



Universidade Federal de Ouro Preto
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Mestrado em Engenharia Ambiental

Thiago Batista Campos

**ANÁLISE ESPACIAL E DE FREQUÊNCIA DE CHUVAS MÁXIMAS
NAS SUB-BACIAS DO MÉDIO E BAIXO RIO DOCE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título: “Mestre em Engenharia Ambiental – Área de Concentração: Recursos Hídricos”

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Ferraz de Mello

Ouro Preto, MG

2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

C198a

Campos, Thiago Batista.

Análise espacial e de frequência de chuvas máximas nas sub-bacias do médio e baixo Rio Doce [manuscrito] / Thiago Batista Campos - 2009. 177f. : il., color; graf.; tabs.; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Ferraz de Mello.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Mestrado em Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Recursos hídricos.

1. Chuvas - Teses. 2. Rio Doce - Teses. 3. Geologia - Métodos estatísticos - Teses. I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.

CDU: 551.578.1



UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

Ministério da Educação
Universidade Federal de Ouro Preto
Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental
ICEB - Campus - Morro do Cruzeiro
Ouro Preto - MG - CEP 35.400-000
Fone: (031)3559-1725
E-mail: proagua@iceb.ufop.br

*“Análise Espacial e de Frequência de Chuvas Máximas nas Sub-bacias do
Médio e Baixo Rio Doce”*

Autor: Thiago Batista Campos

Dissertação defendida e aprovada, em 17 de março de 2009, pela banca examinadora
constituída pelos professores:

Professor Dr. Carlos Eduardo Ferraz de Mello – Orientador
Universidade Federal de Ouro Preto

Professor Dr. Bruno Rabelo Versiani
Universidade Federal de Minas Gerais

Professor Dr. Ivo Eyer Cabral
Universidade Federal de Ouro Preto

Professor Dr. Antenor Rodrigues Barbosa Júnior
Universidade Federal de Ouro Preto

Agradecimentos

Agradeço muito à Deus pela bênção de poder realizar este trabalho e por outras imensas graças concedidas ao longo desse período.

Aos meus pais: Bruno e Aurea. Sempre presentes em todos os instantes. Aos meus irmãos Renato e Bruno. A ajuda de vocês foi fundamental.

Minha querida Jucele pelo carinho e afeto ao longo do tempo em que estivemos separados pela distância.

Ao meu orientador Carlos Eduardo (Cadu) pela confiança e pela amizade. Uma pessoa que marcou muito em minha carreira.

Toniel, meu grande amigo que contribuiu para que este trabalho progredisse. Esse garoto tem futuro.

Ao professor Ivo Eyer Cabral por ter colaborado com a progressão do trabalho e demais benefícios ao longo da aplicação dos métodos. Ao Hudson pela ajuda com a confecção da base cartográfica.

À professora Ana Augusta pela amizade e apoio concedidos.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos. À ANA e à CEMIG pelo fornecimento de dados pluviométricos.

Ao Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental pela determinação e apoio.

Aos colegas do DECIV que me receberam com bastante respeito e carinho no curto prazo em que estive lá.

Aos companheiros de república e demais amigos ouro-pretanos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	1
LISTA DE TABELAS	4
LISTA DE SÍMBOLOS	6
RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 Introdução	9
2 Revisão Bibliográfica	11
2.1 Caracterização da região de estudo	11
2.2 As chuvas	14
2.2.1 Classificação de chuvas e suas peculiaridades	14
2.2.2 Pluviometria	15
2.2.3 Chuvas intensas	16
2.3 Análise de frequência de chuvas	16
2.3.1 Técnicas empregadas em análise de frequência de variáveis hidrológicas	18
2.3.2 Modelos probabilísticos	20
2.3.3 Testes de hipóteses	23
2.3.4 Testes de aderência	27
2.4 Análise geoestatística	28
2.4.1 O variograma	30
2.4.2 Modelos teóricos de semivariograma	33
2.4.3 Ajuste de modelos de semivariogramas – estimação dos parâmetros variográficos	34
2.5 Interpolação geoestatística – Krigagem	36
2.6 Validação cruzada	38
3 Materiais e métodos	39
3.1 Caracterização da área de estudo	39
3.2 Estações pluviométricas	42
3.2.1 As falhas em dados diários de precipitação	46
3.2.2 Chuvas máximas diárias e chuvas máximas acumuladas	49
3.3 Análise de frequência de chuvas máximas	49
3.3.1 Estimativa de chuvas máximas prováveis	49
3.3.2 Qualidade dos ajustes estatísticos	50

3.3.3	Teste de hipóteses não paramétricos	55
3.3.4	Análise espacial (Geoestatística)	60
4	Resultados e Discussão	63
4.1	Chuvas máximas observadas nas estações pluviométricas	63
4.2	Chuvas máximas prováveis	64
4.3	Testes de aderência	78
4.4	Análise geoestatística	81
4.4.1	Semivariogramas	81
4.4.2	Krigagem ordinária - espacialização	109
5	Conclusões e Recomendações	130
6	Referências	131
7	Anexos	136

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Inserção da região de estudo no Brasil.....	3
Figura 2.2: Inserção da região de estudo nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo.....	4
Figura 2.3: Exemplo de semivariograma experimental.....	22
Figura 3.1: Tela de entrada do link descrito na seção 3.1.....	31
Figura 3.2: Divisão hidrográfica brasileira segundo o nível 3 de Otto.....	32
Figura 3.3: Bacia do rio Doce com subdivisões segundo critério de Otto (nível 3).....	33
Figura 3.4: Sub-bacias do Médio e Baixo rio Doce.....	33
Figura 3.5: Localização das estações pluviométricas em relação à área de estudo.....	34
Figura 3.6: Tela principal do HIDRO 1.0.8.....	36
Figura 3.7: Localização das estações pluviométricas utilizadas.....	38
Figura 3.8: Ajuste estatístico dos valores máximos diários da estação 1942002 segundo a distribuição Lognormal.....	46
Figura 3.9: Ajuste estatístico dos valores máximos diários da estação 1942002 segundo a distribuição de Gumbel.....	47
Figura 3.10: Semivariograma experimental de chuvas acumuladas de cinco dias para um tempo de recorrência de 25 anos segundo a distribuição Lognormal.....	52
Figura 3.11: Modelos teóricos de semivariograma para chuvas acumuladas de cinco dias para um tempo de recorrência de 25 anos segundo a distribuição Lognormal.....	53
Figura 3.12: Variabilidade espacial de chuvas com duração de 5 dias com tempo de recorrência de 25 anos segundo o modelo esf.mqp.....	54
Figura 4.1: Histogramas de frequência para chuvas máximas.....	56
Figura 4.2: Histogramas de frequência para chuvas máximas.....	56
Figura 4.3: Histogramas de frequência para chuvas máximas.....	56
Figura 4.4: Semivariograma G-T5-D1.....	74
Figura 4.5: Semivariograma L-T5-D1.....	74
Figura 4.6: Semivariograma G-T10-D1.....	75
Figura 4.7: Semivariograma L-T10-D1.....	75
Figura 4.8: Semivariograma G-T25-D1.....	76
Figura 4.9: Semivariograma L-T25-D1.....	76
Figura 4.10: Semivariograma G-T50-D1.....	77
Figura 4.11: Semivariograma L-T50-D1.....	77
Figura 4.12: Semivariograma G-T75-D1.....	78
Figura 4.13: Semivariograma L-T75-D1.....	78
Figura 4.14: Semivariograma G-T100-D1.....	79
Figura 4.15: Semivariograma L-T100-D1.....	79
Figura 4.16: Semivariograma G-T5-D3.....	80
Figura 4.17: Semivariograma L-T5-D3.....	80
Figura 4.18: Semivariograma G-T10-D3.....	81
Figura 4.19: Semivariograma L-T10-D3.....	81
Figura 4.20: Semivariograma G-T25-D3.....	82
Figura 4.21: Semivariograma L-T25-D3.....	82
Figura 4.22: Semivariograma G-T50-D3.....	83
Figura 4.23: Semivariograma L-T50-D3.....	83
Figura 4.24: Semivariograma G-T75-D3.....	84
Figura 4.25: Semivariograma L-T75-D3.....	84
Figura 4.26: Semivariograma G-T100-D3.....	85

Figura 4.27: Semivariograma L-T100-D3.....	85
Figura 4.28: Semivariograma G-T5-D5.....	86
Figura 4.29: Semivariograma L-T5-D5.....	86
Figura 4.30: Semivariograma G-T10-D5.....	87
Figura 4.31: Semivariograma L-T10-D5.....	87
Figura 4.32: Semivariograma G-T25-D5.....	88
Figura 4.33: Semivariograma L-T25-D5.....	88
Figura 4.34: Semivariograma G-T50-D5.....	89
Figura 4.35: Semivariograma L-T50-D5.....	89
Figura 4.36: Semivariograma G-T75-D5.....	90
Figura 4.37: Semivariograma L-T75-D5.....	90
Figura 4.38: Semivariograma G-T100-D5.....	91
Figura 4.39: Semivariograma L-T100-D5.....	91
Figura 4.40: Variabilidade espacial das chuvas para G-T5-D1.....	102
Figura 4.41: Variabilidade espacial das chuvas para G-T10-D1.....	102
Figura 4.42: Variabilidade espacial das chuvas para G-T25-D1.....	103
Figura 4.43: Variabilidade espacial das chuvas para G-T50-D1.....	103
Figura 4.44: Variabilidade espacial das chuvas para G-T75-D1.....	104
Figura 4.45: Variabilidade espacial das chuvas para G-T100-D1.....	104
Figura 4.46: Variabilidade espacial das chuvas para L-T5-D1.....	105
Figura 4.47: Variabilidade espacial das chuvas para L-T10-D1.....	105
Figura 4.48: Variabilidade espacial das chuvas para L-T25-D1.....	106
Figura 4.49: Variabilidade espacial das chuvas para L-T50-D1.....	106
Figura 4.50: Variabilidade espacial das chuvas para L-T75-D1.....	107
Figura 4.51: Variabilidade espacial das chuvas para L-T100-D1.....	107
Figura 4.52: Variabilidade espacial das chuvas para G-T5-D3.....	108
Figura 4.53: Variabilidade espacial das chuvas para G-T10-D3.....	108
Figura 4.54: Variabilidade espacial das chuvas para G-T25-D3.....	109
Figura 4.55: Variabilidade espacial das chuvas para G-T50-D3.....	109
Figura 4.56: Variabilidade espacial das chuvas para G-T75-D3.....	110
Figura 4.57: Variabilidade espacial das chuvas para G-T100-D3.....	110
Figura 4.58: Variabilidade espacial das chuvas para L-T5-D3.....	111
Figura 4.59: Variabilidade espacial das chuvas para L-T10-D3.....	111
Figura 4.60: Variabilidade espacial das chuvas para L-T25-D3.....	112
Figura 4.61: Variabilidade espacial das chuvas para L-T50-D3.....	112
Figura 4.62: Variabilidade espacial das chuvas para L-T75-D3.....	113
Figura 4.63: Variabilidade espacial das chuvas para L-T100-D3.....	113
Figura 4.64: Variabilidade espacial das chuvas para G-T5-D5.....	114
Figura 4.65: Variabilidade espacial das chuvas para G-T10-D5.....	114
Figura 4.66: Variabilidade espacial das chuvas para G-T25-D5.....	115
Figura 4.67: Variabilidade espacial das chuvas para G-T50-D5.....	115
Figura 4.68: Variabilidade espacial das chuvas para G-T75-D5.....	116
Figura 4.69: Variabilidade espacial das chuvas para G-T100-D5.....	116
Figura 4.70: Variabilidade espacial das chuvas para L-T5-D5.....	117
Figura 4.71: Variabilidade espacial das chuvas para L-T10-D5.....	117
Figura 4.72: Variabilidade espacial das chuvas para L-T25-D5.....	118
Figura 4.73: Variabilidade espacial das chuvas para L-T50-D5.....	118
Figura 4.74: Variabilidade espacial das chuvas para L-T75-D5.....	119
Figura 4.75: Variabilidade espacial das chuvas para L-T100-D5.....	119

Figura A.1: Ajuste estatístico gráfico da distribuição de Gumbel para chuvas de um dia.	139
Figura A.2: Ajuste estatístico gráfico da distribuição de Gumbel para chuvas de um dia (continuação).....	140
Figura A.3: Ajuste estatístico gráfico da distribuição Lognormal para chuvas de um dia.	141
Figura A.4: Ajuste estatístico gráfico da distribuição Lognormal para chuvas de um dia (continuação).....	142
Figura A.5: Ajuste estatístico gráfico da distribuição de Gumbel para chuvas acumuladas de três dias.....	143
Figura A.6: Ajuste estatístico gráfico da distribuição de Gumbel para chuvas acumuladas de três dias (continuação).....	144
Figura A.7: Ajuste estatístico gráfico da distribuição Lognormal para chuvas acumuladas de três dias.....	145
Figura A.8: Ajuste estatístico gráfico da distribuição Lognormal para chuvas acumuladas de três dias (continuação).....	146
Figura A.9: Ajuste estatístico gráfico da distribuição de Gumbel para chuvas acumuladas de cinco dias.....	147
Figura A.10: Ajuste estatístico gráfico da distribuição de Gumbel para chuvas acumuladas de cinco dias (continuação).....	148
Figura A.11: Ajuste estatístico gráfico da distribuição Lognormal para chuvas acumuladas de cinco dias.....	149
Figura A.12: Ajuste estatístico gráfico da distribuição Lognormal para chuvas acumuladas de cinco dias (continuação).....	150

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Estações pluviométricas selecionadas.....	37
Tabela 3.2: Estações pluviométricas que apresentaram falhas curtas.....	40
Tabela 3.3: Fatores de frequências das distribuições e seus respectivos tempos de recorrência empregados.....	42
Tabela 3.4: Valores críticos do teste de Kolmogorov-Smirnov.....	43
Tabela 3.5: Teste de aderência da distribuição Lognormal para a estação 1942002.....	44
Tabela 3.6: Teste de aderência da distribuição de Gumbel para a estação 1942002.....	45
Tabela 3.7: Teste de independência de Wald-Wolfwitz com chuva de duração de um dia para a estação 1942002.....	48
Tabela 3.8: Teste de homogeneidade de Mann-Whitney com chuva de duração de um dia para a estação 1942002.....	49
Tabela 3.9: Teste de estacionariedade de Spearman com chuva de duração de um dia para a estação 1942006.....	51
Tabela 3.10: Significado das abreviaturas dispostas na legenda dos modelos teóricos de semivariogramas.....	53
Tabela 4.1: Chuvas máximas com duração de um dia (parcial).....	55
Tabela 4.2: Parâmetros estatísticos amostrais para chuvas máximas de um dia de duração.....	57
Tabela 4.3: Parâmetros estatísticos amostrais para chuvas máximas de três dias de duração.....	58
Tabela 4.4: Parâmetros estatísticos amostrais para chuvas máximas de cinco dias de duração.....	59
Tabela 4.5: Chuvas máximas prováveis com duração de 1 dia ($Tr = 5$ anos).....	60
Tabela 4.6: Chuvas máximas prováveis com duração de 1 dia ($Tr = 10$ e 25 anos).....	61
Tabela 4.7: Chuvas máximas prováveis com duração de 1 dia ($Tr = 50$ e 75 anos).....	62
Tabela 4.8: Chuvas máximas prováveis com duração de 1 dia ($Tr = 100$ anos).....	63
Tabela 4.9: Chuvas máximas prováveis com duração de 3 dias ($Tr = 5$ anos).....	63
Tabela 4.10: Chuvas máximas prováveis com duração de 3 dias ($Tr = 10$ e 25 anos).....	64
Tabela 4.11: Chuvas máximas prováveis com duração de 3 dias ($Tr = 50$ e 75 anos).....	65
Tabela 4.12: Chuvas máximas prováveis com duração de 3 dias ($Tr = 100$ anos).....	66
Tabela 4.13: Chuvas máximas prováveis com duração de 5 dias ($Tr = 5$ anos).....	66
Tabela 4.14: Chuvas máximas prováveis com duração de 5 dias ($Tr = 10$ e 25 anos).....	67
Tabela 4.15: Chuvas máximas prováveis com duração de 5 dias ($Tr = 50$ e 75 anos).....	68
Tabela 4.16: Chuvas máximas prováveis com duração de 5 dias ($Tr = 100$ anos).....	69
Tabela 4.17: Valores máximos calculados de $ F $ para chuvas com um dia de duração.....	71
Tabela 4.18: Valores máximos calculados de $ F $ para chuvas com três dias de duração.....	71
Tabela 4.19: Valores máximos calculados de $ F $ para chuvas com 5 dias de duração.....	72
Tabela 4.20: Parâmetros de ajuste de semivariogramas de chuvas com duração de um dia estimadas pela distribuição de Gumbel.....	93
Tabela 4.21: Parâmetros de ajuste de semivariogramas de chuvas com duração de um dia estimadas pela distribuição Lognormal.....	94
Tabela 4.22: Parâmetros de ajuste de semivariogramas de chuvas com duração de três dias estimadas pela distribuição de Gumbel.....	95

Tabela 4.23: Parâmetros de ajuste de semivariogramas de chuvas com duração de três dias estimadas pela distribuição Lognormal.....	96
Tabela 4.24: Parâmetros de ajuste de semivariogramas de chuvas com duração de cinco dias estimadas pela distribuição de Gumbel.....	97
Tabela 4.25: Parâmetros de ajuste de semivariogramas de chuvas com duração de cinco dias estimadas pela distribuição Lognormal.....	98
Tabela 4.26: Erro médio absoluto de estimação por validação cruzada para as chuvas, em mm, com duração de um dia.....	99
Tabela 4.27: Erro médio absoluto de estimação por validação cruzada para as chuvas, em mm, com duração de três dias.....	100
Tabela 4.28: Erro médio absoluto de estimação por validação cruzada para as chuvas, em mm, com duração de cinco dias.....	101
Tabela 4.29: Modelos selecionados para realização da krigagem de chuvas com duração de um dia.....	120
Tabela 4.30: Modelos selecionados para realização da krigagem de chuvas com duração de três dias.....	120
Tabela 4.31: Modelos selecionados para realização da krigagem de chuvas com duração de cinco dias.....	121
Tabela A.1: Chuvas máximas com duração de um dia (continuação).....	128
Tabela A.2: Chuvas máximas com duração de um dia (continuação).....	129
Tabela A.3: Chuvas máximas com duração de um dia (continuação).....	130
Tabela A.4: Chuvas máximas com duração de três dias.....	131
Tabela A.5: Chuvas máximas com duração de três dias (continuação).....	132
Tabela A.6: Chuvas máximas com duração de três dias (continuação).....	133
Tabela A.7: Chuvas máximas com duração de três dias (continuação).....	134
Tabela A.8: Chuvas máximas com duração de cinco dias.....	135
Tabela A.9: Chuvas máximas com duração de cinco dias (continuação).....	136
Tabela A.10: Chuvas máximas com duração de cinco dias (continuação).....	137
Tabela A.11: Chuvas máximas com duração de cinco dias (continuação).....	138
Tabela A.12: Valores do teste não paramétrico de independência de Wald-Wolfowitz para chuvas diárias.....	151
Tabela A.13: Valores do teste não paramétrico de independência de Wald-Wolfowitz para chuvas de três dias.....	152
Tabela A.14: Valores do teste não paramétrico de independência de Wald-Wolfowitz para chuvas de cinco dias.....	153
Tabela A.15: Valores do teste não paramétrico de homogeneidade de Mann-Whitney para chuvas diárias.....	154
Tabela A.16: Valores do teste não paramétrico de homogeneidade de Mann-Whitney para chuvas de três dias.....	155
Tabela A.17: Valores do teste não paramétrico de homogeneidade de Mann-Whitney para chuvas de cinco dias.....	156
Tabela A.18: Valores do teste não paramétrico de estacionariedade de Spearman para chuvas diárias.....	157
Tabela A.19: Valores do teste não paramétrico de estacionariedade de Spearman para chuvas de três dias.....	158
Tabela A.20: Valores do teste não paramétrico de estacionariedade de Spearman para chuvas de cinco dias.....	159

LISTA DE SÍMBOLOS

Γ : função gama

ξ : parâmetro de posição da distribuição de Gumbel

θ : parâmetro de escala da distribuição de Gumbel

μ : parâmetro de posição da distribuição Lognormal

σ : parâmetro de escala da distribuição Lognormal

d : distância entre pontos amostrais

$\gamma(h)$: semivariograma experimental

$\gamma^*(h)$: modelo teórico de semivariograma

ψ : vetor de parâmetros a serem estimados no modelo teórico do semivariograma

$Z(x_0)$: erro de estimação entre o valor estimado e o valor observado

$\mu(x_i)$, $\sigma(x_i)$ e $\rho(x_i, x_j)$: são componentes que relacionam a correlação espacial e aleatoriedade das amostras.

w_i : peso atribuído pelo estimador da krigagem

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Doce foi submetida, quase sempre, a intervenções humanas que cada vez mais a degradaram, piorando as condições de vida de seus habitantes. As sub-bacias do Médio e Baixo rio Doce possuem uma área de quase 60.000km² e abrigam maior parte da população de toda bacia, além de possuírem uma economia que se destaca no cenário nacional. Nessa região, diversos são os casos em que seus habitantes foram afetados por chuvas de grandes intensidades que, ocasionaram grandes inundações, que, por sua vez, favorecem os deslizamentos de encostas. Para um manejo racional dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica é imprescindível que haja monitoramento das variáveis hidrológicas e também maneiras de transmissão das informações coletadas de uma forma rápida e segura. Este trabalho tem como objetivo principal fornecer subsídios capazes de proporcionar informações de proveito aos projetistas de obras hidráulicas e usuários de recursos hídricos das sub-bacias do Médio e Baixo rio Doce a partir do emprego de metodologias de espacialização de chuvas acumuladas máximas com durações de um, três e cinco dias sob diferentes níveis de probabilidade de ocorrência, estimadas por meio de distribuições probabilísticas adequadas. Tais estimativas foram georreferenciadas, segundo modelos advindos da geoestatística, em mapas específicos que caracterizam o comportamento das chuvas máximas naquela região. Através desses mapas é possível reconhecer locais mais ou menos propensos à ocorrência de chuvas de grandes intensidades. Observa-se chuvas com maiores magnitudes nas partes altas da área analisada e em pontos mais próximos do litoral. A correlação espacial entre eventos chuvosos cresceu à medida que se aumentou a duração das chuvas.

Palavras-chave: chuvas máximas, rio Doce, probabilidade, geoestatística.

ABSTRACT

Doce river's watershed was submitted, throughout history, to human interventions increasingly degrading to those who live there and depend on it in some way. Middle and Lower Doce river's subwatersheds have an area of nearly 60.000km² and host most of the population of entire watershed, with an economy that stands out on the national scene. In this region are several cases in which its inhabitants were affected by rains of high intensity, which, later cause strong flooding and slopes sliding. For a rational management of water resources of a watershed is indispensable the monitoring of hydrological variables and also ways of transmitting collected information quickly and safely. This study aims to provide helpful information of benefit to hydraulic projects designers and users of water resources of Middle and Lower Doce river's subwatersheds based on the use of methodologies for spatialization of accumulated maximum rainfall with duration of one, three and five days under different levels of probability, estimated by appropriated probability distributions. These estimates were georeferenced by geostatistical models in specific maps that characterize the behavior of the maximum rainfall in the region. Through those maps it's possible recognize places with more or less probability to occur high intensities rainfall. There were rainfall events with larger magnitudes on high parts of the area and on points closer to the coast. The spatial correlation between rainfall events grew as the duration of rainfall increased.

Keywords: maximum rainfall, Doce river, probability, geostatistics.

1 Introdução

Estudos sobre precipitações despertam um grande interesse por influenciar diretamente diversos setores da nossa sociedade. No Brasil, diversos centros de pesquisa vêm concentrando esforços com o intuito de entender melhor o comportamento dessa variável. No entanto, a alta variabilidade espaço-temporal da precipitação aliada a uma baixa densidade da rede pluviométrica dificulta o desenvolvimento do trabalho.

A deficiência de resultados e/ou informações quanto a chuvas intensas é uma realidade em todo o território nacional, salvo algumas exceções. Tais incertezas, que geralmente são embutidas em projetos de engenharia, poderão comprometer a segurança e a funcionalidade de uma obra qualquer em caso de ocorrer um evento de elevada amplitude.

Sendo a deficiência de registros de chuvas intensas a razão principal da incerteza do projetista, faz com que este, em diversas oportunidades, utilize um valor inadequado na fase de confecção de seu projeto. Este valor utilizado é, geralmente, aquele que seria empregado em um local mais próximo (onde se dispõe de registros) daquele de interesse, uma vez que os dois pontos possuam características climáticas semelhantes.

Há que se comentar que os métodos estatísticos uni ou multivariados não representam um evento em relação à sua distribuição espacial. Existem técnicas matemáticas que são capazes de quantificar o grau de dependência espacial de uma área e viabilizar meios para poder analisar a presença ou ausência da homogeneidade em uma região estudada. Uma destas técnicas é a geoestatística, que foi inicialmente utilizada por Matheron, por volta da década de 1.940, na França, para emprego em estudos e pesquisas minerais. Em recursos hídricos, a geoestatística, apesar de apresentar uma estrutura matemática de modelação um tanto complexa, tem se mostrado uma ferramenta útil e confiável para o manejo de bacias hidrográficas e para a estimativa de parâmetros em locais onde não se verifica o registro destes. Além disso, com o avanço dos sistemas computacionais e a intensa demanda temporal imposta pela análise destes modelos, suas implementações têm se tornado mais rotineiras. O sucesso no emprego da geoestatística é constatado por diversos pesquisadores na área de modelagem hidrológica, que consideram a técnica da krigagem geoestatística mais representativa do que técnicas mais simplistas de interpolação espacial.

O objetivo deste trabalho é estudar o comportamento de eventos extremos de precipitação com base nas metodologias da estatística e da geoestatística para uma porção

da bacia do rio Doce, a partir do ponto imediatamente à jusante da confluência com o rio Piracicaba (próximo à cidade de Ipatinga-MG) até sua foz (em Regência, distrito de Linhares-ES). Foram gerados mapas para chuvas intensas com durações de 1, 3 e 5 dias e tempos de retorno de 5, 10, 50, 75 e 100 anos. Foram empregados dados referentes aos períodos úmidos da série que compreende os anos hidrológicos com início em outubro de 1.975 até 2.005. A meta a ser atingida é elaborar um instrumento de auxílio para projetistas de obras hidráulicas, práticas agrícolas e outras atividades correlatas na região pertencente a estas bacias que, de alguma maneira, tenham interesse em estimar a ocorrência de chuvas de longa duração, tentando reduzir as incertezas existentes na predição destes eventos.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Caracterização da região de estudo

A bacia do rio Doce possui uma área de drenagem de 83.400km², sendo que 86% desta área localizam-se no estado de Minas Gerais e o restante pertence ao território do Espírito Santo. Nesta bacia, vivem mais de três milhões e meio de pessoas, de acordo com PINTO et al (2005), o rio com 853km de extensão, possui sua nascente posicionada nas serras da Mantiqueira e do Espinhaço em uma altitude aproximada de 1.000m. Sua desembocadura se dá no povoado de Regência, litoral na região central do Espírito Santo. Entretanto, a denominação rio Doce se dá a partir da junção dos rios do Carmo e Piranga, próximo a cidade de Rio Doce-MG. Seus principais afluentes na margem esquerda são os rios do Carmo, Piracicaba, Santo Antônio e Corrente Grande, Suaçuí Grande e Pancas. Já na margem direita são seus afluentes mais importantes os rios Piranga, Matipó, Caratinga, Manhuaçu, Guandu e Santa Joana. Através da Figura 2.1 é possível verificar a inserção da região de estudo no Brasil.

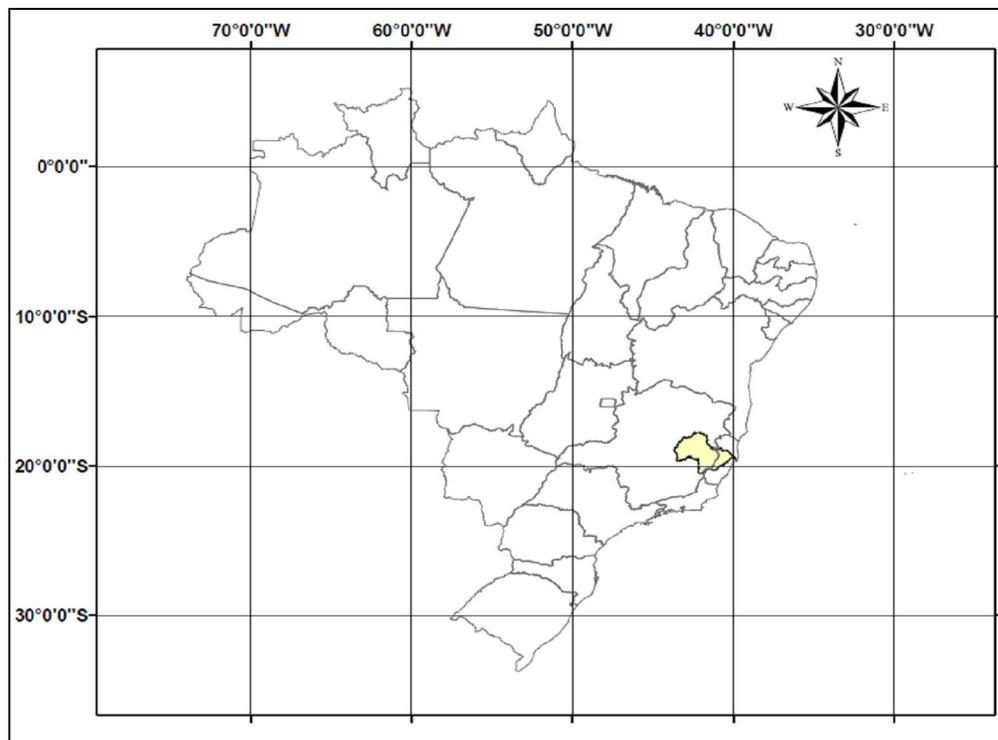


Figura 2.1: Inserção da região de estudo no Brasil

Na Figura 2.2 pode-se observar a inserção da região estudada nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

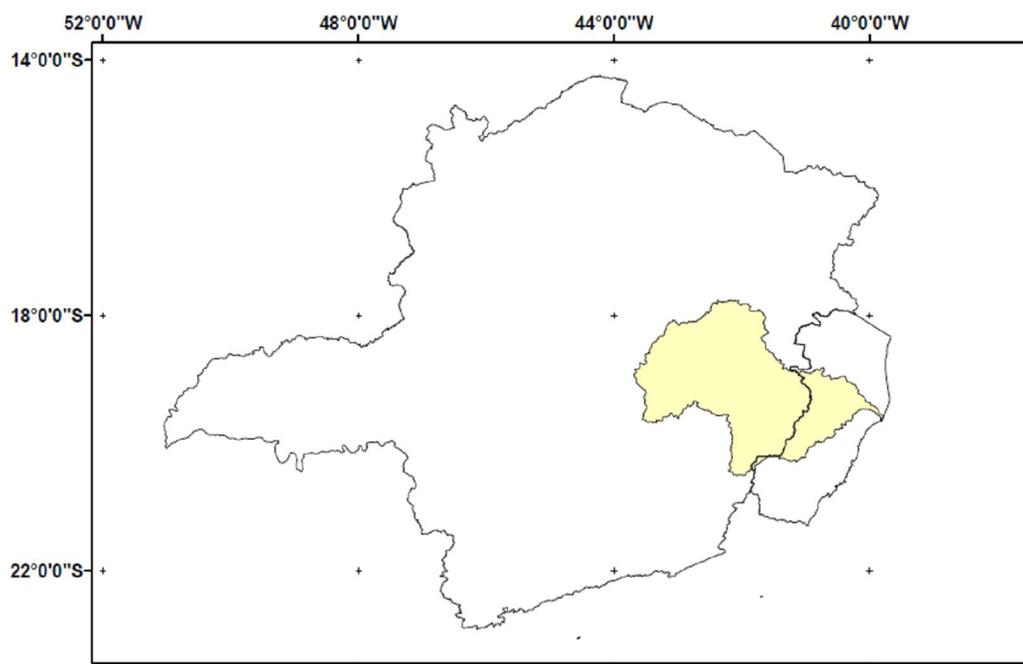


Figura 2.2: Inserção da região de estudo nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo

Conforme CBH – DOCE (2005), a bacia hidrográfica do rio Doce está situada na região Sudeste, entre os paralelos 17°45' e 21°15' de latitude sul e os meridianos 39°55' e 43°45' de longitude oeste. Limita-se ao sul com a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, a oeste com a bacia do rio São Francisco, e, em pequena extensão, com a do rio Grande. Ao norte, limita-se com a bacia dos rios Jequitinhonha e Mucuri e a noroeste com a bacia do rio São Mateus. Segundo CBH – DOCE (2005), a bacia é subdividida em: a) Alto rio Doce; que se estende desde suas nascentes até a confluência com o rio Piracicaba, b) Médio rio Doce; iniciando na confluência com o rio Piracicaba até a confluência com o rio Guandu e c) Baixo rio Doce; que se inicia na confluência com o rio Guandu até desembocar no mar.

A precipitação média anual na bacia do rio Doce varia de 1.500mm, nas nascentes localizadas nas serras da Mantiqueira e do Espinhaço, a 900mm, na região da cidade de Aimorés-MG, voltando a crescer em direção ao litoral. As chuvas de maiores alturas totais anuais ocorrem nas cabeceiras dos rios Piracicaba e Santo Antônio, com média de

2.100mm anuais, segundo CBH – DOCE (2005). Tal fato se deve a forte influência de efeitos orográficos, já que a altitude nesses locais fica na faixa dos 1.300m. Observa-se que na região de Aimorés-MG, próximo à foz do rio Manhuaçu são registradas as mínimas anuais para a bacia, em média são 900mm anuais.

O clima predominante, segundo a classificação de Köppen, possui três denominações na bacia do rio Doce. O clima tropical de altitude com chuvas de verão e verões frescos está presente nas vertentes das serras da Mantiqueira e do Espinhaço e nas nascentes do rio Doce; o clima tropical de altitude com chuvas torrenciais e verões quentes está presente nas nascentes dos afluentes principais e por último o clima quente com chuvas de verão ocorre nos trechos médio e baixo do rio Doce e também de seus afluentes principais, (PINTO et al., 2005).

Segundo CBH - DOCE (2005), o rio Doce desempenha papel importante junto aos moradores da região, servindo como fonte de abastecimento, uso industrial, irrigação, pesca e navegação de pequeno porte. Devido à sua importância econômica, a bacia do rio Doce foi submetida aos mais variados tipos de exploração e degradação ambiental. Em relatório publicado pela ANA (2007) fica salientado que a partir da década de 1.970, diversos estudos científicos foram redigidos no intuito de entender melhor as formas de impactos ambientais ali existentes. Segundo COELHO (2007), a construção da Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM), iniciada no ano de 1.901, fez com que a ocupação das margens do rio Doce a montante de Linhares-ES fosse favorecida. Além disso, possibilitou a criação de novos municípios de considerável importância econômica como, por exemplo, Governador Valadares, Aimorés e Conselheiro Pena em Minas Gerais e Baixo Guandu e Colatina no Espírito Santo. CBH – DOCE (2005) cita que as atividades econômicas mais marcantes são a mineração, com destaque para a hematita (minério de ferro), indústrias metalúrgicas, siderúrgicas e de fabricação de celulose e papel e também a criação extensiva de gado leiteiro e de abate, além da intensa exploração da silvicultura para abastecer os fornos da siderurgia e a indústria da celulose.

CASTILHO et al. (2001) ao analisarem o histórico de grandes enchentes na bacia do rio Doce relataram que esta foi afetada ao longo dos anos por diversas cheias em anos intensamente chuvosos. Segundo CBH – DOCE (2005), em 1.979, houve uma grande enchente em diversos pontos da bacia que mais tarde, em 1.981, ocasionaria a criação de um grupo de estudos visando realizar planos que possibilitassem gerar alternativas capazes de prevenirem as grandes cheias na região. Até então, aquela havia sido a enchente de maiores proporções já registrada na bacia.

2.2 As chuvas

Segundo TUCCI (2000), a chuva é uma das formas de precipitação conhecidas, assim como a neve, o granizo, o orvalho e a neblina. O que se diferencia nessas formas de precipitações são as características como seus estados físicos se encontram. Porém a chuva ocorre sempre na forma líquida. Uma vez em contato com o solo, a chuva pode infiltrar-se e/ou gerar o escoamento superficial. Pode haver ainda uma parcela da chuva que não entra em contato com a superfície devido à contenção de barreiras naturais ou providas de ações humanas, um fenômeno conhecido como interceptação. As características principais da chuva são a sua altura, duração e distribuições espaciais e temporais. A ocorrência deste fenômeno é um processo aleatório, não permitindo uma previsão determinística com grande antecedência. Dentro da Hidrologia, a disponibilidade de chuvas numa bacia é de suma importância para se quantificar a oferta hídrica para diversos empreendimentos humanos que requerem o uso de água, como, por exemplo, a irrigação, o abastecimento humano, indústrias, hidrelétricas e muitos outros. CALGARO (2006) avalia um evento chuvoso como sendo a ocorrência de uma lâmina medida igual ou superior a 0,2mm.

2.2.1 Classificação de chuvas e suas peculiaridades

SILVA (2003) descreve o processo de formação da precipitação da seguinte forma: o ar úmido das camadas inferiores, aquecido por condução, sofre ascensão adiabática ($1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) até atingir a condição de saturação (nível de condensação). A partir deste nível, em condições favoráveis, e com a existência de núcleos higroscópicos, o vapor d'água se condensa, formando minúsculas gotas em torno desses núcleos, que são mantidas em suspensão até que, por um processo de crescimento, elas atinjam tamanho suficiente para vencerem a resistência do ar, e então precipitar.

VISSMAN JR. & LEWIS (2002) e BAUNGARTEN et al. (2003) citam três modelos para a caracterização das chuvas: a) convectivas: quando em tempo calmo o ar úmido for aquecido na vizinhança do solo, podem-se criar camadas de ar que se mantêm em equilíbrio instável. Perturbado o equilíbrio, forma-se uma abrupta ascensão local do ar menos denso que atingirá seu nível de condensação com formação de nuvens, e muitas vezes, precipitações. São típicas de regiões equatoriais, mas podem ocorrer em locais de

clima temperado em épocas de verão. São geralmente restritas a pequenas áreas, de grande intensidade e de curta duração; b) orográficas: quando ventos quentes e úmidos, geralmente soprando do oceano para o continente, encontram uma barreira montanhosa, estes ascendem e resfriam-se rapidamente criando uma condensação do vapor, que formarão nuvens e por sua vez, chuvas. São de baixa intensidade e grande duração na maioria das vezes, cobrindo pequenas áreas; c) frontais: provêm da interação de massas de ar quentes e frias. Nas regiões de convergência da atmosfera, o ar mais quente e úmido é impulsionado a subir bruscamente para cima, resultando em seu resfriamento, condensação do vapor e formação de chuvas. Ocorrem geralmente com intensidade média, com grande duração e sobre áreas extensas.

Medidas espaciais de precipitações são possíveis através de radares meteorológicos, embora esse tipo de monitoramento seja restrito a poucas regiões no Brasil. Para MEHL et al. (2000), o conhecimento das características de uma chuva, entre estas a intensidade e a duração, é de fundamental importância para um correto manejo do solo de uma região.

2.2.2 Pluviometria

Para a medição da chuva em determinado local, existem aparelhos apropriados para tal, são os pluviômetros e os pluviógrafos. A diferença entre eles é que o pluviógrafo tem a capacidade de registro temporal, enquanto o pluviômetro registra o total precipitado ao longo de um período de tempo determinado, normalmente um dia. A unidade mais usual de medida dos pluviômetros é o milímetro, (ANTONIO, 2007).

Um pluviômetro padrão é constituído por um cilindro coletor graduado e uma área de coleta ou captação que varia entre 150cm² e 500cm², dependendo do modelo. Segundo GARCEZ (1988), os modelos mais comuns são o Ville de Paris (área de coleta de 400cm²), o Casella (área de coleta de 200cm²) e o Paulista (área de coleta de 500cm²).

Em termos de representatividade, DINIZ (2003) realizando experimentos no interior do estado de São Paulo, concluiu que uma estação pluviométrica possui uma área representativa que varia de 1 a 5km².

2.2.3 Chuvas intensas

Caracterizar um evento de natureza intensa significa dizer que este ocorre em condições extremas. As chuvas intensas de longa duração são exemplos deste tipo de fenômeno. Os padrões associados a este tipo de evento são pontos de interesse inestimáveis em projetos de engenharia. De acordo com GARCEZ (1988), uma chuva intensa é aquela cuja intensidade ultrapassa um valor preestabelecido para determinada aplicação. A duração destas precipitações varia bastante e a área atingida pode ser de poucos quilômetros quadrados (chuvas convectivas) a até milhares de quilômetros quadrados (chuvas frontais). SILVA (2003) considera a chuva intensa como um fenômeno de importância considerável, classificando-a como uma das principais responsáveis pelo reabastecimento de aquíferos, escoamento superficial direto e a relaciona como fator complicador no que diz respeito ao planejamento de drenagem e conservação dos solos, sendo que a mesma é responsável por boa parcela de erosão destes.

As características das chuvas intensas de longa duração e os impactos provocados por estas, segundo BRIGUENTI (2003), refletem como indicadores ambientais e de qualidade de vida de diversos locais. Como por exemplo, a bacia do córrego Anhumas (Campinas-SP) que foi estudada pelo autor ao avaliar as inundações ocorridas na mesma durante certo período. Torna-se então necessário dar ênfase na definição das chuvas de grande intensidade. Estas são necessárias nas obras de drenagem urbanas e rurais, porém, em muitos locais não se conhece este valor, principalmente em pequenas bacias hidrográficas.

SOUZA (2004), ao analisar as componentes responsáveis pelos deslizamentos de encostas no Rio de Janeiro, pôde relatar entre elas a ação humana, a declividade, as propriedades físicas do solo e também a acumulação de chuvas no perfil do terreno e, além disso, associa o aumento dos deslizamentos naquele local com a probabilidade de ocorrência de determinados eventos de chuvas acumuladas.

2.3 Análise de frequência de chuvas

A frequência de um evento hidrológico é a probabilidade que algum valor de uma variável discreta ou contínua ocorra, ou, seja excedido. Tal propriedade é conhecida por

frequência de excedência ou probabilidade de excedência. Então a frequência em Hidrologia também é representada pela probabilidade que determinado evento possui de ser igualado ou ultrapassado. Devendo-se ter o cuidado para não confundir a frequência com incidência regular de determinado fenômeno (VIESSMAN JR. & LEWIS, 2002).

Segundo TUCCI (2000) a análise local de frequência de variáveis hidrológicas dispõe de um conjunto de técnicas de inferência estatística e modelos probabilísticos, as quais têm sido objeto de frequente investigação, visando principalmente à obtenção de estimativas cada vez mais eficientes e confiáveis. Entretanto, a inexistência de amostras suficientemente longas impõe um limite superior ao grau de sofisticação estatística a ser empregado na análise local de frequência.

Os resultados obtidos na análise de frequência são necessários para a solução de vários problemas de engenharia, tais como, por exemplo, os projetos de vertedores de barragens, pontes, bueiros, drenos, sistemas de irrigação e estruturas de controle de cheias, além de problemas que envolvam a estimativa de algum valor característico, tal como a vazão mínima de sete dias de duração com tempo de retorno de 10 anos, (NAGHETTINI & PINTO, 2007). E a definição dos quantis de interesse, ou seja, os valores da variável hidrológica associados a certas probabilidades de excedência é realizada utilizando uma única série de registros hidrométricos ou hidrometeorológicos, provenientes de uma estação fluviométrica, ou pluviométrica, ou pluviográfica ou climatológica. As séries de dados utilizadas na análise podem ser de duração anual ou parcial. As séries anuais são formadas por um único valor para cada ano e as parciais consistem de observações independentes com magnitude inferior ou superior a determinado valor limiar. É recomendável ainda o uso de séries homogêneas e independentes para uma maior representatividade da análise.

Segundo TUCCI (2000), probabilidade $P(X \geq x)$ de que um evento hidrológico de magnitude 'X' exceda a quantidade 'x', é aproximadamente igual à sua frequência de ocorrência $F(X \geq x)$ e pode ser calculada pela fórmula de Weibull, onde os eventos, em termos de sua magnitude, são classificados em ordem decrescente, atribuindo-se um número de ordem a cada evento; o procedimento de cálculo é:

$$P(X \geq x) = \frac{m}{N+1} \quad (2.1)$$

onde:

$P(X \geq x)$ é a probabilidade (ou frequência) de excedência;
 m é a ordem de classificação dos eventos hidrológicos em sentido decrescente;
 N é o tamanho da amostra.

PINTO et al. (1976) apresentam o inverso da probabilidade de excedência como uma forma de quantificar o tempo de recorrência (Tr) de um evento de magnitude 'X' ser maior ou igual a 'x'. O tempo de recorrência, ou tempo de retorno, em termos práticos, é o número médio de anos necessários para que um evento de magnitude maior ou igual volte a ocorrer naquele local. O tempo de recorrência é calculado assim:

$$Tr = \frac{1}{P(X \geq x)} = \frac{N+1}{m} \quad (2.2)$$

Analogamente, pode-se estimar a probabilidade de não excedência $P(X \leq x)$ de um evento mínimo 'X' ser igualado ou não ultrapassado em uma magnitude 'x':

$$P(X \leq x) = 1 - \frac{m}{N+1} = 1 - \frac{1}{Tr} \quad (2.3)$$

2.3.1 Técnicas empregadas em análise de frequência de variáveis hidrológicas

De acordo com NAGHETTINI & PINTO (2007), pode-se realizar uma análise de frequência de um modo analítico, caso se admita que uma função paramétrica descreva o comportamento probabilístico da variável hidrológica. Ou ainda, pode ser feita empiricamente, com uso de gráficos apropriados. Além disso, pode-se trabalhar segundo um fator de frequência da fórmula de Chow (VIESSMAN JR. & LEWIS, 2002) para se estimar os quantis.

a) Análise de frequência analítica: consiste em retirar parâmetros amostrais a partir de onde se extraiu as variáveis aleatórias e, em seguida, estimar os quantis para a probabilidade desejada. No caso de eventos máximos (e/ou mínimos) de variáveis

hidrológicas, a distribuição de probabilidades da população não é conhecida e somente tem-se a amostra de dados observados. Esse fator complicador leva à proposição de modelos probabilísticos, ou seja, funções paramétricas de probabilidade, as quais, em função de suas características de assimetria e da eventual existência de limites superiores (ou inferiores) dentro do domínio da amostra de variáveis aleatórias, se atribuem propriedades que permitem modelar o fenômeno. Os parâmetros são específicos para cada modelo probabilístico (distribuição de probabilidade) e a forma como estes parâmetros são estimados irá gerar resultados que permitem uma estimativa de quantis com uma qualidade inferior ou mais refinada de acordo com a técnica de estimação empregada. DESA M. et al. (2001) realizaram estimativas da chuva máxima provável de ocorrer no sul da Malásia a partir de uma série histórica com cerca de 60 anos de dados em 33 estações pluviométricas e concluíram que diferentes formas de estimação de parâmetros de determinada distribuição de probabilidade, levaram a estimativa de quantis que diferem significativamente entre si quando se utiliza mesmo nível de probabilidade.

b) Análise de frequência gráfica: para este tipo de análise de frequência, torna-se necessário o uso de gráficos apropriados para a plotagem de pares de pontos formados pela frequência com que ocorre determinada variável dentro da amostra versus o valor observado daquela variável. Como característica de construção desses gráficos, de maneira geral, o eixo que contém os valores observados das variáveis aleatórias apresenta escala aritmética ou escala transformada. Já o eixo que contém a frequência com que as variáveis aparecem na amostra é construído, na maioria das vezes, a partir da variável reduzida do modelo de distribuição. De acordo com TUCCI (2000) os papéis de probabilidade, como são conhecidos os gráficos apropriados para se plotar os pares de dados, por sua vasta aplicabilidade, são bastante difundidos para os principais modelos de probabilidade usados em estudos de variáveis hidrológicas. Sua maior aplicabilidade se dá na possibilidade de extrapolação de um evento hidrológico.

c) Análise de frequência com uso de fator de frequência: VIESSMAN JR. & LEWIS (2002) ressaltam que a fórmula de Chow é uma das maneiras de se estimar quantis hidrológicos mais comumente utilizadas. VIOLA (2006) empregou a fórmula de Chow para estimar quantis de chuvas intensas máximas em diferentes probabilidades de excedência para o estado de Minas Gerais e obteve bons ajustes estatísticos.

2.3.2 Modelos probabilísticos

Um modelo probabilístico pode constituir-se em uma síntese plausível do comportamento de uma variável aleatória e ser empregado para interpolar, ou extrapolar, probabilidades e/ou quantis não contidos na amostra de observações. Para a aplicação em Hidrologia, podem ser utilizados modelos probabilísticos para variáveis discretas ou contínuas. Uma função de probabilidade discreta é aquela utilizada para modelar o comportamento de uma variável aleatória cujo espaço amostral é do tipo numerável, composto por valores isolados, em geral números inteiros. Já as variáveis aleatórias contínuas possuem utilidade mais frequente no estudo de variáveis hidrológicas por possibilitarem uma modelagem de um fenômeno dentro de um universo mais amplo no que diz respeito à estimativa probabilística, (PINTO et al., 1976). Dentre os principais modelos de probabilidade para variáveis aleatórias contínuas empregados em Hidrologia pode ser citados:

- a) Distribuição Normal: também conhecida como distribuição de Gauss, é utilizada para descrever comportamento de uma variável aleatória que flutua de forma simétrica em torno de um valor central. As características desta distribuição permitem que sejam feitas estimativas seguras de variáveis hidrológicas do tipo total anual ou valores médios anuais, como por exemplo, a vazão média anual de uma bacia hidrográfica.

- b) Distribuição Lognormal: esta é uma distribuição de probabilidades que opera de forma semelhante à distribuição Normal com a exceção de que a variável hidrológica deverá ser convertida para a forma logarítmica. É uma distribuição apropriada na maioria dos casos para estimativas de valores máximos ou mínimos dentro de intervalos anuais, trimestrais ou mensais, como por exemplo, chuva máxima mensal em determinado local.

- c) Distribuição Pearson tipo III: quando uma variável hidrológica puder ser avaliada conforme a função gama (), este modelo de distribuição de probabilidades poderá ser empregado. A distribuição Pearson tipo III é desenvolvida a partir da distribuição Gama e pode ser empregada na estimativa de quantis de diversas variáveis hidrológicas. Sua versatilidade confere à este modelo uma larga aplicação em Hidrologia.

d) Distribuição Log-Pearson tipo III: assim como a distribuição do item anterior, este modelo possui características semelhantes, com a diferença de que esta distribuição utiliza a variável hidrológica na sua forma logarítmica. Quando as amostras de variáveis hidrológicas apresentarem forte assimetria esta distribuição pode ser uma alternativa para tentar melhorar a qualidade na estimativa dos quantis.

e) Distribuição de Gumbel ou Extremos do tipo I: possui formulação dupla exponencial, o que permite que este modelo crie uma forma assintótica, possibilitando a geração de valores estimados de quantis num intervalo de $-\infty$ até $+\infty$. Devido a esta característica, a distribuição de Gumbel é uma das mais empregadas para se estimar quantis de cheias, vazões de estiagem e chuvas de projeto.

FREITAS et al. (2001) submeteram as séries históricas de intensidades máximas anuais de 193 estações pluviográficas localizadas no estado de Minas Gerais, e nos limites dos Estados da Bahia e Espírito Santo à análise estatística, com o objetivo de identificar o modelo probabilístico que melhor se ajustasse aos dados de chuvas intensas. As séries de intensidades máximas anuais foram ajustadas aos modelos de distribuição de eventos Gumbel (Extremos do tipo I), Lognormal, Pearson tipo III e Log-Pearson tipo III. Os modelos que melhor se ajustaram aos dados amostrais foram Lognormal e Gumbel.

A função densidade de probabilidade $f(x)$ de Gumbel é descrita assim por HAAN (1977):

$$f(x) = \frac{1}{\theta} \exp\left\{-\left(\frac{x-\xi}{\theta}\right) - \exp\left[-\left(\frac{x-\xi}{\theta}\right)\right]\right\}; \quad -\infty < x < +\infty \quad (2.4)$$

onde:

x é um evento hidrológico de magnitude conhecida;

ξ é um parâmetro de posição; $-\infty < \xi < +\infty$;

θ é um parâmetro de escala; $\theta > 0$.

A função de probabilidades acumuladas, $F(x)$, de Gumbel é assim representada:

$$F(x) = \exp\{-\exp[-(x-\xi)/\theta]\} \quad (2.5)$$

A inversa da função de probabilidades acumuladas de Gumbel denota a função dos quantis para este modelo, que pode ser obtida em função do seu tempo de recorrência:

$$x_g(T) = \xi - \theta \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (2.6)$$

Segundo FREITAS et al. (2001) o quantil de máximas para a distribuição de Gumbel pode ser calculado pela fórmula de Chow, como está descrito na equação 2.7:

$$x(T) = \bar{x} + K_T * S_x \quad (2.7)$$

na qual:

\bar{x} é a média aritmética dos valores amostrais;

S_x representa o desvio padrão dos valores amostrais;

K_T é o fator de frequência (adimensional) da distribuição de Gumbel.

O fator de frequência da distribuição de Gumbel, segundo FREITAS et al. (2001) pode ser obtido assim:

$$K_T = - \left\{ 0,45 + 0,7797 \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad (2.8)$$

A partir da função inversa da equação 2.8 se obtém a probabilidade de excedência para a distribuição de Gumbel:

$$P(X \geq x) = \frac{1}{T} = 1 - \exp \{ -\exp [-(1,282 K_T + 0,577)] \} = 1 - P(X \leq x) \quad (2.9)$$

A função de densidade de probabilidade da distribuição Lognormal é assim descrita por NAGHETTINI & PINTO (2007):

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma} \right]^2 \right\}; \text{ para } x > 0 \quad (2.10)$$

onde:

μ indica o parâmetro de posição;

indica o parâmetro de escala.

Os parâmetros de posição e escala indicam a média aritmética e o desvio padrão dos amostrais em forma logarítmica, respectivamente.

A função de probabilidade acumulada da distribuição Lognormal pode ser assim determinada segundo HAAN (1977), pela solução da integral:

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln(x)-\mu}{\sigma}\right]^2\right\} dx \quad (2.11)$$

Os quantis poderão ser estimados a partir da distribuição Lognormal da seguinte maneira, segundo NAGHETTINI & PINTO (2007):

$$x(Tr)_y = 10^{y(Tr)} \quad (2.12)$$

E $y(Tr)$ poderá ser obtido a partir do seguinte cálculo:

$$y(Tr) = \bar{y} + z^* S_y \quad (2.13)$$

sendo que:

\bar{y} denota a média aritmética dos logaritmos dos dados amostrais;

S_y denota o desvio padrão dos logaritmos dos dados amostrais;

z é a variável reduzida da distribuição Lognormal e será obtido em função de um valor de probabilidade acumulada da distribuição Normal, encontrada na tabela da distribuição Normal (Gauss), (NAGHETTINI & PINTO, 2007).

2.3.3 Testes de hipóteses

São testes que permitem a formulação de uma hipótese, na forma de uma declaração conjectural sobre o comportamento probabilístico da população. Podendo estes

testes serem paramétricos ou não paramétricos. Essa hipótese pode se materializar, por exemplo, em uma premissa, formulada a priori, a respeito de certo parâmetro populacional de uma variável aleatória, (HOLLANDER & WOLFE, 1973).

Segundo NAGHETTINI & PINTO (2007), os testes ditos paramétricos requerem que a distribuição da variável aleatória, ou das variáveis aleatórias de origem, seja a distribuição Normal. Entretanto, se a distribuição dos dados não se adéqua à forma gaussiana, o uso das distribuições das estatísticas de testes conhecidas terá como consequência a violação de um nível de significância previamente estabelecido. De fato, as estatísticas de testes não paramétricos em sua grande maioria, baseiam-se em características que podem ser deduzidas dos dados amostrais, mas que não os incluem diretamente em seu cálculo, por exemplo, determinar o número de diferenças negativas (ou positivas) entre certa mediana hipotética e os dados amostrais. Alguns desses testes não paramétricos permitem verificar hipóteses ditas fundamentais em uma análise de frequência de variáveis hidrológicas, que são: independência, homogeneidade e estacionariedade.

a) Teste de independência: significa que nenhuma observação presente na amostra pode influenciar a ocorrência de qualquer outra observação seguinte. Mesmo que a série seja aleatória, as observações que a constituem podem não ser independentes. No contexto de variáveis hidrológicas, os armazenamentos naturais de bacias hidrográficas, por exemplo, podem determinar a ocorrência de vazões de maior porte, na sequência de vazões elevadas, ou, contrariamente, de vazões de menor porte, na sequência de vazões reduzidas. Segundo NAGHETTINI & PINTO (2007), o teste de independência de Wald-Wolfwitz pode ser aplicado na detecção de independência de uma amostra de dados. O teste não paramétrico de Wald-Wolfwitz pode ser definido como se segue.

Dada uma amostra $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ de tamanho 'n' e as diferenças $\{X'_1, X'_2, \dots, X'_n\}$ entre as observações X_i e a média amostral, a estatística do teste Wald-Wolfwitz será dada por:

$$W = \sum_{i=1}^{n-1} X'_i X'_{i+1} + X'_1 X'_n \quad (2.14)$$

E a hipótese de independência é testada segundo a expressão:

$$T_w = \frac{w - E[R]}{\sqrt{\text{Var}[R]}} \quad (2.15)$$

Em que $E[R]$ e $\text{Var}[R]$ caracterizam a esperança matemática e a variância da amostra, respectivamente, e são calculados conforme:

$$E[R] = -\frac{s_2}{N-1} \quad (2.16)$$

$$\text{Var}[R] = \frac{s_2^2 - s_4}{N-1} + \frac{s_2^2 - 2s_4}{(N-1)(N-2)} - \frac{s_2^2}{(N-1)^2} \quad (2.17)$$

em que:

$$s_r = N \sum_{j=1}^N [(X_j^r)^r / M] \quad (2.18)$$

onde:

r denota a ordem dos momentos amostrais em relação à origem ($r = 1, 2, 3, \dots, r$);

N é o tamanho da amostra.

b) Teste de homogeneidade: implica que todos os elementos de certa amostra provêm de uma única e idêntica população. Em série de vazões máximas, por exemplo, muitos de seus valores podem ocorrer de enchentes provocadas por precipitações ordinárias ou comuns, enquanto outras enchentes se devem à ocorrência de precipitações extraordinariamente elevadas. Isso demonstra a presença de dados heterogêneos dentro de uma amostra de vazões máximas, entretanto, amostras pequenas dificultam a detecção de heterogeneidades nos dados existentes. NAGHETTINI & PINTO (2007) citam o teste de homogeneidade como válido para analisar esse comportamento em variáveis hidrológicas. GROppo et al. (2001) analisaram séries de chuvas e vazões na bacia do rio Piracicaba entre os anos de 1947-1996 e aplicaram o teste não paramétrico de Mann-Whitney para verificar a presença (ou não) de homogeneidade naquele conjunto de dados. A estatística do teste Mann-Whitney consiste, primeiramente, em ordenar a amostra de dados de forma crescente de acordo com os acontecimentos cronológicos. Em seguida, a amostra de dados com tamanho N será dividida em outras duas sub-amostras (N_1 e N_2) de tamanho aproximadamente igual, sendo a primeira sempre menor ou igual à segunda. A estatística

do teste usa como referência o menor valor entre as quantidades V_1 e V_2 que são calculadas por:

$$V_1 = N_1 N_2 + \frac{N_1(N_1 + 1)}{2} - R_1 \quad (2.19)$$

$$V_2 = N_1 N_2 - V_1 \quad (2.20)$$

onde R_1 denota a soma dos valores das ordens da primeira sub-amostra. Após selecionar o menor valor $V_{\text{mínimo}}$ (V_1 ou V_2), a estatística do teste de Mann-Whitney é calculada por:

$$T_h = \frac{V_{\text{mínimo}} - E[V]}{\sqrt{\text{Var}[V]}} \quad (2.21)$$

Em que $E[V]$ e $\text{Var}[V]$ são calculados por:

$$E[V] = \frac{N_1 N_2}{2} \quad (2.22)$$

$$\text{Var}[V] = \frac{1}{12} [N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)] \quad (2.23)$$

c) Teste de estacionariedade: refere-se ao fato de que, excluídas as flutuações aleatórias, as observações amostrais não variam, com relação à cronologia de sequências. Em um contexto hidrológico, os grandes saltos (picos ou vales) estão relacionados a alterações bruscas em uma bacia ou trecho fluvial, como por exemplo, a construção de uma barragem. As tendências temporais, em geral, estão associadas a alterações graduais que se processam na bacia, tais como, uma evolução lenta da urbanização de certa área geográfica. O teste de Spearman pode ser útil na detecção de processos hidrológicos considerados (ou não) estacionários, de acordo com NAGHETTINI & PINTO (2007). A estatística do teste de Spearman é a seguinte, desde que a amostra possua um mínimo de dez valores:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (m_i - T_i)^2}{N^3 - N} \quad (2.24)$$

onde:

m_i é a classificação em termos de ranking de magnitude do evento hidrológico;

T_i é a classificação do evento hidrológico em termos de ordem cronológica.

