



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-13950-TDI/1061

**PREVISÃO E ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO SOBRE AS
REGIÕES SUDESTE E SUL DO BRASIL UTILIZANDO REDES
NEURAS ARTIFICIAIS**

Maria Cleofé Valverde Ramírez

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelos Drs.
Nelson Jesus Ferreira e Haroldo Fraga de Campos Velho,
aprovada em 12 de dezembro de 2003.

551.509

Valverde Ramírez, M.C.

Previsão e Análise da Precipitação sobre as Regiões
Sudeste e Sul do Brasil utilizando Redes Neurais Artificiais
/ Maria Cleofé Valverde Ramírez. – São José dos Campos:
INPE, 2003.


238p. – (INPE-13950-TDI/1061).

1.Precipitação. 2.Inteligência Artificial.
3.Retropropagação. 4.Previsão de Tempo. 5.Meteorologia
Sinóptica. 6.Satélite TRMM. 7.Ondaletas. 8.Redes Neurais
Artificiais. 9.Redução de Escala. 10.Previsão de Chuva.

I. Título

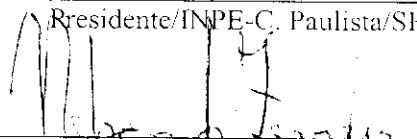
Aprovada pela Banca Examinadora em cumprimento a requisito exigido para a obtenção do Título de **Doutora em Meteorologia.**

Dr^a Chou Sin Chan



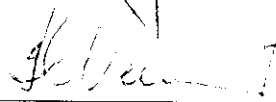
Presidente/INPE-C. Paulista/SP

Dr. Nelson Jesus Ferreira



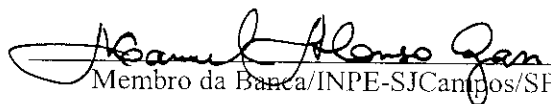
Orientador/INPE-SJCampos/SP

Dr. Haroldo Fraga de Campos Velho



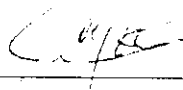
Orientador/INPE-SJCampos/SP

Dr. Manoel Alonso Gan



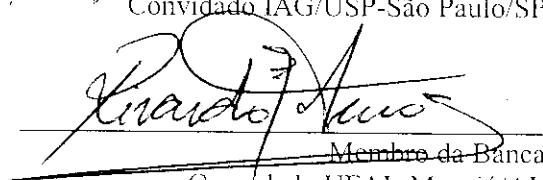
Membro da Banca/INPE-SJCampos/SP

Dr. Augusto José Pereira Filho



Membro da Banca
Convidado IAG/USP-São Paulo/SP

Dr. Ricardo Sarmento Tenório



Membro da Banca
Convidado UFAL-Maceió/AL

Candidato (a): Maria Cleofé Valverde Ramírez

São José dos Campos, 12 de dezembro de 2003.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela Vida

A meus pais Martín e Mercedes, a minha tia Julia, e aos meus irmãos: Mary, Meche, Lucy e Martín

Ao Ricardo pelo Amor

Aos Profs. Nelson Jesus Ferreira e Haroldo Fraga de Campos Velho, pela orientação, amizade e paciência

Ao INPE pela oportunidade e instalações oferecidas.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de estudo e pela confiança depositada.

À Infraero de Guarulhos, ao IAG e à ANEEL pelo fornecimento dos dados meteorológicos.

Aos meus amigos Isabel, Jaidete, Aurora, Edna, Rita Valeria, Alexandra, Rosa, Zé Ricardo, Pablo, Rodrigo, Rita de Cássia, pelo convívio e amizade.

À Sueli, Henrique e Dona Mariazinha

À Lílian e Alessandra pelo auxílio e paciência e aos outros funcionários do departamento da DMA.

Ao DOP, nas pessoas de Valner, Josiane, Adma, e Jorge, pelo fornecimento dos dados do modelo Eta e Global.

Ao IPE pelo esclarecimento.

RESUMO

Neste trabalho é utilizada uma técnica conhecida como Redes Neurais Artificiais (RNA) para estabelecer relações não lineares entre a circulação de grande escala e a precipitação local observada. A metodologia utilizada envolveu o uso de um *downscaling* estatístico com base nas saídas do modelo Eta, onde equações prognósticas para previsão pontual sobre a região Sudeste do Brasil foram desenvolvidas utilizando-se as RNAs. As variáveis predictoras foram obtidas desse modelo e o preditando foi a precipitação nas estações meteorológicas selecionadas, sendo desenvolvidas equações prognósticas para 18 locais distintos. Também geraram-se modelos prognósticos para previsão espacial que teve como preditores as saídas do modelo global T126 e como preditando mapas de chuva derivados do satélite 3B42/TRMM. Para a definição das variáveis predictoras, realizou-se uma análise sinótica e um estudo da distribuição da precipitação sobre a região Sudeste. Observou-se que os sistemas frontais (SF) e ZCAS interagindo com VCANs foram os principais responsáveis pelas chuvas durante o verão. Por outro lado, no inverno, os sistemas frontais, VCANs de latitudes médias e cavados foram os principais fatores associados à chuva. As medidas estatísticas utilizadas para quantificar o desempenho da previsão da RNA mostraram que para a previsão pontual, o *skill* evidenciou em média uma redução da REQM de até 50 % em relação à previsão obtida pelo Eta no período de verão. Os eventos previstos pela RNA com alto desempenho estiveram associados a sistemas meteorológicos bem organizados (ZCAS e SF). Os resultados obtidos sugerem que no inverno a precipitação apresenta maior previsibilidade porque a forçante sinótica é mais intensa, e a convecção é menos prevalente. Um experimento que incluiu a precipitação observada do dia anterior como variável preditora, apresentou melhorias substanciais no desempenho da previsão. Para o período de inverno o desempenho alcançou uma redução da REQM de até 80 %. Para a previsão espacial as saídas dos modelos e as imagens do 3B42/TRMM foram pré e pós processadas com a aplicação da transformada de ondaletas, com o objetivo de diminuir o tempo de treinamento. As previsões espaciais mostraram que no verão a RNA conseguiu reproduzir um padrão de chuva aproximado ao observado pelo 3B42/TRMM. Na primavera a RNA também reproduz um padrão similar, porém gera núcleos de chuva sobre o continente não observados pelo 3B42/TRMM. Por outro lado, a previsão do T126 apresentou uma tendência acentuada de gerar áreas de chuva sobre o oceano não observadas pelo 3B42/TRMM. Quando a RNA não reproduz um padrão semelhante, o resultado obtido reflete uma combinação do 3B42/TRMM e T126.

FORECAST AND ANALYSIS OF RAINFALL OVER SOUTH AND SOUTHEASTERN BRAZIL USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

ABSTRACT

This study uses an Artificial Neural Network (ANN) technique to establish a non-linear relationship between the large scale atmospheric circulation and local surface rainfall. The method involves the use of statistical downscaling applied to outputs from Eta model. In this sense, prognostic equations were developed for 18 locations using the ANN. This method uses as predictors numerical weather products from the Eta model and surface rainfall as predictand. The objective is to generate site-specific quantitative forecasts of daily rainfall. Also, prognostics models are constructed to delineate rain areas having as predictors outputs of the global model T126 and as predictand maps of rain derived from the Tropical Rainfall Measuring Mission (3B42/TRMM). The selection of ANN input variables is based on the prevailing synoptic weather conditions over southeastern Brazil. It is shown that during the austral summer the main weather systems related to rainfall are: cold fronts, and the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) interacting with cyclonic vortices at upper tropospheric levels (CVULs). During the austral winter, cold fronts and midlatitude upper levels cyclonic vortices are the main weather systems associated to rainfall. Several statistics are calculated to examine the performance of the models. It is found that during summer periods the skill score indicates an ANN improvement over Eta model by 50 %. In the winter period ANN improves RMSE in 80% respect to Eta model. Overall, ANN is efficient in predicting continuous rainfall periods associated to cold fronts and SCAZ during the summer and rainfall events associated with cold front and CVUL originating from middle latitude in winter. Also during winter, the ANN is more efficient, because the synoptic systems are better defined by the variables derived from Eta model. For the area forecast the images are pre and post processed with a wavelets transform, in order to minimize training time. The area forecasts utilizing ANN show in summer a pattern similar to that observed the 3B42/TRMM. In spring ANN shows centers of rain over the continent that are not observed by the 3B42/TRMM. On the other hand, the forecast of T126 has a tendency for generating areas of rain in the oceanic which are not depicted by 3B42/TRMM. When the ANN is not able to reproduce a pattern similar to the one obtained by 3B42/TRMM, the results reflect a combination of the 3B42/TRMM and T126.

SUMÁRIO

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| LISTA DE FIGURAS | |
| LISTA DE TABELAS | |
| LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS | |
| CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO | 25 |
| 1.1 Justificativa e Objetivos | 27 |
| 1.2 Organização do Trabalho | 29 |
| CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 31 |
| 2.1 Downscaling | 33 |
| 2.2 Aplicações das RNAs em Meteorologia | 37 |
| CAPÍTULO 3 - DADOS E METODOLOGIA | 43 |
| 3.1 Dados | 43 |
| 3.1.1 Estações de Superfície | 43 |
| 3.1.2 Modelo Eta | 45 |
| 3.1.3 Modelo de Circulação Geral Atmosférico (MCGA) | 48 |
| 3.1.4 Satélite TRMM | 50 |
| 3.2 Metodologia | 51 |
| 3.2.1 Rede Neurais Artificiais (RNA) | 51 |
| 3.2.1.1 Dificuldades Associadas à Aplicação das RNAs | 57 |
| 3.2.2 Regressão Linear Múltipla (RLM) | 58 |
| 3.2.3 Transformada de Ondaletas (TO) | 61 |
| 3.2.4 Critério de Análises dos Resultados | 65 |
| 3.2.4.1 Previsão Espacial | 65 |
| 3.2.4.2 Previsão Pontual | 66 |
| 3.2.5 Aplicação das Metodologias | 67 |
| 3.2.5.1 Previsão da Precipitação Pontual | 68 |
| 3.2.5.2 Previsão da Precipitação Espacial sobre o Sudeste do Brasil | 68 |
| 3.2.6 Variáveis do Modelo Eta e MCGA Seleccionadas como Preditores no Treinamento da RNA | 69 |
| 3.2.7 Experimentos Realizados | 71 |
| 3.2.7.1 Previsão Pontual | 72 |

| | | |
|---|---|------------|
| 3.2.7.2 | Previsão Espacial | 73 |
| CAPÍTULO 4 – CLIMATOLOGIA SINÓTICA DA REGIÃO SUDESTE E SUL DO BRASIL | | 75 |
| 4.1 | Períodos de Verão | 75 |
| 4.2 | Períodos de Inverno | 83 |
| 4.3 | Períodos de Primavera | 88 |
| 4.4 | Sumário e Discussão dos Resultados | 91 |
| CAPÍTULO 5 – COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO SOBRE AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DA REGIÃO DE SÃO PAULO, RIO DE JANEIRO DE MINAS GERAIS | | 97 |
| 5.1 | Períodos de Verão | 97 |
| 5.1.1 | Verão 1997-1998 | 97 |
| 5.1.2 | Verão 1998-1999 | 100 |
| 5.1.3 | Verão 1999-2000 | 103 |
| 5.1.4 | Verão 2000-2001 | 111 |
| 5.1.5 | Verão 2001-2002 | 118 |
| 5.2 | Períodos de Inverno | 125 |
| 5.2.1 | Inverno 1998 | 125 |
| 5.2.2 | Inverno 1999 | 127 |
| 5.2.3 | Inverno 2000 | 128 |
| 5.2.4 | Inverno 2001 | 133 |
| 5.2.5 | Inverno 2002 | 138 |
| 5.3 | Sumário e Discussão dos Resultados | 142 |
| CAPÍTULO 6 – PREVISÃO PONTUAL DE PRECIPITAÇÃO | | 147 |
| 6.1 | Escolha e Preparação dos Dados | 147 |
| 6.2 | Redes Neurais Artificiais (RNA) | 147 |
| 6.3 | Desenvolvimento do Modelo Estatístico de RLM | 149 |
| 6.4 | Comparação da Previsão dos Modelos RNA, RLM e Eta | 149 |
| 6.5 | Análise Qualitativa da Previsão | 149 |
| 6.5.1 | Região de São Paulo | 150 |
| 6.5.2 | Região de Rio de Janeiro | 156 |
| 6.5.3 | Região de Minas Gerais | 161 |
| 6.6 | Análise Estatística | 164 |
| 6.6.1 | São Paulo | 164 |
| 6.6.2 | Rio de Janeiro | 175 |
| 6.6.3 | Minas Gerais | 181 |
| 6.6.4 | Sumário e Discussão dos Resultados | 187 |

| | |
|---|------------|
| CAPITULO 7 – PREVISÃO ESPACIAL DE PRECIPITAÇÃO | 191 |
| 7.1 Seleção das Variáveis Preditoras para a Previsão Espacial | 191 |
| 7.2 Aplicação das RNAs para a Previsão Espacial | 192 |
| 7.3 Período de Verão | 193 |
| 7.4 Período de Primavera | 209 |
| 7.5 Sumário e Discussão dos Resultados | 222 |
| CAPITULO 8 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 225 |
| 8.1 Sugestões para Trabalhos Futuros | 229 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 231 |

LISTA DE FIGURAS

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 3.1 Mapa dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais e a localização geográfica das estações meteorológicas utilizadas no trabalho. A grade utilizada para cada mapa corresponde à utilizada pelo modelo Eta | 45 |
| 3.2 Área recortada do domínio total do modelo de circulação global T126 do CPTEC, correspondente ao Sudeste/Sul do Brasil | 50 |
| 3.3 Estrutura do cérebro (a) Rede Neural, (b) Neurônio. Fonte: Loesch e Sari (1998) | 52 |
| 3.4 Esquema do modelo matemático do neurônio artificial | 53 |
| 3.5 Decomposição num nível do campo de temperatura 1000 hPa, derivado do modelo T126 do dia 18 de janeiro de 2001: campo de temperatura original (a), campo descomposto num nível (b) e campo reconstruído (c) | 64 |
| 3.6 a) Mapa do Estado de São Paulo ilustrando a posição das estações (?); b) e os pontos de grade mais próximos a estação de Campinas (KP) (+), selecionados para o downscaling estatístico | 69 |
| 4.1 Imagens do satélite GOES-8, canal infravermelho (a), campos de linhas de corrente derivados do modelo Eta (b) e campo de vorticidade relativa (área escura/clara) corresponde a ciclônica/anticiclônica em 250 hPa (c) para 12 de fevereiro 1999. A área escura (clara) indica valores menores (maiores) que -3×10^{-5} (3×10^{-5}) | 76 |
| 4.2 Imagens do satélite GOES-8, canal infravermelho (a), campos de linhas de corrente derivados do modelo Eta (b) e campo de vorticidade relativa (c) em 200 hPa para 11 de dezembro 1998. A área escura (clara) indica valores menores (maiores) que -3×10^{-5} (3×10^{-5}) | 78 |
| 4.3 Imagens do satélite GOES-8, canal infravermelho e campos de linhas de corrente derivados do modelo Eta: (a) 13 de dezembro, 1999, (b) 06 de janeiro 2000 | 79 |
| 4.4 Imagem do satélite GOES-8, canal infravermelho, dia 29 de dezembro de 2001 | 81 |
| 4.5 Imagem do satélite GOES-8, horário das 18:00 UTC, no canal infravermelho, dia 14 de junho de 1999 | 84 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 4.6 | (a) Imagem do satélite GOES-8, canal infravermelho e campo de temperatura no nível de 100 hPa para o dia 18 de junho de 2001, (b) imagem do GOES-8 e linhas de corrente em 200 hPa para 24 de agosto de 2001 | 86 |
| 4.7 | Imagem do satélite GOES-8, canal infravermelho: (a) 2 de agosto de 2002, horário 03:00 UTC; (b) dia 30 de agosto de 2002, horário 03:00 UTC | 87 |
| 4.8 | a) Imagem do satélite GOES-8 para o dia 20 de outubro de 2000, no horário das 06:00 UTC; b) campo do vento no nível de 1000 hPa, ilustrando uma ciclogêneses sobre a região Sudeste e Sul do Brasil | 89 |
| 5.1 | Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo, durante o verão 1997-1998 | 99 |
| 5.2 | Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo, durante o verão 1998-1999 | 102 |
| 5.3 | Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo, durante o verão 1999-2000 | 105 |
| 5.4 | Distribuição da precipitação nas estações RJ1, RJ2, RJ3, RJ4, RJ5, RJ6 E RJ7 localizadas no estado de Rio de Janeiro, durante o verão 1999-2000 | 107 |
| 5.5 | Distribuição da precipitação nas estações MG1, MG2, MG4, MG5, MG6 E MG7 localizadas no estado de Minas Gerais, durante o verão 1999-2000 | 110 |
| 5.6 | Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo, durante o verão 2000-2001 | 113 |
| 5.7 | Distribuição da precipitação nas estações RJ1, RJ2, RJ3, RJ4, RJ5, RJ6 E RJ7 localizadas no estado de Rio de Janeiro, durante o verão 2000-2001 | 115 |
| 5.8 | Distribuição da precipitação nas estações MG1, MG2, MG4, MG5, MG6 E MG7 localizadas no estado de Minas Gerais, durante o verão 2000-2001 | 117 |
| 5.9 | Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo, durante o verão 2001-2002 | 119 |

| | | |
|------|---|-----|
| 5.10 | Distribuição da precipitação nas estações RJ1, RJ2, RJ3, RJ4, RJ5, RJ6 E RJ7 localizadas no estado de Rio de Janeiro, durante o verão 2001-2002 | 122 |
| 5.11 | Distribuição da precipitação nas estações MG1, MG2, MG4, MG5, MG6 E MG7 localizadas no estado de Minas Gerais, durante o verão 2001-2002 | 124 |
| 5.12 | Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo, durante o inverno 1998 | 126 |
| 5.13 | Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo, durante o inverno 1999 | 128 |
| 5.14 | Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo, durante o inverno 2000 | 129 |
| 5.15 | Distribuição da precipitação nas estações RJ1, RJ2, RJ3, RJ4, RJ5, RJ6 E RJ7 localizadas no estado de Rio de Janeiro, durante o inverno 2000 | 131 |
| 5.16 | Distribuição da precipitação nas estações MG1, MG2, MG4, MG5, MG6 E MG7 localizadas no estado de Minas Gerais, durante o inverno 2000 | 132 |
| 5.17 | Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo, durante o inverno 2001 | 134 |
| 5.18 | Distribuição da precipitação nas estações RJ1, RJ2, RJ3, RJ4, RJ5, RJ6 E RJ7 localizadas no estado de Rio de Janeiro, durante o inverno 2001 | 135 |
| 5.19 | Distribuição da precipitação nas estações MG1, MG2, MG4, MG5, MG6 E MG7 localizadas no estado de Minas Gerais, durante o inverno 2001 | 137 |
| 5.20 | Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo, durante o inverno 2002 | 138 |
| 5.21 | Distribuição da precipitação nas estações RJ1, RJ2, RJ3, RJ4, RJ5, RJ6 E RJ7 localizadas no estado de Rio de Janeiro, durante o inverno 2002 | 140 |
| 5.22 | Distribuição da precipitação nas estações MG1, MG2, MG4, MG5, MG6 E MG7 localizadas no estado de Minas Gerais, durante o inverno 2002 | 141 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 6.1 | Mapa do estado de Rio de Janeiro ilustrando: (a) posição das estações de superfície (?) e (b) os pontos de grade mais próximos a estação Represa do Paraíso (RJ6) no Rio de Janeiro (x) selecionados para o downscaling | 148 |
| 6.2 | Precipitação prevista e a observada, pelos modelos estatísticos RNA e MLR e o Eta para dezembro de 2001: (a) Campinas, (b) IAG. As barras em vermelho representam a precipitação observada, e as em azul, a prevista pelos modelos | 151 |
| 6.3 | Precipitação prevista e a observada, pelos modelos estatísticos RNA e MLR e o Eta para janeiro de 2002: (a) estação de GR, (b) estação de KP. As barras em vermelho representam a precipitação observada, e as em azul, a prevista pelos modelos | 153 |
| 6.4 | Precipitação prevista e a observada, pelos modelos estatísticos RNA e MLR e o Eta para fevereiro de 2002: (a) estação de IAG, (b) estação de Bauru. As barras em vermelho representam a precipitação observada, e as em azul, a prevista pelos modelos | 154 |
| 6.5 | Precipitação prevista e a observada, pelos modelos estatísticos RNA e MLR e o Eta: (a) estação de Bauru, julho de 2002, (b) estação de Presidente Prudente agosto de 2002. As barras em vermelho representam a precipitação observada, e as em azul, a prevista pelos modelos | 155 |
| 6.6 | Precipitação prevista e a observada, pelos modelos estatísticos RNA e MLR e o Eta: estação RJ6 (Rio de Janeiro) , dezembro de 2001. As barras em vermelho representam a precipitação observada, e as em azul, a prevista pelos modelos | 157 |
| 6.7 | Precipitação prevista e observada pelos modelos RNA1 a) e RNA2 (b) para dezembro de 2001 e para RJ6. As barras em vermelho representam a precipitação observada, e as em azul, a prevista pelos modelos | 158 |
| 6.8 | Precipitação prevista e a observada, pelos modelos estatísticos RNA e MLR e o Eta: (a) estação RJ6, (b) estação RJ7, fevereiro de 2002. As barras em vermelho representam a precipitação observada, e as em azul, a prevista pelos modelos | 159 |
| 6.9 | Precipitação prevista e a observada, pelos modelos estatísticos RNA e MLR e o Eta: (a) estação RJ1, (b) estação RJ4, julho de 2002. As barras em vermelho representam a precipitação observada, e as em azul, a prevista pelos modelos | 160 |

| | | |
|------|---|-----|
| 6.10 | Precipitação prevista e a observada, pelos modelos estatísticos RNA e MLR e o Eta: estação MG4, janeiro de 2002. As barras em vermelho representam a precipitação observada, e as em azul, a prevista pelos modelos | 162 |
| 6.11 | Precipitação prevista e a observada, pelos modelos estatísticos RNA e MLR e o Eta: estação MG1, agosto de 2002. As barras em vermelho representam a precipitação observada, e as em azul, a prevista pelos modelos | 164 |
| 7.1 | Mapas de precipitação (mm/dia): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa de precipitação obtido do TRMM (c), previsão do modelo global T126 (d), e a imagem do GOES-8 para o dia 22 de Dezembro de 2002, horário 03:00 Z (e)..... | 195 |
| 7.2 | Mapas de precipitação (mmm/dia): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa de precipitação obtido do TRMM (c), previsão do modelo global T126 (d), e a imagem do GOES-8 (e) para o dia 31 de dezembro de 2002, horário 03:00Z | 196 |
| 7.3 | Mapas de precipitação (mm/dia): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa do TRMM (c), previsão do modelo global T126 (e), e imagem do GOES-8 para o dia 21 de janeiro do 2003, horário das 18:00 Z (e)..... | 200 |
| 7.4 | Mapas de precipitação (mm/dia): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa do TRMM (c) e previsão do T126 (d), para 30 de janeiro do 2003, no horário das 12:00Z (e)..... | 202 |
| 7.5 | Mapas de precipitação (mm/dia): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa do TRMM (c), previsão do modelo global T126 (d), e a imagem do satélite GOES-8 para o dia 19 de fevereiro do 2002, no horário das 18:00 Z (e) | 206 |
| 7.6 | Mapas de precipitação (mm): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa do TRMM (c) e a previsão do T126 (d), para 20 de fevereiro do 2002, no horário das 06:00 Z (e)..... | 207 |
| 7.7 | Mapas de precipitação (mm/dia): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa do TRMM (c) e previsão do modelo global T126 (d) , para o dia 21 de setembro do 2002..... | 210 |
| 7.8 | Mapas de precipitação (mm/dia): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa do TRMM (c) e previsão do modelo global T126 (d), para o dia 22 de setembro do 2002..... | 212 |

| | | |
|------|---|-----|
| 7.9 | Mapas de precipitação (mm/dia): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa do TRMM (c), previsão do T126 (d), e imagem do satélite GOES-8 para o dia 01 de outubro do 2002, no horário das 12:00 Z (e). | 215 |
| 7.10 | Mapas de precipitação (mm/dia): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa do TRMM (e), previsão do modelo global T126 (d), e imagem do satélite GOES8 para o dia 08 de outubro do 2002, no horário das 06:00 Z (e). | 216 |
| 7.11 | Mapas de precipitação: previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b) mapa do TRMM (c) e previsão do modelo global T126 (d), para o 22 de novembro de 2002 no horário das 18:00 Z (e)..... | 220 |
| 7.12 | Mapas de precipitação (mm/dia): previsão da RNA1 e RNA2, mapa do TRMM, previsão do modelo global T126 e a imagem do GOES-8 para o dia 24 de novembro de 2002 | 221 |

LISTA DE TABELAS

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 3.1 Características geográficas das estações meteorológicas dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais | 44 |
| 3.2 Classificação de Chuva e os limiares associados para previsão espacial | 66 |
| 4.1 Sistemas sinóticos que afetaram a região de estudo nos verões compreendidos entre 1997 – 2002 | 82 |
| 4.2 Sistemas sinóticos que afetaram as regiões sudeste e sul do Brasil nos invernos compreendidos entre 1997 – 2002 | 64 |
| 4.3 Sistemas sinóticos que afetaram as regiões sudeste e sul do Brasil nas primaveras compreendidas entre 1997 – 2002 | 88 |
| 6.1 Parâmetros estatísticos (p, REQM, e BIAS) para os modelos de previsão RNA1, RNA2, RLM e Eta. Estações São Paulo, dezembro de 2001 | 166 |
| 6.2 Parâmetros estatísticos (p, REQM, e BIAS) para os modelos de previsão RNA1, RNA2, RNA3, RLM e Eta. Estações São Paulo, janeiro de 2002 | 168 |
| 6.3 Parâmetros estatísticos (p, REQM, e BIAS) para os modelos de previsão RNA1, RNA2, RNA3, RNA4, RLM e Eta. Estações São Paulo, fevereiro de 2002 | 169 |
| 6.4 Skill score da REQM para os meses de verão 2001 – 2002: estado de São Paulo | 170 |
| 6.5 Parâmetros estatísticos (p, REQM e BIAS) para os modelos de previsão RNA1, RNA3, RLM e Eta. Estações São Paulo, junho de 2002 | 172 |
| 6.6 Parâmetros estatísticos (p, REQM e BIAS) para os modelos de previsão RNA1, RNA3, RLM e Eta. Estações São Paulo, julho de 2002 | 172 |
| 6.7 Parâmetros estatísticos (p, REQM e BIAS) para os modelos de previsão RNA1, RNA2, RNA3, RLM e Eta. Estações São Paulo, agosto de 2002 | 174 |

| | | |
|------|--|-----|
| 6.8 | Skill score para a REQM para o período de inverno para as estações de São Paulo | 175 |
| 6.9 | Parâmetros estatísticos (p, REQM e BIAS) para os modelos de previsão RNA1, RNA3, RLM e Eta. Estações Rio de Janeiro, durante o verão | 177 |
| 6.10 | Skill score para a REQMp para o período de verão para estações do Rio de Janeiro | 178 |
| 6.11 | Parâmetros estatísticos (p, REQM e BIAS) para os modelos de previsão RNA1, RNA2, RNA3, RLM e Eta. Estações Rio de Janeiro, durante o inverno | 180 |
| 6.12 | Skill score para a REQM para a época de inverno, estações de Rio de Janeiro | 181 |
| 6.13 | Parâmetros estatísticos (p, REQM e BIAS) para os modelos de previsão RNA1, RNA2, RNA3, RLM e Eta, durante o verão em Minas Gerais | 183 |
| 6.14 | Skill Score para o período de verão, estações de Minas Gerais | 184 |
| 6.15 | Parâmetros estatísticos (p, REQM e BIAS) para os modelos de previsão RNA1, RNA2, RNA3, RLM e Eta. Para o período de inverno em Minas Gerais | 186 |
| 6.16 | Skill score para a REQM no período de inverno para as estações de Minas Gerais | 187 |
| 7.1 | BIASS e ETS para a RNA1, RNA2 e T126: mês de dezembro de 2002 | 198 |
| 7.2 | BIASS e ETS para a RNA1, RNA2 e T126: mês de janeiro de 2003 ... | 204 |
| 7.3 | BIASS e ETS para a RNA1, RNA2 e T126: mês de fevereiro de 2002 | 209 |
| 7.4 | BIASS e ETS para a RNA1, RNA2 e T126: mês de setembro de 2002 | 213 |
| 7.5 | BIASS e ETS para a RNA1, RNA2 e T126: mês de outubro de 2002 . | 218 |
| 7.6 | BIASS e ETS para a RNA1, RNA2 e T126: mês de novembro de 2002 | 222 |

LISTA DE SIGLAS E/OU ABREVEATURAS

| | |
|--------|---|
| AB | - Alta da Bolívia |
| AGO | - Agosto |
| ANEEL | - Agencia Nacional de Energia Elétrica |
| BIASS | - Bias Score |
| BR | - Bauru |
| CCM | - Complexos Convectivos de Mesoescala |
| CPTEC | - Centro de Previsão e Estudos Climáticos |
| COLA | - Center for Ocean – Land- Atmosphere Studies |
| CV | - Cavado |
| DEZ | - Dezembro |
| DOP | - Divisão de Operações |
| ECMWF | - European Center for Médium Range Weather Forecast |
| EMA | - Erro Médio Absoluto |
| ETS | - Equitable Threat Score |
| FEV | - Fevereiro |
| GISS | - Goddard Institute for Space Studies |
| GOES-8 | - Geoestacionary Operation Enviromental Satellite |
| GR | - Guarulhos |
| GRADs | - Grid Analysis and Display System |
| HN | - Nort Hemisphere |
| HS | - South Hemisphere |
| IAG | - Instituto Astronômico e Geofísico |
| INMET | - Instituto Nacional de Meteorologia |

| | |
|-------|--|
| IR | - Infravermelho |
| JAN | - Janeiro |
| JUL | - Julho |
| JUN | - Junho |
| KP | - Campinas |
| MCGA | - Modelos de Circulação Geral da Atmosfera |
| MG | - Minas Gerais |
| MOS | - Model Output Statistic |
| MOC | - Model Output Calibration |
| NASA | - National Aeronautics Space Administration |
| NCEP | - National Center for Environmental Prediction |
| NOAA | - National Oceanic Atmospheric Administration |
| NOV | - Novembro |
| PNT | - Previsão Numérica do Tempo |
| PPM | - Perfect Prog Method |
| PP | - Presidente Prudente |
| REQM | - Raiz do Erro Quadrático Médio |
| RJ | - Rio de Janeiro |
| RP | - Ribeirão Preto |
| RNA | - Redes Neurais Artificiais |
| RLM | - Regressão Linear Multipla |
| RADAR | - Radio Detection and Ranging |
| RR | - Intensidade de precipitação |
| SC | - Santa Catarina |
| SF | - Sistema Frontal |

| | |
|--------------------|---|
| SP | - São Paulo |
| SS | - Skill Score |
| T126 | - Truncamento triangular na onda zonal 126 |
| Tb | - Temperatura de brilho |
| TM | - Tibaldi e Molteni |
| TO | - Transformada de Ondaletas |
| VCAN | - Vórtice Ciclônico de Altos Níveis |
| VCAN _{ND} | - Vórtice Ciclônico de Altos Níveis do Nordeste |
| VCAN _{LM} | - Vórtice Ciclônico de Altos Níveis de Latitudes médias |
| VIS | - Visível |
| ZCAS | - Zona de Convergência do Atlântico Sul |

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Caracterizar, classificar e definir objetivamente um fenômeno meteorológico é um dos grandes desafios que os meteorologistas enfrentam. Para isto eles utilizam diferentes tipos de análises, conceitos clássicos ou convencionais, métodos estatísticos e modelos numéricos, visando uma definição objetiva da maioria dos padrões atmosféricos.

A previsão ou estimativa de campos e fenômenos meteorológicos é uma tarefa complexa. As metodologias matemáticas, estatísticas e dinâmicas desenvolvidas têm minimizado em parte o problema, porém há uma necessidade de se explorar novas técnicas com o intuito de aprimorar as previsões ou estimativas. Atualmente, os modelos de previsão numérica de tempo (PNT) conseguem prever com um certo grau de exatidão campos de diversas variáveis meteorológicas, por exemplo, temperatura, precipitação, vento, geopotencial, umidade, etc. Dentre estas variáveis, a precipitação desperta um interesse maior, tanto pela sua relevância climática como também por influir diretamente em muitos setores produtivos de nossa sociedade. No entanto, a física associada à sua análise é complexa (Olson et al., 1995).

A complexidade física dos processos de precipitação e as escalas de tempo-espço envolvidas em tais processos, ainda não podem ser resolvidas satisfatoriamente pelos modelos numéricos. Mesmo os modelos mais sofisticados (alta resolução) de PNT não conseguem por meio de suas parametrizações estimar satisfatoriamente o campo de chuva (Olson et al., 1995).

Uma alternativa para se monitorar a precipitação em grande escala surgiu na década de 60, com o advento dos satélites meteorológicos. A partir daquela época essa variável começou a ser quantificada de forma indireta, e muitos métodos de estimativas utilizando canais infravermelho (IR), visível (VIS) e microondas, tinham como base a identificação de células convectivas através da temperatura de brilho do topo da nuvem (T_b) (Arquin, 1979; Adler e Negri, 1988; Scolfield, 1987; Gairola e Krishnamurti,

1992). Entretanto, a incerteza das estimativas obtidas dessa forma é alta, uma vez que a temperatura do topo da nuvem está relacionada apenas indiretamente e de forma não linear com a intensidade da precipitação (RR) (Hsu, 1997). É importante mencionar que as estimativas de precipitação por satélite não tem o caráter contínuo das medidas obtidas pelos pluviógrafos ou pluviômetros; por este motivo, elas tendem a subestimar os valores de precipitação em relação aos dados observados. Desse modo, as estimativas obtidas se afastam da realidade ao estabelecer uma relação simples entre a T_b de um pixel na imagem de satélite e a RR observada na superfície terrestre (Hsu, 1997).

Especificamente no Brasil, a grande variabilidade espacial e temporal da precipitação, adicionada a uma escassa rede pluviométrica e a carência de radares meteorológicos dificulta o seu monitoramento. O Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) trabalha operacionalmente com um modelo regional Eta, que permite melhor representar os processos de convecção, e com um modelo de escala global, que permite uma visão geral dos diferentes sistemas sinóticos atuantes. Entretanto, é observado que as previsões de precipitação desses modelos ainda apresentam deficiências que precisam ser melhoradas (Tippett e Da Silva, 1999; Bustamante et al., 1999; Chou e Justi da Silva, 1999).

Neste trabalho, com o intuito de obter um melhor desempenho nas previsões de precipitação e na determinação das variáveis atmosféricas relacionadas a estes processos, tendo como base a informação de modelos de PNT, propõe-se o uso de uma técnica estatística conhecida como Redes Neurais Artificiais (RNA). Esta técnica permite estabelecer relações não lineares entre a precipitação observada, as saídas de um modelo de PNT e dados obtidos por satélite (Hornik et al., 1989)

De uma forma simples, a RNA pode ser definida como uma ferramenta estatística, que, por meio do processamento de informações, gera uma saída (preeditando) a partir de uma ou mais entradas (preditores). Através de sucessivas apresentações dos dados de entrada e saída previamente conhecidas, a RNA aprende a relação entre elas (entrada e saída) e através de um algoritmo de minimização de erros, procura reduzir o erro quadrático médio em cada iteração do treinamento. Assim, esta relação pode ser aplicada para

novos valores de entrada, a qual produzirá um valor de saída associado a uma nova previsão (Haykin, 1994).

Uma característica muito vantajosa das RNAs é a sua capacidade de generalizar, fornecendo respostas rápidas e representativas, mesmo quando submetidas a uma situação não contemplada durante o treinamento.

1.1 Justificativa e Objetivos

Porque usar Redes Neurais Artificiais para previsão de precipitação?

Nos últimos anos, as RNAs vêm sendo utilizadas com sucesso na solução de problemas meteorológicos associados a reconhecimento de padrões, processamento de imagens e previsão (Key, 1994; Weigang et al., 1996; Sorooshian, 1997; Cavazos, 1997; Marzban e Stumpf, 1996; Hsu et al., 1997; Lee et al., 1990; Tian et al., 1999 e Snell, 2000).

Esta técnica é uma ferramenta interessante porque tem a capacidade de identificar padrões cuja complexidade é difícil de se definir através de aproximações mais formais. Hornik et al. (1989) descrevem a RNA como um aproximador universal, isto é, uma RNA pode aproximar relações não lineares e suas derivadas, sem um conhecimento prévio de uma função não linear específica. Assim, ela pode ser usada para fazer previsões com a acurácia de sistemas altamente não lineares. Especificamente, a precipitação apresenta este tipo de problema. Como mencionado anteriormente, as metodologias convencionais (físicas e numéricas) ainda não conseguem fornecer um comportamento futuro da precipitação o suficientemente real, devido à complexidade não linear dos processos que a originam. Desta forma, alternativamente as RNAs poderiam constituir-se uma nova via para efetuar esta tarefa (previsão de precipitação), com o benefício adicional de não precisar de uma relação não linear específica, mesmo porque essa relação específica ainda não existe. Entretanto, o conhecimento de qual variável deve ser relevante para a previsão de um determinado fenômeno é importante e deve ser fornecida à RNA através das informações de entrada e saída (preditor e

preditando). Desta forma, é necessário ter um conhecimento básico dos processos físicos do problema a ser resolvido.

Uma dificuldade que surge devido a grande quantidade de dados, por exemplo, proveniente das saídas dos modelos e imagens de satélite como elementos de entrada para o aprendizado da rede é a elevada carga computacional envolvida no treinamento da rede. Para superar esta dificuldade, propõe-se a utilização da Transformada de Ondas (TO) (Daubechies, 1992). Esta técnica de processamento de sinais permite decompor os dados em aproximações e detalhes, cada qual com uma dimensão inferior ao da imagem original. O uso da TO permite decompor uma matriz de dados (saída do modelo) em coeficientes que apresentam uma dimensão menor que o campo original. Treinando uma matriz de dimensão menor reduz o tempo de aprendizado da RNA, assim como os problemas de generalização associados. Além disso, pode-se utilizar uma maior quantidade de dados de entrada, os quais seriam limitados se o mapeamento da rede fosse direto.

A área selecionada para este estudo foi a região Sudeste e Sul do Brasil, uma vez que, os modelos conseguem obter melhores previsões de tempo por existir uma dinâmica melhor definida dos sistemas meteorológicos que produz a precipitação. Desta forma, torna-se possível identificar variáveis atmosféricas que caracterizem estes sistemas, as quais serão utilizadas como preditores para o modelo proposto de RNA. Neste contexto, apresentam-se os objetivos deste trabalho.

Objetivos

O objetivo geral desse estudo é contribuir para o aprimoramento das previsões diárias da precipitação na região Sudeste e Sul do Brasil utilizando-se as RNAs como uma técnica não linear alternativa. Os resultados obtidos serão avaliados para determinar o desempenho da metodologia em relação às técnicas convencionais atualmente em uso. Especificamente pretende-se:

- a) realizar previsões de precipitação pontual sobre estações meteorológicas, isto é, determinar uma relação empírica de *downscaling* estatístico entre as variáveis em pontos de grade do modelo Eta (preditores) e a precipitação observada (preeditando) das estações meteorológicas selecionadas. Neste caso, pretende-se avaliar a capacidade da rede para estudar a relação da circulação de grande escala com a precipitação local;
- b) realizar previsões de precipitação espacial sobre o Sudeste/Sul do Brasil, construindo uma RNA que tem como preditores as saídas do modelo global de circulação do CPTEC e como preeditandos os dados de precipitação derivado do satélite TRMM. Neste caso, avalia-se a relação existente entre a circulação de grande escala gerada pelo modelo e a precipitação derivada pelo TRMM;

1.2 Organização do Trabalho

O trabalho é composto de 8 capítulos e o conteúdo dos capítulos está disposto de forma a explicitar o embasamento teórico da pesquisa, a técnica utilizada, os resultados alcançados, as análises dos mesmos e as conclusões obtidas.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre os diversos problemas relacionados à previsão de precipitação em modelos de PNT. Focalizam-se também possíveis soluções para minimizar o problema usando técnicas de pós-processamento, as quais podem ser implementadas fazendo uso da RNA. Finalmente descreve-se aplicações das RNAs em meteorologia.

O Capítulo 3 descreve os dados utilizados e as metodologias empregadas (RNA e TO). Ele também apresenta as medidas estatísticas utilizadas para avaliar o desempenho dos modelos de previsão.

O Capítulo 4 apresenta um estudo sinótico sobre os diversos sistemas meteorológicos que potencialmente estão associados à ocorrência de precipitação sobre a região sudeste do Brasil. Este estudo serve como embasamento teórico para determinar os preditores a serem utilizados no modelo de RNA.

No Capítulo 5 realiza-se um estudo do comportamento e distribuição da precipitação sobre as estações meteorológicas nas quais os modelos prognósticos de RNA para previsão pontual são implementados. Este capítulo permitirá confirmar que uma grande percentagem da precipitação está associada com os sistemas sinóticos atuantes na região.

No Capítulo 6, apresenta-se uma análise dos resultados da previsão pontual para as estações em estudo, e uma avaliação qualitativa e quantitativa através das medidas estatísticas.

No Capítulo 7 os resultados da previsão espacial sobre a região Sudeste e Sul são apresentados junto com a análise estatística para avaliar seu desempenho.

O Capítulo 8 apresenta as conclusões referentes aos resultados obtidos, assim como sugestões para trabalhos futuros. Por fim, o texto traz as referências bibliográficas pertinentes aos temas da pesquisa que foram consultadas.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atualmente, as observações atmosféricas incluem medidas diretas (*in situ*), e indiretas, que são obtidas por sensores remotos. Esta combinação de observações provê uma grande base de dados para inicializar e avaliar modelos de previsão numérica do tempo (PNT).

Com as informações obtidas por meio dos satélites meteorológicos a base de dados de precipitação melhorou muito. Neste caso, pode se obter estimativas mesmo em áreas de difícil acesso, possibilitando uma visão global do comportamento dessa variável.

Dentro de uma ampla faixa de escala temporal e espacial de fenômenos meteorológicos, a previsão diária de chuvas está relacionada às escalas sinóticas e de mesoescala, isto é, a escala temporal variando de algumas horas a alguns dias e a espacial de dezenas a milhares de quilômetros (Matsuo, 1992).

A dificuldade de previsão de eventos de chuva está na associação na maioria dos casos, a identificação dos fenômenos de mesoescala, na qual as escalas temporais e espaciais estão aquém da resolução das observações convencionais. Entretanto, é possível observar, que segundo a teoria de interação de escalas, muitos desses fenômenos de mesoescala acontecem associados a fenômenos de escala sinótica, isto é uma vantagem, uma vez que os modelos de PNT proporcionam uma visão mais completa dos sistemas meteorológicos de escala sinótica. Embora os modelos operacionais de PNT não possuam a resolução nem incluam os processos físicos necessários para prever a formação e evolução de fenômenos de mesoescala, eles podem fornecer as condições favoráveis de escala maior para isso, podendo assim proporcionar uma idéia sobre o fenômeno ao qual a chuva pode estar associada (Matsuo, 1992).

Quanto mais um modelo de PNT é aprimorado, mais precisão terá em simular os diversos fenômenos meteorológicos. As informações de satélite são de grande valia para

aprimorar as previsões, pois as condições iniciais melhoraram substancialmente (Zorita e Storch, 1999). Entretanto, uma boa previsão não depende apenas de uma boa condição inicial, outros aspectos também devem ser levados em conta, como as parametrizações e resolução espacial do modelo. Zorita e Storch (1999) mencionam duas razões importantes pelas quais os modelos de escala regional falham em suas previsões:

- a) a resolução espacial provê uma descrição inadequada da estrutura da superfície terrestre;
- b) os processos da escala de subgrade, tais como formação de nuvens, chuva, infiltração, evaporação, não são parametrizados adequadamente.

Zorita e Storch (1999) enfatizam ainda que um aumento na resolução seria adequado e que mais processos poderiam ser explicitados. No entanto, muitos deles ocorrem em escalas muito pequenas para serem realisticamente modelados, sem mencionar que nesta situação, poderia estar se introduzindo erros adicionais. Eles mencionam ainda que, estes processos de subgrade são aqueles com maior impacto social e ecológico, pois afetam fortemente o clima local.

Especificamente nos trópicos, as estimativas de precipitação obtidas pelos modelos de PNT têm grandes deficiências, uma vez que freqüentemente os modelos não conseguem representar de maneira coerente o balanço hidrológico; este problema é conhecido como “*spin-up*”. Embora os dados obtidos por satélite tenham contribuído muito para o desempenho das previsões, o problema de “*spin-up*” ainda não está totalmente resolvido. Isto ocorre devido a uma especificação inadequada da divergência e umidade nas condições iniciais dos modelos numéricos (Alexander et al., 1999). Para minimizar o problema, tem sido avaliado o impacto de se assimilar taxas de chuva nos estados iniciais da integração de um modelo. Seguindo esse enfoque, a técnica de inicialização física desenvolvida por Krishnamurti et al. (1991) assimila medidas observadas (ou derivadas) de precipitação em modelos de PNT.

O CPTEC utiliza operacionalmente modelos de escala global e regional. O modelo regional Eta apresenta uma resolução de 40 km x 40 km e permite obter um seguimento mais preciso dos processos de convecção. Com o uso deste modelo, busca-se fornecer

ao usuário o comportamento futuro do tempo; para isto é fornecida uma série de campos gráficos das variáveis atmosféricas, como é o caso da precipitação. Entretanto, é observado que as previsões de precipitação ainda apresentam deficiências e precisam ser aprimoradas. Neste contexto, as pesquisas direcionadas a avaliar o desempenho das previsões de precipitação do modelo regional Eta argumentam que os erros nas previsões de precipitação podem estar relacionados com a qualidade das condições iniciais, o problema da topografia (incompatibilidade da topografia espectral do modelo NCEP com a forçante topográfica do modelo Eta) e ao tratamento do modelo físico, através de um melhoramento do esquema de parametrização da convecção (Tippett e Da Silva, 1999; Bustamante et al., 1999; Chou e Justí da Silva, 1999).

Nunes (1999) aplicou uma técnica que possibilita a assimilação de taxas de chuva (observadas ou derivadas de satélite) para melhorar as condições iniciais. Esta aplicação foi baseada na técnica de inicialização física e teve como objetivo melhorar o campo da umidade na condição inicial para que possa ser utilizada no modelo e gerar previsões com maior acurácia. Os resultados obtidos por Nunes, apesar do alto custo computacional, mostraram uma significativa melhoria nas previsões de precipitação.

Devido às dificuldades mencionadas, a carência de conhecimento e o alto custo computacional envolvido na modelagem da precipitação, surgiram técnicas alternativas de pós-processamento das saídas dos modelos de PNT. Uma delas é o chamado *downscaling* estatístico, que nada mais é que uma metodologia de diminuição da escala espacial do modelo. Ela também é conhecida como uma ferramenta de interpolação de variáveis em escala espacial para a escala pontual (sobre uma estação meteorológica). A seguir, apresenta-se uma descrição desta metodologia.

2.1 Downscaling

O *downscaling* é um termo adotado nas últimas décadas para descrever um conjunto de técnicas que relacionam variáveis climáticas de escala regional e local com forçantes atmosféricas de escala global (Hewinton e Crane, 1996). Esta técnica foi desenvolvida

pela necessidade de se ter uma informação mais detalhada no tempo e no espaço dos produtos de previsão numéricas de tempo e clima.

Existem duas categorias de técnicas de *downscaling*: as dinâmicas, que enfocam os modelos numéricos com uma resolução mais detalhada, e as empíricas que utilizam funções de transferências entre escalas. A primeira delas envolve o uso de modelos numéricos, de escalas global e regional, e requer informação climática (de superfície) detalhada, assim como uma alta disponibilidade computacional. Por outro lado, as empíricas utilizam métodos estatísticos, sendo que os mais empregados são os métodos de regressão (lineares e não lineares), geradores de tempo (análises de componentes principais, análises de correlação canônica, técnica de composição, redes neurais artificiais) e os estocásticos (teoria fuzzy – conjuntos nebulosos, algoritmos genéticos, etc) (Wilby e Wigley, 1997). A grande vantagem do uso do *downscaling* estatístico é que ele oferece uma solução imediata a um baixo custo computacional, conseqüentemente, poderia ser rapidamente implementado em centros operacionais.

Neste capítulo, será focado com mais detalhe a técnica empírica de *downscaling*, também chamada de estatística, por ser a escolhida no presente estudo para realizar a previsão pontual.

Normalmente, em relações empíricas procura-se derivar relações quantitativas entre a circulação e o clima local, da seguinte forma: $y = f(x)$. Assim, a função de transferência é derivada a partir de dados observacionais e usando uma relação matemática ou estatística.

Uma hipótese fundamental para estabelecer estas aproximações é que relações podem ser estabelecidas entre processos atmosféricos e a precipitação, sendo que estas ocorrem em diferentes escalas de espaço e tempo (Wilby e Wigley, 1997).

Os principais métodos estatísticos que envolvem métodos de regressão multivariadas são: “perfect prog method” - PPM (Klein et al., 1959), o “Model Output Statistics” - MOS (Glahn e Lowry, 1972) e “Model Output Calibration” -MOC (Mao et al., 1998). A seguir apresenta-se uma descrição sucinta dessas técnicas:

- Perfect Prog Method (PPM)

No PPM, utilizado inicialmente por Klein et al. (1959) obtém-se uma relação estatística entre a variável a ser prevista (preditor) e outras variáveis meteorológicas observadas (preditores) na vizinhança do local de interesse. Uma vantagem deste método é que relações estatísticas estáveis podem ser derivadas utilizando-se uma série longa de dados. Posteriormente, esta relação desenvolvida pode ser utilizada para a previsão utilizando-se informações das saídas dos modelos de PNT, sendo que também a mesma relação pode ser utilizada, embora o modelo de previsão possa sofrer mudanças durante sua vida operacional. Uma desvantagem dessa técnica é não considerar o incremento na incerteza das previsões em relação ao tempo da previsão (Kumar et al., 1999).

- Model Output Statistical (MOS)

O MOS é uma técnica de previsão de tempo objetiva que consiste em determinar uma relação estatística entre um preditando e variáveis previstas por um modelo numérico em diferentes tempos de previsão (Glahn e Lowry, 1972). A utilização desta técnica implementada com os produtos de modelos de PNT requer uma série longa de dados para estabelecer uma relação de previsão confiável. Alguns estudos indicam que são necessários pelo menos dois anos de dados para derivar uma equação MOS útil ou confiável (Jacks et al., 1990; Vislocky e Fritch, 1995). Esta condição restringe a flexibilidade de utilização desta técnica, sobretudo em modelos regionais, que sofrem mudanças frequentes para refinar suas previsões, tanto em suas parametrizações, como resolução.

Neste contexto, a relação MOS deve ser derivada novamente se o modelo de previsão sofrer mudanças. Como esta situação ocorre com certa frequência, foi desenvolvido um esquema MOS atualizável (Wilson e Vallée, 2000) visando a melhoria das previsões. Este esquema atualiza a matriz covariância ou matriz de correlação com dados de previsões atuais, posteriormente o modelo de regressão linear múltipla é novamente

executado. Desta forma, o modelo estatístico de previsão é constantemente ajustado a novas situações.

A diferença em relação ao PPM é que a relação empírica é derivada das saídas dos modelos de previsão numérica de tempo. Como a equação MOS é desenvolvida utilizando saídas de um modelo de previsão, ela tem a capacidade de considerar os erros sistemáticos dos mesmos. Por este motivo, vários autores concordam que o MOS é superior ao PPM. No entanto, ela demanda um arquivo suficientemente longo das saídas do modelo para assegurar a estabilidade da relação estatística a ser derivada (Kumar et al., 1999).

- Model Output Calibration - MOC

Recentemente, foi desenvolvido um algoritmo de calibração das saídas de modelos, chamado *Model Output Calibration* - MOC (Mao et al., 1999). Neste caso, a diferença em relação as metodologias tradicionais (PPM e MOS) é que se utilizam as previsões e observações das últimas duas ou quatro semanas, e objetivamente estima-se e ajusta-se o erro da previsão. A equação MOC, da mesma forma que as outras duas anteriores, é uma equação de regressão linear multivariada. Ela varia de dia para dia e de lugar para lugar. Uma vez que esta técnica não se baseia nas estatísticas de longo prazo obtidas através de modelos, o MOC minimiza a influência das mudanças constantes nos modelos. Esta aproximação é ideal para ser utilizada em modelos de PNT, regionais ou de mesoescala (MM5, RAMS, ARPS e Eta), onde a tradicional MOS não pode ser utilizada, devido as constantes mudanças nas parametrizações.

Todas as técnicas de *downscaling* descritas são lineares, sendo que a relação entre as características de escala sinótica ou climáticas e campos observados geralmente não o são. Neste contexto, as RNAs surgem como uma nova alternativa para o processo de *downscaling* estatístico das saídas dos MCGA e de PNT.

O desenvolvimento de modelos estatísticos de previsão de precipitação no Brasil por meio da metodologia de *downscaling* é limitado, porém, destaca-se o trabalho efetuado por Matsuo (1992) para prever ocorrência de precipitação intensa sobre o estado de São Paulo. Ele utilizou um modelo de regressão linear múltipla para associar parâmetros dinâmicos e termodinâmicos (dados de radiossondagem) com a chuva observada. No contexto de metodologias de *downscaling* documentadas neste trabalho, Matsuo utilizou o PPM, já que incluiu apenas variáveis observadas para o desenvolvimento de seu modelo prognóstico. Ele concluiu que o modelo de regressão é um instrumento extremamente eficaz no sistema de estudos multivariados.

2.2 Aplicações das RNAs em Meteorologia

As aplicações mais utilizadas de RNAs estão relacionadas à previsão, classificação de padrões e aproximação de funções (Gardner e Dorling, 1998). As pesquisas realizadas até o momento tiveram como objetivo analisar o desempenho das RNAs em relação às técnicas estatísticas lineares convencionais, tais como análises de regressão múltipla, análises de discriminante linear, funções de agrupamento, funções ortogonais empíricas, correlação canônica, entre muitas outras (Marzban e Stumpf, 1996; Lee et al., 1990; Tian et al., 1999). A seguir apresenta-se uma breve descrição dos trabalhos relevantes que utilizaram as RNAs em problemas de previsão.

No contexto de previsão, para a construção de um modelo de RNA é necessário definir as variáveis preditoras que são utilizadas como entradas para a rede, e os preditandos (que podem ser as mesmas variáveis ou outras num tempo anterior) que são as saídas. Nesse sentido, as primeiras aplicações na área de previsão de tempo utilizaram séries temporais de variáveis meteorológicas numa determinada estação. Previsões de temperatura do ar, precipitação, temperatura de superfície do mar (TSM), etc., já foram realizadas, tendo como base séries temporais da variável a ser estimada (Greischar e Hastenrath, 2000; Yuval, 2000; Tangang et al., 1998). Posteriormente, foram também incorporadas outras variáveis meteorológicas como preditores da variável a ser estimada. No trabalho feito por Kuligowsky e Barros (1998) foram utilizados dados de

radiossonda (direção do vento em 700 hPa) de uma determinada estação (leste de Pensylvania) e dados de precipitação para treinar uma RNA. Silverman e Dracup (1999), usaram índices de 13 padrões de teleconexões em 700 hPa e o índice de Oscilação do Sul para estimar a precipitação em sete zonas climáticas da Califórnia. Tangang et al., (1998), usaram pressão ao nível do mar e cizalhamento do vento como preditores para a TSM no Pacífico Tropical.

Na avaliação de fenômenos meteorológicos específicos, cita-se o estudo de Marzban e Stumpf (1998) que treinaram uma RNA para determinar a circulação que poderia estar associada a eventos de tornado. Neste estudo, para a caracterização da circulação foram usadas 23 variáveis derivadas do algoritmo de detecção de mesociclone do NSSL (*National Severe Storms Laboratory*) do Radar Doppler. A eficiência da RNA treinada, comparada com outras técnicas usadas (regressão logística, e análises de discriminante linear) confirmou a sua superioridade para prever os eventos de tornado. Recentemente, Marzban et al., (2000) utilizando variáveis derivadas do algoritmo de detecção de mesociclone do NSSL, treinou uma RNA bayesiana para previsão de granizo, e novamente confirmou a superioridade desta em relação ao método convencional.

Comprovada a eficácia das RNAs na previsão pontual de uma variável meteorológica ou evento meteorológico, passou-se a avaliar a sua eficácia na previsão espaço-tempo de padrões atmosféricos. As primeiras tentativas foram feitas utilizando-se análises de modelos de PNT (French et al., 1992; Verdecchia e Visconti, 1996 e Cavazos, 1997). Verdecchia e Visconti (1996) treinaram uma RNA para reconhecimento de padrões de bloqueios. Eles usaram os valores da altura geopotencial em 500 hPa derivados do modelo do *European Center for Medium Range Weather Forecasts* (ECMWF), e um índice numérico (TM) calculado por Tibaldi e Molteni (1990) (citado em Verdecchia e Visconti, 1996) na área compreendida entre 30° N – 82.5°N e 52.5°W – 71.25°E, para caracterizar casos de bloqueios. Antes do treinamento foi feito um tratamento dos dados para excluir períodos de bloqueio menores que 5 dias. O resultado obtido pela RNA foi surpreendente, conseguiu-se reproduzir o comportamento do índice TM associado ao padrão de bloqueio.

French et al. (1992) usaram uma RNA para gerar previsão horária do campo espacial de precipitação com base em dados do horário anterior. Os campos de precipitação utilizados foram gerados previamente por um modelo estocástico de simulação de chuva. Os resultados mostraram que a rede foi capaz de aprender a complexa relação tempo–espaço dos processos da precipitação, similar ao obtido por qualquer modelo complexo de simulação de chuva.

Cavazos (1997) usou as variáveis pressão ao nível do mar, altura geopotencial em 500 hPa, espessura entre 1000 hPa a 500 hPa e precipitação obtidas pelo modelo de circulação geral do *Goddard Institute for Space Studies (GISS)*, para deduzir uma função de transferência entre a circulação de grande escala e a precipitação local sobre o Nordeste do México. Inicialmente, foram aplicadas análises de componentes principais aos dados para identificar os primeiros modos de variância das variáveis usadas (pressão ao nível do mar, altura geopotencial em 500 hPa, espessura entre 1000 hPa a 500 hPa). Posteriormente, estes modos foram usados como padrões de entrada e a precipitação como padrão de saída para o treinamento da RNA. Os resultados obtidos não foram suficientemente satisfatórios. Em termos gerais, a rede neural superestimou a precipitação, no entanto, ela foi capaz de capturar a fase e a amplitude de muitos dos eventos de chuva que ocorreram durante o período de treinamento. A falta de eficiência do resultado da rede foi atribuída à presença de forçantes externas, durante eventos extremos presentes na série utilizada.

As RNAs também têm sido utilizadas em estimativas de precipitação com base em imagens transmitidas pelo satélite meteorológico GOES, sendo inclusive utilizada em tempo quase-real para estimar chuva nos Trópicos. Esta informação é gerada pelo projeto Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Network (PERSIANN), desenvolvido pela Universidade do Arizona (Hsu et al., 1997). O modelo usa parâmetros estatísticos (média e desvio padrão do T_b) das imagens de satélite através de um classificador baseado numa RNA. Recentemente, dentro do modelo operacional do PERSIANN, estão sendo incorporados dados de chuva obtidos pelo satélite Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) para testar o desempenho da rede (Sorooshian et al., 2000).

Uma aplicação relativamente nova da RNA é o seu uso em *downscaling* estatístico dos modelos de circulação geral da atmosfera (MCGA). Os MCGAs geralmente apresentam uma resolução que varia de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ a $8^\circ \times 10^\circ$ de latitude e longitude. Entretanto, esta resolução é inadequada para se estudar mudanças de clima relacionadas a efeitos regionais (Snell et al., 2000).

Trabalhos que focalizam o *downscaling* foram documentados por Kuligowski e Barros (1998) e Snell et al. (2000) entre outros. Kuligowski e Barros (1998) utilizaram uma RNA para estimar precipitação num intervalo de seis horas, sobre quatro estações localizadas numa região do Atlântico Médio. Os preditores foram as variáveis meteorológicas associadas à umidade e movimento vertical, obtidas pelo Nested Grid Model (NGM) do NCEP. O resultado obtido foi comparado com uma técnica convencional de regressão múltipla. Observou-se que a RNA melhorou a previsão da precipitação, principalmente no caso de taxas altas e moderadas.

Snell et al., (2000) usaram uma RNA para gerar estimativas de temperatura em 11 estações meteorológicas, baseando-se em dados de temperatura em pontos de grade vizinhos das mesmas, obtidos pelo satélite NOAA. Para determinar a acurácia dos resultados também foram usadas as técnicas convencionais de interpolação (média espacial, vizinho mais próximo, métodos de distância inversa). Eles concluíram que as RNAs foram superiores em termos de acurácia e tempo de processamento. No entanto, uma conclusão importante desses estudos destaca que os resultados obtidos podem variar de região para região, e isto dependerá da qualidade do modelo de previsão e dos dados das estações, assim como da disponibilidade da série histórica de ambas observações para treinar e avaliar a RNA.

