

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DETERMINAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DAS
EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS EM BACIAS
HIDROGRÁFICAS DO RIO GRANDE DO SUL**

TESE DE DOUTORADO

Marcela Vilar Sampaio

**Santa Maria, RS, Brasil
2011**

**DETERMINAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE
CHUVAS INTENSAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO
GRANDE DO SUL**

por

Marcela Vilar Sampaio

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Engenharia
de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau
Doutora em Engenharia Agrícola

Orientador: Prof. Adroaldo Dias Robaina

**Santa Maria, RS, Brasil
2011**

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora , abaixo assinada,
aprova Tese de Doutorado

**DETERMINAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE
CHUVAS INTENSAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO
GRANDE DO SUL**

elaborada por
Marcela Vilar Sampaio

como requisito parcial para a obtenção de grau de
Doutora em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:

Adroaldo Dias Robaina, Dr. (Presidente / Orientador)

Ana Rita Costenaro Parizi, Dra. IF Farroupilha - Alegrete

Ricardo Luis Schons, Dr. IF Farroupilha - Júlio de Castilhos

Marcia Xavier Peiter, Dra. UFSM

Paulo Roberto da Costa, Dr. UFSM

Santa Maria, 29 de abril de 2011

Aos meus pais Monte e Vânia que souberam compreender a minha ausência, e mesmo em momentos difíceis demonstraram coragem, esperança e confiança o que possibilitou minha caminhada até os dias de hoje.

Pelo amor e carinho incondicionais...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Adroaldo Dias Robaina, meus mais sinceros agradecimentos, pela compreensão, confiança, dedicação, amizade, pelos ensinamentos que levarei comigo para toda a vida, pelo encorajamento antes, durante e posteriormente a esta trabalhosa, mas importantíssima fase, MEU RESPEITO E ADMIRAÇÃO!

A Profª Marcia Xavier Peiter, meu agradecimento por sua amizade, carinho, por seus ensinamentos e pelo apoio recebido nessa etapa de minha vida. Ficam aqui, o meu CARINHO e ADMIRAÇÃO!

A minha família, em especial aos meus amados pais Francisco Monte Alverne de Sales Sampaio e Vânia Vilar Sampaio, pelo carinho, incentivo, exemplo de vida e educação que me proporcionaram.

Aos meus irmãos Juliano, Virgínia e Rafael, meu carinho e agradecimento pelo incentivo e apoio que sempre me dedicaram.

À Universidade Federal de Santa Maria, mais especificamente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), pela oportunidade oferecida.

Ao Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo bolsa de estudos (parcial) concedida.

Aos membros da Comissão Examinadora, que com muita competência, dedicação e carinho auxiliaram na qualidade deste trabalho.

Aos funcionários do PPGEA, em especial ao Estevão pela cordialidade e disposição.

Aos colegas e amigos do PPGEA e do laboratório de Engenharia de Irrigação pela parceria e amizade.

A todos os meus amigos, que me deram força e alegria para vencer esta etapa.

A Deus, que ilumina os meus caminhos, e que tenho certeza, esteve comigo em todos os momentos.

Muito obrigada!

*“O rio para atingir o seu objetivo precisa
vencer muitos obstáculos.”*

Lao Tse

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

DETERMINAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO GRANDE DO SUL

Autor: Marcela Vilar Sampaio
Orientador: Adroaldo Dias Robaina
Santa Maria, 29 de abril de 2011.

O projeto de estruturas hidráulicas destinadas à contenção do excesso de chuva, como barragens, bacias de contenção, terraços e outras, são projetadas com uma precipitação que possa definir a vazão máxima de projeto da obra, satisfazendo a segurança desejada e que seja um projeto economicamente racional. A falta de estações pluviográficas com séries históricas (20 anos) tem levado a projetistas daquelas obras hidráulicas a utilizarem relações que permitam a estimativa da chuva de projeto a partir de dados oriundos de pluviômetros com maior disponibilidade de estações e séries históricas mais longas. Este trabalho teve como objetivo geral estabelecer a relação entre intensidade, duração e frequência da precipitação máxima, em bacias hidrográficas do Rio Grande Sul, a partir da desagregação de chuvas de 24 horas de duração e como objetivos específicos verificar a aderência dos dados de chuvas a modelos teóricos de distribuição de probabilidade, comparar diferentes metodologias de desagregação de chuvas intensas com durações menores do que 24 horas e analisar a variabilidade dos coeficientes das equações de chuvas intensas das diferentes bacias hidrográficas do RS. O desempenho das diferentes metodologias de desagregação (Bell, Pfafstetter, Chen, Hernandez e CETESB) empregadas nas estimativas das precipitações máximas de durações menores que 24 horas com o uso de séries históricas em estações pluviométricas das bacias hidrográficas do RS foram comparadas com os valores das relações de durações obtidas num trabalho realizado por Beltrame et al (1991) sobre chuvas intensas no RS. A avaliação do desempenho dos diferentes modelos de desagregação será feita através do coeficiente de Willmot que permite a análise dos desvios entre os valores estimados e os obtidos pelas relações de duração ajustadas com dados de pluviogramas e desse modo indicar a metodologia que apresentou melhor desempenho. Os resultados obtidos permitirão a determinação das equações de chuvas intensas para bacias hidrográficas do RS através uma metodologia alternativa a metodologia tradicional que apresenta grandes dificuldades, em função da escassez de registros pluviográficos, de dificuldades para sua obtenção, da baixa densidade da rede de pluviógrafos e do pequeno período de observação disponível aliados a um exaustivo trabalho de tabulação, análise e interpretação de uma grande quantidade de pluviogramas.

Palavras-Chave: curvas IDF; métodos de desagregação; precipitações extremas.

ABSTRACT

Doctorate Thesis
Agricultural Engineering Post Graduation Program
Santa Maria Federal University, RS, Brazil

ESTIMATE AND SPATIALIZATION INTENSE PRECIPITATION EQUATIONS USING FUNCTIONS OF DISAGGREGATION IN DIFFERENT CATCHMENT AREAS OF RIO GRANDE DO SUL

Author: Marcela Vilar Sampaio
Adviser: Adroaldo Dias Robaina
Santa Maria, april 29, 2011.

The design of hydraulic structures to curb the excessive rain, dams, containment basins, terraces, and others are designed with a rainfall that can define the maximum flow of the construction project, satisfying the desired security and is a project economically rational. The lack of precipitation stations with long historical series (20 years) has led to designers from those used in hydraulic relationships that enable the estimation of rain from the project using data from rain gauge stations with greater availability and longer historical series. This study aimed to establish the relationship between intensity, duration and frequency of maximum rainfall in catchment areas of Rio Grande do Sul, from the breakdown of rain 24 hours in duration and aimed at verifying the adherence of the rainfall data theoretical models of probability distribution, to compare different methods of disaggregation of heavy rainfall with durations less than 24 hours and to analyze the variability of the coefficients of the equations of rainfall of different basins of the state. The performance of different methods of disaggregation (Bell, Pfafstetter, Chen, Hernandez and CETESB) employed in the estimation of maximum rainfall for durations shorter than 24 hours with the use of historical series of rainfall stations in watersheds of the RS were compared with values of relations durations obtained in a study by Beltrame et al (1991) on rainfall in the RS. Performance evaluation of different models of breakdown was performed using the coefficient Willmot that allows the analysis of deviations between the estimated values and those obtained by the relationship of duration with adjusted data pluviograms and thereby indicate the methodology which shows better performance. The results allowed the determination of the equations of rainfall for basins of RS by an alternative approach to traditional methodology which presents great difficulties, due to the scarcity of rain gauge records, the difficulties in its production, the low density of the network and pluviographs the short observation period available combined with a thorough job of tabulating, analyzing and interpreting a large amount of rainfalls.

Keywords: heavy rain, disaggregation, watersheds.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 . Fluxograma do processo de obtenção de equações PDF ou IDF em locais com série de dados de pluviógrafos.	30
Figura 2.2 . Fluxograma do processo de obtenção de equações PDF ou IDF em locais sem série de dados de pluviógrafos.	31
Figura 3.1 . Regiões hidrográficas do RS e suas respectivas bacias hidrográficas.	54
Figura 3.2 . Tela principal do Sistema de Informações Hidrológicas HydroWeb.	55
Figura 3.3 . Sequência de telas mostrando o caminho para acesso e download dos dados de chuva da estação pluviométrica selecionada.	56
Figura 3.4 . Tela do arquivo de dados da estação selecionada em formato de banco de dados MS Access®.	57
Figura 3.5 . Distribuição geográfica das 130 estações pluviométricas com séries históricas maiores que 10 anos de dados.	58
Figura 3.6 . Distribuição das 27 estações pluviométricas utilizadas para a validação dos diferentes métodos de desagregação de chuvas máximas	60

Figura 4.1 - Gráfico da função período de retorno . método de Pfasftetter (1962).	72
Figura 4.2 - Gráfico da função período de retorno . método de Bell (1969).	74
Figura 4.3 - Gráfico da função período de retorno . método de Robaina e Peiter (1992).	76
Figura 4.4 - Gráfico da função de desagregação . método de Robaina e Peiter (1992).	84
Figura 4.5 - Gráfico da função de desagregação . método de CETESB (1979).	86
Figura 4.6 . Distribuição das 130 estações pluviométricas utilizadas para a geração das chuvas máximas em diferentes tempos de duração e tempos de retorno.	90
Figura 4.7 . Mapa de distribuição das chuvas máximas de 24 horas de duração no Estado do Rio Grande do Sul.	91
Figura 4.8 . Mapa de distribuição do desvio padrão das chuvas máximas de 24 horas de duração no Estado do Rio Grande do Sul.	92
Figura 4.9 . Mapa de distribuição dos coeficientes de variação das chuvas máximas de 24 horas de duração no Estado do Rio Grande do Sul.	93
Figura 4.10 . Mapa de distribuição do coeficiente linear do período de retorno no Estado do Rio Grande do Sul.	95

Figura 4.11 . Mapa de distribuição do coeficiente angular do período de retorno no Estado do Rio Grande do Sul.	96
Figura 4.12 . Mapa de isovalores do coeficiente (a) da equação de chuvas intensas PDF para o Rio Grande do Sul.	105
Figura 4.13 . Mapa de isovalores do coeficiente (b) da equação de chuvas intensas PDF para o Rio Grande do Sul.	106
Figura 4.14 . Mapa de isovalores do coeficiente (c) da equação de chuvas intensas PDF para o Rio Grande do Sul.	107
Figura 4.15 . Mapa de isovalores do coeficiente (d) da equação de chuvas intensas PDF para o Rio Grande do Sul.	108
Figura 4.16 . Mapa de isovalores do coeficiente (a) da equação de chuvas intensas IDF para o Rio Grande do Sul.	116
Figura 4.17 . Mapa de isovalores do coeficiente (b) da equação de chuvas intensas IDF para o Rio Grande do Sul.	117
Figura 4.18 . Mapa de isovalores do coeficiente (c) da equação de chuvas intensas IDF para o Rio Grande do Sul.	118
Figura 4.19 . Mapa de isovalores do coeficiente (d) da equação de chuvas intensas IDF para o Rio Grande do Sul.	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 . Fórmulas para estimativa da posição de plotagem, o respectivo autor e a função de probabilidade para a qual se aplica.	29
Tabela 2.2 . Coeficientes de desagregação de chuvas de 24 horas através método das relações das durações (CETESB, 1979).	38
Tabela 3.1 . Métodos de desagregação utilizados, símbolo de identificação adotada e origem do método de desagregação utilizado.	61
Tabela 3.2 - Critério de interpretação dos valores do índice desempenho e as respectivas classes de desempenho.	62
Tabela 3.3 . Métodos, símbolo de identificação adotada, equação representativa e origem do método do período de retorno utilizado.	65
Tabela 4.1 - Valores das características estatísticas das precipitações máximas nas diferentes bacias hidrográficas.	68
Tabela 4.2 . Valores da relação da chuva máxima de 24 horas de duração em diferentes tempos de retorno e a chuva máxima média de 24 horas de duração em 12 bacias hidrográficas do RS.	70
Tabela 4.3 . Valores dos coeficientes da função do período de retorno, pelo método de Pfasftetter (1962), para 12 bacias hidrográficas do RS.	71

Tabela 4.4 . Valores dos coeficientes da função do período de retorno, pelo método de Bell (1969), para 12 bacias hidrográficas do RS.	73
Tabela 4.5 . Valores dos coeficientes da função do período de retorno, pelo método de método de Robaina e Peiter (1992), para 12 bacias hidrográficas do RS.	75
Tabela 4.6 . Valores do coeficiente de correlação, do índice de concordância e do índice de desempenho da comparação dos modelos de função do período de retorno (FT_2 , FT_3 e FT_4) e o modelo teórico de Gumbel nas diferentes bacias hidrográficas do RS.	77
Tabela 4.7 . Valores da relação de durações das chuvas máximas obtidas para diferentes bacias hidrográficas do RS, segundo BELTRAME et al (1991).	78
Tabela 4.8 . Valores dos coeficientes originais da função de Bell (1969), relação entre a chuva de 1 hora e a de 24 horas de duração e coeficientes da função de Bell para a desagregação da chuva de 24 horas de duração para diferentes bacias hidrográficas do RS . FDBE.	79
Tabela 4.9 . Valores da relação de durações das chuvas máximas em diferentes tempos de duração em diferentes bacias hidrográficas do RS obtidas com a função de desagregação de Bell . FDBE.	80
Tabela 4.10 . Relação entre a chuva de 1 hora e a de 24 horas de duração e coeficientes da função de Chen para a desagregação da chuva de 24 horas de duração para diferentes bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul . FDCH.	82
Tabela 4.11 . Valores da relação de durações das chuvas máximas em diferentes tempos de duração e bacias hidrográficas do RS obtidas com a função de desagregação de Chen (1983) . FDCH.	82

Tabela 4.12 . Valores da relação de durações das chuvas máximas em diferentes tempos de duração e bacias hidrográficas do RS obtidas com a função de desagregação de ROBAINA e PEITER (1992). 83

Tabela 4.13 . Valores da relação de durações das chuvas máximas em diferentes tempos de duração e bacias hidrográficas do RS obtidas com a função de desagregação de CETESB (1979). 85

Tabela 4.14 . Valores dos coeficientes a e b da regressão $Y = a + b X$, do coeficiente de determinação, do índice de concordância, do índice de desempenho, da classe de desempenho e do nível de significância para cada função de desagregação de chuva e em diferentes bacias hidrográficas do RS. 86

Tabela 4.15 . . Alturas de chuva (mm) em diferentes tempos de duração das chuvas, coeficientes da equação PDF e coeficiente de determinação, em 130 estações pluviométricas de diferentes bacias hidrográficas do RS. 100

Tabela 4.16 . Intensidades máximas das chuvas (mm/h) em diferentes tempos de duração das chuvas, coeficientes da equação IDF e coeficiente de determinação, em 130 estações pluviométricas de diferentes bacias hidrográficas do RS. 111

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A . Relação das 27 estações pluviométricas, com o código de identificação, o nome da estação, o município onde está localizada, a bacia hidrográfica, a entidade responsável, as coordenadas geográficas, a altitude, ano de início de operação e o tamanho da série histórica de dados de chuvas máximas anuais utilizadas para a validação das metodologias de desagregação e do período de retorno. 131
- Anexo B - Relação das estações pluviométricas, com o código de identificação, o nome da estação, o município onde está localizada, a bacia hidrográfica, a entidade responsável, as coordenadas geográficas, a altitude, ano de início de operação e o tamanho da série histórica de dados de chuvas máximas anuais. 138
- Anexo C - Relação das estações pluviométricas, com o código de identificação, o nome da estação, a bacia hidrográfica, a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação da chuva máxima de 24 horas de duração, o número de anos da série histórica, o coeficiente linear e o coeficiente angular, o coeficiente de determinação do ajuste de Gumbel, o coeficiente a, o coeficiente b da função período de retorno de Robaina e Peiter (1992) e o coeficiente de determinação da função FT3. 139

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Objetivos	19
1.1.1 Objetivo Geral	20
1.1.2 Objetivos Específicos	20
2 REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 Precipitação	21
2.2 Mecanismos de Formação e classificação das precipitações	23
2.3 Grandezas características e formas de medição	24
2.4 Análises de Precipitações intensas ou chuvas intensas	25
2.5 Determinações das equações IDF em locais com séries pluviográficas	26
2.6 Determinações das equações IDF em locais sem séries pluviográficas	30
2.7 Metodologias de desagregação de chuvas intensas	30
2.7.1 Beltrame et al	32
2.7.2 Damé	33
2.7.3 Robaina e Peiter	34
2.7.4 Bell	34
2.7.5 Chen	35
2.7.6 Hernandez	35
2.7.7 Relações de duração (CETESB, 1979).	36
2.8 Ajustamento a uma distribuição estatística.	38
2.8.1 Distribuição de Gumbel	39
2.8.2 Distribuição Fréchet	41
2.8.3 Distribuição Weibull	42

2.8.4 Distribuição Log-Normal	43
2.8.5 Distribuição Pearson III	43
2.9 Testes de Aderência	44
2.9.1 Qui-Quadrado (χ^2)	45
2.9.2 Kolmogorov-Smirnov	46
2.9.3 Análise de parâmetros de regressão linear	47
2.10 Trabalhos sobre chuvas intensas no Brasil	47
3 MATERIAL E MÉTODOS	53
3.1 Determinação das chuvas de diferentes durações e tempos de retorno	53
3.2 Área de estudo	54
3.3 Obtenção dos dados pluviométricos	55
3.4. Verificação das diferentes funções de desagregação de chuvas . FD(t)	59
3.4.1 Estações pluviométricas utilizadas	59
3.4.2 Metodologias de desagregação testadas	61
3.4.3 Avaliação do ajustamento das funções de desagregação	62
3.4.4 Verificação das diferentes funções do período de retorno . FT(T)	63
3.4.4.1 Conversão da chuva máxima de 1 dia para chuva de 24 horas	64
3.4.4.2 Determinação do tempo de retorno da série ordenada	64
3.4.4.3 Ajuste a uma distribuição teórica do período de retorno	64
3.4.4.4 Funções período de retorno . FT(T)	65
3.4.5 Alturas de chuvas de diferentes durações e tempos de retorno	65
3.4.6 Determinação dos coeficientes das equações PDF (ou IDF)	66
3.4.7 Espacialização dos coeficientes das equações PDF (ou IDF)	66
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
4.1 Validação das diferentes funções do período de retorno . FT(T)	67
4.1.1 Valores estatísticos das precipitações máximas	68
4.1.2 Estimativa dos valores das funções período de retorno . FT(T)	69
4.1.3 Modelos de funções período de retorno . FT(T)	70
4.1.3.1 Método de Pfasftetter (1962)	70
4.1.3.2 Método de Bell (1969)	72
4.1.3.3 Método de Robaina e Peiter (1992)	74
4.2 Validação das funções de desagregação . FD(t)	78
4.2.1 Função de desagregação Bell (1969) . FDBE	79

4.2.2 Função de desagregação Chen (1983) . FDCH	81
4.2.3 Função de desagregação Robaina e Peiter (1992) . FDRP	83
4.2.4 Função de desagregação CETESB (1979) ajustada . FDCT	84
4.3 Aplicação da metodologia as 130 estações em bacias hidrográficas do RS	89
4.3.1 Média, desvio padrão e coeficiente de variação das séries históricas da precipitação máxima de 24 horas de duração	91
4.3.2 Coeficientes da função período de retorno de Gumbel	94
4.4 Equações de chuvas máximas Ë modelo PDF	98
4.4.1 Geração dos volumes das chuvas máximas em diferentes durações	98
4.4.2 Estimativa dos coeficientes a, b, c, d . PDF	98
4.4.3 Espacialização dos coeficientes do modelo PDF	104
4.4.3.1 Coeficiente a	105
4.4.3.2 Coeficiente b	106
4.4.3.3 Coeficiente c	107
4.4.3.4 Coeficiente d	108
4.5 Equações de chuvas máximas Ë modelo IDF	110
4.5.1 Geração das intensidades máximas das chuvas em diferentes durações	110
4.5.2 Estimativa dos coeficientes a, b, c, d - IDF	110
4.5.3 Espacialização dos coeficientes do modelo IDF	115
4.5.3.1 Coeficiente a	116
4.5.3.2 Coeficiente b	117
4.5.3.3 Coeficiente c	118
4.5.3.4 Coeficiente d	119
5 CONCLUSÃO	123
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
ANEXOS	130

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural fundamental para a vida e o suprimento de demandas de água é uma contínua preocupação da humanidade, devido ao crescimento populacional, às incertezas a respeito de fatores climáticos e a crescente poluição hídrica. De uma maneira geral, os impactos negativos que as vazões de enchente causam à sociedade como perdas econômicas, danos ao desenvolvimento e até perdas de vidas humanas, levam a repensar os modelos existentes para planejamento e controle dessas vazões.

Estruturas hidráulicas destinadas à contenção do excesso de chuva, como barragens, bacias de contenção, terraços e outras, são projetadas mediante o uso de um adequado estimador para uma precipitação que possa definir a vazão máxima de projeto, satisfazendo a segurança desejada e que promova um projeto economicamente racional.

O Brasil é um país de grande superfície e, em virtude do alto custo de implantação de uma densa rede de observações hidrológicas (pluviométrica, hidrométrica e sedimentométrica) é muito comum que sejam reduzidos o número de postos de observação em uma região e, quando existentes, com séries de vazões observadas de curta extensão. Essa precariedade é ainda maior com relação às pequenas bacias hidrográficas, cuja maior dificuldade na determinação da vazão máxima está na ausência de dados observados de vazão (o que impede a aplicação de métodos estatísticos) ou de chuvas intensas (o que impede a aplicação de métodos indiretos) para a pequena bacia em estudo.

Os dados de chuva de grande volume ou dados de chuva de alta intensidade são fundamentais para a determinação de escoamento superficial, mas a sua falta ou inexistência em vários lugares de postos pluviográficos dificulta o cálculo seguro das vazões de enchentes ou vazões máximas. Mesmo quando existem dados de chuvas só se tem valores de chuva oriundos de medições em pluviômetros. Esses dados são observados em um intervalo de 24 horas (chuvas de 1 dia) e não significam que tiveram uma duração contínua de 24 horas.

A falta de registros de precipitações de tempos de duração inferiores ao período de 24 horas, para geração de chuvas máximas médias de duração menor

que 24 horas e de informações onde os dados pluviográficos não são facilmente disponíveis, acarreta à impossibilidade da aplicação a metodologia tradicional na determinação da relação intensidade-duração-frequência.

A situação geralmente é contornada utilizando-se a equação do pluviógrafo mais próximo em região similar do ponto de vista climático, ou interpolando os resultados obtidos em torno do local de interesse. Estas equações não utilizam as metodologias de regionalização de parâmetros estatísticos de variáveis hidrológicas, por isso não fornecem os resultados confiáveis.

Existem trabalhos de determinação de chuvas intensas para diversos estados da federação brasileira, como por exemplo, para os Estados de Alagoas, Bahia, Espírito Santo, Goiás, Minas Gerais, Paraná, São Paulo, Tocantins e para o Distrito Federal.

Para o caso do Rio Grande do Sul, existem dois trabalhos de maior abrangência regional no que se refere à análise de chuvas intensas, um bastante antigo (PFAFSTETTER, 1982) e outro mais recente (BELTRAME et al., 1991).

Apesar da existência dos trabalhos para o Rio Grande do Sul, citados anteriormente, há uma lacuna muito grande no que se refere à quantidade de informações sobre chuvas intensas para esta região do sul do País, sendo que um dos motivos atribuídos a esse fato é a pequena densidade de estações pluviográficas disponíveis de modo semelhante ao que ocorre em outras regiões do Brasil, como por exemplo, na Amazônia..

Considerando a problemática levantada, nos parágrafos anteriores, o presente estudo tem por objetivos:

1.1 Objetivos

A falta de estações pluviográficas com séries históricas, maiores que 10 anos ou mesmo 20 anos, tem levado a utilização de relações que permitam a estimativa da chuva de projeto a partir de dados oriundos de pluviômetros com maior disponibilidade de estações no País e/ou com séries históricas mais longas.

1.1.1 Objetivo Geral

A determinação e a espacialização dos coeficientes das equações de chuvas intensas (relação altura ou intensidade-duração e frequência ou tempo de retorno), em diferentes bacias hidrográficas do Rio Grande Sul, a partir da desagregação de chuvas de 24 horas de duração.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Verificar a aderência dos dados de chuvas de diferentes bacias hidrográficas do RS a modelos teóricos de distribuição de probabilidade;
- Comparar diferentes metodologias de desagregação de chuvas intensas com durações menores do que 24 horas;
- Analisar a variabilidade dos coeficientes das equações de chuvas intensas das diferentes bacias hidrográficas do RS;
- Realizar a espacialização dos coeficientes das equações de chuvas intensas através de mapas temáticos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O capítulo revisão de literatura encontra-se a revisão dos principais autores que fundamentaram este trabalho, através dos quais, foi possível conhecer as formas com que os parâmetros utilizados nesta pesquisa vêm sendo conduzidos pelos autores.

2.1 Precipitação

A precipitação foi definida como toda água de forma líquida ou sólida, caindo na atmosfera em direção ao solo (HUSCHKE, 1957). Esta foi caracterizada pela sua intensidade, duração e frequência.

Esta pode assumir diversas formas, como chuva, neve, garoa, granizo e orvalho. Com relação à hidrologia, chuva, ou precipitação pluvial é importante para estudos hidrológicos.

A precipitação pluvial se origina de nuvens formadas pelo resfriamento de massa de ar, ocasionado pela sua expansão ao se elevar na atmosfera. Basicamente existem três mecanismos de elevação da massa de ar, o convectivo, o frontal e o orográfico, dando origem às chuvas convectivas, às frontais e às orográficas. A precipitação convectiva geralmente é de pequena duração e de grande intensidade, atingindo pequenas áreas (PINTO,1995).

A quantidade de precipitação que incide numa bacia hidrográfica durante o ano é um dado determinante para quantificar, a necessidade de irrigação, a disponibilidade de água para o abastecimento doméstico e industrial, controle de inundação e a erosão do solo (BERTONI e TUCCI, 2002).

A ocorrência da precipitação é processo aleatório que não permitiu uma previsão determinística com grande antecedência. O tratamento dos dados de precipitação para grande maioria dos problemas hidrológicos é estatístico. (MATOS, 2006).

A ausência de precipitação por longos períodos reduz a vazão dos rios, causando a diminuição do nível dos reservatórios. Vazões reduzidas devido à falta de chuva trazem danos ao ambiente do curso d'água, além de reduzir a água disponível para diluição de poluentes. A diminuição do nível dos lagos e reservatórios reduz a disponibilidade da água para usos como: abastecimento, irrigação e geração de energia.

O Estado do Rio Grande do Sul teve uma precipitação pluvial média da ordem de 1.540 mm, sendo esta superior na metade norte do Estado e inferior a esta média na metade sul. A distribuição dessas precipitações durante as quatro estações do ano foi bastante uniforme, apresentando, em média 24% de chuvas no verão no outono, 25% no inverno e 26% na primavera conforme (BERLATO, 1999).

Os conhecimentos relacionados à distribuição espacial e temporal da precipitação pluvial têm um papel fundamental no planejamento de atividades relacionadas com o setor produtivo. A importância de tais conhecimentos, que permitem a tomada de decisões é de ordem estratégica em atividades como a agropecuária, construção civil, transportes, turismo entre outras exercidas ao ar livre (SEDIYAMA et al., 1996).

2.2 Mecanismos de formação e classificação das precipitações

A precipitação depende das condições atmosféricas, temperatura, pressão, umidade, vento e das condições da superfície, relevo (TUCCI, 2002).

Segundo o mesmo autor, as precipitações podem ser classificadas segundo a origem do resfriamento do ar necessário para a condensação pelos processos de: expansão do ar (principal), resfriamento direto (condução e irradiação) e pela mistura de massas de ar, saturados com diferentes temperaturas. Entre esses processos, apenas o primeiro é capaz de proporcionar chuvas significativas. Os demais processos de resfriamento somente dão origem a nevoeiros, garoa e orvalho.

O resfriamento pelo processo de expansão do ar ocorre na atmosfera quando existem correntes ascendentes de ar, que se originam principalmente nos centros de

baixa pressão e nas frentes que geralmente acompanham; toda vez que uma massa de ar é forçada a elevar-se devido algumas barreiras naturais e locais de grande condução térmica. O ar úmido das camadas baixas da atmosfera é aquecido por condução, torna-se mais leve que o ar das vizinhanças e sofre uma ascensão adiabática. Nessa ascensão ele expande e se resfria até atingir a condição de saturação. O vapor de água contido na atmosfera condensa, formando minúsculas gotas de água que crescem de tamanho e peso precipitando-se sobre a superfície terrestre nos seus diversos estados (TUCCI, 2002).

Bertoni e Tucci (2002) classifica as precipitações pluviométricas de acordo com as características de formação:

Frontais ou ciclônicas: aquelas que ocorrem ao longo da linha de descontinuidade, separando duas massas de ar de características diferentes. São chuvas de grande duração, atingindo grandes áreas com intensidade média. A interação de massas de ar quente e frias. Quando chega uma frente fria forma-se junto a frente um grande gradiente de temperatura. Os dias anteriores a chegada da frente ficam quentes; O ar frio é a mais denso e penetra, fazendo o ar quente mais leve subir condensar e precipitar. Atua sobre grandes bacias com intensidade variável. Tende a ter duração prolongada e abrangência de grandes áreas; Processos frontais de grande extensão e duração são os que produzem inundações em grandes bacias. O movimento das frentes depende dos sistemas de pressão regional.

Orográficas: aquelas que ocorrem quando o ar é forçado a transpor barreiras de montanhas. São chuvas de pequena intensidade e de grande duração, que cobrem pequenas áreas. Os ventos quentes e úmidos provenientes do oceano encontram barreiras físicas, sobem condensam e precipitam sobre áreas montanhosas; o vento que ultrapassa a barreira é seco, retirando umidade do ambiente, podendo gerar áreas desérticas; a precipitação varia com a altitude, atua sobre bacias pequenas com intensidade variável.

Convectivas: aquelas que são provocadas pela ascensão de ar devido às diferenças de temperatura na camada vizinha da atmosfera. São, geralmente, chuvas de grande intensidade e de pequena duração, restritas a áreas pequenas. O ar úmido aquecido na vizinhança do solo fica menos denso sobe, diminui a temperatura, condensa e precipita; são formações locais com pequena abrangência

espacial, alta intensidade e pequena duração; atinge principalmente pequenas bacias; ocorre principalmente no verão em climas tropicais; importante para pequenas bacias hidrográficas com pequeno tempo de concentração.

2.3. Grandezas características e formas de medição

As características principais da precipitação são o seu total, duração e distribuições temporal e espacial (TUCCI, 2002).

- **Altura Pluviométrica:** medidas realizadas nos pluviômetros e expressos em milímetros (mm). Significa a lâmina de água que se formaria sobre o solo como resultado de certa chuva, caso não houvesse escoamento, infiltração ou evaporação da água precipitada.
- **Duração:** período de tempo contado desde o início até o fim da precipitação, expresso geralmente em horas (h) ou minutos (min).
- **Intensidade da Precipitação:** é a relação entre a altura pluviométrica e a duração da precipitação expressa em milímetros por hora (mm/h) ou milímetros por minuto (mm/min).
- **Período de retorno:** é definido como o intervalo médio, em anos, entre a ocorrência de uma chuva com uma determinada magnitude e uma de igual ou maior valor.

2.4 Análise de precipitações intensas ou chuvas intensas

As chuvas intensas são aquelas que precipitam grandes volumes de água em um curto intervalo de tempo. As equações de chuvas intensas são essenciais no processo de drenagem urbana de águas pluviais, pois contribuem para a diminuição da margem de erros, diminuindo-se o risco de enchentes dos canais urbanos, pois a vazão desses canais é calculada, proporcionalmente, ao volume de chuva que precipita, porém nenhum modelo é livre de imperfeições. (MATOS, 2006).

Tucci (2001), diz que a precipitação máxima é entendida como a ocorrência extrema, com duração, distribuição temporal e espacial críticas para uma área ou bacia hidrográfica, sendo que a precipitação pode atuar sobre a erosão do solo. O autor comenta que a disponibilidade de longas séries de precipitações é, em geral, muito mais frequente que a de vazão e que o estudo das precipitações máximas é um dos caminhos para se conhecer a vazão de enchente de uma bacia.

Os problemas de engenharia, relacionados com a hidrologia são, em sua grande maioria, consequência de chuvas de grande intensidade ou volume e da ausência de chuva em longos períodos de estiagem.

As chuvas intensas são representadas pontualmente por relações entre as variáveis (volume precipitado ou intensidade, duração e frequência ou tempo de retorno) através de equações matemáticas conhecidas com equações ou curvas IDF (intensidade, duração e frequência) ou equações ou curvas PDF (volume, duração e frequência).

Alternativamente as chuvas intensas são representadas pela precipitação máxima provável (PMP) que é definida, segundo a WMO (1973), como a maior coluna pluviométrica correspondente a uma duração fisicamente possível de ocorrer sobre uma determinada área em uma dada época do ano.

Segundo Villela & Mattos (1975), a primeira análise a ser feita se refere a variação da intensidade (ou do volume) da chuva com a sua duração, a segunda análise é a da variação da intensidade (ou volume) com o período de retorno e por fim a expressão dessas relações na forma de equações IDF (ou PDF).

De acordo com Pinto et al. (1976), se os resultados da análise anterior forem colocados num gráfico pode-se observar que a intensidade média máxima cresce com o período de retorno e que a intensidade máxima média de um mesmo período de retorno decresce com a respectiva duração, de modo que, essas duas observações estão sempre presentes nas expressões empíricas, apresentadas em quase todos os livros de hidrologia por equações do tipo:

$$I = \frac{a T^b}{(t + c)^d} \quad (2.1)$$

na qual I é a intensidade máxima média de precipitação (mm/h), t a duração da chuva (minuto), T o período de retorno (anos) e a , b , c , d são parâmetros a serem determinados para cada localidade.

Pfafstetter (1957), em trabalho pioneiro no Brasil apresentou uma expressão do tipo PDF com a seguinte forma analítica:

$$P = T^{\alpha + \frac{\beta}{T^r}} [at + b \log(1 + ct)] \quad (2.2)$$

onde P é a precipitação máxima (mm), T o tempo de recorrência (anos), t o tempo de duração da precipitação (hora); α , β , r são valores que dependem da duração da precipitação e a , b , c são valores constantes para cada localidade.

A importância desse estudo deve-se ao seu pioneirismo e a grande área que abrangeu e utilizou a maioria de postos das regiões sul e sudeste do país.

2.5 Determinação das equações IDF em locais com séries pluviográficos

Segundo Villela e Mattos (1975), para uma utilização prática dos dados de chuva nos trabalhos de drenagem de superfície, é muito importante e necessário conhecer a relação entre intensidade, duração e período de retorno.

Para o estudo da variação da intensidade com a duração, os dados sobre precipitações intensas são obtidos dos registros pluviográficos sob a forma de pluviogramas (precipitação acumulada ao longo do tempo), cujo comprimento corresponde a 24 horas de registro contínuo e a altura é equivalente a 10 mm de precipitação.

De acordo com Garcez e Alvarez (1988), as principais etapas da análise estatística para determinar a relação IDF ou PDF são:

a) Seleção das precipitações intensas mais características: dos pluviogramas pode-se estabelecer, para as diversas durações, as máximas intensidades ocorridas durante uma determinada chuva, sem que necessariamente as durações maiores devam incluir as menores. As durações mais usuais são de 5, 10, 15, 30, 45 minutos e 1, 2, 3, 6, 12 e 24 horas. Os limites de duração são fixados em 5 minutos porque

representam o menor intervalo que se pode ler nos pluviogramas com precisão adequada e o de 24 horas porque, para durações maiores, podem ser utilizados os dados observados em pluviômetros.

O número de intervalos de duração anteriormente citados fornece pontos suficientes para definir curvas de intensidade-duração, referentes a diferentes períodos de retorno.

b) Estabelecimento das séries de intensidades médias máximas a serem analisadas: para o estudo da variação da intensidade com o período de retorno, os dados de intensidade máximas observadas podem ser constituídas pelos mais altos valores observados em cada ano (séries anuais) ou pelos n maiores valores observados no período total de observação (séries parciais), sendo n o número de anos considerados. Nas séries anuais tem-se como fator de distribuição o tempo (ano), enquanto que nas séries parciais tem-se a magnitude dos valores extremos, como fator de distribuição.

Quando da análise de eventos extremos, elegem-se as séries anuais, isto é, para cada duração se escolhe a máxima intensidade pluviométrica observada em cada ano, porque as séries anuais são mais significativas por serem definidas em termos de sua ocorrência em vez de sua magnitude.

c) Ordenação das séries selecionadas em ordem decrescente de intensidade (ou volume); a partir dessa ordenação podem-se determinar as frequências correspondentes a cada relação intensidade-duração e as probabilidades de ocorrência ou os tempos de retorno das mesmas, desde que o número de anos de observação seja suficiente.

d) Ajuste das equações IDF ou PDF através de métodos de ajustamento, como por exemplo, o método dos mínimos quadrados pode-se determinar os parâmetros da relação IDF (equação 3.1) ou os parâmetros da relação PDF (equação 3.2) para o local em estudo.

Segundo Pinto et al (1976), Tucci (2001), Linsley e Franzini (1978), Villela e Mattos (1975), Garcez e Alvarez (1988), para análise da variação da intensidade da chuva com o período de retorno, as precipitações anotadas para cada duração são colocadas em ordem decrescente e o período de recorrência (tempo de retorno) pode ser calculado segundo a expressão:

$$T = \frac{n}{i} \quad (2.3)$$

na qual T é o tempo de recorrência em anos, n o número de anos de observação e i o número de ordem das precipitações uma série disposta em ordem decrescente.

De acordo com Tucci (2001), esse método é chamado de método Califórnia por ter sido usado no dimensionamento de bueiros nas rodovias naquele estado dos Estados Unidos da América e cita que outros estudos teóricos mostram que esta abordagem não é a melhor alternativa.

Cunnane (1978), analisando as principais fórmulas apresentadas para a estimativa do período de retorno, notou que elas podiam ser enquadradas em uma estrutura geral expressas por:

$$T = \frac{n + 1 - 2a}{i - a} \quad (2.4)$$

onde a é uma constante que pode ter diferentes valores em conformidade com as hipóteses distributivas dos dados. Conforme os valores que constante pode assumir, tem-se as diferentes fórmulas de plotagem, mais utilizadas na literatura referente ao estudo de eventos extremos.

Desse modo, se o valor da constante $a = 0$, obtém-se a fórmula de plotagem de Weibull; se o valor de $a = 0,44$; a fórmula de Gringorten; se o valor de $a = 0,375$, a fórmula de Blom; se o valor de $a = 0,5$; a fórmula de Hazen e se o valor de $a = 0,4$, a fórmula de Cunnane.

Segundo Naghettini e Pinto (2007), as séries hidrológicas de valores máximos são ordenados de forma decrescente, o que faz com que a posição de plotagem represente a probabilidade da variável X ser maior ou igual a um determinado valor x , ou seja, $P(X \geq x)$.

Na Tabela 2.1 podem ser vistas as fórmulas de plotagem mais utilizadas, em hidrologia, em estudos cuja finalidade é a determinação de chuvas intensas para uma série histórica de uma determinada estação pluviométrica.

Tabela 2.1 . Fórmulas para estimativa da posição de plotagem, o respectivo autor e a função de distribuição de probabilidade para a qual se aplica.

Fórmula	Autor	Aplicação
$T = \frac{n+1}{i}$	Weibull	Tempos de retorno para quase todas as distribuições
$T = \frac{n+0,12}{i-0,44}$	Gringorten	Tempos de retorno para a distribuição de Gumbel
$T = \frac{n+0,25}{i-0,375}$	Blom	Tempos de retorno para a distribuição de Normal e Log-Normal
$T = \frac{n}{i-0,5}$	Hazen	Tempos de retorno para a distribuição de Gama de 3 parâmetros
$T = \frac{n+0,20}{i-0,40}$	Cunnane	Tempos de retorno para quase todas as distribuições

A estimativa das posições de plotagem dos eventos observados, chamada de distribuição empírica, permite a elaboração de um gráfico de probabilidades de acordo com as seguintes etapas:

- a) classificação dos dados em ordem decrescente (análise de máximos) ou crescente (análise de mínimos);
- b) cálculo da posição de plotagem por uma das fórmulas apresentadas na Tabela 2.1;
- c) seleção do tipo de gráfico, em escala aritmética ou papel de probabilidades apropriado e;
- d) plotagem dos pares de valores, formando o gráfico da distribuição empírica.

A Figura 2.1 mostra um fluxograma que resume o procedimento para a obtenção de equações IDF ou PDF em locais com série de dados obtidos nos pluviogramas registrados por pluviógrafos.

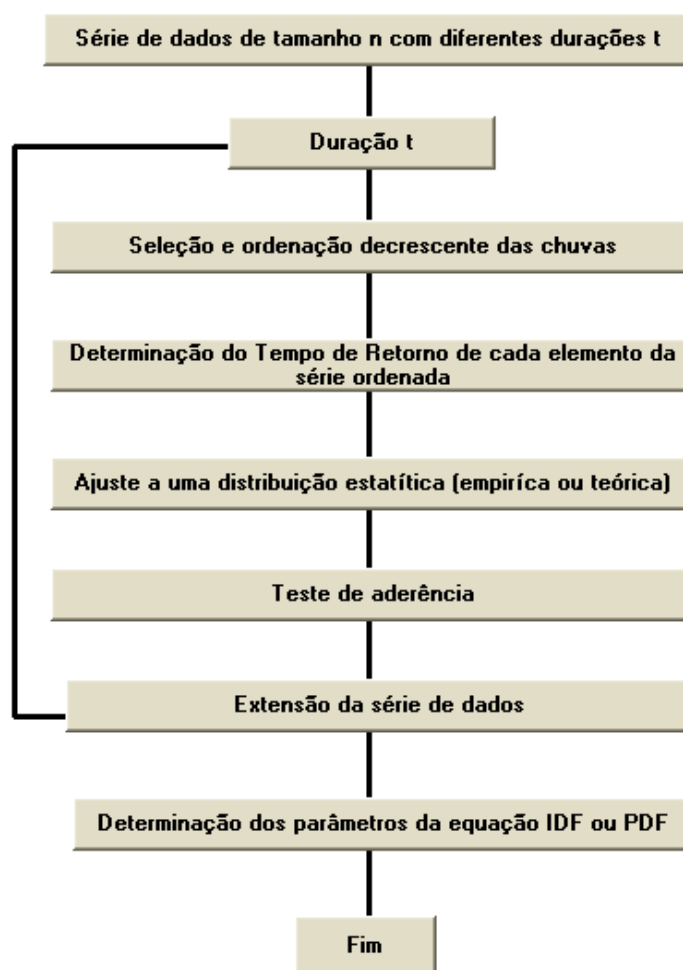


Figura 2.1. Fluxograma do processo de obtenção de equações PDF ou IDF em locais com série de dados de pluviógrafos.

2.6 Determinação das equações IDF em locais sem séries pluviográficas

Frequentemente é necessário determinar as relações entre a intensidade, duração e frequência para locais onde não se dispõe de postos pluviográficos. Para tanto, podem ser aplicadas metodologias com base em dados disponíveis na região, que permitem estimar estas relações no local de interesse (TUCCI, 2002).

A desagregação de totais de chuva, máxima de 24 horas de duração em totais correspondentes para durações menores, é frequentemente realizada com os chamados coeficientes de desagregação de chuvas. Esta prática é usada, normalmente, para estabelecer relações de intensidade-duração e frequência (IDF)

em locais que dispõem somente de dados diários medidos com pluviômetros convencionais (BERTONI e TUCCI, 2002).

A Figura 2.2 mostra um fluxograma que resume o procedimento para a obtenção de equações PDF ou IDF em locais sem séries de dados de pluviográficos.

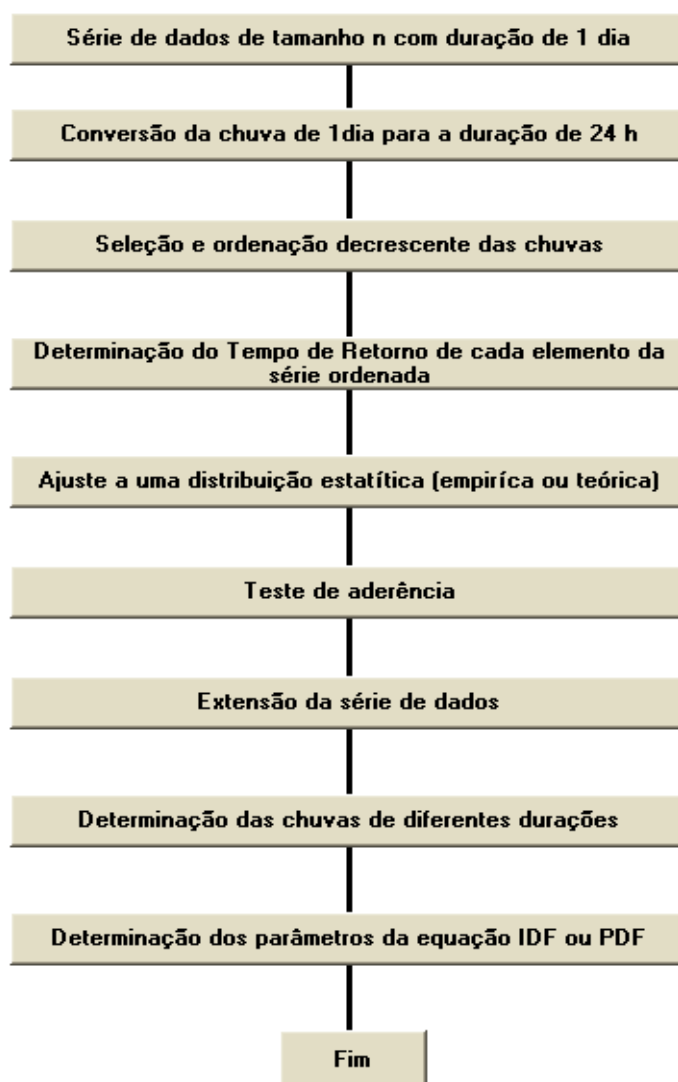


Figura 2.2 . Fluxograma do processo de obtenção de equações PDF ou IDF em locais sem série de dados de pluviógrafos.

