	186,6	206,4
Ibiraçu	86,4	126,0	153,1	168,6	179,5	188,0	214,5	241,5
Ibitirama	84,8	112,3	130,8	141,3	148,6	154,3	172,1	189,9
Iconha	96,4	127,9	147,0	157,3	164,3	169,6	185,6	201,0
Irupi	83,4	104,1	116,6	123,4	128,0	131,6	142,1	152,2
Itaguaçu	85,2	113,2	131,2	141,2	148,2	153,5	169,8	185,9
Itapemirim	72,9	100,7	121,3	133,7	142,6	149,6	172,1	195,9
Itarana	77,7	101,4	116,5	124,9	130,7	135,2	148,8	162,3
Iúna	72,0	93,9	107,1	114,1	118,9	122,6	133,4	143,8
Jaguaré	79,0	111,6	138,8	156,3	169,3	179,9	215,2	254,7
João Neiva	90,7	118,4	136,9	147,4	154,8	160,5	178,1	195,9
Laranja da Terra <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
Linhares	85,1	126,7	152,2	166,0	175,5	182,6	204,2	225,1
Mantenópolis	72,0	91,7	105,9	114,3	120,4	125,1	140,2	156,0
Marataízes	71,0	94,8	109,5	117,6	123,1	127,3	140,0	152,3
Marechal Floriano	80,8	101,3	114,4	121,6	126,6	130,5	142,2	153,7
Marilândia	79,3	105,7	123,5	133,6	140,8	146,3	163,5	180,9
Mimoso do Sul	81,7	123,3	158,7	181,5	198,6	212,5	259,3	311,8
Montanha	88,1	113,9	127,8	134,8	139,5	142,9	152,8	161,9
Mucurici	87,9	110,7	124,3	131,5	136,5	140,2	151,3	161,9
Muniz Freire	77,2	98,7	114,3	123,5	130,2	135,4	152,1	169,5
Muqui	72,6	100,2	115,5	123,3	128,5	132,3	143,5	153,9
Nova Venécia	69,9	92,3	105,6	112,6	117,3	120,9	131,6	141,7
Pancas	79,4	104,9	121,7	131,1	137,7	142,8	158,4	173,9
Pedro Canário	79,3	112,7	135,5	148,5	157,6	164,7	186,8	209,2
Pinheiros	82,1	107,5	123,8	132,9	139,2	144,1	158,9	173,6
Ponto Belo	89,2	117,6	134,7	143,8	150,0	154,7	168,7	182,1

**Continuação da Tabela 12:** Máximas estimadas pela distribuição Log Normal III em função do período de retorno.

<b>Município</b>	<b>Máximas estimadas em mm, em função do período de retorno em anos</b>							
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
<b>Presidente Kennedy</b>	77,6	131,3	180,9	214,2	239,9	261,0	334,3	420,0
<b>Rio Bananal</b>	81,5	119,7	148,0	164,9	177,0	186,7	217,5	250,0
<b>Rio Novo do Sul</b>	82,9	109,9	125,2	133,2	138,6	142,6	154,4	165,4
<b>Santa Leopoldina</b>	85,9	117,3	136,4	146,8	153,9	159,3	175,5	191,2
<b>Santa Maria</b>	73,8	102,8	124,5	137,7	147,2	154,7	179,0	204,7
<b>Santa Teresa</b>	93,5	123,4	142,1	152,4	159,5	164,9	181,3	197,2
<b>São Gabriel da Palha</b>	88,8	117,8	135,9	145,8	152,6	157,7	173,4	188,7
<b>São José do Calçado</b>	86,6	105,0	115,1	120,2	123,7	126,2	133,6	140,5
<b>São Mateus</b>	85,3	132,3	171,5	196,4	215,0	230,1	280,4	336,4
<b>São Roque</b>	85,7	113,2	131,5	142,1	149,8	155,7	174,4	193,4
<b>Serra</b>	67,4	103,4	124,2	135,1	142,4	147,9	164,1	179,3
<b>Vargem Alta</b>	88,7	117,5	135,9	146,1	153,2	158,6	175,2	191,5
<b>Venda Nova do Imigrante</b>	73,5	92,7	107,0	115,6	121,8	126,7	142,5	159,1
<b>Viana</b>	87,5	110,8	124,1	131,0	135,7	139,2	149,6	159,2
<b>Vila Pavão</b>	80,8	102,6	115,2	121,9	126,4	129,8	139,8	149,2
<b>Vila Velha</b>	78,7	98,0	109,3	115,2	119,2	122,2	131,1	139,5
<b>Vitória</b>	91,2	119,4	136,3	145,3	151,5	156,1	170,0	183,2

1: O software SISCAH não foi capaz de estimar máximas na distribuição Log Normal III para esta estação (Laranja da Terra), apontando um erro descrito como: "Valores menores que zero não tem significado físico".

### **5.3.4. Amplitude dos Intervalos de Confiança das Estimativas**

Conforme observado na seção 3.6.6 o intervalo de confiança é proporcional ao erro padrão, que, por sua vez é influenciado pelo desvio padrão da série de dados. Desta maneira, os intervalos de confiança tendem a seguir um comportamento relacionado com os desvios padrão das séries.

A amplitude do intervalo de confiança tende a ser maior para as séries que possuam maiores máximas estimadas para longos períodos de retorno.

Na comparação das amplitudes dos intervalos de confiança entre os três modelos de distribuição probabilística, para uma mesma estação, observam-se três padrões recorrentes para os 69 postos pluviométricos, denominados A, B e C.

#### **5.3.4.1. Padrão A de amplitude dos intervalos de confiança**

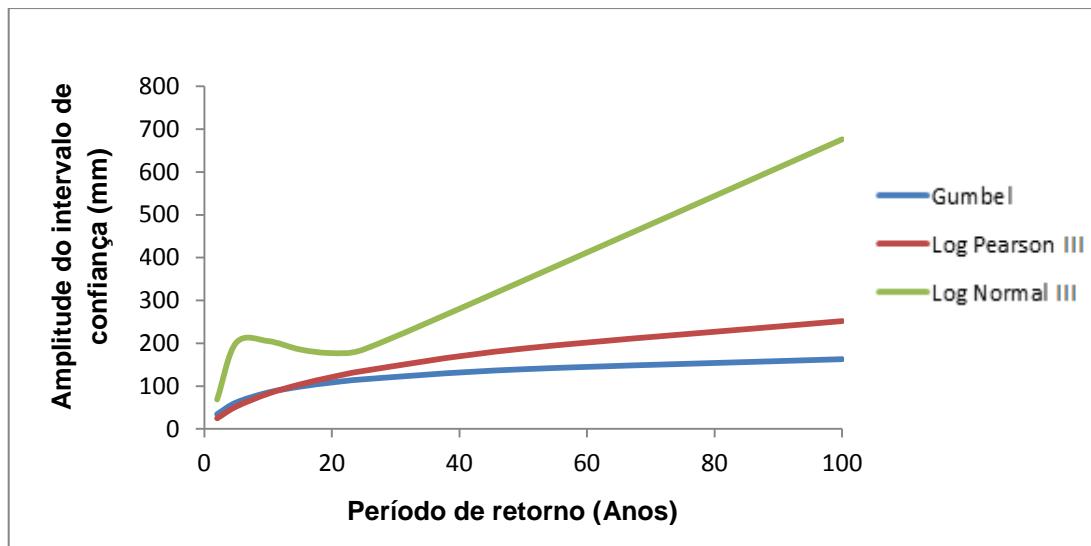
O padrão A corresponde a um comportamento apresentado por muitas estações, para as quais a distribuição Log Normal III apresentou amplitudes muito superiores às correspondentes aos outros dois modelos. Esse padrão foi predominante para estações nas quais o maior valor da série de máximas foi muito superior à média da série.

Nas estimativas para a estação de São Mateus, este padrão pode ser bem observado. Para esta estação, foi encontrada uma máxima de 420,0 mm, uma das maiores dentre todas analisadas. A Tabela 13 apresenta as amplitudes dos intervalos de confiança para os períodos de retorno analisados e a Figura 12 apresenta o gráfico que relaciona a amplitude aos períodos de retorno. Podem ser observados na Tabela 13 e Figura 12, para a estação de São Mateus, valores de amplitude de intervalos de confiança muito maiores para a distribuição Log Normal III.

**Tabela 13:** Amplitude do intervalo de confiança em função do período de retorno, para a estação localizada no município de São Mateus.

Distribuição	Amplitude do intervalo de confiança em mm, em função do período de retorno em anos (mm)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Gumbel	34,6	61,9	85,1	98,8	108,5	116,0	139,5	163,0
Log Pearson III	24,8	52,2	82,4	104,0	121,1	135,6	187,7	251,8
Log Normal III	68,8	201,5	205,1	185,5	177,2	185,8	346,3	676,3

**Figura 12:** Gráfico de amplitude do intervalo de confiança em função do período de retorno, para a estação localizada no município de São Mateus.



#### 5.3.4.2. Padrão B de amplitude dos intervalos de confiança

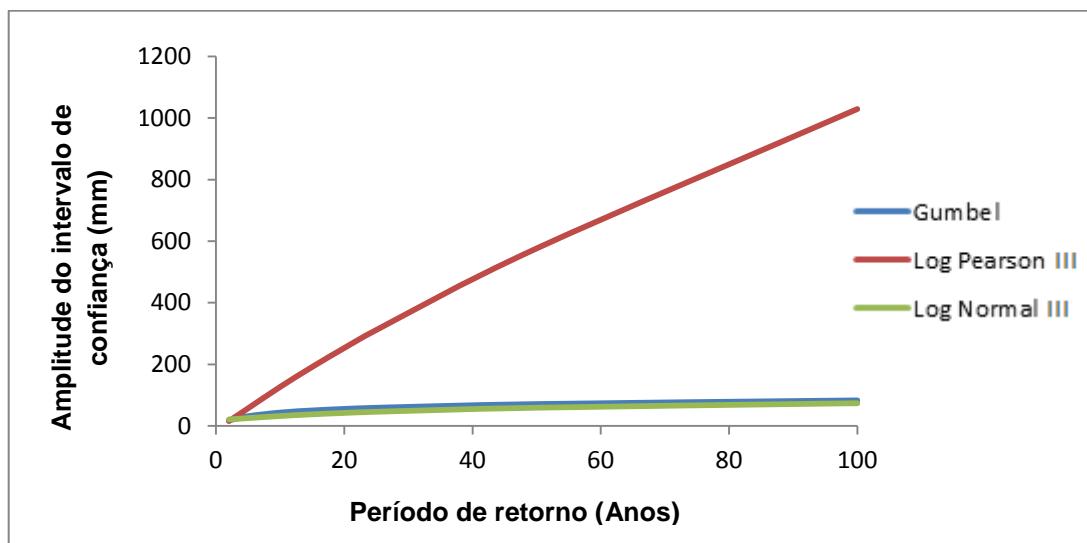
Para o padrão B, a distribuição Log Pearson III apresenta amplitude de intervalo de confiança muito superior às amplitudes dos demais modelos. Esse padrão foi recorrente em estações nas quais as séries de dados possuem valores muito pequenos em relação à média.