Em aplicações utilizando modelos de PNT, Koizumi (1999) utilizou as saídas dos modelos *Ásia Spectral Model* e *Japan Spectral Model* e dados observacionais para o período de março 1994 – fevereiro 1995, para gerar precipitação a cada três horas. Hall et al. (1999) utilizaram as saídas do modelo Eta do NCEP e dados de radiosondagens do período de 1994 – 1995 para gerar probabilidade e previsão de precipitação diária. Ambos estudos demonstraram a habilidade da RNA para previsões mais específicas de

precipitação, porém os autores ressaltaram a necessidade de se utilizar séries de dados mais longas para treinar a rede, possibilitando assim uma maior representatividade dos processos relacionados à ocorrência dessa variável.

No Brasil, a utilização de RNA aplicadas à meteorologia ainda constitui-se em uma área nova e pouco explorada, porém, destacam-se alguns trabalhos na área de previsão e classificação. Weigang et al. (1996) utilizou uma série de dados de anomalias de precipitação sobre o Nordeste do Brasil, para gerar um modelo de previsão baseado numa RNA. Valverde et al. (1999) fazendo uso de imagens do radar de Bauru e imagens do satélite GOES-8, construíram uma arquitetura de RNA para prever precipitação sobre a área central do estado de São Paulo. Dos Santos (2001) combinou dados de radar e dados telemétricos da Bacia do Alto Tietê, para obter um modelo diagnóstico e prognóstico de vazão, utilizando uma RNA. Cardoso (2001) utilizou uma RNA para estabelecer relações não lineares entre a temperatura superficial do mar dos oceanos Atlântico e Pacífico, e as variáveis climáticas na cidade de São Paulo. Recentemente, as RNAs foram aplicadas como um novo método de assimilação de dados (Nowosad et al., 2000). O novo método foi testado com modelos fortemente não-lineares (sistemas de Henon e Lorenz) e para um modelo 1D de água-rasa. Ainda, na área de previsão e fazendo uso das saídas de modelos de PNT, Valverde et al. (2002) construiu um modelo prognóstico de precipitação para estabelecer relações não lineares entre as saídas do modelo Eta e a chuva observada em três localidades do estado de São Paulo (Guarulhos, IAG e Campinas).

CAPÍTULO 3

DADOS E METODOLOGIA

3.1 Dados

O presente estudo envolve a utilização dos seguintes tipos de dados:

- a) dados de precipitação diária de estações meteorológicas dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. O período de estudo compreende as estações de verão e inverno de 1997 até 2002;
- b) saídas do modelo regional Eta do CPTEC para o período de verão compreendido entre dezembro e fevereiro (1997 a 2002), e o período de inverno: junho – agosto (1998 a 2002);
- c) saídas do modelo global do CPTEC/T126, para o período de verão compreendido entre dezembro, janeiro e fevereiro (1999 – 2003) e o período de primavera compreendido entre setembro – novembro (2000 a 2002);
- d) dados de precipitação do satélite TRMM (produto 3B42) para o período de verão e primavera, janeiro 1997 a fevereiro de 2003.

3.1.1 Estações de Superfície

Os dados de precipitação para o estado de São Paulo obtidos por estações sinóticas foram fornecidos pela empresa brasileira de Infra-estrutura Aeroportuária (INFRAERO) de Guarulhos, Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o Instituto de Astronomia, Geofísico e Ciências Atmosféricas (IAG/USP). Os dados de precipitação do estado do Rio de Janeiro e Minas Gerais, obtidos de estações pluviométricas, foram fornecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

As estações meteorológicas foram selecionadas em função da disponibilidade de uma série contínua de dados e levando-se em conta que o período da mesma fosse igual ao

do período de arquivos armazenados dos modelos operacionais, Eta e Global do CPTEC. Também teve-se como critérios a distribuição espacial das mesmas. As principais características geográficas das estações são mostradas na Tabela 3.1.

Não foi necessário fazer um tratamento prévio na série de dados, tais como, recuperação de dados, interpolação ou outros, já que elas eram contínuas e já tinham passado por um controle de qualidade da instituição fornecedora.

TABELA 3.1 - Características Geográficas das Estações Meteorológicas dos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

| Estados | Nome da Estação | Código | Latitude | Longitude | Altitude (m) |
|------------------------------|------------------------|---------------|-----------------|------------------|-------------------------|
| <i>São Paulo</i> | Guarulhos | GR | 23° 26' S | 46° 28' W | 803 |
| | IAG | IAG | 23° 39' S | 46° 37' W | 598 |
| | Campinas | KP | 23° 00' S | 47° 08' W | 661 |
| | Bauru | BR | 22° 21' S | 49° 03' W | 590 |
| | Presidente Prudente | PP | 22° 10' S | 51° 25' W | 435 |
| | Ribeirão Preto | RP | 21° 08' S | 47° 46' W | 621 |
| <i>Rio de Janeiro</i> | Macabuzinho | 2241003-RJ1 | 22° 04' | 41°43'' | - |
| | Ponto de Pergunta | 2142015-RJ2 | 21°44' | 42° 00' | 61 |
| | Leitão da Cunha | 2242001-RJ3 | 22°04' | 42°02' | 425 |
| | Usina Quissama | 2241002-RJ4 | 22° 06' | 41°29' | 15 |
| | Piller | 2242003-RJ5 | 22° 24' | 42° 21' | 670 |
| | Represa do Paraíso | 2242012-RJ6 | 22° 30' | 42° 55' | 60 |
| | Coroa Grande | 2243250-RJ7 | 22° 54' | 43° 52' 05'' | 40 |
| <i>Minas Gerais</i> | Lagoa | 1947008-MG1 | 19.88° | 47.37° | - |
| | Zelândia | 1947009-MG2 | 19.49° | 47.55° | - |
| | Veríssimo | 1948003-MG3 | 19.68° | 48.30° | - |
| | Melo Franco | 2044008-MG4 | 20.19° | 44.12° | 761 |
| | Fazenda Escola | 1944007-MG5 | 19.88° | 44.41° | 745 |
| | Ibirité | 2044012-MG6 | 20.03° | 44.03° | 1073 |
| | Pedro Leopoldo | 1944009-MG7 | 19.62° | 44.03° | 698 |

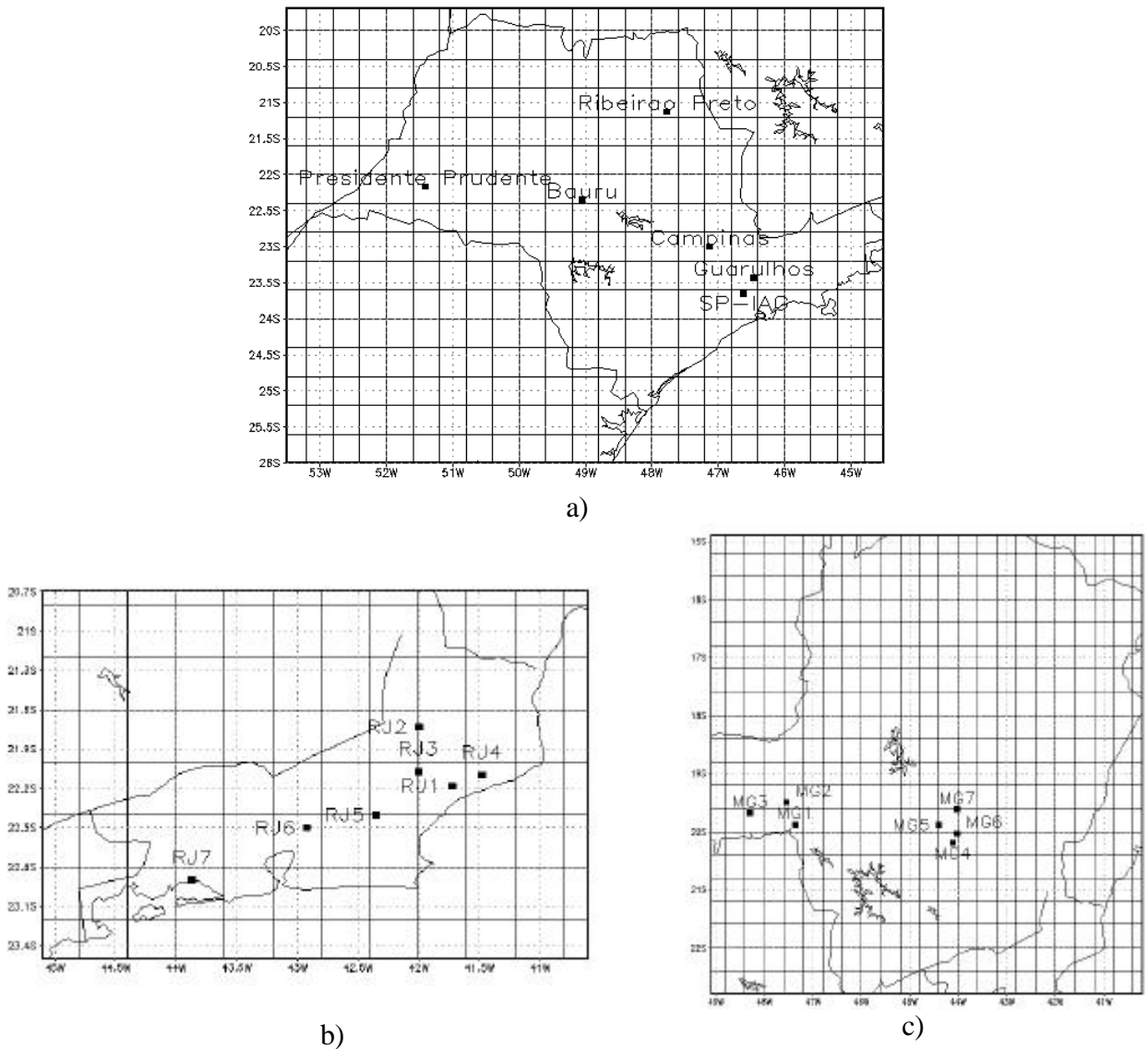


FIGURA 3.1- Mapa dos estados de São Paulo (a), Rio de Janeiro (b) e Minas Gerais (c) e a localização geográfica das estações meteorológicas utilizadas no trabalho. A grade utilizada para cada mapa corresponde à utilizada pelo modelo Eta.

3.1.2 Modelo Eta

O modelo regional Eta foi desenvolvido pela Universidade de Belgrado (Mesinger et al., 1990) e instalado no CPTEC em 1996. O objetivo da implementação desse modelo foi de complementar a previsão numérica de tempo que vem sendo realizada desde o início

de 1995 com o modelo de circulação geral atmosférica. O domínio do modelo cobre aproximadamente a região compreendida entre as longitudes de 25°W a 90°W e as latitudes de 12°N a 45°S.

O Eta é um modelo definido em coordenada vertical eta (η), a qual pode ser definida pela seguinte relação (Mesinger, 1984):

$$h = \left[\underbrace{\frac{p - p_t}{p_{sfc} - p_t}}_s \right] \left[\frac{p_{ref}(z_{sfc}) - p_t}{p_{ref}(0) - p_t} \right] \quad (3.1)$$

onde, p_t é a pressão no topo do domínio e p_{sfc} e z_{sfc} são a pressão e a elevação do limite inferior do modelo, respectivamente. A pressão de referência (p_{ref}) é uma função da altura acima do nível médio do mar.

As condições iniciais provem das análises do NCEP, e as condições laterais das previsões do modelo global do CPTEC. A análise é realizada sobre uma grade de resolução correspondente à do modelo global e posteriormente é interpolada para a grade do modelo Eta. O modelo é integrado duas vezes por dia, utilizando condições iniciais das 12:00 UTC e 00:00 UTC. As previsões do modelo Eta se estendem até 120 h (5 dias) e cobre a maior parte da América do Sul. Estas previsões são fornecidas duas vezes ao dia em uma grade regular com resolução horizontal de 40 km. As variáveis prognósticas do modelo são: temperatura do ar, componentes zonal e meridional do vento, umidade específica, pressão à superfície e energia cinética turbulenta.

O Eta utiliza o esquema de Betts-Miller modificado para parametrizar a convecção. (Janjic, 1994 citado em Chou e Justí da Silva, 1999). O esquema de parametrização de Betts-Miller é um tipo de esquema de ajuste convectivo e é baseado em um simples conceito de instabilidade da atmosfera. Quando a atmosfera exibe um “lapse-rate” instável, em condições secas, a mistura ocorre espontaneamente e provoca o retorno para um “lapse-rate” neutro; em condições saturadas, ocorre condensação e o estado final é um “lapse-rate” neutro úmido. A atmosfera é relaxada em direção a um perfil vertical prescrito (Gomes, 2000). Segundo Gomes (2000) a principal suposição deste

esquema é que em situações convectivas as estruturas verticais de temperatura e umidade nos modelos de larga escala são fortemente controladas pela convecção.

Em sua versão operacional, o modelo Eta sofreu algumas modificações. A nova versão (Eta/OSU) do modelo está implementada no CPTEC desde janeiro de 2000. Esta versão possui um modelo de superfície mais complexo que o "bucket", e foi desenvolvido na *Oregon State University* (OSU) (Chen et al., 1997). Nesta versão as variáveis de um campo horizontal estão dimensionadas em matrizes bidimensionais ao contrário da versão antiga (Eta/bucket) cujas variáveis de um campo estão dispostas em vetores.

Nas modificações feitas o domínio foi estendido em aproximadamente 5° para norte, sul, leste e oeste, desta forma problemas que estejam sendo gerados pelas condições de contorno lateral são afastados e seus efeitos reduzidos no interior do domínio. O topo do modelo foi levantado para 25 mb; o topo anterior em 50 mb é considerado próximo da tropopausa, principalmente nestas regiões tropicais. Aumentou-se a frequência de cálculo dos fluxos radiativos, de 2 h para 1 h, para melhor acompanhar as variações do ciclo diurno. O novo esquema de superfície possui duas camadas de solo e 12 tipos de vegetação. A presença da biosfera no modelo permite melhoria nas previsões das variáveis próximas à superfície. O prazo de previsão do modelo foi estendido em mais 12 horas gerando previsões de até 72 horas (<http://www.cptec.inpe.br/projeta/etaosu.shtml>) (Chou, 2002).

Em relação a parametrização de convecção desta nova versão, o esquema de convecção de fluxo de massa (Tiedtke, 1989) foi implementado no modelo regional. Inicialmente desenvolveu-se o esquema para um modelo unidimensional. Em seguida o esquema foi introduzido no ambiente tridimensional no modelo regional e testado para uma situação de frente. O modelo foi integrado por 60 horas. Comparações entre o modelo com o esquema Betts-Miller e o fluxo de massa foram realizados. Os resultados mostraram que com o novo esquema o modelo localiza corretamente as regiões convectivas, entretanto, superestima a quantidade de chuvas. A partição entre a chuva de grande escala e convectiva é bastante diferente daquela produzida pelo esquema Betts-Miller. A intensidade da precipitação produzida pelo Betts-Miller é maior nas primeiras horas,

enquanto que no fluxo de massa a precipitação inicial é mais fraca mas com maior duração. O esquema fluxo de massa apresentou resultados satisfatórios, apesar de necessitar ainda de ajustes nos parâmetros (<http://www.cptec.inpe.br/projeta/convcumulus.shtml>).

Para os propósitos do presente estudo, as saídas deste modelo foram selecionadas para fazer a previsão pontual em cada estação meteorológica, através de um *downscaling* estatístico, em função da sua resolução espacial de 40 km x 40 km, e por ser de escala regional. As saídas das previsões foram fornecidas pela Divisão de Operações (DOP) do CPTEC.

3.1.3 Modelo de Circulação Geral Atmosférico (MCGA)

O modelo global do CPTEC tem sua origem no modelo utilizado pelo Center for Ocean - Land-Atmosphere Studies (COLA) . No CPTEC o modelo global é rodado com uma resolução T62L28, que significa truncamento triangular na onda zonal 62 e 28 camadas na vertical, equivalente a uma grade de 200 km x 200 km aproximadamente (Bonatti, 1996). O termo triangular está relacionado com o tipo de figura formada quando se faz um diagrama número de onda versus índice meridional associados aos coeficientes espectrais; a dependência horizontal das equações são resolvidas de forma em forma espectral e o número de onda 62 indica o maior número de onda e índice meridional permitido (Mendonça, 1999). Essa versão é chamada de versão 1,0 COLA/CPTEC e possui uma parametrização da convecção profunda tipo Kuo (Bonatti, 1996).

No esquema de Kuo (1965) a convecção profunda atua na presença de uma coluna de ar condicionalmente instável e uma fonte de umidade positiva devido à soma da convergência de umidade e evaporação dentro da coluna. A soma da convergência de umidade e evaporação dentro da coluna é conhecida como “ascensão de umidade”. Nas colunas para a qual a convecção profunda é diagnosticada, a ascensão de umidade é particionada numa porção que produz calor (produzindo chuva) e uma porção úmida baseada na umidade relativa integrada na coluna. A distribuição vertical de aquecimento

e umedecimento do ambiente é baseada na distribuição vertical de diferenças de temperatura e umidade específica entre a nuvem e o ambiente. (Mendonça 1999).

As leis físicas básicas que governam os MCGA são as leis de conservação de massa, de umidade, de energia e de momentum angular. As equações empregadas incluem as equações da continuidade de massa para o ar seco e vapor d'água, a primeira lei da termodinâmica e as equações do movimento (segunda lei de Newton) (Bonatti, 1996).

As variáveis prognósticas do MCGA são: o logarítmico da pressão à superfície, a vorticidade, a divergência do vento horizontal, a temperatura virtual e a umidade específica. Além dessas, existem outras que são previstas nas parametrizações incluídas no modelo, tais como: temperatura de superfície, do interior do solo e do interior do dossel, umidade do solo, entre outras. O MCGA é integrado para previsão de sete dias nos horários 00:00 e 12:00 UTC e para previsão de doze horas as 06:00 e 18:00 UTC (Bonatti, 1996).

Recentes modificações na versão 1.7 do COLA permitem como opção a parametrização do tipo Arakawa–Schubert relaxada, tornando a nova versão 1.12, equivalente a versão 2.0 CPTEC/COLA, com uma resolução de 100 km x 100 km (chamada T126) que atualmente encontra-se em operação (Mendonça, 1999).

No esquema de convecção Arakawa–Schubert relaxada (Moorthi e Suarez, 1992) assume que a camada sub-nuvem é composta pela média ponderada da massa dos dois níveis mais baixos do modelo. Cada vez que a convecção cumulus é chamada, todos os níveis acima da camada sub-nuvem são checados para obter a possibilidade de convecção. Nuvens com a mesma base, mas diferentes níveis de detranhamento (topo da nuvem), são classificados como diferentes tipos de nuvens (Mendonça 1999).

Neste trabalho são utilizadas as saídas da versão 2.0 CPTEC/COLA, T126 para a estimativa espacial de precipitação sobre a região Sudeste e Sul do Brasil (Figura (3.2)), por apresentar um conjunto de dados mais homogêneos e também por apresentar uma resolução similar a dos dados de precipitação obtidos pelo produto 3B42 derivado

satélite TRMM. As saídas das previsões foram fornecidas pela Divisão de Operações (DOP) do CPTEC.

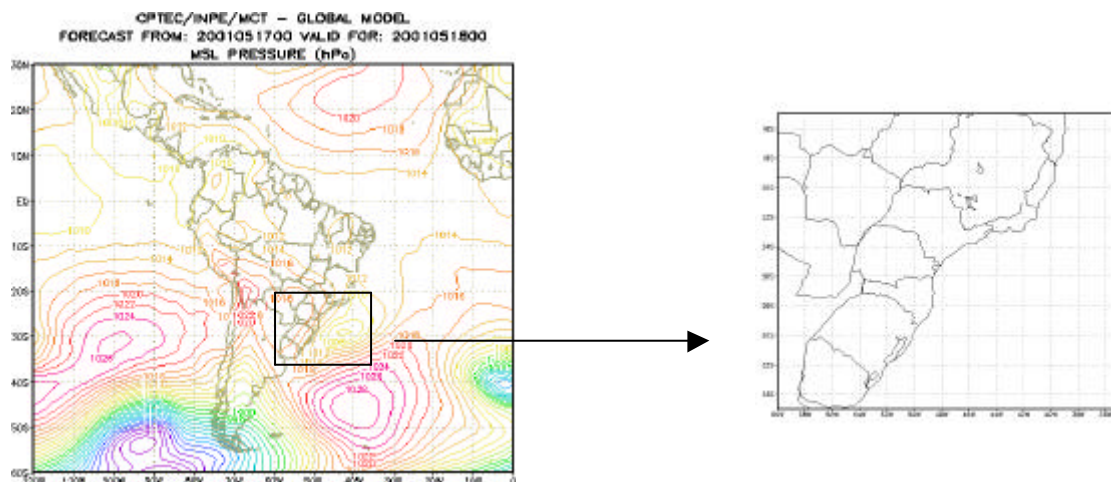


FIGURA 3.2 - Área recortada do domínio total do modelo de circulação global T126 do CPTEC, correspondente ao Sudeste/Sul do Brasil.

3.1.4 Satélite TRMM

O satélite ambiental “Tropical Rainfall Measuring Mission” (TRMM) foi lançado em novembro de 1997 como uma iniciativa conjunta das agências espaciais do Japão (NASDA) e dos Estados Unidos da América (NASA). Este satélite possui a bordo três importantes instrumentos para a medição da chuva: o radiômetro passivo de microondas (TMI), o radar de precipitação (PR) e sondador de visível/infravermelho (VIRS). O PR é o primeiro radar meteorológico de detecção de chuvas em órbita. Ele mede a estrutura tridimensional da refletividade, particularmente da distribuição vertical, bem como a obtenção de medidas quantitativas da chuva sobre continente e oceano, com melhor desempenho na recuperação da precipitação pelo uso combinado dos sensores ativos (PR) e passivo (TMI e VIRS) (Kummerow et al., 2000).

Neste trabalho, será usado um produto do satélite TRMM chamado 3B42. Este produto é baseado na técnica de ajuste do índice de precipitação dos satélites geostacionários

(GPI), desenvolvida por Adler et al. (1994). Esta técnica utiliza os dados de precipitação em superfície derivados do TMI para ajustar objetivamente a taxa de chuva inferida a partir de canais infravermelhos dos satélites geoestacionários. O resultado produz mapas diários e mensais de chuva entre 40°N e 40°S, com resolução de 1° x 1°; maiores detalhes deste produto podem ser encontrados em Kummerow et al., (2000). Especificamente neste trabalho serão utilizados os mapas diários de precipitação. A área selecionada é a região Sudeste/Sul do Brasil compreendida entre 15°S e 35°S, 35°W e 60°W, uma vez que os modelos geram melhores previsões nesta área por existir uma dinâmica melhor definida dos sistemas meteorológicos que produz precipitação (sistemas frontais, zona de convergência do Atlântico Sul e vórtices ciclônicos de altos níveis entre outros). Estes dados foram obtidos via ftp do seguinte endereço: http://lake.nascom.nasa.gov/data/dataset/TRMM/01_Data_Products/index.html.

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Redes Neurais Artificiais (RNA)

As redes neurais artificiais (RNA) são inspiradas no modo como o cérebro humano trabalha. O cérebro é formado por neurônios que interagem de maneira intensamente paralela. Numa versão simplificada, cada neurônio é constituído por seu corpo celular, um axônio, e uma árvore dendrítica formada por ramificações chamadas dendritos. As ligações entre os dendritos de um neurônio e os axônios de neurônios adjacentes são chamadas de sinapses (Figura (3.3)). Elas constituem o mecanismo transmissor de informação entre os neurônios da rede e multiplicam-se, no caso específico dos seres humanos, em quantidades da ordem de milhares para cada neurônio. Os sinais transmitidos pelos neurônios adjacentes são captados através das sinapses, resultando na elevação ou redução do potencial elétrico no soma de neurônio receptor. Se esse potencial atinge um certo patamar, denominado limiar de disparo, o neurônio emite então um pulso elétrico de intensidade e duração bem determinado, através de seu

axônio. Nesse caso, diz-se que o neurônio disparou. Como consequência do disparo, as células adjacentes são então estimuladas.

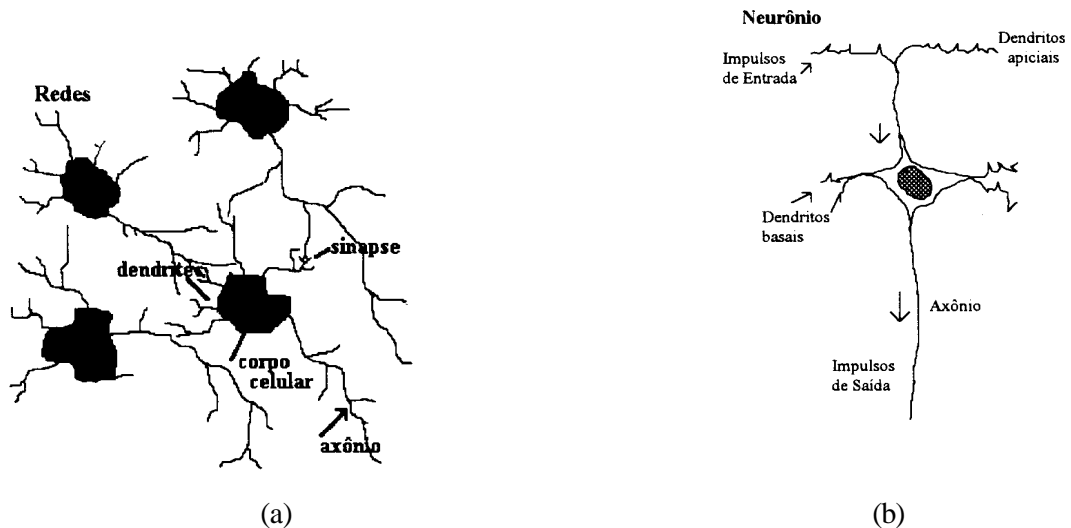


FIGURA 3.3 – Estrutura do cérebro (a) Rede Neural, b) Neurônio.

FONTE: Loesch e Sari (1996).

Uma rede neural artificial é um conjunto de neurônios dispostos de forma a dar uma solução a um problema específico. Estes neurônios fornecem informações para o aprendizado da rede (Haykin, 1994).

McCulloch e Pitts (1943) propuseram o primeiro modelo matemático simplificado de neurônio biológico (citado em Kovacs, 1996). Este modelo se baseia no fato de que, em dado instante de tempo, o neurônio ou está disparando ou está inativo. Os fatos básicos que tornaram possível a modelagem matemática do neurônio foram:

- a) neurônios se comportam como “somadores algébricos”, adicionam entradas excitatórias, e subtraem entradas inibitórias;
- b) neurônios possuem uma propriedade de “limiar”, isto é quando as entradas integradas são maior que um limiar, então disparam;
- c) neurônios se comportam analogicamente, enquanto o axônio se comporta de forma digital.

Tendo como base o trabalho de McCulloch e Pitts, foram desenvolvidos modelos neuronais muito mais sofisticados. Hoje a quantidade de modelos inspirados sob o paradigma neural é da ordem de dezenas. Os modelos mais populares são *FeedForward*, Adaline, Redes de Hopfield, e mapas de Kohonen, detalhes destes tipos de rede podem ser encontrados em Kovacs (1996) e Haykin (1994).

A Figura (3.4) esquematiza a operação matemática de um neurônio artificial típico, inspirado num modelo biológico. Inicialmente o neurônio recebe um sinal de entrada ou um conjunto de sinais (x_i) de outros neurônios. Posteriormente é feita uma somatória ponderada (s) entre os sinais de entrada (x_i) e os pesos (w_i) das conexões, o resultado deste processo é aplicado à função de ativação ou função de transferência ($f(s)$), a qual proporciona uma saída (y) que é o resultado já processado pelo neurônio.

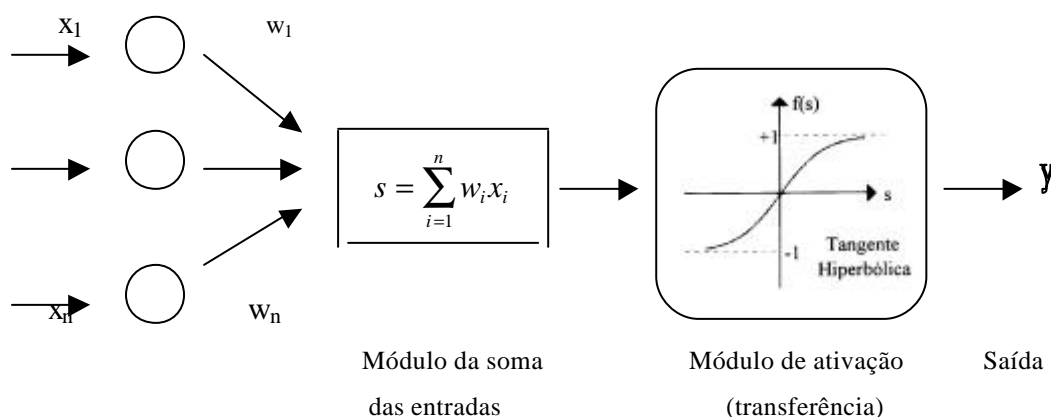


FIGURA 3.4. – Esquema do modelo matemático do neurônio artificial.

As funções de transferência não-lineares tipicamente utilizadas nas RNAs são as funções tangente hiperbólica e sigmóide. Para o arranjo físico dos neurônios nas redes é levado em consideração o número de camadas da rede, o número de neurônios por camada e o tipo de conexões.

O processo de aprendizagem ou treinamento de uma RNA pode ser visto como um problema de ajuste de curva. A própria rede pode ser considerada simplesmente como

um mapeamento não linear de entrada e saída. Neste contexto, o objetivo de treinar uma rede é o de ajustar seus pesos tal que a aplicação de um vetor ou padrão de entrada produza um vetor desejado ou padrão de saída. O treinamento supõe que cada vetor de entrada esteja relacionado com um vetor de saída, e este par de vetores é chamado também de par de treinamentos.

As RNAs podem ser submetidas a dois tipos de aprendizado: o supervisionado e o não supervisionado. No aprendizado supervisionado um conjunto de dados de entrada e o respectivo conjunto de dados de saída são apresentados à rede. Os dados de saída são usados como referência para a rede determinar se os dados gerados pela rede na sua saída estão corretos ou não. O método de retropropagação é um exemplo de aprendizado supervisionado (Kovacs, 1996).

No aprendizado não-supervisionado, a rede analisa os conjunto de dados apresentados a ela, determina algumas propriedades dos conjuntos de dados e “aprende” a refletir estas propriedades na sua saída. A rede utiliza padrões, regularidades e correlações para agrupar os conjuntos de dados em classes. As propriedades que a rede vai aprender sobre os dados podem variar em função do tipo de arquitetura utilizada e da lei de aprendizagem. O mapa auto-organizável de Kohonen é um método de aprendizado não-supervisionado (Haykin, 1994).

Na presente seção, apresenta-se uma breve descrição da rede *FeedForward* e a lei de aprendizado de retropropagação por serem aquelas utilizadas no desenvolvimento do presente trabalho. O algoritmo de retropropagação é uma derivação do gradiente descendente (Rumelhart e McClelland, 1986; citado por Haykin, 1994). O objetivo é determinar um vetor de parâmetros \mathbf{w}^* que minimize o erro quadrático sobre um dado conjunto de treinamento. Nesse caso, o algoritmo de aprendizagem possui duas etapas distintas. Em primeiro lugar, quando um padrão de entrada é apresentado à rede, o fluxo é alimentado para frente, sendo propagado adiante até a camada de saída. Em seguida, a saída obtida é comparada com a saída desejada e, em caso de erro é feita uma correção nos pesos das conexões sinápticas, ajustando-se os pesos da direção oposta do gradiente do erro instantâneo: este é o momento da aprendizagem propriamente dito.

Apresenta-se a seguir uma discussão sucinta do método do gradiente descendente apenas para um neurônio (Kovacs, 1996), cuja formulação pode ser expressa por:

$$y = g\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i\right) \quad (3.2)$$

onde x_i são as entradas, y é a saída, g é a função de transferência e w_i são os pesos das conexões. Como mencionado anteriormente, o objetivo de uma RNA é determinar um vetor de parâmetros w^* que minimize o erro quadrático sobre um dado conjunto de treinamento $\mathbf{y} = \{x_i^d, y_i^d\}_{i=1}^L$ onde L é o número de observações e \mathbf{d} refere-se ao valor desejado, desta forma temos :

$$E(w) = \sum_{i=1}^L [g(w^t x_i^d) - y_i^d]^2 \quad (3.3)$$

O gradiente desta função de erro pode ser expresso por:

$$\begin{aligned} \frac{dE(w)}{dw} &= 2 \sum_{i=1}^L (g(w^t x_i^d) - y_i^d) \frac{dg(w^t x_i^d)}{dw} = 2 \sum_{i=1}^L [g(w^t x_i^d) - y_i^d] \frac{dg(\mathbf{n})}{d(\mathbf{n})} \frac{d(w^t x_i^d)}{dw} \\ &= 2 \sum_{i=1}^L (y_i - y_i^d) \frac{dg(\mathbf{n})}{d(\mathbf{n})} x_i^d = -2 \sum_{i=1}^L \mathbf{d}_i x_i^d \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\text{onde: } \mathbf{d}_i = (y_i^d - y_i) \frac{dg(\mathbf{n})}{d\mathbf{n}} \quad (3.5)$$

O parâmetro \mathbf{w} é atualizado por meio da formulação:

$$w(k+1) = w(k) + \Delta w(k) \quad (3.6)$$

com $\Delta w(k)$ sempre na direção oposta ao do gradiente:

$$\Delta w(k) = -\eta \frac{dE(w)}{dw} = -\frac{\eta}{2} \frac{dE(w)}{dw} \quad (3.7)$$

onde η é a taxa de aprendizado.

Estas equações permitem resumir o que se convencionou chamar de regra delta generalizado:

$$w(k+1) = w(k) + \mathbf{h} \sum_{l=1}^L \mathbf{d}_l x_l^d \quad (3.8)$$

e considerando: $\mathbf{d}_l = y_l^d - y_l$, pode-se atualizar o parâmetro \mathbf{w} logo após a apresentação de cada exemplo l ao invés de atualiza-lo somente após a apresentação de todo o conjunto Y , resultando:

$$w(j+1) = w(j) + \mathbf{h} \mathbf{d}_l x_l^d \quad \text{com } l=j \bmod(L) \quad (3.9)$$

Isto equivale a atualizar passo-a-passo cada componente w_i de vetor \mathbf{w} individualmente:

$$w_i(j+1) = w_i(j) + \mathbf{h} \mathbf{d}_l x_{i,l}^d \quad (3.10)$$

Desenvolvendo-se o algoritmo de retropropagação, adota-se para a função $g(\mathbf{n})$ a função logística ou sigmóide usada originalmente e expressa-se por:

$$g(\mathbf{n}) = (1 + \exp(-\mathbf{b}\mathbf{n}))^{-1} \quad (3.11)$$

A derivada dessa função em relação a \mathbf{v} é:

$$\frac{dg(\mathbf{n})}{d\mathbf{n}} = \mathbf{b}(1-g(\mathbf{n}))g(\mathbf{n}) \quad (3.12)$$

substituindo-se esta equação na expressão (3.4) obtém-se a regra de treinamento para um neurônio:

$$w(k+1) = w(k) + \mathbf{h} \mathbf{b} \sum_{l=1}^L \mathbf{d}_l x_l^d \quad (3.13)$$

onde,

$$\mathbf{d}_l = (y_l^d - y_l)(1 - y_l) y_l \quad (3.14)$$

O ajuste dos pesos é feito de trás para frente, isto é, da última camada em direção à camada de entrada. É possível que se tenha de repetir este procedimento muitas vezes até que a convergência conduza a um valor satisfatório: $\left|1 - \frac{w_i(k)}{w(k+1)}\right| < \epsilon$. Neste caso, diz-se que a rede aprendeu.

Paralelamente à utilização das RNAs, desenvolveu-se um outro método de previsão baseado numa regressão linear múltipla para comparação com a RNA. A seguir apresentam-se alguns aspectos teóricos deste modelo.

3.2.1.1 Dificuldades Associadas à Aplicação das RNAs

Nas seções anteriores foram mencionados diversos trabalhos que documentam a alta potencialidade das RNAs em relação às técnicas convencionais. No entanto, é importante ressaltar que ela também apresenta limitações, e em alguns casos não tem se mostrado suficientemente superior em termos de desempenho, quando comparadas com as convencionais (regressão linear múltipla, análises de componentes principais, etc) (Tang et al., 2000, Applequist et al., 2002).

Uma das grandes dificuldades, talvez a mais comum, é a grande quantidade de dados a serem processados quando se trabalha num domínio espaço-temporal (climatologia de saídas de modelo ou imagens de satélite). Isto seria uma agravante maior se a informação de cada estação ou ponto de grade fosse atribuída a um neurônio, o qual implicaria em uma estrutura de rede neural com um maior número de neurônios e pesos associados. Como consequência, haveria um alto consumo de tempo computacional para o aprendizado. Uma solução para este problema é a utilização de técnicas de compressão de dados espaciais. Muitos dos trabalhos mencionados anteriormente utilizaram análises de componentes principais ou EOF (Hsieh e Tang, 1998; Cavazos, 1997; Tang et al., 2000; Yuval, 2000) e ondaletas (Geva, 1998 e Tian et al., 1999) para reduzir a dimensão dos dados e depois proceder ao uso das RNAs. Outra dificuldade é a compreensão da não linearidade na camada interna da rede. A camada interna atua

como um detector de características, isto é, os pesos fazem a rede assumir configurações que refletem um padrão significativo nos dados de entrada. Isto realça ainda mais a habilidade da RNA para encontrar relações nos dados, já que esta pode associar os padrões de entrada com os dados de saída (Kuligowsky e Barros, 1998).

A não linearidade também está relacionada à escolha do número de neurônios na camada interna. Se uma camada interna é constituída por uma quantidade pequena de neurônios, ela não conseguirá aprender o que é necessário saber. Por outro lado, se a camada interna for muito grande, ela só aprenderá os padrões de entrada e terá problemas em generalizar. Segundo Fletcher e Goss (1993), o teorema de mapeamento de uma rede neural dado por Kolmogorov estabelece que algumas funções contínuas podem ser implementadas utilizando $2n+1$ nodos na camada interna, onde n representa o número de neurônios da camada de entrada. Porém, o mesmo autor destaca que em alguns casos este número pode apresentar um ajuste ou memorização do conjunto de treinamento resultando numa pobre capacidade de generalização. Desta forma, ele estabelece um intervalo para uma generalização ótima, onde o número de neurônios para a camada interna deve ser testado entre $(2n + 1)$ e $(2n^{1/2} + m)$, sendo n o número de neurônio na camada de entrada e m o número de neurônios na camada de saída.

3.2.2 Regressão Linear Múltipla (RLM)

Uma análise de regressão processa as informações contidas em um conjunto de dados de forma a gerar um modelo que represente o relacionamento existente entre as variáveis de interesse de um processo (Verkemo e Aguiar, 1996). Uma análise de regressão múltipla envolve a utilização de mais de duas variáveis explicativas.

Como a aplicação desta ferramenta será utilizada para previsão denota-se uma variável a ser prevista, a variável dependente, que é expressa por uma função linear das variáveis independentes, onde as variáveis dependentes são referidas como preditandos e as variáveis independentes como preditores. Apresenta-se a seguir uma breve explicação do procedimento utilizado (Glhan e Lowry, 1972). Representando o preditando por Y e

os preditores por X_1, X_2, \dots, X_k , a regressão entre essas variáveis matematicamente é expressa por:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (3.15)$$

Onde, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ são os coeficientes a serem determinados usando algum critério e ε representa o erro aleatório dado pela diferença entre o valor observado y e o valor obtido pela equação:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k \quad (3.16)$$

Se n valores de Y, y_1, y_2, \dots, y_n , e de X, x_1, x_2, \dots, x_n estão disponíveis para o desenvolvimento do modelo, cada valor de Y será ajustado conforme:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1x_{11}x_{12}\dots x_{1k} \\ 1x_{21}x_{22}\dots x_{2k} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 1x_{n1}x_{n2}\dots x_{nk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ b_{k1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ e_n \end{bmatrix}$$

Usando uma notação mais compacta temos:

$$Y = Xb + e \quad (3.17)$$

Os coeficientes β s são determinados impondo a condição dos mínimos quadrados aos erros. Os estimadores de mínimos quadrados de $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ são denotados, respectivamente, por $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$. Desta forma, um valor particular previsto \hat{y}_i da variável y é expresso por :

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_{i1} + b_2 x_{i2} + \dots + b_k x_{ik}$$

o erro de previsão é expresso por:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i = y_i - b_0 x_{i1} - b_1 x_{i1} - b_2 x_{i2} - \dots - b_k x_{ik} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.18)$$

e a soma dos quadrados é:

$$ESS = \sum e_i^2 = \sum (y_i - b_o - b_1x_{i1} - b_2x_{i2} - \dots)^2$$

As condições de minimização são obtidas impondo que:

$$\begin{aligned} \frac{\partial ESS}{\partial b_o} &= 0 \\ \frac{\partial ESS}{\partial b_1} &= 0 \\ \cdot & \\ \cdot & \\ \cdot & \\ \frac{\partial ESS}{\partial b_k} &= 0 \end{aligned} \tag{3.19}$$

levam a $b = (X^T X)^{-1} X^T y$, onde b é a matriz de $k \times 1$ cujos elementos são os estimadores de b 's. É importante notar que a matriz $(X^T X)^{-1}$ deve existir, ou seja, se as colunas da matriz X forem linearmente dependentes, $X^T X$ será singular e os coeficientes b 's não poderão ser calculados.

Em muitos estudos nos quais são empregados modelos de regressão linear múltipla, surgem alguns problemas, sendo que os mais comuns estão associados a multicolinearidade. Quando as variáveis explicativas X_i , denominadas neste estudo de variáveis preditoras são linearmente correlacionadas e esta correlação é muito forte, dizemos que os dados apresentam multicolinearidade. A presença de multicolinearidade pode diminuir a precisão dos estimadores dos coeficientes de regressão e afetar de forma adversa a aplicabilidade do modelo ajustado aos dados. No entanto, é possível encontrar na literatura várias medidas corretivas para resolver o problema da multicolinearidade. Descrevem-se a seguir dois procedimentos de fácil uso para essa aplicação (Verkemo e Aguiar, 1996):

- a) aumentar os dados com novas observações especialmente selecionadas, para evitar as dependências verificadas entre as variáveis da massa de dados utilizados para ajustar o modelo de regressão;
- b) eliminar do modelo as variáveis explicativas que estejam altamente correlacionadas com outras variáveis preditoras. Este procedimento apresenta a desvantagem de descartar a informação contida das variáveis que serão eliminadas.

3.2.3 Transformada de Ondaletas (TO)

A transformada de ondaleta é uma técnica de análise de sinal que decompõe dados ou funções em diferentes componentes de frequência, possibilitando o estudo de cada componente com uma resolução adequada à sua escala (Daubechies, 1992). Uma vantagem importante das TO é a capacidade de executar uma análise local, isto é, a análise de uma área localizada dentro de um sinal maior.

Matematicamente, a TO é definida como a somatória sobre todos os tempos de um sinal ($f(t)$), multiplicado por uma função ondaleta (Ψ) (Misiti et al.,1997):

$$C(\text{escala}, \text{posição}) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\Psi(\text{escala}, \text{posição}, t)dt \quad (3.20)$$

O resultado da TO são muitos coeficientes de ondaletas C , os quais são funções da escala e posição. Uma função ondaleta numa escala a e posição b pode ser definida como:

$$y_{a,b}(t) = a^{-1/2}y\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3.21)$$

onde, a e b são valores reais e $a > 0$.

As ondaletas possuem propriedades de dupla localização, tanto no domínio temporal quanto no domínio das frequências. Neste sentido, a transformada de ondaletas é do tipo

local em tempo-freqüência, com resoluções temporal e freqüencial inversamente proporcionais (Daubechies, 1992).

Numa análise de TO, freqüentemente fala-se de aproximação e detalhes. As aproximações são as escalas altas, componentes de baixa freqüência do sinal. Os detalhes são escalas baixas, componentes de alta freqüência. Mallat (1989) desenvolveu um algoritmo eficiente para implementar um método de decomposição usando o filtro *Quadrature Mirror Filters* (QMF) para processamento de sinais. Este filtro segue uma decomposição hierárquica de sinais para canais de freqüência independentes (Cohen e Froment 1991), temos:

$$F(x, y) = f(x)f(y) \quad (3.22)$$

uma função escalonada bidimensional 2D, $y(x)$ é a ondaleta unidimensional 1-D correspondente a $f(x)$, a qual pode ser definida por três ondaletas

$$Y^1(x, y) = f(x)y(y) \quad (3.23)$$

$$Y^2(x, y) = y(x)f(y) \quad (3.24)$$

$$Y^3(x, y) = y(x)y(y) \quad (3.25)$$

e a imagem $f(x,y)$ pode ser decomposta em quatro partes:

$$A_{2^j}^d f = (f(x, y) * f_{2^j}(-x)f_{2^j}(-y))(2^{-j}n, 2^{-j}m)_{n,m \in Z^2} \quad (3.26)$$

$$D_{2^j}^1 f = (f(x, y) * f_{2^j}(-x)y_{2^j}(-y))(2^{-j}n, 2^{-j}m)_{n,m \in Z^2} \quad (3.27)$$

$$D_{2^j}^2 f = (f(x, y) * y_{2^j}(-x)f_{2^j}(-y))(2^{-j}n, 2^{-j}m)_{n,m \in Z^2} \quad (3.28)$$

$$D_{2^j}^3 f = (f(x, y) * y_{2^j}(-x)y_{2^j}(-y))(2^{-j}n, 2^{-j}m)_{n,m \in Z^2} \quad (3.29)$$

onde $A_{2^j}^d f$ é a aproximação de $f(x,y)$ numa resolução 2^j , $D_{2^j}^1 f$ é o detalhe de alta freqüência na direção y (a borda ao longo de x), $D_{2^j}^2 f$ é o detalhe de alta freqüência na

direção x (a borda ao longo de y) e $D_{2^j}^3 f$ é o detalhe de alta frequência na direção x e y. Suponha um campo original digitalizado S com um tamanho de NxN pixels. Para qualquer $J \in \mathbb{N}^*$, este pode ser representado por $1+3|J|$ imagens na decomposição de ondaletas: $\{ A_J, (D_j^1)_{0 \leq j \leq J}, (D_j^2)_{0 \leq j \leq J}, (D_j^3)_{0 \leq j \leq J} \}$. A imagem A_J é composta de $2^{-2|J|} N^2$ pixels e este é o mesmo para cada detalhe da imagem D_j^d . Por exemplo, se o campo original é constituído de $N \times N = 168 \times 168$ pixels, para $J=1$ (um nível de decomposição), as dimensões da aproximação e detalhes $\{ A_1, D_1^1, D_1^2, D_1^3 \}$ resultarão em $2^{-2|1|} N^2 = (1/4)168 \times 168 = 84 \times 84$ pixels, e com quatro $(1+3|1|)$ imagens na decomposição de ondaletas.

Existem vários tipos de ondaletas, para serem especialmente utilizadas em análises de multiresolução, e para selecionar a mais adequada para sinais meteorológicos, dependerá dos diferentes critérios e objetivos da aplicação. Neste trabalho utiliza-se as ondaletas da família *Biorthogonal*, esta família de ondaletas se caracteriza pela propriedade de fase linear ou simetria, a qual é necessária para reconstrução de sinais e imagens (Strang, 1996). Ela utiliza duas ondaletas, uma para decomposição e outra para reconstrução, uma vez que se conhece que termos tais como simetria e reconstrução exata são incompatíveis se o mesmo filtro é utilizado para decomposição e reconstrução (Daubechies, 1992).

Desde que as transformadas de ondaletas são filtros de passa-banda com uma função resposta conhecida (a função ondaleta), é possível reconstruir a imagem original usando o filtro inverso. No caso do pré-processamento dos dados do modelo Global (T126), esta técnica terá como objetivo reduzir a dimensão original dentro de uma precisão aceitável e preservar as informações importantes do campo a ser analisado. Treinando a RNA para realizar mapeamentos no domínio dos coeficientes de ondaletas (aproximação e detalhes), espera-se reduzir o tempo de processamento sem diminuir a precisão e a exatidão dos resultados.

Para o caso da previsão espacial de precipitação, a TO para um nível de decomposição será aplicada às saídas do MCGA/T126 e aos dados de chuva 3B42 que apresentam uma

matriz de 26x18, isto é, a dimensão da matriz dos coeficientes de aproximação e detalhes será reduzido a metade 13 x 9. Assim, os coeficientes serão treinados separadamente numa RNA. Depois do treinamento, para poder reconstruir a matriz original a partir das saídas da rede neural, será aplicada a TO inversa. O pacote que será usado para a aplicação das Ondaletas é Wavelet Toolbox implementado no software Matlab v.5.1 (Misiti et al, 1997).

A Figura (3.5) exemplifica a decomposição num nível de um campo de temperatura derivado do modelo T126, utilizando a ondaleta *Biorthogonal* 3.7. A dimensão do campo original é 26x18, depois da decomposição para J=1 (um nível de decomposição), a dimensão da aproximação e detalhes $\{A_1, D_1^1, D_1^2, D_1^3\}$ será 13x9. Posterior a decomposição do campo original, aplica-se a TO^{-1} para reconstruir a imagem a sua dimensão original.

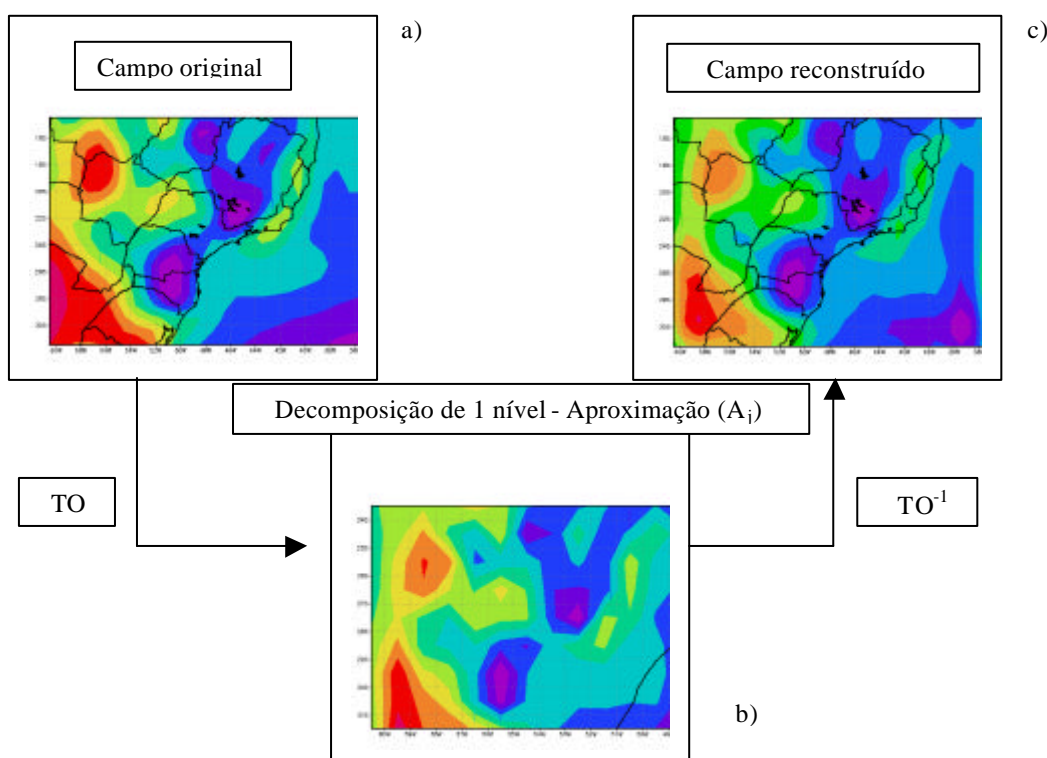


FIGURA 3.5 – Decomposição num nível do campo de temperatura em 1000 hPa, derivado do modelo T126 do dia 18 de janeiro de 2001: campo de temperatura original (a), campo decomposto num nível (b) e campo reconstruído (c).

3.2.4 Critério de Análise dos Resultados

Para determinar a acurácia dos resultados obtidos pelos diversos modelos (RNA, RLM e Eta) em relação à série observada, serão utilizados alguns índices estatísticos que são detalhados a continuação.

3.2.4.1 Previsão Espacial

- *Equitable Threat Score (ETS)*: este índice mede a habilidade do modelo para prever eventos classificados em categorias. O ETS pode ser considerado como a razão entre a área prevista corretamente pelo modelo e a área total da previsão mais da observação para o limite considerado, sendo expresso por:

$$ETS = \frac{H - CH}{F + O - H - CH} \quad \text{onde: } CH = \frac{F \times O}{N} \quad (3.30)$$

onde:

F é o número de pontos da precipitação prevista acima de um certo limiar,
O é o número de pontos de precipitação observada acima de um certo limiar,
H é o número de acertos,
CH é o número de pontos de acertos aleatórios, e
N é o número de pontos no domínio de verificação.

- *Bias Score (BIASS)*: o BIASS é definido como a razão entre o número de pontos de precipitação prevista acima de um certo limiar e o número de pontos da precipitação observada acima de um certo limiar:

$$BIASS = \frac{F}{O} - 1 \quad (3.31)$$

Quando a taxa de precipitação prevista é mais alta (mais baixa) que a observada, este índice está acima (abaixo) de 1. Uma previsão perfeita está relacionada a um ETS = 1 e um BIAS = 0.

A classificação de chuva e seus limiares utilizada para o cálculo do BIASS e o ETS na previsão espacial são apresentados na Tabela 3.2.

TABELA 3.2 - Classificação de Chuva e os Limiares Associados para a Previsão Espacial

| Classificação de Intensidade de Chuva | Limiares de Precipitação (mm) |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| Fraca | 3,0 a 6,0 |
| Moderada | 10,0 a 20,0 |
| Forte | 30,0 a 40,0 |
| Intensa | Acima de 40 |

3.2.4.2 Previsão Pontual

- *BIAS*: é uma variável que indica a direção média dos desvios de um conjunto de previsões a partir de um conjunto de valores observados. Este valor indica a tendência, BIAS positivos indicam superestimativas, enquanto que valores negativos indicam subestimativas. A expressão é definida por:

$$BIAS = \frac{1}{M_{total}} \sum_{i=1}^{M_{total}} (P_i - P_i^*) \quad (3.32)$$

onde, P_i , são as previsões, P_i^* são os dados observados e M_{total} é o número de casos.

- *Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM)*: é uma das medidas dos padrões da acurácia das previsões que indica a magnitude média do erro, mas se diferencia do EAM, porque é mais sensível a erros da previsão grandes. Esse índice será mais influenciado quando no conjunto de previsões verificadas existam erros de maior magnitude, mesmo que

sejam poucos, do que quando ocorrem muitos erros pequenos, já que ao levar ao quadrado, os erros mais altos serão realçados. A REQM é definido como:

$$REQM = \sqrt{\frac{1}{M_{total}} \sum_{i=1}^{M_{total}} (P_i - P_i^*)^2} \quad (3.33)$$

- Coeficiente de Correlação (ρ): é uma medida da dependência linear entre dois conjuntos de dados, e pode ser expressa por:

$$r = \frac{M_{total} \sum_{i=1}^{M_{total}} P_i P_i^* - \sum_{i=1}^{M_{total}} P_i \sum_{i=1}^{M_{total}} P_i^*}{\sqrt{\left[M_{total} \sum_{i=1}^{M_{total}} P_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{M_{total}} P_i \right)^2 \right] \left[M_{total} \sum_{i=1}^{M_{total}} (P_i^*)^2 - \left(\sum_{i=1}^{M_{total}} P_i^* \right)^2 \right]}} \quad (3.34)$$

- *Skill Score* (*SS*): este índice mostra em valor de porcentagem a melhora da previsão de qualquer modelo estatístico sobre a previsão do modelo Eta.

$$SS = \left(\frac{E_{ETA} - E_{SM}}{E_{ETA}} \right) \times 100\% \quad (3.35)$$

onde E é o erro calculado e pode ser qualquer um das três medidas estatísticas mencionadas anteriormente: REQM, EAM ou BIAS. Um *SS* positivo indica melhorias da previsão do modelo estatístico em relação a previsão do modelo Eta.

3.2.5 Aplicação das Metodologias

Inicialmente, o conjunto total de dados foi normalizado antes de ser submetidos ao treinamento pela RNA. A seguinte expressão foi utilizada:

$$X_{k(normalizada)} = \frac{(X_K - \bar{X})}{S_D} \quad (3.36)$$

onde, X_k é o valor observado num tempo k , \bar{X} é o valor médio e S_d é o desvio padrão da amostra.

Foram desenvolvidas arquiteturas de RNA do tipo *FeedForward* com aprendizado supervisionado do tipo retropropagação, que tem como base a teoria apresentada na seção 3.2.1. A seleção do número de neurônios da camada interna foi testada entre os intervalos $(2n + 1)$ e $(2n^{1/2} + m)$, conforme Fletcher e Goss (1993), descrito na seção 3.2.1.1. Para a aplicação da técnica de RNA, se utilizou o simulador SNNS v4.1 (Zell, 1995) desenvolvido pelo “Institute for Parallel and Distributed High Performance System da Universidade de Stuttgart”. As redes desenvolvidas serão as ferramentas prognósticas para as estimativas de precipitação pontual e espacial como segue.

3.2.5.1 Previsão da Precipitação Pontual

Para realizar o *downscaling* estatístico das saídas do modelo Eta, para as estações meteorológicas localizadas na região de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (Figura (3.1)) serão fornecidos à rede os preditores e preditandos. Os preditores serão as variáveis em pontos de grade do modelo Eta mais próximos de cada estação (Figura (3.6)) correspondentes à 4 horários de previsões: 06:00 UTC, 12:00 UTC, 18:00 UTC e 00 UTC da rodada das condições iniciais das 00:00 UTC. O preditando será a precipitação diária, na estação correspondente. Os dados serão divididos por períodos: verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e inverno (junho, julho e agosto). Para cada estação será selecionado um conjunto de dados para treinamento e outro para teste. O conjunto de teste servirá para avaliar o desempenho da RNA depois do treinamento.

3.2.5.2 – Previsão da Precipitação (espacial) sobre o Sudeste do Brasil

Inicialmente, foi selecionada a área de estudo do domínio total do modelo de circulação geral T126 (Figura (3.2)) e do domínio total do produto 3B42 derivado do TRMM. Devido a uma pequena diferença nas resoluções do T126 (100 x 100 Km) e do 3B42 (110 x 110 Km) foi necessário degradar os dados do T126, obtendo assim, resoluções

iguais e compatíveis. Para isto utilizou-se uma subrotina do pacote *Grid Analysis and Display System (GRADs)* (Doty, 1992), que realiza uma interpolação bicúbica.

Os preditores para a previsão espacial foram as saídas do MCGA nos horários mencionados e os preditandos os dados de precipitação derivado do TRMM (produto 3B42). Os preditores do MCGA correspondem a 4 horários de previsões: 06:00 UTC, 12:00 UTC, 18:00 UTC e 00:00 UTC, da rodada das condições iniciais das 00:00 UTC. A seleção de quatro horários diferentes se justifica devido ao fato de fornecer à RNA condições prévias da circulação atmosférica que originaram a chuva observada.

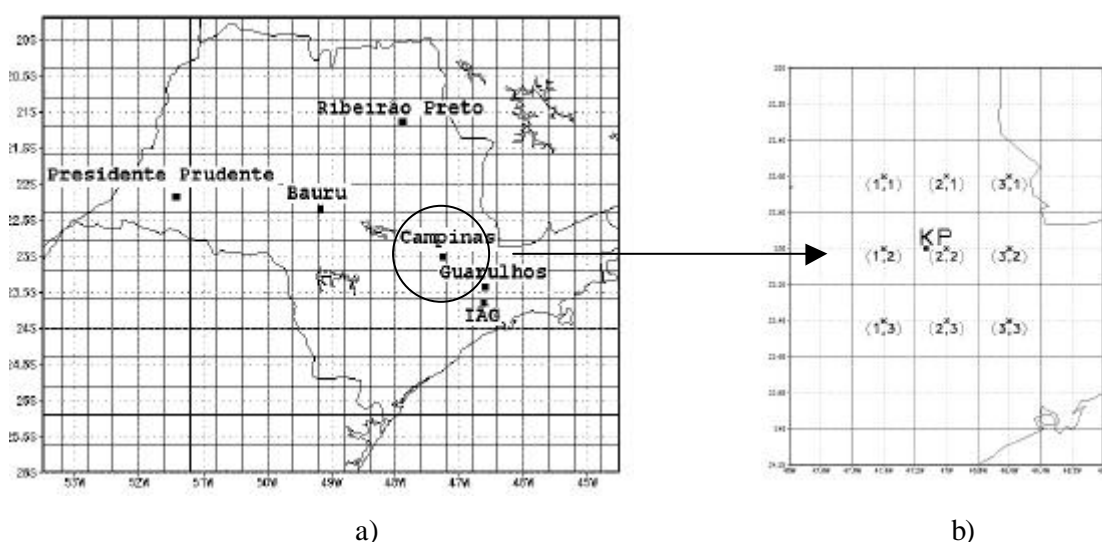


FIGURA 3.6 - a) Mapa do Estado de São Paulo ilustrando a posição das estações (●); b) pontos de grade mais próximos a estação de Campinas (KP) (+), selecionados para o *downscaling* estatístico.