A dificuldade na obtenção das equações PDF ou IDF de chuvas intensas reside na escassez de registros pluviográficos e/ou nos pequenos períodos de observação e por isso, algumas metodologias foram desenvolvidas para obtenção das chuvas de menor duração, a partir dos dados pluviométricos diários.

2.7 Metodologias de desagregação de chuvas intensas

Torrice (1975) desenvolveu a metodologia das isozonas, que pode ser aplicada em todo o território nacional. Damé (2001) e Damé et al (2003) utilizaram séries sintéticas de precipitação para a estimativa das relações IDF mas, dentre os métodos mais usados, se destacam aqueles que se baseiam nas relações entre precipitações de diferentes durações para desagregar a chuva máxima diária em chuva com duração inferior; trata-se de um método com a vantagem de ser de uso simples, de fornecer resultados satisfatórios e com grande similaridade para diferentes locais, o que lhe outorga validade regional.

Segundo Costa e Rodrigues (1999), a metodologia das isozonas tem sido empregada como rotina pelos órgãos responsáveis pelas estradas no Estado de Goiás (Departamento de Estrada e Rodagem do Estado de Goiás (DERGO) e Departamento Nacional de Estrada e Rodagem (DNER). Esses mesmos autores compararam os resultados obtidos pelo método das isozonas com os obtidos por meio de equações de chuvas intensas e encontraram desvios entre 7,5 a 54,0%, recomendando a busca de outra alternativa como metodologia de cálculo.

Podem ser encontrados na literatura diversos métodos de obtenção de chuvas intensas de durações menores a partir de uma chuva de duração maior, sendo esse procedimento conhecido como método de desagregação de chuvas, dos quais se destaca os seguintes,

2.7.1 Beltrame et al (1991)

A metodologia empregada por Beltrame et al (1991) parte do pressuposto da existência de duas relações que tenham validade regional ou sub-regional. A primeira relação permite a estimativa dos valores adimensionais com o tempo de retorno T , dos totais precipitados com qualquer duração t , isto é $X(T, t) / X_m(t)$.

A segunda relação permite a estimativa da média dos totais precipitados em determinada duração de chuva, $X_m(t)$, como função dessa duração. O produto do

fator $X(T,t) / X_m(t)$ por $X_m(t)$ fornece a altura máxima precipitada para um dado período de retorno e uma dada duração. Os valores de intensidade máxima para uma dada duração e período de retorno $I(T,t)$ são obtidos dividindo-se $X(T,t)$ pelo tempo de duração t .

2.7.2 Damé (2001)

No método usado por Damé (2001), o autor ajustou os parâmetros do modelo Bartlett-Lewis do Pulso Retangular Modificado (BLPRM) (RODRIGUEZ-ITURBE, 1987) e, com a resposta desses, as séries de precipitação na duração de 15 minutos foram agregadas à duração de 24 horas e usadas no modelo de desagregação proposto por (GLASBEY et al, 1995).

O modelo BLPRM supõe que o processo de precipitação tenha estacionalidade mensal, ou seja, que suas características estatísticas (média, variância, covariância, probabilidade de ocorrência de períodos secos) não variem dentro do mês. No trabalho de DAMÉ et al (2003) o método das relações (MR) foi utilizado para obter uma curva IDF para Pelotas, Rio Grande do Sul, que foi comparada com a IDF histórica obtida através de dados pluviográficos para o mesmo período de anos; os resultados mostraram que a IDF obtida pelo MR representou adequadamente a IDF histórica, levando os autores concluírem que este método é eficaz na desagregação da chuva diária. Sendo assim, é plausível pensar na possibilidade de usar esse método para obter a curva IDF em localidades nas quais se tenha pouco ou nenhum dado pluviográfico e que existam abundantes registros de chuva diária, já que para a cidade de Pelotas ele mostrou-se eficaz.

Partindo do pressuposto de que o MR foi eficiente na desagregação de chuvas diárias e que forneceu resultados semelhantes aos que seriam obtidos através do uso de dados pluviográficos, na localidade de Pelotas, verificou-se o desempenho das estimativas dos valores de intensidades máximas, quando se utiliza o MR para desagregar a chuva diária e estimar as relações IDF, para outras quatro cidades do Rio Grande do Sul e assim poder chegar a uma conclusão generalizada sobre o uso do MR para desagregar a chuva diária e obter a IDF. Para

tanto, foram comparados por meio do cálculo do Erro Padrão da Estimativa (EPE), os valores de intensidades máximas, para cada duração escolhida e período de retorno pré-estabelecido, obtidos por desagregação de chuva diária, com aqueles obtidos por meio da equação analítica (dados pluviográficos), que representam as relações IDF.

2.7.3 Robaina e Peiter (1992)

O objetivo do estudo foi testar o desempenho de um modelo desenvolvido para estimar chuvas intensas com durações menores do que 24h no Estado do Rio Grande do Sul, usando dados de chuva coletados por pluviômetros.

A função foi concebida, a partir da superposição que deveria existir uma expressão que definisse matematicamente a relação entre a precipitação máxima anual num tempo de duração qualquer e a precipitação anual do período de 24 horas. A função de desagregação utilizada foi:

$$f(t) = 0,00008.t + 0,14.\ln(1 + 0,33.t) \quad (2.5)$$

na qual, o tempo de duração deve ser expresso em minutos (min).

O modelo mostrou ser adequado, uma vez que os desvios máximos foram em torno de 15%, quando as chuvas estimadas foram comparados com as observadas em 32 localidades deste Estado.

2.7.4 Bell (1969)

Bell (1969) estabeleceu relações empíricas entre precipitações com diferentes durações baseadas em dados de séries parciais de chuva observada nos EUA, Austrália, URSS, Porto Rico, Alasca, África do Sul e Havaí. O fundamento teórico desse estudo é a existência de similaridade entre os mecanismos das tormentas. O valor máximo dessas chuvas está associado a

células convectivas, que têm características semelhantes em muitas partes do mundo e, por isso mesmo, se utiliza esta equação para estimar as precipitações máximas entre os limites especificados. Este trabalho é bastante clássico dentro deste tema, mas apresenta limitações, entre elas o fato de que suas equações foram obtidas a partir de dados de chuva de diversas partes do mundo sendo, portanto, seus resultados, função de valores médios e não específicos para um local; outra limitação é que o valor da precipitação máxima obtida é válido apenas para durações entre 5 e 120 min; pode-se, também destacar, como limitação ao método de Bell, a necessidade de se conhecer a chuva máxima com duração de 1 h e período de retorno de 10 anos, fato que requer dados de estação com pluviógrafos.

Bell (1969) utilizou dados de vários continentes e ajustou a seguinte equação:

$$P(t, T) = (0,21 \ln T + 0,52) \cdot (0,54 t^{0,25} - 0,50) \cdot P(1,10) \quad (2.6)$$

onde, $P(t, T)$ é a altura de chuva (mm) com duração t e período de retorno T , onde t é o tempo de duração (min), T o tempo de retorno (anos) e $P(1,10)$ é a altura de chuva com 1 hora de duração e período de retorno de 10 anos.

Falaguasta e Genovez (2003), analisaram e ajustaram equações de chuvas generalizadas para os estados de São Paulo e Paraná utilizando a metodologia de Bell.

2.7.5 - Chen (1983)

Em seu estudo Chen (1983) desenvolveu uma expressão de intensidade-duração-frequência de chuvas que utiliza três alturas de precipitação: a chuva de duração de 1 hora e tempo de retorno de 10 anos, a chuva de 24 horas de duração e 10 anos de período de retorno e a chuva de 24 horas de duração e 100 anos de período de retorno. Neste estudo foi verificado que a partir da duração de 2 horas

as relações de duração em relação a chuva de 24 horas variaram em função da relação da chuva de 1 hora e a de 24 horas.

A fórmula generalizada de Chen (1983) desenvolvida para as séries anuais, é dada pela expressão:

$$P(t,T) = \frac{a \cdot P(1,10) \cdot \log \left\{ 10^{(2-w)} \cdot \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^{(1-w)} \right\}}{(t+b)^c} \cdot \left(\frac{t}{60} \right) \quad (2.7)$$

onde, $P(t,T)$ é a altura de chuva com duração t e período de retorno T , onde t é o tempo de duração (min), T o tempo de retorno (anos), $P(1,10)$ é a altura de chuva com 1 hora de duração e período de retorno de 10 anos. Os parâmetros a , b e c são obtidos em função da relação entre $P(1,T)$ e $P(24,T)$ e w é a relação entre a chuva de 1 hora de duração e período de retorno de 100 anos e a chuva de 1 hora de duração e período de retorno de 1 ano.

2.7.6 - Hernandez

Hernandez (1991) propôs uma modificação do método anterior devido a necessidade da obtenção de três alturas de chuva e no Brasil existe uma grande limitação de dados pluviográficos, principalmente em relação aos tempos de observação, o que torna mais difícil a estimativa de chuvas de curta duração para maiores períodos de retorno, como acontece com a altura de chuva de 1 hora de duração e 100 anos de período de retorno.

A fórmula generalizada de Hernandez (1991) desenvolvida para as séries anuais é dada pela expressão:

$$P(t,T) = \frac{24 \cdot a \cdot d \cdot P(24,10) \cdot \log \left\{ 10^{(2-w)} \cdot T^{(1-w)} \right\}}{(t+b)^c} \cdot \left(\frac{t}{1440} \right) \quad (2.8)$$

onde $P(t,T)$ é a altura de chuva com duração t e período de retorno T , onde t é o tempo de duração (min) , T o tempo de retorno (anos), $P(24,10)$ é a altura de chuva com 24 horas de duração e período de retorno de 10 anos. Os parâmetros a , b e c são os mesmos de Chen (1983), w é a relação entre a chuva de 24 horas de duração e período de retorno de 100 anos e a chuva de 24 horas de duração e período de retorno de 10 anos e d é a relação entre a chuva de 1 hora de duração e período de retorno de 100 anos e a chuva de 24 horas de duração e período de retorno de 10 anos.

2.7.7 - Relações de duração (CETESB, 1979),

Um método de desagregação bastante utilizado é o método das relações das durações (CETESB, 1979), principalmente pelo fato de ser de uso simples e fornecer resultados satisfatórios na obtenção de alturas de chuvas com duração inferior a diária.

O método das relações das durações, segundo Bertoni e Tucci (2002), se baseia no fato de que as relações entre as intensidades médias máximas de diferentes durações possuem uma grande similaridade para diferentes locais (com uma leve variação de acordo com o tempo de retorno).

Este método baseia-se em duas características observadas nas curvas intensidade-duração-frequência (IDF) correspondente a pontos localizados em diversas partes do mundo:

a) Existe a tendência das curvas de probabilidade de diferentes durações manterem-se paralelas entre si, o que é simples de se observar quando as mesmas são graficadas em papel com escalas logarítmicas (papel log-log);

b) Para diferentes locais, existe uma grande similaridade nas relações entre precipitações médias máximas de diferentes durações (na realidade existe uma tendência destas relações a mudar levemente com o tempo de retorno).

Os coeficientes de desagregação de chuvas de 24 horas através do método das relações das durações (CETESB, 1979), são mostrados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 . Coeficientes de desagregação de chuvas de 24 horas através método das relações das durações (CETESB, 1979).

Relação das durações	Coeficientes
5 min / 30 min	0,34
10 min / 30 min	0,54
15 min / 30 min	0,70
25 min / 30 min	0,91
30 min / 1 h	0,74
1 h / 24 h	0,42
6 h / 24 h	0,72
12 h / 24 h	0,85
24 h / 1 dia	1,14

2.8. Ajustamento a uma distribuição estatística

Desde seus primórdios a humanidade se interessou em observar o comportamento das variáveis hidrológicas, tais como precipitações, e níveis de cursos d'água. O desenvolvimento científico e tecnológico possibilitou o registro desse comportamento ao longo do tempo. O acúmulo dessas informações permitiu a formação de séries, as quais são analisadas utilizando à estatística como uma ferramenta básica e fundamental, de forma que o conhecimento dos conceitos estatísticos é indispensável ao desenvolvimento de estudos em hidrologia e em ciências naturais (PEIXINHO, 2007).

As variáveis hidrológicas e hidrometeorológicas têm sua variabilidade registrada por meio das chamadas séries temporais, as quais reúnem as observações ou medições daquela variável, organizadas de forma sequencial de sua ocorrência no tempo (ou espaço). Por limitações impostas pelos processos de medição ou observações, as variáveis hidrológicas, embora apresentem variações instantâneas são contínuas ao longo do tempo, ou do espaço, têm seus registros separados por determinados intervalos de tempo, ou de distância (Naghetini e Pinto, 2007).

De acordo os mesmos autores as séries hidrológicas podem incluir todas as observações disponíveis, coletadas em intervalos de tempo regulares ao longo de

vários anos de registros, ou apenas alguns de seus valores característicos como, por exemplo, os máximos anuais ou as médias mensais.

Com o ajuste de um modelo de precipitação diária segundo Back (1997) é possível se conseguir um uso mais eficiente dos dados de precipitação, principalmente por permitir a simulação e geração de longas séries de dados de precipitação, sendo estas maiores que as próprias séries de dados observados.

No caso específico de eventos hidrológicos extremos, tais como máximos e mínimos, as séries reduzidas podem ser anuais, quando os registros consecutivos são equidistantes no tempo, ou de duração parcial, em caso contrário.

As séries de máximos valores são empregadas para ajuste, segundo a lei probabilística que melhor descreva o processo, possibilitando extrapolações (VIEIRA et al, 1991).

Distribuições teóricas de probabilidade são simplesmente funções analíticas usadas para descrever o comportamento de determinadas variáveis. No caso de extremos, só os ajustes das séries longas em múltiplas localidades é que dá indicações sobre as distribuições que levam a melhor extrapolação (SANSIGOLO, 2008).

Embora a teoria probabilística fundamental de valores extremos tenha sido desenvolvida há muito tempo, a modelagem estatística de extremos ainda permanece como assunto ativo de pesquisas dado seu importante papel nos projetos e gerenciamento de recursos hídricos, especialmente num contexto de mudanças climáticas (Katz et al, 2002).

A teoria de valores extremos é fundamental nestes casos para a modelagem destes eventos. Os fundamentos desta teoria foram desenvolvidos por Fisher-Tippett (1928), que definiram os três tipos possíveis de distribuições assintóticas de valores extremos, conhecidas como de Gumbel (tipo I), Fréchet (tipo II) e Weibull (tipo III) (Gumbel, 1958), casos especiais da Distribuição Generalizada de Valores Extremos desenvolvida por Jenkinson (1955). Além das distribuições de valores extremos, também são bastante utilizadas para descrever eventos raros as distribuições Log-normal e Pearson III (Sevruk e Geiger, 1981).

Diferentes distribuições, escolhidas entre as mais frequentemente utilizadas na descrição destas variáveis são consideradas, incluindo a de Gumbel, Log-

Normal, Pearson III, Fréchet e Weibull, que tem, respectivamente, como funções de densidade de probabilidade acumulada.

2.8.1 Distribuição de Gumbel

Em geral, as distribuições de valores extremos de grandezas hidrológicas ajustam-se satisfatoriamente à distribuição de Fisher-Tippett do tipo I, também conhecida como função de Gumbel (VILLELA E MATTOS, 1975; LEOPOLDO et al, 1984).

A distribuição de probabilidade de Gumbel é aplicada às séries históricas de valores extremos, especialmente, a precipitação máxima diária anual, sendo expressa por:

$$P = 1 - e^{-e^{-Y_{Tr}}} \quad (2.9)$$

onde P é a probabilidade de um valor extremo da série ser maior ou igual à magnitude de um determinado evento e Y_{Tr} a variável reduzida.

A variável reduzida da distribuição de Gumbel é obtida pela aplicação da função de distribuição de frequência de Chow:

$$Y_{Tr} = -\ln^{-\ln(1-1/Tr)} \quad (2.10)$$

e o evento extremo X_{Tr} dado por:

$$X_{Tr} = \bar{X} + K_{Tr} \cdot s \quad (2.11)$$

onde X_{Tr} é o evento extremo no decorrer do ano, \bar{X} a média dos valores extremos da série histórica e s o desvio-padrão dos valores extremos da série histórica e o fator de frequência $K_{Tr} = 0,45 + 0,78 Y_{Tr}$.

Estudando o ajustamento da distribuição de Gumbel a dados de precipitação pluviométrica máxima diária, coletados no período de 1914 a 1986 na Estação Climatológica Principal de Lavras, para o cálculo das precipitações máximas prováveis na estação chuvosa, Gomes et al (1989) concluíram que os dados das precipitações máximas diárias ajustaram-se à distribuição em períodos de um ano e um mês, exceto para julho e em períodos de 10 e 15 dias, houve ajustamento do modelo somente na estação chuvosa.

Vasconcellos (1998) ajustou um modelo para descrever a chuva diária da região de Jaboticabal . SP, e obteve aplicando à distribuição de Gumbel as curvas intensidade-duração-frequência, pela análise das precipitações máximas observadas, utilizando-se de registros históricos (1956 a 1995).

2.8.2 Distribuição Fréchet

A distribuição de Fréchet é uma forma particular da distribuição de valores extremos do Tipo II e segundo Naghettini e Pinto (2007), essa distribuição é conhecida também pela denominação Log-Gumbel, sendo expressa por:

$$P(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (2.12)$$

No caso dos valores máximos, a distribuição de Fréchet refere-se à forma assintótica limite para um conjunto de N variáveis aleatórias originais, independentes e igualmente distribuídas conforme um modelo, de cauda superior polinomial. A distribuição foi usada pela primeira vez na análise de frequência de vazões de

enchentes por Fréchet (1927), tendo, desde então, encontrado aplicações, como distribuição extrema de eventos hidrológicos máximos.

2.8.3 Distribuição Weibull

Segundo Catalunha et al (2002) a distribuição de Weibull é utilizada em análise hidrológica para eventos extremos, sendo pouco conhecida a sua utilização em séries climáticas. Tem como principal método de ajuste de distribuição o da máxima verossimilhança, que consiste em determinar os valores de γ e β pelas suas equações fundamentais.

A distribuição de Weibull a dois parâmetros tem como função de distribuição de probabilidades acumulada (FDA) a seguinte expressão:

$$P(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^\lambda} \quad (2.13)$$

onde α , β e λ são os parâmetros da distribuição de Weibull a 3 parâmetros e se caso $\alpha = 0$, é denominada de distribuição de Weibull a 2 parâmetros.

Em trabalho realizado em Minas Gerais, Catalunha et al (2002) concluiu que a distribuição Weibull tem um destacado desempenho para a estimativa diária da precipitação (decendial e mensal).

Em estudo pioneiro sobre chuvas intensas no Brasil, Pfafstetter (1957) utilizou séries de valores máximos de precipitações de 98 estações pluviográficas distribuídas em diversas regiões do país, para a construção de curvas IDF, utilizando a distribuição de valores extremos do tipo I.

Vários outros autores têm utilizado a distribuição de valores extremos do tipo I em estudos de precipitações máximas, seja para determinar a precipitação máxima provável ou o período de recorrência de chuvas máximas ou as curvas IDF, destacando-se Back (1996), Beltrame et al (1991), Eltz et al (1992), Leopoldo et al.

(1984), Nobukuni (2000), Vieira et al (1994) e Pinto (1999), dentre outros.

A variação da intensidade com a frequência está relacionada com a probabilidade de ocorrência ou superação do evento chuva, obtida, portanto, através uma função de distribuição de probabilidade que permite a extrapolação para um número maior em anos em relação ao número de anos de observação.

2.8.4 Distribuição Log-Normal

A distribuição log-normal tem como função de distribuição de probabilidades acumulada (FDA) a seguinte expressão:

$$P(x) = \frac{1}{(x-a)\sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_{-\infty}^x e^{-1/2 \left[\frac{(\ln(x-a)-\mu)}{\sigma} \right]^2} dx \quad (2.14)$$

onde μ e σ são, respectivamente, a média e o desvio padrão dos logaritmos da variável x e a o valor do limite inferior da amostra. A distribuição apresentada é chamada de distribuição log-normal a 3 parâmetros e, se caso o valor de $a = 0$ passa a ser chamada de distribuição log-normal a 2 parâmetros.

A distribuição log-normal mostrou-se adequada para predição das precipitações prováveis apenas nos meses de maior precipitação segundo Sampaio et al. (1999).

2.8.5 Distribuição Pearson III

Uma variável aleatória X possui uma distribuição de Pearson Tipo III se a variável $(X - \gamma)$ é distribuída conforme uma Gama com parâmetros de escala α e parâmetro de forma β ; de fato, se o parâmetro de posição γ , da distribuição Pearson do Tipo III, for nulo, essa distribuição reduz-se a uma Gama. Por essa

razão, a distribuição de Pearson Tipo III também recebe o nome de Gama de 3 parâmetros. A função de probabilidades acumuladas da distribuição Pearson Tipo III é expressa por:

$$P(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \int_{\gamma}^{\infty} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)} dx \quad (2.15)$$

A variável x é definida no intervalo $\gamma < x < \infty$. Em geral, o parâmetro de escala α pode ser positivo ou negativo. Entretanto, se $\alpha < 0$, a distribuição é limitada superiormente.

2.9 Testes de Aderência

A grande dificuldade relacionada com o desenvolvimento de modelos hidrológicos segundo Oliveira (2003) é a validação dos resultados obtidos, onde se deseja estabelecer evidências documentadas que prove um alto grau de garantia a um processo específico, garantindo consistentemente que os resultados estejam de acordo com a distribuição representada para o conjunto de dados.

Diversos procedimentos estatísticos convencionais têm sido usados para este fim, tais como teste de comparação de médias (teste t), testes de comparação de variâncias (desvio padrão) como teste F, intervalos de confiança e outros diferentes níveis de probabilidade, e para a comparação de frequências de dados agrupados são normalmente utilizados os testes qui-quadrado e Kolmogorov-Smirnov (OLIVEIRA, 2003).

O mesmo autor afirma que quando se ajusta uma distribuição de probabilidade a um conjunto de dados, trabalha-se com a hipótese de que a distribuição representa adequadamente aquele conjunto de informações.

Assim, Assis et al. (1996), comentam que em trabalhos de hidrologia, para se julgar a adequação do ajustamento dos dados observados a distribuição de frequência os testes estatísticos qui-quadrado (χ^2) e o de Kolmogorov-Smirnov tem sido bastante utilizados.

2.9.1 Qui-Quadrado (χ^2)

O teste do χ^2 é aplicado para verificar o ajustamento distribuição de probabilidade conhecida, no caso a gama, a uma amostra de dados de uma distribuição de probabilidade desconhecida.

No teste do χ^2 , a hipótese de nulidade admite que as frequências observadas se ajustem as frequências calculadas com a distribuição teórica (gama, exponencial, normal, Weibull) com seus parâmetros estimados com base nos dados amostrais. O valor de χ^2 é calculado por:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{i=k} \frac{(Fo_i - Fe_i)^2}{Fe_i} \quad (2.17)$$

onde k é o número de classes; Fo_i à frequência observada; Fe_i a frequência esperada, de acordo com a distribuição que se está sendo testada.

Se o valor do χ^2 calculado é menor que o $\chi^2_{1-\alpha, k-p-1}$, sendo esse último oriundo de uma distribuição com GL = $k \cdot p - 1$ graus de liberdade, sendo p o número de parâmetros estimados com base nos dados ($p = 2$, para o caso da distribuição gama) e α é o nível de significância estabelecido à hipótese de nulidade não é rejeitada e pode-se afirmar que os dados amostrais se aderem à distribuição teórica com um nível de significância α (lembrar que $\alpha = 1 - FX$).

Catalunha et al (2002) em trabalho realizado em Minas Gerais aplicando cinco funções de densidade de probabilidade a séries de precipitação, concluíram que o

teste do qui-quadrado apresentou melhores características para verificar o ajustamento de uma distribuição de probabilidade estimada a dados observados.

2.9.2 Kolmogorov-Smirnov

Esse teste é aplicado para verificar se os valores de uma certa amostra de dados podem ser considerados de uma população, com distribuição teórica pré-estabelecida.

Araújo et al (2001) utilizaram o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov a um nível de 5 % de probabilidade para verificar o ajuste dos dados pluviométricos mensais a função de distribuição de probabilidade normal e gama mista. O teste confronta duas distribuições de frequências acumuladas, uma $F(x)$ teórica e outra $F(x)$ derivada dos dados amostrais. O valor de D_{\max} é calculado por:

$$D_{\max} = \text{Max} |F'(x) - F(x)| \quad (2.18)$$

onde D_{\max} é a máxima diferença entre valores oriundos da distribuição teórica e empírica.

Se o valor do D_{\max} observado é menor que o D_{\max} obtido em tabelas, a um determinado nível de significância α , a hipótese de nulidade não é rejeitada e pode-se afirmar que os dados amostrais se aderem à distribuição teórica.

Para verificar a consistência dos dados simulados Virgens Filho e Cataneo (1999) submeteram os mesmos ao teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Em trabalho realizado em Londrina - PR o grau de ajuste a distribuição gama foi realizado através do teste de Kolmogorov-Smirnov, que comprovou que a série de dados é homogênea segundo Ribeiro e Cury Lunardi (1997).

Os dados de precipitação diária máxima em trabalho realizado por Beijo et al (2003) em Jaboticabal, SP, ajustaram-se a distribuição de Gumbel para períodos mensal e anual pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

2.9.3 Análise dos parâmetros de regressão linear

Alternativamente, pode-se verificar a aderência dos valores obtidos através de uma distribuição experimental à uma distribuição teórica através de análise dos coeficientes de regressão obtidos pelo ajustamento entre os valores do fator de recorrência (K_{Tr}) e os valores de diferentes períodos de retorno (Tr), expressos através da regressão linear ($Y = a + b \cdot X$), onde X são os valores de Y_{Tr} (equação 2.10) e Y o valor de K_{Tr} (equação 2.11).

Após a obtenção dos valores dos coeficientes da regressão linear será feito o teste t do coeficiente linear (a) que indicará se o seu valor é igual a -0.45 e o teste t do coeficiente angular (b) que indicará se o seu valor é igual a -0.78 .

Não existindo diferenças, estatisticamente significativas, entre os valores dos coeficientes que estão sendo comparados, pode-se admitir que a aderência entre os valores de K_{Tr} obtidos através de uma distribuição experimental ou empírica e os valores de K_{Tr} obtidos através da distribuição teórica.

2.10 Trabalhos sobre chuvas intensas no Brasil

Existem vários trabalhos que podem ser encontrados na literatura que tratam do tema chuvas intensas. Neste item pretende-se descrever alguns trabalhos referentes à modelagem da precipitação pluvial máxima diária desenvolvida no Brasil.

A modelagem de dados é a primeira etapa de um projeto que envolve um banco de dados e tem como seu principal objetivo o desenvolvimento de um modelo que contenha entidades e relacionamentos, e que com isso seja possível representas as especificações das informações do negócio (OLIVEIRA, 2000).

Em trabalho realizado por Pinto (1995), foram analisadas 29 estações pluviográficas distribuídas no Estado de Minas Gerais objetivando ajustar modelos teóricos de distribuição de probabilidade aos dados de chuvas intensas, com a finalidade de estabelecer a relação entre intensidade duração e frequência da

precipitação para essas estações e analisar a relação entre chuvas de diferentes durações e a chuva com duração de 24 horas, para obter fatores de conversão que possibilitassem a estimativa de chuvas de curta duração em locais onde as únicas informações disponíveis são provenientes de pluviômetros.

Cada série foi ajustada a distribuição de probabilidade Gumbel em razão do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov que a indicou como a melhor. A metodologia desenvolvida para obter chuvas de diferentes durações a partir da altura de chuva local com duração de 24 horas e período de retorno conhecido apresentou diferenças inferiores a 10%; quando comparada ao método de Gumbel, em 73,6% dos casos. Em 83,7% das estações, as diferenças de intensidade obtida pelos dois métodos foram inferiores a 15%, tendo sido considerados todas as durações e os períodos de retorno de até 15 anos. Esse índice é elevado para 95,4%, quando se consideram durações superiores a 10 minutos e períodos de retorno de até dez anos.

Robaina (1996) teve como objetivo testar o desempenho de um modelo desenvolvido para estimar chuvas intensas com durações menores do que 24 horas no Estado do Rio Grande do Sul, usando dados de chuvas coletados por pluviômetros. O modelo mostrou ser adequado, uma vez que os desvios máximos calculados foram em torno de 15%, quando as chuvas estimadas foram comparados com as chuvas observadas em 32 localidades daquele Estado.

Genovez (1987) com o objetivo apresentar os trabalhos já existentes sobre chuvas intensas no estado de São Paulo faz um comparativo entre os métodos existentes, para obter a intensidade da chuva, associada a uma dada duração e um período de retorno e resultou que, para a precisão da estimativa da intensidade depende da proximidade do local do estudo com o local onde exista uma boa série de dados de pluviógrafos observada, do intervalo de aplicabilidade da equação de chuva intensa disponível e principalmente do tamanho da série de dados utilizados para se obter os parâmetros da equação de chuva intensa.

A equação de chuvas intensas generalizadas de Chen (1983) apresenta um bom resultado, principalmente quando os valores dos parâmetros a_1 , b e c são estimados para a região em estudo, como foi feito no Estado de São Paulo. Para este caso, na média, o erro é inferior a 10%, mas para alguns postos os valores de intensidades, chegaram a 27%. Se o tamanho da série de dados do local em

questão for pequena, a equação de chuvas intensas generalizadas utilizando o parâmetro W e estimando os parâmetros a_1 , b e c deve ser utilizada, pois o erro é um pouco superior ao da equação com parâmetro W , mas é possível estimar o valor de W a partir das alturas de chuva máxima diária. Os locais estudados foram Ubatuba, Santos, Paranaguá, Campos do Jordão, São Simão, São Carlos, São Paulo, Avaré, Tatuapé, Lins, Piracicaba e Bauru.

No Estado da Bahia, em estudo realizado por Silva (2002), onde foram analisadas as séries históricas de precipitação pluvial de 19 estações pluviográficas operadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), objetivando-se ajustar modelos teóricos de distribuição de probabilidade aos dados de chuvas intensas e estabelecer a relação entre intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial. Para cada estação pluviográfica determinaram-se as séries de intensidade máxima anual das precipitações com durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos.

Os modelos probabilísticos testados foram os de Gumbel, Log-Normal a dois e três parâmetros, Pearson e Log-Pearson III. As equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial foram ajustadas utilizando-se o método de regressão não-linear de Gauss-Newton.

O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, utilizado para a verificação do ajuste dos modelos aos dados de chuvas intensas, evidenciou que o modelo de Gumbel foi o que melhor se ajustou para a maior parte das combinações entre estações pluviográficas e durações estudadas. Foram evidenciadas, para uma mesma duração, grandes variações nas intensidades de precipitação entre as estações estudadas.

Cruciani (2002), em trabalho versando sobre modelos da distribuição temporal de chuvas intensas verificadas em Piracicaba (SP), analisou dados de pluviogramas do período de 1966 a 2000, para determinar a distribuição temporal de chuvas intensas de 60 e de 120 min de duração. As chuvas de 60 min foram subdivididas em três intervalos iguais e sucessivos de 20 min cada um, enquanto as chuvas de 120 min foram subdivididas em quatro intervalos iguais e sucessivos de 30 min cada um. O modelo de distribuição da precipitação que predominou para as chuvas de 60 e 120 min, foi do tipo exponencial negativo, com 85,7 e 50,7% dos casos, respectivamente. Para as chuvas de 60 min, com altura pluviométrica média de 20,7

mm, a distribuição foi de 72,3, 21,4 e 6,2% do total precipitado, respectivamente, nos três intervalos sucessivos de 20 min. Para as chuvas de 120 min, com altura pluviométrica média de 33,3 mm, o resultado foi de 60,1, 25,2, 11,1 e 3,6%, respectivamente, nos quatro intervalos sucessivos de 30 min. O modelo de distribuição temporal dessas chuvas não foi modificado pelo total precipitado nem pela sua duração, nos intervalos em questão.

No estudo de chuvas intensas na bacia do rio São Francisco, Silva (2004) obteve os resultados da análise estatística das precipitações máximas anuais registradas em 218 postos pluviométricos da bacia. Estes possuíam número de anos observados maior ou igual a 15, com dados completos e, para cada ano, calculou-se a precipitação máxima acumulada de um, dois, três e quatro dias.

O autor testou o ajuste da distribuição Gumbel e ajustou a distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV) para as séries obtidas com cada duração de chuva. Os resultados mostram que a distribuição Gumbel não é adequada para ser ajustada em toda bacia. Calcularam-se as precipitações para 100 anos de tempo de retorno em cada posto. Os resultados são apresentados por semi variogramas e mostraram que a intensidade das chuvas na bacia do rio no São Francisco decresce com a distância, no sentido de montante para jusante, e são fortemente condicionadas pelo relevo e pela latitude.

Damé (2006) verificou o desempenho das estimativas de valores de intensidade-duração-frequência de ocorrência da precipitação (IDF), quando se utiliza o Método das Relações (MR) para desagregar a chuva diária e obter a IDF, para cinco cidades do Rio Grande do Sul (Bagé, Pelotas, Rio Grande, Santa Maria e Santa Vitória do Palmar). Foram utilizadas séries de dados de precipitação máxima diária, por meio da qual se constituíram séries de dados de precipitação máxima diária anual, uma para cada localidade, bem como cinco curvas IDF obtidas de dados pluviográficos. Comparou-se pelo cálculo do erro padrão da estimativa, os valores de intensidades máximas obtidos pelo MR com aqueles obtidos através da equação analítica, que representa a curva IDF, fazendo uso dos dados pluviográficos. A cidade que apresentou menor erro padrão da estimativa foi Pelotas, significando que a intensidade máxima de precipitação obtida com a equação IDF e o MR foram semelhantes. Porém, para as outras localidades isto não foi verificado. A razão pela qual isto tenha ocorrido pode ser atribuída aos limites de validade das

equações analíticas, tanto em termos de duração quanto ao período de retorno, bem como pelo fato das equações IDF de Pelotas e das demais localidades possuírem formas diferentes.

No Estado de Goiás, Oliveira (2008) com o objetivo de estimar as alturas de chuvas intensas, associadas a uma duração e frequência, desenvolveu uma rotina computacional para ajustar os parâmetros do modelo de Bell para alguns municípios do Estado de Goiás. Empregou séries históricas de precipitações diárias e de relações intensidade-duração-frequência disponíveis para alguns municípios. E determinou a relação entre a precipitação de 60 minutos e 1 dia de duração, para um período de retorno de dois anos.

O autor, através das informações regionalizadas, obteve a geração de mapas temáticos, visando a estimar a relação altura precipitada-duração-frequência para as localidades desprovidas de registros. O modelo de Bell ajustou-se perfeitamente, apresentando alternativa interessante na obtenção das alturas de chuvas intensas a partir de séries curtas. A partir da regionalização dos parâmetros ajustados permitiu a ampliação das equações que expressam a relação entre a precipitação máxima para diferentes durações e o período de retorno com baixos valores no erro padrão da estimativa.

Sansigolo (2008), em seu estudo sobre distribuições de extremos de precipitação diária em Piracicaba SP, usando uma série de dados de 1917 a 2006, concluiu que a distribuição de Gumbel foi a que melhor se ajustou aos extremos de precipitação máxima diária. São apresentados resultados sobre os valores esperados, assim como seus intervalos de confiança, para períodos de retorno de até 500 anos.

Analisando os pluviogramas da estação meteorológica Urussanga (SC), referentes ao período de 1981 a 2004, Back (2008) estabeleceu a relação entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas naquela estação meteorológica. A partir das séries de chuvas máximas anuais foram estimadas, por meio da distribuição de Gumbel, as chuvas máximas com durações variando de 5 min a 24 h, e também para a duração de 1 dia considerando-se os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos. A aderência dos dados ao modelo de Gumbel foi comprovada através do teste de Kolmogorov-Smirnov, com nível de significância de 5%.

A razão entre a precipitação máxima de 24 h e a precipitação máxima de 1 dia variou de 1,17 para o período de retorno de 2 anos até 1,11 para o período de retorno de 100 anos, com média de 1,13. Ajustaram-se os coeficientes da equação proposta por Bell a fim de estimar a relação entre a chuva com duração t min e período de retorno T anos, em função da chuva máxima com período de retorno de 10 anos e duração de 1 h. Do mesmo modo, se ajustaram também os coeficientes da equação de Bell cuja base foi a chuva máxima com período de retorno de 10 anos e duração de 1 dia.

Oliveira et. al (2000), procederam à estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades do Estado de Goiás com o emprego da metodologia da desagregação da chuva de 24h, o que permitiu a comparação dos resultados das intensidades de precipitação máximas obtidas pelas equações ajustadas com base em dados de pluviogramas. A metodologia empregada neste estudo permitiu gerar a relação intensidade-duração-frequência com base em dados pluviométricos e se mostrou adequada com valores de erro relativo médio menores que 14,4% o que permite sua utilização em localidades em que não há disponibilidade de registros pluviográficos.

Soprani e Reis (2007) determinaram uma equação de chuvas intensas para a bacia do Rio Benevente, Espírito Santo onde foi permitido avaliar o padrão de comportamento das chuvas intensas e estabelecer estimativas preliminares dessas chuvas nesta bacia hidrográfica, fornecendo informações para qualquer empreendimento que necessitem desse tipo de informação. Para a obtenção da equação de intensidade-duração-frequência de precipitação foi empregada a metodologia de Chow-Gumbel e apresentaram semelhante forma. As variações nos valores de intensidade pluviométrica não demonstraram relação direta com a altitude para as estações pluviográficas estudadas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os métodos que foram utilizados para a realização do trabalho, com a descrição dos parâmetros que interferem na precipitação pluvial máxima, a fonte de obtenção dos dados, a estimativa dos parâmetros a partir das séries históricas ou observadas, o ajustamento desses parâmetros, a comparação entre os valores estimados por modelos matemáticos e os valores observados nas estações utilizadas.

3.1 Determinação das chuvas de diferentes durações e tempos de retorno

As chuvas intensas são representadas por equações do tipo PDF expressas por:

$$P(t,T) = FT(T) \cdot FD(t) \cdot P(24,T) \quad (2.23)$$

na qual $P(t,T)$ é a altura pluviométrica de uma chuva de tempo de duração t e período de retorno T , $P(24,T)$ é a altura pluviométrica de uma chuva de tempo de duração de 24 h no mesmo período de retorno T , $FD(t)$ é a função de desagregação e $FT(T)$ a função período de retorno.

A equação (2.23) é do tipo PDF, mas pode ser transformada no tipo IDF pela simples divisão pelo tempo de duração (t) da chuva, ou seja:

$$I(t,T) = FT(T) \cdot FD(t) \cdot I(24,T) \quad (2.24)$$

onde $I(t,T)$ é a intensidade de uma chuva de tempo de duração t e período de retorno T , $I(24,T)$ é a intensidade de uma chuva de tempo de duração de 24 h no mesmo período de retorno T , sendo $FD(t)$ é a função de desagregação e $FT(T)$ a função período de retorno.

3.2 Área de estudo

A área de estudo e modelagem da quantidade de precipitação pluvial máxima em relação a diferentes durações e frequência de ocorrência foi limitada ao território do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A Figura 3.1 apresenta as regiões hidrográficas do Rio Grande do Sul e suas respectivas bacias hidrográficas.

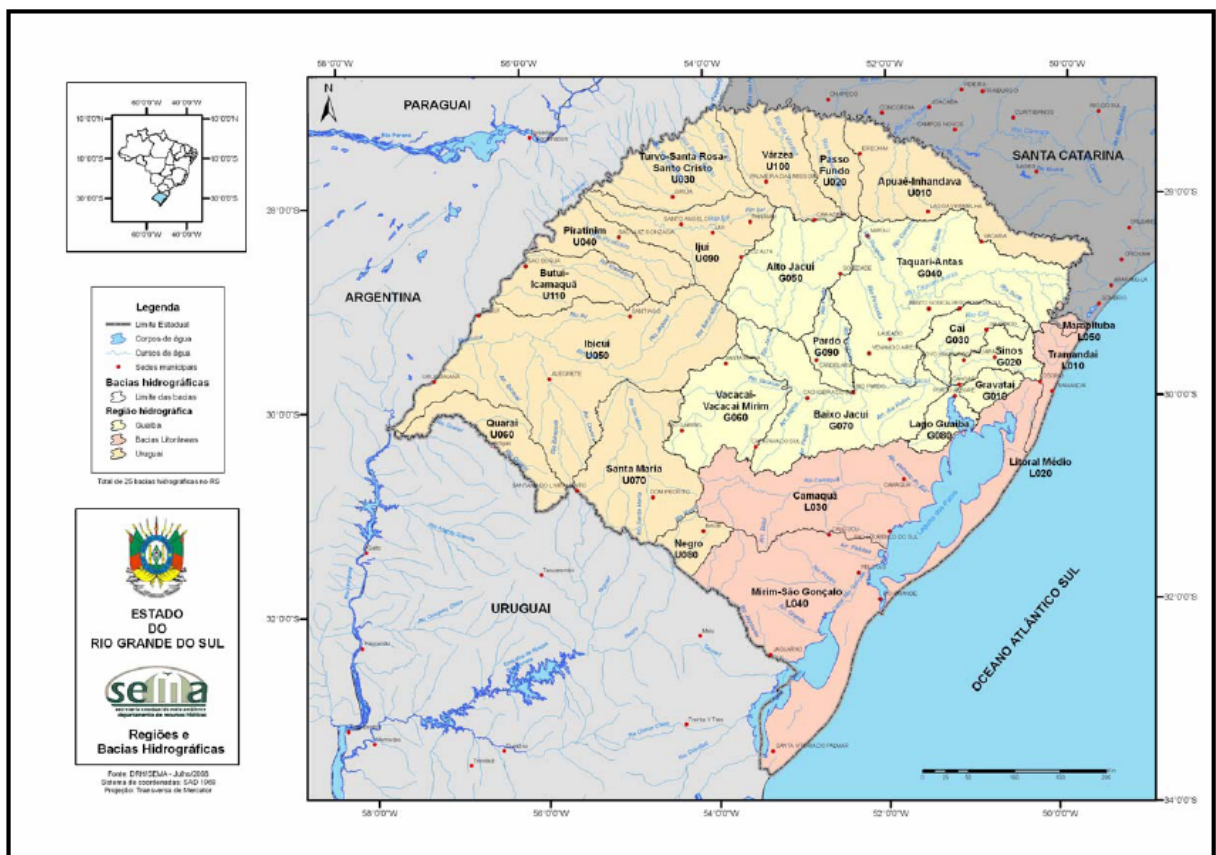


Figura 3.1 – Regiões hidrográficas do RS e suas respectivas bacias hidrográficas.

De acordo com o Departamento de Recursos hídricos (DRH) da Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (SEMA/RS), o estado é dividido em 3 regiões hidrográficas: a do Uruguai, a do Guaíba e a Litorânea, totalizando 25 bacias hidrográficas. A região hidrográfica do Uruguai é composta de 11 bacias hidrográficas, a região hidrográfica do Guaíba é composta por 9 bacias hidrográficas e a região hidrográfica Litorânea por 5 bacias hidrográficas.

3.3 Obtenção dos dados pluviométricos

Os dados de precipitação pluviométrica utilizados para a realização deste trabalho encontram-se disponíveis para as diferentes localidades do Estado do Rio Grande do Sul na Agência Nacional de Águas (ANA), que atualmente é o órgão responsável pela gestão das águas no território brasileiro.

O acesso a esses dados foi obtido através do endereço eletrônico <http://hidroweb.ana.gov.br> que a entidade mantém. A obtenção dos dados se inicia pela secção “Dados Hidrológicos”, através da tela principal mostrada na Figura 3.2.



Figura 3.2 – Tela principal do Sistema de Informações Hidrológicas HidroWeb.

A sequência para o acesso ao arquivo da estação pluviométrica que contém os dados de chuva desejados é feita a partir de uma segunda tela como mostra a Figura 3.3, que solicita informações para que a seleção seja feita de acordo com a necessidade.

Séries Históricas

Consultando o banco de dados... ▼ Nova Consulta

4 registros selecionados.

Resultado da Consulta

Código	Nome	Sub-bacia	Rio	Estado	Município	Responsável	Operadora
02855001	GARRUCHOS	75	-	RIO GRANDE DO SUL	SÃO BORJA	ANA	CPRM
75550000	GARRUCHOS	75	RIO URUGUAI	RIO GRANDE DO SUL	SÃO BORJA	ANA	CPRM
75550001	GARRUCHOS - BRASIL	75	RIO URUGUAI	RIO GRANDE DO SUL	SÃO LUIZ GONZAGA	ELETROSUL	ELETROSUL
75550002	GARRUCHOS - BRASIL - JUSANTE	75	RIO URUGUAI	RIO GRANDE DO SUL	SÃO LUIZ GONZAGA	ELETROSUL	ELETROSUL

Escolha as estações para consulta às respectivas séries históricas de dados **consistidos** (cotas, vazões, qualidade da água etc.):

Formulário de Consulta

Código (8 dígitos): até (Ex.: 1 até 10000000)

Tipo de Estação:

Nome (primeiras letras): (Ex.: Barra Mansa)

Rio (primeiras letras): (Ex.: Javari)

Sub-bacia (código): (Ex.: 10)

Bacia (código): (Ex.: 1)

Município (primeiras letras): (Ex.: Itaperuna)

Estado (primeiras letras): (Ex.: Rio de Janeiro)

Responsável (sigla): (Ex.: ANA)

Operadora (sigla): (Ex.: CPRM)

Estação telemétrica:

Altitude (m): até (Ex.: 100 até 200)

Área de drenagem (km2): até (Ex.: 10000 até 20000)

GARRUCHOS (02855001)

Dados da Estação

Código	02855001
Nome	GARRUCHOS
Código Adicional	-
Bacia	RIO URUGUAI (7)
Sub-bacia	RIOS URUGUAI, IJUÍ E OUTROS (75)
Rio	-
Estado	RIO GRANDE DO SUL
Município	SÃO BORJA
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-28:11:16
Longitude	-55:38:13
Altitude (m)	60
Área de Drenagem (km2)	-

Consultar série de:

CHUVAS : Banco de dados (formato de...

