Ilza Machado Kaiser

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE COMPOSIÇÃO DE
CAMPOS DE PRECIPITAÇÃO PARA USO EM MODELOS
HIDROLÓGICOS DISTRIBUÍDOS**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Hidráulica e Saneamento.

Orientador - Prof. Dr. Rodrigo de Melo Porto

**São Carlos
2006**

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata Engenheira **ILZA MACHADO KAISER**

Tese defendida e julgada em 03-03-06 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Associado **RODRIGO DE MELO PORTO** (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

Prof. Dr. **EDUARDO MÁRIO MENDIONDO**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Prof. Dr. **MAURÍCIO DE AGOSTINHO ANTONIO**
(UNESP/Bauru – SP)

Aprovado

Prof. Dr. **VALTER HERNANDEZ**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

Aprovado

Prof. Dr. **WALTER COLLISCHONN**
(Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS)

Aprovado

Profª. Titular **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia (Hidráulica e Saneamento) e
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Kaiser, Ilza Machado
K13a Avaliação de métodos de composição de campos de
precipitação para uso em modelos hidrológicos distribuídos /
Ilza Machado Kaiser. -- São Carlos, 2006.
2v.

Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 2006.
Área: Hidráulica e Saneamento.
Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Melo Porto.

1. Campos de precipitação. 2. Radar. 3. Modelo
hidrológico distribuído. I. Título.

Para Armínio, Jovita, João Roberto e Marina.

Agradecimentos

Ao Professor Rodrigo de Melo Porto pela orientação e apoio. Às funcionárias da pós-graduação do departamento de Hidráulica de Sanamento pela atenção em todas as etapas do programa de doutorado.

Ao Dr Walter Collischonn por permitir o uso do modelo hidrológico MGB, ceder os arquivos fonte, e atender prontamente todas as dúvidas que surgiram ao longo do trabalho.

Ao IPMet por ter aberto as portas para a coleta de dados, em especial aos senhores Maurício de Agostinho Antonio, Carlos Alberto de Agostinho Antonio, Hermes Augusto de Godoy França e Marlene Sueli Moia Viani.

À João Roberto Gomes de Faria pelo incentivo e suporte nos mais diversos setores da vida, durante este período e a Marina Kaiser Gomes de Faria pela compreensão.

“Todo o conhecimento é incerto, inexato e parcial”.

Bertrand Russel

*“Não temos nenhuma certeza absoluta a respeito de um dado processo,
a não ser das incertezas a ele inerentes”.*

Werner Karl Heisenberg

Resumo

KAISER, Ilza Machado (2006). *Avaliação de métodos de composição de campos de precipitação para uso em modelos hidrológicos distribuídos*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2006.

Este trabalho discute a composição de campos de precipitação a partir de duas fontes de dados: os pluviômetros e o radar meteorológico. Estudaram-se métodos baseados somente em dados de pluviômetros, somente em dados de radar, e técnicas que combinam as duas fontes de dados. O objeto de estudo é a bacia do rio Jacaré-Guaçu, que conta com 65 postos pluviométricos e um radar meteorológico, do IPMet-Bauru. Foi feita uma comparação direta entre os campos gerados pelas diversas técnicas, onde foi avaliado o comportamento do índice G (razão entre o registro pluviométrico e a média dos registros de radar dos 9 *pixels* que circundam o pluviômetro), a capacidade destas técnicas de fornecer a chuva pontual e a altura média diária e anual de chuva por área de integração. Os métodos compostos apresentaram valores pontuais de chuva muito elevados e foram introduzidos fatores limitantes para compensar estas super correções. Os resultados obtidos reproduziram qualitativamente os valores da literatura. Ao analisar a média das chuvas diárias para toda a bacia e para todo o período, utilizando como padrão de comparação o método do Inverso do Quadrado da Distância (IQD), constatou que o radar fornece valores 12% menores, e que os métodos mistos apresentam diferenças na faixa de -0,5 a +16%. Nesta forma de análise existe um ganho ao se utilizar as técnicas mistas, porém ao se trabalhar com valores diários, integrados em sub-bacias, as diferenças atingem valores de -45% até +70%. Estes campos de precipitação foram aplicados em um modelo hidrológico distribuído, de embasamento físico, com 19 parâmetros calibráveis. Trabalhou-se com 10 postos pluviométricos e com 6 anos de dados. A calibração foi feita com dois anos e o restante deles foi usado para validação. Para garantir a comparação entre os resultados usou-se rigorosamente a mesma metodologia de calibração, com apoio de algoritmo genético. Foram utilizadas três funções objetivo: uma para verificação dos picos, outra para recessão e a última para avaliar a diferença de volume. Verificou-se que os melhores resultados foram obtidos para os métodos IQD, Brandes com o maior limitador, Radar e Costa. Nestes métodos, o processo de calibração consegue compensar as diferenças dos campos de precipitação. As diferenças observadas nos campos de precipitação foram reproduzidas nos hidrogramas. Os hidrogramas resultantes da aplicação dos dados de radar não reproduziram bem a recessão e os hidrogramas resultantes dos campos gerados apenas por pluviômetros apresentam picos elevados. As técnicas mistas ora atenuam os picos ora intensificam-nos. Sugere-se mais pesquisa para o desenvolvimento de métodos mistos que explorem as vantagens dos dois equipamentos de medida de chuva.

Palavras-chave: Campos de Precipitação; radar; modelo hidrológico distribuído.

Abstract

KAISER, Ilza Machado (2006) - Precipitation fields composing methods evaluation for distributed hydrological models use. PhD. Thesis – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2006.

This work discusses the composition of precipitation fields using two data sources: rain gauges and weather radar. Methods based solely on rain gauges, on weather radar, and techniques that combine these two measurement instruments were studied. The study object is the Jacaré-Guaçu river basin, with 65 rain gauges and a meteorological radar (IPMet-Bauru). A direct comparison of these fields generated by diverse techniques was made to study the following subjects: G index (reason between the rain gauge register and the average of the 9 pixels radar registers that surround the rain gauge), the capacity of these techniques to supply the point rain and the daily and annual mean rain height over an integration area. The combined methods provides very high point values, therefore some limitations were introduced to compensate these super corrections. The literature results were qualitatively reproduced in this study. The daily mean rain height comparative analyses for all the basin, and for all the period, evidenced that the radar supplies to values 12% minors, and that the composed methods present differences from -0,5 up to +16%; the comparison pattern was the Inverse of Square Distance method (ISD). The study of mean rain height calculated over a great period and to the entire river basin shows a profit when using the combined techniques; however, when daily values integrated in sub-basins are used, the differences reach values from -45% until +70%. These precipitation fields had been applied in a distributed hydrologic model, physically based, with 19 calibrated parameters. There were 10 fluviometric stations and 6 years of data. The calibration was made with two years, and that remain data was used for validation. To guarantee the results comparison, the same calibration methodology was rigorously used, with support of genetic algorithm. Three objective functions were used: one for peaks verification, another for recession analyses and the last one for volume difference evaluation. The best results were achieved by the application of the precipitation fields gotten by ISD, Brandes with high limitation, Radar and Costa methods. For these methods, the calibration process compensated the differences on the precipitation fields. The differences observed in the precipitation fields had been reproduced in the hydrograms. The hydrograms of the radar data applications had not well reproduced the recession curve, and the hydrograms of the precipitation fields based only on rain gauges presented high peaks. Sometimes the composed techniques attenuate the peaks, however, sometimes they intensify them. More research is recommended to develop compoud methods that explore the advantages of the two equipments for rain measure.