3.2.6 – Variáveis do Modelo Eta e MCGA Selecionadas como Preditores no Treinamento da RNA.

Para a escolha das variáveis predictoras derivadas dos modelos Eta e Global devem ser considerados alguns aspectos que são discutidos a seguir:

- a) precisão do modelo em relação a previsão de determinadas variáveis. A qualidade da previsão de algumas variáveis, tais como pressão, temperatura e vento, é melhor do que as relacionadas à umidade, como é o caso da precipitação

(Chou e Justi da Silva, 1999). Assim, uma variável que fisicamente está relacionada ao processo de precipitação, não necessariamente será um bom preditor para a RNA, se o modelo não tiver um bom grau de acurácia em sua previsão. Desta forma, uma variável que não está relacionada diretamente com o processo de precipitação poderia ser melhor preditor para a RNA se seu valor for previsto com precisão quando comparado com aquela variável que fisicamente está relacionada, mas não apresenta uma boa precisão em sua previsão. Um estudo recente sobre a avaliação da destreza do modelo Global do CPTEC durante ocorrência de ZCAS (Mendonça, 1999) mostrou que os campos de geopotencial em 500 e 250 hPa, temperatura virtual em 1000 hPa, vento horizontal e zonal em 250 hPa, umidade específica em 1000 hPa, apresentam uma melhor previsibilidade. Por outro lado, a convergência de umidade não teve esse comportamento;

- b) outro aspecto muito importante a ser considerado é a região de estudo e a época do ano. Como mencionado na introdução é necessário ter um conhecimento básico sobre o problema a ser tratado, neste sentido o embasamento teórico e observacional existente sobre os sistemas meteorológicos da região de estudo (Sul/Sudeste) é de vital importância. O estudo sinótico observacional que será apresentado em capítulos posteriores nos auxiliará na determinação das variáveis preditoras;
- c) para a seleção dos melhores preditores, existem técnicas estatísticas, que relacionam um conjunto de preditores com o preditando através de correlações cruzadas, não incluindo necessariamente o embasamento teórico ou físico anteriormente mencionado. As técnicas mais conhecidas são: a análise de *stepwise* e componentes principais (Maier e Dandy, 2000). Entretanto, os preditores selecionados por meio destas técnicas nem sempre são os melhores, uma vez que estes métodos avaliam somente relações lineares entre o preditor e o preditando, e conhece-se que para o caso específico de precipitação, processos físicos altamente não lineares prevalecem. Por esse motivo, utiliza-se esta técnica não linear das RNAs para fazer a previsão. Na realidade, pouco se sabe

de como selecionar o melhor preditor para uma rede neural antes do processo de treinamento.

Neste contexto, e considerando os pontos expostos acima a seleção dos preditores foi baseado na identificação dos sistemas sinóticos dominantes durante o período de estudo (verão, inverno e primavera). Isto é, uma vez determinado os sistemas mais dominantes associados a chuva se selecionaram as variáveis atmosféricas que melhor caracterizassem esses sistemas.

Dentro da escolha dos preditores, não foi incluída a precipitação, pois as comparações foram feitas depois do aprendizado da rede com as próprias previsões do Eta e MCGA. Especificamente, para o caso da estimativa de precipitação pontual, a precipitação prevista do Eta não foi incluída, já que os resultados de um estudo comparativo entre os dados observados e previstos pelo modelo Eta (Valverde et al., 2002) mostraram que as previsões da precipitação quando comparadas com as observadas apresentavam um erro quadrático médio alto com coeficientes de correlação muito baixos. Somente a partir do ano 2000 observou-se uma melhora devido as mudanças nas parametrizações do modelo conforme documentado na seção 3.1.2.

Apresenta-se no próximo capítulo uma climatologia sinótica sobre os sistemas associados à ocorrência de precipitação, isto permitirá identificar as variáveis predictoras a serem utilizadas. Os resultados deste capítulo também auxiliarão na análise dos resultados do desempenho da RNA.

3.2.7 Experimentos Realizados

Foram realizados vários experimentos com o conjunto de dados selecionados (precipitação observada e dados do modelo), com o intuito de determinar o melhor arranjo de dados que otimize o modelo de previsão implementado através da RNA.

3.2.7.1. Previsão Pontual

- a) **Experimento 1:** Utilização da série total de dados, para a estação de verão, período de dezembro de 1997 a dezembro de 2002. O período de verão definido envolve os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Para cada mês foi construída uma RNA, e utilizaram-se os 4 verões (1997-1998, 1998-1999, 1999-2000, 2000-2001) para treinar a rede e o último verão 2001- 2002 para testar a rede. Para o período de inverno foram selecionados os meses de junho, julho e agosto, onde os primeiros quatro invernos serviram para treinar a RNA e o último para testar. Foi construída uma RNA de previsão para cada mês do inverno;
- b) **Experimento 2:** O arranjo dos dados foi da mesma forma que no experimento 1, mas incluiu-se como variável preditora a precipitação observada na estação no dia anterior à previsão. Este experimento não foi feito para o período de inverno, uma vez que a precipitação é escassa e menos continua;
- c) **Experimento 3:** Neste experimento utilizou-se a série de dados a partir do ano 2000 até 2002, uma vez que em 2000 o modelo Eta sofreu modificações em seu código (ver seção 2.1.2) que influenciaram positivamente no campo de precipitação. Desta forma, utilizou-se apenas três verões (Dez 1999 - Jan 2000 – Fev 2000, Dez 2000-Jan 2001-Fev 2001, Dez 2001 - Jan 2002 – Fev 2002) e três invernos (Jun – Jul- Ago 2000, Jun –Jul - Ago 2001, Jun-Jul-Agos 2002). Os dois primeiros anos serviram de treinamento e o último de teste. Desenvolveu-se uma arquitetura de previsão para cada mês. Na literatura existente relacionada a aplicação de *downscaling* recomenda-se utilizar uma série de dados homogêneos, isto garante um melhor aprendizado, e conseqüentemente uma melhor previsão (Kumar et al., 1999);
- d) **Experimento 4:** O período de dados utilizados foi como no experimento 3, porém, se incluiu como variável preditora a precipitação observada no dia anterior, e somente se selecionou como período de teste fevereiro de 2002.

3.2.7.2 Previsão Espacial

- a) **Experimento 1:** O período selecionado foi o início do ano 2000, época em que o modelo Global T126 entrou em operação, não sofrendo mais alterações em suas parametrizações. A série de treinamento compreendeu os anos de 2000 e 2001 e a série para teste o ano de 2002. Para este caso foram considerados os períodos de verão e primavera (setembro, outubro e novembro) e não os de verão e inverno como na previsão pontual, uma vez que o período de inverno do T126 tinha informação incompleta. O arranjo dos dados foi da mesma forma que no experimento 3 da previsão pontual, obtendo-se uma RNA de previsão para cada mês do verão 2001 e 2002 e primavera 2002;

- b) **Experimento 2:** Trabalhou-se com a mesma série de tempo utilizada no experimento 1, mas incluiu-se como variável preditora a precipitação (imagem do 3B42 - TRMM) de um dia anterior a previsão.

CAPÍTULO 4

CLIMATOLOGIA SINÓTICA DA REGIÃO SUDESTE E SUL DO BRASIL

Este Capítulo tem como objetivo identificar os diferentes sistemas meteorológicos associados à ocorrência de chuva que afetaram as regiões Sudeste e Sul, durante o período de estudo. Isto possibilitará identificar os preditores a serem utilizados nos modelos estatísticos de previsão, e auxiliará a interpretação dos resultados. As análises foram feitas tendo como base os campos de circulação gerados pelos modelos Eta e Global/T126 nos níveis de 850, 700, 500, 300 e 200 hPa e as imagens do satélite GOES-8, disponíveis no CPTEC. Utilizaram-se os critérios de Quadros (1994) para determinar ocorrência de ZCAS, do Gan (1982) e Valverde (1996) para a identificação de VCANs do Nordeste, de Gan (1992) para ocorrência de ciclogêneses, e de Lourenço (1996) para ocorrência de VCANs oriundos de latitudes extratropicais.

O estudo compreende os períodos de verão (1997-2002), inverno (1998-2002) e primavera (2000 – 2002). Deve-se destacar que serão avaliados apenas os sistemas meteorológicos de escala sinótica associados à precipitação, uma vez que estão sendo utilizadas as análises de modelos de PNT (Eta e Global/T126).

4.1 Períodos de Verão

Verão 1997 – 1998

Em escala global, o verão 1997/1998 esteve influenciado pela fase final do fenômeno El Niño. Nos meses de dezembro e janeiro, este fenômeno ainda estava intenso, mas em fevereiro iniciou-se a sua fase de decaimento (Climanálise, 1998). No mês de dezembro a atuação de vórtices ciclônicos de altos níveis (VCANs) sobre o Nordeste esteve presente, dificultando o deslocamento dos SFs, mantendo-os estacionários sobre o Sudeste.

Em janeiro, observou-se um VCAN quase estacionário, posicionado no centro da Bahia impedindo o deslocamento dos SFs para o norte. Em fevereiro a ZCAS se estabeleceu entre os dias 12 e 16. O padrão da circulação atmosférica em altos níveis (250 hPa) mostrou que este evento esteve associado a um VCAN sobre o Nordeste e com a alta da Bolívia (AB) que estava deslocada para oeste de sua posição climatológica. Uma característica frequente neste tipo de situação é uma circulação anticiclônica fechada em 200 hPa a sudoeste do VCAN. Como consequência, a convecção sobre a ZCAS é reforçada (Valverde, 1996; Valverde et al., 1999). A Figura (4.1) exemplifica este tipo de situação destacando uma banda de nebulosidade na região Sudeste (Figura (4.1a)). Nos campos de linhas de corrente e vorticidade, observa-se o VCAN (vorticidade ciclônica) no litoral norte da Bahia e uma circulação anticiclônica (divergência) sobre a região Sudeste (Figura (4.1.b)).

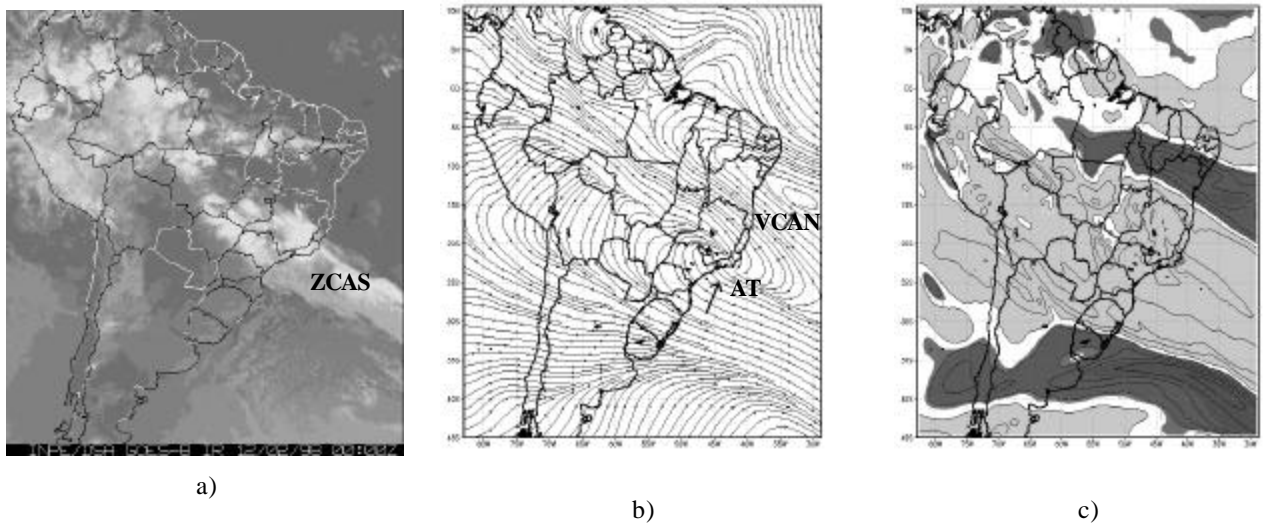


FIGURA 4.1- Imagens do satélite GOES-8, canal infravermelho (a), campos de linhas de corrente (b) e vorticidade em 250 hPa (c), derivados do modelo Eta, para o 12 de fevereiro de 1999. A área escura (clara) indica valores menores (maiores) que -3×10^{-5} ($3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$).

Neste mês, observou-se também um VCAN proveniente de latitudes médias que afetou o litoral da região Sudeste. A Tabela 4.1 resume o número de SFs que atuaram nos meses de verão sobre a região Sul e os que se deslocaram até a região Sudeste.

Verão 1998 - 1999

O verão de 1998/1999 foi caracterizado pelo padrão La Niña (Climanálise, 1999). Neste verão ocorreram três casos de ZCAS em função dos sistemas frontais que permaneceram semi-estacionários sobre o Sudeste do Brasil. No mês de dezembro alguns SFs que se deslocaram pelo interior e litoral do Sudeste, permaneceram estacionários devido a presença de VCANs no Nordeste. Observou-se também na última semana do mês um complexo convectivo de mesoescala (CCM) e cavados em altos e médios níveis atingindo a região Sudeste. A Figura (4.2) exemplifica na imagem GOES-8 um caso típico de SF (a) pela presença de um VCAN semi-estacionário sobre o norte da Bahia. Por outro lado, o campo de linhas de corrente (b) e o de vorticidade relativa (c) em 200 hPa mostram que o SF em superfície está associado a um VCAN sobre o sul do Brasil, oriundo de latitudes subtropicais, o qual reforça a atividade convectiva, originando uma circulação anticiclônica em altos níveis. Observa-se que a nebulosidade é reforçada sobre o Sudeste, especificamente sobre SP quando estes sistemas interagem.

O primeiro caso de ZCAS que esteve associado a um padrão de VCAN sobre o Nordeste, se estabeleceu entre os dias 6 e 18 janeiro, e foi reforçado por três dos SFs provenientes da região Sul. Em fevereiro, observaram-se dois casos de ZCAS na segunda quinzena do mês. O primeiro ocorreu entre os dias 19 a 23 e o segundo entre os dias 25 a 28. Neste período, os dois últimos SFs que atingiram a região Sudeste permaneceram estacionários e organizaram os dois eventos ZCAS ocorridos neste mês.

O número de SFs que atuaram nas regiões Sul e Sudeste nesse verão são mostrados na Tabela 4.1.

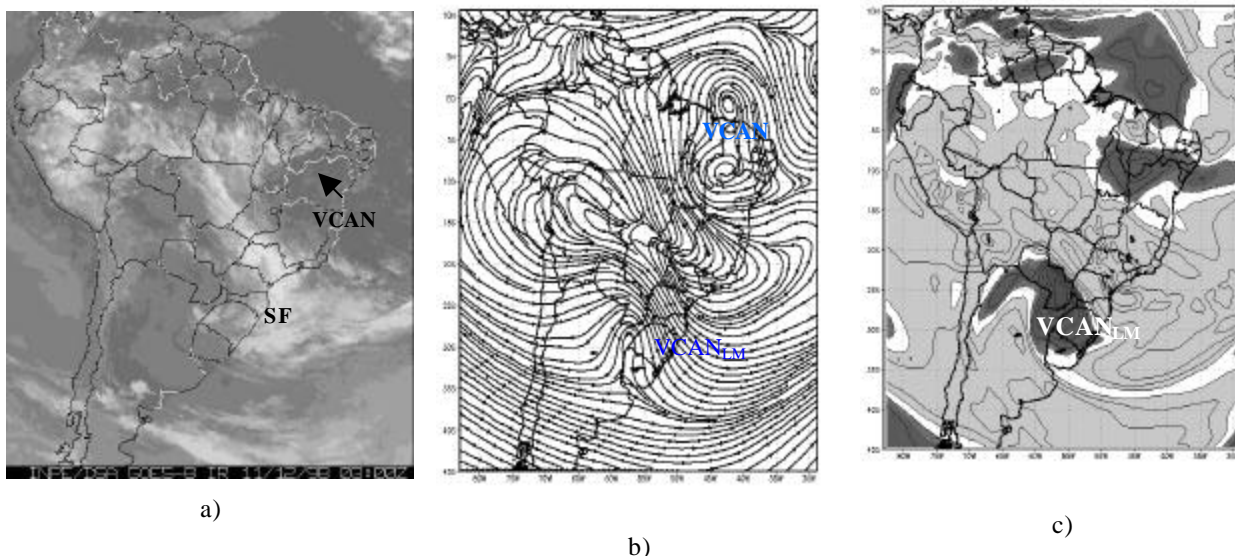


FIGURA 4.2 - Imagens do satélite GOES – 8, canal infravermelho, horário das 03:00 UTC (a), campos de linhas de corrente (b) e vorticidade em 250 hPa (c), derivados do modelo Eta, para o 11 de dezembro de 1998. A área escura (clara) indica valores menores (maiores) que -3×10^{-5} ($3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$).

Verão 1999 – 2000

No verão de 1999/2000, o fenômeno La Niña evidenciou sua fase madura (Climanálise, 2000). Neste verão contabilizaram-se cinco casos de ZCAS. No mês de dezembro os eventos ocorreram nos períodos: 8 a 14 e 16 a 20. O primeiro caso esteve associado ao padrão VCAN sobre o nordeste. Os dois primeiros SFs desse mês contribuíram na formação do primeiro evento ZCAS. O segundo evento se localizou sobre a região Nordeste, afetando de forma isolada o norte da região Sudeste. Neste mês, também foram observados VCANs de latitudes médias interagindo com os SFs no sul e sudeste do Brasil, causando aumento das chuvas. Como exemplo, observa-se na imagem do dia 13/12/99 (Figura 4.3.a) um VCAN de latitudes médias atuando sobre a região Sul e Sudeste. Observa-se que o ciclone está bem configurado, porém a nebulosidade induzida por este sistema também interage com a ZCAS (primeiro caso) que estendia-se zonalmente sobre a

Bahia e regiões oceânicas adjacentes. Nos campos de linha de corrente, pode-se observar o centro do ciclone em altos e médios níveis localizado sobre o leste da Argentina e Sul do Brasil.

Em janeiro também contabilizaram-se dois casos de ZCAS compreendidos entre os dias 1 a 9 e 21 a 24, o primeiro deles esteve associado a um padrão de VCAN. A Figura (4.3.b) exemplifica este caso; observa-se na imagem do dia 03/01 uma banda de nebulosidade associada as ZCAS sobre o Sudeste, interagindo com o setor oeste da nebulosidade do VCAN sobre a Bahia. O campo de linhas de corrente mostra o VCAN e a crista (CR) associada a ZCAS em 200 e 500 hPa, respectivamente. O último evento ZCAS deste verão ocorreu no mês de fevereiro, no período do 6 a 13. O número de SFs que atingiu as regiões Sul e Sudeste no verão 1999-2000 é contabilizado na Tabela 4.1.

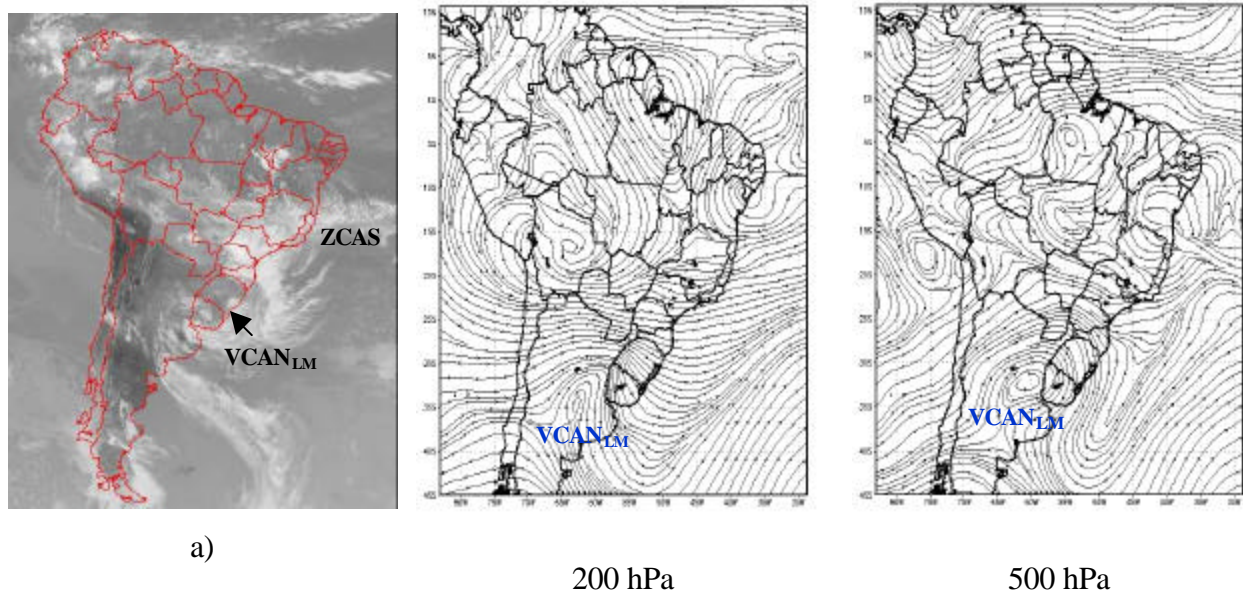
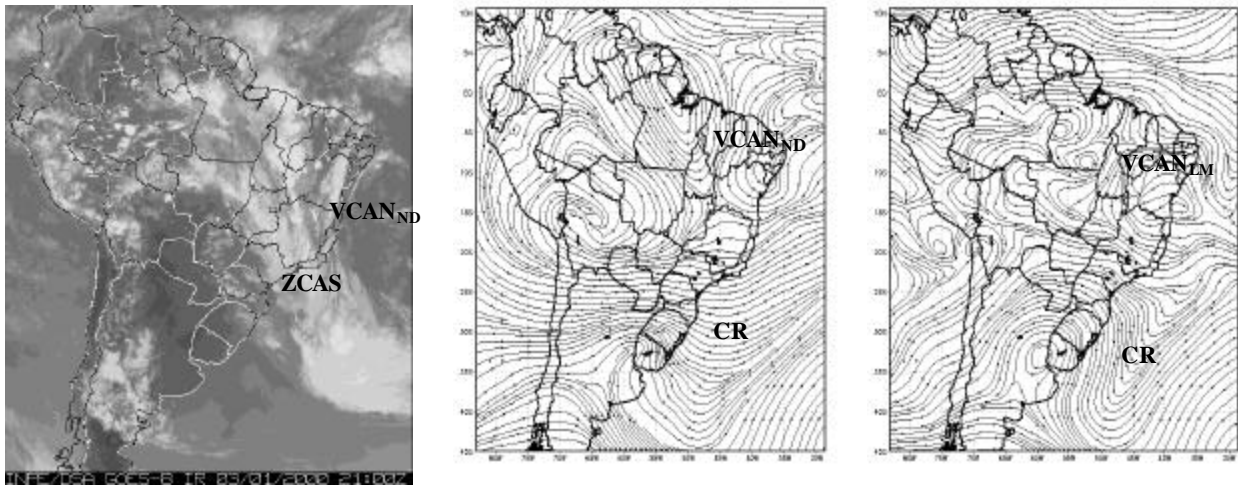


FIGURA 4.3. – Imagens do satélite GOES – 8, canal infravermelho, e campos de linha de corrente, derivados do modelo Eta: a) 13 de dezembro, 1999, b) 6 de janeiro 2000.



b)

200 hPa

500 hPa

FIGURA 4.3 - Continuação.

Verão 2000 – 2001

No verão 2000/2001 houve a desintensificação do evento La Niña (Climanálise, 2001). Neste período evidenciaram-se três casos de ZCASs, sendo que os dois primeiros ocorreram em dezembro (1-8 e 17-22) e estiveram associados ao padrão VCAN. Em janeiro, um caso de ZCAS foi registrado entre os dias 1 a 4. VCANs deslocados para o interior do continente estiveram presentes durante quase todo o período, inclusive interagindo também com a ZCAS. Conseqüentemente, também observaram-se oscilações na AB, com uma tendência para situar-se a Oeste de sua posição climatológica. Nenhum caso de ZCAS foi detectado no mês de fevereiro. Por outro lado, devido a atuação de alguns VCANs sobre o norte do Sudeste, os SFs tiveram pouca atuação na região, e como conseqüência a nebulosidade foi escassa. A Tabela 4.1 mostra o número de sistemas frontais que afetaram a região de estudo nesse período.

Verão 2001 – 2002

Neste verão, o evento La Niña tinha-se desconfigurado e houve um aquecimento no Pacífico Centro - Oeste Equatorial. As temperaturas da superfície do mar permaneceram acima da média, porém não havia evidências de um desenvolvimento do episódio El Niño (Climanálise, 2002). Foram observados 4 casos de ZCAS, dois em dezembro (17 a 21, e 24 a 28) e dois em fevereiro (4 a 7, 16 a 24). Em janeiro não se observaram eventos de ZCAS. A interação de VCANs com os SFs contribuiu para uma maior convectividade sobre o setor norte da região Sudeste.

Os casos de ZCAS do mês de fevereiro estiveram associados à ocorrência de VCANs sobre o Nordeste, que persistiram praticamente durante todo o verão. Além disso, foram observados VCANs de latitudes médias sobre o Sul e Sudeste, que ao interagir com os SFs provocaram instabilidade nessa região. A Figura (4.4), relativa ao dia 29 de dezembro de 2001, exemplifica a interação entre um SF e a nebulosidade ocasionada por um cavado em 500 hPa sobre a região sul e sudeste. Observa-se uma desconfiguração do SF, no entanto a convecção é acentuada pela presença do cavado. Na Tabela 4.1 contabilizasse os SFs que afetaram as regiões Sul e Sudeste do Brasil.

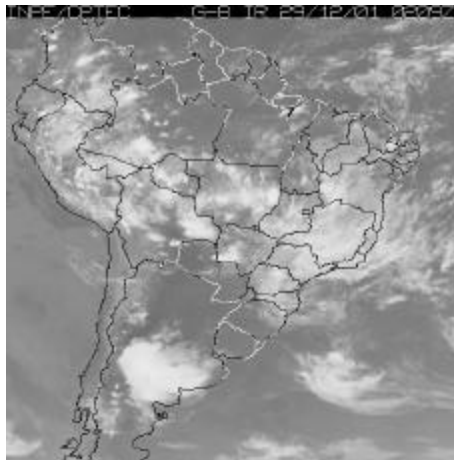


FIGURA 4.4 – Imagem do satélite GOES-8, canal infravermelho, dia 29 /12/2001.

TABELA 4.1 – Sistemas Sinóticos que afetaram a Região de Estudo nos Verões Compreendidos entre 1997-2002.

| | | ZCAS | SFs | VCANs (ND) | VCANs (LM) | CCMs | Escala Global |
|------------------------|------------|----------------------|------|------------|------------|------|---------------|
| Verão 1997-1998 | Dez | - | 5(8) | 1 | - | - | El Niño |
| | Jan | - | 4(7) | 1 | - | - | El Niño |
| | Fev | 1(12-16) | 6(6) | 1 | 1 | - | El Niño |
| Verão 1998-1999 | Dez | - | 6(7) | 1 | - | 1 | La Niña |
| | Jan | 1(6-18) | 5(8) | 2 | 1 | - | La Niña |
| | Fev | 2 (19-23) (25-28) | 6(6) | - | - | - | La Niña |
| Verão 1999-2000 | Dez | 2 (8-14) (16-20) | 7(7) | 2 | 1 | - | La Niña |
| | Jan | 2 (1-9) (21-24) | 5(5) | - | - | 1 | La Niña |
| | Fev | 1 (6-13) | 4(5) | - | - | - | La Niña |
| Verão 2000-2001 | Dez | 2 (1-8) (17-22) | 6(9) | 2 | - | 1 | La Niña |
| | Jan | 1(1-4) | 5(7) | 2 | - | - | La Niña |
| | Fev | - | 4(7) | 1 | - | - | La Niña |
| Verão 2001-2002 | Dez | 2 (17-21) (24-28) | 4(5) | - | - | - | Normal |
| | Jan | - | 4(6) | 1 | 1 | - | Normal |
| | Fev | 2(4-7) (16-24) | 1(4) | 2 | 1 | - | Normal |

Os números entre parênteses na coluna dos SFs correspondem ao número total de SFs que atingiram a região Sul e o número à esquerda corresponde aos que se deslocaram até a região Sudeste. Os números entre parênteses na coluna de ZCAS correspondem as datas de ocorrência desse fenômeno.

4.2 Períodos de Inverno

Os quatro invernos estudados correspondem ao período de 1998 a 2002. Nesta época do ano as precipitações diminuem consideravelmente. Apresenta-se uma síntese para cada período a seguir.

Inverno 1998

Este inverno marcou o final do fenômeno El Niño 1997 - 1998. Porém, os modelos já previam o início de um novo fenômeno La Niña naquele ano (Climanálise, 1998). No mês de junho contabilizaram-se seis SFs, dos quais cinco atingiram o setor leste e a faixa litorânea da região Sudeste, alguns com maior ou menor intensidade. Cavados de altos e médios níveis oriundos de latitudes médias interagiram algumas vezes com os SFs, reforçando a instabilidade e causando chuvas sobre a região. Para Julho os seis SFs que afetaram a região Sul, deslocaram-se pelo litoral do Sudeste. Por outro lado, em agosto contabilizaram-se nove SFs, sendo que apenas sete deles, se deslocaram até o Sudeste (Tabela 4.2). Sistemas de baixa pressão e cavados oriundos de latitudes médias também foram observados afetando a região Sudeste durante esse período. Outra característica observada foi a presença do jato subtropical intenso sobre o Sudeste do Brasil na primeira semana de Agosto.

Inverno 1999

Neste inverno o fenômeno La Niña já estava estabelecido, e nos meses de junho e julho teve intensidade entre fraca a moderada. Somente no mês de agosto observou-se um fortalecimento desse fenômeno (Climanálise, 1999). Neste inverno, junho apresentou a maior frequência de SFs (8) sobre a região sul do País, porém, somente cinco deles atingiram o interior e o litoral da região Sudeste. Além disso foram observados dois casos de VCANs que se posicionaram no Sul e se deslocaram até o Sudeste. Associados a estes sistemas, o jato se apresentou intenso. A imagem de satélite (Figura (4.5)) exemplifica um

destes casos; observa-se a nebulosidade associada a um VCAN de latitudes médias no dia 14 de junho de 1999, deslocando-se sobre o estado de Paraná (PR) e SP. Por outro lado, no mês de julho quatro SFs se deslocaram até a região Sudeste do Brasil, e em alguns casos estes eram reforçados quando interagiam com VCANs ou cavados de latitudes medias. No mês de agosto, somente quatro SFs posicionaram-se sobre a região Sudeste, os outros quatro que ingressaram pelo Sul do país permaneceram sobre essa região.

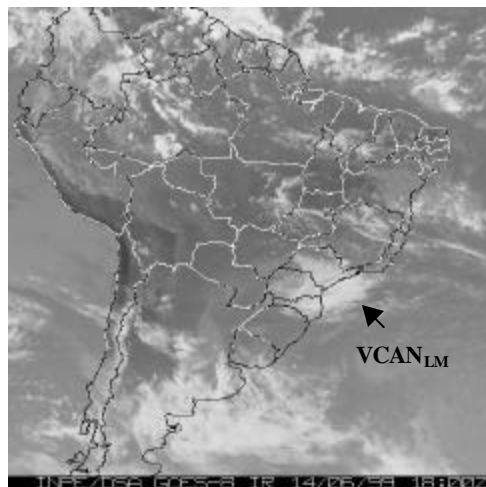


FIGURA. 4.5 - Imagem do satélite GOES-8, horário das 18:00 UTC, no canal infravermelho, do dia 14 de junho de 1999.

Inverno 2000

Durante este ano o fenômeno La Niña evolui para a sua fase madura, especificamente nos meses de junho e julho. Em agosto ele enfraqueceu, sobretudo ao longo do Pacífico Equatorial, onde ocorreram anomalias negativas de TSM (Climanálise, 2000). Durante esse período foram contabilizados seis SFs no mês de junho, sete em julho e seis em agosto. Em Junho, os seis SFs se deslocaram pelo litoral e interior da região Sudeste. Observou-se também neste mês um VCAN de latitudes médias que atingiu o Sul do Brasil no dia 3 de junho, e um cavado de altos níveis que atingiu a região Sudeste no dia 24 de Junho. No mês

de Julho seis sistemas frontais se deslocaram até a região de estudo, e um caso de ciclogênese também foi observado. Cinco SFs no mês de agosto atuaram sobre a região Sudeste; além disso, durante esse inverno a corrente de jato permaneceu intensa sobre o continente, reforçando os SFs, particularmente nos meses de julho e agosto.

Inverno 2001

No inverno do 2001 a circulação em escala global apresentou um padrão normal, não indicando a ocorrência do fenômeno El Niño (Cimanálise 2001). Foram contabilizados 20 SFs, oito no mês de junho, sete em julho, e 5 em agosto; desse total, 12 deles se deslocaram até a região Sudeste; sendo seis em junho, quatro em julho e dois em agosto (Tabela 4.2). Além disso, foram contabilizados quatro VCANs que afetaram a região Sudeste, dois no mês de junho e dois em agosto, os quais interagiram com os SFs aumentando a instabilidade em algumas regiões do Sudeste. No mês de julho os cavados nos níveis altos e médios reforçados pelo jato subtropical atuaram sobre a região. A Fig. 4.6.a exemplifica um caso de SF no dia 14/06/1999. Observa-se a presença de uma banda de nebulosidade associada ao sistema frontal estendendo-se sobre a região de SP, e a separação das duas massas de ar fria e quente (vide campo de temperatura). A imagem do satélite GOES-8 e o campo de linhas de corrente em 250 hPa da Figura (4.5.b), mostram um VCAN de latitudes médias atuando sobre a região de SP e Rio de Janeiro (RJ) que ocorreu na última semana de agosto.

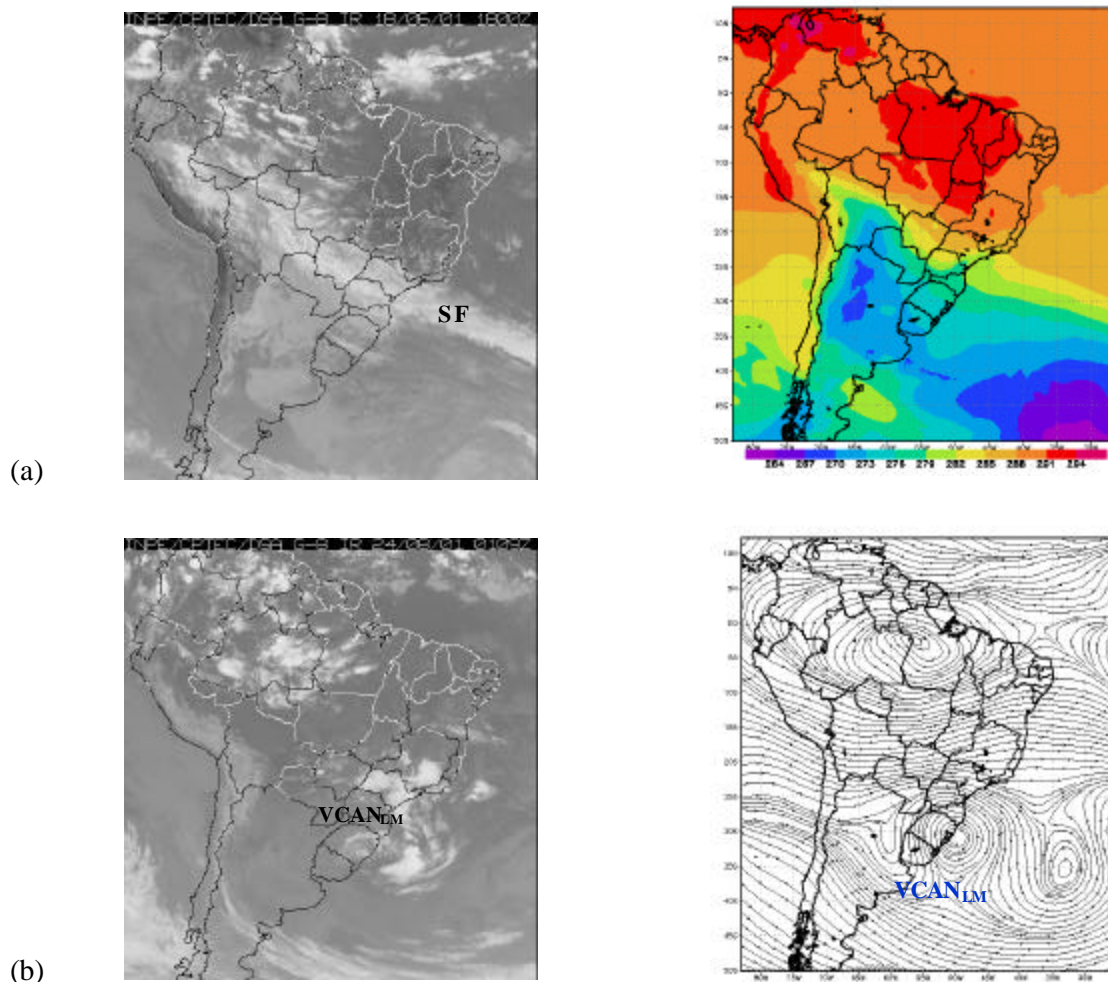


FIGURA. 4.6 – a) Imagem de satélite do GOES-8, no canal infravermelho e campo de temperatura no nível de 1000 hPa para o dia 18 de junho de 2001, b) imagem do GOES-8 e linhas de corrente em 200 hPa para o dia 24 de agosto de 2001.

Inverno 2002

Neste inverno, quando o fenômeno El Niño encontrava-se bem configurado, SFs e VCANs de latitudes medias atuaram sobre a região Sudeste. No mês de junho seis SFs ingressaram pelo sul do País mas somente três deles atingiram o litoral do Sudeste. Da mesma forma, somente três SFs atuaram sobre a região de estudo em julho; porém, VCANs e cavados em

níveis médios oriundos de latitudes extratropicais colaboraram para a ocorrência de chuvas. No mês de agosto observou-se uma frequência maior de SFs atingindo a região Sudeste (5). Foram observados também dois casos de VCANs interagindo com os SFs e causando muita instabilidade sobre o interior da região. Como exemplo, observa-se na Figura 4.7.a um VCAN de latitudes médias sobre a região de São Paulo e Paraná no dia 2 de agosto. Na Figura (4.6.b) destaca-se um sistema frontal se estendendo sobre SP e norte do PR, no final do mês de Agosto que causou muita instabilidade sobre a região devido a seu rápido deslocamento.

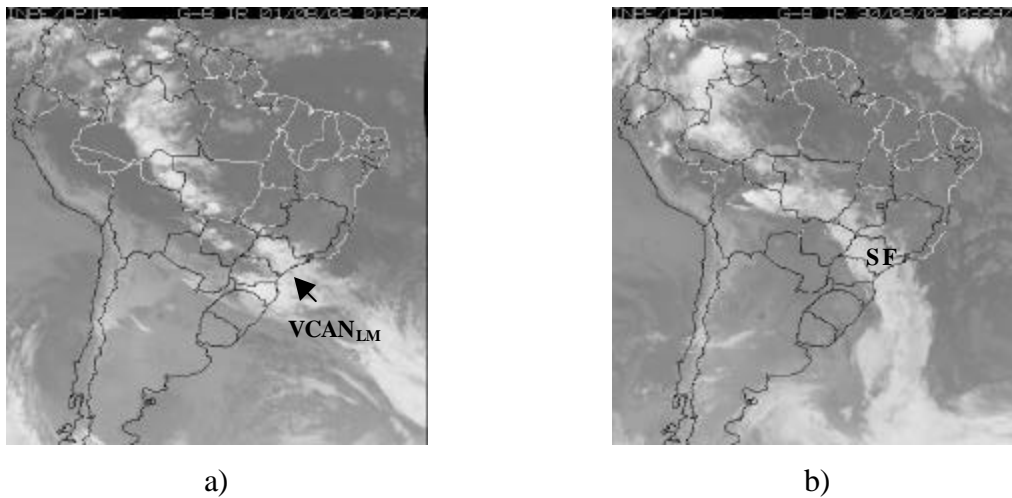


FIGURA 4.7 – Imagem do Satélite GOES-8, canal infravermelho: a) dia 2 de agosto de 2002, horário 03:00 UTC, b) dia 30 de agosto de 2002, horário 03:00 UTC.

A continuação se apresenta a Tabela 4.2 que resume os diferentes sistemas sinóticos que afetaram o período de inverno na região de estudo. Os números entre parênteses na coluna dos SFs correspondem ao número total de SFs que atingiram a região Sul e o número à esquerda corresponde aos que se deslocaram até a região Sudeste.

TABELA 4.2 – Sistemas Sinóticos que Afetaram as Regiões Sudeste e Sul do Brasil nos Invernos Compreendidos entre 1997-2002.

| | | SFs | VCANs (LM) | Ciclogêneses | CCMs | Cavados | Escala Global |
|---------------------|---------------|------|------------|--------------|------|---------|---------------|
| Inverno 1998 | Junho | 5(6) | - | - | - | 2 | El Niño |
| | Julho | 6(6) | - | - | - | 2 | El Niño |
| | Agosto | 7(9) | - | 1 | - | 1 | El Niño |
| Inverno 1999 | Junho | 5(8) | 2 | - | jato | - | La Niña |
| | Julho | 4(6) | 2 | - | - | 2 | La Niña |
| | Agosto | 4(7) | - | - | - | - | La Niña |
| Inverno 2000 | Junho | 6(6) | 1 | - | - | 1 | La Niña |
| | Julho | 6(7) | - | 1 | - | - | La Niña |
| | Agosto | 5(6) | - | - | - | - | La Niña |
| Inverno 2001 | Junho | 6(8) | 2 | 1 | - | 2 | Normal |
| | Julho | 4(7) | - | - | jato | 3 | Normal |
| | Agosto | 2(5) | 2 | - | - | - | Normal |
| Inverno 2002 | Junho | 3(6) | - | - | - | - | El Niño |
| | Julho | 3(7) | 1 | - | - | 1 | El Niño |
| | Agosto | 5(6) | 2 | - | - | - | El Niño |

Os números entre parênteses na coluna dos SFs correspondem ao número total de SFs que atingiram a região Sul e o número à esquerda corresponde aos que se deslocaram até a região Sudeste.

4.3 Períodos de Primavera

Primavera 2000

Em escala global este período esteve influenciado pelo fenômeno La Niña que se encontrava em sua fase de decaimento (Climanálise, 2000). Em setembro, foram contabilizados sete sistemas frontais ingressando pelo sul do Brasil, sendo que apenas cinco deles atingiram a região Sudeste. VCANs de latitudes médias e CCMs também foram

observados durante este mês nas regiões Sul e Sudeste. Além disso, dois VCANs (Figura (4.8)) de latitudes médias que se estenderam até superfície originaram ciclogêneses causando grande instabilidade sobre o Sul e Sudeste do Brasil. A Figura (4.8) exemplifica um caso de ciclogênese (CG), na imagem de satélite observa-se a nebulosidade sobre a região de SP, PR, Santa Catarina (SC), e no campo do vento observa-se a circulação ciclônica sobre oceano frente ao litoral paulista. A presença de cavados em altos e médios níveis sobre a região Sul e Sudeste, reforçando os sistemas atuantes nessa região, caracterizaram o mês de Novembro. Sete SFs ingressaram pelo litoral brasileiro e seis deles deslocaram-se até o Sudeste. Neste mês, a presença acentuada de nebulosidade no norte da região Sudeste estava associada com VCANs do Nordeste. Ao longo desta primavera o jato subtropical também atuou reforçando os VCANs de latitudes médias e contribuindo para a formação de CCMs sobre o Sul do Brasil.

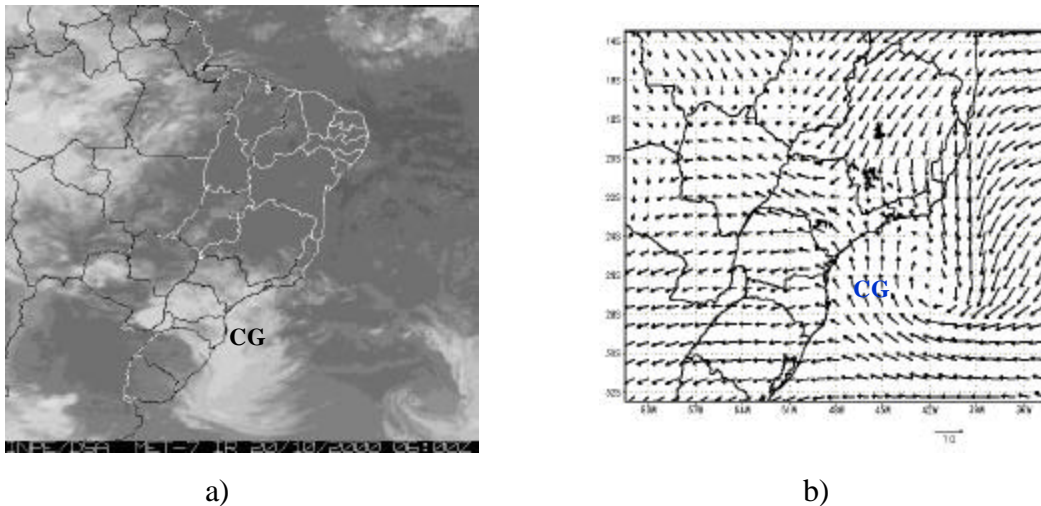


FIGURA 4.8 – a) Imagem do Satélite GOES-8 para o dia 20 de outubro de 2000, no horário das 06:00 UTC b) campo do vento no nível de 1000 hPa, ilustrando uma ciclogênese sobre as regiões Sudeste e Sul do Brasil.

Primavera 2001

Este período não esteve influenciado pelo fenômeno ENOS (Climanálise 2001). O mês de setembro se caracterizou pela ocorrência de ciclogêneses (4) na região Sul do Brasil e quatro dos cinco SFs que ingressaram pelo litoral Sul, atingiram o Sudeste. Além disso, um VCAN de latitudes médias foi observado no litoral do Rio de Janeiro, causando muita instabilidade na região. A atuação do jato subtropical esteve presente associado à ocorrência de ciclogêneses. O mês de outubro também foi marcado pela ocorrência de ciclogêneses, porém, de forma menos freqüente que em Setembro. Por outro lado, três VCANs de latitudes médias atuaram sobre a região de estudo, dois deles no Sul e o terceiro no litoral Sudeste. Quatro de seis sistemas frontais atingiram a região Sudeste, sendo quatro deles associados as ciclogêneses no Sul do País. Em novembro ocorreram dois eventos ZCASs (01 a 06 e 16 a 21), sendo que o segundo evento esteve associado ao padrão ZCAS/VCAN. Seis SFs ingressaram pelo Sul do País e cinco se deslocaram até o Sudeste. No Sul observou-se um CCM interagindo com os SFs reforçando a instabilidade sobre a região.

Primavera 2002

Em escala global, este período foi caracterizado pela presença do evento El Niño, enquanto que na escala sinótica as ciclogêneses sobre o Sul do Brasil, novamente foram as grandes responsáveis pelas chuvas no mês de setembro. Neste mês, sete SFs ingressaram pelo Sul do Brasil e cinco deles atingiram a região Sudeste. A atuação do jato subtropical junto com a ocorrência de ciclogêneses reforçou a instabilidade sobre o Sul do Brasil. Em outubro, foram contabilizados 10 SFs, dos quais apenas 6 atuaram sobre o Sudeste. Dois eventos de ciclogêneses foram observados associados a alta freqüência de SFs sobre a região do Sudeste. Por outro lado, no mês de novembro, 7 SFs ingressaram pelo Sul do País, sendo que 4 deles atuaram sobre a região Sudeste. Observou-se também que um VCAN do Nordeste próximo ao litoral da Bahia, ao interagir com um SF reforçaram a nebulosidade sobre a região Sudeste. Neste período também observou-se a atuação do jato subtropical intensificando a instabilidade das ciclogêneses atuantes na região sul do País.

TABELA 4.3 – Sistemas Sinóticos que Afetaram as Regiões Sudeste do Brasil nas Primaveras Compreendidos entre 1997-2002.

| | | SFs | VCAN _(LM) | VCAN _(ND) | ZCASs | CCMs | Ciclogênese | Cavados | Escala Global |
|-----------------------|------------|-------|----------------------|----------------------|--------------------|------|-------------|---------|---------------|
| Primavera 2000 | Set | 5(7) | 1 | - | - | 1 | - | 1 | La Niña |
| | Out | 7(7) | 2 | - | - | 1 | - | - | |
| | Nov | 6(7) | - | 2 | - | - | - | 4 | |
| Primavera 2001 | Set | 4(5) | 1 | - | - | - | 4 | - | Normal |
| | Out | 4(6) | 3 | 1 | - | - | 2 | - | |
| | Nov | 4(6) | 2 | 1 | 2 (1-6) (16-21) | 1 | - | - | |
| Primavera 2002 | Set | 5(7) | - | - | - | - | 2 | - | El Niño |
| | Out | 6(10) | - | 1 | - | - | 2 | 1 | |
| | Nov | 4(7) | - | 1 | - | - | - | - | |

Os números entre parênteses na coluna dos SFs correspondem ao número total de SFs que atingiram a região Sul e o número à esquerda corresponde aos que se deslocaram até a região Sudeste. Os números entre parênteses na coluna de ZCASs correspondem às datas de ocorrência desse fenômeno.

4.4 Sumário e Discussão dos Resultados

A circulação atmosférica de grande escala durante o período de estudo (verão, inverno e primavera) foi influenciado pelos fenômenos El Niño e La Niña. O verão de 1997-1998 marcou o final de El Niño. Os verões 1998 - 1999, 1999-2000, 2000 - 20001 estiveram influenciados pelo fenômeno La Niña, e em 2001 - 2002 tiveram um padrão normal, porém com tendência a El Niño.

Em geral, no período de verão, as ZCASs, os SFs e os VCANs do Nordeste foram os principais sistemas de tempo que atuaram sobre a região Sudeste, às vezes interagindo

entre eles, outras vezes atuando isoladamente. Ressalta-se a presença do VCAN do Nordeste, que esteve associado a nove dos dezesseis casos de ZCAS que ocorreram no período de estudo.

Observou-se que quando o VCAN interage com a ZCAS ou SF, a localização do centro do vórtice sobre o continente ou oceano é decisiva para reforçar ou inibir a convecção sobre a região Sudeste. O centro do VCAN sempre está relacionado com ausência de nebulosidade devido a subsidência que ocorre nesse lugar. Já o setor oeste, sudoeste e noroeste do VCAN a nebulosidade é mais evidente, sobretudo quando encontra-se sobre continente.

Algumas posições preferenciais foram observadas neste estudo, ou seja, quando o centro do vórtice se localiza em áreas oceânicas próximo ao litoral da Bahia, a banda de nebulosidade correspondente a seu setor sudoeste interage com o SF ou ZCAS, provocando nebulosidade sobre a região norte e centro do Sudeste. Por outro lado, quando o centro se localiza sobre a Bahia, seu setor oeste e sudoeste interage com o SF ou ZCAS e contribui para reforçar a nebulosidade sobre centro e sul da região Sudeste. Entretanto, quando o VCAN permanece por muito tempo dentro do continente, passa a ser um inibidor da convecção, além de impedir o deslocamento dos SFs para a região Sudeste. Ocasionalmente foram observados VCANs proveniente de latitudes subtropicais do Pacífico Sul e CCMs, interagindo com os SFs e reforçando convecção sobre a região Sudeste.

É importante destacar a interação da AB com todos os sistemas mencionados (ZCAS, SF, VCAN, e CCM). A convecção sobre a Amazônia, por meio da liberação de calor latente que origina a AB (Silva Dias et al., 1983), a convecção sobre a ZCAS que origina a circulação anticiclônica sobre a região Sudeste (Kodama, 1992; Quadro, 1994; Valverde, 1996; Valverde et al, 1999, Figueroa, 1999), a convecção dos SFs que se reforçam ao ingressar ao continente e geram as cristas em altos níveis, todos estes sistemas interagem, se modulam e se intensificam, e embora cada sistema possuía características próprias, sua formação depende de condições de grande escala semelhante. Figueroa (1999), num estudo sobre simulações com modelos numéricos dos sistemas de circulação de verão sobre

América do Sul, também identificou estes sistemas, especificamente a AB, a ZCAS e o VCAN, e mencionou que eles constituem um sistema acoplado quase-estacionário e que existe uma interação entre cada um de seus componentes, contribuindo para sua manutenção durante vários dias.

Neste estudo os sistemas compostos ZCAS/VCAN, SF/VCAN foram frequentemente observados atuando sobre a região de estudo, e quando eles estavam associados a AB, o que acontecia na maioria dos casos, a convecção era claramente reforçada na região Sudeste.

O período de inverno foram anos do El Niño e La Niña. No inverno 1998 o fenômeno El Niño se encontrava em sua fase final. Os invernos de 1999 e 2000 foram influenciados por La Niña, e os de 2001 e 2002 por El Niño. Neste período, as chuvas diminuem consideravelmente, o padrão de escoamento troposférico é mais zonal e a fonte de aquecimento está ausente.

Os sistemas que mais atuaram sobre a região Sudeste foram os SFs, VCANs e cavados em níveis altos e médios oriundos de latitudes subtropicais. Alguns casos de ciclogêneses também foram observados interagindo com os SFs sobre a região Sudeste. Por outro lado, o jato subtropical atuando conjuntamente com estes sistemas reforçou a instabilidade na região Sudeste.

Os VCANs oriundos de latitudes médias, que em sua maioria se formam no Oceano Pacífico Sudeste e atuam no Sul da América do Sul, ocorreram com maior frequência no inverno e a instabilidade baroclínica é um dos principais mecanismos de formação (Lourenço, 1996, Valverde et al, 1999). A Tabela 4.2 quantifica os sistemas sinóticos que afetaram a região do Sudeste no período de inverno.

O período da primavera compreendido entre 2000 e 2002 também esteve influenciado pelos fenômenos La Niña (2000) e El Niño (2002), sendo que os principais sistemas sinóticos associados à precipitação na região de estudo foram os SFs, as ciclogêneses, os VCANs de

latitudes médias, e os CCMs. A atuação do jato subtropical também foi importante na formação e intensificação das ciclogêneses e CCMs. Interações entre estes sistemas também foram observadas reforçando a atividade convectiva e a instabilidade na região. As ciclogêneses tiveram maior atuação no sul do Brasil. Gan, (1992) num estudo sobre ciclogênese e ciclones sobre América do Sul, mostrou que a frequência máxima ocorre no período de inverno e estão associados com precipitação acima da normal na região Sul do Brasil. No presente período de estudo observou-se que na primavera os ciclones e ciclogêneses afetaram com mais frequência a região Sudeste, observando-se que a faixa norte e nordeste da nebulosidade do ciclone atingia os estados de SP e sul de MG. A Tabela 4.3 quantifica os sistemas atuantes no período de primavera.

Observa-se que os SFs estão presentes em todos os períodos estudados. Por outro lado, climatologicamente eles são mais frequentes no período de inverno (Oliveira, 1996); porém, a sua atuação em termos de modificar as condições de tempo é diferente e depende da época do ano. No verão, os SFs se associam e interagem com a convecção tropical, isto faz que sua atuação em termos de chuva seja consideravelmente mais significativa que nos outros períodos. Eles modulam a convecção tropical formando faixas de nebulosidade convectiva organizadas e são os grandes responsáveis pelos máximos de chuvas ocorridos nessa região (Oliveira, 1996). Quando o SF penetra no continente, produz advecção de ar frio sob uma área de subsidência em toda a coluna, onde se estabelece uma região de céu claro, e sobre uma região de confluência com movimento ascendente, onde se forma a faixa de nebulosidade convectiva, que comumente é observada nas imagens de satélite (Oliveira, 1986).

Os SFs que organizam extensas faixas de nebulosidade e intensa precipitação possuem penetração meridional no continente e estão associados a cavados de ar superior e em baixos níveis quando estes apresentam inclinação para Noroeste produzem forte advecção de ar frio para o interior do continente e subsidência em toda a coluna atmosférica, causando uma região de céu claro no lado polar da faixa convectiva. A faixa de

nebulosidade está associada à divergência nos altos níveis e a movimento vertical ascendente em 500 mb (Oliveira, 1996).

Já no período do inverno, os SFs ao ingressar no continente não tem o reforço e sustento da convecção tropical associada a AB e ao VCAN do Nordeste, a configuração do escoamento é mais zonal, isto faz com que sua atuação em termos de atividade convectiva seja menos significativa, sobretudo na região Sudeste.

Em relação ao padrão de circulação de escala global, isto é, a presença do fenômeno ENOS, o período de estudo compreendeu tanto anos de La Niña, El Niño e um ano neutro. Porém, devido ao pouco período de tempo torna-se impossível concluir sobre a maior ou menor frequência de um determinado tipo de sistema meteorológico. Entretanto, ressalta-se algumas informações encontradas neste capítulo que foram consideradas importantes e são as seguintes:

- a) no verão 1999/2000, sob La Niña na sua fase madura, registraram-se maior ocorrência de ZCAS (5);
- b) no verão 2000/2001, na fase de decaimento de La Niña, houve uma maior atuação de VCANs, com períodos longos de permanência, sobre o interior de continente, especificamente sobre o norte do Sudeste e sul da Bahia inibindo a nebulosidade sobre essa região Sudeste.

É importante ressaltar que todos os sistemas sinóticos analisados neste Capítulo que afetaram as regiões Sul Sudeste, não estão necessariamente associados a ocorrência de chuvas, isto dependerá da intensidade, duração do evento e do reforço que possa ter em relação a outros sistemas atuantes fora da região de estudo. No próximo Capítulo, analisa-se a variabilidade da precipitação observada nas estações meteorológicas, situadas na região de estudo e a relação com os sistemas meteorológicos atuantes e numerados neste capítulo.

CAPÍTULO 5

COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO SOBRE AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DA REGIÃO DE SÃO PAULO, RIO DE JANEIRO E MINAS GERAIS.

Neste capítulo são analisadas as séries temporais de precipitação das estações meteorológicas das regiões de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. A Tabela 3.1 apresenta as características destas estações e a Figura (3.1) mostra a localização das mesmas. A análise será feita para os períodos de verão e inverno, e será baseada na descrição sinótica feita no Capítulo 4. A avaliação para as estações do Rio de Janeiro e Minas Gerais foi feita a partir dos verões de 1999-2000 a 2001-2002 e para o período de inverno de 2000 a 2002.

5.1 Períodos de Verão

5.1.1 Verão 1997 – 1998

Observa-se na Figura (3.1) que as estações localizadas sobre o estado de SP distribuem-se no setor leste (GR, IAG e KP), no centro do estado (BR), na região oeste (PP), e no setor nordeste (RP). Como esperado, devido à grande variabilidade espacial e temporal, em cada local a distribuição de chuva apresenta características distintas (Figura (5.1)). Mesmo as estações próximas entre si (IAG e GR) mostram um comportamento diferenciado, com ocorrência simultânea de precipitação, mas com diferentes graus de intensidade. No mês de dezembro, os SFs interagindo com a convecção da AB foram os principais responsáveis pelas chuvas registradas. Nos primeiros dias do período uma frente fria (SF1) ao interagir com um cavado em altos níveis provocou muita instabilidade sobre a região, sendo que nas estações IAG, GR e KP ocorreram chuvas de até 40 mm. Nas demais estações, as chuvas foram de menor intensidade. Os outros períodos contínuos de chuva também estiveram associados a passagem de SFs. No período do 12 a 16 as chuvas foram contínuas (SF2) e afetou as estações localizadas na

região leste e nordeste (GR, IAG, KP e RP). Nas demais estações, foram observados apenas picos isolados, como é o caso de BR (42 mm) e PP (38 mm). No final do mês, a última frente fria (SF3) ao atingir o estado, causou chuvas intermitentes, e somente as estações de GR, KP e BR apresentaram períodos contínuos de chuva.

No mês de janeiro, grande parte das precipitações também estiveram associadas à passagens rápidas de SFs (Figura (5.1)), que afetaram com fraca intensidade a região. Como consequência, observou-se períodos curtos de chuvas: 7 – 8 (SF4), 15- 17 (SF5), 22 – 23 (SF6) e 28 – 29 (SF7). O primeiro período de chuva afetou com maior intensidade as estações de GR, IAG e BR. No segundo período (15 a 17), as estações mais afetadas foram PP e IAG. Os picos mais altos foram registrados em GR (58 mm no dia 23, e 49 mm no dia 28) e IAG (50 mm no dia 22).