Objetos

- Bacia
- Chuvras
- Clima
- Cotas
- CurvaDescarga
- CurvaDescargaTabelaVazao
- Entidade
- Estacao
- Estado
- Identificadores
- Imagem
- Leia_me
- Município
- PerfilTransversal
- PerfilTransversalVer
- PlanTrab
- PlanTrabPonto
- QualAgua
- QualAguaStatus
- ResumoDescarga
- Rio
- Sedimentos
- SubBacia
- Usuario

Download de arquivo

Fazendo o download do arquivo:
CHUVAS.zip de hidroweb.ana.gov.br

Deseja abrir o arquivo ou salvá-lo no computador?

Sempre perguntar antes de abrir arquivos deste tipo

Figura 3.3 – Seqüência de telas mostrando o caminho para acesso e download dos dados de chuva da estação pluviométrica selecionada.

A estação escolhida dentro de cada região possui um arquivo de dados de chuva em formato de banco de dados MS Access[®] no formato TXT, com vários anos de dados de precipitação pluviiais diários armazenados, uma tabela (do banco de dados) identificada pelo nome “Chuvas” como pode ser visto na Figura 3.4 (Exemplo para o formato do Access).

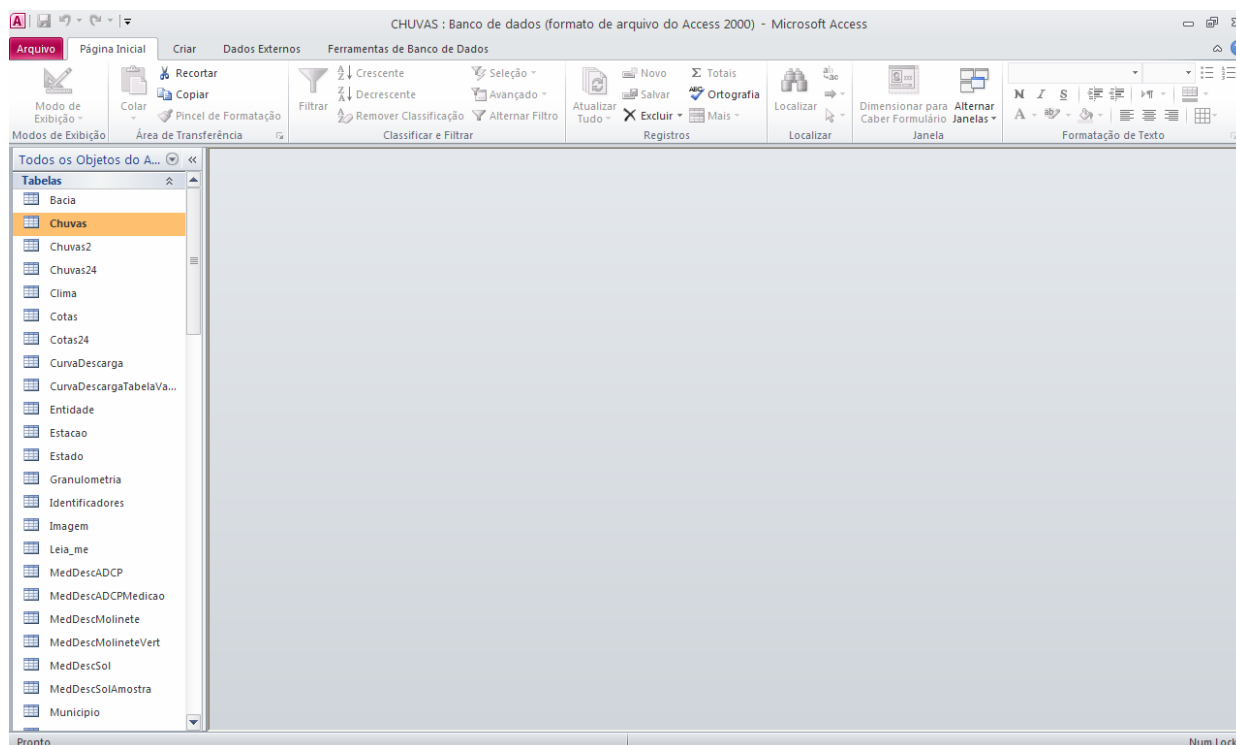


Figura 3.4 – Tela do arquivo de dados da estação selecionada em formato de banco de dados MS Access[®].

Inicialmente foram selecionadas as estações pluviométricas que estão sob a responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), que se situam no Estado do Rio Grande do Sul e armazenados pelo Sistema de Informações Hidrológicas – HidroWeb.

Os arquivos selecionados e salvos com o nome da estação pluviométrica, se referem a 194 estações encontradas na pesquisa de dados de chuva no sistema HidroWeb.

Foram feitos o download dos dados das estações encontradas na pesquisa através do arquivo no formato Access, este arquivo foi salvo no computador para que fosse feita a seleção das estações pelos anos que a série tem de dados, após

essa seleção, os dados foram tabulados, e selecionados as maiores precipitações anuais.

Dentre as 194 estações pluviométricas que apresentam dados de chuva armazenados foram utilizadas somente as estações que possibilitaram a formação de séries históricas anuais maiores 10 anos de informações, desta forma foram selecionadas 130 estações e a Figura 3.5 mostra a distribuição geográfica de cada estação.

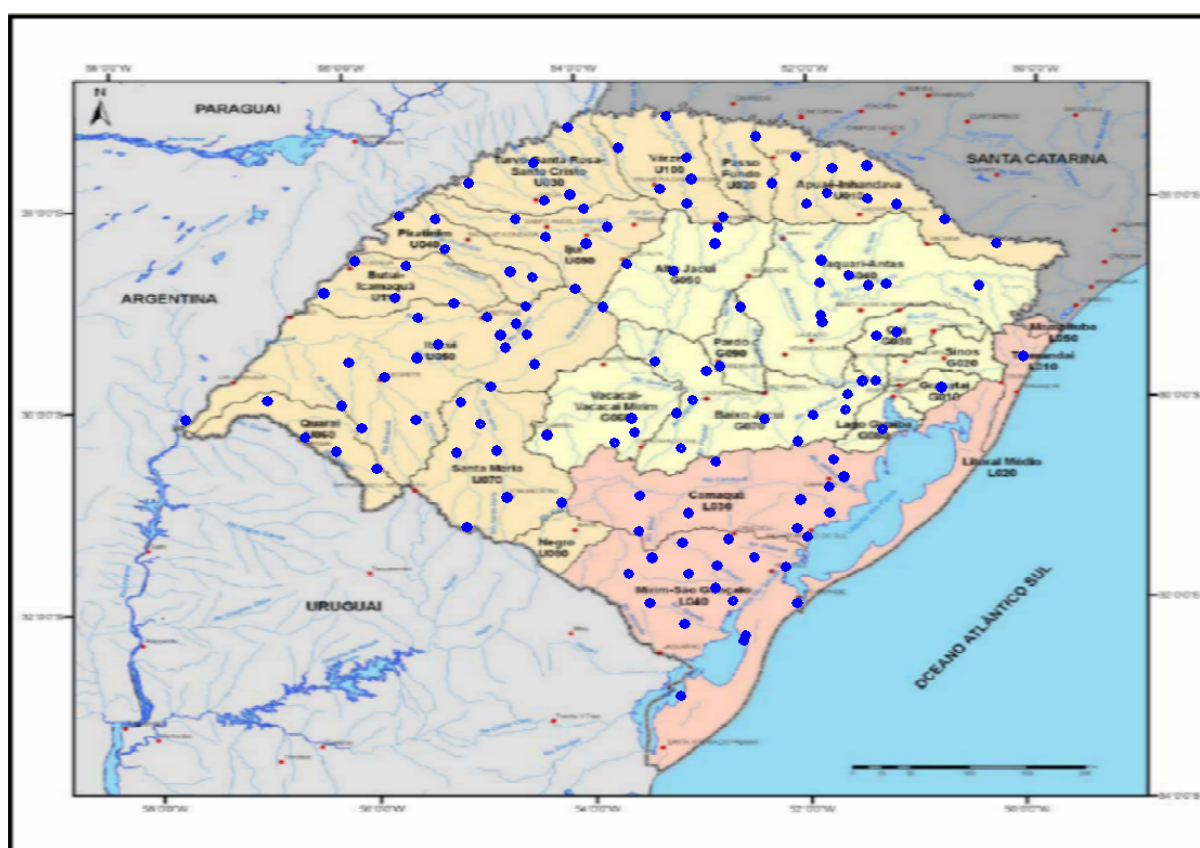


Figura 3.5 – Distribuição geográfica das 130 estações pluviométricas com séries históricas maiores que 10 anos de dados.

O Anexo A mostra a relação das estações pluviométricas, com o código de identificação, o nome da estação, o município onde está localizada, a bacia hidrográfica, a entidade responsável, as coordenadas geográficas, a altitude, ano de início de operação e o tamanho da série histórica de dados de chuvas máximas anuais.

A distribuição das estações dentro de cada região hidrográfica ocorre da seguinte forma: a região hidrográfica do Guaíba, a bacia hidrográfica do rio Gravataí (G010) contribuí com 1 estação, a bacia do rio Caí (G030) com 3 estações, a bacia dos rios Taquari-Antas (G040) com 8 estações, a bacia do rio Alto Jacuí (G050) 3 estações, a bacia dos rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim (G060) com 5 estações, a bacia do rio Baixo Jacuí (G070) com 11 estações, a bacia do Lago Guaíba (G080) com 1 estação e a bacia do rio Pardo (G090) com 2 estações pluviométricas.

Da região hidrográfica Litorânea, a bacia do rio Tramandaí (L010) contribuí com 1 estação, a bacia do rio Camaquã (L030) com 10 estações e a bacia do sistema Mirim-São Gonçalo (L040) com 16 estações pluviométricas.

Da região hidrográfica do Uruguai, a bacia hidrográfica dos rios Apuaê-Inhandava (U010) contribuí com 9 estações, a bacia do rio Passo Fundo com 2 estações, da bacia dos rios Turvo-Santa Rosa-Santo Cristo (U030) com 7 estações, da bacia do rio Piratinim (U040) com 5 estações da bacia do rio Ibicuí (U050) com 14 estações, da bacia do rio Quaraí (U060) com 7 estações, da bacia do rio Santa Maria (U070) com 8 estações, da bacia do rio Ijuí (U090) com 6 estações, da bacia do rio Várzea (U100) com 6 estações e da bacia dos rios Butuí-Icamaquã (U110) com 5 estações pluviométricas.

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos (G020), do Litoral Médio (L020), do rio Mampítuba (L050) e do rio Negro (U080) não apresentaram nenhuma estação pluviométrica com séries históricas de chuvas máximas anuais com mais de 10 anos de dados.

3.4 Verificação das diferentes funções de desagregação de chuvas – FD (t)

3.4.1 Estações pluviométricas utilizadas

A Figura 3.6 mostra a distribuição das 27 estações pluviométricas que são utilizadas para a verificação das diferentes funções de desagregação. As 27 estações pluviométricas, são as mesmas que foram utilizadas no trabalho de chuvas

intensas realizado por Beltrame et al (1991), no Estado do Rio Grande do Sul e podem ser encontradas no Anexo B.

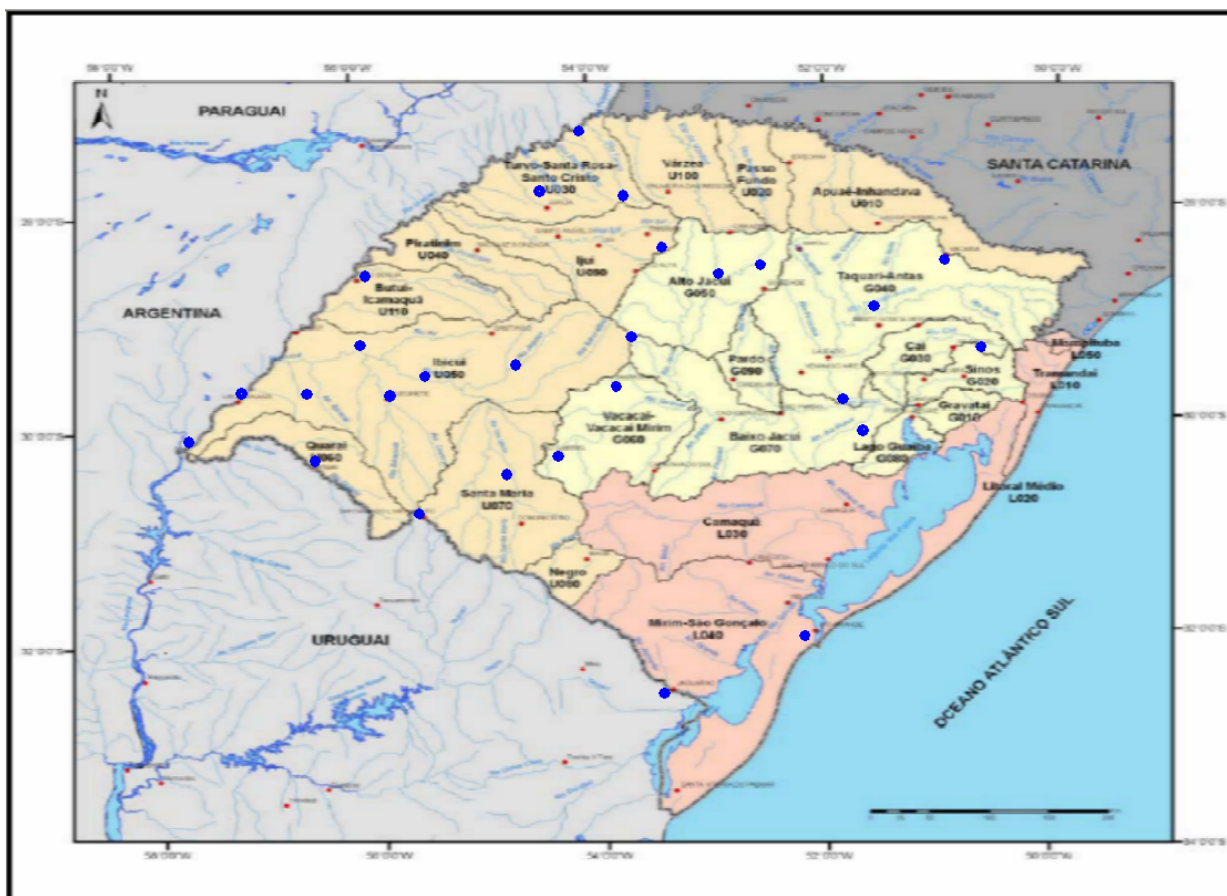


Figura 3.6 – Distribuição das 27 estações pluviométricas utilizadas para a validação dos diferentes métodos de desagregação de chuvas máximas.

Os dados de chuva fornecidos por estas estações servirão de base para a modelagem e validação das diferentes metodologias de desagregação de chuvas a partir das chuvas de 24 horas de duração.

Essa fase servirá para verificar qual método de desagregação poderá ser utilizado para se obter as equações de intensidade-duração-frequência para todas as outras estações pluviométricas do Rio Grande do Sul.

3.4.2 Metodologias de desagregação testadas

Segundo Bertoni e Tucci (2002), os métodos de relação de durações se baseiam no fato de que as relações entre as intensidades médias máximas de diferentes durações possuem uma grande similaridade para diferentes locais (com uma leve variação de acordo com o tempo de retorno).

Foram utilizadas funções de desagregação de chuvas obtidas a partir dos trabalhos de:

- a) Bell (1969);
- b) Chen (1983) e Hernandez (1991);
- c) Robaina e Peiter (1992) e Robaina (1996);
- d) CETESB (1979).

Todas as funções de desagregação obtidas a partir dos trabalhos citados podem ser enquadradas como métodos de relações das durações e estão relacionados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Métodos de desagregação utilizados, símbolo de identificação adotada e origem do método de desagregação utilizado.

Método	Símbolo	Identificação do método de desagregação – FD(t)
1	FDBE	Bell (1969)
2	FDCH	Chen (1983) e Hernandez (1991)
3	FDRP	Robaina e Peiter (1992) e Robaina (1996)
4	FDCT	CETESB (1979)

Para a aplicação do método FDCT (Função logística) são determinados os respectivos coeficientes através da técnica de otimização não linear disponível no programa computacional Table Curve 2.0 da Jandel Scientifics.

Os valores observados das relações de duração são fornecidos por Beltrame et al (1991) para os tempos de duração de 10, 20, 30, 45, 60, 240, 360, 720 e 1440 minutos.

3.4.3 Avaliação do ajustamento das funções de desagregação

Os resultados das relações de duração calculados com as diferentes funções de desagregação são comparadas com os valores da relação de durações fornecidos pelo trabalho de Beltrame et al (1991).

A avaliação do desempenho dos modelos de desagregação de chuva foi feita pelo índice de desempenho (I_d), proposto por Camargo e Sentelhas (1997) cujo valor é o produto do coeficiente de correlação e o índice de concordância ($I_d = r \cdot I_W$).

O critério de interpretação do índice de desempenho e das respectivas classes de desempenho utilizadas neste trabalho foi feito de acordo com Costa (2004), pode ser visto pela Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Critério de interpretação dos valores do índice desempenho e as respectivas classes de desempenho.

Critério de interpretação do índice de desempenho - I_d				Classes de desempenho	
0,85	<	d			Ótimo
0,76	<	d	≤	0,85	Muito Bom
0,66	<	d	≤	0,76	Bom
0,61	<	d	≤	0,66	Mediano
0,51	<	d	≤	0,61	Ruim
0,41	<	d	≤	0,51	Muito Ruim
		d	≤	0,41	Péssimo

O coeficiente de correlação (r) é obtido da regressão linear $Y = a + b \cdot X$, entre os valores da função de desagregação (X) e os valores da função de desagregação fornecidos por Beltrame et al (1991).

O coeficiente de correlação r pode ser estimado por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2][\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2]}} \quad (2.25)$$

onde E_i são os valores estimados, O_i os valores observados, \bar{E} a média dos valores estimados e \bar{O} a média dos valores observados.

O coeficiente de correlação (r) permite quantificar o grau de associação entre as duas variáveis envolvidas na análise (SCHNEIDER, 1998). Seu campo de variação é de -1 a 1 e quanto maior o seu valor absoluto maior o grau de associação.

Com o mesmo conjunto de dados foi determinado o índice de concordância de Willmott, calculado por:

$$I_w = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n \left(\left| E_i - \bar{O} \right| + \left| E_i - \bar{E} \right| \right)^2} \quad (2.26)$$

onde E_i é o valor da observação estimada, O_i é o valor da observação medida e \bar{E} é a média dos valores da observação estimada e \bar{O} é a média da observação medida.

3.4.4 Verificação das diferentes funções do período de retorno – FT (T)

Os valores de chuvas máximas diárias com intervalo de 1 dia de observação serão convertidas em chuvas máximas de 24 horas de duração, sendo ordenados em ordem decrescente.

Foram determinados os períodos de retorno utilizando-se diferentes fórmulas de posições de plotagem (como, por exemplo, as fórmulas de Weibull, Gringorten, Blom, Hazen e Cunane) e foi verificada a aderência da distribuição empírica de probabilidades à distribuição teórica de probabilidades de Gumbel.

3.4.4.1 Conversão da chuva máxima de 1 dia para chuva de 24 horas

No presente estudo a conversão da chuva de 1 dia de intervalo de observação para a chuva de 24 horas de duração será feita utilizando-se o fator de conversão igual a 1,13, de acordo com o descrito por CETESB (1979).

3.4.4.2 Determinação do tempo de retorno da série ordenada

O tempo de retorno (inverso da frequência de ocorrência) das precipitações máximas de 1 dia de intervalo de observação (ou de 24 horas), após a sua ordenação em ordem decrescente, foram estimadas, para cada estação a ser analisada, através de diferentes fórmulas estipuladas na Tabela 2.1 de posições de plotagem.

3.4.4.3 Ajuste a uma distribuição teórica do período de retorno

Essa análise será realizada com o auxílio da distribuição probabilística de Gumbel (1958), que segundo Villela e Mattos (1975), Garcez e Alvarez (1988) e Silveira e Silveira (2001), se ajusta adequadamente a eventos extremos.

A distribuição de probabilidade de Gumbel é aplicada às séries históricas de valores extremos, especialmente, a precipitação máxima diária anual, sendo expressa por:

$$P(t, T) = P(24, T) + s. \{a + b. \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]\} \quad (2.27)$$

onde $P(t, T)$ é o evento extremo no decorrer do ano, $P(24, T)$ a média dos valores extremos da série histórica, s o desvio-padrão dos valores extremos da série e o valor de $a = -0.45$ e $b = -0.78$, aproximadamente.

O conjunto de dados que será obtido pela aplicação dos dois procedimentos propostos serão analisados comparando-se os valores obtidos através da regressão linear ($Y = a + b \cdot X$), sendo que X é o valor de $\ln[-\ln(1-\frac{1}{T})]$ e Y é o valor de $\frac{P(t,T) - P(24,T)}{s}$.

Após a obtenção dos valores a e b da regressão linear será feito o teste t do coeficiente linear (a) que indicará se $a = -0.45$ e o teste t do coeficiente angular (b) que indicará se $b = -0.78$. Sendo verdadeiras as duas hipóteses testadas quanto aos valores de a e b poderá se admitir que não há diferença significativa entre os procedimentos que foram comparados.

3.4.4.4. Funções período de retorno – FT (T)

Foram utilizadas funções período de retorno obtidas a partir dos trabalhos de Pfasftetter (1962), Bell (1969), Beltrame et al (1991), Robaina e Peiter (1992), que é a mesma de Robaina (1996).

A Tabela 3.3 mostra as diferentes funções de período de retorno que serão utilizadas neste trabalho.

Tabela 3.3 – Métodos, símbolo de identificação adotada, equação representativa e origem do método do período de retorno utilizado.

Método	Símbolo	Função período de retorno	Referência
1	FT ₁	FT (T) = a ₁ + b ₁ ln [-ln (1-1/T)]	Gumbel (1958)
2	FT ₂	FT (T) = T ^{a₂} + b ₂ / T ^{0.25}	Pfasftetter (1962)
3	FT ₃	FT (T) = a ₃ + b ₃ lnT	Bell (1969)
4	FT ₄	FT (T) = a ₄ T ^{b₄}	Robaina e Peiter (1992)

3.4.5 Alturas de chuvas de diferentes durações e tempos de retorno

A determinação das alturas de chuvas de diferentes durações e tempos de retorno foi feita através da expressão $P(t,T) = FT(T) \cdot FD(t) \cdot P(24,T)$ ou $I(t,T) = FT(T) \cdot FD(t) \cdot I(24,T)$, já identificadas anteriormente pelas equações (2.23) e equação (2.24), respectivamente).

3.4.6 Determinação dos coeficientes das equações PDF (ou IDF)

Os coeficientes das equações de chuvas máximas para as diferentes bacias hidrográficas do RS foram determinados através do ajustamento, pelo método dos mínimos quadrados, dos valores da altura de chuva (ou intensidade) e seus respectivos tempos de duração, através de uma técnica de otimização não linear linear, disponível no programa computacional Table Curve 2.0 da Jandel Scientifics.

3.4.7 Espacialização dos coeficientes das equações PDF (ou IDF)

Os coeficientes das equações de chuvas máximas para as diferentes bacias hidrográficas do RS serão mostrados em mapas de isovalores, para cada coeficiente (a, b, c, d) das equações de chuvas intensas, seja do tipo PDF ou IDF, elaborado através do georreferenciamento de diferentes temas com um programa computacional (ArcMap™ 9.3 da ESRI).

Os mapas foram gerados sobre um mapa do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:5000000, georreferenciado ao Datum SIRGAS2000.

As linhas de isovalores foram geradas, a partir da interpolação dos dados, ponderados pelo inverso da distancia, para cada tema das 130 estações pluviométricas do RS.

Os nove temas utilizados foram a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação das chuvas máximas, os coeficientes linear e angular da distribuição de extremos de Gumbel, os coeficientes (a, b, c, d) da equação de chuvas intensas tipo PDF e os coeficientes (a, b, c, d) da equação de chuvas intensas tipo IDF.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos serão tratados considerando-se uma fase do trabalho como validação das metodologias de desagregação e de período de retorno para as quais foram utilizadas 27 estações pluviométricas e outra fase do trabalho como aplicação das metodologias propostas para as quais foram utilizadas as 130 estações pluviométricas selecionadas para o Estado do Rio Grande do Sul.

4.1 Validação das diferentes funções do período de retorno $\hat{E}_{FT}(T)$

Para realizar a verificação das diferentes funções do período de retorno, inicialmente foram selecionados os valores das chuvas máximas de 24 horas de duração, convertidas a partir das chuvas máximas de 1 dia fornecidas pelos arquivos dos dados de 27 estações pluviométricas correspondentes a 12 bacias hidrográficas do RS.

Para a bacia hidrográfica G030 foi selecionada a estação pluviométrica Barragem do Blang, para a bacia G040 as estações, Taquari, Vacaria e Veranópolis, para a bacia G050 as estações Usina Colorado e Usina Ernestina, para a bacia G060 as estações Santa Maria e São Gabriel, para a bacia G070 a estação Guaíba, para a bacia L040 as estações Jaguarão e Rio Grande, para a bacia U030 as estações Alto Uruguai, Santa Rosa e Santo Augusto, para a bacia U050 as estações Alegrete, Jaguarí, Júlio de Castilhos, Manoel Viana, Passo Mariano Pinto, Plano Alto e Uruguaiana para a bacia U060 as estações Barra do Quaraí e Quaraí, para a bacia U070 as estações Granja Umbu e Santana do Livramento, para a bacia G090 a estação Ijuí e para a bacia U110 a estação pluviométrica São Borja.

4.1.1 Valores estatísticos das precipitações máximas

Os valores das características estatísticas das precipitações máximas das diferentes bacias hidrográficas representam o valor médio das estações pluviométricas quando a bacia apresentava mais de uma estação e pela estação quando está era única.

Na Tabela 4.1 pode-se observar o valor médio das chuvas máximas (\bar{P}_{24}), o valor do desvio padrão (σ), o valor do coeficiente de variação (cv), o número médio de anos (n) das séries da estação, os valores do coeficiente linear (a) e do coeficiente angular (b) da distribuição de Gumbel, o coeficiente de determinação (r^2) e o nível de significância dos valores dos coeficientes a e b, para 12 bacias hidrográficas do RS.

Tabela 4.1 - Valores das características estatísticas das precipitações máximas nas diferentes bacias hidrográficas.

Nº	BH	\bar{P}_{24}	σ	cv	n	a	s_a	b	s_b	r^2
1	G030	77,4	27,5	0,36	23	-0,4447	NS	-0,7952	NS	0,9498
2	G040	86,4	24,2	0,28	42	-0,4468	NS	-0,7899	NS	0,9495
3	G050	104,5	29,6	0,28	33	-0,4526	NS	-0,8034	NS	0,9747
4	G060	112,4	35,5	0,32	37	-0,4490	NS	-0,7970	NS	0,9620
5	G070	95,8	37,3	0,39	40	-0,4548	NS	-0,8033	NS	0,9731
6	L040	90,9	34,7	0,38	29	-0,4399	NS	-0,7820	NS	0,9156
7	U030	106,1	35,7	0,34	40	-0,4442	NS	-0,7861	NS	0,9367
8	U050	123,6	38,5	0,31	40	-0,4507	NS	-0,8020	NS	0,9645
9	U060	108,3	29,9	0,28	30	-0,4530	NS	-0,8046	NS	0,9546
10	U070	103,9	33,6	0,32	49	-0,4539	NS	-0,8012	NS	0,9712
11	U090	106,1	26,5	0,25	34	-0,4565	NS	-0,8088	NS	0,9745
12	U110	104,0	22,1	0,21	28	-0,4529	NS	-0,8058	NS	0,9868
Média		101,6	31,2	0,31	35	-0,4499		-0,7983		0,9594
D. Padrão		12,3	5,4	0,05	7					

A Tabela 4.1 mostra uma variação nos valores na média das chuvas máximas das diferentes bacias entre 77,4 e 123,0 mm, o que significa uma variação de $\pm 0,78$ do desvio padrão (31,2 mm), o que corresponde a uma probabilidade de 78%, aproximadamente, das observações estarem contidas neste intervalo.

Os valores dos coeficientes a e b da distribuição de eventos extremos tipo Gumbel mostra uma elevada correlação entre os valores do período de retorno obtidos pela fórmula de posição de plotagem de Cunane (equação 2.4) e os valores obtidos com a distribuição teórica de Gumbel ($a = - 0.45$ e $b = - 0.78$). Existe uma aderência forte entre esses valores o que pode ser vista pelos valores das colunas dos coeficientes a e b e pelo grau de significância obtido na coluna 8 (nível de significância que expressa o quanto o valor de a k - 0.45) e na coluna 10 (nível de significância que expressa o quanto o valor de b k - 0.78).

Esses resultados mostram que os valores das chuvas máximas de 24 horas para diferentes períodos de retorno nas diferentes bacias hidrográficas podem ser estimados pela distribuição tipo Gumbel, utilizando os coeficientes teóricos $a = - 0,45$ e $b = - 0,78$.

4.1.2 Estimativa dos valores das funções período de retorno $\hat{F}_T(T)$

A função período de retorno representa a relação entre uma chuva de duração qualquer t e período de retorno T e a chuva média de duração t qualquer.

A relação da altura da chuva máxima em diferentes períodos de retorno e o valor médio, pode ser calculado pela expressão:

$$F_T(T) = \frac{P(24,T)}{\bar{P}} = 1 + cv \left\{ a + b \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad [4.1]$$

onde $F_T(T)$ é a função período de retorno chuva de 24 horas de duração, cv o valor do coeficiente de variação, (obtidos na quinta coluna da Tabela 4.1).

Os valores dos coeficientes da função período de retorno (a e b), que aderiram aos dados, obedecendo a teoria de Gumbel, utilizados na equação 4.1 são os valores que aparecem nas colunas 6 e 8, da Tabela 4.1, respectivamente.

Na Tabela 4.2 podem ser vistos os valores da função período de retorno (relação entre a chuva máxima de 24 horas de duração em diferentes tempos de retorno e o valor médio da chuva máxima) em diferentes bacias hidrográficas do RS estimados com a equação 4.1.

Tabela 4.2 . Valores da relação da chuva máxima de 24 horas de duração em diferentes tempos de retorno e a chuva máxima média de 24 horas de duração em 12 bacias hidrográficas do RS.

N°	BH	Tempo de retorno (anos)									
		2	5	10	15	20	25	50	75	100	1000
1	G030	0,9409	1,2592	1,4699	1,5888	1,6720	1,7361	1,9337	2,0485	2,1297	2,7776
2	G040	0,9546	1,1992	1,3611	1,4525	1,5165	1,5657	1,7175	1,8058	1,8682	2,3661
3	G050	0,9540	1,2016	1,3655	1,4579	1,5227	1,5726	1,7262	1,8155	1,8787	2,3825
4	G060	0,9475	1,2304	1,4177	1,5234	1,5974	1,6544	1,8299	1,9320	2,0042	2,5801
5	G070	0,9360	1,2808	1,5091	1,6379	1,7280	1,7975	2,0115	2,1358	2,2239	2,9257
6	L040	0,9376	1,2736	1,4960	1,6215	1,7094	1,7770	1,9855	2,1067	2,1925	2,8763
7	U030	0,9437	1,2472	1,4481	1,5615	1,6409	1,7021	1,8904	1,9999	2,0774	2,6953
8	U050	0,9489	1,2242	1,4065	1,5093	1,5814	1,6368	1,8077	1,9070	1,9773	2,5377
9	U060	0,9549	1,1980	1,3590	1,4498	1,5134	1,5623	1,7132	1,8009	1,8630	2,3579
10	U070	0,9475	1,2304	1,4177	1,5234	1,5974	1,6544	1,8299	1,9320	2,0042	2,5801
11	U090	0,9590	1,1800	1,3263	1,4089	1,4667	1,5112	1,6484	1,7281	1,7845	2,2344
12	U110	0,9655	1,1512	1,2741	1,3435	1,3920	1,4294	1,5446	1,6116	1,6590	2,0369
	Média	0,9492	1,2230	1,4043	1,5065	1,5781	1,6333	1,8032	1,9020	1,9719	2,5292
	D. Padrão	0,0088	0,0388	0,0703	0,0881	0,1006	0,1102	0,1398	0,1570	0,1691	0,2661

4.1.3 Modelos de funções período de retorno $\hat{E} FT(T)$

Foram utilizadas funções período de retorno obtidas a partir dos trabalhos de Pfasftetter (1962), Bell (1969), Robaina e Peiter (1992) e Robaina (1996).

4.1.3.1 Metodo de Pfasftetter (1962)

Os valores da relação da chuva máxima de 24 horas de duração em diferentes tempos de retorno e a chuva máxima média de 24 horas de duração em 12 bacias

hidrográficas do RS, que constam na Tabela 4.3, foram ajustados ao modelo de Pfasftetter (1962), com o auxílio do programa computacional Table Curve versão 2.0 (Jandel Scientifics). Isto foi feito para cada bacia hidrográfica e também para o valor médio, que aparece na penúltima linha da Tabela 4.2.

Tabela 4.3 . Valores dos coeficientes da função do período de retorno, pelo método de Pfasftetter (1962), para 12 bacias hidrográficas do RS.

N°	BH	Método de Pfasftetter (1962)						r ²
		a ₂	ta		b ₂	tb		
1	G030	0,1346	0,84	NS	0,0747	0,79	NS	0,9947
2	G040	0,1171	0,63	NS	0,0425	0,50	NS	0,9908
3	G050	0,1179	0,56	NS	0,0438	0,45	NS	0,9944
4	G060	0,1267	0,18	NS	0,0059	1,98	NS	0,9909
5	G070	0,1400	1,30	NS	0,0867	1,28	NS	0,9930
6	L040	0,1383	1,15	NS	0,0826	1,11	NS	0,9902
7	U030	0,1314	0,57	NS	0,0681	0,53	NS	0,9930
8	U050	0,1249	0,03	NS	0,0557	0,03	NS	0,9891
9	U060	0,1168	0,66	NS	0,0419	0,53	NS	0,9910
10	U070	0,1267	0,18	NS	0,0589	0,16	NS	0,9933
11	U090	0,1106	1,18	NS	0,0328	0,89	NS	0,9903
12	U110	0,0996	2,10	NS	0,0192	1,44	NS	0,9924
Médio		0,1246			0,0550			0,9919

Analisando-se os dados da Tabela 4.3, observa-se muita semelhança nos valores dos coeficientes (a₂ e b₂), de cada bacia hidrográfica quando comparadas entre si e com o valor de a₂ e b₂ obtidos com o valor médio, o que sugere a possibilidade dos coeficientes (a₂ e b₂), obtidos com o valor médio representar todas as bacias hidrográficas. O programa computacional Table Curve forneceu, quando do ajustamento dos valores da função do período de retorno, o desvio padrão de a (s_a = 0,0119) e o desvio padrão de b (s_b = 0,0249), que permitiram determinar o valor

$$\text{de } t_a = \frac{\Delta a}{s_a} \text{ e o valor de } t_b = \frac{\Delta b}{s_b}$$

O valor de t da distribuição de Student, para 8 graus de liberdade e 2,5% de probabilidade de erro, é igual 2,31, de acordo com uma tabela daquela distribuição (COSTA NETO, 1977).

Uma vez que, todos os valores da t_a e de t_b foram menores do que o valor crítico (2,31), pode-se adotar, com um nível de confiança de 95%, que o modelo ajustado com o valores médios pode representar todos as bacias hidrográficas, uma vez que não apresentaram diferenças significativas, sob o ponto de vista estatístico.

Na Figura 4.1, pode ser visto o gráfico da função período de retorno ajustada, pelo método de Pfasftetter (1962), com o valor médio da Tabela 4.2.

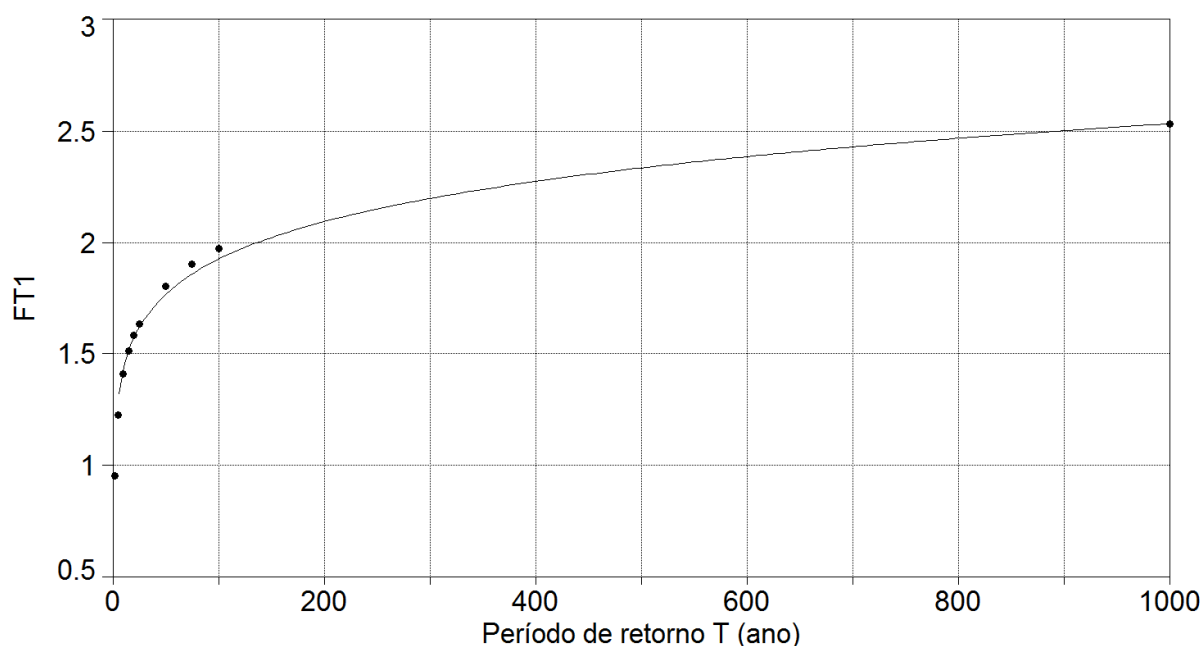


Figura 4.1 - Gráfico da função período de retorno . método de Pfasftetter (1962).

4.1.3.2 Método de Bell (1969)

Os valores da relação da chuva máxima de 24 horas de duração em diferentes tempos de retorno e a chuva máxima média de 24 horas de duração em 12 bacias hidrográficas do RS, que constam na Tabela 4.1, foram ajustados ao modelo de Bell (1969), com o auxílio do programa computacional Table Curve versão 2.0 (Jandel Scientifics). Isto foi feito para cada bacia hidrográfica e também para o valor médio, que aparece na penúltima linha da Tabela 4.2.

Tabela 4.4 . Valores dos coeficientes da função do período de retorno, pelo método de Bell (1969), para 12 bacias hidrográficas do RS.

N°	BH	Método de Bell (1969)						
		a_3	t_a		b_3	t_b	r^2	
1	G030	0,7975	0,93	NS	0,2867	0,93	NS	0,9905
2	G040	0,8440	0,60	NS	0,2234	0,54	NS	0,9922
3	G050	0,8426	0,55	NS	0,2204	0,61	NS	0,9911
4	G060	0,8200	0,19	NS	0,2548	0,19	NS	0,9923
5	G070	0,7807	1,49	NS	0,3106	1,49	NS	0,9930
6	L040	0,7863	1,30	NS	0,3026	1,31	NS	0,9929
7	U030	0,8069	0,62	NS	0,2734	0,62	NS	0,9919
8	U050	0,8249	0,03	NS	0,2480	0,03	NS	0,9940
9	U060	0,8453	0,64	NS	0,2190	0,64	NS	0,9940
10	U070	0,8200	0,19	NS	0,2548	0,19	NS	0,9912
11	U090	0,8594	1,11	NS	0,1991	1,11	NS	0,9905
12	U110	0,8819	1,85	NS	0,1672	1,85	NS	0,9947
Médio		0,8258			0,2466			0,9923

Analisando-se os dados da Tabela 4.4, observa-se muita semelhança nos valores dos coeficientes (a_3 e b_3), de cada bacia hidrográfica quando comparadas entre si e com o valor de a_3 e b_3 obtidos com o valor médio, o que sugere a possibilidade dos coeficientes (a_3 e b_3), obtidos com o valor médio representar todas as bacias hidrográficas.

O programa computacional Table Curve forneceu, quando do ajustamento do modelo de Bell, o desvio padrão de a ($s_a = 0,0303$) e o de b ($s_b = 0,0429$), que permitiram determinar o valor de $t_a = \frac{\Delta a}{s_a}$ e o valor de $t_b = \frac{\Delta b}{s_b}$

O valor de t da distribuição de Student, para 8 graus de liberdade e 2,5% de probabilidade de erro, é igual 2,31, de acordo com uma tabela daquela distribuição (COSTA NETO, 1977). Como pode ser visto na Tabela 4.3, todos os valores da t_a foram menores do que o valor crítico (2,31). A mesma observação pode ser feita, em relação ao valor do t_b , que são menores do que o valor crítico (2,31).

Este fato, permite adotar, com um nível de confiança de 95%, que o modelo ajustado com os valores médios, possa representar todas as bacias hidrográficas, uma vez que não apresentaram diferenças significativas (no valor de t_a e t_b), sob o ponto de vista estatístico. O que pode ser feito, de modo igual ao caso do modelo

anterior, é utilizar os coeficientes do modelo de Bell, que foi determinado com os coeficientes determinados com os valores médios, para a respectiva bacia.

Na Figura 4.4, pode ser visto o gráfico da função período de retorno ajustada, pelo método de Bell (1969), com o valor médio da Tabela 4.2.

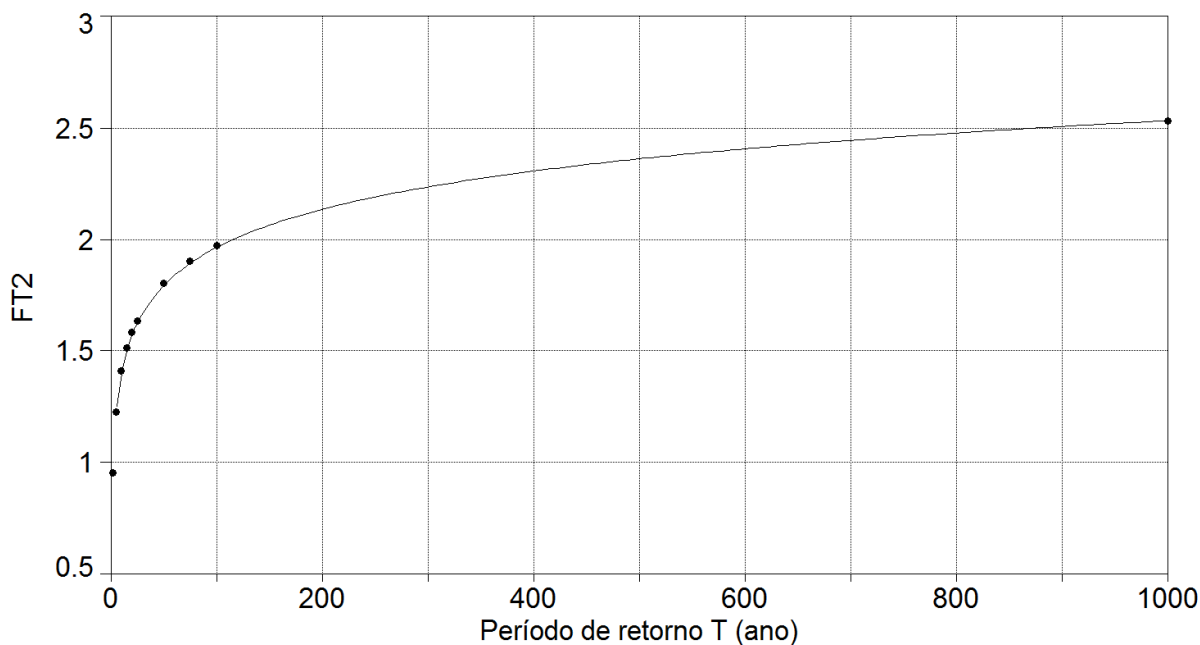


Figura 4.2 - Gráfico da função período de retorno . método de Bell (1969).

4.1.3.3 Método de Robaina e Peiter (1992)

Os valores da relação da chuva máxima de 24 horas de duração em diferentes tempos de retorno e a chuva máxima média de 24 horas de duração em 12 bacias hidrográficas do RS, que constam na Tabela 4.3, foram ajustados ao modelo de Robaina e Peiter (1992) e Robaina (1996), com o auxílio do programa computacional Table Curve versão 2.0 (Jandel Scientifics). Isto foi feito para cada bacia hidrográfica e também para o valor médio, que aparece na penúltima linha da Tabela 4.3.

Tabela 4.5 . Valores dos coeficientes da função do período de retorno, pelo método de método de Robaina e Peiter (1992), para 12 bacias hidrográficas do RS.

N°	BH	Método de Robaina e Peiter (1992)						r ²
		a ₄	t _a		b ₄	t _b		
1	G030	1,0752	0,18	NS	0,1375	0,84	NS	0,9913
2	G040	1,0332	0,11	NS	0,1200	0,63	NS	0,9927
3	G050	1,0348	0,10	NS	0,1208	0,56	NS	0,9928
4	G060	1,5420	3,41	SS	0,1296	0,18	NS	0,9920
5	G070	1,0917	0,30	NS	0,1428	1,28	NS	0,9908
6	L040	1,0861	0,26	NS	0,1411	1,14	NS	0,9910
7	U030	1,0662	0,12	NS	0,1343	0,57	NS	0,9916
8	U050	1,0499	0,01	NS	0,1278	0,03	NS	0,9922
9	U060	1,0325	0,11	NS	0,1196	0,66	NS	0,9929
10	U070	1,0542	0,04	NS	0,1296	0,18	NS	0,9920
11	U090	1,0215	0,19	NS	0,1134	1,18	NS	0,9934
12	U110	1,0057	0,30	NS	0,1022	2,12	NS	0,9943
Médio		1,0491			0,1275			0,9922

Analisando-se os dados da Tabela 4.5, observa-se muita semelhança nos valores dos coeficientes (a₄ e b₄), de cada bacia hidrográfica quando comparadas entre si e com o valor de a₄ e b₄ obtidos com o valor médio, o que sugere a possibilidade dos coeficientes (a₄ e b₄), obtidos com o valor médio representar todas as bacias hidrográficas.

