

FERNANDO HIDE YANO LOPES

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE EQUAÇÕES DE CHUVAS PARA O
MUNICÍPIO DE JOINVILLE, SC.**

JOINVILLE – SC

2006

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

FERNANDO HIDE YANO LOPES

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE EQUAÇÕES DE CHUVAS PARA O
MUNICÍPIO DE JOINVILLE, SC.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
do Estado de Santa Catarina – UDESC – como
requisito para colação de grau de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Doalcey Antunes Ramos.

JOINVILLE – SC

2006

FERNANDO HIDE YANO LOPES

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE EQUAÇÕES DE CHUVAS PARA O
MUNICÍPIO DE JOINVILLE, SC.**

Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito parcial para obtenção do grau em
bacharel, no curso de graduação em Engenharia Civil

Banca Examinadora:

Orientador:

Prof. Dr. Doalcey Antunes Ramos.
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Membros:

Prof^ª Dr^ª Mônica Lopes Gonçalves.
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Prof. Robison Negri.
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Joinville, 2006

RESUMO

As equações de chuva são de extrema importância para o estudo das bacias hidrográficas, tanto rurais para a questão da agricultura, quanto urbana para a micro e macrodrenagem pluvial visando o controle de inundações e da erosão do solo. No município de Joinville existem duas estações em boas condições de operação para coleta de dados de chuva no perímetro urbano, para as quais já existem algumas equações de chuvas desenvolvidas. Na obtenção dessas equações foram empregadas algumas metodologias distintas como o método gráfico e o método analítico. O presente trabalho desenvolve uma forma analítica diferenciada das já utilizadas para as equações de chuvas existentes para Joinville. É empregado o método das relações de durações de precipitação com uso de coeficientes de desagregação já existentes para chuvas de menores durações diretamente na forma geral da equação de chuva. As equações de chuvas desenvolvidas são comparadas com as existentes na tentativa de se sugerir uma equação a ser adotada para os projetos de drenagem pluvial a serem desenvolvidos para a região de Joinville.

Palavras-chave: Equações de Chuvas para Joinville, Chuvas intensas em Joinville.

ABSTRACT

Rainfall equations are of extreme importance for the study of watersheds, either rural or urban. In urban watersheds those rainfall intensity-duration-frequency curves are essential for controlling urban flooding and soil erosion. In the urban perimeter of the city of Joinville there are two existent non-recording rain gauge stations in good readiness for collection of rainfall data, for which some rainfall equations have been already developed. In the attainment of these equations some distinct methodologies have been used as the graphical method and the analytical method. The present work develops a differentiated analytical form of those already mentioned. Existing rainfall disaggregating coefficients have been used to obtain storms of smaller durations from the data collected from standard rain gauges, and then, adjusting equations to the data. The developed rain equations are compared with the existing ones in the attempt of suggesting an equation to be adopted for projects involving storm data for the region of Joinville.

Word-key: Rainfall relationships for Joinville; Rainfall equations for Joinville.

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Descrição da estação de N° 02648014 (RVPSC).	30
Quadro 3.2 – Descrição da estação de N° 02648036 (UDESC-UNIVILLE).....	30
Quadro 6.1 – Erro percentual relativo para a estação 2648014 (RVPSC) com período de retorno de 5 anos.....	52
Quadro 6.2 – Erro percentual relativo para a estação 2648014 (RVPSC) com período de retorno de 15 anos.....	53
Quadro 6.3 – Erro percentual relativo para a estação 2648014 (RVPSC) com período de retorno de 25 anos.....	54
Quadro 6.4 – Erro percentual relativo para a estação 2648014 (RVPSC) com período de retorno de 50 anos.....	55
Quadro 6.5 – Erro percentual relativo para a estação 2648014 (RVPSC) com período de retorno de 100 anos.....	57
Quadro 6.6 – Quadro Resumo dos erros percentuais relativos médios para a estação 2648014 (RVPSC).....	57
Quadro 6.7 – Erro percentual relativo para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) com período de retorno de 5 anos.....	61
Quadro 6.8 – Erro percentual relativo para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) com período de retorno de 15 anos.....	62
Quadro 6.9 – Erro percentual relativo para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) com período de retorno de 25 anos.....	63

Quadro 6.10 – Erro percentual relativo para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) com período de retorno de 50 anos.....	64
Quadro 6.11 – Erro percentual relativo para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) com período de retorno de 100 anos.....	65
Quadro 6.12 – Quadro Resumo dos erros percentuais relativos médios para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE).	66

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1 – Análise de consistência para a estação 2648014 (RVPSC).	44
Gráfico 5.2 – Análise de consistência para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE).....	45
Gráfico 5.3 – Curvas características para a estação 2648014 (RVPSC).....	47
Gráfico 5.4 – Curvas características para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE).	47
Gráfico 6.1 – Curvas das equações IDF referente à estação 2648014 com período de retorno de 5 anos.	51
Gráfico 6.2 – Curvas das equações IDF referente a estação 2648014 com período de retorno de 15 anos.	52
Gráfico 6.3 – Curvas das equações IDF referente à estação 2648014 com período de retorno de 25 anos.	53
Gráfico 6.4 – Curvas das equações IDF referente a estação 2648014 com período de retorno de 50 anos.	55
Gráfico 6.5 – Curvas das equações IDF referente a estação 2648014 com período de retorno de 100 anos.	56
Gráfico 6.6 – Curvas das equações IDF referente à estação 2648036 com período de retorno de 5 anos.	60
Gráfico 6.7 – Curvas das equações IDF referente a estação 2648036 com período de retorno de 15 anos.	61
Gráfico 6.8 – Curvas das equações IDF referente a estação 2648036 com período de retorno de 25 anos.	63

Gráfico 6.9 – Curvas das equações IDF referente a estação 2648036 com período de retorno de 50 anos.	64
Gráfico 6.10 – Curvas das equações IDF referente a estação 2648036 com período de retorno de 100 anos.	65
Gráfico 6.11 – Curvas das duas estações com período de retorno de 5 anos.	68
Gráfico 6.12 – Curvas das duas estações com período de retorno de 15 anos.	69
Gráfico 6.13 – Curvas das duas estações com período de retorno de 25 anos.	69
Gráfico 6.14 – Curvas das duas estações com período de retorno de 100 anos.	70
Gráfico 6.15 – Curvas das duas estações com período de retorno de 100 anos.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Relação entre chuvas de diferentes durações.....	28
Tabela 3.1 – Valores de α'	33
Tabela 3.2 – Valores das constantes γ, a, b, c, β' para São Francisco do Sul (SC).....	33
Tabela 3.3 – Valores das constantes γ, a, b, c, β' para Paranaguá (PR).	34
Tabela 3.4 – Relação IDF para a estação 2648014.....	37
Tabela 3.5 – Valores de K_T	40
Tabela 5.1 – Parâmetros das estações utilizadas..	45
Tabela 3.4 – Relação IDF para a estação 21648014.....	48
Tabela 3.5 – Valores de K_T	49
Tabela 3.1 – Valores de α'	50
Tabela 3.2 – Valores das constantes γ, a, b, c, β' para São Francisco do Sul (SC).....	50
Tabela 3.3 – Valores das constantes γ, a, b, c, β' para Paranaguá (PR).	50
Tabela 3.5 – Valores de K_T	58
Tabela 3.1 – Valores de α'	59
Tabela 3.2 – Valores das constantes γ, a, b, c, β' para São Francisco do Sul (SC).....	59

Tabela 3.3 – Valores das constantes γ , a , b , c , β' para Paranaguá (PR).	60
--	----

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Esquema do Pluviômetro.....	21
Figura 2.2 – Esquema do Pluviógrafo.....	22
Figura 3.1 – Mapa de localização das estações pluviométricas no município de Joinville.	31
Figura 3.2 – Ajuste gráfico através de papel de probabilidade de Gumbel para a estação 2648014 (RVPSC).	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental

UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina

UNIVILLE – Universidade da Região de Joinville

SEINFRA – Secretaria de Infra-Estrutura do Município de Joinville

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento

IDF – Intensidade – duração - frequência

PF – Precipitação - frequência

T – Período de retorno

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	OBJETIVO GERAL	15
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	18
2.1	CLASSIFICAÇÃO DAS CHUVAS	18
2.2	GRANDEZAS CARACTERÍSTICAS	19
2.3	MEDIDAS DA PRECIPITAÇÃO	20
2.4	MÉTODO DE PREENCHIMENTO DE FALHAS.....	22
2.5	ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS.....	23
2.6	RELAÇÕES PRECIPITAÇÃO – FREQUÊNCIA	24
2.7	RELAÇÕES INTENSIDADE – DURAÇÃO – FREQUÊNCIA	26
2.8	COEFICIENTE DE DESAGREGAÇÃO DA CHUVA	27
3	RELAÇÕES IDF EXISTENTES PARA A REGIÃO DE JOINVILLE (SC).....	29
3.1	DADOS EXISTENTES	29
3.2	ANÁLISE DAS CHUVAS INTENSAS NO BRASIL SEGUNDO PFAFSTETTER (1982)	32
3.3	ANÁLISE DE CHUVAS INTENSAS NA REGIÃO DE JOINVILLE (SC) SEGUNDO NEGRI E RAMOS (2002).....	34
3.4	CHUVAS INTENSAS E CHUVAS DE PROJETO DE DRENAGEM SUPERFICIAL NO ESTADO DE SANTA CATARINA SEGUNDO BACK (2002)	35
3.5	CHUVAS INTENSAS NO ESTADO DE SANTA CATARINA SEGUNDO NERILO, MEDEIROS E CORDEIRO (2002)	36
3.6	EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS PARA JOINVILLE SEGUNDO SIMÕES E RAMOS (2003).....	38
3.7	SISTEMATIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO DA REGIÃO DE JOINVILLE, SC SEGUNDO BENETTI E RAMOS (2005).....	39

4	METODOLOGIA EMPREGADA	41
4.1	DESENVOLVIMENTO DE UMA EQUAÇÃO DE CHUVA	41
4.2	COMPARAÇÕES ENTRE RELAÇÕES IDF	42
5	DESENVOLVIMENTO DE EQUAÇÕES DE CHUVAS PARA JOINVILLE.....	44
5.1	TRATAMENTO DOS DADOS	44
5.2	RELAÇÃO IDF	45
6	COMPARAÇÕES DAS EQUAÇÕES DE CHUVAS	48
6.1	COMPARAÇÕES DAS RELAÇÕES IDF PARA A ESTAÇÃO 2648014 (RVPSC)	48
6.2	COMPARAÇÕES DAS RELAÇÕES IDF PARA A ESTAÇÃO 2648036 (UDESC- UNIVILLE)	58
6.3	COMPARAÇÕES DAS RELAÇÕES IDF PARA AS DUAS ESTAÇÕES	66
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
7.1	CONCLUSÃO	71
7.2	RECOMENDAÇÕES.....	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
	APÊNDICE... ..	76

1 INTRODUÇÃO

“Hidrologia é a ciência que trata da água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e sua reação com o meio ambiente, incluindo sua relação com as formas vivas” (CHOW apud TUCCI, 2000, p. 25).

A Hidrologia tem tido uma evolução significativa em face aos problemas crescentes, resultados da ocupação das bacias, do incremento significativo da utilização da água e do resultante impacto sobre o meio ambiente do globo (TUCCI, 2000).

A utilização da equação de chuva interfere diretamente nos cálculos de vazões máximas dos rios influenciando assim nos dimensionamentos dos dispositivos de drenagem e conseqüentemente nos custos das obras, como também no planejamento das ocupações urbanas, sendo assim de essencial importância para a população de Joinville.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Neste trabalho é enfatizado o estudo da intensidade das chuvas para a região do município de Joinville (SC), enfatizando duas estações na zona urbana da cidade, cuja quantificação é fundamental para o estudo das enchentes, uma vez que nos grandes centros urbanos as construções e impermeabilizações acabam aumentando o escoamento superficial das bacias podendo acarretar em enchentes e alagamentos, o que causa prejuízos sociais e econômicos.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar as séries históricas das estações pluviométricas de Joinville (SC);
- Realizar análises matemáticas dos dados das estações;
- Elaborar relações intensidade, duração e frequência em forma de equações empregando uma metodologia ainda não apresentada para a região, utilizando somente uma análise matemática, minimizando os riscos oriundos de ajustes gráficos;
- Comparar a metodologia desenvolvida neste trabalho com outros estudos existentes na região, utilizando métodos gráficos e quadros percentuais.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 1 aborda aspectos introdutórios enfatizando os objetivos do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta os conceitos teóricos relacionados a precipitações.

O Capítulo 3 retrata as características e os estudos já realizados das estações utilizadas neste trabalho, além de conter também a análise das chuvas intensas para os municípios de Paranaguá (PR) e São Francisco do Sul (SC), para fins de comparação.

O Capítulo 4 apresenta a metodologia para ajuste de uma equação de chuvas ainda não aplicada para a região, e os critérios para elaborar as comparações entre as relações IDF.

O Capítulo 5 destaca como foram obtidos e tratados os dados das estações pluviométricas, e os resultados da metodologia, tratada no Capítulo 4, para as novas equações de chuvas para o município.

O Capítulo 6 apresenta as comparações gráficas e os quadros de erros percentuais relativos, referentes às duas estações estudadas, como também as comparações gráficas entre as estações.

O Capítulo 7 apresenta as considerações finais onde são expostas as conclusões deste trabalho e as recomendações para os estudos que ainda podem ser desenvolvidos.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Precipitação atmosférica é compreendida como um conjunto de águas originadas do vapor de água atmosférico que cai sobre a superfície terrestre, seja em estado líquido ou sólido, englobando então não somente a chuva, mas também a neve, o granizo, o nevoeiro, o sereno e a geada (GARCEZ e ALVARES, 1999). Neste trabalho é enfatizado o estudo da precipitação em forma de chuva, pois no meio urbano são elas que podem acarretar danos à sociedade causando erosões e inundações.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS CHUVAS

Segundo Pinto et al. (1976) os fatores que influenciam na formação das precipitações são as ações frontais de massas, a convecção térmica e o relevo, que provocam a ascensão do ar causando um resfriamento que, ao atingir seu ponto de saturação, promove a condensação do vapor de água formando assim gotículas em suspensão como nuvens ou nevoeiros. Para ocorrer uma chuva é necessário que essas gotas cresçam até adquirirem peso suficiente para precipitarem. De acordo com os tipos de influência temos os seguintes tipos de chuvas:

- *Frontais*: provêm da interação de grandes massas de ar quentes e frias. O ar mais quente e úmido é impulsionado para cima causando resfriamento e a condensação do vapor de água produzindo assim chuvas grande duração com intensidade média (BERTONI e TUCCI, 2000);
- *Convectivas*: são provocadas pela ascensão do ar devido às diferenças de temperatura na camada vizinha da atmosfera, que causam uma estratificação

em camadas instáveis, perturbando o equilíbrio e originando uma brusca ascensão do ar menos denso que atingirá seu nível de condensação, formando assim uma precipitação de grande intensidade e de pequena duração (GARCEZ, e ALVAREZ 1999; BERTONI e TUCCI 2000);

- *Orográficas*: causadas quando as massas de ar quentes e úmidas, geralmente oriundas do oceano, encontram uma barreira montanhosa que provocando o deslocamento vertical resfriam-se havendo a condensação do vapor, formando chuvas com intensidades relativamente pequenas e com longa duração (GARCEZ e ALVAREZ 1999, BERTONI e TUCCI 2000).

2.2 GRANDEZAS CARACTERÍSTICAS

Segundo Garcez e Alvares (1999), Bertoni e Tucci (2000) e Back (2002) as grandezas características das chuvas são:

- *Altura Pluviométrica (h)*: quantidade de água precipitada por unidade de área. Representa a altura da lâmina de água que cobriria a área atingida admitindo-se que essa água não infiltrasse, não se evaporasse nem se escoasse para fora dos limites da região. É geralmente expressa em milímetros (mm) e corresponde ao volume de 1 litro por metro quadrado;
- *Duração (t)*: intervalo de tempo decorrido entre o início e término da chuva, geralmente medido em minutos ou horas;
- *Intensidade (i)*: é a relação entre a altura da precipitação e a unidade de tempo, geralmente expressa em mm/min ou mm/h. A intensidade apresenta variação em função do tempo, mas para processos hidrológicos são definidos como constantes.
- *Frequência (F)*: como a precipitação ocorre de forma aleatória a frequência é a

probabilidade de um evento com uma intensidade i e duração t acontecer ou não. É utilizado o período de retorno (ou tempo de recorrência) T , definido como o número médio de anos durante o qual espera-se que a precipitação em questão seja igualada ou superada.

2.3 MEDIDAS DA PRECIPITAÇÃO

Para mensurar a altura pluviométrica de uma determinada chuva são comumente empregados dois tipos de aparelhos: o pluviômetro, onde se mede a altura da chuva total acumulada num dado período de tempo; e o pluviógrafo, onde se têm registros da precipitação em função do tempo obtendo-se assim a distribuição temporal da chuva.

Pluviômetro: conforme Chevallier (2000), como não existe uma normalização a princípio, poderia ser qualquer recipiente capaz de acumular o volume das precipitações dentro do intervalo de tempo definido (geralmente 24 horas), de maneira que houvesse o impedimento da evaporação da água reservada. Existe uma relação entre a área e o volume do receptor para obter a precipitação acumulada:

$$P = 10 \cdot \frac{V}{A} \quad (2.1)$$

onde:

P = precipitação acumulada em mm;

V = volume recolhido em cm^3 ou em ml;

A = área de interceptação do anel em cm^2 .

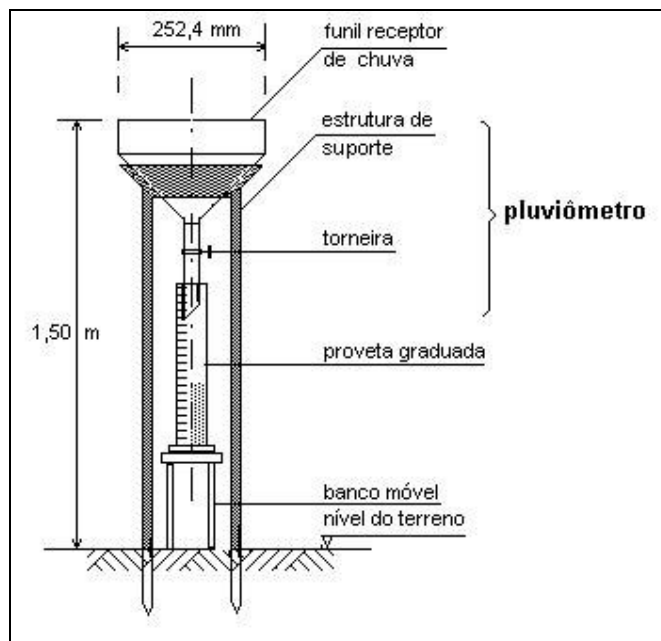


Figura 2.1 – Esquema do Pluviômetro.