Keywords: Precipitation fields; radar; distributed hydrological model.

Lista de Figuras

Figura 2.1 Esquema de funcionamento do radar.....	7
Figura 2.2 Representação dos resultados das varreduras do radar: a) IPP; b) IDA.	8
Figura 2.3 Varredura do radar e composição dos CAPPI.....	9
Figura 2.4 Esquema ilustrado da confecção de um IPPAC.....	10
Figura 2.5 Formas de medidas – radar e pluviômetro	19
Figura 2.6 Perfis verticais de refletividade para dois eventos típicos: estratiforme e convectivo. Amostragens feitas em faixas de 20 km a distancias progressivas do radar. A linha cheia representa os valores médios e as pontilhadas os quartis de 20 e 80%.....	23
Figura 2.7 Exemplos de tendências e desvios nos resultados de radar e pluviômetros.	42
Figura 3.1 a. Bacia discretizada por quadrículas; b. Bacia discretizada por sub-bacias.	66
Figura 3.2 Esquema geral de Modelos Distribuídos.	68
Figura 3.3 Formas de integração SIG-Modelos Hidrológicos.	94
Figura 4.1 Mapa de Localização (sem escala)	99
Figura 4.2 Localização das estações fluviométricas.....	99
Figura 4.3 Localização das sub-bacias.	101
Figura 4.4 Localização das estações pluviométricas.....	101
Figura 5.1 Localização do radar de Bauru. Raio interno 240 km e externo 450 km.....	110
Figura 5.2 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.....	116
Figura 5.3 Localização da bacia em estudo – Jacaré-Guaçu.....	117
Figura 5.4 Bacia do Jacaré-Guaçu. Rios formadores e núcleos urbanos.	118
Figura 5.5 Hipsometria	124
Figura 5.6 Declividade.....	125
Figura 5.7 Tipos de Solo	127
Figura 5.8 Distribuição de usos do solo.	129
Figura 5.9 Uso do solo	131
Figura 6.1 Distribuição da ocorrência de blocos de categorias de usos do solo	137
Figura 6.2 Distribuição de ocorrência dos blocos de uso.	138
Figura 6.3 Relação entre a largura do rio e a área de drenagem da bacia	157
Figura 7.1 % distribuída de ocorrência de G – MP - jan-fev - 95	164
Figura 7.2 % acumulada de ocorrência de G – MP - jan-fev – 95	164
Figura 7.3 % distribuída de ocorrência de log(G) MP - jan-fev - 95.....	164
Figura 7.4 % acumulada de ocorrência de log(G) MP - jan-fev – 95.....	164
Figura 7.5 % distribuída de ocorrência de G MP – jun a ago - 1995.....	164
Figura 7.6 % distribuída de ocorrência de G MP – jun a ago - 1995.....	164
Figura 7.7 % distribuída de ocorrência de log(G) MP – jun a ago - 1995.....	165
Figura 7.8 % acumulada de ocorrência de log(G) MP – jun a ago - 1995.....	165
Figura 7.9 % distribuída de ocorrência de G MP – jan-fev - jun a ago - 1995.....	165
Figura 7.10 % distribuída de ocorrência de G MP – jan-fev - jun a ago - 1995.....	165
Figura 7.11 % distribuída de ocorrência de log(G) MP– jan-fev - jun a ago - 1995.....	165
Figura 7.12 % acumulada de ocorrência de log(G) MP – jan-fev - jun a ago - 1995.....	165
Figura 7.13 % distribuída de ocorrência de G MP – 1995 completo	165
Figura 7.14 % acumulada de ocorrência de G MP – 1995 completo	165
Figura 7.15 % distribuída de ocorrência de log(G) MP– 1995 completo	166
Figura 7.16 % acumulada de ocorrência de log(G) MP – 1995 completo	166
Figura 7.17 % de ocorrência distribuída de G – Antonio – jan-fev - 1995	166
Figura 7.18 % de ocorrência acumulada de G – Antonio – jan-fev - 1995	166
Figura 7.19 % de ocorrência distribuída de log(G) – Antonio– jan-fev - 1995.....	166
Figura 7.20 % de ocorrência acumulada de log(G) – Antonio – jan-fev - 1995.....	166
Figura 7.21 % de ocorrência distribuída de G – Antonio – jun a ago - 1995.....	167
Figura 7.22 % de ocorrência acumulada de G – Antonio – jun a ago - 1995.....	167
Figura 7.23 % de ocorrência distribuída de log(G) – Antonio – jun a ago - 1995.....	167
Figura 7.24 % de ocorrência acumulada de log(G) – Antonio – jun a ago - 1995.....	167
Figura 7.25 % de ocorrência distribuída de G – Antonio – jan-fev – jun a ago - 1995	167
Figura 7.26 % de ocorrência acumulada de G – Antonio – jan-fev – jun a ago - 1995	167
Figura 7.27 % de ocorrência distribuída de log(G) – Antonio – jan-fev – jun a ago - 1995.....	167
Figura 7.28 % de ocorrência acumulada de log(G) – Antonio – jan-fev – jun a ago - 1995.....	167
Figura 7.29 Relação log(G) x dist – MP - jan-fev de 1995.....	170
Figura 7.30 Relação log(G) x dist – MP - jun a ago de 1995.....	170