O parâmetro utilizado na análise da hipótese de estacionariedade é T_s e é calculado assim:

$$|T_s| = \frac{r_s}{(N-1)^{-1/2}} \quad (2.25)$$

Os valores para se avaliar a hipótese de estacionariedade (ou não) são descritos por NAGHETTINI & PINTO (2007).

2.3.4 Testes de aderência

Após a realização de um ajuste segundo um modelo probabilístico, ou mais modelos, é necessário realizar um ou mais procedimentos capazes de exprimir a confiabilidade dos ajustes às distribuições de probabilidade, ou seja, testes de aderência, também chamados testes de adequacidade. Uma possibilidade, segundo TUCCI (2000), é o uso de papéis de probabilidade, os quais guardam analogias com os papéis logarítmicos ou bi-logarítmicos. Os papéis de probabilidade conferem um método intuitivo de análise de consistência do ajuste aos quais as variáveis foram submetidas. Existem também os testes de aderência ditos estatísticos. Nestes, os valores ajustados segundo uma distribuição teórica deverão ser avaliados analiticamente e comparadas suas frequências reais com as suas frequências ajustadas. NAGHETTINI & PINTO (2007) salientam que os testes estatísticos de aderência são deficientes em discernir as diferenças entre frequências teóricas e empíricas (e/ou quantis teóricos e empíricos), nas caudas inferiores e superiores das distribuições sujeitas à análise. Comentam ainda que, essa limitação é crítica quando a amostra apresenta um pequeno número de observações e em geral, o interesse maior é inferir sobre o comportamento da variável nas caudas inferiores e/ou superiores.

Os testes estatísticos de aderência são inúmeros, mas, costumeiramente são empregados os testes de: Qui-quadrado, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling e Filliben, testados em relação a um nível de significância pré-estabelecido. Através do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, realizado ao nível de 10% de significância, FREITAS et al. (2001) realizaram o ajuste dos modelos de distribuição de probabilidades para chuvas intensas em Minas Gerais, constatando que os modelos Gumbel e Lognormal foram os que apresentaram melhor ajuste, porém o modelo de Gumbel se sobressaiu apresentando bom ajuste na maioria dos casos.

KEIM & FAIERS (2000) empregaram o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov para testar a estimativa de quantis máximos de precipitação no oeste do estado do Texas, Estados Unidos a partir do uso de diversas distribuições de probabilidade. O resultado permitiu avaliar com segurança os quantis estimados.

O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, segundo HAAN (1977), é um teste não paramétrico, cuja estatística de teste tem como base a diferença máxima entre as funções de probabilidade acumuladas, empírica e teórica, aplicável apenas em variáveis aleatórias contínuas. A construção do teste parte da premissa que as frequências da variável hidrológica são totalmente conhecidas, e, portanto, seus parâmetros são especificados e não são estimados a partir da amostra. A função de probabilidade acumulada empírica utilizada neste trabalho é regida pela expressão de probabilidade de não excedência de Weibull. Já a função de probabilidade acumulada teórica segue a distribuição adotada.

2.4 Análise geostatística

A evolução do conhecimento técnico das ciências da Terra passou por algumas etapas merecedoras de registro, pela transformação que causaram e que provocaram mudanças bruscas no modo de agir na busca do conhecimento. A utilização da informática de forma rotineira nas instituições (universidades e empresas) brasileiras se consolidou no início da década de 1.990; hoje não se consegue imaginar a execução de tarefas de natureza técnica que não exijam hardwares ou softwares atualizados (ANDRIOTTI, 2003).

De acordo com ZIMBACK (2001) as ferramentas computacionais e sistemas de informação geográfica efetivaram-se no auxílio do melhor entendimento e representação dos modelos complexos de distribuição espacial de atributos de variáveis aleatórias. A

geoestatística é um tópico da estatística que trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas e que apresentam comportamento espacial mostrando características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente aleatórias e aquelas totalmente determinísticas. A teoria das variáveis aleatórias regionalizadas considera a hipótese de estacionaridade das amostras.

Segundo ISAAKS & SRIVASTAVA (1989) a teoria fundamental da geoestatística é a esperança de que, na média, as amostras mais próximas no tempo ou no espaço sejam mais similares entre si do que aquelas mais distantes. Alguns métodos estimadores geoestatísticos da autocorrelação espacial podem ser empregados como ferramenta de continuidade espacial de uma variável aleatória regionalizada $Z(x)$.

De acordo com GOOVAERTS (1997) e MELLO et al. (2004), o emprego de técnicas de interpolação espacial embasadas na geoestatística apresenta resultados significativamente melhores do que métodos convencionais na estimativa de regionalização de dados de precipitação. Interpolação é um procedimento através do qual se estimam valores de uma variável em área interior aos pontos de amostragem disponíveis, permitindo representar, em forma de mapa, o comportamento de variáveis amostradas pontualmente.

Em geoestatística, na estimativa de uma variável regionalizada em pontos não amostrados são empregados um momento de primeira ordem e dois ou três momentos de segunda ordem de uma distribuição de uma função aleatória $Z(x)$. A variável regionalizada é considerada como uma realização de uma função aleatória $Z(x)$. O momento $m(x)$ de primeira ordem de uma função aleatória $Z(x)$ é definido por sua esperança matemática e é dado por:

$$E[Z(x)] = m(x) \quad (2.26)$$

Os momentos de segunda ordem usados normalmente em geoestatística são a variância ou variância a priori, função covariância e função variograma.

A variância ou variância a priori σ^2 é definida como sendo:

$$\sigma^2 = Var[Z(x) - m(x)] = E\{[Z(x) - m(x)]^2\} \quad (2.27)$$

A função covariância $C(x_1, x_2)$ depende dos valores da função aleatória em dois pontos x_1 e x_2 separados de um vetor distância h e é definida como:

$$C(x_1, x_2) = (E[Z(x_1)] - m(x_1))(E[Z(x_2)] - m(x_2)) \quad (2.28)$$

A função variograma $2\gamma(x_1, x_2)$ depende também dos valores da função aleatória em dois pontos x_1 e x_2 e é definida como sendo a variância da diferença dos valores da função aleatória em dois pontos x_1 e x_2 separados de um vetor distância h , ou seja:

$$2\gamma(x_1, x_2) = \text{Var}[Z(x_1) - Z(x_2)] \quad (2.29)$$

2.4.1 O variograma

O variograma analisa o grau de dependência espacial entre amostras dentro de um campo experimental, apresentando grande importância à análise geoestatística, pois o mesmo fornece os parâmetros necessários ao interpolador geoestatístico, para a estimativa de valores para locais não amostrados. De acordo com JOURNEL & HUIJBREGTS (1993) podem ocorrer três tipos de variogramas: observado ou experimental (obtido a partir de amostras de campo), verdadeiro (real, mas desconhecido) e teórico (referência para ajustes de modelo). A hipótese de estacionariedade para o variograma estabelece que ele não depende dos pontos x_1 e x_2 e sim do vetor distância h que separa os dois pontos. Segundo OLIVEIRA (2003) a função que modela o variograma (sob a hipótese de estacionariedade) é assim descrita:

$$2\gamma(h) = E[Z(x+h) - Z(x)]^2 \quad (2.30)$$

sendo: h o vetor distância entre pontos amostrais.

Se for assumido que as amostras são estacionárias, então o variograma é representado, segundo ANDRIOTTI (2003), pelo estimador clássico, ou estimador de Matheron:

$$2\gamma(\mathbf{h}) = \frac{1}{N(\mathbf{h})} \sum_{i=1}^n E[Z(\mathbf{x} + \mathbf{h}) - Z(\mathbf{x})]^2 \quad (2.31)$$

onde: $N(\mathbf{h})$ representa o número total de pontos amostrais separados por distância \mathbf{h} .

WACKERNAGEL (1995), utiliza a expressão semivariograma, ao invés de variograma, como uma forma de simplificar seu processamento computacional e seu cálculo é assim feito:

$$\gamma(\mathbf{h}) = \frac{1}{2N(\mathbf{h})} \sum_{i=1}^n E[Z(\mathbf{x} + \mathbf{h}) - Z(\mathbf{x})]^2 \quad (2.32)$$

ÁVILA (2008) descreve o semivariograma experimental, como sendo o gráfico de $\gamma(\mathbf{h})$ versus \mathbf{h} e que posteriormente é empregado no ajuste de modelos teóricos de semivariograma, o que, futuramente, possibilita a interpolação espacial em função da amostra, através do processo da krigagem, demonstrado no item 2.5. Intuitivamente, espera-se do semivariograma experimental, o que acontece em dados de campo, ou seja, à medida que \mathbf{h} diminui, as diferenças (erros de estimativa) entre $Z(\mathbf{x})$ e $Z(\mathbf{x} + \mathbf{h})$ decrescem. Segundo ZIMBACK (2001) o semivariograma teórico possui os seguintes parâmetros:

- a) Alcance (A): relacionado ao conceito de zona de influência ou de dependência espacial de uma amostra, indicando a distância a partir da qual as amostras se tornam independentes. Corresponde em termos gráficos ao valor de \mathbf{h} a partir do qual o semivariograma teórico se torna constante e igual ao patamar total.
- b) Efeito pepita (C_0): reflete o erro analítico, indicando uma variabilidade não explicada, de um ponto para o outro, que pode ser devido a erros de medição ou variação não detectada em função da distância de amostragem utilizada.
- c) Variância estrutural (C_1): é a variância que pode ser explicada pela componente espacial.

- d) Patamar ($C_0 + C_1$): é a variação total do fenômeno avaliado, ou seja, ponto onde toda amostra sofre influência aleatória.

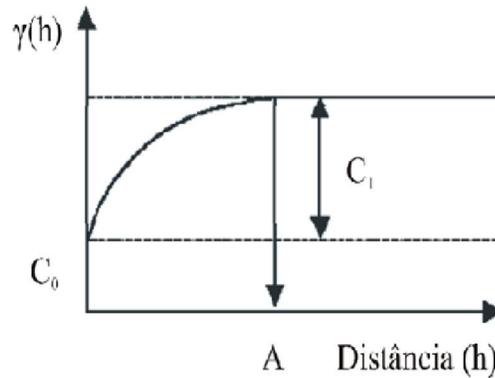


Figura 2.3: Parâmetros de um modelo de semivariograma

O eixo das abscissas do semivariograma indica a distância entre pontos e o eixo das ordenadas é o valor estimado do semivariograma. Os parâmetros acima descritos no semivariograma experimental são utilizados para quantificar o grau de dependência espacial (GDE) que existe no estudo de variáveis regionalizadas (LANDIM, 1988). Esse parâmetro é um dos critérios que podem ser avaliados no momento da escolha do melhor modelo de ajuste, capaz de viabilizar o uso de um semivariograma teórico.

Segundo JOURNAL & HUIJBREGTS (1993) e RIBEIRO JR. & DIGGLE (2000), pode-se definir o GDE como a razão entre a variância estrutural (C_1) e o patamar ($C_0 + C_1$). A interpretação dos resultados levará à seguinte conclusão: se $GDE < 25\%$, a dependência espacial é fraca; se GDE está entre 25 e 75%, a dependência é moderada e se $GDE > 75\%$, a dependência espacial é forte.

Segundo ANDRIOTTI (2003), quando o semivariograma apresenta comportamento semelhante em todas as direções, há um indicativo da presença de isotropia, ou seja, não importa a direção em que se avalia o fenômeno, pois sua variabilidade será a mesma em todas as direções. Já a anisotropia indica a existência de direções em que a variável analisada apresenta direções privilegiadas que condicionaram a gênese do fenômeno sob estudo.

2.4.2 Modelos teóricos de semivariograma

Segundo LANDIM (1988), a sensibilidade de um semivariograma, em detectar a variabilidade espacial das amostras está diretamente ligada ao melhor ajuste dos dados experimentais ao modelo teórico de semivariograma. ISAACS & SRISVASTAVA (1989) citam como principais modelos utilizados na modelagem variográfica os seguintes:

- a) Exponencial: esse modelo alcança o patamar assintoticamente e seu alcance é definido, teoricamente, como a distância na qual o semivariograma atinge o valor correspondente a 95% do patamar. Quando se tratar de distâncias muito curtas em relação ao alcance, o modelo exponencial se comportará de forma linear. Sua equação característica para um patamar igual a um será:

$$\gamma^*(h) = 1 - \exp\left(-\frac{3h}{A}\right) \quad (2.33)$$

sendo:

* (h) o semivariograma teórico.

- b) Esférico: esse talvez seja o modelo mais utilizado em análises de variáveis regionalizadas. Possui comportamento linear quando as distâncias que separam dois pontos amostrados for pequena próxima da origem, em relação ao alcance. A sua equação característica, com patamar igual a um, é:

$$\gamma^*(h) = \begin{cases} 1,5\left(\frac{h}{A}\right) - 0,5\left(\frac{h}{A}\right)^3; & \text{se: } h \leq A \\ 1; & \text{se: } h > A \end{cases} \quad (2.34)$$

- c) Gaussiano: é um modelo que geralmente é utilizado para se modelar fenômenos extremamente contínuos. Possui comportamento parabólico próximo à origem e alcança o patamar de maneira assintótica e o seu alcance pode ser definido, teoricamente, como o correspondente a 95% do patamar. A equação característica deste modelo, com patamar igual a um, é:

$$\gamma^*(h) = 1 - \exp\left(-\frac{3h^2}{A}\right) \quad (2.35)$$

2.4.3 Ajuste de modelos de semivariogramas - estimação dos parâmetros variográficos

Segundo OLIVEIRA (2003), os parâmetros que modelam o semivariograma (efeito pepita, variância estrutural, patamar e alcance) podem ser obtidos segundo um ajuste visual, ou seja, a sentimento, na qual o semivariograma teórico é ajustado de acordo com a experiência e também pela intuição visual de quem analisa.

RIBEIRO JR. & DIGGLE (2000) apresentam métodos capazes de estimar parâmetros de semivariogramas teóricos com certo grau de dependência espacial. A natureza dos métodos de estimação destes parâmetros variográficos pode diferir significativamente dependendo do método, o que acarreta diferentes graus de qualidade em função do ajuste empregado. Em análise geoestatística, os principais métodos empregados são: mínimos quadrados ponderados, mínimos quadrados ordinários, métodos bayesianos e máxima verossimilhança.

- a) Mínimos quadrados ordinários (MQO): esse seja talvez o mais simples dos métodos de estimação e certamente o mais conhecido e pode ser tratado como um modelo numérico e não estatístico. Seja $\psi = (C_0; C_1; A)$ o vetor de parâmetros a serem estimados para modelar o semivariograma experimental. No método MQO, o vetor de parâmetros é estimado pela minimização da expressão:

$$\sum_{i=1}^n [\gamma^*(h_i) - \gamma^*(h_i, \psi)]^2 \quad (2.36)$$

onde:

$\gamma^*(h_i)$ é o valor que foi estimado de semivariância correspondente à distância h_i , para $i = 1, 2, 3, \dots, n$

$\gamma^*(h_i, \psi)$ é a semivariância calculada pelo modelo teórico estimado na distância h_i , dependendo do modelo de semivariograma escolhido.

b) Mínimos quadrados ponderados (MQP): é um método semelhante ao anterior, contudo, o método MQP utilizará uma espécie de ponderador na estimativa dos parâmetros $\psi = (C_0; C_1; A)$ do semivariograma teórico. Esse ponderador leva em consideração o número de pares de pontos empregados na geração de cada valor de semivariância do semivariograma experimental. O vetor ψ é estimado segundo a minimização da expressão:

$$\sum_{i=1}^n \{ \mathcal{M}(\mathbf{h}_i) [\gamma^*(\mathbf{h}_i) - \gamma^*(\mathbf{h}_i, \psi)]^2 \} \quad (2.37)$$

sendo:

$N(\mathbf{h}_i)$ o número de pares de pontos necessários para se calcular cada valor de semivariância do semivariograma experimental.

c) Máxima verossimilhança (MVS): é um método mais robusto de estimação que os anteriores; que consiste em maximizar função de densidade de probabilidades, em relação aos efeitos fixos e aos componentes de semivariância dos efeitos aleatórios do modelo, (OLIVEIRA, 2003). Na Hidrologia, a quantidade de pontos amostrais é muitas vezes escassa e sua modelagem estocástica espacial é de grande interesse. Na estimação através do método MVS assume-se que os dados seguem uma distribuição gaussiana. Através desse método podem-se obter estimativas espaciais eficientes e não enviesadas quando a amostra de dados for suficientemente grande. Considere um conjunto de observações $Z^*(x_i)$ geradas a partir de um modelo linear gaussiano que pode ser explicado por três componentes:

$$Z^*(x_i) = \mu(x_i) + \delta(x_i) + \varepsilon(x_i); \text{ com } i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.38)$$

onde:

$\mu(x_i)$, $\delta(x_i)$ e $\varepsilon(x_i)$ são componentes que relacionam a correlação espacial e aleatoriedade das amostras.

A maximização da função de verossimilhança é dada por: $L[Z^*(x_i)]$ como:

$$A[Z^*(x_j)] = -\frac{1}{2} \{ \log |K(Z)| + [Z^*(x_j) - \mu(x_j)] [K(Z)]^{-1} \} \quad (2.39)$$

sendo:

$K(Z)$ a matriz de variâncias e covariâncias entre todos os locais amostrados.

2.5 Interpolação geoestatística – Krigagem

Na análise geoestatística, além da obtenção de um modelo de dependência espacial, muitas vezes necessita-se prever valores em pontos não amostrados, ou mesmo visualizar o comportamento da variável na região através de um mapa de superfície, o que pode ser obtido através de um método de interpolação, que no caso da geoestatística corresponde à krigagem (ORTIZ, 2002). Esse interpolador pondera os vizinhos do ponto a ser estimado, obedecendo aos critérios de não tendenciosidade e mínima variância do erro de estimativa. Os tipos de krigagem mais comumente empregados são: simples, ordinária, universal, indicadora (ou indicatriz) e probabilística. De acordo com OLIVEIRA (2003), é necessário que o interpolador geoestatístico reproduza a estimativa das variáveis em locais desconhecidos de forma não enviesada e também com uma variância mínima dos parâmetros que caracterizam a variável regionalizada.

Segundo AMARAL (2005) a krigagem engloba um conjunto de métodos de estimação que considera não só os valores amostrados, mas também a posição espacial dos pontos de amostragem e do ponto estimado e juntamente com a variabilidade espacial da variável em estudo. Podem ser usados procedimentos estacionários e não estacionários, univariáveis e multivariáveis, lineares ou não lineares, paramétricos ou não paramétricos. O estimador de krigagem é assim representado:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \hat{Z}(x_i) \quad (2.40)$$

onde:

$\hat{Z}(x_0)$ é o valor estimado em determinado local pela krigagem;

λ_i o peso atribuído pelo estimador da krigagem ao dado;

$\hat{Z}(x_i)$ é o valor da variável em um ponto amostral qualquer.

Conforme preconiza a teoria das variáveis regionalizadas, a krigagem é um estimador exato, ou seja, se um dos valores a ser interpolado coincidir com algum ponto amostral, o valor estimado será de mesmo valor em relação ao ponto medido. O que pode caracterizar a krigagem como um estimador do tipo “BLUE” (Best Linear Unbiased Estimator), um estimador não enviesado que opera de forma linear, em que a estimação é feita combinando-se valores amostrados e ponderando pontos amostrais para que se obtenha o menor erro médio quadrático de estimativa, ORTIZ (2002) e ANDRIOTTI (2003).

A krigagem ordinária representa uma variação da krigagem simples de acordo com ZIMBACK (2001). Porém, na krigagem simples é necessário um conhecimento prévio dos valores de médias pontuais fixas (médias estacionárias), o que não irá ocorrer na krigagem ordinária, que emprega a metodologia de médias espaciais móveis.

A não tendenciosidade do estimador de krigagem ordinária, segundo ISAACS & SRIVASTAVA (1989), pode assim ser expressa sob a hipótese de estacionariedade:

$$\Delta Z(x_0) = \hat{Z}(x_0) - Z(x_0) = \sum_{j=1}^n \lambda_j \hat{Z}(x_j) - Z(x_0) \quad (2.41)$$

$Z(x_0)$ denota o erro de estimação entre o valor estimado $\hat{Z}(x_0)$ e o valor observado $Z(x_0)$ em determinado ponto dentro de um espaço R^D qualquer. O valor esperado (esperança matemática) de uma combinação linear do sistema anterior resulta em:

$$E[\Delta Z(x_0)] = E\left[\sum_{j=1}^n \lambda_j \hat{Z}(x_j) - Z(x_0)\right] = \sum_{j=1}^n \lambda_j E[\hat{Z}(x_j)] - [Z(x_0)] \quad (2.42)$$

ou:

$$E[\Delta Z(x_0)] = \sum_{j=1}^n \lambda_j \left\{ E[\hat{Z}(x_j)] - E[Z(x_0)] \right\} \quad (2.43)$$

Um estimador linear sem viés deverá produzir um erro de estimação nulo na média geral, segundo ISAACS & SRIVASTAVA (1989). Ou seja, $E[Z(x_0)] = 0$. A equação (2.40) terá a seguinte solução:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \left\{ E \left[\hat{Z}(x_i) \right] - E[Z(x_0)] \right\} = 0 \quad (2.44)$$

Simplificando a equação (2.41):

$$E[Z(x_0)] = \sum_{i=1}^n \lambda_i E \left[\hat{Z}(x_i) \right] \quad (2.45)$$

Para que a condição de não enviesamento seja garantida, a teoria da krigagem ordinária implica que $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$, JOURNEL & HUIJBREGTS (1993). Os ponderadores são obtidos da resolução de um sistema linear de equações, denominado sistema de equações de krigagem.

2.6 Validação cruzada

A análise geoestatística, em certas ocasiões, exige certo grau de subjetividade (OLIVEIRA, 2003). Sendo assim, para avaliar se determinado fenômeno foi caracterizado de forma adequada pelo modelo de semivariograma teórico, alguns têm utilizado o método da validação cruzada, de forma que sejam obtidas informações fidedignas da amostra.

Na validação cruzada, assume-se que uma determinada amostra não tenha sido coletada, ou seja, elimina-se seu valor e estima-se a partir dos dados circundantes, podendo-se assim calcular os erros de estimativas para os pontos que são eliminados em cada etapa da validação. Após essa estimação, o valor real dessa amostra é reintroduzido no sistema e se repete o processo até que todos os valores amostrais sejam estimados dessa forma. A validação cruzada emprega como forma de estimativa desses pontos o método da krigagem, podendo ou não conter viés. Se o valor médio dos erros for igual ou ligeiramente diferente de 0 (zero), a análise é não enviesada (ZIMBACK, 2001 e ANDRIOTTI, 2003).

MELLO (2004) recomenda que depois de realizados os ajustes e modelagens do semivariograma, é necessário se investigar aquela representação através de informações fornecidas no processo de validação cruzada, como por exemplo, o erro médio de estimação, desvio padrão dos erros reduzidos, quadrado médio dos erros, entre outros.

3 Materiais e métodos

3.1 Caracterização da área de estudo

Para este trabalho foram selecionadas as sub-bacias do Médio rio Doce e Baixo rio Doce devido aos motivos anteriormente especificados. Essa região mapeada auxiliaria posteriormente a escolha das estações pluviométricas prestáveis à continuidade do estudo. Para tal, foi obtido inicialmente um arquivo no formato *shapefile* (.shp) que é relativo ao software de geoprocessamento ArcGis, contendo toda a divisão hidrográfica brasileira, que engloba entre elas: bacia do rio Doce, rio São Francisco, rio Paraná, rio Paraíba do Sul, etc, através do endereço eletrônico pertencente à Agência Nacional das Águas (ANA): <http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/solicitacaoBaseDados.asp>. Neste endereço existem arquivos que oferecem uma diversidade de dados inerentes à rede hidrográfica brasileira, como por exemplo, as áreas de drenagem das bacias hidrográficas, cotas altimétricas, cursos d'água e muitos outros. Tais informações, que já se encontram todas georreferenciadas, são todas identificadas para facilitar seu processamento através de softwares apropriados para tal. A Figura 3.1 apresenta a tela principal de entrada para a base de dados georreferenciados da ANA.

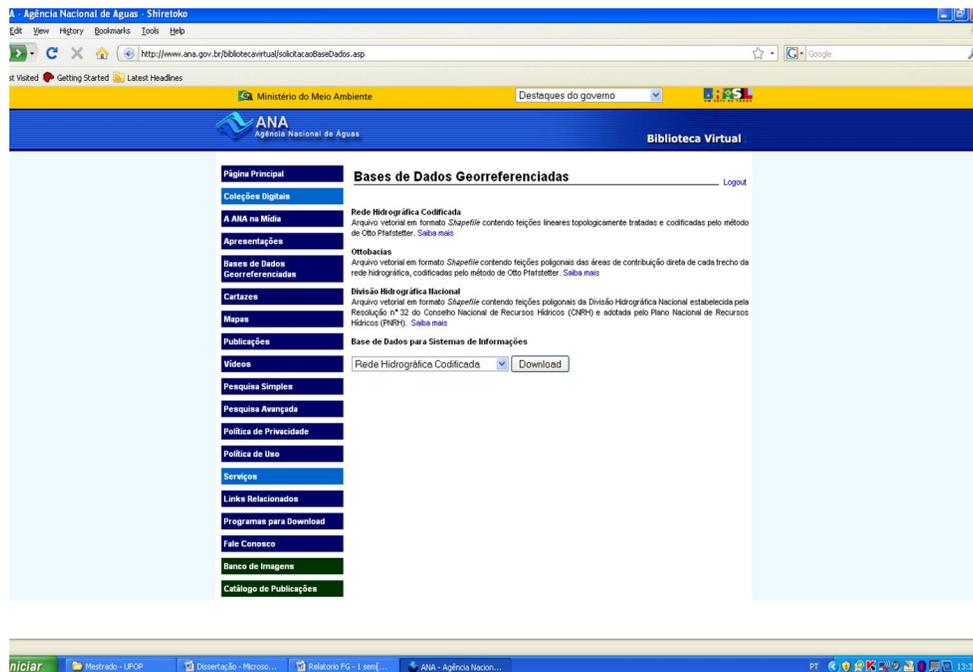


Figura 3.1 - Tela de entrada do link descrito na seção 3.1

Optou-se por trabalhar segundo o critério nível 3 de Otto devido à bacia do rio Doce apresentar a subdivisão em seus afluentes principais e também devido à facilidade de manipulação dos dados, já que a área existente à montante da confluência com o rio Piracicaba não é prestável à esse estudo. A resolução CNRH 32/2003, de autoria do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), afirma que a bacia hidrográfica do rio Doce está contida na região hidrográfica do Leste (MMA-SRH, 2006).

No presente trabalho foram extraídos dados da bacia hidrográfica com codificação 3 (três), a qual a ANA denomina “Ottobacia nível 3” pois foi codificada segundo o critério de Otto Pfafstetter na escala 1:1.000.000, com projeção Albers e Datum SAD-69. Além disso, os dados são totalmente codificados para facilitar a interpretação dos mesmos. A importação do arquivo “Ottobacias_Nivel3” através do link apresentado na Figura 3.2 a seguir, possibilitou abrir no ArcGis v.9.1 a seguinte feição:



Figura 3.2 - Divisão hidrográfica brasileira segundo o nível 3 de Otto

Conforme a resolução CNRH 32/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) a bacia hidrográfica do rio Doce possui o código 76 e seus afluentes principais possuirão a codificação 76..., ou seja, o número 76 precedido de outro algarismo. A bacia do rio Doce apresenta ainda nove subdivisões segundo o critério de Otto. Destas, duas sub-bacias representam a formação do Alto rio Doce, sendo elas: bacia do rio do Carmo / rio Piranga (código 769) e bacia do rio Piracicaba (código 768). Para eliminar as bacias

hidrográficas que não eram interessantes neste trabalho, foi empregado o recurso *Editor* do ArcGis v.9.1 para que tais bacias fossem eliminadas restando apenas sub-bacias com o prefixo “76”. O resultado gerou a seguinte feição, mostrada na Figura 3.3:

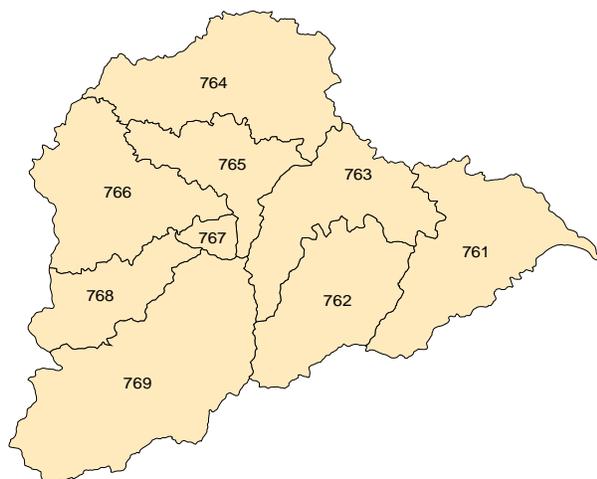


Figura 3.3 - Bacia do rio Doce com subdivisões segundo critério de Otto (nível 3)

A próxima etapa consistiu em eliminar as sub-bacias de códigos 768 e 769 (Alto rio Doce) para que fosse possível ter somente a área relativa ao objeto de pesquisa. Novamente, foi empregado o recurso *Editor* do ArcGis v.9.1 para tal, o resultado final é o mapa da área de estudo, dada pela Figura 3.4:

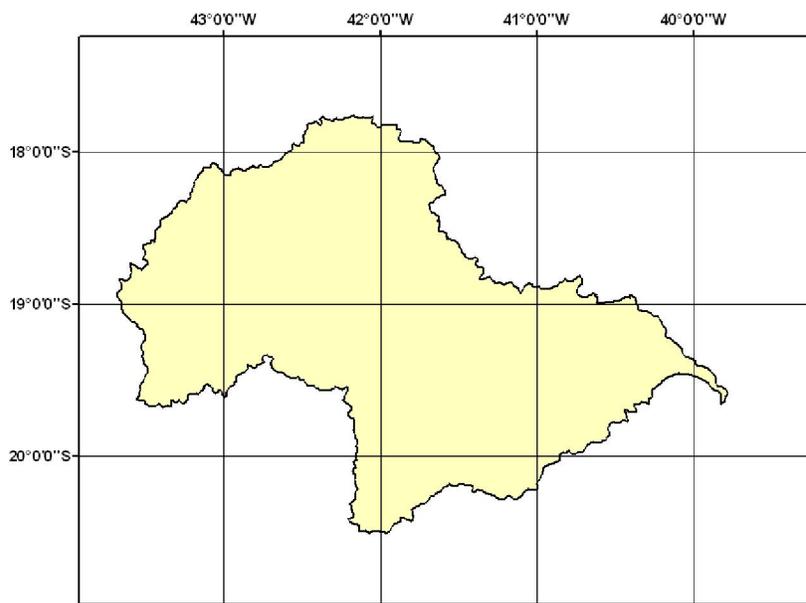


Figura 3.4 – Região de estudo

A figura 3.4 servirá de base na continuidade dos estudos. Com o auxílio do software ArcGis v.9.1 foi possível calcular a área de contribuição da mesma que foi mensurada em 59.170,46km². Segundo AMARAL (2005) a área de toda bacia do rio Doce é de 71.724km².

3.2 Estações pluviométricas

No presente trabalho, optou-se por utilizar estações pluviométricas disponibilizadas em: <http://hidroweb.ana.gov.br> devido ao fato destes dados serem de domínio público, ou seja, gratuitos e possuem densidade de distribuição espacial relativamente satisfatória. Através deste endereço eletrônico, a Agência Nacional das Águas (ANA) disponibiliza dados pluviométricos diários para os seus usuários. Também foi possível utilizar dados existentes em uma estação de responsabilidade da Companhia Energética do Estado de Minas Gerais (CEMIG).

Foi importado um arquivo de pontos georreferenciados no formato *shapefile* no endereço eletrônico <http://hidroweb.ana.gov.br> contendo a localização das estações pluviométricas cadastradas no SNIRH (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos), as quais a ANA é mantenedora dos registros pluviométricos diários. O arquivo importado foi anexado à figura 3.2 da seção 3.1 e mostrou a localização das estações pluviométricas em relação à região de estudo:

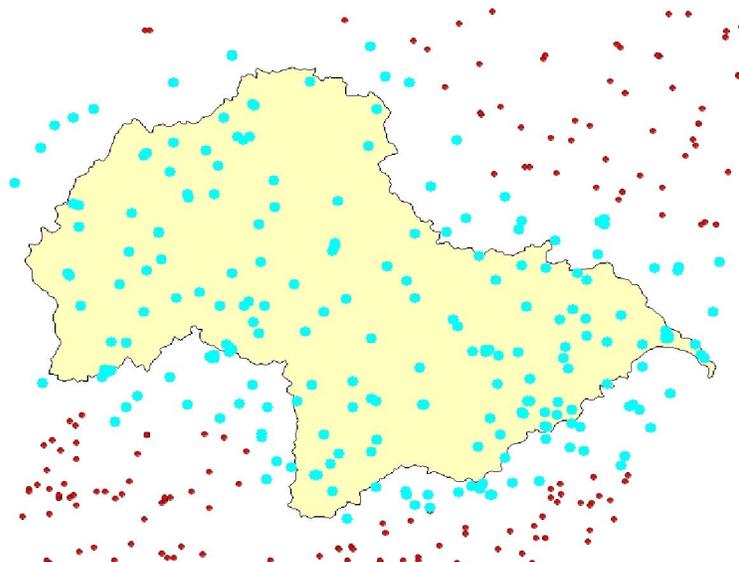


Figura 3.5 - Localização das estações pluviométricas em relação à área de estudo

Pode ser observado que a densidade espacial de estações pluviométricas é relativamente bem distribuída na bacia. Entretanto, o arquivo *shapefile* que contém a localização de estações pluviométricas trouxe consigo informações excessivas de outras estações distantes da região de estudo. Na figura 3.5 anterior, os círculos vermelhos menores indicam as estações que foram consideradas sem interesse e foram conseqüentemente excluídas. Já os círculos azuis em destaque são estações possíveis candidatas a cederem suas informações hidrológicas. Resumindo, de um total de 2.151 estações do arquivo, restaram apenas 232 possíveis de serem empregadas neste trabalho. Ainda pode ser observado que foram pré-selecionadas estações exteriores à região de estudo. Tal procedimento visa enriquecer informações na análise espacial de chuvas acumuladas, já que estas ocorrem em áreas geralmente extensas conforme já foi mencionado neste trabalho. Foi aplicado um critério intuitivo na escolha das estações externas, desde que, tais não ficassem mais distantes do que aproximadamente 50km da linha limítrofe da região analisada. Além disso, todas as estações já se encontram identificadas segundo a codificação utilizada pelo SNIRH e georreferenciadas no sistema geográfico de coordenadas (latitude / longitude).

Como fase seguinte, havia a necessidade da definição do período a ser escolhido para viabilizar a análise de frequência de chuvas acumuladas. Segundo TUCCI (2000) é recomendável pelo menos uma amostra contendo 30 anos de dados hidrológicos para que a análise possua consistência estatística. Foi definido um período de estudo compreendido entre os anos hidrológicos de 1.975 até 2.005 para se proceder a análise, ou seja, iniciando no dia 1º de outubro e terminando no dia 30 de setembro no calendário do ano seguinte. Com isso, o período analisado seria o mais recente possível.

Tendo as possíveis estações candidatas, seria necessário verificar quais destas estações possuíam dados suficientes e consistentes para serem empregados posteriormente nas análises estatística e geoestatística. Para tal, foi empregado o HIDRO 1.0.8, representado através da Figura 3.6, é um aplicativo de autoria da ANA e disponibilizado gratuitamente em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. O HIDRO 1.0.8 é uma aplicação de banco de dados do tipo cliente/servidor (arquivo com a extensão *.mdb*) projetada especificamente para o ambiente gráfico Windows 32 bits (95/98/Me/NT4/2000). Seus principais objetivos são: permitir o gerenciamento de uma base de dados hidrometeorológicos, armazenada centralizadamente em um banco de dados relacional; permitir a entrada de dados por parte das entidades que operam uma rede hidrometeorológica; cálculo de funções hidrometeorológicas básicas; visualização de dados (gráficos, imagens etc.) entre outras.

Além de possuir o inventário de toda a rede pluviométrica e fluviométrica brasileira, o aplicativo fornece também informações de considerável significância para a continuidade do trabalho como, por exemplo, o código da estação, as coordenadas geográficas, a instituição responsável pela estação, a última atualização do banco de dados, etc, permitindo ao usuário analisar as estações e suas informações hidrológicas com maior facilidade. A imagem de entrada do software HIDRO 1.0.8 está representada pela Figura 3.6 a seguir:

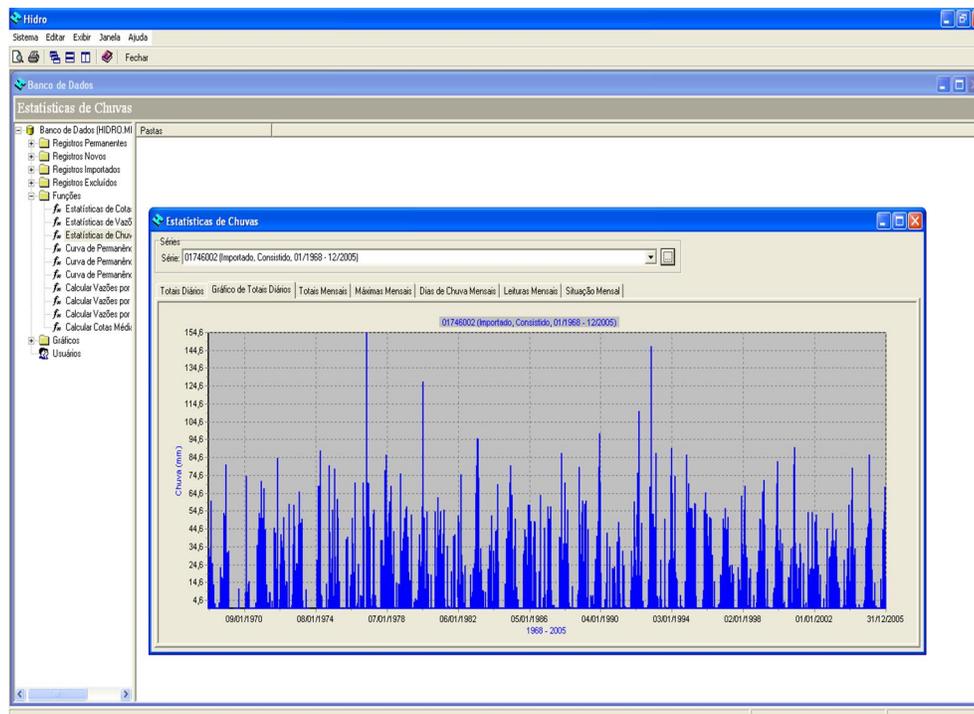


Figura 3.6 - Tela principal do HIDRO 1.0.8

Os dados hidrológicos a serem importados pelo HIDRO 1.0.8 no formato banco de dados apresentarão suas informações em forma de tabelas, organizadas segundo a data de sua ocorrência. Posteriormente foram escolhidas as estações pluviométricas que fariam parte das análises de frequência e espacial. De 232 estações possíveis, foram selecionadas 41 (quarenta e uma), as quais se enquadravam nos requisitos necessários para o prosseguimento do estudo, ou seja, dados disponíveis e pouquíssimas falhas no período de 1.975 a 2.005. Sendo estas listadas na Tabela 3.1 a seguir:

Tabela 3.1 - Estações pluviométricas selecionadas

Estação - Nome	Código	Responsável	Latitude	Longitude
Vila Matias - montante	1841001	ANA	-18°34'29"	-41°55'04"
Campanário	1841003	ANA	-18°14'19"	-41°44'55"
Vargem Grande	1841006	ANA	-18°40'52"	-41°11'48"
Mantenópolis	1841009	ANA	-18°54'32"	-41°07'18"
Coroaci	1842005	ANA	-18°36'43"	-42°16'43"
Guanhães	1842007	ANA	-18°46'20"	-42°55'52"
Santa Maria do Suaçuí	1842008	ANA	-18°12'04"	-42°27'19"
Usina Paraúna	1843000	ANA	-18°38'08"	-43°57'57"
Serro	1843011	ANA	-18°35'34"	-43°24'45"
Rio Vermelho	1843012	ANA	-18°16'47"	-43°00'02"
Itarana	1940000	ANA	-19°52'28"	-40°52'28"
São João de Petrópolis	1940001	ANA	-19°48'19"	-40°40'44"
Cavalinho	1940005	ANA	-19°41'32"	-40°23'53"
Colatina - Corpo de Bombeiros	1940006	ANA	-19°31'51"	-40°37'23"
Pancas	1940009	ANA	-19°13'13"	-40°51'12"
Valsugana Velha - montante	1940010	ANA	-19°57'12"	-40°33'09"
Itaimbé	1940012	ANA	-19°39'49"	-40°50'07"
Novo Brasil	1940013	ANA	-19°14'15"	-40°35'29"
Barra de São Gabriel	1940016	ANA	-19°03'28"	-40°30'59"
Jacupemba	1940022	ANA	-19°35'19"	-40°11'53"
Ipanema	1941000	ANA	-19°47'56"	-41°42'22"
Resplendor - jusante	1941004	ANA	-19°20'35"	-41°14'46"
Barra do Cuieté	1941005	ANA	-19°03'42"	-41°31'58"
Assarai - montante	1941006	ANA	-19°35'41"	-41°27'29"
Ibituba	1941009	ANA	-19°41'28"	-41°01'12"
São Sebastião da Encruzilhada	1941010	ANA	-19°29'33"	-41°09'42"
Itanhomi	1941018	ANA	-19°10'32"	-41°52'13"
Bom Jesus do Galho	1942002	ANA	-19°50'01"	-42°19'04"
Vermelho Velho	1942006	ANA	-19°59'56"	-42°20'51"
SE Mesquita	1942033	CEMIG	-19°27'00"	-42°33'00"
José de Melo	1943024	ANA	-19°41'23"	-43°35'08"
Santa Maria	1943008	ANA	-19°26'31"	-43°07'04"
Morro do Pilar	1943025	ANA	-19°13'03"	-43°22'27"
Vau da Lagoa	1943035	ANA	-19°13'08"	-43°35'17"
São Rafael	2040023	ANA	-20°16'37"	-40°56'02"
Iúna	2041013	ANA	-20°20'45"	-41°32'15"
Santa Cruz - Caparão	2041017	ANA	-20°19'22"	-41°42'15"
Afonso Cláudio - montante	2041023	ANA	-20°04'43"	-41°07'17"
Carangola	2042000	ANA	-20°44'24"	-42°01'26"
Abre Campo	2042010	ANA	-20°17'56"	-42°28'41"
Matipó	2042017	ANA	-20°16'38"	-42°19'32"

Cabe ressaltar que as estações de Serro, Rio Vermelho e Itanhomi de códigos 1843011, 1843012 e 1941018, respectivamente, dispunham de dados referentes ao período chuvoso de 1983/1984 a 2005/2006, porém, foram introduzidas ao estudo por se localizarem em posições consideradas estratégicas e poderiam ajudar na melhoria da espacialização de dados de chuvas acumuladas. Da mesma forma, foi utilizada a estação 1942033 (SE Mesquita) que possuía dados de chuvas referentes ao período hidrológico de 1984/1985 a 2006/2007. A figura 3.7 a seguir mostra a localização das estações pluviométricas selecionadas:

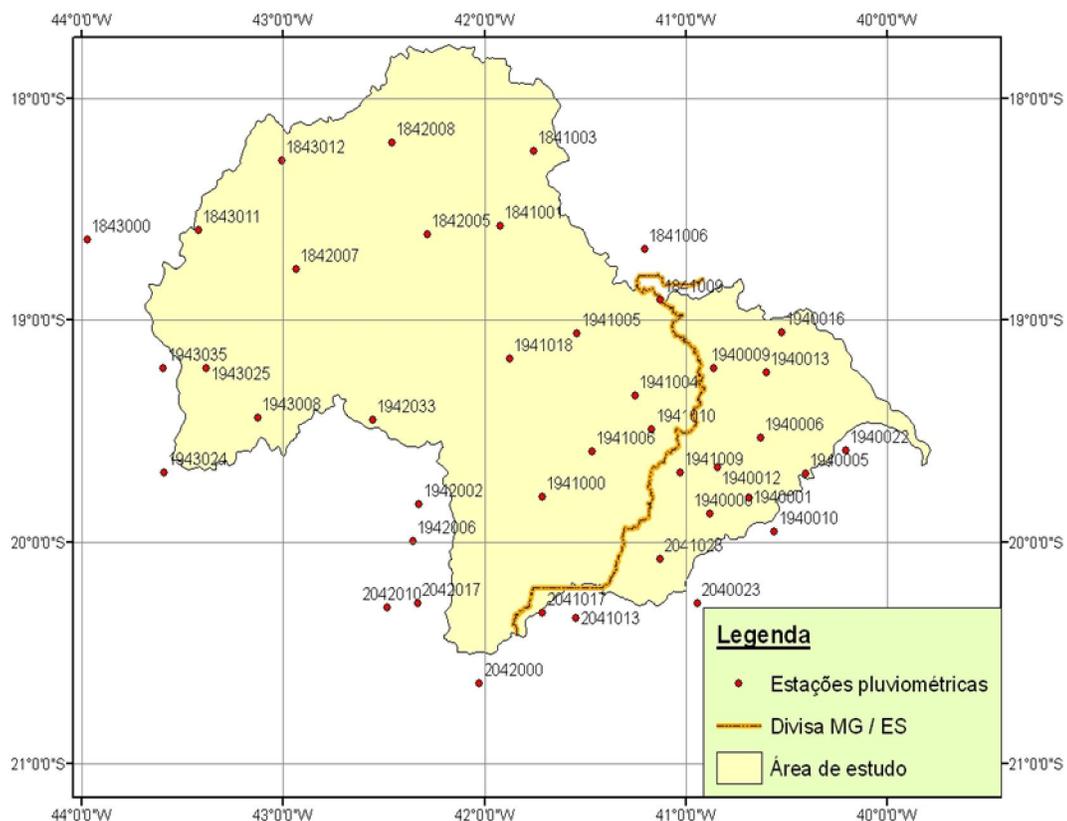


Figura 3.7 - Localização das estações pluviométricas utilizadas

3.2.1 As falhas em dados diários de precipitação

Quando há uma falha (ausência de dado diário de chuva) nos valores correspondentes à importação através do HIDRO 1.0.8, esse fato acarreta em um problema,

pois não se tem a certeza de qual a data e nem a magnitude da chuva máxima com duração de um dia de determinado ano.

O ano hidrológico de 1988/1989 apresentou falhas generalizadas em diversas estações, estas, de causas desconhecidas. Tomou-se a decisão de não utilizar este ano na análise, restando então 29 anos de dados disponíveis. Não foi encontrada nenhuma fonte bibliográfica que exemplificasse algum procedimento de preenchimento de falhas para dados diários de chuvas. Foi adotado um critério próprio na tentativa de melhor aproveitar as estações pluviométricas selecionadas e assim obter um volume maior de informações. O procedimento funciona assim:

Decisão I) Se a falha da estação ocorreu em mesmo dia da chuva máxima de duas estações vizinhas para a mesma data...Conclusão: **Exclui o período!**

Decisão II) Se a falha da estação ocorreu em data diferente das chuvas máximas de duas estações vizinhas...Conclusão: **Aceita o período!**

Através da Tabela 3.2 a seguir, pode ser observado que, mesmo havendo falhas, os valores de máximas anuais adotados neste estudo foram aqueles importados e disponíveis através do endereço eletrônico da ANA pelo HIDRO 1.0.8. Desta maneira, ignora-se a falha e aceita o valor máximo disponível como o correspondente daquele ano.

Tabela 3.2 - Estações pluviométricas que apresentaram falhas curtas

Estação	Código	Dia (s) em que ocorreu a (s) falha (s)	Data da chuva máxima (apenas estações vizinhas)	Total (mm)	CONCLUSÃO
Estação com falha	1942002	<i>28/2/1999</i>	-	-	
Estação vizinha 1	1942006	-	<i>20/11/1998</i>	90,2	Aceita
Estação vizinha 2	2042017	-	<i>3/3/1999</i>	74,0	
Estação com falha	1942006	<i>14/1/2004</i>	-	-	
Estação vizinha 1	1942002	-	<i>16/1/2004</i>	103,0	Aceita
Estação vizinha 2	2042017	-	<i>17/3/2004</i>	45,8	
Estação com falha	1842008	<i>27/10/87 à 29/10/87</i>	-	-	
Estação vizinha 1	1842004	-	<i>3/2/1988</i>	9,8	Aceita
Estação vizinha 2	1841003	-	<i>3/1/1988</i>	67,3	
Estação com falha	1943024	<i>20/10/99 à 22/10/99</i>	-	-	
Estação vizinha 1	2040008	-	<i>6/12/1999</i>	74,0	Aceita
Estação vizinha 2	1940000	-	<i>19/1/2000</i>	120,0	
Estação com falha	1841001	<i>31/10/1978</i>	-	-	
Estação vizinha 1	1841003	-	<i>16/3/1979</i>	125,2	Aceita
Estação vizinha 2	1842005	-	<i>6/3/1979</i>	149,8	
Estação com falha	1941009	<i>20/10/1984</i>	-	-	
Estação vizinha 1	1940000	-	<i>13/1/1985</i>	67,4	Aceita
Estação vizinha 2	1941012	-	<i>10/12/1984</i>	63,4	
Estação com falha	1941005	<i>a) 03/02/79 à 15/02/79; b) 21/02/79 à 2/02/79</i>	-	-	
Estação vizinha 1	1841009	-	<i>a) 16/10/1978; b) 16/10/1978</i>	103,6	Aceita
Estação vizinha 2	1941004	-	<i>a) 30/01/1979; b) 30/01/1979</i>	64,6	
Estação com falha	1842008	<i>15/11/1975 à 27/12/1975</i>	-	-	
Estação vizinha 1	1842004	-	<i>23/3/1976</i>	84,3	Aceita
Estação vizinha 2	1841003	-	<i>3/11/1975</i>	87,0	
Estação com falha	1940009	<i>a) 01/12/77 à 07/12/77; b) 20/12/77 à 29/12/77</i>	-	-	
Estação vizinha 1	1940000	-	<i>a) 30/03/1978; b) 30/03/1978</i>	61,6	Aceita
Estação vizinha 2	1940012	-	<i>a) 30/03/1978; b) 30/03/1978</i>	43,0	
Estação com falha	1841003	<i>a) 29/01/05 à 31/01/05; b) 01/03/05 à 31/03/05</i>	-	-	
Estação vizinha 1	1841001	-	<i>a) 28/03/2005; b) 28/03/2005</i>	76,0	Aceita
Estação vizinha 2	1841007	-	<i>a) 01/02/2005; b) 01/02/2005</i>	76,7	

3.2.2 Chuvas máximas diárias e chuvas máximas acumuladas

Na obtenção dos valores máximos diários e também das chuvas máximas acumuladas de 3 e 5 dias, foram empregados os softwares HIDRO 1.0.8 e o Microsoft Excel, respectivamente. Inicialmente importava-se um arquivo contendo os dados diários de chuvas de cada uma das estações apresentadas na tabela 3.1 e estes eram anexados ao HIDRO 1.0.8.; em seguida estes eram copiados e colados no Microsoft Excel, que, por sua vez, fazia a seleção dos valores máximos anuais contidos no período outubro a setembro do ano seguinte.

Os valores referentes aos máximos valores acumulados (3 e 5 dias) de determinado período hidrológico também foram selecionados através do Microsoft Excel. Para executar esta etapa foi criada uma macro no ambiente do software capaz de acumular as chuvas diárias e gerar um resultado contendo a altura máxima de chuva acumulada nos intervalos de tempo de 3 e 5 dias. Uma planilha independente recebia os dados diários de chuvas importados do HIDRO 1.0.8, uma segunda planilha gerava novas células contendo valores acumulados de 3 dias. E, por fim, uma terceira planilha gerava dados acumulados de chuvas de 5 dias. O Anexo 1 apresenta os valores obtidos das chuvas máximas para todas as estações e as três durações.

3.3 Análise de frequência de chuvas máximas

3.3.1 Estimativa de chuvas máximas prováveis

Para se obter o valor máximo de chuvas com a duração de 1, 3 e 5 dias para os tempos de recorrência de 5, 10, 25, 50, 75 e 100 anos foi utilizada a fórmula de Chow, apresentada pela equação 2.7, que faz uso do fator de frequência. Para os cálculos, foi utilizado o Microsoft Excel. Para a distribuição de Gumbel, o fator de frequência da fórmula de Chow é calculado em função dos tempos de recorrência aos quais se deseja realizar as estimativas. Já a distribuição Lognormal tem seu fator de frequência da fórmula de Chow obtido com o auxílio de uma tabela da distribuição Normal (Gauss), encontrada nas principais obras literárias relacionadas à Hidrologia (vide: HAAN, 1977; VIESSMAN JR. & LEWIS, 2002 e NAGHETTINI & PINTO, 2007). Na Tabela 3.3 são apresentados

valores da variável reduzida “z” em função de suas probabilidades acumuladas, daí, a partir desta é possível se obter estimativas de chuvas máximas em função de um dado valor desejado de tempo de recorrência. A chuva máxima calculada através da distribuição Lognormal é obtida através das equações 2.12 e 2.13, respectivamente.

Os fatores de frequência da distribuição de Gumbel (K_{Tr}) e também da distribuição Lognormal (z) utilizados nos cálculos de quantis de chuva são apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Fatores de frequência das distribuições e seus respectivos tempos de recorrência empregados

Distribuição Lognormal		Distribuição de Gumbel	
Tr (anos)	z	Tr (anos)	K_{Tr}
5	0,8418	5	0,7195
10	1,2817	10	1,3046
25	1,7511	25	2,0439
50	2,0540	50	2,5923
75	2,2175	75	2,9111
100	2,3267	100	3,1367

. O fator de frequência z da distribuição Lognormal foi obtido em função da frequência acumulada (de não excedência) da tabela da distribuição Normal. Já os valores do fator de frequência da distribuição de Gumbel foram calculados em função do tempo de recorrência segundo a equação 2.8.

3.3.2 Qualidade dos ajustes estatísticos

Uma vez estimados os valores máximos de chuva para diferentes durações e tempos de recorrência foram realizados procedimentos para atestar o ajuste das amostras. Foi empregado o teste estatístico de aderência de Kolmogorov-Smirnov a um nível de significância de 5%. Também foram realizados ajustes gráficos em papéis de probabilidade para as respectivas distribuições (Gumbel e Lognormal). O teste é descrito detalhadamente na seção 2.3.4.

O teste de Kolmogorov-Smirnov foi realizado com o software Microsoft Excel. Os valores críticos do teste para diferentes níveis de significância e tamanho da amostra são apresentados a seguir na Tabela 3.4:

Tabela 3.4 - Valores críticos do teste de Kolmogorov-Smirnov (extraído de NAGHETTINI & PINTO, 2007)

<i>Tamanho da amostra (n)</i>	<i>Nível de significância</i>			
	<i>20%</i>	<i>10%</i>	<i>5%</i>	<i>1%</i>
10	0,322	0,368	0,409	0,486
15	0,266	0,304	0,338	0,404
19	0,237	0,272	0,301	0,361
20	0,231	0,264	0,294	0,352
25	0,21	0,24	0,264	0,320
30	0,19	0,22	0,242	0,29
35	0,18	0,21	0,23	0,27
<i>Amostras com n > 35</i>	$1,07/\sqrt{n}$	$1,22/\sqrt{n}$	$1,36/\sqrt{n}$	$1,63/\sqrt{n}$

Neste trabalho, os valores críticos do teste de Kolmogorov-Smirnov empregados para se testar os ajustes estatísticos foram: 0,246; 0,282 e 0,288 para amostras com tamanhos 29, 22 e 21 dados, respectivamente.

A Tabelas 3.5 e 3.6 a seguir exemplificam a maneira como foi analisada a qualidade do ajuste estatístico para as distribuições Lognormal e Gumbel, respectivamente, a um nível de significância de 5%:

Tabela 3.5 - Teste de aderência da distribuição Lognormal para a estação 1942002

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
<i>Ordem (m)</i>	<i>X (mm)</i>	<i>Log X</i>	<i>F_{emp}</i>	<i>z</i>	<i>F_{teo}</i>	<i>/ F_{calc}</i>
1	150,3	2,17695898	0,9667	1,958	0,9750	0,00833
2	136,0	2,13353891	0,9333	1,64	0,9495	0,01617
3	120,2	2,07990447	0,9000	1,247	0,8944	0,0056
4	119,0	2,07554696	0,8667	1,215	0,8869	0,02023
5	115,9	2,06408344	0,8333	1,131	0,8708	0,03747
6	111,0	2,04532298	0,8000	0,993	0,8389	0,0389
7	109,5	2,03941412	0,7667	0,95	0,8289	0,06223
8	109,0	2,0374265	0,7333	0,935	0,8264	0,09307
9	103,0	2,01283722	0,7000	0,755	0,7764	0,0764
10	100,8	2,00346053	0,6667	0,686	0,7549	0,08823
11	90,1	1,95472479	0,6333	0,329	0,6293	0,00403
12	85,5	1,93196611	0,6000	0,162	0,5636	0,0364
13	84,2	1,92531209	0,5667	0,114	0,5438	0,02287
14	81,5	1,91115761	0,5333	0,01	0,504	0,02933
15	80,3	1,90471555	0,5000	-0,04	0,484	0,016
16	78,0	1,8920946	0,4667	-0,13	0,4483	0,01837
17	78,0	1,8920946	0,4333	-0,13	0,4483	0,01497
18	74,4	1,87157294	0,4000	-0,28	0,3897	0,0103
19	67,5	1,82930377	0,3667	-0,59	0,2776	0,08907
20	65,0	1,81291336	0,3333	-0,71	0,2389	0,09443
21	62,3	1,79448805	0,3000	-0,85	0,1977	0,1023
22	62,3	1,79448805	0,2667	-0,85	0,1977	0,06897
23	61,4	1,78816837	0,2333	-0,89	0,1867	0,04663
24	60,0	1,77815125	0,2000	-0,97	0,166	0,034
25	56,6	1,75281643	0,1667	-1,15	0,126	0,04067
26	56,1	1,74896286	0,1333	-1,18	0,119	0,01433
27	53,0	1,72427587	0,1000	-1,36	0,0869	0,0131
28	51,3	1,71011737	0,0667	-1,46	0,0721	0,00543
29	50,0	1,69897	0,0333	-1,55	0,0606	0,02727
Média	85,2	1,9098				
Desvio Padrão	27,3	0,1364				

A coluna (a) é a ordem de classificação das chuvas máximas anuais verificadas naquela estação. Na coluna (b) são ordenados de forma decrescente os valores máximos de chuva segundo sua magnitude. A coluna (c) são os logaritmos da coluna (b). A coluna (d) é onde é realizado o cálculo da frequência empírica das chuvas, conforme equação 2.1. A coluna (e) indica o cálculo da variável reduzida z, utilizando a equação 2.13. A coluna (f) é a frequência estabelecida pela tabela da distribuição Normal para a variável reduzida (frequência teórica) da coluna (e). A coluna (g) é a diferença absoluta entre as frequências

empírica e teórica. Quando $|F|$ for maior que o valor crítico estabelecido pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, não haverá confiabilidade no ajuste realizado e suas respectivas estimativas bem como as extrapolações.