Uma estação para a qual esse comportamento foi bem nítido foi a localizada no município da Serra, para a qual constam valores de precipitação na série de máximas 7,0; 8,0; 10,0; 11,0 e 13,0 milímetros. Estes valores ficaram muito abaixo da média, sobretudo na série logarítmica de dados usada pelo modelo Log Pearson III. A Tabela 14 apresenta os valores de amplitude para diferentes períodos de retorno, e a Figura 13 apresenta o gráfico de variação da amplitude do intervalo em função do período de retorno.

**Tabela 14:** Amplitude do intervalo de confiança em função do período de retorno, para a estação localizada no município de Serra.

Distribuição	Amplitude do intervalo de confiança em mm, em função do período de retorno em anos (mm)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Gumbel	18,2	31,9	43,7	50,6	55,6	59,4	71,3	83,2
Log Pearson III	16,0	57,7	127,1	192,0	253,4	311,9	576,6	1028,8
Log Normal III	21,4	25,7	32,5	38,1	42,6	46,4	59,4	74,1

**Figura 13:** Gráfico de amplitude do intervalo de confiança em função do período de retorno, para a estação localizada no município de Serra.



#### 5.3.4.3. Padrão C de amplitude dos intervalos de confiança

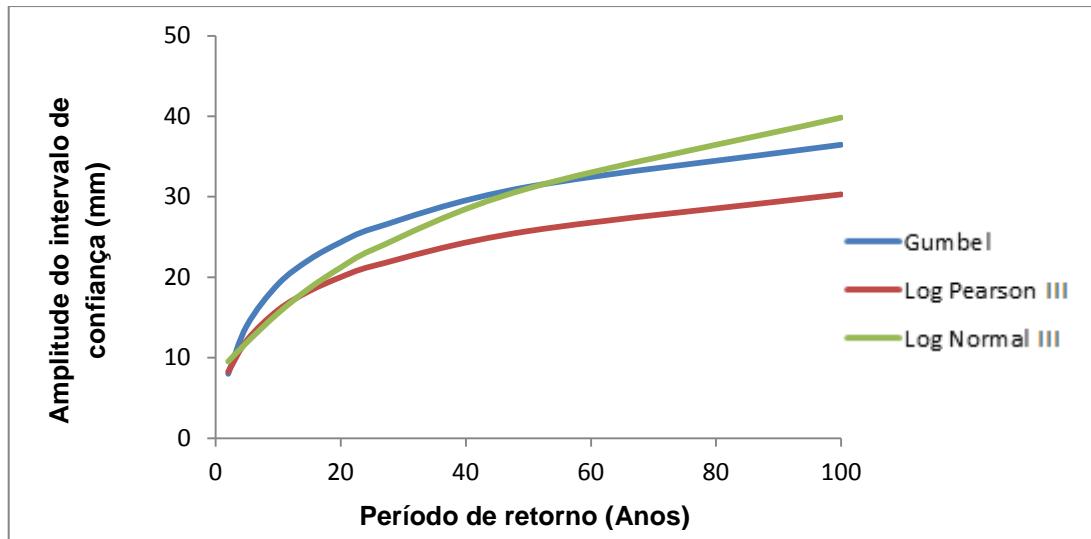
O padrão C corresponde a uma condição pela qual as três distribuições apresentam comportamentos semelhantes de amplitudes, com valores mais baixos, correspondendo a estimativas mais confiáveis. Esse padrão é observado em estações com pouca variância nas séries de máximas anuais, tanto para os maiores valores da série, quanto para os menores.

A estação de Castelo é um exemplo deste padrão. A série de máximas anuais não apresenta valores muito distantes da média, sendo o desvio padrão baixo em relação a média (19,21). A Tabela 15 apresenta as amplitudes dos intervalos em função do período de retorno. A Figura 14 apresenta um gráfico desta evolução.

**Tabela 15:** Amplitude do intervalo de confiança em função do período de retorno, para a estação localizada no município de Castelo.

Distribuição	Amplitude do intervalo de confiança em mm, em função do período de retorno em anos (mm)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
Gumbel	8,0	14,0	19,2	22,2	24,3	26,0	31,2	36,5
Log Pearson III	8,3	12,2	15,9	18,3	20,0	21,4	25,7	30,3
Log Normal III	9,5	11,9	15,6	18,6	21,2	23,4	31,0	39,8

**Figura 14:** Gráfico de amplitude do intervalo de confiança em função do período de retorno, para a estação localizada no município de Castelo.



#### 5.3.4.4. Adequabilidade dos modelos em função da amplitude do intervalo de confiança

A amplitude do intervalo de confiança foi o critério considerado na escolha dos melhores modelos de distribuição probabilística para cada estação pluviométrica, sendo as melhores distribuições, aquelas com menores valores de amplitude de intervalos ao longo dos períodos de retorno. Para tal comparação, foram analisados os gráficos que relacionam a amplitude do intervalo de confiança ao período de retorno e em qual dos três padrões, A, B ou C, a estação se enquadrava.

A Tabela 16 apresenta a melhor distribuição de cada estação, considerando o critério da amplitude do intervalo de confiança e os valores das amplitudes para os períodos de retorno analisados.

**Tabela 16:** Distribuições de probabilidade de melhores ajustes em função dos padrões de amplitude do intervalo de confiança.

Município	Padrão	Distribuição de melhor ajuste	Amplitude do intervalo de confiança da melhor distribuição em mm, em função do período de retorno (mm)							
			2	5	10	15	20	25	50	100
Afonso Cláudio	B	Log Normal III	17,4	20,9	26,3	30,8	34,4	37,4	47,8	59,5
Água Doce do Norte	A	Gumbel	43,3	76,7	105,2	122,0	133,9	143,2	172,0	200,9
Águia Branca	A	Log Pearson III	17,3	26,9	36,3	42,3	46,8	50,3	61,9	74,2
Alegre	C	Log Pearson III	9,7	14,2	18,7	21,4	23,5	25,1	30,2	35,6
Alfredo Chaves	A	Log Pearson III	12,2	19,8	27,0	31,7	35,2	38,0	47,2	57,1
Alto Rio Novo	C	Log Normal III	13,5	16,6	21,5	25,5	28,8	31,6	41,3	52,3
Anchieta	C	Log Normal III	16,5	20,7	27,2	32,7	37,3	41,2	55,0	70,8
Apiaçá	A	Gumbel	17,6	30,7	42,0	48,7	53,4	57,1	68,5	79,9
Aracruz	B	Log Normal III	18,6	21,6	26,6	30,6	33,9	36,6	45,8	56,1
Atílio Vivacqua	A	Log Pearson III	10,4	16,7	22,9	26,8	29,7	32,1	39,9	48,3
Baixo Guandu	C	Log Normal III	10,5	12,9	16,5	19,6	22,0	24,1	31,4	39,6
Barra de São Francisco	B	Log Normal III	14,7	17,4	21,7	25,1	28,0	30,3	38,4	47,4
Boa Esperança	A	Log Pearson III	17,6	28,1	38,5	45,2	50,2	54,2	67,4	81,6
Cachoeiro do Itapemirim	C	Log Pearson III	15,9	24,9	33,6	39,1	43,3	46,5	57,3	68,8
Cariacica	C	Gumbel	21,0	37,2	51,1	59,2	65,0	69,5	83,5	97,5
Castelo	C	Log Pearson III	8,3	12,2	15,9	18,3	20,0	21,4	25,7	30,3
Colatina	C	Log Normal III	12,9	14,7	17,8	20,3	22,4	24,1	29,9	36,4
Conceição da Barra	A	Log Pearson III	12,3	19,3	26,1	30,4	33,6	36,2	44,5	53,5
Conceição do castelo	C	Log Normal III	13,4	16,7	21,8	26,0	29,6	32,5	43,0	55,0
Domingos Martins	C	Log Pearson III	11,8	17,3	22,6	26,0	28,4	30,4	36,6	43,1
Dores do Rio Preto	C	Log Pearson III	10,3	15,4	20,3	23,4	25,6	27,4	33,2	39,3
Ecoporanga	A	Log Pearson III	17,5	27,3	36,9	43,0	47,6	51,2	63,0	75,6
Fundão	C	Log Normal III	19,8	24,8	32,5	39,0	44,5	49,1	65,5	84,3
Governador Lindemberg	A	Log Pearson III	14,4	22,3	29,9	34,8	38,4	41,2	50,6	60,5
Guaçuí	A	Gumbel	13,7	23,9	32,8	37,9	41,6	44,5	53,4	62,4
Guarapari	A	Log Pearson III	15,4	24,6	33,7	39,6	43,9	47,4	58,9	71,3
Ibiraçu	A	Log Pearson III	22,9	39,2	55,6	66,4	74,6	81,3	103,5	128,1
Ibitirama	A	Log Pearson III	14,0	22,9	31,6	37,2	41,4	44,8	55,9	68,1
Iconha	C	Log Normal III	18,7	23,4	30,6	36,8	41,9	46,2	61,5	79,0
Irupi	C	Log Pearson III	11,4	17,0	22,3	25,7	28,1	30,1	36,4	43,0
Itaguaçu	A	Log Pearson III	15,0	23,2	31,3	36,4	40,2	43,3	53,2	63,7
Itapemirim	A	Gumbel	14,6	25,8	35,3	40,9	44,8	47,9	57,5	67,2
Itarana	A	Log Pearson III	11,8	18,0	24,1	27,9	30,8	33,1	40,4	48,2
Iúna	C	Log Normal III	13,6	16,9	22,0	26,3	29,9	32,9	43,5	55,6
Jaguaré	A	Gumbel	24,1	43,2	59,4	68,9	75,7	80,9	97,3	113,7
João Neiva	A	Log Pearson III	13,4	21,8	29,9	35,1	39,0	42,1	52,4	63,6
Laranja da Terra	A	Gumbel	9,2	16,1	22,1	25,6	28,1	30,0	36,1	42,1
Linhares	B	Log Normal III	32,2	40,6	53,4	64,3	73,5	81,4	109,0	141,0
Mantenópolis	A	Gumbel	12,4	22,2	30,5	35,4	38,8	41,5	49,9	58,3
Marataízes	C	Gumbel	11,7	20,6	28,2	32,7	35,9	38,4	46,0	53,8
Marechal Floriano	A	Log Pearson III	10,2	15,6	20,7	23,9	26,3	28,2	34,3	40,7
Marilândia	A	Log Pearson III	15,9	26,3	36,4	43,0	47,9	51,8	65,0	79,4
Mimoso do Sul	A	Gumbel	29,3	52,1	71,5	83,0	91,1	97,4	117,1	136,8
Montanha	B	Log Normal III	19,5	21,8	26,2	29,8	32,7	35,1	43,4	52,5
Mucurici	C	Log Pearson III	20,0	30,9	41,4	48,1	53,0	56,9	69,6	83,2
Muniz Freire	A	Gumbel	12,0	21,3	29,2	33,8	37,1	39,7	47,7	55,7
Muqui	B	Log Normal III	17,8	20,4	25,0	28,7	31,7	34,1	42,6	52,0
Nova Venécia	C	Log Normal III	21,2	26,0	33,4	39,5	44,5	48,7	63,4	80,0
Pancas	A	Log Pearson III	13,3	21,1	28,6	33,5	37,1	39,9	49,4	59,5
Pedro Canário	A	Log Pearson III	17,6	29,3	40,9	48,4	54,1	58,7	74,0	90,6
Pinheiros	A	Log Pearson III	15,5	24,0	32,3	37,6	41,5	44,6	54,8	65,6
Ponto Belo	C	Log Normal III	20,8	25,9	33,7	40,2	45,5	50,1	66,1	84,3

**Continuação da Tabela 16:** Distribuições de probabilidade de melhores ajustes em função dos padrões de amplitude do intervalo de confiança.