Fonte: Fernandes (2006).

No geral, os pluviômetros são observados diariamente pela manhã, cuja hora é fixada pelo órgão que opera tal procedimento. Usualmente a precipitação acumulada de 24 horas observada antes do meio-dia é atribuída ao dia anterior. O observador registra os dados numa planilha anotando eventuais complementos (CHEVALLIER, 2000). A figura 2.1 ilustra um esquema de um pluviômetro típico.

Pluviógrafo: registra a intensidade de precipitação, ou seja, a variação da altura de chuva com o tempo. O pluviógrafo é constituído de duas unidades: o elemento receptor e elemento registrador. A figura 2.2 apresenta um esquema típico de funcionamento de um pluviógrafo de bóia. O receptor é semelhante ao de um pluviômetro comum e o elemento registrador consta de um cilindro oco, onde fica instalado um equipamento de relojoaria que faz girar o cilindro. A cada volta completa seria o ciclo de tempo que o aparelho registra variando conforme o cilindro de 24 horas a 7 dias (FERNANDES, 2006). O aparelho registra em uma fita de papel, com modelo apropriado, a quantidade e a duração da precipitação.

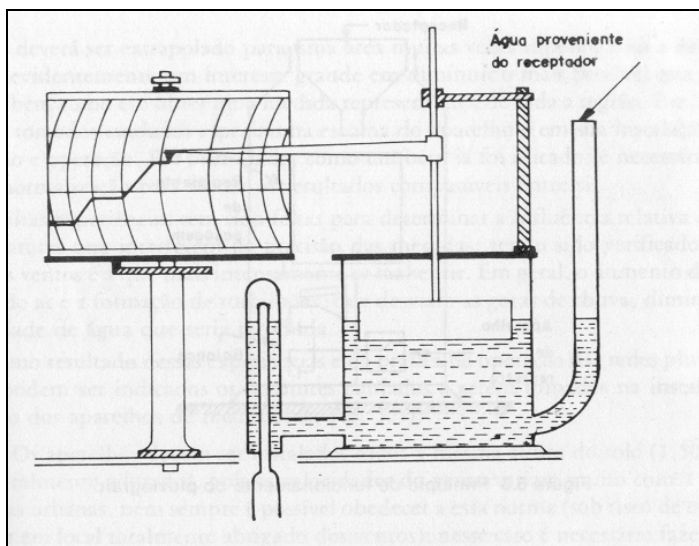


Figura 2.2 – Esquema do Pluviógrafo.
Fonte: Garcez e Alvarez, 1999, p.65.

Existem também pluviógrafos digitais que funcionam automaticamente registrando os dados podendo inclusive transmiti-los aos órgãos responsáveis por fibras ópticas ou linhas telefônicas.

2.4 MÉTODO DE PREENCHIMENTO DE FALHAS

O objetivo de um posto de medição de chuvas é o de obter uma série ininterrupta de precipitações ao longo dos anos, mas isso pode ser afetado quando há ocorrência de períodos sem informações ou com falhas nas observações, em geral, devido a problemas com o aparelho e/ou com o operador do posto (BERTONI e TUCCI, 2000).

Segundo Bertoni e Tucci (2000), o método da ponderação regional é um método simplificado normalmente utilizado para preenchimento de séries mensais ou anuais de precipitações. Para um grupo de postos são selecionados três, onde, para um posto Y as falhas são preenchidas de acordo com a equação (2.2).

$$y = \frac{1}{3} \left[\frac{x1}{xm1} + \frac{x2}{xm2} + \frac{x3}{xm3} \right] \cdot y_m \quad (2.2)$$

onde:

y = precipitação do posto Y a ser estimada;

$x1, x2, x3$ = precipitações correspondentes ao mês (ou ano) das três estações vizinhas;

$xm1, xm2, xm3$ = precipitações médias nas três estações vizinhas

y_m = precipitação média do posto Y

2.5 ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS

Antes dos dados observados serem utilizados, existe a necessidade de se executarem certas análises que visam verificar a consistência dos valores (PINTO et al., 1976). Utiliza-se para verificação da homogeneidade dos dados a curva dupla acumulativa ou curva de dupla massa, aplicando a metodologia conforme Pinto et al. (1976):

- Escolhem-se alguns postos de uma região homogênea sob o ponto de vista meteorológico.
- Acumulam-se os totais anuais de cada posto.
- Calcula-se a média aritmética dos totais precipitados em cada ano em todos os postos e acumula-se essa média.
- Grafam-se os valores acumulados da média dos postos contra os totais acumulados de cada um deles.
- Adiciona-se uma linha de tendência linear resultando em um coeficiente de determinação (R^2).

Dessa maneira pode-se avaliar a consistência dos dados, pois quanto mais próximo de 1 (um) for o coeficiente de determinação maior a consistência dos dados.

2.6 RELAÇÕES PRECIPITAÇÃO – FREQUÊNCIA

Para obter a relação precipitação–frequência (PF), podem ser utilizados dois tipos de série de dados: a anual e a parcial. A série anual trata apenas da chuva máxima de cada ano, enquanto a série parcial é constituída pelas chuvas acima de um valor-base, não sendo definida em termos de ocorrência, mas sim pela sua magnitude (NERILO; MEDEIROS; CORDERO, 2002). Neste trabalho é empregada a série anual por se tratar de um estudo de chuvas intensas.

A princípio não poderia se eleger um método estatístico como o melhor, porém o Método de Gumbel é considerado um dos mais precisos conceitualmente (VILELLA e MATTOS, 1975).

“Para chuvas intensas, existem vários trabalhos mostrando que a distribuição de Gumbel se ajusta bem e, por isso, tem sido largamente empregada. Para a sua aplicação, é indispensável ter uma série de máximos valores anuais” (BACK, 2002, p. 24).

Segundo Back (2002) no método de distribuição de Gumbel a probabilidade de ocorrer um evento menor ou igual que X é:

$$P[X \leq x] = F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (2.3)$$

onde:

P = probabilidade de não-excedência do evento de valor x ;

F = valor da função de distribuição acumulada quando $X=x$;

α = é o parâmetro de escala (desvio-padrão da distribuição de Gumbel);

β = é o parâmetro de posição (Moda da distribuição de Gumbel).

Considerando a variável reduzida y definida por $y = \alpha(X - \beta)$, pode-se escrever:

$$P[X \leq x] = e^{-e^{-y}} \quad (2.4)$$

Dessa forma a probabilidade de ocorrer um evento X maior ou igual a x é dada por:

$$P[X \leq x] = 1 - e^{-e^{-y}} \quad (2.5)$$

Os parâmetros do modelo podem ser estimados conforme:

$$\alpha = \frac{\sigma_n}{\sigma} \quad (2.6)$$

$$\beta = \mu - \frac{\mu_n}{\alpha} \quad (2.7)$$

onde:

μ = é a média dos valores observados de X ;

σ = é o desvio-padrão dos valores observados de X ;

μ_n e σ_n = são respectivamente a média e o desvio-padrão da variável reduzida y .

Dessa forma a precipitação extrema X com período de retorno T pode ser estimada pela equação:

$$X = \mu + (y - \mu_n) \frac{\sigma}{\sigma_n} \quad (2.8)$$

em que a variável reduzida y é igual a:

$$y = -\ln \left\{ -\ln \left[1 - \left(\frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad (2.9)$$

Conforme Pinto et al. (1976) a variável reduzida y pode ser apresentada da seguinte forma:

$$y = \frac{1}{0,7797\sigma} \cdot (X - \bar{X} + 0,45\sigma) \quad (2.10)$$

Simplificando, tem-se:

$$X = \mu + (0,7797 \cdot y - 0,45) \cdot \sigma \quad (2.11)$$

Considerando o coeficiente K_T definido por: $K_T = (0,7797 \cdot y - 0,45)$, pode-se escrever:

$$X = \mu + K_T \cdot \sigma \quad (2.12)$$

A metodologia de Gumbel ajusta-se para distribuições de valores extremos de grandezas hidrológicas (VILELLA e MATTOS, 1975), portanto encaixa-se perfeitamente no estudo das chuvas intensas.

2.7 RELAÇÕES INTENSIDADE – DURAÇÃO – FREQUÊNCIA

A equação da chuva é uma relação entre a intensidade, a duração e a frequência (IDF) de uma determinada precipitação. Fixando a frequência (período de retorno) tem-se então uma curva onde no eixo das abscissas tem-se a duração da chuva e no eixo das ordenadas a intensidade da chuva, determinando, portanto, curvas características. Essas curvas, denominadas curvas IDF, podem ser ajustadas a equações matemáticas (equações de chuvas), possibilitando assim determinar precipitações com maior exatidão (BACK, 2002; WILKEN, 1978).

Para utilização das equações de chuvas nos dimensionamentos dos dispositivos de drenagem e no controle da erosão costuma-se utilizar a intensidade máxima média definida pelo quociente entre a máxima altura pluviométrica decorrida no intervalo de tempo por esse intervalo de tempo, geralmente expressa em mm/h ou mm/min. Vale ressaltar que quanto menor a duração da chuva maior é sua intensidade, e que esses maiores valores de intensidade são menos frequentes (GARCEZ e ALVAREZ, 1999; BACK, 2002).

Segundo Tucci (2000), Back (2002) e Vilella e Mattos (1975) as curvas IDF podem ser expressas por equações genéricas, de acordo com a equação (2.13), onde os parâmetros

locais são obtidos por análise da regressão linear com ajuste de potência.

$$i = \frac{K \cdot T^m}{(t + b)^n} \quad (2.13)$$

onde:

i = intensidade, geralmente expressa em mm/h ou mm/min;

T = período de retorno em anos;

t = duração da chuva em minutos;

K, m, n, b = parâmetros de acordo com cada local.

Recentemente, outras relações estão sendo utilizadas como, por exemplo, um ajuste logarítmico, de acordo com a equação (2.14), onde os parâmetros locais são obtidos por análise da regressão linear com ajuste logarítmico.

$$i = \frac{A \cdot \ln(T) + B}{(t + b)^n} \quad (2.14)$$

onde:

i = intensidade, geralmente expressa em mm/h ou mm/min;

T = período de retorno em anos;

t = duração da chuva em minutos;

K, A, B, m, n, b = parâmetros de acordo com cada local.

2.8 COEFICIENTE DE DESAGREGAÇÃO DA CHUVA

A desagregação de totais de chuvas máxima de 24 horas de duração em totais correspondentes para durações menores é freqüentemente realizada com os chamados coeficientes de desagregação de chuvas. Esta prática é usada, normalmente, para estabelecer relações de IDF em locais que dispõem somente de dados diários medidos com pluviômetros convencionais. (BERTONI e TUCCI apud SILVEIRA, 2000, p. 143).

Estudos apontam uma relação constante entre as alturas pluviométricas das chuvas

máximas de 24 horas e de 1 dia, independente do período de retorno cujo valor é da ordem de 1,14 (CETESB,1986). Segundo Torga apud Tucci (2000) esse fator pode ser considerado como 1,10.

Os coeficientes de desagregação existentes na literatura técnico-científica do país são apresentados na forma de tabelas como índices em cascata conforme tabela 2.1. Multiplica-se a altura pluviométrica de 1 dia em pelo fator que resulta na chuva de 24 h e assim por diante (SILVEIRA, 2000).

Silveira (2000) elaborou uma equação obtida empiricamente que retorna com boa precisão o valor do coeficiente de desagregação da chuva de acordo com a tabela 2.1 para qualquer duração inferior a 24 horas. O coeficiente na forma de equação facilita o manuseio em planilhas eletrônicas. Apresenta-se da seguinte forma:

$$C_{24}(d) = e^{1,5 \cdot \ln\left(\frac{\ln d}{7,3}\right)} \quad (2.15)$$

onde:

d = é a duração (min) que se refere o coeficiente de desagregação C_{24} .

Tabela 2.1 - Relação entre chuvas de diferentes durações

RELAÇÃO ENTRE DURAÇÕES	RELAÇÃO ENTRE ALTURAS PLUVIOMÉTRICAS
5 min / 30 min	0,34
10 min / 30 min	0,54
15 min / 30min	0,7
20min / 30 min	0,81
25 min / 30 min	0,91
30 min / 1 h	0,74
1 h / 24 h	0,42
6 h / 24 h	0,72
8 h / 24 h	0,78
10 h / 24 h	0,82
12 h / 24 h	0,85

Fonte: Drenagem Urbana – Manual de Projeto (CETESB, 1986, p 17).

3 RELAÇÕES IDF EXISTENTES PARA A REGIÃO DE JOINVILLE (SC)

Para a análise comparativa das equações de chuva no município de Joinville (SC) foram pesquisados, de acordo com as estações, os trabalhos existentes até o presente momento. Foram incluídas também equações dos municípios de São Francisco do Sul (SC) e Paranaguá (PR) para referência de base, a primeira pela proximidade e a segunda pela característica geográfica semelhante mais próxima.

3.1 DADOS EXISTENTES

Para este estudo foram utilizadas duas estações pluviométricas, que ainda estão em operação, situadas na zona urbana de Joinville. De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA) são: a estação 2648014 (RVPSC) localizada na estação ferroviária do município, e a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) localizada no Campus Universitário de Joinville. Os quadros 3.1 e 3.2 apresentam as características das duas estações.

A figura 3.1 apresenta um mapa de localização das referidas estações dentro do limite do município.

Código	02648014
Nome	JOINVILLE (RVPSC)
Código Adicional	-
Bacia	Atlântico, Trecho Sudeste (8)
Sub-bacia	RIOS NHUNDIAQUARA, ITAPOCU E .. (82)
Rio	NHUNDIAQUARA, ITAPOCU E
Estado	SANTA CATARINA
Município	JOINVILLE
Responsável	ANA
Operadora	EPAGRI
Latitude	-26:19:18
Longitude	-48:50:47
Altitude (m)	6
Área de Drenagem (km2)	-

Quadro 3.1 – Descrição da estação de N° 02648014 (RVPSC).
Fonte: ANA (2006).

Código	02648036
Nome	JOINVILLE – UNIVILLE
Código Adicional	0663
Bacia	Atlântico, Trecho Sudeste (8)
Sub-bacia	RIOS NHUNDIAQUARA, ITAPOCU E .. (82)
Rio	RIO CUBATÃO
Estado	SANTA CATARINA
Município	JOINVILLE
Responsável	EPAGRI
Operadora	EPAGRI
Latitude	-26:15:0
Longitude	-48:51:0
Altitude (m)	-
Área de Drenagem (km2)	-

Quadro 3.2 – Descrição da estação de N° 02648036 (UDESC-UNIVILLE).
Fonte: ANA (2006).

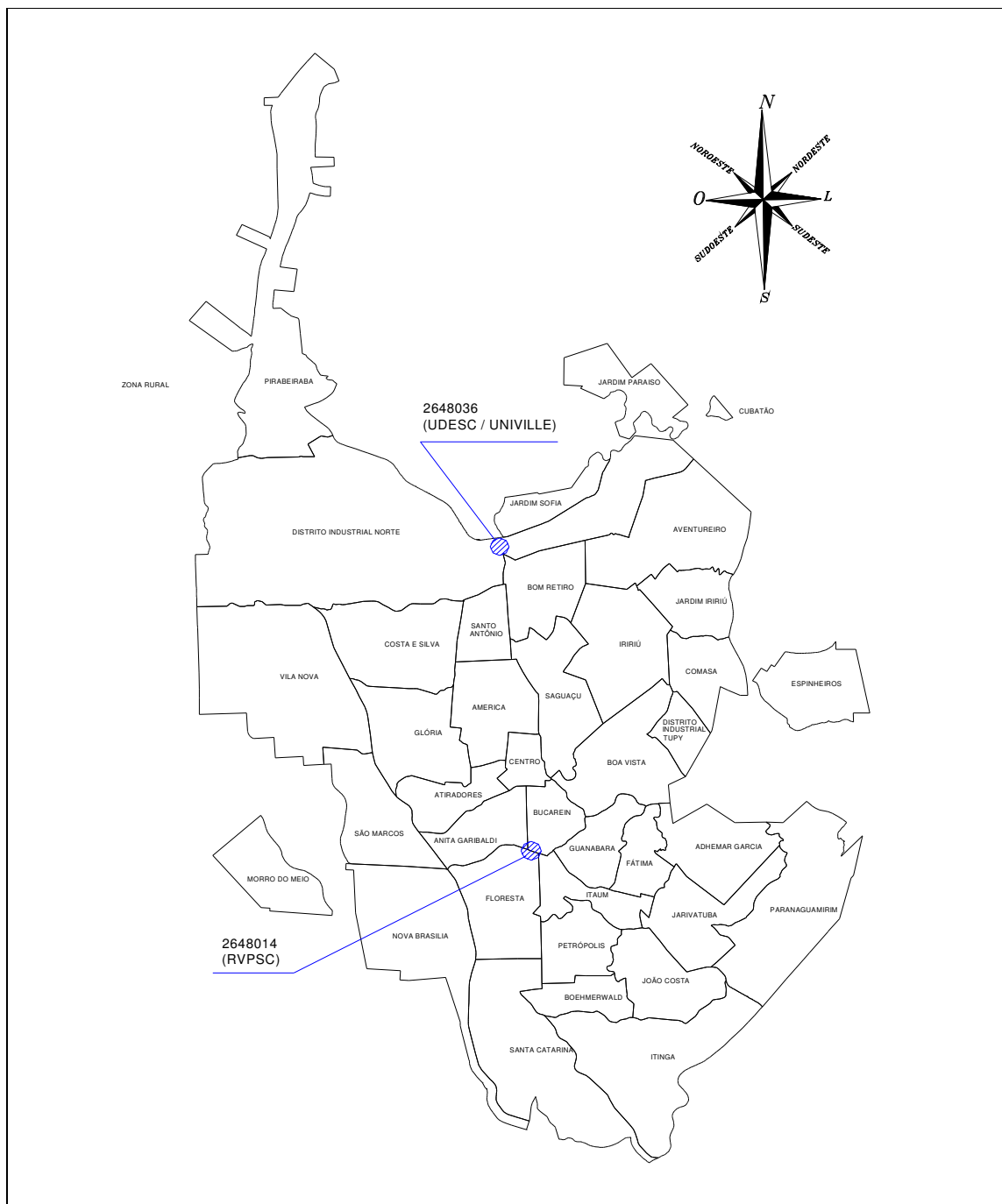


Figura 3.1 – Mapa de localização das estações pluviométricas no município de Joinville.
 Fonte: Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville (IPPUJ).