Será apresentado a seguir um exemplo de como se realizou o teste de Kolmogorov-Smirnov para os ajustes da distribuição de Gumbel:

Tabela 3.6 - Teste de aderência da distribuição de Gumbel para a estação 1942002

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
<i>Ordem (m)</i>	<i>X (mm)</i>	<i>F_{emp}</i>	<i>K_{Tk}</i>	<i>F_{teo}</i>	<i>/ F_{calc}</i>
1	150,3	0,0333	2,384	0,0261	0,0073
2	136,0	0,0667	1,86	0,0504	0,0163
3	120,2	0,1	1,281	0,1030	0,0030
4	119,0	0,1333	1,237	0,1086	0,0247
5	115,9	0,1667	1,123	0,1245	0,0422
6	111,0	0,2	0,944	0,1541	0,0459
7	109,5	0,2333	0,889	0,1644	0,0689
8	109,0	0,2667	0,87	0,1680	0,0987
9	103,0	0,3	0,65	0,2164	0,0836
10	100,8	0,3333	0,57	0,2369	0,0964
11	90,1	0,3667	0,178	0,3605	0,0062
12	85,5	0,4	0,009	0,4259	0,0259
13	84,2	0,4333	-0,04	0,4456	0,0123
14	81,5	0,4667	-0,14	0,4881	0,0214
15	80,3	0,5	-0,18	0,5076	0,0076
16	78,0	0,5333	-0,27	0,5459	0,0125
17	78,0	0,5667	-0,27	0,5459	0,0208
18	74,4	0,6	-0,4	0,6074	0,0074
19	67,5	0,6333	-0,65	0,7255	0,0922
20	65,0	0,6667	-0,74	0,7664	0,0997
21	62,3	0,7	-0,84	0,8081	0,1081
22	62,3	0,7333	-0,84	0,8081	0,0748
23	61,4	0,7667	-0,87	0,8213	0,0546
24	60,0	0,8	-0,93	0,8411	0,0411
25	56,6	0,8333	-1,05	0,8844	0,0511
26	56,1	0,8667	-1,07	0,8902	0,0235
27	53,0	0,9	-1,18	0,9224	0,0224
28	51,3	0,9333	-1,24	0,9372	0,0039
29	50,0	0,9667	-1,29	0,9473	0,0194

Média	85,2
Desvio Padrão	27,3

Com relação à tabela anterior, a coluna (a) é a ordem de classificação dos eventos de chuva máximos anuais verificados naquela estação. A coluna (b) apresenta os valores máximos anuais de chuvas ordenados segundo sua magnitude em ordem decrescente. A coluna (c) é onde se realiza o cálculo da frequência empírica das chuvas, conforme equação 2.3. A coluna (d) é o fator de frequência da distribuição de Gumbel, dado pela equação 2.8. Na coluna (d) são estabelecidos valores de frequência teórica de acordo com o fator de frequência de Gumbel, conforme a equação 2.9. A coluna (f) é a diferença absoluta entre as frequências empírica e teórica. Quando $|F|$ for maior que o valor crítico estabelecido pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, não haverá confiabilidade no ajuste realizado e em suas respectivas estimativas, bem como as extrapolações.

Também foram realizados ajustes gráficos em papéis de probabilidade das distribuições Gumbel e Lognormal para que os valores amostrais fossem avaliados visualmente. Para a sua elaboração, foi utilizada uma versão gratuita do software MINITAB 15, o qual possui uma saída gráfica para plotar os papéis de probabilidade conforme a distribuição desejada. As figuras 3.8 e 3.9 a seguir apresentam exemplos gráficos construídos a partir de dados amostrais nesse software.

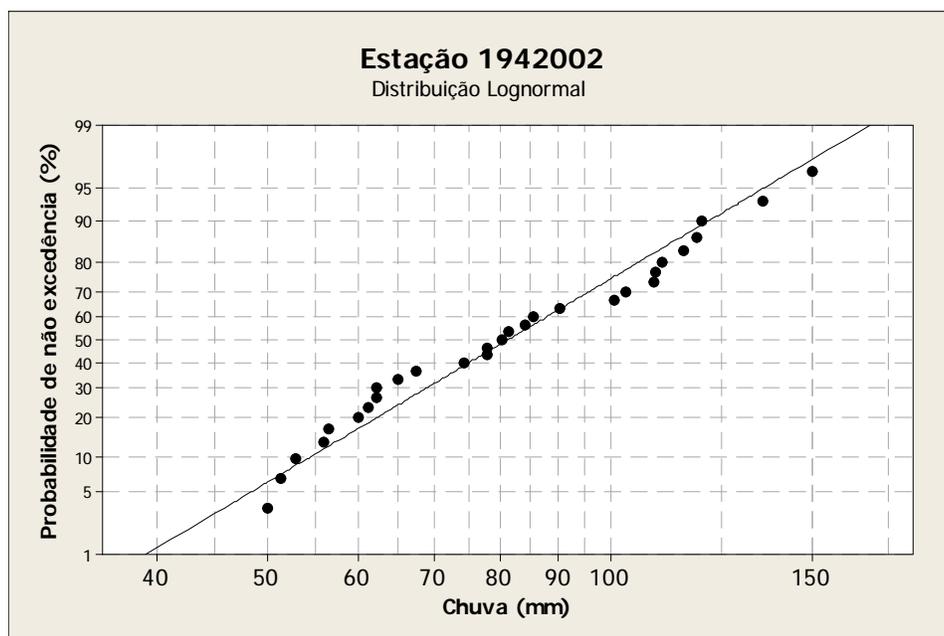


Figura 3.8 - Ajuste estatístico dos valores máximos diários da estação 1942002 segundo a distribuição Lognormal

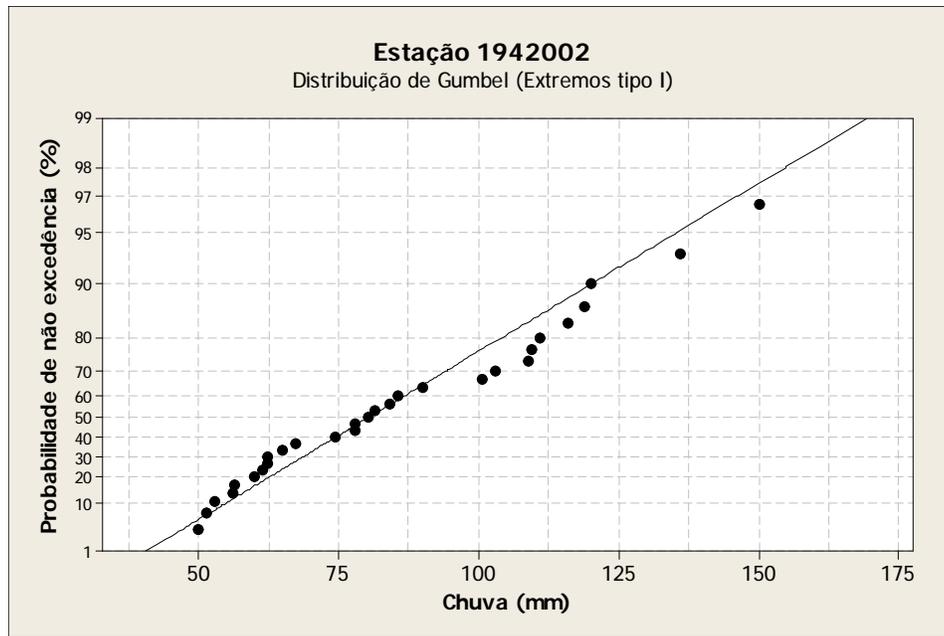


Figura 3.9 - Ajuste estatístico dos valores máximos diários da estação 1942002 segundo a distribuição de Gumbel (Extremos tipo I)

Foi possível através das Figuras 3.8 e 3.9, avaliar graficamente o comportamento dos valores da amostra em cada estação e posteriormente, concluir se estes seguem as distribuições Lognormal ou de Gumbel observando a aderência (ou não) dos pontos à reta. O Anexo 2 apresenta todos os gráficos que permitem avaliar a aderência dos dados de chuvas às distribuições de probabilidade Lognormal e de Gumbel.

3.3.3 Teste de hipóteses não paramétricos

Os testes de hipóteses realizados neste trabalho foram aqueles responsáveis por avaliar a independência, a homogeneidade e a estacionariedade das amostras tomadas como referências para se estimar chuvas máximas em diferentes tempos de recorrência a um nível de significância de 5%. Segundo NAGHETTINI & PINTO (2007) o valor crítico para os testes de hipóteses não paramétricos aqui empregados quando se deseja analisar com 5% de significância é o valor absoluto equivalente a 1,96.

Para testar a hipótese de independência foi utilizado o teste não paramétrico de Wald-Wolfwitz, conforme item 2.3.3a. Foi adotada uma planilha com os dados amostrais dispostos da maneira apresentada na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 - Teste de independência de Wald-Wolfwitz com chuva de duração de um dia para a estação 1942002

<i>Chuva (mm)</i>	X'_i	$X'_i * X'_{i+1}$	$(X'_i)^2$	$(X'_i)^4$		
56,1	-29,1483	695,1361	849,622	721857,52	w	1245,922
61,4	-23,8483	809,6078	568,7403	323465,49	s_2	20855,89
51,3	-33,9483	-527,954	1152,485	1328222,7	s_4	36397855
100,8	15,55172	-112,723	241,8561	58494,385	$E[R]$	-744,853
78,0	-7,24828	233,7444	52,5375	2760,1892	$Var[R]$	14158915
53,0	-32,2483	-988,465	1039,951	1081498,7		
115,9	30,65172	-773,903	939,5282	882713,22	$/T_w/$	0,529063
60,0	-25,2483	448,1134	637,4754	406374,93		
67,5	-17,7483	128,6444	315,0013	99225,817		
78,0	-7,24828	255,4892	52,5375	2760,1892		
50,0	-35,2483	-1189,69	1242,441	1543659,5		
119,0	33,75172	1712,958	1139,179	1297728,5		
136,0	50,75172	1306,944	2575,738	6634423,7		
111,0	25,75172	-127,427	663,1513	439769,64		
80,3	-4,94828	18,5475	24,48543	599,53648		
81,5	-3,74828	86,01647	14,04957	197,39047		
62,3	-22,9483	248,9492	526,6234	277332,17		
74,4	-10,8483	-379,166	117,6851	13849,78		
120,2	34,95172	-1001,31	1221,623	1492362,8		
56,6	-28,6483	-7,21146	820,7237	673587,41		
85,5	0,251724	-5,09698	0,063365	0,0040151		
65,0	-20,2483	464,663	409,9927	168093,99		
62,3	-22,9483	-1492,82	526,6234	277332,17		
150,3	65,05172	315,613	4231,727	17907512		
90,1	4,851724	117,6627	23,53923	554,09521		
109,5	24,25172	576,0203	588,1461	345915,86		
109,0	23,75172	421,6341	564,1444	318258,9		
103,0	17,75172	-18,6087	315,1237	99302,953		
84,2	-1,04828	-	1,098882	1,2075423		
Soma	-	1215,367	20855,89	36397855		
Média	85,24828	-	-	-		

Na tabela anterior à esquerda, a primeira coluna contém os valores de chuvas medidos segundo sua ordem cronológica. A segunda coluna indica a diferença entre o valor amostral de determinado ano e a média dos valores. Na terceira coluna, o valor amostral de determinado ano é multiplicado pelo valor amostral do ano seguinte. A quarta coluna é o quadrado da segunda coluna e a quinta coluna indica a quarta potência da segunda coluna. Daí em diante, os valores w , s_2 e s_4 (na tabela auxiliar à direita) poderão ser obtidos

segundo as equações 2.14 e 2.18. Por fim, o valor $|T_w|$ que avalia a hipótese de independência foi testado. Caso $|T_w|$ seja maior que 1,96, a hipótese de independência não é aceita, caso contrário, aceita-se a hipótese de independência.

O teste de hipótese de homogeneidade adotado foi o de Mann-Whitney, descrito no item 2.3.3b. Os dados são dispostos como mostra a Tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Teste de homogeneidade de Mann-Whitney com chuva de duração de um dia para a estação 1942002

N		Chuva (mm)	Ranking		
<i>1</i>	Sub-amostra N1	56,1	11	V1	129
<i>2</i>		61,4	12	V2	81
<i>3</i>		51,3	1	R ₁	186
<i>4</i>		100,8	25	V (mínimo)	81
<i>5</i>		78,0	15	E[V]	105
<i>6</i>		53,0	9	Var[V]	525
<i>7</i>		115,9	23		
<i>8</i>		60,0	16	$ T_h $	1,0474
<i>9</i>		67,5	6		
<i>10</i>		78,0	7		
<i>11</i>		50,0	3		
<i>12</i>		119,0	17		
<i>13</i>		136,0	20		
<i>14</i>		111,0	21		
<i>1</i>	Sub-amostra N2	80,3	27		
<i>2</i>		81,5	19		
<i>3</i>		62,3	13		
<i>4</i>		74,4	10		
<i>5</i>		120,2	24		
<i>6</i>		56,6	5		
<i>7</i>		85,5	26		
<i>8</i>		65,0	8		
<i>9</i>		62,3	18		
<i>10</i>		150,3	2		
<i>11</i>		90,1	29		
<i>12</i>		109,5	22		
<i>13</i>		109,0	28		
<i>14</i>		103,0	14		
<i>15</i>		84,2	4		

Na realização do teste, a amostra com 29 dados foi subdividida em duas, sendo a primeira menor que a segunda, sendo respeitada a ordem cronológica dos eventos. Em seguida, numa terceira coluna, os valores de chuva foram rankeados conforme a sua ordem cronológica. Os valores V_1 e V_2 foram calculados de acordo com o ranking feito anteriormente e a partir das equações 2.19 e 2.20. Também calculou-se a soma R_1 dos valores do ranking da sub-amostra N_1 . Daí foi possível calcular $E[V]$ e $Var[V]$ conforme as equações 2.22 e 2.23. Por fim, calculou-se o valor crítico para analisar a hipótese de homogeneidade a partir dos valores $E[V]$, $Var[V]$ e o menor valor entre V_1 e V_2 ($V_{\text{mínimo}}$). Caso $|T_h|$ fosse maior que 1,96, rejeitar-se-ia a hipótese de homogeneidade e caso contrário a hipótese seria aceita.

Para avaliar a hipótese de estacionariedade foi empregado o teste de Spearman como informa o item 2.3.3c. A Tabela 3.9 ilustra os dados usados no teste descrito.

Tabela 3.9 - Teste de estacionariedade de Spearman com chuva de duração de um dia para a estação 1942006

<i>Ordem (m)</i>	<i>Ranking</i>	<i>Chuva (mm)</i>	<i>N²</i>	<i>r_s</i>	0,1759
1	11	80,2	100	<i> T_s </i>	0,9080
2	12	80,4	100		
3	1	55,1	4		
4	25	119,3	441		
5	15	85,1	100		
6	9	78,4	9		
7	23	105,3	256		
8	16	85,4	64		
9	6	72,3	9		
10	7	75,3	9		
11	3	59,2	64		
12	17	89	25		
13	20	95	49		
14	21	100	49		
15	27	146,2	144		
16	19	92	9		
17	13	81,4	16		
18	10	79	64		
19	24	112,4	25		
20	5	70,2	225		
21	26	127,2	25		
22	8	77,8	196		
23	18	90,2	25		
24	2	55,9	484		
25	29	190,8	16		
26	22	104,2	16		
27	28	150	1		
28	14	85	196		
29	4	66,8	625		
(Soma)	x	x	x		3346

Os dados de chuva da terceira coluna foram dispostos segundo sua ordem cronológica (primeira coluna), em seguida foi elaborado um ranking conforme a magnitude das chuvas. A quarta coluna (N^2) é a diferença quadrática entre a ordem (m) e o valor descrito no ranking para cada chuva. Os valores r_s e $|T_s|$ foram obtidos segundo as equações 2.24 e 2.25, respectivamente. Caso $|T_s|$ fosse maior que 1,96, a hipótese de estacionariedade seria rejeitada. Caso contrário, seria aceita a um nível de significância de 5%. O Anexo 3

apresenta todos os testes de hipóteses não paramétricos apresentados neste trabalho para as amostras contendo chuvas de um, três e cinco dias de duração.

3.3.4 Análise espacial (Geoestatística)

A partir dos valores de chuva máximas prováveis gerados pelas distribuições Gumbel e Lognormal para as 41 estações pluviométricas, devidamente georreferenciadas, utilizou-se o pacote computacional GeoR (R, 2008) através do software R versão 2.7.1 na análise geoestatística dos dados e na espacialização dos valores estimados.

O GeoR requer que todos os dados estimados de chuvas estejam salvos em arquivos do tipo texto (.txt) e além disso, que constem as coordenadas das estações pluviométricas para as quais devidos valores de chuva foram estimados. Optou-se por empregar coordenadas do tipo “Albers cônica de igual área” nesse estudo, pois esta facilita sua manipulação no ambiente do software. Esse sistema de coordenadas adota o sistema métrico como unidade de medida.

Inicialmente foram gerados os semivariogramas dos dados estimados de chuvas máximas em diferentes tempos de retorno pelas distribuições Gumbel e Lognormal para as três durações (1, 3 e 5 dias). A seguir é apresentado um exemplo de como o pacote GeoR retorna um semivariograma experimental:

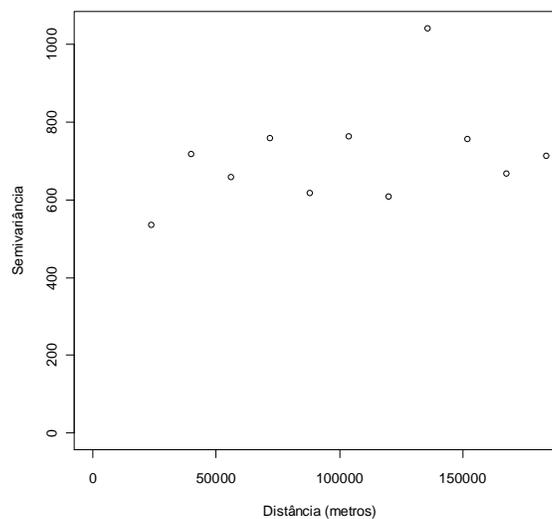


Figura 3.10: Semivariograma experimental de chuvas acumuladas de cinco dias para um tempo de recorrência de 25 anos segundo a distribuição Lognormal

Os semivariogramas experimentais foram modelados segundo os modelos exponencial, esférico e gaussiano. Para se estimar os parâmetros destes modelos, utilizou-se o método dos mínimos quadrados ponderados e o método da máxima verossimilhança. De acordo com OLIVEIRA (2003), o método de estimação da máxima verossimilhança só poderá ser utilizado quando a amostra possuir comportamento gaussiano (hipótese de normalidade). A Figura 3.11 a seguir apresenta um exemplo de modelos teóricos de semivariogramas, ajustados pelos dois métodos:

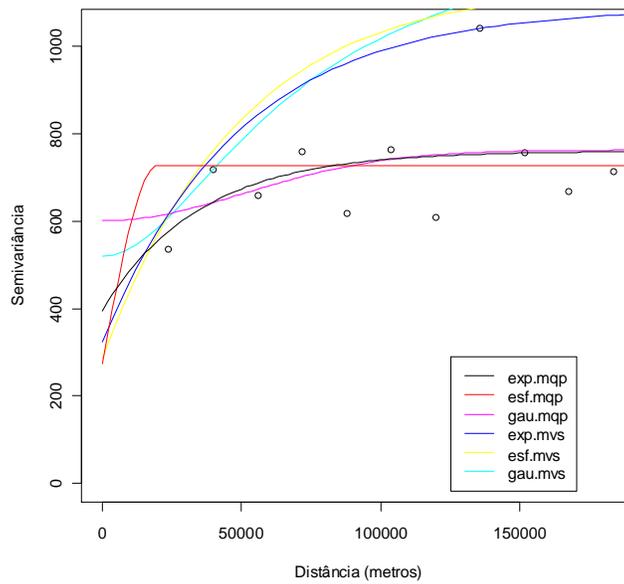


Figura 3.11 - Modelos teóricos de semivariograma para chuvas acumuladas de cinco dias para um tempo de recorrência de 25 anos segundo a distribuição Lognormal

Na Tabela 3.10 constam a legenda empregada neste trabalho dos semivariogramas teóricos modelados pelo software Geor.

Tabela 3.10 - Significado das abreviaturas dispostas na legenda dos modelos teóricos de semivariogramas

<i>Abreviatura</i>	<i>Modelo teórico de semivariograma</i>	<i>Forma de estimação de parâmetros do modelo</i>
exp.mqp	Exponencial	Mínimos quadrados ponderados
esf.mqp	Esférico	Mínimos quadrados ponderados
gau.mqp	Gaussiano	Mínimos quadrados ponderados
exp.mvs	Exponencial	Máxima verossimilhança
esf.mvs	Esférico	Máxima verossimilhança
gau.mvs	Gaussiano	Máxima verossimilhança

O GeoR requer que sejam atribuídos parâmetros de entrada para se estimar ajustes no semivariograma experimental, sendo estes parâmetros: efeito pepita (C_0), patamar (C_0+C_1) e o alcance do semivariograma (A). Daí, com os valores de entrada arbitrados o software estima novos parâmetros iterativamente. Nos ajustes realizados na Figura 3.11, é possível se avaliar visualmente a qualidade dos modelos exponencial, esférico e gaussiano ajustados pelo método dos mínimos quadrados ponderados (MQP) e por máxima verossimilhança (MVS). Além do resultado gráfico, o GeoR fornece também o resultado numérico dos parâmetros estimados, de onde se pode quantificar o grau de dependência espacial.

A partir dos modelos teóricos de semivariograma realiza-se a validação cruzada dos modelos empregados na análise. O GeoR retorna valores decorrentes da validação cruzada que permitem ao usuário verificar a qualidade dos modelos caso fosse realizada a espacialização dos dados. Na modelagem do semivariograma da Figura 3.11, o erro médio absoluto máximo observado quando se realizou a validação cruzada foi o do modelo esf.mvs (24,05mm) e o mínimo foi para o modelo esf.mqp (22,57mm).

A última parte do trabalho é a espacialização, ou seja, a krigagem dos valores preditos de chuvas diárias e chuvas acumuladas em 3 e 5 dias. Como requisito desta etapa deve-se analisar a robustez dos semivariogramas ajustados para selecionar o melhor modelo teórico capaz de representar a espacialização dos dados consistentemente. A seguir, a Figura 3.12 apresenta um exemplo do mapa de variabilidade espacial de chuvas para o semivariograma demonstrado através da Figura 3.12.

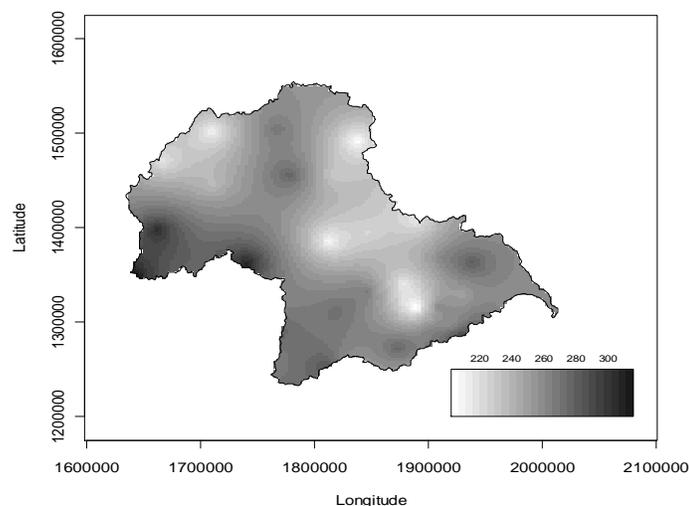


Figura 3.12 - Variabilidade espacial de chuvas com duração de 5 dias com tempo de recorrência de 25 anos segundo o modelo esf.mqp

4 Resultados e Discussão

4.1 Chuvas máximas observadas nas estações pluviométricas

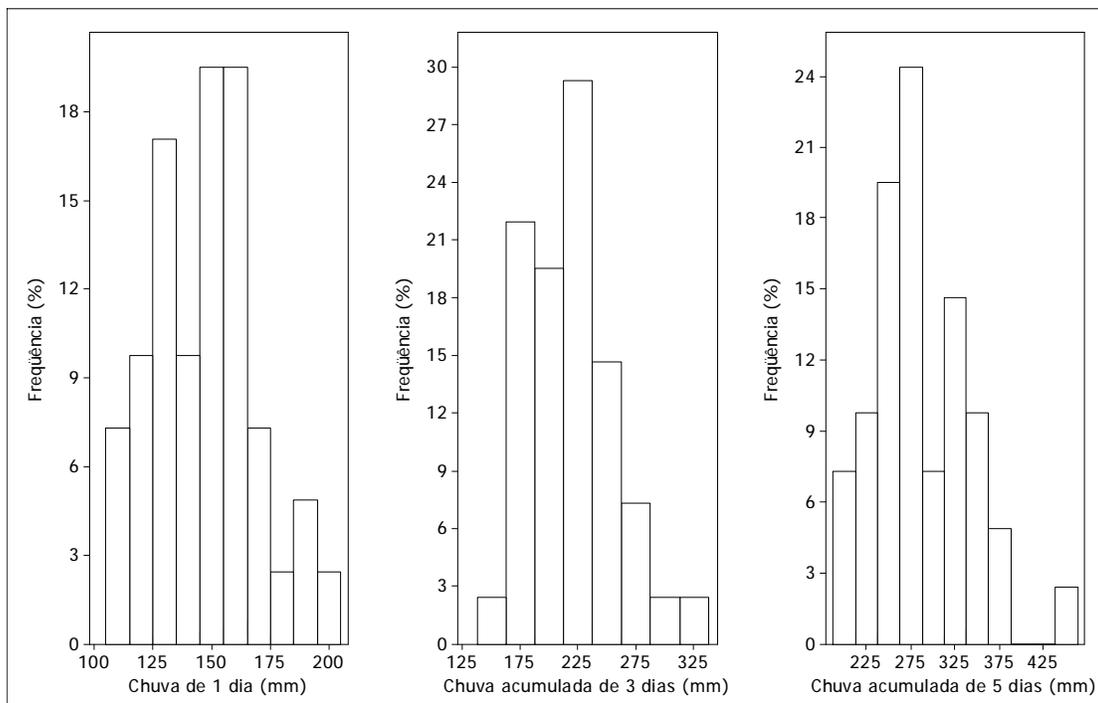
A Tabela 4.1 a seguir apresenta uma parte dos dados correspondentes às chuvas de maiores magnitudes observadas em algumas das estações empregadas neste estudo.

Tabela 4.1 - Chuvas máximas com duração de um dia (parcial)

Ano	Estações Pluviométricas - código									
	1841001	1841003	1841006	1841009	1842005	1842007	1842008	1843000	1940000	1940001
75/76	97,2	87,0	73,2	168,0	84,3	61,0	41,2	48,6	77,2	63,1
76/77	70,2	82,4	85,2	103,6	76,4	89,6	43,9	94,4	84,2	88,2
77/78	100,0	73,8	66,1	100,0	85,4	75,8	81,4	62,6	61,6	55,8
78/79	90,0	125,2	60,0	99,0	149,8	74,6	100,4	124,2	91,2	95,2
79/80	91,0	112,0	93,1	98,0	72,6	94,8	80,2	162,8	117,4	100,4
80/81	111,4	89,3	65,7	93,4	116,6	102,8	78,4	79,0	103,6	158,0
81/82	110,8	53,2	75,5	86,0	112,4	89,4	118,2	85,2	135,4	125,2
82/83	114,4	74,2	42,4	85,8	110,8	55,2	118,4	78,4	62,2	75,2
83/84	80,1	62,0	69,3	83,8	127,6	97,0	50,0	91,0	79,4	92,3
84/85	136,2	52,0	95,3	82,0	103,0	65,0	75,0	96,6	67,4	133,0
85/86	108,0	52,2	123,2	81,0	90,8	59,4	75,0	72,2	69,8	60,0
86/87	41,8	89,7	44,2	80,0	63,4	66,0	110,2	64,6	136,6	87,0
87/88	63,6	101,2	62,4	79,0	114,6	64,0	75,0	65,6	50,4	94,0
88/89	61,6	50,8	45,3	76,0	80,2	134,2	75,0	56,2	82,8	60,0
90/91	111,6	105,0	76,2	73,0	77,6	95,0	100,0	80,6	60,6	70,0
91/92	93,2	86,2	62,3	72,6	74,5	68,2	100,1	75,4	68,9	52,0
92/93	93,2	83,4	79,0	72,0	104,1	62,4	60,0	107,6	61,1	51,6
93/94	99,8	76,4	68,5	68,6	104,4	76,7	76,6	80,6	116,5	90,2
94/95	100,0	72,4	90,2	67,5	125,0	55,2	44,5	50,4	68,2	108,0
95/96	87,0	56,8	80,4	66,2	61,4	105,0	80,4	38,5	102,2	65,4
96/97	57,3	86,4	85,4	61,6	86,4	82,2	50,4	127,4	94,0	124,4
97/98	97,4	80,6	56,3	61,3	41,3	72,6	59,4	53,5	54,8	74,2
98/99	60,6	85,9	77,4	61,2	73,0	77,8	40,6	68,9	51,1	70,3
99/00	69,8	59,2	76,1	60,4	74,4	98,8	56,1	30,1	120,0	99,3
00/01	47,0	77,3	41,4	56,9	60,4	78,1	39,6	52,3	150,1	143,6
01/02	98,6	91,6	55,4	55,0	143,2	91,4	88,8	58,9	95,2	74,8
02/03	166,6	54,6	92,3	55,0	57,4	96,5	62,7	60,6	59,6	61,0
03/04	80,0	47,8	127,5	53,0	105,0	92,0	97,4	78,3	60,6	56,2
04/05	76,0	119,3	79,2	45,2	126,4	119,0	50,0	120,0	99,3	105,5

Todos os valores máximos observados e extraídos dentre todos os dados disponíveis no período analisado se encontram no Anexo 1 deste trabalho.

As Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 a seguir apresentam histogramas de frequências relativas dos valores máximos encontrados nas estações pluviométricas para chuvas diárias e acumuladas em três e cinco dias, respectivamente.



Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 - Histogramas de frequência para chuvas máximas

4.2 Chuvas máximas prováveis

A partir da fórmula de Chow foi possível determinar os quantis de chuvas máximas para os diversos tempos de recorrência. Os valores estatísticos amostrais empregados nas estimativas (média e desvio padrão) observados para as chuvas de um, três e cinco dias estão resumidas nas Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4 a seguir.

Tabela 4.2 – Média e desvio padrão para chuvas máximas de 1 dia de duração

Estação	1841001	1841003	1841006	1841009	1842005	1842007	1842008	1843000	1940000	1940001	1940005
<i>Média (mm)</i>	90,2	78,9	74,1	77,4	93,2	82,7	73,4	78,1	85,6	87,4	101,6
<i>Desvio Padrão (mm)</i>	26,4	21,0	20,8	23,4	27,1	19,3	23,9	29,2	27,8	28,7	39,2
<i>Média dos logaritmos (mm)</i>	1,9363	1,8819	1,8533	1,8731	1,9507	1,9066	1,8426	1,8645	1,9113	1,9200	1,9768
<i>Desvio Padrão dos logaritmos (mm)</i>	0,1324	0,1176	0,1227	0,1148	0,1321	0,0996	0,1463	0,1599	0,1362	0,1375	0,1646
Estação	1940006	1940009	1940010	1940012	1940013	1940016	1940022	1941000	1941004	1941005	
<i>Média (mm)</i>	79,8	82,9	98,0	90,6	85,6	95,6	80,0	86,2	86,6	82,1	
<i>Desvio Padrão (mm)</i>	23,0	29,9	28,5	24,1	23,9	35,1	21,7	24,6	27,8	26,6	
<i>Média dos logaritmos</i>	1,8841	1,8909	1,9731	1,9421	1,9153	1,9514	1,8872	1,9199	1,9176	1,8931	
<i>Desvio Padrão dos logaritmos</i>	0,1272	0,1598	0,1282	0,1163	0,1262	0,1657	0,1204	0,1152	0,1311	0,1388	
Estação	1941006	1941009	1941010	1942002	1942006	1943008	1943024	1943025	1943035	2040023	
<i>Média (mm)</i>	85,7	70,3	81,8	85,2	93,4	81,1	91,1	97,5	90,4	63,9	
<i>Desvio Padrão (mm)</i>	26,2	19,4	26,9	27,3	30,1	26,1	22,2	22,8	24,6	24,0	
<i>Média dos logaritmos</i>	1,9155	1,8309	1,8926	1,9098	1,9518	1,8871	1,9455	1,9772	1,9415	1,7742	
<i>Desvio Padrão dos logaritmos</i>	0,1235	0,1217	0,1318	0,1364	0,1257	0,1438	0,1147	0,1040	0,1137	0,1747	
Estação	2041013	2041017	2041023	2042000	2042010	2042017	1843011	1843012	1941018	1942033	
<i>Média (mm)</i>	76,7	86,5	83,6	71,1	79,5	76,0	73,1	75,4	77,3	114,7	
<i>Desvio Padrão (mm)</i>	26,5	22,1	25,4	18,9	15,6	22,6	21,2	17,9	24,4	28,6	
<i>Média dos logaritmos</i>	1,8599	1,9247	1,9017	1,8368	1,8920	1,8630	1,8460	1,8654	1,8702	2,0472	
<i>Desvio Padrão dos logaritmos</i>	0,1520	0,1033	0,1378	0,1178	0,0889	0,1279	0,1301	0,1034	0,1254	0,1055	

Tabela 4.3 – Média e desvio padrão para chuvas máximas de 3 dias de duração

<i>Estação</i>	<i>1841001</i>	<i>1841003</i>	<i>1841006</i>	<i>1841009</i>	<i>1842005</i>	<i>1842007</i>	<i>1842008</i>	<i>1843000</i>	<i>1940000</i>	<i>1940001</i>	<i>1940005</i>
<i>Média (mm)</i>	112,6	117,4	110,7	119,9	136,7	128,0	125,2	125,2	129,4	128,3	147,4
<i>Desvio Padrão (mm)</i>	29,0	25,8	35,9	29,0	32,0	26,0	37,6	44,2	37,0	37,0	41,3
<i>Média dos logaritmos</i>	2,0383	2,0594	2,0262	2,0665	2,1242	2,0984	2,0793	2,0732	2,0932	2,0911	2,1523
<i>Desvio Padrão dos logaritmos</i>	0,1091	0,0958	0,1216	0,1057	0,1018	0,0906	0,1278	0,1459	0,1329	0,1244	0,1215

<i>Estação</i>	<i>1940006</i>	<i>1940009</i>	<i>1940010</i>	<i>1940012</i>	<i>1940013</i>	<i>1940016</i>	<i>1940022</i>	<i>1941000</i>	<i>1941004</i>	<i>1941005</i>
<i>Média (mm)</i>	116,8	129,5	150,7	131,4	140,2	139,1	119,5	131,4	122,2	123,7
<i>Desvio Padrão (mm)</i>	34,2	40,5	47,5	39,1	44,6	37,7	34,8	41,8	37,9	29,6
<i>Média dos logaritmos</i>	2,0494	2,0911	2,1580	2,1011	2,1257	2,1257	2,0603	2,0989	2,0676	2,0789
<i>Desvio Padrão dos logaritmos</i>	0,1285	0,1415	0,1344	0,1237	0,1388	0,1303	0,1241	0,1321	0,1316	0,1144

<i>Estação</i>	<i>1941006</i>	<i>1941009</i>	<i>1941010</i>	<i>1942002</i>	<i>1942006</i>	<i>1943008</i>	<i>1943024</i>	<i>1943025</i>	<i>1943035</i>	<i>2040023</i>
<i>Média (mm)</i>	123,6	102,2	119,0	124,9	137,4	131,6	153,3	170,8	148,9	100,1
<i>Desvio Padrão (mm)</i>	40,6	23,2	28,8	29,2	46,9	41,8	44,8	50,9	39,2	34,4
<i>Média dos logaritmos</i>	2,0715	1,9995	2,0633	2,0848	2,1142	2,0964	2,1651	2,2152	2,1592	1,9750
<i>Desvio Padrão dos logaritmos</i>	0,1338	0,0920	0,1054	0,1041	0,1467	0,1474	0,1410	0,1232	0,1102	0,1536

<i>Estação</i>	<i>2041013</i>	<i>2041017</i>	<i>2041023</i>	<i>2042000</i>	<i>2042010</i>	<i>2042017</i>	<i>1843011</i>	<i>1843012</i>	<i>1941018</i>	<i>1942033</i>
<i>Média (mm)</i>	114,7	146,7	133,3	122,6	129,7	126,6	122,5	118,4	118,0	148,4
<i>Desvio Padrão (mm)</i>	36,4	47,4	45,7	50,2	36,4	47,8	25,1	24,8	35,9	33,7
<i>Média dos logaritmos</i>	2,0392	2,1486	2,1005	2,0582	2,0990	2,0769	2,0785	2,0643	2,0519	2,1606
<i>Desvio Padrão dos logaritmos</i>	0,1343	0,1214	0,1482	0,1600	0,1074	0,1464	0,0950	0,0915	0,1385	0,0992

Tabela 4.4 – Média e desvio padrão para chuvas máximas de 5 dias de duração

<i>Estação</i>	<i>1841001</i>	<i>1841003</i>	<i>1841006</i>	<i>1841009</i>	<i>1842005</i>	<i>1842007</i>	<i>1842008</i>	<i>1843000</i>	<i>1940000</i>	<i>1940001</i>	<i>1940005</i>
<i>Média (mm)</i>	153,6	141,0	139,3	144,3	178,2	166,0	162,4	153,7	166,8	157,4	175,5
<i>Desvio Padrão (mm)</i>	37,2	30,5	39,9	37,5	47,3	36,5	53,3	50,8	44,5	50,6	46,6
<i>Média dos logaritmos</i>	2,1740	2,1392	2,1276	2,1466	2,2354	2,2103	2,1889	2,1673	2,2066	2,1769	2,2298
<i>Desvio Padrão dos logaritmos</i>	0,1076	0,0964	0,1209	0,1048	0,1199	0,0935	0,1381	0,1271	0,1205	0,1319	0,1140
<i>Estação</i>	<i>1940006</i>	<i>1940009</i>	<i>1940010</i>	<i>1940012</i>	<i>1940013</i>	<i>1940016</i>	<i>1940022</i>	<i>1941000</i>	<i>1941004</i>	<i>1941005</i>	
<i>Média (mm)</i>	148,8	156,5	194,7	159,3	173,6	164,9	150,3	170,0	146,3	151,0	
<i>Desvio Padrão (mm)</i>	51,6	48,6	54,8	48,3	50,8	41,8	50,1	53,0	45,4	35,6	
<i>Média dos logaritmos</i>	2,1499	2,1734	2,2728	2,1829	2,2212	2,2015	2,1537	2,2116	2,1465	2,1670	
<i>Desvio Padrão dos logaritmos</i>	0,1401	0,1410	0,1228	0,1330	0,1308	0,1238	0,1451	0,1283	0,1289	0,1047	
<i>Estação</i>	<i>1941006</i>	<i>1941009</i>	<i>1941010</i>	<i>1942002</i>	<i>1942006</i>	<i>1943008</i>	<i>1943024</i>	<i>1943025</i>	<i>1943035</i>	<i>2040023</i>	
<i>Média (mm)</i>	157,1	129,2	142,3	160,3	174,2	160,2	204,3	209,2	183,0	132,3	
<i>Desvio Padrão (mm)</i>	53,5	33,5	35,3	52,5	62,9	51,4	58,3	53,1	46,6	52,8	
<i>Média dos logaritmos</i>	2,1729	2,0969	2,1403	2,1850	2,2150	2,1807	2,2921	2,3075	2,2498	2,0896	
<i>Desvio Padrão dos logaritmos</i>	0,1448	0,1150	0,1087	0,1307	0,1527	0,1529	0,1305	0,1074	0,1052	0,1698	
<i>Estação</i>	<i>2041013</i>	<i>2041017</i>	<i>2041023</i>	<i>2042000</i>	<i>2042010</i>	<i>2042017</i>	<i>1843011</i>	<i>1843012</i>	<i>1941018</i>	<i>1942033</i>	
<i>Média (mm)</i>	144,3	182,1	168,1	154,8	162,5	158,3	158,1	149,8	145,1	194,2	
<i>Desvio Padrão (mm)</i>	48,4	66,7	54,5	68,8	57,2	54,9	29,0	28,9	32,4	58,8	
<i>Média dos logaritmos</i>	2,1370	2,2400	2,2044	2,1551	2,1899	2,1763	2,1918	2,1673	2,1519	2,2644	
<i>Desvio Padrão dos logaritmos</i>	0,1402	0,1269	0,1377	0,1708	0,1302	0,1415	0,0807	0,0870	0,0935	0,1310	

Pôde ser observado um valor médio de chuvas máximas diárias em torno de 84,0mm para a região de estudo. O valor máximo médio encontrado se deu na estação 1942033 com 114,7mm. O mínimo médio observado se deu na estação 2040023 com um valor 63,9mm no período analisado de 1975/1976 a 2004/2005.

Para as chuvas máximas acumuladas de três dias, foi observado um valor médio de 128,7mm em toda região estudada. O valor máximo se deu na estação 1943025 com uma altura de chuva de 170,8mm e o mínimo encontrado foi na estação 2040023 com uma altura de chuva de 100,0mm.

Para as chuvas máximas acumuladas de cinco dias, observou-se um valor médio de 161,5mm. O valor máximo verificado foi na estação 209,2mm na estação 1943025 e o valor mínimo observado foi na estação 1941009 com 129,2mm.

A partir dos valores dispostos nas Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4 juntamente com os fatores de frequência descritos na seção 3.3.1 para distribuições de Gumbel e Lognormal foi possível se calcular as chuvas máximas para os diversos tempos de recorrência nas estações pluviométricas apresentadas neste estudo. Os resultados são apresentados nas Tabelas 4.5 até 4.16:

Tabela 4.5 - Chuvas máximas prováveis (mm) com duração de 1 dia (Tr = 5 anos)

Tr = 5 anos			Tr = 5 anos		
<i>Estação</i>	<i>Gumbel</i>	<i>Lognormal</i>	<i>Estação</i>	<i>Gumbel</i>	<i>Lognormal</i>
<i>1841001</i>	109,2	111,6	<i>1941004</i>	106,6	106,7
<i>1841003</i>	94,0	95,7	<i>1941005</i>	101,2	102,3
<i>1841006</i>	89,1	90,5	<i>1941006</i>	104,6	104,6
<i>1841009</i>	97,8	96,6	<i>1941009</i>	84,3	85,8
<i>1842005</i>	112,7	115,3	<i>1941010</i>	101,2	100,8
<i>1842007</i>	96,7	97,8	<i>1941018</i>	94,9	94,5
<i>1842008</i>	90,6	92,4	<i>1942002</i>	104,9	105,8
<i>1843000</i>	99,1	99,8	<i>1942006</i>	115,1	114,2
<i>1843011</i>	88,3	90,3	<i>1942033</i>	135,3	136,8
<i>1843012</i>	88,2	89,6	<i>1943024</i>	107,0	110,2
<i>1940006</i>	105,6	106,1	<i>1943008</i>	99,9	101,9
<i>1940001</i>	108,0	108,6	<i>1943025</i>	114,6	116,1
<i>1940003</i>	129,8	130,4	<i>1943033</i>	108,1	109,0
<i>1940006</i>	96,3	98,0	<i>2040023</i>	89,7	88,4
<i>1940009</i>	101,4	106,0	<i>2041013</i>	95,8	97,2
<i>1940010</i>	118,5	120,5	<i>2041017</i>	103,2	103,4
<i>1940012</i>	107,9	109,6	<i>2041023</i>	101,8	104,2
<i>1940013</i>	102,8	105,1	<i>2042000</i>	84,7	86,3
<i>1940016</i>	120,9	123,3	<i>2042016</i>	90,7	92,6
<i>1940022</i>	98,3	100,3	<i>2042017</i>	92,3	93,5
<i>1941000</i>	102,8	103,0			

Tabela 4.6 - Chuvas máximas prováveis (mm) com duração de 1 dia (Tr = 10 e 25 anos)

Tr = 10 anos			Tr = 25 anos		
<i>Estação</i>	<i>Gumbes</i>	<i>Lognormal</i>	<i>Estação</i>	<i>Gumbes</i>	<i>Lognormal</i>
1841001	124,7	127,6	1841001	144,2	147,3
1841003	106,3	107,8	1841003	121,9	122,4
1841006	101,3	102,4	1841006	116,7	117,0
1841009	112,9	109,6	1841009	132,1	125,4
1842005	128,5	131,8	1842005	148,5	152,1
1842007	108,0	108,2	1842007	122,3	120,5
1842008	104,5	107,2	1842008	122,2	125,6
1843000	116,1	117,3	1843000	137,7	139,5
1843011	100,7	103,0	1843011	116,4	118,5
1843012	98,7	99,5	1843012	111,9	111,3
1940000	121,9	121,8	1940000	142,4	141,2
1940001	124,8	124,8	1940001	146,1	144,8
1940005	152,7	154,1	1940005	181,6	184,1
1940006	109,8	111,5	1940006	126,8	127,9
1940009	121,8	124,7	1940009	143,9	148,2
1940016	135,1	137,2	1940016	156,2	157,6
1940012	122,1	123,4	1940012	139,9	139,9
1940013	116,8	119,4	1940013	134,5	136,9
1940016	141,4	145,8	1940016	167,3	174,4
1940022	111,5	113,8	1940022	128,3	130,2
1941000	116,8	115,4	1941000	134,5	130,4
1941004	122,9	121,8	1941004	143,5	140,4
1941005	116,8	117,7	1941005	136,4	136,8
1941006	119,9	118,5	1941006	139,3	135,4
1941009	95,7	97,0	1941009	110,0	110,7
1941010	116,9	115,2	1941010	136,8	132,8
1941018	109,1	107,4	1941018	127,2	123,0
1942002	120,9	121,5	1942002	141,0	140,8
1942006	132,7	129,7	1942006	155,0	148,5
1942033	152,1	152,2	1942033	173,2	170,6
1943024	120,0	123,8	1943024	136,3	140,1
1943008	115,2	117,9	1943008	134,4	137,7
1943025	127,4	129,0	1943025	143,6	144,3
1943033	122,5	122,3	1943033	140,7	138,2
2040023	108,2	107,5	2040023	131,7	132,4
2041013	111,3	113,4	2041013	130,9	133,7
2041017	116,6	115,1	2041017	133,4	129,0
2041023	116,7	119,8	2041023	135,4	139,0
2042000	95,8	97,2	2042000	109,7	110,4
2042016	99,8	101,4	2042016	111,3	111,6
2042017	105,5	106,4	2042017	122,2	122,2

Tabela 4.7 - Chuvas máximas prováveis (mm) com duração de 1 dia (Tr = 50 e 75 anos)

Tr = 50 anos			Tr = 75 anos		
<i>Estação</i>	<i>Gumbel</i>	<i>Lognormal</i>	<i>Estação</i>	<i>Gumbel</i>	<i>Lognormal</i>
<i>1841001</i>	158,7	161,5	<i>1841001</i>	167,1	169,8
<i>1841003</i>	133,4	132,9	<i>1841003</i>	140,2	138,9
<i>1841006</i>	128,1	127,4	<i>1841006</i>	134,7	133,4
<i>1841009</i>	146,3	136,8	<i>1841009</i>	154,5	143,3
<i>1842005</i>	163,4	166,8	<i>1842005</i>	172,0	175,3
<i>1842007</i>	132,9	129,2	<i>1842007</i>	139,0	134,1
<i>1842008</i>	135,2	139,1	<i>1842008</i>	142,8	146,9
<i>1843000</i>	153,7	155,9	<i>1843000</i>	163,0	165,6
<i>1843011</i>	128,0	129,8	<i>1843011</i>	134,7	136,3
<i>1843012</i>	121,8	119,6	<i>1843012</i>	127,5	124,4
<i>1940000</i>	157,7	155,2	<i>1940000</i>	166,6	163,4
<i>1940001</i>	161,8	159,3	<i>1940001</i>	170,9	167,8
<i>1940005</i>	203,1	206,5	<i>1940005</i>	215,6	219,7
<i>1940006</i>	139,4	139,8	<i>1940006</i>	146,7	146,6
<i>1940005</i>	160,3	165,6	<i>1940005</i>	169,8	175,9
<i>1940010</i>	171,8	172,4	<i>1940010</i>	180,9	180,9
<i>1940012</i>	153,2	151,7	<i>1940012</i>	160,9	158,5
<i>1940013</i>	147,6	149,5	<i>1940013</i>	155,3	156,7
<i>1940016</i>	186,6	195,8	<i>1940016</i>	197,7	208,4
<i>1940022</i>	140,8	141,9	<i>1940022</i>	148,0	148,8
<i>1941006</i>	147,7	141,1	<i>1941006</i>	155,3	147,2
<i>1941004</i>	158,7	153,8	<i>1941004</i>	167,6	161,6
<i>1941005</i>	151,0	150,7	<i>1941005</i>	159,5	158,8
<i>1941006</i>	153,7	147,6	<i>1941006</i>	162,0	154,7
<i>1941005</i>	120,7	120,5	<i>1941005</i>	126,9	126,1
<i>1941010</i>	151,6	145,6	<i>1941010</i>	160,1	153,0
<i>1941018</i>	140,6	134,2	<i>1941018</i>	148,3	140,7
<i>1942002</i>	156,0	154,9	<i>1942002</i>	164,7	163,1
<i>1942006</i>	171,5	162,2	<i>1942006</i>	181,1	170,0
<i>1942033</i>	188,9	183,6	<i>1942033</i>	198,1	191,1
<i>1943024</i>	148,5	151,8	<i>1943024</i>	155,6	158,5
<i>1943008</i>	148,7	152,2	<i>1943008</i>	157,1	160,7
<i>1943025</i>	155,6	155,2	<i>1943025</i>	162,6	161,4
<i>1943035</i>	154,2	149,7	<i>1943035</i>	162,0	156,2
<i>2040025</i>	149,1	151,5	<i>2040025</i>	159,2	162,9
<i>2041013</i>	145,4	148,6	<i>2041013</i>	153,9	157,4
<i>2041017</i>	145,9	138,9	<i>2041017</i>	153,2	144,5
<i>2041023</i>	149,3	153,0	<i>2041023</i>	157,4	161,2
<i>2042006</i>	120,1	119,9	<i>2042006</i>	126,1	125,3
<i>2042010</i>	119,9	118,7	<i>2042010</i>	124,8	122,8
<i>2042017</i>	134,6	133,6	<i>2042017</i>	141,8	140,2

Tabela 4.8 - Chuvas máximas prováveis (mm) com duração de 1 dia (Tr = 100 anos)

Tr = 100 anos			Tr = 100 anos		
<i>Estação</i>	<i>Gumbel</i>	<i>Lognormal</i>	<i>Estação</i>	<i>Gumbel</i>	<i>Lognormal</i>
<i>1841001</i>	173,1	175,5	<i>1941004</i>	173,9	167,0
<i>1841003</i>	144,9	143,1	<i>1941005</i>	165,5	164,4
<i>1841006</i>	139,4	137,6	<i>1941006</i>	167,9	159,5
<i>1841008</i>	160,3	147,9	<i>1941008</i>	131,3	130,0
<i>1842003</i>	178,1	181,2	<i>1941016</i>	166,2	158,2
<i>1842007</i>	143,4	137,5	<i>1941018</i>	153,8	145,2
<i>1842008</i>	148,2	152,4	<i>1942002</i>	170,9	168,8
<i>1843000</i>	169,6	172,4	<i>1942006</i>	187,9	175,5
<i>1843011</i>	139,5	140,8	<i>1942033</i>	204,5	196,2
<i>1843012</i>	131,5	127,6	<i>1943024</i>	160,6	163,1
<i>1940006</i>	172,9	169,1	<i>1943008</i>	162,9	166,6
<i>1940001</i>	177,4	173,7	<i>1943023</i>	167,5	165,7
<i>1940005</i>	224,5	228,9	<i>1943035</i>	167,5	160,7
<i>1940006</i>	151,9	151,4	<i>2040023</i>	166,3	171,0
<i>1940009</i>	176,6	183,1	<i>2041013</i>	159,8	163,5
<i>1940016</i>	187,4	186,8	<i>2041017</i>	158,3	148,4
<i>1940012</i>	166,3	163,2	<i>2041023</i>	163,2	166,8
<i>1940013</i>	160,7	161,8	<i>2042006</i>	130,4	129,1
<i>1940016</i>	205,7	217,3	<i>2042010</i>	128,3	125,5
<i>1940022</i>	153,1	153,5	<i>2042017</i>	146,9	144,8
<i>1941000</i>	160,7	151,4			

Tabela 4.9 - Chuvas máximas prováveis (mm) com duração de 3 dias (Tr = 5 anos)

Tr = 5 anos			Tr = 5 anos		
<i>Estação</i>	<i>Gumbel</i>	<i>Lognormal</i>	<i>Estação</i>	<i>Gumbel</i>	<i>Lognormal</i>
<i>1841001</i>	133,5	135,1	<i>1941004</i>	149,4	150,9
<i>1841003</i>	136,0	138,2	<i>1941005</i>	145,0	149,8
<i>1841006</i>	136,5	134,6	<i>1941006</i>	152,8	153,0
<i>1841008</i>	140,8	143,2	<i>1941008</i>	118,8	119,5
<i>1842003</i>	159,7	162,3	<i>1941016</i>	139,7	142,0
<i>1842007</i>	146,7	149,6	<i>1941018</i>	143,9	147,6
<i>1842008</i>	152,3	153,9	<i>1942002</i>	145,9	148,9
<i>1843000</i>	157,0	157,2	<i>1942006</i>	171,2	173,1
<i>1843011</i>	140,5	144,1	<i>1942033</i>	172,7	175,6
<i>1843012</i>	136,3	138,6	<i>1943024</i>	185,6	192,4
<i>1940006</i>	156,0	160,5	<i>1943008</i>	161,7	166,3
<i>1940001</i>	154,9	157,1	<i>1943025</i>	209,2	208,6
<i>1940005</i>	177,1	179,9	<i>1943035</i>	177,0	178,7
<i>1940006</i>	141,4	143,9	<i>2040023</i>	124,9	127,3
<i>1940009</i>	158,6	162,4	<i>2041013</i>	140,8	142,1
<i>1940016</i>	184,9	186,9	<i>2041017</i>	179,4	176,5
<i>1940012</i>	159,5	160,6	<i>2041023</i>	166,1	168,2
<i>1940013</i>	172,3	175,0	<i>2042006</i>	158,7	156,1
<i>1940016</i>	166,2	172,1	<i>2042010</i>	155,8	154,8
<i>1940022</i>	144,6	146,3	<i>2042017</i>	161,0	158,7
<i>1941000</i>	161,5	162,4			

Tabela 4.10 - Chuvas máximas prováveis (mm) com duração de 3 dias (Tr = 10 e 25 anos)

Tr = 10 anos			Tr = 25 anos		
<i>Estação</i>	<i>Gumbe</i>	<i>Lognorma</i>	<i>Estação</i>	<i>Gumbe</i>	<i>Lognorma</i>
<i>1841001</i>	150,4	150,8	<i>1841001</i>	171,8	169,6
<i>1841003</i>	151,1	152,2	<i>1841003</i>	170,2	168,7
<i>1841006</i>	157,5	152,1	<i>1841006</i>	184,0	173,5
<i>1841008</i>	157,8	159,3	<i>1841008</i>	179,3	178,6
<i>1842003</i>	178,4	179,8	<i>1842003</i>	202,1	200,7
<i>1842007</i>	162,0	163,9	<i>1842007</i>	181,2	180,8
<i>1842008</i>	174,3	175,1	<i>1842008</i>	202,2	201,0
<i>1843000</i>	182,8	182,2	<i>1843000</i>	215,5	213,3
<i>1843011</i>	155,2	158,6	<i>1843011</i>	173,8	175,8
<i>1843012</i>	150,8	152,0	<i>1843012</i>	169,2	167,7
<i>1940006</i>	177,6	183,5	<i>1940006</i>	205,0	211,8
<i>1940001</i>	176,6	178,1	<i>1940001</i>	203,9	203,8
<i>1940005</i>	201,3	203,3	<i>1940005</i>	231,8	231,9
<i>1940006</i>	161,4	163,8	<i>1940006</i>	186,6	188,2
<i>1940009</i>	182,3	187,3	<i>1940009</i>	212,2	218,3
<i>1940016</i>	212,7	214,0	<i>1940016</i>	247,8	247,4
<i>1940012</i>	182,4	181,9	<i>1940012</i>	211,3	207,9
<i>1940013</i>	198,4	201,3	<i>1940013</i>	231,3	233,8
<i>1940016</i>	188,2	196,3	<i>1940016</i>	216,1	226,0
<i>1940022</i>	164,9	165,8	<i>1940022</i>	190,7	189,5
<i>1941000</i>	186,0	185,5	<i>1941000</i>	216,9	214,0
<i>1941004</i>	171,6	172,4	<i>1941004</i>	199,6	198,7
<i>1941003</i>	162,4	168,1	<i>1941003</i>	184,3	190,2
<i>1941006</i>	176,6	175,0	<i>1941006</i>	206,6	202,3
<i>1941009</i>	132,4	131,1	<i>1941009</i>	149,5	144,7
<i>1941010</i>	156,5	157,9	<i>1941010</i>	177,8	177,1
<i>1941018</i>	164,9	169,7	<i>1941018</i>	191,5	197,0
<i>1942002</i>	163,0	165,3	<i>1942002</i>	184,6	185,0
<i>1942006</i>	198,6	200,6	<i>1942006</i>	233,3	235,1
<i>1942033</i>	192,4	194,0	<i>1942033</i>	217,3	216,0
<i>1943024</i>	211,8	221,8	<i>1943024</i>	244,9	258,3
<i>1943008</i>	186,1	192,9	<i>1943008</i>	217,1	226,2
<i>1943025</i>	238,4	236,2	<i>1943025</i>	275,2	269,8
<i>1943033</i>	200,0	199,8	<i>1943033</i>	228,9	225,0
<i>2040023</i>	145,0	148,6	<i>2040023</i>	170,5	175,4
<i>2041013</i>	162,1	162,7	<i>2041013</i>	189,0	188,1
<i>2041017</i>	207,2	199,4	<i>2041017</i>	242,3	227,4
<i>2041023</i>	192,9	195,3	<i>2041023</i>	226,6	229,2
<i>2042000</i>	188,1	183,4	<i>2042000</i>	225,2	218,0
<i>2042010</i>	177,1	172,5	<i>2042010</i>	204,1	193,7
<i>2042017</i>	189,0	184,0	<i>2042017</i>	224,3	215,5

Tabela 4.11 - Chuvas máximas prováveis (mm) com duração de 3 dias (Tr = 50 e 75 anos)