Município	Padrão	Distribuição de melhor ajuste	Amplitude do intervalo de confiança da melhor distribuição em mm, em função do período de retorno							
			2	5	10	15	20	25	50	100
Presidente Kennedy	A	Gumbel	46,0	82,3	113,3	131,5	144,4	154,5	185,7	217,0
Rio Bananal	A	Gumbel	24,4	43,6	59,9	69,5	76,4	81,7	98,1	114,6
Rio Novo do Sul	B	Log Normal III	20,4	24,3	30,4	35,4	39,4	42,8	54,4	67,4
Santa Leopoldina	B	Log Normal III	18,8	23,7	31,1	37,4	42,8	47,3	63,3	81,8
Santa Maria	A	Gumbel	15,2	26,6	36,4	42,2	46,3	49,5	59,5	69,4
Santa Teresa	C	Log Pearson III	15,9	25,4	34,7	40,7	45,1	48,7	60,5	73,2
São Gabriel da Palha	C	Log Pearson III	17,4	28,4	39,2	46,1	51,3	55,5	69,3	84,4
São José do Calçado	C	Log Normal III	11,8	13,6	16,6	19,0	20,9	22,6	28,1	34,3
São Mateus	A	Gumbel	34,6	61,9	85,1	98,8	108,5	116,0	139,5	163,0
São Roque	C	Log Normal III	15,2	18,9	24,6	29,4	33,4	36,8	48,6	62,2
Serra	B	Log Normal III	21,4	25,7	32,5	38,1	42,6	46,4	59,4	74,1
Vargem Alta	A	Log Pearson III	14,7	22,7	30,6	35,6	39,3	42,3	51,9	62,2
Venda Nova do Imigrante	A	Gumbel	11,4	20,2	27,6	32,1	35,2	37,6	45,2	52,8
Viana	C	Log Normal III	14,0	16,8	21,2	24,7	27,6	30,0	38,3	47,7
Vila Pavão	C	Log Normal III	16,6	20,1	25,6	30,1	33,8	36,8	47,5	59,5
Vila Velha	C	Log Normal III	13,9	16,9	21,5	25,2	28,3	30,9	39,9	50,0
Vitória	C	Log Normal III	14,9	18,5	24,0	28,6	32,4	35,7	47,0	59,9

### 5.3.5. Análise da influência das chuvas de dezembro de 2013 nas estimativas de máximas

Como citado na seção 5.2.1, em dezembro de 2013, ocorreu em diversas regiões do estado do Espírito Santo, os maiores índices de precipitação acumulada já registrados na sua rede pluviométrica.

Em muitas estações, apesar dos altos valores acumulados, não foram observadas máximas diárias muito altas, a tal ponto de que, em determinadas estações, a máxima do mês de dezembro não foi a máxima do ano de 2013, não exercendo, assim, nenhuma influência no cálculo das máximas diárias estimadas. Desta forma, optou-se por analisar a influência das precipitações máximas ocorridas em dezembro de 2013 nas estimativas correspondentes às estações com maiores máximas neste mês (Ibiracu, Rio Bananal e Santa Teresa).

O procedimento consistiu na comparação entre as estimativas de máximas utilizando a série de dados original com as obtidas com base numa série de dados sem consideração do ano de 2013.

As Tabelas 17, 18 e 19 apresentam as máximas estimadas para as séries com e sem o ano de 2013, respectivamente para as estações de Ibiracu, Santa Teresa e Rio Bananal.

Em Ibiraçu, a máxima diária correspondente a dezembro de 2013 foi 172,3 mm, quarta maior máxima da série de máximas anuais. A Tabela comparativa 17 apresenta as diferenças entre as estimativas considerando a série original, e a série formada descartando o ano de 2013.

**Tabela 17:** Comparação entre as máximas estimadas para a estação pluviométrica de Ibiraçu.

Distribuição	Série de dados	Máximas estimadas em mm, em função do período de retorno em anos							
		2	5	10	15	20	25	50	100
<b>Gumbel</b>	<b>Original<sup>1</sup></b>	88,1	132,3	161,7	178,2	189,8	198,7	226,2	253,4
	<b>2013 descartado<sup>2</sup></b>	87,6	131,1	160,0	176,2	187,6	196,4	223,4	250,3
<b>Log Pearson III</b>	<b>Original<sup>1</sup></b>	85,9	125,2	152,7	168,6	179,9	188,8	216,6	245,2
	<b>2013 descartado<sup>2</sup></b>	85,2	122,5	149,0	164,5	175,6	184,3	212,0	240,9
<b>Log Normal III</b>	<b>Original<sup>1</sup></b>	86,4	126,0	153,1	168,6	179,5	188,0	214,5	241,5
	<b>2013 descartado<sup>2</sup></b>	85,1	123,3	150,2	165,9	177,1	185,9	213,5	242,1

1: Série de dados original, utilizada para as estimativas e parametrização de equações.

2: Série de dados que exclui o ano de 2013, para cálculo de estimativas para efeito de comparação.

Em Santa Teresa, a máxima diária correspondente a dezembro de 2013 foi 182,1 mm, segunda maior máxima da série. A Tabela comparativa 18 apresenta as diferenças entre as estimativas considerando a série original, e a série formada descartando o ano de 2013.

**Tabela 18:** Comparação entre as máximas estimadas para a estação pluviométrica de Santa Teresa.

Distribuição	Série de dados	Máximas estimadas em mm, em função do período de retorno em anos							
		2	5	10	15	20	25	50	100
<b>Gumbel</b>	<b>Original<sup>1</sup></b>	92,8	125,1	146,5	153,6	167,0	173,5	193,6	213,5
	<b>2013 descartado<sup>2</sup></b>	91,6	122,3	142,7	154,2	162,2	168,4	187,5	206,4
<b>Log Pearson III</b>	<b>Original<sup>1</sup></b>	92,8	125,1	146,5	153,6	167,0	173,5	193,6	213,5
	<b>2013 descartado<sup>2</sup></b>	91,3	120,2	139,2	149,8	157,3	163,1	180,9	198,7
<b>Log Normal III</b>	<b>Original<sup>1</sup></b>	93,5	123,4	142,1	152,4	159,5	164,9	181,3	197,2
	<b>2013 descartado<sup>2</sup></b>	92,4	120,8	138,5	148,2	154,9	159,9	175,4	190,4

1: Série de dados original, utilizada para as estimativas e parametrização de equações.

2: Série de dados que exclui o ano de 2013, para cálculo de estimativas para efeito de comparação.

Em Rio Bananal, a máxima diária correspondente a dezembro de 2013 foi de 280,8 mm, maior máxima da série. A Tabela comparativa 19 apresenta as diferenças entre as estimativas considerando a série original, e a série formada descartando o ano de 2013.

**Tabela 19:** Comparação entre as máximas estimadas para a estação pluviométrica de Rio Bananal.

Distribuição	Série de dados	Máximas estimadas em mm, em função do período de retorno em anos							
		2	5	10	15	20	25	50	100
<b>Gumbel</b>	<b>Original<sup>1</sup></b>	85,1	129,4	158,7	175,2	186,7	195,7	223,1	250,3
	<b>2013 descartado<sup>2</sup></b>	82,4	116,5	139,1	151,8	160,8	167,6	188,8	209,8
<b>Log Pearson III</b>	<b>Original<sup>1</sup></b>	82,1	119,2	146,6	163,1	175,1	184,5	215,2	247,9
	<b>2013 descartado<sup>2</sup></b>	81,1	112,4	133,9	146,3	155,0	161,8	183,2	205,0
<b>Log Normal III</b>	<b>Original<sup>1</sup></b>	81,5	119,7	148,0	164,9	177,0	186,7	217,5	250,0
	<b>2013 descartado<sup>2</sup></b>	82,4	113,3	133,2	144,2	151,9	157,8	175,8	193,6

1: Série de dados original, utilizada para as estimativas e parametrização de equações.

2: Série de dados que exclui o ano de 2013, para cálculo de estimativas para efeito de comparação.

Nas Tabelas 17, 18 e 19 observam-se influências relativamente baixas das máximas observadas em dezembro de 2013, com maior diferença na comparação de estimativas para a estação de Rio Bananal, na qual se observa a maior máxima do período dentre as estações analisadas, e para a qual a máxima de dezembro de 2013 é a também a máxima da série histórica.

Considerando as séries completas, incluindo as máximas diárias de dezembro de 2013, observa-se que as influências destas máximas foram muito menores para as estações Ibiraçu, Santa Teresa e Rio Bananal, do que as influências as correspondentes as máximas da série de Presidente Kennedy (máxima de 570,0 mm) e Água Doce do Norte (660,6 mm). Destaca-se também que as estações analisadas foram aquelas com as maiores máximas no período, sendo que em algumas estações as chuvas de 2013 não foram sequer consideradas nos cálculos, visto que as estimativas de precipitações para diferentes períodos de retorno utilizam apenas as máximas anuais.

#### **5.4. Parametrizações das Equações Intensidade-Duração-Freqüência**

A partir das máximas de precipitação estimadas para as séries de máximas de duração de um dia para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, foram utilizadas as relações de CETESB (1979), para se obter máximas para as durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos. As Tabelas 20, 21 e 22 apresentam como exemplo as máximas de precipitação para estas durações na estação pluviométrica de Vitória, respectivamente para os modelos de distribuição de Gumbel, Log Pearson III e Log Normal III.

**Tabela 20:** Precipitações máximas estimadas pela distribuição de Gumbel para o município de Vitória para diferentes durações em função do período de retorno.

Duração (min)	Precipitações máximas estimadas em mm, para diferentes durações em função do período de retorno em anos.							
	2	5	10	15	20	25	50	100
<b>5</b>	9,4	12,6	14,7	15,9	16,7	17,4	19,3	21,3
<b>10</b>	15,0	20,0	23,4	25,3	26,6	27,6	30,7	33,8
<b>15</b>	19,4	26,0	30,3	32,7	34,5	35,8	39,8	43,9
<b>20</b>	22,5	30,1	35,1	37,9	39,9	41,4	46,1	50,8
<b>25</b>	25,3	33,8	39,4	42,6	44,8	46,5	51,8	57,0
<b>30</b>	27,8	37,1	43,3	46,8	49,2	51,1	56,9	62,7
<b>60</b>	37,5	50,2	58,5	63,2	66,5	69,1	76,9	84,7
<b>360</b>	64,4	86,0	100,3	108,4	114,0	118,4	131,8	145,1
<b>480</b>	69,7	93,1	108,7	117,4	123,5	128,3	142,8	157,2
<b>600</b>	73,3	97,9	114,2	123,4	129,9	134,8	150,1	165,3
<b>720</b>	76,0	101,5	118,4	128,0	134,6	139,8	155,6	171,4
<b>1440</b>	101,9	136,1	158,8	171,6	180,6	187,5	208,7	229,8

**Tabela 21:** Precipitações máximas estimadas pela distribuição Log Pearson III para o município de Vitória para diferentes durações em função do período de retorno.