Observa-se que fevereiro, com exceção ao observado em PP, foi o mês que apresentou o maior número de dias com precipitação (Figura (5.1)). Na análise sinótica apresentada anteriormente, neste verão, houve um único evento ZCAS (Figura (4.1)) associado a um padrão de VCAN, entre os dias 13 a 16 de Fevereiro, período no qual houve registro de chuvas intensas em cinco (GR, IAG, BR, KP e RP) das seis estações estudadas, sendo que o pico mais alto ocorreu em RP (60 mm). A estação de PP, localizada no extremo oeste, foi a menos afetada, uma vez que a ZCAS atuou na região central e leste do estado de SP. Os outros períodos de chuvas, na primeira (1- 4) e última semana (25 – 28) do mês estiveram associados a frentes frias (SF8 e SF10). Especificamente sobre Ribeirão Preto, a instabilidade originada por um SF causou um pico de 62 mm (dia 2 de Fevereiro). No período do 20 a 22, um VCAN oriundo de latitudes subtropicais ao se deslocar para a região Sudeste interagiu com uma frente fria (SF9+VCAN) e provocou chuvas contínuas (GR e BR) e chuvas isoladas (RP, KP e PP), com um pico de 50 mm em RP.

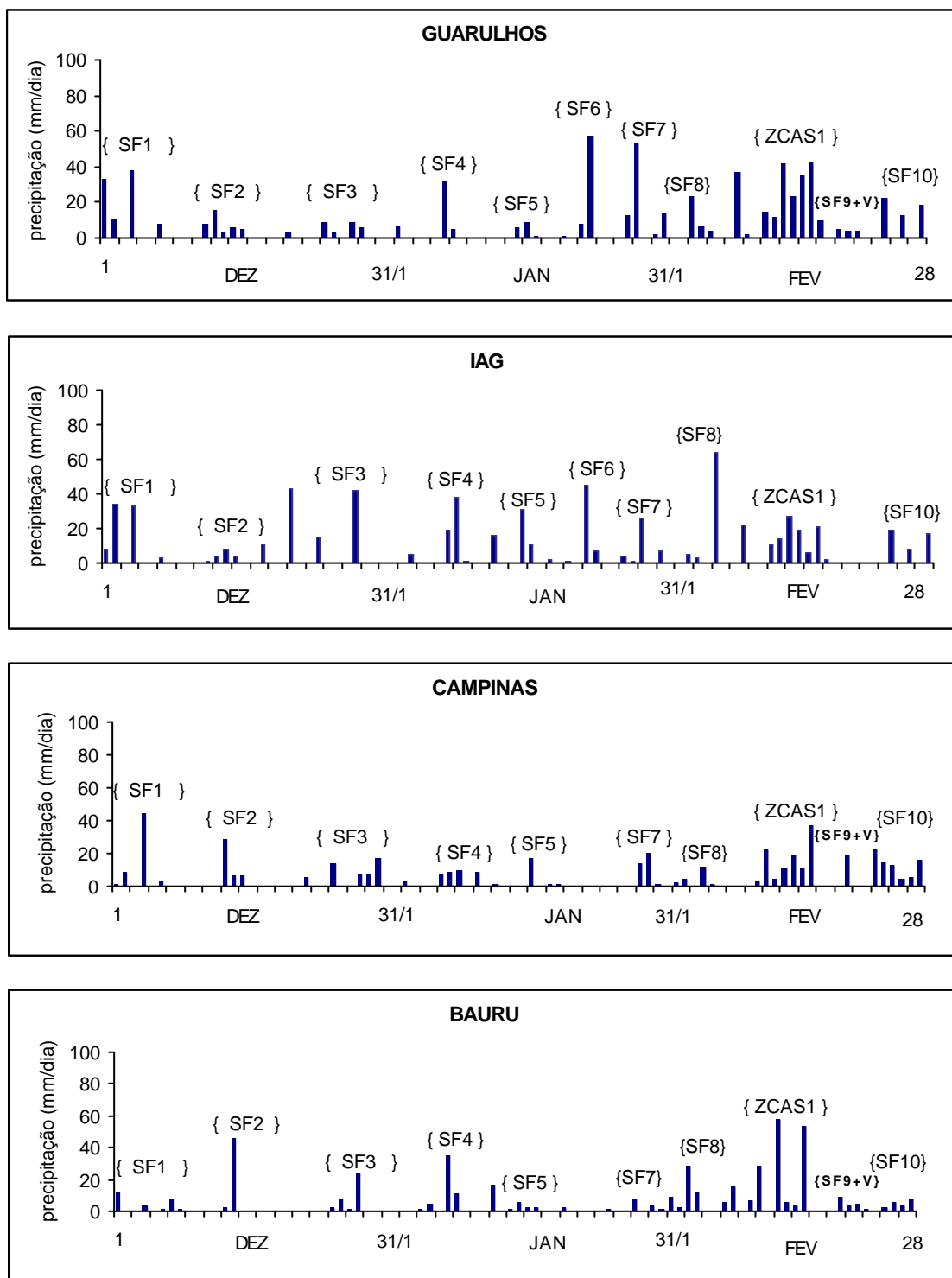


FIGURA 5.1 – Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo durante o verão 1997-1998.

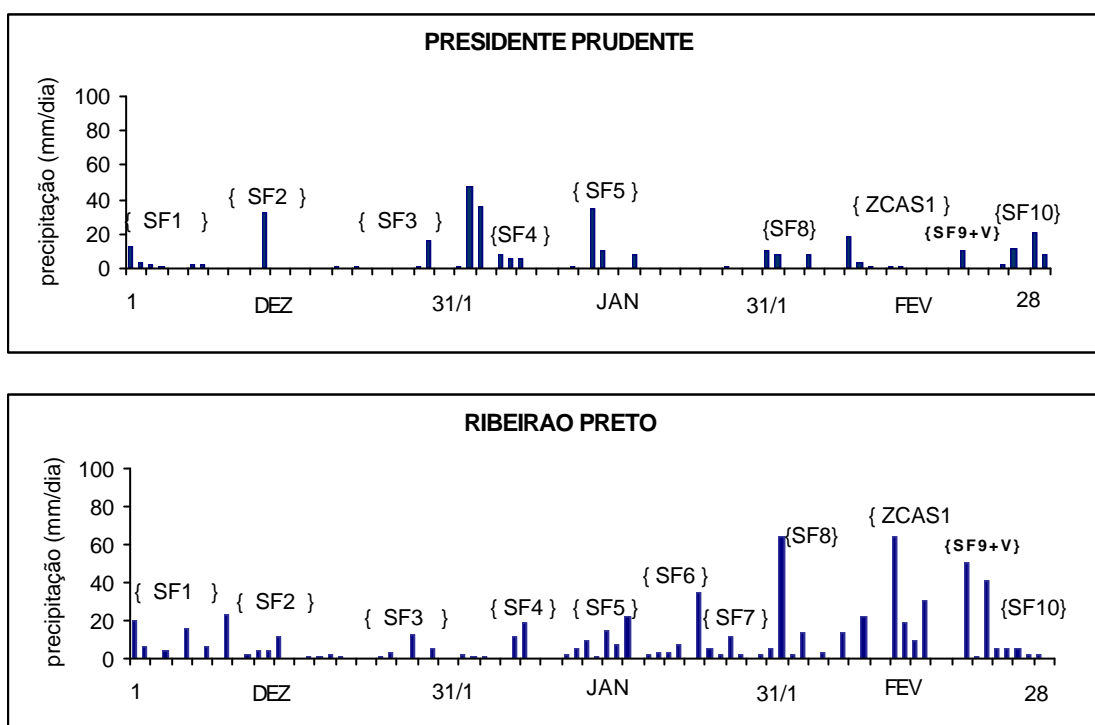


FIGURA 5.1 – Conclusão.

5.1.2 - Verão 1998 – 1999

Durante o verão de 1998 – 1999, a distribuição de chuvas nas estações de estudo tiveram comportamentos distintos nos três meses considerados (Figura (5.2)). Em dezembro não se observaram eventos de ZCASs, entretanto, os dois primeiros períodos de chuvas mais significantes sobre as estações e que ocorreram nos dias 4 a 5 e 9 a 12, estiveram associadas à passagens de SFs (SF1 e SF2). No período de 9 a 12, a interação de uma frente fria (SF2+VCAN) quase estacionária com um VCAN sobre o Nordeste (Figura (4.2a)) ocasionou instabilidade profunda sobre a região de SP, ocorrendo picos de até 50 mm em KP e RP. Um outro período significativo de chuva entre os dias 14 e 16, esteve associado a instabilidade originada por um cavado de onda curta sobre Mato Grosso do sul (MGS) e oeste de SP. Esta instabilidade deu origem a CCMs, afetando principalmente as estações do interior do estado, sendo que, em PP houve um pico de 80 mm no dia 14. O terceiro período de chuvas fracas, entre 22 a 27, esteve associado a

uma frente fria (SF3) que atuou no interior do estado, afetando principalmente as estações de BR, KP, RP e PP.

Em janeiro de 1999 (Figura (5.2)), as chuvas dos primeiros dias estiveram associadas a um SF que oscilou sobre o litoral, entre SP e RJ entre os dias 1 e 2 (SF4). Neste período a estação do IAG registrou um pico de 60 mm. O primeiro episódio de ZCAS (6-18) deste verão, teve uma duração longa devido a ativação de três SFs. Porém, o período de chuvas associado a este evento afetou as estações distintamente. Em IAG e RP registraram-se chuvas contínuas e significativas nos primeiros dias do evento (6-9). Nas estações de GR, KP e BR registraram-se chuvas durante quase todo o período, sendo que KP registrou um pico de 80 mm no dia 14. Em PP, observaram-se somente chuvas significativas no início e final do evento. No restante do período uma frente fria (SF5) que atuou no final do mês afetou em maior intensidade as estações do interior (PP e BR).

Dois eventos ZCASs, na segunda quinzena do mês de fevereiro (19-23 e 25-28) foram responsáveis pelas chuvas ocorridas neste período (Figura (5.2)). As estações de GR, IAG e RP apresentaram dias contínuos de chuvas, e houve picos de 45 (RP) e 80 (IAG) mm. Nas demais estações foram observadas precipitações isoladas ao longo destes dois eventos. Na primeira quinzena do mês a passagem de SFs interagindo com um CV de altos níveis causaram picos extremos (SF6 e SF7), ressalta-se os ocorridos em GR (130 mm no dia 4 e 100 mm no dia 10) e PP (84 mm no dia 14).

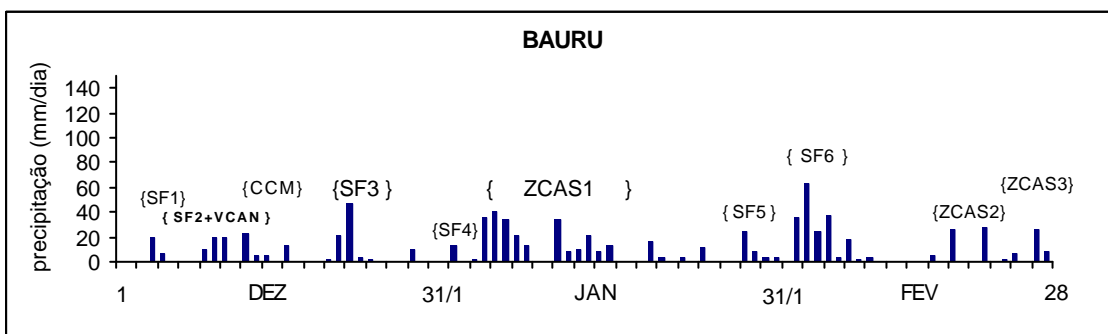
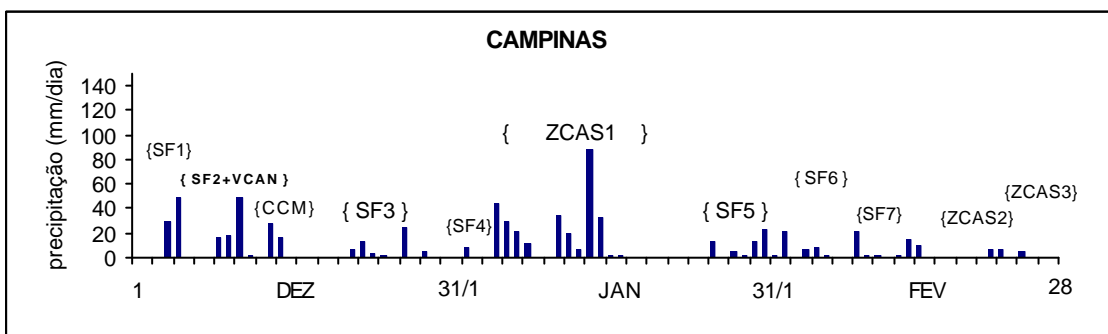
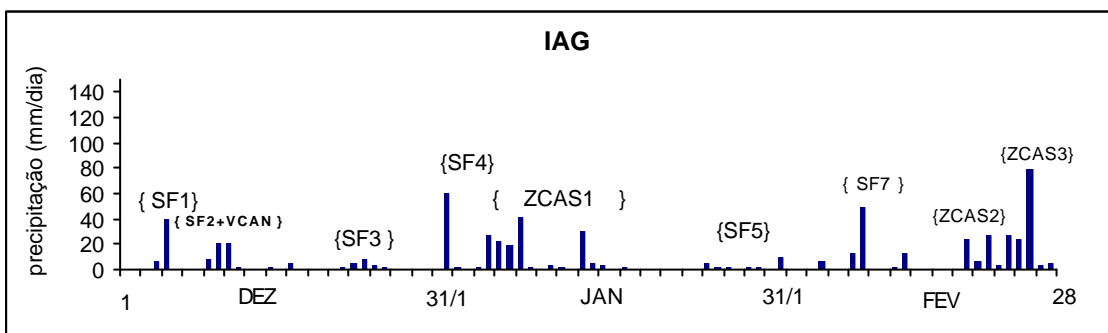
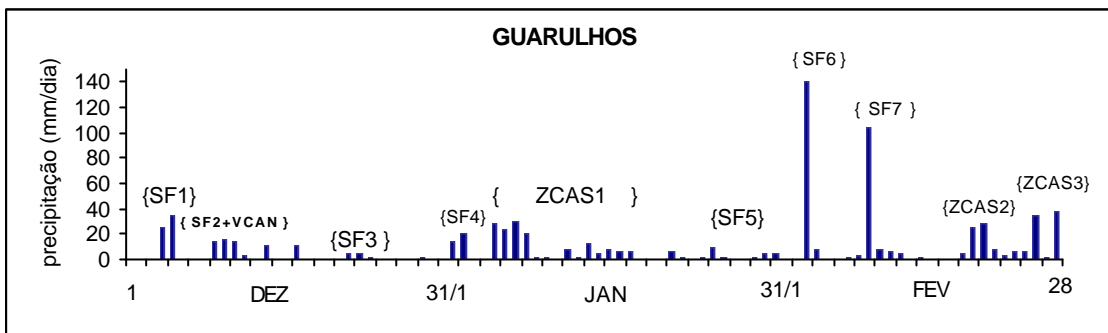


FIGURA 5.2 – Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo durante o verão 1998 –1999.

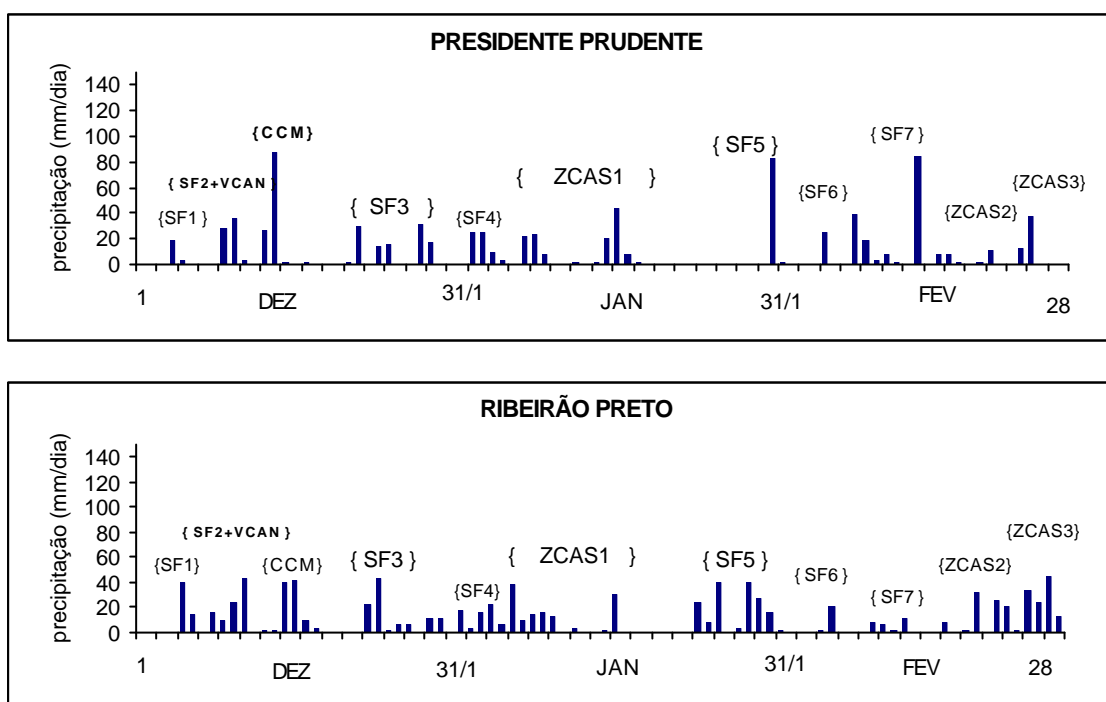


FIGURA 5.2 – Conclusão.

5.1.3 - Verão 1999 – 2000

A partir deste verão analisa-se também a precipitação observada nas estações localizadas sobre os estados de Rio de Janeiro e Minas Gerais.

São Paulo

Neste verão, houve uma diminuição da precipitação em relação ao verão anterior, sobretudo no interior do estado de São Paulo (PP e BR) (Figura (5.3)). Entretanto, observou-se períodos menos contínuos de precipitação. Em Dezembro de 1999 as chuvas dos dias 3 e 4 sobre KP, BR, PP e RP estiveram associadas a uma frente fria (SF1) sobre PR, MGS e região oeste e centro de SP, atingindo mais intensamente a região de KP e BR. O primeiro caso de ZCAS (8-14) se originou devido a interação de dois sistemas frontais sobre a região Sudeste, onde houve instabilidade e chuvas contínuas de intensidade fraca em IAG e GR, e de moderada a intensa sobre KP, BR, e

PP, nos últimos dias (13 e 14) de atuação do evento. Os picos de até 90 mm em PP, resultaram da atuação de um VCAN (dia 13) oriundo de latitudes médias que interagiu com a ZCAS, reforçando a nebulosidade sobre a região de SP (Figura (4.2b)). O segundo caso de ZCAS (16-20) não afetou as estações meteorológicas, pois situou-se sobre a Bahia e norte de MG. As chuvas dos dias 22 e 24 estiveram associadas a passagem rápida de uma frente fria (SF2) sobre a região de SP.

Na primeira semana de janeiro de 2000, houve períodos contínuos de chuvas (Figura (5.3)), devido à ocorrência da ZCAS (1-9). Observaram-se picos de 60 e 70 mm GR e RP, por outro lado, PP não foi afetada pelo evento (ZCAS3). Na segunda semana (dia 12) observou-se um pico máximo de 117.1 mm na estação do IAG. Neste período, não se observou a presença de ZCAS, mas de um vórtice ciclônico na baixa e média troposfera que interagiu com um SF sobre o oceano nos dias 10 e 11. Como consequência houve uma área de grande instabilidade sobre os estados de SP e PR. Durante o período de 14 a 17 de Janeiro a AB sobre o Paraguai, induziu atividade convectiva sobre o PR e SP, e ocasionando chuvas fracas. No dia 17, um SF acoplou-se a área de instabilidade e afetou principalmente as estações de BR e RP (SF3+AB). O pico de precipitação observado no dia 26 (IAG, BR, KP e GR) esteve associada a uma frente fria (SF4) que se deslocou rapidamente pela Região Sudeste. Além disso, ocorreu um segundo caso de ZCAS entre os dias 21 e 24, que se localizou ao sul da Bahia, não atingindo as estações. Assim, as chuvas do dia 31 foram ocasionadas pela interação de um sistema frontal e um VCAN (SF5+V) oriundo da Argentina, que atingiu a região de SP.

As chuvas contínuas no mês de fevereiro do 2000 (Figura (5.3)) estiveram associadas a um evento ZCAS (6 a 13). Observou-se que todas as estações foram afetadas por este evento, sendo que KP, BR, RP e PP registrou chuvas intensas (ZCAS5), com picos de 58 mm em RP (dia 9) e 56 mm em PP (dia 10). No restante do período (19 - 23 e 27-29) os SFs atuaram de forma distinta e isolada sobre as estações de estudo (SF6 e SF7).

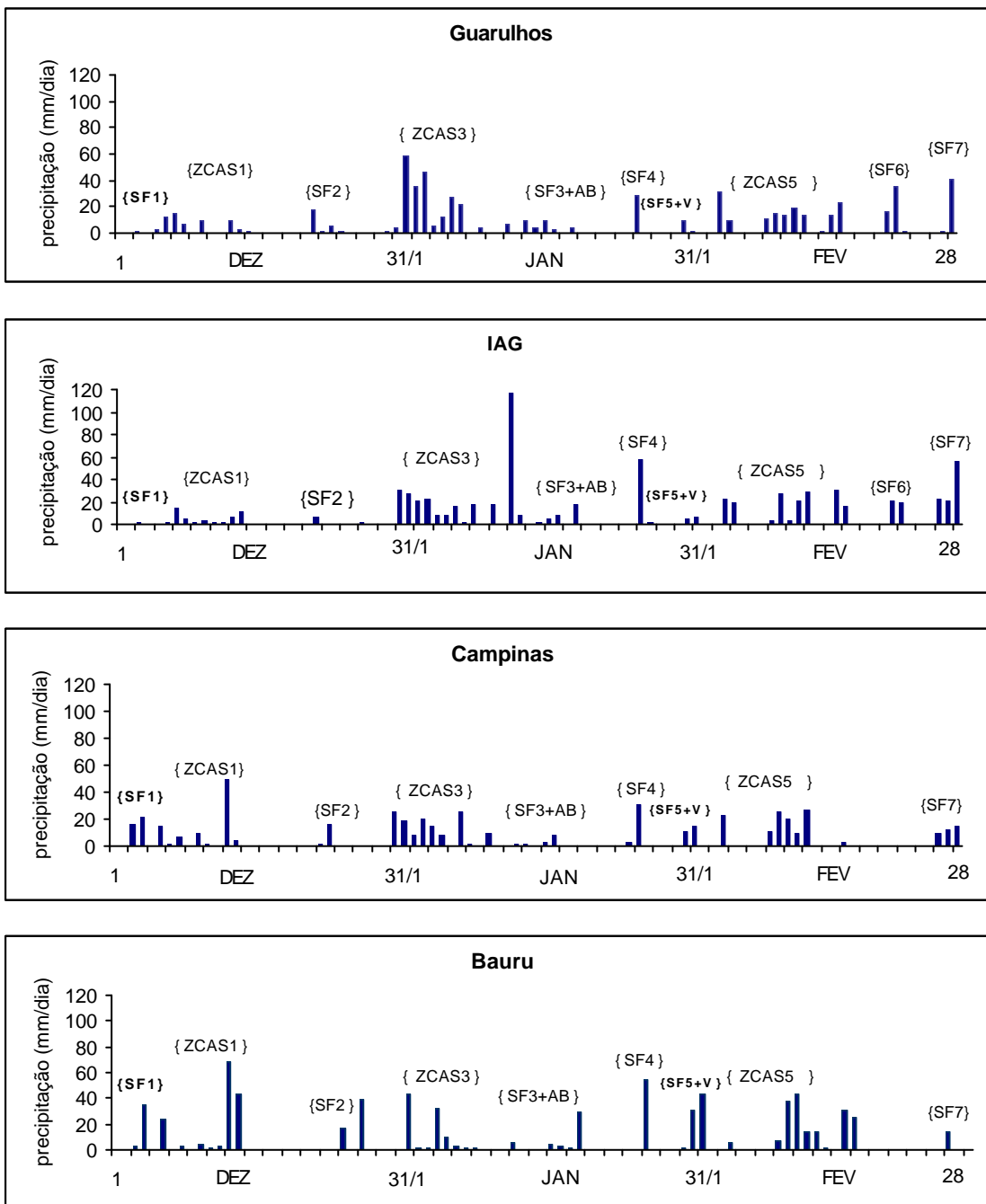


FIGURA 5.3 – Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo durante o verão 1999-2000.

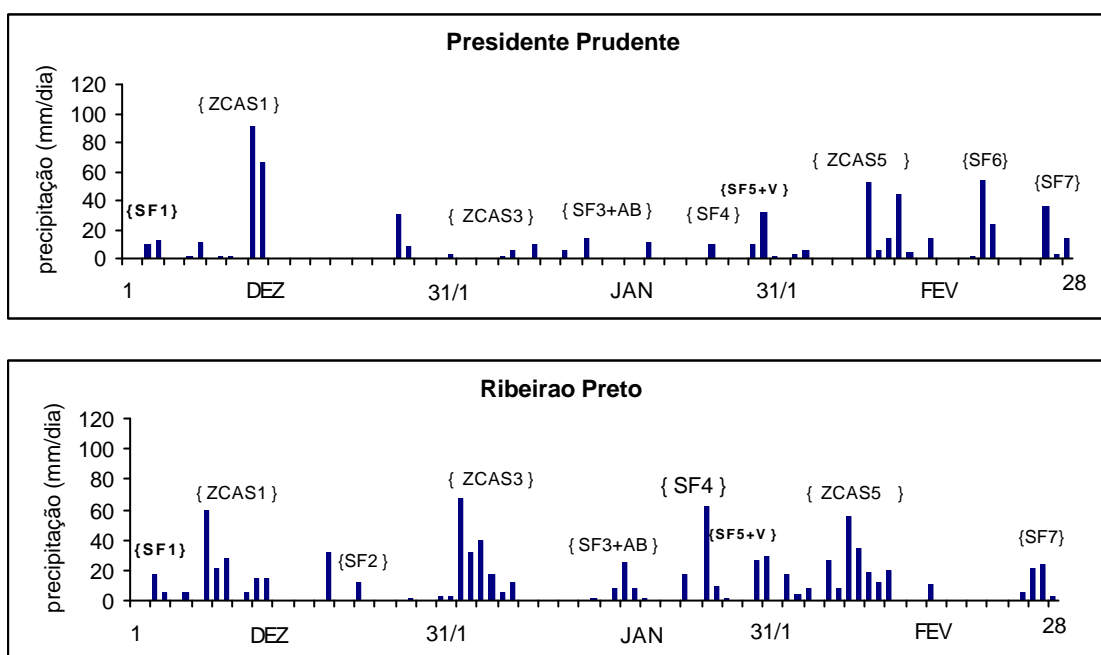


FIGURA 5.3 – Conclusão.

Rio de Janeiro

Neste verão, especificamente RJ1 e RJ4, que estão mais próximas do litoral (Figura (3.1)), apresentaram menor índice pluviométrico. Já as outras estações (RJ3, RJ5, RJ6 e RJ7) no interior do estado, registraram um maior número de dias com chuvas. Pode-se observar que os períodos de chuvas contínuos coincidem com os da ocorrência de eventos ZCASs. Em dezembro, o primeiro evento (ZCAS1) (8-14) afetou todas as estações em diferentes graus de intensidade, com picos oscilando entre 40 (RJ7, RJ5, RJ4 e RJ3) e 60 mm (RJ1 e RJ6). O outro evento ZCAS (16 a 20) ocorrido no mês, afetou esporadicamente as estações, causando apenas; alguns dias de chuva isolada, uma vez que sua maior atuação foi sobre o estado da Bahia. Os outros períodos significantes de chuvas entre os dias 1 a 4 (SF1) e 23 a 26 (SF2) estiveram associados a passagem de frentes frias que afetaram as estações RJ5, RJ6 e RJ7.

No mês de janeiro, ocorreram dois eventos ZCASs (1-9 e 21-24). O primeiro deles (ZCAS3) afetou com maior intensidade as estações localizadas ao sul do estado (RJ7, RJ5 e RJ6), registrando picos de até 65 mm (RJ6 e RJ7). As demais estações, somente

foram afetadas nos dois primeiros dias do evento (Figura (5.4)). O segundo caso (ZCAS4) afetou distintamente as estações, ocorrendo chuvas esporádicas apenas em RJ5, RJ6, RJ1 e RJ3. Os outros períodos significantes estiveram associados a uma frente fria (14-18) que ocasionou chuvas nas estações de estudo (SF3+AB). Ressaltam-se as chuvas dos últimos dias do mês, associadas a uma frente fria e um VCAN (SF5+V) proveniente da Argentina que em seu rápido avanço (29-30) ocasionou picos de 90 mm de chuva em RJ6 e 50 mm em RJ7.

O último evento ZCAS (6-13) ocorreu no mês de fevereiro, e não afetou significativamente as estações de estudo (ZCAS5). Somente em RJ5 e RJ3 ocorreram dias contínuos de chuvas, sendo de 25 mm o máximo valor registrado em RJ3. Por outro lado, no restante do período as chuvas mais significativas estiveram associadas à ocorrência de uma frente fria (SF6) entre os dias 16 – 20, registrando-se picos de até 90 mm em RJ6 (dias 17 e 19) e RJ7 (dia 17). As estações RJ4 e RJ1, foram as menos afetadas.

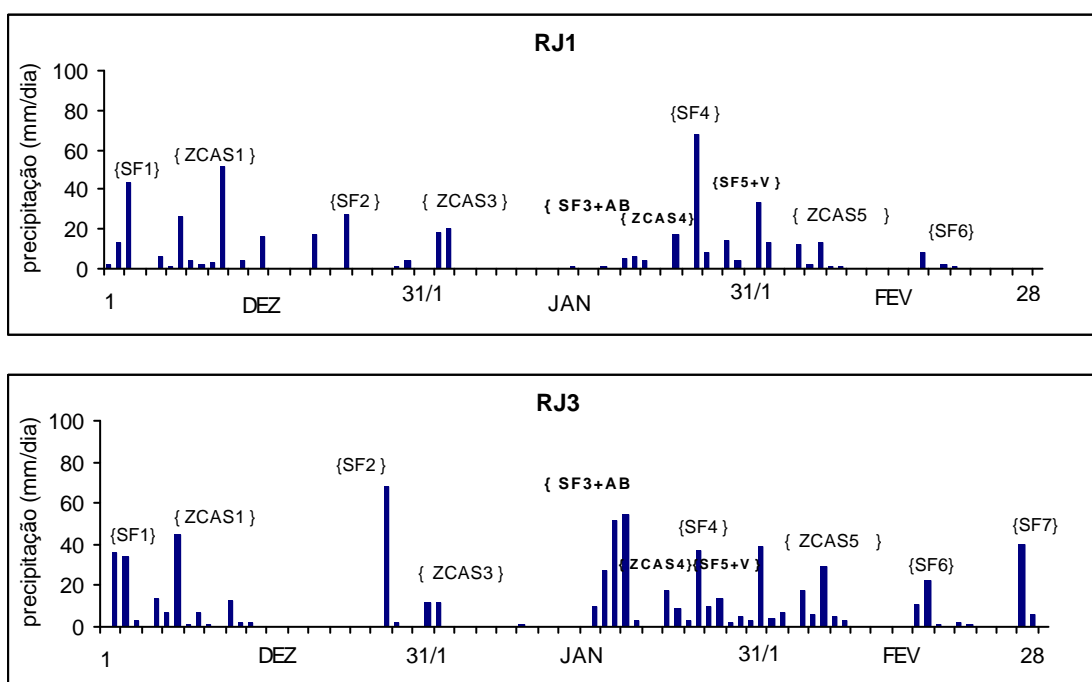


FIGURA 5.4 - Distribuição da precipitação nas estações RJ1, RJ2, RJ3, RJ4, RJ5, RJ6 e RJ7 localizadas no estado de Rio de Janeiro para o verão 1999-2000.

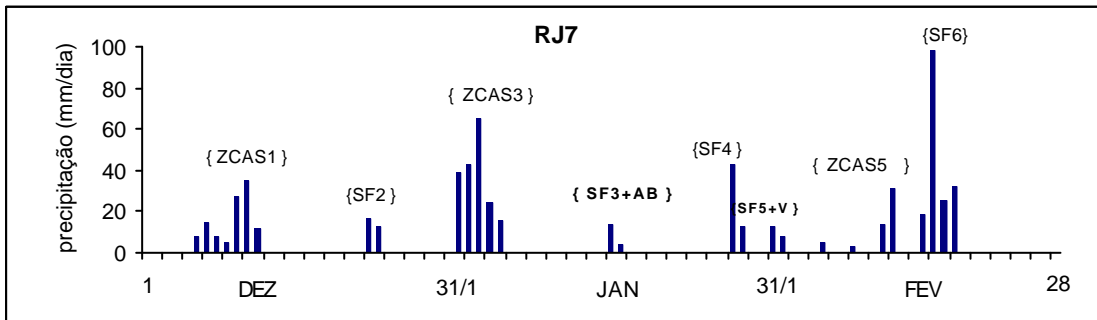
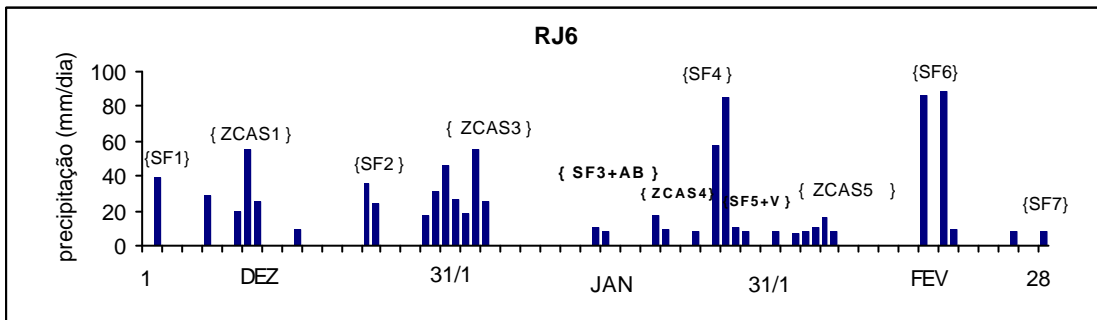
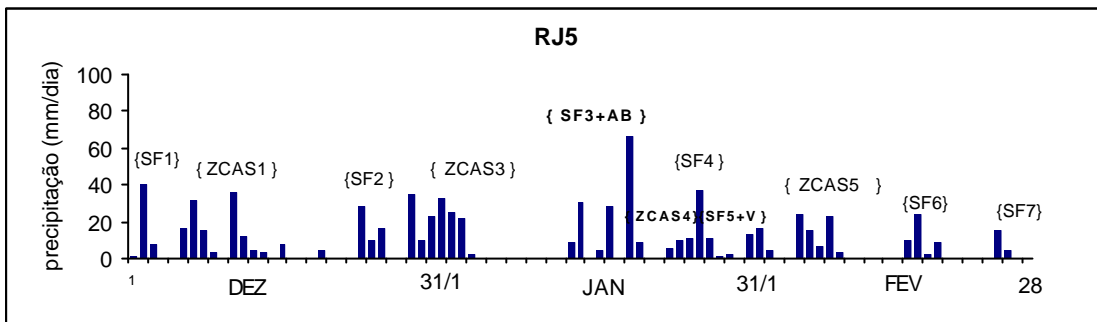
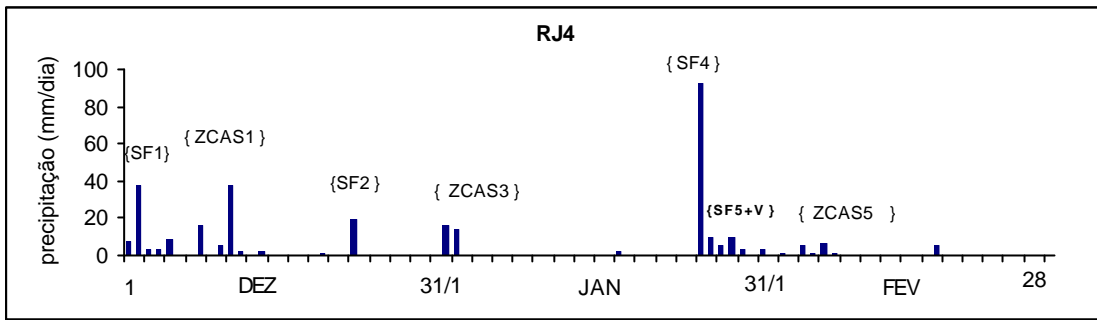


FIGURA 5.4 – Conclusão.

Minas Gerais

A análise das chuvas para o estado de Minas Gerais envolve apenas seis estações das sete mostradas na Tabela 3.1, devido a falta de dados na estação MG3 durante o período de Janeiro de 2000. As estações MG1, MG2 e MG3 se localizam no setor sudoeste e as demais (MG4, MG5, MG6 e MG7) se encontram na região central do estado. Conforme a análise sinótica (Capítulo 4), neste verão observaram-se cinco eventos de ZCAS, que afetaram as estações de interesse com diferentes graus de intensidade (Figura (5.5)). Dos eventos ocorridos em dezembro (8-14 e 16-20), o primeiro (ZCAS1) afetou as estações ocasionando períodos com chuvas contínuas em MG1 e MG2. Nas outras estações, as chuvas ocorreram em forma descontínua e não registrou-se precipitações superiores a 30 mm. O segundo evento (16-20) não afetou as estações devido a sua localização sobre a Bahia. Os maiores valores de chuva estiveram associados a passagens de frentes frias que ao interagir com a convecção da AB (SF2) causaram índices pluviométricos de 85 mm em MG7, 61 mm em MG6 e 41 mm em MG5 no dia 24. Estes SFs também afetaram SP e RJ.

Em janeiro de 2000 (Figura (5.5)), o primeiro evento de ZCAS (1-9) afetou intensamente as estações de estudo, com períodos contínuos de chuva (ZCAS3). Os picos extremos deste evento ocorreram em MG1 (118,6 mm no dia 3) e MG2 (125,8 mm no dia 4). Por outro lado, o segundo evento (ZCAS4: 21-24) afetou esporadicamente as estações (MG1, MG2, MG4, MG6 e MG7). Nos últimos dias do mês a interação de um SF com um VCAN (SF5+V) oriundo de latitudes médias também afetou a região central de Minas Gerais. Já o evento (ZCAS5) observado em fevereiro (6-13) ocasionou chuvas contínuas em quase todas as estações, sendo as mais intensas em MG2 (60 mm no dia 10). As chuvas esporádicas dos outros períodos (17-19 e 28 – 29) foram ocasionadas pela rápida passagem de frentes frias (SF6 e SF7).

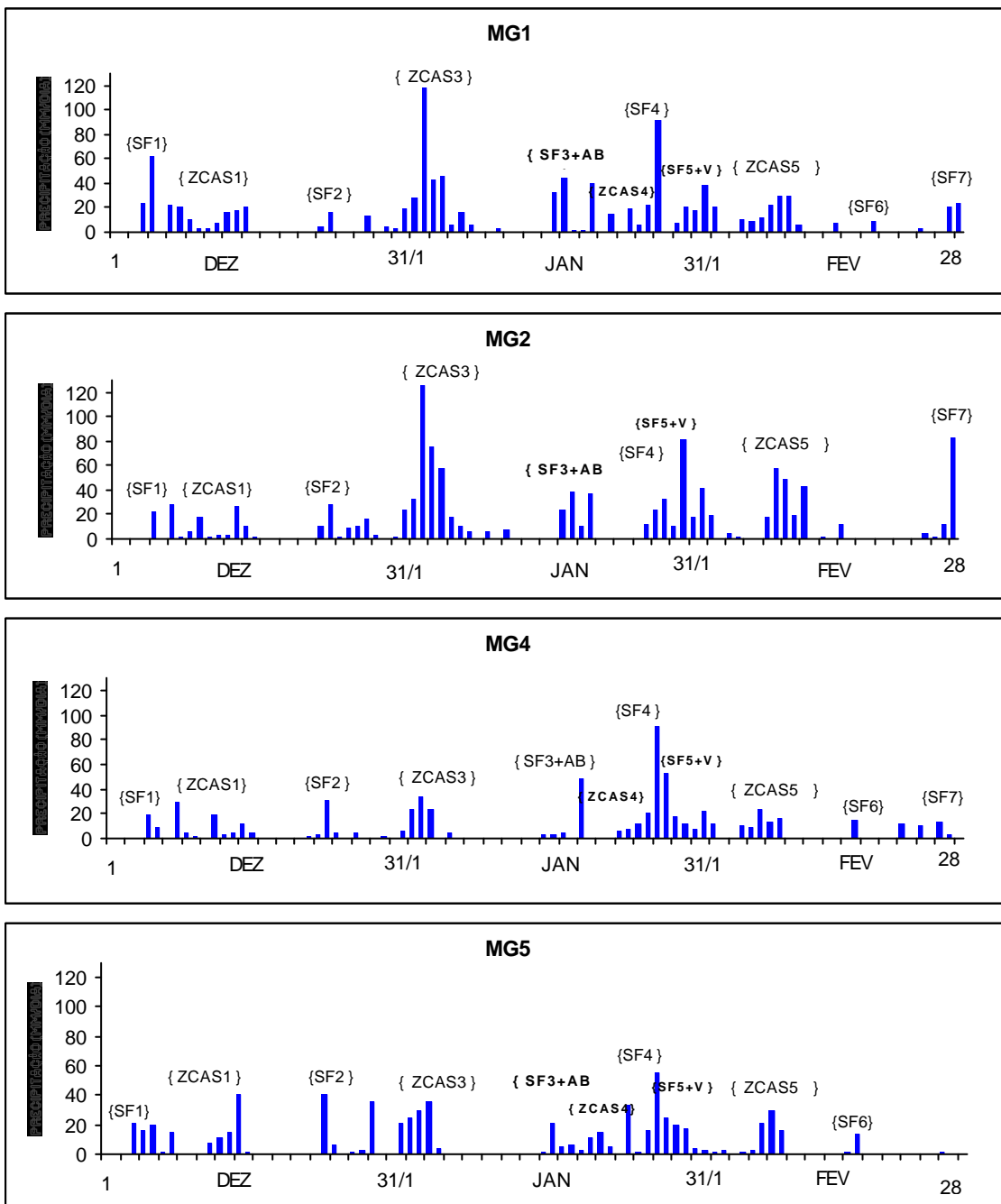


FIGURA 5.5 - Distribuição da precipitação nas estações MG1, MG2, MG4, MG5, MG6, e MG7 localizadas no estado de Minas Gerais durante o verão 1999-2000.

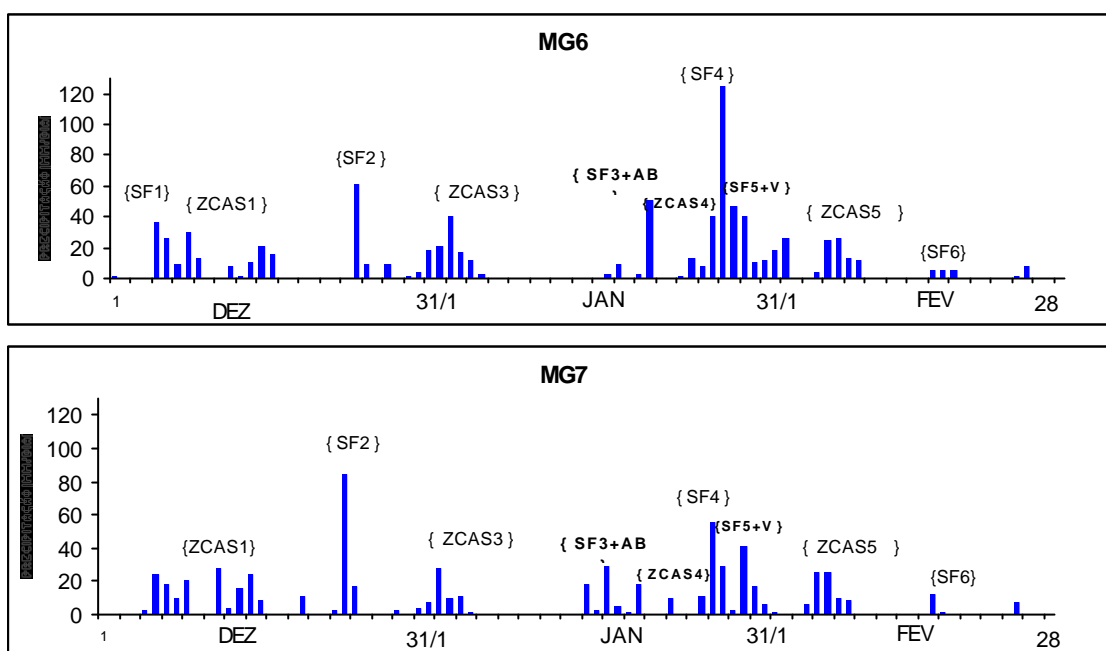


FIGURA 5.5 – Conclusão.

5.1.4 - Verão 2000 – 2001

São Paulo

As precipitações observadas no verão de 2000-2001 foram menores que as do verão anterior, sobretudo em GR, IAG e RP (Figura (5.6)). Em dezembro, ocorreram dois casos de ZCAS (1-8 e 17-22) no sul da Bahia, norte de Minas Gerais (MG) e Rio de Janeiro (RJ), não afetando significativamente as estações de interesse. As chuvas do dia 4 e 5 sobre o IAG, KP, PP e GR estiveram associadas a um cavado (CV) de onda curta em baixos níveis, localizado sobre SP. Nos dias 14 a 17, uma frente fria (SF1) atuou sobre essa região, ocasionando chuvas fortes, sobretudo em IAG. As chuvas da última semana do mês estiveram associadas a um SF que interagiu com um CCM, (SF2+CCM) provocando áreas de instabilidade com chuvas moderadas em PP (60 mm, no dia 26) e GR (40 mm, no dia 30).

Em janeiro de 2001, de uma forma geral, as chuvas observadas estiveram associadas a SFs. A atuação destes sistemas no início do mês foi esporádica, registrando-se chuvas

isoladas porém intensas, como é o caso de BR que registrou 50 mm no dia 6. Por outro lado, as chuvas dos dias 8 e 9 estiveram associadas a um SF que interagiu com a convecção da AB e afetou principalmente as estações de RP, KP e IAG (SF3). No período de 12 a 15 as precipitações estiveram associadas à interação de um SF com a nebulosidade do VCAN localizado sobre o litoral da Bahia. As estações mais afetadas foram PP e RP, sendo que esta última registrou valores de até 80 mm. As precipitações dos dias 23 a 28 originaram-se devido a uma frente fria (SF4) que interagiu com a convecção local e que intensificou-se no oceano próximo do litoral de SP, causando muita convecção sobre a região; desta forma BR, KP e GR foram as estações mais afetadas. Durante este mês observou-se apenas um caso de ZCAS (1 a 4) que não atingiu as estações porque a banda de nebulosidade posicionou-se sobre o sul da Bahia e norte de MG.

No mês de fevereiro não houve ocorrência de ZCAS, porém os SFs interagindo com a convecção da AB influenciaram as chuvas (Figura (5.6)). Os períodos mais significativos ocorreram entre os dias 12 a 20. Duas frentes frias (SF5 e SF6) atuaram durante esse período, e as estações mais afetadas foram: BR, KP, IAG e PP. Especificamente em KP e BR registrou-se um período contínuo de chuvas que não foram superiores a 20 mm. Nas demais estações houveram somente chuvas isoladas.

No verão de 2000/2001, devido a escassez de chuvas, houve racionamento de energia no Brasil, apesar dos três eventos de ZCAS: dois em Dezembro e um em Janeiro. Entretanto, nenhum deles atuou significativamente sobre a região de São Paulo. Uma característica importante no escoamento e que talvez tenha contribuído para a diminuição de chuvas naquele verão foi a ocorrência de um número maior de VCANs que ingressaram no Nordeste do Brasil e se deslocaram para o interior do continente, principalmente em fevereiro. Em situações deste tipo, os SFs não conseguem deslocar até a região Sudeste, mas aqueles que o fazem, chegam com fraca intensidade.

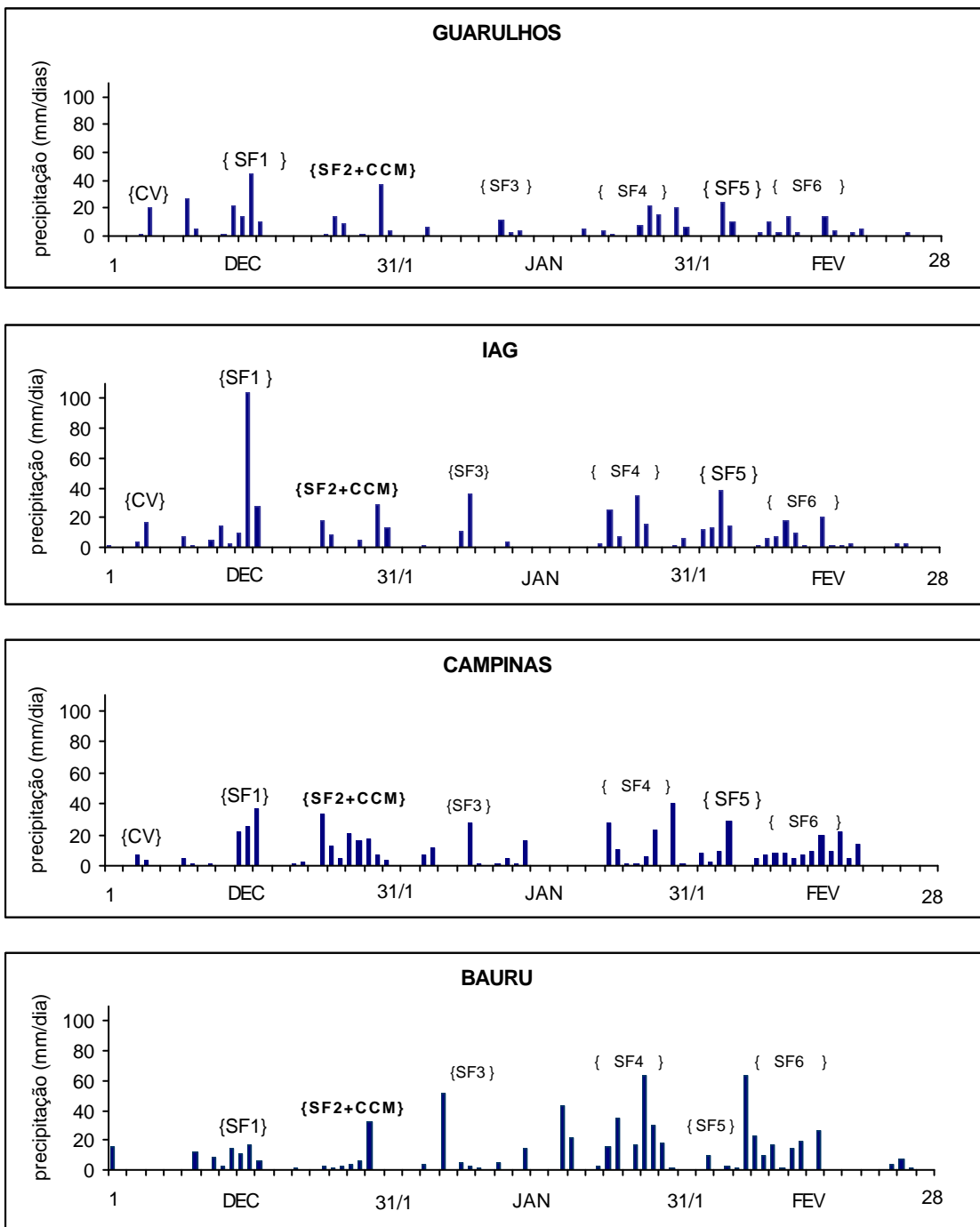


FIGURA 5.6 - Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo durante o verão 2000 – 2001.

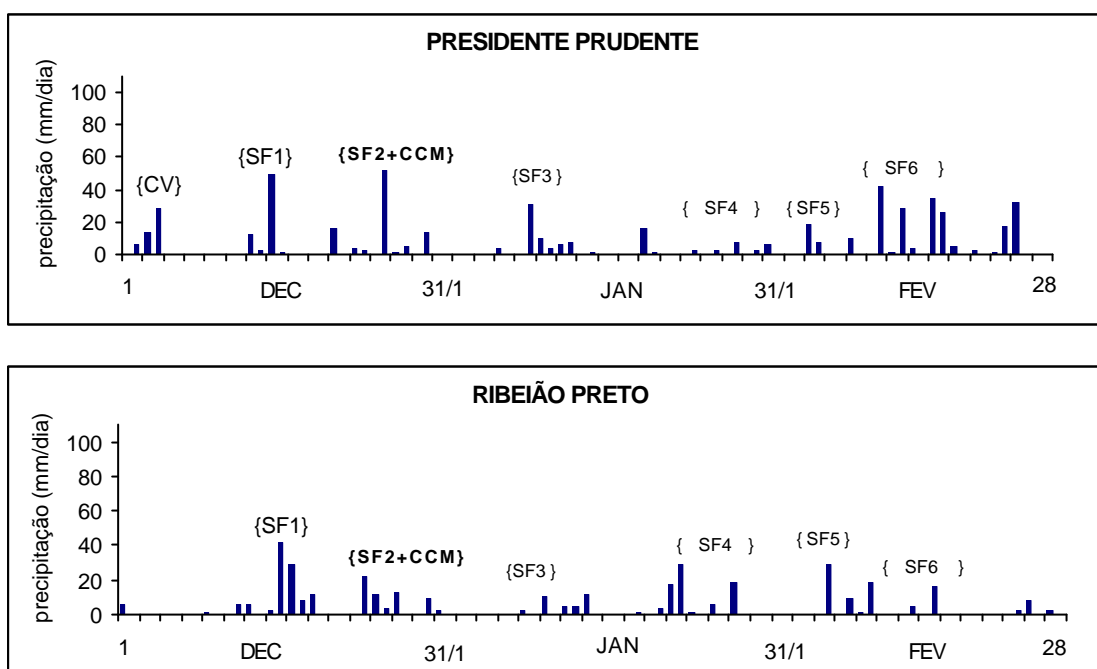


FIGURA 5.6 – Conclusão.

Rio de Janeiro

Neste verão, nas estações de Rio de Janeiro também observou-se uma diminuição das precipitações, sobretudo naquelas próximas do litoral (RJ1 e RJ4) incluindo a estação RJ3 (Figura (5.7)). O primeiro caso de ZCAS, entre os dias 1-8 de dezembro, afetou principalmente o interior do estado (RJ5, RJ6 e RJ7), registrando-se precipitações de até 80 mm (RJ7, dia 1) (ZCAS1). Nas outras estações as precipitações foram fracas e esporádicas. O segundo caso (ZCAS2: 17 a 22) também afetou esses locais, sendo que nas estações próximas ao litoral (RJ1, RJ4 e RJ7) as chuvas foram mais leves. A máxima chuva ocorrida neste evento foi de 46 mm em RJ6 (dia 18). As chuvas registradas no final do mês estiveram associadas a uma frente fria (SF2) que deslocou até o Sudeste e afetou distintamente a região.

O primeiro evento de ZCAS do mês de janeiro (1-4) afetou consideravelmente as sete estações, ocorrendo chuvas durante todo o evento (ZCAS3) em RJ6 e RJ5. Nas demais estações, as chuvas foram menos contínuas, especificamente RJ7 foi afetada um único

dia, com um máximo de 100 mm (Figura (5.7)). No restante do mês observaram-se chuvas dispersas, associadas a interação de frentes frias fracas (SF3 e SF4) e a convecção da AB. Além disso, observou-se neste mês VCANs do Nordeste que permaneceram por muito tempo sobre o norte do Sudeste, inibindo a atividade convectiva e o deslocamento dos SFs sobre a região. No mês de Fevereiro, também ocorreu uma diminuição das chuvas. O único período contínuo de chuvas (maior de seis dias) ocorreu na primeira semana do mês (SF5), associado a passagem de uma frente fria que atuou com mais intensidade no interior da região (RJ6, RJ5 e RJ7) e foi reforçada pela convecção da AB.

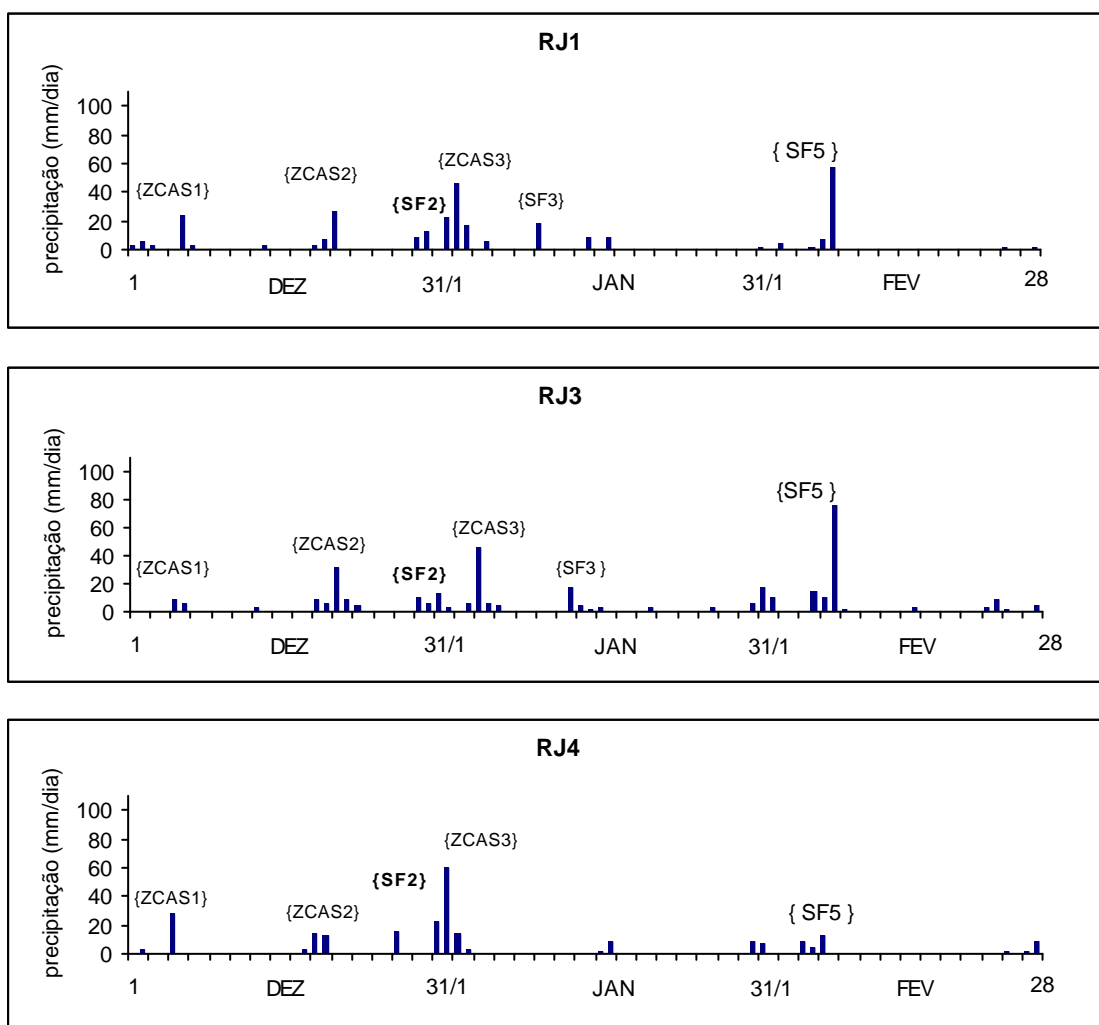


FIGURA 5.7 - Distribuição da precipitação nas estações RJ1, RJ2, RJ3, RJ4, RJ5, RJ6 e RJ7 localizadas no estado de Rio de Janeiro durante o verão 2000-2001.