Tr = 50 anos			Tr = 75 anos		
<i>Estação</i>	<i>Gumbe</i>	<i>Lognorma</i>	<i>Estação</i>	<i>Gumbe</i>	<i>Lognorma</i>
<i>1841001</i>	187,7	183,2	<i>1841001</i>	196,9	190,6
<i>1841003</i>	184,3	180,5	<i>1841003</i>	192,6	186,9
<i>1841006</i>	203,7	189,0	<i>1841006</i>	215,1	197,5
<i>1841008</i>	195,2	192,4	<i>1841008</i>	204,5	199,9
<i>1842003</i>	219,6	215,6	<i>1842003</i>	229,8	223,7
<i>1842007</i>	195,4	192,7	<i>1842007</i>	203,7	199,1
<i>1842008</i>	222,8	220,0	<i>1842008</i>	234,8	230,4
<i>1843000</i>	239,8	236,3	<i>1843000</i>	253,8	249,1
<i>1843011</i>	187,6	187,9	<i>1843011</i>	195,6	194,5
<i>1843012</i>	182,8	178,9	<i>1843012</i>	190,7	184,9
<i>1940006</i>	225,2	232,6	<i>1940006</i>	237,0	244,1
<i>1940001</i>	224,2	222,4	<i>1940001</i>	236,0	232,7
<i>1940005</i>	254,4	252,6	<i>1940005</i>	267,6	263,9
<i>1940006</i>	205,4	206,0	<i>1940006</i>	216,2	215,8
<i>1940009</i>	234,4	241,1	<i>1940009</i>	247,3	253,8
<i>1940016</i>	273,8	272,0	<i>1940016</i>	289,0	285,5
<i>1940012</i>	232,8	226,8	<i>1940012</i>	245,3	237,2
<i>1940013</i>	255,8	257,8	<i>1940013</i>	270,0	271,1
<i>1940016</i>	236,8	247,7	<i>1940016</i>	248,8	259,6
<i>1940022</i>	209,8	206,9	<i>1940022</i>	220,9	216,4
<i>1941000</i>	239,9	234,9	<i>1941000</i>	253,2	246,4
<i>1941004</i>	220,4	218,0	<i>1941004</i>	232,5	228,6
<i>1941003</i>	200,6	206,2	<i>1941003</i>	210,0	214,9
<i>1941006</i>	228,9	222,3	<i>1941006</i>	241,8	233,3
<i>1941009</i>	162,3	154,4	<i>1941009</i>	169,7	159,7
<i>1941010</i>	193,6	190,6	<i>1941010</i>	202,7	198,0
<i>1941018</i>	211,2	217,2	<i>1941018</i>	222,6	228,4
<i>1942002</i>	200,6	199,1	<i>1942002</i>	209,9	206,7
<i>1942006</i>	259,0	260,7	<i>1942006</i>	273,9	274,9
<i>1942033</i>	235,9	231,6	<i>1942033</i>	246,6	240,1
<i>1943024</i>	269,5	285,3	<i>1943024</i>	283,8	300,2
<i>1943008</i>	240,0	251,0	<i>1943008</i>	253,4	264,7
<i>1943025</i>	302,5	294,2	<i>1943025</i>	318,3	307,6
<i>1943033</i>	250,4	243,1	<i>1943033</i>	262,9	253,0
<i>2040023</i>	189,3	195,4	<i>2040023</i>	200,3	206,6
<i>2041013</i>	208,9	206,8	<i>2041013</i>	220,5	217,1
<i>2041017</i>	268,3	247,7	<i>2041017</i>	283,5	258,8
<i>2041023</i>	251,7	254,4	<i>2041023</i>	266,2	268,4
<i>2042000</i>	252,7	244,0	<i>2042000</i>	268,7	258,5
<i>2042010</i>	224,0	208,9	<i>2042010</i>	235,6	217,2
<i>2042017</i>	250,5	238,9	<i>2042017</i>	265,7	251,9

Tabela 4.12 - Chuvas máximas prováveis (mm) com duração de 3 dias (Tr = 100 anos)

Tr = 100 anos			Tr = 100 anos		
<i>Estação</i>	<i>Gumbe</i>	<i>Lognorma</i>	<i>Estação</i>	<i>Gumbe</i>	<i>Lognorma</i>
1841001	173,1	175,5	1941004	173,9	167,0
1841003	144,9	143,1	1941005	165,5	164,4
1841006	139,4	137,6	1941006	167,9	159,5
1841008	160,3	147,9	1941008	131,3	130,0
1842003	178,1	181,2	1941016	166,2	158,2
1842007	143,4	137,5	1941018	153,8	145,2
1842008	148,2	152,4	1942002	170,9	168,8
1843000	169,6	172,4	1942006	187,9	175,5
1843011	139,5	140,8	1942033	204,5	196,2
1843012	131,5	127,6	1943024	160,6	163,1
1940006	172,9	169,1	1943008	162,9	166,6
1940001	177,4	173,7	1943023	167,5	165,7
1940005	224,5	228,9	1943035	167,5	160,7
1940006	151,9	151,4	2040023	166,3	171,0
1940009	176,6	183,1	2041013	159,8	163,5
1940016	187,4	186,8	2041017	158,3	148,4
1940012	166,3	163,2	2041023	163,2	166,8
1940013	160,7	161,8	2042006	130,4	129,1
1940016	205,7	217,3	2042010	128,3	125,5
1940022	153,1	153,5	2042017	146,9	144,8
1941000	160,7	151,4			

Tabela 4.13 - Chuvas máximas prováveis (mm) com duração de 5 dias (Tr = 5 anos)

Tr = 5 anos			Tr = 5 anos		
<i>Estação</i>	<i>Gumbel</i>	<i>Lognormal</i>	<i>Estação</i>	<i>Gumbel</i>	<i>Lognormal</i>
1841001	180,4	184,0	1941004	179,0	180,1
1841003	162,9	166,2	1941005	176,6	180,1
1841006	168,1	169,7	1941006	195,6	197,4
1841009	171,3	171,9	1941009	153,3	156,3
1842005	212,3	217,1	1941010	167,7	170,7
1842007	192,2	194,7	1941018	168,5	170,2
1842008	200,7	202,1	1942002	196,9	195,9
1843006	190,2	188,2	1942006	219,4	220,7
1843011	178,9	182,0	1942033	236,5	238,6
1843012	170,6	174,1	1943024	248,0	254,4
1940000	198,8	203,4	1943008	196,9	203,8
1940001	193,7	194,3	1943025	245,7	246,0
1940003	209,0	211,9	1943033	215,9	217,3
1940006	186,0	185,5	2040023	168,1	167,9
1940008	191,5	196,1	2041013	175,6	175,9
1940010	234,1	238,0	2041017	215,0	213,2
1940012	194,1	197,4	2041023	207,3	209,3
1940013	210,2	214,7	2042000	199,6	194,1
1940016	194,9	202,4	2042010	201,7	197,7
1940022	186,3	188,9	2042017	192,4	191,5
1941000	208,2	208,9			

Tabela 4.14 - Chuvas máximas prováveis (mm) com duração de 5 dias (Tr = 10 e 25 anos)

Tr = 10 anos			Tr = 25 anos		
<i>Estação</i>	<i>Gumbe</i>	<i>Lognorma</i>	<i>Estação</i>	<i>Gumbe</i>	<i>Lognorma</i>
<i>1841001</i>	202,2	205,1	<i>1841001</i>	229,6	230,4
<i>1841003</i>	180,8	183,2	<i>1841003</i>	203,3	203,3
<i>1841006</i>	191,4	191,7	<i>1841006</i>	220,9	218,5
<i>1841005</i>	193,2	191,0	<i>1841005</i>	221,0	213,9
<i>1842003</i>	240,0	245,0	<i>1842003</i>	275,0	278,9
<i>1842007</i>	213,6	213,9	<i>1842007</i>	240,5	236,6
<i>1842008</i>	231,9	232,3	<i>1842008</i>	271,3	269,7
<i>1843000</i>	220,0	214,0	<i>1843000</i>	257,6	245,4
<i>1843011</i>	195,9	197,4	<i>1843011</i>	217,3	215,4
<i>1843012</i>	187,5	190,1	<i>1843012</i>	208,9	208,8
<i>1940006</i>	224,8	229,7	<i>1940006</i>	257,7	261,6
<i>1940001</i>	223,3	221,9	<i>1940001</i>	260,7	255,9
<i>1940005</i>	236,3	237,7	<i>1940005</i>	270,8	268,8
<i>1940006</i>	216,2	213,6	<i>1940006</i>	254,4	248,5
<i>1940009</i>	219,9	226,1	<i>1940009</i>	255,9	263,3
<i>1940016</i>	266,2	269,4	<i>1940016</i>	306,7	307,6
<i>1940012</i>	222,3	225,7	<i>1940012</i>	258,1	260,5
<i>1940013</i>	240,0	244,9	<i>1940013</i>	277,6	282,1
<i>1940016</i>	219,4	229,3	<i>1940016</i>	250,3	262,1
<i>1940022</i>	215,6	218,7	<i>1940022</i>	252,6	255,8
<i>1941000</i>	239,2	237,8	<i>1941000</i>	278,4	273,1
<i>1941004</i>	205,6	205,1	<i>1941004</i>	239,2	235,7
<i>1941003</i>	197,5	200,2	<i>1941003</i>	223,8	224,1
<i>1941006</i>	226,8	228,4	<i>1941006</i>	266,4	267,1
<i>1941009</i>	172,8	175,6	<i>1941009</i>	197,6	198,8
<i>1941010</i>	188,4	190,5	<i>1941010</i>	214,5	214,2
<i>1941018</i>	187,4	187,0	<i>1941018</i>	211,4	206,9
<i>1942002</i>	228,0	223,8	<i>1942002</i>	267,3	258,2
<i>1942006</i>	256,2	257,5	<i>1942006</i>	302,8	303,7
<i>1942033</i>	270,9	271,3	<i>1942033</i>	314,3	311,2
<i>1943024</i>	282,6	290,7	<i>1943024</i>	326,5	335,3
<i>1943008</i>	227,0	237,7	<i>1943008</i>	264,9	280,3
<i>1943025</i>	275,3	273,5	<i>1943025</i>	312,8	306,3
<i>1943033</i>	243,2	241,6	<i>1943033</i>	277,8	270,7
<i>2040023</i>	199,3	199,4	<i>2040023</i>	238,7	239,9
<i>2041013</i>	203,2	201,8	<i>2041013</i>	238,0	233,8
<i>2041017</i>	246,5	240,1	<i>2041017</i>	286,4	272,7
<i>2041023</i>	239,2	240,5	<i>2041023</i>	279,4	279,0
<i>2042000</i>	240,4	232,6	<i>2042000</i>	291,9	282,3
<i>2042010</i>	234,4	224,8	<i>2042010</i>	275,7	258,1
<i>2042017</i>	323,7	221,1	<i>2042017</i>	264,4	257,8

Tabela 4.15 - Chuvas máximas prováveis (mm) com duração de 5 dias (Tr = 50 e 75 anos)

Tr = 50 anos			Tr = 75 anos		
<i>Estação</i>	<i>Gumbe</i>	<i>Lognorma</i>	<i>Estação</i>	<i>Gumbe</i>	<i>Lognorma</i>
<i>1841001</i>	250,0	248,6	<i>1841001</i>	261,9	258,4
<i>1841003</i>	220,0	217,5	<i>1841003</i>	229,7	225,3
<i>1841006</i>	242,8	237,9	<i>1841006</i>	255,5	248,5
<i>1841008</i>	241,5	230,3	<i>1841008</i>	253,5	239,2
<i>1842003</i>	300,9	303,5	<i>1842003</i>	316,0	317,0
<i>1842007</i>	260,5	252,7	<i>1842007</i>	272,2	261,4
<i>1842008</i>	300,5	297,3	<i>1842008</i>	317,5	312,5
<i>1843000</i>	285,4	268,4	<i>1843000</i>	301,6	281,1
<i>1843011</i>	233,2	228,0	<i>1843011</i>	242,4	234,7
<i>1843012</i>	224,8	222,0	<i>1843012</i>	234,0	229,1
<i>1940006</i>	282,1	284,8	<i>1940006</i>	296,3	297,5
<i>1940001</i>	288,4	280,8	<i>1940001</i>	304,6	294,5
<i>1940005</i>	296,3	291,3	<i>1940005</i>	311,2	303,6
<i>1940006</i>	282,7	274,3	<i>1940006</i>	299,1	288,5
<i>1940009</i>	282,6	290,8	<i>1940009</i>	298,1	306,0
<i>1940016</i>	336,7	335,4	<i>1940016</i>	354,2	350,6
<i>1940012</i>	284,6	286,1	<i>1940012</i>	300,0	300,2
<i>1940013</i>	305,4	309,4	<i>1940013</i>	321,6	324,4
<i>1940016</i>	273,2	286,0	<i>1940016</i>	286,5	299,1
<i>1940022</i>	280,1	283,3	<i>1940022</i>	296,1	298,6
<i>1941000</i>	307,5	299,0	<i>1941000</i>	324,4	313,2
<i>1941004</i>	264,1	258,1	<i>1941004</i>	278,6	270,4
<i>1941003</i>	243,4	241,3	<i>1941003</i>	254,7	250,6
<i>1941006</i>	295,7	295,8	<i>1941006</i>	312,8	311,7
<i>1941009</i>	215,9	215,6	<i>1941009</i>	226,6	224,7
<i>1941010</i>	233,8	231,2	<i>1941010</i>	245,0	240,5
<i>1941018</i>	229,2	221,0	<i>1941018</i>	239,6	228,5
<i>1942002</i>	296,4	283,4	<i>1942002</i>	313,3	297,3
<i>1942006</i>	337,3	338,2	<i>1942006</i>	357,4	357,4
<i>1942033</i>	346,6	340,4	<i>1942033</i>	365,3	356,4
<i>1943024</i>	359,0	368,0	<i>1943024</i>	377,9	386,0
<i>1943008</i>	293,1	312,2	<i>1943008</i>	309,4	329,9
<i>1943025</i>	340,6	329,8	<i>1943025</i>	356,8	342,6
<i>1943033</i>	303,4	291,6	<i>1943033</i>	318,3	302,9
<i>2040023</i>	267,9	270,5	<i>2040023</i>	284,8	287,8
<i>2041013</i>	263,8	257,4	<i>2041013</i>	278,8	270,4
<i>2041017</i>	316,0	296,2	<i>2041017</i>	333,2	309,1
<i>2041023</i>	309,3	307,5	<i>2041023</i>	326,7	323,2
<i>2042000</i>	330,1	320,3	<i>2042000</i>	352,4	341,8
<i>2042010</i>	306,4	282,3	<i>2042010</i>	324,2	295,7
<i>2042017</i>	294,2	285,0	<i>2042017</i>	311,5	300,0

Tabela 4.16 - Chuvas máximas prováveis (mm) com duração de 5 dias (Tr = 100 anos)

Tr = 100 anos			Tr = 100 anos		
<i>Estação</i>	<i>Gumbe</i>	<i>Lognorma</i>	<i>Estação</i>	<i>Gumbe</i>	<i>Lognorma</i>
<i>1841001</i>	270,3	265,8	<i>1941004</i>	288,9	279,6
<i>1841003</i>	236,6	231,0	<i>1941005</i>	262,7	257,5
<i>1841006</i>	264,5	256,4	<i>1941006</i>	324,8	323,7
<i>1841008</i>	261,9	245,8	<i>1941008</i>	234,1	231,5
<i>1842003</i>	326,7	327,0	<i>1941016</i>	253,0	247,4
<i>1842007</i>	280,4	267,9	<i>1941018</i>	246,9	234,2
<i>1842008</i>	329,6	323,9	<i>1942002</i>	325,3	307,7
<i>1843000</i>	313,1	290,5	<i>1942006</i>	371,6	371,9
<i>1843011</i>	249,0	239,7	<i>1942033</i>	378,6	368,4
<i>1843012</i>	240,5	234,3	<i>1943024</i>	391,2	399,5
<i>1940006</i>	306,3	307,0	<i>1943008</i>	321,0	343,2
<i>1940001</i>	316,0	304,8	<i>1943023</i>	368,2	352,0
<i>1940005</i>	321,7	312,7	<i>1943035</i>	328,8	311,3
<i>1940006</i>	310,8	299,2	<i>2040023</i>	296,9	300,9
<i>1940009</i>	309,0	317,5	<i>2041013</i>	289,4	280,1
<i>1940016</i>	366,5	362,0	<i>2041017</i>	345,4	318,7
<i>1940012</i>	310,9	310,8	<i>2041023</i>	339,0	335,0
<i>1940013</i>	333,1	335,6	<i>2042006</i>	368,1	358,1
<i>1940016</i>	296,0	308,9	<i>2042010</i>	336,8	305,7
<i>1940022</i>	307,4	310,1	<i>2042017</i>	323,7	311,3
<i>1941000</i>	336,4	323,8			

É possível observar que a distribuição Lognormal foi a que resultou em um maior número de valores de máximos extremos com tempo de recorrência de 5 anos. Em cerca de 90% das estações pluviométricas observou-se que a estimativa pela Lognormal foi maior do que a estimativa por Gumbel. Este padrão repetiu-se para as durações de um, três e cinco dias.

Observa-se que a distribuição Lognormal foi a que resultou em um maior número de valores de máximos extremos com tempo de retorno de 10 anos, em torno de 70% das estações pluviométricas apresentaram uma estimativa oriunda da distribuição Lognormal com um valor maior do que a estimativa gerada pela distribuição de Gumbel. Sendo que este padrão repetiu-se para os períodos de um, três e cinco dias.

Quando se analisa o tempo de recorrência de 25 anos é observado que a distribuição Lognormal foi a que resultou em um maior número de valores de máximos extremos para a duração de um dia, aproximadamente 60% das estações pluviométricas. Porém, para os períodos de três e cinco dias, observou-se que a distribuição de Gumbel apresentou estimativas de valores de chuvas maiores do que a distribuição Lognormal, em aproximadamente 60% das estações pluviométricas.

A distribuição de Gumbel foi a que resultou em um maior número de valores de máximos extremos com tempo de recorrência de 50 anos, aproximadamente 65% das estações pluviométricas tiveram um valor maior de chuva quando estimou-se através da distribuição de Gumbel. Sendo que esta tendência se manteve para os períodos de um, três e cinco dias.

Quando se estimou as chuvas para um tempo de recorrência de 75 anos a distribuição de Gumbel foi a que resultou em um maior número de valores de máximos extremos, aproximadamente 70% das estações pluviométricas tiveram um valor maior de chuva estimado pela distribuição de Gumbel. Sendo que esta tendência se manteve para os períodos de um, três e cinco dias.

Pode ser observado que a distribuição de Gumbel foi a que resultou em um maior número de valores de máximos extremos com tempo de retorno de 100 anos, aproximadamente 70% das estações pluviométricas tiveram um valor maior de chuva estimado por esta distribuição. Sendo que esta tendência se manteve para os períodos de um, três e cinco dias.

De maneira geral, as chuvas máxima estimadas (quantis) tendem a gerar um valor de maior magnitude superior quando se emprega a distribuição de Gumbel. Para avaliar qual a distribuição é a mais adequada para as variáveis hidrológicas interessadas é necessário que se façam testes de aderência com os valores amostrais utilizados nos cálculos dos quantis de chuvas. Os resultados (estatísticos e gráficos) dos testes de aderência serão apresentados a seguir.

4.3 Testes de aderência

Foram realizados testes estatísticos de aderência de Kolmogorov-Smirnov com uma significância de 5% para todas as amostras empregadas nas estimativas das chuvas máximas com duração de um, três e cinco dias apresentadas na seção anterior. Os resultados obtidos na estatística do teste, ou seja, o $|F|_{\text{calc,max}}$ segundo as distribuições de Gumbel e Lognormal são mostrados nas Tabelas 4.17, 4.18 e 4.19:

Tabela 4.17 - Valores máximos calculados de | F| para chuvas com um dia de duração

Estação	<i>1841001</i>	<i>1841003</i>	<i>1841006</i>	<i>1841009</i>	<i>1842005</i>	<i>1842007</i>	<i>1842008</i>	<i>1843000</i>	<i>1940000</i>	<i>1940001</i>	<i>1940005</i>	<i>1940006</i>	<i>1940009</i>	<i>1940010</i>
Lognormal	0,1223	0,0932	0,0793	0,0673	0,1141	0,1069	0,1204	0,0641	0,1248	0,0921	0,0867	0,1177	0,1040	0,0679
Gumbel	0,1346	0,1178	0,0965	0,0636	0,1360	0,1320	0,1305	0,0681	0,1202	0,0866	0,0913	0,1274	0,0942	0,0720
Estação	<i>1940012</i>	<i>1940013</i>	<i>1940016</i>	<i>1940022</i>	<i>1941000</i>	<i>1941004</i>	<i>1941005</i>	<i>1941006</i>	<i>1941009</i>	<i>1941010</i>	<i>1942002</i>	<i>1942006</i>	<i>1943008</i>	<i>1943024</i>
Lognormal	0,0793	0,0771	0,0596	0,0995	0,0597	0,0887	0,1169	0,0775	0,0848	0,1295	0,1023	0,0969	0,1014	0,1443
Gumbel	0,0712	0,0842	0,0583	0,1101	0,0532	0,1033	0,1190	0,0685	0,0876	0,0835	0,1081	0,0794	0,1012	0,1504
Estação	<i>1943025</i>	<i>1943035</i>	<i>2040023</i>	<i>2041013</i>	<i>2041017</i>	<i>2041023</i>	<i>2042000</i>	<i>2042010</i>	<i>2042017</i>	<i>1843011</i>	<i>1843012</i>	<i>1941018</i>	<i>1942033</i>	
Lognormal	0,0927	0,0790	0,1335	0,0625	0,0629	0,1169	0,0915	0,1294	0,0892	0,0949	0,1301	0,1257	0,1534	
Gumbel	0,0963	0,0719	0,1292	0,0763	0,0982	0,1181	0,1056	0,1388	0,0935	0,1117	0,1488	0,1376	0,1625	

Tabela 4.18 - Valores máximos calculados de | F| para chuvas com três dias de duração

Estação	<i>1841001</i>	<i>1841003</i>	<i>1841006</i>	<i>1841009</i>	<i>1842005</i>	<i>1842007</i>	<i>1842008</i>	<i>1843000</i>	<i>1940000</i>	<i>1940001</i>	<i>1940005</i>	<i>1940006</i>	<i>1940009</i>	<i>1940010</i>
Lognormal	0,1189	0,0617	0,1371	0,1189	0,1231	0,0879	0,1280	0,1189	0,0800	0,1044	0,0760	0,0761	0,0711	0,0840
Gumbel	0,1019	0,0991	0,1306	0,1208	0,1339	0,0900	0,1259	0,1111	0,1038	0,1118	0,0925	0,0903	0,0699	0,0882
Estação	<i>1940012</i>	<i>1940013</i>	<i>1940016</i>	<i>1940022</i>	<i>1941000</i>	<i>1941004</i>	<i>1941005</i>	<i>1941006</i>	<i>1941009</i>	<i>1941010</i>	<i>1942002</i>	<i>1942006</i>	<i>1943008</i>	<i>1943024</i>
Lognormal	0,0711	0,0740	0,1214	0,0648	0,1065	0,1201	0,0757	0,0934	0,0941	0,1065	0,0879	0,0841	0,0753	0,1141
Gumbel	0,0846	0,0827	0,1298	0,0586	0,0988	0,0808	0,0971	0,0423	0,0981	0,1235	0,1148	0,0777	0,0873	0,1234
Estação	<i>1943025</i>	<i>1943035</i>	<i>2040023</i>	<i>2041013</i>	<i>2041017</i>	<i>2041023</i>	<i>2042000</i>	<i>2042010</i>	<i>2042017</i>	<i>1843011</i>	<i>1843012</i>	<i>1941018</i>	<i>1942033</i>	
Lognormal	0,1121	0,0922	0,1037	0,1352	0,1318	0,0960	0,1190	0,1204	0,1333	0,1380	0,0951	0,0930	0,1580	
Gumbel	0,1182	0,0928	0,0851	0,1031	0,1003	0,0716	0,0821	0,0779	0,1543	0,1751	0,1111	0,0816	0,1714	

Tabela 4.19 - Valores máximos calculados de | F| para chuvas com cinco dias de duração

Estação	<i>1841001</i>	<i>1841003</i>	<i>1841006</i>	<i>1841009</i>	<i>1842005</i>	<i>1842007</i>	<i>1842008</i>	<i>1843000</i>	<i>1940000</i>	<i>1940001</i>	<i>1940005</i>	<i>1940006</i>	<i>1940009</i>	<i>1940010</i>
Lognormal	0,0967	0,0671	0,0934	0,1355	0,1232	0,1291	0,1291	0,0835	0,0924	0,1118	0,0665	0,1037	0,0634	0,0744
Gumbel	0,1240	0,0994	0,0808	0,1481	0,1048	0,1065	0,1211	0,0699	0,1159	0,1092	0,0853	0,1165	0,0788	0,1012
Estação	<i>1940012</i>	<i>1940013</i>	<i>1940016</i>	<i>1940022</i>	<i>1941000</i>	<i>1941004</i>	<i>1941005</i>	<i>1941006</i>	<i>1941009</i>	<i>1941010</i>	<i>1942002</i>	<i>1942006</i>	<i>1943008</i>	<i>1943024</i>
Lognormal	0,0694	0,1096	0,1191	0,0744	0,1008	0,0579	0,0871	0,1111	0,0811	0,0947	0,0742	0,0957	0,0826	0,0987
Gumbel	0,0813	0,1144	0,1377	0,0751	0,0985	0,0665	0,1069	0,0610	0,1017	0,1043	0,0798	0,0989	0,1113	0,1170
Estação	<i>1943025</i>	<i>1943035</i>	<i>2040023</i>	<i>2041013</i>	<i>2041017</i>	<i>2041023</i>	<i>2042000</i>	<i>2042010</i>	<i>2042017</i>	<i>1843011</i>	<i>1843012</i>	<i>1941018</i>	<i>1942033</i>	
Lognormal	0,0643	0,1064	0,1143	0,1588	0,1602	0,0897	0,1368	0,1443	0,1591	0,1228	0,0905	0,0881	0,1339	
Gumbel	0,0625	0,0512	0,0883	0,1156	0,1276	0,0653	0,0968	0,1036	0,1157	0,1506	0,1053	0,1011	0,1066	

Pelos resultados do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov observa-se que todas as amostras selecionadas são adequadamente modeladas pelas distribuições Lognormal e Gumbel, já que nenhum $|F|$ foi superior a 0,246 que é o valor crítico do teste para um nível de 5% de significância. Cabe ressaltar que a estação 1942033, que apresenta a amostra com menor número de dados foi a que menos folga obteve quando da realização dos testes. Os ajustes gráficos em papel de probabilidade dos mesmos dados empregados no teste de Kolmogorov-Smirnov se encontram no Anexo 2. Através deles é possível avaliar graficamente a aderência dos dados às distribuições aqui utilizadas.

4.4 Análise geoestatística

4.4.1 Semivariogramas

Esta etapa realizada com o uso do software R através do pacote GeoR apresentou resultados que variaram significativamente quando se alterou a duração das chuvas. Os semivariogramas de chuvas com duração de um dia se mostraram com estrutura variográfica pouco consistente. À medida que se aumentou os tempos de recorrência pôde ser observado que a estrutura do semivariograma experimental obtinha uma melhora quando a duração dos eventos chuvosos aumentava. As Figuras 4.4 à 4.39 a seguir mostram os semivariogramas já com os ajustes efetuados segundo os modelos e formas de ajustes de parâmetros descritos no item 3.3.4 e as abreviaturas dispostas à direita do semivariograma são as mesmas apresentadas na Tabela 3.10. Os círculos representam as semivariâncias, em mm^2 , calculadas em função da distância para representar o semivariograma experimental e as linhas coloridas contínuas indicam os ajustes dos modelos teóricos. Através dos ajustes apresentados a seguir é possível avaliar intuitivamente como se comportam os dados de chuvas máximas estimadas para as sub-bacias e também qual a forma de ajuste e modelo mais apropriado para cada situação.

As codificações descritas em cada figura são entendidas assim: a primeira parte é o método de estimação do quantil de chuva, a parte intermediária é o tempo de recorrência analisado para a chuva intensa e a parte final é a duração da chuvas em dias. Por exemplo, o semivariograma G-T5-D1 quer dizer: distribuição de Gumbel (G), tempo de recorrência de cinco anos (T5) e duração de um dia (D1).