O programa computacional Table Curve forneceu, quando do ajustamento do modelo de Robaina e Peiter, o desvio padrão de a (s_a = 0,1444) e o de b (s_b = 0,0119), que permitiram determinar o valor de $t_a = \frac{\Delta a}{s_a}$ e o valor de $t_b = \frac{\Delta b}{s_b}$

O valor de t da distribuição de Student, para 8 graus de liberdade e 2,5% de probabilidade de erro, é igual 2,31, de acordo com uma tabela daquela distribuição (COSTA NETO, 1977).

Uma vez que, todos os valores da t_a e de t_b foram menores do que o valor crítico (2,31), pode-se adotar, com um nível de confiança de 95%, que o modelo ajustado com o valores médios pode representar todas as bacias hidrográficas, uma vez que não apresentaram diferenças significativas, sob o ponto de vista estatístico.

Na Figura 4.3, pode ser visto o gráfico da função período de retorno ajustada, pelo método de Robaina e Peiter (1992), com o valor médio da Tabela 4.3.

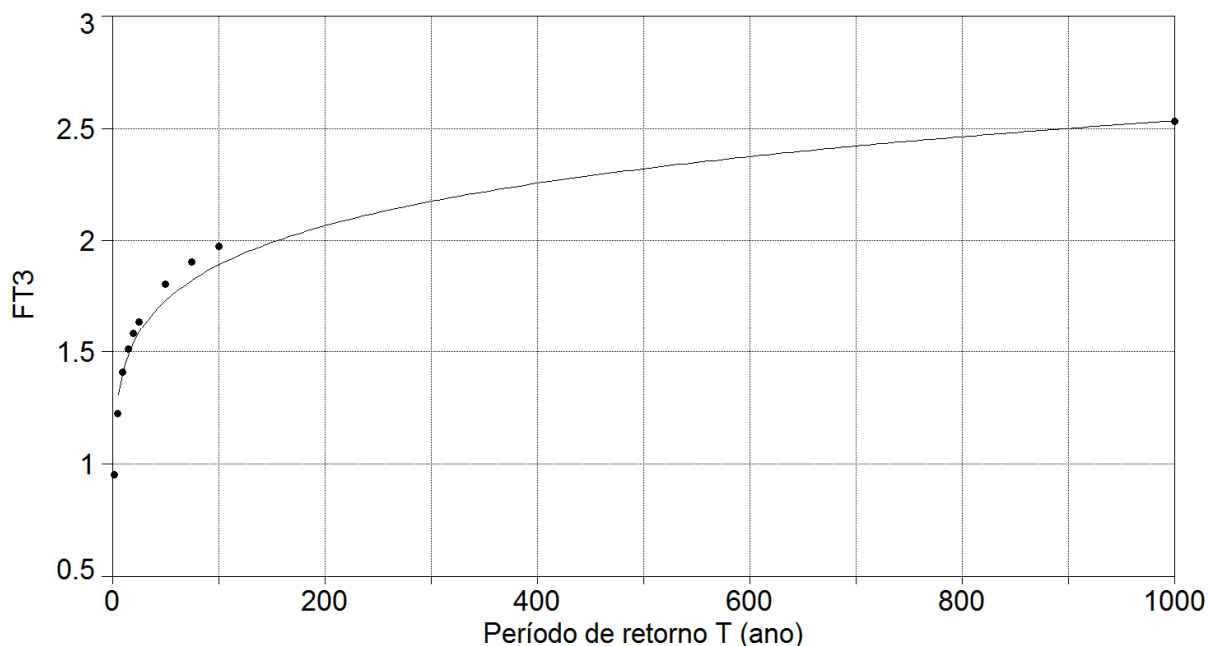


Figura 4.3 - Gráfico da função período de retorno . método de Robaina e Peiter (1992).

Os resultados mostrados anteriormente, permitem deduzir que os modelos de funções do período de retorno (FT_2 , FT_3 e FT_4) ajustados com os valores médios podem ser utilizados para representar todas as bacias hidrográficas, mas nada pode-se afirmar quanto ao desempenho desses modelos em relação ao modelo teórico de Gumbel.

Para investigar o desempenho dos diferentes funções de período de retorno foi calculado o coeficiente de correlação, o índice de concordância, o índice de desempenho, a partir deste foi feita a classificação do desempenho de cada função estudada neste trabalho. Isto foi feito para cada uma das doze regiões hidrográficas do RS. Para realizar essa investigação, os resultados obtidos com as funções do período de retorno (FT_2 , FT_3 e FT_4) foram comparados com os valores calculados com o modelo teórico de Gumbel.

A avaliação do desempenho dos modelos de cálculo do período de retorno foi feita pelo índice de desempenho (I_d), proposto por Camargo e Sentelhas (1997) cujo valor é o produto do coeficiente de correlação e o índice de concordância ($I_d = r \cdot I_W$).

O critério de interpretação do índice de desempenho e da respectiva classe de desempenho utilizados neste trabalho podem ser encontrados na Tabela 2.3, a mesma de Costa (2004).

A Tabela 4.6 mostra os valores do coeficiente de correlação, do índice de concordância e do índice de desempenho da comparação dos modelos de função do período de retorno (FT_2 , FT_3 e FT_4) e o modelo teórico de Gumbel nas diferentes bacias hidrográficas do RS.

Tabela 4.6 . Valores do coeficiente de correlação, do índice de concordância e do índice de desempenho da comparação dos modelos de função do período de retorno (FT_2 , FT_3 e FT_4) e o modelo teórico de Gumbel nas diferentes bacias hidrográficas do RS.

BH	FT_1				FT_2				FT_3			
	r	lw	ld	Classe	r	lw	ld		r	lw	ld	Classe
G030	0,9926	0,9674	0,9603	Ótimo	0,9993	0,9772	0,9765	Ótimo	0,9853	0,9562	0,9421	Ótimo
G040	0,9926	0,9850	0,9777	Ótimo	0,9993	0,9909	0,9902	Ótimo	0,9853	0,9868	0,9723	Ótimo
G050	0,9926	0,9869	0,9796	Ótimo	0,9993	0,9928	0,9920	Ótimo	0,9853	0,9880	0,9735	Ótimo
G060	0,9926	0,9911	0,9838	Ótimo	0,9993	0,9980	0,9973	Ótimo	0,9853	0,9855	0,9710	Ótimo
G070	0,9926	0,9374	0,9305	Ótimo	0,9993	0,9499	0,9492	Ótimo	0,9853	0,9229	0,9093	Ótimo
L040	0,9926	0,9482	0,9413	Ótimo	0,9993	0,9599	0,9592	Ótimo	0,9853	0,9347	0,9210	Ótimo
U030	0,9926	0,9800	0,9728	Ótimo	0,9993	0,9885	0,9878	Ótimo	0,9853	0,9710	0,9567	Ótimo
U050	0,9926	0,9929	0,9856	Ótimo	0,9993	0,9994	0,9987	Ótimo	0,9853	0,9886	0,9741	Ótimo
U060	0,9926	0,9839	0,9767	Ótimo	0,9993	0,9899	0,9891	Ótimo	0,9853	0,9860	0,9716	Ótimo
U070	0,9926	0,9911	0,9838	Ótimo	0,9993	0,9980	0,9973	Ótimo	0,9853	0,9855	0,9710	Ótimo
U090	0,9926	0,9603	0,9532	Ótimo	0,9993	0,9672	0,9665	Ótimo	0,9853	0,9670	0,9528	Ótimo
U110	0,9926	0,8938	0,8872	Ótimo	0,9993	0,9050	0,9043	Ótimo	0,9853	0,9074	0,8941	Ótimo

De acordo com a Tabela 4.6, pode-se ver que os valores do índice de desempenho, em todas as bacias hidrográficas e para os três métodos, foram superiores a 0,85, o que determina o enquadramento de todos na categoria de desempenho ótimo. Em virtude desse resultado, pode-se dizer que não existe diferença quanto ao desempenho de cada método, podendo ser utilizado qualquer um deles para a estimativa dos valores do período de retorno das chuvas intensas

4.2 Validação das funções de desagregação $\ddot{E} FD(t)$

Das estações pluviométricas selecionadas para o trabalho foram separadas 27 estações pluviométricas que serviram para a verificação das diferentes funções de desagregação. As estações pluviométricas foram agrupadas por bacia hidrográfica e os valores utilizadas para a verificação das funções de desagregação nas diferentes bacias hidrográficas do RS.

A Tabela 4.7 mostra os valores da relação entre as precipitações de diferentes duração e a precipitação de 24 horas de duração nas diferentes bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul. Esses valores foram obtidos a partir dos dados fornecidos pelo trabalho de Beltrame et al (1991) e que serviu de referência para a avaliação das diferentes funções de desagregação.

Tabela 4.7 . Valores da relação de durações das chuvas máximas obtidas para diferentes bacias hidrográficas do RS, segundo Beltrame et al (1991).

	BH	Tempo de duração da chuva (min)										
		10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440
1	G030	0,21	0,27	0,31	0,38	0,43	0,47	0,54	0,66	0,70	0,94	1,00
2	G040	0,19	0,24	0,29	0,35	0,40	0,45	0,51	0,62	0,72	0,86	1,00
3	G050	0,24	0,30	0,36	0,41	0,44	0,49	0,63	0,78	0,83	1,06	1,00
4	G060	0,18	0,22	0,34	0,30	0,35	0,39	0,51	0,63	0,74	0,83	1,00
5	G070	0,23	0,29	0,32	0,36	0,40	0,41	0,46	0,55	0,66	0,90	1,00
6	L040	0,18	0,24	0,27	0,32	0,36	0,40	0,50	0,66	0,74	0,85	1,00
7	U030	0,17	0,22	0,24	0,27	0,33	0,35	0,46	0,60	0,63	0,76	1,00
8	U050	0,18	0,22	0,26	0,32	0,37	0,40	0,51	0,77	0,67	0,83	1,00
9	U060	0,20	0,24	0,27	0,33	0,38	0,43	0,58	0,66	0,83	0,93	1,00
10	U070	0,18	0,23	0,27	0,30	0,35	0,38	0,49	0,60	0,73	0,79	1,00
11	U090	0,18	0,22	0,25	0,31	0,39	0,44	0,53	0,63	0,71	0,80	1,00
12	U110	0,18	0,23	0,27	0,33	0,39	0,45	0,57	0,70	0,76	0,91	1,00
	Média	0,19	0,24	0,29	0,33	0,38	0,42	0,52	0,66	0,73	0,87	1,00
	D. Padrão	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,07	0,06	0,08	0,00

4.2.1 Função de desagregação Bell (1969) . FDBE

A Tabela 4.8 mostra os valores dos coeficientes da função de Bell (1969), o valor da relação entre a chuva de 1 hora e a de 24 horas de duração e os valores dos coeficientes da função de Bell para a desagregação da chuva de 24 horas de duração para diferentes bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul. Esse procedimento de estimativa da relação de durações foi identificado neste trabalho como FDBE, representado pela expressão:

$$FDBE = a \cdot t^c - b \quad [4.2]$$

na qual a, b e c são coeficientes de desagregação e t é o tempo de duração da chuva (min).

Tabela 4.8 . Valores dos coeficientes originais da função de Bell (1969), relação entre a chuva de 1 hora e a de 24 horas de duração e coeficientes da função de Bell para a desagregação da chuva de 24 horas de duração para diferentes bacias hidrográficas do RS . FDBE

	BH	a	b	c	P_{1h} / P_{24h}	a	b	c
1	G030	0,54	0,50	0,25	0,47	0,25	0,24	0,25
2	G040	0,54	0,50	0,25	0,45	0,24	0,22	0,25
3	G050	0,54	0,50	0,25	0,49	0,27	0,25	0,25
4	G060	0,54	0,50	0,25	0,39	0,21	0,20	0,25
5	G070	0,54	0,50	0,25	0,41	0,22	0,21	0,25
6	L040	0,54	0,50	0,25	0,40	0,22	0,20	0,25
7	U030	0,54	0,50	0,25	0,35	0,19	0,18	0,25
8	U050	0,54	0,50	0,25	0,40	0,22	0,20	0,25
9	U060	0,54	0,50	0,25	0,43	0,23	0,22	0,25
10	U070	0,54	0,50	0,25	0,38	0,20	0,19	0,25
11	U090	0,54	0,50	0,25	0,44	0,24	0,22	0,25
12	U110	0,54	0,50	0,25	0,45	0,24	0,22	0,25
	Média	0,54	0,50	0,25	0,42	0,21	0,22	0,25
	D. Padrão	0,00	0,00	0,00	0,04	0,02	0,02	0,00

Na Tabela 4.8, podem ser vistos na terceira, quarta e quinta colunas os valores dos coeficientes originais da função de desagregação de BELL (1969). Na sexta coluna, aparece a relação entre a chuva de 1 hora de duração e a chuva de 24 horas de duração, cujos valores foram obtidos na Tabela 4.5.

Nas colunas 7 a 9, podem ser vistos os valores dos coeficientes da função de Bell para a desagregação da chuva de 24 horas de duração para diferentes bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul.

A Tabela 4.9 mostra os valores da relação entre as precipitações de diferentes duração e a precipitação de 24 horas de duração nas diferentes bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul obtidas com a função de desagregação de Bell (1969) . FDBE (equação 4.2).

Tabela 4.9 . Valores da relação de durações das chuvas máximas em diferentes tempos de duração em diferentes bacias hidrográficas do RS obtidas com a função de desagregação de Bell . FDBE.

	BH	Tempo de duração da chuva (min)									
		10	15	20	30	45	60	120	240	360	720
1	G030	0,21	0,26	0,30	0,36	0,42	0,47	0,60	0,75	0,86	1,07
2	G040	0,21	0,25	0,29	0,34	0,40	0,45	0,57	0,72	0,83	1,02
3	G050	0,22	0,27	0,31	0,37	0,43	0,48	0,62	0,78	0,89	1,11
4	G060	0,18	0,22	0,25	0,30	0,35	0,39	0,51	0,64	0,72	0,90
5	G070	0,19	0,23	0,27	0,31	0,37	0,41	0,53	0,67	0,76	0,94
6	L040	0,17	0,21	0,24	0,29	0,34	0,38	0,50	0,63	0,71	0,89
7	U030	0,15	0,18	0,21	0,25	0,30	0,33	0,43	0,54	0,61	0,76
8	U050	0,17	0,21	0,24	0,29	0,34	0,38	0,50	0,63	0,71	0,89
9	U060	0,20	0,24	0,28	0,33	0,39	0,43	0,55	0,70	0,79	0,98
10	U070	0,18	0,21	0,24	0,29	0,34	0,38	0,48	0,61	0,69	0,86
11	U090	0,20	0,24	0,28	0,33	0,39	0,43	0,55	0,70	0,79	0,98
12	U110	0,21	0,25	0,29	0,34	0,40	0,45	0,57	0,72	0,83	1,02
	Média	0,19	0,23	0,27	0,32	0,37	0,42	0,53	0,67	0,77	0,95
	D. Padrão	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,07	0,08	0,10

Os valores da média e do desvio padrão da relação entre as precipitações de diferentes duração e a precipitação de 24 horas de duração nas diferentes bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul são bem próximos dos valores apresentados na Tabela 4.5, segundo BELTRAME et al (1991).

4.2.2 Função de desagregação Chen (1983) . FDCH

A Tabela 4.10 mostra os valores dos coeficientes da função de Chen (1983), o valor da relação entre a chuva de 1 hora e a de 24 horas de duração e os valores dos coeficientes da função de Chen para a desagregação da chuva de 24 horas de duração para diferentes bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul. Esse procedimento de estimativa da relação de durações foi identificado neste trabalho como FDCH, representado pela expressão:

$$FDCH = \frac{a \cdot \frac{P(1, 10)}{P(24, 10)} \cdot \log \{10^{(2-w)} \cdot [\ln(\frac{T}{T-1})]^{(1-w)}\}}{(t+b)^c} \cdot \left(\frac{t}{60}\right) \quad [4.3]$$

na qual a, b e c são coeficientes de desagregação e t é o tempo de duração da chuva (min).

Na Tabela 4.10, pode ser vista na terceira coluna, a relação entre a chuva de 1 hora de duração e a chuva de 24 horas de duração em diferentes tempos de duração, para as diferentes bacias hidrográficas do RS, cujos valores foram obtidos na Tabela 4.5.

Na coluna sete, nove, dez e onze podem ser encontrados os valores dos coeficientes da função de desagregação de Chen (equação 4.3) e, nas colunas restantes alguns valores auxiliares do método.

O valor P(1,10) é a altura de chuva com 1 hora de duração e período de retorno de 10 anos. Os coeficientes a, b e c são obtidos em função da relação entre P(1,T) e P(24,T) e w é a relação entre a chuva de 1 hora de duração e período de retorno de 100 anos e a chuva de 1 hora de duração e período de retorno de 1 ano.

Os valores dos coeficientes de desagregação de CHEN (1983) foram determinados por $a = 2,1783 + 84,6577 (P1/P24)^{1,5745}$, $b = -14,2012 + 32,4823 (P1/P24)^{0,4534}$ e $c = -0,2092 + 1,3331(P1/P24)^{0,3887}$, de acordo com CHEN (1983).

A Tabela 4.11 mostra os valores da relação entre as precipitações de diferentes duração e a precipitação de 24 horas de duração nas diferentes bacias

A estimativa dos coeficientes a , b e c da função de desagregação foram obtidos pelo ajustamento entre os valores médios das relações de duração, fornecidos BELTRAME et al (1991).

Os valores do coeficiente $a = 0,00006596$, $b = 0,1573$ e $c = 0,2293$, da função de desagregação (equação 4.4), foram determinados com o programa computacional Table Curve versão 2.0 (Jandel Scientifics). O coeficiente de determinação foi de 99,92%.

A Figura 4.4 mostra o ajustamento da função de desagregação, de acordo com o método de Robaina e Peiter (1992), utilizando os valores médios da relação entre as precipitações de diferentes duração e a precipitação de 24 horas de duração.

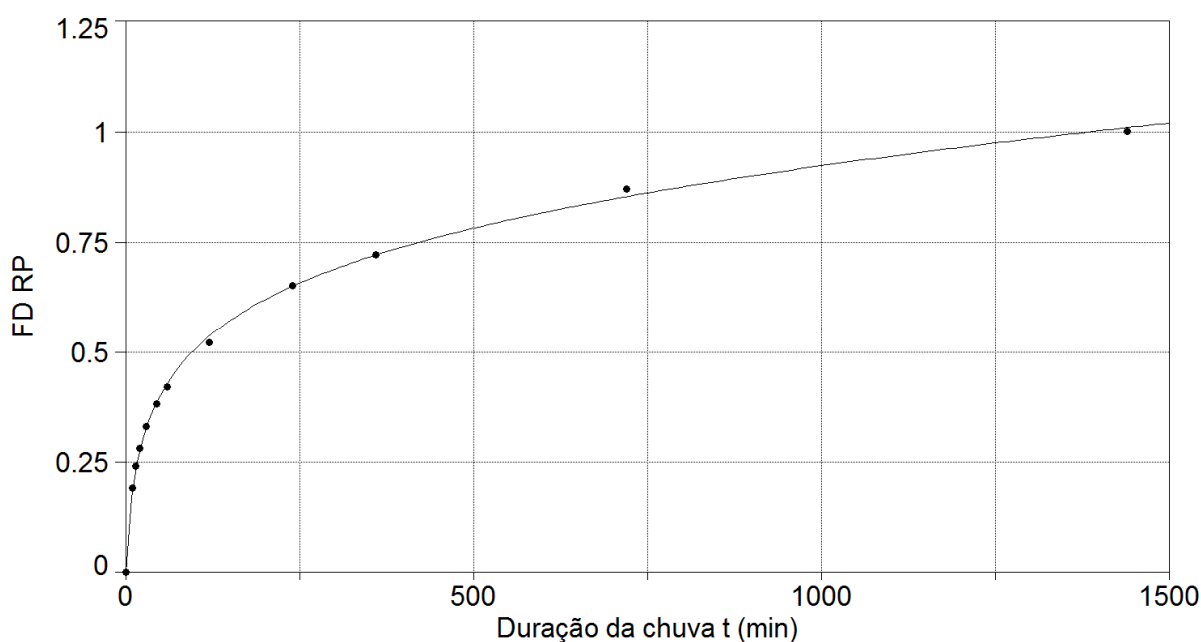


Figura 4.4 - Gráfico da função de desagregação . método de Robaina e Peiter (1992).

4.2.4 Função de desagregação CETESB (1979) ajustada . FDCT

A função de desagregação, proposta para definir a relação entre a precipitação máxima anual num tempo de duração qualquer e a precipitação anual do período de 24 horas, é expressa por:

$$FDCT = \frac{a}{1 + \frac{b}{t^c}} \quad (4.5)$$

na qual, o tempo de duração deve ser expresso em minutos (min).

A Tabela 4.13 mostra os valores da relação entre as precipitações de diferentes duração e a de 24 horas de duração nas diferentes bacias hidrográficas do RS obtidas com a função de desagregação de CETESB (1979).

Tabela 4.13 . Valores da relação de durações das chuvas máximas em diferentes tempos de duração e bacias hidrográficas do RS obtidas com a função de desagregação de CETESB (1979).

	BH	Tempo de duração da chuva (min)									
		10	15	20	30	45	60	120	240	360	720
1	G030	0,19	0,22	0,25	0,30	0,36	0,40	0,52	0,65	0,73	0,86
2	G040	0,19	0,22	0,25	0,30	0,36	0,40	0,52	0,65	0,73	0,86
3	G050	0,19	0,22	0,25	0,30	0,36	0,40	0,52	0,65	0,73	0,86
4	G060	0,19	0,22	0,25	0,30	0,36	0,40	0,52	0,65	0,73	0,86
5	G070	0,19	0,22	0,25	0,30	0,36	0,40	0,52	0,65	0,73	0,86
6	L040	0,19	0,22	0,25	0,30	0,36	0,40	0,52	0,65	0,73	0,86
7	U030	0,19	0,22	0,25	0,30	0,36	0,40	0,52	0,65	0,73	0,86
8	U050	0,19	0,22	0,25	0,30	0,36	0,40	0,52	0,65	0,73	0,86
9	U060	0,19	0,22	0,25	0,30	0,36	0,40	0,52	0,65	0,73	0,86
10	U070	0,19	0,22	0,25	0,30	0,36	0,40	0,52	0,65	0,73	0,86
11	U090	0,19	0,22	0,25	0,30	0,36	0,40	0,52	0,65	0,73	0,86
12	U110	0,19	0,22	0,25	0,30	0,36	0,40	0,52	0,65	0,73	0,86
	Média	0,19	0,22	0,25	0,30	0,36	0,40	0,52	0,65	0,73	0,86
	D. Padrão	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A estimativa dos coeficientes $\%a$ e $\%b$ da função de desagregação foram obtidos pelo ajustamento entre os valores médios das relações de duração, fornecidos por CETESB (1979).

Os valores do coeficiente $a = 1,4936$, $b = 23,6347$ e $c = 0,5280$, da função de desagregação (equação 4.5), foram determinados com o programa computacional Table Curve versão 2.0 (Jandel Scientifics). O coeficiente de determinação foi de 99,89%. A Figura 4.5 mostra o ajustamento da função de desagregação, de acordo com esse método.

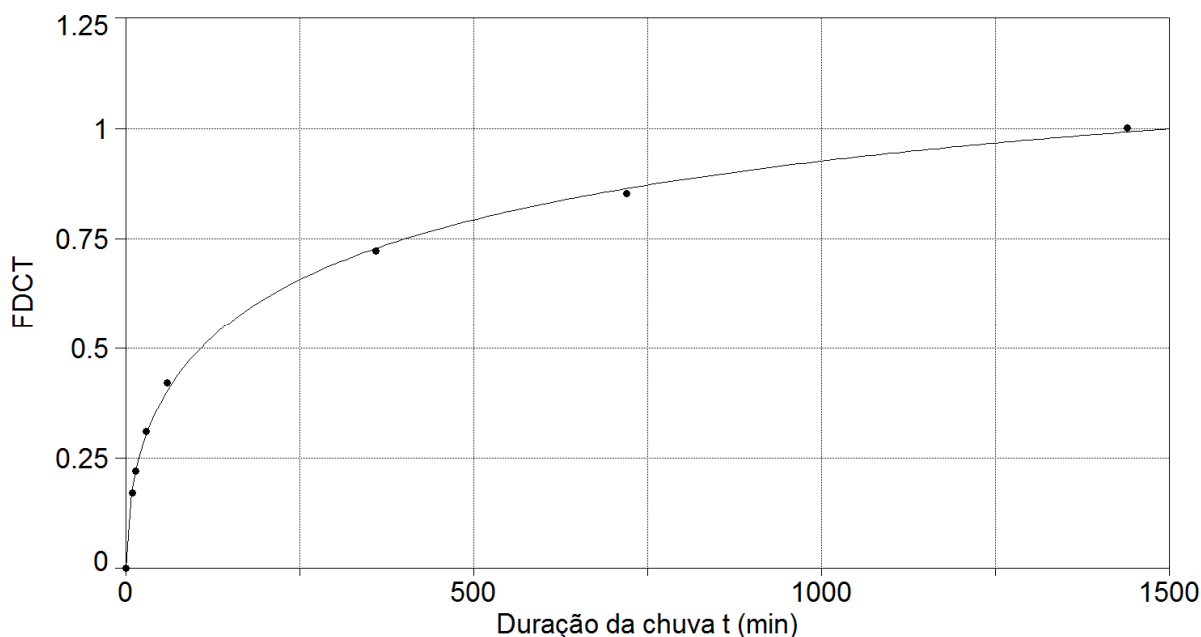


Figura 4.5 - Gráfico da função de desagregação . método de CETESB (1979).

A comparação das diferentes metodologias de desagregação de chuvas intensas com durações menores do que 24 horas; conforme demonstram os resultados obtidos anteriormente, permite que se possa deduzir que não existe diferenças, sob o ponto de vista estatístico, significativas, das quatro metodologias de desagregação utilizadas e os valores fornecidos por Beltrame et al (1991).

A Tabela 4.14 mostra os valores de a e b da regressão $Y = a + b X$, do coeficiente de determinação r^2 e níveis de significância de t_a e t_b das funções de desagregação de chuva. Esses resultados foram obtidos da comparação entre os valores calculados com a função de desagregação (Y) e os valores da relação das diferentes durações em relação a de 24 horas (X), fornecidos por Beltrame et al (1991).

Ainda na Tabela 4.14, pode-se deduzir que o método de desagregação de chuvas, simbolizado por FDRP, apresentou um desempenho melhor do que os outros três métodos de desagregação de chuvas intensas. Este fato pode ser confirmado, pela observação da quarta coluna, na qual o valor do coeficiente a são bem mais próximos de zero e na quinta coluna, onde os valores do coeficiente b são bem mais próximos de 1, para o método de desagregação FDRP e os valores do nível de significância para $t(a)$ e de $t(b)$ são todos não significativos (NS).

Tabela 4.14 . Valores dos coeficientes a e b da regressão $Y = a + b X$, do coeficiente de determinação, do índice de concordância, do índice desempenho, da classe de desempenho e do nível de significância para cada função de desagregação de chuva e em diferentes bacias hidrográficas do RS.

FD	Nº	BH	a	b	r^2	lw	ld	Classe	ta	tb
FD BE	1	G030	0,0471	0,7686	0,9934	0,9967	0,9562	Ótimo	SS	SS
	2	G040	0,0466	0,8004	0,9934	0,9967	0,9709	Ótimo	SS	NS
	3	G050	0,0476	0,7392	0,9934	0,9967	0,9389	Ótimo	SS	SS
	4	G060	0,0449	0,9139	0,9934	0,9967	0,9950	Ótimo	SS	NS
	5	G070	0,0455	0,8727	0,9934	0,9967	0,9908	Ótimo	SS	NS
	6	L040	0,0518	0,9172	0,9934	0,9967	0,9942	Ótimo	SS	NS
	7	U030	0,0506	1,0695	0,9934	0,9967	0,9126	Ótimo	SS	NS
	8	U050	0,0518	0,9172	0,9934	0,9967	0,9942	Ótimo	SS	NS
	9	U060	0,0461	0,8350	0,9934	0,9967	0,9826	Ótimo	SS	NS
	10	U070	0,0442	0,9593	0,9934	0,9967	0,9943	Ótimo	SS	NS
	11	U090	0,0461	0,8350	0,9934	0,9967	0,9826	Ótimo	SS	NS
	12	U110	0,0466	0,8004	0,9934	0,9967	0,9709	Ótimo	SS	NS
FD CH	1	G030	-0,0271	0,9783	0,9982	0,9929	0,9920	Ótimo	NS	NS
	2	G040	-0,0100	0,9600	0,9990	0,9955	0,9950	Ótimo	NS	NS
	3	G050	-0,0421	0,9950	0,9963	0,9895	0,9877	Ótimo	NS	NS
	4	G060	0,0293	0,9221	0,9966	0,9965	0,9948	Ótimo	NS	SS
	5	G070	0,0135	0,9366	0,9982	0,9969	0,9960	Ótimo	NS	SS
	6	L040	0,0220	0,9287	0,9974	0,9968	0,9956	Ótimo	NS	SS
	7	U030	0,0609	0,8969	0,9910	0,9855	0,9810	Ótimo	NS	SS
	8	U050	0,0222	0,9285	0,9974	0,9968	0,9955	Ótimo	NS	SS
	9	U060	0,0002	0,9495	0,9989	0,9965	0,9959	Ótimo	NS	NS
	10	U070	0,0417	0,9116	0,9947	0,9953	0,9927	Ótimo	NS	SS
	11	U090	-0,0031	0,9529	0,9990	0,9962	0,9957	Ótimo	NS	NS
	12	U110	-0,0105	0,9605	0,9990	0,9955	0,9950	Ótimo	NS	NS
	1	G030	-0,0271	0,9783	0,9982	0,9929	0,9920	Ótimo	NS	NS

Tabela 4.14 . (Continuação ...)

FD	Nº	BH	a	b	r ²	lw	ld	Classe	ta	tb
FDRP	1	G030	0,0007	0,9990	0,9989	0,9997	0,9992	Ótimo	NS	NS
	2	G040	0,0007	0,9990	0,9989	0,9997	0,9992	Ótimo	NS	NS
	3	G050	0,0007	0,9990	0,9989	0,9997	0,9992	Ótimo	NS	NS
	4	G060	0,0007	0,9990	0,9989	0,9997	0,9992	Ótimo	NS	NS
	5	G070	0,0007	0,9990	0,9989	0,9997	0,9992	Ótimo	NS	NS
	6	L040	0,0007	0,9990	0,9989	0,9997	0,9992	Ótimo	NS	NS
	7	U030	0,0007	0,9990	0,9989	1,0000	0,9994	Ótimo	NS	NS
	8	U050	0,0007	0,9990	0,9989	0,9997	0,9992	Ótimo	NS	NS
	9	U060	0,0007	0,9990	0,9989	0,9997	0,9992	Ótimo	NS	NS
	10	U070	0,0007	0,9990	0,9989	0,9997	0,9992	Ótimo	NS	NS
	11	U090	0,0007	0,9990	0,9989	0,9997	0,9992	Ótimo	NS	NS
	12	U110	0,0007	0,9990	0,9989	0,9997	0,9992	Ótimo	NS	NS
FDCT	1	G030	0,0151	0,9904	0,9988	0,9991	0,9985	Ótimo	SS	NS
	2	G040	-0,0039	0,9963	0,9989	0,9996	0,9990	Ótimo	NS	NS
	3	G050	-0,0039	0,9963	0,9989	0,9996	0,9990	Ótimo	NS	NS
	4	G060	-0,0039	0,9963	0,9989	0,9996	0,9990	Ótimo	NS	NS
	5	G070	-0,0039	0,9963	0,9989	0,9996	0,9990	Ótimo	NS	NS
	6	L040	-0,0039	0,9963	0,9989	0,9996	0,9990	Ótimo	NS	NS
	7	U030	-0,0039	0,9963	0,9989	0,9996	0,9990	Ótimo	NS	NS
	8	U050	-0,0039	0,9963	0,9989	0,9996	0,9990	Ótimo	NS	NS
	9	U060	-0,0039	0,9963	0,9989	0,9996	0,9990	Ótimo	NS	NS
	10	U070	-0,0039	0,9963	0,9989	0,9996	0,9990	Ótimo	NS	NS
	11	U090	-0,0039	0,9963	0,9989	0,9996	0,9990	Ótimo	NS	NS
	12	U110	-0,0039	0,9963	0,9989	0,9996	0,9990	Ótimo	NS	NS

4.3 Aplicação da metodologia as 130 estações em bacias hidrográficas do RS

Para a aplicação da metodologia foram selecionados os valores das chuvas máximas de 24 horas de duração, convertidas a partir das chuvas máximas de 1 dia fornecidas pelos arquivos dos dados de 130 estações pluviométricas correspondentes a 21 bacias hidrográficas do RS.

Para a bacia hidrográfica G010 foi selecionada a estação pluviométrica Glórinha, para a G030 as estações Nova Palmira, Porto Garibaldi e São Vendelino, para a bacia G040 as estações Antônio Prado, Encantado, Guaporé, Muçum, Passo do Prata, Passo Migliavaca, Passo Tainhas e Prata para a bacia G050 as estações Carazinho, Não-Me-Toque e Santa Clara do Ingaí, para a bacia G060 as estações Barro Vermelho, Caçapava do Sul, Passo dos Freires, Ponte São Gabriel e São Sepé (montante), para a bacia G070 as estações Botucaraí, Butiá, Charqueadas, Dona Francisca, Guaíba Country Club, Irapuázinho, Pantano Grande, Passo do Lourenço, Quitéria, Sapucaia do Sul e Serra dos Pedrosas, para a bacia G080 a estação Barra do Ribeiro, para a bacia G090 as estações Barros Cassal e Candelária, para a bacia L010 a estação Terra de Areia, para a bacia L030 as estações Boqueirão, Camaquã, Cerro Grande, Fazenda Boa Vista, Pacheca, Passo da Capela, Passo do Caçã, Passo do Mendonça, São Lourenço do Sul e Torrinhas, para a bacia L040 as estações Arroio Grande, Canguçu, Estação Experimental de Piratini, Ferraria, Granja Cerrito, Granja Coronel Pedro Osório, Granja Santa Maria, Granja São Pedro, Herval, Pedras Altas, Pedro Osório, Pinheiro Machado, Ponte Cordeiro de Farias, Rio Grande Regatas e Vila Freire, para a bacia U010 as estações Barracão, Clemente Argolo, Esmeralda, Gaurama, Invernada Velha, Paim Filho, Passo Socorro, Sananduva e Tapejara, para a bacia U020 a estação Itatiba do Sul, para a bacia U030 as estações Alto Uruguai, Boa Vista, Esquina Araújo, Giruá, Miraguá, Porto Lucena e Tucunduva, para a bacia U040 as estações Coimbra, Garruchos, Passo do Sarmento, Passo Major Zeferino e Santo Antônio das Missões, para a bacia U050 as estações Alegrete, Cachoeira Santa Cecília, Ernesto Alves, Esquina dos Lima (Santa Bárbara), Fazenda Três Capões, Florida, Furnas do Segredo, Jaguarí, Manoel Viana, Ponte do Miracatu, Ponte Toropi II, Santiago, São Carlos, e Tupanciretã, para a bacia U060 as estações Barra do Quaraí, Caty, Fazenda Encerra, Fazenda Junco, Harmonia, Passo da Guarda e Quaraí, para a

bacia U070 as estações Cacequí, Dom Pedrito, Granja Umbu, Rosário do Sul, Saicã, Santa Rita, Torquato Severo e Três Vendas, para a bacia U090 as estações Anderson Clayton, Conceição, Condor, Passo do Faxinal, Passo do Viola e São Bernardo, para a bacia U100 as estações Chapada, Colônia Xadrez, Iraí, Liberato Salzano, Linha Cescon e Palmeira das Missões e para a bacia U110 as estações pluviométricas Fazenda Santa Cecília do Butuí, Passo do Novo, Passo São Borja e Unistalda.

A Figura 4.6 mostra a distribuição das 130 estações pluviométricas utilizadas neste estudo, cujas informações gerais podem ser encontradas no Anexo C, na qual se pode visualizar que a localização das 130 estações pluviométricas RS se distribuem por todo o território do RS. Ainda na mesma Figura 4.6, pode ser observado que exceções ficam por conta da região correspondente a bacia hidrográfica do rio dos Sinos (G 020), do Litoral Médio (L 020), do rio Mampítuba (L 050) e do rio Negro (U 080) não apresentaram nenhuma estação pluviométrica com série histórica maior que 10 anos.

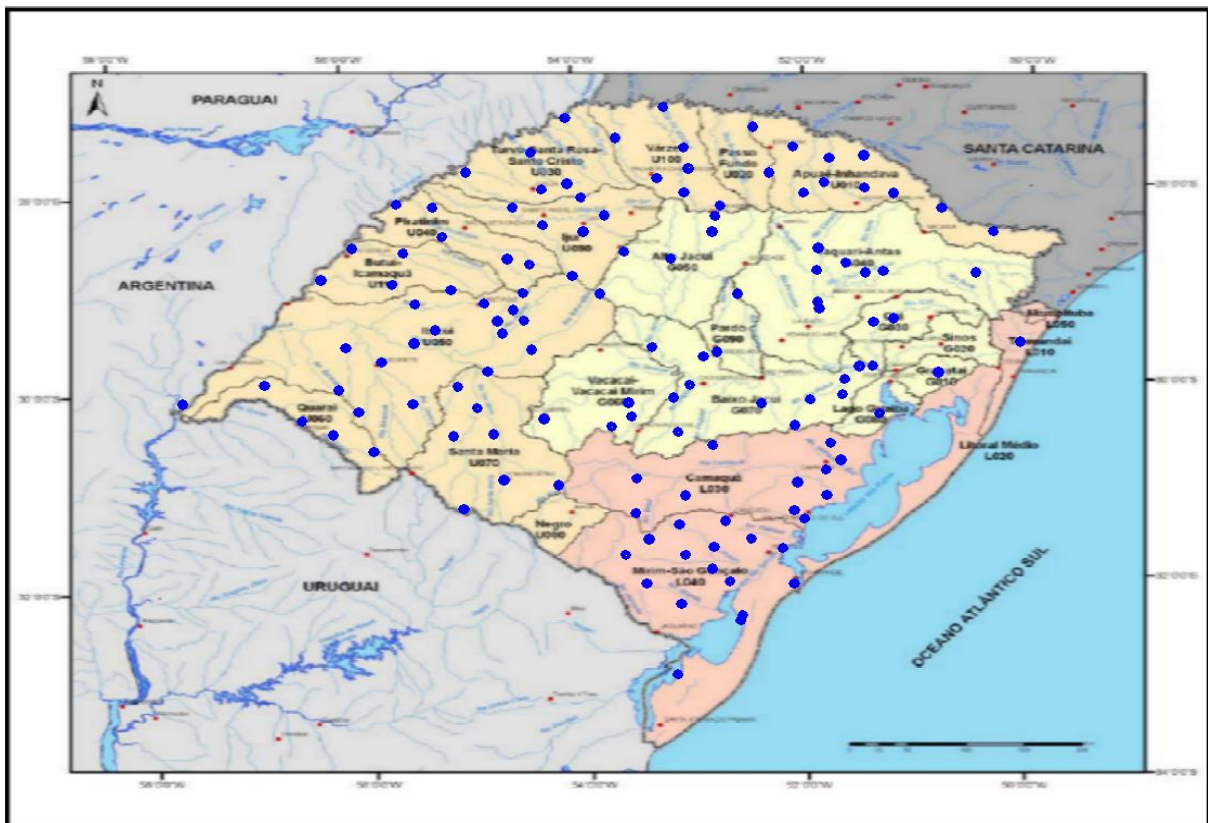


Figura 4.6 É Distribuição das 130 estações pluviométricas utilizadas para a geração das chuvas máximas em diferentes tempos de duração e tempos de retorno.

4.3.1 Média, desvio padrão e coeficiente de variação das séries históricas da precipitação máxima de 24 horas de duração

O valor médio, o desvio padrão e o coeficiente de variação das séries históricas das precipitações ou chuvas máximas de 24 horas de duração para cada uma das 130 estações pluviométricas do Rio Grande do Sul, podem ser encontrados no Anexo C.

A Figura 4.7 mostra a distribuição dos valores da média das séries históricas da precipitação máxima de 24 horas de duração no RS.

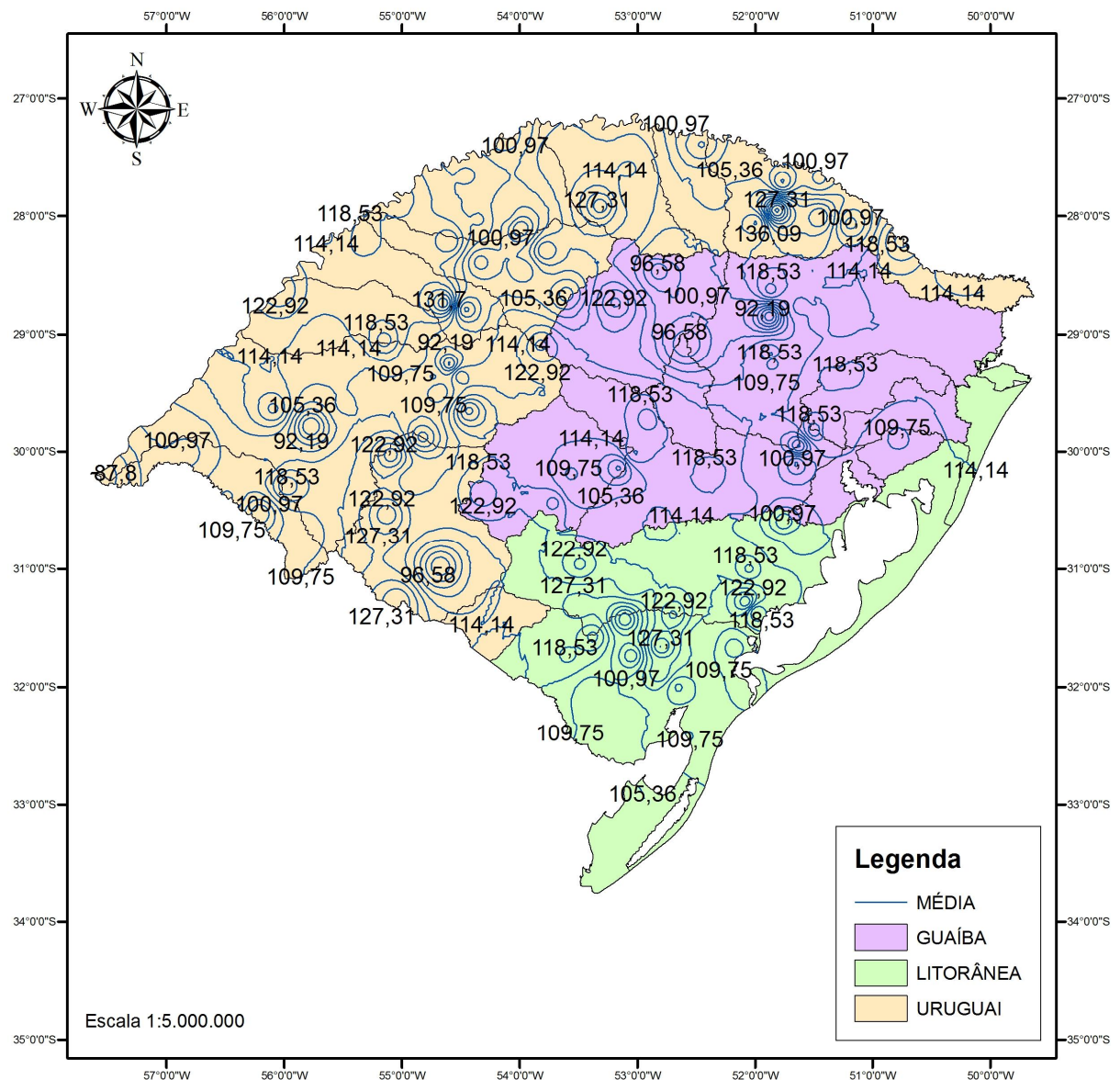


Figura 4.7 - Mapa de distribuição das chuvas máximas de 24 horas de duração no Estado do Rio Grande do Sul.

A maior precipitação máxima média de 24 horas de duração, foi calculada para a estação pluviométrica Saicã (código 3055004), localizada na bacia hidrográfica U 060, cujo valor foi igual a 146,1 mm. A menor foi calculada na estação pluviométrica Rio Grande Regatas (código 03252024), localizada na bacia hidrográfica L 040, cujo valor foi 80,2 mm. O valor médio das chuvas máximas médias, das 130 estações pluviométricas do RS, foi igual a 111,7 mm, tendo um desvio padrão de 12,0 mm e um coeficiente de variação de 10,8 %. (Anexo C).

A Figura 4.8 mostra a distribuição dos valores do desvio padrão das séries históricas da precipitação máxima de 24 horas de duração no RS.