Figura 7.31 Relação $\log(G)$ x dist – MP - jan-fev –jun a ago de 1995	170
Figura 7.32 Relação $\log(G)$ x dist – MP - ano completo	170
Figura 7.33 Relação $\log(G)$ x dist – Antonio - jan-fev de 1995	171
Figura 7.34 Relação $\log(G)$ x dist – Antonio - jun a ago de 1995	171
Figura 7.35 Relação $\log(G)$ x dist – Antonio - jan-fev - jun a ago de 1995	171
Figura 7.36- Localização das estações retiradas do estudo piloto	173
Figura 7.37 Coeficientes de determinação (R^2). Análise espacial - janeiro-fevereiro 1995.	175
Figura 7.38 Coeficientes de determinação (R^2). Análise espacial - junho a agosto 1995.	176
Figura 7.39 Coeficientes de determinação (R^2) – Análise temporal – janeiro e fevereiro 1995.	177
Figura 7.40 Coeficiente de Determinação – Análise Temporal – junho a agosto 1995.	178
Figura 7.41 Volume de chuva diário na bacia	180
Figura 7.42 Duplas Massas – Volume acumulado x Volume acumulado pelo método do interpolador linear.....	180
Figura 7.43 Chuva pontual máxima	181
Figura 7.44 Coeficientes de correlação de valores máximos pontuais versus área.	185
Figura 7.45 Localização das bacias com melhor índice de correlação	185
Figura 7.46 Coeficientes de correlação – Valores máximos pontuais - Bacia total	186
Figura 7.47 Máximos valores pontuais em função da área.	187
Figura 7.48 Valores pontuais máximos – período integral – bacia total.	187
Figura 7.49 Legenda para as figuras 7.52 a 7.66	188
Figura 7.50 Duplas massas – Perdizes.....	188
Figura 7.51 Duplas massas – Geraldo.....	188
Figura 7.52 - Duplas massas – BESP.....	188
Figura 7.53 - Duplas massas – Jacaré1.....	188
Figura 7.54 Duplas massas – Jacaré 2.....	189
Figura 7.55 Duplas massas – Feijão.....	189
Figura 7.56 Duplas massas – São José.....	189
Figura 7.57 Duplas massas – Inácio	189
Figura 7.58 Duplas massas – M. Légua.....	189
Figura 7.59 Duplas massas – Sit. Esp.	189
Figura 7.60 Duplas massas – Palmeiras.....	190
Figura 7.61 Duplas massas – Porto	190
Figura 7.62 Duplas massas – Gavião	190
Figura 7.63 Duplas massas – 5C-021.....	190
Figura 7.64 Duplas massas – bacia completa	190
Figura 7.65 Curva de dupla massa – localização dos períodos nas medidas de radar.	192
Figura 7.66 Coeficientes de correlação das alturas médias em função da área	193
Figura 7.67 Coeficientes de correlação – alturas médias diárias - Bacia total	194
Figura 7.68 RMSE – h médio diário	194
Figura 7.69 Retas de regressão – altura médias de chuva.	195
Figura 7.70 Número médio de dias no período de estudo onde ocorre simultaneamente leitura de h médio na bacia inferior a 0,1 mm.	197
Figura 7.71 Número médio de dias no período de estudo onde ocorre leitura de h médio na bacia inferior a 0,1 mm no método do IQD e superior a 1 mm no Radar. Radar “vê” chuva onde o pluviômetro não “vê”.	197
Figura 7.72 Número médio de dias onde ocorre leitura de h médio na bacia inferior a 0,1 mm no Radar e superior a 1 mm no método do IQD. Pluviômetro “vê” chuva onde o Radar não “vê”.	198
Figura 7.73 Diferença entre os valores de h médio diário do radar e de pluviômetro em função das alturas médias obtidas pelo Método do Inverso do Quadrado da Distância.	199
Figura 7.74 Valor médio de h médio diário para a maior bacia por faixa de umidade	200
Figura 7.75 Distribuição percentual da quantidade de dias por faixa de umidade de todo o período para toda a bacia	200
Figura 7.76 Legenda	202
Figura 7.77 % Diferenças Anuais – Perdizes.....	202
Figura 7.78 % Diferenças Anuais – Geraldo.....	202
Figura 7.79 % Diferenças Anuais – BESP	203
Figura 7.80 % Diferenças Anuais – Jacaré1.....	203
Figura 7.81 % Diferenças Anuais – Jacaré 2.....	203

Figura 7.82 % Diferenças Anuais – Feijão	203
Figura 7.83 % Diferenças Anuais – S.José.....	203
Figura 7.84 % Diferenças Anuais – M.Légua.....	203
Figura 7.85 % Diferenças Anuais – Sit.. Esp.	203
Figura 7.86 % Diferenças Anuais – Inácio	203
Figura 7.87 % Diferenças Anuais – Palmeiras.....	204
Figura 7.88 % Diferenças Anuais – Porto	204
Figura 7.89 % Diferenças Anuais – Gavião	204
Figura 7.90 % Diferenças Anuais – 5C-021	204
Figura 7.91 % Diferenças Anuais – Bacia Total.....	205
Figura 7.92 Altura média de chuva acumulada por ano para a bacia total.....	206
Figura 7.93 Altura média de chuva acumulada por ano para a bacia Sítio Esperança.....	207
Figura 7.94 – h médio x área – período 1993 até 1998.....	208
Figura 7.95 – Totais anuais médios versus área – Método Costa e Radar.....	209
Figura 7.96 Distribuição dos eventos diários por faixas de umidade e por anos – Bacia total. P – pluviômetro-IQD e R – radar.	210
Figura 7.97 Distribuição da percentagem do número de dias por faixa de umidade para todo o período por sub-bacia – IQD.....	211
Figura 7.98 Distribuição da percentagem do número de dias por faixa de umidade para todo o período por sub-bacia – Radar	211
Figura 7.99 Legenda para campos anuais de precipitação	212
Figura 7.100 Isoietas – IQD	212
Figura 7.101 Isoietas – Costa	212
Figura 7.102 Isoietas – Radar	212
Figura 7.103 Isoietas – Brandes	212
Figura 7.104 Isoietas – Brandes 10	213
Figura 7.105 Isoietas – Brandes 7.5	213
Figura 7.106 Isoietas – Brandes 5	213
Figura 7.107 Isoietas – Koistinen & Puhakka	213
Figura 7.108 Isoietas – Koistinen & Puhakka 10	213
Figura 7.109 Isoietas – Koistinen & Puhakka 7.5	213
Figura 7.110 Isoietas – Koistinen & Puhakka 5	214
Figura 8.1 Parâmetro de armazenamento de água em função do uso do solo.....	222
Figura 8.2 – Índices de desempenho das funções objetivo do conjunto de soluções Pareto em função da área das bacias.	227
Figura 8.3 Parâmetro b em função a área das bacias	232
Figura 8.4 Parâmetro Kint em função a área das bacias.....	232
Figura 8.5 Parâmetro Kbas em função a área das bacias.....	234
Figura 8.6 Parâmetro CS em função a área das bacias	235
Figura 8.7 Parâmetro CI em função a área das bacias	235
Figura 8.8 Parâmetro CB em função a área das bacias.....	236
Figura 8.9 Parâmetro WC em função a área das bacias.....	237
Figura 8.10 – Nash – Período de Calibração.....	241
Figura 8.11 Nash – Período de Validação	242
Figura 8.12 Rlog – período de calibração	243
Figura 8.13 Rlog – período de validação	243
Figura 8.14 Volume – Calibração.....	244
Figura 8.15 Volume – Validação	245
Figura 8.16 Trecho do hidrograma de calibração – bacia São José	247
Figura 8.17 Trecho do hidrograma de validação – bacia São José.....	247
Figura 8.18 Variações % de chuva e vazão por área	249
Figura A.1 Posição relativa das estações	273
Figura A.2 Posição relativa das estações.....	276
Figura C.1 Porcentagem de falhas.....	280
Figura C.2 Duplas Massas – conjunto das estações.....	282
Figura C.3 Duplas massas – estudo da estação c5-035	283
Figura C.4 Médias mensais – estudo estação c5-035	283
Figura C.5 Conjunto final das curvas de duplas massas.....	284
Figura C.6 Influência orográfica	285
Figura C.7 Fluviograma de todas as estações – no período de 93 a 98	286