3.2 ANÁLISE DAS CHUVAS INTENSAS NO BRASIL SEGUNDO PFAFSTETTER (1982)

Até recentemente eram utilizadas as relações IDF desenvolvidas por Pfafstetter (1982) para São Francisco do Sul (SC), pros projetos de micro e macrodrenagem para o município de Joinville (SC).

Pfafstetter (1982) reuniu dados de chuvas intensas, registradas por pluviógrafos e pluviômetros, de 98 postos do Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura. Com os dados coletados, a parte mais intensa de cada chuva foi definida pelas precipitações máximas delimitadas por certo valor mínimo, observadas em diversos intervalos de tempo (5min, 15min, 30min, 1h, 2h, 4h, 8h, 14h, 24h, e 2 à 6 dias), designados por duração.

Para a análise de frequência das chuvas de um posto, colocaram-se as precipitações anotadas para cada duração em ordem decrescente e as precipitações de determinada duração foram caracterizadas pelo tempo de recorrência definido pela relação:

$$T = \frac{u}{v} \quad (3.1)$$

onde:

T = tempo de recorrência em anos;

u = número de anos de observação;

v = número de ordem que a precipitação considerada ocupa numa série em que as precipitações são dispostas em magnitude decrescente.

As chuvas intensas em cada posto ficam então definidas com a relação IDF pela fórmula empírica, escolhida para definir as precipitações máximas, em função de sua duração e tempo de recorrência, possuindo a seguinte representação analítica:

$$P = T^{\alpha' + \frac{\beta'}{T^\gamma}} \cdot [a \cdot t + b \cdot \log(1 + c \cdot t)] \quad (3.2)$$

onde:

P = precipitação máxima em mm;

T = período de recorrência em anos;

α' , β' = valores que dependem da duração da chuva;

γ , a , b , c = parâmetros locais para cada posto.

Pfaffstetter (1982) denominou o primeiro termo da equação como “fator de probabilidade”, onde o valor de α' é um parâmetro igual para todos os postos, β' é função do posto e da duração. Verificou que o valor de γ é igual a 0,25 para todos os postos. Os valores de a , b e c , que representam o segundo fator na fórmula das precipitações, são função da duração e do tempo de recorrência. Os valores dos coeficientes encontrados para a equação de chuvas de São Francisco do Sul (SC) e Paranaguá (PR) são apresentados nas tabelas 3.1 a 3.3:

Tabela 3.1 – Valores de α'

VALORES DE α' NO FATOR DE PROBABILIDADE													
DURAÇÃO	Minutos	5	15	30	60	120	240	480	840	1.440	2.880	4.320	5.760
	Horas	0,083	0,250	0,500	1	2	4	8	14	24	48	72	96
α'		0,108	0,122	0,138	0,156	0,166	0,174	0,176	0,174	0,170	0,166	0,160	0,156

Fonte: Chuvas intensas no Brasil (Pfaffstetter, 1982, p. 393).

Para São Francisco do Sul (SC):

Tabela 3.2 – Valores das constantes γ , a , b , c , β' para São Francisco do Sul (SC).

Constante	Valor	Valores de β'	t (min)
γ	0,25	0	5
a	0,3	0,08	15
b	37	0,08	30
c	10	0,16	60

Fonte: Chuvas intensas no Brasil (Pfaffstetter, 1982, p. 397-420).

Para Paranaguá (PR):

Tabela 3.3 – Valores das constantes γ , a , b , c , β' para Paranaguá (PR).

Constante	Valor	Valores de β'	t (min)
γ	0,25	0,04	5
a	0,3	0,12	15
b	42	0,12	30
c	10	0,16	60

Fonte: Chuvas intensas no Brasil (Pfafstetter, 1982, p. 396-414).

3.3 ANÁLISE DE CHUVAS INTENSAS NA REGIÃO DE JOINVILLE (SC) SEGUNDO NEGRI E RAMOS (2002)

A estação utilizada foi a 2648036 (UDESC/UNIVILLE) com série de dados compreendidos entre os anos de 1995 a 2001. A partir desses dados foi retirada a série de precipitação máxima anual de 1 dia para os cálculos dos parâmetros da distribuição de Gumbel. Aplicou-se então o coeficiente de correção da chuva de 1 dia para 24 horas com o fator 1,14 (CETESB, 1986) e coeficientes de desagregação da chuva de acordo com a equação desenvolvida por Silveira (2000).

Relacionou-se diretamente a distribuição de Gumbel e a equação do coeficiente de desagregação com a equação geral da relação IDF, resultando na seguinte forma analítica:

$$i = \frac{1,14 \cdot e^{1,5 \ln\left(\frac{\ln t}{7,3}\right)} \cdot \left[96,67 + 20,42 \cdot \left(-\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right) \right]}{t} \quad (3.3)$$

onde:

i = intensidade da chuva (mm/min);

T = período de retorno (anos);

t = duração da chuva (min).

Um outro ajuste foi desenvolvido com base na série máxima anual onde primeiramente aplicou-se a distribuição de Gumbel, posteriormente o fator de correlação da chuva de 1 dia em 24 horas de 1,14 e o coeficiente de desagregação da chuva conforme CETESB (1986).

De acordo com a equação geral citada anteriormente as variáveis foram calculadas empregando a regressão linear para ajuste dos parâmetros pelo método dos mínimos quadrados utilizando o coeficiente de determinação (r^2) através de planilha eletrônica, o que resultou em um ajuste potencial e um ajuste logarítmico (\ln) conforme as equações (3.4) e (3.5).

$$i = \frac{20,503 \cdot T^{0,166}}{(t + 13,6)^{0,779}} \quad (3.4)$$

$$i = \frac{[5,4489 \cdot \ln(T) + 18,241]}{(t + 13,6)^{0,779}} \quad (3.5)$$

onde:

i = intensidade da chuva (mm/min);

T = período de retorno (anos);

t = duração da chuva (min).

3.4 CHUVAS INTENSAS E CHUVAS DE PROJETO DE DRENAGEM SUPERFICIAL NO ESTADO DE SANTA CATARINA SEGUNDO BACK (2002)

A estação utilizada foi a 2648014 (RVPSC) com série de dados compreendidos entre os anos de 1938 a 1998. A partir desses dados foi retirada a série de precipitação máxima anual de 1 dia, onde se aplicou a distribuição de Gumbel para a relação precipitação-frequência (PF), que faz uma relação da altura de chuva com o período de retorno.

Aplicou-se então o coeficiente de correção da chuva de 1 dia para 24 horas para cada período de retorno, utilizando-se 1,14 (CETESB, 1986); e, conseqüentemente, os coeficientes

de desagregação da chuva para obter precipitações com durações menores de acordo com a tabela 2.1.

A relação IDF foi baseada conforme a equação geral (2.13), onde os parâmetros locais foram obtidos pela análise de regressão linear por transformação de acordo com o maior coeficiente de determinação. Chegou-se então nas equações (3.6) e (3.7).

$$i = \frac{641,7 \cdot T^{0,2290}}{(t + 8,8)^{0,6859}} \quad \text{para } t \leq 120 \text{ min} \quad (3.6)$$

$$i = \frac{1201,9 \cdot T^{0,2270}}{(t + 23,3)^{0,8025}} \quad \text{para } 120 < t \leq 1440 \text{ min} \quad (3.7)$$

onde:

i = intensidade da chuva (mm/min);

T = período de retorno (anos);

t = duração da chuva (min).

3.5 CHUVAS INTENSAS NO ESTADO DE SANTA CATARINA SEGUNDO NERILO, MEDEIROS E CORDEIRO (2002)

A estação utilizada foi a 2648014 (RVPSC) com série de dados de 53 anos, não se caracterizando os anos observados.

A partir desses dados foi formada a série de precipitação máxima anual de 1 dia, onde primeiramente foram ordenados os valores em ordem decrescente de magnitude, dando para cada um uma numeração, onde 1 (um) seria para a maior precipitação. Foram calculadas as probabilidades de ocorrência e o período de retorno (T) de acordo com a equação (3.8).

$$T = \frac{N + 1}{M} \quad (3.8)$$

onde:

T = período de retorno;

N = número de anos observados;

M = número da posição do evento.

Calculou-se a variável reduzida $y = \alpha(x - \beta)$, relativas às chuvas máximas de 1 dia (mm) representando-as em um papel de probabilidade de Gumbel.

A reta ajustada de ajuste possibilitou a determinação dos valores da variável reduzida (y) e períodos de retorno (T) para as chuvas de 1 dia. Analisou-se, então, o coeficiente de correlação (r^2) do ajuste dos pontos amostrais à reta ajustada.

Para obter-se a chuva de 24 horas foi aplicado o fator 1,14 e as chuvas de durações menores foram obtidas de acordo com o coeficiente de desagregação, ambos os valores extraídos da CETESB (1986, p. 16).

O resultado final das relações IDF é apresentado na tabela 3.4 e, graficamente na figura 3.1.

Tabela 3.4 – Relação IDF para a estação 2648014.

Intensidade de Chuva (mm/h)					
Duração	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
5	166,1	204,5	241,2	293,9	330,2
10	131,9	162,4	191,6	233,4	262,2
15	114,0	140,3	165,5	201,7	226,6
20	98,9	121,8	143,7	175,1	196,7
25	88,9	109,4	129,1	157,3	176,8
30	81,4	100,2	118,2	144,1	161,9
1 h	55,0	67,7	79,9	97,4	109,4
6 h	15,7	19,3	22,8	27,8	31,2
8 h	12,8	15,7	18,5	22,6	25,4
10 h	10,7	13,2	15,6	19,0	21,4
12 h	9,3	11,4	13,5	16,4	18,4
24 h	5,5	6,7	7,9	9,7	10,9

Fonte: Chuvas intensas no estado de Santa Catarina (Nerilo et al., 2002, p. 81).

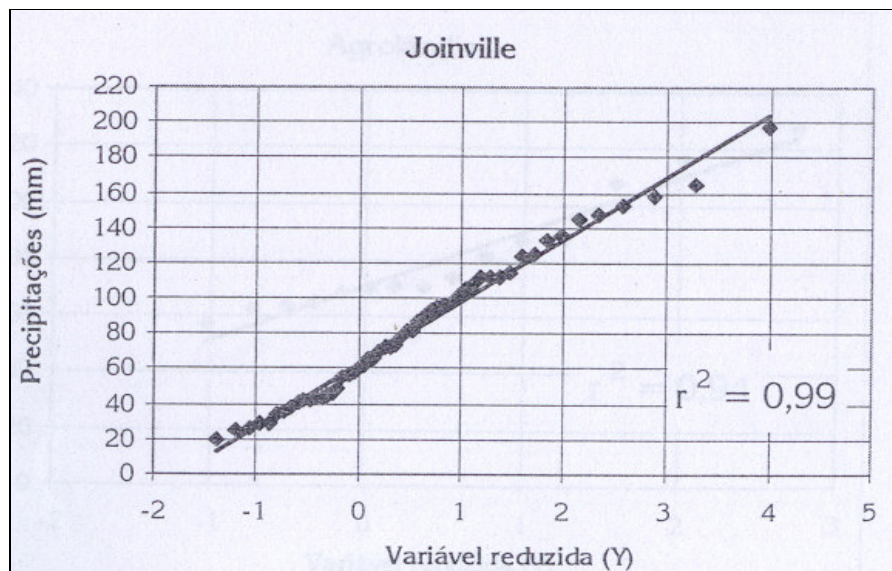


Figura 3.2 – Ajuste gráfico através de papel de probabilidade de Gumbel para a estação 2648014 (RVPS).
Fonte: Chuvas intensas no estado de Santa Catarina (Nerilo et al., 2002, p. 81).

3.6 EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS PARA JOINVILLE SEGUNDO SIMÕES E RAMOS (2003)

O trabalho foi desenvolvido com base nos dados apresentados por Nerilo, Medeiros e Cordeiro (2002, p. 81), seguindo o método da regressão linear para a equação geral.

Utilizou o coeficiente de determinação (r^2) através de planilha eletrônica para os cálculos dos parâmetros da equação resultando em um ajuste potencial e um ajuste logarítmico (ln) conforme as equações (3.9) e (3.10).

- Ajuste potencial:

$$i = \frac{10,844 \cdot T^{0,2277}}{(t + 8)^{0,6644}} \quad (3.9)$$

- Ajuste logarítmico:

$$i = \frac{5,0097 \cdot \ln(T) + 7,098}{(t + 8)^{0,6644}} \quad (3.10)$$

onde:

i = intensidade da chuva (mm/min);

T = período de retorno (anos);

t = duração da chuva (min).

3.7 SISTEMATIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO DA REGIÃO DE JOINVILLE, SC SEGUNDO BENETTI E RAMOS (2005)

A estações utilizadas foram: estação 2648014 (RVPSC) com série de dados compreendidos entre os anos de 1938 a 2004; e estação 2648036 (UDESC/UNIVILLE) com série de dados entre os anos de 1995 a 2004.

A partir desses dados foram retiradas as séries de precipitação máxima anual de 1 dia para os cálculos do valor médio e o coeficiente de variação das chuvas máximas para cada estação. Aplicou-se o coeficiente de correção da chuva de 1 dia para 24 horas com o fator 1,10 (TUCCI, 2000) e coeficientes de desagregação da chuva de acordo com a equação desenvolvida por Silveira (2000).

Utilizou-se a metodologia da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – FCTH (1999), que se baseia na relação de durações, no qual a distribuição de Gumbel está relacionada diretamente na equação IDF, de acordo com as equações (3.11) e (3.12).

- Estação 2648014:

$$i = \frac{1,10 \cdot 70,2 \cdot e^{1,5 \ln\left(\frac{\ln t}{7,3}\right)} \cdot (1 + K_T \cdot 0,428)}{t} \quad (3.11)$$

- Estação 2648036:

$$i = \frac{1,10 \cdot 97,8 \cdot e^{1,5 \ln\left(\frac{\ln t}{7,3}\right)} \cdot (1 + K_T \cdot 0,250)}{t} \quad (3.12)$$

onde:

i = intensidade média máxima da chuva (mm/h);

K_T = fator de frequência para o período de retorno T ;

t = duração da chuva (min).

Considerando-se a distribuição de Gumbel, tem-se que o coeficiente da distribuição em função do período de retorno, K_T , será:

$$K_T = -0,7797 \cdot \left\{ \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} - 0,45 \quad (3.13)$$

A tabela 3.4 apresenta os principais valores de K_T em função dos períodos de retorno usualmente empregados nos projetos.

Tabela 3.5 – Valores de K_T

T (anos)	5	10	15	20	25	50	75	100	1000
K_T	0,720	1,305	1,635	1,866	2,044	2,592	2,911	3,137	4,936

Fonte: Sistematização do regime pluviométrico da região de Joinville (Benetti e Ramos, 2005).

No presente trabalho, para a equação Benetti e Ramos (2005) foi utilizado o fator 1,14 e não 1,10 como sugerido pelos autores para a conversão das chuvas de 1 dia na chuva de 24 horas, uma vez que os outros trabalhos estudados utilizam o primeiro fator, ficando assim uma comparação mais coerente entre as curvas.

4 METODOLOGIA EMPREGADA

4.1 DESENVOLVIMENTO DE UMA EQUAÇÃO DE CHUVA

A metodologia consiste em utilizar a distribuição de Gumbel e a relação entre durações de chuva utilizando a equação (2.12) desenvolvida por Silveira (2000).

Utilizando as equações (2.8) e (2.10) tem-se a equação (4.1):

$$h_T = \bar{h} - 0,7797 \cdot \sigma \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] - 0,45 \cdot \sigma \quad (4.1)$$

onde:

h_T = altura pluviométrica de 1 dia com período de retorno T (em anos);

\bar{h} = valor médio da amostra para chuva de 1 dia;

T = período de retorno (anos);

σ = desvio padrão da amostra para chuva de 1 dia.

Para obter alturas de chuva para durações menores foram utilizados primeiramente o coeficiente de correção da chuva de 1 dia para 24 horas e os coeficientes de desagregação da chuva conforme a equação (2.15) desenvolvida por Silveira (2000), chegando-se assim na equação (4.2).

$$h_{T,d} = C_{1d,24h} \cdot e^{1,5 \cdot \ln(\ln d / 7,3)} \cdot \left\{ \bar{h} - 0,7797 \cdot \sigma \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] - 0,45 \cdot \sigma \right\} \quad (4.2)$$

onde:

$h_{T,d}$ = altura pluviométrica com período de retorno T (anos) e duração d (min);

$C_{1d,24h}$ = coeficiente de transformação das chuvas de 1 dia na chuva de 24 horas.

A equação (4.2) representa a altura de chuva para um determinado período de retorno T com duração d minutos. Para calcular-se a intensidade divide-se a equação pela duração da chuva correspondente, d obtendo-se a equação (4.3):

$$i_{T,d} = \frac{C_{1d,24h} \cdot e^{1,5 \cdot \ln(\ln d / 7,3)} \cdot \left\{ \bar{h} - 0,7797 \cdot \sigma \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] - 0,45 \cdot \sigma \right\}}{d} \quad (4.3)$$

onde:

$i_{T,d}$ = intensidade da chuva com um período de retorno T (em anos) com duração d (minutos ou horas);

$C_{1d,24h}$ = coeficiente de transformação das chuvas de 1 dia na chuva de 24 horas.

T = período de retorno (em anos);

d = duração da chuva (em minutos ou horas);

\bar{h} = valor médio da amostra para chuva de 1 dia (em mm);

σ = desvio padrão da amostra para chuva de 1 dia (em mm).

4.2 COMPARAÇÕES ENTRE RELAÇÕES IDF

Para o estudo comparativo das equações de chuva foram plotadas as curvas para cada estação com períodos de retorno de 5, 15, 25, 50 e 100 anos para averiguar a consistência da equação elaborada neste trabalho em relação as existentes.