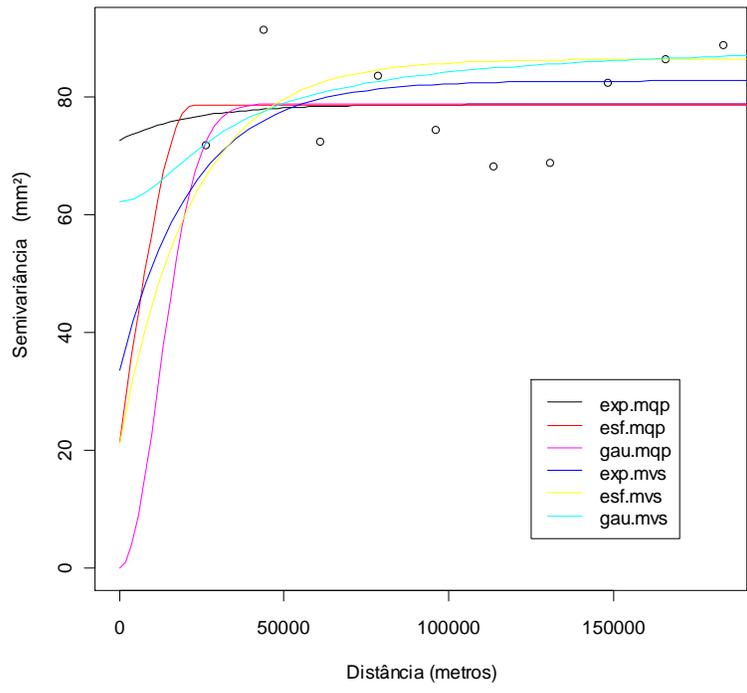


Figura 4.4 - Semivariograma G-T5-D1

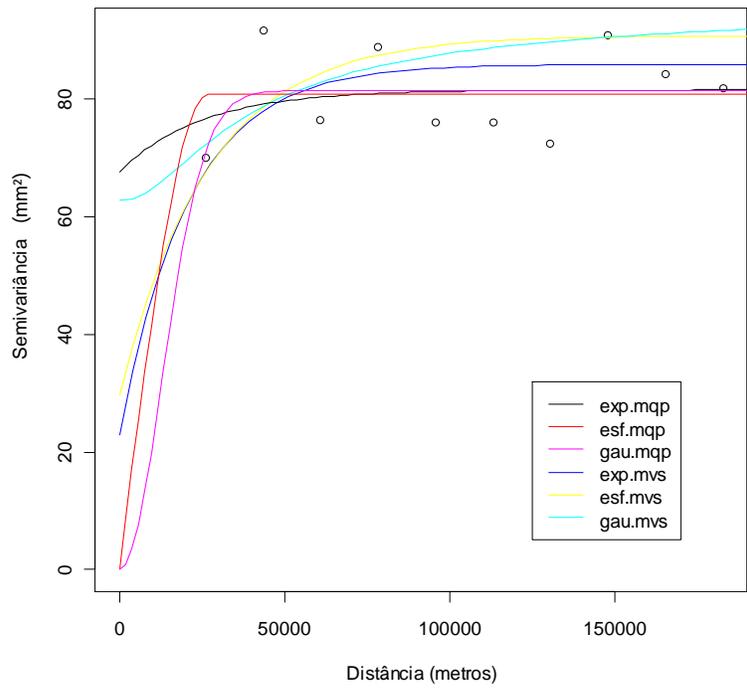


Figura 4.5 - Semivariograma L-T5-D1

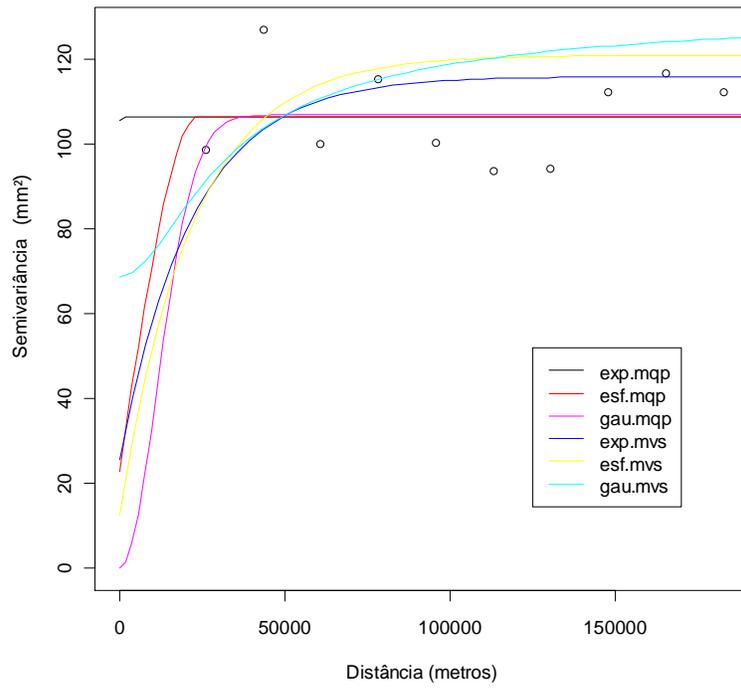


Figura 4.6 - Semivariograma G-T10-D1

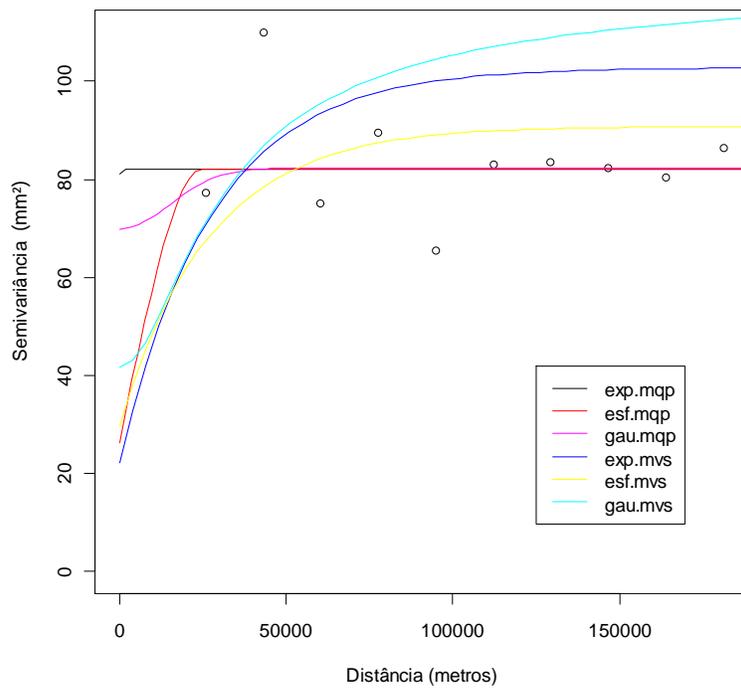


Figura 4.7 - Semivariograma L-T10-D1

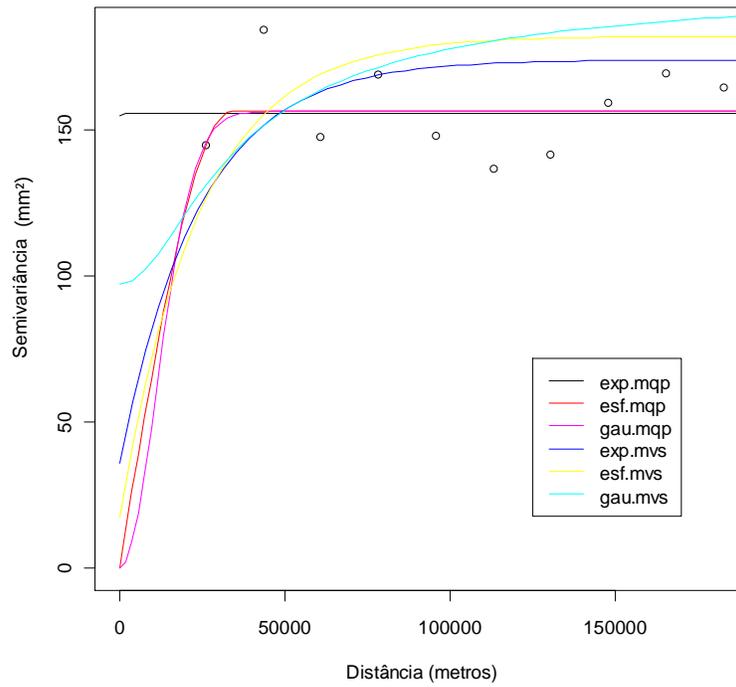


Figura 4.8 - Semivariograma G-T25-D1

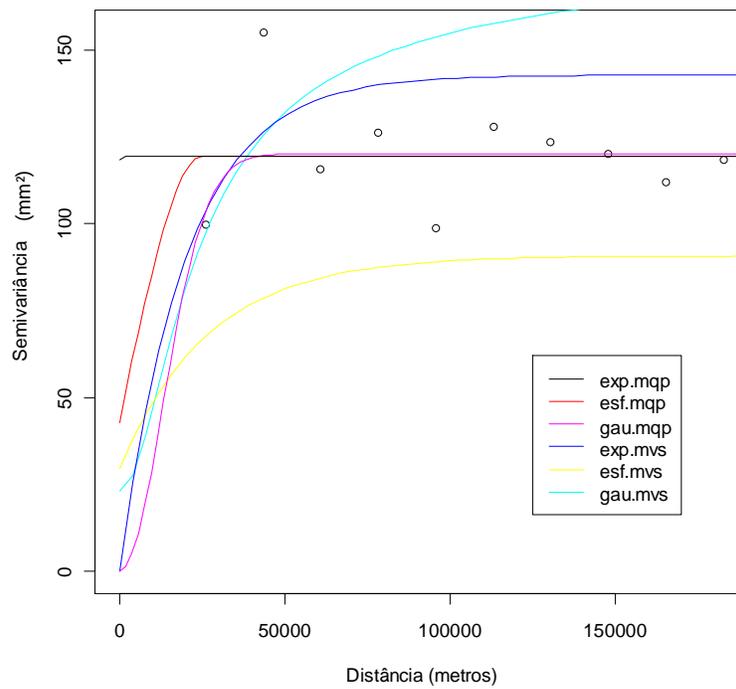


Figura 4.9 - Semivariograma L-T25-D1

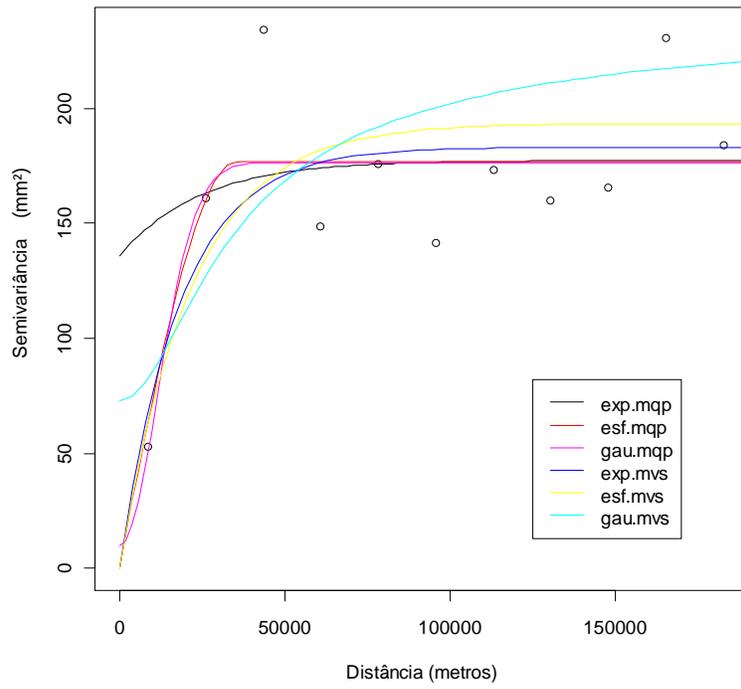


Figura 4.10 - Semivariograma G-T50-D1

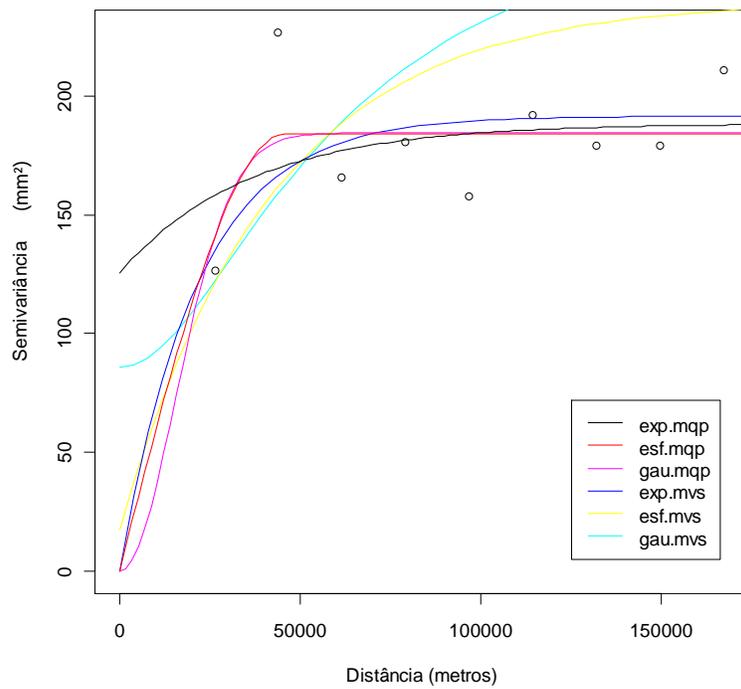


Figura 4.11 - Semivariograma L-T50-D1

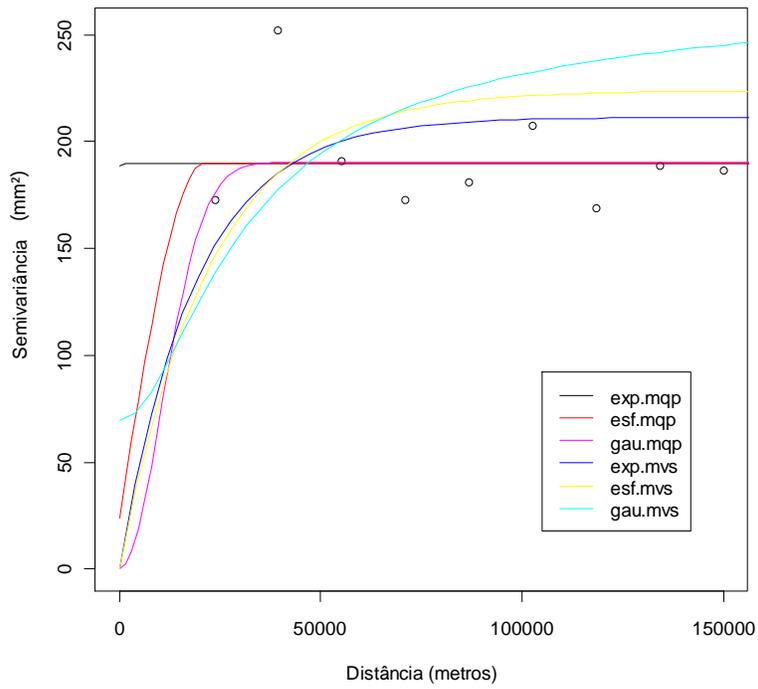


Figura 4.12 - Semivariograma G-T75-D1

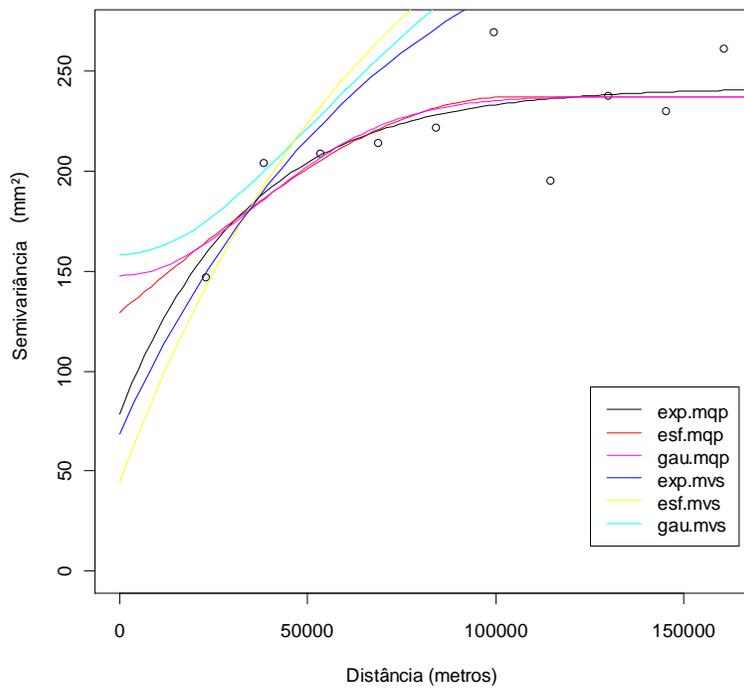


Figura 4.13 - Semivariograma L-T75-D1

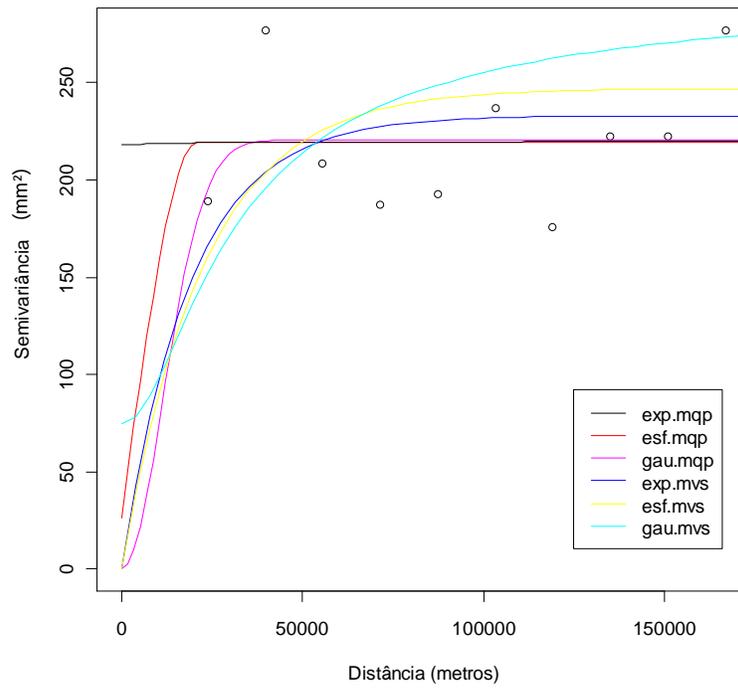


Figura 4.14 - Semivariograma G-T100-D1

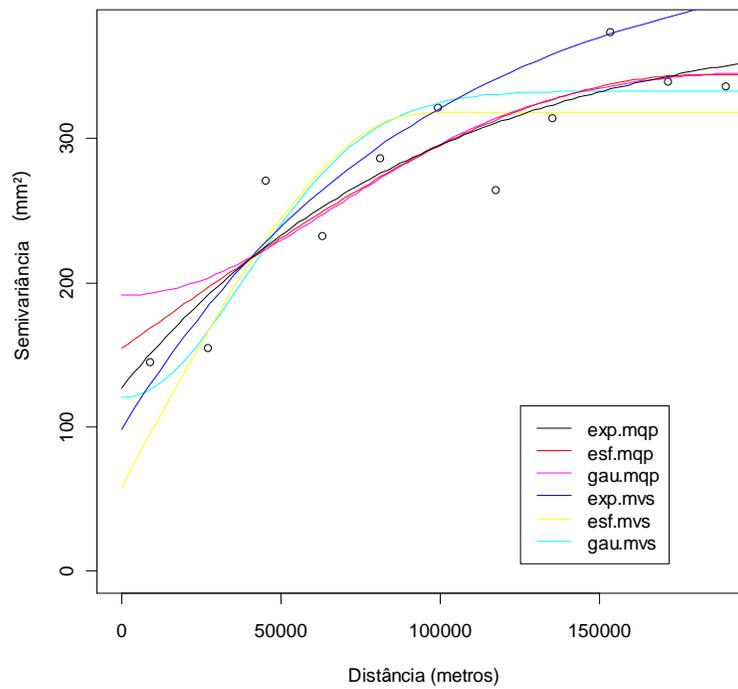


Figura 4.15 - Semivariograma L-T100-D1

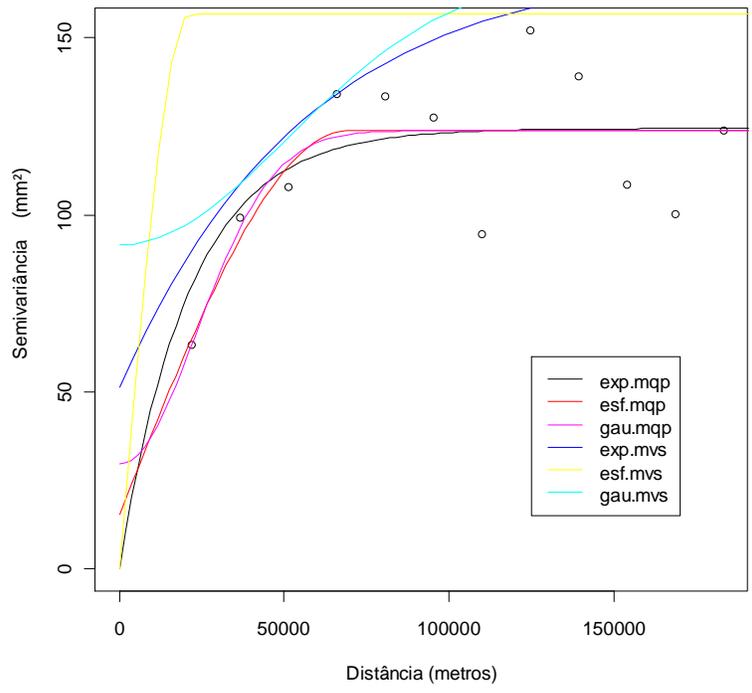


Figura 4.16 - Semivariograma G-T5-D3

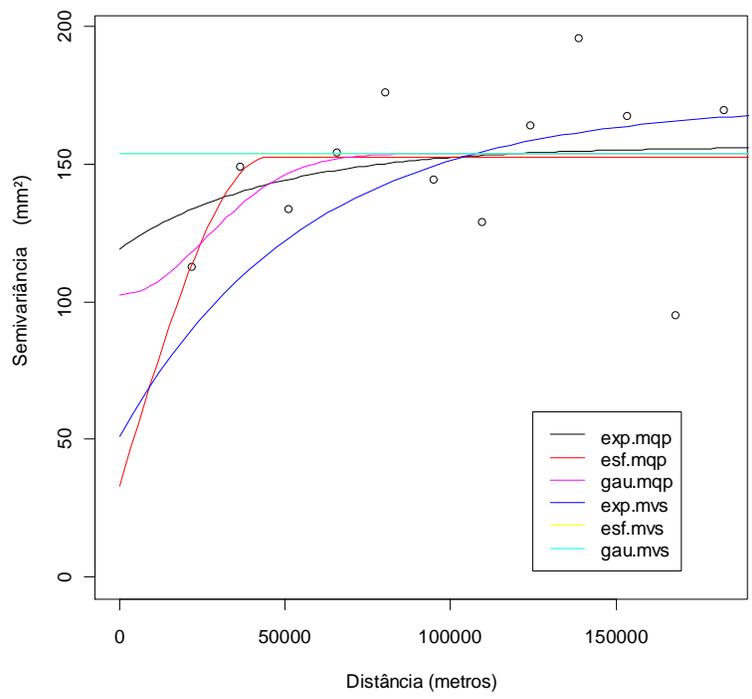


Figura 4.17 - Semivariograma L-T5-D3

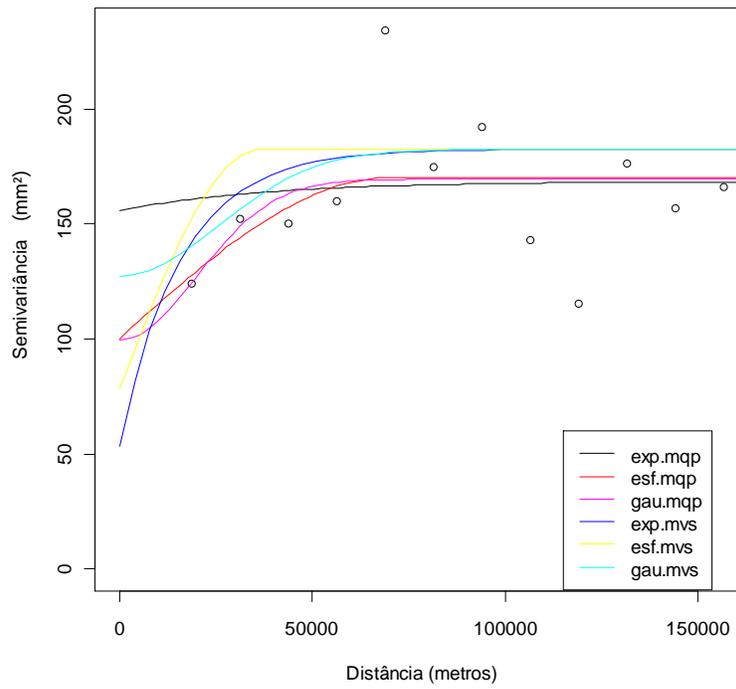


Figura 4.18 - Semivariograma G-T10-D3

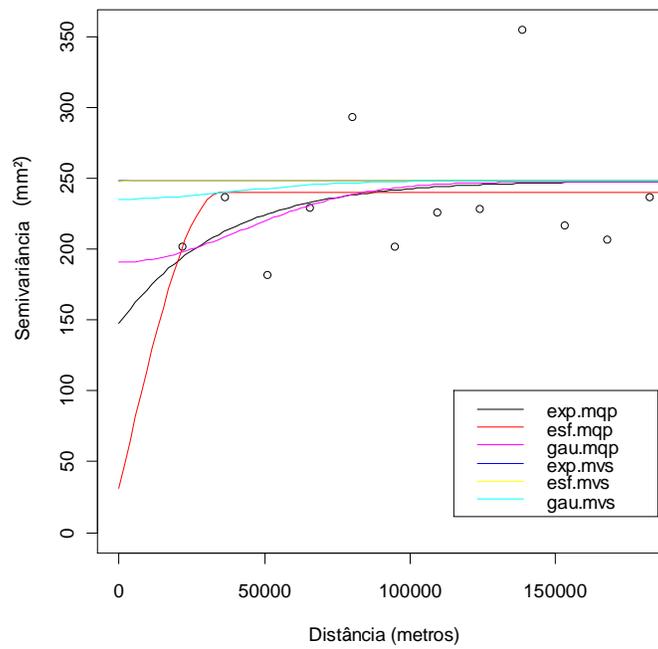


Figura 4.19 - Semivariograma L-T10-D3

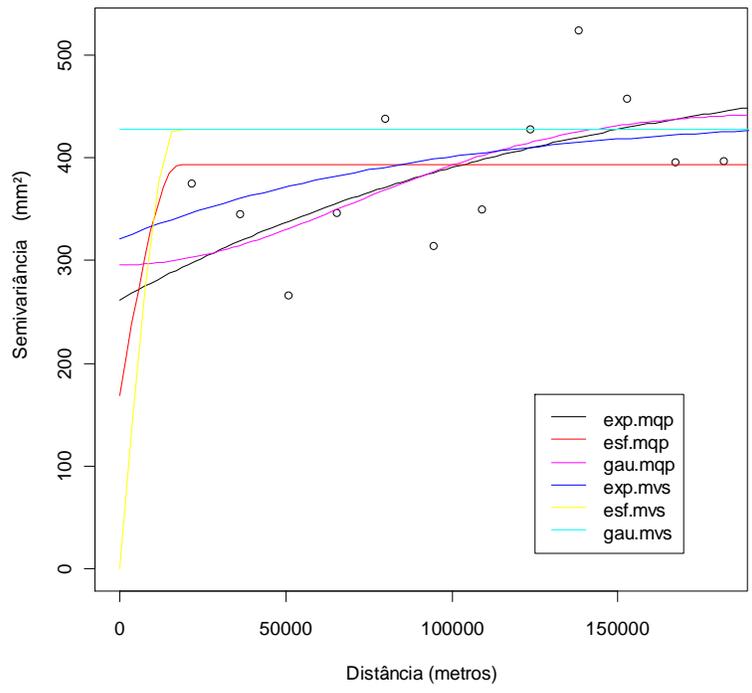


Figura 4.20 - Semivariograma G-T25-D3

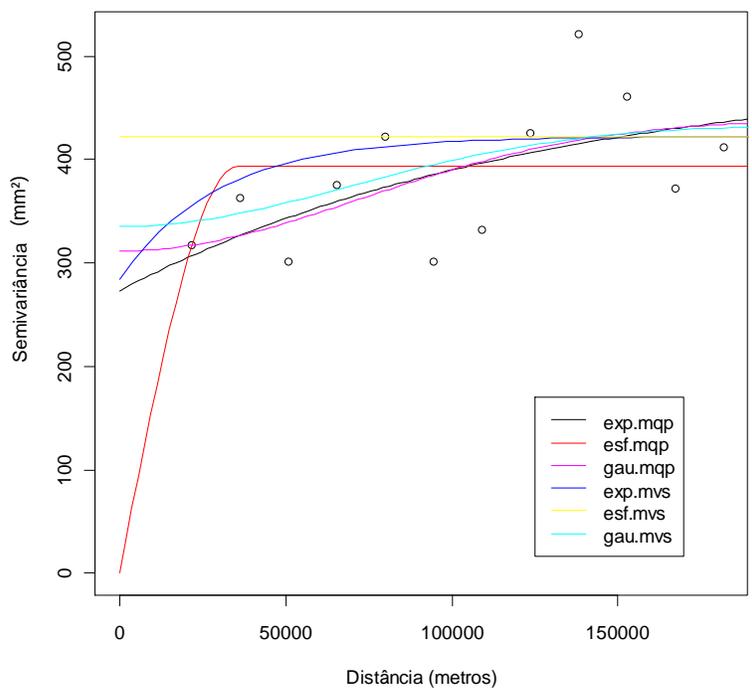


Figura 4.21 - Semivariograma L-T25-D3

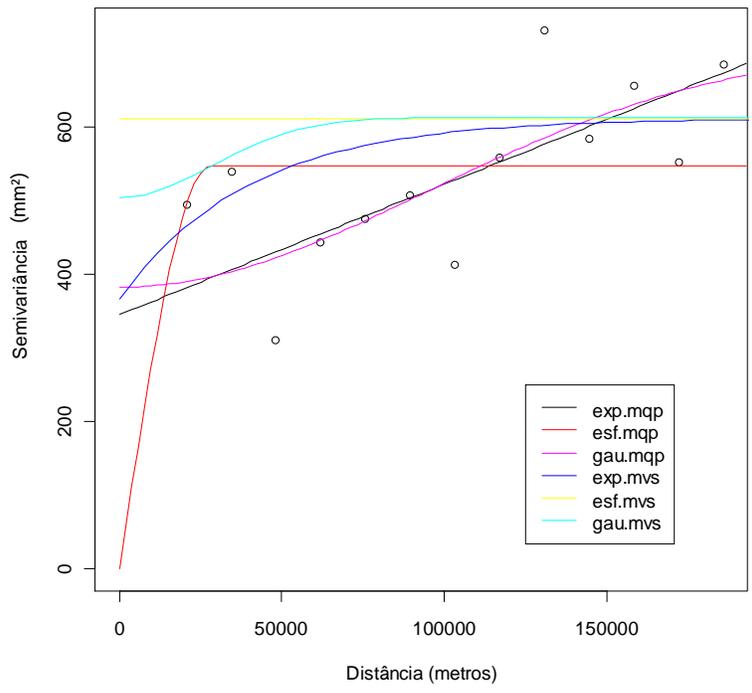


Figura 4.22 - Semivariograma G-T50-D3

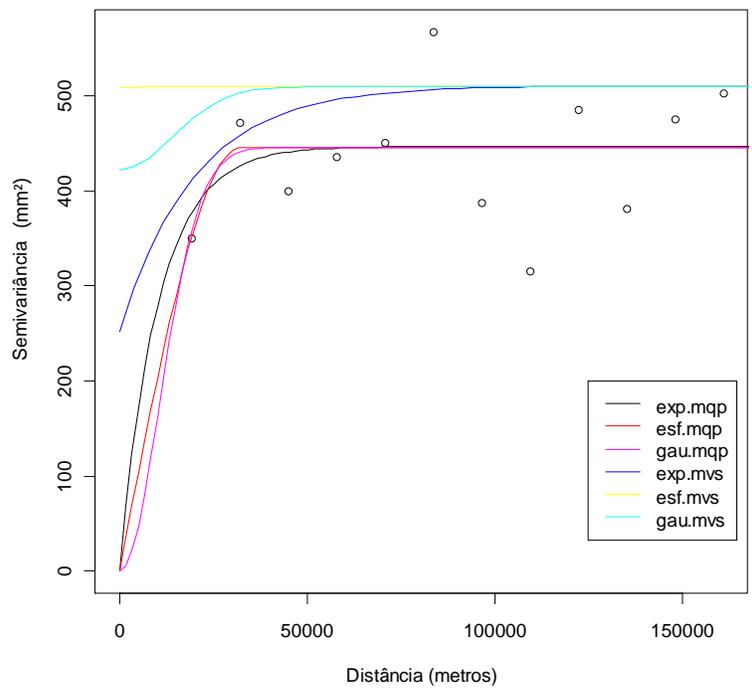


Figura 4.23 - Semivariograma L-T50-D3

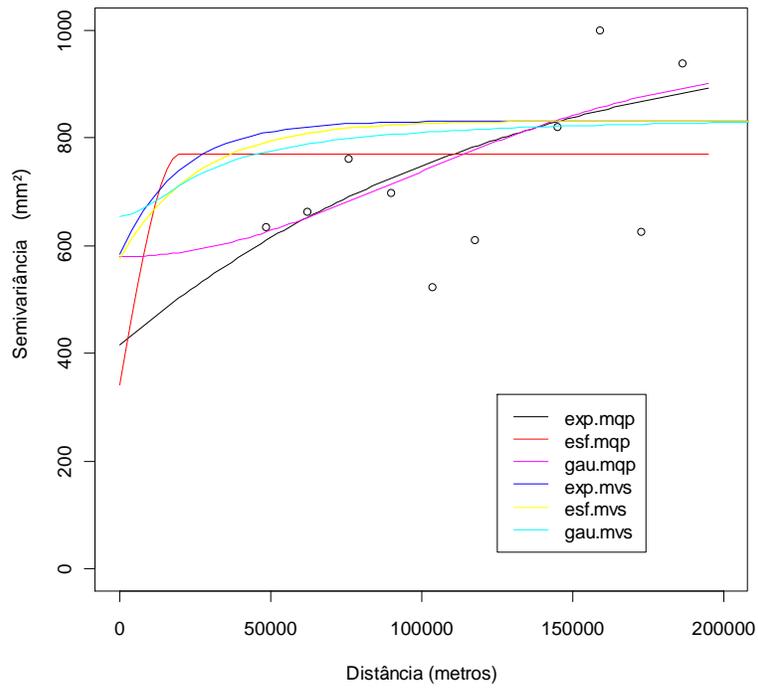


Figura 4.24 - Semivariograma G-T75-D3

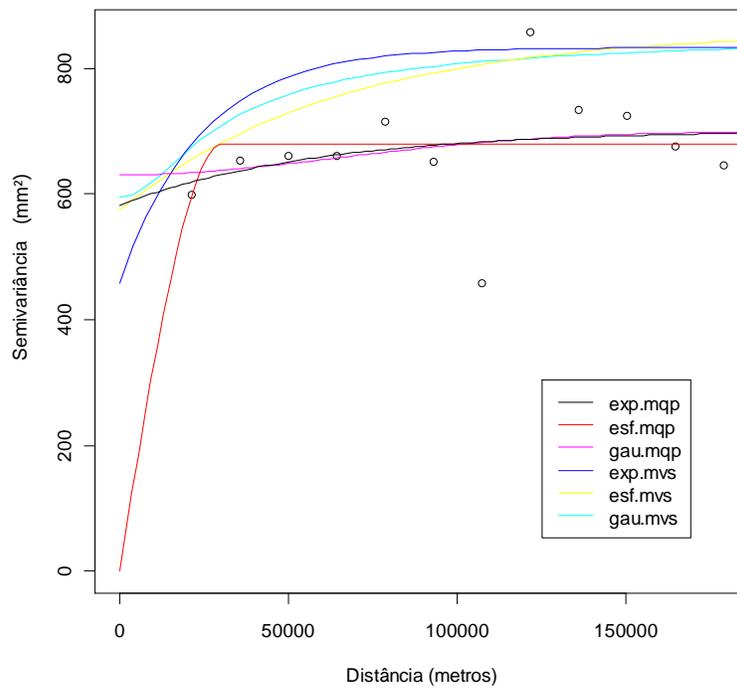


Figura 4.25 - Semivariograma L-T75-D3

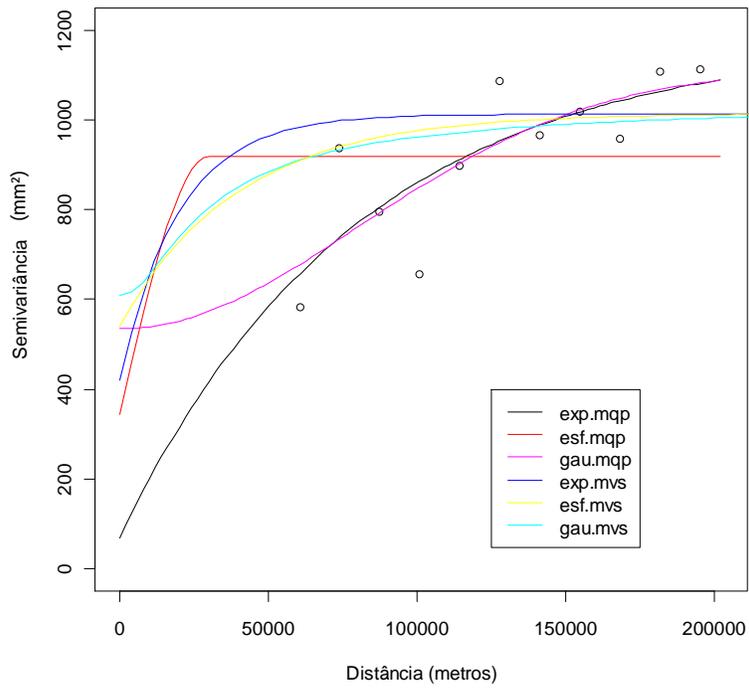


Figura 4.26 - Semivariograma G-T100-D3

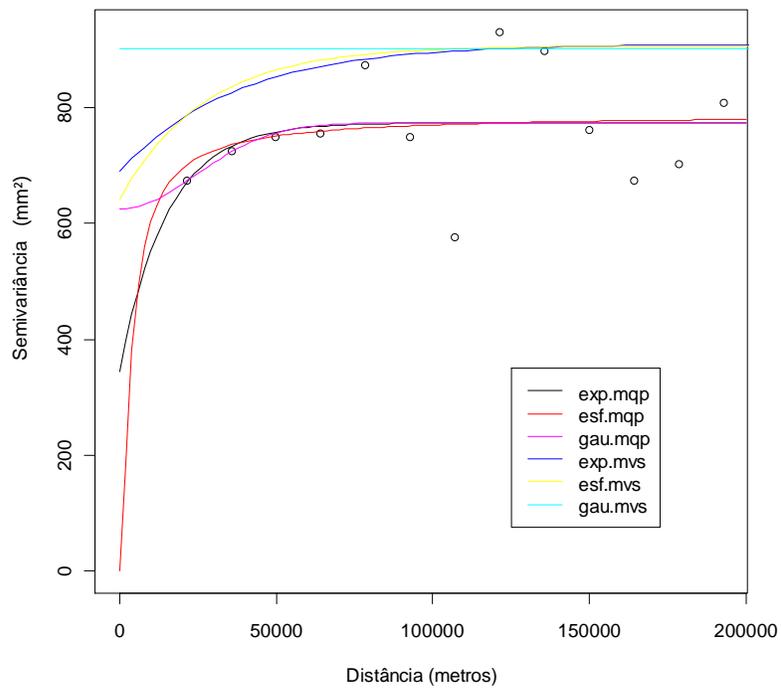


Figura 4.27 - Semivariograma L-T100-D3

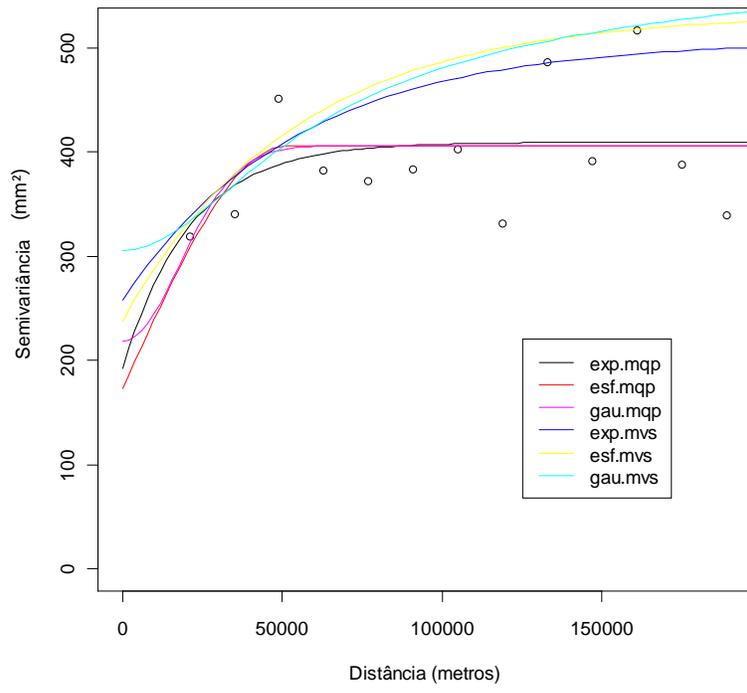


Figura 4.28 - Semivariograma G-T5-D5

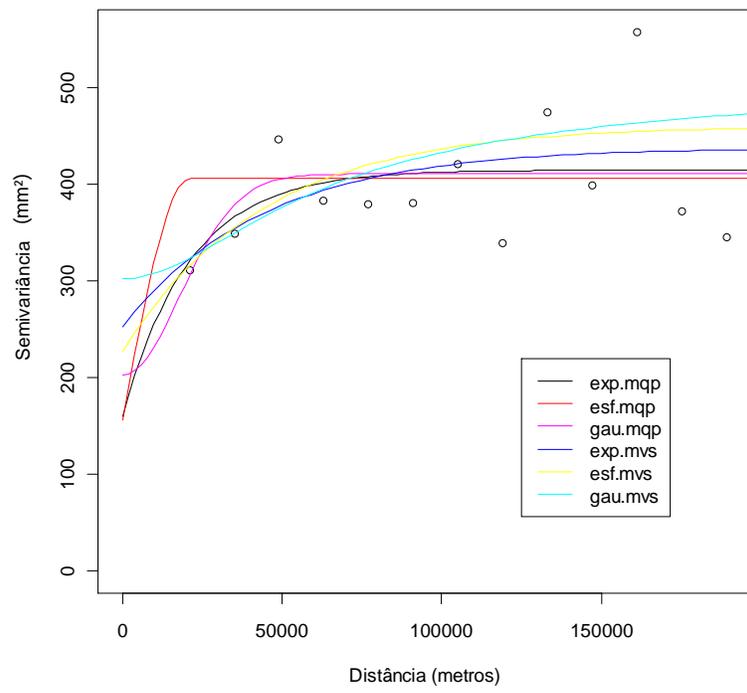


Figura 4.29 - Semivariograma L-T5-D5

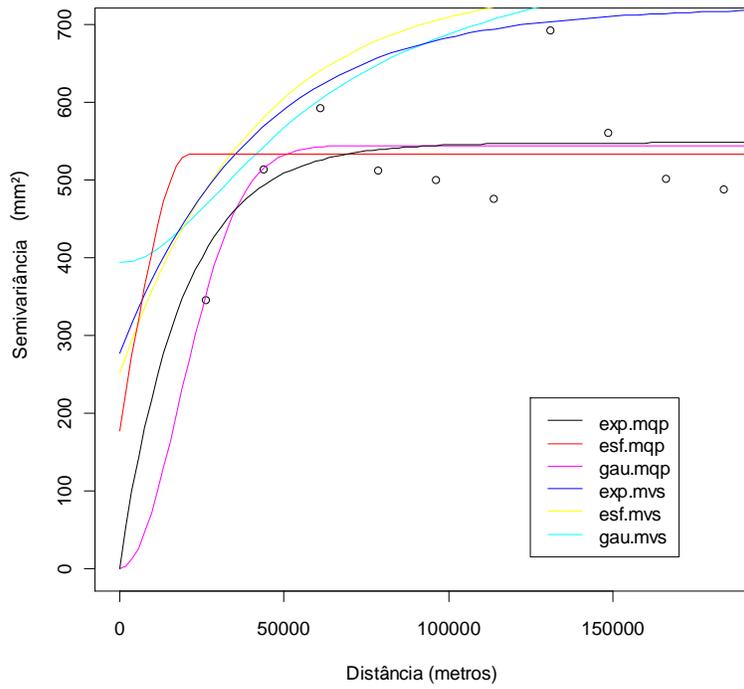


Figura 4.30 - Semivariograma G-T10-D5

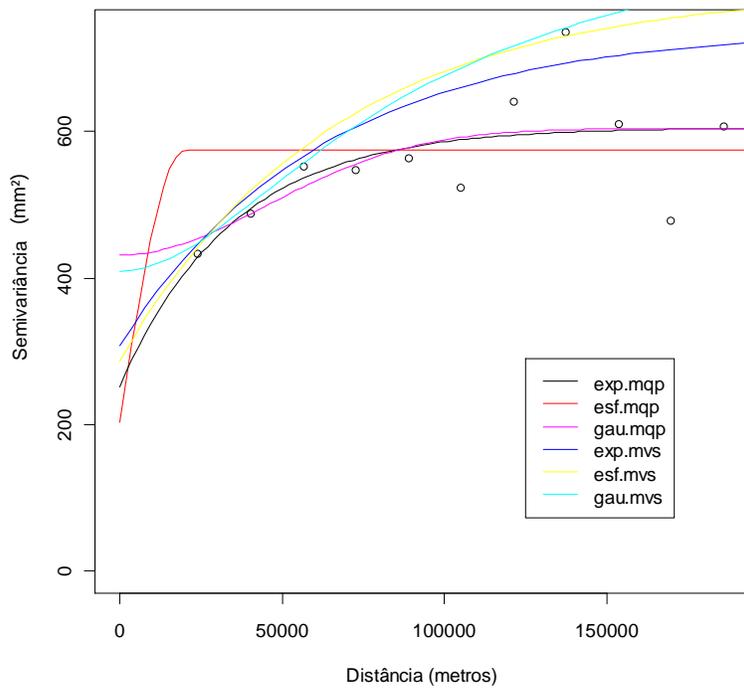


Figura 4.31 - Semivariograma L-T10-D5

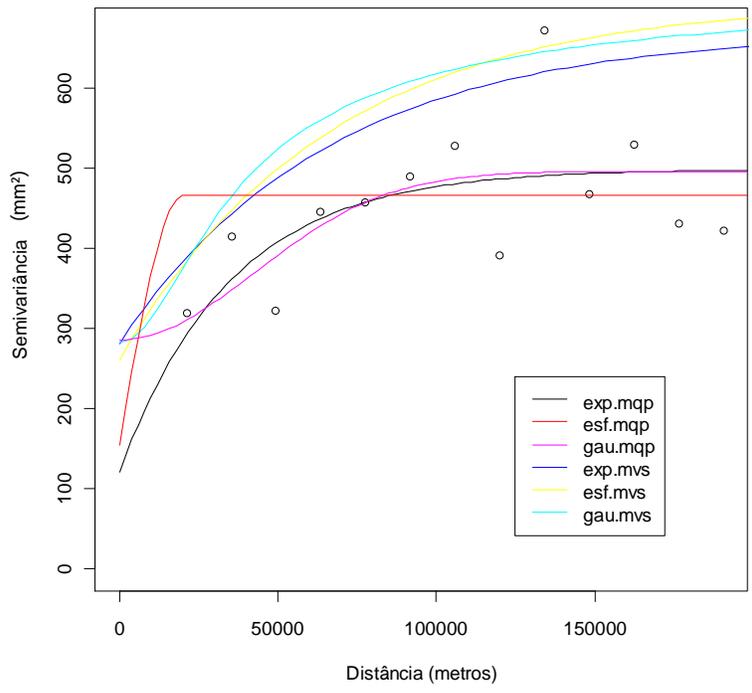


Figura 4.32 - Semivariograma G-T25-D5

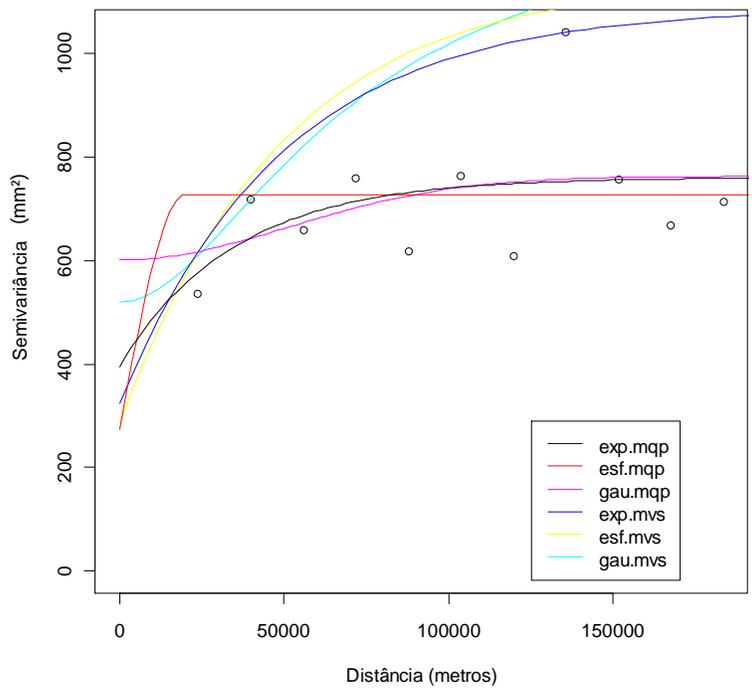


Figura 4.33 - Semivariograma L-T25-D5

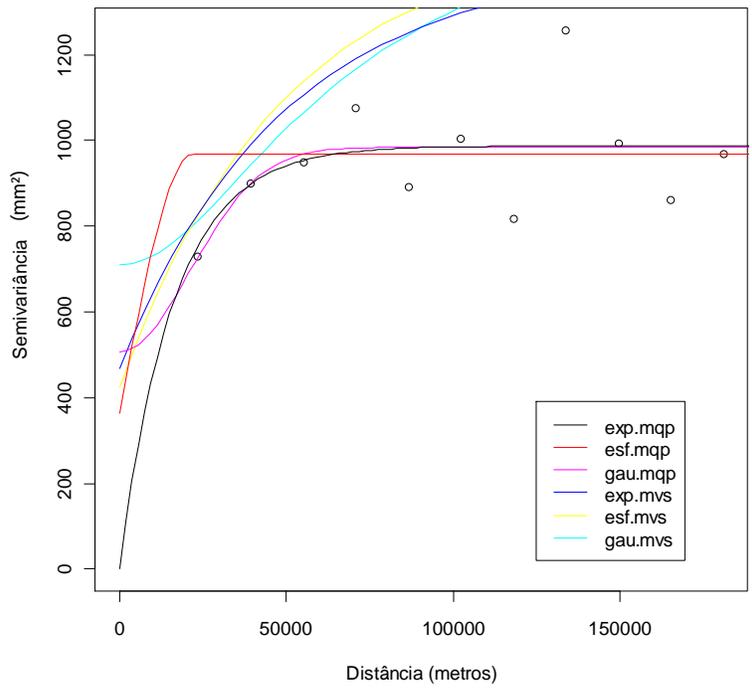


Figura 4.34 - Semivariograma G-T50-D5

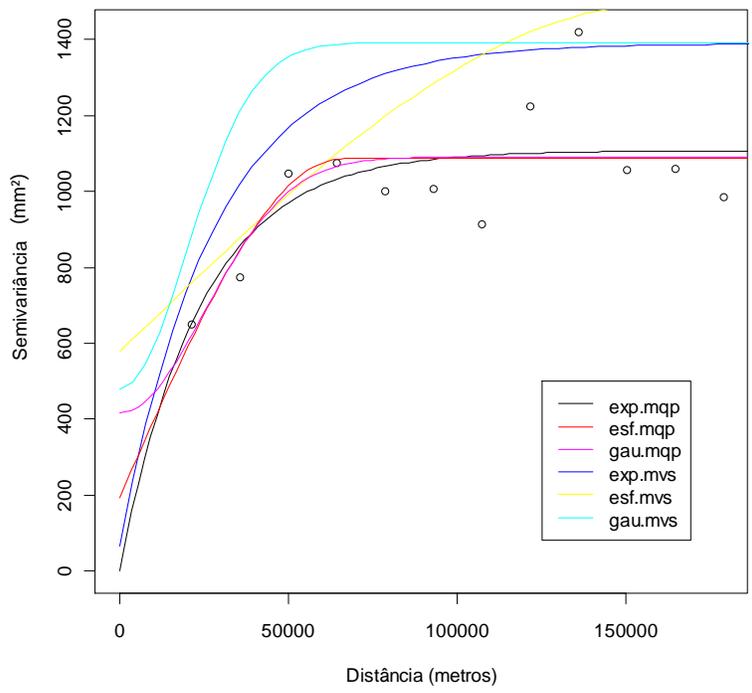


Figura 4.35 - Semivariograma L-T50-D5

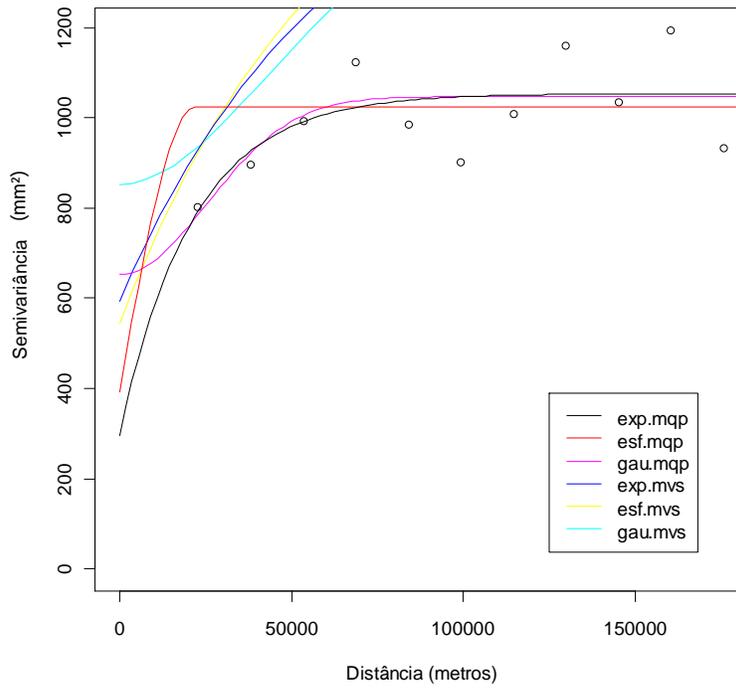


Figura 4.36 - Semivariograma G-T75-D5

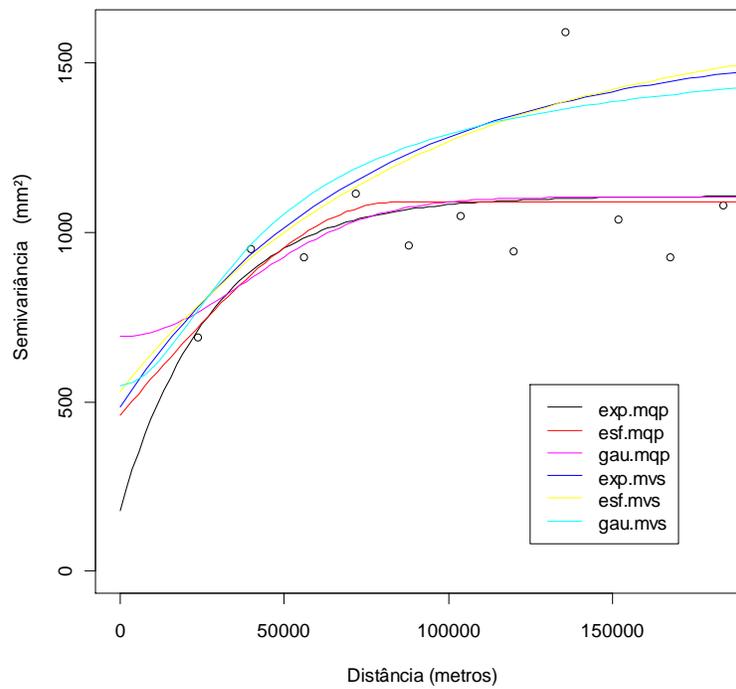


Figura 4.37 - Semivariograma L-T75-D5

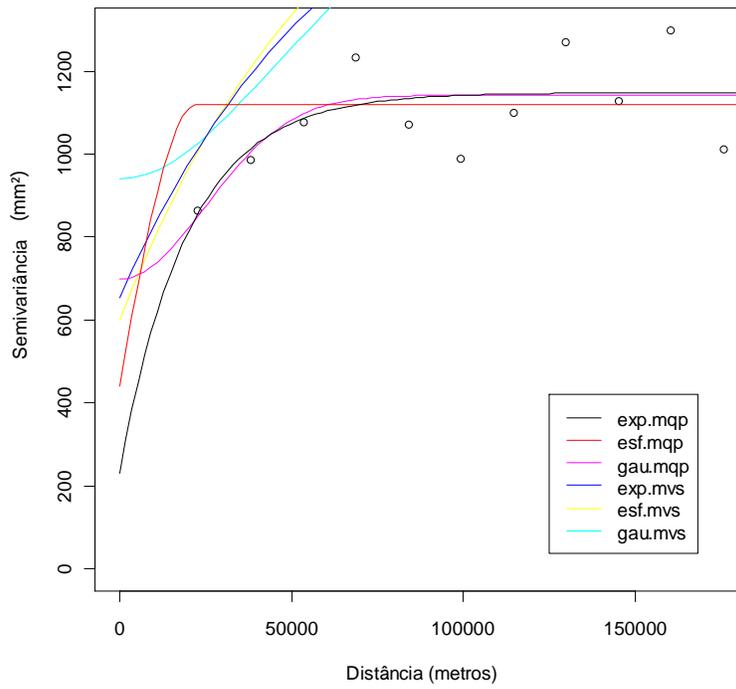


Figura 4.38 - Semivariograma G-T100-D5

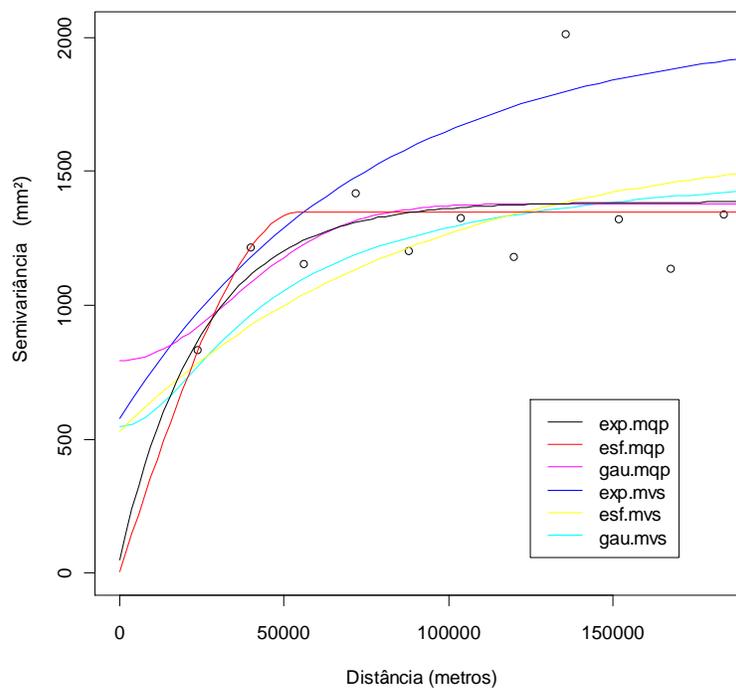


Figura 4.39 - Semivariograma L-T100-D5

Em se tratando das chuvas com duração de um dia, os semivariogramas experimentais apresentam forte variação em torno da origem e não é possível identificar uma estrutura de variabilidade espacial nesses casos. De acordo com os ajustes apresentados, é possível perceber que os semivariogramas ajustados para chuvas com duração de um dia mostram, na maior parte dos casos, uma superioridade em relação ao modelo gaussiano ajustado por mínimos quadrados ponderados (gau.mqp). Além desse, o modelo esférico ajustado por mínimos quadrados ponderados (esf.mqp) também apresenta boa adequação aos semivariogramas experimentais. Já o modelo exponencial ajustado por mínimos quadrados ponderados (exp.mqp) obteve efeito pepita puro (EPP) na maioria das ocasiões, o que indica fraca dependência espacial, portanto, inadequado para modelar tais variáveis. Os modelos ajustados por máxima verossimilhança tendem a elevar o patamar sensivelmente e não se adequam bem aos semivariogramas experimentais. À medida que o tempo de recorrência aumentou, os modelos ajustados por máxima verossimilhança geraram patamares cada vez maiores e piores ajustes gráficos.

Já os semivariogramas experimentais para chuvas de duração de três dias apresentaram uma melhora em sua estrutura de variabilidade espacial em torno da origem. O modelo teórico que melhor se ajustou foi o esférico ajustado por mínimos quadrados ponderados (esf.mqp) seguido pelos modelos exp.mqp e gau.mqp quando se avalia o ajuste gráfico dos semivariogramas experimentais. Novamente, os modelos ajustados por máxima verossimilhança não foram bons estimadores de parâmetros dos modelos teóricos, por possuírem uma tendência de elevação do patamar dos mesmos, ficando mais evidente nas amostras de chuvas estimadas pela distribuição Lognormal.

Quando a duração das chuvas aumenta para cinco dias os semivariogramas experimentais têm uma estrutura de variação mais consistente em torno da origem. Mais uma vez, os modelos ajustados por mínimos quadrados ponderados se sobressaíram, com exceção do modelo gaussiano que apresentou elevado valor de efeito pepita na maioria dos casos. O modelo exponencial ajustado por mínimos quadrados ponderados (exp.mqp) foi o melhor na maioria das situações.

A seguir serão apresentados os parâmetros estimados para os semivariogramas apresentados nas Tabelas de 4.20 a 4.25.

Tabela 4.20 - Parâmetros de ajuste de semivariogramas de chuvas com duração de um dia estimadas pela distribuição de Gumbel

Modelo/Ajuste	Parâmetros	Distribuição de Gumbel					
		Tr (anos)	5	10	25	50	75
exp.mqp	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	72,7011	106,61	155,805	135,602	189,685	218,035
	Variância Estrutural (C_1)	6,0899	0	0	41,6154	0	1,6626
	Alcance (A)	22033,7	24005,2	28008,5	24011,6	21007,2	21001,6
	GDE (%)	7,72918	0	0	23,4827	0	0,75677
esf.mqp	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	21,4283	22,8457	0	0	23,7106	26,3564
	Variância Estrutural (C_1)	57,1422	83,7677	156,338	176,532	165,974	192,28
	Alcance (A)	22103,5	24000	34020,1	35216	21003,2	22000
	GDE (%)	72,7273	78,5715	100	100	87,5	87,9451
gau.mqp	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	0	0	0	9,7407	0	0
	Variância Estrutural (C_1)	78,8754	106,96	156,302	166,672	190,312	220,603
	Alcance (A)	16595,1	16008,9	15955,6	16300,8	14751,1	16177,7
	GDE (%)	100	100	100	94,4785	100	100
exp.mvs	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	33,71	25,54	35,99	0	0	0
	Variância Estrutural (C_1)	49,07	90,49	138,02	183	211,3	233
	Alcance (A)	23000	22000	24000	18363	18822,5	19099,3
	GDE (%)	59,2776	77,9885	79,3173	100	100	100
esf.mvs	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	21,33	12,62	17,25	0	0	0
	Variância Estrutural (C_1)	65,15	108,39	164,79	193,4	222,8	247,1
	Alcance (A)	24000	23000	24000	21475,3	22366	22741,2
	GDE (%)	75,3353	89,5711	90,5241	100	100	100
gau.mvs	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	62,15	68,74	97,04	72,59	69,65	74,68
	Variância Estrutural (C_1)	28,13	63,85	105,19	168,9	203,65	224,2
	Alcance (A)	23000	22000	22000	23000	21003,7	21000
	GDE (%)	31,1586	48,156	52,015	69,9408	74,5152	75,0134

Tabela 4.21 - Parâmetros de ajuste de semivariogramas de chuvas com duração de um dia estimadas pela distribuição Lognormal

Modelo/Ajuste	Parâmetros	Distribuição Lognormal					
		Tr (anos)	5	10	25	50	75
exp.mqp	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	67,6865	82,1724	119,289	125,405	76,5459	126,936
	Variância Estrutural (C_1)	13,9156	0	0	62,8508	163,367	258,719
	Alcance (A)	25003,1	25005,5	25014,6	35999	34025,5	95008,5
	GDE (%)	17,053	0	0	33,3858	68,0943	67,0856
esf.mqp	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	0	16,4345	42,8218	0	129,312	154,308
	Variância Estrutural (C_1)	81,9858	65,8428	76,4676	184,075	107,968	189,81
	Alcance (A)	39834,6	21000	25000	46081,2	103745	181580
	GDE (%)	100	80,0255	64,1026	100	45,5025	55,1585
gau.mqp	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	0	69,8882	0	0	147,748	191,178
	Variância Estrutural (C_1)	81,9669	12,4228	120,091	184,261	89,6618	156,801
	Alcance (A)	18626,1	20999,2	18524	21979,6	51459,8	98025,3
	GDE (%)	100	15,0925	100	100	37,7668	45,0606
exp.mvs	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	23,01	22,28	0	0	68,6	98,53
	Variância Estrutural (C_1)	62,93	80,52	142,8	191,4	284,77	341,98
	Alcance (A)	21000	28000	20115,7	21629	69000	95000
	GDE (%)	73,2255	78,3268	100	100	80,5869	77,6327
esf.mvs	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	29,73	29,73	29,73	17,71	44,38	58,45
	Variância Estrutural (C_1)	61,11	61,11	61,11	222,15	288,94	259,24
	Alcance (A)	27000	27000	27000	42006	69000	95000
	GDE (%)	67,2721	67,2721	67,2721	92,6165	86,6855	81,6016
gau.mvs	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	62,78	41,66	22,99	85,78	158,3	120,2
	Variância Estrutural (C_1)	33,88	80,14	156,57	236,68	284,4	212,6
	Alcance (A)	26000	21000	16000	41000	70000	55000
	GDE (%)	35,0507	65,7964	87,1965	73,3983	64,2422	63,8822

Tabela 4.22 - Parâmetros de ajuste de semivariogramas de chuvas com duração de três dias estimadas pela distribuição de Gumbel

Modelo/Ajuste	Parâmetros	Distribuição de Gumbel					
		Tr (anos)	5	10	25	50	75
exp.mqp	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	0	155,677	261,659	345,264	439,351	69,8802
	Variância Estrutural (C_1)	124,387	12,8264	252,949	309,139	609,361	1108,57
	Alcance (A)	21366,7	37020,6	140544	1741,52	126155	80281,8
	GDE (%)	100	7,61197	49,1537	47,2399	58,1057	94,0702
esf.mqp	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	15,2258	100,247	168,423	0	301,441	344,272
	Variância Estrutural (C_1)	108,625	69,8292	224,564	547,449	419,064	573,786
	Alcance (A)	69409,9	69822,2	18000	28083,5	20000	30000
	GDE (%)	87,7063	41,0576	57,1429	100	58,1625	62,5
gau.mqp	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	29,5553	99,6678	295,768	382,707	579,287	534,394
	Variância Estrutural (C_1)	94,2121	69,7773	149,834	328,618	361,776	577,313
	Alcance (A)	32976,8	28335	97960	133656	132230	113449
	GDE (%)	76,1203	41,1799	33,6251	46,198	38,4433	51,9303
exp.mvs	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	51,18	102,8	321,1	366,4	583,3	419,4
	Variância Estrutural (C_1)	120,49	79,3	120,8	245,7	248	593
	Alcance (A)	56375,7	56000	92250	40000	21000	21000
	GDE (%)	70,187	43,5475	27,3365	40,1405	29,8328	58,5737
esf.mvs	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	0	78,4	0	612,067	575,6	541,4
	Variância Estrutural (C_1)	156,7	104	428,2	0	255,9	472,6
	Alcance (A)	21000	36000	16887,4	5793,97	26000	39000
	GDE (%)	100	57,0175	100	0	30,7757	46,6075
gau.mvs	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	91,48	127,25	428,132	504	654,6	607,8
	Variância Estrutural (C_1)	77,13	55,11	0	109,1	192,6	440,2
	Alcance (A)	72367	32000	6222,5	40000	20000	20000
	GDE (%)	45,7446	30,2204	0	17,7948	22,7337	42,0038

Tabela 4.23 - Parâmetros de ajuste de semivariogramas de chuvas com duração de três dias estimadas pela distribuição Lognormal

Modelo/Ajuste	Parâmetros	Distribuição Lognormal					
		Tr (anos)	5	10	25	50	75
exp.mqp	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	119,233	147,577	273,197	0,0412	582,326	345,069
	Variância Estrutural (C_1)	37,1545	101,058	214,171	446,662	119,548	428,679
	Alcance (A)	45037,3	35084,1	127241	10384,5	57820,2	15182,1
	GDE (%)	23,7579	40,6451	43,9445	99,9908	17,0326	55,4029
esf.mqp	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	33,1667	31,13	0,0647	0	0	0
	Variância Estrutural (C_1)	119,378	209,232	393,375	445,86	679,806	788,963
	Alcance (A)	45005	35010,2	35514,5	32400	32525,4	2422,41
	GDE (%)	78,2577	87,0487	99,9836	100	100	100
gau.mqp	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	102,537	190,978	311,456	0,0367	630,836	624,977
	Variância Estrutural (C_1)	51,299	56,842	127,9	445,926	69,1047	148,85
	Alcance (A)	36449,7	59194,8	102549	15135,5	91680,7	34445,8
	GDE (%)	33,3466	22,9368	29,1107	99,9918	9,87294	19,2355
exp.mvs	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	51,18	248,5	284,3	251,5	459,1	689,5
	Variância Estrutural (C_1)	120,49	0	137,9	259	374,6	220,1
	Alcance (A)	56375,7	43170	30000	20000	24000	37000
	GDE (%)	70,187	0	32,6622	50,7346	44,9322	24,1974
esf.mvs	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	153,926	248,5	421,472	509,3	573,8	640,8
	Variância Estrutural (C_1)	0	0	0	0	286,6	265,5
	Alcance (A)	147000	0	5728,12	15320	63000	27000
	GDE (%)	0	0	0	0	33,3101	29,2949
gau.mvs	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	153,926	235,5	335,25	422,22	594,9	902,5
	Variância Estrutural (C_1)	0	13,2	98,43	87,37	267,4	0
	Alcance (A)	5680,48	55000	97802	20000	21000	0
	GDE (%)	0	5,3076	22,6965	17,1452	31,0101	0

Tabela 4.24 - Parâmetros de ajuste de semivariogramas de chuvas com duração de cinco dias estimadas pela distribuição de Gumbel

Modelo/Ajuste	Parâmetros	Distribuição de Gumbel					
		Tr (anos)	5	10	25	50	75
exp.mqp	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	174,45	0	134,803	0	50,023	0
	Variância Estrutural (C_1)	232,366	533,933	606,494	987,439	1087,04	1198,4
	Alcance (A)	20771,2	16450,4	37865,8	15515,3	18043,4	14682,8
	GDE (%)	57,1183	100	81,8153	100	95,6007	100
esf.mqp	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	0	79,7131	364,932	213,831	479,413	547,718
	Variância Estrutural (C_1)	402,065	452,698	371,451	767,956	653,979	648,81
	Alcance (A)	37809,9	55363	136627	48385,7	68052	58747,6
	GDE (%)	100	85,0279	50,4426	78,2202	57,7011	54,2244
gau.mqp	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	296,435	123,201	388,216	375,844	637,905	604,714
	Variância Estrutural (C_1)	108,846	408,89	341,441	607,174	496,809	591,86
	Alcance (A)	37087,2	26107,8	59882,8	25030,9	35148,2	27562,7
	GDE (%)	26,8569	76,8459	46,7947	61,7663	43,7827	49,4629
exp.mvs	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	75,66	356,3	7,528	248,1	397	345,8
	Variância Estrutural (C_1)	418,7	403,7	983,913	1136,3	1214,4	1425,3
	Alcance (A)	18000	74002,1	20000	30000	38000	34000
	GDE (%)	84,6954	53,1184	99,2407	82,0789	75,363	80,4754
esf.mvs	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	225,5	294,5	353,2	579,9	501,8	388,9
	Variância Estrutural (C_1)	272,6	429,6	658,9	826,9	1127,1	1424,7
	Alcance (A)	63000	74000	60000	30000	74000	61000
	GDE (%)	54,728	59,3288	65,1023	58,7788	69,1939	78,5565
gau.mvs	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	286,9	458,4	472,8	346,9	648,4	935,4
	Variância Estrutural (C_1)	209,6	270,8	534,7	1068,8	982,5	861,6
	Alcance (A)	23000	74000	31000	58000	33000	61000
	GDE (%)	42,2155	37,1366	53,072	75,4962	60,2428	47,9466

Tabela 4.25 - Parâmetros de ajuste de semivariogramas de chuvas com duração de cinco dias estimadas pela distribuição Lognormal

Modelo/Ajuste	Parâmetros	Distribuição Lognormal					
		Tr (anos)	5	10	25	50	75
exp.mqp	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	233,259	0	299,627	0	295,346	0
	Variância Estrutural (C_1)	182,653	533,651	586,085	1107,32	1002,13	1381,41
	Alcance (A)	28108,8	12450,4	37602,8	24010	33001,2	24131,3
	GDE (%)	43,9162	100	66,1711	100	77,2369	100
esf.mqp	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	121,513	299,413	364,705	192,846	345,027	214,179
	Variância Estrutural (C_1)	283,531	234,199	490,073	893,061	905,613	1145,04
	Alcance (A)	20000	56570,3	85901,3	66035,2	74415,3	68082
	GDE (%)	70	43,8894	57,3334	82,241	72,412	84,2425
gau.mqp	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	303,016	354,687	592,689	416,518	630,14	409,201
	Variância Estrutural (C_1)	109,165	179,358	287,469	674,136	631,357	951,654
	Alcance (A)	40337,9	38847,4	67756,3	35494,9	44196,2	33735,7
	GDE (%)	26,4847	33,5848	32,6611	61,8102	50,0482	69,9306
exp.mvs	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	88,99	349	404,9	64,52	110	578,3
	Variância Estrutural (C_1)	337,65	449,8	748,5	1324,81	1512,4	1460,8
	Alcance (A)	17000	95000	71579,2	28000	31500	75173,8
	GDE (%)	79,1417	56,3095	64,8951	95,356	93,2199	71,6394
esf.mvs	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	201,4	241,9	238,1	577,2	304,8	1785
	Variância Estrutural (C_1)	224,9	458,3	813,7	916,6	1302,8	0
	Alcance (A)	59000	64000	56000	160557	31000	16770
	GDE (%)	52,7563	65,4527	77,3626	61,3603	81,0401	0
gau.mvs	Tr (anos)	5	10	25	50	75	100
	Efeito Pepita (C_0)	248,7	449,7	546,3	479	534,2	384
	Variância Estrutural (C_1)	177,6	296,9	519,6	912,7	1087	1420
	Alcance (A)	22000	95000	56000	29000	31000	21000
	GDE (%)	41,6608	39,7669	48,7475	65,5817	67,0491	78,714

Os resultados dos ajustes de parâmetros dos semivariogramas mostram um melhor desempenho do método de ajuste dos mínimos quadrados ponderados em relação à máxima verossimilhança. A não normalidade dos valores amostrais pode comprometer a qualidade de ajuste da máxima verossimilhança, porém todos os dados amostrais foram

aprovados no teste de normalidade de Anderson-Darling (AD) a um nível de significância de 5%. Apesar de possuírem forte dependência espacial (GDE) em alguns ajustes, os modelos provenientes de ajustes por máxima verossimilhança forçaram uma elevação brusca dos patamares observados, o que inviabiliza o uso desses modelos ajustados, apesar do bom GDE.

Os erros médios absolutos entre valores estimados e aqueles obtidos com a validação cruzada para chuvas com duração de um dia estão resumidos na Tabela 4.26.

Tabela 4.26 - Erro médio absoluto de estimação por validação cruzada para as chuvas, em mm, com duração de um dia

Distribuição de Gumbel							
Tr (anos)		5	10	25	50	75	100
Modelo / Ajuste	exp.mpq	7,45	EPP	EPP	11,23	EPP	EPP
	esf.mqp	7,35	8,75	10,31	10,91	10,11	10,72
	gau.mqp	7,24	8,45	9,69	11,84	10,42	10,86
	exp.mvs	7,11	8,29	10,28	9,59	10,29	10,89
	esf.mvs	6,99	8,18	10,19	10,08	10,85	11,43
	gau.mvs	8,55	8,19	10,26	9,90	10,52	10,71
Distribuição Lognormal							
Tr (anos)		5	10	25	50	75	100
Modelo / Ajuste	exp.mpq	7,62	EPP	EPP	11,68	12,98	13,15
	esf.mqp	7,53	8,23	10,31	11,77	12,46	13,20
	gau.mqp	7,56	8,32	9,69	11,84	12,79	13,52
	exp.mvs	7,32	7,68	10,28	10,41	11,74	12,33
	esf.mvs	7,20	7,41	10,19	9,76	11,62	12,65
	gau.mvs	7,12	7,60	10,26	10,54	11,55	12,29

Através dos resultados da Tabela 4.26 é possível observar que os modelos ajustados não diferem significativamente quando se comparam os erros médios absolutos. Pode ser observado também que a validação cruzada produziu erros ligeiramente menores quando o ajuste foi realizado por máxima verossimilhança na maioria dos casos.

Para chuvas com duração de três dias foram gerados os seguintes erros médios absolutos quando se realizou a validação cruzada (Tabela 4.27).

Tabela 4.27 - Erro médio absoluto de estimação por validação cruzada para as chuvas, em mm, com duração de três dias

Gumbel							
Tr (anos)		5	10	25	50	75	100
Modelo / Ajuste	exp.mpq	9,82	12,55	17,65	19,94	22,44	23,62
	esf.mqp	9,90	12,55	17,67	20,28	22,42	26,41
	gau.mqp	10,09	12,44	17,41	19,91	22,56	23,43
	exp.mvs	9,70	11,65	17,73	20,61	22,45	23,46
	esf.mvs	10,07	11,81	17,67	EPP	22,91	23,57
	gau.mvs	9,85	11,59	17,68	20,30	22,29	23,51
Lognormal							
Tr (anos)		5	10	25	50	75	100
Modelo / Ajuste	exp.mpq	9,82	13,84	17,71	19,94	23,52	23,34
	esf.mqp	9,90	14,16	17,92	19,95	23,13	23,45
	gau.mqp	10,09	13,72	17,72	19,92	22,57	23,42
	exp.mvs	10,07	EPP	17,88	20,00	22,82	23,34
	esf.mvs	EPP	EPP	EPP	EPP	22,82	23,49
	gau.mvs	EPP	14,87	17,64	20,12	22,91	EPP

A partir da Tabela 4.27 é possível observar que mais uma vez a diferença entre os erros médios absolutos são irrelevantes. Porém, desta vez o método de ajuste através dos mínimos quadrados ponderados produziu erros levemente menores que aqueles estimados através da máxima verossimilhança. Além disso, já havia sido observado que os ajustes realizados por máxima verossimilhança tendem a elevar o valor do patamar e com o agravante de produzirem diversos efeitos de pepita puros.

Já os erros médios absolutos produzidos pela validação cruzada quando a duração das chuvas era de cinco dias estão dispostos na Tabela 4.28.

Tabela 4.28 - Erro médio absoluto de estimação por validação cruzada para as chuvas, em mm, com duração de cinco dias

Gumbel							
Tr (anos)		5	10	25	50	75	100
Modelo / Ajuste	exp.mpq	17,27	19,73	22,76	25,75	27,64	30,74
	esf.mqp	17,43	19,88	22,57	25,92	27,65	30,74
	gau.mqp	17,44	19,83	22,76	25,76	27,82	30,76
	exp.mvs	17,70	20,67	23,48	27,12	28,43	29,98
	esf.mvs	17,73	21,49	24,17	26,92	28,04	30,18
	gau.mvs	17,96	21,32	24,07	26,40	28,73	30,73
Lognormal							
Tr (anos)		5	10	25	50	75	100
Modelo / Ajuste	exp.mpq	17,19	19,73	22,76	25,86	28,67	30,74
	esf.mqp	17,20	19,88	22,57	26,03	28,68	30,74
	gau.mqp	17,23	19,83	22,76	25,87	28,67	30,76
	exp.mvs	16,61	20,48	23,60	26,58	29,16	29,73
	esf.mvs	16,55	20,63	24,05	26,94	29,39	29,98
	gau.mvs	16,94	20,26	23,63	26,36	29,60	30,23

Pôde ser observado que os erros médios absolutos pouco diferiram entre si. Os menores erros foram observados quando os modelos foram ajustados através dos mínimos quadrados ponderados. O modelo exponencial (exp.mqp) obteve os menores erros e repetiu o bom desempenho observado no ajuste dos semivariogramas experimentais, na maioria das análises, quando a duração das chuvas foi de cinco dias.

De maneira geral, os erros médios absolutos não ultrapassaram em 10% o valor médio das chuvas estimadas para um determinado tempo de recorrência. Portanto, o critério para a seleção dos modelos que processariam a krigagem ordinária se deu em função do seu ajuste gráfico (semivariograma) e também em função do grau de dependência espacial, ou seja, a proporção entre efeito pepita e patamar.

4.4.2 Krigagem ordinária – espacialização

Os resultados obtidos com a krigagem ordinária estão apresentadas nas Figuras de 4.40 a 4.75. A legenda indica a magnitude da chuva provável em mm.