Figura C.8 Fluviograma – bacias menores.....	287
Figura C.9 Fluviograma – bacias maiores.....	288
Figura D.1 Legenda válida para as figuras D.2 até D.52.....	289
Figura D.2 IQD - 02/01	290
Figura D.3 Costa - 02/01	290
Figura D.4 Radar - 02/01.....	290
Figura D.5 Brandes - 02/01	290
Figura D.6 Brandes 10 - 02/01	290
Figura D.7 Brandes 5 - 02/01	290
Figura D.8 Koistinen & Puhakka - 02/01	291
Figura D.9 Koistinen & Puhakka 10 - 02/01	291
Figura D.10 Koistinen & Puhakka 5 - 02/01	291
Figura D.11 IQD - 08/01	292
Figura D.12 Costa - 08/01	292
Figura D.13 Radar- 08/01	292
Figura D.14 Brandes- 08/01	292
Figura D.15 Brandes 10 - 08/01	292
Figura D.16 Brandes 5 - 08/01	292
Figura D.17 Koistinen & Puhakka- 08/01	293
Figura D.18 Koistinen & Puhakka 10 - 08/01	293
Figura D.19 Koistinen & Puhakka 5 - 08/01	293
Figura D.20 IQD – 27/01	294
Figura D.21 Costa - 27/01	294
Figura D.22 Radar – 27/01	294
Figura D.23 Brandes – 27/01	294
Figura D.24 Brandes 10 – 27/01	294
Figura D.25 Brandes 5 – 27/01	294
Figura D.26 Koistinen & Puhakka – 27/01	295
Figura D.27 Koistinen & Puhakka10 – 27/01	295
Figura D.28 Koistinen & Puhakka 5 – 27/01	295
Figura D.29 IQD – 04/02	296
Figura D.30 Costa – 04/02	296
Figura D.31 Radar – 04/02	296
Figura D.32 Brandes – 04/02	296
Figura D.33 Brandes10 – 04/02	296
Figura D.34 Brandes 5 – 04/02	296
Figura D.35 Koistinen & Puhakka – 04/02	297
Figura D.36 Koistinen & Puhakka 10 – 04/02	297
Figura D.37 Koistinen & Puhakka 5 – 04/02	297
Figura D.38 IQD – 05/02	298
Figura D.39 Costa – 05/02	298
Figura D.40 Radar – 05/02	298
Figura D.41 Brandes – 05/02	298
Figura D.42 Brandes 10 – 05/02	298
Figura D.43 Brandes 5 – 05/02	298
Figura D.44 Koistinen & Puhakka – 05/02	299
Figura D.45 Koistinen & Puhakka 10 – 05/02	299
Figura D.46 Koistinen & Puhakka 5 – 05/02	299
Figura D.47 IQD – 07/02	300
Figura D.48 Costa – 07/02	300
Figura D.49 Radar – 07/02	300
Figura D.50 Brandes – 07/02	300
Figura D.51 Brandes 10 – 07/02	300
Figura D.52 Brandes 5 – 07/02	300
Figura D.53 Koistinen & Puhakka – 07/02	301
Figura D.54 Koistinen & Puhakka 10 – 07/02	301
Figura D.55 Koistinen & Puhakka 5 – 07/02	301
Figura D.56 IQD – 14/02	301
Figura D.57 Costa – 14/02	301
Figura D.58 Radar – 14/02	302

Figura D.59 Brandes – 14/02	302
Figura D.60 Brandes 10 – 14/02	302
Figura D.61 Brandes 5 – 14/02	302
Figura D.62 Koistinen & Puhakka – 14/02	302
Figura D.63 Koistinen & Puhakka 10 – 14/02	302
Figura D.64 Koistinen & Puhakka 5 – 14/02	303
Figura E.1 Legenda das figuras 5.29 à 5.58	304
Figura E.2 Pluviômetro 1993	305
Figura E.3 Radar 1993	305
Figura E.4 Pluviômetro 1994	305
Figura E.5 Radar 1994	305
Figura E.6 Pluviômetro 1995	305
Figura E.7 Radar 1995	305
Figura E.8 Pluviômetro 1996	306
Figura E.9 Radar 1996	306
Figura E.10 Pluviômetro 1997	306
Figura E.11 Radar 1997	306
Figura E.12 Pluviômetro 1998	306
Figura E.13 Radar 1998	306
Figura E.14 Distribuição de % de eventos – bacia Perdizes - pluviômetro	307
Figura E.15 Distribuição de % de eventos – bacia Perdizes - radar	307
Figura E.16 Distribuição de % de eventos – bacia Geraldo - pluviômetro	307
Figura E.17 Distribuição de % de eventos – bacia Geraldo - radar	307
Figura E.18 Distribuição de % de eventos – bacia BESP - pluviômetro	307
Figura E.19 Distribuição de % de eventos – bacia BESP radar	307
Figura E.20 Distribuição de % de eventos – bacia Jacaré 1 pluviômetro	308
Figura E.21 Distribuição de % de eventos – bacia Jacaré 1 radar	308
Figura E.22 Distribuição de % de eventos – bacia Jacaré 2 pluviômetro	308
Figura E.23 Distribuição de % de eventos – bacia Jacaré 2 - pluviômetro	308
Figura E.24 Distribuição de % de eventos – bacia Feijão - pluviômetro	308
Figura E.25 Distribuição de % de eventos – bacia Feijão - radar	308
Figura E.26 Distribuição de % de eventos – bacia São José - pluviômetro	309
Figura E.27 Distribuição de % de eventos – bacia São José - radar	309
Figura E.28 Distribuição de % de eventos – bacia Meia Léguas - pluviômetro	309
Figura E.29 Distribuição de % de eventos – bacia Meia Léguas - radar	309
Figura E.30 Distribuição de % de eventos – bacia Sítio Esperança - pluviômetro	309
Figura E.31 Distribuição de % de eventos – bacia Sítio Esperança radar	309
Figura E.32 Distribuição de % de eventos – bacia Sto. Inácio - pluviômetro	310
Figura E.33 Distribuição de % de eventos – bacia Sto. Inácio - radar	310
Figura E.34 Distribuição de % de eventos – bacia Palmeiras - pluviômetro	310
Figura E.35 Distribuição de % de eventos – bacia Palmeiras - radar	310
Figura E.36 Distribuição de % de eventos – bacia Porto - pluviômetro	310
Figura E.37 Distribuição de % de eventos – bacia Porto - radar	310
Figura E.38 Distribuição de % de eventos – bacia Gavião - pluviômetro	311
Figura E.39 Distribuição de % de eventos – bacia Gavião - radar	311
Figura E.40 Distribuição de % de eventos – bacia 5C-021 - pluviômetro	311
Figura E.41 Distribuição de % de eventos – bacia 5C-021 radar	311
Figura E.42 Distribuição de % de eventos – bacia total - pluviômetro	311
Figura E.43 Distribuição de % de eventos – bacia total - radar	311
Figura G.1 Localização das sub-bacias	326
Figura G.2 Parâmetros – Solução Pareto – Bacia Perdizes	336
Figura G.3 Parâmetros – Solução Pareto – Bacia Feijão	337
Figura G.4 Parâmetros – Solução Pareto – Bacia Santo Inácio	338
Figura G.5 Parâmetros – Solução Pareto – Bacia São José	339
Figura G.6 Parâmetros – Solução Pareto – Bacia BESP	340
Figura G.7 Parâmetros – Solução Pareto – Bacia Meia Léguas	341
Figura G.8 Parâmetros – Solução Pareto – Bacia Sítio Esperança	342
Figura G.9 Parâmetros – Solução Pareto – Bacia Palmeiras	343
Figura G.10 Parâmetros – Solução Pareto – Bacia Porto	344
Figura G.11 Parâmetros – Solução Pareto – Bacia Gavião	345