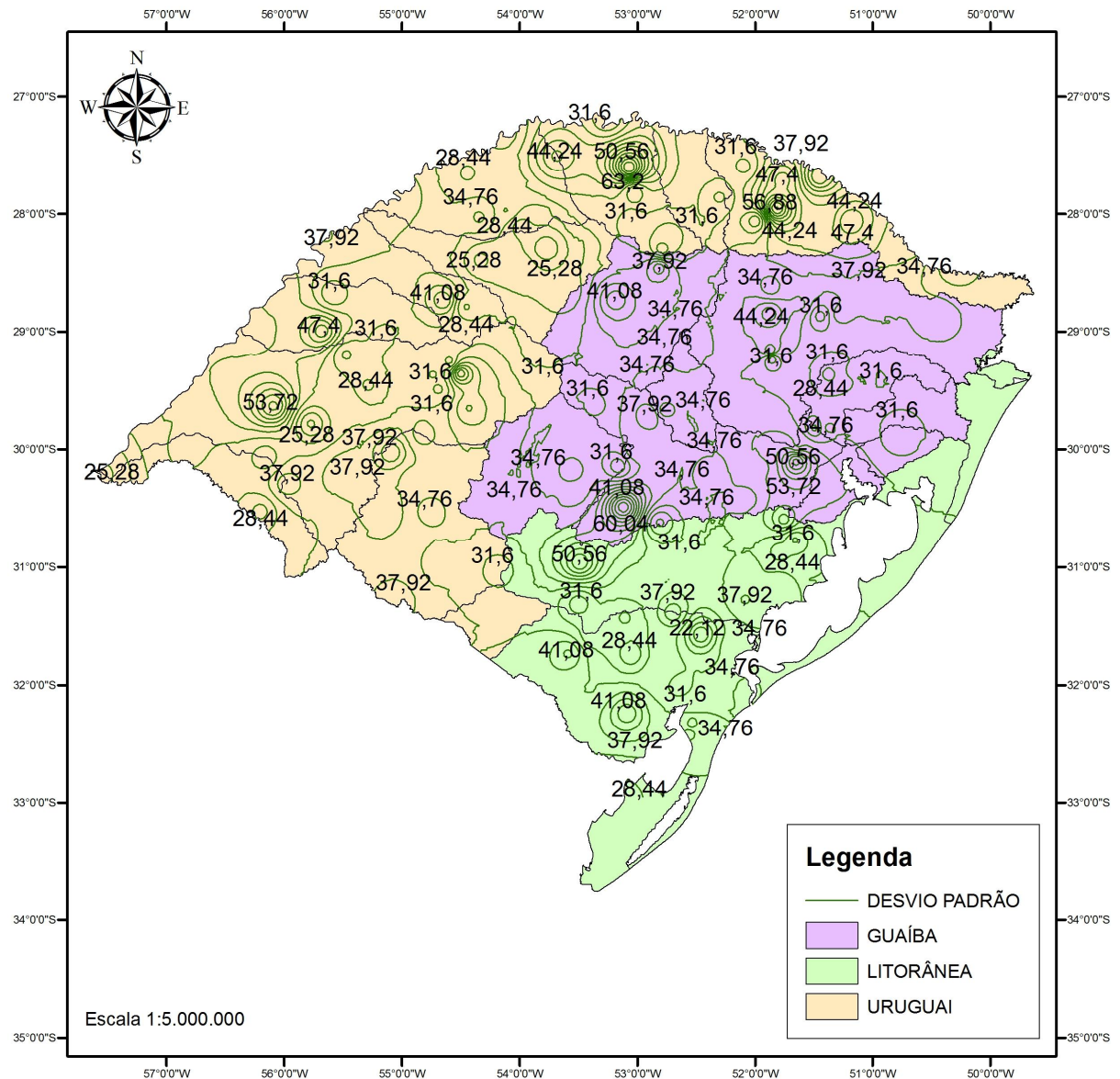


Figura 4.8 - Mapa de distribuição do desvio padrão das chuvas máximas de 24 horas de duração no Estado do Rio Grande do Sul.

O maior desvio padrão da precipitação máxima média de 24 horas, foi calculado para a estação pluviométrica Passo do Socorro (código 02850008), localizada na bacia hidrográfica U 010, cujo valor foi 66,3 mm. O menor na estação Esquina dos Lima (Santa Bárbara), código 02954031, localizada na bacia hidrográfica U 050, cujo valor foi 18,9 mm. A média do desvio padrão, das 130 estações pluviométricas do RS, foi igual a 34,8 mm, o desvio padrão 8,5 mm e um coeficiente de variação de 23,6 % (Anexo C).

A Figura 4.9 mostra a distribuição dos valores do coeficiente de variação das séries históricas da precipitação máxima de 24 horas de duração no RS.

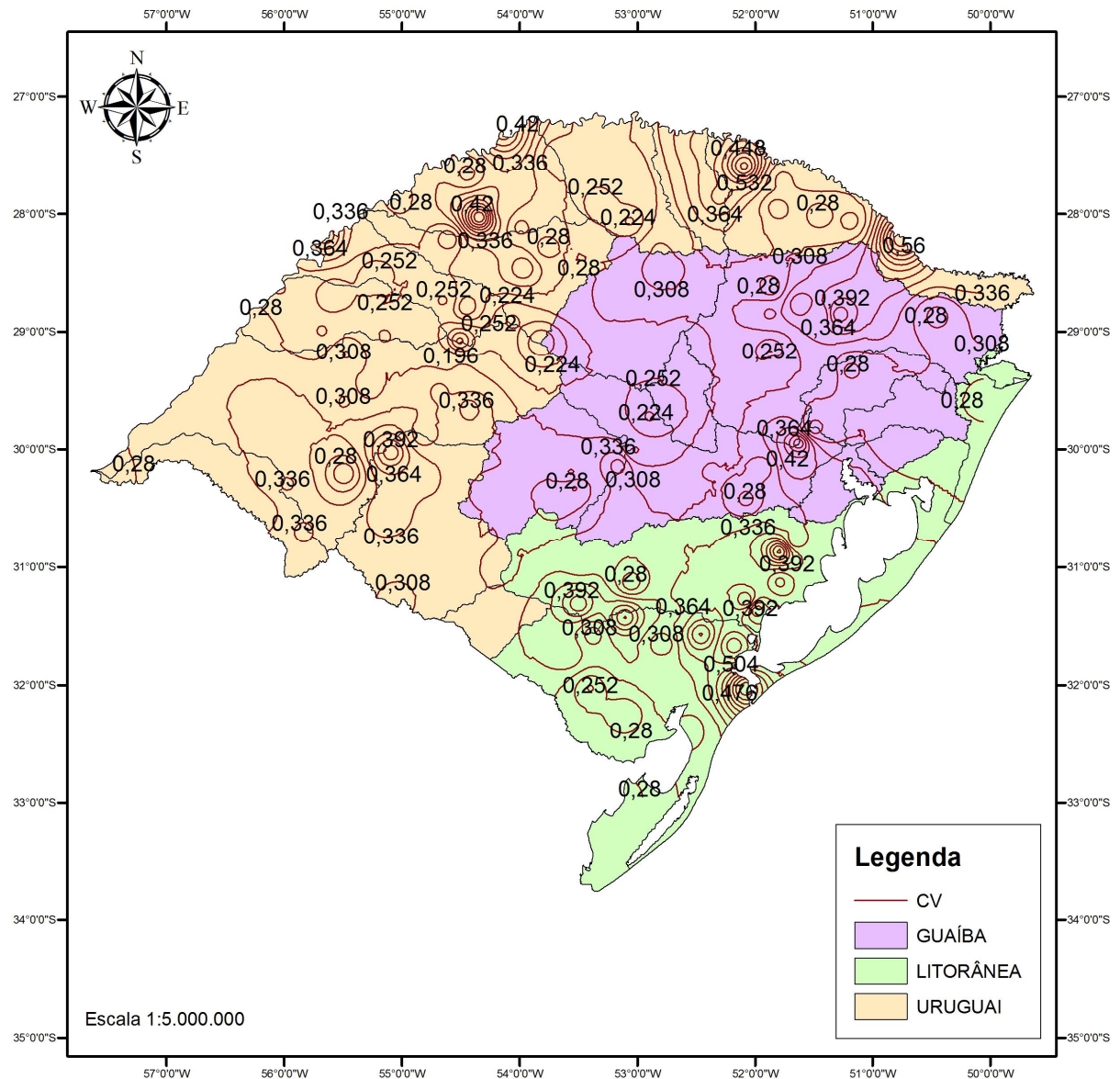


Figura 4.9 - Mapa de distribuição dos coeficientes de variação das chuvas máximas de 24 horas de duração no Estado do Rio Grande do Sul.

O maior coeficiente de variação da precipitação máxima média de 24 horas, foi calculado para a estação pluviométrica Passo do Socorro, cujo valor foi 58 % e o menor na estação pluviométrica Esquina dos Lima (Santa Bárbara), cujo valor foi 16 %, ou seja, nas mesmas estações pluviométricas onde ocorreram o maior e o menor valor do desvio padrão. O valor médio das 130 estações pluviométricas do RS, foi igual a 31 %, o desvio padrão 0,07 % e um coeficiente de variação de 23,6 %, valores que podem ser vistos no Anexo C.

Os valores estatísticos das séries históricas das chuvas máximas de 24 horas de duração (média, desvio padrão e coeficiente de variação), para cada uma das 130 estações pluviométricas do RS, foram calculados com um programa computacional, desenvolvido para essa finalidade.

Além dos valores estatísticos das séries históricas das chuvas máximas de 24 horas de duração (média, desvio padrão e coeficiente de variação), para cada uma das 130 estações pluviométricas do RS, foram calculados o coeficiente linear e o coeficiente angular da função período de retorno de Gumbel com o mesmo programa computacional.

4.3.2 Coeficientes da função período de retorno de Gumbel

Os tempos de retorno dos valores das precipitações máximas de 24 horas de duração, da série histórica, após a sua ordenação em ordem decrescente (análise de máximos), foram estimados, para cada uma das 130 estações pluviométricas, através das diferentes fórmulas de posições de plotagem.

Das cinco fórmulas de plotagem (Weibull, Gringorten, Blom, Hazen e Cunnane), a fórmula de Cunnane (equação 2.4) foi a que apresentou a melhor aderência à função de probabilidade teórica de Gumbel, que segundo a Tabela 2.1, serve para quase todas as distribuições.

O ajuste dos valores do período de retorno foi realizado com a distribuição probabilística do tipo Gumbel (1958), porque segundo Silveira & Silveira (2001), esta distribuição pode representar adequadamente eventos extremos.

A distribuição empírica de probabilidade do tipo Gumbel, expressa pela equação 2.7, foi aplicada aos valores extremos das séries históricas, neste caso a precipitação diária máxima anual. Para essa equação foi determinado o valor do

coeficiente linear (a) e o valor do coeficiente angular (b).

Os valores do período de retorno, que obtidos com a aplicação da fórmula de Cunnane, foram submetidos a uma análise de regressão linear $Y = a + b \cdot X$, na qual X é o valor de $\ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]$ e Y é o valor de $\frac{P(t,T) - P(24,T)}{s}$.

Os valores do coeficiente linear a e do coeficiente angular b , das 130 estações pluviométricas do RS, podem ser vistos no Anexo C.

A Figura 4.10 mostra a distribuição dos valores do coeficiente de linear da função de Gumbel para a chuva máxima média de 24 horas de duração no RS.

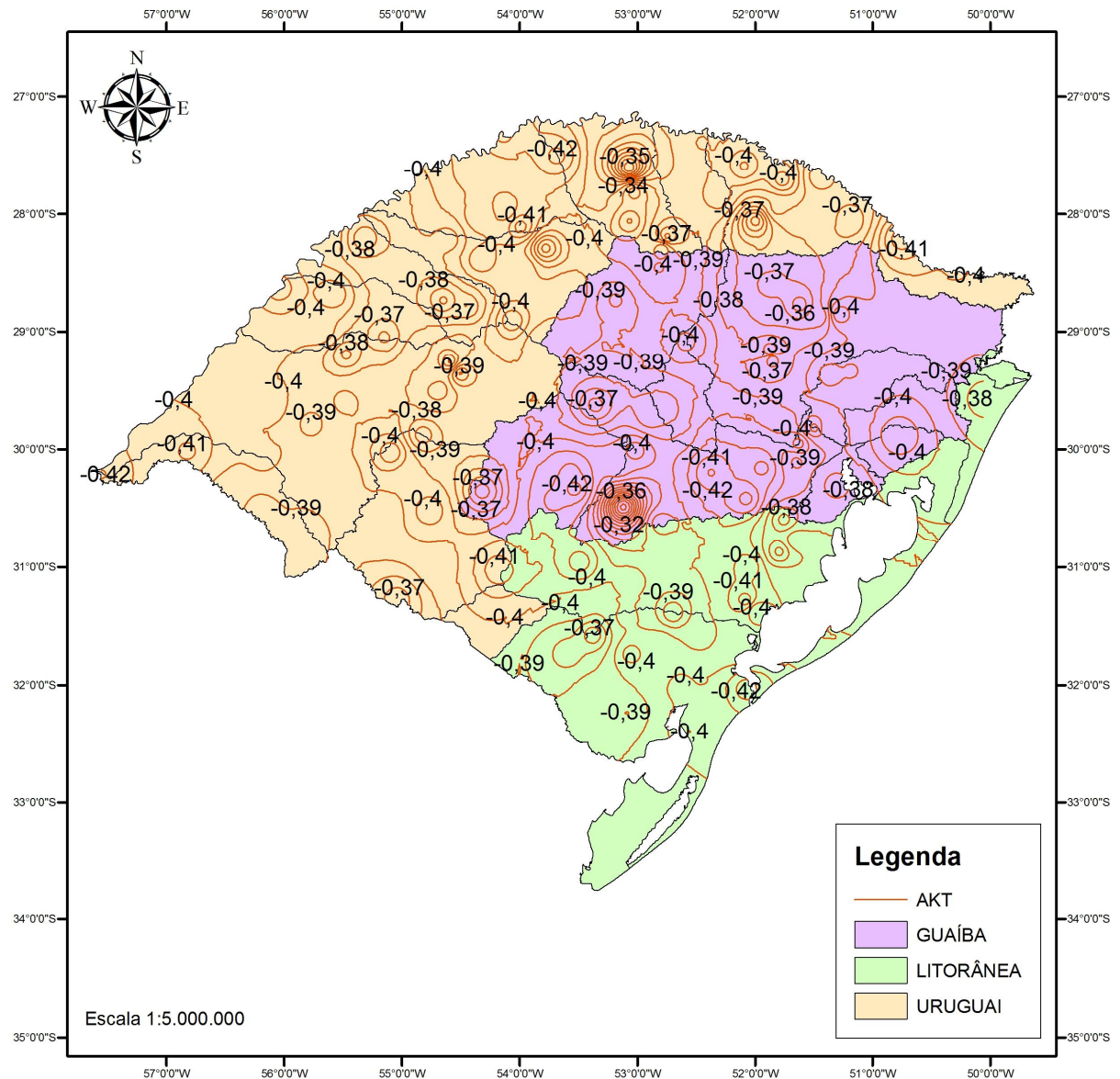


Figura 4.10 - Mapa de distribuição do coeficiente linear do período de retorno no Estado do Rio Grande do Sul.

O maior coeficiente linear (a) foi calculado para a estação pluviométrica Passo do Socorro (código 02850008), localizada na bacia hidrográfica U 010, cujo valor foi - 0,3623 e o menor na estação pluviométrica Santiago (código 02954020), cujo valor foi - 0,4591. O valor médio das 130 estações pluviométricas do RS, foi igual a - 0,4481, o desvio padrão 0,0122 e um coeficiente de variação de 2,7 % (Anexo C).

A Figura 4.11 mostra a distribuição dos valores do coeficiente de angular da função de Gumbel para a chuva máxima média de 24 horas de duração no RS.

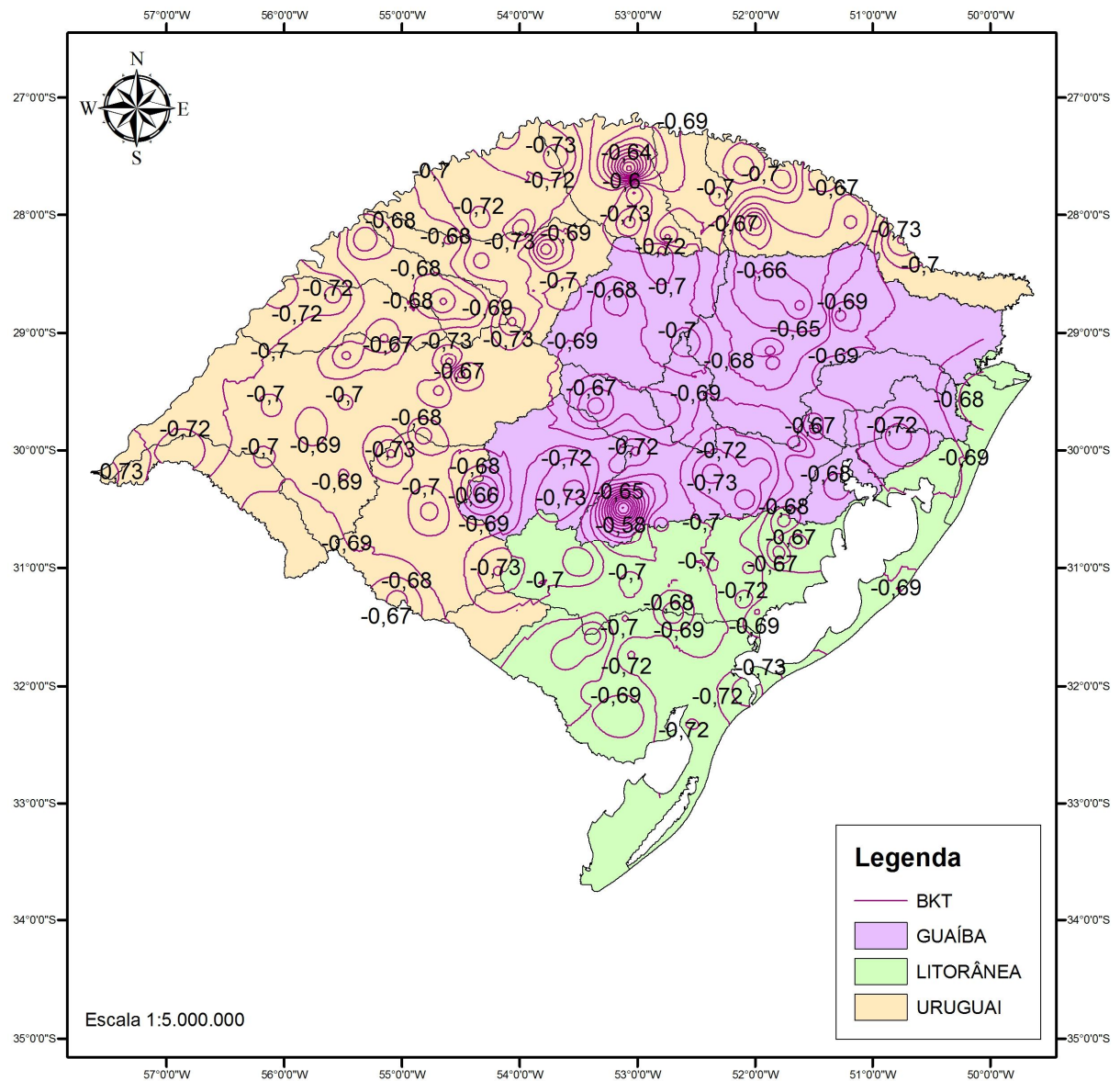


Figura 4.11 - Mapa de distribuição do coeficiente angular do período de retorno no Estado do Rio Grande do Sul.

O maior coeficiente angular (b) foi calculado para a estação pluviométrica Passo do Socorro, (código 02850008), localizada na bacia hidrográfica U 010, cujo valor foi . 0,6364 e o menor na estação pluviométrica Iraí, (código 02753019), pertencente a bacia hidrográfica U 100, cujo valor foi - 0,8249. O valor médio das 130 estações pluviométricas do RS, foi igual a . 0,4481 o desvio padrão 0,0218 e um coeficiente de variação de 2,7, idêntico ao valor do coeficiente de variação obtido para o coeficiente linear (Anexo C).

Após a obtenção dos valores dos coeficientes a e b foi feito o teste t do coeficiente linear (a), com a finalidade de determinar se o valor do coeficiente linear é igual a - 0.45 e o teste t do coeficiente angular (b) para determinar se o seu valor é igual a - 0.78.

Os resultados obtidos mostraram que, na maioria das 130 estações pluviométricas do Rio Grande do Sul, foi verificada a igualdade dos coeficientes a e b, quando comparados aos valores teóricos de $a = - 0,45$ e $b = - 0.78$, respectivamente.

Como foram verdadeiras as duas hipóteses, na maioria das 130 estações pluviométricas avaliadas (quanto aos valores de a e b), pode-se admitir que não há diferença significativa entre os procedimentos que foram comparados. Desse modo, a obtenção das precipitações máximas de 24 horas de duração em diferentes períodos de retorno com a distribuição do tipo Gumbel, pode ser feita adotando-se os coeficientes ajustados (coluna 9 e coluna 10 do Anexo C) ou adotando-se coeficientes teóricos (- 0,45 e - 0,78), nas estações para as quais foi verificada a igualdade dos dois coeficientes.

Neste estudo, optou-se por utilizar os valores dos coeficientes a e b da distribuição de Gumbel determinadas na regressão linear, para todas as 130 estações pluviométricas, mesmo nos casos, onde foi verificada igualdade dos coeficientes empíricos (a, b) com os valores teóricos (- 0,45 e . 0,78).

Os coeficientes de determinação, obtidos para o ajustamento dos coeficientes a e b da distribuição de Gumbel determinadas na regressão linear, para todas as 130 estações pluviométricas, foram em todos os casos superiores a 97,91%, o que pode ser verificado, na última coluna do Anexo C. Esses valores confirmam a alta qualidade do ajustamento realizado, uma vez que mais 97% dos valores obtidos pode ser explicada pela relação entre os valores correlacionados.

4.4 Equações de chuvas máximas Ë modelo PDF

O modelo matemático utilizado para relacionar a altura da chuva, a duração e frequência ou tempo de retorno é conhecido como equação de chuvas intensas do tipo PDF.

De acordo com Velloso (1988), uma equação de chuvas intensas do tipo PDF semelhante a equação do Pfafstetter (1962), pode ser representada pela forma analítica $P = T^b [at + b \log(1 + ct)]$, onde P é a precipitação máxima (mm), T o tempo de recorrência (anos), t o tempo de duração da precipitação (min), a, b, c, d são os coeficientes a serem determinados para cada estação pluviométrica.

4.4.1 Geração dos volumes das chuvas máximas em diferentes durações

Os valores das alturas das chuvas máximas em diferentes tempos de duração, nas 130 estações pluviométricas em diferentes bacias hidrográficas, foram calculadas, para o tempo de retorno $T = 1$ ano, pela multiplicação da altura de chuva por uma função de desagregação, que nesse trabalho, foi utilizada a função de desagregação de Robaina e Peiter (1992), simbolizada por FDRP.

A função FDRP apresentou o mesmo desempenho que outras funções de desagregação, quando foi feita a comparação com os valores das relações de duração fornecidas por Beltame et al (1991). A seleção da função FDRP, foi feita devido que a análise de regressão revelou que os coeficientes linear e angular forem bem mais próximos de 0 e 1, respectivamente, do que as demais funções de desagregação, o que pode ser deduzido pela observação da Tabela 4.14.

Os valores das alturas das chuvas máximas calculados nos tempos de duração das chuvas (5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 120, 240, 360, 720 e 1440 minutos), nas 130 estações pluviométricas, podem ser vistos na Tabela 4.15.

4.4.2 Estimativa dos coeficientes a, b, c, d Ë PDF

Os valores dos coeficientes (a, b, c) da equação de chuvas intensas do tipo PDF, para cada uma das 130 estações pluviométricas de diferentes bacias hidrográficas do RS, foram determinados a partir das alturas máximas e seus

respectivos tempos de duração, cujos valores que podem ser vistos na Tabela 4.15.

Os coeficientes das equações de chuvas máximas para as diferentes estações foram determinados através do ajustamento, pelo método dos mínimos quadrados, dos valores da altura de chuva e seus respectivos tempos de duração, através de uma técnica de otimização não linear, disponível no programa computacional Table Curve 2.0 da Jandel Scientifics.

Os valores dos coeficientes (a, b, c) da equação de chuvas intensas do tipo PDF, para cada uma das 130 estações pluviométricas de diferentes bacias hidrográficas do RS, podem ser encontrados na Tabela 4.15.

Na mesma Tabela 4.15, podem ser encontrados os valores do coeficiente de determinação r^2 , que de acordo com os valores calculados mostram o elevado grau de ajustamento entre as variáveis envolvidas.

O coeficiente d da equação de chuvas intensas (PDF ou IDF) corresponde ao expoente b_4 da função período de retorno de Robaina e Peiter (1992), simbolizada por FT_4 , neste estudo.

A determinação do coeficiente d (ou b_4) foi feita através do ajustamento, pelo método dos mínimos quadrados, de valores da função período de retorno gerados e representados por $FT(T)$ e seus respectivos tempos de retorno T. através de uma técnica de otimização não linear, disponível no programa computacional Table Curve 2.0 da Jandel Scientifics.

Os valores de $FT(T)$ foram calculados com o coeficiente de variação (cv) da altura de precipitação (coluna 7 do Anexo C), do coeficiente linear A_{KT} (coluna 9 do Anexo C) e do coeficiente angular B_{KT} (coluna 10 do Anexo C) e os tempos de retorno T iguais a 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 75, 100 e 1000 anos, através da expressão $FT(T) = 1 + cv \left\{ A_{KT} + B_{KT} \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\}$, para cada uma das 130 estações pluviométricas do Rio Grande do Sul.

Os valores dos coeficientes (a_4 , b_4) da função FT_4 , para as 130 estações pluviométricas de diferentes bacias hidrográficas do RS, podem ser encontrados no Anexo C, mostram que o coeficiente a_4 pode ser considerado igual a 1 (um) para todas as 130 estações, valores de b_4 variando entre 0,0870 e 0,2151, com valor mdio de 0,1433 e valores do coeficiente de determinação entre 0,9791 e 0,9916.

Tabela 4.15 . Alturas de chuva (mm) em diferentes tempos de duração das chuvas, coeficientes da equação PDF e coeficiente de determinação, em 130 estações pluviométricas de diferentes bacias hidrográficas do RS.

Nº	BH	Tempos de duração da chuva (min)												Coeficientes da equação tipo PDF				r ²
		5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440	a	b	c	d	
1	G 010	10,6	16,5	20,6	23,8	28,6	33,7	37,5	46,9	56,9	63,1	74,7	88,4	0,0073	13,6233	0,2341	0,1344	0,9914
2	G 030	11,7	18,2	22,8	26,3	31,6	37,2	41,4	51,8	62,8	69,7	82,4	97,5	0,0075	15,0982	0,2328	0,1316	0,9908
3	G 040	11,4	17,8	22,3	25,8	30,9	36,4	40,5	50,7	61,5	68,2	80,7	95,4	0,0061	14,9304	0,2283	0,1331	0,9971
4	G 050	13,5	21,0	26,3	30,4	36,5	43,0	47,7	59,8	72,5	80,4	95,1	112,6	0,0083	17,4632	0,2320	0,1479	0,9910
5	G 060	12,9	20,2	25,2	29,1	35,0	41,2	45,8	57,3	69,6	77,2	91,3	108,0	0,0070	16,8568	0,2292	0,1719	0,9917
6	G 070	10,3	16,1	20,2	23,3	28,0	33,0	36,7	45,9	55,7	61,8	73,1	86,5	0,0053	13,5708	0,2264	0,1358	0,9931
7	G 080	13,4	20,9	26,2	30,3	36,4	42,8	47,6	59,5	72,2	80,1	94,8	112,2	0,0070	17,5548	0,2281	0,1571	0,9920
8	G 090	12,0	18,8	23,5	27,1	32,6	38,3	42,6	53,3	64,7	71,8	84,9	100,5	0,0058	15,7425	0,2281	0,1267	0,9909
9	L 010	11,2	17,5	21,9	25,3	30,4	35,8	39,8	49,8	60,4	67,0	79,3	93,8	0,0061	14,6641	0,2284	0,1518	0,9936
10	L 030	12,1	18,9	23,6	27,3	32,8	38,6	42,9	53,7	65,2	72,3	85,5	101,2	0,0070	15,7575	0,2301	0,1252	0,9929
11	L 040	10,6	16,5	20,6	23,8	28,6	33,7	37,5	46,9	56,9	63,1	74,7	88,4	0,0073	13,6233	0,2341	0,1304	0,9913
12	U 010	11,8	18,4	23,0	26,5	31,9	37,5	41,7	52,2	63,4	70,3	83,1	98,4	0,0073	15,2291	0,2330	0,1678	0,9936
13	U 020	15,3	23,9	30,0	34,6	41,6	49,0	54,4	68,1	82,6	91,6	108,4	128,3	0,0075	20,1404	0,2267	0,1490	0,9909
14	U 030	13,5	21,1	26,4	30,5	36,6	43,1	47,9	60,0	72,8	80,7	95,5	113,0	0,0072	17,6528	0,2289	0,1500	0,9907
15	U 040	13,2	20,7	25,9	29,9	35,9	42,3	47,0	58,8	71,3	79,1	93,6	110,8	0,0058	17,4444	0,2258	0,1389	0,9894
16	U 050	11,4	17,9	22,3	25,8	31,0	36,5	40,6	50,8	61,6	68,3	80,8	95,6	0,0055	15,0179	0,2268	0,1590	0,9895
17	U 060	13,4	21,0	26,2	30,3	36,4	42,8	47,6	59,6	72,3	80,2	94,9	112,3	0,0067	17,5814	0,2280	0,1250	0,9898
18	U 070	13,7	21,4	26,7	30,9	37,1	43,7	48,5	60,8	73,7	81,8	96,8	114,5	0,0080	17,8090	0,2307	0,1257	0,9909
19	U 090	13,8	21,6	27,0	31,2	37,4	44,1	49,0	61,3	74,4	82,5	97,6	115,5	0,0069	18,0814	0,2284	0,1416	0,9930
20	U 100	15,4	24,1	30,2	34,8	41,8	49,3	54,7	68,5	83,2	92,2	109,1	129,1	0,0076	20,2394	0,2274	0,1465	0,9925
21	G 070	12,5	19,5	24,4	28,2	33,8	39,8	44,3	55,4	67,2	74,6	88,2	104,4	0,0071	16,2436	0,2308	0,1150	0,9909
22	G 070	11,2	17,5	21,9	25,3	30,3	35,7	39,7	49,7	60,3	66,9	79,1	93,6	0,0059	14,6114	0,2297	0,1408	0,9898
23	G 070	11,7	18,3	22,9	26,5	31,8	37,5	41,6	52,1	63,2	70,1	83,0	98,2	0,0059	15,4035	0,2267	0,1894	0,9937
24	G 070	13,7	21,5	26,9	31,0	37,3	43,9	48,8	61,0	74,1	82,1	97,2	115,0	0,0059	18,1199	0,2256	0,1271	0,9942
25	G 070	11,5	18,0	22,6	26,0	31,3	36,8	40,9	51,2	62,2	69,0	81,6	96,5	0,0054	15,1728	0,2262	0,1689	0,9892
26	G 070	15,3	23,9	29,9	34,5	41,5	48,8	54,2	67,9	82,4	91,4	108,1	127,9	0,0083	19,9548	0,2297	0,1493	0,9902
27	G 070	11,0	17,2	21,5	24,9	29,9	35,2	39,1	48,9	59,3	65,8	77,8	92,1	0,0054	14,4545	0,2273	0,1450	0,9915
28	G 070	12,6	19,7	24,7	28,5	34,3	40,3	44,8	56,1	68,1	75,5	89,3	105,7	0,0062	16,5898	0,2267	0,1253	0,9913
29	G 070	11,8	18,5	23,1	26,7	32,0	37,7	41,9	52,5	63,7	70,6	83,6	98,9	0,0057	15,4915	0,2279	0,1320	0,9905
30	G 070	11,4	17,8	22,3	25,7	30,9	36,3	40,4	50,6	61,3	68,0	80,5	95,2	0,0061	14,8609	0,2299	0,1265	0,9934

Tabela 4.15 . Continuação ...

Nº	BH	Tempos de duração da chuva (min)											Coeficientes da equação tipo PDF				r ²	
		5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440	a	b	c		d
31	G 070	13,9	21,7	27,1	31,4	37,7	44,3	49,3	61,7	74,8	83,0	98,2	116,2	0,0078	18,1167	0,2298	0,1473	0,9923
32	G 080	11,2	17,5	21,9	25,3	30,4	35,8	39,8	49,9	60,5	67,1	79,4	93,9	0,0064	14,6615	0,2284	0,1595	0,9927
33	G 090	14,0	21,8	27,3	31,5	37,8	44,5	49,5	61,9	75,2	83,4	98,6	116,7	0,0085	18,0859	0,2326	0,1286	0,9889
34	G 090	12,9	20,2	25,3	29,2	35,1	41,3	45,9	57,5	69,7	77,3	91,5	108,2	0,0061	17,0185	0,2262	0,1205	0,9943
35	L 010	12,7	19,8	24,7	28,6	34,3	40,4	44,9	56,2	68,2	75,6	89,4	105,8	0,0078	16,4022	0,2327	0,1304	0,9902
36	L 030	13,3	20,7	25,9	30,0	36,0	42,4	47,1	59,0	71,5	79,3	93,9	111,1	0,0082	17,2503	0,2311	0,1338	0,9918
37	L 030	12,0	18,7	23,4	27,1	32,5	38,3	42,5	53,2	64,6	71,6	84,7	100,3	0,0069	15,6194	0,2301	0,1921	0,9944
38	L 030	12,4	19,3	24,2	27,9	33,5	39,5	43,8	54,9	66,6	73,9	87,4	103,4	0,0075	16,0458	0,2320	0,1455	0,9942
39	L 030	12,8	20,0	25,0	28,9	34,7	40,9	45,4	56,9	69,0	76,5	90,5	107,1	0,0071	16,7174	0,2292	0,1464	0,9919
40	L 030	11,2	17,5	21,9	25,3	30,3	35,7	39,7	49,7	60,3	66,9	79,1	93,6	0,0059	14,6114	0,2297	0,1424	0,9907
41	L 030	12,9	20,1	25,2	29,1	35,0	41,2	45,8	57,3	69,5	77,1	91,2	107,9	0,0075	16,8296	0,2293	0,1287	0,9899
42	L 030	12,8	20,0	25,0	28,9	34,7	40,9	45,4	56,9	69,0	76,5	90,5	107,1	0,0071	16,7174	0,2292	0,1488	0,9888
43	L 030	12,0	18,8	23,5	27,1	32,6	38,4	42,7	53,4	64,8	71,8	85,0	100,6	0,0060	15,7669	0,2275	0,1587	0,9927
44	L 030	13,4	20,9	26,2	30,2	36,3	42,7	47,5	59,4	72,1	80,0	94,6	112,0	0,0074	17,4502	0,2301	0,1790	0,9914
45	L 030	14,9	23,3	29,2	33,7	40,5	47,7	53,0	66,3	80,4	89,2	105,5	124,9	0,0072	19,6130	0,2268	0,1844	0,9907
46	L 040	11,8	18,4	23,1	26,6	32,0	37,7	41,8	52,4	63,5	70,5	83,4	98,7	0,0064	15,4079	0,2292	0,1280	0,9903
47	L 040	11,0	17,2	21,5	24,9	29,9	35,2	39,1	48,9	59,4	65,9	77,9	92,2	0,0056	14,4487	0,2274	0,1510	0,9935
48	L 040	14,1	22,1	27,6	31,9	38,3	45,1	50,1	62,7	76,1	84,4	99,9	118,2	0,0068	18,5369	0,2274	0,1814	0,9898
49	L 040	13,7	21,4	26,8	30,9	37,1	43,7	48,6	60,8	73,8	81,8	96,8	114,6	0,0074	17,8749	0,2296	0,1533	0,9893
50	L 040	12,5	19,6	24,5	28,3	34,0	40,0	44,4	55,6	67,5	74,9	88,6	104,8	0,0056	16,4784	0,2266	0,1403	0,9874
51	L 040	13,3	20,8	26,0	30,0	36,1	42,5	47,2	59,1	71,7	79,5	94,0	111,3	0,0071	17,3916	0,2289	0,1491	0,9920
52	L 040	13,1	20,5	25,6	29,6	35,6	41,9	46,5	58,3	70,7	78,4	92,7	109,7	0,0069	17,1732	0,2281	0,1325	0,9927
53	L 040	13,7	21,4	26,8	31,0	37,2	43,8	48,7	61,0	74,0	82,1	97,1	114,9	0,0074	17,9740	0,2277	0,1397	0,9912
54	L 040	12,6	19,7	24,6	28,4	34,2	40,2	44,7	56,0	67,9	75,3	89,1	105,4	0,0071	16,4326	0,2297	0,1366	0,9915
55	L 040	12,4	19,4	24,3	28,0	33,7	39,7	44,1	55,2	66,9	74,2	87,8	103,9	0,0062	16,2980	0,2273	0,1224	0,9937
56	L 040	13,1	20,5	25,6	29,6	35,5	41,8	46,5	58,2	70,6	78,3	92,7	109,6	0,0069	17,1243	0,2291	0,1604	0,9887
57	L 040	12,4	19,3	24,2	28,0	33,6	39,5	43,9	55,0	66,7	74,0	87,6	103,6	0,0071	16,1323	0,2302	0,1524	0,9878
58	L 040	13,9	21,7	27,1	31,3	37,6	44,3	49,2	61,6	74,8	82,9	98,1	116,1	0,0083	18,0239	0,2315	0,1381	0,9912
59	L 040	14,9	23,2	29,1	33,6	40,3	47,5	52,8	66,1	80,2	88,9	105,2	124,5	0,0088	19,3625	0,2306	0,1779	0,9933
60	L 040	9,7	15,1	18,9	21,8	26,2	30,8	34,3	42,9	52,1	57,7	68,3	80,8	0,0061	12,5098	0,2331	0,2151	0,9894

Tabela 4.15 . Continuação ...

Nº	BH	Tempos de duração da chuva (min)												Coeficientes da equação tipo PDF				r ²
		5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440	a	b	c	d	
61	L 040	12,7	19,8	24,8	28,6	34,4	40,5	45,0	56,3	68,4	75,8	89,7	106,1	0,0075	16,5078	0,2306	0,1359	0,9912
62	U 010	12,9	20,1	25,2	29,1	34,9	41,1	45,7	57,2	69,4	77,0	91,0	107,7	0,0074	16,7739	0,2305	0,1497	0,9903
63	U 010	13,4	20,9	26,2	30,2	36,3	42,8	47,5	59,5	72,2	80,0	94,7	112,1	0,0077	17,4630	0,2298	0,1299	0,9921
64	U 010	13,0	20,3	25,4	29,3	35,2	41,5	46,1	57,7	70,0	77,6	91,8	108,6	0,0073	16,9364	0,2300	0,1303	0,9911
65	U 010	13,9	21,7	27,2	31,4	37,7	44,4	49,3	61,7	74,9	83,1	98,3	116,3	0,0072	18,1890	0,2286	0,1884	0,9933
66	U 010	11,1	17,3	21,6	25,0	30,0	35,3	39,3	49,2	59,7	66,2	78,3	92,6	0,0071	14,3454	0,2324	0,1548	0,9888
67	U 010	12,2	19,0	23,8	27,4	33,0	38,8	43,1	54,0	65,5	72,6	85,9	101,7	0,0074	15,7652	0,2325	0,1417	0,9937
68	U 010	13,8	21,6	27,0	31,2	37,5	44,2	49,1	61,4	74,5	82,6	97,8	115,7	0,0070	18,1370	0,2273	0,1873	0,9894
69	U 010	13,3	20,8	26,0	30,0	36,1	42,5	47,2	59,1	71,7	79,5	94,0	111,3	0,0071	17,3916	0,2289	0,1285	0,9923
70	U 010	13,4	20,9	26,1	30,2	36,2	42,7	47,4	59,3	72,0	79,8	94,5	111,8	0,0079	17,3568	0,2318	0,1457	0,9896
71	U 020	13,7	21,3	26,7	30,8	37,0	43,6	48,5	60,7	73,6	81,6	96,6	114,3	0,0090	17,6854	0,2326	0,1696	0,9940
72	U 020	14,4	22,4	28,1	32,4	39,0	45,9	51,0	63,8	77,4	85,9	101,6	120,2	0,0089	18,6718	0,2312	0,1651	0,9898
73	U 030	11,3	17,6	22,0	25,4	30,5	36,0	40,0	50,0	60,7	67,3	79,6	94,2	0,0073	14,5843	0,2328	0,1828	0,9906
74	U 030	14,4	22,5	28,2	32,5	39,1	46,0	51,2	64,0	77,7	86,2	101,9	120,6	0,0076	18,8678	0,2282	0,1286	0,9947
75	U 030	14,2	22,2	27,7	32,0	38,5	45,3	50,3	63,0	76,5	84,8	100,3	118,7	0,0081	18,4805	0,2304	0,1437	0,9896
76	U 030	11,0	17,3	21,6	24,9	30,0	35,3	39,2	49,1	59,5	66,0	78,1	92,4	0,0045	14,5917	0,2248	0,2014	0,9908
77	U 030	15,7	24,5	30,6	35,3	42,5	50,0	55,6	69,5	84,4	93,6	110,7	131,0	0,0095	20,3364	0,2318	0,1294	0,9903
78	U 030	14,6	22,8	28,6	33,0	39,7	46,7	51,9	64,9	78,8	87,4	103,4	122,3	0,0074	19,1812	0,2273	0,1315	0,9897
79	U 030	14,8	23,0	28,8	33,3	40,0	47,1	52,4	65,5	79,5	88,2	104,3	123,4	0,0098	19,1009	0,2326	0,1344	0,9935
80	U 040	14,7	23,0	28,8	33,2	39,9	47,0	52,2	65,4	79,3	88,0	104,1	123,1	0,0075	19,2818	0,2280	0,1499	0,9915
81	U 040	15,5	24,1	30,2	34,9	41,9	49,4	54,8	68,6	83,3	92,4	109,3	129,3	0,0098	20,0468	0,2320	0,1744	0,9932
82	U 040	14,9	23,3	29,2	33,7	40,5	47,7	53,0	66,3	80,4	89,2	105,5	124,9	0,0072	19,6130	0,2268	0,1356	0,9867
83	U 040	13,8	21,6	27,0	31,2	37,5	44,2	49,1	61,4	74,5	82,6	97,8	115,7	0,0070	18,1370	0,2273	0,1236	0,9925
84	U 040	14,0	21,9	27,4	31,6	38,0	44,7	49,7	62,2	75,4	83,6	99,0	117,1	0,0070	18,3351	0,2285	0,1172	0,9881
85	U 050	14,5	22,6	28,3	32,6	39,2	46,2	51,3	64,2	77,9	86,4	102,2	120,9	0,0086	18,7799	0,2318	0,1451	0,9909
86	U 050	15,5	24,1	30,2	34,9	41,9	49,4	54,8	68,6	83,3	92,4	109,3	129,3	0,0098	20,0468	0,2320	0,1459	0,9937
87	U 050	15,0	23,4	29,3	33,8	40,6	47,8	53,1	66,5	80,7	89,5	105,9	125,3	0,0085	19,4981	0,2307	0,1345	0,9919
88	U 050	14,2	22,2	27,8	32,1	38,6	45,5	50,5	63,2	76,7	85,1	100,7	119,1	0,0074	18,6627	0,2272	0,0870	0,9921
89	U 050	16,2	25,3	31,7	36,6	44,0	51,8	57,6	72,1	87,4	97,0	114,7	135,7	0,0087	21,2401	0,2279	0,1499	0,9907
90	U 050	14,5	22,6	28,3	32,7	39,2	46,2	51,3	64,2	78,0	86,5	102,3	121,0	0,0084	18,8216	0,2311	0,1300	0,9930

Tabela 4.15 . Continuação ...

Nº	BH	Tempos de duração da chuva (min)											Coeficientes da equação tipo PDF				r ²	
		5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440	a	b	c		d
91	U 050	14,8	23,2	29,0	33,5	40,2	47,4	52,7	65,9	80,0	88,7	104,9	124,2	0,0071	19,4984	0,2267	0,1413	0,9918
92	U 050	15,3	24,0	30,0	34,6	41,6	49,0	54,4	68,2	82,7	91,7	108,5	128,4	0,0072	20,1678	0,2266	0,1468	0,9954
93	U 050	14,0	21,8	27,3	31,6	37,9	44,7	49,6	62,1	75,4	83,6	98,9	117,0	0,0084	18,2057	0,2303	0,1452	0,9949
94	U 050	14,8	23,1	28,9	33,4	40,1	47,3	52,5	65,7	79,8	88,5	104,7	123,9	0,0086	19,2994	0,2296	0,1249	0,9889
95	U 050	14,4	22,4	28,1	32,4	39,0	45,9	51,0	63,8	77,4	85,9	101,6	120,2	0,0089	18,6718	0,2312	0,1579	0,9940
96	U 050	14,8	23,1	29,0	33,4	40,2	47,3	52,6	65,8	79,8	88,5	104,8	124,0	0,0078	19,3996	0,2280	0,1374	0,9947
97	U 050	15,0	23,4	29,3	33,8	40,6	47,8	53,1	66,5	80,7	89,5	105,9	125,3	0,0085	19,4981	0,2307	0,1178	0,9920
98	U 050	13,4	20,9	26,1	30,2	36,2	42,7	47,4	59,3	72,0	79,8	94,5	111,8	0,0079	17,3568	0,2318	0,0944	0,9902
99	U 060	12,8	20,0	25,0	28,9	34,7	40,9	45,4	56,9	69,0	76,5	90,5	107,1	0,0071	16,7174	0,2292	0,1293	0,9943
100	U 060	15,1	23,6	29,5	34,1	41,0	48,3	53,6	67,1	81,5	90,3	106,9	126,5	0,0083	19,7576	0,2286	0,1354	0,9890
101	U 060	16,0	25,0	31,3	36,1	43,4	51,1	56,8	71,1	86,3	95,7	113,2	133,9	0,0087	20,9183	0,2289	0,1533	0,9894
102	U 060	13,9	21,7	27,2	31,4	37,7	44,4	49,3	61,7	74,9	83,1	98,3	116,3	0,0072	18,1890	0,2286	0,1419	0,9911
103	U 060	14,6	22,7	28,4	32,8	39,5	46,5	51,6	64,6	78,4	87,0	102,9	121,7	0,0097	18,8270	0,2329	0,1450	0,9896
104	U 060	13,9	21,7	27,2	31,4	37,8	44,5	49,4	61,8	75,0	83,2	98,5	116,5	0,0074	18,2396	0,2276	0,1545	0,9902
105	U 060	13,3	20,7	25,9	30,0	36,0	42,4	47,1	59,0	71,5	79,3	93,9	111,1	0,0082	17,2503	0,2311	0,1379	0,9913
106	U 070	13,9	21,8	27,2	31,5	37,8	44,5	49,4	61,9	75,1	83,3	98,5	116,6	0,0065	18,3206	0,2266	0,1364	0,9928
107	U 070	13,1	20,4	25,5	29,5	35,4	41,7	46,3	58,0	70,4	78,0	92,3	109,2	0,0082	16,9293	0,2324	0,1484	0,9931
108	U 070	13,3	20,7	25,9	29,9	36,0	42,3	47,1	58,9	71,5	79,3	93,8	111,0	0,0087	17,1823	0,2324	0,1537	0,9930
109	U 070	15,7	24,5	30,6	35,4	42,5	50,0	55,6	69,6	84,4	93,7	110,8	131,1	0,0092	20,3810	0,2311	0,1590	0,9919
110	U 070	17,6	27,5	34,4	39,7	47,7	56,2	62,4	78,2	94,8	105,2	124,4	147,2	0,0097	22,9681	0,2295	0,1792	0,9891
111	U 070	14,9	23,3	29,1	33,6	40,4	47,6	52,9	66,2	80,3	89,0	105,4	124,7	0,0084	19,4454	0,2295	0,1533	0,9905
112	U 070	15,7	24,5	30,7	35,5	42,6	50,2	55,7	69,8	84,6	93,9	111,1	131,4	0,0084	20,5579	0,2283	0,1429	0,9934
113	U 070	13,4	20,9	26,1	30,2	36,3	42,7	47,4	59,4	72,1	79,9	94,5	111,9	0,0080	17,3859	0,2312	0,1410	0,9885
114	U 090	14,0	21,8	27,3	31,5	37,8	44,5	49,5	61,9	75,2	83,4	98,6	116,7	0,0085	18,0859	0,2326	0,1337	0,9883
115	U 090	13,7	21,5	26,9	31,0	37,3	43,9	48,8	61,0	74,1	82,1	97,2	115,0	0,0059	18,1199	0,2256	0,1542	0,9896
116	U 090	14,8	23,2	29,0	33,5	40,2	47,4	52,7	65,9	80,0	88,7	104,9	124,2	0,0071	19,4984	0,2267	0,1377	0,9917
117	U 090	13,1	20,5	25,7	29,6	35,6	41,9	46,6	58,3	70,8	78,5	92,8	109,8	0,0065	17,2321	0,2271	0,1312	0,9933
118	U 090	14,4	22,5	28,2	32,6	39,1	46,1	51,2	64,1	77,8	86,2	102,0	120,7	0,0073	18,9319	0,2271	0,1145	0,9926
119	U 090	15,3	23,9	29,9	34,6	41,5	48,9	54,3	68,0	82,5	91,5	108,3	128,1	0,0082	20,0259	0,2285	0,1114	0,9940
120	U 100	13,6	21,2	26,5	30,6	36,8	43,3	48,2	60,3	73,2	81,1	96,0	113,6	0,0086	17,6087	0,2318	0,1141	0,9886

Tabela 4.15 . Continuação ...