Duração (min)	Precipitações máximas estimadas em mm, para diferentes durações em função do período de retorno em anos.							
	2	5	10	15	20	25	50	100
<b>5</b>	9,3	12,5	14,8	16,1	17,1	17,8	20,2	22,7
<b>10</b>	14,7	19,8	23,5	25,6	27,1	28,3	32,1	36,0
<b>15</b>	19,1	25,7	30,4	33,2	35,1	36,7	41,6	46,7
<b>20</b>	22,1	29,8	35,2	38,4	40,7	42,5	48,1	54,1
<b>25</b>	24,8	33,4	39,6	43,1	45,7	47,7	54,1	60,7
<b>30</b>	27,2	36,8	43,5	47,4	50,2	52,4	59,4	66,8
<b>60</b>	36,8	49,7	58,7	64,0	67,9	70,8	80,3	90,2
<b>360</b>	63,1	85,1	100,7	109,8	116,3	121,4	137,7	154,7
<b>480</b>	68,3	92,2	109,1	118,9	126,0	131,5	149,2	167,5
<b>600</b>	71,8	97,0	114,7	125,0	132,5	138,3	156,8	176,1
<b>720</b>	74,5	100,5	118,9	129,6	137,3	143,4	162,5	182,6
<b>1440</b>	99,9	134,8	159,4	173,8	184,2	192,3	218,0	244,9

**Tabela 22:** Precipitações máximas estimadas pela distribuição de Log Normal III para o município de Vitória para diferentes durações em função do período de retorno.

<b>Duração (min)</b>	<b>Precipitações máximas estimadas em mm, para diferentes durações em função do período de retorno em anos.</b>							
	2	5	10	15	20	25	50	100
<b>5</b>	9,6	12,6	14,4	15,4	16,0	16,5	18,0	19,4
<b>10</b>	15,3	20,0	22,9	24,4	25,4	26,2	28,5	30,8
<b>15</b>	19,8	26,0	29,7	31,6	33,0	34,0	37,0	39,9
<b>20</b>	23,0	30,1	34,3	36,6	38,1	39,3	42,8	46,1
<b>25</b>	25,8	33,8	38,5	41,1	42,8	44,2	48,1	51,8
<b>30</b>	28,3	37,1	42,4	45,2	47,1	48,5	52,8	57,0
<b>60</b>	38,3	50,1	57,2	61,0	63,6	65,6	71,4	77,0
<b>360</b>	65,6	86,0	98,1	104,6	109,1	112,4	122,4	131,9
<b>480</b>	71,1	93,1	106,3	113,4	118,1	121,8	132,6	142,9
<b>600</b>	74,8	97,9	111,8	119,2	124,2	128,0	139,4	150,3
<b>720</b>	77,5	101,5	115,8	123,5	128,7	132,7	144,5	155,8
<b>1440</b>	103,9	136,1	155,4	165,7	172,7	178,0	193,8	208,9

As Tabelas 23, 24 e 25 apresentam os valores de intensidade de chuvas estimados, dados em mm/min, para as durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos e períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos.

**Tabela 23:** Intensidades máximas estimadas pela distribuição de Gumbel para o município de Vitória para diferentes durações em função do período de retorno.

<b>Duração (min)</b>	<b>Intensidades máximas estimadas em mm/min, para diferentes durações em função do período de retorno em anos.</b>							
	2	5	10	15	20	25	50	100
<b>5</b>	1,89	2,52	2,94	3,18	3,35	3,48	3,87	4,26
<b>10</b>	1,50	2,00	2,34	2,53	2,66	2,76	3,07	3,38
<b>15</b>	1,30	1,73	2,02	2,18	2,30	2,39	2,66	2,92
<b>20</b>	1,13	1,50	1,75	1,89	1,99	2,07	2,30	2,54
<b>25</b>	1,01	1,35	1,58	1,70	1,79	1,86	2,07	2,28
<b>30</b>	0,93	1,24	1,44	1,56	1,64	1,70	1,90	2,09
<b>60</b>	0,63	0,84	0,98	1,05	1,11	1,15	1,28	1,41
<b>360</b>	0,18	0,24	0,28	0,30	0,32	0,33	0,37	0,40
<b>480</b>	0,15	0,19	0,23	0,24	0,26	0,27	0,30	0,33
<b>600</b>	0,12	0,16	0,19	0,21	0,22	0,22	0,25	0,28
<b>720</b>	0,11	0,14	0,16	0,18	0,19	0,19	0,22	0,24
<b>1440</b>	0,07	0,09	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,16

**Tabela 24:** Intensidades máximas estimadas pela distribuição Log Pearson III para o município de Vitória para diferentes durações em função do período de retorno.

<b>Duração (min)</b>	<b>Intensidades máximas estimadas em mm/min, para diferentes durações em função do período de retorno em anos.</b>							
	2	5	10	15	20	25	50	100
<b>5</b>	1,85	2,50	2,96	3,22	3,41	3,56	4,04	4,54
<b>10</b>	1,47	1,98	2,35	2,56	2,71	2,83	3,21	3,60
<b>15</b>	1,27	1,72	2,03	2,21	2,34	2,45	2,77	3,12
<b>20</b>	1,10	1,49	1,76	1,92	2,03	2,12	2,41	2,70
<b>25</b>	0,99	1,34	1,58	1,73	1,83	1,91	2,16	2,43
<b>30</b>	0,91	1,23	1,45	1,58	1,67	1,75	1,98	2,23
<b>60</b>	0,61	0,83	0,98	1,07	1,13	1,18	1,34	1,50
<b>360</b>	0,18	0,24	0,28	0,30	0,32	0,34	0,38	0,43
<b>480</b>	0,14	0,19	0,23	0,25	0,26	0,27	0,31	0,35
<b>600</b>	0,12	0,16	0,19	0,21	0,22	0,23	0,26	0,29
<b>720</b>	0,10	0,14	0,17	0,18	0,19	0,20	0,23	0,25
<b>1440</b>	0,07	0,09	0,11	0,12	0,13	0,13	0,15	0,17

**Tabela 25:** Intensidades máximas estimadas pela distribuição Log Normal III para o município de Vitória para diferentes durações em função do período de retorno.

<b>Duração (min)</b>	<b>Intensidades máximas estimadas em mm/min, para diferentes durações em função do período de retorno em anos.</b>							
	2	5	10	15	20	25	50	100
<b>5</b>	1,93	2,52	2,88	3,07	3,20	3,30	3,59	3,87
<b>10</b>	1,53	2,00	2,29	2,44	2,54	2,62	2,85	3,08
<b>15</b>	1,32	1,73	1,98	2,11	2,20	2,26	2,47	2,66
<b>20</b>	1,15	1,50	1,72	1,83	1,91	1,96	2,14	2,31
<b>25</b>	1,03	1,35	1,54	1,64	1,71	1,77	1,92	2,07
<b>30</b>	0,94	1,24	1,41	1,51	1,57	1,62	1,76	1,90
<b>60</b>	0,64	0,84	0,95	1,02	1,06	1,09	1,19	1,28
<b>360</b>	0,18	0,24	0,27	0,29	0,30	0,31	0,34	0,37
<b>480</b>	0,15	0,19	0,22	0,24	0,25	0,25	0,28	0,30
<b>600</b>	0,12	0,16	0,19	0,20	0,21	0,21	0,23	0,25
<b>720</b>	0,11	0,14	0,16	0,17	0,18	0,18	0,20	0,22
<b>1440</b>	0,07	0,09	0,11	0,12	0,12	0,12	0,13	0,15

O mesmo procedimento foi feito para as demais 68 estações pluviométricas. A partir das intensidades estimadas para diferentes durações e períodos de retorno, foram determinados os parâmetros  $K$ ,  $m$ ,  $n$  e  $b$  da equação intensidade-duração-frequência (IDF) através do método de regressão linear citado na seção 4.4.

As Tabelas 26, 27 e 28 apresentam os parâmetros das equações IDF baseados na equação (28), bem como os somatórios dos desvios quadrados e coeficientes de determinação  $r^2$ , calculados respectivamente pelas equações (29) e (30) e com base nas intensidades estimadas pelos modelos Gumbel, Log Pearson III e Log Normal III.

**Tabela 26:** Parâmetros das equações IDF com base nas estimativas da distribuição de Gumbel.

Município	Parâmetros da equação IDF				Desvio <sup>2</sup>	$r^2$
	m	b	n	k		
Afonso Cláudio	0,209	10,615	0,738	12,482	1,673	0,99786
Água Doce do Norte	0,391	4,346	0,660	7,499	14,384	0,98315
Águia Branca	0,214	8,672	0,716	12,140	1,314	0,99766
Alegre	0,174	11,551	0,748	13,814	1,618	0,99864
Alfredo Chaves	0,193	9,576	0,726	12,883	1,284	0,99833
Alto Rio Novo	0,186	13,341	0,768	13,650	2,118	0,99795
Anchieta	0,214	9,735	0,728	12,202	1,530	0,99772
Apiaçá	0,275	8,771	0,717	10,276	2,420	0,99496
Aracruz	0,238	9,338	0,724	11,406	1,772	0,99681
Atílio Vivacqua	0,197	11,911	0,752	13,047	1,878	0,99802
Baixo Guandu	0,188	13,820	0,773	13,656	2,233	0,99775
Barra de São Francisco	0,222	11,698	0,750	12,178	2,074	0,99726
Boa Esperança	0,223	9,572	0,726	11,906	1,601	0,99741
Cachoeiro do Itapemirim	0,192	8,549	0,714	12,842	1,066	0,99825
Cariacica	0,238	7,150	0,697	11,348	1,604	0,99635
Castelo	0,169	13,442	0,769	14,299	2,027	0,99830
Colatina	0,170	12,034	0,754	14,010	1,715	0,99862
Conceição da Barra	0,200	9,206	0,722	12,623	1,266	0,99813
Conceição do castelo	0,209	12,312	0,757	12,698	2,079	0,99758
Domingos Martins	0,185	12,862	0,763	13,607	2,006	0,99810
Dores do Rio Preto	0,172	11,642	0,749	13,895	1,629	0,99867
Ecoporanga	0,211	8,813	0,717	12,231	1,308	0,99776
Fundão	0,218	7,695	0,704	11,962	1,265	0,99729
Governador Lindemberg	0,205	10,713	0,739	12,610	1,662	0,99796
Guaçuí	0,218	9,608	0,727	12,069	1,547	0,99759
Guarapari	0,225	8,536	0,714	11,766	1,444	0,99724
Ibiráçu	0,262	7,248	0,699	10,600	2,118	0,99529
Ibitirama	0,209	9,368	0,724	12,341	1,392	0,99788
Iconha	0,212	8,023	0,708	12,170	1,205	0,99758
Irupi	0,176	11,029	0,743	13,655	1,504	0,99867
Itaguaçu	0,212	9,352	0,724	12,253	1,419	0,99779
Itapemirim	0,233	10,139	0,733	11,630	1,862	0,99701
Itarana	0,200	11,018	0,743	12,833	1,685	0,99809
Iúna	0,203	12,220	0,756	12,891	2,001	0,99778
Jaguaré	0,262	7,736	0,705	10,618	2,068	0,99547
João Neiva	0,200	8,842	0,718	12,598	1,193	0,99809
Laranja da Terra	0,180	13,127	0,765	13,851	2,026	0,99816
Linhares	0,278	7,325	0,699	10,142	2,534	0,99446
Mantenópolis	0,191	12,110	0,755	13,297	1,873	0,99815
Marataízes	0,214	11,899	0,752	12,465	2,035	0,99750
Marechal Floriano	0,177	11,324	0,746	13,680	1,580	0,99862
Marilândia	0,216	9,968	0,731	12,168	1,603	0,99766
Mimoso do Sul	0,294	6,140	0,684	9,726	3,551	0,99293
Montanha	0,210	9,549	0,726	12,316	1,445	0,99784
Mucurici	0,193	9,750	0,728	12,913	1,320	0,99835
Muniz Freire	0,191	11,085	0,743	13,146	1,626	0,99832
Muqui	0,245	10,974	0,742	11,368	2,209	0,99646
Nova Venécia	0,221	11,993	0,753	12,235	2,135	0,99722
Pancas	0,208	10,340	0,735	12,464	1,604	0,99790
Pedro Canário	0,247	8,802	0,717	11,089	1,839	0,99637
Pinheiros	0,206	10,030	0,732	12,524	1,502	0,99799