Figura H.1 Hidrograma – Estudo de sensibilidade - parâmetro b	346
Figura H.2 Hidrograma – Estudo de sensibilidade - parâmetro Kint.....	347
Figura H.3 Hidrograma – Estudo de sensibilidade - parâmetro Kbas.....	347
Figura H.4 Hidrograma – Estudo de sensibilidade - parâmetro Cs	348
Figura H.5 Hidrograma – Estudo de sensibilidade - parâmetro CI	348
Figura H.6 Hidrograma – Estudo de sensibilidade - parâmetro CB.....	349
Figura H.7 Hidrograma – Estudo de sensibilidade - parâmetro WC.....	349
Figura I.1 Hidrograma – Perdizes – Calibração – IQD – Costa – Radar	351
Figura I.2 Hidrograma – Perdizes – Calibração – Métodos Brandes.....	351
Figura I.3 Hidrograma – Perdizes – Calibração – Métodos Koistinen&Puhakka.....	351
Figura I.4 Hidrograma – Perdizes – Validação – IQD – Costa – Radar.....	352
Figura I.5 Hidrograma – Perdizes – Validação – Métodos Brandes	352
Figura I.6 Hidrograma – Perdizes – Validação – Métodos Koistinen&Puhakka	352
Figura I.7 Hidrograma – BESP – Calibração – IQD – Costa – Radar	353
Figura I.8 Hidrograma – BESP – Calibração – Métodos Brandes	353
Figura I.9 Hidrograma – BESP – Calibração – Métodos Koistinen&Puhakka	353
Figura I.10 Hidrograma – BESP – Validação – IQD – Costa – Radar	354
Figura I.11 Hidrograma – BESP – Validação – Métodos Brandes	354
Figura I.12 Hidrograma – BESP – Validação – Métodos KP	354
Figura I.13 Hidrograma – Feijão – Calibração – IQD – Costa – Radar	355
Figura I.14 Hidrograma – Feijão – Calibração – Métodos Brandes.....	355
Figura I.15 Hidrograma – Feijão – Calibração – Métodos Koistinen&Puhakka	355
Figura I.16 Hidrograma – Feijão – Validação – IQD – Costa – Radar	356
Figura I.17 Hidrograma – Feijão – Validação– Métodos Brandes	356
Figura I.18 Hidrograma – Feijão – Validação – Métodos Koistinen&Puhakka	356
Figura I.19 Hidrograma – São José – Calibração – IQD – Costa – Radar	357
Figura I.20 Hidrograma – São José – Calibração– Métodos Brandes.....	357
Figura I.21 Hidrograma – São José – Calibração– Métodos Koistinen&Puhakka.....	357
Figura I.22 Hidrograma – São José – Validação– IQD – Costa – Radar.....	358
Figura I.23 Hidrograma – São José – Validação– Métodos Brandes	358
Figura I.24 Hidrograma – São José – Validação– Métodos Koistinen-Puhakka.	358
Figura I.25 Hidrograma – Meia Légua – Calibração – IQD – Costa – Radar	359
Figura I.26 Hidrograma – Meia Légua – Calibração – Métodos Brandes.....	359
Figura I.27 Hidrograma – Meia Légua – Calibração – Métodos Koistinen-Puhakka.	359
Figura I.28 Hidrogramas – Meia Légua – Validação - IQD –Costa – Radar.....	360
Figura I.29 Hidrogramas – Meia Légua – Validação - Métodos Brandes	360
Figura I.30 Hidrogramas – Meia Légua – Validação - Métodos Koistinen&Puhakka	360
Figura I.31 Hidrograma – Sítio Esperança – Calibração – IQD – Costa – Radar.....	361
Figura I.32 Hidrogramas – Sítio Esperança – Calibração – Métodos Brandes	361
Figura I.33 Hidrogramas – Sítio Esperança – Calibração – Métodos Koistinen&Puhakka	361
Figura I.34 Hidrogramas – Sítio Esperança – Validação – IQD – Costa - Radar	362
Figura I.35 Hidrogramas – Sítio Esperança – Validação – Métodos Brandes.....	362
Figura I.36 Hidrogramas – Sítio Esperança – Validação – Métodos Koistinen&Puhakka.....	362
Figura I.37 Hidrogramas – Inácio – Calibração – IQD – Costa – Radar.....	363
Figura I.38 Hidrogramas – Inácio – Calibração – Métodos Brandes.	363
Figura I.39 Hidrogramas – Inácio – Calibração – Métodos Koistinen&Puhakka.	363
Figura I.40 Hidrogramas – Inácio – Validação – IQD – Costa – Radar	364
Figura I.41 Hidrogramas – Inácio – Validação – Métodos Brandes.....	364
Figura I.42 Hidrogramas – Inácio – Validação – Métodos Koistinen&Puhakka.....	364
Figura I.43 Hidrogramas – Palmeiras - Calibração – IQD – Costa – Radar	365
Figura I.44 Hidrogramas – Palmeiras - Calibração – Métodos Brandes.....	365
Figura I.45 Hidrogramas – Palmeiras - Calibração – Métodos Koistinen-Puhakka.....	365
Figura I.46 Hidrogramas – Palmeiras - Validação – IQD – Costa – Radar.....	366
Figura I.47 Hidrogramas – Palmeiras - Validação – Métodos Brandes	366
Figura I.48 Hidrogramas – Palmeiras - Validação – Métodos Koistinen&Puhakka	366
Figura I.49 Hidrogramas – Porto - Calibração – IQD – Costa – Radar.....	367
Figura I.50 Hidrogramas – Porto - Calibração – Métodos Brandes	367
Figura I.51 Hidrogramas – Porto - Calibração – Métodos Koistinen&Puhakka	367
Figura I.52 Hidrogramas – Porto - Validação – IQD – Costa – Radar	368
Figura I.53 Hidrogramas – Porto - Validação – Métodos Brandes	368