Nº	BH	Tempos de duração da chuva (min)												Coeficientes da equação tipo PDF				r ²
		5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440	a	b	c	d	
121	U 100	13,6	21,2	26,6	30,7	36,8	43,4	48,2	60,3	73,2	81,2	96,1	113,7	0,0074	17,7307	0,2297	0,1333	0,9928
122	U 100	12,1	18,9	23,7	27,4	32,9	38,7	43,0	53,8	65,3	72,4	85,7	101,4	0,0058	15,9237	0,2268	0,1348	0,9915
123	U 100	14,2	22,1	27,7	32,0	38,4	45,3	50,3	63,0	76,4	84,7	100,2	118,6	0,0087	18,4249	0,2310	0,1294	0,9900
124	U 100	13,7	21,4	26,8	31,0	37,2	43,8	48,7	61,0	74,0	82,1	97,1	114,9	0,0074	17,9740	0,2277	0,1291	0,9924
125	U 100	13,4	20,9	26,2	30,3	36,4	42,8	47,6	59,5	72,2	80,1	94,8	112,2	0,0070	17,5548	0,2281	0,1203	0,9942
126	U 110	15,7	24,6	30,7	35,5	42,7	50,2	55,8	69,9	84,8	94,0	111,2	131,6	0,0079	20,6273	0,2275	0,1435	0,9909
127	U 110	13,3	20,7	25,9	30,0	36,0	42,4	47,1	59,0	71,5	79,3	93,9	111,1	0,0082	17,2503	0,2311	0,1247	0,9910
128	U 110	14,9	23,3	29,2	33,7	40,5	47,7	53,0	66,3	80,4	89,2	105,5	124,9	0,0072	19,6130	0,2268	0,1189	0,9934
129	U 110	15,0	23,5	29,4	34,0	40,8	48,0	53,4	66,8	81,1	89,9	106,4	125,9	0,0069	19,7978	0,2261	0,1246	0,9896
130	U 110	15,9	24,8	31,1	35,9	43,1	50,7	56,4	70,6	85,6	95,0	112,3	132,9	0,0085	20,7630	0,2292	0,1255	0,9913
Média		13,4	20,9	26,2	30,3	36,4	43,0	47,8	60,2	73,8	82,5	99,9	122,7	0,0074	17,5709	0,2293	0,1433	
D. Padrão		1,4	2,3	2,8	3,3	3,9	4,6	5,1	6,4	7,8	8,7	10,2	12,1	0,0011	1,9020	0,0021	0,0204	
C. V.(%)		10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,7	10,7	10,6	10,5	10,3	9,9	14,5	10,8	0,9	14,2	
Maior		17,6	27,5	34,4	39,7	47,7	56,2	62,4	78,2	94,8	105,2	124,4	147,2	0,0098	22,9681	0,2341	0,2151	0,9971
Menor		9,7	15,1	18,9	21,8	26,2	30,8	34,3	42,9	52,1	57,7	68,3	80,8	0,0045	12,5098	0,2248	0,0870	0,9867

4.4.3 Espacialização dos coeficientes do modelo PDF

Os valores dos coeficientes (a, b, c, d) das equações de chuvas intensas do tipo PDF, para cada uma das 130 estações pluviométricas do Rio Grande do Sul, podem ser encontrados na Tabela 4.15.

Os valores de cada tema foram colocados sobre um mapa do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:5000000, Datum SIRGAS2000, com o auxílio do programa ArcMapi 9.3 (ESRI). As linhas de isovalores foram geradas, a partir da interpolação dos dados, ponderados pelo inverso da distancia, para cada tema das 130 estações pluviométricas do RS.

4.4.3.1 Coeficiente a

A Figura 4.12 mostra a distribuição dos valores do coeficiente (a) da equação de chuvas intensas do tipo PDF no RS.

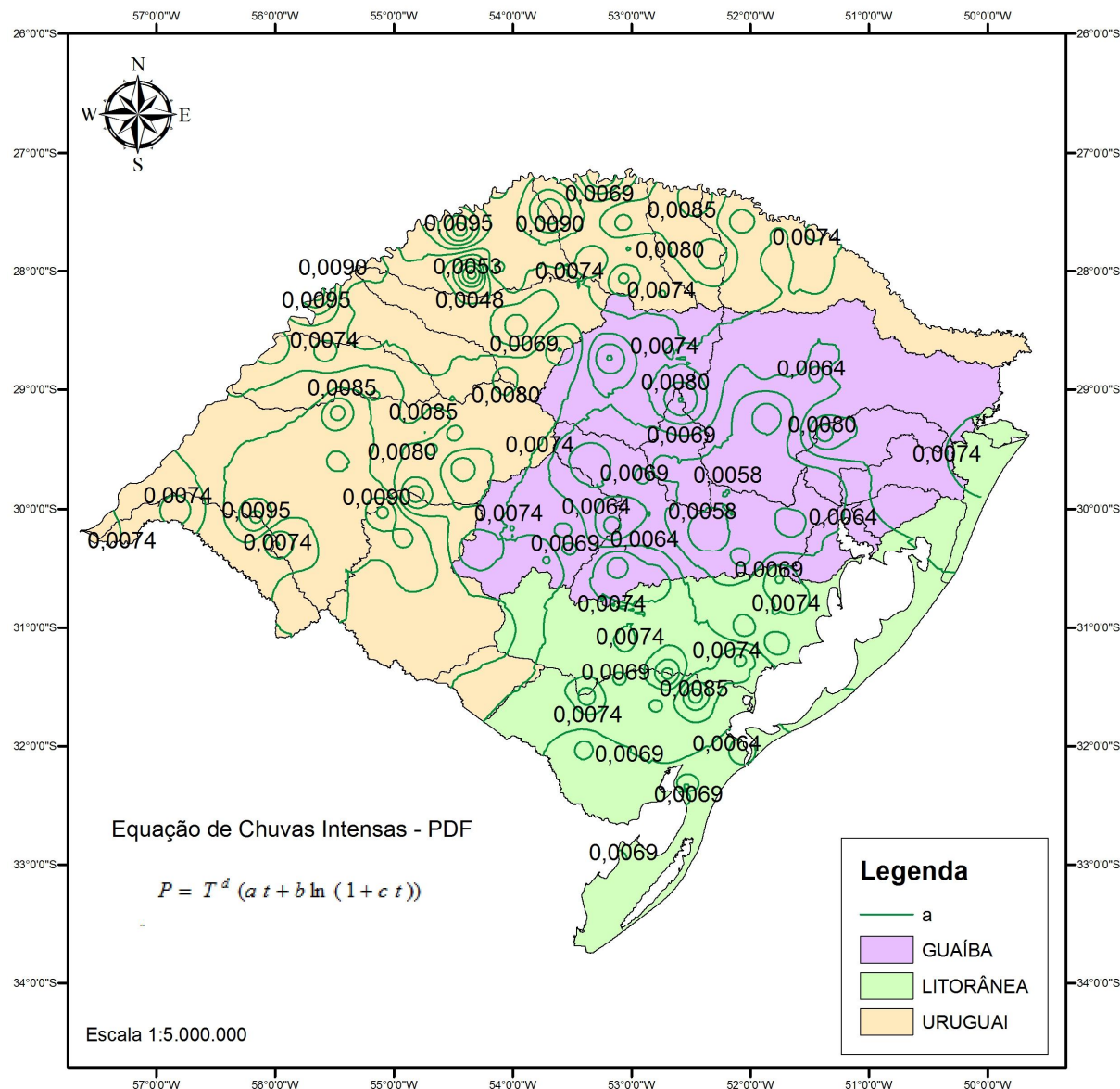


Figura 4.12 É Mapa de isovalores do coeficiente (a) da equação de chuvas intensas PDF para o Rio Grande do Sul.

O maior valor do coeficiente (a) da equação de chuvas intensas do tipo PDF foi calculado na estação pluviométrica Tucunduva (código 02754009), localizada na bacia hidrográfica U 030, cujo valor foi igual a 0,0098 e o menor na estação Giruá (02854003), localizada na bacia hidrográfica U 030, cujo valor foi 0,0045.

O valor médio, das 130 estações pluviométricas, foi igual a 0,0074, tendo um desvio padrão de 0,0011 e um coeficiente de variação de 14,5 % (Tabela 4.15).

4.4.3.2 Coeficiente b

A Figura 4.13 mostra a distribuição dos valores do coeficiente (b) da equação de chuvas intensas do tipo PDF no RS.

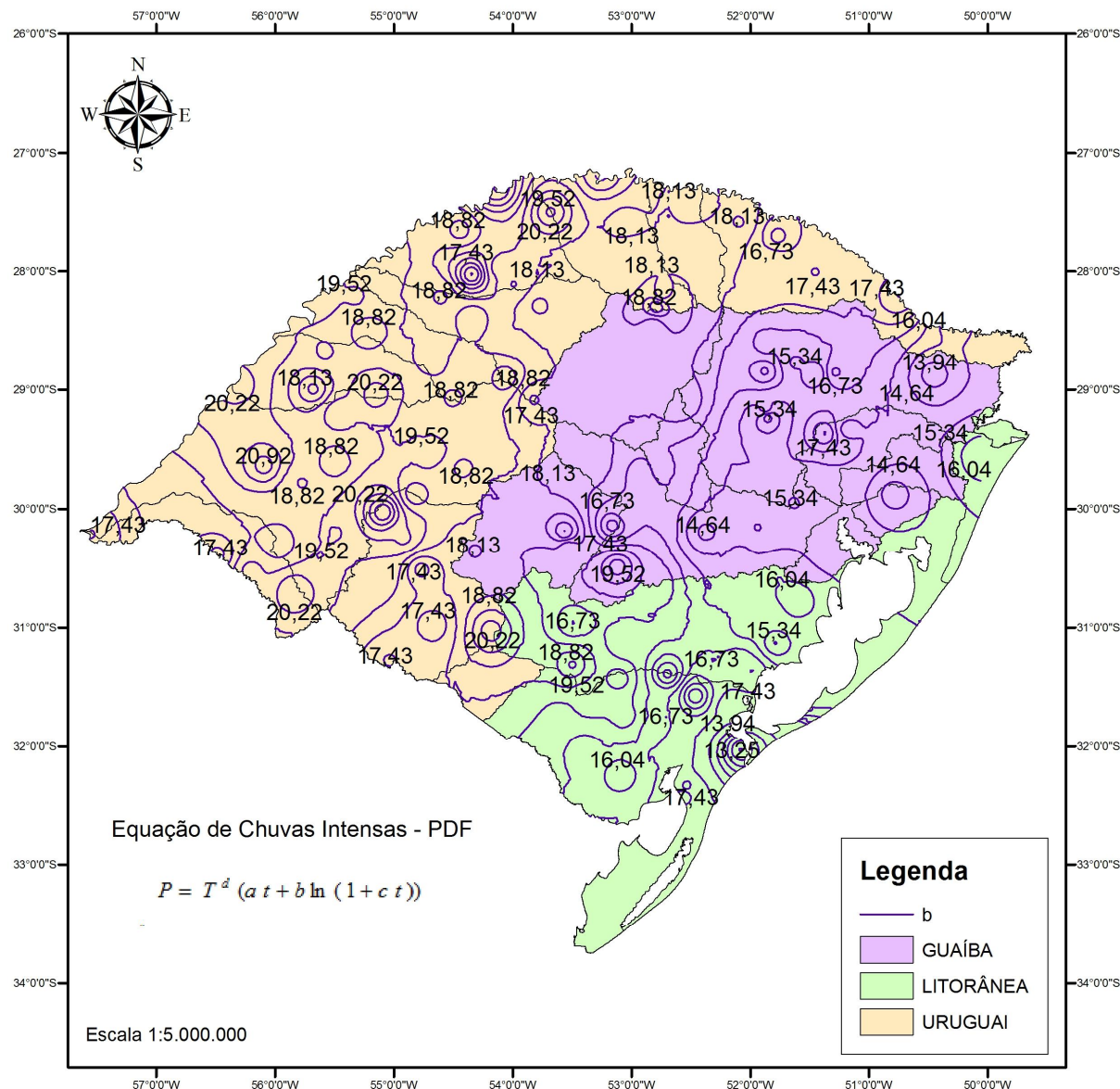


Figura 4.13 É Mapa de isovalores do coeficiente (b) da equação de chuvas intensas PDF para o Rio Grande do Sul.

O maior valor do coeficiente (b) foi calculado na estação pluviométrica Saicã (3055004), localizada na bacia hidrográfica U 070, cujo valor foi igual a 22,97 e o menor na estação Rio Grande Regatas (03252024), localizada na bacia hidrográfica L 040, cujo valor foi 12,51.

O valor médio, das 130 estações pluviométricas, foi igual a 17,57, para um desvio padrão de 1,90 e coeficiente de variação de 10,8 % (Tabela 4.15).

4.4.3.3 Coeficiente c

A Figura 4.14 mostra a distribuição dos valores do coeficiente (c) da equação de chuvas intensas do tipo PDF no RS.

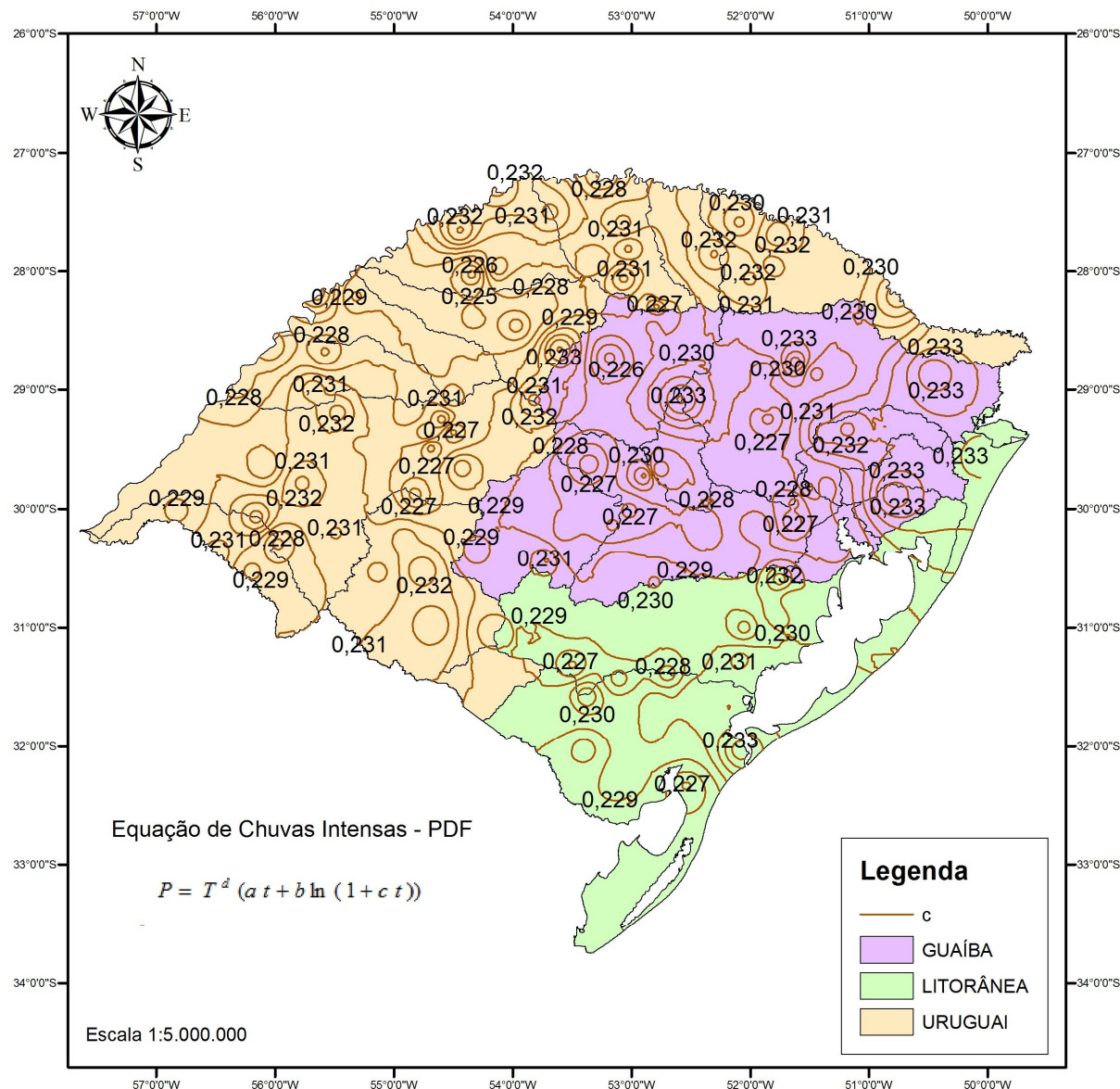


Figura 4.14 É Mapa de isovalores do coeficiente (c) da equação de chuvas intensas PDF para o Rio Grande do Sul.

O maior valor do coeficiente (c) foi calculado na estação pluviométrica Glórinha (02950016), localizada na bacia hidrográfica G 010, cujo valor foi igual a 0,2341 e o menor valor foi igual a 0,2248, na estação pluviométrica Giruá.

O valor médio do coeficiente (c), das 130 estações pluviométricas, foi igual a 0,2293, para um desvio padrão de 0,0021 1,90 e coeficiente de variação de 0,9 % (Tabela 4.15).

4.4.3.4 Coeficiente d

A Figura 4.15 mostra a distribuição dos valores do coeficiente (c) da equação de chuvas intensas do tipo PDF no RS.

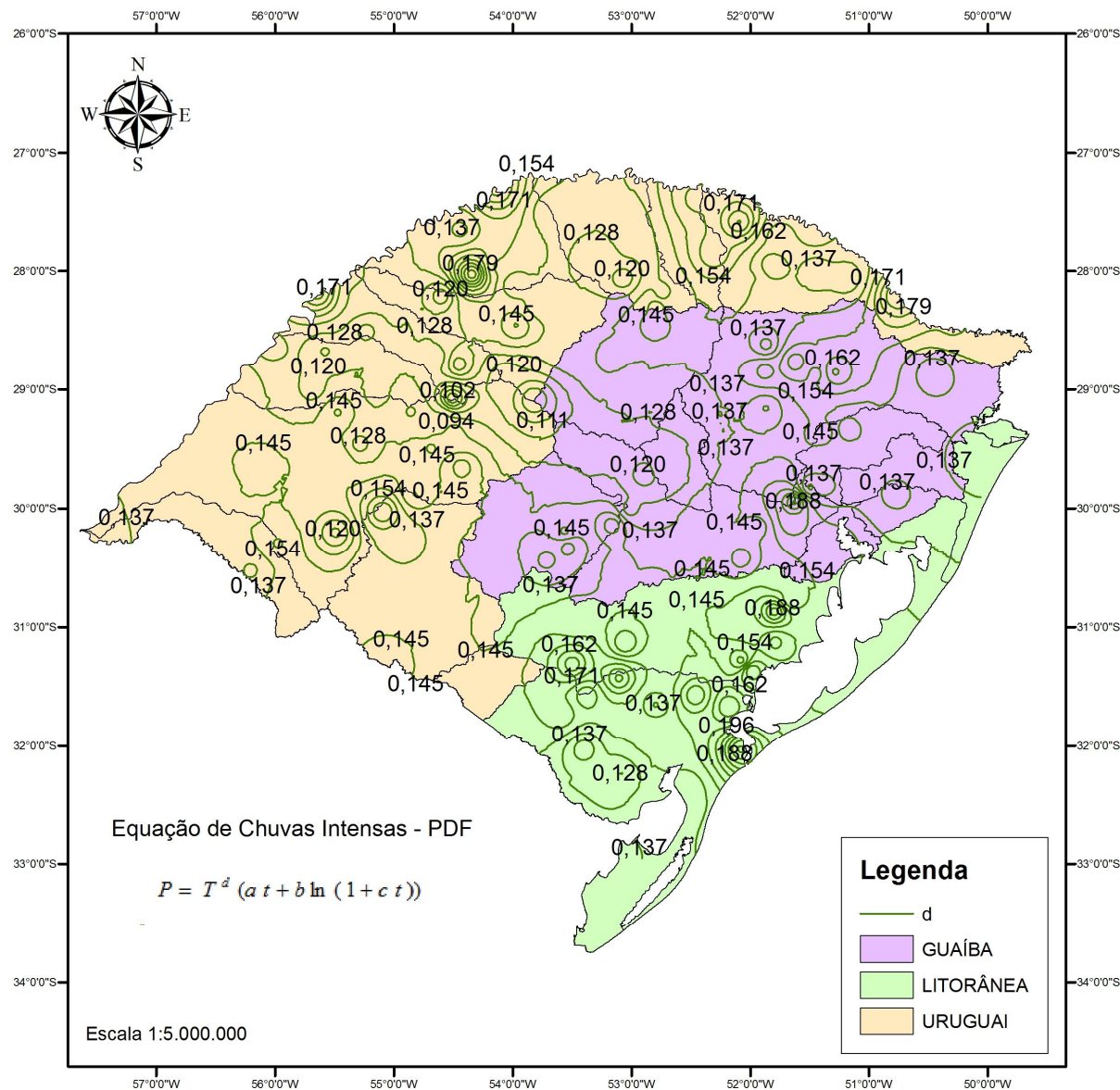


Figura 4.15 É Mapa de isovalores do coeficiente (d) da equação de chuvas intensas PDF para o Rio Grande do Sul.

O maior valor do coeficiente (d) foi calculado para a estação Rio Grande Regatas, cujo valor foi igual a 0,2151 e o menor na estação Esquina dos Lima Santa Bárbara (02954031), localizada na bacia hidrográfica U 050, cujo valor foi 0,0870.

O valor médio do coeficiente (d), das 130 estações pluviométricas, foi igual a 0,1433, para um desvio padrão de 0,0204 e um coeficiente de variação de 14,2%, que podem ser vistos na Tabela 4.15.

Exemplos de valores dos coeficientes (a, b, c, d) de equações de chuvas intensas do tipo PDF podem ser encontrados no trabalho sobre chuvas intensas, realizado no Brasil por Pfsfetteter (1982) e em Velloso (1988).

O trabalho Pfsfetteter (1982), que versou sobre 98 estações pluviométricas distribuídas em vários Estados do País apresentou mostrou os seguintes resultados para os coeficientes da equação de chuvas do tipo PDF.

Os valores do coeficiente (a) da equação de chuvas intensas do tipo PDF, para treze estações pluviométricas do Rio Grande do Sul, localizadas nos municípios de Alegrete, Bagé, Caxias do Sul, Cruz Alta, Encruzilhada do Sul, Irai, Passo Fundo, Porto Alegre, São Luiz Gonzaga, Santa Maria, Santa Vitória do Palmar, Uruguaiana e Viamão variaram entre 0,0033 (Uruguaiana e Viamão) e 0,0133 (Encruzilhada do Sul), apresentando um valor médio de 0,0076, desvio padrão de 0,0029 e coeficiente de variação de 38%.

Os valores do coeficiente (b) da equação de chuvas intensas do tipo PDF, variaram entre 9,12 (Passo Fundo) e 16,07 (Santa Maria), apresentando um valor médio de 11,69, desvio padrão de 2,33 e coeficiente de variação de 19,9%.

Os valores do coeficiente (c) da equação de chuvas intensas do tipo PDF, variaram entre 0,1667 (Santa Maria e Uruguaiana) e 0,3333 (as outras onze estações), apresentando um valor médio de 0,3077, desvio padrão de 0,0626 e coeficiente de variação de 20,3%.

Os valores do coeficiente (d) da equação de chuvas intensas do tipo PDF, segundo Velloso (1988) variam entre 0,110 e 0,210 para chuvas de 5 minutos e chuvas de 24 horas de duração, respectivamente.

Ainda Velloso (1988), apresenta mais um coeficiente para ser usado, como fator de multiplicação, na expressão de chuvas intensas do tipo PDF. Segundo esse autor, esse coeficiente tem um valor de 1,2 para regiões costeiras cuja altura média de chuva anual seja igual ou maior que 1500 mm, 1,6 para regiões entre o mar e barreiras orográficas com cristas próximas de 1500 m e 1,0 para as demais regiões.

De uma maneira geral, os valores dos coeficientes (a, b, c, d) encontrados nesse estudo, foram semelhantes aos valores destes coeficientes obtidos por outros estudos de chuvas intensas do tipo PDF realizados no RS e mesmo no Brasil, sendo que para este pode-se citar que o valor médio, em 98 estações, a média do coeficiente a foi igual a 0,0067 para o coeficiente b igual a 12,16, para o coeficiente c igual a 0,3333 e para o coeficiente d, segundo Velloso (1988), igual 0,16.

4.5 Equações de chuvas máximas E modelo IDF

O modelo matemático utilizado para relacionar a intensidade máxima da chuva, a duração e tempo de retorno é conhecido como equação de chuvas intensas do tipo IDF, que segundo Villela e Mattos (1977), pode ser representada pela forma analítica $I = \frac{a T^b}{(t + c)^d}$, onde I é a intensidade (mm/h), T o tempo de recorrência (anos), t o tempo de duração da precipitação (min), a, b, c, d são os coeficientes a serem determinados para cada estação pluviométrica.

4.5.1 Geração das intensidades máximas das chuvas em diferentes durações

Os valores das intensidades máximas em diferentes tempos de duração, nas 130 estações pluviométricas de diferentes bacias hidrográficas, foram calculados dividindo-se os valores das alturas de chuva, que constam na Tabela 4.15, pelo seu respectivo tempo de duração (min) e multiplicando-se pelo fator 60, para a intensidade da chuva resultante fosse expressa em mm/h.

Os valores das intensidades máximas em diferentes tempos de duração nas 130 estações pluviométricas em diferentes bacias hidrográficas, podem ser vistos nas Tabela 4.16.

4.5.2 Estimativa dos coeficientes a, b, c, d - IDF

Os coeficientes (a, c, d) das equações de chuvas intensas do tipo IDF, foram determinados com valores das intensidades máximas e seus respectivos tempos de duração (Tabela 4.16).

Os coeficientes (a, c, d) e o coeficiente b da equação de chuvas (IDF) foram determinados com a mesma metodologia utilizada para a determinação dos coeficientes das equações PDF. Os valores dos coeficientes (a, b, c, d) da equação de chuvas intensas do tipo IDF, para cada uma das 130 estações pluviométricas de diferentes bacias hidrográficas do RS, podem ser vistos na Tabela 4.16, onde também consta o respectivo coeficiente de determinação r^2 , que apresenta valores superiores a 98, 45 %.

Tabela 4.16 . Intensidades máximas das chuvas (mm/h) em diferentes tempos de duração das chuvas, coeficientes da equação IDF e coeficiente de determinação, em 130 estações pluviométricas de diferentes bacias hidrográficas do RS.

Nº	BH	Tempos de duração da chuva (min)												Coeficientes da equação tipo IDF				r ²
		5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440	a	b	c	d	
1	G 010	126,8	99,0	82,6	71,5	57,3	45,0	37,5	23,5	14,2	10,5	6,2	3,7	926,44	0,1344	8,97	0,7584	0,9925
2	G 030	140,0	109,3	91,2	79,0	63,2	49,6	41,4	25,9	15,7	11,6	6,9	4,1	1010,24	0,1316	8,84	0,7560	0,9902
3	G 040	136,9	106,9	89,2	77,3	61,9	48,6	40,5	25,3	15,4	11,4	6,7	4,0	998,57	0,1331	8,97	0,7578	0,9929
4	G 050	161,5	126,1	105,2	91,1	73,0	57,3	47,7	29,9	18,1	13,4	7,9	4,7	1181,75	0,1479	8,99	0,7587	0,9876
5	G 060	155,0	121,0	101,0	87,4	70,0	55,0	45,8	28,7	17,4	12,9	7,6	4,5	1135,97	0,1719	9,02	0,7589	0,9898
6	G 070	124,0	96,8	80,8	70,0	56,1	44,0	36,7	22,9	13,9	10,3	6,1	3,6	908,08	0,1358	9,00	0,7587	0,9909
7	G 080	160,9	125,6	104,8	90,8	72,7	57,1	47,6	29,8	18,1	13,4	7,9	4,7	1171,96	0,1571	8,97	0,7575	0,9897
8	G 090	144,1	112,5	93,9	81,3	65,1	51,1	42,6	26,7	16,2	12,0	7,1	4,2	1048,83	0,1267	8,96	0,7573	0,9957
9	L 010	134,6	105,1	87,7	75,9	60,8	47,7	39,8	24,9	15,1	11,2	6,6	3,9	987,81	0,1518	9,03	0,7592	0,9939
10	L 030	145,2	113,3	94,6	81,9	65,6	51,5	42,9	26,9	16,3	12,0	7,1	4,2	1071,89	0,1252	9,08	0,7605	0,9944
11	L 040	126,8	99,0	82,6	71,5	57,3	45,0	37,5	23,5	14,2	10,5	6,2	3,7	926,44	0,1304	8,97	0,7584	0,9892
12	U 010	141,1	110,2	91,9	79,6	63,8	50,1	41,7	26,1	15,8	11,7	6,9	4,1	1035,34	0,1678	9,01	0,7593	0,9909
13	U 020	184,0	143,7	119,9	103,8	83,2	65,3	54,4	34,0	20,7	15,3	9,0	5,3	1365,61	0,1490	9,15	0,7613	0,9885
14	U 030	162,1	126,5	105,6	91,4	73,2	57,5	47,9	30,0	18,2	13,4	8,0	4,7	1184,77	0,1500	8,99	0,7584	0,9894
15	U 040	158,9	124,1	103,5	89,7	71,8	56,4	47,0	29,4	17,8	13,2	7,8	4,6	1169,18	0,1389	9,05	0,7597	0,9916
16	U 050	137,2	107,1	89,4	77,4	62,0	48,7	40,6	25,4	15,4	11,4	6,7	4,0	1005,00	0,1590	9,01	0,7588	0,9958
17	U 060	161,1	125,7	104,9	90,9	72,8	57,1	47,6	29,8	18,1	13,4	7,9	4,7	1172,48	0,1250	8,95	0,7575	0,9903
18	U 070	164,2	128,2	107,0	92,7	74,2	58,3	48,5	30,4	18,4	13,6	8,1	4,8	1189,55	0,1257	8,89	0,7567	0,9914
19	U 090	165,7	129,4	107,9	93,5	74,9	58,8	49,0	30,7	18,6	13,7	8,1	4,8	1223,05	0,1416	9,08	0,7604	0,9919
20	U 100	185,2	144,6	120,6	104,5	83,7	65,7	54,7	34,3	20,8	15,4	9,1	5,4	1348,70	0,1465	8,96	0,7576	0,9938
21	G 070	149,8	116,9	97,6	84,5	67,7	53,1	44,3	27,7	16,8	12,4	7,4	4,4	1076,42	0,1150	8,80	0,7551	0,9909
22	G 070	134,3	104,9	87,5	75,8	60,7	47,6	39,7	24,8	15,1	11,1	6,6	3,9	981,84	0,1408	8,97	0,7586	0,9920
23	G 070	140,8	109,9	91,7	79,5	63,6	50,0	41,6	26,1	15,8	11,7	6,9	4,1	1030,44	0,1894	9,01	0,7586	0,9942
24	G 070	165,0	128,8	107,5	93,1	74,5	58,5	48,8	30,5	18,5	13,7	8,1	4,8	1204,01	0,1271	8,96	0,7582	0,9883
25	G 070	138,5	108,1	90,2	78,1	62,6	49,1	40,9	25,6	15,5	11,5	6,8	4,0	1018,30	0,1689	9,04	0,7597	0,9927
26	G 070	183,5	143,2	119,5	103,5	82,9	65,1	54,2	33,9	20,6	15,2	9,0	5,3	1351,56	0,1493	9,06	0,7601	0,9923
27	G 070	132,1	103,2	86,1	74,6	59,7	46,9	39,1	24,4	14,8	11,0	6,5	3,8	978,40	0,1450	9,13	0,7609	0,9932
28	G 070	151,7	118,4	98,8	85,6	68,5	53,8	44,8	28,1	17,0	12,6	7,4	4,4	1115,86	0,1253	9,05	0,7598	0,9932
29	G 070	141,8	110,7	92,4	80,0	64,1	50,3	41,9	26,2	15,9	11,8	7,0	4,1	1039,13	0,1320	9,02	0,7588	0,9911
30	G 070	136,6	106,7	89,0	77,1	61,7	48,5	40,4	25,3	15,3	11,3	6,7	4,0	991,84	0,1265	8,90	0,7572	0,9899

Tabela 4.16 . Continuação ...

Nº	BH	Tempos de duração da chuva (min)												Coeficientes da equação tipo IDF				r ²
		5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440	a	b	c	d	
31	G 070	166,7	130,1	108,6	94,1	75,3	59,1	49,3	30,8	18,7	13,8	8,2	4,8	1231,35	0,1473	9,09	0,7606	0,9921
32	G 080	134,7	105,2	87,8	76,0	60,9	47,8	39,8	24,9	15,1	11,2	6,6	3,9	990,88	0,1595	9,05	0,7597	0,9908
33	G 090	167,4	130,7	109,1	94,5	75,7	59,4	49,5	31,0	18,8	13,9	8,2	4,9	1218,02	0,1286	8,94	0,7574	0,9902
34	G 090	155,3	121,2	101,2	87,6	70,2	55,1	45,9	28,7	17,4	12,9	7,6	4,5	1141,73	0,1205	9,04	0,7596	0,9948
35	L 010	151,8	118,5	98,9	85,7	68,6	53,9	44,9	28,1	17,0	12,6	7,5	4,4	1111,50	0,1304	9,01	0,7586	0,9935
36	L 030	159,3	124,4	103,8	89,9	72,0	56,5	47,1	29,5	17,9	13,2	7,8	4,6	1178,56	0,1338	9,11	0,7608	0,9906
37	L 030	143,9	112,3	93,7	81,2	65,0	51,0	42,5	26,6	16,1	11,9	7,1	4,2	1040,64	0,1921	8,86	0,7566	0,9919
38	L 030	148,3	115,8	96,6	83,7	67,0	52,6	43,8	27,4	16,6	12,3	7,3	4,3	1083,63	0,1455	8,97	0,7585	0,9918
39	L 030	153,7	120,0	100,1	86,7	69,5	54,5	45,4	28,4	17,3	12,8	7,5	4,5	1117,17	0,1464	8,93	0,7573	0,9907
40	L 030	134,3	104,9	87,5	75,8	60,7	47,6	39,7	24,8	15,1	11,1	6,6	3,9	981,84	0,1424	8,97	0,7586	0,9921
41	L 030	154,8	120,9	100,9	87,4	70,0	54,9	45,8	28,6	17,4	12,8	7,6	4,5	1133,47	0,1287	8,99	0,7588	0,9932
42	L 030	153,7	120,0	100,1	86,7	69,5	54,5	45,4	28,4	17,3	12,8	7,5	4,5	1117,17	0,1488	8,93	0,7573	0,9888
43	L 030	144,3	112,7	94,0	81,4	65,2	51,2	42,7	26,7	16,2	12,0	7,1	4,2	1053,12	0,1587	8,98	0,7580	0,9925
44	L 030	160,6	125,4	104,6	90,6	72,6	57,0	47,5	29,7	18,0	13,3	7,9	4,7	1163,83	0,1790	8,89	0,7568	0,9873
45	L 030	179,1	139,9	116,7	101,1	81,0	63,5	53,0	33,1	20,1	14,9	8,8	5,2	1311,81	0,1844	9,01	0,7587	0,9918
46	L 040	141,5	110,5	92,2	79,9	64,0	50,2	41,8	26,2	15,9	11,7	6,9	4,1	1045,38	0,1280	9,08	0,7606	0,9845
47	L 040	132,3	103,3	86,2	74,6	59,8	46,9	39,1	24,5	14,8	11,0	6,5	3,8	980,89	0,1510	9,14	0,7612	0,9946
48	L 040	169,6	132,4	110,5	95,7	76,6	60,2	50,1	31,4	19,0	14,1	8,3	4,9	1252,11	0,1814	9,09	0,7604	0,9913
49	L 040	164,4	128,3	107,1	92,8	74,3	58,3	48,6	30,4	18,5	13,6	8,1	4,8	1193,78	0,1533	8,92	0,7571	0,9902
50	L 040	150,4	117,4	97,9	84,8	67,9	53,3	44,4	27,8	16,9	12,5	7,4	4,4	1085,70	0,1403	8,86	0,7560	0,9895
51	L 040	159,6	124,6	104,0	90,1	72,1	56,6	47,2	29,5	17,9	13,2	7,8	4,6	1183,07	0,1491	9,12	0,7613	0,9937
52	L 040	157,4	122,9	102,6	88,8	71,2	55,9	46,5	29,1	17,7	13,1	7,7	4,6	1147,40	0,1325	8,96	0,7578	0,9956
53	L 040	164,8	128,7	107,4	93,0	74,5	58,5	48,7	30,5	18,5	13,7	8,1	4,8	1202,52	0,1397	8,97	0,7580	0,9892
54	L 040	151,2	118,1	98,5	85,3	68,3	53,6	44,7	28,0	17,0	12,5	7,4	4,4	1106,95	0,1366	8,99	0,7588	0,9899
55	L 040	149,1	116,4	97,1	84,1	67,4	52,9	44,1	27,6	16,7	12,4	7,3	4,3	1103,93	0,1224	9,13	0,7609	0,9951
56	L 040	157,3	122,8	102,5	88,8	71,1	55,8	46,5	29,1	17,7	13,1	7,7	4,6	1145,00	0,1604	8,95	0,7574	0,9909
57	L 040	148,6	116,0	96,8	83,9	67,2	52,7	43,9	27,5	16,7	12,3	7,3	4,3	1093,63	0,1524	9,06	0,7597	0,9916
58	L 040	166,6	130,0	108,5	94,0	75,3	59,1	49,2	30,8	18,7	13,8	8,2	4,8	1229,08	0,1381	9,08	0,7603	0,9909
59	L 040	178,6	139,4	116,3	100,7	80,7	63,3	52,8	33,0	20,0	14,8	8,8	5,2	1297,36	0,1779	8,91	0,7574	0,9893
60	L 040	116,0	90,5	75,5	65,4	52,4	41,1	34,3	21,5	13,0	9,6	5,7	3,4	838,64	0,2151	8,87	0,7564	0,9925

Tabela 4.16 . Continuação ...

Nº	BH	Tempos de duração da chuva (min)												Coeficientes da equação tipo IDF				r ²
		5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440	a	b	c	d	
61	L 040	152,2	118,9	99,2	85,9	68,8	54,0	45,0	28,2	17,1	12,6	7,5	4,4	1120,71	0,1359	9,07	0,7597	0,9917
62	U 010	154,6	120,7	100,7	87,2	69,8	54,8	45,7	28,6	17,3	12,8	7,6	4,5	1125,42	0,1497	8,93	0,7578	0,9901
63	U 010	160,8	125,5	104,7	90,7	72,7	57,0	47,5	29,7	18,0	13,3	7,9	4,7	1164,35	0,1299	8,87	0,7569	0,9917
64	U 010	155,9	121,7	101,5	87,9	70,4	55,3	46,1	28,8	17,5	12,9	7,7	4,5	1144,25	0,1303	9,03	0,7593	0,9907
65	U 010	166,8	130,3	108,7	94,1	75,4	59,2	49,3	30,9	18,7	13,8	8,2	4,8	1236,26	0,1884	9,13	0,7611	0,9923
66	U 010	132,9	103,7	86,6	75,0	60,0	47,1	39,3	24,6	14,9	11,0	6,5	3,9	962,10	0,1548	8,87	0,7567	0,9914
67	U 010	145,9	113,9	95,0	82,3	65,9	51,7	43,1	27,0	16,4	12,1	7,2	4,2	1075,22	0,1417	9,08	0,7600	0,9909
68	U 010	166,0	129,6	108,1	93,6	75,0	58,9	49,1	30,7	18,6	13,8	8,1	4,8	1226,38	0,1873	9,10	0,7606	0,9907
69	U 010	159,6	124,6	104,0	90,1	72,1	56,6	47,2	29,5	17,9	13,2	7,8	4,6	1183,07	0,1285	9,12	0,7613	0,9913
70	U 010	160,3	125,2	104,4	90,5	72,5	56,9	47,4	29,7	18,0	13,3	7,9	4,7	1160,02	0,1457	8,89	0,7563	0,9895
71	U 020	164,0	128,0	106,8	92,5	74,1	58,2	48,5	30,3	18,4	13,6	8,0	4,8	1193,38	0,1696	8,93	0,7577	0,9902
72	U 020	172,5	134,7	112,4	97,3	77,9	61,2	51,0	31,9	19,4	14,3	8,5	5,0	1263,17	0,1651	9,01	0,7587	0,9879
73	U 030	135,2	105,5	88,1	76,3	61,1	48,0	40,0	25,0	15,2	11,2	6,6	3,9	1004,20	0,1828	9,16	0,7615	0,9905
74	U 030	173,1	135,1	112,7	97,6	78,2	61,4	51,2	32,0	19,4	14,4	8,5	5,0	1274,61	0,1286	9,07	0,7599	0,9922
75	U 030	170,3	133,0	110,9	96,1	77,0	60,4	50,3	31,5	19,1	14,1	8,4	4,9	1257,22	0,1437	9,09	0,7604	0,9921
76	U 030	132,6	103,5	86,4	74,8	59,9	47,0	39,2	24,5	14,9	11,0	6,5	3,9	955,09	0,2014	8,82	0,7556	0,9959
77	U 030	188,0	146,7	122,4	106,0	84,9	66,7	55,6	34,8	21,1	15,6	9,2	5,5	1366,74	0,1294	8,93	0,7574	0,9933
78	U 030	175,5	137,0	114,3	99,0	79,3	62,3	51,9	32,5	19,7	14,6	8,6	5,1	1287,32	0,1315	9,03	0,7590	0,9911
79	U 030	177,1	138,3	115,4	99,9	80,0	62,8	52,4	32,8	19,9	14,7	8,7	5,1	1311,82	0,1344	9,14	0,7609	0,9901
80	U 040	176,7	137,9	115,1	99,7	79,8	62,7	52,2	32,7	19,8	14,7	8,7	5,1	1300,37	0,1499	9,07	0,7597	0,9923
81	U 040	185,5	144,8	120,8	104,7	83,8	65,8	54,8	34,3	20,8	15,4	9,1	5,4	1353,18	0,1744	8,96	0,7581	0,9891
82	U 040	179,1	139,9	116,7	101,1	81,0	63,5	53,0	33,1	20,1	14,9	8,8	5,2	1311,81	0,1356	9,01	0,7587	0,9901
83	U 040	166,0	129,6	108,1	93,6	75,0	58,9	49,1	30,7	18,6	13,8	8,1	4,8	1226,38	0,1236	9,10	0,7606	0,9886
84	U 040	168,0	131,2	109,4	94,8	75,9	59,6	49,7	31,1	18,9	13,9	8,2	4,9	1230,05	0,1172	9,00	0,7588	0,9883
85	U 050	173,5	135,5	113,0	97,9	78,4	61,5	51,3	32,1	19,5	14,4	8,5	5,0	1284,55	0,1451	9,12	0,7609	0,9930
86	U 050	185,5	144,8	120,8	104,7	83,8	65,8	54,8	34,3	20,8	15,4	9,1	5,4	1353,18	0,1459	8,96	0,7581	0,9930
87	U 050	179,7	140,3	117,1	101,4	81,2	63,7	53,1	33,2	20,2	14,9	8,8	5,2	1322,28	0,1345	9,05	0,7598	0,9906
88	U 050	170,9	133,4	111,3	96,4	77,2	60,6	50,5	31,6	19,2	14,2	8,4	5,0	1237,23	0,0870	8,89	0,7565	0,9910
89	U 050	194,7	152,0	126,9	109,9	88,0	69,1	57,6	36,0	21,9	16,2	9,6	5,7	1409,61	0,1499	8,90	0,7563	0,9903
90	U 050	173,6	135,6	113,1	98,0	78,5	61,6	51,3	32,1	19,5	14,4	8,5	5,0	1287,60	0,1300	9,13	0,7613	0,9873

Tabela 4.16 . Continuação ...