**Continuação da Tabela 26:** Parâmetros das equações IDF com base nas estimativas da distribuição de Gumbel.

Município	Parâmetros da equação IDF				Desvio <sup>2</sup>	$r^2$
	m	b	n	k		
Ponto Belo	0,212	8,953	0,719	12,197	1,349	0,99773
Presidente Kennedy	0,359	4,217	0,658	8,255	11,416	0,98616
Rio Bananal	0,267	7,458	0,701	10,454	2,220	0,99510
Rio Novo do Sul	0,220	9,826	0,729	12,010	1,624	0,99751
Santa Leopoldina	0,227	8,897	0,718	11,714	1,532	0,99721
Santa Maria	0,238	9,747	0,728	11,449	1,847	0,99683
Santa Teresa	0,208	8,387	0,712	12,252	1,135	0,99799
São Gabriel da Palha	0,213	8,850	0,718	12,160	1,341	0,99769
São José do Calçado	0,162	11,204	0,745	14,172	1,464	0,99891
São Mateus	0,304	5,390	0,675	9,495	4,761	0,99169
São Roque	0,231	9,140	0,721	11,666	1,552	0,99742
Serra	0,294	9,992	0,731	9,833	3,040	0,99383
Vargem Alta	0,209	8,947	0,719	12,316	1,306	0,99785
Venda Nova do Imigrante	0,185	11,967	0,753	13,459	1,800	0,99831
Viana	0,187	10,173	0,733	13,158	1,372	0,99849
Vila Pavão	0,192	11,036	0,743	13,082	1,627	0,99828
Vila Velha	0,179	11,868	0,752	13,671	1,731	0,99847
Vitória	0,203	9,009	0,720	12,506	1,257	0,99802

Pela análise da Tabela 26, para o coeficiente  $m$  os maiores valores corresponderam às estações São Mateus (0,304), Presidente Kennedy (0,359) e Água Doce do Norte (0,391). Os menores valores corresponderam às estações de São José do Calçado (0,162), Castelo (0,169) e Colatina (0,170).

Para os coeficientes  $b$  e  $n$ , observa-se um padrão semelhante de distribuição, com maiores valores em Alto Rio Novo ( $b$ : 13,341; e  $n$ : 0,768), Castelo ( $b$ : 13,442; e  $n$ : 0,769) e Baixo Guandu ( $b$ : 13,820; e  $n$ : 0,773). Os menores valores corresponderam às estações: Presidente Kennedy ( $b$ : 4,217; e  $n$ : 0,658), Água Doce do Norte ( $b$ : 4,346; e  $n$ : 0,660) e São Mateus ( $b$ : 5,390; e  $n$ : 0,675).

Os maiores valores do coeficiente  $K$  corresponderam às estações: Colatina (14,010), São José do Calçado (14,172) e Castelo (14,299). Os menores valores de  $K$  encontram-se nas estações: Água Doce do Norte (7,499), Presidente Kennedy (8,255) e São Mateus (9,495).

**Tabela 27:** Parâmetros das equações IDF com base nas estimativas da distribuição Log Pearson III.

Município	Parâmetros da equação IDF				Desvio <sup>2</sup>	$r^2$
	m	b	n	k		
Afonso Cláudio	0,249	10,534	0,737	11,452	1,717	0,99862
Água Doce do Norte	0,457	6,376	0,688	6,723	5,252	0,99507
Águia Branca	0,196	9,176	0,722	12,716	1,257	0,99806
Alegre	0,156	11,835	0,752	14,432	1,623	0,99855
Alfredo Chaves	0,185	10,016	0,731	13,249	1,280	0,99875
Alto Rio Novo	0,180	13,688	0,771	13,942	2,140	0,99807
Anchieta	0,236	9,780	0,729	11,674	1,536	0,99824
Apiaçá	0,317	10,800	0,740	10,018	1,904	0,99951
Aracruz	0,391	8,372	0,712	8,141	1,908	0,99877
Atílio Vivacqua	0,188	12,396	0,758	13,448	1,901	0,99833
Baixo Guandu	0,198	13,861	0,773	13,384	2,275	0,99797
Barra de São Francisco	0,310	11,117	0,744	10,002	2,289	0,99857
Boa Esperança	0,212	10,131	0,733	12,347	1,562	0,99795
Cachoeiro do Itapemirim	0,183	8,848	0,718	13,176	1,046	0,99849
Cariacica	0,264	7,286	0,699	10,739	1,430	0,99733
Castelo	0,152	13,714	0,772	14,908	2,011	0,99816
Colatina	0,188	12,045	0,754	13,501	1,753	0,99892
Conceição da Barra	0,192	9,442	0,725	12,893	1,257	0,99828
Conceição do castelo	0,230	12,341	0,757	12,158	2,146	0,99805
Domingos Martins	0,160	13,420	0,769	14,533	2,001	0,99803
Dores do Rio Preto	0,157	11,913	0,752	14,416	1,637	0,99861
Ecoporanga	0,195	9,310	0,723	12,780	1,262	0,99816
Fundão	0,245	7,696	0,704	11,290	1,200	0,99789
Governador Lindemberg	0,188	11,218	0,745	13,212	1,665	0,99817
Guaçuí	0,248	10,832	0,741	11,745	1,543	0,99967
Guarapari	0,215	8,979	0,719	12,123	1,360	0,99775
Ibiráçu	0,262	7,898	0,707	10,738	1,694	0,99673
Ibitirama	0,201	9,891	0,730	12,707	1,360	0,99847
Iconha	0,232	8,062	0,708	11,672	1,155	0,99808
Irupi	0,158	11,362	0,746	14,280	1,518	0,99864
Itaguaçu	0,196	9,806	0,729	12,787	1,393	0,99808
Itapemirim	0,245	10,950	0,742	11,617	1,824	0,99850
Itarana	0,183	11,446	0,747	13,411	1,688	0,99821
Iúna	0,215	12,336	0,757	12,601	2,046	0,99814
Jaguaré	0,286	9,124	0,721	10,463	1,373	0,99904
João Neiva	0,192	9,285	0,723	12,943	1,154	0,99860
Laranja da Terra	0,239	12,688	0,761	12,118	2,150	0,99891
Linhares	0,414	6,921	0,694	7,575	2,733	0,99724
Mantenópolis	0,192	12,907	0,763	13,537	1,972	0,99886
Marataízes	0,225	12,065	0,754	12,231	2,078	0,99790
Marechal Floriano	0,160	11,714	0,750	14,279	1,599	0,99868
Marilândia	0,205	10,685	0,739	12,661	1,583	0,99840
Mimoso do Sul	0,326	7,505	0,702	9,378	1,545	0,99803
Montanha	0,297	9,121	0,721	10,191	1,424	0,99905
Mucurici	0,171	10,455	0,736	13,747	1,341	0,99872
Muniz Freire	0,196	11,770	0,751	13,257	1,696	0,99910
Muqui	0,424	9,751	0,728	7,611	2,684	0,99900
Nova Venécia	0,242	12,397	0,758	11,834	2,225	0,99811
Pancas	0,195	10,849	0,741	12,954	1,600	0,99826
Pedro Canário	0,242	9,421	0,725	11,373	1,699	0,99730
Pinheiros	0,186	10,621	0,738	13,209	1,498	0,99833

**Continuação da Tabela 27:** Parâmetros das equações IDF com base nas estimativas da distribuição Log Pearson III.

Município	Parâmetros da equação IDF				Desvio <sup>2</sup>	$r^2$
	m	b	n	k		
Ponto Belo	0,229	9,128	0,721	11,818	1,315	0,99835
Presidente Kennedy	0,408	6,014	0,683	7,655	3,414	0,99617
Rio Bananal	0,277	8,377	0,712	10,451	1,618	0,99755
Rio Novo do Sul	0,284	9,627	0,727	10,476	1,652	0,99864
Santa Leopoldina	0,266	8,848	0,718	10,793	1,522	0,99800
Santa Maria	0,252	10,573	0,738	11,365	1,762	0,99853
Santa Teresa	0,208	8,387	0,712	12,252	1,135	0,99799
São Gabriel da Palha	0,210	9,217	0,722	12,339	1,298	0,99817
São José do Calçado	0,174	11,203	0,745	13,844	1,478	0,99908
São Mateus	0,334	6,694	0,692	9,141	1,893	0,99721
São Roque	0,266	9,014	0,720	10,830	1,492	0,99826
Serra	0,668	10,534	0,729	5,201	6,755	0,99908
Vargem Alta	0,194	9,339	0,724	12,794	1,276	0,99811
Venda Nova do Imigrante	0,193	12,734	0,761	13,544	1,913	0,99906
Viana	0,207	10,128	0,733	12,600	1,378	0,99881
Vila Pavão	0,201	11,246	0,745	12,922	1,657	0,99864
Vila Velha	0,177	12,109	0,755	13,815	1,756	0,99861
Vitória	0,225	8,960	0,719	11,937	1,245	0,99839

Pela análise da Tabela 27, para o coeficiente  $m$  os maiores valores correspondem às estações Muqui (0,424), Água Doce do Norte (0,457) e Serra (0,668). E os menores valores correspondem às estações de Castelo (0,152), Alegre (0,156) e Colatina (0,157).