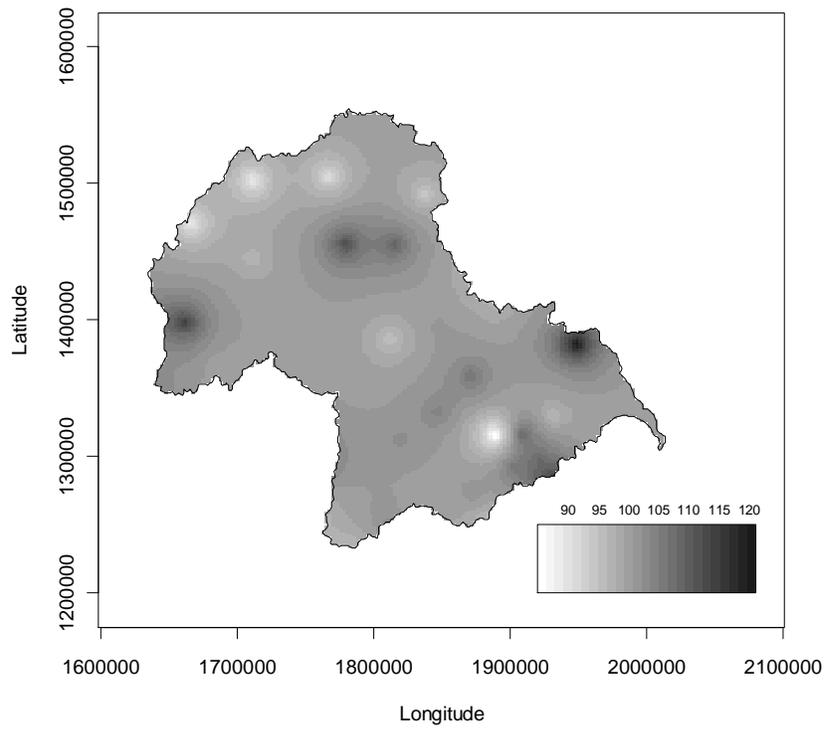


Figura 4.40 - Variabilidade espacial das chuvas G-T5-D1

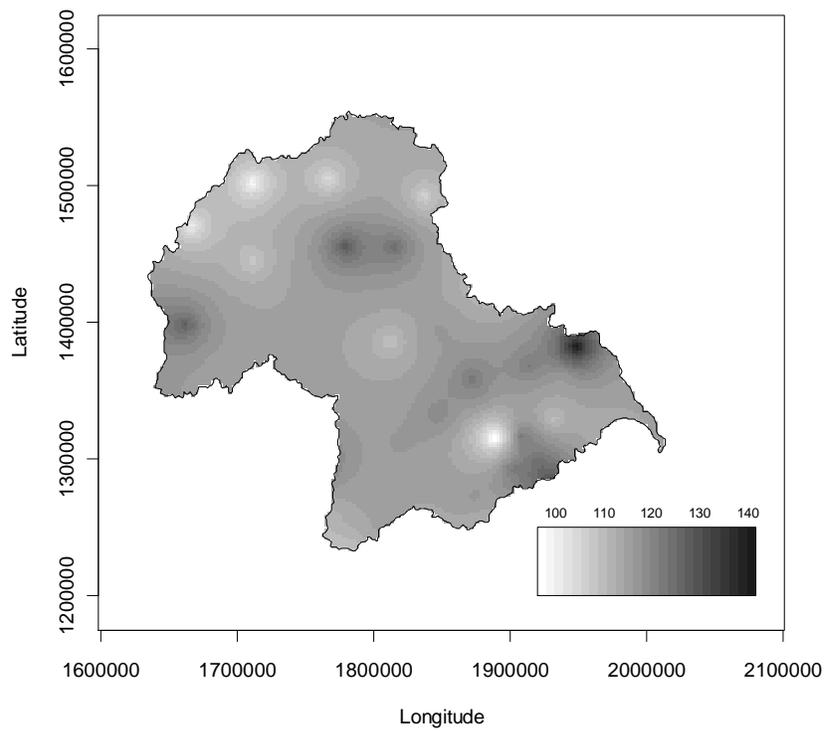


Figura 4.41 - Variabilidade espacial das chuvas G-T10-D1

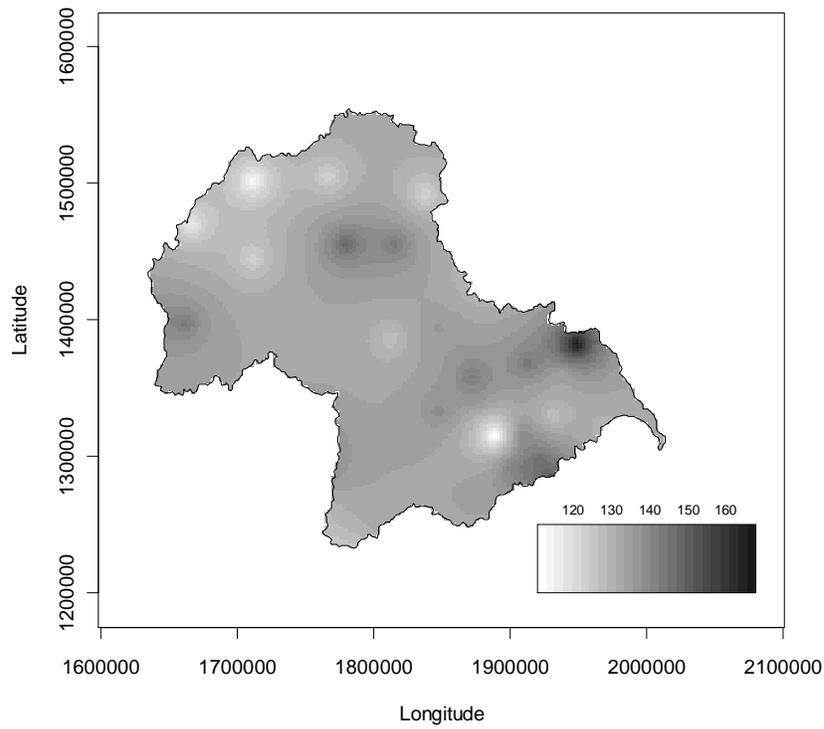


Figura 4.42 - Variabilidade espacial das chuvas G-T25-D1

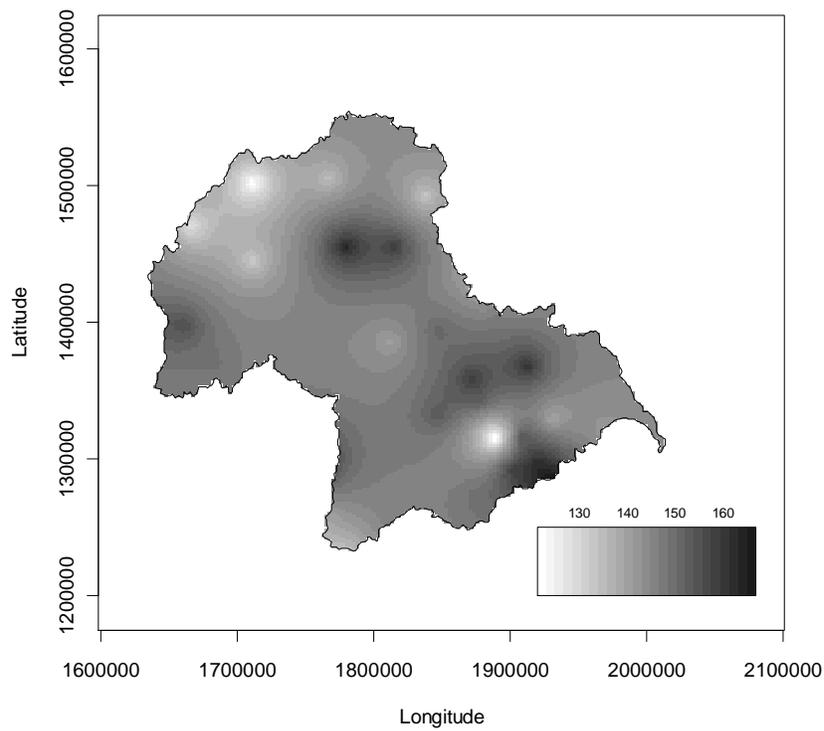


Figura 4.43 - Variabilidade espacial das chuvas G-T50-D1

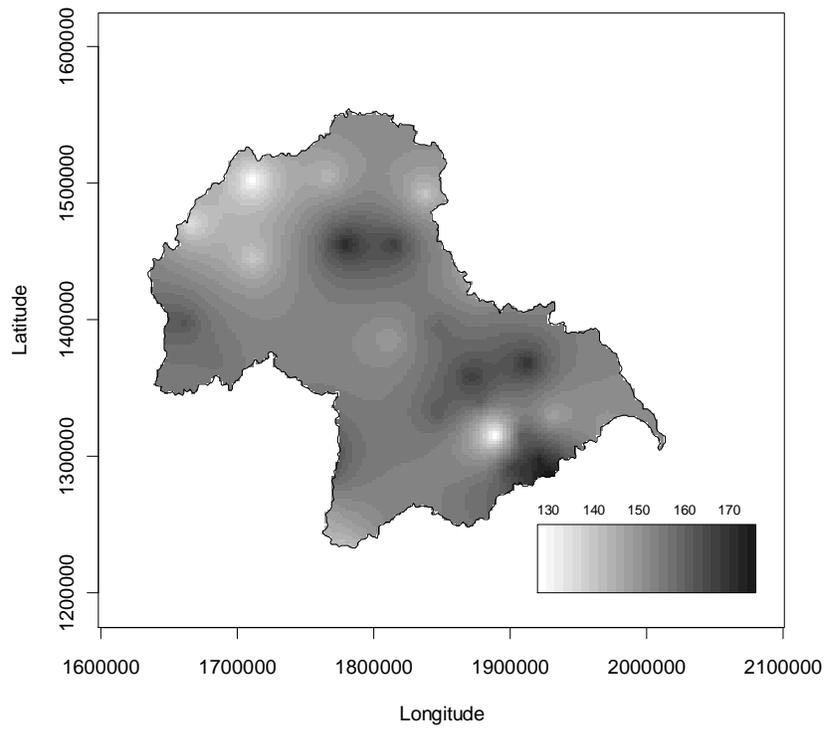


Figura 4.44 - Variabilidade espacial das chuvas G-T75-D1

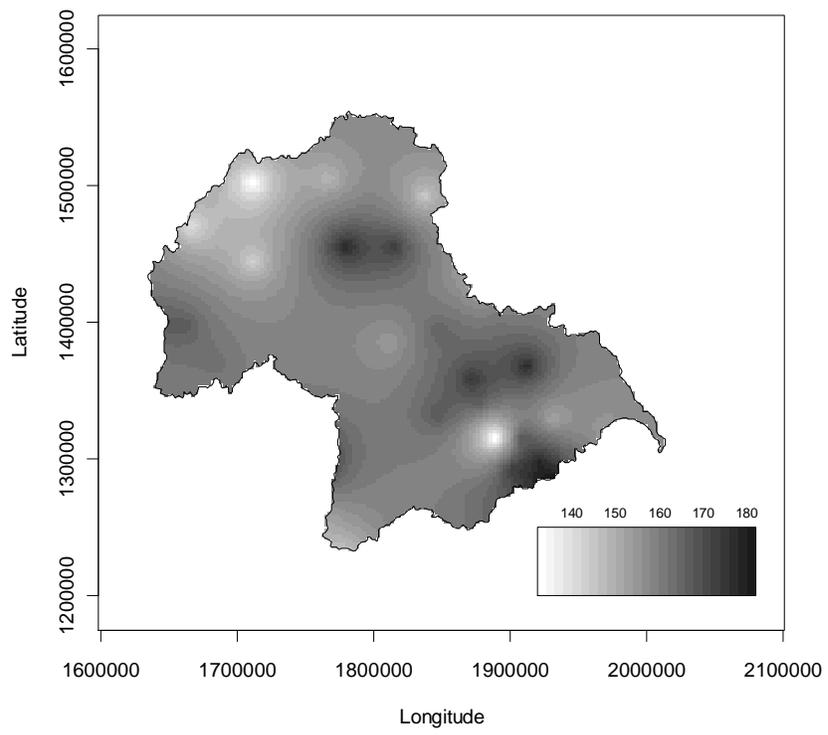


Figura 4.45 - Variabilidade espacial das chuvas G-T100-D1

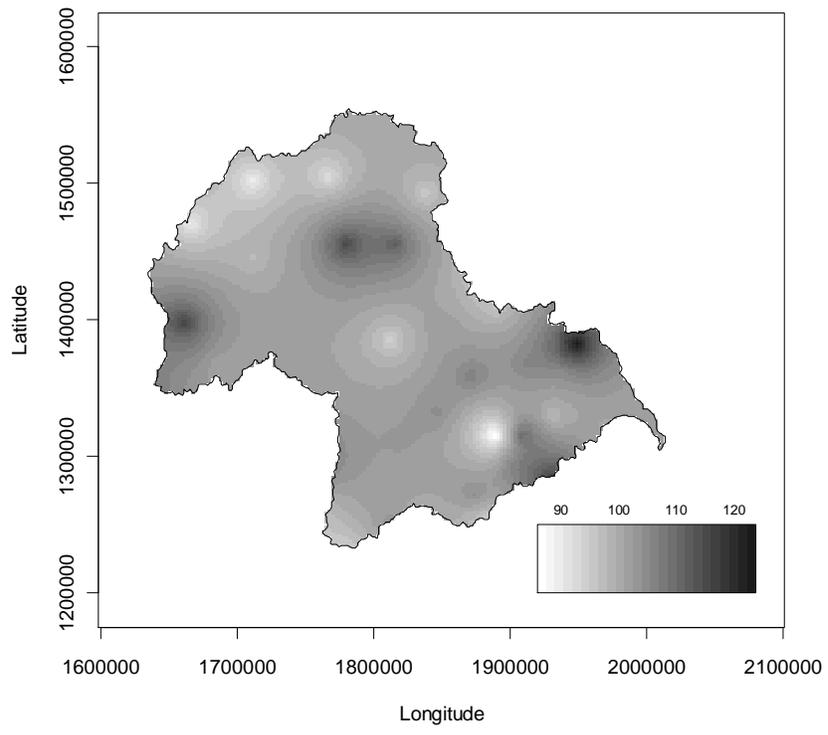


Figura 4.46 - Variabilidade espacial das chuvas L-T5-D1

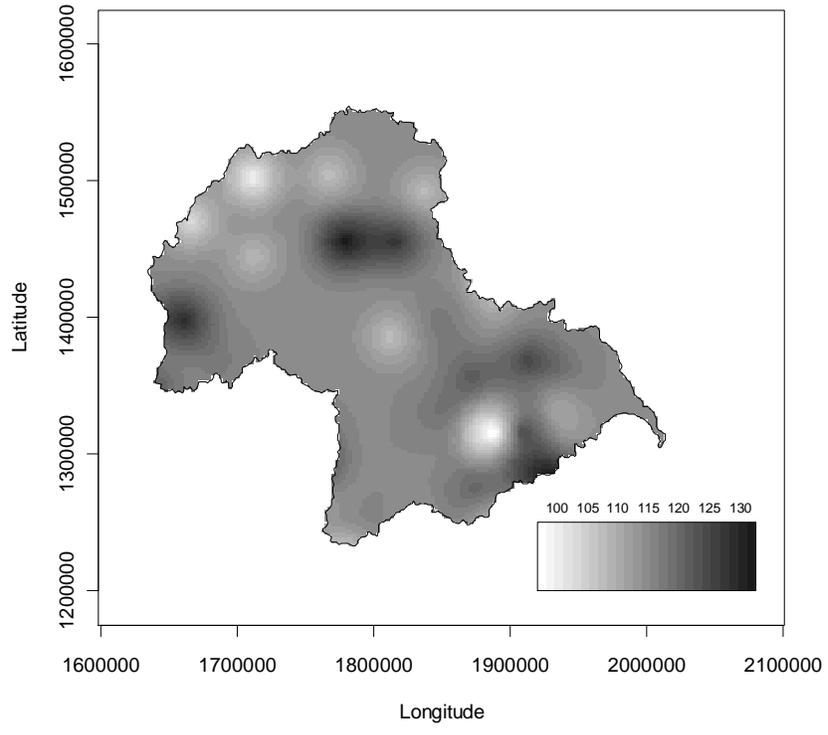


Figura 4.47 - Variabilidade espacial das chuvas L-T10-D1

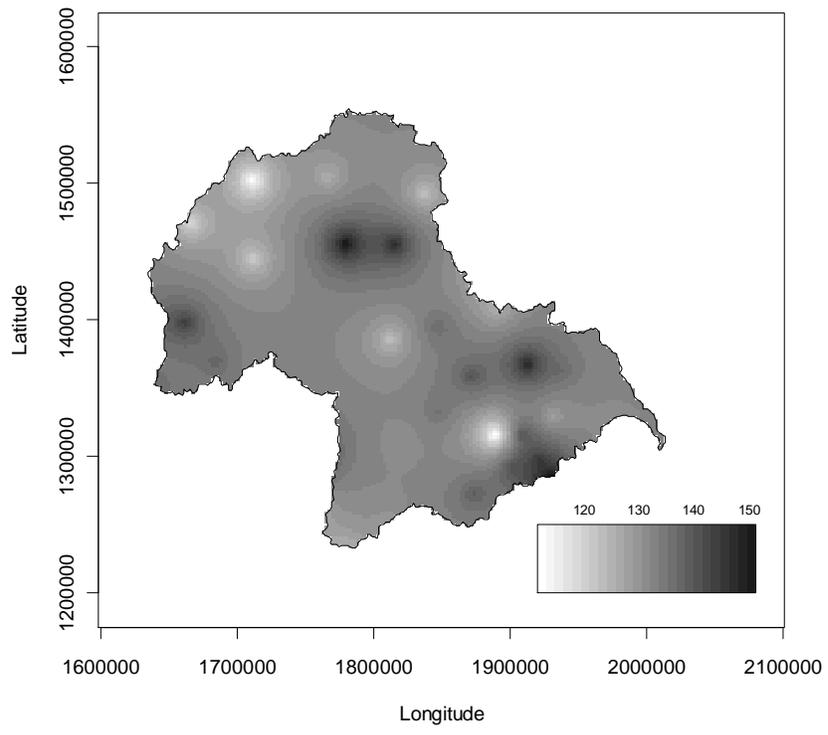


Figura 4.48 - Variabilidade espacial das chuvas L-T25-D1

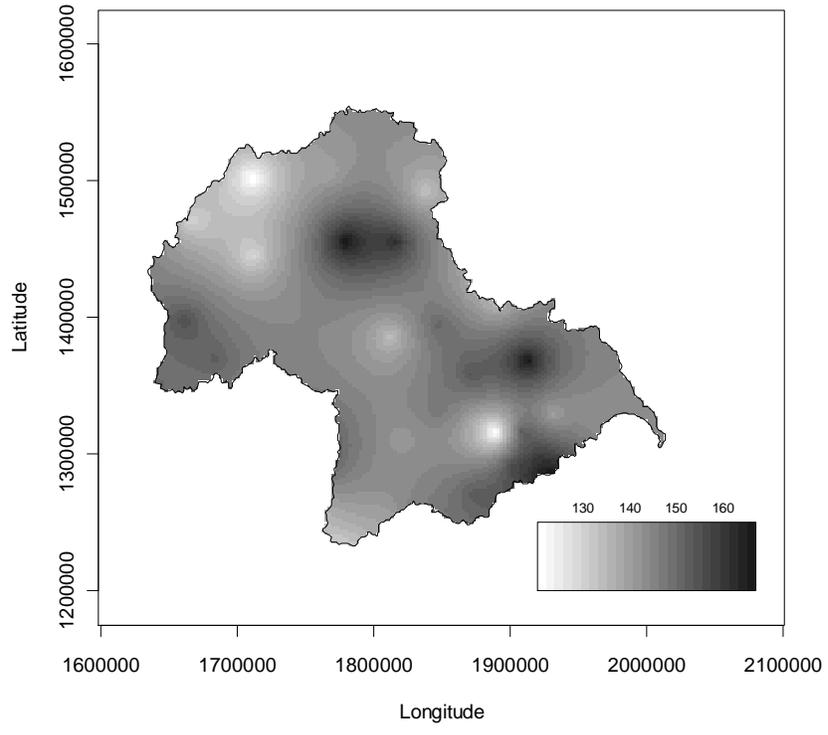


Figura 4.49 - Variabilidade espacial das chuvas L-T50-D1

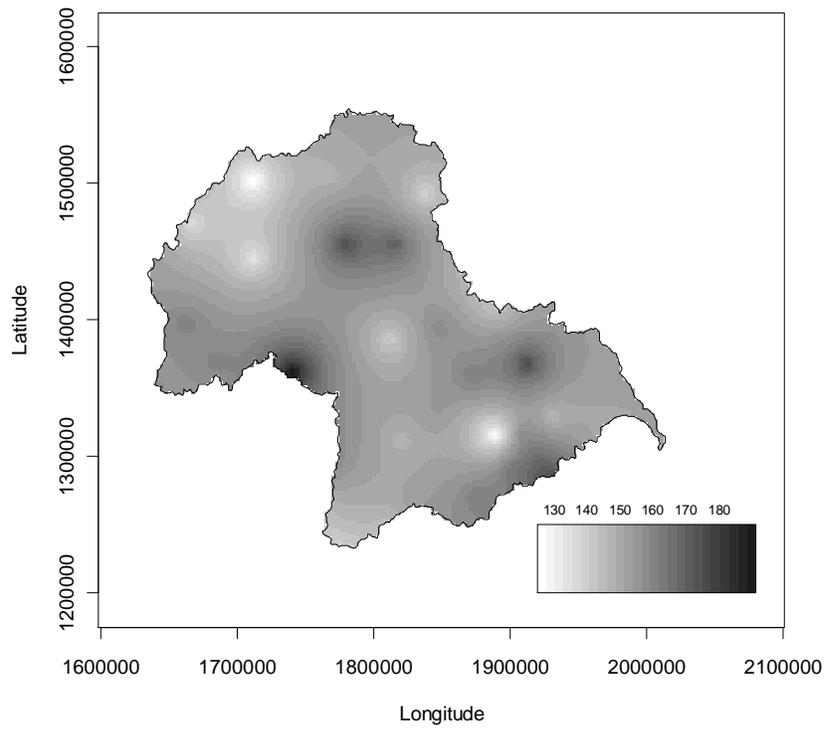


Figura 4.50 - Variabilidade espacial das chuvas L-T75-D1

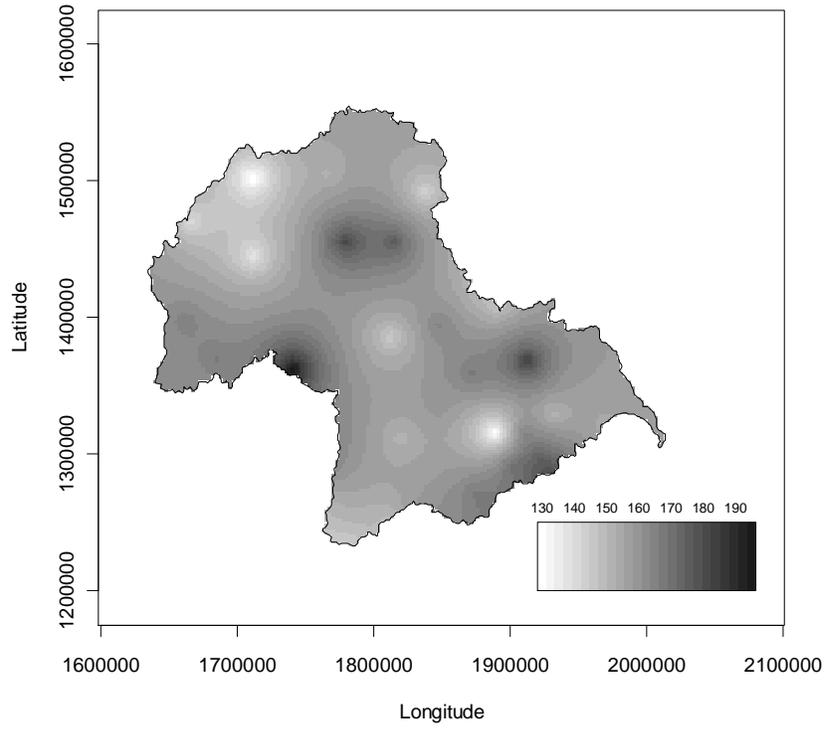


Figura 4.51 - Variabilidade espacial das chuvas L-T100-D1

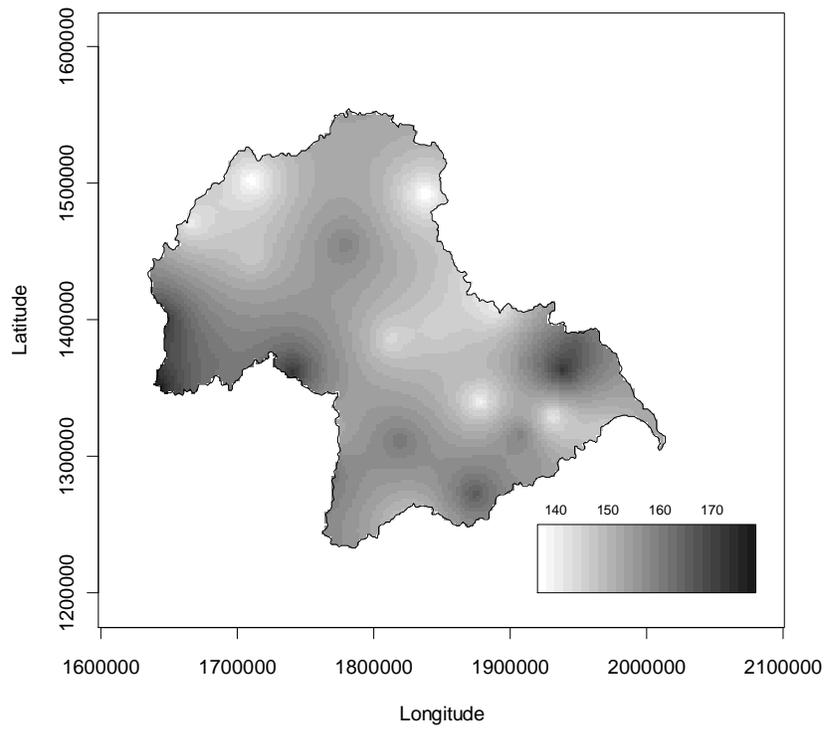


Figura 4.52 - Variabilidade espacial de chuvas G-T5-D3

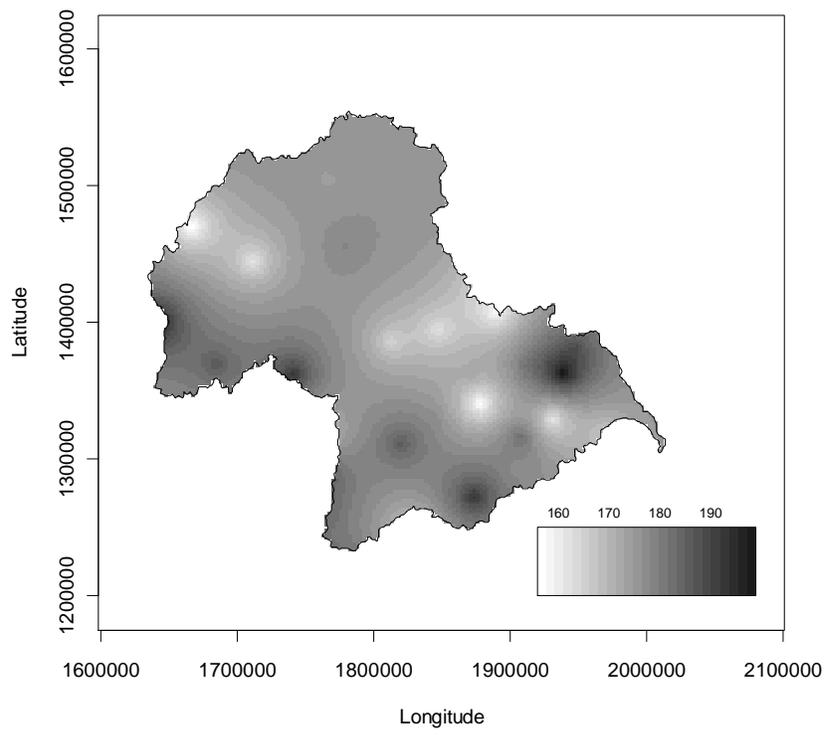


Figura 4.53 - Variabilidade espacial de chuvas G-T10-D3

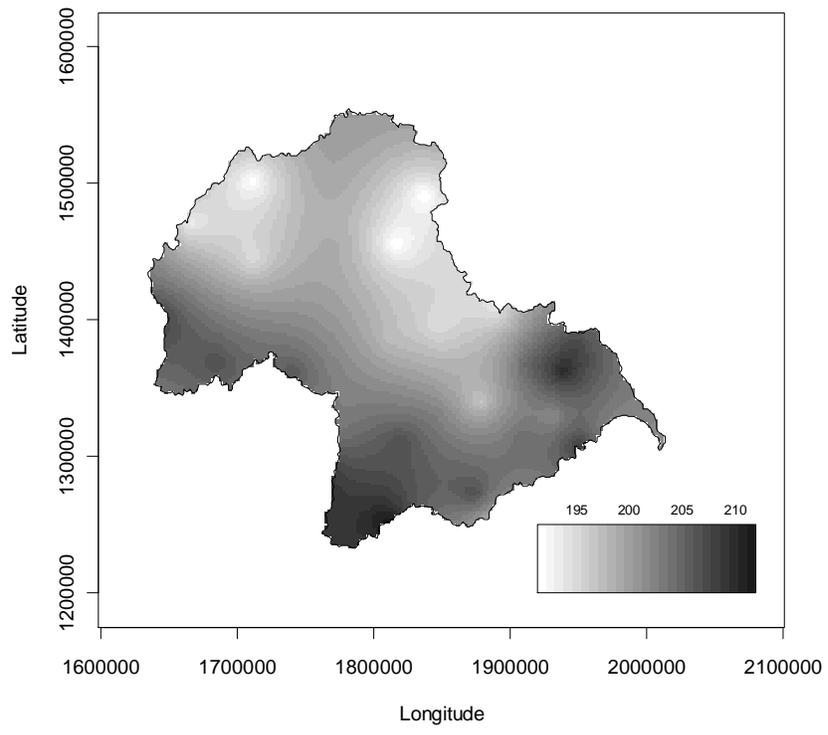


Figura 4.54 - Variabilidade espacial de chuvas G-T25-D3

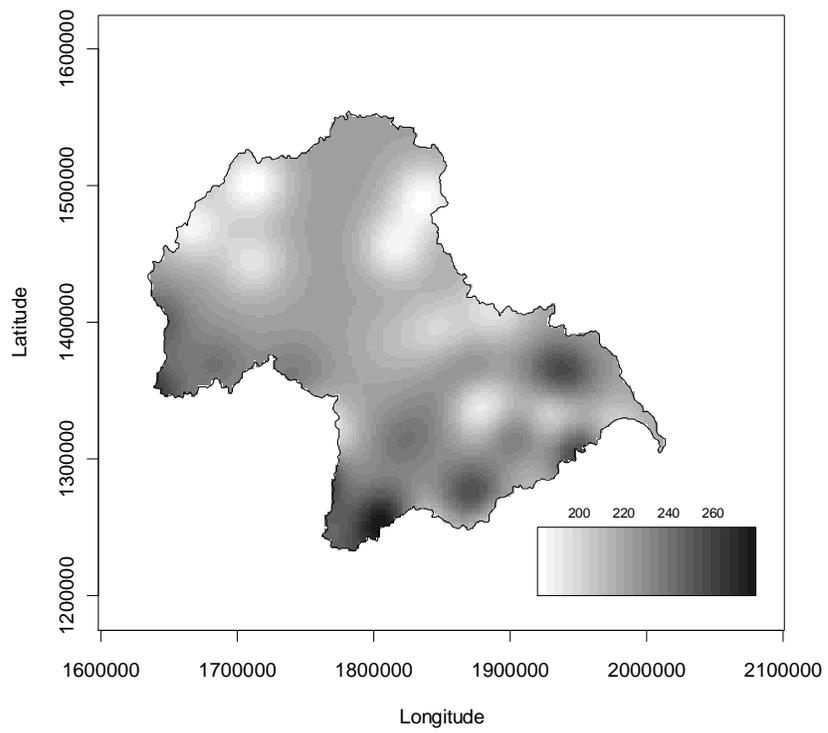


Figura 4.55 - Variabilidade espacial de chuvas G-T50-D3

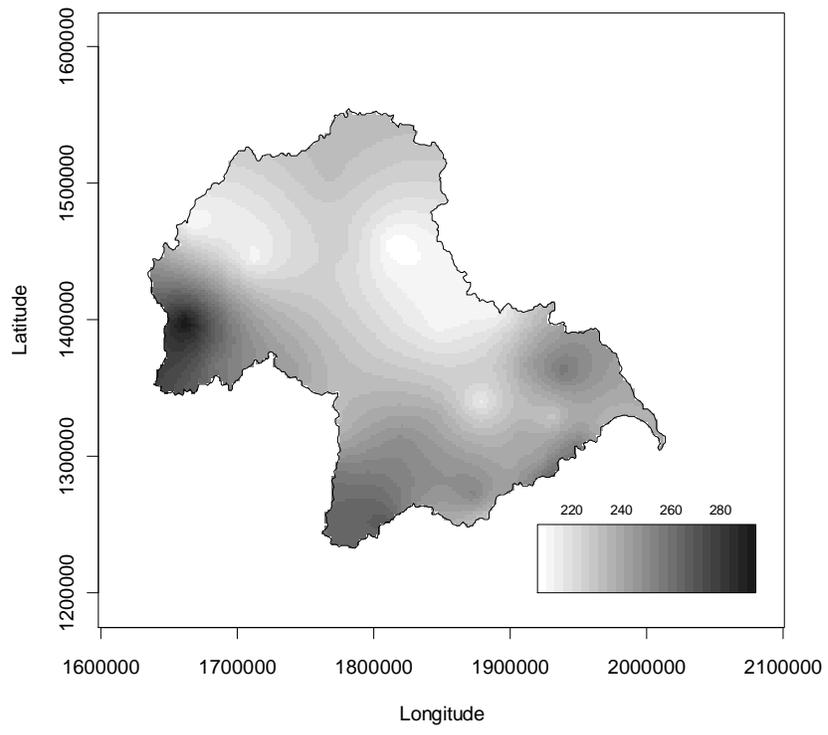


Figura 4.56 - Variabilidade espacial de chuvas G-T75-D3

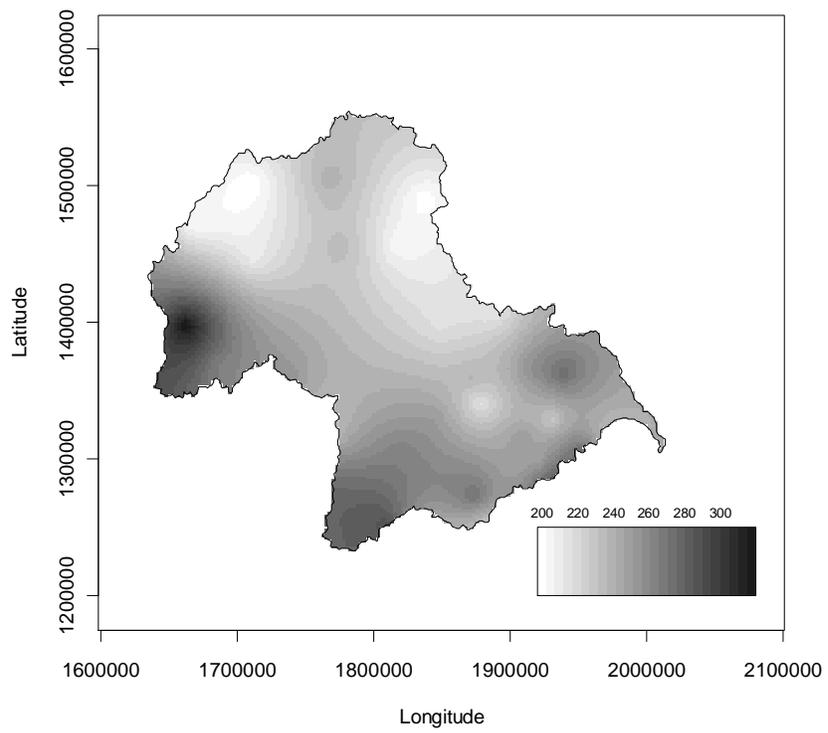


Figura 4.57 - Variabilidade espacial de chuvas G-T100-D3

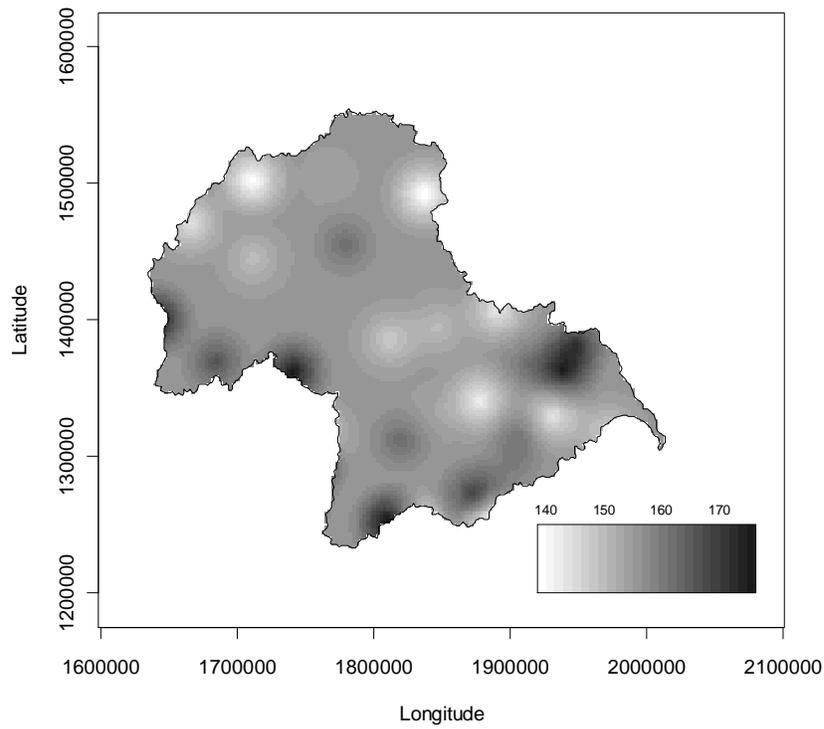


Figura 4.58 - Variabilidade espacial de chuvas L-T5-D3

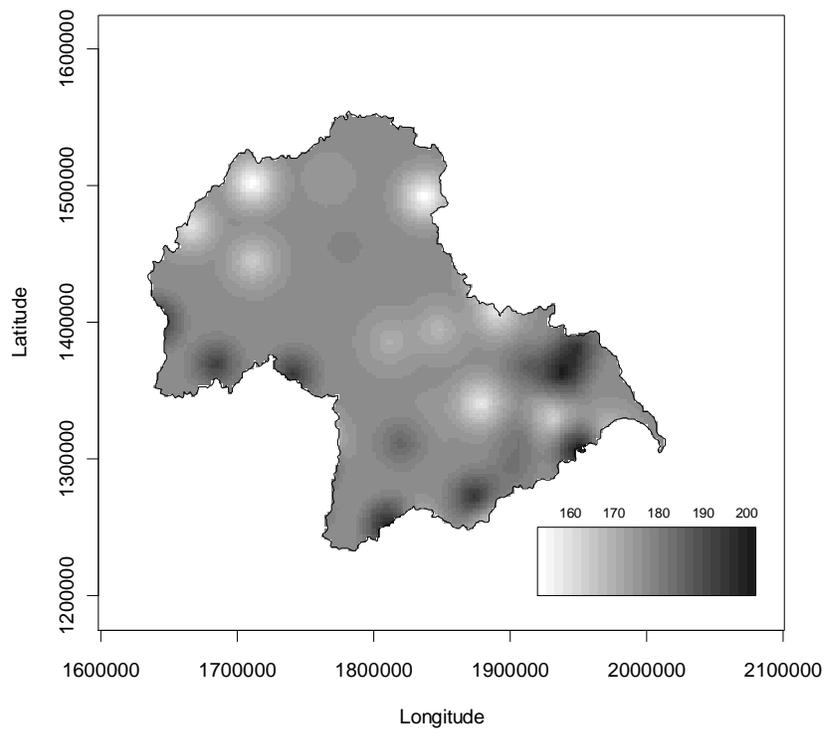


Figura 4.59 - Variabilidade espacial de chuvas L-T10-D3

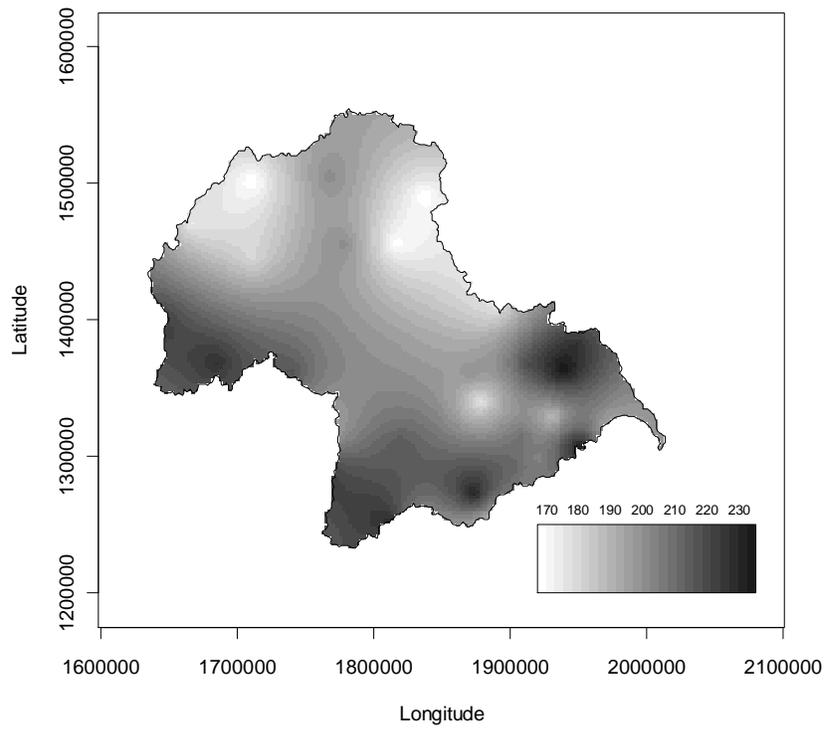


Figura 4.60 - Variabilidade espacial de chuvas L-T25-D3

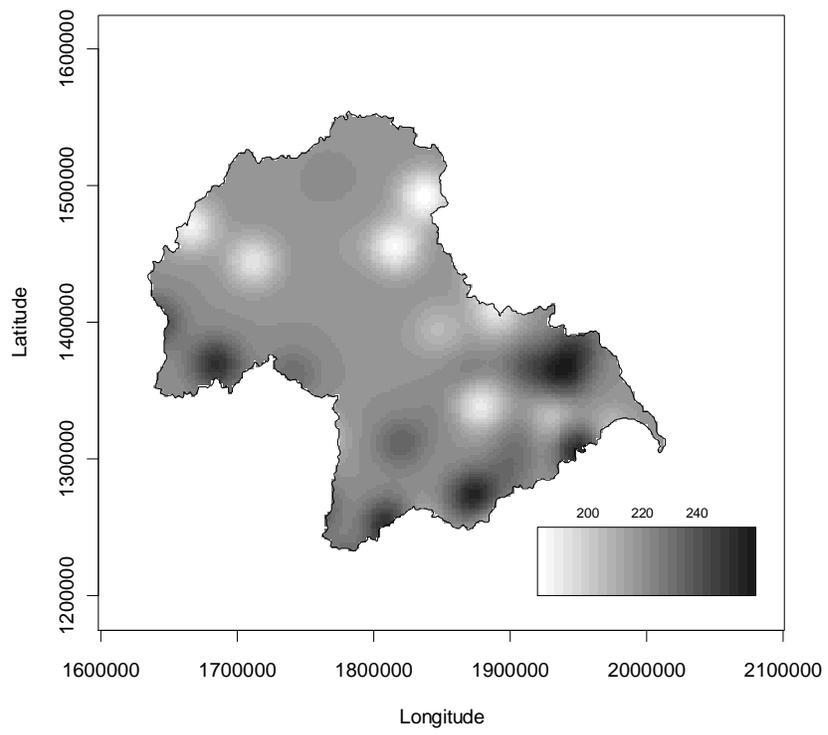


Figura 4.61 - Variabilidade espacial de chuvas L-T50-D3

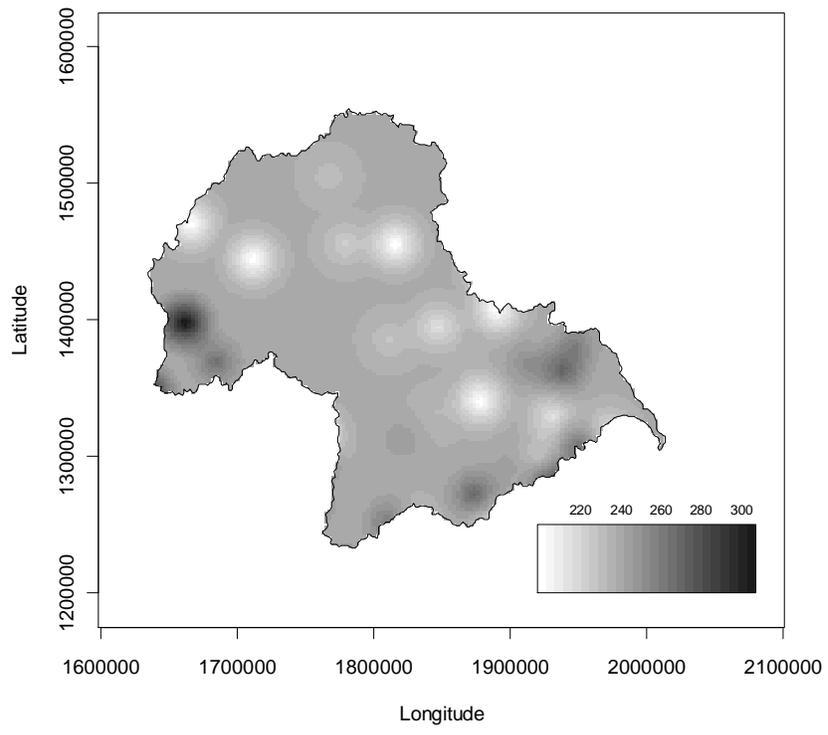


Figura 4.62 - Variabilidade espacial de chuvas L-T75-D3

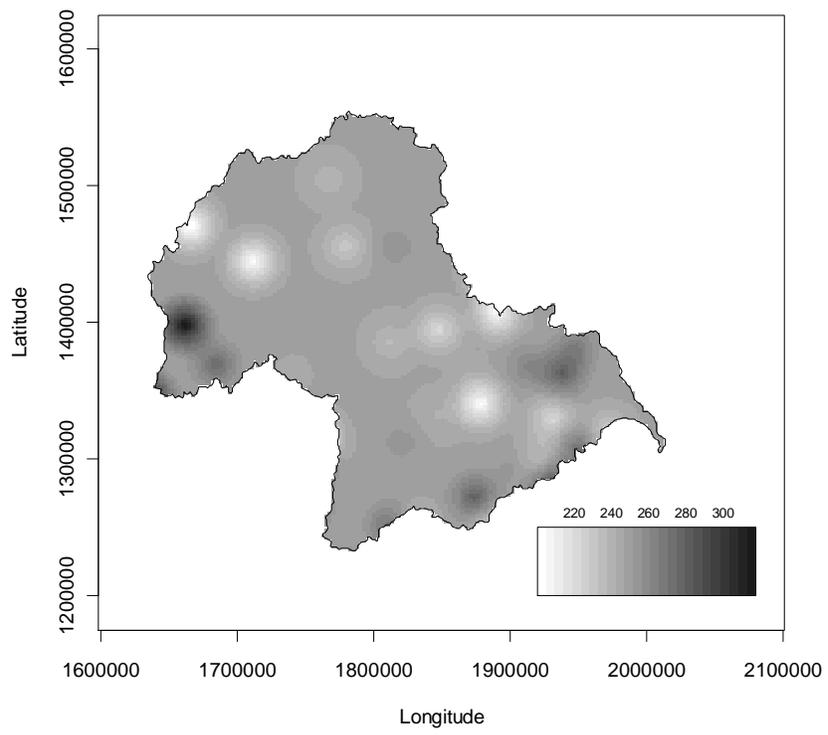


Figura 4.63 - Variabilidade espacial de chuvas L-T100-D3

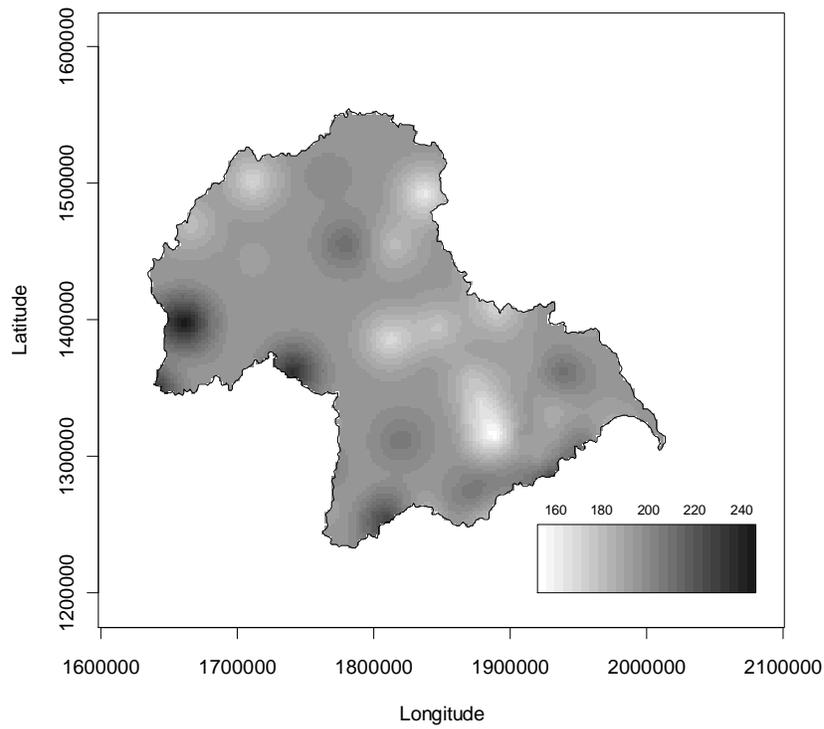


Figura 4.64 - Variabilidade espacial de chuvas G-T5-D5

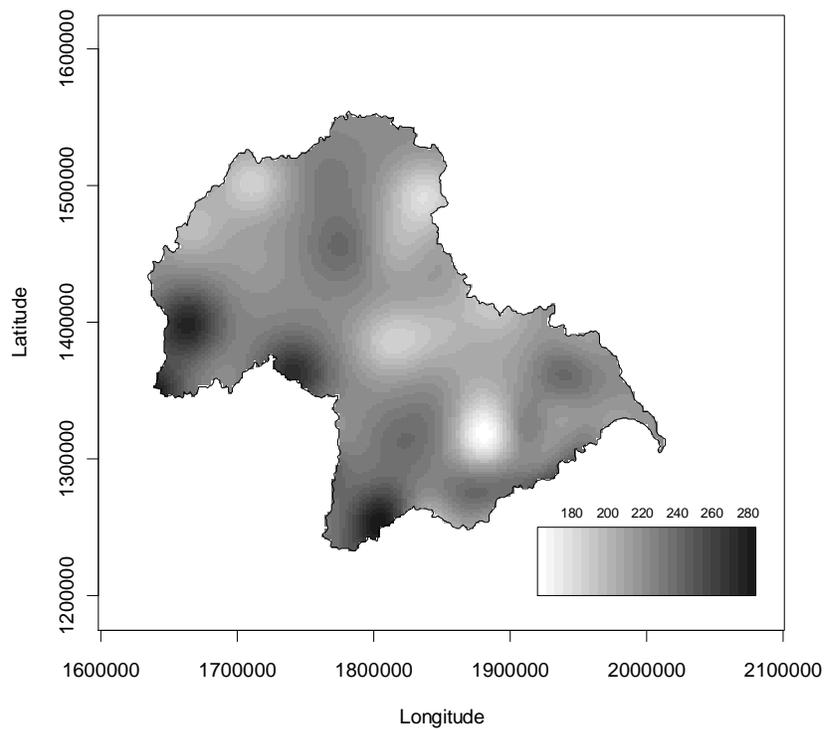


Figura 4.65 - Variabilidade espacial de chuvas G-T10-D5

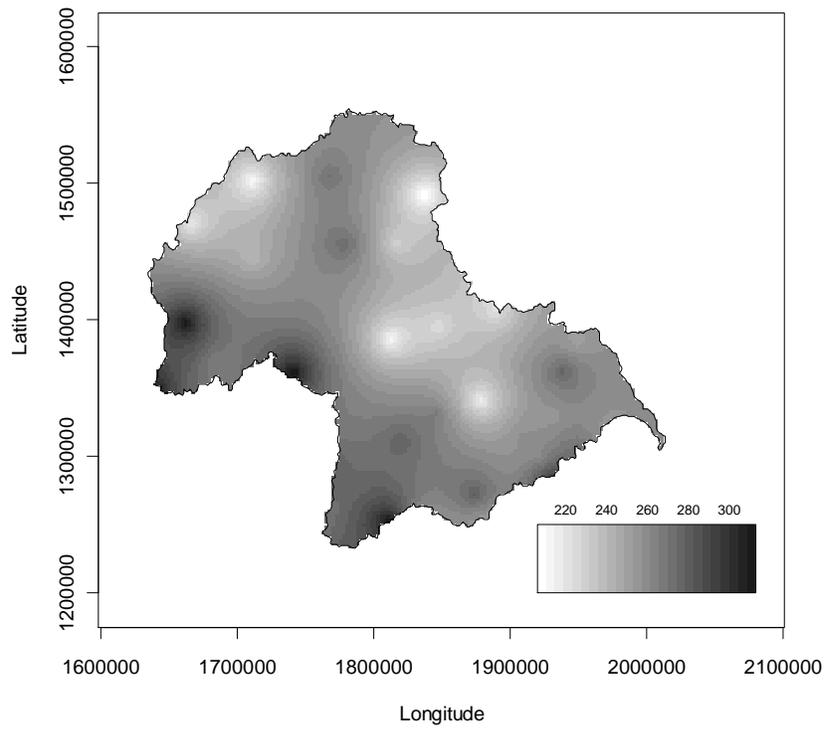


Figura 4.66 - Variabilidade espacial de chuvas G-T25-D5

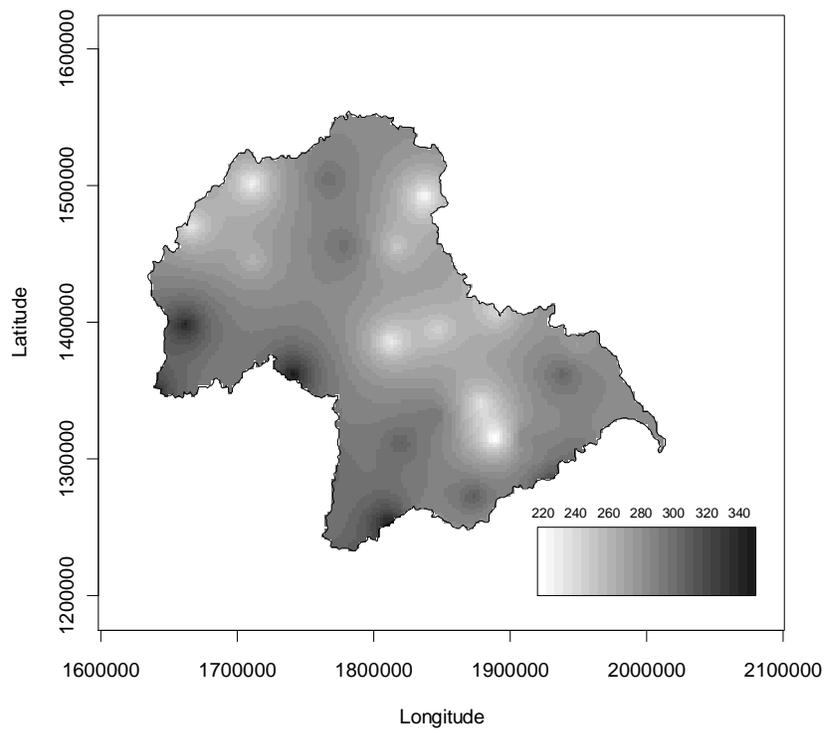


Figura 4.67 - Variabilidade espacial de chuvas G-T50-D5

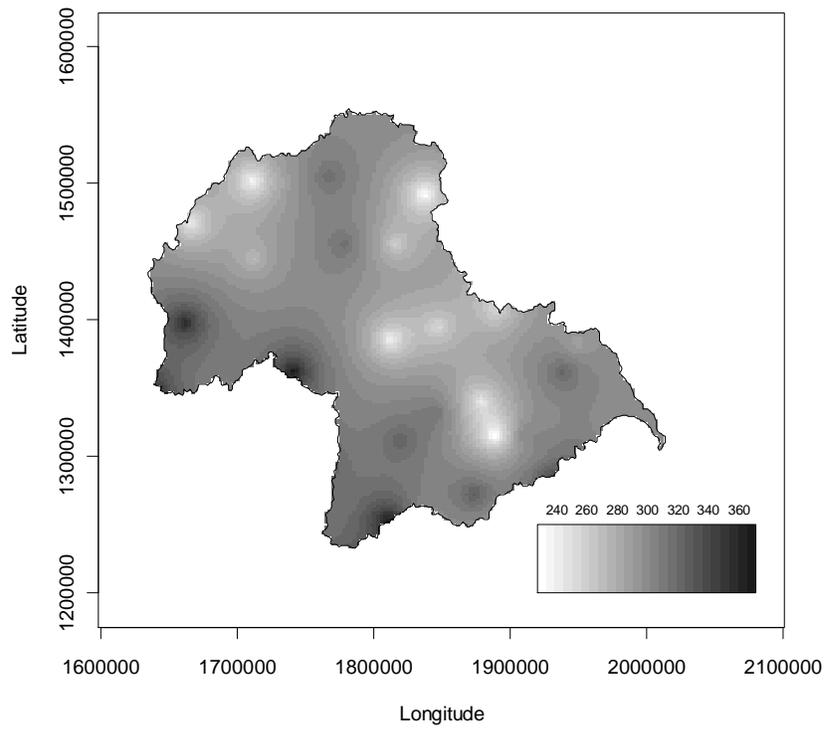


Figura 4.68 - Variabilidade espacial de chuvas G-T75-D5

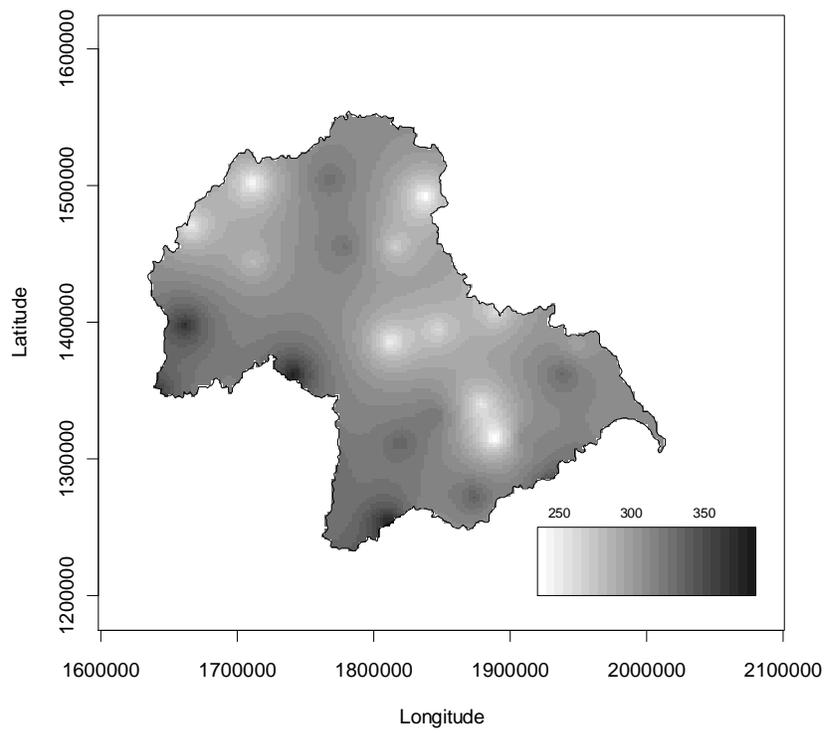


Figura 4.69 - Variabilidade espacial de chuvas G-T100-D5

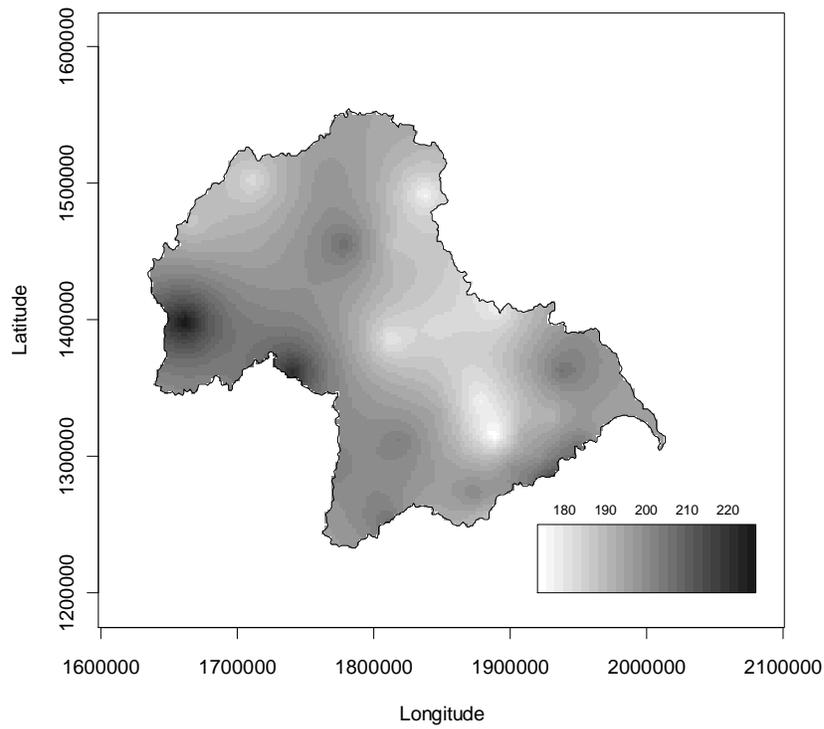


Figura 4.70 - Variabilidade espacial de chuvas L-T5-D5

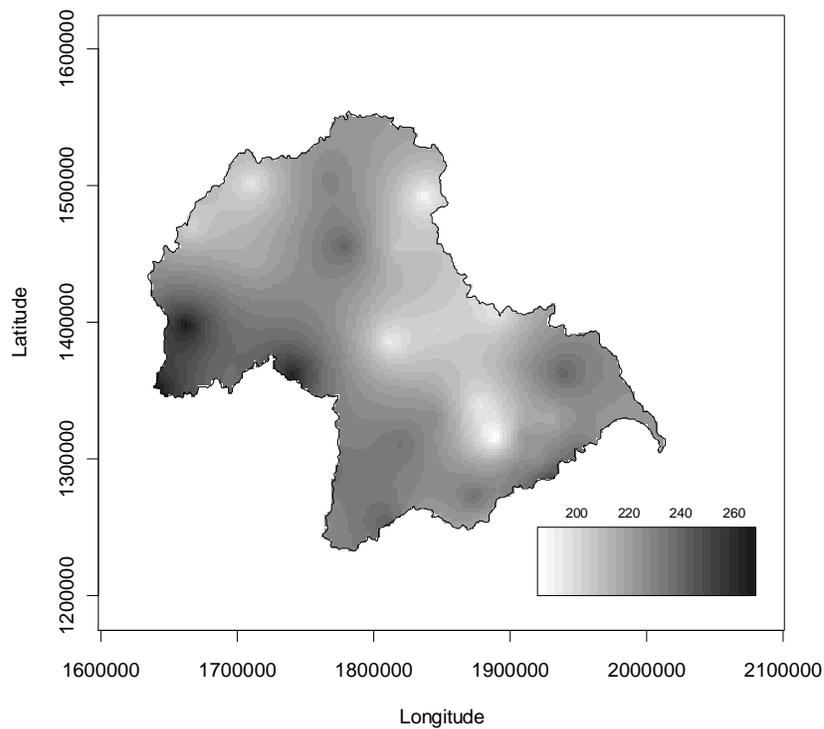


Figura 4.71 - Variabilidade espacial de chuvas L-T10-D5

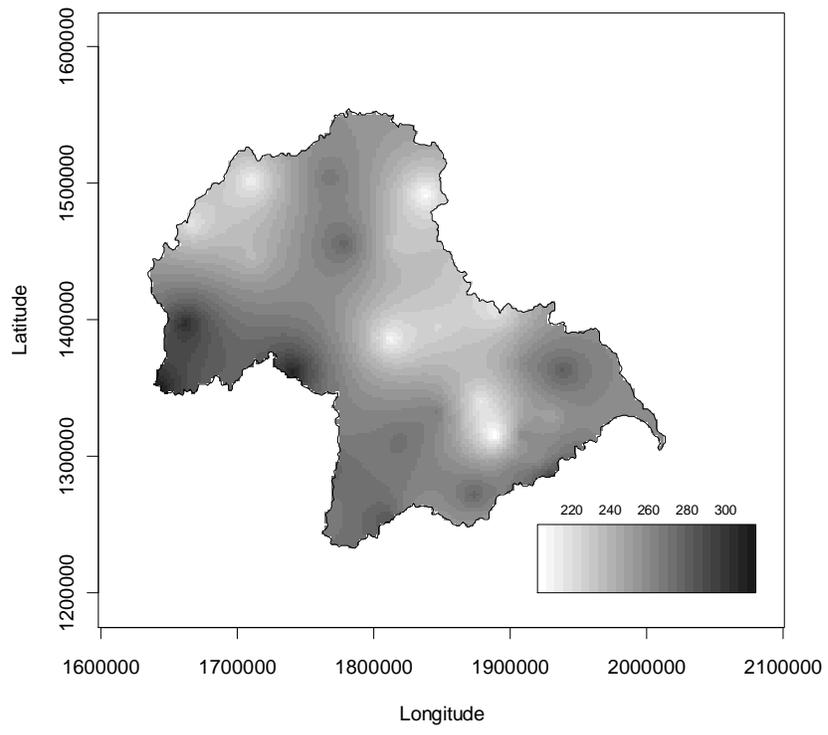


Figura 4.72 - Variabilidade espacial de chuvas L-T25-D5

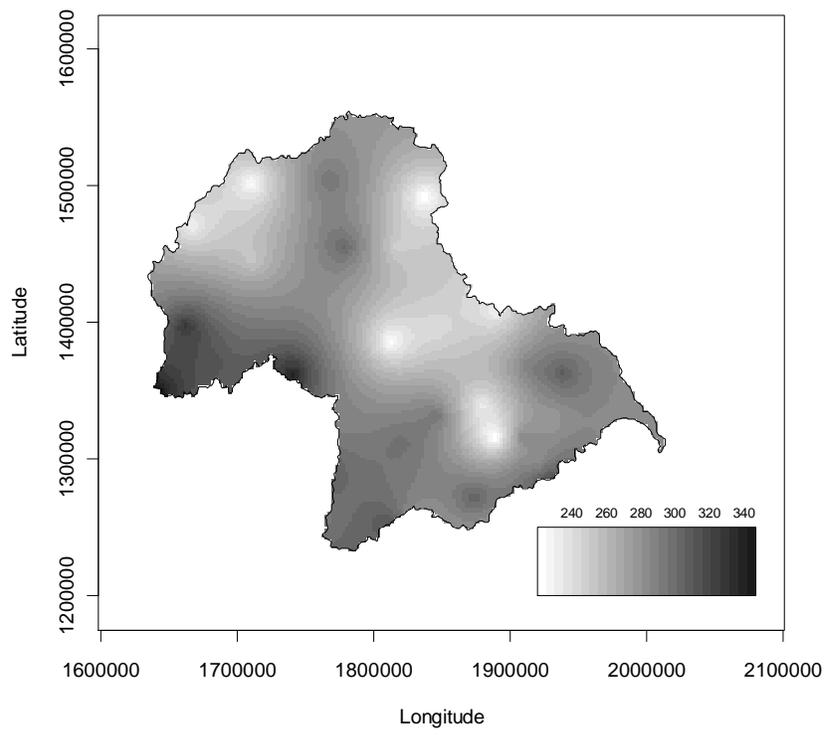


Figura 4.73 - Variabilidade espacial de chuvas L-T50-D5

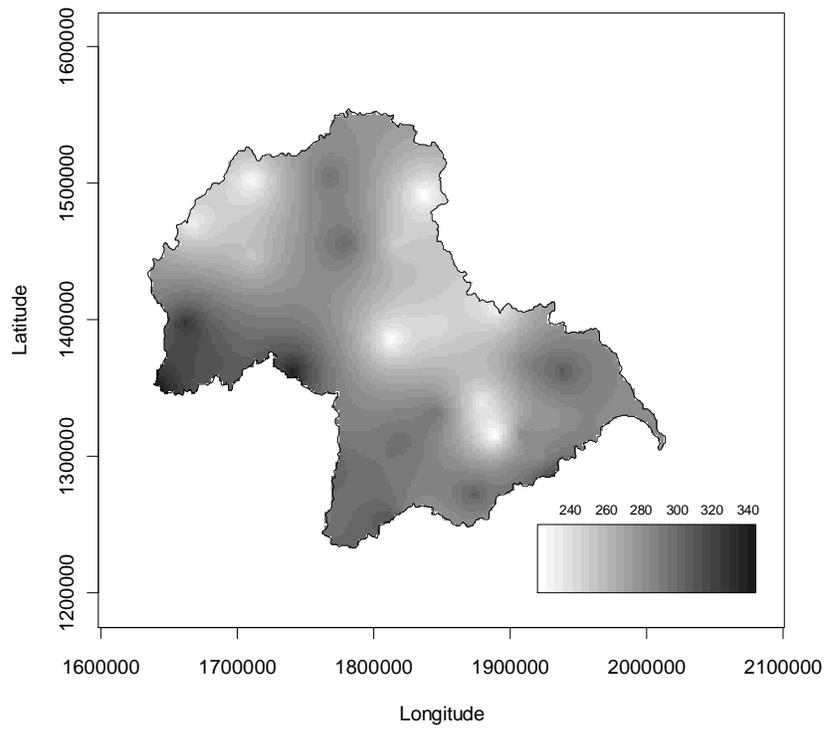


Figura 4.74 - Variabilidade espacial de chuvas L-T75-D5

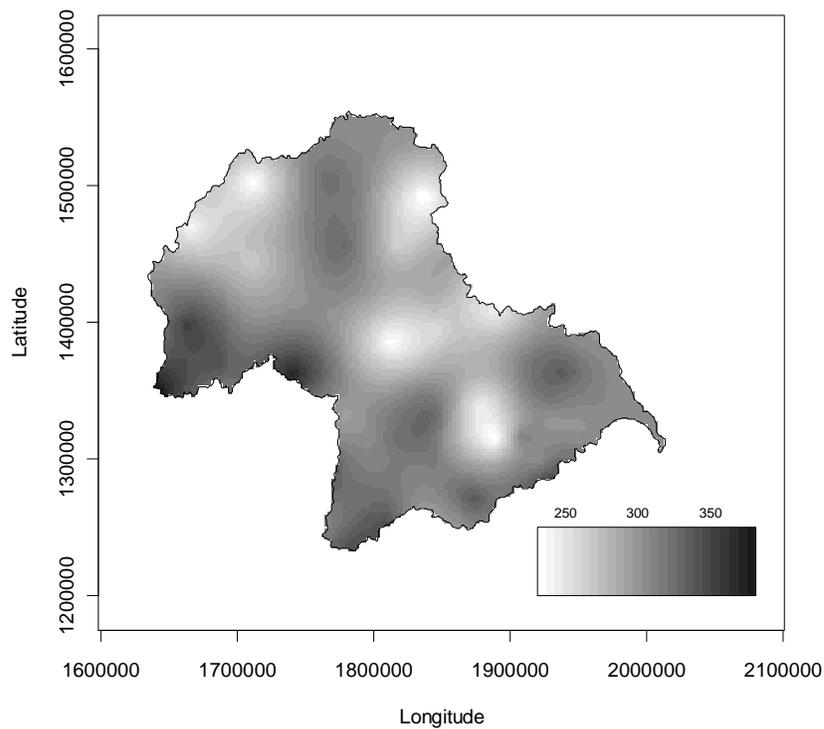


Figura 4.75 - Variabilidade espacial de chuvas L-T100-D5

Os mapas de krigagem mostrados anteriormente foram gerados de acordo com os modelos listados nas Tabelas 4.29, 4.30 e 4.31 para as chuvas com duração de um, três e cinco dias, respectivamente.