Nº	BH	Tempos de duração da chuva (min)												Coeficientes da equação tipo IDF				r ²
		5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440	a	b	c	d	
91	U 050	178,1	139,1	116,0	100,5	80,5	63,2	52,7	33,0	20,0	14,8	8,7	5,2	1302,57	0,1413	9,00	0,7584	0,9911
92	U 050	184,2	143,8	120,0	103,9	83,2	65,3	54,4	34,1	20,7	15,3	9,0	5,3	1367,59	0,1468	9,15	0,7615	0,9929
93	U 050	167,9	131,1	109,3	94,7	75,9	59,5	49,6	31,1	18,8	13,9	8,2	4,9	1224,53	0,1452	8,95	0,7582	0,9945
94	U 050	177,7	138,7	115,7	100,3	80,3	63,0	52,5	32,9	19,9	14,7	8,7	5,2	1290,06	0,1249	8,90	0,7573	0,9937
95	U 050	172,5	134,7	112,4	97,3	77,9	61,2	51,0	31,9	19,4	14,3	8,5	5,0	1263,17	0,1579	9,01	0,7587	0,9907
96	U 050	177,8	138,8	115,8	100,3	80,4	63,1	52,6	32,9	20,0	14,8	8,7	5,2	1295,64	0,1374	8,97	0,7576	0,9923
97	U 050	179,7	140,3	117,1	101,4	81,2	63,7	53,1	33,2	20,2	14,9	8,8	5,2	1322,28	0,1178	9,05	0,7598	0,9903
98	U 050	160,3	125,2	104,4	90,5	72,5	56,9	47,4	29,7	18,0	13,3	7,9	4,7	1160,02	0,0944	8,89	0,7563	0,9954
99	U 060	153,7	120,0	100,1	86,7	69,5	54,5	45,4	28,4	17,3	12,8	7,5	4,5	1117,17	0,1293	8,93	0,7573	0,9898
100	U 060	181,4	141,7	118,2	102,4	82,0	64,4	53,6	33,6	20,4	15,1	8,9	5,3	1321,23	0,1354	8,96	0,7575	0,9945
101	U 060	192,1	150,0	125,2	108,4	86,8	68,2	56,8	35,5	21,6	15,9	9,4	5,6	1404,14	0,1533	8,98	0,7585	0,9919
102	U 060	166,8	130,3	108,7	94,1	75,4	59,2	49,3	30,9	18,7	13,8	8,2	4,8	1236,26	0,1419	9,13	0,7611	0,9909
103	U 060	174,7	136,4	113,8	98,5	78,9	62,0	51,6	32,3	19,6	14,5	8,6	5,1	1266,60	0,1450	8,90	0,7569	0,9918
104	U 060	167,1	130,5	108,9	94,3	75,5	59,3	49,4	30,9	18,8	13,9	8,2	4,9	1209,79	0,1545	8,89	0,7564	0,9918
105	U 060	159,3	124,4	103,8	89,9	72,0	56,5	47,1	29,5	17,9	13,2	7,8	4,6	1178,56	0,1379	9,11	0,7608	0,9927
106	U 070	167,3	130,6	109,0	94,4	75,6	59,3	49,4	30,9	18,8	13,9	8,2	4,9	1210,33	0,1364	8,87	0,7565	0,9940
107	U 070	156,7	122,4	102,1	88,4	70,8	55,6	46,3	29,0	17,6	13,0	7,7	4,6	1131,26	0,1484	8,85	0,7560	0,9900
108	U 070	159,2	124,3	103,7	89,8	71,9	56,5	47,1	29,4	17,9	13,2	7,8	4,6	1174,63	0,1537	9,08	0,7603	0,9921
109	U 070	188,1	146,9	122,5	106,1	85,0	66,7	55,6	34,8	21,1	15,6	9,2	5,5	1367,81	0,1590	8,92	0,7575	0,9886
110	U 070	211,2	164,9	137,6	119,2	95,5	74,9	62,4	39,1	23,7	17,5	10,4	6,1	1555,12	0,1792	9,06	0,7598	0,9940
111	U 070	178,8	139,6	116,5	100,9	80,8	63,4	52,9	33,1	20,1	14,8	8,8	5,2	1306,77	0,1533	8,99	0,7583	0,9898
112	U 070	188,5	147,2	122,8	106,4	85,2	66,9	55,7	34,9	21,2	15,6	9,3	5,5	1370,02	0,1429	8,93	0,7572	0,9913
113	U 070	160,5	125,3	104,5	90,5	72,5	56,9	47,4	29,7	18,0	13,3	7,9	4,7	1158,71	0,1410	8,85	0,7561	0,9906
114	U 090	167,4	130,7	109,1	94,5	75,7	59,4	49,5	31,0	18,8	13,9	8,2	4,9	1218,02	0,1337	8,94	0,7574	0,9912
115	U 090	165,0	128,8	107,5	93,1	74,5	58,5	48,8	30,5	18,5	13,7	8,1	4,8	1204,01	0,1542	8,96	0,7582	0,9903
116	U 090	178,1	139,1	116,0	100,5	80,5	63,2	52,7	33,0	20,0	14,8	8,7	5,2	1302,57	0,1377	9,00	0,7584	0,9895
117	U 090	157,6	123,0	102,7	88,9	71,2	55,9	46,6	29,2	17,7	13,1	7,7	4,6	1151,44	0,1312	8,99	0,7583	0,9910
118	U 090	173,2	135,2	112,8	97,7	78,3	61,4	51,2	32,0	19,4	14,4	8,5	5,0	1275,83	0,1145	9,06	0,7600	0,9905
119	U 090	183,8	143,5	119,7	103,7	83,0	65,2	54,3	34,0	20,6	15,2	9,0	5,3	1358,56	0,1114	9,09	0,7608	0,9896
120	U 100	162,9	127,2	106,1	91,9	73,6	57,8	48,2	30,1	18,3	13,5	8,0	4,7	1202,87	0,1141	9,09	0,7604	0,9941

Tabela 4.16 . Continuação ...

Nº	BH	Tempos de duração da chuva (min)												Coeficientes da equação tipo IDF				r ²
		5	10	15	20	30	45	60	120	240	360	720	1440	a	b	c	d	
121	U 100	163,1	127,3	106,2	92,0	73,7	57,9	48,2	30,2	18,3	13,5	8,0	4,7	1207,91	0,1333	9,13	0,7610	0,9944
122	U 100	145,4	113,6	94,7	82,1	65,7	51,6	43,0	26,9	16,3	12,1	7,1	4,2	1076,22	0,1348	9,11	0,7609	0,9947
123	U 100	170,2	132,9	110,9	96,0	76,9	60,4	50,3	31,5	19,1	14,1	8,4	4,9	1256,20	0,1294	9,09	0,7603	0,9928
124	U 100	164,8	128,7	107,4	93,0	74,5	58,5	48,7	30,5	18,5	13,7	8,1	4,8	1202,52	0,1291	8,97	0,7580	0,9884
125	U 100	160,9	125,6	104,8	90,8	72,7	57,1	47,6	29,8	18,1	13,4	7,9	4,7	1171,96	0,1203	8,97	0,7575	0,9928
126	U 110	188,8	147,4	123,0	106,5	85,3	67,0	55,8	34,9	21,2	15,7	9,3	5,5	1373,26	0,1435	8,94	0,7574	0,9941
127	U 110	159,3	124,4	103,8	89,9	72,0	56,5	47,1	29,5	17,9	13,2	7,8	4,6	1178,56	0,1247	9,11	0,7608	0,9934
128	U 110	179,1	139,9	116,7	101,1	81,0	63,5	53,0	33,1	20,1	14,9	8,8	5,2	1311,81	0,1189	9,01	0,7587	0,9893
129	U 110	180,6	141,0	117,6	101,9	81,6	64,1	53,4	33,4	20,3	15,0	8,9	5,2	1334,57	0,1246	9,12	0,7604	0,9927
130	U 110	190,7	148,9	124,2	107,6	86,2	67,6	56,4	35,3	21,4	15,8	9,4	5,5	1405,73	0,1255	9,08	0,7600	0,9930
Média		160,3	125,2	104,5	90,6	72,7	57,2	47,8	30,6	19,8	16,0	13,4	15,6	1182,49	0,1433	9,00	0,7587	
D. Padrão		17,4	13,6	11,3	9,8	7,9	6,2	5,1	3,2	2,0	1,4	0,9	0,5	128,34	0,0204	0,09	0,0016	
C. V.(%)		10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,7	10,5	9,8	9,0	6,4	3,2	10,9	14,2	0,95	0,2	
Maior		211,2	164,9	137,6	119,2	95,5	74,9	62,4	39,1	23,7	17,5	10,4	6,1	1555,12	0,2151	9,16	0,7615	0,9959
Menor		116,0	90,5	75,5	65,4	52,4	41,1	34,3	21,5	13,0	9,6	5,7	3,4	838,64	0,0870	8,80	0,7551	0,9845

4.5.3 Espacialização dos coeficientes do modelo IDF

Os valores dos coeficientes (a, b, c, d) das equações de chuvas intensas do tipo IDF, para cada uma das 130 estações pluviométricas do Rio Grande do Sul, podem ser encontrados na Tabela 4.16.

Os valores de cada tema foram colocados sobre um mapa do Estado do Rio Grande do Sul, escala 1:5000000, Datum SIRGAS2000, com o auxílio do programa ArcMap[®] 9.3 (ESRI). As linhas de isovalores foram geradas, a partir da interpolação dos dados, ponderados pelo inverso da distancia, para cada tema das 130 estações pluviométricas do RS.

4.5.3.1 Coeficiente a

A Figura 4.16 mostra a distribuição dos valores do coeficiente (a) da equação de chuvas intensas do tipo IDF no RS.

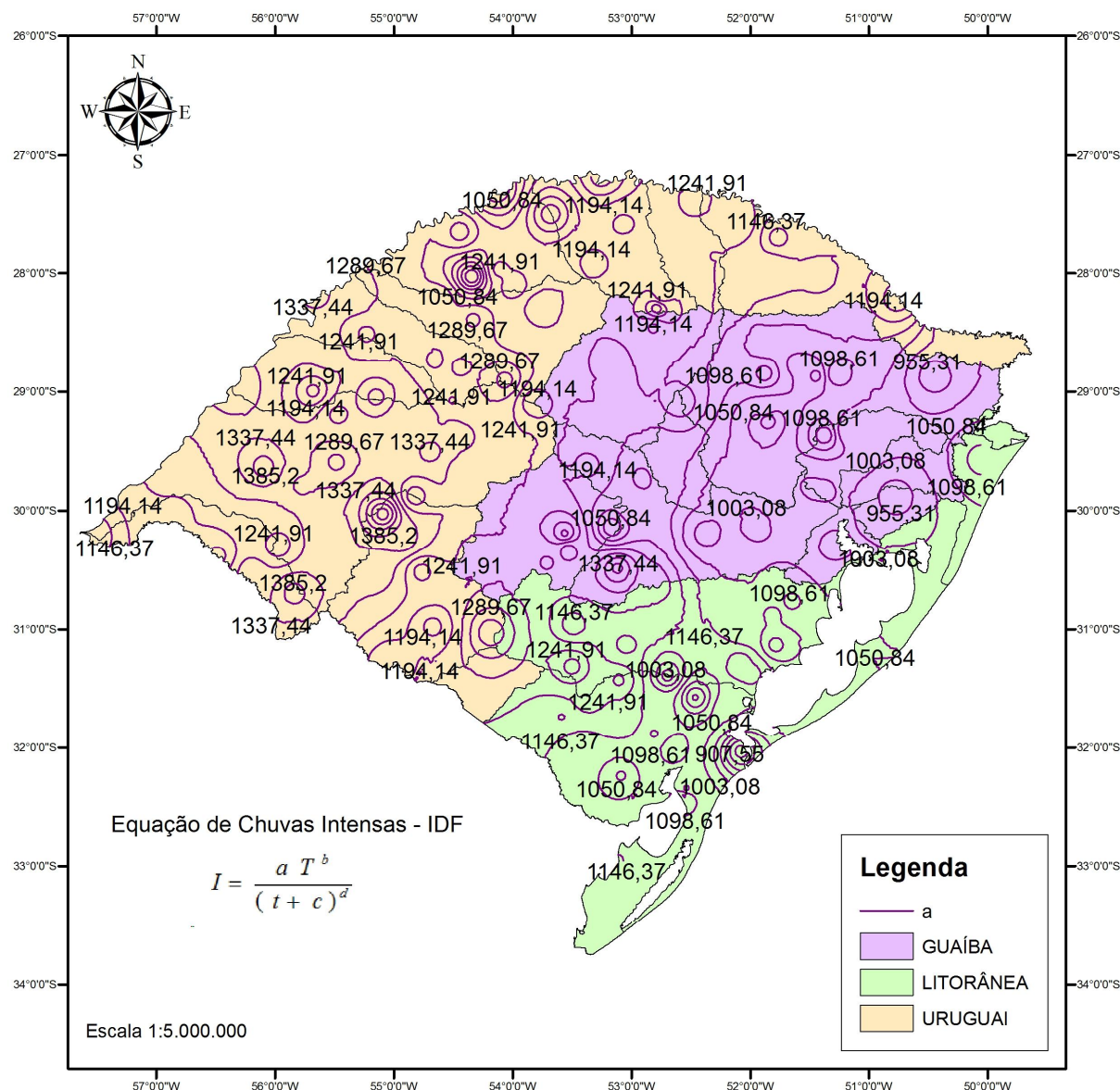


Figura 4.16 É Mapa de isovalores do coeficiente (a) da equação de chuvas intensas IDF para o Rio Grande do Sul.

O maior valor do coeficiente (a) foi calculado para a estação pluviométrica Saicã, localizada na bacia hidrográfica U 070, cujo valor foi igual a 1555,12 e o menor na Rio Grande Regatas, cujo valor foi 838,64. O valor médio do coeficiente (a), das 130 estações pluviométricas do RS, foi igual a 1182,49, tendo um desvio padrão de 128,34 e um coeficiente de variação de 10,9 % (Tabela 4.16).

4.5.3.2 Coeficiente b

A Figura 4.17 mostra a distribuição dos valores do coeficiente (b) da equação de chuvas intensas do tipo IDF no RS.

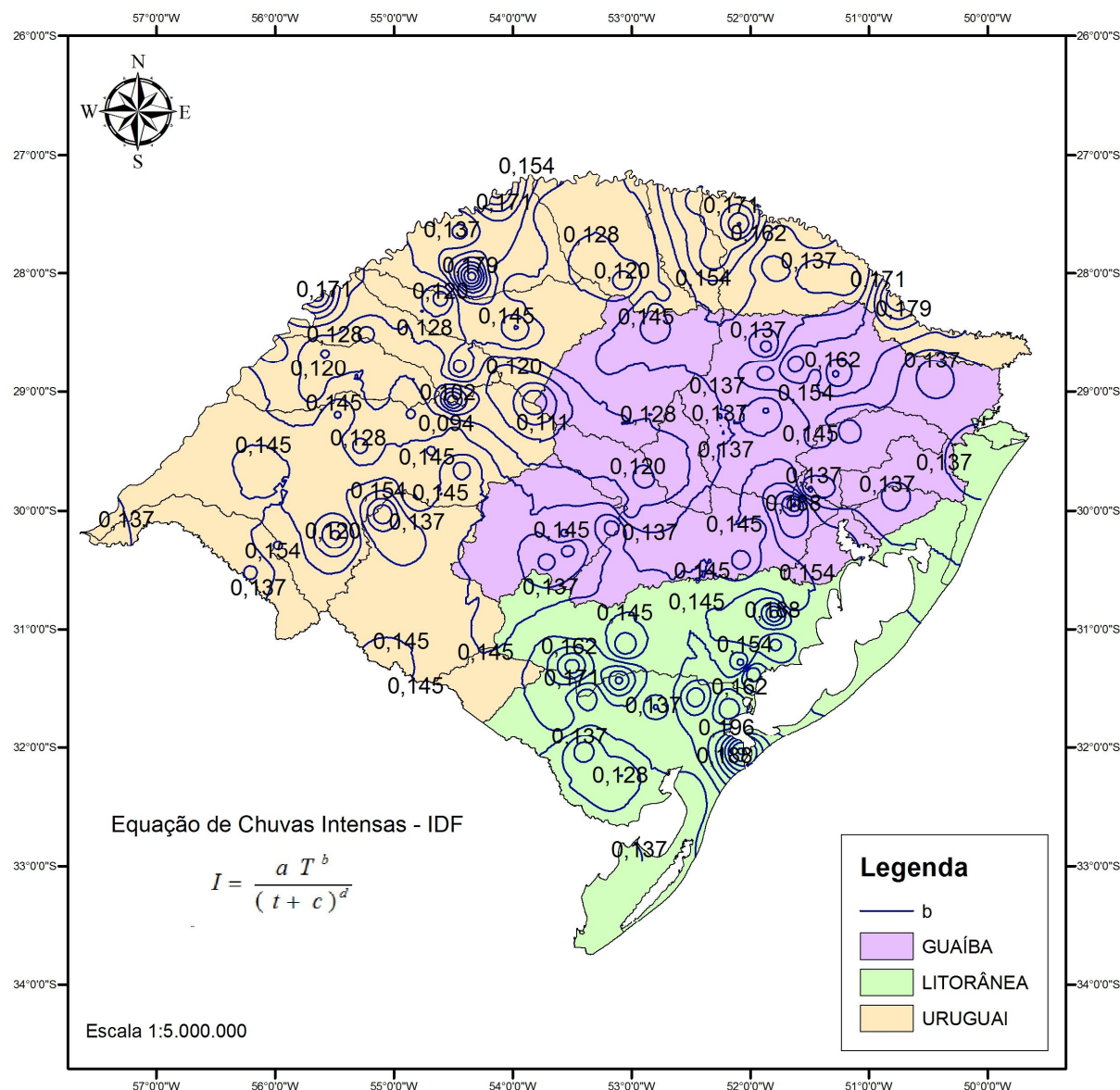


Figura 4.17 É Mapa de isovalores do coeficiente (b) da equação de chuvas intensas IDF para o Rio Grande do Sul.

O maior valor do coeficiente (b) foi calculado para a estação Rio Grande Regatas, cujo valor foi igual a 0,2151 e o menor na estação Esquina dos Lima Santa Bárbara, na bacia hidrográfica U 050, cujo valor foi 0,0870. O valor médio do coeficiente (b), das 130 estações pluviométricas, foi igual a 0,1433, para um desvio padrão de 0,0204 e um coeficiente de variação de 14,2% (Tabela 4.16).

4.5.3.3 Coeficiente c

A Figura 4.18 mostra a distribuição dos valores do coeficiente (c) da equação de chuvas intensas do tipo IDF no RS.

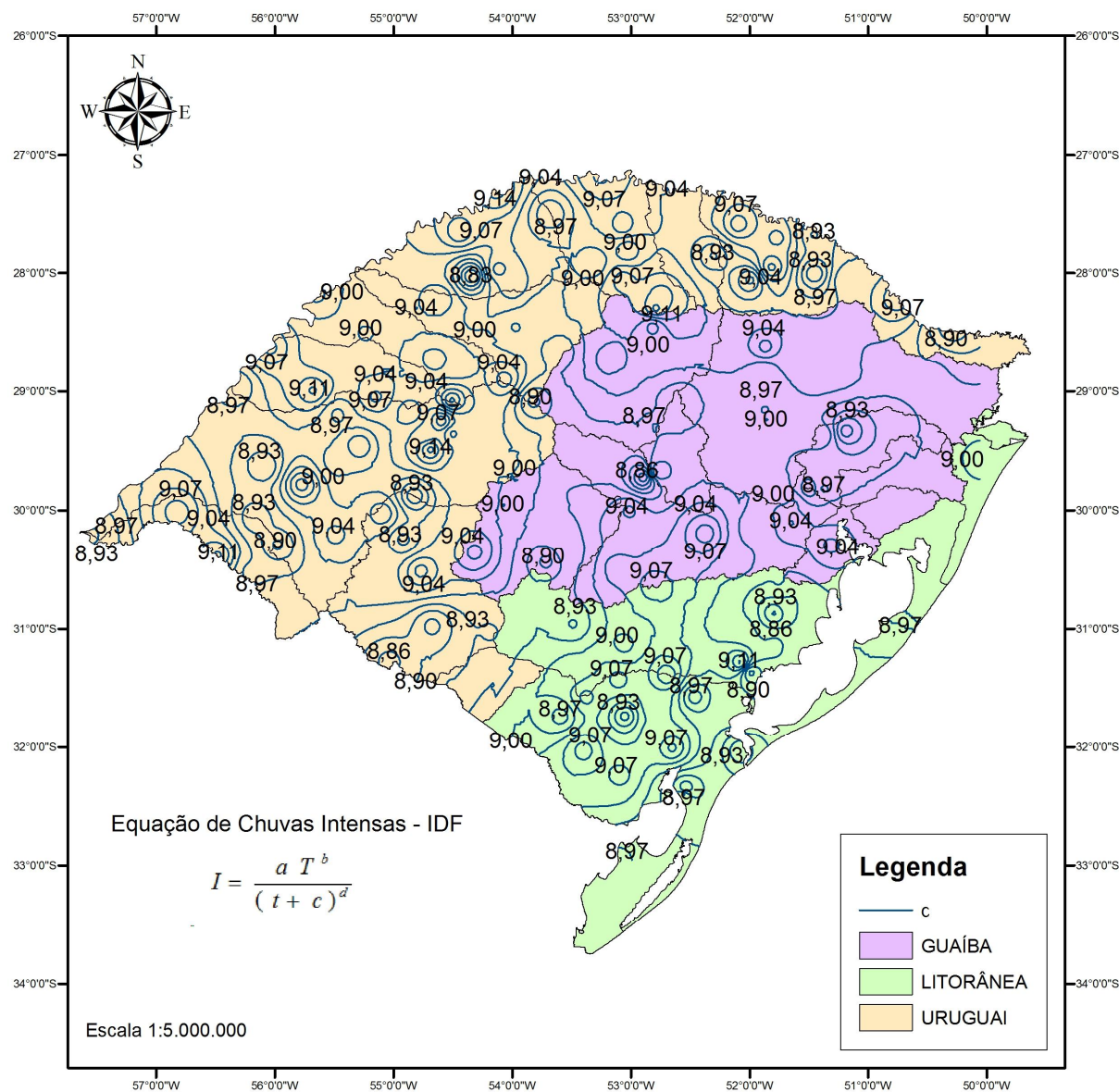


Figura 4.18 É Mapa de isovalores do coeficiente (c) da equação de chuvas intensas IDF para o Rio Grande do Sul.

O maior valor do coeficiente (c) foi calculado para a estação pluviométrica Alto Uruguai (02754001), localizada na bacia hidrográfica U 030, cujo valor foi igual a 9,16 e o menor na estação Botucaraí, na bacia hidrográfica G 070, cujo valor foi 8,80. O valor médio do coeficiente (c), das 130 estações pluviométricas do RS, foi

igual a 9,00, tendo um desvio padrão de 0,09 e um coeficiente de variação de 0,95% que podem ser vistos na Tabela 4.16.

4.5.3.4 Coeficiente d

A Figura 4.19 mostra a distribuição dos valores do coeficiente (d) da equação de chuvas intensas do tipo IDF no RS.

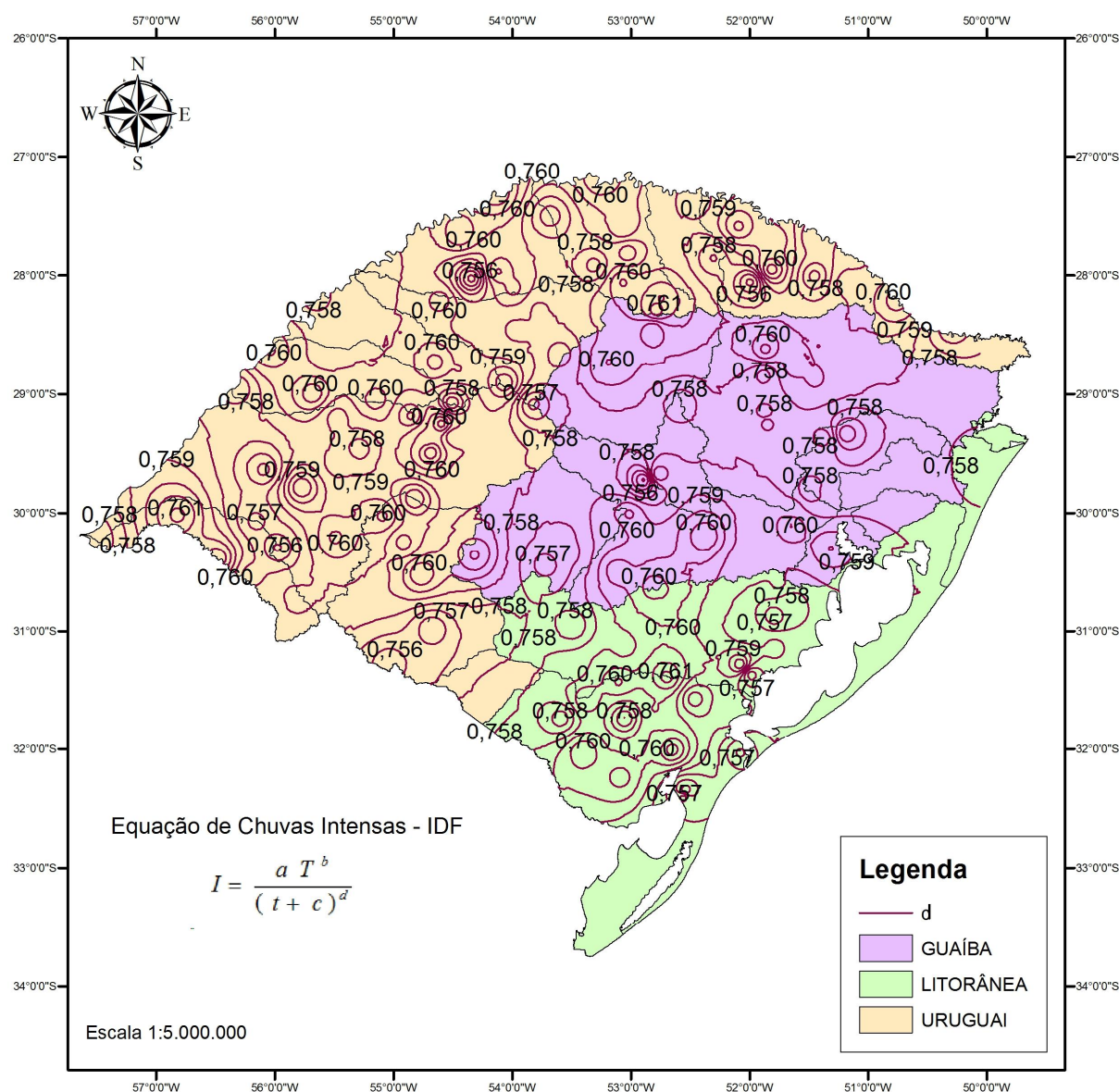


Figura 4.19 É Mapa de isovalores do coeficiente (d) da equação de chuvas intensas IDF para o Rio Grande do Sul.

O maior valor do coeficiente (d) foi calculado para a estação pluviométrica Jaguarí (02954007), localizada na bacia hidrográfica U 050, cujo valor foi igual a

0,7615 e o menor na estação Botucaraí (02952003), localizada na bacia hidrográfica G 070, cujo valor foi 0,7551. O valor médio do coeficiente (d), das 130 estações pluviométricas do RS, foi igual a 0,7587, apresentando um desvio padrão de 0,0016 e um coeficiente de variação de 0,2% (Tabela 4.16).

Exemplos de valores dos coeficientes (a, b, c, d) de equações de chuvas intensas do tipo IDF podem ser encontrados em diversos trabalhos sobre chuvas intensas, desenvolvido por vários autores e para várias regiões do País.

Os valores dos coeficientes (a, b, c, d) da equação de chuvas intensas do tipo IDF, para a cidade de Formosa, segundo Bravo et al (2008), foram iguais a 879,75, 0,164, 8 e 0,748, respectivamente. No mesmo trabalho, os valores coeficientes (a, b, c, d) da equação de chuvas intensas do tipo IDF, para a cidade de Brasília, foram iguais a 724,20, 0,1658, 8 e 0,748, respectivamente

De acordo com Cardoso et al (1998), para a cidade de Lajes (SC), os valores dos coeficientes (a, b, c, d) da equação de chuvas intensas do tipo IDF, foram iguais a 2050, 0,20, 29,41 e 0,89, respectivamente. Segundo os mesmos autores, para Campos Novos (SC), os valores dos coeficientes (a, b, c, d) foram iguais a 2157, 0,170, 29,42 e 0,89, respectivamente

De acordo com Mello et al (2001), para a cidade de Lavras (MG), os valores dos coeficientes (a, b, c, d) da equação de chuvas intensas do tipo IIDF, foram de 842,70, 0,179, 10,39 e 0,736, respectivamente.

Segundo Silva et al (2002), para diversas localidades da Bahia, os valores do coeficiente (a) da equação de chuvas intensas do tipo IDF, variaram entre 1121,26 (Morpará) e 8999, 00 (Argoim), os valores do coeficiente (b) variaram entre 0,245 (Argoim) e 0,178 (Barreiras), os valores do coeficiente (c) variaram entre 19,457 (Barreiras) e 56,068 (Argiom) e os valores do coeficiente (d) variaram entre 0,783 (Morpará) e 1,119 (Argoim).

Segundo Silva et al (2003), para diversas localidades do Tocantins, os valores do coeficiente (a) da equação de chuvas intensas do tipo IDF, variaram entre 2113,85 (Natividade) e 9989,56 (Alvorada), os valores do coeficiente (b) variaram entre 0,155 (Tupiratins) e 0,211 (Alvorada), os valores do coeficiente (c) variaram entre 30,296 (Natividade) 56,638 (Alvorada) e os valores do coeficiente (d) variaram entre 0,845 (Natividade) e 1,098 (Guaraí).

De acordo com Oliveira et al (2005), para diversas localidades de Goiás e Distrito Federal, os valores do coeficiente (a) da equação de chuvas intensas do tipo IDF, variaram entre 726,26 (Cristianópolis) e 1274,09 (Anuanã), os valores do coeficiente (b) variaram entre 0,1040 (Cavalcante) e 0,3082 (Goiás), os valores do coeficiente (c) variaram entre 10 (Alto Garças, Morrinhos e Niquelândia) e 15 (Aporé) e os valores do coeficiente (d) variaram entre 0,7418 (Alto Garças) e 0,7853 (Aporé).

Back (2006), determinou para a cidade de Chapecó (SC), os valores dos coeficientes (a, b, c, d) da equação de chuvas intensas do tipo IDF e para chuvas de até 120 minutos de duração, foram iguais a 846,1, 0,155, 9,2 e 0,739, respectivamente. Para chuvas de duração entre 120 e 480 minutos de duração, os coeficientes (a, b, c, d) foram de 1542,1, 0,181, 28 e 0,840; para chuvas com duração entre 480 e 1440 minutos, os coeficientes (a, b, c, d) foram 1100, 0,166, 0 e 0,782, respectivamente.

Segundo Soprani e Reis (2007), para diversas localidades do Espírito Santo, em 17 estações pertencentes a bacia do rio Benevente, os valores do coeficiente (a) da equação de chuvas intensas do tipo IDF, variaram entre 747,84 (estação São Rafael, município de Domingos Martins) e 1290,30 (estação Duas Barras (DNOS), município de Iconha), os valores do coeficiente (b) variaram entre 0,1359 (estação Anchieta (DNOS), município de Anchieta) e 0,1964 (estação Guaraparí (DNOS), município de Guaraparí), os valores do coeficiente (c) variaram entre 12 (exceto na estações Anchieta (DNOS) e na estação Marechal Floriano (DNOS), município de Domingos Martins) e 14 (nas demais estações) e os valores do coeficiente (d) variaram entre 0,7723, na estação Anchieta (DNOS) e na estação Marechal Floriano (DNOS) e 0,7594 nas demais estações.

Moruzzi e Oliveira (2009), para a cidade de Rio Claro (SP), determinaram para os coeficientes (a, b, c, d) da equação de chuvas intensas do tipo IDF, os valores iguais a 560,9, 0,141, 7,4 e 0,65, respectivamente.

Segundo Santos et al (2009), em 109 estações no Mato Grosso do Sul, os valores do coeficiente (a) da equação de chuvas intensas do tipo IDF, variaram entre 663,285 (estação Três Lagoas, código 2051028) e 1443,444 (estação Corumbá, 1957005), os valores do coeficiente (b) variaram entre 0,0976 (estação Costa Rica, 1853004) e 0,2223 (estação Corumbá, 1957005), os valores do coeficiente (c) foram

iguais a 10 (em todas as estações) e os valores do coeficiente (d) variaram entre 0,7419 (em 108 estações) e 0,7532 (estação Corumbá, 1957004).

Back (2010), para a cidade de Urussanga (SC), calculou os valores dos coeficientes (a, b, c, d) da equação de chuvas intensas do tipo IDF. Para chuvas de até 120 minutos de duração, foram iguais a 6828,8, 0,178, 33,85 e 1,143, respectivamente. Para chuvas de duração entre 120 e 480 minutos de duração, os coeficientes (a, b, c, d) foram de 423,23, 0,220, 0 e 0,578; para chuvas com duração entre 480 e 1440 minutos, os coeficientes (a, b, c, d) foram 423,23, 0,297, 0 e 0,678, respectivamente.

De uma maneira geral, os valores dos coeficientes (a, b, c, d) encontrados nesse estudo, estão dentro das amplitudes apresentadas pelos mesmos coeficientes (a, b, c, d) obtidos por outros estudos de chuvas intensas do tipo IDF realizados em outras regiões do País.

As equações de chuvas intensas do tipo IDF apresentaram excelente ajuste, com coeficientes de determinação acima de 98,45% para todas as 130 estações localizadas no RS.

De acordo com Santos et al (2009), os resultados demonstram a importância da obtenção de equação de chuvas de intensidade-duração-frequência para cada localidade e sua para a utilização para a realização de estudos e projetos hidráulicos.

5 CONCLUSÃO

De acordo com as condições que este estudo foi desenvolvido, considerando a metodologia proposta, a análise dos resultados obtidos e sua discussão, pode-se concluir que:

Foi verificada uma forte aderência da distribuição das chuvas de 24 horas de duração, determinada pelo método da posição de plotagem (Cunnane) e a distribuição das chuvas de 24 horas determinada pelo modelo teórico de Gumbel, uma vez que não foram detectadas diferenças significativas entre os valores dos coeficientes A_{KT} e B_{KT} obtidos nesse estudo e os valores dos mesmos coeficientes da distribuição de Gumbel.

As funções do período de retorno $FT(T)$ propostas nesse estudo apresentaram índice de desempenho elevados (classe ótimo), quando comparados a função período de retorno baseada no modelo de Gumbel.

As diferentes metodologias de desagregação não apresentaram diferenças quando comparadas com as relações de duração obtidas com a metodologia tradicional (dados de pluviógrafos) fornecidas para diferentes regiões do RS, o que evidencia que qualquer uma das funções de desagregação (FDBE, FDCH, FDRP ou FDCT) pode ser utilizada.

A análise dos coeficientes (a, b, c, d) das equações de chuvas intensas do tipo PDF ou IDF apresentaram variação nas diferentes bacias hidrográficas do RS, o que tornou possível a sua representação através de mapas temáticos. A exceção pode ser considerada para o coeficiente (d) da equação do tipo IDF, cujo valor pode ser considerado constante.

O estabelecimento de equações de chuvas intensas através da metodologia de desagregação proposta se mostrou factível e pode ser aplicada em outras regiões, onde exista a falta dessa informação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ARAÚJO, W. F. et al. Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 563-567, 2001.

ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à climatologia**. Pelotas, Ed. Universitária/UFPel, 1996. 161p.

BACK, A. J. **Determinação da precipitação efetiva para a irrigação suplementar pelo balanço hídrico horário: um caso estudo em Urussanga, SC**. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1997, 132p.

BACK, A. J. Relação intensidade . duração . freqüência de chuvas intensas de Chapecó, Estado de Santa Catarina. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 575-581, 2006.

BACK, A. J. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 170-175, 2009.

BACK, A. J. Relações intensidade-duração-freqüência de chuvas intensas de Urussanga, SC. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 2, p. 119-130, 2010.

BEIJO, L. A. et al. Estudo da precipitação máxima em Jaboticabal (SP) pela distribuição de Gumbel utilizando dois métodos de estimação dos parâmetros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p.141-147, 2003.

BELL, F. C. Generalized rainfall-duration-frequency relationships. **Journal of the Hydraulics Division**, 95:311-27, 1969.

BELTRAME, L.F.S.; LANNA, A.E.L.; LOUZADA, J.A.S. **Chuvas intensas**. Porto Alegre: IPH- Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS, Porto Alegre, 1991. 69 p.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. (Ed.) **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002, cap. 5, p.177-231.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Variabilidade interanual da precipitação pluvial e rendimento da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 1, p. 119-125, 1999.

BRAVO, J. M. et al. Regionalização de curvas intensidade, duração e frequência de precipitação: aplicação ao Distrito Federal. In: **II Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste**, 2008, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2008. p. 1-17.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, V.5, n.1, p. 89-97. 1997.

CARDOSO, C. O.; ULMANN, M. N.; BERTOL, I. Análise de chuvas intensas a partir da desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 131-140, 1998.

CATALUNHA, M. J. et al. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 153-162, 2002.

CHEN, C. Rainfall Intensity . duration . frequency formulas **Journal of Hydraulic Engineering** É ASCE, v. 109, n. 12 p. 21, 1983.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB. Drenagem urbana: manual de projeto. São Paulo, 1979. 476 p.

COSTA, A. R.; RODRIGUES, A. A. 1999, Método das isozonas: desvios entre resultados. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Belo Horizonte, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, [CD-Rom]. Anais.

DAMÉ, R.C.F. **Desagregação de precipitação diária para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência**. 2001. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GENOVEZ, A. M. **Avaliação da regularização de vazões em pequenas bacias com dados esparsos**. 1987. 168f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) . Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos. 1987.

GLASBEY, C. A.; COOPER, G.; McGECHAN, M. B. Desaggregation of daily rainfall by conditional simulation from a point-process model. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 165, p.1-9, 1995.

GOMES, F.G., AQUINO L.H., OLIVEIRA M.S. Estudo da distribuição e frequência de precipitação pluviométrica máxima em períodos de dez e quinze dias, um mês e um ano, em Lavras (MG) pela distribuição Gumbel, **Ciência e Prática**, Lavras, v.13, n.2, p.177-184, 1989.

GUMBEL, E. J. *Statistics of Extremes*. Columbia University Press, New York, 375p. 1958.

HIDRO WEB . Sistema de Informações Hidrológicas - ANA . Agência Nacional das Águas. Disponível em : <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: Julho. 2010.

HUSCHKE, R. E. *Glossary of Meteorology*. Boston, **American Meteorological Society**, 1959. 638p.

KATZ, R. W.; PARLANGE, M. B.; NEVEAU, P. Statistics of extremes in hidrology. **Advances in Water Resources**, n. 25, p. 1287-1304, 2002.

LEOPOLDO, P. R., SANSIGOLO, C. A., MARTINS, D. Análise estatística das intensidades e precipitações máximas de Botucatu. **Irrigação e tecnologia moderna**, Brasília, v. 16, p. 11-14, mar. 1984.

LINSLEY, R. K.; FRANZINI, J. B. **Engenharia de Recursos Hídricos**. São Paulo: Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda, 1978. 798p.

MATOS, J. E. R. Chuvas intensas na Bahia: equações e metodologias de regionalização. Salvador: EDUFBA, 2006. 296p.

MELLO, C. R. et al. Análise de modelos matemáticos aplicados ao estudo de chuvas intensas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 25, p. 693-698, 2001.

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

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia e Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 552p. 2007.

OLIVEIRA, V. P. S. **Modelo para a geração de séries sintéticas de precipitação**. 2003. 156f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) . Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

OLIVEIRA, L. F. et al. Estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades do Estado de Goiás pelo método da desagregação de chuvas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 30 (1): 23-27, 2000.

OLIVEIRA, L. F. C. et al. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 35 (1): 13-18, 2005.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil**. Rio de Janeiro: Ministério da Viação e Obras Públicas; DNOS . Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 2ª ed., 1982. 426p.

PEIXINHO, F. C. Introdução. In: **Hidrologia e Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 552p. 2007.

PINTO, F. A. **Chuvas intensas no Estado de Minas Gerais: análise e modelos**. Viçosa, MG: UFV, 1995, 87p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) . Universidade Federal de Viçosa, 1995.

PINTO, F.A. et al. Estimativa de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais, utilizando-se registros diários. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 16, n. 2, p.8-21, 1996.

RIBEIRO, A. A. de A.; CURY LUNARDI, D. M. A precipitação mensal provável para Londrina - PR, através da função gama. **Energia na Agricultura**. UNESP, Campus de Botucatu, Faculdade de ciências agrônômicas, v. 12, n. 4, p. 37-44, 1997.

ROBAINA, A.D. Modelo para geração de chuvas intensas no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 2, p.95-98, 1996.

ROBAINA, A.D.; PEITER, M.X. Modelo de desagregação e de geração de chuvas intensas no RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21º SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA DO CONE SUL, 1º, 1992, Santa Maria. Anaisõ Santa Maria: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992. p.746-753.

SANSIGOLO, C. A. Distribuição de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 341-346, 2008.

SANTOS, G. G. et al. Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, Suplemento, p. 899-905, 2009.

SAMPAIO, S. C. et al. Precipitação provável para o município de Lavras-MG, utilizando a distribuição log-normal. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 2, p. 382-389, 1999.

SCHNEIDER, P. R. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF, 236p. 1998.

SEVRUK, B.; GEIGER, H. Selection of distribution types for extremes of precipitation. **WMO Operational Report**, n. 15, 64p. 1981.

SILVA, D. D. et al. Chuvas intensas no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 362-367, 2002.

SILVA, D. D. et al. Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o Estado do Tocantins. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 11, n. 1, p. 362-367, 2003.

SILVA, B. C.; CLARKE, R. T. Análise estatística de chuvas intensas na bacia do rio são Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 3, 265-272, 2004.

SILVEIRA, A. L. L.; SILVEIRA, G. L. Vazões mínimas. In: Hidrologia aplicada a à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Paiva, J. B. D.; Paiva, E. M. C. D. (Org.). Porto Alegre: ABRH, 2001, p. 125-163.

SOPRANI, M. A.; REIS, J. A. T. Proposição de equação de intensidade-duração-frequência de precipitação para a bacia do rio benevente, ES. **Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia**, Vitória, n. 2, p. 18-25, 1 sem. 2007.

TUCCI, C. E. M. (org.) 2000. Hidrologia . Ciência e Aplicação. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 943p.

TUCCI, C. E. M. Precipitação. In:____. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3ª Ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2002, p. 177-231.

SEDIYAMA, G. C.; MELO, J. S. P.; ALVES, A. R. Determinação dos parâmetros da distribuição gama, em função das alturas médias mensais de precipitação dos dias chuvosos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 43, n. 247, p. 254-266, 1995.

VELLOSO, P. P. C. Hidráulica e hidrologia. In: ____ Teoria e rebaixamento do lençol d'água. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos, 1988, p. 147-165.

VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F.; BURROWS, I.T. Mapeamento de chuva diária máxima provável para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v 15, p. 93-98, 1991.

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

VIRGENS FILHO, J. S.; CATANEO, A. Modelo computacional para simulação da radiação solar global diária. **Revista Energia na Agricultura**, Universidade Estadual de São Paulo, Faculdade de Ciências Agronômicas, Campus de Botucatu, v. 14, n. 2, p. 24-36, 1999.

ANEXOS

Anexo A - Relação das estações pluviométricas, com o código de identificação, o nome da estação, o município onde está localizada, a bacia hidrográfica, a entidade responsável, as coordenadas geográficas, a altitude, ano de início de operação e o tamanho da série histórica de dados de chuvas máximas anuais.

Nº	CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	CÓD.MUN.	MUNICÍPIO	BH	UF	RH	ENTIDADE	Latitude	Longitude	Altitude	Início	Anos
1	02950016	GLORINHA	24091000	GRAVATAÍ	G 010	RS	12	ANA	-29,882500	-50,788333	77	1976	34
2	02951022	NOVA PALMIRA	24050000	CAXIAS DO SUL	G 030	RS	12	ANA	-29,334722	-51,188611	80	1943	67
3	02951024	PORTO GARIBALDI	24123000	MONTENEGRO	G 030	RS	12	ANA	-29,817222	-51,377778	15	1970	40
4	02951027	SÃO VENDELINO	24198400	SÃO VALÉRIO DO SUL	G 030	RS	12	ANA	-29,366389	-51,371111	140	1970	40
5	02851003	ANTÔNIO PRADO	24008000	ANTÔNIO PRADO	G 040	RS	12	ANA	-28,853333	-51,283611	630	1943	67
6	02951010	ENCANTADO	24067000	ENCANTADO	G 040	RS	12	ANA	-29,234167	-51,854167	60	1943	67
7	02851044	GUAPORÉ	24093000	GUAPORÉ	G 040	RS	12	ANA	-28,845000	-51,878333	520	1985	25
8	02951070	MUÇUM	24125000	MUÇUM	G 040	RS	12	ANA	-29,166389	-51,868056	240	1986	24
9	02851021	PASSO DO PRATA	24228000	VERANÓPOLIS	G 040	RS	12	ANA	-28,867500	-51,445556	400	1957	53
10	02851022	PASSO MIGLIAVACA	24048000	CASCA	G 040	RS	12	ANA	-28,620000	-51,866111	380	1957	53
11	02850009	PASSO TAINHAS	24182000	SÃO FRANCISCO DE PAULA	G 040	RS	12	ANA	-28,866667	-50,453889	640	1943	67
12	02851024	PRATA	24133000	NOVA PRATA	G 040	RS	12	ANA	-28,768611	-51,620000	680	1944	66
13	02852006	CARAZINHO	24046000	CARAZINHO	G 050	RS	11	ANA	-28,293889	-52,788333	570	1941	69
14	02852050	NÃO-ME-TOQUE	24126000	NÃO-ME-TOQUE	G 050	RS	12	ANA	-28,455278	-52,815833	491	1985	25
15	02853014	SANTA CLARA DO INGAÍ	24060000	CRUZ ALTA	G 050	RS	12	ANA	-28,728611	-53,185833	390	1944	66
16	03053021	BARRO VERMELHO	24030000	CACHOEIRA DO SUL	G 060	RS	12	ANA	-30,140833	-53,161944	100	1986	24
17	03053022	CAÇAPAVA DO SUL	24028000	CAÇAPAVA DO SUL	G 060	RS	12	ANA	-30,330556	-53,535556	420	1986	24
18	03053017	PASSO DOS FREIRES	24196000	SÃO SEPÉ	G 060	RS	12	ANA	-30,435278	-53,712500	200	1981	29
19	03054018	PONTE SÃO GABRIEL	24183000	SÃO GABRIEL	G 060	RS	12	ANA	-30,356111	-54,318056	120	1985	25
20	03053020	SÃO SEPÉ - MONTANTE	24196000	SÃO SEPÉ	G 060	RS	12	ANA	-30,193333	-53,563056	60	1984	26

Anexo A . Continuação ...