Figura I.54 Hidrogramas – Porto - Validação – Métodos Koistinen&Puhakka.....	368
Figura I.55 Hidrogramas – Gavião - Calibração – IQD – Costa – Radar	369
Figura I.56 Hidrogramas – Gavião - Calibração – Métodos Brandes	369
Figura I.57 Hidrogramas – Gavião - Calibração – Métodos Koistinen&Puhakka	369
Figura I.58 Hidrogramas – Gavião - Validação – IQD – Costa – Radar	370
Figura I.59 Hidrogramas – Gavião - Validação – Métodos Brandes.....	370
Figura I.60 Hidrogramas – Gavião - Validação – Métodos Koistinen&Puhakka.....	370
Figura J.1 Nash -IQD.....	372
Figura J.2 Nash -IQD – envoltórias Pareto	372
Figura J.3 Rlog – IQD.....	373
Figura J.4 Rlog -IQD – envoltórias Pareto	373
Figura J.5 Volume -IQD.....	374
Figura J.6 Volume -IQD – envoltórias Pareto.....	374
Figura J.7 Nash -Costa.....	375
Figura J.8 Nash -Costa – envoltórias Pareto	375
Figura J.9 Rlog -Costa.....	376
Figura J.10 Rlog –Costa – envoltórias Pareto	376
Figura J.11 Volume -Costa.....	377
Figura J.12 Volume -Costa – envoltórias Pareto	377
Figura J.13 Nash -Radar	378
Figura J.14 Nash -Radar – envoltórias Pareto	378
Figura J.15 Rlog -Radar	379
Figura J.16 Rlog -Radar – envoltórias Pareto	379
Figura J.17 Volume -Radar	380
Figura J.18 Volume -Radar – envoltórias Pareto	380
Figura J.19 Nash -Brandes	381
Figura J.20 Nash -Brandes– envoltórias Pareto	381
Figura J.21 Rlog -Brandes	382
Figura J.22 Rlog -Brandes – envoltórias Pareto	382
Figura J.23 Volume -Brandes.....	383
Figura J.24 Volume -Brandes – envoltórias Pareto	383
Figura J.25 Nash -Brandes-10	384
Figura J.26 Nash -Brandes-10 – envoltórias Pareto	384
Figura J.27 Rlog Brandes10.....	385
Figura J.28 Rlog - Brandes10 – envoltórias Pareto	385
Figura J.29 Volume - Brandes10.....	386
Figura J.30 Volume - Brandes10 – envoltórias Pareto	386
Figura J.31 Nash - Brandes-5	387
Figura J.32 Nash - Brandes-5 – envoltórias Pareto	387
Figura J.33 Rlog - Brandes-5	388
Figura J.34 Rlog - Brandes-5 – envoltórias Pareto	388
Figura J.35 Volume - Brandes-5	389
Figura J.36 Volume - Brandes-5 – envoltórias Pareto	389
Figura J.37 Nash -KP	390
Figura J.38 Nash -KP – envoltórias Pareto.....	390
Figura J.39 Rlog - KP	391
Figura J.40 Rlog -KP – envoltórias Pareto	391
Figura J.41 Volume -KP	392
Figura J.42 Volume -KP – envoltórias Pareto	392
Figura J.43 Nash -KP	393
Figura J.44 Nash -KP – envoltórias Pareto	393
Figura J.45 Rlog -KP	394
Figura J.46 Rlog -KP – envoltórias Pareto	394
Figura J.47 Volume -KP	395
Figura J.48 Volume -KP – envoltórias Pareto	395
Figura J.49 Nash -KP-5.....	396
Figura J.50 Nash -KP-5 – envoltórias Pareto.....	396
Figura J.51 Rlog -KP-5.....	397
Figura J.52 Rlog – KP-5 – envoltórias Pareto	397
Figura J.53 Volume - KP-5	398

Figura J.54 Volume – KP-5 – envoltórias Pareto	398
Figura K.1 Hidrograma – 5C-021 – período 1993 – 1998	399
Figura K.2 Hidrograma – 5C-021 – período 1993	400
Figura K.3 Hidrograma – Bacia total – Jacaré-Guaçu – período 1993 –1998	400

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 Relação entre comprimento de onda, banda e frequência	10
Tabela 2.2 Limites de validade da lei de Rayleigh	11
Tabela 2.3 Equações ZxR	14
Tabela 2.4 Distâncias médias entre dois pontos tomados aleatoriamente para figuras geométricas com áreas unitárias (d_1)	31
Tabela 4.1 - Áreas calculadas das sub-bacias	100
Tabela 4.2 – Quadro síntese dos métodos de composição dos campos de precipitação.	102
Tabela 5.1 Características do radar banda S	112
Tabela 5.2 Valores dos coeficientes da equação $Z = AR^b$ e do coeficiente de correlação c ..	114
Tabela 5.3 Características físicas da bacia do Jacaré-Guaçu	117
Tabela 5.4 Distribuição percentual em área das formações geológicas	121
Tabela 5.5 Distribuição percentual em área dos sistemas de relevo por sub-bacia	123
Tabela 5.6– Distribuição percentual em área das classes de declividade	126
Tabela 5.7 Distribuição percentual em área dos tipos de solo	126
Tabela 5.8 Distribuição percentual em área por sub-bacia das classes de uso	129
Tabela 6.1 Porcentagem de usos associados aos tipos de solo.	136
Tabela 6.2 Categorias eliminadas	136
Tabela 6.3 Usos resultantes – número de blocos	136
Tabela 6.4 Valores de IAF encontrados na literatura	140
Tabela 6.5 Valores de IAF adotados	140
Tabela 6.6 Albedo	143
Tabela 6.7 Porte – Altura	144
Tabela 6.8 Resistência superficial RS – em boas condições de umidade	144
Tabela 6.9 Capacidade de armazenamento do solo	151
Tabela 6.10 Valores percentuais médios e desvios-padrão da umidade medidos	152
Tabela 6.11 Valores médios e desvios padrão dos reservatórios do modelo	152
Tabela 6.12 Análise de sensibilidade dos parâmetros	158
Tabela 6.13 Faixa de variação dos parâmetros	158
Tabela 7.1 Amplitude de valores de G	168
Tabela 7.2 Resumo de Resultados	169
Tabela 7.3 Comparação com a bibliografia	169
Tabela 7.4 Exemplo de análise espacial – dia 01/01/95	174
Tabela 7.5 Limites de G	184
Tabela 7.6 Retas de ajuste de $\bar{h}$ diário calculado pelos diversos métodos versus $\bar{h}$ do Método do Inverso do Quadrado da Distância.	196
Tabela 7.7 % Distribuição de h médio próximos a zero	196
Tabela 7.8 Faixas de umidade	199
Tabela 7.9 Diferenças percentuais entre a média dos h médios diários do radar e métodos compostos relativos aos métodos baseados somente em pluviômetros.	201
Tabela 8-1 Limites dos 19 parâmetros – primeira fase de calibração	220
Tabela 8-2 Limites dos 7 parâmetros – Segunda fase de calibração	221
Tabela 8-3 Valores adotados	223
Tabela 8-4 Quadro resumo da qualidade de ajuste – Primeira fase de calibração	224
Tabela 8-5 Quadro resumo da qualidade de ajuste – Segunda fase de calibração	227
Tabela 8-6 Análise comparativa de desempenho entre as duas etapas de calibração	229
Tabela 8-7 Funções Objetivo – Análise de Consistência	231
Tabela 8-8 Relação entre variação de chuva e vazão – resultados da bibliografia	248
Tabela 8-9 Relação entre variação de chuva e vazão – resultados por bacias	248
Tabela 8-10 Tabela comparativa – série sintética e série histórica.	250
Tabela B.1 Postos fluviométricos na Bacia do rio Jacaré-Guaçu com dados após 1993	277
Tabela B.2 Características dos Postos pluviométricos	278
Tabela F.1 Primeira fase de calibração - IQD	317
Tabela F.2 Primeira fase de calibração - Costa	318
Tabela F.3 Primeira fase de calibração - Radar	319
Tabela F.4 Primeira fase de calibração – Brandes sem limitação	320
Tabela F.5 Primeira fase de calibração – Brandes 10	321