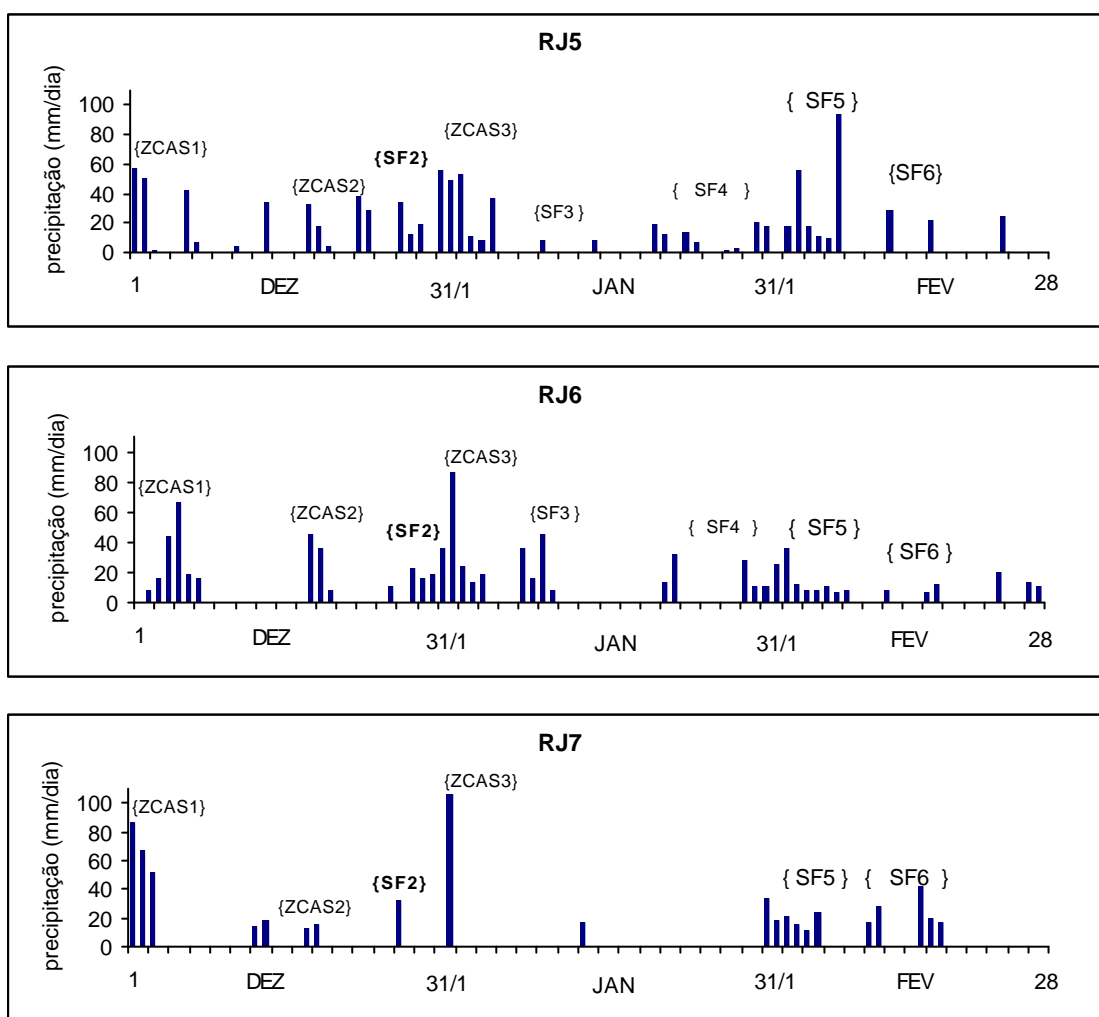


FIGURA 5.7 – Conclusão.

Minas Gerais

No verão de 2000/2001, a escassez de precipitação também foi observada em Minas Gerais, embora tenham ocorrido picos isolados de chuvas próximos de 126 mm (MG6) (Figura (5.8)). Neste período ocorreram três casos de ZCAS, dois em Dezembro (1-8 / 17-22) e um em janeiro (1-4). O primeiro caso (ZCAS1) afetou as seis estações com fraca intensidade, mas em MG6 registrou-se um pico de 73,9 mm. Já o segundo caso (ZCAS2) (17 – 22), embora tenha atuado de forma intermitente, causou picos extremos nas seis estações, sendo que em MG5 e MG6 registraram-se 102 mm (dia 18) e 126 mm (dia 18), respectivamente. No final do mês uma frente fria (SF2) atuou no interior da

região afetando as estações de forma variável. Em janeiro, observou-se um caso de ZCAS (1 a 4) e chuvas sobre as seis estações, sendo que em MG4 e MG6 registraram picos de 94.7 mm e 78,9 mm, respectivamente (ZCAS3). No restante do período, observou-se picos isolados e menos contínuos de chuva como consequência da passagem de frentes frias (SF3 e SF4). No mês de Fevereiro não se registrou nenhum caso de ZCAS, as chuvas foram dispersas e fracas sobre tudo na estação MG7, MG5 e MG4 devido a frentes frias que atingiam a região (SF5 e SF6). O VCAN do Nordeste posicionado sobre a região norte do Sudeste inibiu a convecção e impediu o deslocamento de SFs sobre a região de interesse.

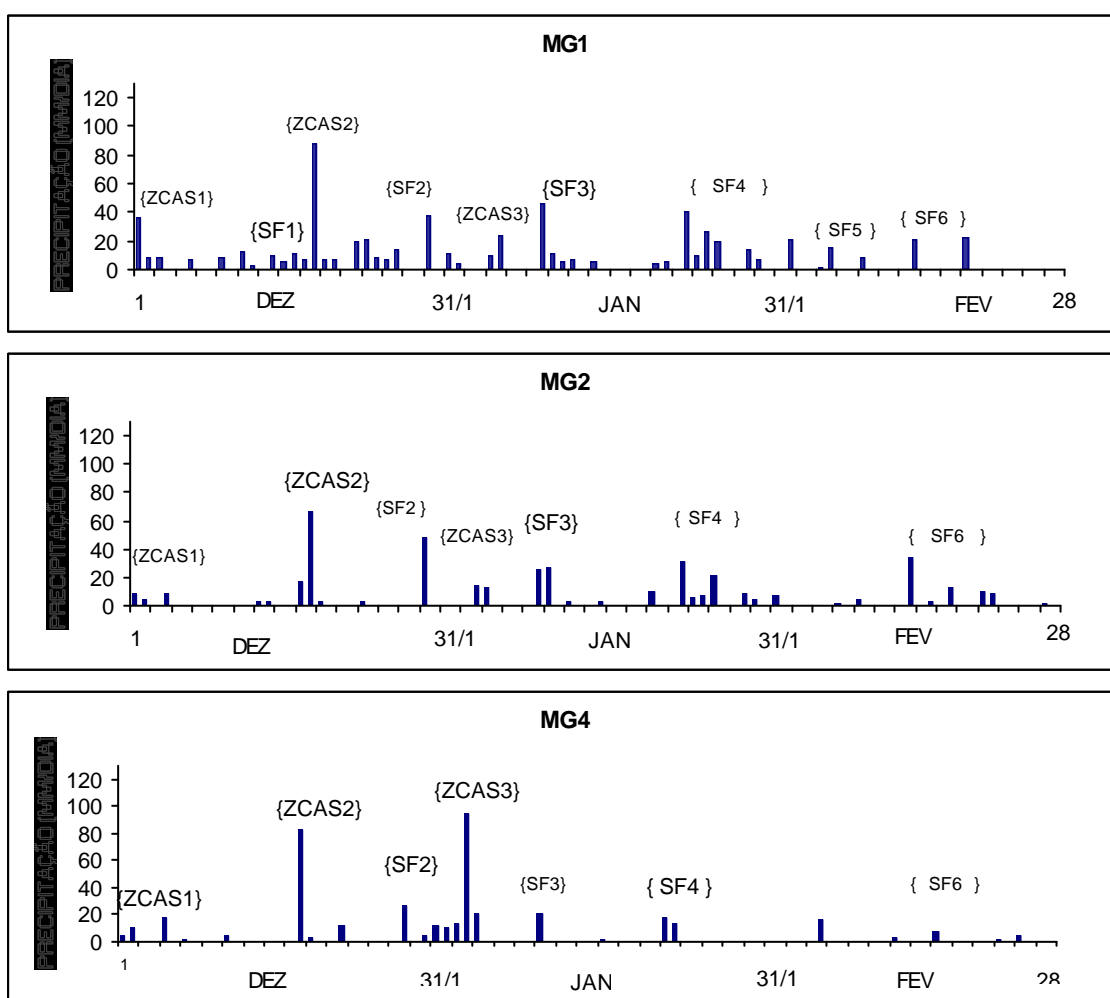


FIGURA 5.8 - Distribuição da precipitação nas estações MG1, MG2, MG4, MG5, MG6, e MG7 localizadas no estado de Minas Gerais durante o verão 2000-2001.

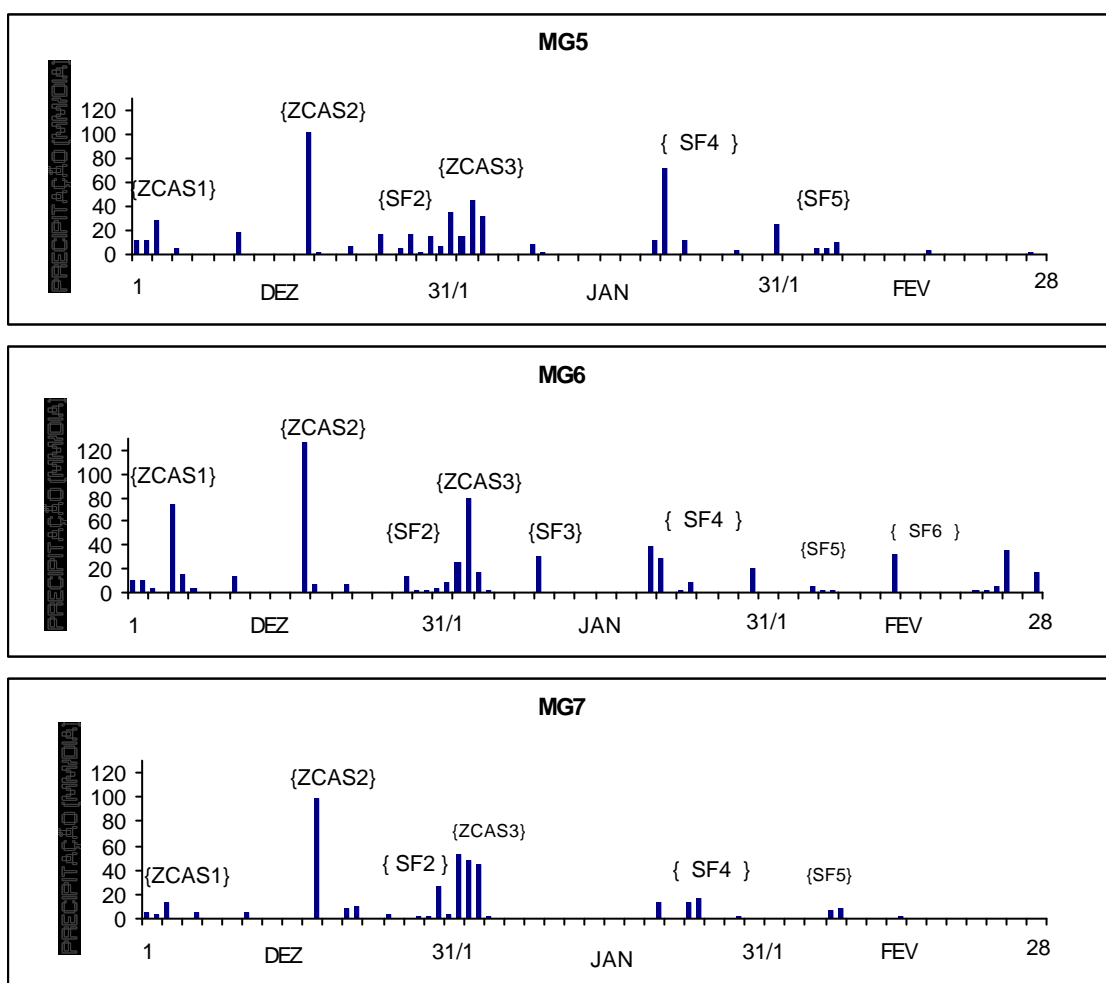


FIGURA 5.8 – Conclusão.

5.1.5 - Verão 2001 – 2002

São Paulo

Durante este período observou-se um aumento das precipitações sobre as estações consideradas (Figura (5.9)). Isto foi evidente em quase todos os locais, exceto em PP. Em dezembro houve dois eventos ZCAS (17 –21 ; 24 – 28) sobre Rio de Janeiro e Minas Gerais que não afetaram significativamente as estações, sendo observado apenas chuvas isoladas (ZCAS1 e ZCAS2). Nos outros períodos (8-10 e 12 – 16), as frentes frias (SF1 e SF2) atuaram nas estações de interesse ocasionando os períodos contínuos de chuvas. A estação do IAG registrou neste período (dia 9) 60 mm.

Em janeiro, os SFs interagindo com a convecção da AB, foram os responsáveis pelas chuvas sobre a região (SF3 e SF4). Os períodos contínuos e mais significativos de chuva ocorreram nos dias 12 a 16, sendo que PP (dia 12) e RP (dia 14) registraram máximos de até 100 mm. No final do mês (27-29), outra frente fria (SF5) atingiu o estado, porém de forma distinta e fraca, somente BR e PP foram as mais afetadas.

Em fevereiro de 2002, o panorama foi diferente, houve registro de dois eventos de ZCAS (4-8 e 16-24), porém as estações de GR, RP e BR foram afetadas pelo primeiro evento (ZCAS3), somente nos últimos dias de atuação. Em PP não houve registro de chuvas durante este período. O segundo evento (ZCAS4), ocasionou períodos contínuos de chuvas, somente em GR, KP, IAG, BR e RP. Nas demais estações registraram-se chuvas isoladas, porém intensas, como o observado em PP no dia 20 (60 mm).

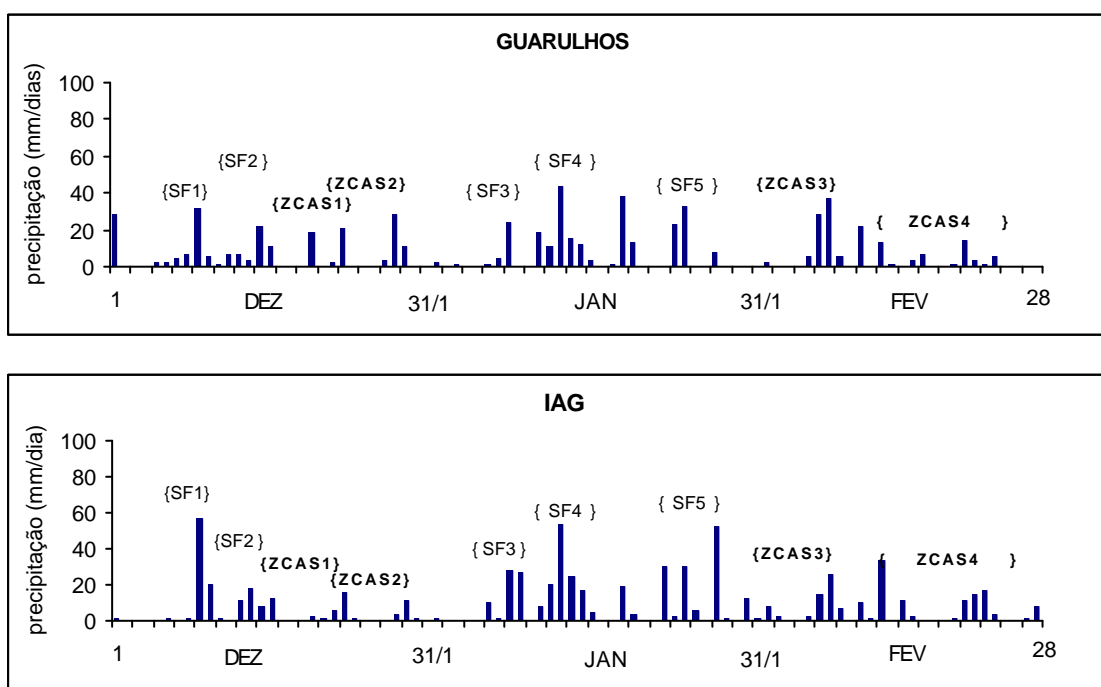


FIGURA 5.9 - Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo durante o verão 2001 –2002.

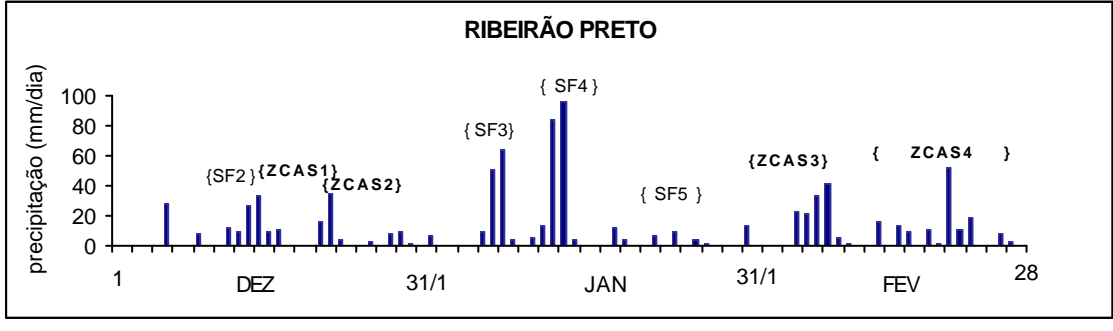
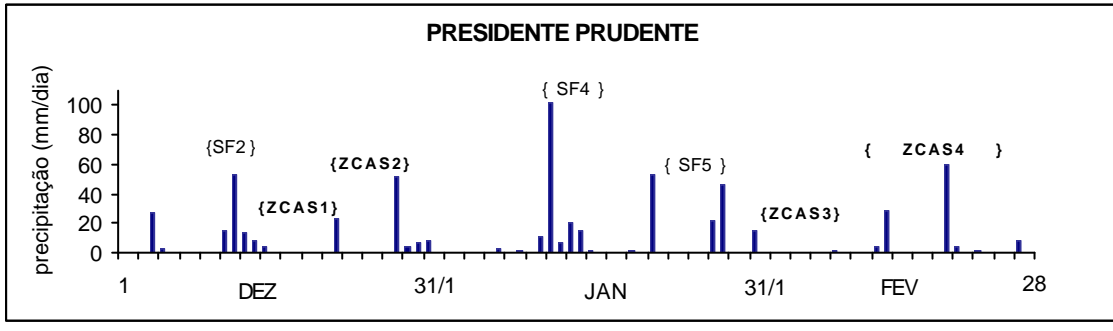
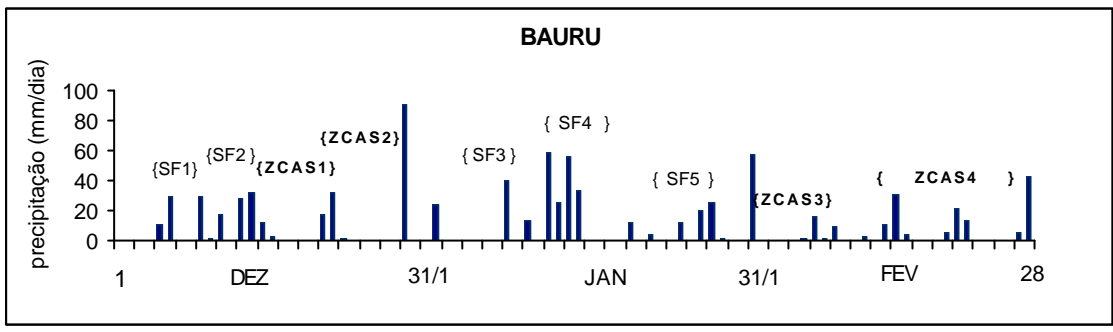
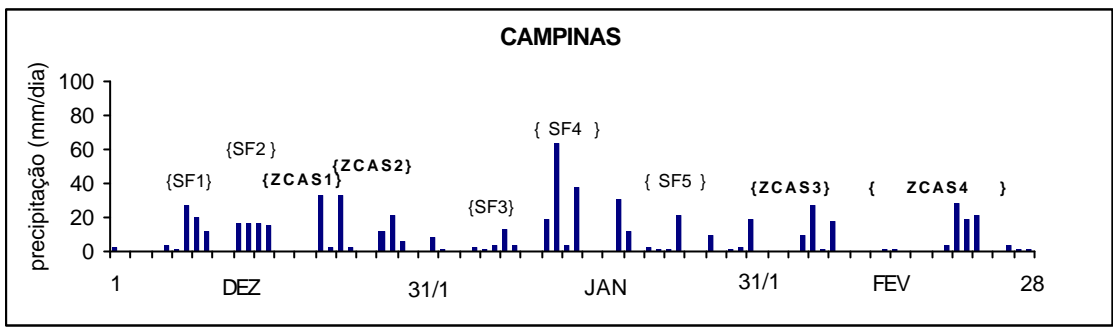


FIGURA 5.9 – Conclusão.

Rio de Janeiro

O comportamento das precipitações neste verão, também foi significativamente influenciado pela ZCAS (Figura (5.10)). Os períodos contínuos de chuvas em dezembro ocorreram associados ao primeiro (ZCAS1) e segundo (ZCAS2) eventos (17-21 e 24-28), sendo que as estações RJ3, RJ5 e RJ6 foram as mais afetadas, e em RJ6 ocorreram os mais altos valores (95 mm, dia 24). As estações RJ1, RJ4 e RJ7 registraram chuvas menos contínuas, no entanto, foi na estação RJ1 que ocorreu um pico de 118 mm (dia 24) (ZCAS2). As chuvas dos primeiros dias do mês estiveram associadas ao último SF do mês anterior. Somente na estação RJ6 registrou-se chuvas dentro do período de 7-15, como consequência da nebulosidade dispersa induzida pela AB e SFs fracos (SF1 e SF2). Em janeiro observou-se que incursões de sistemas frontais (SF3, SF4 e SF5) influenciaram os totais de chuvas sobre as sete estações. Além disso RJ6 e RJ5 apresentaram chuvas contínuas entre os períodos de 11 a 19 como consequência dos SFs atuar com maior intensidade sobre estes locais. Nas outras estações os períodos de chuva foram esporádicos. Neste verão os menores valores pluviométricos ocorreram em RJ4, estação mais próxima do litoral .

Em fevereiro, somente o primeiro caso de ZCAS (4-7) não afetou significativamente as estações, mas ocorreram chuvas significativas em RJ6 nos dois primeiros dias (ZCAS3). No segundo caso (ZCAS4: 16-24), as estações RJ3, RJ5 e RJ4 apresentaram períodos contínuos de chuva, enquanto que nas demais elas foram esporádicas. RJ7 registrou somente dois dias de precipitação, porém, foram as mais intensas que ocorreram no evento de ZCAS4 (60 mm).

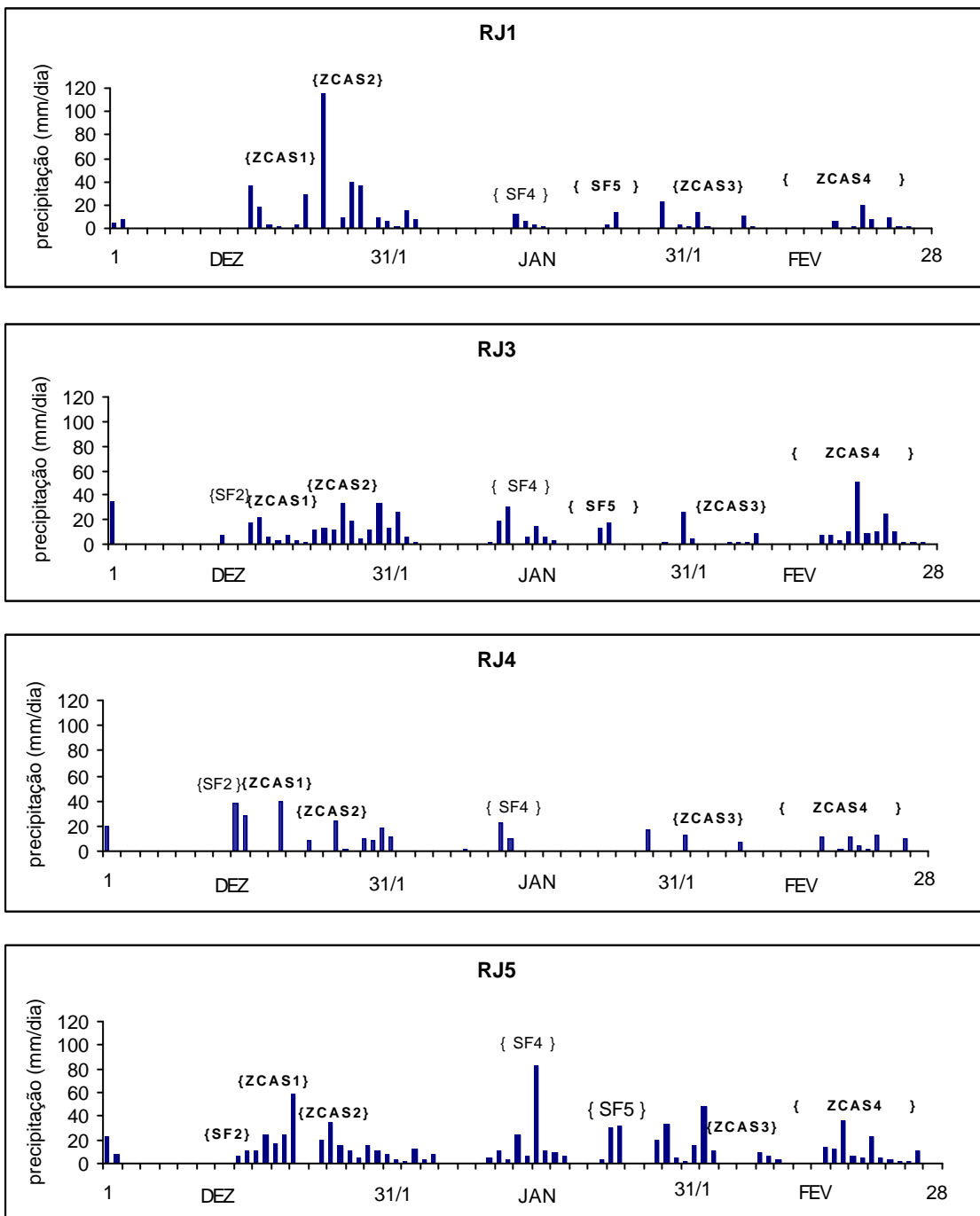


FIGURA 5.10 - Distribuição da precipitação nas estações RJ1, RJ2, RJ3, RJ4, RJ5, RJ6 e RJ7 localizadas no estado de Rio de Janeiro durante o verão 2001-2002.

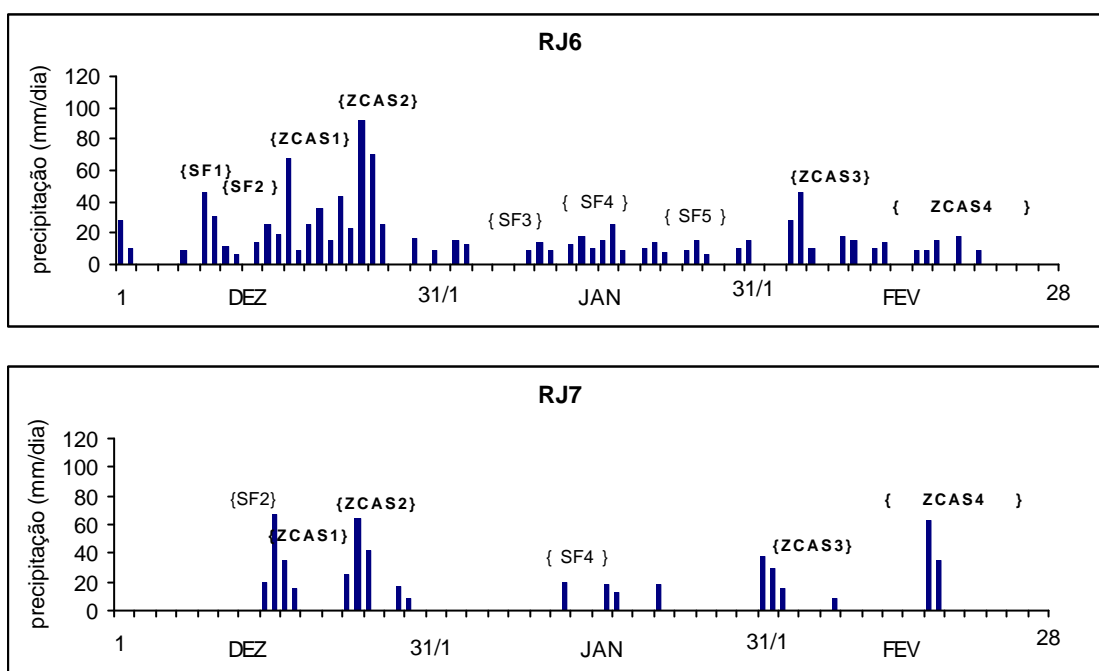


FIGURA 5.10 – Conclusão.

Minas Gerais

No verão de 2001-2002 as precipitações sobre a região foram superiores as observadas no verão anterior. Segundo descrito no Capítulo 4, observaram-se quatro casos de ZCAS, dois em dezembro (17-21/ 24-28) e dois em fevereiro (4-7 / 16-24). Em dezembro os períodos contínuos de chuva nas seis estações estiveram associados com eventos ZCASs (Figura (5.11)). A estação MG2 foi a menos afetada, mas houve picos de até 70 mm (MG7 e MG6) nas demais estações. O segundo caso (ZCAS2) afetou todas as estações, e nas estações MG7 e MG6 ocorreram picos de até 70 mm. A incursão de um novo SF reforçou o segundo evento, e como consequência o período de chuvas se prolongou até os primeiros dias de janeiro. Eventos ZCAS não foram registrados em Janeiro, mais as chuvas nos períodos 13-19 e 24-28, estiveram associados à incursões de sistemas frontais (SF3 e SF4) que ao atingir a região de Minas Gerais e interagir com a AB originaram picos de até 123.5 mm, como observado em MG2 (dia 14). No mês de fevereiro, o caso ZCAS3 (4-8) afetou distintamente as estações e dias esporádicos de chuva foram observados. Já o segundo evento (ZCAS4:16-24), associado a um caso de VCAN sobre o Nordeste, atingiu

significativamente as estações. Ocorreram também chuvas fracas em MG2, e nas outras estações (MG4, MG6 e MG7) os índices pluviométricos registraram até 60 mm.

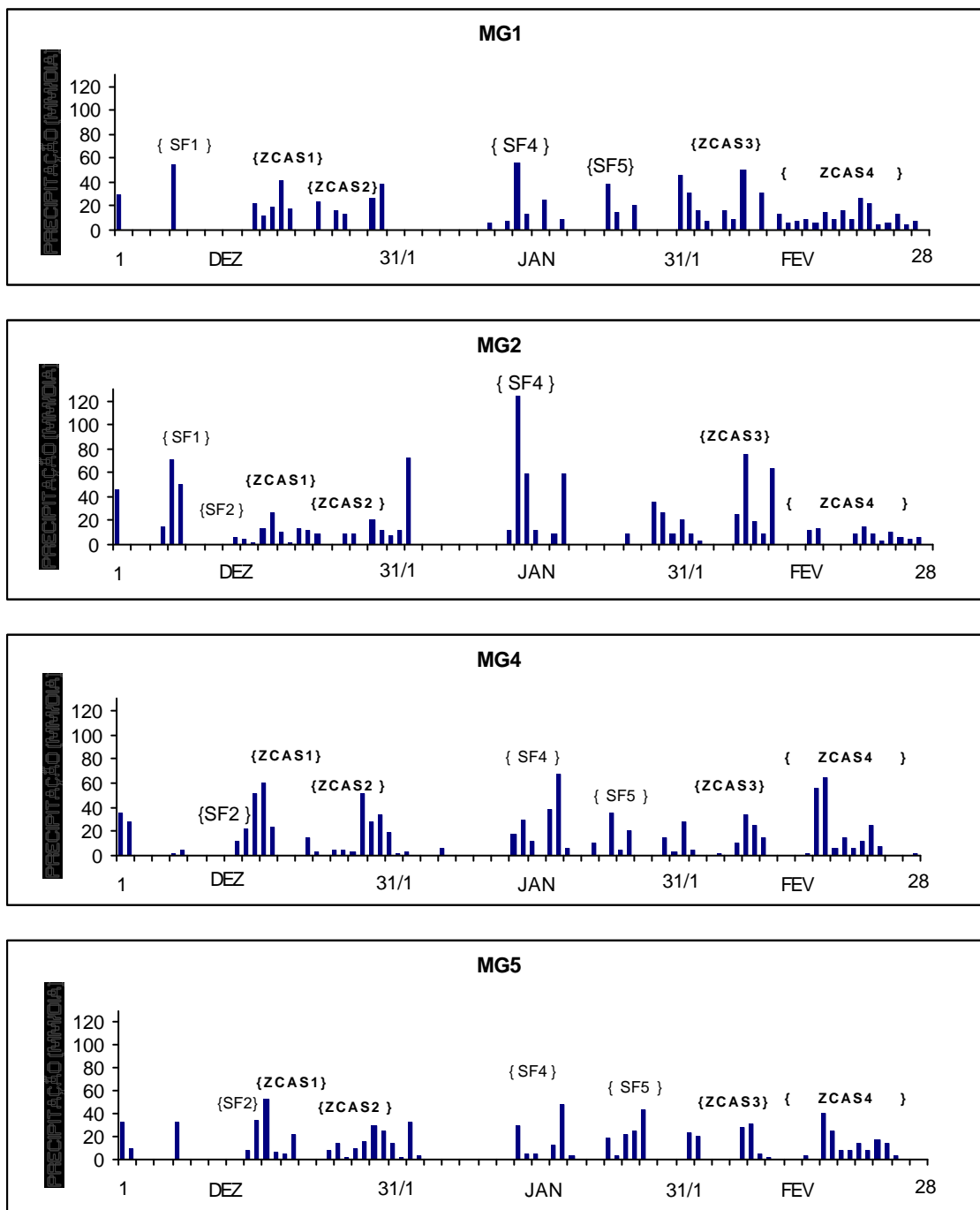


FIGURA 5.11 – Distribuição da precipitação nas estações MG1, MG2, MG4, MG5, MG6, e MG7 localizadas no estado de Minas Gerais durante o verão 2001-2002.

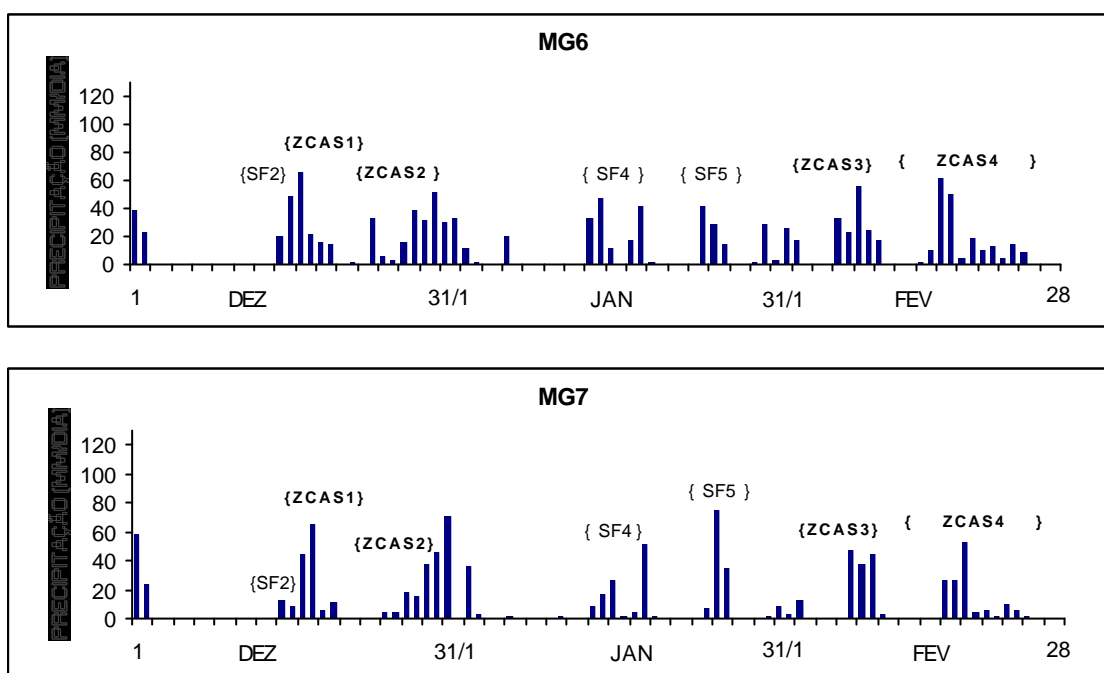


FIGURA 5.11 – Conclusão.

5.2 Períodos de Inverno

5.2.1 - Inverno 1998

São Paulo

No inverno de 1998, a distribuição da precipitação em São Paulo foi diferente em cada estação (Figura (5.12)). Observa-se que as chuvas nesta época tipicamente ocorre em dias isolados, e períodos contínuos acima a três dias são raros. No dia 19 de junho, a passagem de uma frente fria, reforçado por um CV contribuiu para a ocorrência de chuvas em todas as estações de estudo. Esta situação propiciou índices pluviométricos de até 20 mm (BR). O outro período de chuvas (24 a 25) também esteve associado a outra frente fria (SF1), porém, foi menos intenso e somente BR não foi afetada.

Em julho, as chuvas continuaram escassas e os eventos isolados (9 e 19-20) também estiveram associados a passagem de frentes frias (SF2 e SF3). Observaram-se precipitações mais intensas e em períodos contínuos em Agosto. Na primeira semana (1 a 5), uma frente fria (SF4) foi reforçada por uma ciclogênese que se originou no Rio Grande do Sul, contribuindo para a instabilidade na região, e causando as primeiras chuvas do mês. Os outros períodos de chuvas (7 a 9 e 13 a 14) estiveram associados a frentes frias (SF5 e SF6), que reforçados por CV de altos níveis originaram picos em RP (28 mm) e PP (37 mm) nos dias 8 e 9, respectivamente. Como visto no Capítulo 4, este mês caracterizou-se pela alta incursão de SFs na região Sudeste.

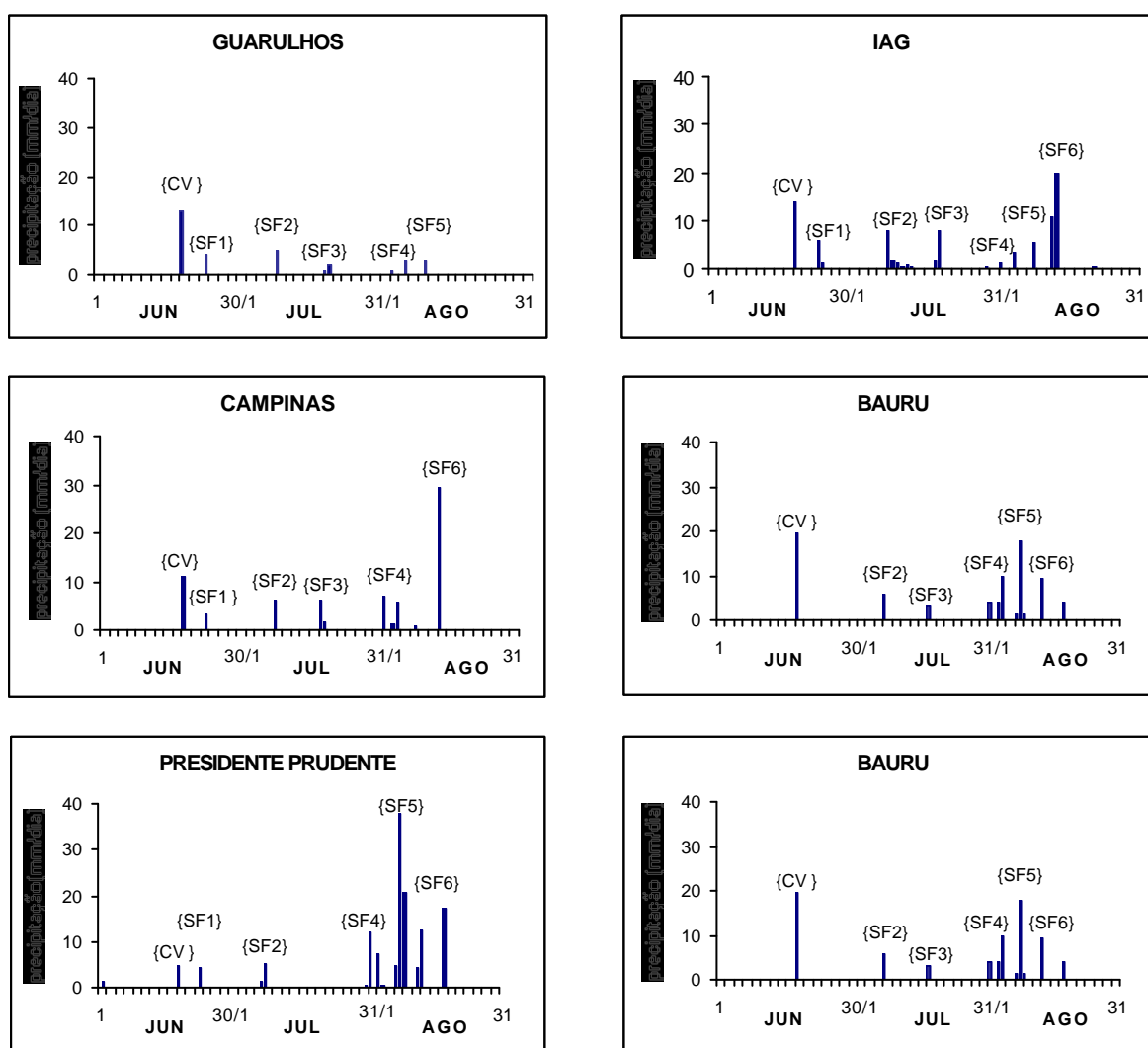


FIGURA 5.12 – Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo durante o inverno 1998.

5.2.2 - Inverno 1999

São Paulo

Do ponto de vista climático o inverno de 1999 apresentou um comportamento diferente, sendo que as precipitações mais acentuadas ocorreram em Junho e nos primeiros dias de julho (Figura (5.13)). O evento do dia 14 de junho esteve associado a um VCAN (VCAN1) oriundo de latitudes médias que se deslocou até São Paulo (Figura (4.5)), e causou máximos de precipitações de 35 mm em BR. O outro evento entre os dias 19 e 20 esteve associado a interação de um SF e um VCAN, que deu origem a uma ciclogêneses. Os picos observados neste evento alcançaram 45 mm na estação IAG. No resto do período as chuvas foram fracas e estiveram associadas a rápida passagem de uma frente fria (SF1), somente PP e RP não foram afetadas. Em julho, as chuvas diminuíram e o único período significativo ocorreu entre os dias 4 a 7, e esteve associado a uma frente fria (SF3). Este sistema atingiu o setor sudeste de São Paulo, afetando significativamente as estações de GR (18 mm, dia 5) e IAG (25 mm, dia 5), e em menor grau a estação PP. No mês de Agosto não foram registradas chuvas, os SFs não atingiram São Paulo, e somente na estação IAG ocorreu chuvas fracas no período de 12 a 15, associada a um SF sobre o oceano mas que induziu instabilidade na região leste de São Paulo.

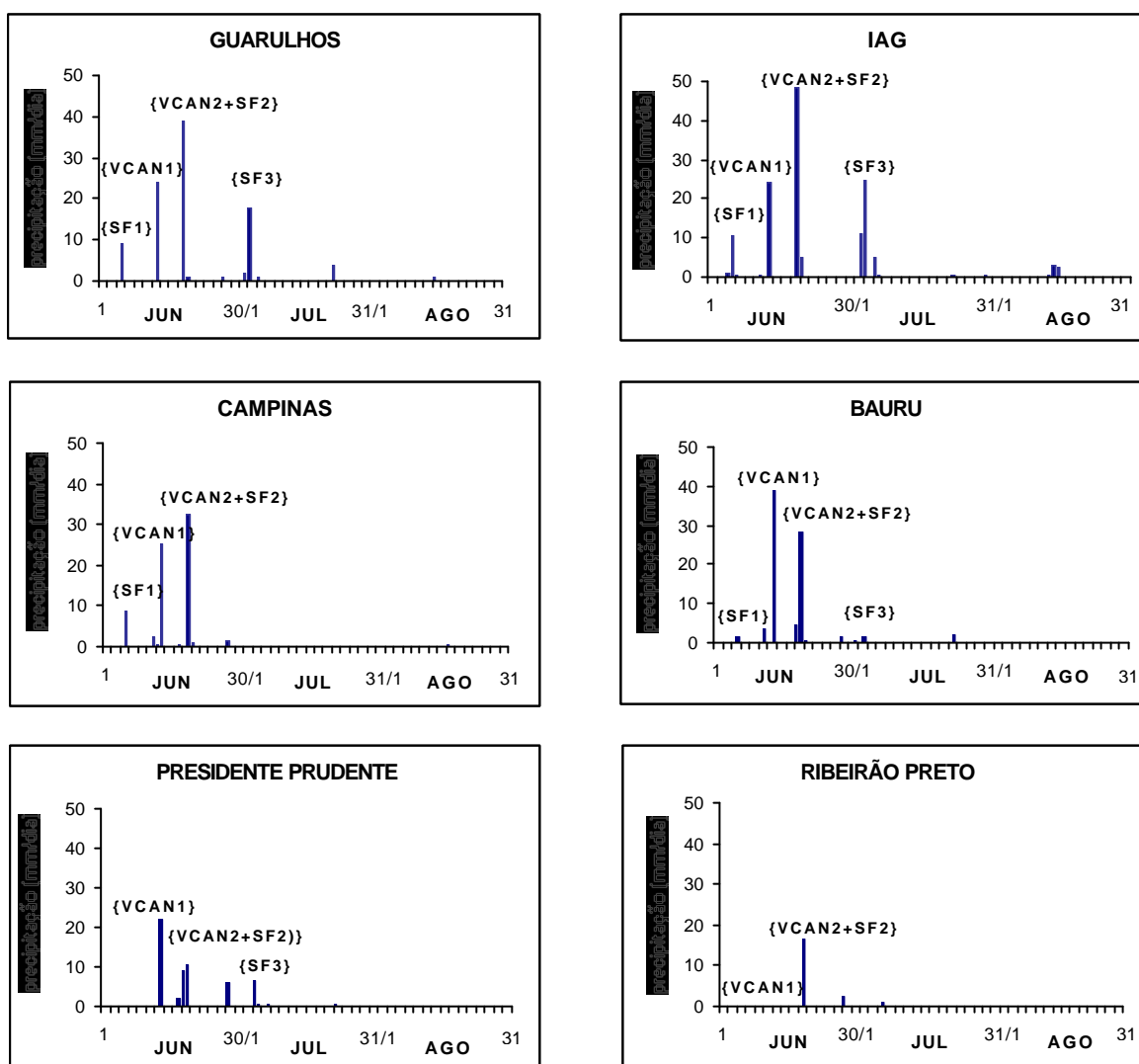


FIGURA 5.13 – Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo durante o Inverno 1999.

5.2.3 - Inverno 2000

São Paulo

A distribuição de chuvas em São Paulo durante o inverno de 2000 foi mais evidente em julho e agosto (Figura (5.14)). Em Junho, as chuvas foram escassas, somente no período de 19 a 21, uma frente fria (SF1) afetou significativamente quase todas as estações. O último SF do mês (SF2) originou picos isolados de chuva em BR (30 mm) e PP (26

mm), e chuvas fracas nas demais estações. Julho apresentou períodos isolados de chuvas, os mais significantes ocorreram nos dias 15 a 16 e 22 a 23. No primeiro período, um SF associado a uma ciclogênese (SF4) provocou muita instabilidade sobre São Paulo, ocorrendo máximos de até 35 mm em KP (dia 15) e PP (dia 15). Já no segundo, as chuvas ocorreram devido a uma frente fria (SF5) que se deslocou tanto pelo interior como pelo litoral da região, sendo que IAG e KP registraram valores de 35 mm no dia 23. As chuvas compreendidas entre os dias 15 a 18, 27 a 28 e 31, em Agosto, estiveram associadas à passagem de SFs (SF7 e SF8). O segundo destes períodos afetou com maior intensidade KP, onde no dia 28 se observou um índice de 40 mm.

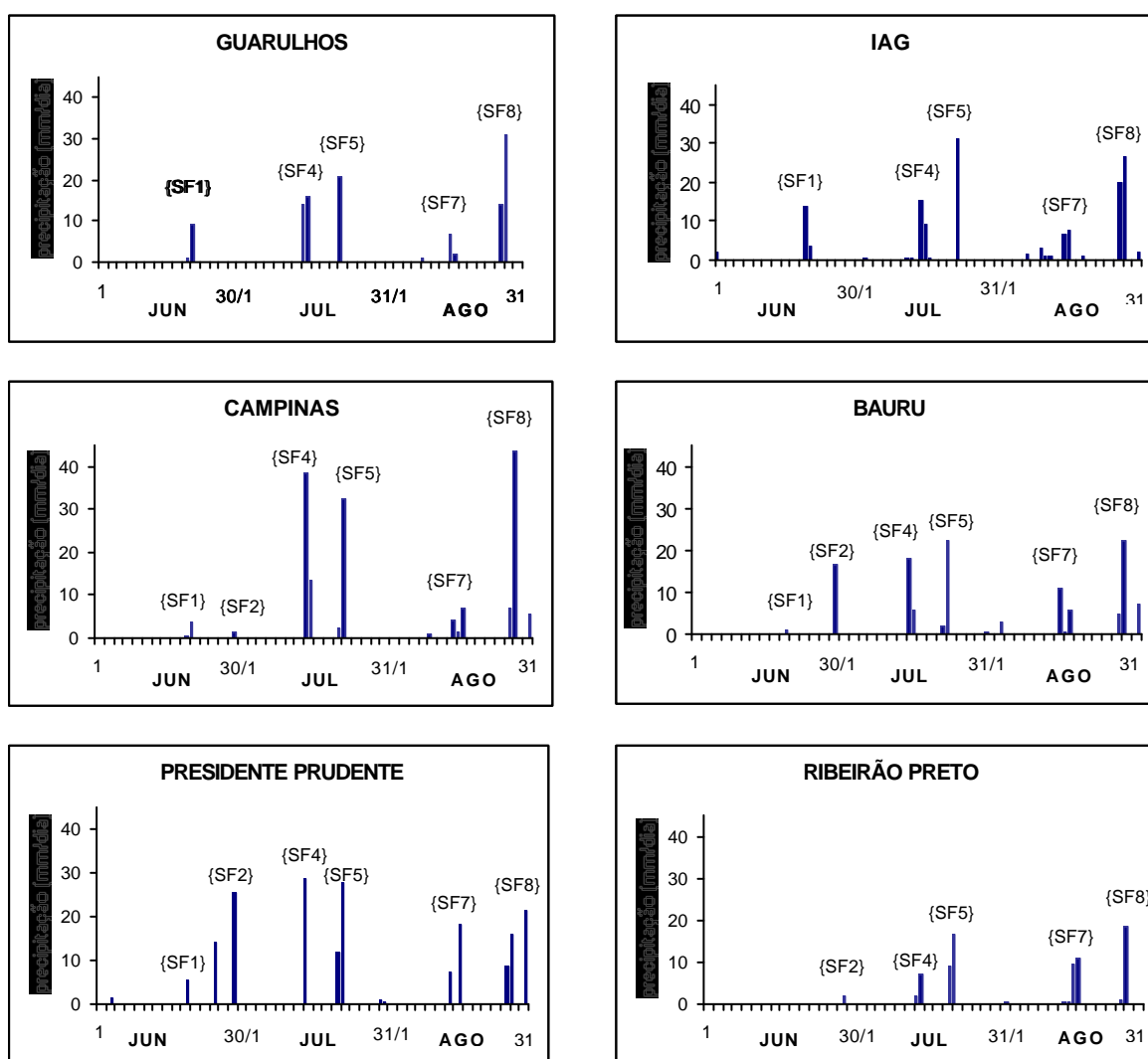


FIGURA 5.14 – Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo durante o inverno 2000.

Rio de Janeiro

A distribuição da precipitação para as estações do Rio de Janeiro apresentou um comportamento um pouco similar no que se refere a dias de ocorrência (Figura (5.15)). De um modo geral durante inverno 2000 observaram-se precipitações isoladas principalmente em junho. Em RJ7 observou-se um pico isolado de 18 mm associado a SF1 que no dia anterior também afetou SP. Já no mês de Julho houve um período maior de ocorrência de precipitação. Entre 4 a 7 de julho, devido a passagem de uma frente fria (SF3) se observou valores altos de precipitação nas estações localizadas ao sul do estado: RJ5 registrou 58.5 mm e RJ6 28.6 mm no dia 5 de julho, enquanto RJ7 registrou 32.8 mm no dia 4. Este sistema não afetou SP, já que ingresso a região Sudeste pelo RJ. Na segunda semana de Julho (14 a 18) houve um outro período contínuo de chuvas, associadas a uma ciclogêneses sobre o oceano (SF4) que afetou grande parte do Sudeste; assim, RJ5, RJ6 e RJ7 foram as mais afetadas. Um outro período de chuvas entre o 24 a 26, também esteve associada a um SF5 (reforçado por um cavado) que em seu deslocamento afetou SP e parte do estado de RJ (RJ6 e RJ7).

No mês de agosto ocorreram mais períodos contínuos de chuvas: dias 4 a 5, 11 a 14 e 29 a 31. Nesses casos, a passagem rápida de sistemas frontais (SF6, SF7 e SF8) que também afetaram a região da São Paulo, foram os principais responsáveis pela ocorrência de chuva, e novamente as estações localizadas no sul (RJ5, RJ6 e RJ7) apresentaram maiores índices pluviométricos. As outras estações localizadas ao norte (RJ1, RJ2, RJ3 e RJ4) apresentaram picos isolados neste período.

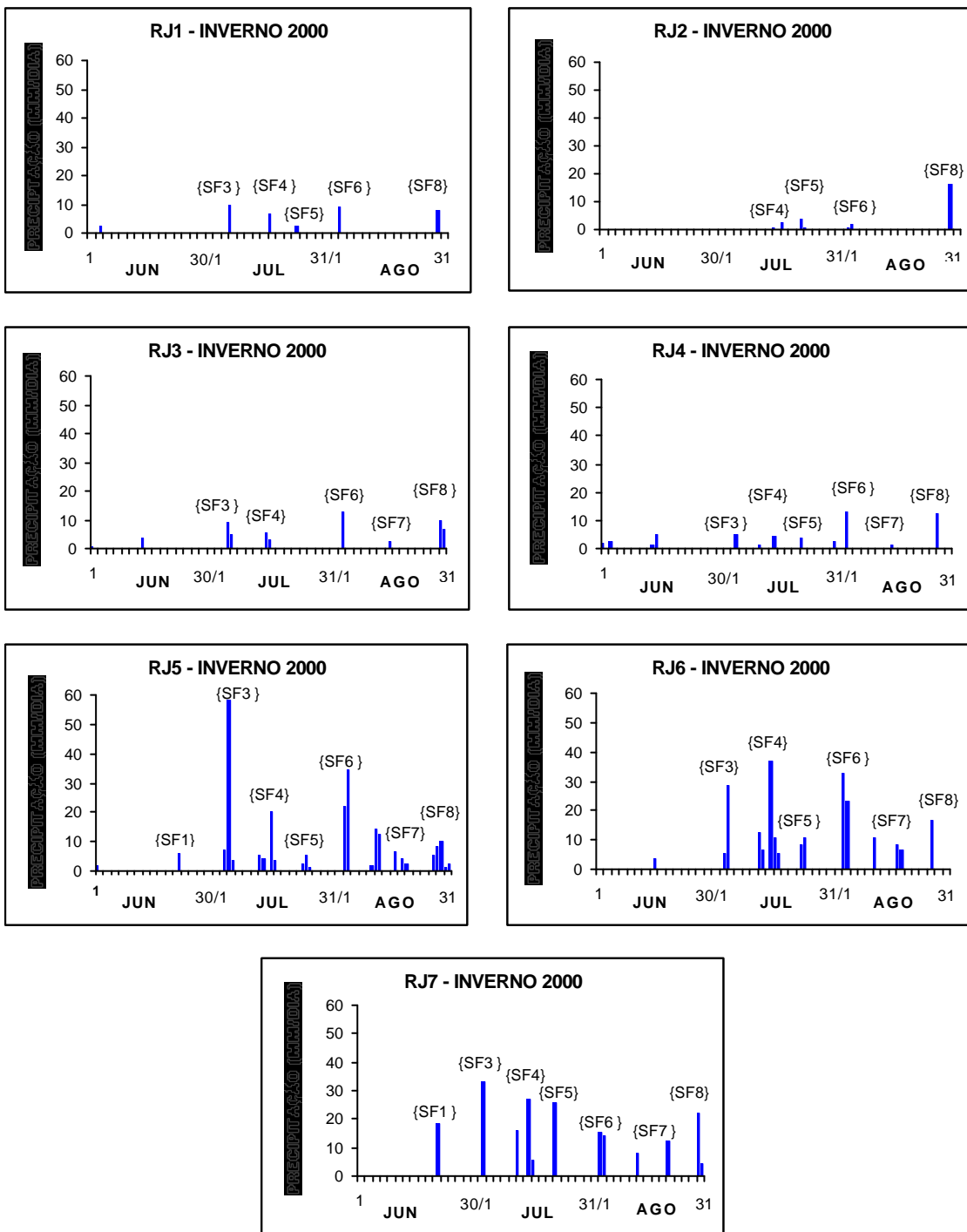


FIGURA 5.15 – Distribuição da precipitação nas estações RJ1, RJ2, RJ3, RJ4, RJ5, RJ6 e RJ7 localizadas no estado de Rio de Janeiro durante o inverno 2000.

Minas Gerais

As precipitações observadas sobre as estações de Minas Gerais no inverno de 2000 (Figura (5.16)) foram mais escassas em relação as registradas no Rio de Janeiro e São Paulo. Em junho, não houve ocorrência de chuvas. Destacam-se em julho alguns dias isolados de precipitação (17 a 18 e 23 a 24 e), que coincidiram com a passagem dos sistemas frontais (SF4 e SF5) que também afetaram SP e RJ. Em Agosto as chuvas também foram escassas, e somente no final do mês (29 a 30) registraram-se os maiores índices 19,5 mm em MG6, somente em MG1 não houve chuvas neste período. Este comportamento esteve associado com a passagem de um sistema frontal (SF8) que afetou o estado de Rio de Janeiro e em maior intensidade o estado de São Paulo.

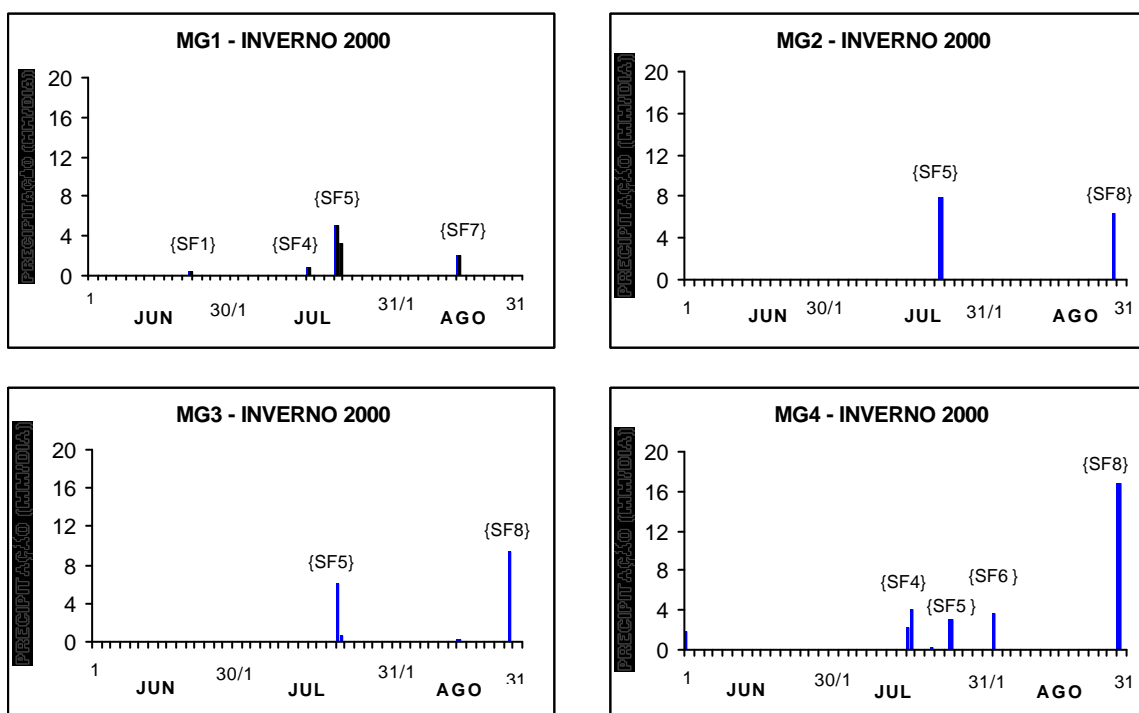


FIGURA 5.16 - Distribuição da precipitação nas estações MG1, MG2, MG4, MG5, MG6, e MG7 localizadas no estado de Minas Gerais durante o inverno 2000.