Para as comparações referente ao período de retorno de 5 anos, as curvas IDF foram representadas apenas para durações até 60 minutos, uma vez que esse período de retorno é

usualmente empregado em projetos de microdrenagem em que os tempos de concentração dificilmente ultrapassam 60 minutos. Para os demais períodos de retorno, maiores que 5 anos, geralmente empregados nos projetos de macrodrenagem, as curvas IDF foram representadas para durações até 90 minutos. De um modo geral para durações de chuvas maiores do que 60 minutos as curvas tendem a ficarem paralelas.

Foram elaborados quadros comparativos em erro percentual adotando uma relação IDF como limite inferior e outra como limite superior, tendo assim a envoltória das comparações, e a partir daí calculados os erros percentuais relativos às curvas limites, para as durações de 15, 30, 45, 60 75 e 90 minutos tendo também a média dos erros relativos percentuais.

Para melhor análise dos resultados foi elaborado um quadro resumo contendo os erros percentuais relativos médios de acordo com a relação IDF e o período de retorno. Os sinais (<) ou (>) indicam se a equação foi adotada como limite inferior ou superior, respectivamente.

5 DESENVOLVIMENTO DE EQUAÇÕES DE CHUVAS PARA JOINVILLE

5.1 TRATAMENTO DOS DADOS

A partir dos dados brutos, disponíveis na página eletrônica da Agência Nacional de Águas (ANA), Simões e Ramos (2003) trabalharam esses dados preenchendo eventuais falhas utilizando o método da ponderação regional e posteriormente elaboraram a análise de consistência dos dados pelo método da curva de dupla massa. Para as duas estações enfatizadas neste trabalho os dados foram considerados consistentes, pois os coeficientes de determinação (R^2) das retas ajustadas são satisfatórios, como pode ser observado nos gráficos 5.1 e 5.2.

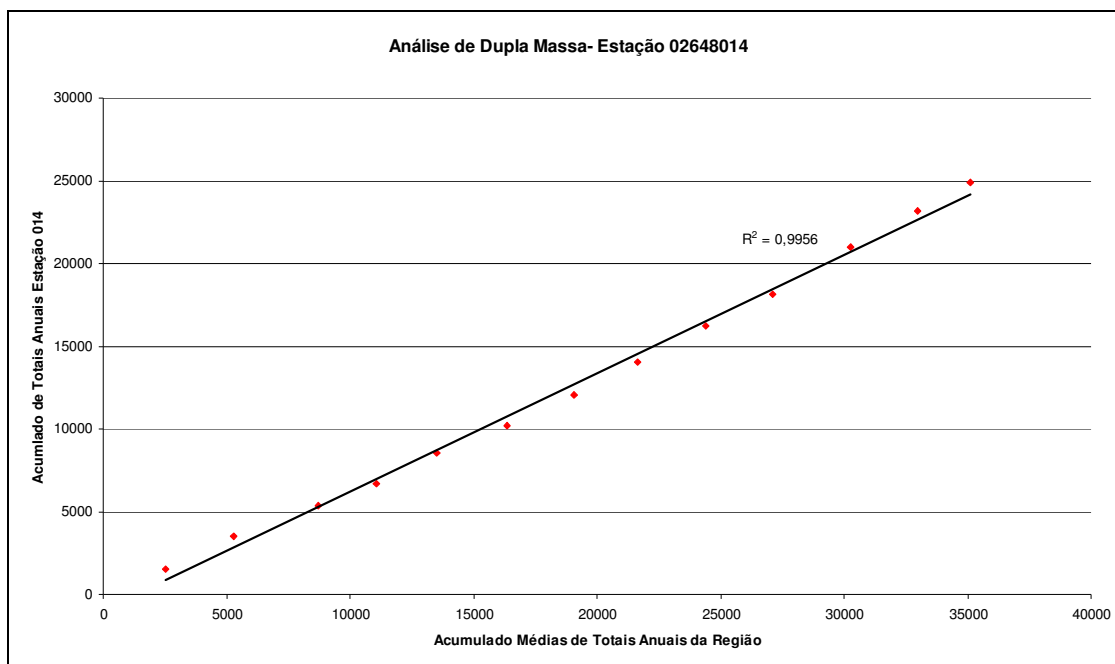


Gráfico 5.1 – Análise de consistência para a estação 2648014 (RVPSC).

Fonte: Simões e Ramos (2003).

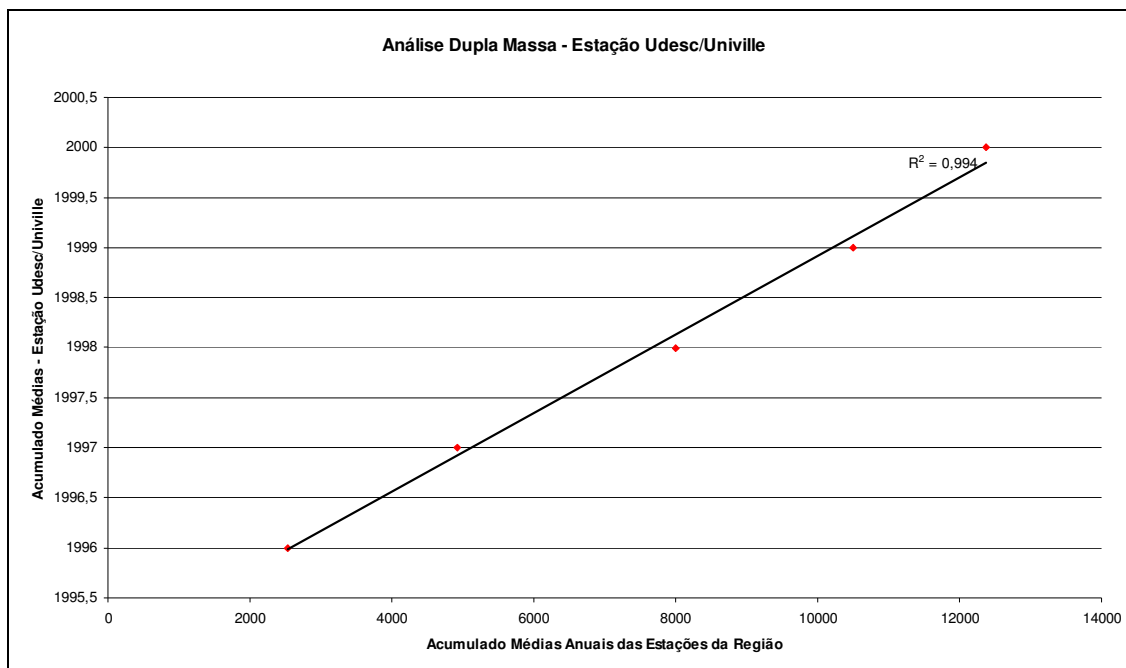


Gráfico 5.2 – Análise de consistência para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE).
Fonte: Simões e Ramos (2003).

5.2 RELAÇÃO IDF

A partir dos dados trabalhados por Simões e Ramos (2003) foi realizada a análise matemática dos dados, como média e desvio-padrão, para serem aplicados na equação (4.3) onde teremos então a relação intensidade, duração e frequência para as estações estudadas.

Tabela 5.1 – Parâmetros das estações utilizadas..

Estações	Período da Série	Média \bar{h}	Desvio-padrão σ
2648014 (RVPSC)	1938 - 2002	75,802	34,716
2648036 (UDESC-UNIVILLE)	1996 - 2004	97,756	24,456

Para transformar a chuva de 1 dia em 24 horas podem ser aplicados os coeficientes de 1,14 (CETESB, 1986) e 1,10 (TABORGA apud TUCCI, 2000). Foram adotados os dois valores na comparação, pois os usuários poderão optar entre um dos dois valores. Obteve-se então as equações (5.1) a (5.4).

- Estação 2648014 (RVPSC):

$$i_{T,d} = \frac{1,14 \cdot e^{1,5 \cdot \ln(\ln d / 7,3)} \cdot \left\{ 75,802 - 27,068 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] - 15,622 \right\}}{d} \quad (5.1)$$

$$i_{T,d} = \frac{1,10 \cdot e^{1,5 \cdot \ln(\ln d / 7,3)} \cdot \left\{ 75,802 - 27,068 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] - 15,622 \right\}}{d} \quad (5.2)$$

- Estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE):

$$i_{T,d} = \frac{1,14 \cdot e^{1,5 \cdot \ln(\ln d / 7,3)} \cdot \left\{ 97,756 - 19,068 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] - 11,005 \right\}}{d} \quad (5.3)$$

$$i_{T,d} = \frac{1,10 \cdot e^{1,5 \cdot \ln(\ln d / 7,3)} \cdot \left\{ 97,756 - 19,068 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] - 11,005 \right\}}{d} \quad (5.4)$$

Para cada período de retorno se observa uma curva característica diminuindo a intensidade conforme aumentam as durações de chuvas. As curvas são paralelas como pode ser observado nos gráficos 5.1 e 5.2, onde representam a relação IDF utilizando o coeficiente $C_{1d,24h}$ igual a 1,14.

Foram analisados os comportamentos das equações caso fossem utilizadas as mesmas séries anuais de dados de chuvas empregadas em trabalhos anteriores, como Back (2002) e Nerilo, Medeiros e Cordeiro (2002), conforme APENDICE A. Os resultados foram praticamente os mesmos, pois as curvas ficaram sobrepostas. Portanto, neste caso, o tamanho da série anual, não modificou com relevância a análise estatística.

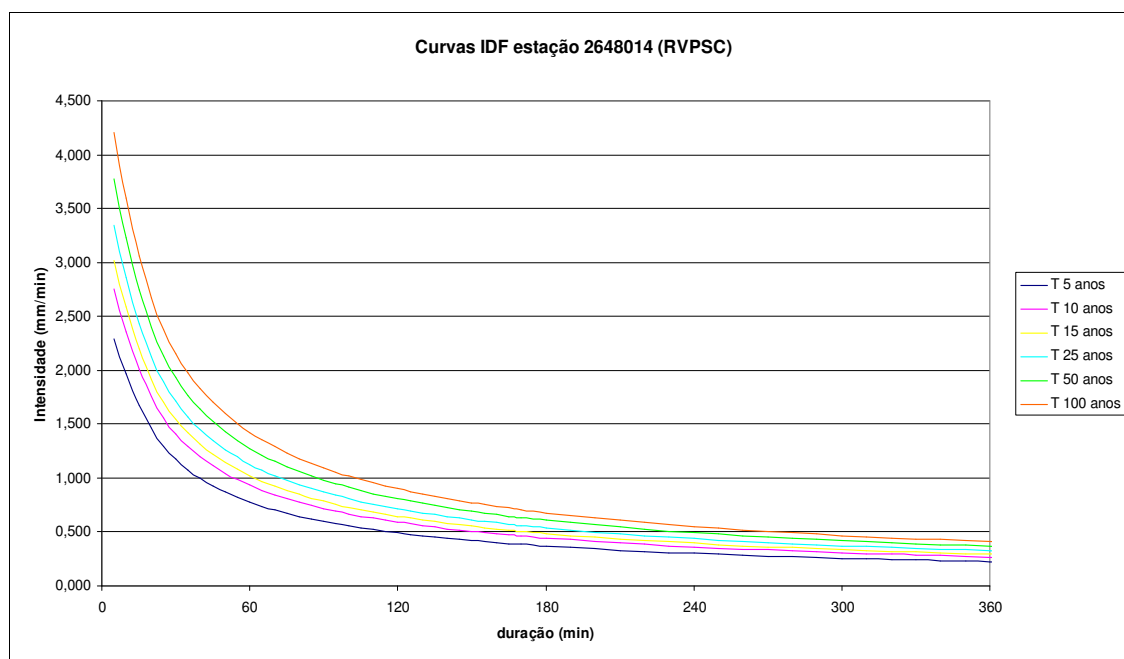


Gráfico 5.3 – Curvas características para a estação 2648014 (RVPSC).

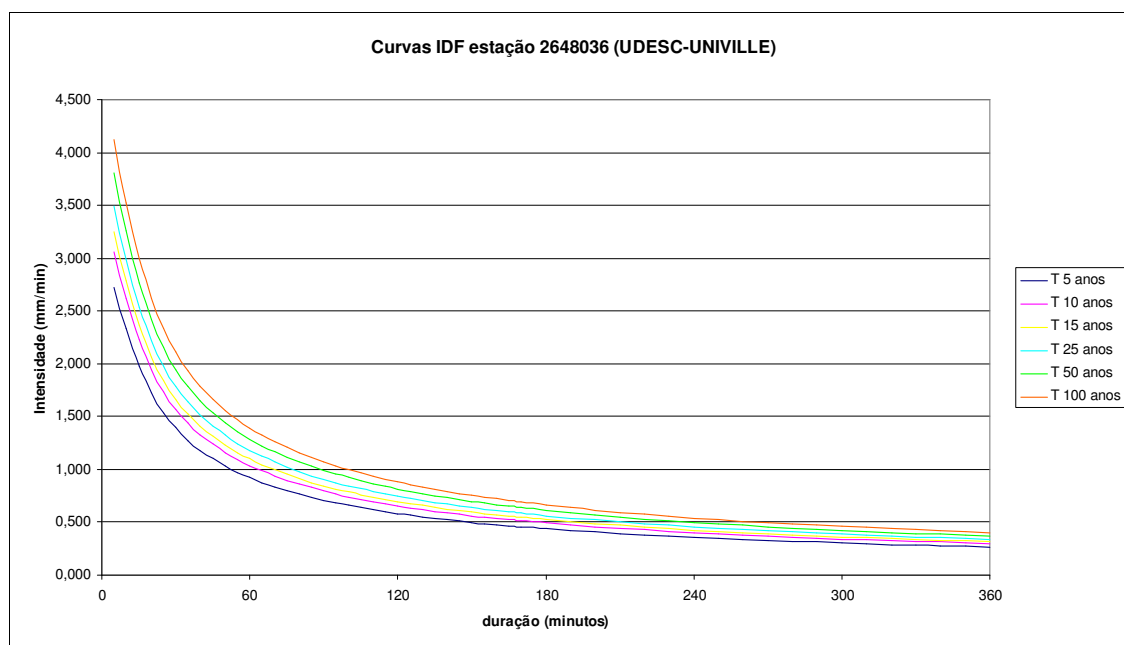


Gráfico 5.4 – Curvas características para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE).

6 COMPARAÇÕES DAS EQUAÇÕES DE CHUVAS

6.1 COMPARAÇÕES DAS RELAÇÕES IDF PARA A ESTAÇÃO 2648014 (RVPSC)

As curvas IDF utilizadas para as comparações da estação 2648014 (RVPSC) são:

- Back (2002):

$$i = \frac{641,7 \cdot T^{0,2290}}{(t + 8,8)^{0,6859}} \quad \text{para } t \leq 120 \text{ min} \quad (3.6)$$

- Nerilo, Medeiros e Cordeiro (2002):

Tabela 3.4 – Relação IDF para a estação 21648014.

Intensidade de Chuva (mm/h)					
Duração	5 anos	10 anos	20 anos	50 anos	100 anos
5	166,1	204,5	241,2	293,9	330,2
10	131,9	162,4	191,6	233,4	262,2
15	114,0	140,3	165,5	201,7	226,6
20	98,9	121,8	143,7	175,1	196,7
25	88,9	109,4	129,1	157,3	176,8
30	81,4	100,2	118,2	144,1	161,9
1 h	55,0	67,7	79,9	97,4	109,4
6 h	15,7	19,3	22,8	27,8	31,2
8 h	12,8	15,7	18,5	22,6	25,4
10 h	10,7	13,2	15,6	19,0	21,4
12 h	9,3	11,4	13,5	16,4	18,4
24 h	5,5	6,7	7,9	9,7	10,9

Fonte: Chuvas intensas no estado de Santa Catarina (Nerilo et al., 2002, p. 81).

- Simões e Ramos (2003):

➤ Potência:

$$i = \frac{10,844 \cdot T^{0,2277}}{(t+8)^{0,6644}} \quad (3.9)$$

➤ Logarítmica:

$$i = \frac{5,0097 \cdot \ln(T) + 7,098}{(t+8)^{0,6644}} \quad (3.10)$$

- Benetti e Ramos (2005):

$$i = \frac{1,14 \cdot 70,2 \cdot e^{1,5 \cdot \ln\left(\frac{\ln t}{7,3}\right)} \cdot (1 + K_T \cdot 0,428)}{t} \quad (6.1)$$

Tabela 3.5 – Valores de K_T

T (anos)	5	10	15	20	25	50	75	100	1000
K_T	0,720	1,305	1,635	1,866	2,044	2,592	2,911	3,137	4,936

Fonte: Sistematização do regime pluviométrico da região de Joinville (Benetti e Ramos, 2005).

- Lopes e Ramos (2006):

$$i_{T,d} = \frac{1,14 \cdot e^{1,5 \cdot \ln\left(\frac{\ln d}{7,3}\right)} \cdot \left\{ 75,802 - 27,068 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] - 15,622 \right\}}{d} \quad (5.1)$$

$$i_{T,d} = \frac{1,10 \cdot e^{1,5 \cdot \ln\left(\frac{\ln d}{7,3}\right)} \cdot \left\{ 75,802 - 27,068 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] - 15,622 \right\}}{d} \quad (5.2)$$

Foram também representadas as equações desenvolvidas por Pfafstetter (1982) para Paranaguá (PR) e São Francisco do Sul (SC).

▪ Pfafstetter (1982):

➤ Paranaguá (PR) e São Francisco do Sul (SC):

$$P = T^{\alpha' + \frac{\beta'}{T^\gamma}} \cdot [a \cdot t + b \cdot \log(1 + c \cdot t)] \quad (3.2)$$

Tabela 3.1 – Valores de α'

VALORES DE α' NO FATOR DE PROBABILIDADE													
DURAÇÃO	Minutos	5	15	30	60	120	240	480	840	1.440	2.880	4.320	5.760
	Horas	0,083	0,250	0,500	1	2	4	8	14	24	48	72	96
α'		0,108	0,122	0,138	0,156	0,166	0,174	0,176	0,174	0,170	0,166	0,160	0,156

Fonte: Chuvas intensas no Brasil (Pfafstetter, 1982, p. 393).

Para São Francisco do Sul (SC):

Tabela 3.2 – Valores das constantes γ , a , b , c , β' para São Francisco do Sul (SC).