Tabela F.6 Primeira fase de calibração – Brandes 5	322
Tabela F.7 Primeira fase de calibração – Koistinen & Puhakka -KP	323
Tabela F.8 Primeira fase de calibração – Koistinen & Puhakka 10 -KP10	324
Tabela F.9 Primeira fase de calibração – Koistinen & Puhakka 5 -KP5	325
Tabela G.1 Segunda fase de calibração – IQD	327
Tabela G.2 Segunda fase de calibração – Costa	328
Tabela G.3 Segunda fase de calibração – Radar	329
Tabela G.4 Segunda fase de calibração – Brandes – sem limitação	330
Tabela G.5 Segunda fase de calibração – Brandes - Modificado G-10	331
Tabela G.6 Segunda fase de calibração – Brandes - Modificado G-5	332
Tabela G.7 Segunda fase de calibração – Koistinen-Puhakka – sem modificação	333
Tabela G.8 Segunda fase de calibração – Koistinen-Puhakka – modificado – G-10	334
Tabela G.9 Segunda fase de calibração – – Koistinen-Puhakka – modificado – G-5	335
Tabela J.1 Função Objetivo Nash - IQD	372
Tabela J.2 Função Objetivo Rlog - IQD	373
Tabela J.3 Função Objetivo Volume - IQD	374
Tabela J.4 Função Objetivo Nash - Costa	375
Tabela J.5 Função Objetivo Rlog - Costa	376
Tabela J.6 Função Objetivo Volume - Costa	377
Tabela J.7 Função Objetivo Nash - Radar	378
Tabela J.8 Função Objetivo Rlog - Radar	379
Tabela J.9 Função Objetivo Volume - Radar	380
Tabela J.10 Função Objetivo Nash - Brandes	381
Tabela J.11 Função Objetivo Rlog - Brandes	382
Tabela J.12 Função Objetivo Volume - Brandes	383
Tabela J.13 Função Objetivo Nash – Brandes-10	384
Tabela J.14 Função Objetivo Rlog - Brandes10	385
Tabela J.15 Função Objetivo Volume - Brandes10	386
Tabela J.16 Função Objetivo Nash - Brandes-5	387
Tabela J.17 Função Objetivo Rlog - Brandes-5	388
Tabela J.18 Função Objetivo Volume - Brandes-5	389
Tabela J.19 Função Objetivo Nash - KP	390
Tabela J.20 Função Objetivo Rlog - KP	391
Tabela J.21 Função Objetivo Volume - KP	392
Tabela J.22 Função Objetivo Nash - KP	393
Tabela J.23 Função Objetivo Rlog - KP	394
Tabela J.24 Função Objetivo Volume – KP 10	395
Tabela J.25 Função Objetivo Nash – KP-5	396
Tabela J.26 Função Objetivo Rlog – KP-5	397
Tabela J.27 Função Objetivo Volume – KP-5	398

Lista de Abreviaturas e Símbolos

ANA	– Agência Nacional de Água
Bin	– área elementar que corresponde à resolução espacial do radar
CAPPI	– <i>Constant Altitude Plan Position Indicator</i>
CESP	– Companhia Energética de São Paulo
COST	– <i>European Co-operation in the field of Scientific and Technical Research</i>
DAEE	– Departamento de Água e Energia Elétrica
DEM	– <i>Digital Elevation Model</i>
DNAEE	– Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
IAF	– Índice de área foliar
IDA	– indicador de distância altura – forma de visualização dos resultados do radar em corte.
IPP	– indicador de posição no plano – forma de visualização dos resultados do radar no plano.
IPPAC	– Indicadores de Posição no Plano à altitude Constante
MNT	– modelo numérico de terreno
NEXRAD	– <i>Next Generation Radar</i>
NWWA	– <i>North West Water Authority</i>
OSTROM	– <i>Office de la Recherche Scientifique et Technique outre Mer</i>
PCH	– Pequena Central Hidrelétrica
PMM	– <i>Probability Matching Method</i>
SIG	– Sistema de Informação Geográfica
SPRING	– <i>Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas</i>
VPR	– <i>Vertical Profile Reflectivity</i>
WMO	– <i>World Meteorological Organization</i>
WPMM	– <i>Window Probability Matching Method</i>