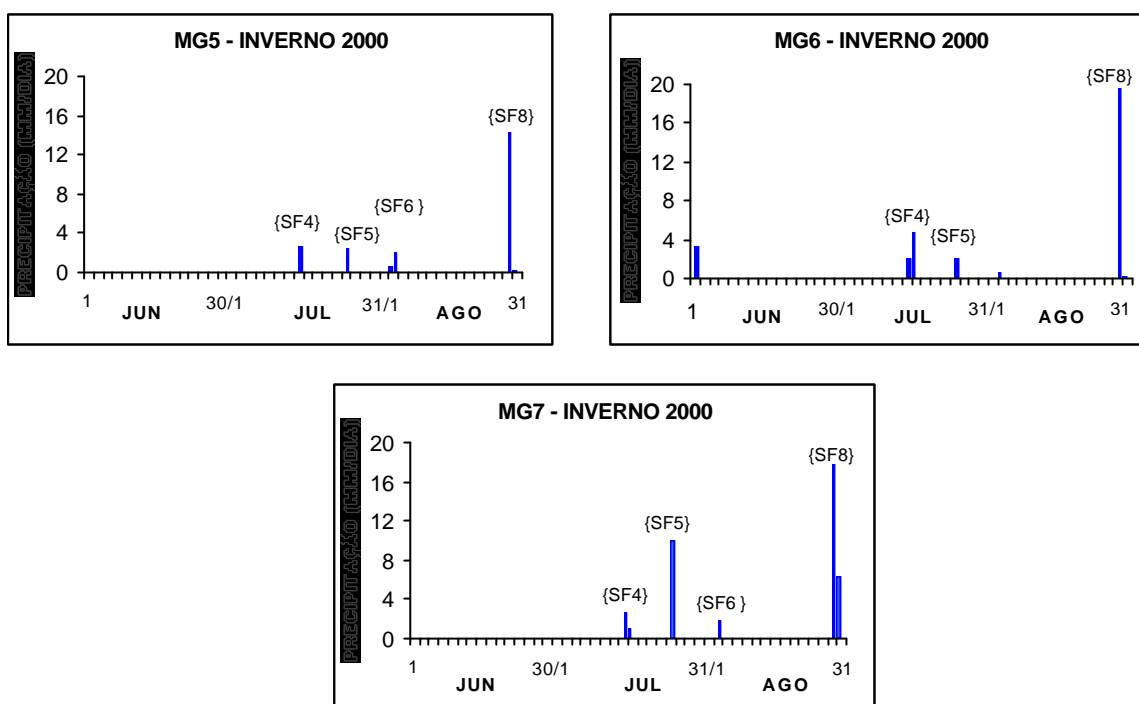


FIGURA 5.16 – Conclusão.

5.2.4 - Inverno 2001

São Paulo

Em São Paulo observou-se uma distribuição esporádica de chuva no inverno de 2001, entretanto ocorreram períodos contínuos de chuva (maior que quatro dias) no final de julho e agosto (Figura (5.17)). No mês de Junho, as primeiras precipitações no período compreendido entre 7 a 9 em PP (38 mm no dia 7) estiveram associadas com a passagem de um SF sobre o litoral, que intensificaram-se devido a presença de um cavado em altos níveis (CV1). Neste período KP, BR e IAG foram afetadas em menor intensidade. O outro período de chuvas nos dias 18 a 20 esteve associado com uma frente fria (SF1) (Figura (4.6a)), que afetou em maior intensidade BR e PP. O pico isolado no dia 26 esteve associado a uma ciclogêneses (CGE) no sul do Brasil, sendo que o ramo da nebulosidade estendeu-se até a região Sudeste até centro de SP, afetando todas as estações de estudo. As chuvas em Julho, no período do 22 a 28, sobre GR, IAG, KP e BR estiveram associadas à passagem de frentes frias (SF4) que interagiram

com cavados em altos níveis. Observou-se também que a estação do IAG registrou os valores mais elevados de precipitação (27 mm). No restante do período, as chuvas foram isoladas e associadas a instabilidade induzida pelas frentes frias (SF2 e SF3) que passaram rapidamente pela região. Na última semana de agosto, os períodos de chuva entre 22 a 26 e 27-31 (Figura (5.17)), estiveram associadas a dois VCANs de latitudes médias que se deslocaram pela região de São Paulo (Figura (4.6.b)). Posteriormente esse vórtice transformou-se um cavado, mantendo a instabilidade e nebulosidade sobre a região.

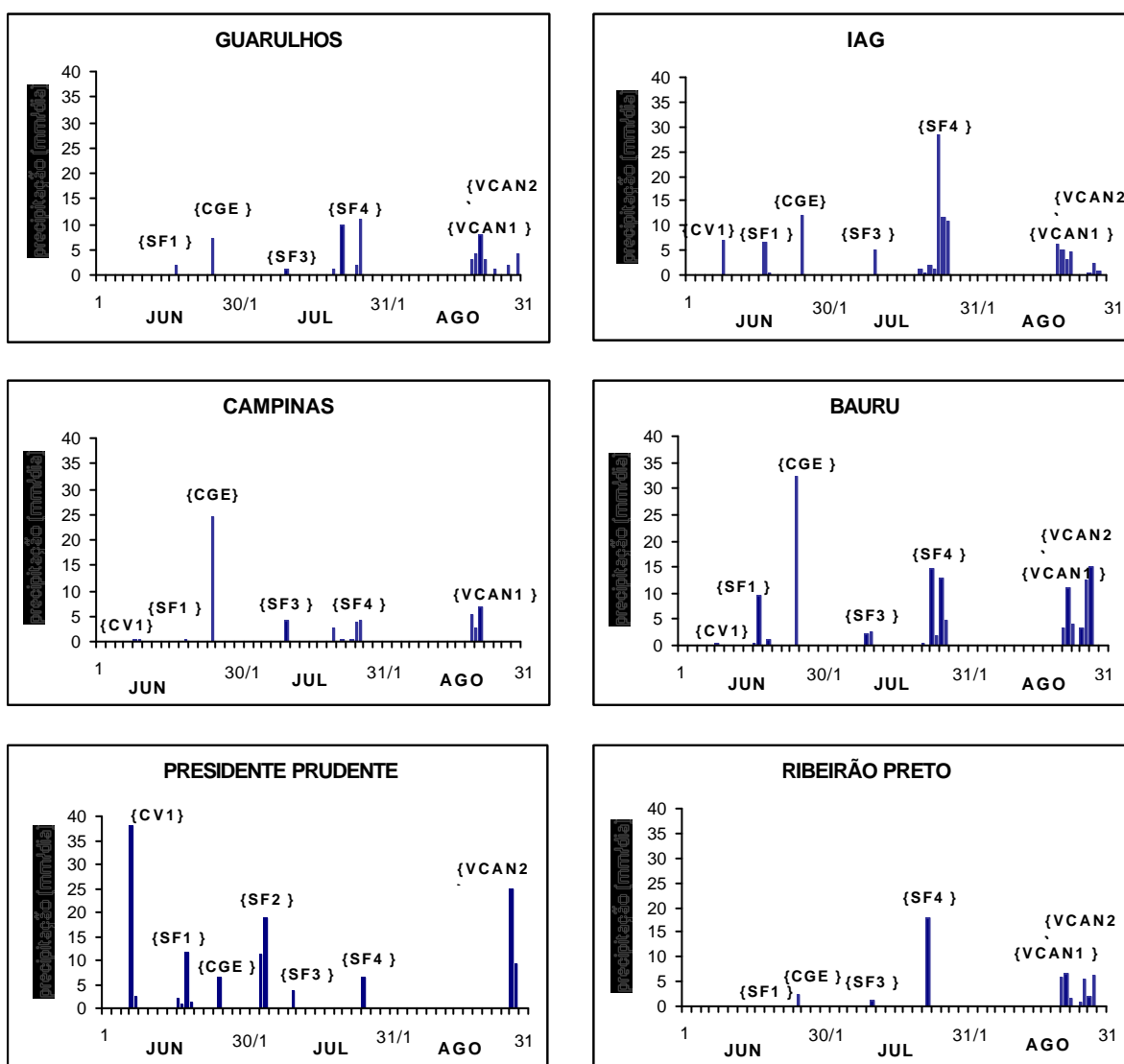


FIGURA 5.17 – Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo durante o inverno 2001.

Rio de Janeiro

No inverno do 2001, com exceção de RJ3, junho teve um número maior de dias com chuva (Figura (5.18)), em relação ao observado no inverno anterior. Nos períodos compreendidos entre 12 a 13 (CV1) e 18 a 19 (SF1) ocorreram chuvas associadas a passagem de frentes frias reforçadas por cavados de altos níveis (Figura (4.6a)), que afetaram com maior intensidade o estado de São Paulo, mas, a instabilidade presente nas estações RJ4, RJ5 e RJ7 induziu índices pluviométricos de 70.2 mm (dia 18), 26.1 mm (dia 19) e 29.3 mm (dia 18), respectivamente. Em julho as chuvas estiveram presentes somente em RJ5, RJ6 e RJ7 e houveram três eventos de chuvas: (12-14, 22-25 e 27-29), todos associados à passagem de sistemas frontais (SF3 e SF4). Em agosto, as chuvas foram registradas nas duas últimas semanas, sendo RJ1, RJ3 e RJ5 as mais afetadas. No período de 17 a 21 uma frente fria (SF5) sobre o oceano induziu nebulosidade que originou chuvas fracas sobre a região. O VCAN2 proveniente de latitudes médias afetou as estações de forma intermitente e com fraca intensidade.

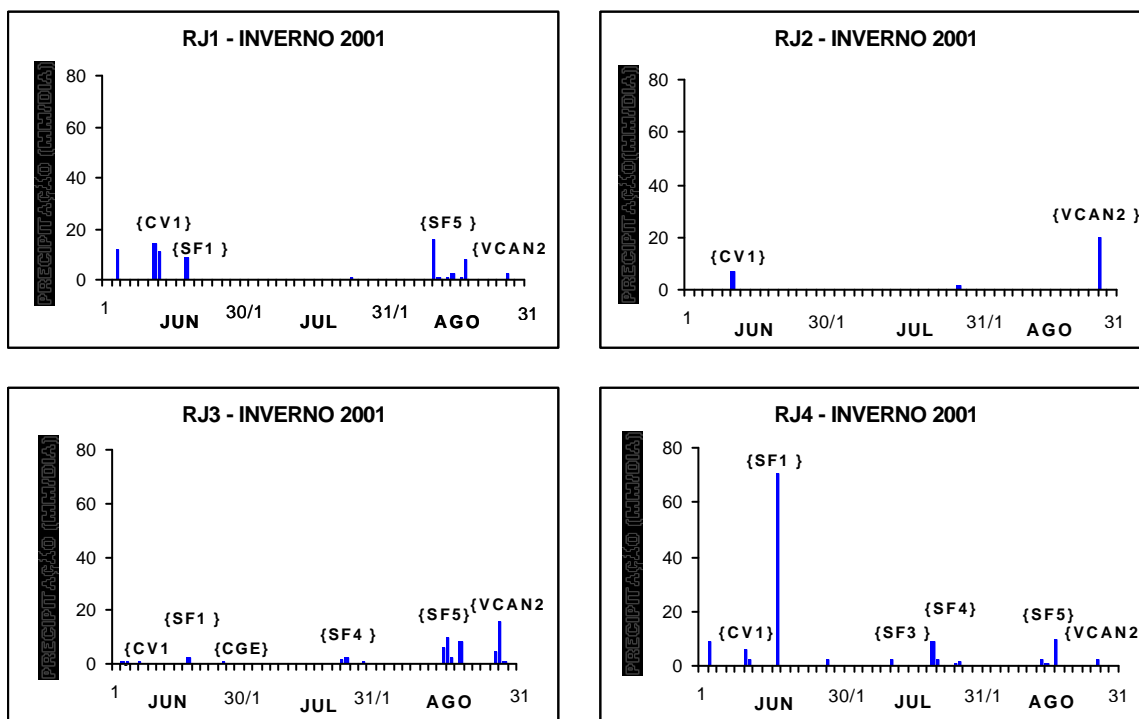


FIGURA 5.18 – Distribuição da precipitação nas estações RJ1, RJ2, RJ3, RJ4, RJ5, RJ6 e RJ7 localizadas no estado de Rio de Janeiro durante o inverno 2001.

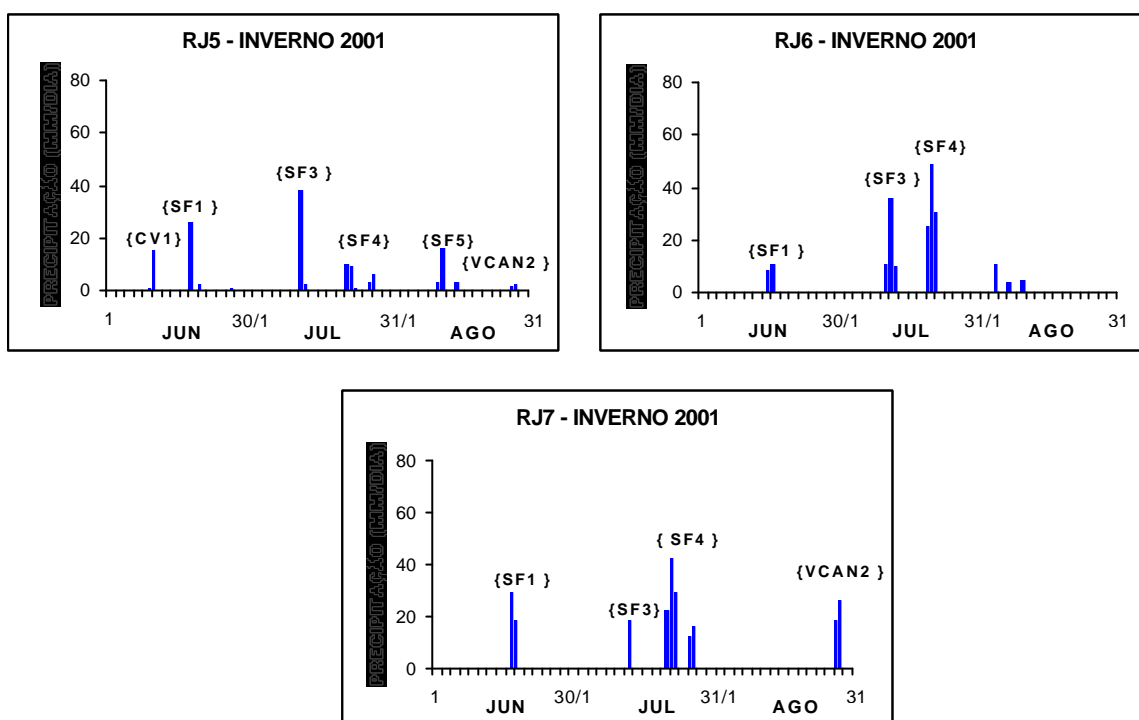


FIGURA 5.18 – Conclusão.

Minas Gerais

As precipitações deste inverno em Minas Gerais foram menores em relação ao inverno passado (Figura (5.19)). O mês de junho apresentou alguns dias isolados de chuvas nas estações MG1 e MG2 (SF1), e em julho os picos do dia 25 (MG1 e MG2), dia 19 (MG5 e MG4), e 28-29 (MG1) estiveram associados a passagens de sistemas frontais (SF3 e SF4) que atuaram com maior intensidade em SP e RJ. Por outro lado, em agosto as chuvas da ultima semana do mês estiveram associadas a VCANs de latitudes medias (Figura (4.6b)) que atuou sobre a região sudeste, afetando o sul de MG e causando um pico máximo de 50.8 mm em MG7 (VCAN1) no dia 24. Em MG4 as chuvas foram isoladas.

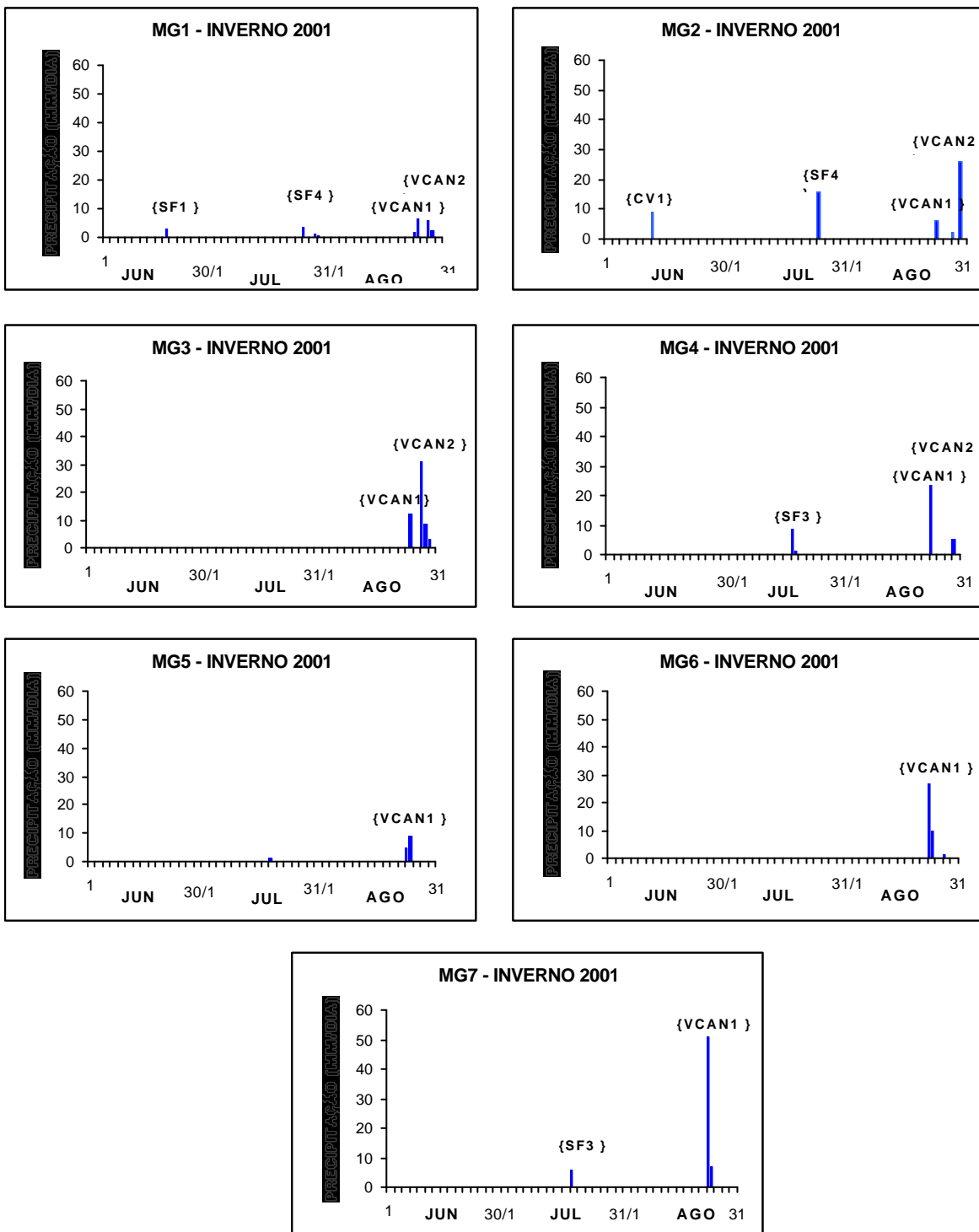


FIGURA 5.19 – Distribuição da precipitação nas estações MG1, MG2, MG4, MG5, MG6, e MG7 localizadas no estado de Minas Gerais durante o inverno 2001.

5.2.5 - Inverno 2002

São Paulo

No inverno de 2002 os índices pluviométricos observados em SP (Figura (5.20)) foram menores que no inverno anterior. Em junho, somente no IAG houve chuvas fracas, como consequência de rápidas passagens de uma frente fria (SF1) pelo litoral de SP. Em julho, os períodos isolados de chuva foram mais significantes e entre os dias 11-12 uma frente fria (SF3) que se deslocou pelo litoral afetou com maior intensidade as estações de GR e IAG, registrando-se picos de 25 mm. No período de 21 e 22, uma outra frente fria (SF4) atuou sobre SP, porém, somente BR e PP foram significativamente afetadas. No início de agosto, ocorreu um período de chuvas contínuas devido a atuação de um VCAN de latitudes médias (Figura (4.7a)). Durante a passagem desse sistema observaram-se alguns picos de precipitação (22 mm) em KP, BR e PP, enquanto, que nos últimos dias de agosto, registraram-se também picos isolados de chuva (45 mm em PP e RP) devido a uma frente fria (SF7) sobre o interior do estado (Figura (4.7 b)).

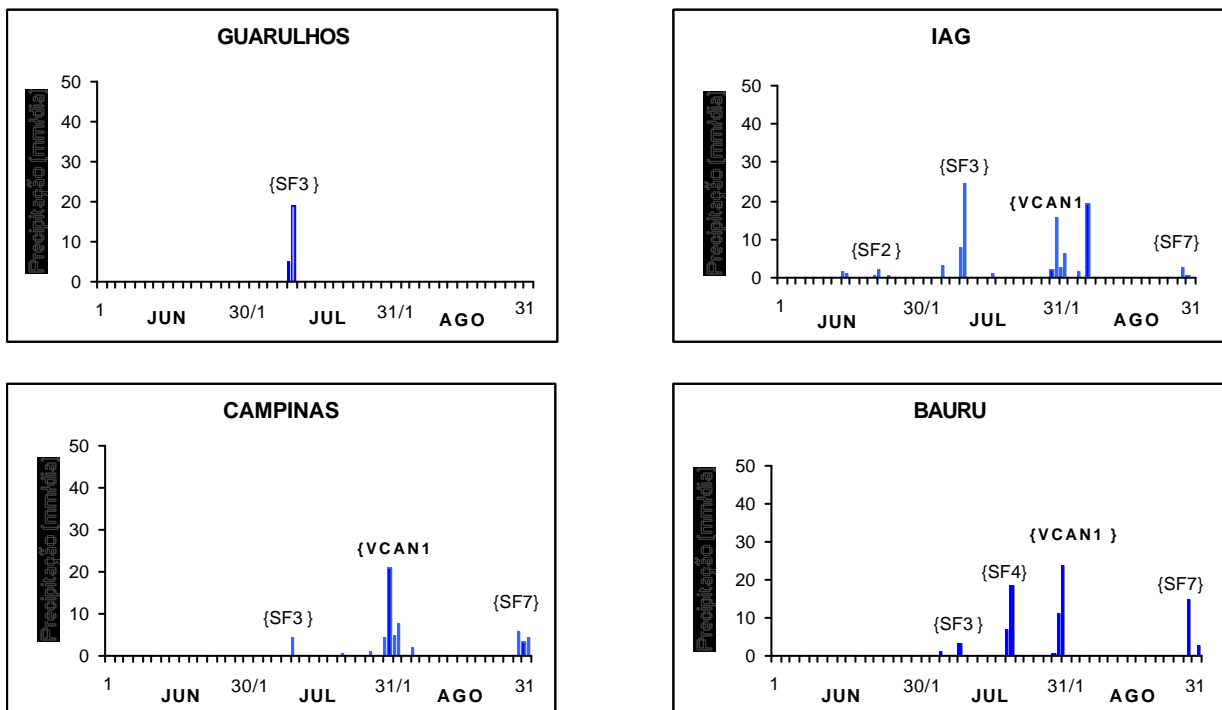


FIGURA. 5.20 – Distribuição da precipitação nas estações de GR, IAG, KP, BR, PP e RP localizadas no estado de São Paulo durante o inverno 2002.

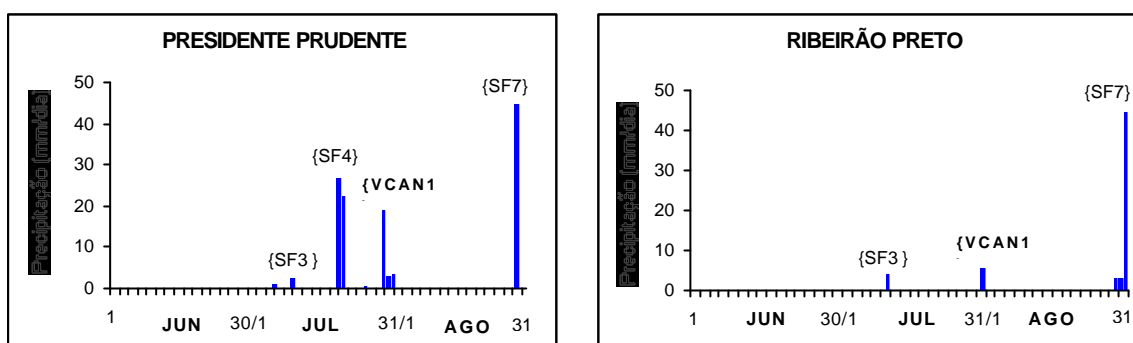


FIGURA 5.20 – Conclusão.

Rio de Janeiro

No mês de Junho (Figura (5.21)), a diferença das estações de SP, na região de RJ observou-se períodos alternados de chuvas entre os dias 23 a 26, devido à passagem de um sistema frontal (SF2) que afetou significativamente as estações RJ3, RJ4, RJ5, RJ6 e RJ7. Nesta data registrou-se o maior pico de precipitação (34 mm) sobre a estação RJ4. Ainda neste mês choveu nos primeiros dias sobre as estações RJ1, RJ3 e RJ4 como produto da instabilidade originada pelo último SF do mês anterior (SF1). Julho registrou períodos de chuva entre os dias 12 a 15, originado por uma frente fria (SF3) que atingiu a região, principalmente as estações RJ3, RJ5, RJ6 e RJ7. Este SF também ocasionou chuvas na região de SP. No restante do período, SFs sobre o oceano que atingiam de forma esporádica a região causaram alguns eventos isolados de chuvas (SF4 e SF5) sobre as estações de estudo. Em agosto, somente RJ5 e RJ6 apresentaram períodos contínuos de chuvas nos primeiros dias do mês, associados a atuação de um VCAN proveniente de latitudes medias (4.7a). Nas demais estações ocorreram picos isolados de chuva neste mesmo período. No final do mês somente as estações próximas ao litoral (RJ1, RJ2, RJ3 e RJ4) apresentaram dias isolados de chuva, como consequência da nebulosidade induzida pelo sistema frontal (SF7) que teve maior atuação sobre o estado de São Paulo.

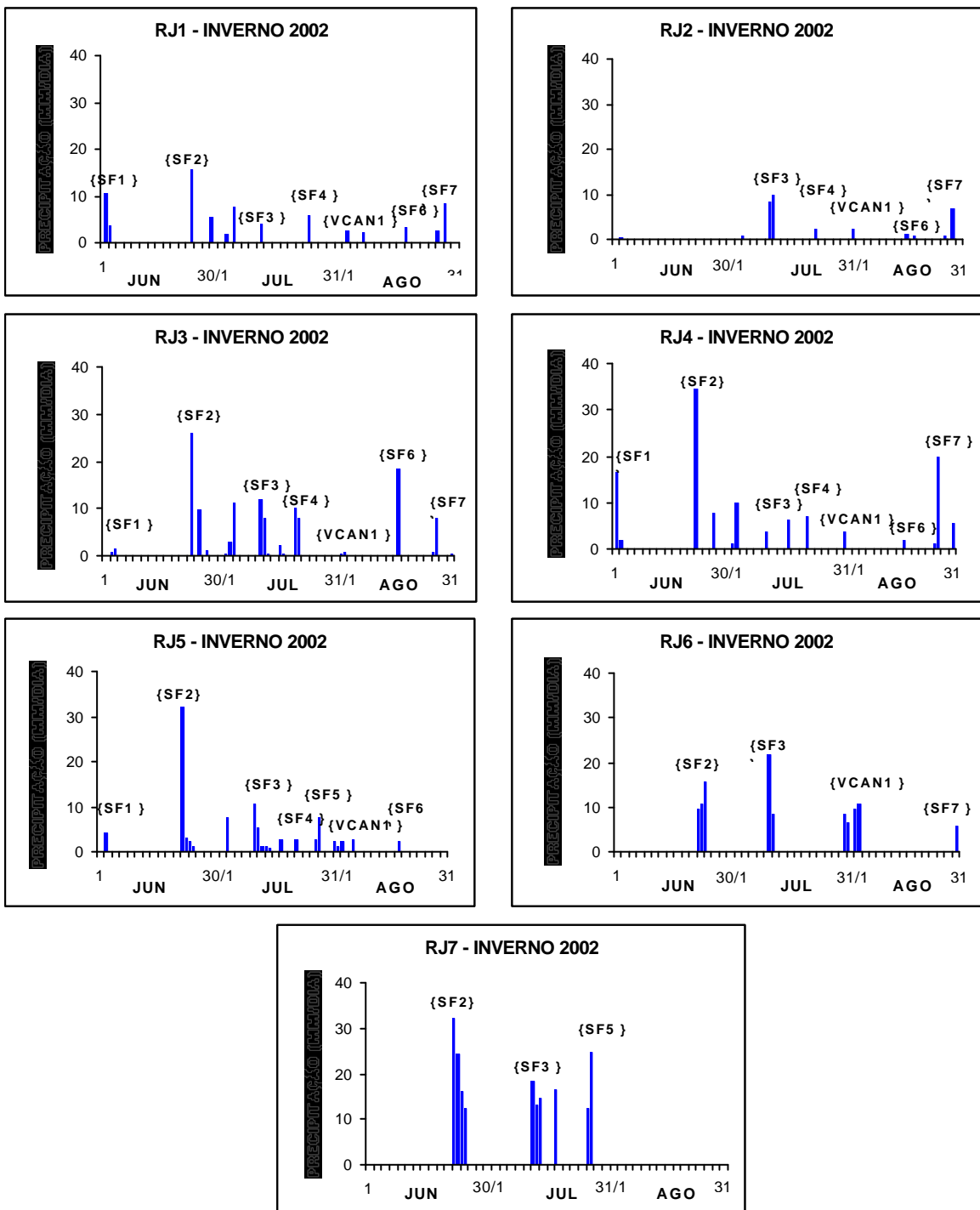


FIGURA 5.21 – Distribuição da precipitação nas estações RJ1, RJ2, RJ3, RJ4, RJ5, RJ6 e RJ7 localizadas no estado de Rio de Janeiro durante o inverno 2002.

Minas Gerais

Neste inverno a escassez de chuva também foi evidente na região, sendo que em Junho não houve nenhuma precipitação significativa (Figura (5.22)). No mês de julho, observaram-se períodos intermitentes de chuvas, sendo que entre os dias 11 a 13 as estações foram afetadas isoladamente pelo sistema frontal (SF3) que atingiu a região Sudeste, incluindo os estados de SP e RJ. No período do 23 a 24 chuvas isoladas ao longo das estações induzidas por outra frente fria (SF4), também foram evidentes. Em Agosto os índices pluviométricos foram baixos, e as chuvas fracas e isoladas nos primeiros dias ocorreram em MG5 e MG6, associadas a um VCAN (Figura (4.7a)) de latitudes médias que afetou grande parte do Sudeste. Já, em MG3 as chuvas fracas ocorreram no final do mês e estiveram associadas a ultima frente fria (SF7) que afetou com maior intensidade a região de SP.

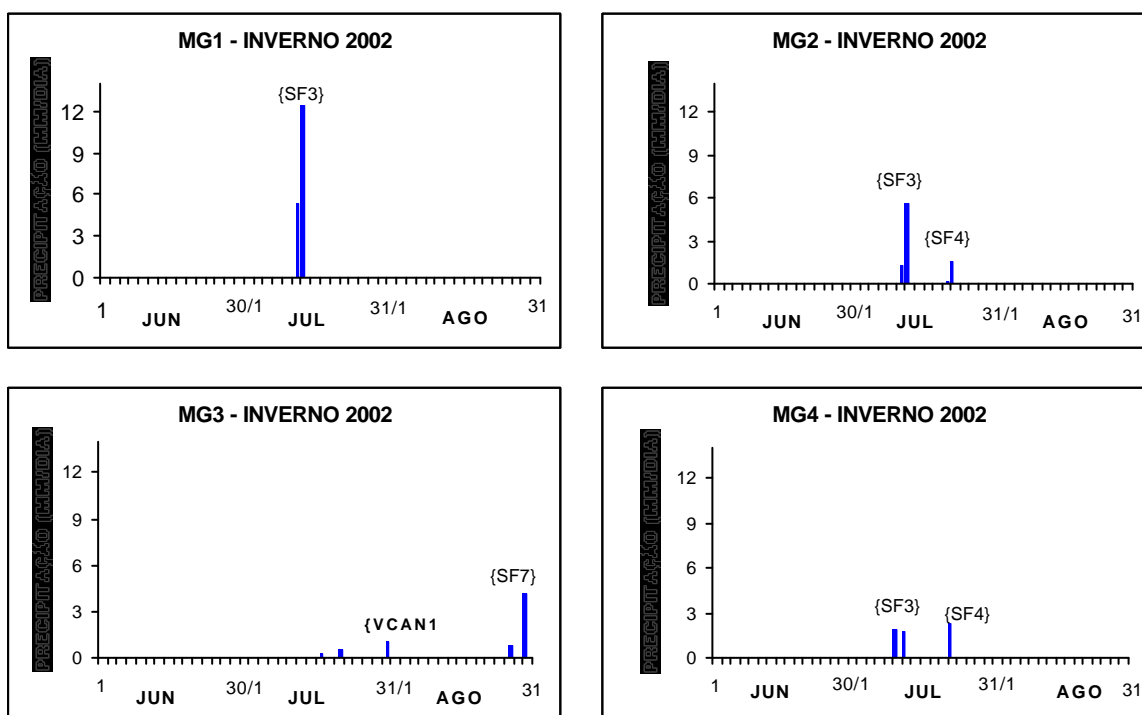


FIGURA 5.22 – Distribuição da precipitação nas estações MG1, MG2, MG4, MG5, MG6, e MG7 localizadas no estado de Minas Gerais durante o inverno 2002.

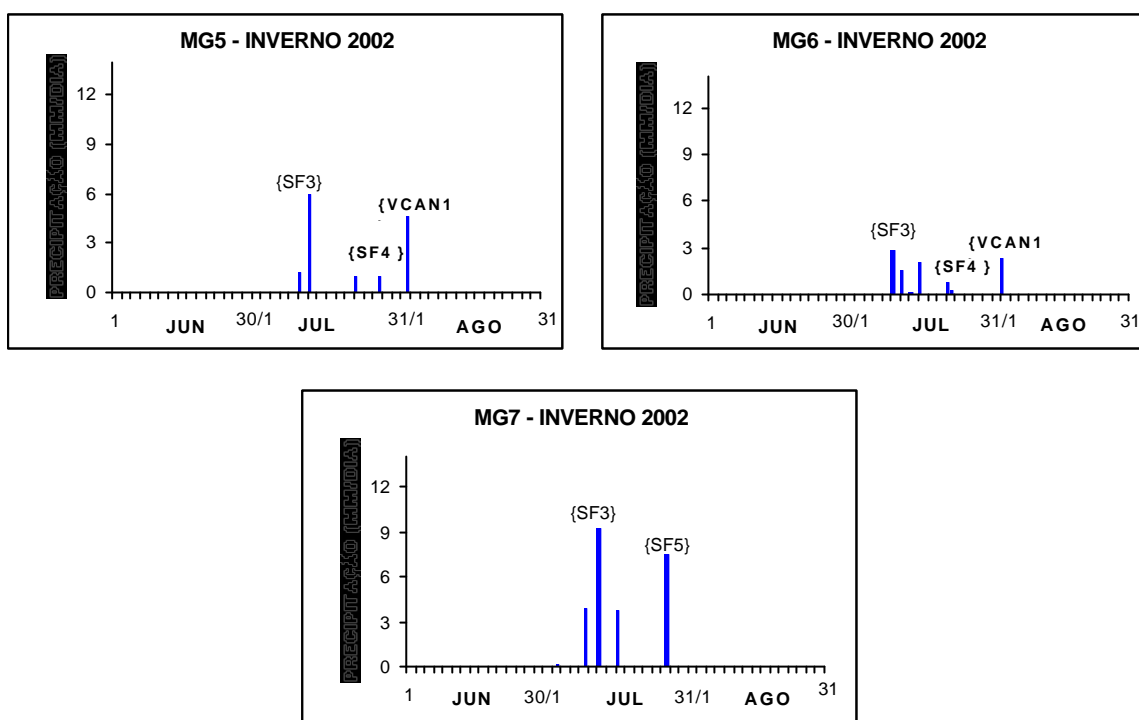


FIGURA 5.22 – Conclusão.

5.3 – Sumário e Discussão dos Resultados

No verão do período de estudo, as chuvas nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, estiveram associadas com a atuação das ZCASs e SFs. As ZCAS e os SFs são os sistemas atmosféricos de verão de maior relevância para a determinação e organização da nebulosidade e, conseqüentemente, responsáveis pela ocorrência da precipitação na região Sudeste. Dos 16 casos observados de ZCASs, 10 deles afetaram a região de São Paulo e seis estiveram associados a um padrão ZCAS-VCAN. Por outro lado, no Rio de Janeiro e Minas Gerais todos os casos de ZCASs afetaram com diferentes graus de intensidade, sendo que em sua maioria os picos de precipitação ocorreram em períodos ativos dessa zona de convergência. Exceções ocorreram em situações associadas a presença de CCMs interagindo com SFs. No verão de 2000/2001 quando observou-se uma diminuição das chuvas em quase todas as estações de estudo da região Sudeste, as ZCAS localizaram-se ao norte de São Paulo, sobre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Entretanto, observou-se também que elas não foram

muito intensas, pois afetaram as estações (MG e RJ) de maneira não muito significativa e esporádica.

Observou-se também que quando ocorrem precipitações em períodos contínuos (superior a quatro dias), geralmente elas estão associadas a eventos ZCAS. Neste caso, a intensidade da precipitação será forte ou fraca dependendo da intensidade do evento ou da interação com outros sistemas tais como VCANs e AB. Além disso, quando os eventos de precipitações alternam-se a cada 4 ou 5 dias, provavelmente eles estão associados a deslocamentos dos SFs sobre o litoral Sudeste. Em situações desse tipo também ocorrem chuvas fortes ou fracas em períodos menores.

Obviamente existem outros mecanismos de microescala e mesoescala que também contribuem para a ocorrência de chuvas no local de estudo, porém, por não possuir os dados específicos que identifiquem este tipo de mecanismos, nos limitamos apenas ao uso da informação derivada do Eta, e também, porque do estudo realizado muitos dos sistemas sinóticos (ZCAS e SFs) observados nas imagens de satélite e campos derivados do modelo Eta estão associados diretamente com as precipitações sobre o Sudeste, portanto é possível definir variáveis meteorológicas derivadas desse modelo que caracterizem estes sistemas.

Assim, foram identificadas oito variáveis preditoras que serão utilizadas para o treinamento da RNA:

- a) umidade específica em 700 hPa e convergência de umidade em baixos e médios níveis (850 hPa e 500 hPa). Esta variável é importante em situações de ZCAS e para o fornecimento de umidade aos SFs. A umidade em 700 hPa pode ser interpretada como a umidificação da atmosfera resultante da convecção. Reflete também a umidificação do ar em baixos níveis, pela convergência de umidade. Em eventos ZCAS é comum observar um forte gradiente de umidade específica sobre a faixa de nebulosidade associada a este evento (Kodama, 1992);
- b) divergência em 300 hPa, uma vez que foi observado que a maioria de casos de ZCAS estiveram associados a um padrão ZCAS-VCAN onde uma circulação

anticiclônica em altos níveis sobre a região sudeste é frequentemente encontrada;

- c) temperatura do ar (850 hPa) e temperatura potencial equivalente em 500 hPa para detectar a presença de um SF e ZCAS sobre a região. Segundo Kodama (1992), nas ZCAS existe forte gradiente de temperatura potencial equivalente. A temperatura potencial em 500 hPa reflete diretamente o aquecimento da camada atmosférica. Por outro lado, a temperatura indica uma relação com ambiente quente e úmido em baixos níveis. Uma concentração do ar quente e úmido pode ser detectada pelos altos valores de temperatura potencial equivalente;
- d) água precipitável; quantidade de água, expressa em altura ou em volume, que poderia ser recolhida se todo o vapor d'água contido numa determinada coluna da atmosfera, de seção horizontal unitária, fosse condensado e precipitado;
- e) velocidade vertical em 850 hPa, a geração de movimento vertical ascendente, podem ser devidos a SFs ou ZCAS entre outros, e transporta o ar úmido e quente para níveis mais altos.

No período de inverno os principais sistemas que estiveram associados a ocorrência de precipitação na região de interesse foram os sistemas frontais e os VCANs de latitudes medias. Embora o número de SFs que se deslocam até o Sudeste seja igual ou até maior que na época de verão (Tabela 4.1), somente alguns (2 ou 3 de 5) afetaram em termos de chuva a região, uma vez que a configuração do escoamento propicia (AB) para eles se intensificar e ter maior atuação sobre continente não existe. A convecção associada a AB no verão interage e modula o SF em continente, reforçando a convecção e mantendo-o mais dias sobre o continente.

É importante ressaltar que embora o número de SFs fossem algumas vezes igual ao observado no verão, geralmente eles se deslocaram sobre o litoral e oceano, atingindo a região Sudeste com pouca nebulosidade.

Das três regiões estudadas, observa-se que SP e RJ (sobre tudo RJ5, RJ6 e RJ7) foram as mais afetadas pelos SFs e VCANs oriundos de latitudes médias, ou seja, foi possível observar que quase todos os SFs que afetaram as estações de SP, afetaram também RJ, entretanto, a atuação sobre MG foi menor. Ainda observou-se sobre RJ uma maior quantidade de SFs atingindo a região, pois alguns SFs se deslocavam sobre o oceano e penetravam sobre continente pela região de RJ, não atingindo a região de SP, estes sistemas alguma vezes também afetavam a região de MG. No caso de períodos contínuos de chuva (3 a 4 dias), VCANs e SFs bem definidos atuaram sobre a região. Picos isolados de chuva estiveram associados a passagens de SFs que interagem com cavados em altos ou médios níveis, reforçando a instabilidade. Durante este período, ciclogêneses atuaram sobre o Sul do País induzindo nebulosidade sobre o Sudeste. Assim, as principais variáveis que caracterizam a presença deste tipo de sistemas são:

- a) vorticidade em 250 e 500 hPa (variável que representa a intensidade da circulação ciclônica do VCAN (Silva Dias; 1991, Lourenço, 1996; Valverde et al., 2000);
- b) temperatura em 850 e temperatura potencial em 500 hPa;
- c) vento zonal e meridional em 850 hPa determinação da configuração dos ventos sobre a região quando houver aproximação de uma frente ou um cavado;
- d) convergência de umidade específica em 850 hPa;
- e) e a pressão ao nível do mar, variável que caracteriza uma ciclogêneses.

Com estas variáveis, se buscou caracterizar o comportamento da atmosfera que antecede a precipitação, tentando assim contribuir para a melhor compreensão do mecanismo físico envolvido no fenômeno. Desta forma, estas variáveis preditoras fornecem a física ao modelo prognóstico desenvolvido, utilizando a RNA.

CAPÍTULO 6

PREVISÃO PONTUAL DE PRECIPITAÇÃO

Apresenta-se neste capítulo os resultados obtidos referentes ao uso das técnicas de previsão: RNA e RLM utilizadas para o *downscaling* estatístico, sendo que a segunda foi implementada para efeitos de comparação.

6.1 - Escolha e Preparação dos Dados

A escolha dos preditores se baseou nos resultados apresentados nos Capítulos 4 e 5. Para efetuar o *downscaling* estatístico, selecionou-se os nove pontos de grade mais próximos de cada estação, sendo que em cada ponto foram selecionadas as variáveis preditoras para 4 horários distintos de previsão (06:00 UTC, 12:00 UTC, 18:00 UTC do dia anterior a previsão, e às 00:00 UTC no dia da previsão). O objetivo de se avaliar os quatro horários foi de capturar as características atmosféricas de escala sinótica que provocaram as precipitações durante o dia. Uma vez determinado os pontos de grade para cada estação meteorológica, implementou-se as RNAs prognósticas em cada uma delas, tendo como base os preditores e preditando (precipitação observada). Na Figura (6.1) ilustra-se a seleção dos pontos de grade mais próximo da estação meteorológica RJ6 no Rio de Janeiro.

6.2. Redes Neurais Artificiais (RNA).

Utilizou-se neste trabalho a RNA supervisionada *feedforward* (Haykin, 1994) com três camadas (apresentada na seção 3.2.1). Na determinação dos neurônios da camada interna, por não existir um número exato ou único a ser atribuído para garantir um bom aprendizado seguiu-se o critério de Fletcher e Goss (1993) como explicado na seção 3.2.5. O número de padrões de treinamento variou em cada experimento da seguinte forma:

- a) experimento 1: A camada de entrada compreendeu 288 neurônios (8 variáveis em 9 pontos de grade e em 4 horários) e a camada de saída um neurônio (precipitação diária registrada na estação meteorológica). Treinou-se 420 padrões correspondentes aos quatro verões (1997-2001) e 430 padrões para o período de inverno;
- b) experimento 2: A camada de entrada compreende 289 neurônios, pois incluiu-se a precipitação observada no dia anterior ao dia da previsão;
- c) experimento 3: Idem ao experimento 1, mas treinou-se 240 padrões, uma vez que o período foi de 2000 a 2002;
- d) experimento 4: O número de neurônios para a camada de entrada foi de 289 e para a de saída foi 1, uma vez que se incluiu a precipitação observada do dia anterior como variável preditora. Os padrões de treinamento foram de 243 para o verão.

O número de neurônio na camada interna que apresentou o melhor resultado seguindo o critério de Fletcher e Goss (1993) foi de 72 neurônios para o período de verão e de 48 neurônios para o período de inverno.

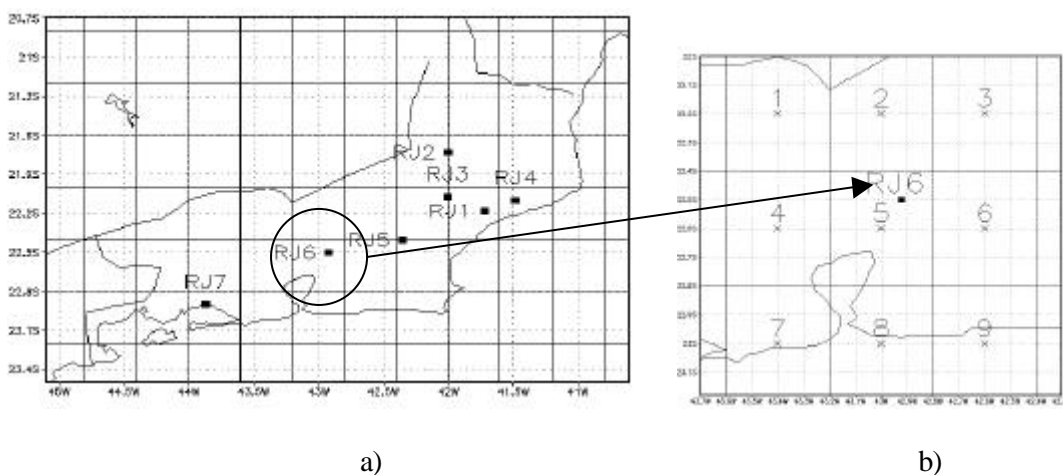


FIGURA 6.1 - Mapa do Estado de Rio de Janeiro ilustrando a posição de sete estações (■) (a); pontos de grade mais próximos a estação Represa do Paraíso (RJ6) no Rio de Janeiro (X) selecionados para o *downscaling* estatístico (b).

6.3 Desenvolvimento do Modelo Estatístico de RLM

Para o desenvolvimento do modelo RLM utilizou-se a teoria descrita no Capítulo 3, sendo que o modelo matemático foi implementado no toolbook do Matlab V.4.1. Para construir o modelo matemático utilizaram-se os mesmos preditores e predictandos utilizados pela RNA.

6.4 Comparação da Previsão dos Modelos RNA, RLM e Eta.

Para facilitar a interpretação dos resultados e avaliar o resultado do desempenho da previsão dos modelos estatísticos RNA e RLM, e do modelo dinâmico Eta, construíram-se tabelas com os valores dos parâmetros BIAS, REQM e r , e gráficos de barras para o cálculo do *Skill Score*, para cada mês dos períodos de verão e inverno, e para os diversos experimentos realizados.

Para efetuar o cálculo das variáveis estatísticas correspondentes à previsão do modelo Eta, atribuiu-se a cada estação meteorológica o valor da precipitação do ponto de grade mais próximo. Para ilustrar o comportamento das previsões obtidas pelos diferentes modelos, inicialmente será apresentada uma análise qualitativa das previsões antes de proceder a análise quantitativa.

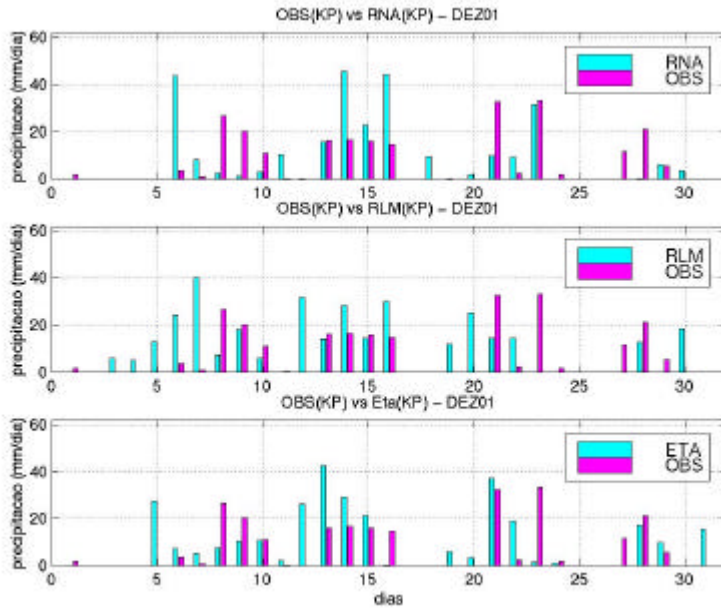
6.5 Análise Qualitativa da Previsão

Nesta seção, devido a grande quantidade de informações, serão apresentados apenas os padrões mais significativos das previsões efetuadas pelos diferentes modelos. Já na análise qualitativa da avaliação do desempenho dos modelos, serão apresentados os resultados para todas as estações e períodos.

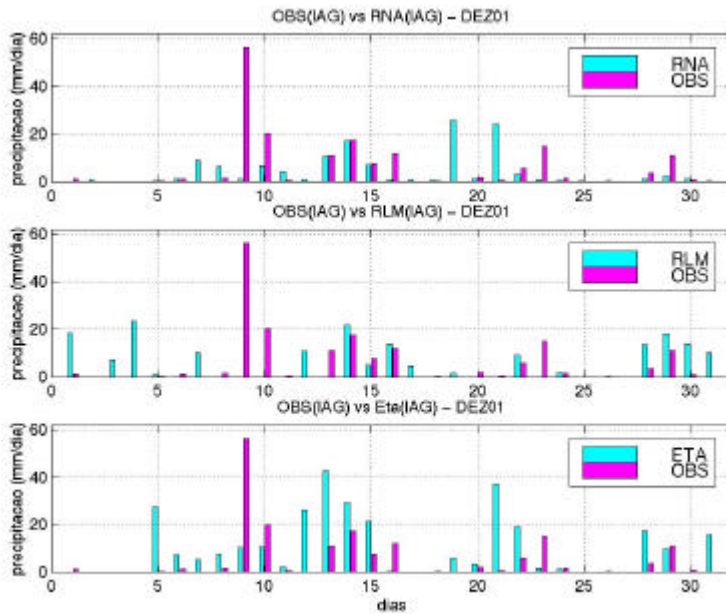
6.5.1 Região de São Paulo

A Figura (6.2) mostra os gráficos de previsão para as estações de KP e IAG, comparando as previsões obtidas a partir dos modelos de RNA, RLM e Eta, com a precipitação observada em superfície, para o mês de Dezembro de 2001. Observa-se que ambos os modelos RNAs, RLM e Eta conseguem de um modo geral prever os períodos de chuva, com uma tendência de superestimar ou subestimar seus valores, porém, a RLM é mais tendenciosa no sentido de gerar chuva em dias nos quais efetivamente não ocorreram. Para a estação de KP (Figura (6.2a)), observa-se que os três modelos conseguem prever grande parte dos períodos de chuva, porém, em alguns dias a RNA é mais tendenciosa em superestimar as chuvas (dias 6, 14 e 16) em relação ao Eta e RLM. Em outras situações (dias 13, 15, 21, 22, 23 e 29) ela prevê chuva muito próximo do valor observado quando comparado com o modelo Eta. A previsão da RLM, também capturou os períodos de chuva muito próximos a seus valores reais (dias 9, 13 e 15) mas ela gerou com mais frequência eventos que não ocorreram.

Na estação do IAG (Figura (6.2b)), observou-se que a RNA previu alguns períodos de chuva (13, 14 e 15) com uma precisão relativamente boa. Entretanto, nos outros períodos ela não foi muito eficaz, tendo subestimado a precipitação sobretudo no dia 9, quando ocorreu um pico de 58 mm. De um modo geral a previsão do Eta superestimou a precipitação, entretanto, o pico observado foi melhor previsto em relação a RNA. Por outro lado, o Eta gerou mais dias de chuva que efetivamente não ocorreram, inclusive mais que a RLM. Embora em dezembro de 2001 tenham ocorrido dois eventos de ZCAS (17 a 21 e 24 a 28), os períodos de chuvas contínuos sobre as estações analisadas estiveram associadas a atuação de frentes frias sobre a região. As ZCASs se posicionaram sobre Rio de Janeiro e Minas Gerais como explicado no Capítulo 5, e somente o segundo evento, afetou as estações de forma esporádica nos dois últimos dias.



a)



b)

FIGURA 6.2 – Precipitação prevista e observada pelos modelos RNA, MLR e Eta, para dezembro de 2001: a) Campinas b) IAG. As barras em vermelho representam a precipitação observada, e as em azul, a prevista pelos modelos.

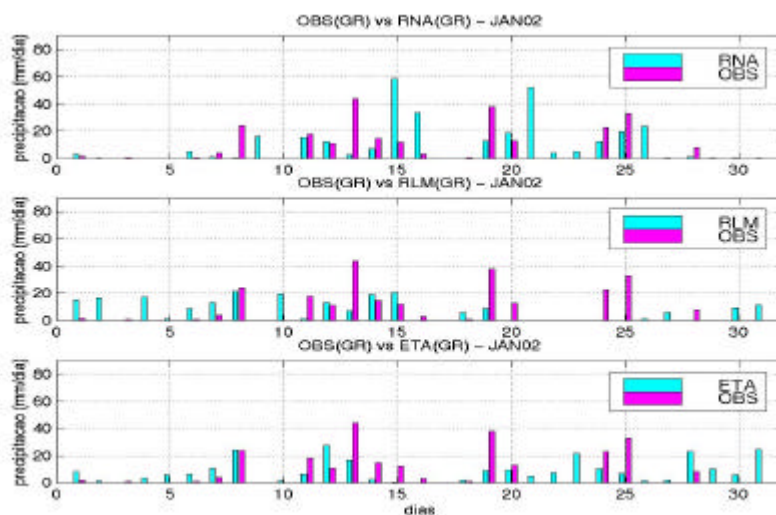
A Figura (6.3) mostra o comportamento das previsões de precipitação em GR e KP para janeiro de 2002. Em GR (Figura (6.3a)), a RNA prevê os períodos de chuva, entretanto, ocorre superestimativas, como por exemplo nos dias 15 e 16. Nos outros dias de chuva a RNA subestima e em algumas situações gera chuvas de forma irrealística (dias 9, 21, 22, 26 e 23). A previsão do Eta também capturou os períodos de chuva, e de uma forma geral subestimou a precipitação observada. Ela também apresenta uma tendência de gerar chuvas nos dias nos quais não se registraram (dias 5, 21, 22, 23, 29, 30 e 31). A RLM se mostra eficiente em prever as chuvas das duas primeiras semanas, porém a tendência maior é de gerar chuvas que não ocorreram.

Para a estação de KP (Figura (6.3b)) o comportamento das previsões é diferente, observa-se que a RNA captura os períodos de chuva, apresentando uma boa precisão na maioria deles, porém, ela superestima em alguns dias (6, 9 e 20). A previsão do Eta também captura os períodos de chuva, mas de um modo geral subestima os valores observados. Por outro lado, a RLM prevê muitos períodos de chuva, mas novamente apresenta o mesmo problema de gerar irrealisticamente chuva, além de superestimar os índices pluviométricos durante quase todo o período. Em janeiro de 2002 as chuvas estiveram associadas a sistemas frontais, e não houve eventos de ZCAS (ver seção 4.1).

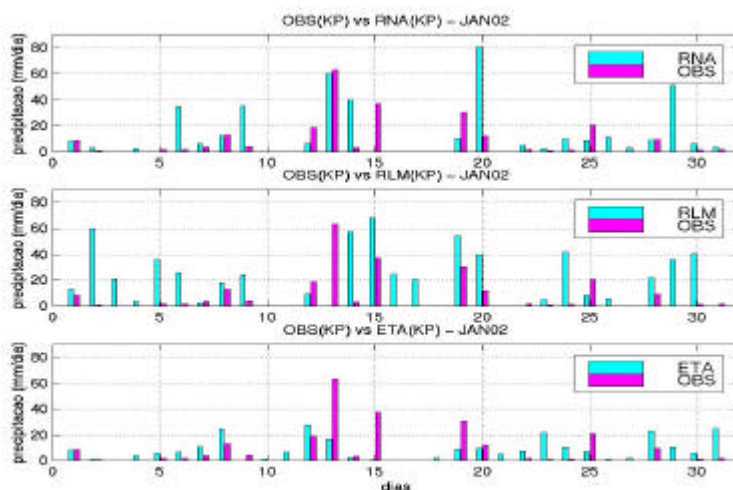
A Figura (6.4) mostra as previsões do IAG e BR para o mês de fevereiro. Observa-se que no primeiro caso (Figura (6.4a)) a RNA previu os períodos de chuva apesar de superestimar os índices, entretanto, no período de 10 a 12 ela foi deficiente. A previsão do Eta apresenta valores mais próximos do observado, porém, ela também não previu as chuvas entre os dias 10 a 12. A RLM previu as chuvas desses períodos, mas houve uma exagerada superestimação tanto nos dias em que efetivamente houve chuva como nos dias em que não houve.

Em BR (Figura (6.4b)) a RNA previu quase todos os períodos de chuva, subestimando os valores, principalmente nos dias 14 e 27. Além disso, a RNA gerou na primeira semana chuvas fracas que não ocorreram. Por outro lado, o Eta também previu os períodos de chuva, porém de um modo geral, ela superestimou os índices, isto foi mais evidente nos dias 19, 20, 21 e 26. A RLM foi ineficiente na previsão das chuvas deste mês, e gerou um pico na primeira semana (dia 2) que não foi registrado na estação.

As chuvas neste mês estiveram principalmente associadas a ocorrência de dois eventos ZCAS (4 a 7 e 16 a 24) que afetaram as estações de forma distinta e principalmente nos últimos dias de atuação do evento. A estação de Bauru foi menos afetada, pois a ZCAS atuou com mais intensidade sobre leste de São Paulo. Neste período, a ZCAS apresentou alta variabilidade em sua posição sobre o Sudeste.