Para os coeficientes  $b$  e  $n$ , observa-se um padrão semelhante de distribuição, com maiores valores em Alto Rio Novo (b: 13,688; e n: 0,771), Castelo (b: 13,714; e n: 0,772) e Baixo Guandu (b: 13,861; e n: 0,773). Os menores valores correspondem às estações: Presidente Kennedy (b: 6,014; e n: 0,683), Água Doce do Norte (b: 6,376; e n: 0,688) e São Mateus (b: 6,694; e n: 0,692).

Os maiores valores do coeficiente  $K$  são observados nas estações: Alegre (14,432), São José do Calçado (14,533) e Castelo (14,908). Os menores valores de  $K$  encontram-se nas estações: Serra (5,201), Água Doce do Norte (6,723) e Linhares (7,575).

**Tabela 28:** Parâmetros das equações IDF com base nas estimativas da distribuição Log Normal III.

<b>Município</b>	<b>Parâmetros da equação IDF</b>				<b>Desvio<sup>2</sup></b>	<b>r<sup>2</sup></b>
	<b>m</b>	<b>b</b>	<b>n</b>	<b>k</b>		
Afonso Cláudio	0,164	11,132	0,744	13,885	1,612	0,99763
Água Doce do Norte	0,475	6,472	0,689	6,461	5,744	0,99507
Águia Branca	0,194	9,146	0,721	12,771	1,264	0,99796
Alegre	0,151	11,848	0,752	14,587	1,615	0,99847
Alfredo Chaves	0,186	9,957	0,731	13,197	1,292	0,99862
Alto Rio Novo	0,151	13,874	0,773	14,866	2,066	0,99768
Anchieta	0,186	10,102	0,732	13,065	1,492	0,99763
Apiaçá	0,333	6,472	0,700	7,135	1,682	0,99863
Aracruz	0,182	9,793	0,729	13,005	1,596	0,99653
Atílio Vivacqua	0,189	12,333	0,757	13,395	1,904	0,99821
Baixo Guandu	0,155	14,186	0,777	14,758	2,151	0,99740
Barra de São Francisco	0,174	12,154	0,755	13,645	1,933	0,99688
Boa Esperança	0,202	10,140	0,733	12,598	1,556	0,99774
Cachoeiro do Itapemirim	0,164	8,937	0,719	13,737	1,056	0,99826
Cariacica	0,213	7,551	0,702	12,012	1,393	0,99670
Castelo	0,144	13,748	0,772	15,149	1,993	0,99805
Colatina	0,122	12,525	0,759	15,669	1,675	0,99823
Conceição da Barra	0,181	9,491	0,725	13,206	1,257	0,99813
Conceição do castelo	0,178	12,720	0,761	13,688	2,011	0,99735
Domingos Martins	0,160	13,373	0,768	14,517	1,995	0,99799
Dores do Rio Preto	0,145	11,978	0,753	14,814	1,623	0,99846
Ecoporanga	0,189	9,304	0,723	12,947	1,267	0,99801
Fundão	0,188	8,021	0,708	12,806	1,187	0,99729
Governador Lindemberg	0,183	11,213	0,745	13,369	1,656	0,99804
Guaçuí	0,256	10,837	0,741	11,561	1,579	0,99967
Guarapari	0,215	8,939	0,719	12,104	1,373	0,99767
Ibiráçu	0,256	7,869	0,706	10,858	1,726	0,99649
Ibitirama	0,202	9,824	0,729	12,652	1,378	0,99831
Iconha	0,182	8,349	0,712	13,026	1,154	0,99755
Irupí	0,150	11,391	0,747	14,535	1,509	0,99852
Itaguaçu	0,195	9,776	0,729	12,813	1,395	0,99800
Itapemirim	0,248	10,835	0,741	11,461	1,871	0,99826
Itarana	0,183	11,405	0,747	13,388	1,688	0,99815
Iúna	0,172	12,641	0,760	13,899	1,947	0,99757
Jaguaré	0,297	9,050	0,720	10,192	1,478	0,99884
João Neiva	0,193	9,227	0,722	12,892	1,173	0,99846
Laranja da Terra <sup>1</sup>						
Linhares	0,239	7,933	0,707	11,138	2,028	0,99504
Mantenópolis	0,195	12,804	0,762	13,417	1,975	0,99874
Marataízes	0,190	12,302	0,757	13,243	1,990	0,99740
Marechal Floriano	0,161	11,668	0,750	14,246	1,598	0,99861
Marilândia	0,206	10,593	0,738	12,591	1,598	0,99821
Mimoso do Sul	0,338	7,453	0,701	9,094	1,767	0,99775
Montanha	0,149	10,129	0,733	14,202	1,364	0,99759
Mucurici	0,152	10,508	0,737	14,309	1,333	0,99844
Muniz Freire	0,198	11,683	0,750	13,143	1,704	0,99898
Muqui	0,184	11,534	0,748	13,126	1,961	0,99615
Nova Venécia	0,175	12,853	0,763	13,780	2,037	0,99717
Pancas	0,196	10,792	0,740	12,917	1,606	0,99815
Pedro Canário	0,242	9,363	0,724	11,348	1,717	0,99717
Pinheiros	0,187	10,557	0,737	13,173	1,501	0,99823

**Continuação da Tabela 28:** Parâmetros das equações IDF com base nas estimativas da distribuição Log Normal III.

Município	Parâmetros da equação IDF				Desvio <sup>2</sup>	$r^2$
	m	b	n	k		
Ponto Belo	0,177	9,441	0,725	13,282	1,300	0,99774
Presidente Kennedy	0,427	9,991	0,720	9,584	3,489	0,99681
Rio Bananal	0,281	8,267	0,711	10,325	1,747	0,99716
Rio Novo do Sul	0,170	10,403	0,736	13,532	1,531	0,99735
Santa Leopoldina	0,198	9,272	0,723	12,556	1,459	0,99720
Santa Maria	0,257	10,477	0,737	11,209	1,822	0,99828
Santa Teresa	0,186	8,757	0,717	12,989	1,164	0,99790
São Gabriel da Palha	0,187	9,323	0,723	12,969	1,296	0,99785
São José do Calçado	0,119	11,584	0,749	15,641	1,451	0,99855
São Mateus	0,346	11,132	0,731	11,984	2,356	0,99718
São Roque	0,204	9,752	0,728	12,639	1,317	0,99857
Serra	0,239	10,517	0,737	11,225	2,524	0,99382
Vargem Alta	0,192	9,323	0,723	12,861	1,279	0,99803
Venda Nova do Imigrante	0,195	12,645	0,760	13,423	1,918	0,99897
Viana	0,148	10,529	0,737	14,396	1,357	0,99820
Vila Pavão	0,152	11,567	0,749	14,413	1,603	0,99807
Vila Velha	0,142	12,337	0,757	14,929	1,709	0,99821
Vitória	0,173	9,286	0,723	13,399	1,238	0,99784

1: O software SISCAH não foi capaz de estimar máximas na distribuição Log Normal III para esta estação (Laranja da Terra), apontando um erro descrito como: "Valores menores que zero não tem significado físico".

Pela análise da Tabela 28, para o coeficiente  $m$  os maiores valores correspondem às estações São Mateus (0,346), Presidente Kennedy (0,427) e Água Doce do Norte (0,475). E os menores valores correspondem às estações de São José do Calçado (0,119), Colatina (0,122) e Vila Velha (0,142).

Para os coeficientes  $b$  e  $n$ , observa-se um padrão semelhante de distribuição, com os maiores valores em Alto Rio Novo ( $b$ : 13,874; e  $n$ : 0,773), Castelo (b: 13,748; e n: 0,772) e Baixo Guandu (b: 14,186; e n: 0,777). Os menores valores correspondem às estações: Apiacá (b: 6,472; e n: 0,700), Água Doce do Norte (b: 6,472; e n: 0,689) e Mimoso do Sul (b: 7,453; e n: 0,701).

Os maiores valores do coeficiente  $K$  correspondem às estações: Castelo (15,149), São José do Calçado (15,641) e Colatina (15,669). Os menores valores de  $K$  encontram-se nas estações: Apiacá (7,135), Água Doce do Norte (6,461) e Mimoso do Sul (9,094).

A partir da análise e comparação entre os dados das Tabelas 26, 27 e 28 observou-se as seguintes características para cada parâmetro da equação IDF.

Parâmetro  $m$ : O parâmetro  $m$  é determinado com base na equação linearizada (35), sendo o coeficiente angular desta equação que relaciona intensidade em função de período de retorno para uma duração fixa. Desta maneira, observou-se que neste

parâmetro os valores foram maiores de acordo com a evolução das estimativas de máximas para diferentes períodos de retorno (quanto maior o incremento das estimativas ao decorrer do aumento do período de retorno, maior foi o valor de  $m$  encontrado pela parametrização). Este perfil de relação entre intensidade e período de retorno, pode ser visto de forma mais acentuada em estações com alto desvio padrão e coeficiente de variância, causados principalmente por máximas das séries muito acima das médias das séries, como pode ser visto na seção 5.3.

**Parâmetros  $b$  e  $n$ :** Nestes parâmetros observa-se pouca variação, sobretudo se comparados para as três tabelas com os diferentes tipos de distribuições. O parâmetro  $n$  é determinado pela equação linearizada (34), sendo o coeficiente angular desta equação que relaciona intensidade à duração para período de retorno fixo. Observa-se baixa variação deste parâmetro ao longo das estações utilizadas, pois a intensidade em função da duração é calculada através das relações de CETESB (1979) que estabelece relações fixas entre alturas pluviométricas para diferentes durações de chuva.

**Parâmetro  $K$ :** O parâmetro  $K$  é determinado com base na equação linearizada (35), sendo o coeficiente linear desta equação que relaciona intensidade em função de período de retorno para uma duração fixa. O parâmetro  $K$  mostrou-se maior em estações com pouca variação de intensidade em função de período de retorno, ou estações com altas estimativas para períodos de retorno mais curtos. Pela análise feita na seção 5.3 observaram-se estes perfis de estimativas em estações com pouca variância de dados e/ou médias aritméticas das séries de máximas anuais elevadas.

Na análise geral, observou-se que os valores de somatório do desvio quadrado e coeficiente de determinação, seguem padrões muito próximos. Os menores valores de  $r^2$  bem como os maiores valores do desvio quadrado encontram-se nas estações com maiores estimativas para longos períodos de retorno, como nas estações Água Doce do Norte, Presidente Kennedy e Mimoso do Sul.

Para critérios de adequabilidade, observa-se que o coeficiente de determinação  $r^2$  só foi menor do que 0,99 em duas estações para o modelo de distribuição de Gumbel (Água Doce do Norte e Presidente Kennedy). Mesmo assim, os valores encontram-se dentro da faixa estabelecida como ótimo para coeficientes determinação.