Constante	Valor	Valores de β'	t (min)
γ	0,25	0	5
a	0,3	0,08	15
b	37	0,08	30
c	10	0,16	60

Fonte: Chuvas intensas no Brasil (Pfafstetter, 1982, p. 397-420).

Para Paranaguá (PR):

Tabela 3.3 – Valores das constantes γ , a , b , c , β' para Paranaguá (PR).

Constante	Valor	Valores de β'	t (min)
γ	0,25	0,04	5
a	0,3	0,12	15
b	42	0,12	30
c	10	0,16	60

Fonte: Chuvas intensas no Brasil (Pfafstetter, 1982, p. 396-414).

Os gráficos 6.1 a 6.5 comparam as diversas relações IDF desenvolvidas para o posto 2648014 (RVPSC), localizado na estação ferroviária do município, juntamente com as equações de Paranaguá (PR) e São Francisco do Sul (SC).

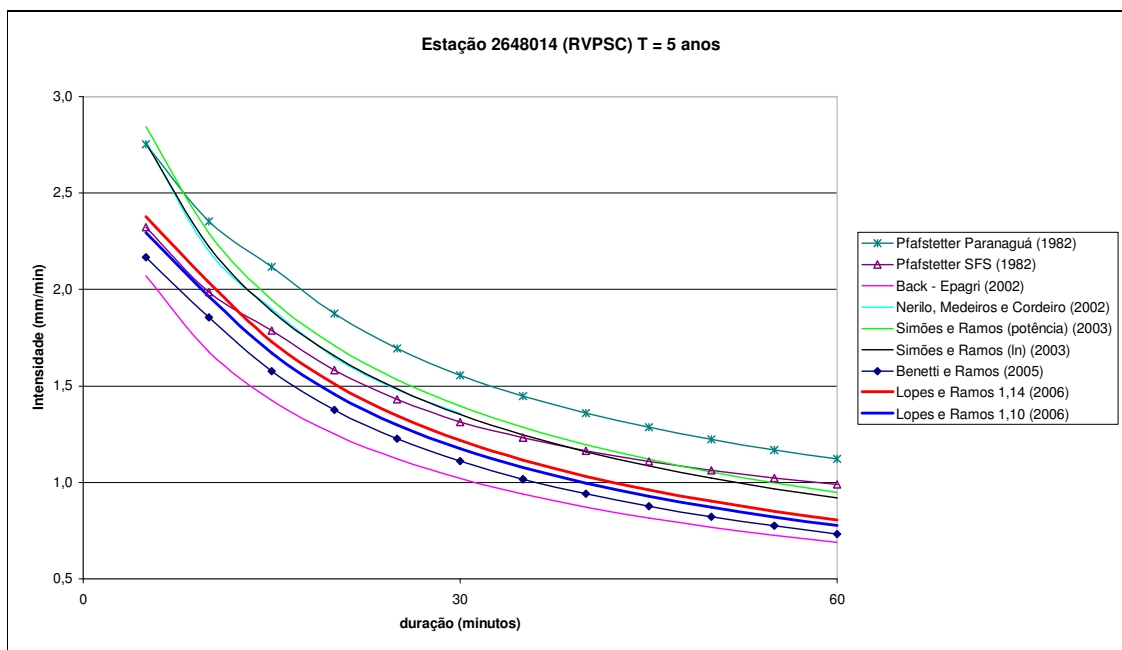


Gráfico 6.1 – Curvas das equações IDF referente à estação 2648014 com período de retorno de 5 anos.

Para termos os erros relativos para a estação 2648014 (RVPSC) com o período de retorno de 5 anos, conforme quadro 6.1, foi adotado a curva de Back (2002) como limite inferior e a curva de Pfafstetter (1982) para a cidade de Paranaguá (PR) como limite superior, tornando-as assim a envoltória das comparações. A partir daí tem-se os erros relativos aos limites inferiores (<) e superiores (>).

	Pfafstetter SFS		Nerilo, Medeiros e Cordeiro		Simões e Ramos (ln)		Simões e Ramos (potência)		Benetti e Ramos		Lopes e Ramos 1,14		Lopes e Ramos 1,10	
tempo (min)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)
15	25,4%	-15,6%	33,3%	-10,2%	32,5%	-10,8%	36,7%	-8,0%	10,6%	-25,5%	21,4%	-18,2%	17,2%	-21,1%
30	28,8%	-15,6%	33,1%	-12,8%	32,7%	-13,0%	36,9%	-10,3%	8,9%	-28,6%	19,5%	-21,7%	15,3%	-24,4%
45	36,1%	-13,7%			33,1%	-15,6%	37,3%	-12,9%	7,5%	-31,8%	18,0%	-25,2%	13,9%	-27,8%
60	43,6%	-11,8%	33,2%	-18,2%	33,5%	-18,0%	37,8%	-15,4%	6,5%	-34,6%	16,9%	-28,2%	12,8%	-30,8%
75	43,5%	-11,8%			33,9%	-17,7%	38,1%	-15,1%	5,6%	-35,1%	15,9%	-28,8%	11,8%	-31,3%
90	43,4%	-11,8%			34,2%	-17,4%	38,5%	-14,8%	4,8%	-35,5%	15,1%	-29,2%	11,0%	-31,7%
Média	36,8%	-13,4%	33,2%	-13,7%	33,3%	-15,4%	37,6%	-12,7%	7,3%	-31,9%	17,8%	-25,2%	13,7%	-27,8%

Quadro 6.1 – Erro percentual relativo para a estação 2648014 (RVPSC) com período de retorno de 5 anos.

O gráfico 6.2 representa as curvas IDF para a estação 2648014 (RVPSC) com período de retorno de 15 anos.

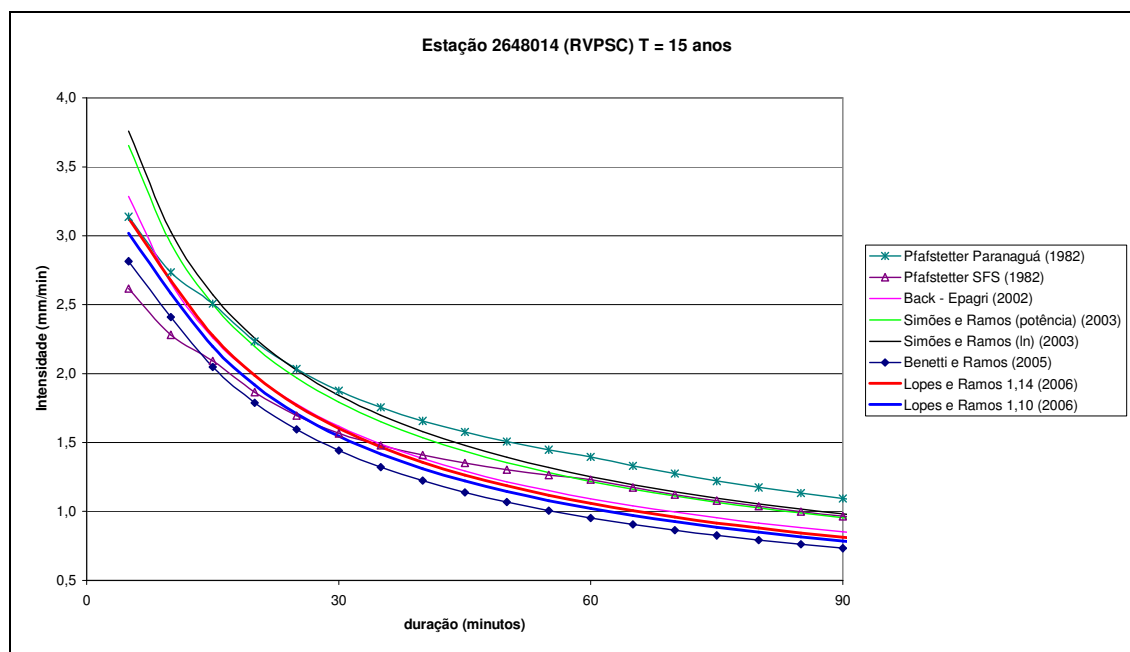


Gráfico 6.2 – Curvas das equações IDF referente a estação 2648014 com período de retorno de 15 anos.

Para termos os erros relativos para a estação 2648014 (RVPSC) com o período de retorno de 15 anos, conforme quadro 6.2, foi adotado a curva de Benetti e Ramos (2005) como limite inferior e a curva de Pfafstetter (1982) para a cidade de Paranaguá (PR) como

limite superior tornando-as assim a envoltória das comparações. A partir daí tem-se os erros relativos aos limites inferiores (<) e superiores (>).

	Pfaffetter SFS		Back (Epagri)		Simões e Ramos (ln)		Simões e Ramos (potência)		Lopes e Ramos 1,14		Lopes e Ramos 1,10	
tempo (min)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)
15	2,1%	-16,6%	10,3%	-9,9%	25,6%	2,6%	22,1%	-0,3%	11,1%	-9,3%	7,2%	-12,4%
30	8,5%	-16,6%	12,1%	-13,8%	27,8%	-1,7%	24,3%	-4,5%	11,1%	-14,6%	7,2%	-17,6%
45	18,7%	-14,2%	13,5%	-18,0%	29,8%	-6,2%	26,2%	-8,8%	11,1%	-19,7%	7,2%	-22,5%
60	29,2%	-11,8%	14,6%	-21,8%	31,5%	-10,3%	27,8%	-12,8%	11,1%	-24,2%	7,2%	-26,9%
75	30,6%	-11,8%	15,6%	-21,9%	33,0%	-10,2%	29,3%	-12,7%	11,1%	-25,0%	7,2%	-27,6%
90	31,8%	-11,8%	16,4%	-22,1%	34,3%	-10,1%	30,6%	-12,6%	11,1%	-25,6%	7,2%	-28,2%
Média	20,1%	-13,8%	13,8%	-17,9%	30,3%	-6,0%	26,7%	-8,6%	11,1%	-19,7%	7,2%	-22,5%

Quadro 6.2 – Erro percentual relativo para a estação 2648014 (RVPSC) com período de retorno de 15 anos.

O gráfico 6.3 representa as curvas IDF para a estação 2648014 (RVPSC) com período de retorno de 25 anos.

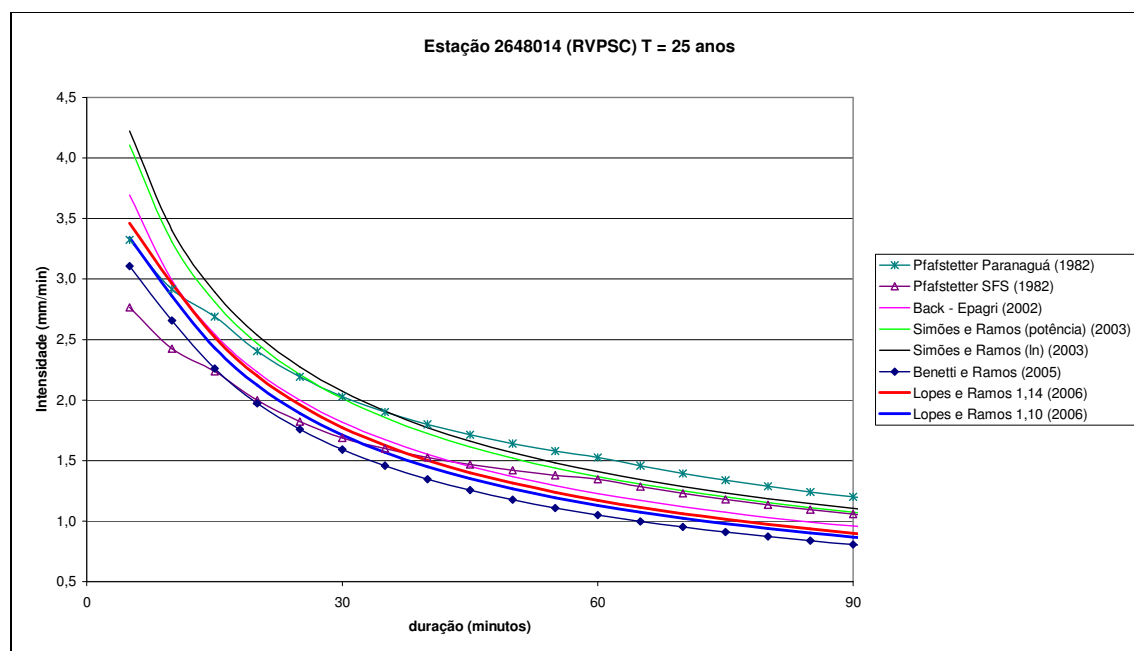


Gráfico 6.3 – Curvas das equações IDF referente à estação 2648014 com período de retorno de 25 anos.

Para obter os erros relativos para a estação 2648014 (RVPSC) para os períodos de retorno de 25 e 50 anos, conforme quadros 6.3 e 6.4, foi adotado a curva de Benetti e Ramos (2005) como limite inferior e a curva de Simões e Ramos com ajuste logarítmico (2003) como limite superior, tornando-as assim a envoltória das comparações. A partir daí tem-se os erros relativos aos limites inferiores (<) e superiores (>).

	Pfastetter SFS		Pfastetter Paranaguá		Back (Epagri)		Simões e Ramos (potência)		Lopes e Ramos 1,14		Lopes e Ramos 1,10	
tempo (min)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)
15	-1,0%	-22,6%	19,0%	-7,0%	12,5%	-12,1%	24,4%	-2,8%	11,5%	-12,9%	7,6%	-15,9%
30	6,1%	-18,5%	27,5%	-2,1%	14,3%	-12,3%	26,6%	-2,8%	11,5%	-14,4%	7,6%	-17,4%
45	16,9%	-11,6%	36,4%	3,1%	15,7%	-12,5%	28,5%	-2,8%	11,5%	-15,7%	7,6%	-18,7%
60	28,2%	-4,3%	45,4%	8,5%	16,8%	-12,8%	30,2%	-2,8%	11,5%	-16,8%	7,6%	-19,7%
75	29,7%	-4,3%	47,0%	8,5%	17,8%	-13,1%	31,7%	-2,8%	11,5%	-17,7%	7,6%	-20,6%
90	31,0%	-4,3%	48,5%	8,6%	18,7%	-13,3%	33,0%	-2,8%	11,5%	-18,5%	7,6%	-21,4%
Média	18,5%	-10,9%	37,3%	3,3%	16,0%	-12,7%	29,1%	-2,8%	11,5%	-16,0%	7,6%	-18,9%

Quadro 6.3 – Erro percentual relativo para a estação 2648014 (RVPSC) com período de retorno de 25 anos.

O gráfico 6.4 representa as curvas IDF para a estação 2648014 (RVPSC) com período de retorno de 50 anos.

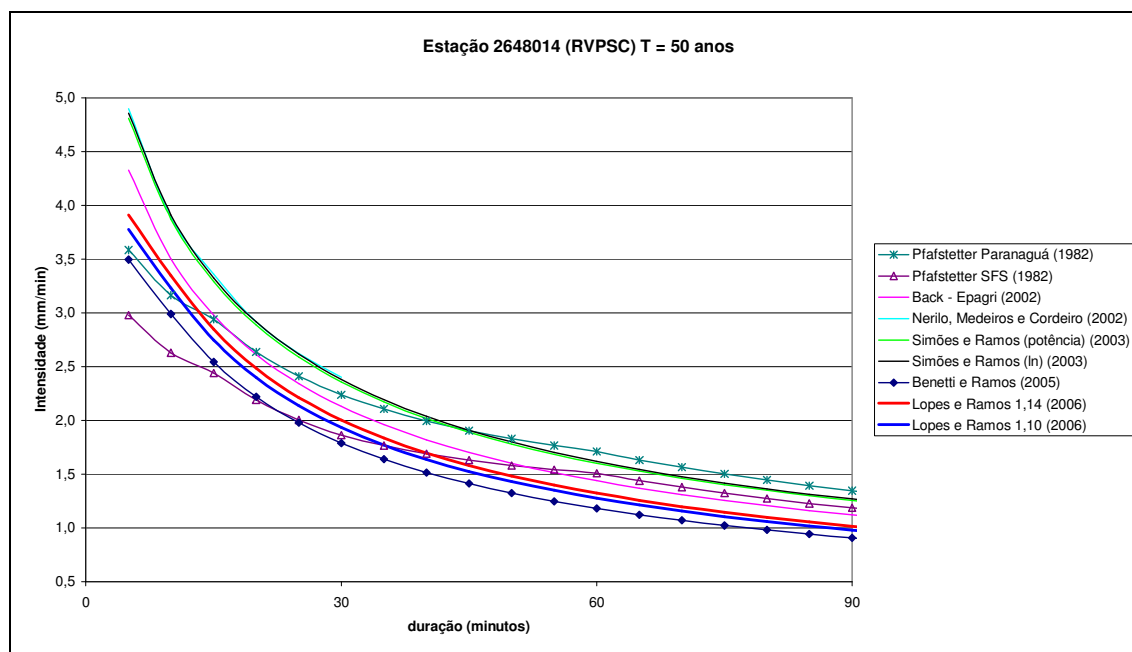


Gráfico 6.4 – Curvas das equações IDF referente a estação 2648014 com período de retorno de 50 anos.

O quadro 6.4 apresenta os erros percentuais relativos para a estação 2648014 (RVPSC) com período de retorno de 50 anos.

tempo (min)	Pfafstetter SFS		Pfafstetter Paranaguá		Back (Epagri)		Simões e Ramos (potência)		Nerilo, Medeiros e Cordeiro		Lopes e Ramos 1,14		Lopes e Ramos 1,10	
	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)
15	-4,0%	-26,5%	15,6%	-11,6%	17,2%	-10,4%	29,4%	-1,0%	32,2%	1,1%	12,0%	-14,4%	8,0%	-17,4%
30	4,0%	-21,8%	25,2%	-5,9%	19,0%	-10,5%	31,7%	-1,0%	34,2%	0,8%	12,0%	-15,9%	8,0%	-18,8%
45	15,5%	-14,6%	34,9%	-0,2%	20,5%	-10,8%	33,8%	-1,0%			12,0%	-17,2%	8,0%	-20,1%
60	27,6%	-6,8%	44,7%	5,7%	21,7%	-11,1%	35,5%	-1,0%	37,4%	0,3%	12,0%	-18,2%	8,0%	-21,1%
75	29,3%	-6,6%	46,6%	5,9%	22,7%	-11,3%	37,0%	-1,0%			12,0%	-19,1%	8,0%	-22,0%
90	30,9%	-6,4%	48,4%	6,1%	23,6%	-11,6%	38,4%	-1,0%			12,0%	-19,9%	8,0%	-22,7%
Média	17,2%	-13,8%	35,9%	0,0%	20,8%	-11,0%	34,3%	-1,0%	34,6%	0,8%	12,0%	-17,4%	8,0%	-20,3%

Quadro 6.4 – Erro percentual relativo para a estação 2648014 (RVPSC) com período de retorno de 50 anos.