Tabela 4.29 - Modelos selecionados para realização da krigagem de chuvas com duração de um dia

Distribuição de Gumbel						
<i>Tr (anos)</i>	5	10	25	50	75	100
<i>Modelo escolhido</i>	gau.mqp	gau.mqp	gau.mqp	gau.mqp	gau.mqp	gau.mqp
Distribuição Lognormal						
<i>Tr (anos)</i>	5	10	25	50	75	100
<i>Modelo escolhido</i>	gau.mqp	esf.mqp	gau.mqp	gau.mqp	exp.mqp	gau.mvs

Devido à sua superioridade de ajuste e devido ao elevado grau de dependência espacial, o modelo gaussiano ajustado por mínimos quadrados ponderados foi o selecionado em 75% dos casos, sendo unânime em todas as chuvas estimadas através da distribuição de Gumbel. Apenas um modelo ajustado por máxima verossimilhança, o gaussiano, foi selecionado. Também foi selecionado um modelo exponencial e um esférico, ambos ajustados por mínimos quadrados ponderados.

Tabela 4.30 - Modelos selecionados para realização da krigagem de chuvas com duração de três dias

Distribuição de Gumbel						
<i>Tr (anos)</i>	5	10	25	50	75	100
<i>Modelo escolhido</i>	esf.mqp	gau.mqp	esf.mqp	esf.mqp	exp.mqp	exp.mqp
Distribuição Lognormal						
<i>Tr (anos)</i>	5	10	25	50	75	100
<i>Modelo escolhido</i>	esf.mqp	esf.mqp	esf.mqp	esf.mqp	esf.mqp	esf.mqp

O modelo esférico desta vez foi o que melhor ajustou as chuvas estimadas em 75% das ocasiões e foi unânime para chuvas estimadas pela distribuição Lognormal. Dois modelos exponenciais e um modelo gaussiano foram selecionados. Em todos os casos, não houve nenhum modelo ajustado por máxima verossimilhança escolhido, já que estes tendem a elevar bastante o efeito pepita e também o valor do patamar.

Tabela 4.31 - Modelos selecionados para realização da krigagem de chuvas com duração de cinco dias

Distribuição de Gumbel						
<i>Tr (anos)</i>	5	10	25	50	75	100
<i>Modelo escolhido</i>	esf.mqp	gau.mqp	exp.mqp	exp.mqp	exp.mqp	exp.mqp
Distribuição Lognormal						
<i>Tr (anos)</i>	5	10	25	50	75	100
<i>Modelo escolhido</i>	exp.mqp	exp.mqp	exp.mqp	exp.mqp	exp.mqp	exp.mqp

O modelo exponencial foi o escolhido em 83% das situações. Sendo o único escolhido para representar a krigagem de chuvas estimadas pela distribuição Lognormal. Além deste foi selecionado um modelo esférico e também um gaussiano. Em nenhum dos casos foi selecionado um modelo ajustado por máxima verossimilhança, já que estes tendem a elevar bruscamente o patamar, como foi mostrado nos semivariogramas ajustados.

5 Conclusões e Recomendações

É bastante perceptível a forma dispersa como os dados disponíveis se mostram na região estudada. Na região noroeste e central existe uma carência de dados adequados para se realizar estudos mais consistentes. Já as partes altas e locais próximos da divisa entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo concentram maior parte dos dados pluviométricos de longo período. As chuvas de maiores magnitudes foram observadas nas partes altas da região de estudo e também próximo à divisa entre Minas Gerais e Espírito Santo.

Foi possível observar que a distribuição de Gumbel gera estimativas de maior intensidade à medida que se aumenta a duração das chuvas e seus tempos de recorrência. Já a distribuição Lognormal aumenta a estimativa das chuvas para eventos com um dia de duração de forma irrelevante, em relação à Gumbel, contudo, ambas distribuições são adequadas para serem empregadas nas variáveis analisadas. Recomenda-se em trabalhos futuros, o uso de outras distribuições de probabilidade como a Log Pearson tipo III, a Gama e a GVE (Generalizada de Valores Extremos) como tentativa de se aprimorar a estimativa dos quantis como os demonstrados neste trabalho.

O semivariograma experimental apresenta estrutura de variabilidade que tende a se tornar mais robusta com o aumento das durações das chuvas analisadas. Nesses casos, a dependência espacial aumenta à medida que se aumenta a duração da chuva analisada. Os modelos de semivariograma estimados por máxima verossimilhança se mostraram inadequados com relação à espacialização das chuvas prováveis por superestimarem o patamar do semivariograma. Sendo assim, é desaconselhável utilizá-los. Já os modelos estimados por mínimos quadrados ponderados apresentaram bons ajustes para o semivariograma experimental na maioria dos casos.

Recomenda-se para trabalhos futuros implementar outras formas de ajuste de semivariogramas de chuvas naquela região com o intuito de melhorar a espacialização desses fenômenos. Também cabe ressaltar que o aumento da densidade da rede pluviométrica poderia gerar estimativas mais robustas dessas variáveis.

6 Referências

AMARAL, I. R. Análise espacial de eventos máximos de precipitação pelo método geoestatístico – Estudo para as bacias do Alto rio São Francisco e Alto rio Doce. 2005. 158 folhas. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2005.

ANA, Agência Nacional das Águas. Termos de referência para elaboração do plano integrado da bacia hidrográfica do rio Doce e para os planos de ações de recursos hídricos das bacias afluentes ao rio Doce. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/cbhriodoce>>. Acesso em 11 de dezembro de 2008.

ANDRIOTTI, J. L. S. Fundamentos de Estatística e Geoestatística. São Leopoldo: Ed. Unisinos, 2003. 166 p.

ANTONIO, C. A. A. Geoestatística aplicada à acumulação da precipitação pluviométrica com radar meteorológico. 2007. 94 folhas. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP – Campus de Botucatu, Botucatu, 2007.

ÁVILA, L. F. Comportamento espacial e temporal da umidade do solo numa bacia hidrográfica na Serra da Mantiqueira, Minas Gerais. 2008. 120 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

BAUNGARTEN, A. P.; FELIX, D.; MULLER, M. Avaliação da precipitação média na bacia do rio Chopim. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba, Brasil. Anais, 2003. 8 p. CD-ROM.

BRIGUENTI, E. C. O uso de geoindicadores na avaliação da qualidade ambiental da bacia do ribeirão Anhumas, Campinas-SP. 2003. 129 folhas. Dissertação (Mestrado em

Geografia). Centro de Geociências, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2003.

CALGARO, M. Análise da variação espaço-temporal dos parâmetros para a modelagem estocástica da precipitação pluvial diária no Rio Grande do Sul. 2006. 129 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências Rurais, UFSM, Santa Maria, 2006.

CASTILHO, A. S.; SILVA, E. A.; RODRIGUES, V. V. Estimativa do período de retorno associado às cotas de alerta, de inundação e de grandes cheias na bacia do rio Doce. 2001. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2001, Aracaju, Brasil. Anais, 2001. 9 p.

CBH-DOCE (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce), Caracterização da Bacia. Disponível em <<http://www.cbhriodoce.org.br/caracter.html>>. Acesso em 22 de janeiro de 2008.

COELHO, A. L. N. Modelagem hidrológica da bacia do rio Doce (MG/ES) com base em imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Caminhos da Geografia. v. 8, n. 22, p. 116-131. Setembro de 2007.

DESA M., M. N.; NORIAH, A. B.; RAKHECHA, P. R. Probable maximum precipitation for 24 hours duration over southeast Asian monsoon region – Selangor, Malaysia. Atmospheric Research. v. 58, p. 41-54. Janeiro, 2001.

DINIZ, E. C. Modelos de distribuição espacial de precipitações intensas. 2003. 76 folhas. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada). Instituto de Ciências Exatas, UNESP - Rio Claro, Rio Claro, 2003.

FREITAS, A. J. et al. Equações de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais. Companhia de Saneamento de Minas Gerais, Belo Horizonte: Editora UFV, 2001. 65 p.

GARCEZ, L. N. Hidrologia. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1988. 278 p.

GOOVAERTS, P., Geostatistics for Natural Resources Evaluation. New York: Oxford University Press, 1997. 314 p.

GROPPO, J. D. et al. Análise de séries temporais de vazão e precipitação na bacia do rio Piracicaba. Revista de Ciência e Tecnologia. v. 8, n. 18. p. 109-117. Dezembro, 2001.

HAAN, C. T. Statistical methods in Hydrology. 1 ed. Ames: Iowa State University Press, 1977. 378 p.

HOLLANDER, M.; WOLFE, D. A. Nonparametric statistical methods. New York: John Wiley & Sons, 1973. 202 p.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989. 601 p.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. Mining Geostatistics. New York: Academic Press, 1993, 332 p.

KEIM, B. D.; FAIERS, G. E. A comparison of techniques to produce quantile estimates of heavy rainfall in arid and mountainous environments: a test case in western Texas. Journal of Arid Environments. v. 44. p. 267-275. Março, 2000.

LANDIM, P. M. B. Introdução a Geoestatística - Publicação Didática nº 9. UNESP/IGCE, 1988, Rio Claro, SP. 38 p.

MEHL, H. U.; ELTZ, F. L. F.; REICHERT, J. M. Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria, Rio Grande do Sul. In: III REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2000. Pelotas, Brasil. Anais, 2000. p. 130-136.

MELLO, C. R. de.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; SILVA, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, n. 5, p.925-933, 2004.

MELLO, J. M. Geoestatística aplicada ao inventário florestal. 2004. 122 folhas. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP/ESALQ, Piracicaba, 2004.

MMA-SRH, Ministério do Meio Ambiente: Secretaria de Recursos Hídricos. Conjunto de Normas Legais – Recursos Hídricos. 4 ed. Brasília, 2006. 361 p.

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

OLIVEIRA, M. C. N. Métodos de estimação de parâmetros em modelos geoestatísticos com diferentes estruturas de covariâncias: uma aplicação ao teor de cálcio no solo. 2003. 153 folhas. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP/ESALQ, Piracicaba, 2003.

ORTIZ, G. C. Aplicação de métodos geoestatísticos para identificar a magnitude e a estrutura da variabilidade espacial de variáveis físicas do solo. 2002. 91 folhas. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP/ESALQ, Piracicaba, 2002.

PINTO, N. L. S., HOLTZ, A. C. T., MARTINS, J. A., GOMIDE, F. L. S. Hidrologia Básica, São Paulo: Edgard Blucher, 1976. 271 p.

PINTO et al. Verificação das previsões de precipitação realizadas com o modelo MM5 para o sistema de alerta de cheias da bacia do rio Doce. 2005. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa, Brasil. Anais, 2005. 10 p. CD-ROM.

R - DEVELOPMENT CORE TEAM: The GeoR Package for geostatistical analysis. Disponível em: <www.leg.ufpr.br>. Acesso em 11 de junho de 2008.

RIBEIRO JR., P. J.; DIGGLE, P. J. Model-based Geostatistics: Technical Notes. Caxambu: ABE, 2000. 129 p.

SILVA, A. M. Erosividade, erodibilidade e perdas por erosão em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. 2003. 92 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

SOUZA, F. T. Predição de escorregamentos em encostas do município do Rio de Janeiro através da técnica de mineração de dados. 2004. 115 folhas. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). COPPE/UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2004.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia - Ciência e aplicação. 2 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2000. 943 p.

VISSMAN JR., W.; LEWIS, G. L. Introduction to Hydrology. 5 ed. London: Prentice Hall Library, 2002. 612 p.

VIOLA, M. R. Comportamento espacial e temporal de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. 2006. 74 folhas. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2006.

WACKERNAGEL, H. Multivariate Geostatistics: An introduction with applications. 3 ed. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 387 p.

ZIMBACK, C. R. L. Geoestatística. GEPAG – FCA UNESP. Botucatu. 2001. 25 p. Disponível em: <www.pg.fca.unesp.br>. Acesso em: 29 de setembro de 2007.

7 Anexos

Anexo 1 - Valores máximos anuais observados nas estações pluviométricas

Tabela A.1 - Chuvas máximas com duração de um dia

Ano	Estações Pluviométricas - código									
	1940005	1940006	1940009	1940010	1940012	1940013	1940016	1940022	1941000	1941004
75/76	92,4	57,3	70,4	73,8	83,0	76,0	67,2	54,2	164,0	60,8
76/77	88,0	66,2	35,2	87,4	68,2	113,4	90,0	111,8	128,4	108,4
77/78	109,6	89,2	91,0	102,0	43,0	58,0	75,6	98,2	121,3	104,4
78/79	148,2	78,8	75,0	109,6	77,2	81,0	127,0	82,6	111,2	64,6
79/80	150,7	113,0	139,4	107,6	94,0	131,4	116,0	116,4	111,2	121,0
80/81	141,4	107,6	157,0	99,4	90,1	114,8	122,4	63,6	106,0	134,5
81/82	68,2	75,8	81,2	157,2	74,0	90,0	126,8	99,8	97,5	100,6
82/83	102,4	61,9	110,2	141,2	79,2	44,0	94,6	51,4	97,4	61,6
83/84	154,2	137,8	99,0	126,2	94,0	114,0	83,8	75,1	93,2	63,6
84/85	93,0	53,2	108,0	88,8	149,0	96,0	185,6	94,2	91,2	95,4
85/86	80,4	47,6	69,0	101,8	72,0	71,8	62,2	60,8	90,2	53,6
86/87	43,9	74,4	51,3	55,0	77,3	56,2	42,0	103,2	87,2	63,0
87/88	71,0	84,3	73,3	152,0	88,2	72,0	69,2	75,4	84,2	77,0
88/89	141,5	43,7	72,8	50,4	123,0	66,0	82,0	103,6	84,1	54,2
90/91	92,3	92,1	72,2	89,8	101,2	106,0	147,2	77,6	83,4	87,0
91/92	74,1	67,4	70,7	87,6	83,0	132,0	108,6	106,2	80,2	61,2
92/93	123,9	107,2	52,2	87,4	105,1	58,8	65,0	54,6	78,8	78,0
93/94	99,8	107,5	112,4	105,4	78,0	56,8	72,4	100,0	78,4	71,4
94/95	68,8	47,3	35,1	55,4	79,3	96,0	170,6	77,0	75,8	71,0
95/96	185,4	88,2	51,7	78,4	103,3	85,0	106,6	53,2	74,5	67,8
96/97	109,4	106,4	52,0	75,6	120,0	78,5	75,6	81,2	72,2	114,4
97/98	84,3	88,3	64,9	132,6	71,3	84,7	112,0	49,0	67,4	113,0
98/99	56,7	57,2	78,0	70,2	57,0	74,5	48,0	62,0	64,8	67,5
99/00	48,6	63,2	79,3	94,6	76,4	79,8	98,0	55,1	64,2	116,7
00/01	87,8	90,2	88,9	147,7	119,0	95,4	100,3	74,0	61,8	74,0
01/02	84,6	88,9	79,8	91,2	91,7	101,4	96,7	115,6	60,2	92,0
02/03	60,0	60,3	79,5	79,8	69,3	48,7	36,5	60,0	59,0	167,0
03/04	88,0	67,3	119,5	78,5	119,9	82,6	111,4	99,5	57,4	107,0
04/05	197,4	90,8	134,5	114,1	139,5	117,3	79,7	64,8	53,2	60,2

Tabela A.2 - Chuvas máximas com duração de um dia (continuação)

Ano	Estações Pluviométricas - código									
	1941005	1941006	1941009	1941010	1942002	1942006	1943008	1943024	1943025	1943035
75/76	53,0	72,0	48,0	153,4	56,1	80,2	64,0	56,4	95,0	82,3
76/77	59,8	66,2	70,6	133,6	61,4	80,4	89,0	83,2	131,0	75,5
77/78	100,0	66,8	40,0	132,4	51,3	55,1	82,3	112,3	93,1	95,0
78/79	149,4	77,5	68,2	132,1	100,8	119,3	76,2	102,1	93,0	155,0
79/80	76,0	91,8	83,0	98,0	78,0	85,1	87,0	68,4	89,0	109,4
80/81	135,0	73,6	50,8	96,4	53,0	78,4	62,3	85,0	120,0	75,0
81/82	112,0	106,5	80,4	94,6	115,9	105,3	93,0	88,0	117,0	120,0
82/83	73,8	58,7	50,3	90,4	60,0	85,4	86,2	75,3	98,2	93,0
83/84	81,1	85,8	75,2	88,4	67,5	72,3	57,1	58,4	58,0	89,2
84/85	85,0	139,4	75,2	87,4	78,0	75,3	102,1	87,1	88,0	86,2
85/86	83,4	75,0	100,6	84,3	50,0	59,2	55,3	74,0	85,0	90,3
86/87	39,0	100,6	100,2	83,4	119,0	89,0	75,0	54,1	130,5	57,1
87/88	60,3	65,0	60,4	81,4	136,0	95,0	67,3	97,8	101,0	72,0
88/89	60,2	52,0	82,2	77,8	111,0	100,0	50,4	79,6	90,0	91,3
90/91	98,7	89,9	107,4	74,3	80,3	146,2	52,3	106,8	69,4	121,0
91/92	50,6	83,9	49,3	74,3	81,5	92,0	36,3	125,0	110,8	115,0
92/93	66,1	58,3	62,3	68,8	62,3	81,4	38,4	103,2	113,1	75,0
93/94	87,7	94,0	57,3	68,8	74,4	79,0	84,3	124,6	76,6	70,0
94/95	91,2	60,4	71,1	67,9	120,2	112,4	80,4	69,4	144,5	69,0
95/96	89,6	77,3	76,4	65,6	56,6	70,2	98,4	126,8	65,0	88,5
96/97	88,5	110,0	104,1	65,6	85,5	127,2	110,4	109,0	96,7	120,4
97/98	86,2	125,0	55,1	65,0	65,0	77,8	112,4	97,3	58,0	80,7
98/99	92,8	55,2	55,3	63,7	62,3	90,2	107,4	48,6	93,0	54,5
99/00	57,1	85,0	60,2	61,8	150,3	55,9	77,5	105,3	101,0	60,8
00/01	101,2	70,0	95,0	60,0	90,1	190,8	60,5	111,2	87,0	73,0
01/02	61,2	85,0	63,6	55,4	109,5	104,2	160,7	109,2	95,2	141,1
02/03	53,4	71,6	64,5	51,6	109,0	150,0	80,5	108,4	111,2	98,4
03/04	58,9	145,0	39,1	49,0	103,0	85,0	102,7	74,3	143,0	98,7
04/05	130,2	145,0	93,8	46,8	84,2	66,8	103,7	100,0	73,8	64,3

Tabela A.3 - Chuvas máximas com duração de um dia (continuação)

Ano	Estações Pluviométricas - código										
	2040023	2041013	2041017	2041023	2042000	2042010	2042017	1843011	1843012	1941018	1942033
75/76	28,0	52,4	158,0	36,0	98,2	64,0	59,6	-	-	-	-
76/77	50,0	32,4	126,0	108,4	56,1	43,2	78,0	-	-	-	-
77/78	59,3	48,2	120,4	68,8	84,2	76,9	79,2	-	-	-	-
78/79	82,0	85,0	110,0	82,2	52,6	80,2	90,3	-	-	-	-
79/80	60,0	58,2	107,4	100,8	83,4	82,3	93,4	-	-	-	-
80/81	53,2	58,4	101,6	100,0	72,6	93,2	77,0	-	-	-	-
81/82	71,3	73,6	97,2	75,0	81,6	88,4	80,0	-	-	-	-
82/83	70,0	41,2	93,2	58,0	75,6	64,0	89,2	-	-	-	-
83/84	75,0	43,2	91,6	49,0	72,4	67,4	46,0	100,0	111,0	94,6	-
84/85	80,0	73,2	85,0	100,4	68,4	107,0	137,4	77,6	108,5	54,2	-
85/86	50,0	65,2	83,8	63,1	56,8	96,0	58,4	75,0	92,2	82,1	133,0
86/87	100,3	53,2	83,2	76,0	56,4	96,0	47,8	95,8	92,0	110,0	74,2
87/88	64,1	71,0	83,0	52,0	78,6	77,0	57,8	68,4	92,0	49,8	130,0
88/89	78,1	132,2	82,8	100,0	53,2	64,0	70,0	45,4	91,9	58,2	104,0
90/91	77,0	92,3	82,4	125,0	86,2	67,8	89,0	37,2	89,6	69,0	85,7
91/92	43,4	71,6	82,2	75,0	66,2	85,4	72,0	72,6	88,3	58,4	85,0
92/93	20,9	78,1	81,8	100,4	54,6	87,2	70,4	73,5	76,0	77,0	134,8
93/94	74,0	85,0	81,6	125,4	32,4	81,4	86,3	66,7	76,0	69,0	88,0
94/95	30,0	64,0	80,6	52,4	52,6	78,2	69,5	51,4	72,2	58,2	87,3
95/96	48,3	126,0	80,5	80,0	76,2	59,8	42,7	72,0	70,0	83,4	132,0
96/97	92,7	100,3	74,8	123,9	110,0	104,6	92,6	55,0	67,0	149,0	135,5
97/98	60,3	78,5	74,0	82,0	60,2	84,2	58,9	48,4	65,0	65,8	98,4
98/99	53,0	76,8	74,0	64,7	120,0	80,6	74,0	98,0	63,8	50,9	90,0
99/00	32,2	55,6	68,2	134,8	72,5	76,0	59,0	67,3	63,4	98,0	156,3
00/01	72,5	121,2	66,4	76,0	68,6	78,2	103,4	62,0	63,1	82,2	99,8
01/02	140,0	90,8	66,0	67,8	56,3	69,2	52,9	82,4	62,7	90,0	134,0
02/03	52,3	71,4	63,1	73,7	84,3	81,7	112,1	87,4	60,0	76,2	98,0
03/04	71,1	129,3	60,6	69,0	48,7	58,5	45,8	107,0	55,8	111,1	183,5
04/05	64,4	97,3	49,2	103,3	82,6	113,6	112,7	116,0	52,2	55,8	114,0
05/06	-	-	-	-	-	-	-	49,6	45,0	58,6	149,3
06/07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	96,2

A seguir são apresentadas as chuvas máximas acumuladas em três dias na região de estudo:

Tabela A.4 - Chuvas máximas com duração de três dias

Ano	Estações Pluviométricas - código									
	1841001	1841003	1841006	1841009	1842005	1842007	1842008	1843000	1940000	1940001
75/76	98,6	161,8	95,4	91,2	133,9	89,6	69,2	94,4	97,2	117,3
76/77	127,4	108,3	123,7	132,8	96,8	142,8	96,5	216,8	143,2	109,2
77/78	106,1	154,7	86,5	140,2	133,9	137,2	195,6	89,8	126,4	87,7
78/79	186,6	160,7	87,2	154,8	201,8	97,2	133,2	225,6	142,1	136,8
79/80	106,1	113,3	104,9	190,8	129,5	164,8	103,6	196,0	152,2	135,4
80/81	113,3	110,3	106,3	89,1	184,0	132,2	115,7	102,2	115,5	194,2
81/82	146,6	140,0	100,7	113,0	158,2	96,0	199,7	181,8	172,7	172,4
82/83	85,9	104,0	79,4	79,6	171,9	125,0	133,6	155,0	118,0	123,0
83/84	138,3	124,0	155,6	141,8	172,2	124,6	105,2	101,2	156,4	157,5
84/85	131,2	92,2	97,4	125,3	171,6	97,8	119,3	174,6	132,2	179,8
85/86	113,0	80,4	153,7	108,0	116,2	102,2	145,2	113,2	129,5	90,6
86/87	75,4	173,0	80,2	87,6	100,2	96,4	122,6	135,4	149,7	111,0
87/88	133,2	116,3	113,6	109,8	182,6	79,8	200,0	113,6	76,4	114,0
88/89	73,4	105,1	85,5	129,4	157,4	175,0	95,6	103,8	118,8	84,8
90/91	102,9	118,3	90,1	99,6	106,2	132,0	90,2	153,0	93,3	134,8
91/92	86,3	147,1	78,6	92,0	148,7	134,9	147,0	124,0	64,7	70,1
92/93	81,4	111,7	108,2	75,2	111,2	164,4	163,0	107,6	162,0	121,8
93/94	104,1	107,3	107,8	128,0	120,7	116,4	166,6	158,2	199,7	122,4
94/95	141,4	103,8	101,2	140,5	172,6	108,3	94,8	108,2	75,8	108,0
95/96	125,9	74,0	108,1	132,4	92,8	171,2	101,4	84,2	136,8	86,6
96/97	122,5	128,4	161,0	173,1	145,7	158,4	171,3	180,9	173,4	200,2
97/98	149,2	106,1	74,4	86,2	99,8	135,5	85,9	85,6	101,9	98,8
98/99	99,5	98,5	222,9	118,7	102,5	130,8	98,9	75,4	73,4	93,8
99/00	112,0	79,3	104,7	123,4	132,4	125,5	160,6	65,2	189,7	170,6
00/01	83,9	141,1	80,4	115,6	95,8	112,3	76,4	84,5	159,2	178,5
01/02	96,2	134,7	85,1	148,6	170,9	121,5	146,1	84,8	182,0	184,5
02/03	170,0	106,4	191,9	115,1	103,2	160,6	106,1	86,5	85,8	87,6
03/04	72,5	83,0	140,4	80,5	128,1	129,3	101,7	97,1	107,0	111,6
04/05	83,7	119,9	85,5	155,0	122,8	151,4	86,0	132,1	116,6	138,3

Tabela A.5 - Chuvas máximas com duração de três dias (continuação)

Ano	Estações Pluviométricas - código									
	1940005	1940006	1940009	1940010	1940012	1940013	1940016	1940022	1941000	1941004
75/76	115,4	95,6	93,5	115,2	84,0	118,9	81,6	77,3	83,7	124,1
76/77	149,8	72,8	76,5	112,7	79,7	122,5	145,1	135,9	153,0	163,3
77/78	169,0	135,5	103,3	151,6	85,8	81,8	144,4	141,7	106,4	132,2
78/79	245,8	142,9	138,2	130,4	132,3	169,0	194,4	148,4	263,8	120,6
79/80	181,3	149,5	188,8	159,0	138,7	204,8	138,4	181,2	128,2	145,8
80/81	157,0	155,2	178,2	129,8	146,6	216,4	182,3	182,4	115,0	135,0
81/82	142,5	137,8	125,8	200,0	154,7	136,6	140,2	139,2	115,0	171,3
82/83	136,3	103,2	133,5	249,3	115,5	82,8	157,0	100,6	149,2	75,2
83/84	196,8	159,4	202,0	199,4	110,6	230,6	124,2	122,6	81,4	107,4
84/85	172,3	92,3	183,4	193,8	198,5	204,0	213,8	113,0	136,9	117,0
85/86	122,2	70,9	114,9	123,8	102,2	126,8	85,6	93,0	79,2	112,0
86/87	109,2	75,4	82,9	157,6	113,4	112,1	62,6	126,4	167,7	84,4
87/88	161,0	112,6	171,4	273,2	115,6	117,0	138,0	129,8	110,4	96,8
88/89	157,9	68,6	154,1	80,2	160,8	110,6	156,0	132,4	129,6	64,2
90/91	169,8	167,8	153,4	128,8	134,8	148,4	178,8	140,2	163,2	111,4
91/92	100,6	93,1	113,4	95,4	103,4	134,0	122,6	106,5	100,1	73,2
92/93	138,1	155,6	94,2	165,2	221,2	103,4	104,0	93,6	137,8	88,8
93/94	138,1	149,0	119,6	93,8	117,1	77,4	93,2	113,3	107,6	98,4
94/95	80,6	66,1	48,6	90,2	80,6	150,0	183,2	97,8	62,7	125,4
95/96	130,3	100,4	101,4	121,4	130,3	127,6	126,0	58,8	108,4	86,6
96/97	161,4	203,1	112,0	125,8	185,3	192,5	143,6	104,2	204,2	150,9
97/98	157,7	105,2	117,3	174,2	117,9	162,2	163,2	101,4	144,4	144,2
98/99	96,8	112,4	109,0	97,6	119,2	106,5	99,4	72,0	111,4	91,1
99/00	123,7	91,6	117,3	134,7	123,7	104,7	178,4	101,2	187,2	127,5
00/01	98,9	122,9	105,0	198,9	141,0	122,5	150,5	112,1	113,0	137,8
01/02	143,3	121,9	145,7	183,8	135,7	176,8	145,5	220,9	111,4	151,5
02/03	83,4	91,4	97,4	122,7	81,5	73,6	80,0	78,7	122,8	233,5
03/04	184,4	117,8	226,1	163,4	229,8	213,2	177,2	134,2	182,2	189,4
04/05	251,3	117,9	149,3	198,5	149,5	140,1	123,4	106,8	134,5	83,5

Tabela A.6 - Chuvas máximas com duração de três dias (continuação)

Ano	Estações Pluviométricas - código									
	1941005	1941006	1941009	1941010	1942002	1942006	1943008	1943024	1943025	1943035
75/76	97,4	129,2	92,2	91,4	102,1	191,8	145,0	83,4	123,2	132,3
76/77	96,8	99,9	70,6	93,5	103,5	120,8	135,2	168,9	230,4	128,0
77/78	158,0	81,8	77,0	98,2	88,7	70,2	129,9	144,9	335,0	159,3
78/79	161,8	108,3	99,2	175,3	135,8	149,6	156,8	160,4	181,2	272,4
79/80	116,5	123,0	107,0	91,6	116,0	93,6	138,7	145,5	144,5	161,8
80/81	148,9	140,6	82,8	123,5	83,1	81,6	115,4	166,2	191,0	138,6
81/82	140,8	132,6	110,4	157,1	167,2	174,0	175,4	121,5	220,8	180,0
82/83	101,4	88,3	102,4	85,7	95,4	96,9	87,7	126,9	130,5	144,2
83/84	123,9	104,4	86,9	144,8	117,0	79,2	105,6	128,9	97,0	129,9
84/85	151,8	185,8	159,7	161,6	106,8	158,2	170,8	149,6	171,5	163,5
85/86	131,0	120,3	104,8	105,0	73,6	71,3	90,8	107,6	156,8	131,0
86/87	60,2	115,5	108,7	116,0	136,4	112,3	111,6	77,5	223,7	132,4
87/88	66,5	81,1	77,9	140,8	163,4	106,7	172,8	163,4	188,0	133,6
88/89	105,7	93,7	110,5	159,2	106,2	129,2	93,7	114,2	129,8	116,7
90/91	181,3	126,1	150,7	109,2	134,7	191,6	120,7	179,2	109,7	220,0
91/92	100,6	91,8	96,5	85,6	94,6	121,2	55,6	225,6	248,8	158,0
92/93	123,1	113,0	77,8	109,1	133,6	126,4	58,8	179,8	191,7	172,0
93/94	117,0	144,8	84,3	159,4	144,9	132,0	118,9	168,6	110,8	127,2
94/95	131,9	68,2	73,2	73,6	157,8	150,0	111,1	99,2	180,8	98,4
95/96	138,7	86,1	108,8	91,4	123,6	129,4	133,8	205,5	123,4	177,3
96/97	161,7	145,9	160,5	160,6	169,1	259,6	162,8	249,0	191,0	191,2
97/98	149,0	171,0	108,6	117,8	107,1	117,4	232,2	204,7	120,0	162,0
98/99	113,8	66,8	99,6	129,8	85,3	100,2	133,2	64,2	128,0	79,6
99/00	139,9	106,3	93,4	126,4	182,3	110,3	100,8	183,3	147,8	124,4
00/01	101,2	134,0	106,1	79,9	116,8	190,8	76,2	130,6	134,1	102,9
01/02	108,7	165,7	121,0	113,8	129,0	192,9	221,3	187,9	176,9	180,6
02/03	120,4	175,6	86,9	129,6	155,2	226,8	150,0	194,6	179,2	173,6
03/04	79,9	258,0	90,7	127,4	159,0	166,7	165,9	121,8	196,3	114,3
04/05	160,0	126,0	114,4	93,7	134,5	134,6	144,3	192,3	190,3	111,9

Tabela A.7 - Chuvas máximas com duração de três dias (continuação)

Ano	Estações Pluviométricas - código										
	2040023	2041013	2041017	2041023	2042000	2042010	2042017	1843011	1843012	1941018	1942033
75/76	50,0	102,8	311,2	63,8	158,8	117,1	102,2	-	-	-	-
76/77	90,0	65,2	237,7	154,6	90,4	108,8	92,2	-	-	-	-
77/78	92,8	88,8	228,8	84,0	88,8	96,9	102,9	-	-	-	-
78/79	182,2	83,2	175,2	161,8	117,4	151,5	130,0	-	-	-	-
79/80	95,2	114,4	173,0	191,8	105,0	126,2	221,2	-	-	-	-
80/81	101,3	92,8	169,6	160,8	76,8	146,3	115,9	-	-	-	-
81/82	135,9	138,2	166,0	122,6	209,2	147,6	108,7	-	-	-	-
82/83	108,0	66,4	165,4	93,4	86,0	135,9	129,8	-	-	-	-
83/84	75,5	90,2	163,0	101,0	128,8	125,9	83,7	145,8	133,6	130,2	-
84/85	130,0	136,6	158,0	170,2	159,4	191,0	210,8	91,1	83,6	113,2	-
85/86	82,2	78,4	155,0	71,0	105,0	122,9	85,4	134,0	91,5	101,0	118,6
86/87	117,1	114,2	144,2	111,4	112,6	114,5	91,8	146,4	97,8	214,6	190,0
87/88	83,6	85,2	141,0	90,0	110,2	119,2	96,0	142,2	129,8	46,3	151,5
88/89	76,2	79,5	140,4	104,0	61,6	89,4	86,4	75,4	78,1	87,6	199,0
90/91	97,3	167,2	139,9	237,2	244,8	133,6	155,0	82,2	139,6	164,4	132,4
91/92	127,0	96,5	136,1	125,0	87,2	106,8	103,2	164,0	108,0	113,3	144,5
92/93	50,4	157,6	128,0	212,5	73,2	152,6	140,9	145,2	176,0	111,4	167,5
93/94	133,3	111,2	121,8	200,4	80,6	107,4	144,7	148,2	141,1	126,9	112,8
94/95	48,3	80,1	121,1	105,6	86,2	98,0	92,0	103,0	155,0	85,5	112,8
95/96	61,0	151,7	117,7	122,0	140,6	92,6	90,0	118,0	122,6	101,7	103,3
96/97	98,5	202,3	112,4	207,8	261,0	256,9	228,1	127,9	132,6	119,8	167,5
97/98	95,3	91,5	112,0	100,6	109,8	116,6	83,9	138,3	121,9	75,6	112,4
98/99	76,7	115,8	111,8	164,3	180,2	92,0	95,7	87,7	116,2	139,4	203,4
99/00	54,8	77,6	111,2	140,1	91,2	108,0	93,5	105,8	100,3	85,6	113,7
00/01	133,6	132,9	111,0	87,9	150,2	103,9	185,9	131,7	141,7	144,8	198,6
01/02	180,0	160,8	110,0	114,9	100,6	154,0	94,5	103,2	90,4	99,9	113,7
02/03	119,7	118,8	103,2	133,5	132,6	154,1	221,5	114,5	96,6	162,5	173,8
03/04	88,6	181,5	95,6	90,8	68,8	100,3	93,2	129,3	134,4	106,4	114,6
04/05	117,7	144,2	93,8	142,6	137,7	189,9	193,7	107,4	104,9	114,0	170,4
05/06	-	-	-	-	-	-	-	153,0	109,8	152,0	144,9
06/07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	170,4

A seguir serão apresentadas as chuvas máximas acumuladas em cinco na região de estudo:

Tabela A.8 - Chuvas máximas com duração de cinco dias

Ano	Estações Pluviométricas - código									
	1841001	1841003	1841006	1841009	1842005	1842007	1842008	1843000	1940000	1940001
75/76	193,5	162,4	151,5	105,0	182,7	116,1	92,1	114,8	139,8	117,3
76/77	159,8	140,7	161,3	177,6	169,5	162,6	136,7	241,0	186,4	160,0
77/78	164,2	197,1	112,6	141,8	217,3	160,6	239,8	102,1	154,6	104,3
78/79	193,5	197,3	128,2	172,5	258,5	138,6	194,4	333,0	208,3	246,2
79/80	133,6	130,3	111,9	190,8	163,7	225,8	103,6	196,0	175,9	149,8
80/81	161,6	154,7	144,0	120,7	207,8	151,9	139,3	134,5	126,6	232,4
81/82	149,2	152,2	127,9	126,2	197,4	130,6	218,1	194,8	220,5	217,0
82/83	257,9	118,3	116,0	112,2	225,0	161,6	169,9	178,6	151,7	156,5
83/84	163,7	159,7	175,2	150,8	197,2	135,5	142,8	114,8	203,2	176,8
84/85	173,6	131,8	149,1	208,6	251,3	142,7	169,2	195,0	180,6	179,8
85/86	183,4	96,7	220,4	155,0	135,8	131,3	180,8	147,6	162,2	111,8
86/87	87,0	176,1	84,8	116,0	120,2	119,8	123,5	146,2	187,9	133,4
87/88	142,3	121,9	181,3	109,8	218,7	133,2	279,2	165,6	104,1	127,4
88/89	112,0	114,6	90,4	145,5	175,4	215,2	120,7	124,4	166,4	95,0
90/91	135,2	143,9	102,7	126,2	123,6	165,8	110,5	173,2	183,2	174,0
91/92	135,5	148,5	95,9	102,0	209,0	171,7	208,0	124,0	96,8	102,2
92/93	150,0	154,0	128,6	96,2	120,2	198,0	253,0	158,0	188,9	130,4
93/94	174,2	129,8	118,8	145,4	202,7	133,9	256,6	198,0	217,5	131,4
94/95	141,4	149,8	103,8	164,6	182,4	120,4	122,9	116,8	95,0	108,0
95/96	126,8	84,7	153,5	175,2	119,5	225,9	115,1	126,7	155,8	112,4
96/97	159,6	141,2	187,3	257,0	204,9	240,4	232,2	205,0	242,2	289,3
97/98	164,4	115,4	102,6	122,2	99,8	203,8	116,0	138,8	131,4	126,2
98/99	126,9	128,8	222,9	118,7	115,7	178,6	136,3	106,6	96,3	133,5
99/00	158,7	112,7	125,0	123,4	142,5	193,5	176,1	92,0	192,3	218,8
00/01	102,5	177,7	91,4	121,7	134,4	131,3	94,4	99,9	180,3	198,1
01/02	192,9	197,9	148,4	197,1	246,3	153,4	186,4	115,1	277,3	228,0
02/03	211,4	106,4	210,1	117,4	135,8	195,5	127,0	125,4	124,6	102,1
03/04	113,0	91,4	186,3	116,5	153,9	159,0	120,4	139,3	157,6	151,4
04/05	87,8	153,4	109,0	169,8	256,7	217,7	143,4	148,9	130,0	150,3

Tabela A.9 - Chuvas máximas com duração de cinco dias (continuação)

Ano	Estações Pluviométricas - código									
	1940005	1940006	1940009	1940010	1940012	1940013	1940016	1940022	1941000	1941004
75/76	141,0	102,4	107,8	169,2	84,9	153,5	97,8	109,7	114,0	127,4
76/77	149,8	97,1	93,9	171,6	112,3	210,7	190,0	187,2	162,8	175,7
77/78	210,4	152,3	115,3	169,8	107,8	120,1	149,6	222,1	106,9	135,6
78/79	285,4	241,9	193,5	235,2	207,3	254,4	231,8	219,2	293,2	154,8
79/80	190,3	155,4	188,8	177,1	139,7	245,2	215,0	226,2	202,8	175,9
80/81	207,4	181,4	186,8	161,7	172,6	232,7	198,6	250,0	215,0	135,5
81/82	169,8	172,2	215,5	241,0	168,2	151,8	147,5	153,9	301,4	214,7
82/83	149,5	120,9	162,1	311,2	128,3	136,8	185,4	103,0	185,9	100,4
83/84	261,9	258,5	247,2	222,4	164,6	239,6	176,0	136,2	120,8	161,2
84/85	172,3	122,6	220,4	208,7	199,8	265,6	253,6	142,6	177,5	137,8
85/86	172,2	97,6	151,4	151,0	194,4	146,5	141,0	99,8	116,0	117,7
86/87	134,3	108,5	108,2	178,2	115,3	135,4	77,2	193,2	192,7	154,0
87/88	205,3	159,5	174,3	323,6	161,5	137,2	139,0	139,4	122,2	99,3
88/89	181,6	106,0	179,7	109,4	176,2	176,2	212,2	170,6	159,4	76,1
90/91	181,1	189,6	170,3	158,6	146,1	203,4	186,4	173,8	185,0	136,4
91/92	130,5	98,5	130,5	163,2	129,7	146,8	140,2	154,4	135,8	88,6
92/93	151,8	163,9	131,5	234,4	260,7	132,1	122,4	104,6	169,2	102,2
93/94	185,3	170,9	161,6	257,8	159,3	105,8	156,0	134,2	118,0	124,4
94/95	128,4	94,2	60,8	104,4	85,1	150,0	184,2	123,0	102,3	145,9
95/96	185,4	107,4	126,8	164,8	167,6	146,9	164,8	71,6	144,8	106,6
96/97	171,0	282,7	173,3	194,6	242,5	242,6	153,2	131,5	227,8	192,5
97/98	198,9	121,3	137,3	198,8	130,4	168,5	166,4	135,4	156,4	157,0
98/99	102,7	124,5	111,9	136,9	119,2	147,8	104,6	76,4	134,4	119,1
99/00	140,3	101,3	134,3	135,1	168,1	124,3	187,7	130,1	192,4	144,2
00/01	115,2	183,4	132,8	241,0	156,7	165,0	165,7	145,1	114,6	138,7
01/02	154,4	214,3	194,0	260,7	207,3	196,6	179,8	262,1	182,1	217,1
02/03	105,0	97,4	97,4	129,7	90,8	75,1	83,3	92,7	159,6	278,5
03/04	245,0	161,0	281,6	198,7	271,3	257,2	194,5	162,7	267,9	221,4
04/05	262,8	129,2	149,3	237,7	151,8	168,0	177,1	106,8	168,9	105,0

Tabela A.10 - Chuvas máximas com duração de cinco dias (continuação)

Ano	Estações Pluviométricas - código									
	1941005	1941006	1941009	1941010	1942002	1942006	1943008	1943024	1943025	1943035
75/76	113,6	130,5	92,2	91,5	102,6	203,0	178,0	130,5	163,2	134,7
76/77	119,5	142,7	97,6	141,5	119,4	157,6	143,3	227,3	230,8	161,4
77/78	178,0	89,8	85,1	106,4	121,7	80,0	143,2	175,1	343,0	202,1
78/79	173,8	141,5	153,4	219,7	207,6	209,8	208,1	235,9	239,2	314,5
79/80	148,7	158,3	136,0	91,6	165,3	129,8	220,4	174,0	178,0	168,2
80/81	177,5	171,0	88,9	124,7	111,4	91,9	141,1	249,5	196,6	172,9
81/82	237,6	193,1	148,7	191,1	288,7	233,9	213,5	170,9	311,3	202,3
82/83	134,2	122,8	146,1	114,5	106,1	122,0	125,6	174,6	167,8	172,0
83/84	167,8	145,3	134,9	174,4	153,3	97,4	134,8	212,3	166,7	159,1
84/85	177,5	259,0	164,7	166,4	153,1	244,4	255,3	195,0	204,4	200,0
85/86	157,9	182,4	150,8	145,0	97,2	113,2	126,2	111,7	182,7	144,8
86/87	82,5	209,1	151,0	138,7	139,2	145,3	114,7	122,1	224,0	165,5
87/88	104,5	98,3	85,9	169,4	171,7	116,7	213,3	270,2	207,3	151,7
88/89	120,6	133,8	133,4	159,2	152,8	204,0	114,9	144,2	169,9	186,4
90/91	201,6	143,1	169,2	149,4	151,6	215,9	135,4	213,8	133,1	282,3
91/92	119,4	102,8	127,7	113,2	130,7	131,2	76,0	281,8	291,4	180,4
92/93	141,0	128,4	101,3	114,2	184,5	169,4	58,8	200,2	222,8	196,0
93/94	127,8	201,3	102,9	159,4	180,5	147,6	163,5	192,0	164,4	131,4
94/95	140,8	68,2	73,2	90,8	167,8	170,0	121,4	151,6	206,1	107,9
95/96	176,9	120,7	137,9	140,6	159,3	167,2	158,8	286,7	166,7	224,9
96/97	214,8	193,4	208,1	194,2	213,2	369,6	254,6	345,0	282,4	262,6
97/98	183,2	179,8	139,7	124,1	129,8	158,2	232,2	273,5	127,9	198,8
98/99	163,6	89,9	108,7	132,4	88,3	117,8	173,0	106,9	143,0	122,2
99/00	147,7	131,9	181,1	204,7	314,9	153,1	115,2	231,8	176,0	157,8
00/01	112,8	134,2	114,2	96,0	123,6	208,3	89,9	130,6	192,3	148,1
01/02	132,5	194,2	177,7	170,2	156,2	228,6	221,3	213,6	226,1	206,4
02/03	157,4	197,0	89,4	129,6	235,9	274,8	173,9	232,7	235,0	223,1
03/04	102,4	324,8	120,9	165,1	159,4	236,9	172,3	228,9	245,6	144,0
04/05	163,2	167,8	126,1	109,9	161,8	153,6	167,8	241,4	267,9	185,4

Tabela A.11 - Chuvas máximas com duração de cinco dias (continuação)

Ano	Estações Pluviométricas - código										
	2040023	2041013	2041017	2041023	2042000	2042010	2042017	1843011	1843012	1941018	1942033
75/76	70,0	113,6	104,2	74,6	174,4	130,3	125,4	-	-	-	-
76/77	105,0	76,8	174,0	165,6	108,2	135,4	143,7	-	-	-	-
77/78	105,8	109,8	119,8	134,3	113,4	117,7	109,0	-	-	-	-
78/79	261,6	106,4	139,8	258,7	163,6	233,5	199,0	-	-	-	-
79/80	145,2	119,2	185,4	235,7	131,2	131,6	256,6	-	-	-	-
80/81	145,3	118,4	215,8	190,0	87,0	153,0	126,9	-	-	-	-
81/82	208,0	221,2	458,6	160,3	324,6	212,8	199,8	-	-	-	-
82/83	133,0	101,4	178,6	122,0	104,8	165,1	152,1	-	-	-	-
83/84	97,7	122,2	181,6	141,0	135,2	138,7	111,9	203,2	166,2	165,3	-
84/85	165,8	149,8	185,6	222,8	159,4	295,8	249,6	117,7	100,8	124,4	-
85/86	89,2	90,2	161,2	110,3	105,0	160,9	101,0	157,4	134,5	105,4	133,4
86/87	132,2	114,2	159,0	132,2	179,0	114,5	112,8	173,0	114,6	230,6	196,9
87/88	91,2	90,8	128,0	98,0	190,4	144,0	118,0	187,8	135,4	117,5	177,5
88/89	150,6	148,9	168,0	130,4	116,2	129,4	196,0	121,2	154,2	140,7	241,4
90/91	127,1	193,5	241,2	322,2	246,9	193,8	178,2	116,4	147,2	185,6	159,8
91/92	188,5	121,9	147,4	147,0	94,6	154,0	141,8	215,8	193,0	128,4	168,1
92/93	67,7	170,1	156,4	215,5	79,7	157,4	140,9	152,0	193,0	144,2	231,2
93/94	147,5	133,6	154,8	216,6	100,2	141,2	167,5	179,3	188,5	128,4	362,6
94/95	59,0	88,8	128,2	119,5	86,2	111,4	102,0	118,1	170,6	133,6	183,6
95/96	74,6	194,5	178,6	158,0	169,0	107,5	92,7	147,6	154,6	162,0	121,8
96/97	136,3	265,9	295,3	253,6	351,4	343,9	288,9	181,7	189,7	182,7	243,0
97/98	118,3	109,0	133,4	179,0	118,4	121,7	110,6	182,6	132,7	103,7	219,1
98/99	76,7	151,8	166,4	170,8	251,4	118,2	134,5	152,9	148,9	153,3	207,5
99/00	74,4	112,1	140,4	151,3	108,1	109,6	126,1	129,3	127,6	116,0	122,1
00/01	145,0	166,2	142,7	122,8	167,0	137,5	193,0	139,2	184,8	166,5	273,0
01/02	272,3	204,9	217,9	167,5	125,7	171,4	125,3	153,4	129,9	114,9	115,2
02/03	151,1	157,6	201,9	145,0	177,6	202,2	245,7	180,8	96,6	179,8	220,1
03/04	139,9	227,4	220,4	137,3	103,2	130,9	107,0	129,3	146,6	106,4	132,3
04/05	157,2	204,6	196,6	192,3	218,3	247,7	234,0	180,4	125,4	132,0	209,0
05/06	-	-	-	-	-	-	-	158,9	159,7	171,4	183,2
06/07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	177,2

Anexo 2 - Ajustes estatísticos gráficos de chuvas máximas observadas segundo as distribuições de Gumbel e Lognormal: os eixos das abscissas indicam as alturas de chuvas, em mm e os eixos das ordenadas representam as frequências de não excedência em %

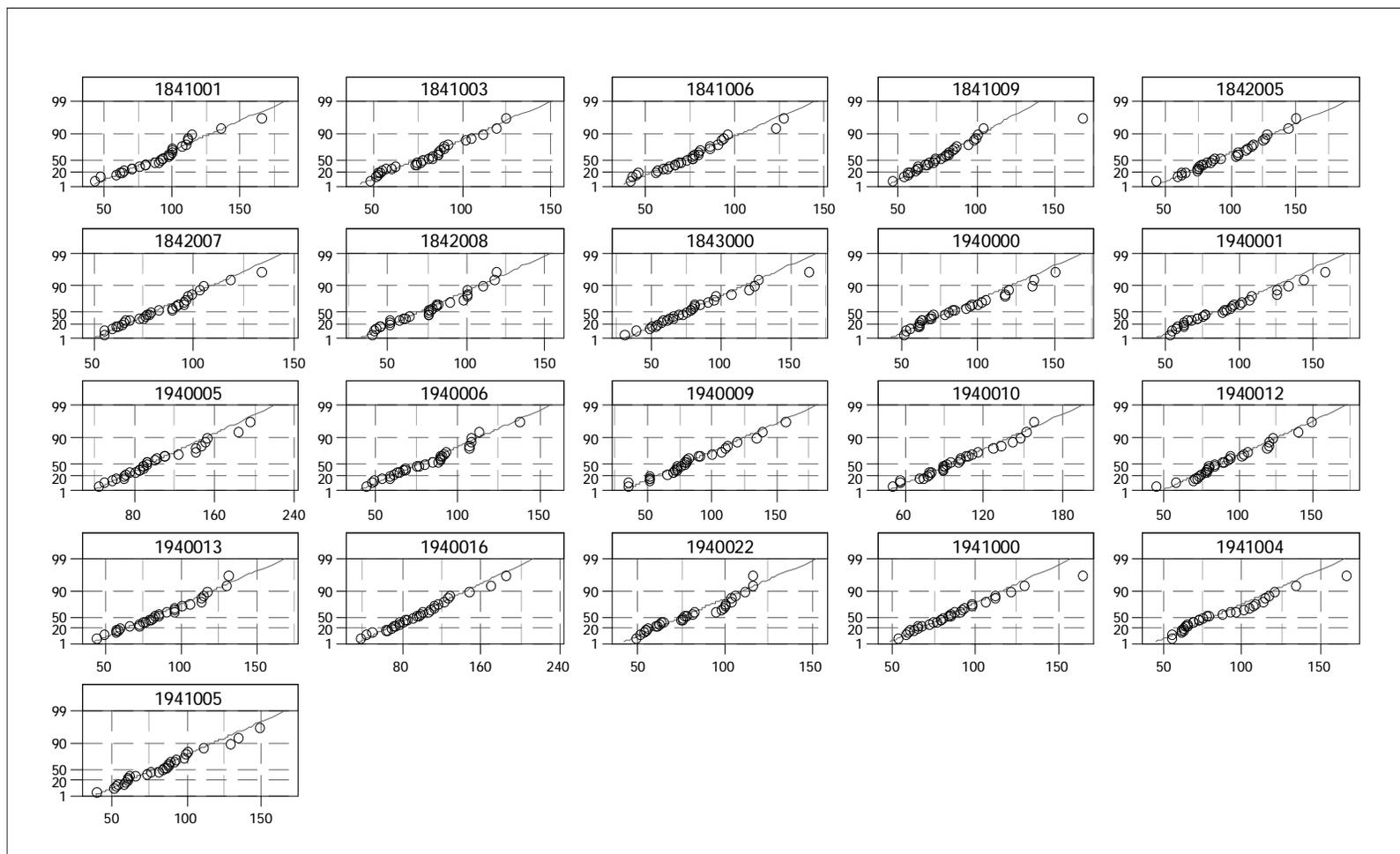


Figura A.1 - Ajuste estatístico gráfico da distribuição de Gumbel para chuvas de um dia

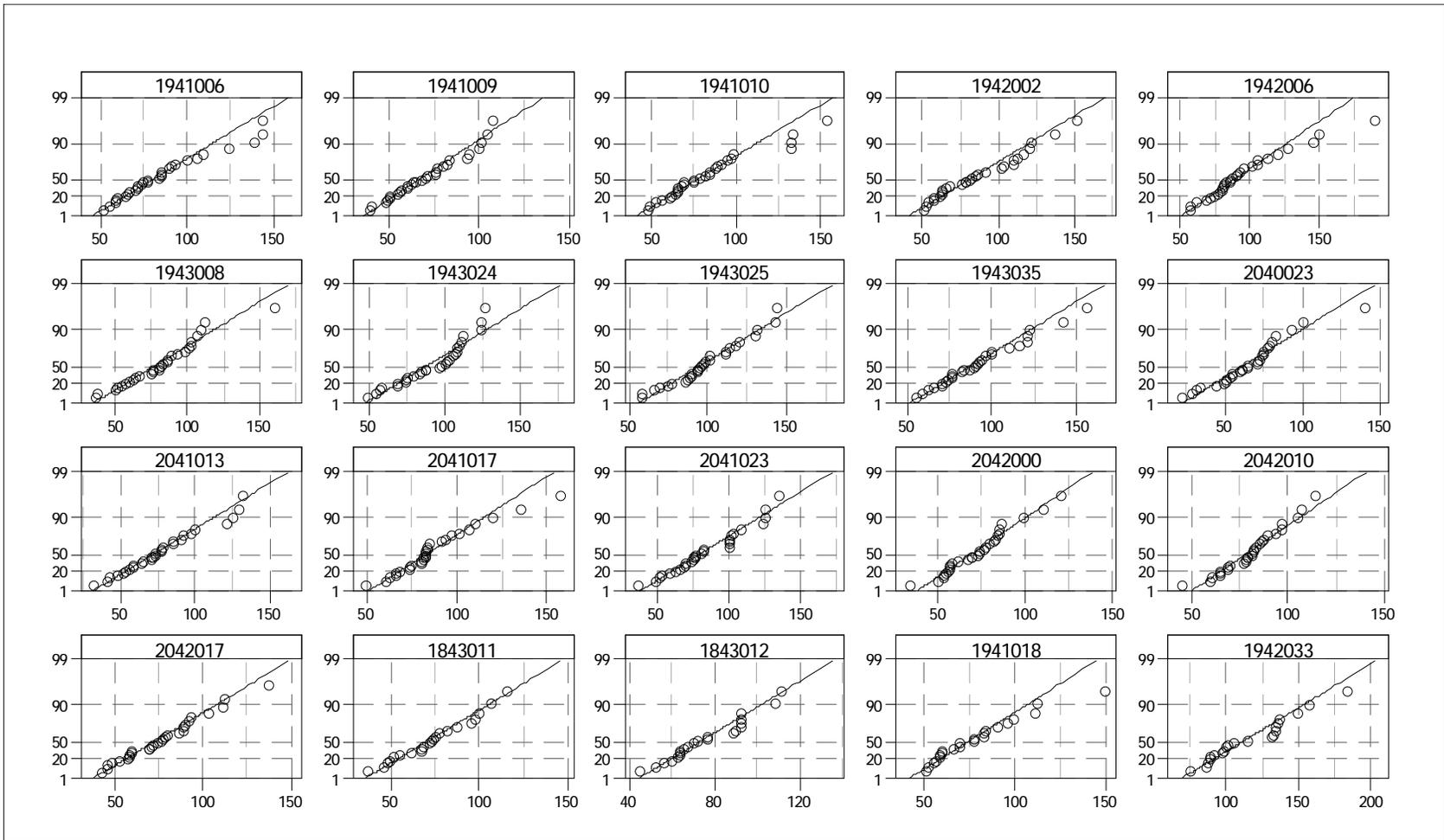


Figura A.2 - Ajuste estatístico gráfico da distribuição de Gumbel para chuvas de um dia (continuação)