Nº	CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	CÓD.MUN.	MUNICÍPIO	BH	UF	RH	ENTIDADE	Latitude	Longitude	Altitude	Início	Anos
21	02952003	BOTUCARAI	24041000	CANDELÁRIA	G 070	RS	12	ANA	-29,722222	-52,893889	80	1965	45
22	03051031	BUTIA	24027000	BUTIA	G 070	RS	12	ANA	-30,157778	-51,936944	60	1983	27
23	02951067	CHARQUEADAS	24052500	CHARQUEADAS	G 070	RS	12	ANA	-29,951389	-51,628333	21	1985	25
24	02953008	DONA FRANCISCA	24066000	DONA FRANCISCA	G 070	RS	12	ANA	-29,627500	-53,353333	25	1943	67
25	03051005	GUÁIBA COUNTRY CLUB	24092000	GUAÍBA	G 070	RS	12	ANA	-30,106667	-51,648889	40	1966	44
26	03053018	IRAPUAZINHO	24030000	CACHOEIRA DO SUL	G 070	RS	12	ANA	-30,488611	-53,119167	120	1983	27
27	03052016	PANTANO GRANDE	24157000	RIO PARDO	G 070	RS	12	ANA	-30,198333	-52,371944	40	1986	24
28	02953037	PASSO SÃO LOURENÇO	24030000	CACHOEIRA DO SUL	G 070	RS	12	ANA	-30,008611	-53,016111	20	1986	24
29	03052011	QUITERIA	24184000	SÃO JERÔNIMO	G 070	RS	12	ANA	-30,419167	-52,073333	300	1969	41
30	02951028	SAPUCAIA DO SUL	24200000	SAPUCAIA DO SUL	G 070	RS	12	ANA	-29,821111	-51,495278	20	1964	46
31	03052012	SERRA DOS PEDROSAS	24068000	ENCRUZILHADA DO SUL	G 070	RS	12	ANA	-30,621944	-52,809722	400	1976	34
32	03051023	BARRA DO RIBEIRO	24019000	BARRA DO RIBEIRO	G 080	RS	12	ANA	-30,297500	-51,314167	5	1976	34
33	02952001	BARROS CASSAL	24020000	BARROS CASSAL	G 090	RS	12	ANA	-29,085000	-52,584444	620	1986	24
34	02952034	CANDELÁRIA	24041000	CANDELÁRIA	G 090	RS	12	ANA	-29,673333	-52,769444	40	1985	25
35	02950038	TERRA DE AREIA	24135000	OSÓRIO	L 010	RS	12	ANA	-29,572222	-50,056389	40	1974	36
36	03152002	BOQUEIRÃO	24188000	SÃO LOURENÇO DO SUL	L 030	RS	12	ANA	-31,281111	-52,079167	120	1966	44
37	03051016	CAMAQUÃ	24035000	CAMAQUÃ	L 030	RS	12	ANA	-30,870556	-51,794722	65	1965	45
38	03051004	CERRO GRANDE	24211000	TAPES	L 030	RS	12	ANA	-30,598056	-51,754444	120	1976	34
39	03051017	FAZENDA DA BOA VISTA	24035000	CAMAQUÃ	L 030	RS	12	ANA	-30,771667	-51,659722	25	1976	34
40	03151002	PACHECA	24035000	CAMAQUÃ	L 030	RS	12	ANA	-31,130278	-51,788611	5	1976	34

Anexo A . Continuação ...

N°	CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	CÓD.MUN.	MUNICÍPIO	BH	UF	RH	ENTIDADE	Latitude	Longitude	Altitude	Início	Anos
41	03153006	PASSO DA CAPELA	24146000	PIRATINI	L 030	RS	12	ANA	-31,133611	-53,054444	120	1977	33
42	03053010	PASSO DO CAÇÃO	24016000	BAGÉ	L 030	RS	12	ANA	-30,961111	-53,488611	120	1976	34
43	03152011	PASSO DO MENDONÇA	24059500	CRISTAL	L 030	RS	12	ANA	-31,000278	-52,049722	40	1944	66
44	03151003	SÃO LOURENÇO DO SUL	24188000	SÃO LOURENÇO DO SUL	L 030	RS	12	ANA	-31,369444	-51,986667	2	1943	67
45	03153017	TORRINHAS	24145000	PINHEIRO MACHADO	L 030	RS	12	ANA	-31,314167	-53,497778	420	1976	34
46	03253001	ARROIO GRANDE	24013000	ARROIO GRANDE	L 040	RS	12	ANA	-32,236389	-53,087778	3	1965	45
47	03152003	CANGUÇU	24044000	CANGUÇU	L 040	RS	12	ANA	-31,391111	-52,697222	400	1943	67
48	03153021	ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE PIRATINI	24146000	PIRATINI	L 040	RS	12	ANA	-31,430000	-53,106111	340	1979	31
49	03153004	FERRARIA	24146000	PIRATINI	L 040	RS	12	ANA	-31,736389	-53,051667	200	1976	34
50	03252006	GRANJA CERRITO	24156000	RIO GRANDE	L 040	RS	12	ANA	-32,349444	-52,540278	4	1964	46
51	03252005	GRANJA CORONEL PEDRO OSÓRIO	24013000	ARROIO GRANDE	L 040	RS	12	ANA	-32,005556	-52,652778	20	1966	44
52	03253003	GRANJA OSÓRIO	24173000	SANTA VITÓRIA DO PALMAR	L 040	RS	12	ANA	-32,952500	-53,118889	3	1966	44
53	03252008	GRANJA SANTA MARIA	24156000	RIO GRANDE	L 040	RS	12	ANA	-32,404444	-52,555833	12	1965	45
54	03152008	GRANJA SÃO PEDRO	24144000	PELOTAS	L 040	RS	12	ANA	-31,668611	-52,180278	3	1966	44
55	03253004	HERVAL	24094800	HERVAL	L 040	RS	12	ANA	-32,027778	-53,398611	260	1966	44
56	03153007	PEDRAS ALTAS	24145000	PINHEIRO MACHADO	L 040	RS	12	ANA	-31,736111	-53,588889	380	1966	44
57	03152013	PEDRO OSÓRIO	24142000	PEDRO OSÓRIO	L 040	RS	12	ANA	-31,879444	-52,808611	27	1977	33
58	03153008	PINHEIRO MACHADO	24145000	PINHEIRO MACHADO	L 040	RS	12	ANA	-31,577500	-53,376944	440	1965	45
59	03152016	PONTE CORDEIRO DE FARIAS	24144000	PELOTAS	L 040	RS	12	ANA	-31,573056	-52,461944	40	1964	46
60	03252024	RIO GRANDE REGATAS	24156000	RIO GRANDE	L 040	RS	12	ANA	-32,030556	-52,078611	5	1985	25

Anexo A . Continuação ...

Nº	CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	CÓD.MUN.	MUNICÍPIO	BH	UF	RH	ENTIDADE	Latitude	Longitude	Altitude	Início	Anos
61	03152005	VILA FREIRE	24142000	PEDRO OSÓRIO	L 040	RS	12	ANA	-31,654167	-52,796667	250	1976	34
62	02751015	BARRAÇÃO	24018000	BARRAÇÃO	U 010	RS	11	ANA	-27,677778	-51,456944	754	1977	33
63	02751017	CLEMENTE ARGOLO	24112000	LAGOA VERMELHA	U 010	RS	11	ANA	-28,004722	-51,452500	950	1976	34
64	02851043	ESMERALDA	24073000	ESMERALDA	U 010	RS	11	ANA	-28,059167	-51,188889	974	1977	33
65	02752021	GAURAMA	24086000	GAURAMA	U 010	RS	11	ANA	-27,587222	-52,092778	800	1986	24
66	02850006	INVERNADA VELHA	24023000	BOM JESUS	U 010	RS	11	ANA	-28,449444	-50,296389	850	1964	46
67	02751006	PAIM FILHO	24136000	PAIM FILHO	U 010	RS	11	ANA	-27,703889	-51,767500	600	1957	53
68	02850008	PASSO SOCORRO	24225000	VACARIA	U 010	RS	11	ANA	-28,210833	-50,758611	640	1943	67
69	02751007	SANANDUVA	24166000	SANANDUVA	U 010	RS	11	ANA	-27,950278	-51,814444	687	1957	53
70	02852046	TAPEJARA	24209000	TAPEJARA	U 010	RS	11	ANA	-28,056667	-51,996111	672	1976	34
71	02752006	EREBANGO	24068600	EREBANGO	U 020	RS	11	ANA	-27,854167	-52,303889	763	1943	67
72	02752017	ITATIBA DO SUL	24106000	ITATIBA DO SUL	U 020	RS	11	ANA	-27,388889	-52,454444	350	1976	34
73	02754001	ALTO URUGUAI	24219000	TRÊS PASSOS	U 030	RS	11	ANA	-27,303056	-54,134444	120	1949	61
74	02854001	BOA VISTA	24049000	CATUIPE	U 030	RS	11	ANA	-28,106944	-53,992500	447	1969	41
75	02754010	ESQUINA ARAUJO	24103000	INDEPENDÊNCIA	U 030	RS	11	ANA	-27,968056	-54,116389	400	1976	34
76	02854003	GIRUA	24089000	GIRUA	U 030	RS	11	ANA	-28,026389	-54,343611	400	1943	67
77	02753016	MIRAGUAI	24122000	MIRAGUAI	U 030	RS	11	ANA	-27,501667	-53,681944	502	1976	34
78	02755001	PORTO LUCENA	24150000	PORTO LUCENA	U 030	RS	11	ANA	-27,854444	-55,022500	100	1949	61
79	02754009	TUCUNDUVA	24221000	TUCUNDUVA	U 030	RS	11	ANA	-27,653889	-54,442222	120	1976	34
80	02854012	COIMBRA	24175000	SANTO ANGELO	U 040	RS	11	ANA	-28,787778	-54,451944	300	1976	34

Anexo A . Continuação ...

Nº	CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	CÓD.MUN.	MUNICÍPIO	BH	UF	RH	ENTIDADE	Latitude	Longitude	Altitude	Início	Anos
81	02855001	GARRUCHOS	24180000	SÃO BORJA	U 040	RS	11	ANA	-28,182500	-55,643333	60	1949	61
82	02855002	PASSO DO SARMENTO	24180000	SÃO BORJA	U 040	RS	11	ANA	-28,211944	-55,319722	80	1957	53
83	02854005	PASSO MAJOR ZEFERINO	24175000	SANTO ANGELO	U 040	RS	11	ANA	-28,733611	-54,647778	160	1957	53
84	02855007	SANTO ANTÔNIO DAS MISSÕES	24177000	SANTO ANTÔNIO DAS MISSÕES	U 040	RS	11	ANA	-28,510556	-55,234722	200	1983	27
85	02955013	ALEGRETE	24004000	ALEGRETE	U 050	RS	11	ANA	-29,784444	-55,773889	80	1985	25
86	02955002	CACHOEIRA SANTA CECÍLIA	24105000	ITAQUI	U 050	RS	11	ANA	-29,196111	-55,474444	100	1959	51
87	02954004	ERNESTO ALVES	24110000	JAGUARI	U 050	RS	11	ANA	-29,365833	-54,734722	300	1959	51
88	02954031	ESQUINA DOS LIMA (STA. BARBARA)	24174000	SANTIAGO	U 050	RS	11	ANA	-29,077778	-54,508611	420	1983	27
89	02956009	FAZENDA TRÊS CAPÕES	24004000	ALEGRETE	U 050	RS	11	ANA	-29,635556	-56,093611	150	1986	24
90	02954030	FLORIDA	24174000	SANTIAGO	U 050	RS	11	ANA	-29,251389	-54,597778	370	1983	27
91	02954005	FURNAS DO SEGREDO	24110000	JAGUARI	U 050	RS	11	ANA	-29,358889	-54,500833	300	1966	44
92	02954007	JAGUARI	24110000	JAGUARI	U 050	RS	11	ANA	-29,490278	-54,688889	100	1957	53
93	02955008	MANOEL VIANA	24116200	MANOEL VIANA	U 050	RS	11	ANA	-29,590556	-55,481944	80	1976	34
94	02955006	PONTE DO MIRACATU	24181000	SÃO FRANCISCO DE ASSIS	U 050	RS	11	ANA	-29,458889	-55,290278	100	1969	41
95	02954032	PONTE TOROPI II	24194000	SÃO PEDRO DO SUL	U 050	RS	11	ANA	-29,653333	-54,431389	40	1984	26
96	02954020	SANTIAGO	24174000	SANTIAGO	U 050	RS	11	ANA	-29,186667	-54,855833	420	1976	34
97	03055007	SÃO CARLOS	24164000	ROSÁRIO DO SUL	U 050	RS	11	ANA	-30,204722	-55,491944	160	1986	24
98	02953030	TUPANCIRETA	24222000	TUPANCIRETA	U 050	RS	11	ANA	-29,085556	-53,821944	469	1976	34
99	03057002	BARRA DO QUARAI	24224000	URUGUAIANA	U 060	RS	11	ANA	-30,213889	-57,551944	40	1976	34
100	03056007	CATY	24171000	SANTANA DO LIVRAMENTO	U 060	RS	11	ANA	-30,523333	-56,203611	160	1983	27

Anexo A . Continuação ...

N°	CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	CÓD.MUN.	MUNICÍPIO	BH	UF	RH	ENTIDADE	Latitude	Longitude	Altitude	Início	Anos
101	03055003	FAZENDA ENCERRA	24171000	SANTANA DO LIVRAMENTO	U 060	RS	11	ANA	-30,695556	-55,841111	300	1976	34
102	03056004	FAZENDA JUNCO	24224000	URUGUAIANA	U 060	RS	11	ANA	-30,018056	-56,820556	80	1976	34
103	03056006	HARMONIA	24004000	ALEGRETE	U 060	RS	11	ANA	-30,069444	-56,158889	140	1978	32
104	03055008	PASSO DA GUARDA	24153000	QUARAI	U 060	RS	11	ANA	-30,293056	-55,978056	160	1988	22
105	03056003	QUARAI	24153000	QUARAI	U 060	RS	11	ANA	-30,383333	-56,483333	80	1943	67
106	02954001	CACEQUI	24029000	CACEQUI	U 070	RS	11	ANA	-29,877778	-54,823611	100	1943	67
107	03054002	DOM PEDRITO	24065000	DOM PEDRITO	U 070	RS	11	ANA	-30,978056	-54,675833	120	1934	76
108	03054016	GRANJA UMBU	24164000	ROSÁRIO DO SUL	U 070	RS	11	ANA	-30,514444	-54,770278	100	1976	34
109	03054007	ROSÁRIO DO SUL	24164000	ROSÁRIO DO SUL	U 070	RS	11	ANA	-30,246944	-54,917500	100	1943	67
110	03055004	SAICA	24029000	CACEQUI	U 070	RS	11	ANA	-30,029444	-55,092222	90	1976	34
111	03055005	SANTA RITA	24171000	SANTANA DO LIVRAMENTO	U 070	RS	11	ANA	-30,533056	-55,126667	200	1976	34
112	03154003	TORQUATO SEVERO	24065000	DOM PEDRITO	U 070	RS	11	ANA	-31,028611	-54,184444	390	1976	34
113	03155001	TRÊS VENDAS	24065000	DOM PEDRITO	U 070	RS	11	ANA	-31,275000	-55,037778	240	1976	34
114	02853028	ANDERSON CLAYTON	24060000	CRUZ ALTA	U 090	RS	11	ANA	-28,658611	-53,604722	440	1978	32
115	02853003	CONCEIÇÃO	24101000	IJUÍ	U 090	RS	11	ANA	-28,455000	-53,970833	160	1959	51
116	02853023	CONDOR	24056000	CONDOR	U 090	RS	11	ANA	-28,389167	-54,331944	440	1976	34
117	02853010	PASSO FAXINAL	24101000	IJUÍ	U 090	RS	11	ANA	-28,289167	-53,780000	200	1957	53
118	02854006	PASSO VIOLA	24033000	CAIBATÉ	U 090	RS	11	ANA	-28,210556	-54,602222	160	1959	51
119	02854013	SÃO BERNARDO	24222000	TUPANCIRETA	U 090	RS	11	ANA	-28,905278	-54,065000	530	1983	27
120	02853026	CHAPADA	24052000	CHAPADA	U 100	RS	11	ANA	-28,058611	-53,066111	450	1977	33

Anexo A . Continuação ...

Nº	CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	CÓD.MUN.	MUNICÍPIO	BH	UF	RH	ENTIDADE	Latitude	Longitude	Altitude	Início	Anos
121	02852007	COLÔNIA XADREZ	24046000	CARAZINHO	U 100	RS	11	ANA	-28,188333	-52,745278	593	1944	66
122	02753019	IRAÍ	24104000	IRAÍ	U 100	RS	11	ANA	-27,188889	-53,253333	240	1987	23
123	02753014	LIBERATO SALZANO	24115000	LIBERATO SALZANO	U 100	RS	11	ANA	-27,598333	-53,070833	378	1976	34
124	02753004	LINHA CESCO	24201000	SARANDI	U 100	RS	11	ANA	-27,811667	-53,027778	350	1959	51
125	02753015	PALMEIRA DAS MISSÕES	24137000	PALMEIRA DAS MISSÕES	U 100	RS	11	ANA	-27,913333	-53,310833	610	1976	34
126	02856007	CUNHA	24105000	ITAQUI	U 110	RS	11	ANA	-28,950000	-56,316667	20	1986	24
127	02855005	FAZENDA SANTA CECÍLIA DO BUTUI	24180000	SÃO BORJA	U 110	RS	11	ANA	-28,995000	-55,680278	140	1963	47
128	02855004	PASSO DO NOVO	24180000	SÃO BORJA	U 110	RS	11	ANA	-28,678611	-55,581389	50	1978	32
129	02856006	PASSO SÃO BORJA	24180000	SÃO BORJA	U 110	RS	11	ANA	-28,630000	-56,039444	50	1985	25
130	02955007	UNISTALDA	24174000	SANTIAGO	U 110	RS	11	ANA	-29,047500	-55,151111	380	1969	41

ANEXO B - Relação das 27 estações pluviométricas, com o código de identificação, o nome da estação, o município onde está localizada, a bacia hidrográfica, a entidade responsável, as coordenadas geográficas, a altitude, ano de início de operação e o tamanho da série histórica de dados de chuvas máximas anuais utilizadas para a validação das metodologias de desagregação e do período de retorno.

N°	Código	Nome da Estação	Cód. Município	Município	BH	UF	RH	Entidade	Latitude	Longitude	Altitude	Início	Anos
1	2950004	Barragem do Blang	24182000	São Francisco de Paula	G 030	RS	Guaíba		-29,3167	-50,6167	780	1973	23
2	2951058	Taquari		Taquari	G 040	RS	Guaíba		-29,8042	-51,8250	76		36
3	2850014	Vacaria	24225000	Vacaria	G 040	RS	Guaíba		-28,5025	-50,9367	955	1966	63
4	2851042	Veranópolis	24228000	Veranópolis	G 040	RS	Guaíba		-28,9372	-51,5531	705	1956	28
5	2852029	Usina Colorado		Tapera	G 050	RS	Guaíba		-28,6333	-52,9167	360	1975	25
6	2852030	Usina Ernestina		Ernestina	G 050	RS	Guaíba		-28,5500	-52,5500	460	1973	41
7	2953034	Santa Maria		Santa Maria	G 060	RS	Guaíba		-29,6900	-53,8117	153	1963	51
8	3054017	São Gabriel	24183000	São Gabriel	G 060	RS	Guaíba		-30,3408	-54,3169	109	1964	22
9	3051030	Guaíba	24092000	Guaíba	G 070	RS	Guaíba		-30,0978	-51,6500	46	1967	40
10	3252022	Rio Grande	24156000	Rio Grande	L 040	RS	Litorânea		-32,0172	-52,1589	15	1956	31
11	3253023	Jaguarão		Jaguarão	L 040	RS	Litorânea		-32,5589	-53,3889	11	1966	27
12	2753018	Santo Augusto		Santo Augusto	U 030	RS	Uruguai		-27,9044	-53,7539	448	1970	58
13	2754001	Alto Uruguai	24219000	Três Passos	U 030	RS	Uruguai		-27,3019	-54,1394	200	1977	27
14	2754012	Santa Rosa		Santa Rosa	U 030	RS	Uruguai		-27,8639	-54,4842	273	1975	34
15	2953033	Júlio de Castilhos		Júlio de Castilhos	U 050	RS	Uruguai		-29,2239	-53,6792	514	1956	20
16	2954007	Jaguari	24110000	Jaguari	U 050	RS	Uruguai		-29,4903	-54,6889	200	1977	49
17	2955008	Manuel Viana	24116200	Manuel Viana	U 050	RS	Uruguai		-29,5939	-55,4858	150	1977	10
18	2955011	Alegrete	24004000	Alegrete	U 050	RS	Uruguai		-29,7783	-55,7917	96	1966	30
19	2956006	Passo Mariano Pinto	24004000	Alegrete	U 050	RS	Uruguai		-29,3089	-56,0553	100	1977	37
20	2956007	Plano Alto	24222000	Urugaiana	U 050	RS	Uruguai		-29,7653	-56,5214	100	1977	62
21	2957003	Urugaiana	24222000	Urugaiana	U 050	RS	Uruguai		-29,7564	-57,0936	74	1963	74
22	3056005	Quaraí	24153000	Quaraí	U 060	RS	Uruguai		-30,3881	-56,4481	100	1966	30
23	3057002	Barra do Quaraí	24153000	Quaraí	U 060	RS	Uruguai		-30,2133	-57,5533	50	1976	30
24	3054016	Granja Umbu	24164000	Rosário do Sul	U 070	RS	Uruguai		-30,5144	-54,7703	200	1976	30
25	3055001	Santana do Livramento	24171000	Santana do Livramento	U 070	RS	Uruguai		-30,8833	-55,5333	234	1966	67
26	2853025	Ijuí	24101000	Ijuí	U 090	RS	Uruguai		-28,3881	-53,4139	448	1963	34
27	2856005	São Borja	24180000	São Borja	U 110	RS	Uruguai		-28,6622	-56,0122	110	1955	28

ANEXO C - Relação das estações pluviométricas, com o código de identificação, o nome da estação, a bacia hidrográfica, a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação da chuva máxima de 24 horas de duração, o número de anos da série histórica, o coeficiente linear e o coeficiente angular, o coeficiente de determinação do ajuste de Gumbel, o coeficiente a_4 , o coeficiente b_4 da função período de retorno de Robaina e Peiter (1992) e o coeficiente de determinação da função FT_4 .

Nº	CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	BH	P_{24}		cv	n	A_{KT}	B_{KT}	r^2	a_4	b_4	r^2
1	02950016	GLORINHA	G 010	87,7	24,7	0,28	29	-0,4459	-0,7926	0,9565	0,9963	0,1344	0,9895
2	02951022	NOVA PALMIRA	G 030	96,8	26,6	0,27	64	-0,4531	-0,7952	0,9799	0,9985	0,1316	0,9912
3	02951024	PORTO GARIBALDI	G 030	94,7	26,1	0,28	37	-0,4539	-0,8030	0,9669	0,9973	0,1331	0,9903
4	02951027	SÃO VENDELINO	G 030	111,7	35,8	0,32	37	-0,4527	-0,8007	0,9614	0,9976	0,1479	0,9893
5	02851003	ANTÔNIO PRADO	G 040	107,2	46,7	0,44	62	-0,4211	-0,7393	0,8456	0,9990	0,1719	0,9884
6	02951010	ENCANTADO	G 040	85,8	24,7	0,29	64	-0,4511	-0,7916	0,9711	0,9986	0,1358	0,9909
7	02851044	GUAPORÉ	G 040	111,3	38,1	0,34	21	-0,4537	-0,8133	0,9878	0,9953	0,1571	0,9860
8	02951070	MUÇUM	G 040	99,7	25,4	0,25	20	-0,4461	-0,8009	0,9549	0,9935	0,1267	0,9885
9	02851021	PASSO DO PRATA	G 040	93,1	31,7	0,34	50	-0,4455	-0,7843	0,9407	0,9983	0,1518	0,9896
10	02851022	PASSO MIGLIAVACA	G 040	100,4	26,2	0,26	50	-0,4427	-0,7793	0,9288	0,9980	0,1252	0,9912
11	02850009	PASSO TAINHAS	G 040	87,7	23,7	0,27	64	-0,4551	-0,7987	0,9884	0,9985	0,1304	0,9912
12	02851024	PRATA	G 040	97,6	38,4	0,39	62	-0,4488	-0,7880	0,9606	0,9989	0,1678	0,9887
13	02852006	CARAZINHO	G 050	127,3	40,8	0,32	22	-0,4488	-0,8035	0,9670	0,9952	0,1490	0,9871
14	02852050	NÃO-ME-TOQUE	G 050	112,1	37,4	0,33	59	-0,4479	-0,7868	0,9553	0,9986	0,1500	0,9900
15	02853014	SANTA CLARA DO INGAI	G 050	109,9	32,3	0,29	63	-0,4560	-0,8003	0,9918	0,9986	0,1389	0,9907
16	03053021	BARRO VERMELHO	G 060	94,9	33,2	0,35	21	-0,4526	-0,8114	0,9833	0,9955	0,1590	0,9858
17	03053022	CAÇAPAVA DO SUL	G 060	111,4	27,9	0,25	21	-0,4475	-0,8022	0,9611	0,9939	0,1250	0,9889
18	03053017	PASSO DOS FREIRES	G 060	113,6	29,8	0,26	26	-0,4348	-0,7750	0,9088	0,9955	0,1257	0,9898
19	03054018	PONTE SÃO GABRIEL	G 060	114,6	33,9	0,30	22	-0,4518	-0,8088	0,9800	0,9949	0,1416	0,9878
20	03053020	SÃO SEPÉ - MONTANTE	G 060	128,1	40,2	0,31	22	-0,4475	-0,8011	0,9614	0,9951	0,1465	0,9874

ANEXO C . Continuação ...

N°	CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	BH	P ₂₄		cv	n	A _{KT}	B _{KT}	r ²	a ₄	b ₄	r ²
21	02952003	BOTUCARAI	G 070	103,6	23,3	0,22	42	-0,4557	-0,8044	0,9790	0,9975	0,1150	0,9915
22	03051031	BUTIA	G 070	92,9	27,4	0,29	24	-0,4524	-0,8080	0,9832	0,9954	0,1408	0,9883
23	02951067	CHARQUEADAS	G 070	97,4	45,7	0,47	22	-0,4430	-0,7930	0,9421	0,9980	0,1894	0,9827
24	02953008	DONA FRANCISCA	G 070	114,1	29,9	0,26	63	-0,4522	-0,7937	0,9753	0,9985	0,1271	0,9914
25	03051005	GUAÍBA COUNTRY CLUB	G 070	95,8	37,3	0,39	40	-0,4548	-0,8033	0,9731	0,9983	0,1689	0,9878
26	03053018	IRAPUAZINHO	G 070	126,9	41,4	0,33	24	-0,4449	-0,7946	0,9509	0,9958	0,1493	0,9876
27	03052016	PANTANO GRANDE	G 070	91,4	28,1	0,31	21	-0,4493	-0,8054	0,9686	0,9947	0,1450	0,9872
28	02953037	PASSO SÃO LOURENÇO	G 070	104,9	26,3	0,25	21	-0,4471	-0,8015	0,9594	0,9939	0,1253	0,9889
29	03052011	QUITERIA	G 070	98,1	26,9	0,27	38	-0,4507	-0,7969	0,9540	0,9973	0,1320	0,9904
30	02951028	SAPUCAIA DO SUL	G 070	94,5	24,3	0,26	43	-0,4548	-0,8025	0,9759	0,9976	0,1265	0,9909
31	03052012	SERRA DOS PEDROSAS	G 070	115,3	36,0	0,31	30	-0,4589	-0,8152	0,9797	0,9968	0,1473	0,9887
32	03051023	BARRA DO RIBEIRO	G 080	93,2	33,3	0,36	31	-0,4512	-0,8009	0,9484	0,9973	0,1595	0,9878
33	02952001	BARROS CASSAL	G 090	115,8	30,8	0,27	21	-0,4382	-0,7856	0,9217	0,9940	0,1286	0,9886
34	02952034	CANDELÁRIA	G 090	107,4	26,1	0,24	22	-0,4392	-0,7863	0,9262	0,9942	0,1205	0,9894
35	02950038	TERRA DE AREIA	L 010	105,0	27,9	0,27	33	-0,4556	-0,8077	0,9696	0,9968	0,1304	0,9902
36	03152002	BOQUEIRÃO	L 030	110,2	31,2	0,28	41	-0,4448	-0,7854	0,9318	0,9976	0,1338	0,9904
37	03051016	CAMAQUÃ	L 030	99,5	50,4	0,51	31	-0,4242	-0,7530	0,8383	0,9988	0,1921	0,9846
38	03051004	CERRO GRANDE	L 030	102,6	31,7	0,31	31	-0,4564	-0,8101	0,9704	0,9969	0,1455	0,9890
39	03051017	FAZENDA DA BOA VISTA	L 030	106,3	33,2	0,31	31	-0,4552	-0,8081	0,9656	0,9969	0,1464	0,9889
40	03151002	PACHECA	L 030	92,9	27,9	0,30	31	-0,4558	-0,8090	0,9678	0,9968	0,1424	0,9892

ANEXO C . Continuação ...

Nº	CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	BH	P ₂₄		cv	n	A _{KT}	B _{KT}	r ²	a ₄	b ₄	r ²
41	03153006	PASSO DA CAPELA	L 030	107,1	28,0	0,26	30	-0,4531	-0,8048	0,9551	0,9963	0,1287	0,9900
42	03053010	PASSO DO CAÇÃO	L 030	106,3	34,4	0,32	27	-0,4472	-0,7962	0,9615	0,9964	0,1488	0,9882
43	03152011	PASSO DO MENDONÇA	L 030	99,8	35,6	0,36	48	-0,4533	-0,7985	0,9727	0,9984	0,1587	0,9890
44	03151003	SÃO LOURENÇO DO SUL	L 030	111,1	49,3	0,44	52	-0,4389	-0,7722	0,9141	0,9990	0,1790	0,9875
45	03153017	TORRINHAS	L 030	123,9	54,6	0,44	31	-0,4566	-0,8105	0,9714	0,9984	0,1844	0,9854
46	03253001	ARROIO GRANDE	L 040	97,9	25,5	0,26	41	-0,4544	-0,8023	0,9722	0,9975	0,1280	0,9908
47	03152003	CANGUÇU	L 040	91,5	30,6	0,33	64	-0,4520	-0,7932	0,9749	0,9987	0,1510	0,9900
48	03153021	ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE PIRATINI	L 040	117,3	52,8	0,45	27	-0,4347	-0,7740	0,9085	0,9979	0,1814	0,9851
49	03153004	FERRARIA	L 040	113,7	38,1	0,34	31	-0,4538	-0,8055	0,9594	0,9971	0,1533	0,9883
50	03252006	GRANJA CERRITO	L 040	104,0	30,7	0,30	43	-0,4572	-0,8067	0,9860	0,9978	0,1403	0,9901
51	03252005	GRANJA CORONEL PEDRO OSÓRIO	L 040	110,4	35,5	0,32	41	-0,4570	-0,8071	0,9838	0,9979	0,1491	0,9894
52	03253003	GRANJA OSÓRIO	L 040	108,9	29,6	0,27	41	-0,4572	-0,8073	0,9843	0,9976	0,1325	0,9905
53	03252008	GRANJA SANTA MARIA	L 040	114,0	33,6	0,30	42	-0,4545	-0,8023	0,9739	0,9977	0,1397	0,9901
54	03152008	GRANJA SÃO PEDRO	L 040	104,6	30,0	0,29	41	-0,4529	-0,7997	0,9660	0,9976	0,1366	0,9903
55	03253004	HERVAL	L 040	103,1	25,9	0,25	40	-0,4443	-0,7849	0,9290	0,9974	0,1224	0,9910
56	03153007	PEDRAS ALTAS	L 040	108,8	39,7	0,36	41	-0,4496	-0,7939	0,9520	0,9981	0,1604	0,9886
57	03152013	PEDRO OSÓRIO	L 040	102,8	33,8	0,33	30	-0,4578	-0,8133	0,9752	0,9970	0,1524	0,9883
58	03153008	PINHEIRO MACHADO	L 040	115,2	33,3	0,29	42	-0,4558	-0,8045	0,9792	0,9977	0,1381	0,9902
59	03152016	PONTE CORDEIRO DE FARIAS	L 040	123,5	55,0	0,45	43	-0,4306	-0,7597	0,8745	0,9987	0,1779	0,9872
60	03252024	RIO GRANDE REGATAS	L 040	80,2	46,3	0,58	22	-0,4435	-0,7941	0,9445	0,9999	0,2151	0,9791

ANEXO C . Continuação ...

Nº	CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	BH	P ₂₄		cv	n	A _{KT}	B _{KT}	r ²	a ₄	b ₄	r ²
61	03152005	VILA FREIRE	L 040	105,3	29,4	0,28	31	-0,4574	-0,8120	0,9748	0,9966	0,1359	0,9897
62	02751015	BARRACÃO	U 010	106,9	34,7	0,32	29	-0,4511	-0,8020	0,9792	0,9967	0,1497	0,9884
63	02751017	CLEMENTE ARGOLO	U 010	111,2	29,3	0,26	30	-0,4557	-0,8096	0,9663	0,9964	0,1299	0,9900
64	02851043	ESMERALDA	U 010	107,8	28,8	0,27	29	-0,4504	-0,8007	0,9761	0,9962	0,1303	0,9898
65	02752021	GAURAMA	U 010	115,4	62,2	0,54	20	-0,3808	-0,6836	0,6957	0,9977	0,1884	0,9818
66	02850006	INVERNADA VELHA	U 010	91,9	31,9	0,35	37	-0,4463	-0,7894	0,9344	0,9977	0,1548	0,9888
67	02751006	PAIM FILHO	U 010	100,9	30,8	0,30	49	-0,4509	-0,7941	0,9632	0,9981	0,1417	0,9902
68	02850008	PASSO SOCORRO	U 010	114,8	66,3	0,58	60	-0,3623	-0,6364	0,6255	0,9993	0,1873	0,9870
69	02751007	SANANDUVA	U 010	110,4	29,0	0,26	49	-0,4561	-0,8031	0,9854	0,9980	0,1285	0,9910
70	02852046	TAPEJARA	U 010	110,9	34,1	0,31	30	-0,4583	-0,8142	0,9774	0,9968	0,1457	0,9888
71	02752006	EREBANGO	U 020	113,4	44,9	0,40	64	-0,4536	-0,7961	0,9820	0,9990	0,1696	0,9886
72	02752017	ITATIBA DO SUL	U 020	119,3	44,6	0,37	31	-0,4539	-0,8058	0,9600	0,9975	0,1651	0,9873
73	02754001	ALTO URUGUAI	U 030	93,5	42,9	0,46	58	-0,4390	-0,7713	0,9174	0,9992	0,1828	0,9874
74	02854001	BOA VISTA	U 030	119,7	31,8	0,27	36	-0,4478	-0,7926	0,9399	0,9971	0,1286	0,9905
75	02754010	ESQUINA ARAUJO	U 030	117,8	36,0	0,31	31	-0,4533	-0,8046	0,9572	0,9968	0,1437	0,9891
76	02854003	GIRUA	U 030	91,7	49,0	0,53	64	-0,4402	-0,7726	0,9249	0,9996	0,2014	0,9858
77	02753016	MIRAGUAI	U 030	130,0	34,3	0,26	31	-0,4530	-0,8042	0,9562	0,9965	0,1294	0,9901
78	02755001	PORTO LUCENA	U 030	121,4	33,1	0,27	58	-0,4544	-0,7983	0,9826	0,9984	0,1315	0,9911
79	02754009	TUCUNDUVA	U 030	122,5	33,6	0,27	31	-0,4587	-0,8143	0,9804	0,9966	0,1344	0,9898
80	02854012	COIMBRA	U 040	122,2	39,9	0,33	29	-0,4501	-0,8002	0,9749	0,9967	0,1499	0,9884

ANEXO C . Continuação ...

N°	CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	BH	P ₂₄		cv	n	A _{KT}	B _{KT}	r ²	a ₄	b ₄	r ²
81	02855001	GARRUCHOS	U 040	128,3	53,1	0,41	55	-0,4522	-0,7950	0,9717	0,9989	0,1744	0,9880
82	02855002	PASSO DO SARMENTO	U 040	123,9	35,5	0,29	48	-0,4508	-0,7941	0,9622	0,9980	0,1356	0,9906
83	02854005	PASSO MAJOR ZEFERINO	U 040	114,8	28,8	0,25	48	-0,4517	-0,7956	0,9658	0,9979	0,1236	0,9913
84	02855007	SANTO ANTÔNIO DAS MISSÕES	U 040	116,2	27,1	0,23	22	-0,4407	-0,7890	0,9324	0,9941	0,1172	0,9896
85	02955013	ALEGRETE	U 050	120,0	37,2	0,31	20	-0,4447	-0,7983	0,9486	0,9943	0,1451	0,9869
86	02955002	CACHOEIRA SANTA CECÍLIA	U 050	128,3	40,1	0,31	47	-0,4574	-0,8060	0,9899	0,9981	0,1459	0,9899
87	02954004	ERNESTO ALVES	U 050	124,3	34,9	0,28	47	-0,4546	-0,8010	0,9777	0,9980	0,1345	0,9906
88	02954031	ESQUINA DOS LIMA (STA. BARBARA)	U 050	118,2	18,9	0,16	22	-0,4349	-0,7785	0,9079	0,9941	0,0870	0,9911
89	02956009	FAZENDA TRÊS CAPÕES	U 050	134,7	44,0	0,33	20	-0,4425	-0,7945	0,9396	0,9945	0,1499	0,9864
90	02954030	FLORIDA	U 050	120,1	33,0	0,27	23	-0,4323	-0,7730	0,8976	0,9948	0,1300	0,9890
91	02954005	FURNAS DO SEGredo	U 050	123,2	36,8	0,30	40	-0,4557	-0,8050	0,9771	0,9976	0,1413	0,9899
92	02954007	JAGUARI	U 050	127,4	40,4	0,32	49	-0,4557	-0,8025	0,9839	0,9982	0,1468	0,9899
93	02955008	MANOEL VIANA	U 050	116,1	36,0	0,31	30	-0,4534	-0,8055	0,9565	0,9967	0,1452	0,9889
94	02955006	PONTE DO MIRACATU	U 050	122,9	32,4	0,26	37	-0,4337	-0,7673	0,8827	0,9971	0,1249	0,9908
95	02954032	PONTE TOROPI II	U 050	119,3	41,6	0,35	22	-0,4495	-0,8048	0,9702	0,9957	0,1579	0,9863
96	02954020	SANTIAGO	U 050	123,0	34,8	0,28	30	-0,4591	-0,8155	0,9804	0,9965	0,1374	0,9895
97	03055007	SÃO CARLOS	U 050	124,3	28,7	0,23	20	-0,4458	-0,8004	0,9535	0,9932	0,1178	0,9891
98	02953030	TUPANCIRETA	U 050	110,9	19,2	0,17	29	-0,4519	-0,8033	0,9824	0,9959	0,0944	0,9916
99	03057002	BARRA DO QUARAI	U 060	106,3	27,9	0,26	30	-0,4535	-0,8056	0,9569	0,9964	0,1293	0,9900
100	03056007	CATY	U 060	125,5	36,5	0,29	23	-0,4321	-0,7726	0,8967	0,9950	0,1354	0,9886

ANEXO C . Continuação ...

N°	CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	BH	P ₂₄		cv	n	A _{KT}	B _{KT}	r ²	a ₄	b ₄	r ²
101	3055003	FAZENDA ENCERRA	U 060	132,9	44,5	0,34	30	-0,4534	-0,8055	0,9566	0,9970	0,1533	0,9882
102	3056004	FAZENDA JUNCO	U 060	115,4	35,2	0,30	30	-0,4457	-0,7917	0,9241	0,9967	0,1419	0,9891
103	3056006	HARMONIA	U 060	120,8	37,6	0,31	28	-0,4492	-0,7992	0,9707	0,9964	0,1450	0,9886
104	3055008	PASSO DA GUARDA	U 060	115,6	38,7	0,34	16	-0,4452	-0,8053	0,9499	0,9925	0,1545	0,9836
105	3056003	QUARAI	U 060	110,2	31,8	0,29	30	-0,4524	-0,8036	0,9522	0,9965	0,1379	0,9894
106	2954001	CACEQUI	U 070	115,7	33,3	0,29	63	-0,4542	-0,7972	0,9840	0,9985	0,1364	0,9909
107	3054002	DOM PEDRITO	U 070	108,4	35,2	0,32	66	-0,4541	-0,7966	0,9848	0,9987	0,1484	0,9902
108	3054016	GRANJA UMBU	U 070	110,1	36,8	0,33	30	-0,4561	-0,8102	0,9679	0,9970	0,1537	0,9882
109	3054007	ROSÁRIO DO SUL	U 070	130,1	46,9	0,36	60	-0,4516	-0,7932	0,9718	0,9987	0,1590	0,9894
110	3055004	SAICA	U 070	146,1	63,7	0,44	30	-0,4412	-0,7837	0,9055	0,9981	0,1792	0,9858
111	3055005	SANTA RITA	U 070	123,7	43,0	0,35	30	-0,4374	-0,7769	0,8900	0,9970	0,1533	0,9882
112	3154003	TORQUATO SEVERO	U 070	130,4	39,7	0,30	30	-0,4507	-0,8007	0,9452	0,9967	0,1429	0,9891
113	3155001	TRÊS VENDAS	U 070	111,0	33,0	0,30	30	-0,4532	-0,8050	0,9555	0,9966	0,1410	0,9892
114	2853028	ANDERSON CLAYTON	U 090	115,8	31,9	0,28	27	-0,4508	-0,8027	0,9771	0,9959	0,1337	0,9894
115	2853003	CONCEIÇÃO	U 090	114,1	40,6	0,36	46	-0,4353	-0,7672	0,8957	0,9982	0,1542	0,9893
116	2853023	CONDOR	U 090	123,2	35,6	0,29	29	-0,4497	-0,7994	0,9729	0,9964	0,1377	0,9893
117	2853010	PASSO FAXINAL	U 090	109,0	29,5	0,27	47	-0,4550	-0,8017	0,9793	0,9979	0,1312	0,9908
118	2854006	PASSO VIOLA	U 090	119,8	27,6	0,23	44	-0,4435	-0,7823	0,9287	0,9976	0,1145	0,9916
119	2854013	SÃO BERNARDO	U 090	127,1	27,7	0,22	23	-0,4410	-0,7885	0,9340	0,9944	0,1114	0,9902
120	2853026	CHAPADA	U 100	112,7	24,7	0,22	30	-0,4588	-0,8151	0,9795	0,9961	0,1141	0,9909

ANEXO C . Continuação ...

Nº	CÓDIGO	NOME DA ESTAÇÃO	BH	P ₂₄		cv	n	A _{KT}	B _{KT}	r ²	a ₄	b ₄	r ²
121	02852007	COLÔNIA XADREZ	U 100	112,8	31,7	0,28	62	-0,4509	-0,7916	0,9694	0,9985	0,1333	0,9910
122	02753019	IRAÍ	U 100	100,6	26,4	0,26	12	-0,4505	-0,8249	0,9726	0,9825	0,1348	0,9808
123	02753014	LIBERATO SALZANO	U 100	117,7	32,4	0,27	31	-0,4345	-0,7712	0,8795	0,9965	0,1294	0,9901
124	02753004	LINHA CESCO	U 100	114,0	30,1	0,26	48	-0,4567	-0,8044	0,9873	0,9979	0,1291	0,9910
125	02753015	PALMEIRA DAS MISSÕES	U 100	111,3	26,5	0,24	31	-0,4528	-0,8038	0,9552	0,9964	0,1203	0,9906
126	02856007	CUNHA	U 110	130,6	39,1	0,30	19	-0,4517	-0,8123	0,9787	0,9937	0,1435	0,9866
127	02855005	FAZENDA SANTA CECÍLIA DO BUTUI	U 110	110,2	28,1	0,25	42	-0,4499	-0,7941	0,9541	0,9975	0,1247	0,9910
128	02855004	PASSO DO NOVO	U 110	123,9	28,9	0,23	27	-0,4534	-0,8074	0,9886	0,9956	0,1189	0,9903
129	02856006	PASSO SÃO BORJA	U 110	124,9	30,8	0,25	20	-0,4503	-0,8084	0,9729	0,9934	0,1246	0,9886
130	02955007	UNISTALDA	U 110	131,9	33,6	0,25	37	-0,4524	-0,8003	0,9604	0,9972	0,1255	0,9907
Média				111,7	34,8	0,31	36,5	-0,4481	-0,7948		0,9968	0,1433	
Desvio Padrão				12,0	8,5	0,07	13,6	0,0122	0,0218		0,0020	0,0204	
Coeficiente de variação (%)				10,8	24,4	23,6	37,4	2,7	2,7		0,2	14,2	
Maior valor				146,1	66,3	0,58	66,0	-0,3623	-0,6364	0,9918	0,9999	0,2151	0,9916
Menor Valor				80,2	18,9	0,16	12,0	-0,4591	-0,8249	0,6255	0,9825	0,0870	0,9791