O gráfico 6.5 representa as curvas IDF para a estação 2648014 (RVPSC) com período de retorno de 100 anos.

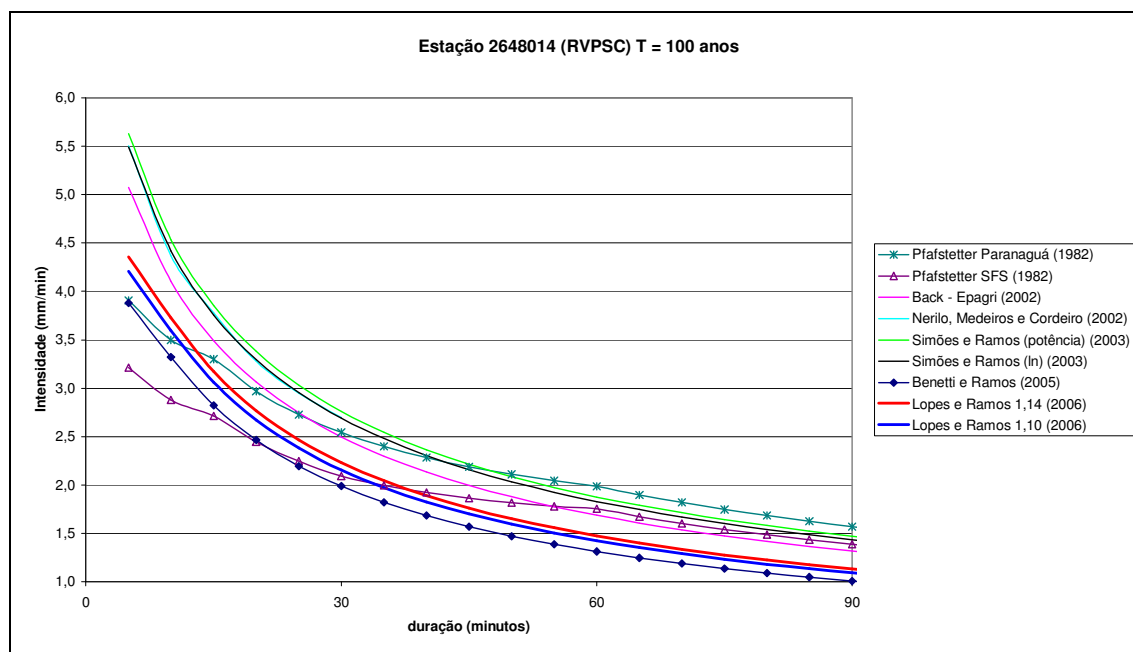


Gráfico 6.5 – Curvas das equações IDF referente a estação 2648014 com período de retorno de 100 anos.

Para obter os erros relativos para a estação 2648014 (RVPSC) para o período de retorno de 100 anos, conforme quadro 6.5, foi adotado a curva de Benetti e Ramos (2005) como limite inferior e a curva de Simões e Ramos com ajuste de potência (2003) como limite superior, tornando-as assim a envoltória das comparações. A partir daí tem-se os erros relativos aos limites inferiores (<) e superiores (>).

	Pfastetter SFS		Pfastetter Paranaguá		Back (Epagri)		Simões e Ramos (ln)		Nerilo, Medeiros e Cordeiro		Lopes e Ramos 1,14		Lopes e Ramos 1,10	
tempo (min)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)
15	-3,9%	-29,6%	16,9%	-14,4%	23,6%	-9,4%	33,0%	-2,5%	33,7%	-2,0%	12,3%	-17,7%	8,4%	-20,6%
30	5,3%	-24,2%	28,0%	-7,9%	25,6%	-9,5%	35,4%	-2,5%	35,8%	-2,3%	12,3%	-19,1%	8,4%	-22,0%
45	18,8%	-15,8%	39,5%	-1,1%	27,2%	-9,8%	37,5%	-2,5%			12,3%	-20,4%	8,4%	-23,2%
60	33,4%	-6,6%	51,3%	5,9%	28,4%	-10,1%	39,3%	-2,5%	38,9%	-2,8%	12,3%	-21,4%	8,4%	-24,2%
75	35,5%	-6,2%	53,6%	6,3%	29,5%	-10,4%	40,9%	-2,5%			12,3%	-22,3%	8,4%	-25,0%
90	37,3%	-5,9%	55,7%	6,7%	30,5%	-10,6%	42,3%	-2,5%			12,3%	-23,0%	8,4%	-25,7%
Média	21,1%	-14,7%	40,8%	-0,7%	27,5%	-10,0%	38,1%	-2,5%	36,1%	-2,3%	12,3%	-20,7%	8,4%	-23,4%

Quadro 6.5 – Erro percentual relativo para a estação 2648014 (RVPSC) com período de retorno de 100 anos.

Para melhor análise dos resultados foi elaborado um quadro resumo contendo os erros percentuais relativos médios de acordo com a relação IDF e o período de retorno, conforme quadro 6.6. Os sinais (<) ou (>) indicam se a equação foi adotada como limite inferior ou superior ou menor, respectivamente. Para Nerilo, Medeiros e Cordeiro (2002) não há intensidade de chuva para o período de retorno de 15 e 25 anos.

	T 5 anos		T 15 anos		T 25 anos		T 50 anos		T 100 anos	
	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)
Pfastetter Paranaguá (1982)	(>)	(>)	(>)	(>)	37,3%	3,3%	35,9%	0,0%	40,8%	-0,7%
Pfastetter SFS (1982)	36,8%	-13,4%	20,1%	-13,8%	18,5%	-10,9%	17,2%	-13,8%	21,1%	-14,7%
Back (2002)	(<)	(<)	13,8%	-17,9%	16,0%	-12,7%	20,8%	-11,0%	27,5%	-10,0%
Nerilo, Medeiros e Cordeiro (2002)	33,2%	-13,7%	-	-	-	-	34,6%	0,8%	36,1%	-2,3%
Simões e Ramos (potência) (2003)	37,6%	-12,7%	26,7%	-8,6%	29,1%	-2,8%	34,3%	-1,0%	(>)	(>)
Simões e Ramos (ln) (2003)	33,3%	-15,4%	30,3%	-6,0%	(>)	(>)	(>)	(>)	38,1%	-2,5%
Benetti e Ramos (2005)	7,3%	-31,9%	(<)	(<)	(<)	(<)	(<)	(<)	(<)	(<)
Lopes e Ramos 1,14 (2006)	17,8%	-25,2%	11,1%	-19,7%	11,5%	-16,0%	12,0%	-17,4%	12,3%	-20,7%
Lopes e Ramos 1,10 (2006)	13,7%	-27,8%	7,2%	-22,5%	7,6%	-18,9%	8,0%	-20,3%	8,4%	-23,4%

Quadro 6.6 – Quadro Resumo dos erros percentuais relativos médios para a estação 2648014 (RVPSC).

6.2 COMPARAÇÕES DAS RELAÇÕES IDF PARA A ESTAÇÃO 2648036 (UDESC-UNIVILLE)

As curvas IDF utilizadas para as comparações da estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) são:

- Negri e Ramos (2002):

$$i = \frac{1,14 \cdot e^{1,5 \cdot \ln\left(\frac{\ln t}{7,3}\right)} \cdot \left[96,67 + 20,42 \cdot \left(-\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right) \right]}{t} \quad (3.3)$$

- Potência:

$$i = \frac{20,503 \cdot T^{0,166}}{(t + 13,6)^{0,779}} \quad (3.4)$$

- Logarítmica:

$$i = \frac{[5,4489 \cdot \ln(T) + 18,241]}{(t + 13,6)^{0,779}} \quad (3.5)$$

- Benetti e Ramos (2005):

$$i = \frac{1,14 \cdot 97,8 \cdot e^{1,5 \cdot \ln\left(\frac{\ln t}{7,3}\right)} \cdot (1 + K_T \cdot 0,250)}{t} \quad (6.2)$$

Tabela 3.5 – Valores de K_T

T (anos)	5	10	15	20	25	50	75	100	1000
K_T	0,720	1,305	1,635	1,866	2,044	2,592	2,911	3,137	4,936

Fonte: Sistematização do regime pluviométrico da região de Joinville (Benetti e Ramos, 2005).

- Lopes e Ramos (2006):

$$i_{T,d} = \frac{1,14 \cdot e^{1,5 \cdot \ln\left(\frac{\ln d}{7,3}\right)} \cdot \left\{ 97,756 - 19,068 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] - 11,005 \right\}}{d} \quad (5.3)$$

$$i_{T,d} = \frac{1,10 \cdot e^{1,5 \cdot \ln\left(\frac{\ln d}{7,3}\right)} \cdot \left\{ 97,756 - 19,068 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] - 11,005 \right\}}{d} \quad (5.4)$$

Foram também representadas as equações desenvolvidas por Pfafstetter (1982) para Paranaguá e São Francisco do Sul.

- Pfafstetter (1982):
 - Paranaguá (PR) e São Francisco do Sul (SC):

$$P = T^{\alpha' + \frac{\beta'}{T^\gamma}} \cdot [a \cdot t + b \cdot \log(1 + c \cdot t)] \quad (3.2)$$

Tabela 3.1 – Valores de α'

VALORES DE α' NO FATOR DE PROBABILIDADE													
DURAÇÃO	Minutos	5	15	30	60	120	240	480	840	1.440	2.880	4.320	5.760
	Horas	0,083	0,250	0,500	1	2	4	8	14	24	48	72	96
α'		0,108	0,122	0,138	0,156	0,166	0,174	0,176	0,174	0,170	0,166	0,160	0,156

Fonte: Chuvas intensas no Brasil (Pfafstetter, 1982, p. 393).

Para São Francisco do Sul (SC):

Tabela 3.2 – Valores das constantes γ , a , b , c , β' para São Francisco do Sul (SC).

Constante	Valor	Valores de β'	t (min)
γ	0,25	0	5
a	0,3	0,08	15
b	37	0,08	30
c	10	0,16	60

Fonte: Chuvas intensas no Brasil (Pfafstetter, 1982, p. 397-420).

Para Paranaguá (PR):

Tabela 3.3 – Valores das constantes γ , a , b , c , β' para Paranaguá (PR).

Constante	Valor	Valores de β'	t (min)
γ	0,25	0,04	5
a	0,3	0,12	15
b	42	0,12	30
c	10	0,16	60

Fonte: Chuvas intensas no Brasil (Pfafstetter, 1982, p. 396-414).

Os gráficos 6.6 a 6.10 comparam as diversas relações IDF desenvolvidas para o posto 2648036 (UDESC-UNIVILLE), localizado no Campus Universitário do município, juntamente com as equações de Paranaguá (PR) e São Francisco do Sul (SC).

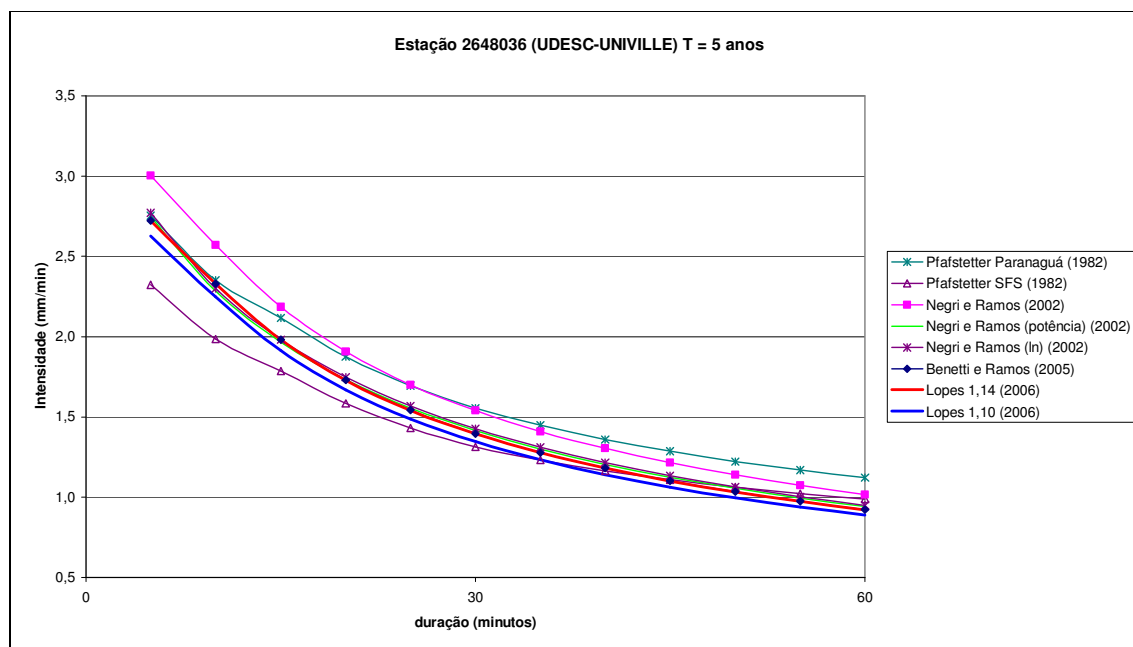


Gráfico 6.6 – Curvas das equações IDF referente à estação 2648036 com período de retorno de 5 anos.

Para os erros relativos para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) com o período de retorno de 5 anos, conforme quadro 6.7, foi adotado a curva de Pfafstetter (1982) para a cidade de São Francisco do Sul (SC) como o limite inferior e a curva de Negri e Ramos (2002) como limite superior, tornando-as assim a envoltória das comparações, tem-se os erros relativos aos limites inferiores (<) e superiores (>).

	Pfafstetter Paranaguá		Negri e Ramos (potência)		Negri e Ramos (ln)		Benetti e Ramos		Lopes 1,14		Lopes 1,10	
tempo (min)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)
15	18,5%	-3,2%	10,0%	-10,1%	10,9%	-9,3%	10,9%	-9,3%	10,9%	-9,4%	7,0%	-12,6%
30	18,4%	1,1%	7,8%	-8,0%	8,7%	-7,3%	6,2%	-9,3%	6,2%	-9,4%	2,4%	-12,6%
45	15,9%	5,8%	1,3%	-7,5%	2,2%	-6,7%	-0,7%	-9,3%	-0,8%	-9,4%	-4,2%	-12,6%
60	13,4%	10,3%	-4,8%	-7,4%	-4,0%	-6,6%	-6,8%	-9,3%	-6,8%	-9,4%	-10,1%	-12,6%
75	13,4%	11,1%	-5,6%	-7,5%	-4,8%	-6,7%	-7,5%	-9,3%	-7,5%	-9,4%	-10,8%	-12,6%
90	13,4%	11,8%	-6,3%	-7,6%	-5,5%	-6,8%	-8,1%	-9,3%	-8,1%	-9,4%	-11,4%	-12,6%
Média	15,5%	6,2%	0,4%	-8,0%	1,2%	-7,2%	-1,0%	-9,3%	-1,0%	-9,4%	-4,5%	-12,6%

Quadro 6.7 – Erro percentual relativo para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) com período de retorno de 5 anos.

O gráfico 6.7 representa as curvas IDF para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) com período de retorno de 15 anos.

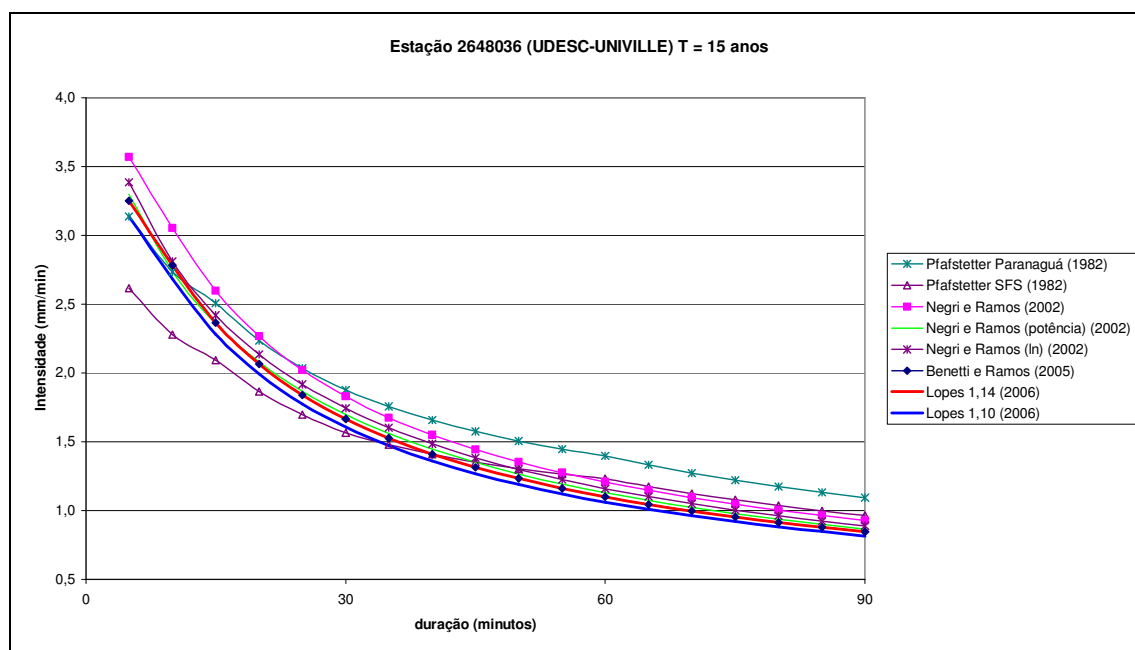


Gráfico 6.7 – Curvas das equações IDF referente a estação 2648036 com período de retorno de 15 anos.

Para obter os erros relativos para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) para os períodos de retorno de 15, 25, 50 e 100 anos, conforme quadros 6.8, 6.9, 6.10 e 6.11, foi adotado a curva de Lopes e Ramos 1,10 (2006) como limite inferior e a curva de Pfafstetter

(1982) para a cidade de Paranaguá (PR) como limite superior, tornando-as assim a envoltória das comparações. A partir daí tem-se os erros relativos aos limites inferiores (<) e superiores (>).