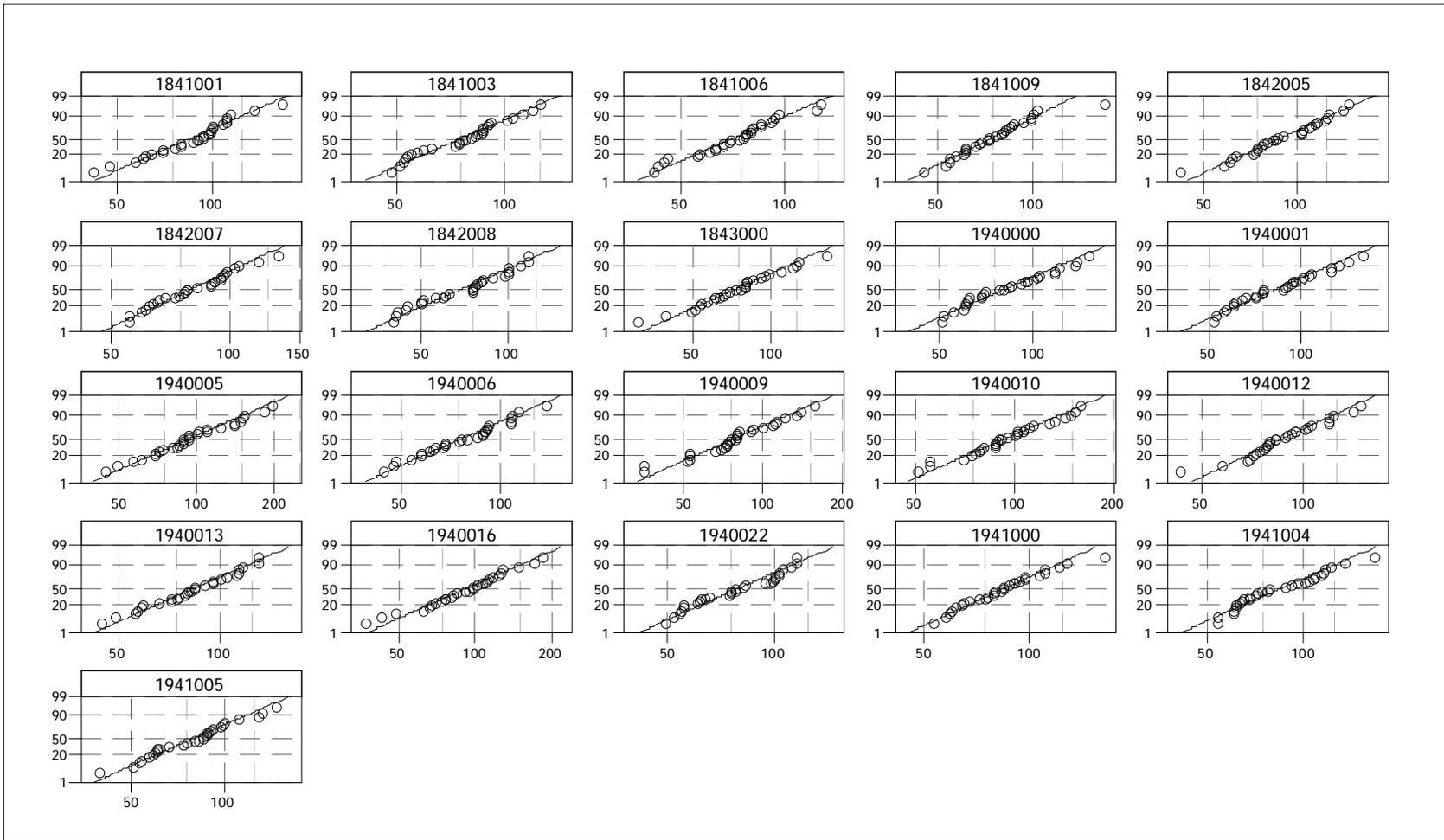


Figura A.3 - Ajuste estatístico gráfico da distribuição Lognormal para chuvas de um dia

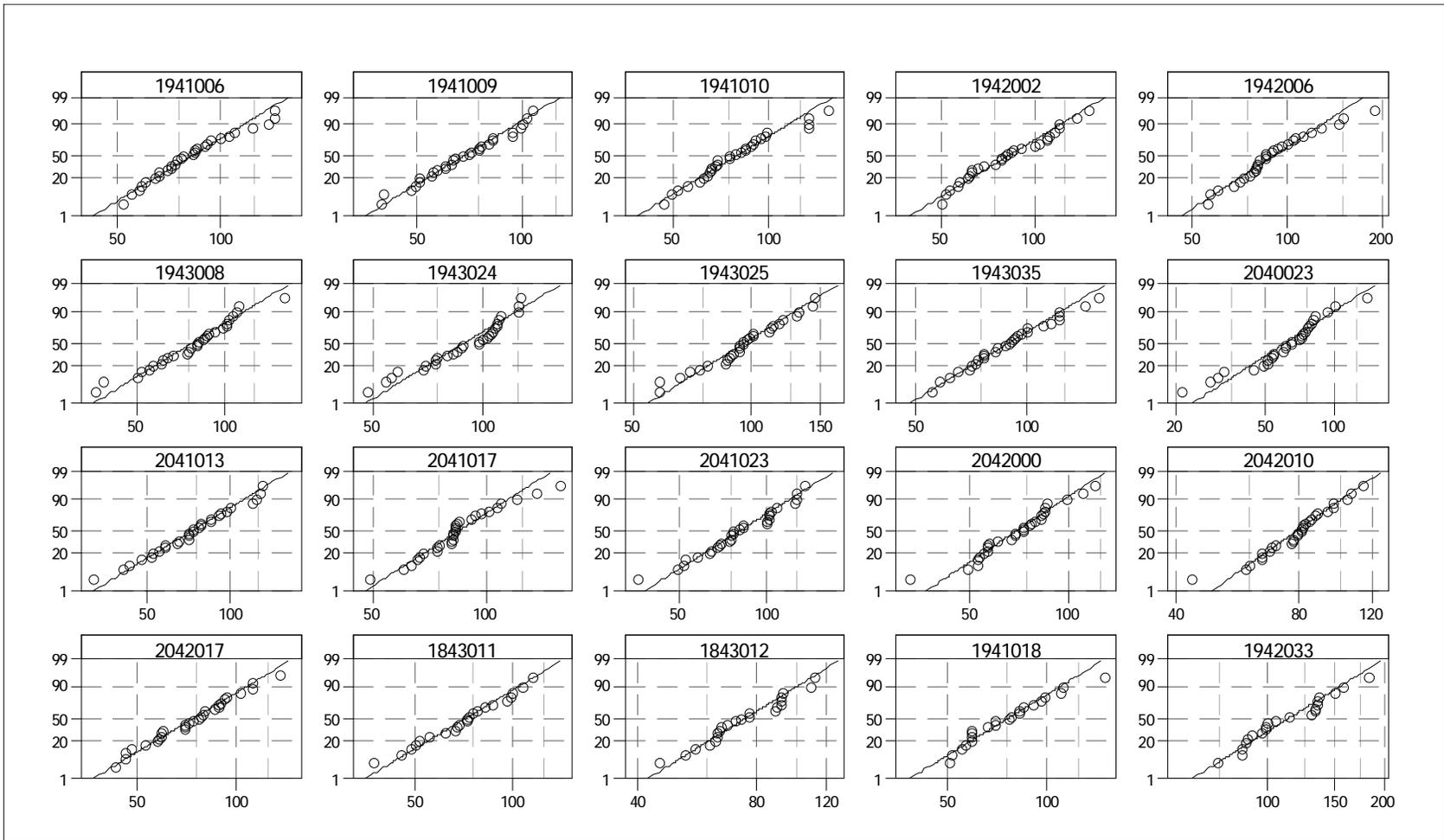


Figura A.4 - Ajuste estatístico gráfico da distribuição Lognormal para chuvas de um dia (continuação)

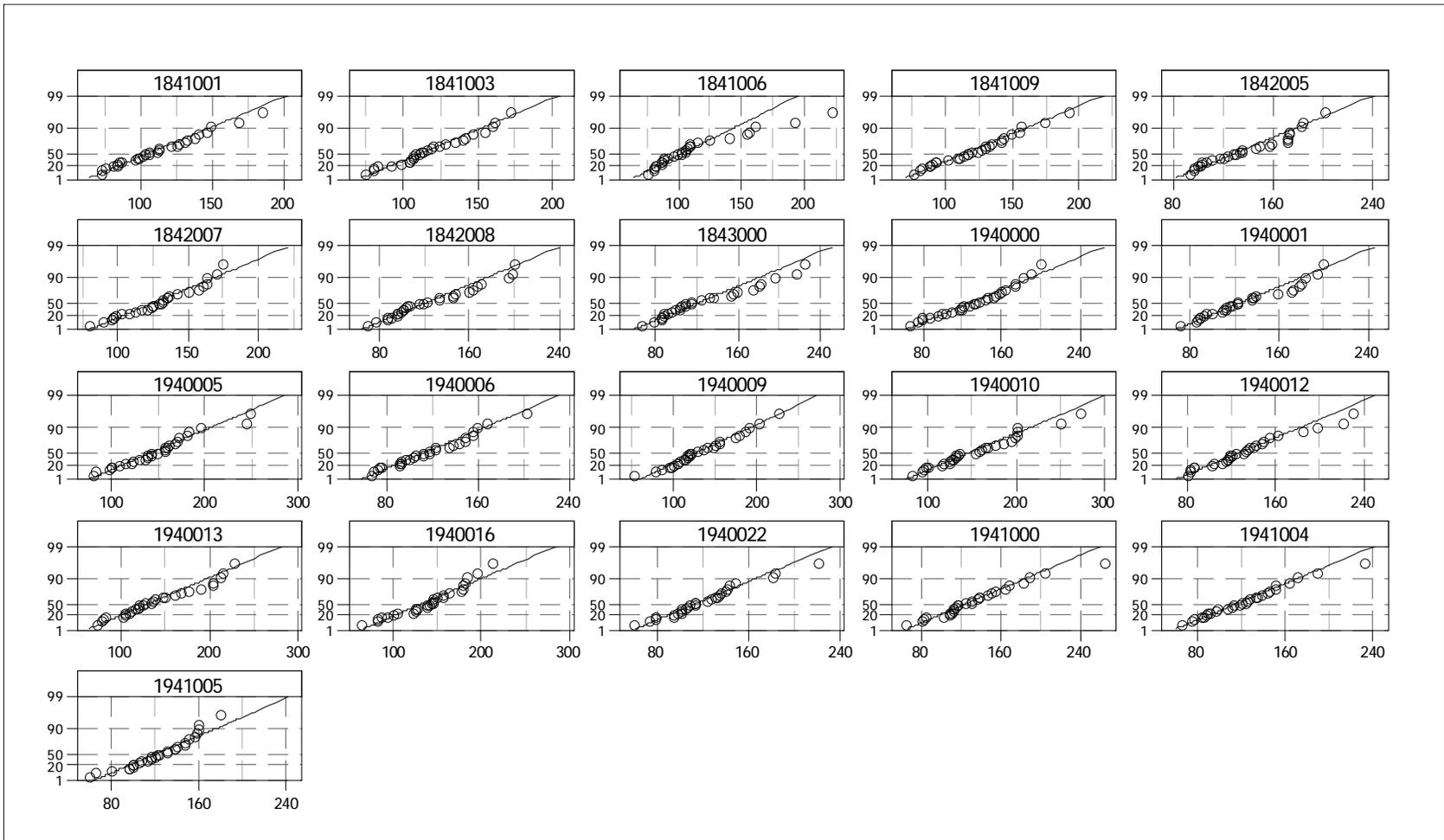


Figura A.5 - Ajuste estatístico gráfico da distribuição de Gumbel para chuvas acumuladas de três dias

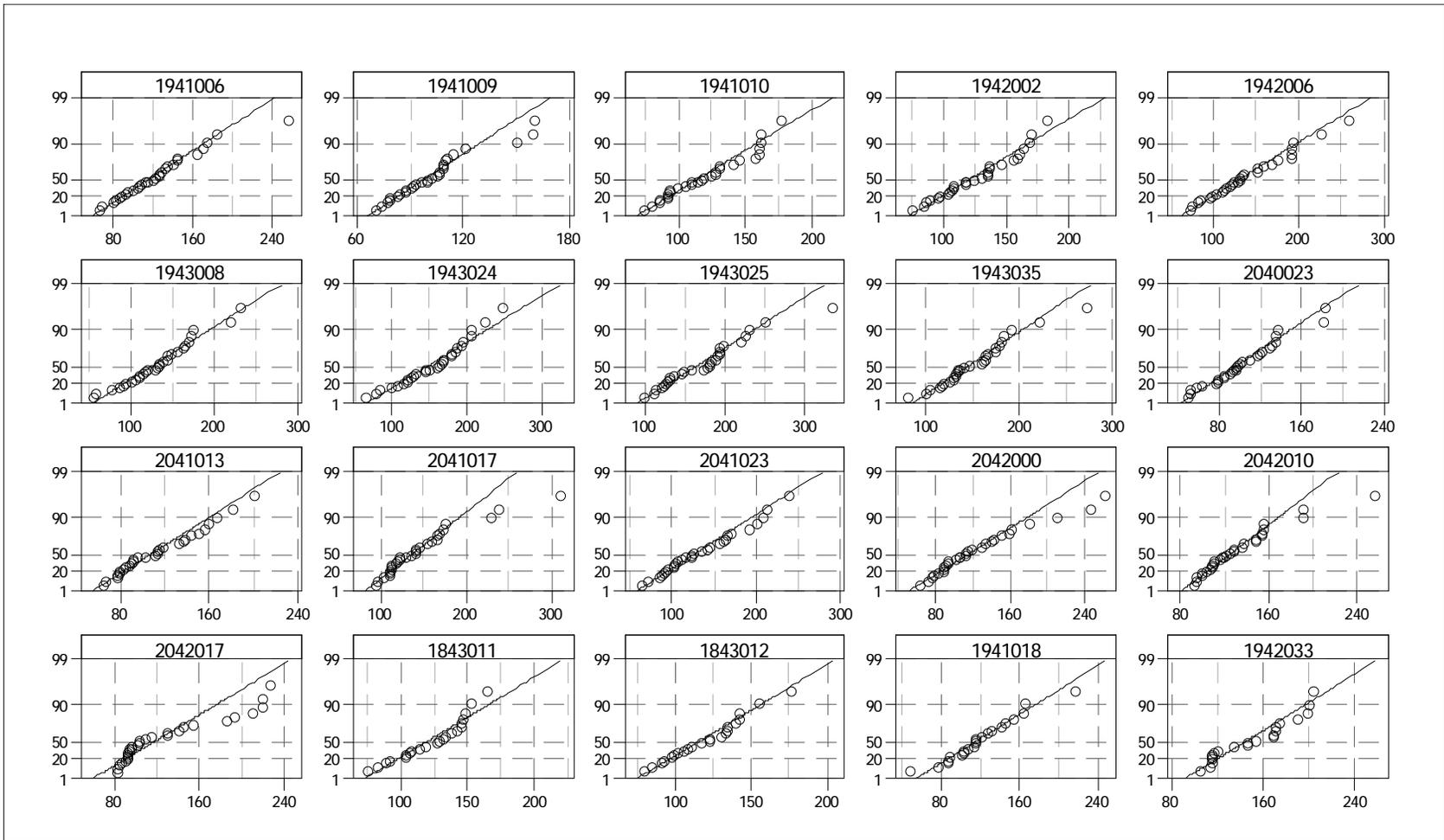


Figura A.6 - Ajuste estatístico gráfico da distribuição de Gumbel para chuvas acumuladas de três dias (continuação)

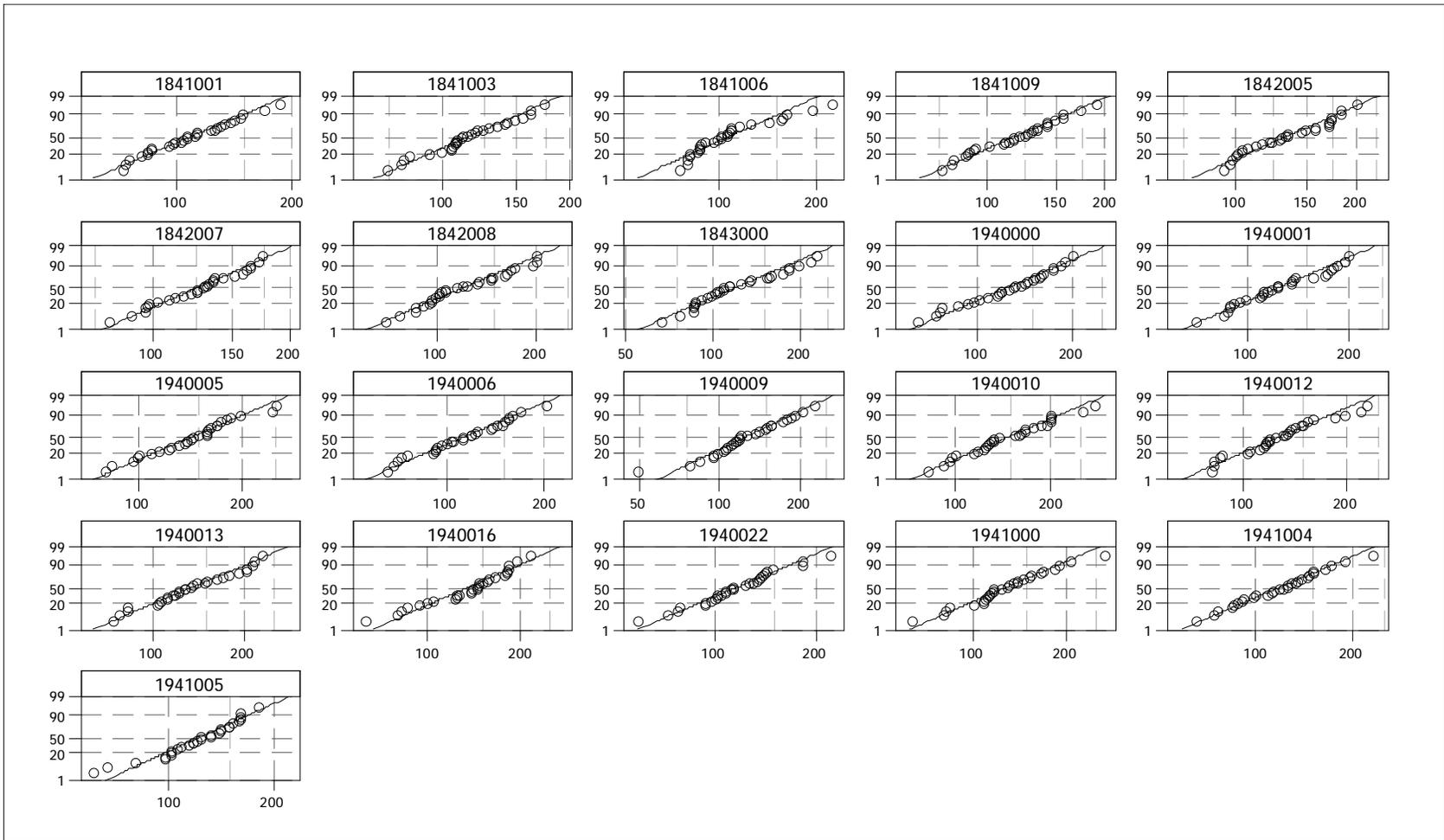


Figura A.7 - Ajuste estatístico gráfico da distribuição Lognormal para chuvas acumuladas de três dias

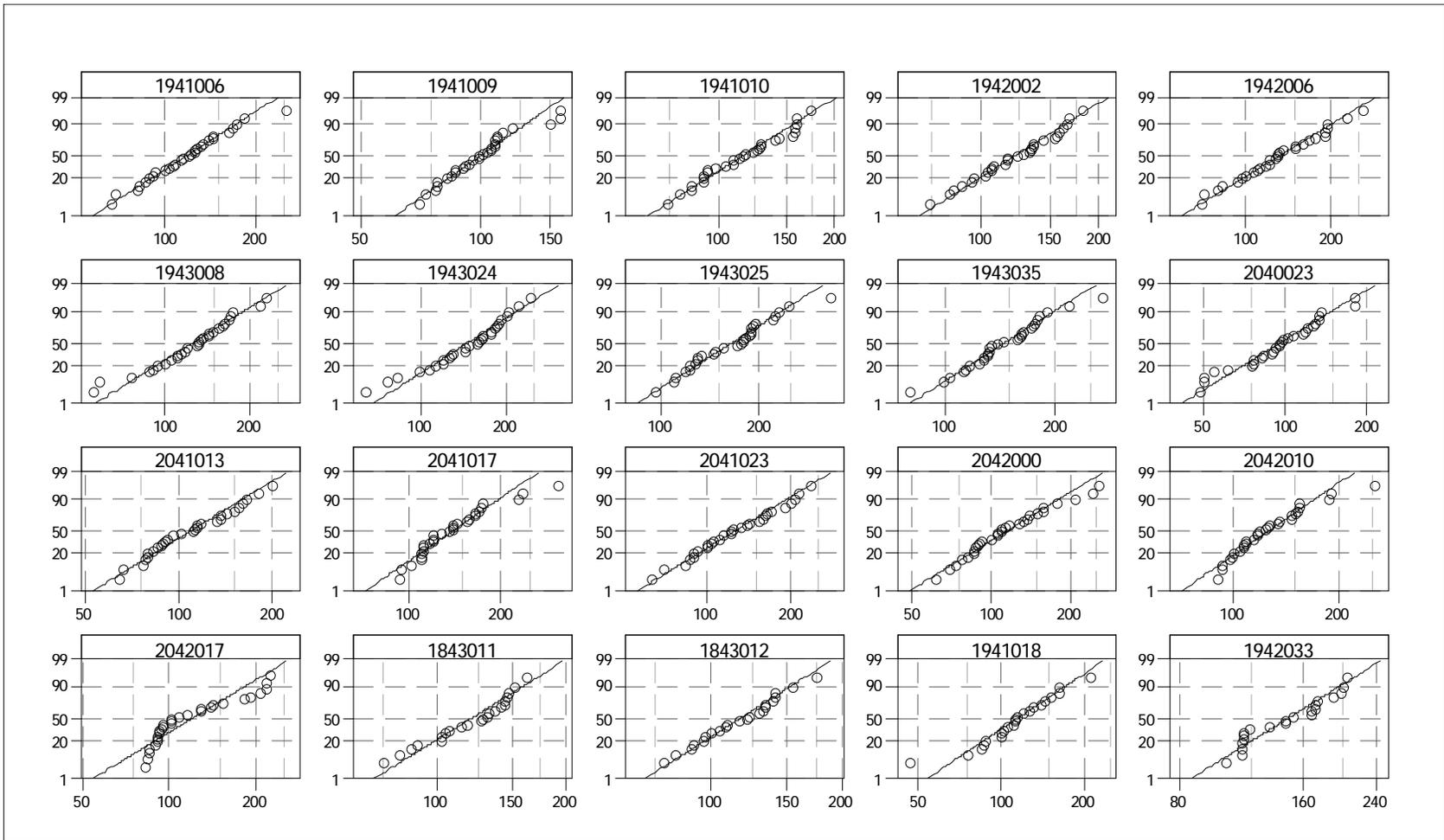


Figura A.8 - Ajuste estatístico gráfico da distribuição Lognormal para chuvas acumuladas de três dias (continuação)

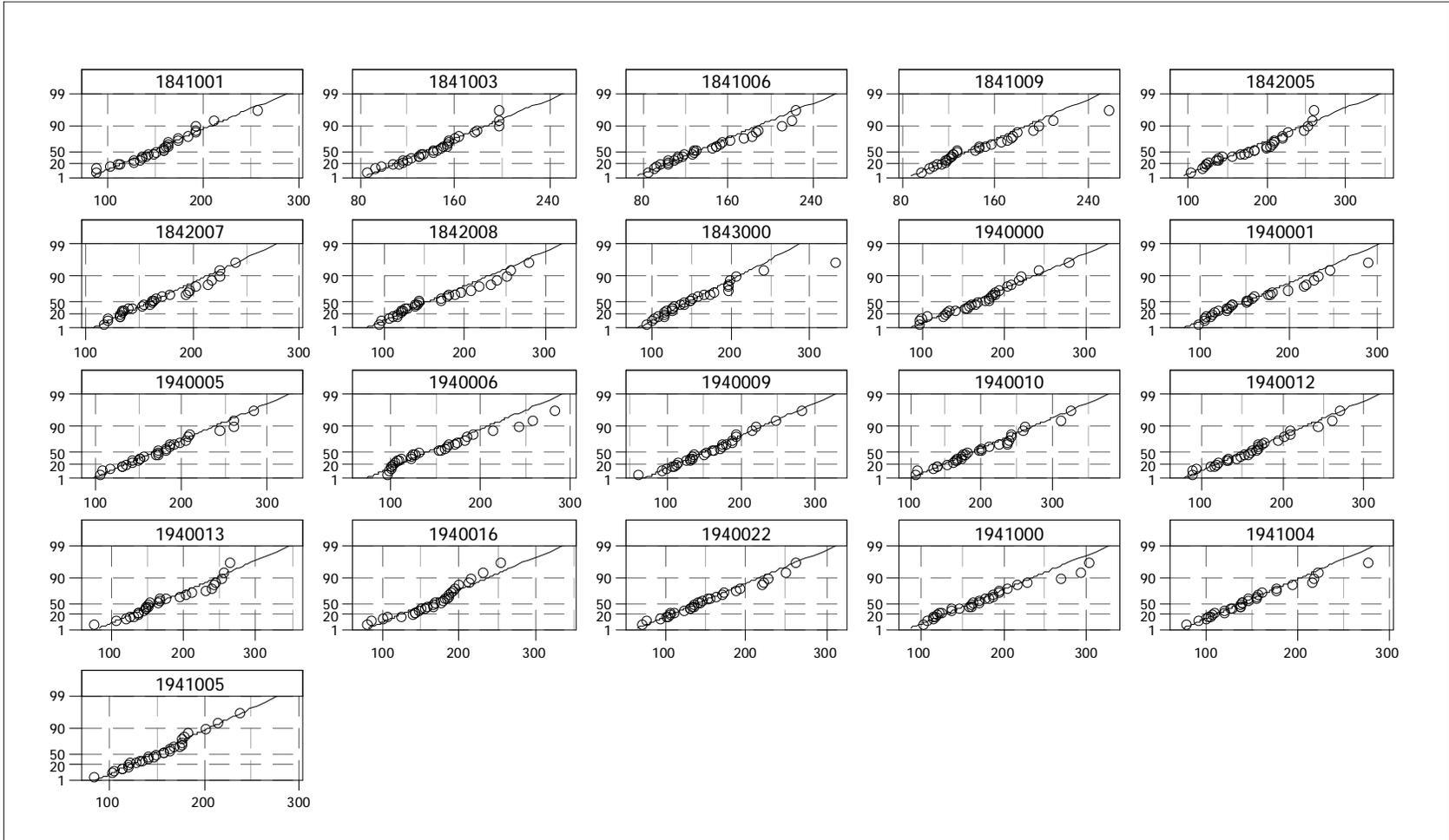


Figura A.9 - Ajuste estatístico gráfico da distribuição de Gumbel para chuvas acumuladas de cinco dias

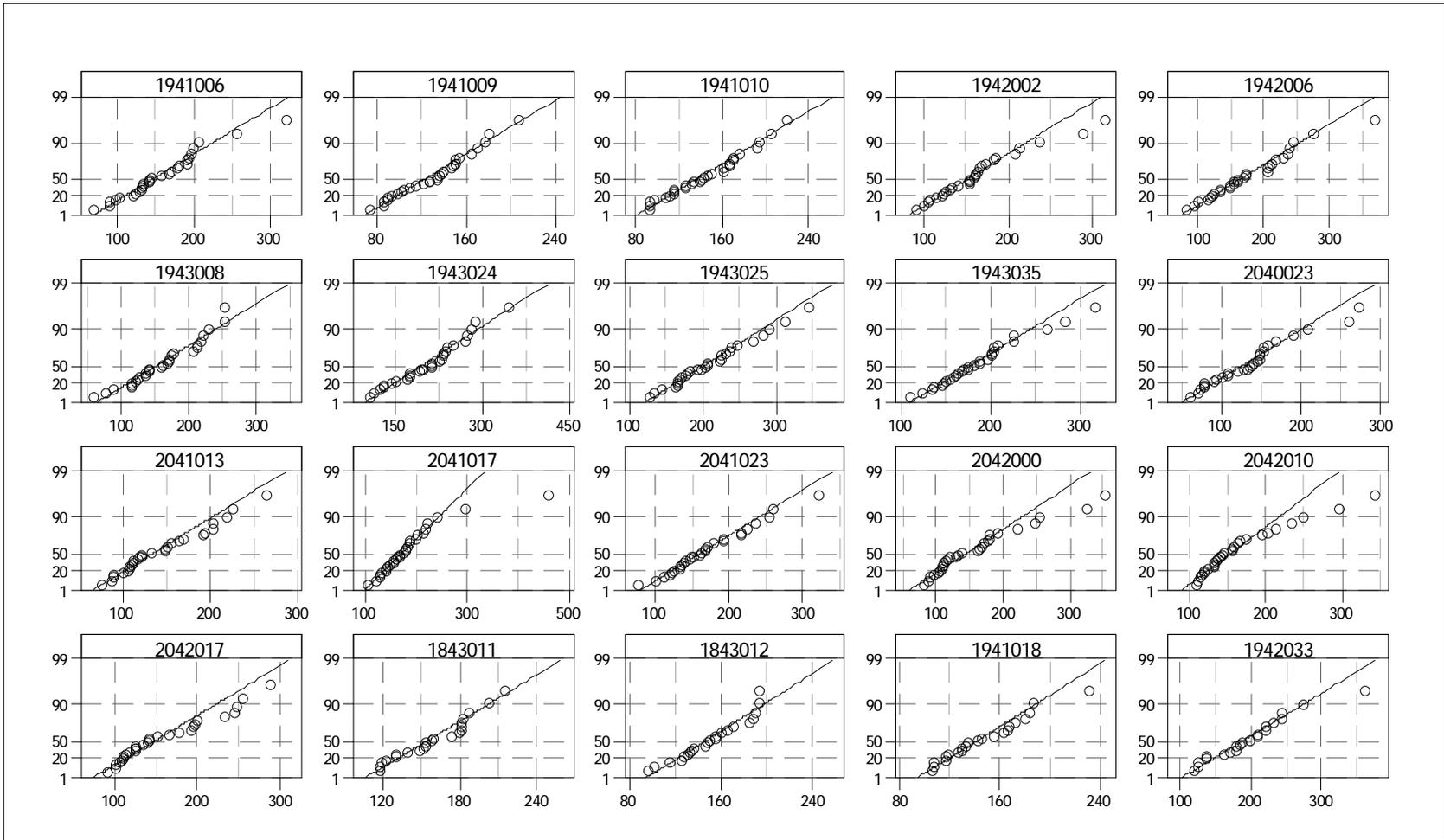


Figura A.10 - Ajuste estatístico gráfico da distribuição de Gumbel para chuvas acumuladas de cinco dias (continuação)

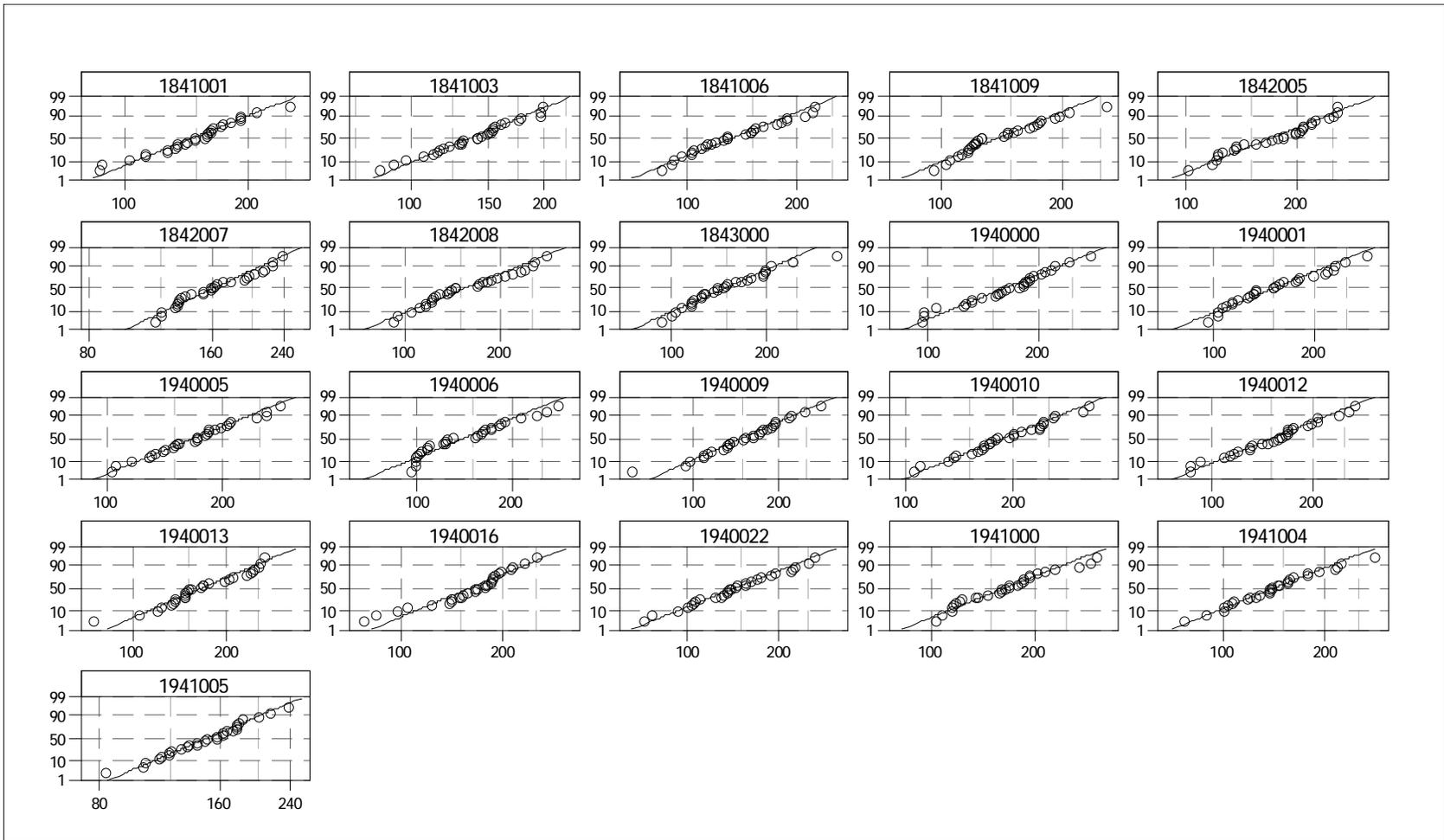


Figura A.11 - Ajuste estatístico gráfico da distribuição Lognormal para chuvas acumuladas de cinco dias

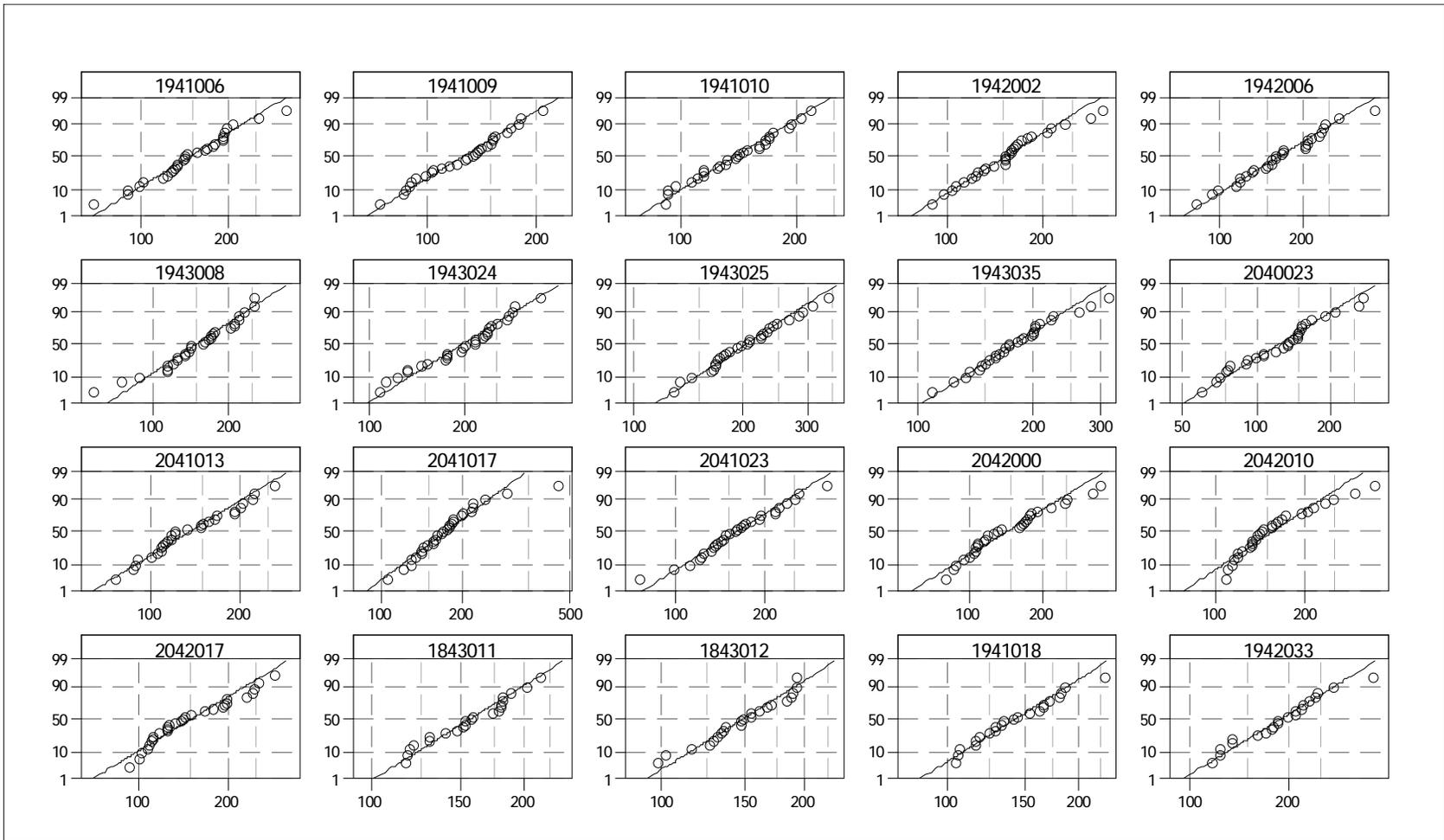


Figura A.12 - Ajuste estatístico gráfico da distribuição Lognormal para chuvas acumuladas de cinco dias (continuação)

Anexo 3 - Testes de hipóteses não paramétricos

Tabela A.12 - Valores do teste não paramétrico de independência de Wald-Wolfowitz para chuvas diárias

Estação	Valor do teste $ T_w $	Estação	Valor do teste $ T_w $
1841001	0,8319	1941006	0,3942
1841003	0,6327	1941009	0,5910
1841006	0,6445	1941010	0,3396
1841009	0,0251	1942002	0,5291
1842005	0,4303	1942006	0,4025
1842007	0,0515	1943024	1,3031
1842008	1,4050	1943008	0,6298
1843000	0,8035	1943025	0,8665
1940000	0,2714	1943035	1,4864
1940001	0,7737	2040023	0,2563
1940005	0,8633	2041013	1,6374
1940006	0,4902	2041017	0,1866
1940009	1,8979	2041023	1,0298
1940010	0,2938	2042000	0,4092
1940012	0,9713	2042010	0,0205
1940013	0,0479	2042017	<i>2,7038</i>
1940016	0,0795	1843011	0,9915
1940022	1,3977	1843012	<i>3,3176</i>
1941000	1,4144	1941018	1,5328
1941004	1,1952	1942033	1,3027
1941005	0,4271		

Pode ser observado que as amostras selecionadas para as estações 2042017 e 1843012 foram avaliadas como não independentes segundo o teste de Wald-Wolfowitz a um nível de significância de 5%. As demais amostras admitem a hipótese de independência.

Tabela A.13 - Valores do teste não paramétrico de independência de Wald-Wolfowitz
para chuvas de três dias

Estação	Valor do teste $ T_w $	Estação	Valor do teste $ T_w $
1841001	0,9555	1941006	0,4748
1841003	0,7267	1941009	0,7119
1841006	0,7403	1941010	0,4090
1841009	0,0288	1942002	0,6373
1842005	0,4942	1942006	0,4848
1842007	0,0592	1943024	1,5696
1842008	1,6138	1943008	0,7586
1843000	0,9229	1943025	<i>2,8638</i>
1940000	0,3117	1943035	1,4818
1940001	0,7587	2040023	0,2555
1940005	0,8466	2041013	1,6323
1940006	0,4807	2041017	0,2208
1940009	1,8612	2041023	1,2185
1940010	0,2881	2042000	0,4842
1940012	1,1156	2042010	0,0243
1940013	0,0552	2042017	1,5872
1940016	0,0913	1843011	1,1731
1940022	1,6054	1843012	<i>3,6254</i>
1941000	1,7036	1941018	1,8136
1941004	1,4396	1942033	1,5414
1941005	0,5144		

Para estes dados de chuva observa-se que a estação 1943025 e a estação 1843012 não apresentam independência em seus valores. As demais admitem hipótese de independência.

Tabela A.14 - Valores do teste não paramétrico de independência de Wald-Wolfowitz
para chuvas de cinco dias

Estação	Valor do teste $ T_w $	Estação	Valor do teste $ T_w $
1841001	1,0114	1941006	0,5391
1841003	0,7692	1941009	0,8083
1841006	0,7836	1941010	0,4644
1841009	0,0305	1942002	0,7236
1842005	0,5231	1942006	0,5505
1842007	0,0988	1943024	1,8565
1842008	1,8331	1943008	0,9103
1843000	1,5415	1943025	0,9784
1940000	0,5207	1943035	1,6784
1940001	1,2340	2040023	0,2738
1940005	1,3769	2041013	1,7489
1940006	0,7818	2041017	0,2366
1940009	1,8612	2041023	1,3236
1940010	0,4686	2042000	0,5258
1940012	1,2015	2042010	0,0263
1940013	0,0594	2042017	<i>2,3476</i>
1940016	0,0983	1843011	1,0735
1940022	1,7289	1843012	<i>2,5049</i>
1941000	1,7785	1941018	1,0999
1941004	1,5504	1942033	0,9348
1941005	0,5540		

Observa-se que para chuvas com duração de cinco dias, as estações 2042017 e 1843012 não possuem dados amostrais independentes. As demais foram aprovadas no teste de Wald-Wolfowitz.

Tabela A.15 - Valores do teste não paramétrico de homogeneidade de Mann-Whitney para chuvas diárias

Estação	Valor do teste $ T_h $	Estação	Valor do teste $ T_h $
1841001	0,6110	1941006	0,8292
1841003	0,0436	1941009	0,1746
1841006	0,8292	1941010	0,8947
1841009	0,1528	1942002	1,0474
1842005	1,2657	1942006	1,0474
1842007	0,9820	1943024	1,2657
1842008	1,2875	1943008	<i>2,6186</i>
1843000	1,2220	1943025	0,4146
1940000	0,6110	1943035	0,5892
1940001	0,7856	2040023	0,8292
1940005	1,0256	2041013	<i>2,9896</i>
1940006	0,6983	2041017	0,1091
1940009	0,7419	2041023	1,3311
1940010	1,1129	2042000	0,1091
1940012	0,8510	2042010	0,1746
1940013	0,4583	2042017	0,0436
1940016	0,0218	1843011	0,5582
1940022	1,0911	1843012	0,7223
1941000	0,1528	1941018	0,2148
1941004	0,8729	1942033	1,7604
1941005	0,2182		

Pode ser notado que as estações 1943008 e 2041013 possuem amostras que não admitem a hipótese de homogeneidade a um nível de significância de 5% de acordo com o teste não paramétrico de Mann-Whitney. As demais amostras se mostraram aptas à hipótese de homogeneidade.

Tabela A.16 - Valores do teste não paramétrico de homogeneidade de Mann-Whitney para chuvas de três dias

Estação	Valor do teste $ T_h $	Estação	Valor do teste $ T_h $
1841001	0,8947	1941006	1,0693
1841003	1,2002	1941009	0,6110
1841006	0,3055	1941010	0,7856
1841009	0,0218	1942002	1,8985
1842005	1,7435	1942006	<i>2,4222</i>
1842007	1,7676	1943024	0,1091
1842008	0,8510	1943008	<i>2,7312</i>
1843000	1,8476	1943025	0,6983
1940000	0,2401	1943035	0,3273
1940001	0,2837	2040023	0,0218
1940005	1,4621	2041013	<i>2,7277</i>
1940006	0,5455	2041017	0,6765
1940009	1,1566	2041023	1,5057
1940010	1,0693	2042000	0,3273
1940012	0,9383	2042010	0,5019
1940013	0,3491	2042017	0,8510
1940016	0,1528	1843011	0,7551
1940022	1,9358	1843012	0,3612
1941000	0,3864	1941018	0,2298
1941004	0,3710	1942033	1,3171
1941005	0,7201		

Percebe-se que para estes dados, as estações 1942006, 1943008 e 2041013 não possuem amostras homogêneas a um nível de significância de 5%. As demais amostras admitem a hipótese de homogeneidade.

Tabela A.17 - Valores do teste não paramétrico de homogeneidade de Mann-Whitney para chuvas de cinco dias

Estação	Valor do teste $ T_h $	Estação	Valor do teste $ T_h $
1841001	1,0112	1941006	1,2237
1841003	1,3564	1941009	0,6993
1841006	0,3453	1941010	0,8991
1841009	0,0247	1942002	1,9280
1842005	1,8247	1942006	<i>2,1935</i>
1842007	1,9191	1943024	0,0988
1842008	0,9402	1943008	1,7573
1843000	1,9431	1943025	0,6323
1940000	0,2276	1943035	0,3237
1940001	0,2690	2040023	0,0216
1940005	1,3866	2041013	<i>2,1839</i>
1940006	0,5174	2041017	0,6053
1940009	1,1566	2041023	1,3472
1940010	1,0693	2042000	0,2929
1940012	0,9383	2042010	0,5615
1940013	0,3491	2042017	0,9522
1940016	0,2020	1843011	0,8449
1940022	<i>2,5595</i>	1843012	1,4654
1941000	0,5110	1941018	0,2962
1941004	0,3957	1942033	1,4894
1941005	0,7681		

Nessa situação observa-se que as estações 1940022, 1942006 e 2041013 não apresentaram dados sob a hipótese de homogeneidade através do teste de Mann-Whitney. As demais amostras admitem a hipótese de homogeneidade ao nível de significância de 5%.

A seguir serão apresentados os resultados provenientes do teste de hipótese não paramétrico de Spearman para avaliar a estacionariedade dos dados.

Tabela A.18 - Valores do teste não paramétrico de estacionariedade de Spearman para chuvas diárias

Estação	Valor do teste $ T_s $	Estação	Valor do teste $ T_s $
1841001	1,2260	1941006	1,0912
1841003	0,6664	1941009	0,3682
1841006	0,6155	1941010	1,3054
1841009	0,1024	1942002	<i>2,1289</i>
1842005	0,8877	1942006	0,9080
1842007	1,4949	1943024	1,6355
1842008	1,2291	1943008	1,7143
1843000	1,4708	1943025	0,4089
1940000	0,4585	1943035	0,9951
1940001	0,3262	2040023	0,2359
1940005	1,3169	2041013	<i>3,2029</i>
1940006	0,0254	2041017	1,1325
1940009	0,0941	2041023	0,6651
1940010	0,7662	2042000	0,3059
1940012	1,3277	2042010	0,4934
1940013	0,0846	2042017	0,3815
1940016	0,6200	1843011	0,2717
1940022	0,9945	1843012	0,0983
1941000	0,3046	1941018	0,4865
1941004	0,4960	1942033	1,5101
1941005	0,2213		

De acordo com o teste paramétrico de Spearman, as amostras das estações 1942002 e 2041013 não são estacionárias. Já as demais amostras passaram no teste e são caracterizadas como estacionárias a um nível de significância de 5%.

Tabela A.19 - Valores do teste não paramétrico de estacionariedade de Spearman para chuvas de três dias

Estação	Valor do teste $ T_s $	Estação	Valor do teste $ T_s $
1841001	1,2228	1941006	1,2648
1841003	1,6914	1941009	0,0731
1841006	0,3580	1941010	<i>2,1289</i>
1841009	0,0102	1942002	<i>2,0501</i>
1842005	1,8510	1942006	0,3408
1842007	1,2667	1943024	1,8974
1842008	0,7961	1943008	0,5958
1843000	<i>2,5944</i>	1943025	1,1191
1940000	0,1958	1943035	0,3052
1940001	1,0409	2040023	<i>2,4468</i>
1940005	0,2976	2041013	0,5214
1940006	0,0858	2041017	0,4095
1940009	0,0509	2041023	0,2474
1940010	1,4701	2042000	0,2442
1940012	0,2524	2042010	0,3001
1940013	0,2772	2042017	0,4218
1940016	1,7423	1843011	0,2717
1940022	0,6041	1843012	0,4062
1941000	0,2467	1941018	0,2294
1941004	0,0305	1942033	0,7988
1941005	1,4066		

Pode-se observar que as estações 184300, 1941010, 1942002 e 2040023 não apresentam amostras com dados estacionários. As demais amostras possuem a característica da estacionariedade a um nível de significância de 5%.

Tabela A.20 - Valores do teste não paramétrico de estacionariedade de Spearman para chuvas de cinco dias

Estação	Valor do teste $ T_s $	Estação	Valor do teste $ T_s $
1841001	1,7149	1941006	0,9589
1841003	1,5871	1941009	0,5570
1841006	0,1348	1941010	0,2671
1841009	0,2105	1942002	1,6024
1842005	1,4574	1942006	1,8186
1842007	1,8243	1943024	0,0967
1842008	0,4655	1943008	1,3175
1843000	1,5916	1943025	0,0502
1940000	0,5519	1943035	0,1399
1940001	0,1806	2040023	0,3256
1940005	1,0505	2041013	1,0409
1940006	0,0865	2041017	0,3586
1940009	0,3764	2041023	0,4604
1940010	0,1393	2042000	0,0483
1940012	0,9519	2042010	0,1577
1940013	0,7630	2042017	0,0789
1940016	0,7198	1843011	0,4024
1940022	1,9025	1843012	0,0686
1941000	0,1017	1941018	0,2381
1941004	0,5290	1942033	0,5216
1941005	0,5589		

Pela análise da Tabela A.20 é possível verificar que todas as amostras seleccionadas foram aprovadas no teste de Spearman a um nível de significância de 5%.

Anexo 4 - Script do GeoR empregado nas análises geoestatísticas

```
#####  
# #####ANÁLISE ESPACIAL DE CHUVAS INTENSAS - MÉDIO E BAIXO RIO DOCE#####  
#####  
  
#<-INÍCIO->#  
  
library(geoR)  
  
dados <- read.geodata("arquivo_nome.txt",header=T)  
summary(dados)  
plot(dados,scatter3d=TRUE)  
  
#####  
  
#<-ANÁLISE DESCRITIVA->#  
  
#GRÁFICO BOXPLOT#  
boxplot(dados$data)  
  
#####  
  
#<-SEMIVARIOGRAMA EMPÍRICO->#  
  
DM<-179000  
PP<-11  
MP<-13  
variog(dados,trend="1st")  
binchuva<-variog(dados,uvec=PP,max.dist=DM,trend="1st",pairs.min=MP)  
plot(binchuva,xlab="Distância (metros)",ylab="Semivariância")  
summary(binchuva)  
  
#####  
  
#<-ANÁLISE VARIOGRÁFICA->#  
  
##AJUSTE PELO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS PONDERADOS - MQP##  
  
#MODELO EXPONENCIAL - exp.mqp#  
  
P<-220  
ALC<-21000  
EP<-30  
  
exp.mqp<-variofit(binchuva,ini=c(P,ALC),nugget=EP)  
exp.mqp  
lines(exp.mqp,col=1)  
  
valid.exp.mqp<-xvalid(dados,model=exp.mqp)  
valid.exp.mqp  
  
summary(valid.exp.mqp)  
write(valid.exp.mqp$data,file="observado.EXP.MQP.xls",ncol=1)  
write(valid.exp.mqp$predicted,file="estimado.EXP.MQP.xls",ncol=1)  
write(valid.exp.mqp$krige.var,file="krige.var.EXP.MQP.xls",ncol=1)  
write(valid.exp.mqp$error,file="erro.EXP.MQP.xlsx",ncol=1)
```

```

write(valid.exp.mqp$std.error,file="std.erro.EXP.MQP.xls",ncol=1)
write(valid.exp.mqp$prob,file="probabilidade.EXP.MQP.xls",ncol=1)

#MODELO ESFÉRICO - esf.mqp#

esf.mqp<-variofit(binchuva,ini=c(P,ALC),nugget=EP,cov.model="sph")
esf.mqp
  lines(esf.mqp,col=2)

valid.esf.mqp<-xvalid(dados,model=esf.mqp)
valid.esf.mqp

summary(valid.esf.mqp)
write(valid.esf.mqp$data,file="observado.ESF.MQP.xls",ncol=1)
write(valid.esf.mqp$predicted,file="estimado.ESF.MQP.xls",ncol=1)
write(valid.esf.mqp$krige.var,file="krige.var.ESF.MQP.xls",ncol=1)
write(valid.esf.mqp$error,file="erro.ESF.MQP.xls",ncol=1)
write(valid.esf.mqp$std.error,file="std.erro.ESF.MQP.xls",ncol=1)
write(valid.esf.mqp$prob,file="probabilidade.ESF.MQP.xls",ncol=1)

#MODELO GAUSSIANO - gau.mqp#

gau.mqp<-variofit(binchuva,ini=c(P,ALC),nugget=EP,cov.model="gau")
gau.mqp
  lines(gau.mqp,col=6)

valid.gau.mqp<-xvalid(dados,model=gau.mqp)
valid.gau.mqp

summary(valid.gau.mqp)
write(valid.gau.mqp$data,file="observado.GAU.MQP.xls",ncol=1)
write(valid.gau.mqp$predicted,file="estimado.GAU.MQP.xls",ncol=1)
write(valid.gau.mqp$krige.var,file="krige.var.GAU.MQP.xls",ncol=1)
write(valid.gau.mqp$error,file="erro.GAU.MQP.xls",ncol=1)
write(valid.gau.mqp$std.error,file="std.erro.GAU.MQP.xls",ncol=1)
write(valid.gau.mqp$prob,file="probabilidade.GAU.MQP.xls",ncol=1)

##AJUSTE PELO MÉTODO DA MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA - MVS##

#MODELO EXPONENCIAL - exp.mvs#

exp.mvs<-likfit(dados,ini=c(P,ALC),nugget=T)
exp.mvs
  lines(exp.mvs,col=4)

valid.exp.mvs<-xvalid(dados,model=exp.mvs)
valid.exp.mvs

summary(valid.exp.mvs)
write(valid.exp.mvs$data,file="observado.EXP.MVS.xls",ncol=1)
write(valid.exp.mvs$predicted,file="estimado.EXP.MVS.xls",ncol=1)
write(valid.exp.mvs$krige.var,file="krige.var.EXP.MVS.xls",ncol=1)
write(valid.exp.mvs$error,file="erro.EXP.MVS.xls",ncol=1)
write(valid.exp.mvs$std.error,file="std.erro.EXP.MVS.xls",ncol=1)
write(valid.exp.mvs$prob,file="probabilidade.EXP.MVS.xls",ncol=1)

#MODELO ESFÉRICO - esf.mvs#

```

```

esf.mvs<-likfit(dados,ini=c(P,ALC),nugget=EP,cov.model="sph")
esf.mvs
lines(esf.mvs,col=7)

valid.esf.mvs<-xvalid(dados,model=esf.mvs)
valid.esf.mvs

summary(valid.esf.mvs)
write(valid.esf.mvs$data,file="observado.ESF.MVS.xls",ncol=1)
write(valid.esf.mvs$predicted,file="estimado.ESF.MVS.xls",ncol=1)
write(valid.esf.mvs$krige.var,file="krige.var.ESF.MVS.xls",ncol=1)
write(valid.esf.mvs$error,file="erro.ESF.MVS.xls",ncol=1)
write(valid.esf.mvs$std.error,file="std.erro.ESF.MVS.xls",ncol=1)
write(valid.esf.mvs$prob,file="probabilidade.ESF.MVS.xls",ncol=1)

#MODELO GAUSSIANO - gau.mvs#

gau.mvs<-likfit(dados,ini=c(P,ALC),nugget=EP,cov.model="gau")
gau.mvs
lines(gau.mvs,col=5)

valid.gau.mvs<-xvalid(dados,model=gau.mvs)
valid.gau.mvs

summary(valid.gau.mvs)
write(valid.gau.mvs$data,file="observado.GAU.MVS.xls",ncol=1)
write(valid.gau.mvs$predicted,file="estimado.GAU.MVS.xls",ncol=1)
write(valid.gau.mvs$krige.var,file="krige.var.GAU.MVS.xls",ncol=1)
write(valid.gau.mvs$error,file="erro.GAU.MVS.xls",ncol=1)
write(valid.gau.mvs$std.error,file="std.erro.GAU.MVS.xls",ncol=1)
write(valid.gau.mvs$prob,file="probabilidade.GAU.MVS.xls",ncol=1)

legend(125000, 92, c("exp.mqp" , "esf.mqp" , "gau.mqp" , "exp.mvs" , "esf.mvs" ,
"gau.mvs"),lty=c(1,1,1,1,1,1),lwd=c(2,2,2,2,2,2),col=c(1,2,6,4,7,5))

#####

#<-KRIGAGEM ORDINÁRIA->#

limite<-read.table("div_alb.txt",header=T)
limite<-as.matrix(limite)

library(splancs)

apply(dados$coords,2,range)##plotar limite
plot(limite)
loci<-expand.grid(seq(1600000,2100000,l=200),seq(1200000,1600000,l=200))
polygon(limite)
points(loci)

#MAPA EM ESCALA DE CINZA

image(kc,loc=loci,border=limite,val=kc$predict,xlab="Longitude",ylab="Latitude",col=gray(seq(1,0.1,l=
25)))
legend.krige(c(1920000,2080000),c(1200000,1250000),cex.log=0.7,val=kc$predict,col=gray(seq(1,0.1,l=
25)),off=0.5)

```

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)