A	– área
CR_1	– constante relacionada à parâmetros específicos do radar
D	– diâmetro das gotas
D	– Distância
$Dbas$	– escoamento básico – modelo hidrológico
$Dint$	– escoamento sub-superficial – modelo hidrológico
$Dsup$	– escoamento superficial – modelo hidrológico
E	– evapotranspiração
EP	– controla o grau de suavizamento e é determinado em função do espaçamento médio dos pluviômetros – método de Brandes.
E	– evapotranspiração – modelo hidrológico
F	– estimativa da precipitação no ponto
G	– Relação o valor do pluviômetro e uma média dos valores observados pelo radar no entorno do pluviômetro
K	– constante função do índice de refração da partícula,
K	– parâmetros calibráveis do modelo hidrológico – referentes ao escoamento
l	– distância entre o alvo e o radar
n	– contador
N	– número de gotículas de diâmetro (D_j)
P_r	– Potência recebida pelo radar
P_t	– Potência emitida
P	– Precipitação
Ra	– Média das medidas do radar no entorno do pluviômetro – (mm)
R	– distância do ponto da rede ao pluviômetro
R	– índice pluviométrico do radar – equação ZxR (mm)
SIL	– capacidade máxima de armazenamento do reservatório de interceptação
SF	– capacidade de armazenamento do reservatório de interceptação
TKS	– tempo de retardo do reservatório superficial
TKI	– tempo de retardo do reservatório sub-superficial
TKB	– tempo de retardo do reservatório subterrâneo
$Vbas$	– volume do reservatório básico – modelo hidrológico

V_{int} – volume do reservatório sub-superficial – modelo hidrológico
 V_{sup} – volume do reservatório superficial – modelo hidrológico
 Z – refletividade do radar, expresso em $mm^6 m^{-3}$ ou em decibels (dBz).
 $w(i)$ – peso da estação i – fator de ponderação
 W – armazenamento de água – modelo hidrológico

 α – parâmetro de lâmina de interceptação
 α – albedo
 $\theta (i)$ – ângulo
 ρ – distância entre o pluviômetro ou ponto do campo de precipitação e o radar.
 σ – *secção transversal de retroespalhamento de radar*
 λ – comprimento de onda
 λ – índice de distribuição do tamanho dos poros
 σ – seção transversal de retroespalhamento
 Δt – intervalo de tempo – neste trabalho = 1 dia

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVO E JUSTIFICATIVA	3
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	4
2	PRECIPITAÇÃO	5
2.1	RADAR METEOROLÓGICO.....	7
2.1.1	<i>Fundamentos</i>	<i>7</i>
2.1.2	<i>Conversão Refletividade - Precipitação</i>	<i>13</i>
2.2	INERTEZAS NAS MEDIDAS DE CHUVA	18
2.3	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO	24
2.3.1	<i>Integração de dados Pluviômetro Radar</i>	<i>34</i>
2.4	SÍNTESE DA REVISÃO	58
3	MODELOS CHUVA – VAZÃO.....	60
3.1	INTRODUÇÃO	60
3.2	MODELOS DISTRIBUÍDOS	66
3.3	CALIBRAÇÃO DE PARÂMETROS E INCERTEZA.....	74
3.4	APLICAÇÕES DE CAMPOS DE PRECIPITAÇÃO EM MODELOS HIDROLÓGICOS.	77
3.5	UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA MODELAÇÃO HIDROLÓGICA	90
4	METODOLOGIA.....	98
4.1	DETERMINAÇÃO DOS CAMPOS DE PRECIPITAÇÃO.....	102
4.1.1	<i>Estudo piloto</i>	<i>102</i>
4.1.2	<i>Estudo completo do campo de precipitação</i>	<i>106</i>
4.2	APLICAÇÃO DOS CAMPOS DE PRECIPITAÇÃO AO MODELO HIDROLÓGICO	107
5	OBJETOS DE ESTUDO	110
5.1	O RADAR DE BAURU	110
5.2	CARACTERÍSTICAS DA BACIA DO JACARÉ GUAÇU	114
5.2.1	<i>Aspectos Geológicos.....</i>	<i>119</i>
5.2.2	<i>Geomorfologia.....</i>	<i>121</i>
5.2.3	<i>Carta Altimétrica e Declividade</i>	<i>123</i>
5.2.4	<i>Solos</i>	<i>126</i>
5.2.5	<i>Vegetação – Uso do Solo</i>	<i>128</i>
5.2.6	<i>Clima</i>	<i>130</i>
5.2.7	<i>Informações Complementares</i>	<i>132</i>
6	DESCRIÇÃO DO MODELO	134
6.1	BALANÇO HÍDRICO.....	138
6.2	PRECIPITAÇÃO E INTERCEPTAÇÃO	139
6.2.1	<i>Índice de área foliar</i>	<i>139</i>
6.3	EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	141
6.4	ESCOAMENTO	144
6.4.1	<i>Escoamento superficial.....</i>	<i>144</i>
6.4.2	<i>Escoamento subsuperficial</i>	<i>146</i>
6.4.3	<i>Escoamento subterrâneo.....</i>	<i>148</i>
6.5	ARMAZENAMENTO	150
6.6	ESCOAMENTO NAS CÉLULAS.....	154
6.7	PROPAGAÇÃO NA REDE DE DRENAGEM	155
6.8	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO	157
6.9	CALIBRAÇÃO DO MODELO.	158
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO: CAMPOS DE PRECIPITAÇÃO	163
7.1	ESTUDO PILOTO	163
7.1.1	<i>Análise do índice G.....</i>	<i>163</i>
7.1.2	<i>Comparação dos Campos de precipitação</i>	<i>170</i>

7.2	ESTUDO COMPLETO	183
7.3	CONCLUSÕES PARCIAIS	215
8	RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO	218
8.1	PRIMEIRA ETAPA DE CALIBRAÇÃO	221
8.2	SEGUNDA ETAPA DE CALIBRAÇÃO	224
8.3	VERIFICAÇÃO DO DESEMPENHO DO MODELO NA FASE DE CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO	238
8.4	SÉRIE SINTÉTICA.....	249
9	CONCLUSÕES, OBSERVAÇÕES E RECOMENDAÇÕES.....	251
9.1	RECOMENDAÇÕES	258
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	260
	APÊNDICE A - MÉTODO COSTA & RIGHETTO	273
	APÊNDICE B - CARACTERÍSTICAS DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS E PLUVIOMÉTRICOS.....	277
	APÊNDICE C - CONSISTÊNCIA DE DADOS.....	280
	APÊNDICE D - ANÁLISE DAS ISOIETAS DIÁRIAS	289
	APÊNDICE E - PORCENTAGEM DE OCORRÊNCIA DE EVENTOS POR FAIXA DE UMIDADE	304
	APÊNDICE F - PRIMEIRA ETAPA DE CALIBRAÇÃO – FUNÇÕES OBJETIVO E FAIXAS DE VARIAÇÃO DE PARÂMETROS.....	312
	APÊNDICE G - SEGUNDA ETAPA DE CALIBRAÇÃO – FUNÇÕES OBJETIVO E FAIXAS DE VARIAÇÃO DE PARÂMETROS.....	326
	APÊNDICE H - ESTUDO DE SENSIBILIDADE – HIDROGRAMAS	346
	APÊNDICE I - HIDROGRAMAS	350
	APÊNDICE J - FUNÇÕES OBJETIVO.....	371
	APÊNDICE K - SÉRIE SINTÉTICA	399