	Pfafstetter SFS		Negri e Ramos		Negri e Ramos (potência)		Negri e Ramos (ln)		Benetti e Ramos		Lopes 1,14	
tempo (min)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)
15	-8,3%	-16,6%	13,8%	3,5%	3,3%	-6,0%	6,1%	-3,5%	3,7%	-5,7%	3,6%	-5,7%
30	-2,6%	-16,6%	13,8%	-2,5%	5,7%	-9,5%	8,5%	-7,1%	3,7%	-11,2%	3,6%	-11,3%
45	6,6%	-14,2%	13,8%	-8,4%	6,4%	-14,4%	9,2%	-12,1%	3,7%	-16,6%	3,6%	-16,6%
60	16,0%	-11,8%	13,8%	-13,5%	6,5%	-19,1%	9,3%	-16,9%	3,7%	-21,2%	3,6%	-21,2%
75	17,2%	-11,8%	13,8%	-14,4%	6,4%	-20,0%	9,2%	-17,9%	3,7%	-22,0%	3,6%	-22,0%
90	18,3%	-11,8%	13,8%	-15,1%	6,2%	-20,8%	9,0%	-18,7%	3,7%	-22,7%	3,6%	-22,7%
Média	7,9%	-13,8%	13,8%	-8,4%	5,7%	-15,0%	8,6%	-12,7%	3,7%	-16,6%	3,6%	-16,6%

Quadro 6.8 – Erro percentual relativo para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) com período de retorno de 15 anos.

O gráfico 6.8 representa as curvas IDF para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) com período de retorno de 25 anos.

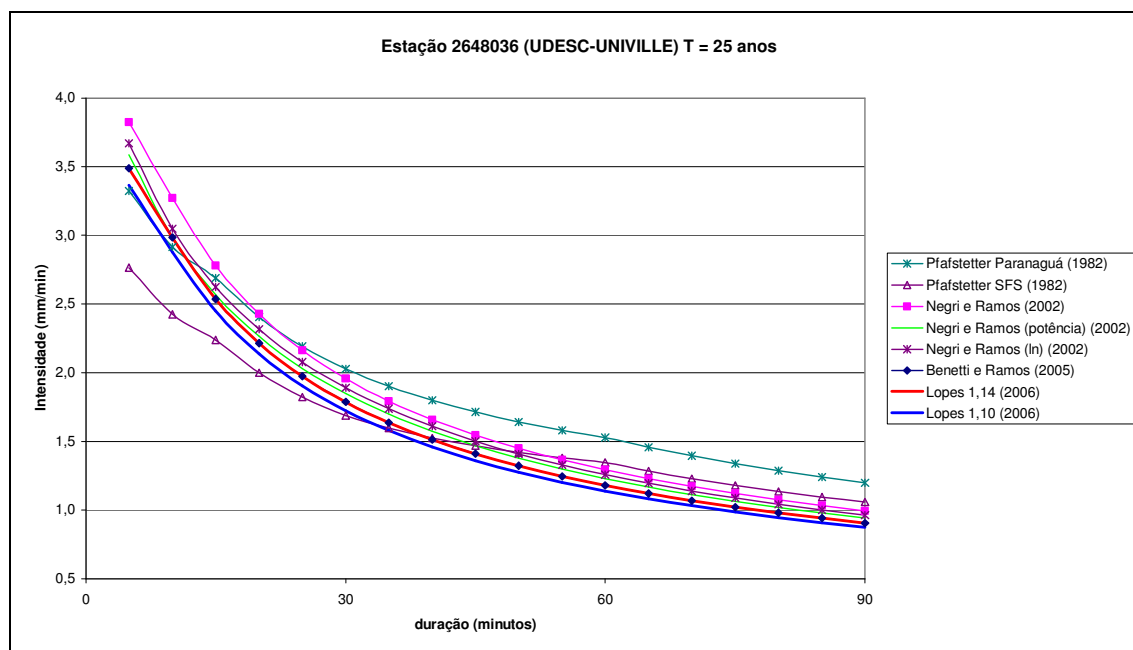


Gráfico 6.8 – Curvas das equações IDF referente a estação 2648036 com período de retorno de 25 anos.

O quadro 6.9 apresenta os erros percentuais relativos para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) com período de retorno de 25 anos.

	Pfafstetter SFS		Negri e Ramos		Negri e Ramos (potência)		Negri e Ramos (ln)		Benetti e Ramos		Lopes 1,14	
tempo (min)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)
15	-8,6%	-16,8%	13,6%	3,4%	4,8%	-4,6%	7,2%	-2,4%	3,7%	-5,7%	3,6%	-5,7%
30	-2,0%	-16,8%	13,6%	-3,5%	7,3%	-8,9%	9,7%	-6,8%	3,7%	-11,9%	3,6%	-12,0%
45	7,9%	-14,3%	13,6%	-9,8%	7,9%	-14,3%	10,4%	-12,4%	3,7%	-17,7%	3,6%	-17,7%
60	18,3%	-11,8%	13,6%	-15,3%	8,0%	-19,5%	10,5%	-17,7%	3,7%	-22,8%	3,6%	-22,8%
75	19,7%	-11,8%	13,6%	-16,3%	7,9%	-20,5%	10,4%	-18,7%	3,7%	-23,6%	3,6%	-23,7%
90	21,0%	-11,8%	13,6%	-17,1%	7,8%	-21,4%	10,2%	-19,6%	3,7%	-24,4%	3,6%	-24,4%
Média	9,4%	-13,9%	13,6%	-9,8%	7,3%	-14,9%	9,7%	-12,9%	3,7%	-17,7%	3,6%	-17,7%

Quadro 6.9 – Erro percentual relativo para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) com período de retorno de 25 anos.

O gráfico 6.9 representa as curvas IDF para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) com período de retorno de 50 anos.

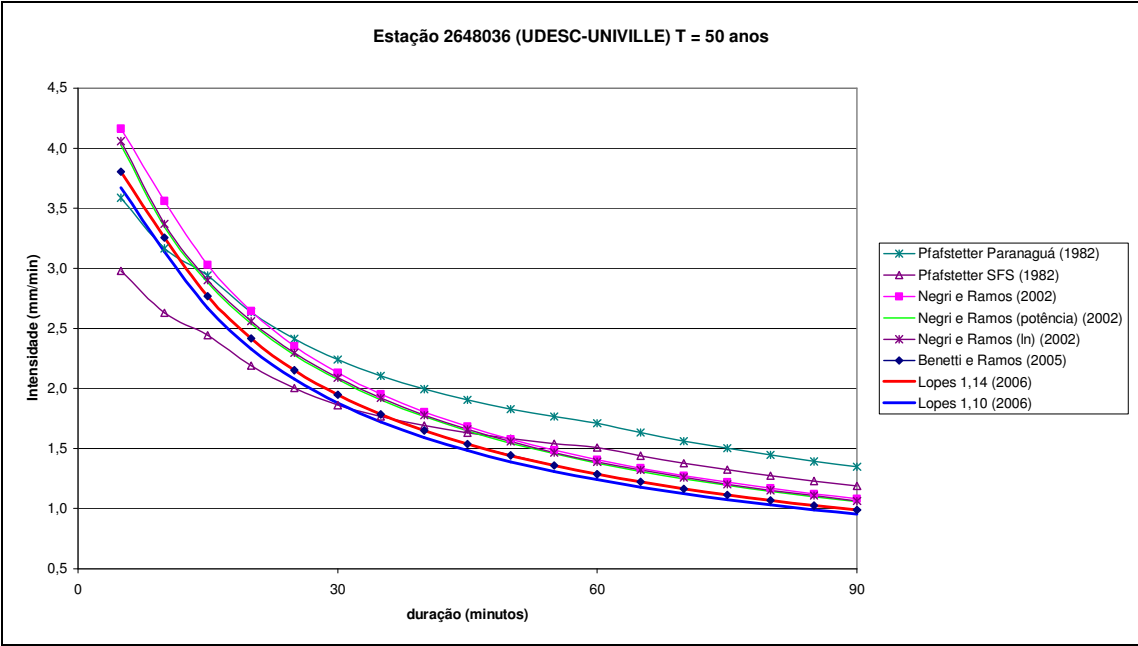


Gráfico 6.9 – Curvas das equações IDF referente a estação 2648036 com período de retorno de 50 anos.

O quadro 6.10 apresenta os erros percentuais relativos para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) com período de retorno de 50 anos.

	Pfafstetter SFS		Negri e Ramos		Negri e Ramos (potência)		Negri e Ramos (ln)		Benetti e Ramos		Lopes 1,14	
tempo (min)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)
15	-8,5%	-16,9%	13,4%	3,0%	7,8%	-2,0%	8,7%	-1,2%	3,6%	-5,8%	3,6%	-5,8%
30	-0,9%	-16,9%	13,4%	-4,9%	10,3%	-7,4%	11,2%	-6,7%	3,6%	-13,1%	3,6%	-13,1%
45	10,0%	-14,4%	13,4%	-11,7%	11,0%	-13,6%	11,9%	-12,9%	3,6%	-19,3%	3,6%	-19,3%
60	21,5%	-11,8%	13,4%	-17,7%	11,1%	-19,4%	12,0%	-18,7%	3,6%	-24,8%	3,6%	-24,8%
75	23,1%	-11,8%	13,4%	-18,8%	11,0%	-20,5%	11,9%	-19,9%	3,6%	-25,8%	3,6%	-25,8%
90	24,6%	-11,8%	13,4%	-19,7%	10,8%	-21,5%	11,7%	-20,9%	3,6%	-26,6%	3,6%	-26,6%
Média	11,6%	-13,9%	13,4%	-11,6%	10,4%	-14,1%	11,2%	-13,4%	3,6%	-19,2%	3,6%	-19,2%

Quadro 6.10 – Erro percentual relativo para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) com período de retorno de 50 anos.

O gráfico 6.10 representa as curvas IDF para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) com período de retorno de 100 anos.

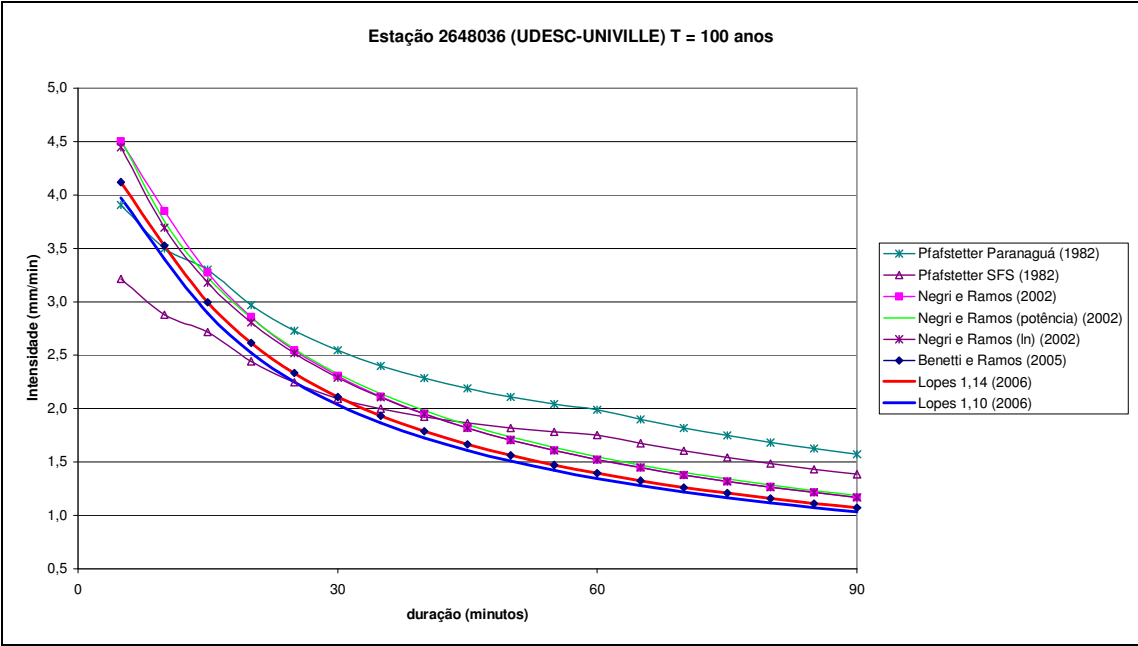


Gráfico 6.10 – Curvas das equações IDF referente a estação 2648036 com período de retorno de 100 anos.

O quadro 6.11 apresenta os erros percentuais relativos para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) com período de retorno de 100 anos.

	Pfafstetter SFS		Negri e Ramos		Negri e Ramos (potência)		Negri e Ramos (ln)		Benetti e Ramos		Lopes 1,14	
tempo (min)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)
15	-6,1%	-17,8%	13,2%	-0,8%	11,8%	-2,1%	10,0%	-3,7%	3,7%	-9,2%	3,6%	-9,2%
30	2,8%	-17,8%	13,2%	-9,4%	14,3%	-8,5%	12,5%	-10,0%	3,7%	-17,1%	3,6%	-17,1%
45	16,0%	-14,8%	13,2%	-16,9%	15,1%	-15,6%	13,2%	-16,9%	3,7%	-23,9%	3,6%	-23,9%
60	30,4%	-11,8%	13,2%	-23,4%	15,2%	-22,1%	13,3%	-23,4%	3,7%	-29,9%	3,6%	-29,9%
75	32,3%	-11,8%	13,2%	-24,5%	15,0%	-23,3%	13,2%	-24,6%	3,7%	-30,9%	3,6%	-30,9%
90	34,2%	-11,8%	13,2%	-25,6%	14,9%	-24,5%	13,0%	-25,7%	3,7%	-31,9%	3,6%	-31,9%
Média	18,3%	-14,3%	13,2%	-16,8%	14,4%	-16,0%	12,5%	-17,4%	3,7%	-23,8%	3,6%	-23,8%

Quadro 6.11 – Erro percentual relativo para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) com período de retorno de 100 anos.

Para melhor análise dos resultados foi elaborado um quadro resumo contendo os erros percentuais relativos médios de acordo com a relação IDF e o período de retorno, conforme quadro 6.12. Os sinais (<) ou (>) indicam se a equação foi adotada como limite inferior ou superior, respectivamente.

	T 5 anos		T 15 anos		T 25 anos		T 50 anos		T 100 anos	
	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)	erro < (%)	erro > (%)
Pfastetter Paranaguá (1982)	15,5%	6,2%	(>)	(>)	(>)	(>)	(>)	(>)	(>)	(>)
Pfastetter SFS (1982)	(<)	(<)	7,9%	-13,8%	9,4%	-13,9%	11,6%	-13,9%	18,3%	-14,3%
Negri e Ramos (2002)	(>)	(>)	13,8%	-8,4%	13,6%	-9,8%	13,4%	-11,6%	13,2%	-16,8%
Negri e Ramos (potência) (2002)	0,4%	-8,0%	5,7%	-15,0%	7,3%	-14,9%	10,4%	-14,1%	14,4%	-16,0%
Negri e Ramos (ln) (2002)	1,2%	-7,2%	8,6%	-12,7%	9,7%	-12,9%	11,2%	-13,4%	12,5%	-17,4%
Benetti e Ramos (2005)	-1,0%	-9,3%	3,7%	-16,6%	3,7%	-17,7%	3,6%	-19,2%	3,7%	-23,8%
Lopes e Ramos 1,14 (2006)	-1,0%	-9,4%	3,6%	-16,6%	3,6%	-17,7%	3,6%	-19,2%	3,6%	-23,8%
Lopes e Ramos 1,10 (2006)	-4,5%	-12,6%	(<)	(<)	(<)	(<)	(<)	(<)	(<)	(<)

Quadro 6.12 – Quadro Resumo dos erros percentuais relativos médios para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE).

6.3 COMPARAÇÕES DAS RELAÇÕES IDF PARA AS DUAS ESTAÇÕES

Para as comparações entre os dois postos de medição foram representadas algumas curvas IDF para as duas estações. Para a estação 2648014 (RVPSC) foram adotadas as equações de Back (2002), por ser uma metodologia publicada por uma entidade conceituada, Simões e Ramos com ajuste logarítmico (2003), por apresentar um ajuste diferenciado e Lopes e Ramos (2006), por não apresentar ajustes gráficos e ser a equação mais recente.

- Back (2002):

$$i = \frac{641,7 \cdot T^{0,2290}}{(t + 8,8)^{0,6859}} \quad \text{para } t \leq 120 \text{ min} \quad (3.6)$$

- Simões e Ramos (2003):

$$i = \frac{5,0097 \cdot \ln(T) + 7,098}{(t + 8)^{0,6644}} \quad (3.10)$$

- Lopes e Ramos (2006):

$$i_{T,d} = \frac{1,14 \cdot e^{1,5 \cdot \ln(\ln d / 7,3)} \cdot \left\{ 75,802 - 27,068 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] - 15,622 \right\}}{d} \quad (4.5)$$

Para a estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) foram representados as equações de Negri e Ramos (2002), por apresentar um ajuste de potência como Back (2002), Negri e Ramos (2002) com ajuste logarítmico, por apresentar um ajuste diferenciado e Lopes e Ramos (2006), por não apresentar ajustes gráficos e ser a equação mais recente.

- Negri e Ramos (2002):

➤ Potência:

$$i = \frac{20,503 \cdot T^{0,166}}{(t + 13,6)^{0,779}} \quad (3.4)$$

➤ Logarítmica:

$$i = \frac{[5,4489 \cdot \ln(T) + 18,241]}{(t + 13,6)^{0,779}} \quad (3.5)$$

- Lopes e Ramos (2006):

$$i_{T,d} = \frac{1,14 \cdot e^{1,5 \ln(\ln d / 7,3)} \cdot \left\{ 97,756 - 19,068 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] - 11,005 \right\}}{d} \quad (4.7)$$

Os gráficos 6.11 a 6.15 comparam as diversas relações IDF desenvolvidas para os dois postos. Para o período de retorno de 5 anos (gráfico 5.11) nota-se que as curvas tem tendências paralelas, ficou claro nos gráficos 6.12, 6.13 e 6.14 que para períodos de retorno de 15, 25 e 50 anos as curvas IDF das duas estações tendem a se aproximarem, podendo ter uma chuva mais uniforme no município conforme o período de retorno. No gráfico 6.15, para período de retorno de 100 anos, mostram-se novamente tendências paralelas.