Pela análise comparativa das Tabelas 26, 27 e 28 observa-se que os piores valores para os critérios de adequabilidade ( $r^2$  e desvio quadrado) encontram-se na distribuição Gumbel, mostrando que a curva distribuição de Gumbel que relaciona intensidade de chuvas ao período de retorno segue um padrão mais diferente da equação geral de intensidade-duração-frequência, quando comparado aos modelos Log Pearson III e Log Normal III.

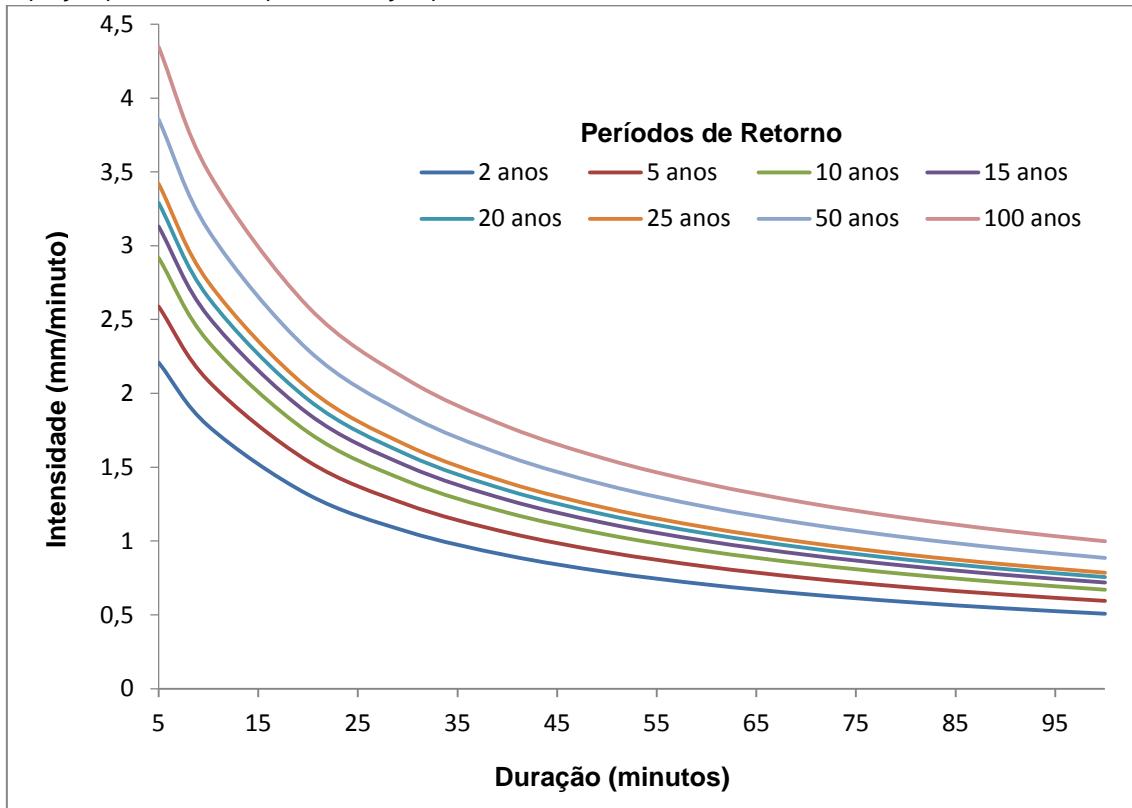
Visto a boa adequabilidade das equações parametrizadas, sob o critério do coeficiente de determinação  $r^2$ , a escolha do modelo de distribuição de probabilidade para parametrização da equação IDF, seguiu o critério da amplitude dos intervalos de confiança, em acordo com a análise feita na seção 5.3.4.4, apresentada na Tabela 16. Seguindo estes critérios, a Tabela 29 apresenta os parâmetros finais das equações IDF, com a escolha do melhor modelo de distribuição com base na amplitude do intervalo de confiança, e com os respectivos coeficientes de determinação que se encontram dentro da faixa de ótimo (todas acima de 0,98).

A equação (37) apresenta como modelo, a equação de intensidade-duração-frequência para a estação pluviométrica de Vitória, em acordo com a Tabela 29, como a intensidade dada em mm/min.

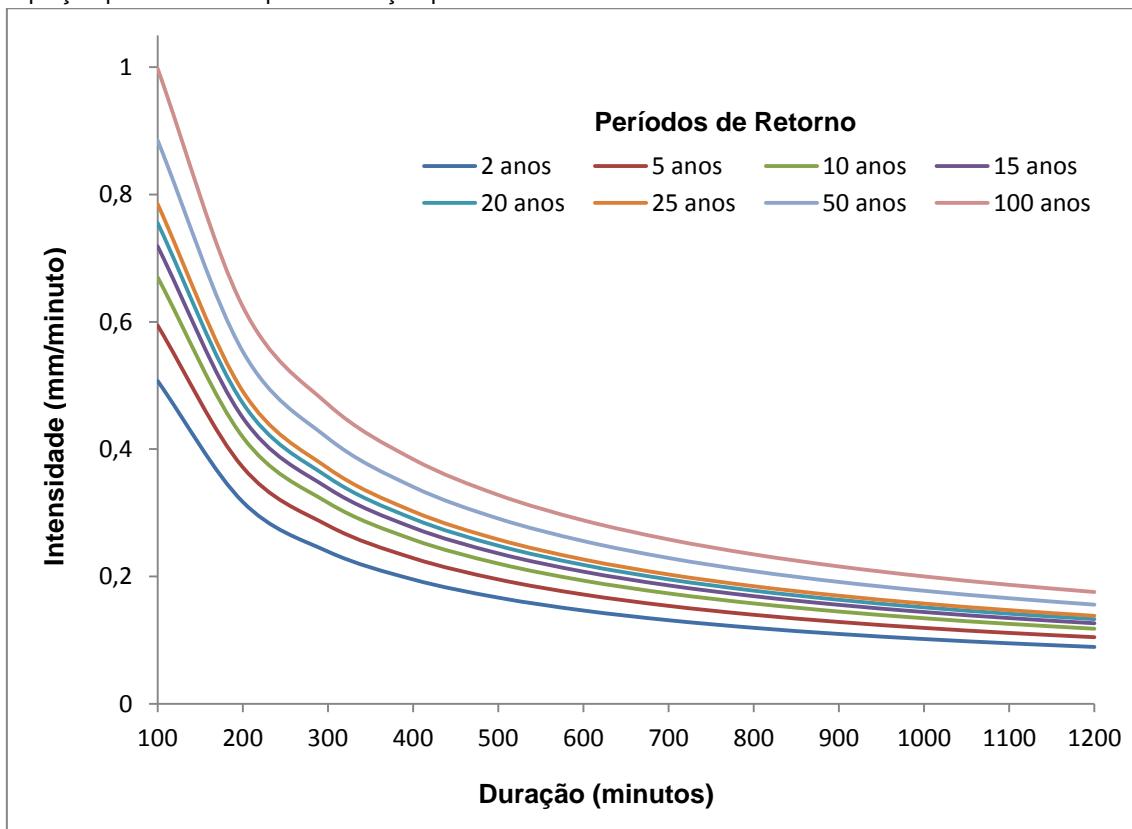
$$i = \frac{13,399 T^{0,173}}{(t+9,286)^{0,723}} \text{ (mm/min)} \quad (37)$$

As Figuras 15 e 16 apresentam gráficos de intensidade de chuva (dada em mm/min) em função da duração, estabelecidos para a estação de Vitória através da equação (37), com curvas para diferentes períodos de retorno. A Figura 15 apresenta as curvas de intensidade para diferentes períodos de retorno em função de durações mais curtas de chuva (de 5 a 100 minutos). A Figura 16 apresenta essas mesmas curvas para durações de chuva mais longas (de 100 a 1200 minutos).

**Figura 15:** Gráfico de intensidade-duração- frequência para durações de chuvas mais curtas com base na equação parametrizada para a estação pluviométrica de Vitória.



**Figura 16:** Gráfico de intensidade-duração- frequência para durações de chuvas mais longas com base na equação parametrizada para a estação pluviométrica de Vitória.



**Tabela 29:** Parâmetros finais das equações de Intensidade- Duração- Frequência para o modelo de distribuição probabilística mais adequado.

Município	Melhor distribuição	Parâmetros da equação IDF				$r^2$
		m	b	n	K	
Afonso Cláudio	Log Normal III	0,164	11,132	0,744	13,885	0,9976
Água Doce do Norte	Gumbel	0,391	4,346	0,660	7,499	0,9832
Águia Branca	Log Pearson III	0,196	9,176	0,722	12,716	0,9981
Alegre	Log Pearson III	0,156	11,835	0,752	14,432	0,9986
Alfredo Chaves	Log Pearson III	0,185	10,016	0,731	13,249	0,9987
Alto Rio Novo	Log Normal III	0,151	13,874	0,773	14,866	0,9977
Anchieta	Log Normal III	0,186	10,102	0,732	13,065	0,9976
Apicacá	Gumbel	0,275	8,771	0,717	10,276	0,9950
Aracruz	Log Normal III	0,182	9,793	0,729	13,005	0,9965
Atílio Vivacqua	Log Pearson III	0,188	12,396	0,758	13,448	0,9983
Baixo Guandu	Log Normal III	0,155	14,186	0,777	14,758	0,9974
Barra de São Francisco	Log Normal III	0,174	12,154	0,755	13,645	0,9969
Boa Esperança	Log Pearson III	0,212	10,131	0,733	12,347	0,9979
Cachoeiro do Itapemirim	Log Pearson III	0,183	8,848	0,718	13,176	0,9985
Cariacica	Gumbel	0,238	7,150	0,697	11,348	0,9964
Castelo	Log Pearson III	0,152	13,714	0,772	14,908	0,9982
Colatina	Log Normal III	0,122	12,525	0,759	15,669	0,9982
Conceição da Barra	Log Pearson III	0,192	9,442	0,725	12,893	0,9983
Conceição do castelo	Log Normal III	0,178	12,720	0,761	13,688	0,9974
Domingos Martins	Log Pearson III	0,160	13,420	0,769	14,533	0,9980
Dores do Rio Preto	Log Pearson III	0,157	11,913	0,752	14,416	0,9986
Ecoporanga	Log Pearson III	0,195	9,310	0,723	12,780	0,9982
Fundão	Log Normal III	0,188	8,021	0,708	12,806	0,9973
Governador Lindemberg	Log Pearson III	0,188	11,218	0,745	13,212	0,9982
Guaçuí	Gumbel	0,218	9,608	0,727	12,069	0,9976
Guarapari	Log Pearson III	0,215	8,979	0,719	12,123	0,9978
Ibiráçu	Log Pearson III	0,262	7,898	0,707	10,738	0,9967
Ibitirama	Log Pearson III	0,201	9,891	0,730	12,707	0,9985
Iconha	Log Normal III	0,182	8,349	0,712	13,026	0,9976
Irupi	Log Pearson III	0,158	11,362	0,746	14,280	0,9986
Itaguaçu	Log Pearson III	0,196	9,806	0,729	12,787	0,9981
Itapemirim	Gumbel	0,233	10,139	0,733	11,630	0,9970
Itarana	Log Pearson III	0,183	11,446	0,747	13,411	0,9982
Iúna	Log Normal III	0,172	12,641	0,760	13,899	0,9976
Jaguaré	Gumbel	0,262	7,736	0,705	10,618	0,9955
João Neiva	Log Pearson III	0,192	9,285	0,723	12,943	0,9986
Laranja da Terra	Gumbel	0,180	13,127	0,765	13,851	0,9982
Linhares	Log Normal III	0,239	7,933	0,707	11,138	0,9950
Mantenópolis	Gumbel	0,191	12,110	0,755	13,297	0,9981
Marataízes	Gumbel	0,214	11,899	0,752	12,465	0,9975
Marechal Floriano	Log Pearson III	0,160	11,714	0,750	14,279	0,9987
Marilândia	Log Pearson III	0,205	10,685	0,739	12,661	0,9984
Mimoso do Sul	Gumbel	0,294	6,140	0,684	9,726	0,9929
Montanha	Log Normal III	0,149	10,129	0,733	14,202	0,9976
Mucurici	Log Pearson III	0,171	10,455	0,736	13,747	0,9987
Muniz Freire	Gumbel	0,191	11,085	0,743	13,146	0,9983
Muqui	Log Normal III	0,184	11,534	0,748	13,126	0,9961
Nova Venécia	Log Normal III	0,175	12,853	0,763	13,780	0,9972
Pancas	Log Pearson III	0,195	10,849	0,741	12,954	0,9983
Pedro Canário	Log Pearson III	0,242	9,421	0,725	11,373	0,9973
Pinheiros	Log Pearson III	0,186	10,621	0,738	13,209	0,9983
Ponto Belo	Log Normal III	0,177	9,441	0,725	13,282	0,9977