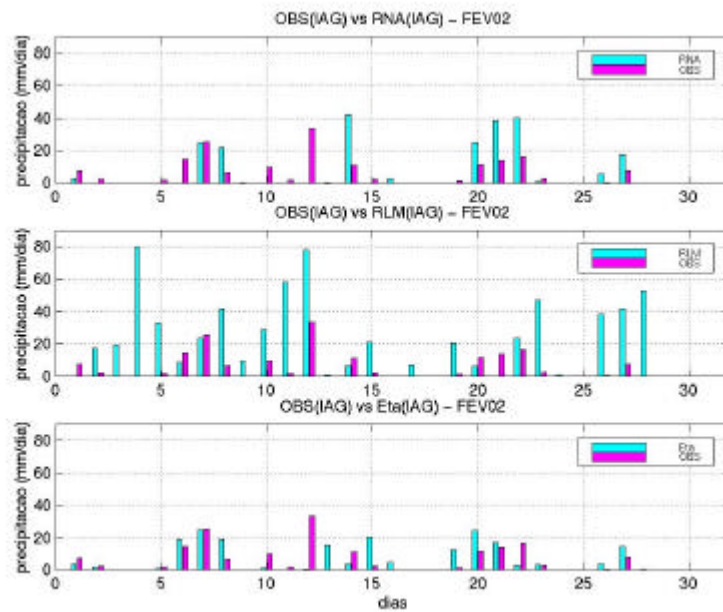


a)

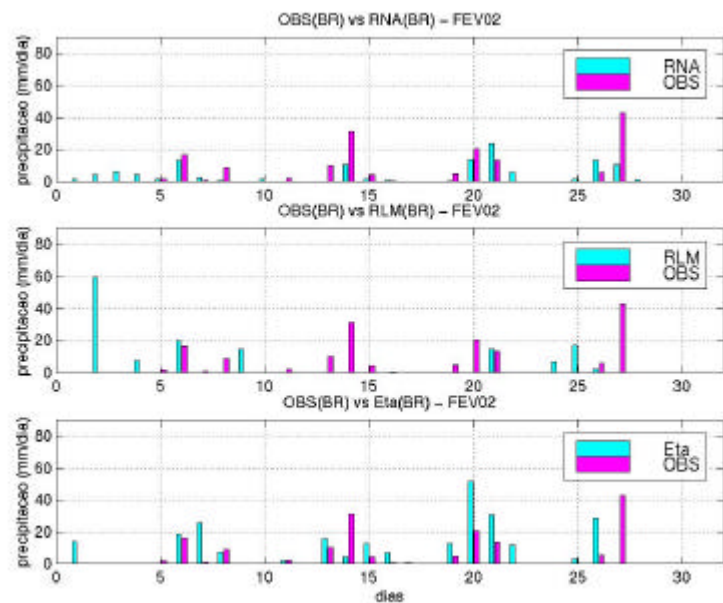


b)

FIGURA 6.3 - Precipitação prevista e observada pelos modelos RNA, MLR e Eta, para Janeiro de 2002: a) estação de GR b) estação de KP. As barras em vermelho representam a precipitação observada e as em azul a prevista pelos modelos.



a)

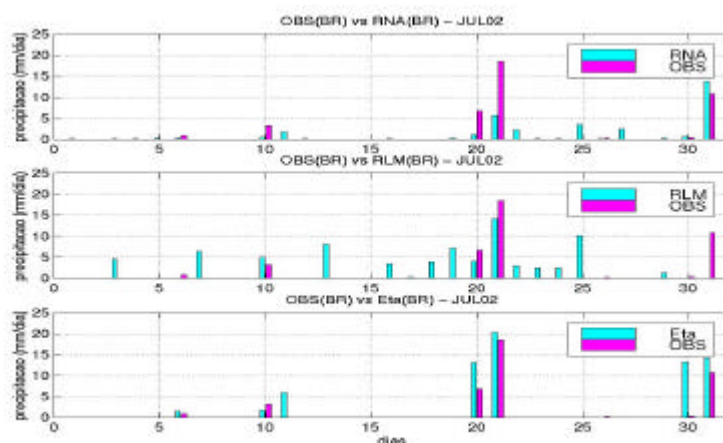


b)

FIGURA 6.4 – Precipitação prevista e observada pelos modelos RNA, MLR e Eta, para fevereiro de 2002: a) estação de IAG e b) estação de Bauri. As barras em vermelho representam a precipitação observada e as em azul a prevista pelos modelos.

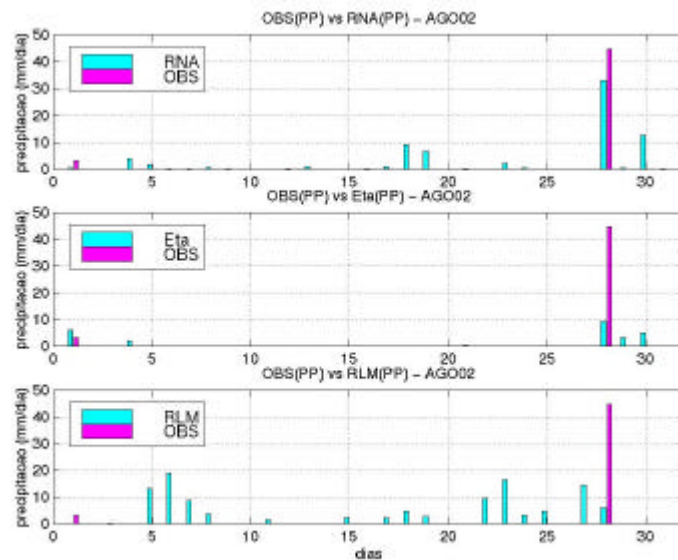
A seguir analisa-se o comportamento das previsões para algumas das estações durante o período de inverno. A Figura (6.5) mostra os gráficos de barra para Bauru (Jul 02) e Presidente Prudente (Ago 02). Em Bauru (Figura (6.5a)) observa-se que a previsão da RNA previu os poucos dias de chuva, porém os subestimou; somente no último dia do mês a previsão superou o valor observado. Além disso, a RNA gerou precipitações fracas em dias que não ocorreram. Por outro lado, a previsão do Eta também capturou a precipitação, entretanto a superestimou. A RLM não prevêu os dois últimos dias de chuva, e apresentou o mesmo problema de gerar chuvas que não ocorreram. No mês de julho de 2002 os baixos índices pluviométricos observados estiveram associados a passagens de frentes frias e de um VCAN oriundo de latitudes extratropicais.

Na estação de Presidente Prudente (Figura (6.5b)), a precipitação observada também foi escassa, com apenas um pico significativo no dia 28 que foi capturado pelos três modelos. A RNA previu com um valor próximo ao real, e a RLM e o Eta subestimaram o índice. Entretanto, a RLM gerou chuva que não ocorreu, com maior frequência que a previsão do RNA. Neste período, a precipitação esteve associada a passagem de um sistema frontal no final do mês.



a)

FIGURA 6.5 - Precipitação prevista e observada pelos modelos RNA, MLR e Eta: a) estação de BR, julho de 2002 e b) estação de PP, agosto de 2002. As barras em vermelho representam a precipitação observada e as em azul a prevista pelos modelos.



b)

FIGURA 6.5 – Conclusão.

6.5.2 Região do Rio de Janeiro

Para o período de verão são mostrados os gráficos de barras comparando as previsões obtidas com os modelos estatísticos, para o mês de dezembro 2001 (RJ6) (Figura (6.6)) e fevereiro de 2001 (RJ5 e RJ7) (Figura (6.7)). Observam-se comportamentos diferentes nos modelos de precipitação. Na estação RJ6, em dezembro de 2001 (Figura (6.6)), com exceção dos períodos de 8 a 10, a previsão da RNA capturou todos os períodos de chuva sendo os valores próximos aos observados. Entretanto, o Eta também apresentou um comportamento quase similar. Neste caso a subestimação das chuvas entre os dias 16 a 20 foi mais evidente quando comparada com a previsão da RNA. Por outro lado, o modelo RLM previu quase todos os períodos de chuva, inclusive os que a RNA e o Eta não capturaram, entretanto, ela gerou eventos chuva que não foram observados. Neste mês, como documentado no Capítulo 4, as chuvas estiveram associadas a dois eventos ZCASS (17 a 21 e 24 a 28). O primeiro evento afetou a estação RJ6 durante todo seu período de duração, mas, o segundo afetou a estação de forma intensa somente nos primeiros dias de atuação.

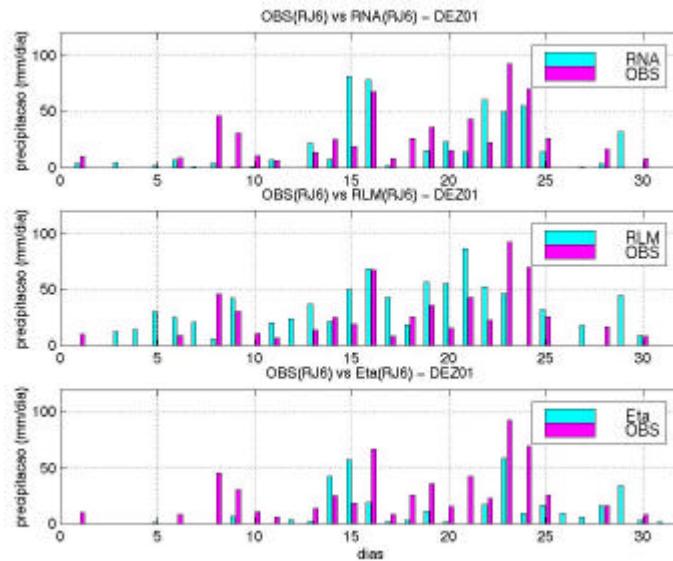
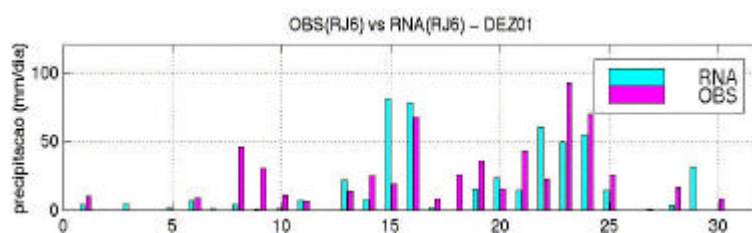
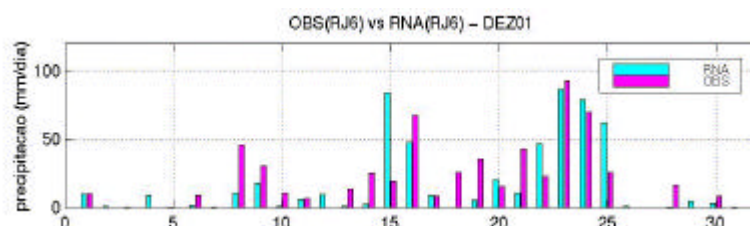


FIGURA 6.6 - Precipitação prevista e observada pelos modelos RNA, MLR e Eta para dezembro de 2001 e para RJ6. As barras vermelhas representam a precipitação observada e as em azul a prevista pelos modelos.

A Figura (6.7) mostra a previsão para a mesma estação RJ6, mas para dois experimentos diferentes: RNA1 e RNA2. Observa-se que a previsão no experimento RNA2 mostra valores de chuva muito próximos ao real. Ressaltam-se o dia 1 e os períodos de 8 a 9, 15 a 16 e de 20 a 25 de dezembro onde a melhora na previsão é significativa. O experimento RNA2, foi aquele no qual se incluiu como variável preditora a precipitação do dia anterior e utilizou a série de 1997 a 2001 para gerar a RNA prognóstica. Aparentemente, a inclusão da chuva estaria proporcionando a rede uma informação adicional que permita discernir com mais precisão os padrões associados a chuva. Porém, neste mês as chuvas foram contínuas devido a ocorrência de dois eventos ZCAS que afetaram a região.



a) RNA1



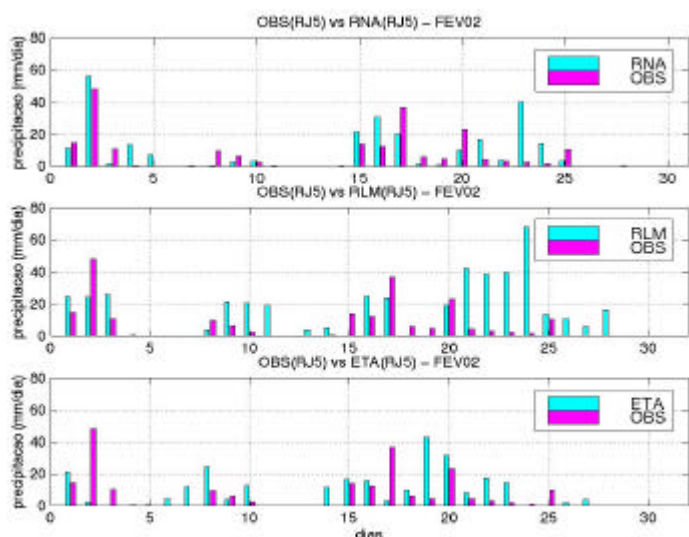
b) RNA2

FIGURA 6.7- Precipitação prevista e observada pelos modelos: a) RNA1 e b) RNA2 para dezembro de 2001 e para RJ6. As barras vermelhas representam a precipitação observada e as em azul a prevista pelos modelos.

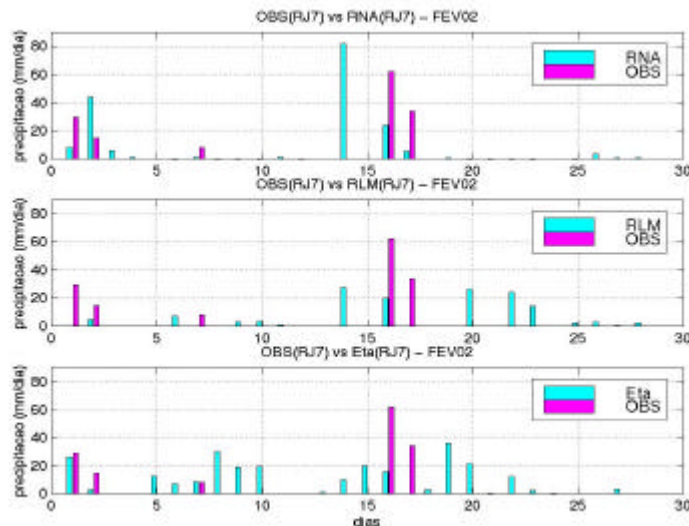
Em fevereiro, observa-se na estação RJ5 (Figura (6.8a)) que a RNA conseguiu prever quase todos os períodos de chuva, embora no dia 23 ela tenha superestimado consideravelmente o índice pluviométrico. O modelo de RLM também previu os períodos de chuva, mas superestimou exageradamente os valores no período de 21 a 24. Observa-se que o modelo Eta também previu os períodos de chuva, mas subestimou consideravelmente os picos extremos nos dias 2 e 17.

Na estação RJ7 (Figura (6.8b)), as precipitações observadas foram escassas quando comparada com a de RJ5. Neste caso, a RNA previu quase todos os períodos de chuva, mas, gerou um pico irrealístico no dia 14. O modelo Eta, previu os períodos de chuva, (com exceção do dia 17), mas gerou valores em muitos períodos nos quais não ocorreram efetivamente. A RLM previu somente dois dias em que ocorreu precipitação.

Neste mês ocorreram dois eventos ZCAS (4 a 7 e 16 a 24), porém as estações foram afetadas com maior intensidade pelo segundo evento, sendo que em RJ7 o impacto foi menor devido a sua localização ao sul do estado, onde a ZCAS teve pouca atuação.



a)

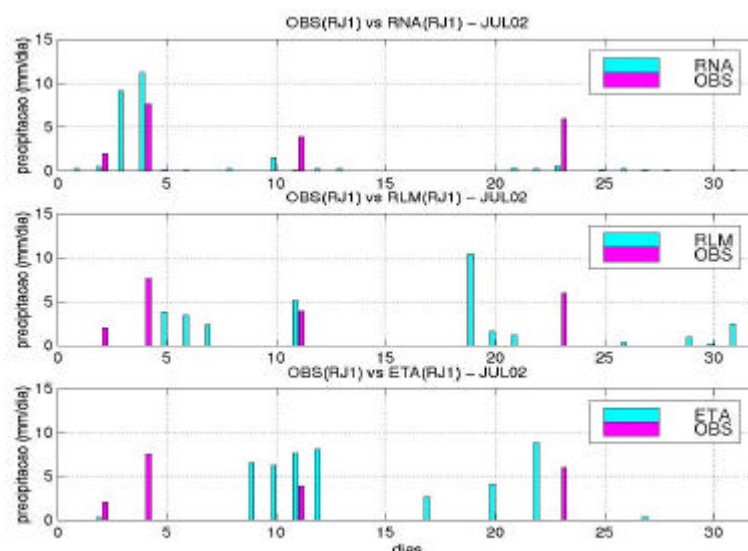


b)

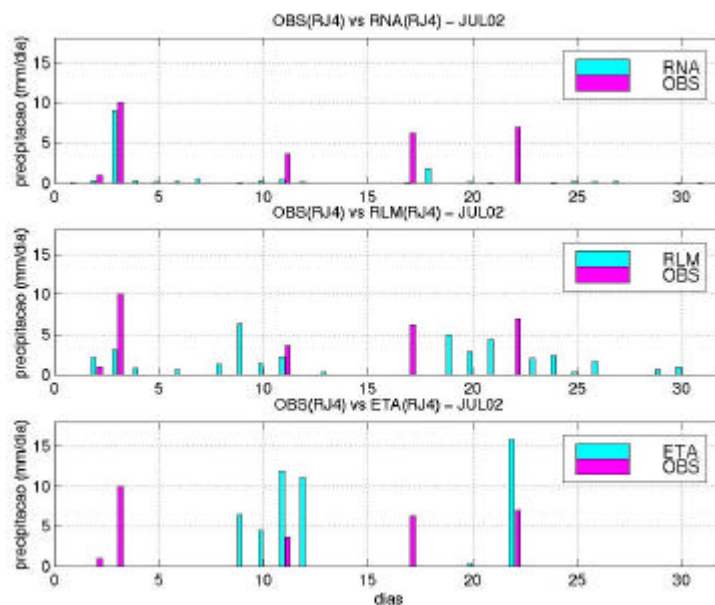
FIGURA 6.8 - Precipitação prevista e observada pelos modelos RNA, MLR e Eta de para Fevereiro de 2002: a) estação RJ5 e b) estação RJ7. As barras em vermelho representam a precipitação observada e as em azul a prevista pelos modelos.

Para o período de inverno a Figura (6.9) apresenta gráficos comparativos de duas estações do Rio de Janeiro: RJ1 e RJ2, para o mês de julho do 2002. Observa-se um baixo índice pluviométrico e picos isolados, por ser uma época tipicamente seca. Para a estação RJ1 (Figura (6.8a)) a previsão da RNA capturou os primeiros dias de ocorrência de precipitação. Por outro lado, ela não previu os picos isolados. O modelo Eta conseguiu prever apenas um pico isolado de chuva que o RLM também conseguiu prever. Além disso, tanto o Eta como a RLM geraram precipitação em dias nos quais não ocorreram, e com muito mais freqüência que a RNA.

Na estação RJ4 (Figura (6.9b)) o comportamento da previsão de precipitação foi similar. Enquanto a RNA prevê alguns períodos curtos de chuvas, com valores mais próximos do real (dias 2 e 3), o Eta capturou picos isolados e gerou precipitação nos dias em que não houve registro. No caso da RLM, ela capturou mais períodos de chuva, porém gerou muita precipitação irreal. Neste mês, as chuvas isoladas estiveram associadas a instabilidade gerada pela passagem dos sistemas frontais, afetando intermitentemente as estações analisadas.



a)
 FIGURA 6.9 - Precipitação prevista e observada pelos modelos estatísticos: RNA, RLM e Eta para o mês de Julho de 2002: a) estação RJ1 e b) estação RJ4. As barras em vermelho representam a precipitação observada e as em azul a prevista pelos modelos.



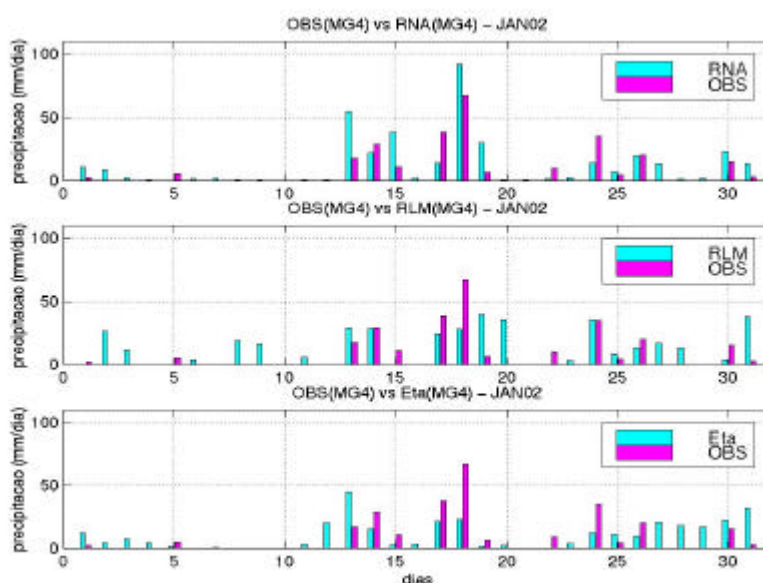
b)

FIGURA 6.9 – Conclusão.

6.5.3 Região de Minas Gerais

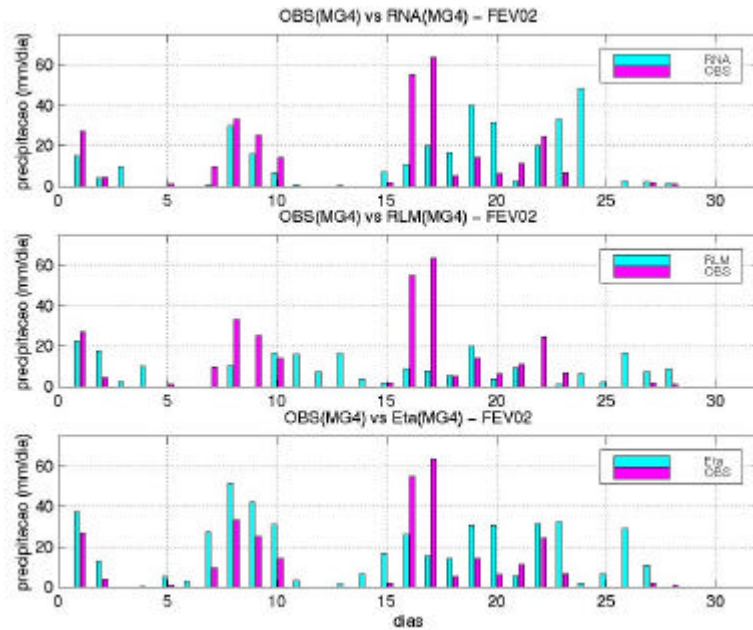
Apresentam-se a seguir gráficos de barras para algumas estações de Minas Gerais, referentes às previsões obtidas pela RNA, RLM e Eta. Para o período de verão foi selecionado como exemplo a estação MG4 para o mês de janeiro e fevereiro (Figura (6.10)). Observa-se que a previsão da RNA é mais específica (Figura (6.10a)), ou seja, ela captura apenas os períodos de chuva, gerando com menor frequência eventos que não ocorreram. No que se refere ao modelo Eta, observa-se que este também prevê períodos de chuvas, porém, há uma tendência mais acentuada de se gerar chuvas nos dias em que ela não ocorreu. O resultado da RLM também mostra uma habilidade em capturar os períodos de chuva, mas a deficiência se observa novamente em gerar chuvas inexistentes, especificamente nos primeiros dias e na última semana do mês, porém com menor frequência que o Eta. Neste mês não ocorreram eventos de ZCAS, porém os períodos contínuos de chuva estiveram associados a passagens de sistemas frontais sobre a região.

Para fevereiro de 2002, na estação MG4 observa-se que a RNA (Figura (6.10b)) captura os períodos contínuos de chuva nos dias 2 a 3 e 8 a 10, subestimando ligeiramente seus valores. No período de 16 a 24, ela subestima os valores intensos (dia 16 e 17) e no restante do período superestima os índices. A previsão do Eta também captura os primeiros períodos de chuva (2 a 3 e 8 a 10), porém ele superestima as taxas observadas. Nos dias 16 a 24, observa-se também que o Eta subestima os picos dos dias 16 e 17, sendo que no restante do período, os valores de precipitação estão mais próximos do observado. De um modo geral a previsão da RLM subestima a precipitação, porém, observam-se alguns períodos (18, 19 e 20) nos quais ela é eficiente. Para este mês, a RLM também gerou chuva irrealística com muito mais frequência que o Eta. Os períodos de chuva estiveram associados a dois eventos ZCAS (4 a 8 e 16 a 24), sendo que o segundo evento afetou intensamente MG4 nos dois primeiros dias de atuação. Já o primeiro evento afetou a estação em seus últimos dias de atuação, porém a instabilidade originada por este evento continuou provocando chuvas nos dias 9 e 10.



a)

FIGURA 6.10 - Precipitação prevista e observada pelos modelos RNA, RLM e Eta, para a estação MG4 em de janeiro de 2002. As barras em vermelho representam a precipitação observada e as em azul a prevista pelos modelos.



b)

FIGURA 6.10 – Conclusão.

Para o período de inverno (agosto) os gráficos de barras da Figura (6.11) mostram as previsões dos três modelos para a estação MG1. Neste período as precipitações foram escassas sobre o estado de Minas Gerais, destacando-se apenas um dia isolado de chuva como consequência da passagem de um sistema frontal no final do mês. A previsão da RNA foi precisa, ela previu o dia isolado de chuva muito próximo ao seu valor real. Por outro lado, o Eta gerou dias de chuva, no início e no final do mês, capturando inclusive o pico observado de chuva, porém superestimando-o. A previsão da RLM subestimou consideravelmente a chuva isolada ocorrida no final do mês, e gerou chuva em períodos intermitentes, e com maior frequência que o Eta.

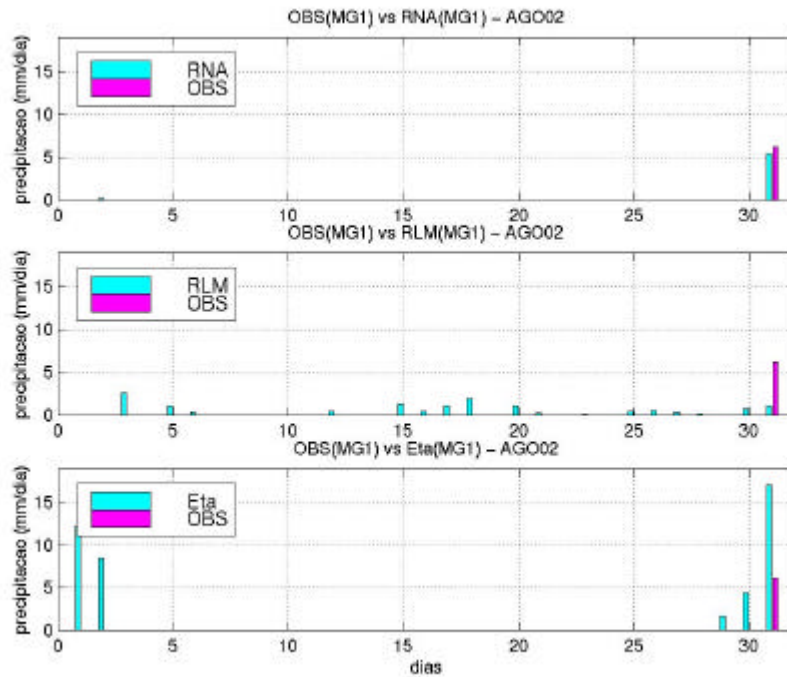


FIGURA 6.11 - Precipitação prevista e observada pelos modelos RNA, MLR e Eta para a estação MG1 em agosto de 2002. As barras em vermelho representam a precipitação observada e as em azul a prevista pelos modelos.

6. 6 Análise Estatística

6.6.1 São Paulo

A Tabela 6.1 mostra o desempenho das previsões de precipitação para dezembro de 2001, e para as seis estações em estudo. Os resultados referem-se aos experimentos RNA1 (preditores do Eta com a série longa) e RNA2 (preditores do Eta mais a precipitação da estação meteorológica do dia anterior à previsão).

Levando-se em conta os parâmetros estatísticos calculados, um bom desempenho está relacionado a um erro (REQM) baixo, coeficiente de correlação alto e BIAS pequeno. Observa-se que para a previsão de precipitação com o experimento RNA1, das seis estações analisadas, três delas (GR, KP, e BR) apresentam um desempenho melhor que a previsão do Eta, tal que o valor da REQM foi menor e o coeficiente de correlação

maior. Para estas estações o erro (REQM) da RNA oscilou entre 8 a 9 mm e o do Eta entre 11 a 13 mm. O BIAS nas três estações foi negativo, indicando que houve uma subestimativa dos valores previstos. Os erros da RLM apresentaram-se muito altos e oscilaram entre 19 (GR) a 41 (IAG) mm devido ao problema de se gerar precipitação irrealística, observado anteriormente na análise qualitativa. Conseqüentemente, foram observados baixos valores de r , inclusive negativos (BR).

No experimento RNA2, onde foi incluída como preditor a variável precipitação da estação do dia anterior, o desempenho foi melhor em cinco estações (GR, IAG, KPI, PP e RP) que apresentaram erros menores (REQM) e r maior que a previsão do Eta.

Comparando os experimentos RNA1 e RNA2, em RNA2 as estações de IAG, PP e RP melhoraram o desempenho, superando ao Eta. A REQM destas estações diminuiu de 10.0, 14.1 e 7.8 mm/dia para 9.9, 12.8 e 6.9 mm/dia respectivamente.

O experimento RNA1 não foi muito eficaz nas estações IAG, PP e RP, quando se utilizou como preditores as variáveis dinâmicas do modelo. A inclusão de uma variável observada, neste caso a chuva do dia anterior (RNA2), proporcionou a rede uma informação real para o aprendizado, cujo resultado final melhorou o desempenho da previsão. Observou-se, também que neste mês, os dois eventos ZCAS não atuaram significativamente sobre as estações de SP, e especificamente sobre IAG, PP e RP (Figura (5.9)), isto poderia ser uma explicação do baixo desempenho da RNA1, uma vez que os preditores selecionados a partir do Eta caracterizam especificamente este evento.

Como de um modo geral a RLM não apresentou um desempenho bom, os resultados das RNAs serão comparados com os do modelo Eta, uma vez que o objetivo é maximizar o desempenho, obtendo previsões mais específicas com a metodologia proposta por meio do *downscaling* estatístico.

TABELA 6.1 – Variáveis Estatísticas (ρ , REQM e BIAS) para os Modelos de Previsão: RNA1, RNA2, RLM e Eta. Estações de São Paulo, Dezembro de 2001.

| DEZEMBRO 2001 | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| | RNA1 | | | RNA2 | | | RLM | | | Eta | | |
| | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM |
| BR | 0.72 | -0.28 | 12.0 | 0.40 | -5.0 | 14.0 | -0.07 | -6.32 | 28.5 | 0.56 | -0.09 | 16.0 |
| GR | 0.16 | -1.87 | 10.59 | 0.23 | 1.71 | 9.8 | 0.23 | -0.39 | 19.2 | 0.14 | 1.74 | 12.1 |
| IAG | 0.31 | -2.51 | 10.0 | 0.52 | 3.0 | 9.9 | 0.22 | 0.05 | 41.5 | 0.40 | 2.83 | 11.37 |
| KP | 0.60 | -1.23 | 8.48 | 0.55 | -0.97 | 9.43 | 0.18 | 0.83 | 26.7 | 0.49 | 1.89 | 13.4 |
| PP | 0.27 | -3.56 | 14.1 | 0.37 | 0.95 | 12.8 | 0.08 | 8.16 | 41.5 | 0.36 | -1.76 | 13.4 |
| RP | 0.62 | -2.05 | 7.8 | 0.80 | -1.31 | 6.9 | 0.31 | -1.7 | 28.3 | 0.77 | 2.23 | 8.40 |

A Tabela 6.2 mostra os parâmetros estatísticos para o mês de Janeiro de 2002. Neste caso foram incluídos os resultados do experimento RNA3 (período da série de treinamento 2000-2001). Observa-se que para o experimento RNA1, as estações GR, IAG, KP e PP apresentaram um desempenho melhor que o da RLM e Eta. Especificamente, para as estações de KP e IAG, a REQM diminuiu de 13,4 e 15,09 a 9,54 e 16,26 mm/dia, respectivamente. No experimento RNA2, observou-se que BR apresentou um desempenho melhor que o do RNA1, sendo que a REQM diminuiu de 19,6 (Eta) para 15,6 mm/dia. Porém, a estação de KP que tinha apresentado um bom desempenho com o experimento RNA1 não evidenciou uma melhora significativa em RNA2. Em RP embora a REQM fosse menor que o do Eta, o coeficiente de correlação não foi maior.

De um modo geral o modelo de RLM apresentou baixo desempenho, e seus erros (REQM) oscilaram entre 30,4 mm/dia (KPI) a 36 (IAG) mm/dia.

Comparando-se os desempenhos dos diferentes experimentos realizados para as RNAs, nota-se que no RNA3, cinco das seis estações estudadas mostraram um desempenho melhor que a RLM e o Eta. Este experimento utilizou o período de tempo no qual o Eta não sofreu modificações em seu código, constituindo-se assim em uma série mais

homogênea. Além disso, comparando os resultados dos experimentos das redes RNA1 e RNA2, os quais incluíram uma série mais longa para seu treinamento, as previsões do segundo experimento mostraram erros (REQM) menores que a do primeiro, nas estações GR e IAG. Aparentemente, a inclusão da precipitação do dia anterior à previsão como variável preditora, reforçou o aprendizado da RNA. Neste caso, as chuvas estiveram associadas a passagens de frentes frias, porém como descrito na seção 4.2 as precipitações tiveram comportamento distinto nas estações devido ao deslocamento de frentes pelo litoral e interior da região Sudeste.

A Tabela 6.3 apresenta as variáveis estatísticas dos quatro experimentos RNA1, RNA2, RNA3 e RNA4 para fevereiro de 2002. No primeiro caso, das seis estações estudadas, cinco (BR, GR, IAG, KP, PP) apresentaram um bom desempenho: BIAS e REQM menores e coeficientes de correlação maiores que os obtido pelo Eta. As melhorias mais significantes em relação à previsão do Eta foram nas estações de BR e KP, sendo que os erros (REQM) diminuíram de 14.0 a 8.84 e 8.91 a 7.16 mm/dia, respectivamente. No experimento RNA2, quatro estações (BR, RP, IAG e PP) tiveram um melhor desempenho, sendo que neste experimento RP conseguiu superar a previsão do Eta, entretanto, as previsões não se mostraram muito eficientes em GR e KP. Para o experimento RNA3, apenas três estações (BR, KP e PP) tiveram um bom desempenho da previsão, e em relação aos outros experimentos a estação PP teve o desempenho melhor (erros menores) que os outros experimentos de RNAs.

No experimento RNA4, três estações (BR, IAG e PP) apresentaram um bom desempenho. Quando comparam-se os quatro experimentos observa-se que nas estações IAG e PP o experimento RNA4 superou aos outros. A REQM diminuiu de 9.47 (Eta) a 7.89 (IAG) e de 13.3 (Eta) a 8.65 (PP) mm. Comparando esses experimentos, não se observou uma evidencia clara de qual deles foi o melhor, pois eles apresentaram muita variabilidade de estação para estação. Porém, a previsão da RNA1 (série de treinamento mais longa) mostrou-se eficiente para a maioria das estações.

TABELA 6.2 – Parâmetros Estatísticos (ρ , REQM e BIAS) para os Modelos de Previsão: RNA1, RNA2, RNA3, RLM e Eta. Estações de São Paulo, Janeiro de 2002.

| VERÃO – JANEIRO DE 2002 | | | | | |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|
| Bauru – BR | | | | | |
| | RNA-1 | RNA-2 | RNA-3 | RLM | ETA |
| r | 0.22 | 0.43 | 0.50 | -0.18 | 0.27 |
| REQM | 18.6 | 15.46 | 16.94 | 36.2 | 19.6 |
| BIAS | -3.2 | -4.89 | -3.71 | -2.83 | -3.53 |
| Guarulhos –GR | | | | | |
| | RNA-1 | RNA-2 | RNA-3 | RLM | ETA |
| r | 0.43 | 0.46 | 0.50 | 0.28 | 0.26 |
| REQM | 11.0 | 10.62 | 10.5 | 27.3 | 12.3 |
| BIAS | -1.4 | -1.0 | -1.01 | -0.44 | -1.82 |
| IAG | | | | | |
| | RNA-1 | RNA-2 | RNA-3 | RLM | ETA |
| r | 0.44 | 0.57 | 0.23 | 0.17 | 0.32 |
| REQM | 13.26 | 11.45 | 16.80 | 36 | 15.09 |
| BIAS | -4.1 | -2.24 | -2.57 | -0.36 | -4.47 |
| Campinas –KP | | | | | |
| | RNA-1 | RNA-2 | RNA-3 | RLM | ETA |
| r | 0.46 | 0.34 | 0.50 | 0.08 | 0.35 |
| REQM | 9.54 | 12.0 | 10.0 | 30.4 | 13.4 |
| BIAS | -2.56 | 1.9 | 1.8 | -4.21 | 0.23 |
| Presidente Predunte – PP | | | | | |
| | RNA-1 | RNA-2 | RNA-3 | RLM | ETA |
| r | 0.3 | 0.28 | 0.36 | -0.19 | 0.24 |
| REQM | 20.8 | 21.33 | 19.84 | 36 | 22.3 |
| BIAS | -3.56 | -3.28 | -6.16 | 0.85 | -4.46 |
| Ribeirão Preto – RP | | | | | |
| | RNA-1 | RNA-2 | RNA-3 | RLM | ETA |
| r | 0.29 | 0.28 | 0.49 | -0.3 | 0.45 |
| REQM | 20.33 | 20.49 | 18.96 | 41.9 | 22.4 |
| BIAS | 2.53 | 4.46 | -1.06 | -11.88 | -3.99 |

TABELA 6.3 – Parâmetros Estatísticos (ρ , REQM e BIAS) para os Modelos de Previsão: RNA1, RNA2, RNA3, RNA4, RLM e Eta. Estações de São Paulo, Fevereiro de 2002.

| VERÃO – FEVEREIRO 2002 | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|
| Bauru –BR | | | | | | |
| | RNA-1 | RNA-2 | RNA-3 | RNA-4 | RLM | ETA |
| r | 0.60 | 0.82 | 0.68 | 0.70 | 0.01 | 0.38 |
| REQM | 8.84 | 9.15 | 10.47 | 9.0 | 27.3 | 14.0 |
| BIAS | -2.89 | -3.15 | -2.51 | 1.56 | -1.45 | 2.9 |
| Guarulhos – GR | | | | | | |
| | RNA-1 | RNA-2 | RNA-3 | RNA-4 | RLM | ETA |
| r | 0.48 | 0.25 | 0.39 | 0.39 | 0.10 | 0.47 |
| REQM | 8.0 | 9.84 | 9.64 | 9.10 | 33.2 | 8.85 |
| BIAS | 0.7 | 1.62 | -4.29 | 0.66 | 11.7 | 0.81 |
| IAG | | | | | | |
| | RNA-1 | RNA-2 | RNA-3 | RNA-4 | RLM | ETA |
| r | 0.49 | 0.45 | 0.32 | 0.50 | 0.21 | 0.36 |
| REQM | 9.19 | 8.64 | 9.04 | 7.89 | 33.1 | 9.47 |
| BIAS | -0.77 | -1.06 | -1.48 | 2.63 | 13.7 | 0.76 |
| Campinas - KP | | | | | | |
| | RNA-1 | RNA-2 | RNA-3 | RNA-4 | RLM | ETA |
| r | 0.85 | 0.51 | 0.76 | 0.65 | 0.37 | 0.73 |
| REQM | 7.16 | 8.18 | 6.30 | 8.10 | 23.8 | 8.91 |
| BIAS | 0.10 | -0.39 | -0.19 | 2.10 | -4.45 | 4.52 |
| Presidente Prudente –PP | | | | | | |
| | RNA-1 | RNA-2 | RNA-3 | RNA-4 | RLM | ETA |
| r | 0.3 | 0.27 | 0.35 | 0.40 | -0.39 | 0.24 |
| REQM | 10.0 | 12.65 | 11.73 | 8.65 | 28.6 | 13.3 |
| BIAS | 0.92 | 0.313 | -3.95 | -2.15 | 1.62 | 1.25 |
| Ribeirão Preto -RP | | | | | | |
| | RNA-1 | RNA-2 | RNA-3 | RNA-4 | RLM | ETA |
| r | 0.48 | 0.65 | 0.41 | 0.49 | 0.17 | 0.59 |
| REQM | 13.75 | 10.3 | 13.16 | 12.50 | 21.03 | 12.27 |
| BIAS | -3.33 | 1.67 | -4.53 | 3.96 | -1.53 | 1.77 |

O cálculo do *Skill Score* (SS) para o período de verão (Tabela 6.4) mostra em porcentagem o desempenho dos experimentos relativo à previsão do Eta. Não foi calculado o desempenho da previsão em relação ao modelo de RLM em função da evidente superioridade da RNA.

Um SS positivo indica uma melhoria da previsão da RNA em relação ao modelo Eta. Para o experimento RNA1 e RNA2 em dezembro de 2001, todas as estações apresentaram melhorias. Observa-se que no primeiro caso a estação de KP apresentou

uma significativa redução do erro na previsão de precipitação de 36.7 %. Em janeiro, novamente a estação de KP apresentou desempenho melhor no experimento RNA1, com uma redução do erro de 28.8 %. No caso RNA2, a estação do IAG teve uma redução no erro de previsão de 24.12 %, e em RNA3 a redução mais significativa foi de 25.3 % para KP. Em fevereiro as previsões de precipitação tiveram um comportamento muito variável. Nos experimentos RNA1 e RNA2 a estação BR alcançou o mais alto SS, com uma redução do erro de 36.8 % e 34.6 %, respectivamente. Para o experimento RNA4, a redução do erro foi de 34,9 % na estação de PP.

TABELA 6.4 – Skill Score da REQM para os Meses de Verão 2001-2002: Estado de São Paulo.

| | DEZEMBRO 2001 | | JANEIRO 2002 | | | FEVEREIRO 2002 | | | |
|------------|---------------|-------------|--------------|--------------|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------|
| | RNA1 | RNA2 | RNA1 | RNA2 | RNA3 | RNA1 | RNA2 | RNA3 | RNA4 |
| BR | 25.0 | 12.5 | 5.1 | 21.1 | 13.5 | 36.8 | 34.6 | 25.2 | 35.7 |
| GR | 12.4 | 19.0 | 10.6 | 13.7 | 14.6 | 9.6 | -11.1 | -8.9 | -2.8 |
| IAG | 12.04 | 12.92 | 12.2 | 24.12 | -11.33 | 2.9 | 8.7 | 4.5 | 16.7 |
| KP | 36.7 | 29.6 | 28.8 | 10.44 | 25.3 | 19.6 | 8.2 | 29.3 | 9.0 |
| PP | -5.22 | 4.5 | 6.7 | 4.35 | 11.03 | 24.81 | 4.8 | 11.8 | 34.9 |
| RP | 7.1 | 17.9 | 9.2 | 8.5 | 15.3 | -12.1 | 16.05 | -7.25 | -1.87 |

No que se refere à análise estatística para o período de inverno, observa-se na Tabela 6.5 os resultados dos experimentos RNA1 e RNA3 para o mês de junho de 2002. Para testar os meses de junho e julho de 2002, não foram realizados experimentos incluindo como variável preditora a precipitação do dia anterior, já que as chuvas neste período são escassas. Em junho de 2002, as chuvas foram escassas, sendo que em algumas estações (BR, KP, PP e RP) elas estiveram ausentes (Capítulo 5), e em outras foram insignificantes. As redes treinadas para os diferentes experimentos foram testadas para o mês de Junho de 2002, e observou-se que assim como a rede consegue associar os

padrões de chuva, ela também captura os padrões de comportamento associados a não chuva.

Os resultados mostram que a RNA1 previu não chuva ao longo do mês, em BR, PP e RP, como realmente ocorreu. Da mesma forma, o modelo Eta foi eficaz na previsão do período de não chuva. Na estação de KP, onde também não se registraram chuvas, o desempenho foi diferente, ambos os modelos (RNA1 e Eta) geraram chuvas, porém a RNA1 errou menos. No caso do IAG que registrou poucas chuvas (Figura (5.20)), a rede mostrou um bom desempenho (erros e BIAS menores que o gerado pelo Eta e RLM), no entanto o ρ foi menor. O RNA3 também se mostrou eficaz em não prever chuva para as estações de BR, PP e RP, e para as outras estações observou-se um bom desempenho, especificamente em IAG onde o experimento RNA1 não foi eficaz. A previsão da RLM para o mês de junho de 2002 foi deficiente para todas as estações de interesse, com erros (REQM) e BIAS extremamente altos, e ρ baixos (inclusive negativos). A tendência exagerada de prever chuva em dias nos quais não houveram, como mostrado na análise qualitativa é uma das principais causas dos altos erros e BIAS.

As previsões dos diferentes modelos para o período de julho 2002 são apresentadas na Tabela 6.6. No experimento RNA1, das seis estações de interesse, somente três (GR, KP e RP) apresentaram um desempenho melhor que o Eta. Por outro lado, no experimento RNA3 cinco estações apresentaram melhor desempenho nas previsões (BR, GR, IAG, KPI e RP). No caso da estação RP o erro (REQM) diminuiu de 1.24 (Eta) para 0.9 mm, e de 4.60 (Eta) a 2.39 mm em Guarulhos. Deve-se destacar que somente na estação de PP o desempenho não foi melhor que o do Eta. Comparando-se os diversos experimentos, observou-se que o RNA3 foi o que teve melhor desempenho na maioria das estações de estudo, já que em todos os casos analisados os erros foram menores que os obtidos pelo RNA1.

Uma vez mais o desempenho da previsão da RLM se mostrou deficiente, e como foi observado na análise qualitativa, isto se deve na maioria das vezes à tendência exagerada de prever chuva em dias que não houve.

Neste mês os períodos curtos de chuva estiveram associados a duas frentes frias (Figura (5.2)) que passaram pela região, porém em PP onde o desempenho da RNA foi baixo, somente uma frente fria afetou a estação com chuvas moderadas.

TABELA 6.5 – Parâmetros Estatísticos (ρ , REQM e BIAS) para os Modelos de Previsão: RNA1, RNA3, RLM e Eta. Estações de São Paulo, Junho de 2002.

| JUNHO 2002 | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| | RNA1 | | | RNA3 | | | RLM | | | Eta | | |
| | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM |
| BR | * | * | * | * | * | * | 0.06 | -2.93 | 1.6 | * | * | * |
| GR | 0.43 | -0.02 | 0.094 | 0.51 | 0.02 | 0.07 | -0.39 | -1.09 | 8.0 | 0.42 | 0.18 | 0.66 |
| IAG | 0.50 | -0.16 | 0.45 | 0.80 | 0.007 | 0.07 | -0.34 | -4.76 | 12.06 | 0.63 | 1.53 | 4.15 |
| KP | 0.17 | -0.06 | 0.025 | 0.24 | -0.06 | 0.003 | -0.05 | 3.76 | 7.7 | -0.08 | 0.05 | 0.19 |
| PP | * | * | * | * | * | * | -0.39 | 10.8 | 12.11 | * | * | * |
| RP | * | * | * | * | * | * | -0.01 | 2.3 | 5.39 | * | * | * |

TABELA 6.6 – Variáveis Estatísticas (ρ , REQM e BIAS) para os Modelos de Previsão: RNA1, RNA3, RLM e Eta. Estações de São Paulo, Julho de 2002.

| JULHO 2002 | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------|-------|------|------|------|------|
| | RNA1 | | | RNA3 | | | RLM | | | Eta | | |
| | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM |
| BR | 0.73 | -0.92 | 2.3 | 0.93 | -0.33 | 1.4 | 0.25 | -1.26 | 6.26 | 0.86 | 0.95 | 2.89 |
| GR | 0.70 | 1.38 | 3.90 | 0.83 | -0.49 | 2.39 | -0.05 | -2.15 | 5.81 | 0.61 | 1.44 | 4.60 |
| IAG | 0.85 | -0.9 | 3.05 | 0.95 | -0.68 | 1.32 | 0.31 | -3.67 | 8.53 | 0.87 | 0.70 | 3.36 |
| KP | 0.79 | -0.59 | 2.7 | 0.81 | 0.02 | 2.06 | 0.23 | 0.16 | 4.42 | 0.72 | 1.35 | 3.82 |
| PP | 0.34 | -0.19 | 6.50 | 0.59 | -1.64 | 5.79 | 0.17 | 0.84 | 9.46 | 0.79 | 0.11 | 4.46 |
| RP | 0.89 | 0.28 | 1.01 | 0.91 | -0.03 | 0.9 | -0.14 | 0.31 | 6.08 | 0.81 | 0.51 | 1.24 |

Para o mês de agosto de 2002 (Tabela 6.7), apresenta-se também os resultados do experimento RNA4, no qual se incluiu como variável preditora a precipitação do dia anterior à previsão. Observa-se que no primeiro experimento as seis estações tiveram um desempenho melhor na previsão quando comparadas com a do modelo Eta, porém, a melhora significativa ocorreu em RP onde a REQM diminuiu de 6.68 a 2.97 mm. No experimento RNA3, em relação ao desempenho do Eta e RLM, quatro estações (BR, IAG, PP e RP) apresentaram um bom desempenho em suas previsões. Na estação do IAG a REQM diminuiu de 5.09 para 3.8 mm, e no RNA4 somente as estações GR e RP não apresentaram um bom desempenho. Dentre os experimentos apresentados, o RNA1 teve um desempenho superior aos demais modelos, porém, embora o experimento RNA3 não tenha tido um bom desempenho em todas as estações, ele mostrou erros (REQM) menores em relação ao RNA1 (BR, IAG e KP).

É importante ressaltar que as chuvas deste mês estiveram associadas a VCANs de latitudes médias e frentes frias, sendo que as estações menos afetadas foram GR e RP (Figura (5.20)). Especificamente GR não foi afetada por nenhum destes sistemas, isto explicaria em parte a dificuldade da RNA em apresentar um bom desempenho em relação ao Eta. Somente no experimento RNA1 o desempenho foi melhor, porém não foi significativo.

Os resultados do SS para o período de inverno são mostrados na Tabela 6.8. Junho foi o mês que apresentou as percentagens mais elevadas de SS, mas não foram consideradas as estações (BR, PP e RP) nas quais não houve registro de precipitação e que ambos os modelos previram perfeitamente a falta de chuva. No caso do experimento RNA1, obteve-se uma redução no erro REQM de 85.8 % em GR, e no caso do RNA3 a estação IAG foi a que apresentou o melhor SS, ou seja uma redução do erro da ordem de 98%.

Para o mês de julho, o experimento RNA3 teve o SS mais elevado, com uma redução do erro de 60.71 para a estação do IAG. De um modo geral este experimento apresentou valores de SS maiores para todas as estações que tiveram um desempenho melhor na previsão.

No mês de agosto, o experimento RNA3 teve o SS mais elevado para RP com uma redução no erro de 55.53% seguido pelo experimento RNA4, onde BR teve uma redução do erro de 39.5 % na previsão.

TABELA 6.7 – Parâmetros Estatísticos (ρ , REQM e BIAS) para os Modelos de Previsão: RNA1, RNA3, RNA4, RLM e Eta. Estações de São Paulo, Agosto 2002.

| INVERNO – AGOSTO DE 2002 | | | | | |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|
| Bauru – BR | | | | | |
| | RNA-1 | RNA-3 | RNA-4 | RLM | ETA |
| r | 0.68 | 0.74 | 0.73 | -0.07 | 0.61 |
| REQM | 4.42 | 3.23 | 2.73 | 9.13 | 4.51 |
| EMA | 1.64 | 1.14 | 1.03 | 6.84 | 1.7 |
| BIAS | -0.04 | 0.15 | 0.08 | 0.59 | 0.20 |
| Guarulhos –GR | | | | | |
| | RNA-1 | RNA-3 | RNA-4 | RLM | ETA |
| r | 0.57 | 0.50 | 0.38 | 0.15 | 0.53 |
| REQM | 3.0 | 3.03 | 2.15 | 5.04 | 3.45 |
| EMA | 1.2 | 1.25 | 0.73 | 3.78 | 1.34 |
| BIAS | 1.1 | 1.24 | 0.71 | 2.90 | 1.32 |
| IAG | | | | | |
| | RNA-1 | RNA-3 | RNA-4 | RLM | ETA |
| r | 0.26 | 0.3 | 0.02 | -0.11 | -0.031 |
| REQM | 4.84 | 3.8 | 4.35 | 11.67 | 5.09 |
| EMA | 2.25 | 1.9 | 1.79 | 9.13 | 2.48 |
| BIAS | 0.74 | 0.15 | 0.004 | 4.87 | -0.07 |
| Campinas –KPI | | | | | |
| | RNA-1 | RNA-3 | RNA-4 | RLM | ETA |
| r | 0.57 | 0.66 | 0.62 | -0.027 | 0.55 |
| REQM | 2.7 | 1.94 | 2.37 | 10.53 | 3.12 |
| EMA | 0.68 | 0.83 | 1.67 | 10.53 | 2.0 |
| BIAS | 0.5 | 0.09 | 0.72 | 4.61 | -0.46 |
| Presidente Predunte – PP | | | | | |
| | RNA-1 | RNA-3 | RNA-4 | RLM | ETA |
| r | 0.8 | 0.74 | 0.83 | 0.10 | 0.75 |
| REQM | 4.5 | 6.73 | 5.30 | 10.81 | 6.50 |
| EMA | 1.0 | 2.08 | 1.43 | 7.31 | 1.57 |
| BIAS | 0.06 | 0.48 | 1.2 | -0.39 | -0.72 |
| Ribeirão Preto - RP | | | | | |
| | RNA-1 | RNA-3 | RNA-4 | RLM | ETA |
| r | 0.82 | 0.63 | 0.35 | -0.18 | 0.53 |
| REQM | 2.97 | 5.07 | 7.39 | 11.88 | 6.68 |
| EMA | 0.82 | 0.93 | 2.13 | 7.52 | 1.98 |
| BIAS | 0.15 | -0.22 | -0.36 | -3.00 | -0.28 |

TABELA 6.8 – Skill Score para a REQM, para o Período de Inverno para as Estações de São Paulo.

| | JUNHO 2001 | | JULHO 2002 | | AGOSTO 2002 | | |
|------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| SS(%) | RNA1 | RNA3 | RNA1 | RNA3 | RNA1 | RNA3 | RNA4 |
| BR | * | * | 20.4 | 51.5 | 2.0 | 28.4 | 39.5 |
| GR | 85.8 | 88.9 | 15.2 | 48.0 | 13.0 | 12.1 | -20.2 |
| IAG | 89.2 | 98.22 | 9.2 | 60.7 | 4.9 | 25.3 | 14.5 |
| KP | 87.3 | 98.4 | 29.3 | 46 | 13.46 | 37.8 | 24.03 |
| PP | * | * | -45.7 | -29.8 | 30.7 | 42.6 | 18.46 |
| RP | * | * | 18.5 | 27.4 | 55.5 | 24.1 | -10.6 |

6.6.2 Rio de Janeiro

A Tabela 6.9 apresenta às previsões obtidas para o experimento RNA1, RLM e modelo Eta, para o período de verão. Em dezembro de 2001 a previsão da RNA apresentou um bom desempenho em todas as estações estudadas. Os parâmetros estatísticos mostram r altos e erros menores em relação aos modelos RLM e Eta. O BIAS foi negativo nas estações RJ1, RJ3, RJ6 e RJ7, indicando que a precipitação foi subestimada, enquanto que em RJ4 e RJ5 os índices pluviométricos foram superestimados. O modelo Eta apresentou um BIAS positivo em todas as estações meteorológicas, indicando que a precipitação foi superestimada. Os erros encontrados na previsão da RNA oscilaram entre 10 a 18 mm para a REQM, contudo, eles foram menores que os obtidos com a RLM e o Eta. Especificamente, os erros do modelo de RLM foram muito altos e oscilaram entre 21.90 a 35.80 mm/dia, estes valores estão associados à tendência exagerada de se gerar irrealisticamente chuvas. Neste mês, as chuvas estiveram associadas a dois eventos ZCASS (Capítulo 4) que afetaram todas as estações de interesse, e especificamente em RJ6 onde as chuvas associadas a este evento foram mais contínuas e intensas e o desempenho com o experimento RNA1 foi melhor.

No mês de janeiro de 2002, a RNA1 não foi eficaz no desempenho da previsão em RJ1. Nas demais estações, o desempenho da RNA superou o do Eta, onde a melhoria ocorreu em RJ6, com uma diminuição do erro de 10.14 mm a 6.46 mm. Durante este período a estação RJ1 foi a menos afetada pelas frentes frias, responsáveis pela precipitação, uma vez que elas atuaram mais no interior da região. Porém, as estações muito próximas ao litoral, aparentemente são influenciadas por brisas marítimas característica local que não está presente nas variáveis selecionadas como preditores. A brisa atua como um mecanismo de levantamento do ar, além de fornecer umidade ao sistema, sendo conhecido como um agente disparador de convecção.

No mês de fevereiro, apresenta-se também o resultado do experimento RNA3. Observa-se que houve um bom desempenho na previsão da RNA1 para seis das estações analisadas (RJ1, RJ2, RJ4, RJ5, RJ6 e RJ7). Os intervalos dos erros ao longo das estações que apresentaram bom desempenho diminuíram de 12 – 16 mm para 4.81 – 14 mm para a REQM. O resultado do experimento RNA3 somente não foi eficiente no caso das estações RJ3 e RJ4. Comparando os dois experimentos das redes o RNA3 teve um desempenho melhor em RJ1, RJ5 e RJ6. As chuvas deste período estiveram associadas a ocorrência de ZCAS (Figura (5.10)), e especificamente RJ3 foi afetada com períodos contínuos de chuva. Uma característica desta estação é sua localização a 425 m acima do nível do mar, desta forma, pode se inferir que algumas das estações de estudo são mais sensíveis à influências de topografia e altitude, característica essa que o modelo de RNA não incluiu como parâmetro de aprendizado. De forma geral, as previsões do Eta para a região do Rio de Janeiro, não apresentaram um bom desempenho, sendo que algumas vezes, os coeficientes de correlação foram muito baixos, inclusive com valores negativos.

A Tabela 6.10 apresenta os valores de SS para os três meses de verão. Observa-se que em dezembro os valores mais elevados correspondem a estação RJ3 onde houve uma redução no erro de 36,57%. Para janeiro, a redução foi de 39.9 % para a estação RJ4. No mês de fevereiro o experimento RNA1 teve o mais alto SS em RJ4, com uma redução de 62.45 %. Entretanto, no experimento RNA4 houve uma melhoria de 39.72 % na previsão em RJ6.

TABELA 6.9 – Parâmetros Estatísticos (ρ , REQM e BIAS) para os Modelos de Previsão: RNA1, RNA3, RLM e Eta Para a Região de Rio de Janeiro durante o Verão.

| DEZEMBRO 2001 | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | RNA1 | | | RNA3 | | | RLM | | | Eta | | |
| | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM |
| RJ1 | 0.61 | -2.15 | 13.42 | - | - | - | 0.02 | -5.21 | 21.9 | 0.59 | 4.69 | 17.30 |
| RJ2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| RJ3 | 0.70 | -3.89 | 10.70 | - | - | - | 0.21 | -1.06 | 21.26 | 0.68 | 5.23 | 16.87 |
| RJ4 | 0.37 | 3.28 | 15.63 | - | - | - | -0.07 | -2.49 | 22.03 | 0.18 | 4.84 | 19.60 |
| RJ5 | 0.42 | 1.76 | 17.54 | - | - | - | 0.27 | 14.91 | 35.80 | 0.20 | 3.08 | 19.22 |
| RJ6 | 0.71 | -8.0 | 18.49 | - | - | - | 0.30 | 2.12 | 32.77 | 0.45 | 5.34 | 23.11 |
| RJ7 | 0.72 | -1.56 | 10.96 | - | - | - | 0.24 | 3.31 | 31.36 | 0.62 | 2.29 | 15.15 |
| JANEIRO 2002 | | | | | | | | | | | | |
| | RNA1 | | | RNA3 | | | RLM | | | Eta | | |
| | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM |
| RJ1 | 0.40 | 2.90 | 9.62 | - | - | - | -0.24 | 3.0 | 13.6 | 0.57 | 3.63 | 8.97 |
| RJ2 | 0.45 | -1.14 | 9.50 | - | - | - | 0.16 | -1.02 | 13.22 | 0.06 | 3.92 | 11.88 |
| RJ3 | 0.35 | 1.57 | 8.5 | - | - | - | 0.008 | 3.28 | 17.15 | 0.03 | 1.74 | 12.80 |
| RJ4 | 0.30 | 2.14 | 6.48 | - | - | - | -0.12 | 14.72 | 22.57 | 0.001 | 3.28 | 10.79 |
| RJ5 | 0.44 | 0.08 | 12.53 | - | - | - | 0.039 | 1.31 | 22.19 | 0.36 | -4.24 | 15.99 |
| RJ6 | 0.45 | 1.82 | 6.46 | - | - | - | 0.14 | 1.57 | 24.7 | 0.09 | -1.74 | 10.14 |
| RJ7 | 0.3 | 3.45 | 8.6 | - | - | - | -0.14 | -4.28 | 19.6 | -0.12 | 2.36 | 12.70 |
| FEVEREIRO 2002 | | | | | | | | | | | | |
| | RNA1 | | | RNA3 | | | RLM | | | Eta | | |
| | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM |
| RJ1 | 0.58 | 5.17 | 12.62 | 0.66 | 3.76 | 10.74 | 0.36 | 4.43 | 15.09 | 0.37 | 6.95 | 14.01 |
| RJ2 | 0.60 | 5.01 | 14.0 | - | - | - | 0.32 | -0.45 | 21.19 | 0.42 | 8.84 | 15.13 |
| RJ3 | 0.43 | 9.01 | 17.0 | 0.36 | 11.38 | 10.79 | 0.53 | 9.50 | 21.64 | 0.79 | 4.32 | 9.12 |
| RJ4 | 0.68 | -1.78 | 4.81 | 0.11 | 4.6 | 14.85 | 0.25 | -0.68 | 4.98 | 0.54 | 6.0 | 12.81 |
| RJ5 | 0.71 | -0.04 | 9.85 | 0.74 | 2.50 | 9.91 | 0.20 | 6.07 | 21.87 | 0.13 | 1.70 | 14.68 |
| RJ6 | 0.60 | -0.29 | 9.71 | 0.67 | 2.27 | 8.92 | 0.37 | -1.20 | 18.09 | -0.1 | 0.61 | 14.80 |
| RJ7 | 0.53 | -0.82 | 10.52 | 0.29 | 6.37 | 12.69 | 0.18 | -7.71 | 21.40 | 0.14 | 3.65 | 16.65 |

TABELA 6.10 – Skill Score para a REQM na Época de Verão – Estações De Rio De Janeiro.

| VERÃO | | | | |
|--------|---------------|--------------|----------------|--------------|
| SS (%) | DEZEMBRO 2001 | JANEIRO 2002 | FEVEREIRO 2002 | |
| | RNA1 | RNA1 | RNA1 | RNA3 |
| RJ1 | 22.42 | -7.2 | 10 | 23.34 |
| RJ2 | - | 20 | 7 | - |
| RJ3 | 36.57 | 33.5 | -20 | - 17.87 |
| RJ4 | 20.2 | 39.9 | 62.45 | -15.9 |
| RJ5 | 8.74 | 21.7 | 32.9 | 32.49 |
| RJ6 | 20.0 | 36.2 | 34.39 | 39.72 |
| RJ7 | 27.65 | 32.28 | 24.80 | 23.78 |

Para o período de inverno, observa-se que em junho 2002 (Tabela 6.11) o modelo RLM não teve um bom desempenho, os coeficientes de correlação foram baixos, e em algumas estações os valores foram negativos. O BIAS teve valores negativos e o erro (REQM) foi significativamente alto para a época. As previsões da RNA1 tiveram um bom desempenho para as estações RJ1, RJ2, RJ3 e RJ4, sendo que a melhoria mais significativa ocorreu em RJ4, com uma diminuição do erro de 7.27 a 5.7 mm em relação ao Eta. Neste mês observaram-se baixos coeficientes de correlação e com erros relativamente altos para a época nas estatísticas das previsões obtidas pelo Eta apresentaram. Neste período que tipicamente é seco, não houve chuvas significantes, apenas em RJ2, porém, ambos os modelos geraram precipitação irreal, embora a RNA1 o tenha feito de forma menos acentuada.