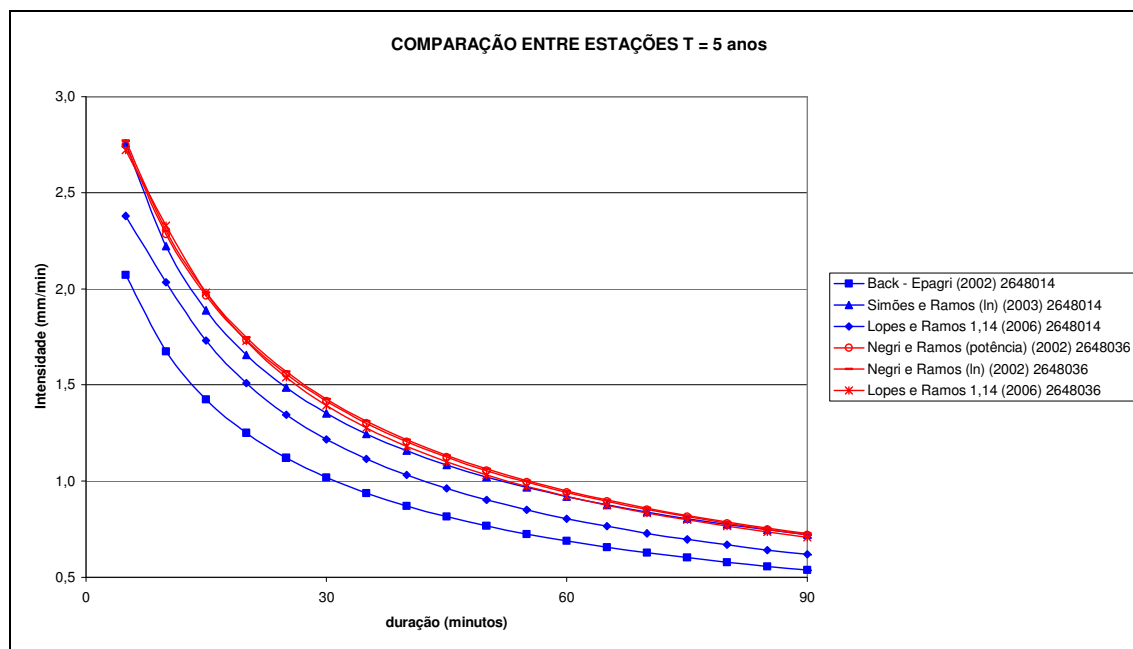


Gráfico 6.11 – Curvas das duas estações com período de retorno de 5 anos.

O gráfico 6.12 representa as curvas IDF para as duas estações com período de retorno de 15 anos.

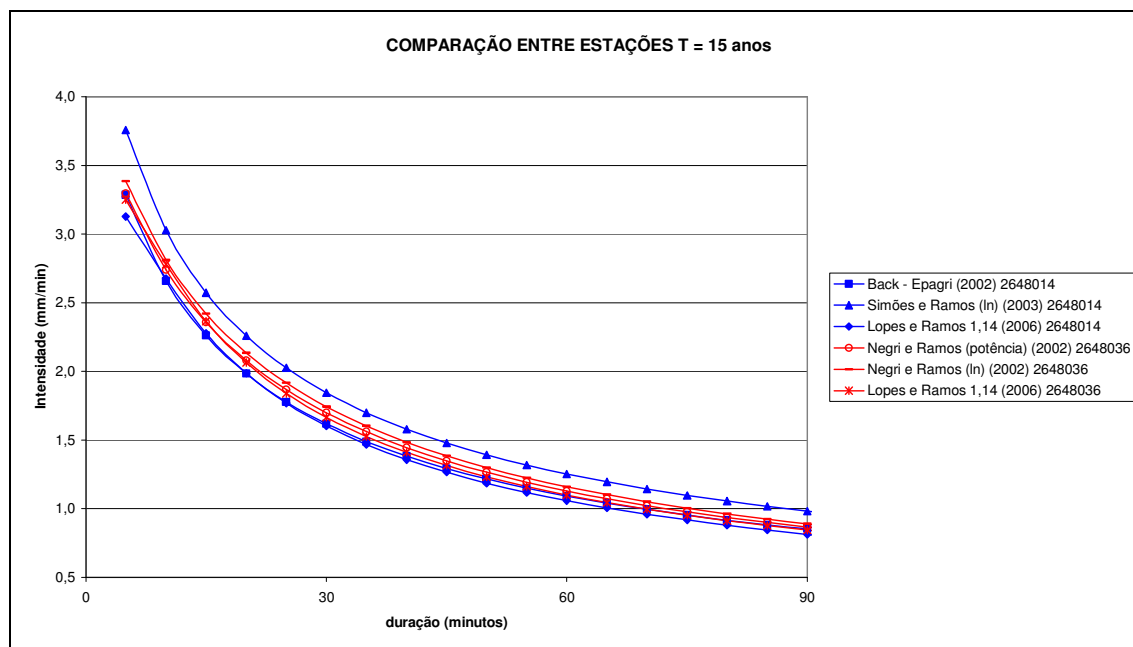


Gráfico 6.12 – Curvas das duas estações com período de retorno de 15 anos.

O gráfico 6.13 representa as curvas IDF para as duas estações com período de retorno de 25 anos.

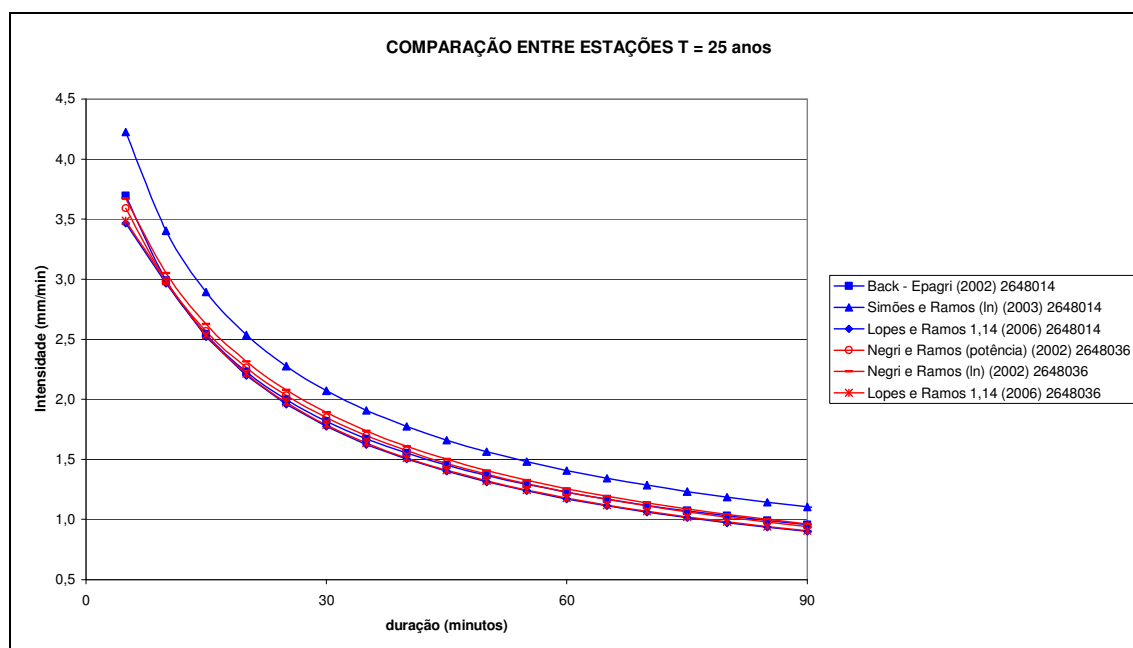


Gráfico 6.13 – Curvas das duas estações com período de retorno de 25 anos.

O gráfico 6.14 representa as curvas IDF para as duas estações com período de retorno de 50 anos.

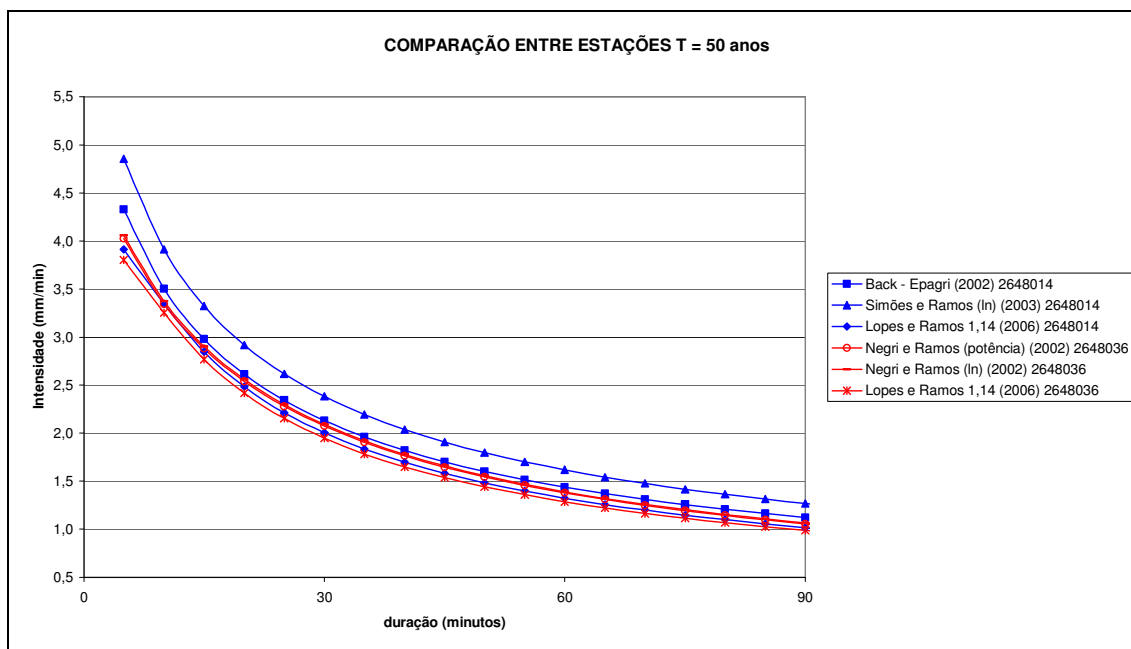


Gráfico 6.14 – Curvas das duas estações com período de retorno de 100 anos.

O gráfico 6.15 representa as curvas IDF para as duas estações com período de retorno de 100 anos.

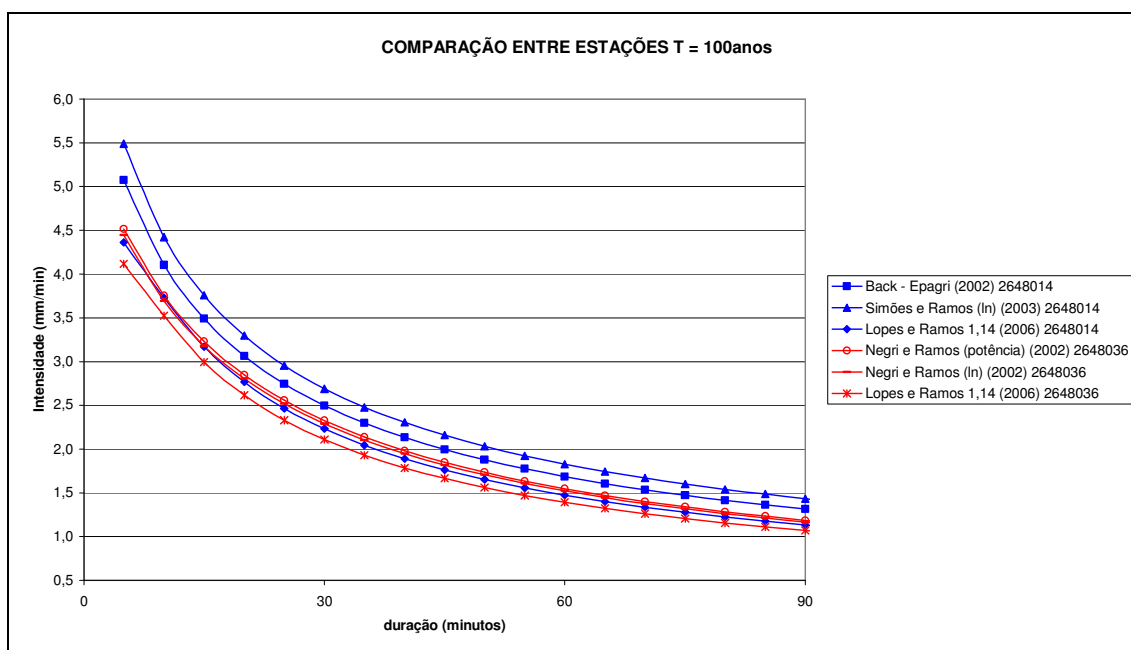


Gráfico 6.15 – Curvas das duas estações com período de retorno de 100 anos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho é apresentado o estudo comparativo da intensidade das chuvas para o município de Joinville-SC, cuja quantificação é fundamental para o estudo das enchentes. A utilização da equação de chuva influencia diretamente nos cálculos das vazões máximas dos rios, podendo modificar dimensionamentos dos dispositivos de drenagem e/ou planejamento das bacias hidrográficas.

7.1 CONCLUSÃO

A metodologia adotada para elaboração das equações de chuvas consiste em uma análise matemática de fácil compreensão, sem riscos oriundos de ajustes gráficos. As formas analíticas simples facilitam a aplicação das equações de chuvas para calculadoras programáveis ou em planilhas eletrônicas. Foram desenvolvidas equações de chuvas para duas estações pluviométricas do município, em operação: 2648014 (RVPSC) e 2648036 (UDESC-UNIVILLE). No estudo comparativo ficou claro que tais equações são passíveis de utilização, pois se encontram muito próximas às relações IDF existentes para o local. Vale ressaltar também que a metodologia é de fácil atualização além de poder ser empregada em qualquer região do Brasil, pois as variáveis dependem somente da série anual de dados, onde se retira a média e o desvio-padrão.

As comparações gráficas beneficiam a visualização das relações IDF enquanto os quadros dos erros percentuais relativos têm o objetivo de quantificar uma intensidade de chuva em relação à outra, visando auxiliar os técnicos a optarem por uma intensidade de

chuva média dos estudos existentes.

Nos gráficos das comparações entre as duas estações, no capítulo 6, nota-se que as curvas tendem a se aproximarem para períodos de retorno maior que 15 anos, podendo então ocorrer uma chuva distribuída mais uniformemente para o município de Joinville.

Como a série anual de dados da estação 2648036 (UDESC-UNIVILLE) é considerada de curta duração em relação à estação 2648014 (RVPSC), considera-se a segunda mais indicada para ser adotada em projetos de engenharia na região de Joinville (SC).

7.2 RECOMENDAÇÕES

O estudo analisa as equações de chuvas para duas estações ainda ativas do município de Joinville (SC). Poderiam ser utilizados outros postos dentro do município, como a estação localizada na bacia do Cubatão que pertence à antiga CASAN, ou a estação da Escola Técnica Tupy. No entanto ambas não estão mais em operação, e a série anual é relativamente pequena ou encontra-se fora da área urbana de Joinville. Existe também um pluviógrafo no Campus Universitário com precisão de 2 horas, que permitiria posteriormente a realização de um estudo para determinação de um coeficiente de desagregação de chuvas que relacione a chuva total diária (“chuva de 1 dia”) com a chuva de duração de 24 horas (“chuva de 24 horas”). Esse coeficiente regional determinado a partir de dados locais seria utilizado em substituição ao coeficiente médio brasileiro (1,14 ou 1,10).

Essas equações são válidas para o presente momento, sendo necessárias mais pesquisas e estudos na área, buscando o coeficiente de desagregação a partir do momento que forem obtidos dados de pluviógrafos, com séries de dados de um ano. A longo prazo com séries históricas maiores pode-se desenvolver e atualizar as equações para as várias regiões de Joinville, caracterizando-se assim a distribuição espacial da chuva no município.

A implantação de pluviógrafos possibilitaria, a longo prazo, o desenvolvimento de

equações de chuvas para o município, sem a necessidade do emprego dos coeficientes de desagregação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. Agência Nacional de Águas. Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br/> >. Acesso em: 05 de agosto de 2006.

BACK, A. J. **Chuvas intensas e chuvas de projeto de drenagem superficial no estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. 65 p.

BENETTI, W. C.; RAMOS, D. A. **Sistematização do regime pluviométrico da região de Joinville, SC**. 2005. 17 p. Relatório final de pesquisa (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2005.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2ª ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2000. 943 p., p.177-241.

CHEVALLIER, P. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ª ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2000. 943 p., p.485-525.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Drenagem urbana - manual de projeto**. 3. ed. São Paulo: ASCETESB, 1986. 464 p.

FERNANDES, C. **Microdrenagem – Um estudo inicial**. Campina Grande: DEC/CCT/UFPB. Disponível em: <<http://www.saneamento10.hpg.ig.com.br/Dren02.html>>. Acesso em: 05 set. 2006.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA. **Diretrizes Básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**. Reedição eletrônica. São Paulo: FCTH, Abr. 1999. Disponível em: <<http://www.fcth.br/public/cursos/canaismares/md.pdf>>. Acesso em: 06 Jun. 2006.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2 ed. São Paulo: E. Blücher, 1999. 291 p.

IPPUJ. Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville. Disponível em: < <http://www.ippuj.sc.gov.br/> >. Acesso em: 25 de agosto de 2006.

NEGRI, R.; RAMOS, D. A. **Análise de chuvas intensas na região de Joinville – SC**. 2002. 51 p. Relatório final de pesquisa (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2002.

NERILO, N.; MEDEIROS, P. A.; CORDERO, A.. **Chuvas intensas no estado de Santa Catarina**. Florianópolis: UFSC, 2002. 156 p.

PFASTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil** 2. ed. Rio de Janeiro: DNOS, 1982. 426 p.

PINTO, N. L. de S. et al. **Hidrologia básica**. São Paulo: E. Blücher, 1976. 278p.

SILVEIRA, A. L. L. Equação para os coeficientes de desagregação de chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v.5, n.4, p.143-147, out./dez. 2000.

SIMÕES, J. C. X.; RAMOS, D. A. **Equações de chuvas intensas para Joinville – SC**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – ABRH, 15, 2003, Curitiba. **Anais Eletrônicos do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2ª ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2000. 943 p., p.177-241.

VILLELA, S. M.; MATOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978. 477 p.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Curvas das relações IDF com mesma série de dados de outros estudos.