**Continuação da Tabela 29:** Parâmetros finais das equações de Intensidade- Duração- Frequência para o modelo de distribuição probabilística mais adequada.

Município	Melhor distribuição	Parâmetros da equação IDF				$r^2$
		m	b	n	K	
<b>Presidente Kennedy</b>	Gumbel	0,359	4,217	0,658	8,255	0,9862
<b>Rio Bananal</b>	Gumbel	0,267	7,458	0,701	10,454	0,9951
<b>Rio Novo do Sul</b>	Log Normal III	0,170	10,403	0,736	13,532	0,9974
<b>Santa Leopoldina</b>	Log Normal III	0,198	9,272	0,723	12,556	0,9972
<b>Santa Maria</b>	Gumbel	0,238	9,747	0,728	11,449	0,9968
<b>Santa Teresa</b>	Log Pearson III	0,208	8,387	0,712	12,252	0,9980
<b>São Gabriel da Palha</b>	Log Pearson III	0,210	9,217	0,722	12,339	0,9982
<b>São José do Calçado</b>	Log Normal III	0,119	11,584	0,749	15,641	0,9986
<b>São Mateus</b>	Gumbel	0,304	5,390	0,675	9,495	0,9917
<b>São Roque</b>	Log Normal III	0,204	9,752	0,728	12,639	0,9986
<b>Serra</b>	Log Normal III	0,239	10,517	0,737	11,225	0,9938
<b>Vargem Alta</b>	Log Pearson III	0,194	9,339	0,724	12,794	0,9981
<b>Venda Nova do Imigrante</b>	Gumbel	0,185	11,967	0,753	13,459	0,9983
<b>Viana</b>	Log Normal III	0,148	10,529	0,737	14,396	0,9982
<b>Vila Pavão</b>	Log Normal III	0,152	11,567	0,749	14,413	0,9981
<b>Vila Velha</b>	Log Normal III	0,142	12,337	0,757	14,929	0,9982
<b>Vitória</b>	Log Normal III	0,173	9,286	0,723	13,399	0,9978

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Como observado nas análises temporais e espaciais das séries de máximas anuais, a ausência de dados numa determinada estação pluviométrica, em períodos críticos de altas precipitações na região adjacente à mesma, pode comprometer a análise de chuvas intensas, gerando estimativas inferiores aos valores reais e subdimensionamento de estruturas de drenagem.

A análise de chuvas intensas utilizando apenas valores de precipitações diárias (24 horas) acaba desconsiderando períodos de mais de um dia com altas precipitações acumuladas, visto que são utilizadas na série de máximas anuais apenas as máximas diárias correspondentes a cada ano. Assim sendo, obras hidráulicas projetadas com base neste tipo de análise podem ser subestimadas por desconsiderarem períodos de mais de um dia com altos índices de precipitações acumuladas. A análise das consequências da inclusão, ou não, de dados relativos ao período de grandes enchentes em diversas regiões do estado do Espírito Santo, em 2013, permitiu a verificação de que mesmo muito altas precipitações pluviométricas acumuladas mensais podem ser de pouca influência nos resultados de estudos.

As distribuições Log Pearson III e Log Normal III apresentaram padrões de distribuição de intensidade em relação ao período de retorno mais próximos da equação de intensidade-duração-frequência. Para a maioria das estações estas distribuições apresentaram melhor qualidade nas estimativas considerando as correspondentes amplitudes dos intervalos de confiança. Contudo, para algumas estações, para estas mesmas distribuições resultaram em amplitudes de intervalos muito altas.

Considera-se pertinente as seguintes recomendações para estudos futuros:

- Utilização de dados de precipitação para diferentes faixas de duração, e considerando durações superiores a um dia para as estimativas.
- Utilização de mais de um modelo estatístico para estimativas de máximas, devido à adequabilidade variável dos modelos observada ao longo das estações analisadas.

- Na análise dos padrões de amplitudes de intervalo de confiança, observou-se valores muito altos para as distribuições Log Normal III e Log Pearson III em algumas estações, de maneira que a distribuição de Gumbel é mais recomendada para estudos realizados a partir de um único modelo de distribuição probabilística.
- Utilização de séries parciais de máximas anuais, como meio de comparação entre os resultados com estudos que utilizam séries de máximas anuais.
- Utilização de séries de dados de pluviógrafos, que possuem valores de intensidade mais precisos para períodos mais curtos, de maneira a comparar os resultados com trabalhos realizados a partir de base de dados de pluviômetros.
- Recomenda-se a ampliação da rede meteorológica do estado do Espírito Santo, sobretudo na parte norte do estado.

## 7. REFERÊNCIAS

- CAMPOS, A. R; SANTOS, G. G; SILVA, J. B. L; IRENE FILHO, J; LOURA, D; S. **Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado do Piauí.** Revista Ciência Agronômica, Fortaleza , v. 45, n. 3, p. 488-498. 2014.
- CARDOSO, C. O; SAMPAIO, C. A. P; PRAZERES, C. S; HACKBARTH, C. **Análise Sazonal dos Padrões temporais das chuvas intensas para Lages – SC a partir de pluviogramas diários.** XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Guarapari-ES. 2011.
- CARRIELLO, F. **Estimativas da resposta hidrológica das sub-bacias brasileiras.** INPE, 2005, p. 29-34.
- CARVALHO, D. F; SILVA, L. D. B. **Hidrologia,** UFRJ, 2006.
- COLLISCHONN, B. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído.** UFRGS, 2006, p. 11-20.
- COLOMBELLI, K; MENDES, R. **Determinação dos parâmetros da equação de chuvas intensas para o município de Videira, SC.** Unoesc & Ciência - ACET, Joaçaba, v. 4, n. 2, p – 169-180. 2013.
- DAMÉ, R. C. F; TEIXEIRA, C. F. A; SOUTO, M. V; MOREIRA, N. M. **Análise de frequência hidrológica dos dados de precipitação pluvial de algumas estações agroclimatológicas da região sul do Rio Grande do Sul.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 26, n. 3, p. 351-355. 1995.
- DNIT. **Manual de hidrologia básica para obras de drenagem.** Ministério dos Transportes, 2005.
- FARIAS, J. A. M; SILVA, J. F. R; COELHO, L. S. **Determinação de equação IDF, utilizando regressão linear em base logarítmica.** XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves-RS. 2013.

GENOVEZ, A. M.; Vazões Máximas. In: Paiva, J. B. D.; Paiva, E. M. C. D. **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacia Hidrográficas**. ABRH, 2003.

KITE, G. W. **Frequency and risk analyses in hydrology**. Water Resources Publications, 1988.

MARTINS, C. A. M; ULIANA, E. M; REIS, E. F. **Estimativa da vazão e da precipitação máxima utilizando modelos probabilísticos na bacia hidrográfica do rio Benevente**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1130-1142. 2011.

MORUZZI, R. B; OLIVEIRA, S. C. **Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Rio Claro, SP: métodos e aplicação**. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n. 13, p. 59-68. 2009.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. Editora Agronômica Ceres, 1981.

OLIVEIRA, L. F. C; CORTÊS, F. C; BARBOSA, F. O. A; ROMÃO, P. A; CARVALHO, D. F. **Estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades no estado de Goiás pelo método da desagregação de chuvas**. Pesquisa Agropecuária Tropical, n. 30, p. 23-27. 2000.

OLIVEIRA, L. F. C; CORTÊS, F. C; WEHR, T. R; BORGES, L. B; SARMENTO, P. H. L; GRIEBELER, N. P. **Intensidade- Duração -Frequência de chuvas intensas para localidades no estado de Goiás e Distrito Federal**. Pesquisa Agropecuária Tropical, n. 35, p. 13-18. 2005.

PINTO, E; NAGHETTINI, M. **Hidrologia estatística**. CPRM, 2007.

PORTER, T. M. Karl Pearson: **The scientific life in a statistical age**. Princeton University press, 2010.

- REYES, M. R.; BENGTSON, R. L.; ROBBINS, K. D. Rip and Wmrip. **New measures of rainfall intensity distribution.** Transactions of the ASAE, 1993.
- RIGHETO, A. M. **Manejo de águas pluviais urbanas.** PROSAB. Editora ABES, 2009.
- ROSAL, M. C. F; MONTENEGRO, S. M. G. L. **Estudo da distribuição de probabilidade para precipitações máximas na bacia do rio Mundaú.** XIX Simpósio brasileiro de recursos hídricos, Maceió – AL. 2011.
- SANTOS, L. C. **Estimativa de vazões máximas de projeto por métodos determinísticos e probabilísticos.** UFES, 2010.
- SILVA, B. M; MONTENEGRO, S. M. G. L; SILVA, F. B; ARAÚJO FILHO, P. F. **Chuvas Intensas em Localidades do Estado de Pernambuco.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, n. 3, p. 135-147. 2012.
- SOUZA, F. A. O; SILVA, C. L; MAGGIOTTO, S. R; OLIVEIRA JUNIOR, M. P. **Caracterização das vazões em uma pequena bacia hidrográfica do Distrito Federal, Brasil.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 1, 2012.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia ciência e aplicação.** Editora UFRGS, 2002.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada.** Editora McGraw-Hill, 1975.
- WATANABE, F. M. **Análise do método de Gumbel para cálculo de vazões de dimensionamento de vertedouros.** USP, 2013.