No mês de julho de 2002 a RNA1 teve um bom desempenho em quatro das sete estações de estudo. Para RJ1, RJ3 e RJ4, os coeficientes de correlação foram altos, com valores de até 0.69, e a melhoria mais significativa foi na estação RJ4 com uma diminuição do erro (REQM) de 3.89 para 1.80 mm.

Nos meses de junho e julho de 2002 as chuvas estiveram associadas a passagens de frentes frias pela região (Figura (5.21)), que afetaram as estações de estudo de forma distinta. Na estação RJ5 apesar de ter sido afetada pelos SFs, não se obteve um bom desempenho com a RNA. Ressalta-se que a localização geográfica e a altitude (670 m) desta estação o pode ter influenciando indiretamente o resultado da previsão da RNA.

Para o mês de agosto de 2002 apresentam-se os resultados de dois experimentos RNA1 e RNA3. O desempenho da RNA1 em relação ao Eta e RLM foi satisfatório nas seis estações. No experimento RNA3, observou-se um comportamento distinto; somente cinco estações (RJ1, RJ3, RJ4, RJ6 e RJ7) apresentaram um bom desempenho. Comparando os experimento, observa-se que a RNA3 apresentou erros menores e ρ altos somente em RJ4 e RJ7.

Os SS para os meses de inverno são mostrados na Tabela 6.12. Em junho a estação RJ2 apresentou o mais alto SS, sendo que a diminuição do erro foi de 63.63 % para a REQM. Em julho o SS mais elevado foi de 54.67 % em RJ1 e de 53.72 % em RJ4. Por outro lado, no mês de Agosto a RNA1 teve os mais altos SS quando comparado com RNA3, sendo que para este experimento RJ7 apresentou o valor de 41.47 % .

TABELA 6.11 – Parâmetros Estatísticos (ρ , REQM e BIAS) Para os Modelos de Previsão: RNA1, RNA2, RNA3, RLM e Eta, Para o Inverno, no Rio De Janeiro.

| JUNHO 2002 | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------|-------|-------|-------------|--------------|-------------|
| | RNA1 | | | RNA3 | | | RLM | | | Eta | | |
| | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM |
| RJ1 | 0.42 | -1.05 | 2.47 | - | - | - | 0.11 | -2.88 | 5.93 | 0.02 | -0.55 | 3.88 |
| RJ2 | 0.36 | -0.15 | 0.20 | - | - | - | -0.17 | 0.72 | 2.80 | -0.06 | 0.17 | 0.55 |
| RJ3 | 0.48 | 1.0 | 3.8 | - | - | - | -0.5 | -1.37 | 5.27 | 0.40 | -0.69 | 4.57 |
| RJ4 | 0.30 | 0.50 | 5.7 | - | - | - | 0.10 | -0.35 | 7.71 | -0.27 | -1.7 | 7.27 |
| RJ5 | 0.35 | -0.9 | 6.10 | - | - | - | 0.13 | -0.91 | 6.85 | 0.51 | -1.1 | 5.50 |
| RJ6 | 0.78 | -0.7 | 3.0 | - | - | - | -0.07 | -0.19 | 4.78 | 0.85 | -0.41 | 2.21 |
| RJ7 | 0.70 | 0.6 | 5.0 | - | - | - | 0.12 | -2.69 | 8.78 | 0.81 | -0.89 | 3.71 |
| JULHO 2002 | | | | | | | | | | | | |
| | RNA1 | | | RNA3 | | | RLM | | | Eta | | |
| | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM |
| RJ1 | 0.69 | -0.42 | 1.48 | - | - | - | -0.23 | -1.0 | 4.24 | 0.01 | 0.81 | 3.40 |
| RJ2 | 0.48 | -0.62 | 2.29 | - | - | - | 0.28 | -0.47 | 2.21 | 0.69 | 0.33 | 1.72 |
| RJ3 | 0.51 | -1.35 | 2.53 | - | - | - | -0.16 | -1.03 | 4.78 | 0.38 | -0.33 | 3.66 |
| RJ4 | 0.69 | -0.42 | 1.80 | - | - | - | 0.08 | -0.14 | 3.20 | 0.37 | 0.71 | 3.89 |
| RJ5 | 0.27 | 2.1 | 4.33 | - | - | - | 0.10 | 0.46 | 15.80 | 0.32 | -0.49 | 2.65 |
| RJ6 | 0.13 | 1.07 | 5.66 | - | - | - | 0.33 | 5.35 | 12.06 | 0.48 | -0.26 | 3.80 |
| RJ7 | 0.35 | -1.67 | 5.59 | - | - | - | 0.23 | -0.10 | 12.83 | 0.06 | -2.12 | 7.45 |
| AGOSTO 2002 | | | | | | | | | | | | |
| | RNA1 | | | RNA3 | | | RLM | | | Eta | | |
| | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM |
| RJ1 | 0.56 | -0.30 | 1.42 | 0.51 | 0.71 | 2.94 | 0.24 | 0.46 | 2.92 | -0.08 | 0.13 | 3.71 |
| RJ2 | 0.56 | -0.8 | 1.50 | 0.01 | 1.30 | 3.50 | 0.05 | 1.35 | 4.56 | 0.35 | 0.44 | 2.31 |
| RJ3 | 0.20 | -1.0 | 3.0 | 0.05 | -0.72 | 3.58 | -0.21 | -0.98 | 6.68 | -0.04 | -0.22 | 4.86 |
| RJ4 | 0.42 | -0.97 | 3.78 | 0.41 | 1.73 | 2.94 | 0.07 | 1.71 | 4.87 | 0.12 | -0.28 | 4.78 |
| RJ5 | 0.50 | 0.87 | 1.16 | 0.14 | -1.49 | 3.41 | -0.05 | 2.26 | 6.23 | 0.43 | 0.34 | 2.06 |
| RJ6 | 0.54 | 0.31 | 2.10 | 0.52 | -0.97 | 2.83 | 0.04 | -0.63 | 5.60 | 0.48 | 0.49 | 3.96 |
| RJ7 | 0.35 | 0.67 | 5.09 | 0.37 | -0.85 | 4.53 | -0.17 | 4.4 | 11.37 | -0.04 | 2.22 | 7.74 |

TABELA 6.12 – Skill Score para a Época de Inverno – Estações de Rio de Janeiro.

| INVERNO | | | | |
|---------|------------|------------|-------------|--------|
| SS (%) | JUNHO 2002 | JULHO 2002 | AGOSTO 2002 | |
| | RNA1 | RNA1 | RNA1 | RNA3 |
| RJ1 | 36.34 | 54.67 | 61.72 | 20.75 |
| RJ2 | 63.63 | -33.13 | 35.06 | -51.51 |
| RJ3 | 16.84 | 30.87 | 38.27 | 26.33 |
| RJ4 | 21.59 | 53.72 | 20.9 | 38.49 |
| RJ5 | -10.90 | -63.39 | 43.68 | -65.53 |
| RJ6 | -35.74 | -48.94 | 46.96 | 28.53 |
| RJ7 | -34.77 | 24.9 | 34.23 | 41.47 |

6.6.3 Minas Gerais

Durante o período de verão as estações de Minas Gerais (Tabela 6.13) também comprovam a eficiência das RNAs. Em dezembro de 2001, em quatro (MG4, MG5, MG6 e MG7) das seis estações estudadas o desempenho da previsão da RNA1 foi melhor que a do Eta. A estação MG7 apresentou o melhor desempenho em relação ao Eta, com uma diminuição da REQM de 21,94 mm para 16,82. Os coeficientes de correlação foram maiores que 0,5 e o BIAS evidenciou subestimativas de precipitação. Neste mês as chuvas estiveram associadas a ocorrência de dois eventos ZCASs (Figura (5.11)) que afetaram as estações de estudo, sendo que em MG1 e MG2, onde as RNAs não apresentaram bom desempenho, as chuvas foram menos intensas.

Para o mês de janeiro, com exceção do observado em MG5, a RNA teve um melhor desempenho. Nas estações que apresentaram bom desempenho os erros diminuíram de 13 - 22 para 8 - 19 mm/dia para a REQM, sendo que em MG4 houve apresentando uma diminuição da REQM de 14.60 mm para 8.61 mm. Novamente observou-se um BIAS negativo nas estações que apresentaram um bom desempenho, indicando ligeiras subestimativas dos valores reais. Neste mês as frentes frias foram as responsáveis pelos

períodos contínuos de chuva sobre as estações de Minas Gerais (Figura (5.11)). Observou-se também que duas frentes frias afetaram a estação MG5, porém, a RNA não apresentou um desempenho bom em relação ao Eta. Entretanto, pelo fato desta estação estar localizada a 745 m, pode ser que ela seja mais sensível ao efeito topográfico, comparada com as outras que apresentaram um bom desempenho.

Para o mês de fevereiro do 2002, o desempenho da RNA1 não foi favorável em MG4 e MG7, e desta forma, o modelo Eta teve um desempenho melhor. Nas estações nas quais a RNA1 teve um desempenho melhor, MG2 apresentou uma redução do erro (REQM) de 19.91 mm para 12.99 mm. Também observou-se que em média a previsão da RNA3 subestimou (BIAS = -1.2) os valores reais de precipitação. No experimento RNA3 somente nas estações MG4 e MG5 o desempenho não foi superior ao do Eta. Destaca-se neste experimento a estação MG6 que apresentou uma diminuição da REQM de 15.74 para 11.34 mm. Comparando-se os dois experimentos observa-se que a RNA3 teve desempenho melhor somente para as estações MG6 e MG7. As chuvas deste mês estiveram associadas a dois eventos ZCAS que aturam sobre as estações de interesse de forma distinta. Especificamente em MG4 onde nenhum experimento das RNAs superou o desempenho do Eta, os eventos ZCASs afetaram a estação com chuvas contínuas e moderadas. Aspectos relacionados a topografia, localização, e clima local que influenciam as precipitações dessa estação, aparentemente não foram capturados pela RNA.

A Tabela 6.14 mostra o SS para o período de verão. No mês de dezembro a estação MG5 teve o mais alto SS, associado a uma diminuição do erro (REQM) de 28.84 % em relação a previsão do Eta, seguida pela MG7 com uma redução do erro de 25.6%. Em janeiro as melhorias oscilaram entre 12 % a 40 %, sendo que MG4 foi a que teve o melhor desempenho. Para fevereiro, a RNA1 mostrou a mais alta porcentagem de SS na estação MG2 com uma redução do erro de 34.75 %. Para o experimento RNA3 as melhorias mais significativas foram de 27.95 % para a REQM na estação MG6.

TABELA 6.13 – Parâmetros Estatísticos (ρ , REQM e BIAS) para os Modelos de Previsão RNA1, RNA2, RNA3, RLM e Eta, durante o Verão em Minas Gerais.

| DEZEMBRO 2001 | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------|-------|-------|-------------|--------------|--------------|
| | RNA1 | | | RNA3 | | | RLM | | | Eta | | |
| | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM |
| MG1 | 0.18 | 3.82 | 21.71 | - | - | - | 0.28 | 1.81 | 20.17 | 0.39 | -0.48 | 14.06 |
| MG2 | 0.27 | -0.13 | 20.81 | - | - | - | 0.29 | -8.0 | 19.60 | 0.38 | 0.13 | 15.24 |
| MG3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| MG4 | 0.56 | -3.55 | 13.56 | - | - | - | 0.14 | -6.35 | 21.83 | 0.46 | 2.30 | 17.73 |
| MG5 | 0.60 | -2.31 | 11.05 | - | - | - | 0.10 | -6.11 | 22.05 | 0.47 | 3.63 | 15.53 |
| MG6 | 0.70 | -2.92 | 12.60 | - | - | - | 0.21 | -10.5 | 31.14 | 0.63 | -0.58 | 15.16 |
| MG7 | 0.66 | -1.55 | 16.82 | - | - | - | -0.05 | -6.64 | 40.72 | 0.28 | 2.27 | 21.94 |
| JANEIRO 2002 | | | | | | | | | | | | |
| | RNA1 | | | RNA3 | | | RLM | | | Eta | | |
| | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM |
| MG1 | 0.52 | 4.71 | 10.44 | - | - | - | 0.35 | 6.03 | 25.67 | 0.46 | -0.88 | 13.01 |
| MG2 | 0.74 | -0.52 | 19.41 | - | - | - | 0.32 | -0.15 | 29.86 | 0.72 | -6.52 | 22.22 |
| MG3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| MG4 | 0.84 | -1.15 | 8.61 | - | - | - | 0.41 | -0.69 | 19.61 | 0.41 | 1.77 | 14.60 |
| MG5 | 0.28 | -2.29 | 15.32 | - | - | - | 0.05 | -4.67 | 22.14 | 0.58 | 1.97 | 11.81 |
| MG6 | 0.62 | -1.67 | 11.69 | - | - | - | 0.13 | -2.45 | 31.87 | 0.49 | 0.51 | 13.21 |
| MG7 | 0.47 | -0.23 | 15.24 | - | - | - | 0.19 | -1.06 | 20.38 | 0.23 | 1.39 | 18.63 |
| FEVEREIRO 2002 | | | | | | | | | | | | |
| | RNA1 | | | RNA3 | | | RLM | | | Eta | | |
| | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM |
| MG1 | 0.46 | -9.49 | 12.28 | 0.35 | -5.04 | 13.37 | 0.09 | -5.78 | 19.72 | 0.15 | 0.10 | 15.04 |
| MG2 | 0.65 | -1.2 | 12.99 | 0.30 | 2.56 | 15.67 | 0.23 | 1.50 | 20.86 | 0.19 | 3.19 | 19.91 |
| MG3 | 0.13 | 2.91 | 20.95 | - | - | - | 0.09 | -3.45 | 26.42 | -0.17 | -5.19 | 27.06 |
| MG4 | 0.41 | -9.30 | 17.95 | 0.33 | 4.63 | 17.90 | -0.55 | -4.24 | 18.68 | 0.52 | 6.07 | 16.46 |
| MG5 | 0.66 | -4.20 | 12.28 | 0.33 | 4.63 | 23.58 | 0.16 | -4.36 | 13.17 | 0.58 | 8.78 | 15.41 |
| MG6 | 0.58 | -6.95 | 13.33 | 0.68 | 3.77 | 11.34 | 0.37 | -4.36 | 17.88 | 0.54 | 3.0 | 15.74 |
| MG7 | 0.40 | -7.90 | 17.23 | 0.56 | -0.92 | 13.16 | 0.04 | -5.22 | 18.32 | 0.53 | 7.57 | 16.62 |

TABELA 6.14 - Skill Score para o Período de Verão nas Estações de Minas Gerais.

| VERÃO | | | | |
|--------|---------------|--------------|----------------|--------------|
| SS (%) | DEZEMBRO 2001 | JANEIRO 2002 | FEVEREIRO 2002 | |
| | RNA1 | RNA1 | RNA1 | RNA3 |
| MG1 | -54.40 | 19.75 | 18.35 | 11.10 |
| MG2 | -36.54 | 12.64 | 34.75 | 21.29 |
| MG3 | - | - | 22.57 | - |
| MG4 | 23.51 | 41.02 | -9.05 | -11.66 |
| MG5 | 28.84 | -29.70 | 20.3 | -53.0 |
| MG6 | 16.88 | 11.50 | 15.31 | 27.95 |
| MG7 | 23.33 | 18.19 | -3.67 | 20.81 |

A Tabela 6.15 mostra os resultados estatísticos referentes ao período de inverno para as estações de Minas Gerais. No mês de junho de 2002 não se registraram precipitações nas estações analisadas (Figura (5.22)), porém, tanto a RNA como o Eta não conseguiram capturar o período seco. Os dois modelos geraram chuvas, porém não muito significativas, uma vez que os coeficientes de correlação foram altos e os erros pequenos. A previsão da RNA1 apresentou os menores erros e somente em MG3 o desempenho do Eta foi ligeiramente melhor.

No mês de julho registraram-se precipitações significativas, porém, em curtos períodos devido a rápidas passagens de SFs. Das sete estações analisadas, somente MG7 não teve um bom desempenho. O intervalo de erros (REQM) para as estações que apresentaram bom desempenho diminuiu de 0.60 - 2.54 para 0.19 - 1.04 mm. Destacou-se MG3 com a diminuição do erro mais significativo: de 1.30 mm para 0.19 mm. No caso do modelo RLM, os valores de coeficientes de correlação foram baixos e negativos, alcançando em alguns casos específicos (MG3) um desempenho bom, próximo ao das RNAs.

As chuvas foram escassas no mês de agosto, sendo que apenas as estações MG3, MG5 e MG6 registraram chuvas isoladas (Figura (5.22)). Os resultados de RNA1 apresentaram bom desempenho nas sete estações, e naquelas em que não foram registradas precipitações (MG1, MG2, MG4 e MG7), a RNA não gerou tanta chuva irreal como o

Eta. No experimento RNA4, com exceção de MG6, observou-se um bom desempenho em todas as estações. Destaca-se a estação MG3 que em ambos experimentos apresentou uma evidente melhora, com uma diminuição mais significativa da REQM de 3.88 mm a 0.81 mm para o experimento RNA3.

O cálculo do SS para os meses de inverno é mostrado na Tabela 6.16. Observa-se que em junho a RNA foi mais eficiente, e nas estações que não se registraram chuvas, ela apresentou um comportamento muito próximo do real. A maior redução do erro (REQM) em relação a previsão do Eta foi de 95 % para MG4. Nas estações que se registraram chuvas esporádicas (MG5 e MG6), a redução da REQM foi de 80 e 75 % respectivamente. Por outro lado, no mês de julho, com a ocorrência de alguns períodos de chuva, a RNA também mostrou-se eficiente e as melhorias mais significativas foram para MG3, com uma redução do erro (REQM) de 85.38 %. Em agosto, e para o experimento RNA1, as reduções foram de 50.7% para MG3 e 53.76% para MG5. Para RNA3 os resultados foram muito mais satisfatórios, já que superaram a RNA1, e a diminuição mais significativa foi para as estações MG3 e MG5, nas quais a RNA capturou com maior precisão os períodos isolados de chuva. Nas estações nas quais não ocorreram precipitações (MG1) ambos os experimentos conseguiram capturar melhor o período seco.

TABELA 6.15 – Parâmetros Estatísticos (ρ , REQM e BIAS) para os Modelos de Previsão: RNA1, RNA2, RNA3, RLM e Eta, para o período de Inverno em Minas Gerais.

| JUNHO 2002 | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|---------------|---------------|-------------|--------------|--------------|-------|-------|-------|-------------|--------------|--------------|
| | RNA1 | | | RNA3 | | | RLM | | | Eta | | |
| | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM |
| MG1 | 0.91 | -0.03 | 0.002 | - | - | - | 0.04 | -0.06 | 0.46 | 0.89 | -0.03 | 0.02 |
| MG2 | 0.70 | -0.05 | 0.002 | - | - | - | 0.06 | 0.02 | 1.2 | 0.70 | -0.05 | 0.002 |
| MG3 | 0.29 | 0.004 | 0.03 | - | - | - | 0.04 | -0.01 | 0.05 | 0.4 | 0.004 | 0.02 |
| MG4 | 0.90 | -0.003 | 0.002 | - | - | - | -0.01 | 0.01 | 1.1 | 0.80 | -0.003 | 0.02 |
| MG5 | 0.89 | -0.001 | 0.004 | - | - | - | 0.02 | -0.05 | 0.04 | 0.79 | -0.003 | 0.02 |
| MG6 | 0.80 | -0.003 | 0.005 | - | - | - | -0.12 | -0.07 | 0.26 | 0.70 | -0.03 | 0.02 |
| MG7 | 0.85 | -0.003 | 0.0018 | - | - | - | 0.13 | -0.01 | 0.23 | 0.80 | -0.03 | 0.02 |
| JULHO 2002 | | | | | | | | | | | | |
| | RNA1 | | | RNA3 | | | RLM | | | Eta | | |
| | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM |
| MG1 | 0.50 | 0.06 | 1.04 | - | - | - | -0.06 | -0.40 | 2.51 | 0.13 | -0.01 | 2.54 |
| MG2 | 0.45 | 0.14 | 0.30 | - | - | - | -0.04 | 0.24 | 3.08 | 0.19 | 0.11 | 1.35 |
| MG3 | 0.87 | -0.05 | 0.19 | - | - | - | 0.86 | -0.54 | 0.19 | 0.61 | 0.47 | 1.30 |
| MG4 | 0.76 | 0.04 | 0.29 | - | - | - | -0.06 | 0.11 | 1.618 | 0.55 | 0.04 | 0.60 |
| MG5 | 0.98 | -0.14 | 0.56 | - | - | - | -0.49 | -0.25 | 1.14 | 0.85 | -0.14 | 0.76 |
| MG6 | 0.50 | -0.01 | 0.48 | - | - | - | -0.08 | -0.22 | 0.70 | 0.36 | -0.01 | 0.75 |
| MG7 | 0.60 | -0.56 | 1.91 | - | - | - | -0.06 | -0.59 | 2.58 | 0.78 | -0.56 | 1.81 |
| AGOSTO 2002 | | | | | | | | | | | | |
| | RNA1 | | | RNA3 | | | RLM | | | Eta | | |
| | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM | r | BIAS | REQM |
| MG1 | 0.96 | -0.11 | 0.78 | 0.99 | -0.07 | 0.14 | 0.18 | -0.11 | 1.40 | 0.72 | 1.22 | 3.43 |
| MG2 | 0.81 | 1.05 | 2.22 | 0.98 | 0.49 | 1.84 | 0.42 | 0.51 | 3.86 | 0.79 | 1.12 | 3.16 |
| MG3 | 0.69 | 0.36 | 1.91 | 0.65 | -0.04 | 0.81 | -0.13 | 3.36 | 8.73 | 0.25 | 1.11 | 3.88 |
| MG4 | 0.77 | 0.62 | 1.71 | 0.40 | 0.002 | 0.024 | -0.14 | 0.31 | 3.41 | -0.30 | 0.97 | 4.30 |
| MG5 | 0.71 | -0.32 | 1.29 | 0.76 | -0.16 | 0.82 | 0.10 | -0.13 | 1.86 | 0.71 | 0.69 | 2.79 |
| MG6 | 0.87 | -0.39 | 2.08 | 0.87 | -0.66 | 3.32 | -0.05 | -0.44 | 4.57 | 0.86 | 0.69 | 2.56 |
| MG7 | 0.89 | -0.33 | 1.02 | 0.86 | -0.02 | 1.04 | -0.40 | 4.07 | 3.07 | 0.71 | 0.52 | 1.69 |

TABELA 6.16 – Skill Score para a REQM no período de Inverno para as Estações de Minas Gerais.

| INVERNO | | | | |
|---------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| SS (%) | JUNHO 2001 | JULHO 2002 | AGOSTO 2002 | |
| | RNA1 | RNA1 | RNA1 | RNA3 |
| MG1 | 90.0 | 59.0 | 77.25 | 95.9 |
| MG2 | - | 77.0 | 29.74 | 41.77 |
| MG3 | -50.0 | 85.38 | 50.77 | 79.12 |
| MG4 | 95.0 | 51.9 | 60.23 | 99.44 |
| MG5 | 80.0 | 26.3 | 53.76 | 70.60 |
| MG6 | 75.0 | 36.0 | 18.75 | -29.68 |
| MG7 | 91.0 | -5.52 | 39.64 | 38.46 |

6.6.4 Sumário e Discussão dos Resultados

As comparações das previsões obtidas com os modelos estatísticos (RNA e RLM) e o modelo regional Eta para as diferentes estações meteorológicas apresentaram resultados diversos, variando de região para região, e de tipo de séries utilizadas para o treinamento. A comparação das previsões pontuais com as do Eta (área) se justifica, uma vez que o objetivo deste trabalho é o de ajustar esta previsão para pontos específicos (estações meteorológicas) através do *downscaling* estatístico.

O objetivo de se utilizar diferentes séries temporais para gerar a ferramenta prognóstica foi o de encontrar o melhor arranjo ou combinação que representasse os padrões de chuva. Apesar da limitação de se ter uma série relativamente curta (cinco anos) das saídas do Eta, e tenha-se utilizado as saídas correspondentes a cada seis horas, observou-se que a técnica de RNA foi eficiente para ajustar as previsões de precipitação em pontos mais específicos. Esta eficiência quantificada por meio de parâmetros estatísticos utilizados foi diferente de período para período e de local para local.

Observou-se que no período de inverno as previsões de precipitação alcançaram melhorias de até 80 %, sobretudo nos meses de julho e agosto, no estado de São Paulo. As estações de GR e IAG apresentaram o SS mais elevado no mês de junho e julho e em agosto as estações de BR, PP e RP tiveram o mesmo comportamento. No Rio de Janeiro, o SS foi menor com um valor médio de 60 %, e as estações RJ1 e RJ2 apresentaram os SS mais elevados para o mês de julho e agosto respectivamente. Em Minas Gerais observou-se uma elevação do SS, aproximadamente de 80 %, porém em geral as estações apresentaram chuvas escassas, sendo que em julho e agosto quando se registraram chuvas isoladas, as estações MG3 e MG5 apresentaram os SS mais elevados. A RNA também foi eficiente em prever os eventos secos, mas o Eta também o foi, especificamente sobre a região de São Paulo.

No período de verão o SS diminuiu, e a acurácia da previsão em média foi de 40 % para o estado de São Paulo. As estações de IAG e KP foram as que apresentaram SS mais elevados nos meses de Dezembro e Fevereiro. No Rio de Janeiro o SS aumentou em média para 50 %, sendo que RJ6 e RJ4 apresentaram os SS mais altos em janeiro e fevereiro respectivamente. Por outro lado, em Minas Gerais os SS diminuiu em média para 35 %, sendo que as estações MG4 e MG2 apresentaram o SS mais elevado em janeiro e fevereiro respectivamente.

Observou-se, de uma forma geral que naquelas estações, nas quais a RNA apresentou bom desempenho, os períodos de chuva estiveram associados a ZCAS e SFs bem definidos, isto foi mais evidente nas estações de São Paulo e Rio de Janeiro. Por outro lado, em Minas Gerais, algumas estações não apresentaram bom desempenho, embora as chuvas tenham estado associadas a ZCAS e SFs, isto pode estar associado a aspectos locais de topografia, microclima e convecção local que também estariam influenciando à ocorrência de chuvas.

No que se refere as diferentes séries de tempo utilizadas, não se observou uma clara tendência de qual seria a melhor. Uma série maior indicaria uma maior quantidade de eventos a ser associados e depois generalizados para previsão, porém, o fato de não ser homogênea no sentido de ter havido mudanças no código no modelo, faz com que esta

se torne instável e a rede tenha muita variabilidade para ser aprendida. Por outro lado, a inclusão da variável precipitação registrada na estação do dia anterior, proporcionou a rede uma informação local e relacionada ao evento a ser previsto. Observou-se que muitas estações melhoraram seu desempenho quando era utilizada a precipitação do dia anterior como variável preditora. Isto foi mais evidente nas estações de Rio de Janeiro e São Paulo.

É importante ressaltar que as previsões de precipitação geradas pelo Eta, de um modo geral são melhores quando os fenômenos de escala sinótica que a originam são SFs e ZCAS. Picos isolados de chuva são difíceis de serem previstos, pois em sua maioria estão associados a efeitos locais ou topográficos. Por outro lado, o modelo de RNA, por ser treinado com variáveis dinâmicas também provenientes do modelo, consegue reproduzir os períodos de chuvas associados a esses sistemas. A RNA tem como vantagem, além da não linearidade, ser treinada com valores reais de chuva como saída desejada, enquanto o modelo não assimila dados de chuvas observados.

CAPÍTULO 7

PREVISÃO ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados dos experimentos para a previsão espacial da precipitação utilizando as RNAs. A área de estudo corresponde as regiões sul e sudeste do Brasil e os períodos de estudo são o verão (dezembro e fevereiro de 2001 a 2002, e janeiro de 2001 a 2003) e a primavera (setembro, outubro e novembro) dos anos 2000 a 2002.

7.1 Seleção das Variáveis Predictoras para a Previsão Espacial

A seleção das variáveis predictoras teve como base a análise sinótica (Capítulo 4), na qual foi confirmado que na época de verão os sistemas que afetam a região de interesse e que estão relacionados diretamente a ocorrência de chuva são os SFs, ZCAS e VCANs. Por outro lado, na primavera os SFs, ciclogêneses e VCANs oriundos de latitudes médias foram os grandes responsáveis pelas precipitações observadas nesse local. Neste contexto, foram selecionadas cinco variáveis que caracterizam estes sistemas. Para o período de verão essas variáveis são a componente vertical da velocidade do vento em 850 hPa, temperatura em 1000 hPa, vorticidade relativa em 250 hPa, convergência de umidade em 850 hPa, e água precipitável. Para o período de primavera, as variáveis selecionadas foram diferentes para cada mês, e não as mesmas para todo o período como realizado para o verão. Para Setembro as variáveis foram a componente meridional do vento em 500 hPa, temperatura em 1000 hPa, vorticidade relativa em 250 hPa, pressão ao nível médio do mar e convergência de umidade em 850 hPa. Para outubro, além da temperatura, da componente meridional e da vorticidade, o geopotencial e a umidade específica em 1000 hPa também foram incluídas. Em novembro, a componente vertical (850 hPa) e zonal (500 hPa) da velocidade do vento, a temperatura do ar em 1000 hPa, a vorticidade relativa em 250 hPa e a umidade específica em 1000 hPa foram as variáveis selecionadas.

7.2 Aplicação das RNAs para a Previsão Espacial

Conforme apresentado na metodologia, inicialmente se aplicou a todos os campos das variáveis predictoras do modelo global T126 e do campo de precipitação 3B42 a TO *Biorthogonal* 3.7 num nível de decomposição, obtendo-se assim, quatro matrizes para cada campo, correspondente à aproximação e detalhes (na horizontal, vertical e diagonal), cada uma delas reduzida a metade de sua dimensão original. Devido a matrizes de aproximações reter as informações mais relevantes do campo original, para o treinamento da RNA foi utilizado apenas a matriz de aproximações.

Os experimentos realizados são descritos a seguir:

- a. **experimento 1 (RNA1):** Foi construída uma rede neural para cada mês do verão e da primavera. Inicialmente, aplicou-se a TO aos campos das variáveis predictoras do T126 (26 x 18) e do 3B42/TRMM (26 x 18) (saída), reduzindo suas dimensões para 13 x 9. Como foram selecionados 5 preditores em quatro horários distintos de previsão (06:00, 12:00, 18:00 e 00:00 UTC), a matriz resultante de entrada para o treinamento teve uma dimensão de 260 x 9 e a de saída de 13 x 9. Após o treinamento, para obter-se a matriz em sua dimensão original, aplicou-se aos resultados a TO inversa. O número de neurônios utilizados para a camada de entrada e saída foi o correspondente à dimensão das matrizes resultantes: 260 x 9 e 13 x 9. O número de neurônios da camada interna foi testado dentro do intervalo estabelecido por Fletcher e Goss, (1993). O melhor resultado foi obtido para um número de 15 neurônios para primavera e 20 para o verão;
- b. **experimento 2 (RNA2):** Neste experimento foi incluída como variável preditora a imagem do 3B42/TRMM do dia anterior a previsão, desta forma, a matriz de entrada teve 6 preditores. Posteriormente, a dimensão da matriz de entrada depois de ter aplicado a TO para decomposição num nível foi de 273 x 9, e a matriz de saída manteve sua dimensão original (13 x 9). Foram estas dimensões que determinaram o número de neurônios para a camada de entrada e saída. Os

números de neurônios utilizados para a camada interna foram os mesmos que no experimento anterior.

As saídas do T126 correspondem à integração feita com a condição inicial das 00:00 UTC. Avaliaram-se quatro horários para caracterizar os fenômenos a escala sinótica que provocou as precipitações durante o dia.

Para efetuar a análise comparativa das previsões obtidas pelo dois experimentos, além de se utilizar o produto 3B42 como verdade terrestre, também foi utilizada a previsão de precipitação obtida pelo T126. Para isto, os campos de precipitação obtidos a cada seis horas foram acumulados totalizando um campo diário de previsão de precipitação. A seguir apresentam-se os resultados obtidos pelas RNAs. Foram selecionados aleatoriamente dois dias do período de teste para cada mês de verão e primavera.

7.3 Período de Verão

Dezembro

A Figura (7.1) mostra as previsões diárias da precipitação obtidas pelos dois experimentos: RNA1 e RNA2, para 22 de dezembro de 2002. Apresentam-se também as correspondentes imagens do 3B42/TRMM, do modelo global T126 e a imagem do satélite GOES-8. A inclusão da imagem de satélite, embora ilustrativa, serve para conferir as bandas de nebulosidade associadas às áreas de precipitação observadas no 3B42/TRMM.

Comparando qualitativamente com as estimativas do 3B42, observa-se que no primeiro experimento a RNA1 não previu a faixa de precipitação que se estende desde Paraguai, Santa Catarina até Minas Gerais. Ela previu apenas áreas isoladas sobre a região e um outro núcleo sobre o oceano que não é observado na imagem do 3B42/TRMM. Por outro lado, observa-se uma melhoria no experimento RNA2, uma faixa dupla de precipitação estende-se sobre a região sul, sudeste, Mato Grosso do Sul, Goiás e Paraguai. A área de chuva sobre o oceano é muito menor que no experimento RNA1. A

previsão do T126 gera uma faixa extensa de precipitação sobre o Nordeste de Argentina, Paraguai, sul e sudeste do Brasil e estende-se para o oceano pelo estado de Espírito Santo. Além disso, dentro dessa faixa observa-se alguns núcleos de precipitação (sul de Minas Gerais, Santa Catarina e sul do Rio Grande do Sul) que não são detectados no 3B42/TRMM, RNA1 e RNA2. Neste dia a imagem do GOES-8 mostra uma área de nebulosidade sobre a mesma região observada no 3B42, induzida pela convecção da AB e um SF sobre o oceano (Figura (7.1)).

Na Figura (7.2) observa-se a previsão para o dia 31 de dezembro de 2002. Na imagem do 3B42 observa-se duas faixas estendendo-se quase horizontalmente sobre a parte central e norte da região de estudo, o núcleo mais significativo se localiza sobre o Paraguai. O experimento RNA1 apresenta uma área de precipitação estendendo-se sobre quase toda a região de estudo, e são evidentes alguns núcleos sobre o centro de Paraguai e Mato Grosso do Sul. No experimento RNA2 a área de precipitação sobre o continente está mais localizada e restrita ao setor Oeste, não observando-se núcleos de chuva significativos. O T126 apresenta a área de precipitação estendendo-se sobre o norte e centro da região de estudo, com um núcleo de precipitação significativo sobre o sudeste de Minas Gerais. O modelo não previu o núcleo sobre o Paraguai e gera precipitação sobre o oceano numa extensão maior que a RNA1 e RNA2. A chuva nesse dia esteve associada ao segundo caso de ZCAS (27-07) ocorrido no mês de dezembro de 2002 e que se prolongou até o dia 7 de janeiro de 2003. Na imagem do GOES-8 (Figura (7.2)) observa-se a banda de nebulosidade desconfigurada sobre a região Sudeste.

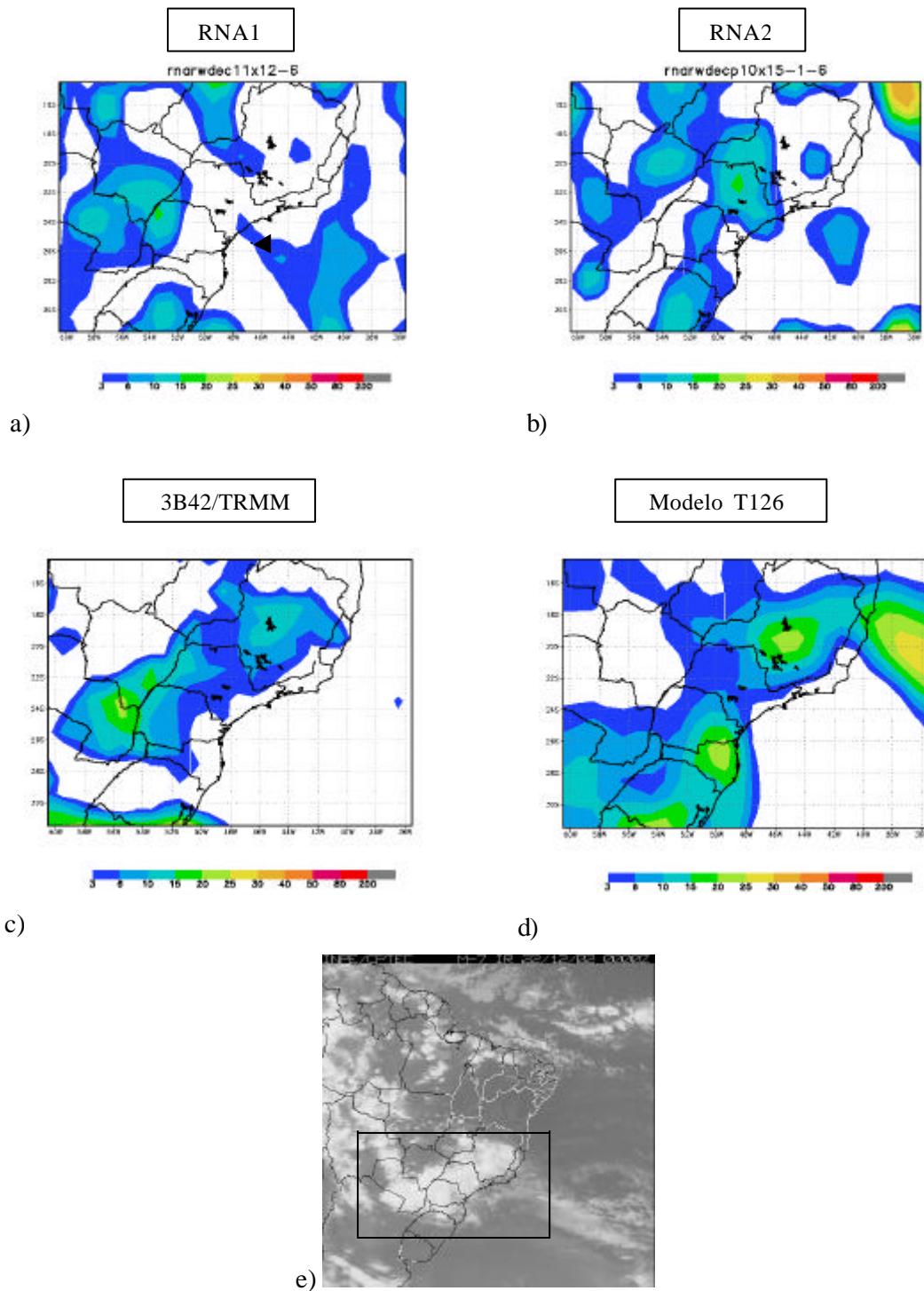


FIGURA 7.1 – Mapas de precipitação (mm/dia): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa de precipitação obtido do TRMM (c), previsão do modelo global T126 (d), e a imagem do GOES-8 para o dia 22 de Dezembro de 2002, horário 03:00 Z (e).

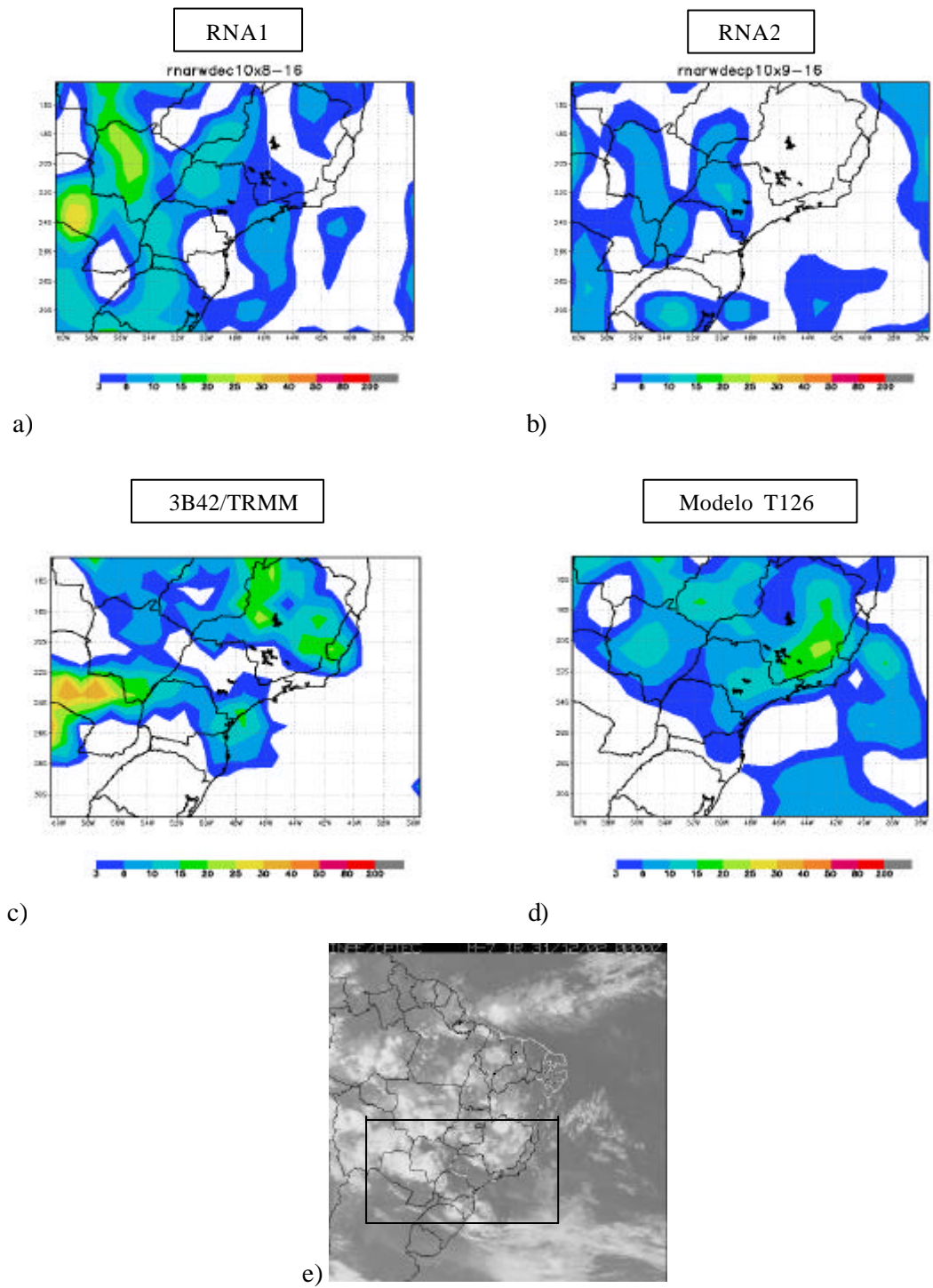


FIGURA 7.2 – Mapas de precipitação (mmm/dia): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa de precipitação obtido do TRMM (c), previsão do modelo global T126 (d), e a imagem do GOES-8 (e) para o dia 31 de dezembro de 2002, horário 03:00Z.

Para a avaliação quantitativa da previsão da RNA e do modelo T126, elegeu-se como verdade terrestre à precipitação derivada do TRMM (3B42) e para a análise do desempenho utilizou-se os parâmetros: BIASS e ETS. Como explicado na metodologia, valores de ETS iguais a 1 equivalem a uma previsão perfeita, assim, quanto mais próximo de 1 for o valor deste parâmetro, melhor será o desempenho da previsão. O ETS é uma medida bastante usada em centros de previsão para avaliar o desempenho dos prognósticos de precipitação dos modelos. Por outro lado, o BIASS é uma medida que determina a tendência em superestimar ou subestimar uma variável prognóstica por um dado modelo. Desta forma, valores positivos indicam superestimativas do modelo em relação às estimativas do 3B42.

No primeiro caso analisado (dia 22) (Figura (7.1)), o resultado da previsão mostrou um BIASS (Tabela 7.1) positivo para o limiar de 3 e 6 mm, nos experimentos RNA1, RNA2 e T126, sendo que para o T126 as superestimativas foram maiores e se concentram principalmente sobre o continente. Para o caso da RNA1 observou-se superestimativas em áreas oceânicas e áreas de precipitação acima de 10 mm foram subestimadas. Observa-se também que para os limiares de precipitação mais baixos o ETS é mais alto, indicando que os modelos representam com maior precisão as posições das precipitações fracas. Porém, como o valor do ETS está abaixo de 0,32 para as RNAs, e abaixo de 0,42 para o T126, as previsões poderiam ser melhoradas em ambos os modelos. No experimento RNA2 os valores de ETS não mostraram melhoras significativas, embora o padrão de chuva esteja mais próximo ao do 3B42 quando comparado com a RNA1, pois a posição da faixa dupla interceptou a área de precipitação observada no 3B42/TRMM apenas em alguns pontos. O T126 superestimou excessivamente áreas de precipitação sobre o oceano, onde o 3B42 não mostrou chuva.

As estatísticas das previsões para o dia 31 de dezembro mostraram superestimativas da precipitação para os limiares de 3 a 10 mm no experimento RNA1, e no RNA2 somente para o limiar de 3mm. Estas superestimativas foram mais evidentes sobre a região de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Paraná e uma pequena área do oceano adjacente. Para os limiares acima de 15 mm, a RNA1 subestimou algumas áreas de precipitação

sobre o continente. O máximo valor do ETS (0.42) foi para o limiar de 3 mm, evidenciando uma área de intersecção maior sobre o continente. Ainda no experimento RNA1, observaram-se ETS maiores que os da RNA2 e T126 para os limiares de 10 mm, indicando que este experimento simulou melhor as áreas de 6 a 10 mm. A previsão da RNA2 não foi muito eficiente, o BIASS mostrou ligeiras superestimativas (subestimativas) de precipitação para o limiar de 3 mm (10 mm). O ETS foi ainda menor (0.33) que o do experimento anterior para o limiar de 3 mm. O resultado do T126 evidenciou superestimativas ligeiramente maiores (limiares de 3 e 6 mm) que o experimento RNA2, porém, não foram extremos como no caso anterior (dia 22).

TABELA 7.1 - BIASS e ETS para a RNA1, RNA2 e T126: Mês de Dezembro 2002.

| DEZEMBRO 2002 | | | | | | | | |
|----------------------|--------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| dia 22 | | | | | | | | |
| Limiares (mm) | | 3 | 6 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 |
| RNA1 | BIASS | 0.44 | 0.14 | -0.23 | -0.8 | -1.0 | 0.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.30 | 0.22 | 0.19 | 0.04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| RNA2 | BIASS | 0.37 | 0.39 | 0.17 | -0.35 | 0.0 | 6.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.29 | 0.14 | 0.06 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Modelo/T126 | BIASS | 1.25 | 2.42 | 4.94 | 10.40 | 18.60 | 0.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.42 | 0.27 | 0.12 | 0.06 | 0.04 | 0.0 | 0.0 |
| dia 31 | | | | | | | | |
| RNA1 | BIASS | 0.55 | 0.40 | 0.27 | -0.23 | -0.28 | -1.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.42 | 0.30 | 0.15 | 0.15 | 0.11 | 0.08 | 0.0 |
| RNA2 | BIASS | 0.11 | -0.24 | -0.81 | -1.0 | -1.0 | -1.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.33 | 0.15 | 0.04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Modelo/T126 | BIASS | 0.56 | 0.36 | -0.09 | -0.59 | -0.89 | -1.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.43 | 0.27 | 0.11 | 0.06 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Janeiro

As Figuras (7.3) e (7.4) mostram o resultado da previsão para dois dias de janeiro de 2003. Na imagem 3B42/TRMM do dia 21 de janeiro (Figura (7.3)) observa-se uma área extensa de precipitação sobre quase toda a região Sudeste, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná e sul do Uruguai, estendendo-se para o oceano pelo litoral paulista e do Rio de Janeiro. As precipitações acima de 20 mm se localizam sobre Goiás e Mato Grosso do Sul. A previsão da RNA1 mostra uma área de precipitação sobre quase toda a região de estudo. Alguns núcleos mais significativos são evidentes sobre Goiás, centro leste de São Paulo e sudeste do Uruguai com a região do Rio Grande do Sul, porém, menos intensos dos observados na imagem do 3B42. Uma área de precipitação sobre o oceano estendendo-se sobre o litoral sul e sudeste também é evidente. No experimento RNA2 observa-se também uma área de precipitação sobre quase toda a região de estudo, porém os núcleos de precipitação se encontram localizados sobre São Paulo, oeste de Mato Grosso do Sul, norte de Minas Gerais e Rio Grande do Sul. A área de precipitação sobre o oceano estende-se mais para o leste. A área de precipitação do T126 cobre a área norte e centro da região de estudo com um núcleo significativo sobre o sudeste de Goiás, sul de Minas e sobre oceano. Novamente, a área de precipitação sobre o oceano é muito mais extensa e intensa que a observada no 3B42/TRMM.

As áreas de precipitação para este dia estiveram associadas à convecção produzida pela interação de um SF, a AB e um VCAN do Nordeste. Observa-se na imagem de satélite a nebulosidade sobre a região Sudeste devido à interação destes três sistemas (Figura (7.3)).

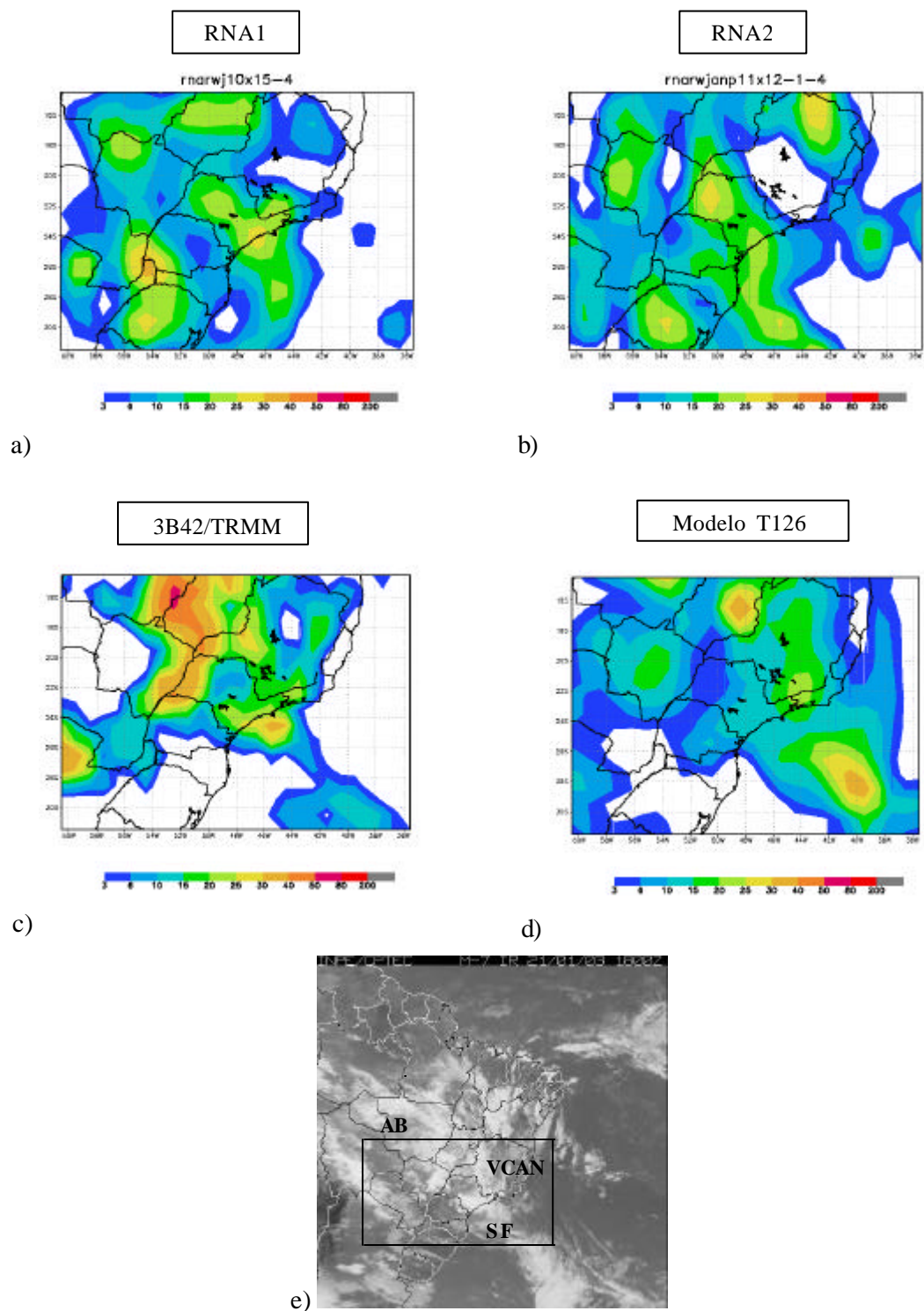


FIGURA 7.3 - Mapas de precipitação (mm/dia): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa do TRMM (c), previsão do modelo global T126 (e), e imagem do GOES-8 para o dia 21 de janeiro do 2003, horário das 18:00 Z (e).

Para o dia 30 de janeiro (Figura (7.4)) os campos de chuva apresentam um comportamento distinto, enquanto o 3B42/TRMM mostra uma área bem definida de precipitação estendendo-se de noroeste e sudeste sobre Goiás, Minas Gerais, Rio de Janeiro e oceano adjacente. A RNA1 mostra áreas dispersas sobre o continente, sul de Goiás, sul do Paraguai, Minas Gerais e sobre o oceano uma faixa de nebulosidade com orientação noroeste e sudeste, porém, deslocada para o sul em relação ao observado pelo 3B42/TRMM. Por outro lado, o resultado do modelo Global T126 mostra uma faixa de precipitação bem definida sobre áreas oceânicas e continentais, porém, deslocada mais a sudoeste, com um núcleo intenso sobre o leste de São Paulo.

A previsão da RNA2 mostra uma faixa de precipitação, porém também deslocada para o Sul, com uma tendência mais meridional. Um núcleo intenso localiza-se sobre o norte de São Paulo e sudoeste de Minas Gerais e outro menos intenso sobre o extremo leste do litoral de São Paulo. Neste caso, as áreas de precipitação sobre a região de estudo estiveram associadas à um caso de ZCAS/VCAN que ocorreu entre o 25 de janeiro de 2003 a 1 de fevereiro de 2003. Observa-se na imagem a faixa de nebulosidade produzida pela interação desses dois sistemas, estendendo-se sobre a região Sudeste. Entretanto, neste caso a convecção associada à AB não estava evidente.

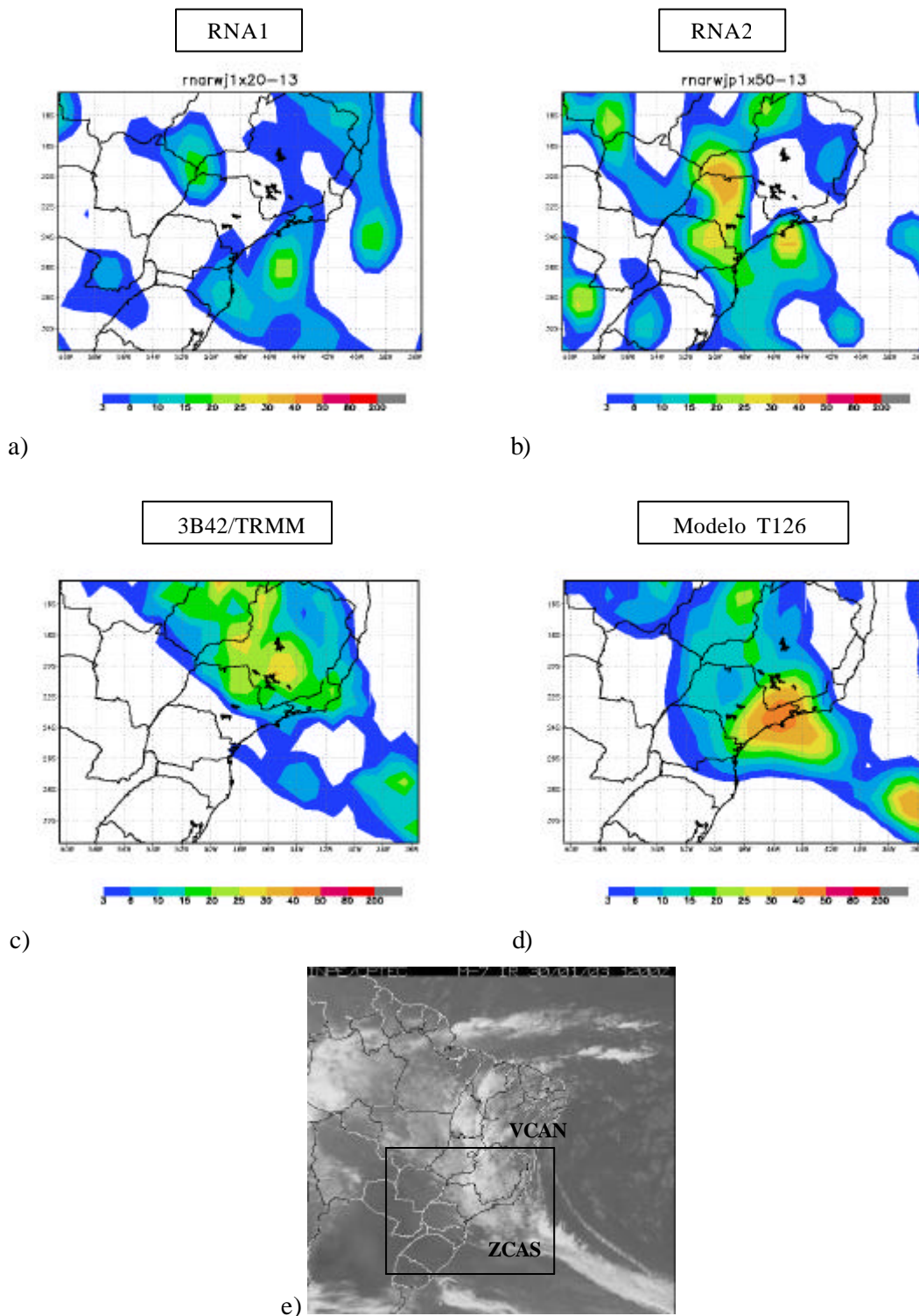


FIGURA 7.4 – Mapas de precipitação (mm/dia): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa do TRMM (c) e previsão do T126 (d), para 30 de janeiro do 2003, no horário das 12:00Z (e).

A análise quantitativa através dos parâmetros estatísticos mostrou para o primeiro caso (dia 21) uma superestimativa da precipitação para os limiares de 3 e 6 mm, no experimento RNA1 (Tabela 7.2). Neste caso observaram-se áreas de precipitação entre 3-6 mm sobre o Sul da região, que não estavam evidentes na imagem do 3B42. Para os outros limiares este experimento subestimou a precipitação, sobretudo para os limiares de 20 e 30 mm, isto é, os núcleos intensos de precipitação sobre Goiás e Mato Grosso do Sul não foram previstas pela RNA1. O ETS esteve abaixo de 0.48 e foi maior para o limiar de 3 mm, isto significa, que teve maior pontos de intersecção entre a RNA1 e o 3B42. Para o RNA2, observou-se um comportamento similar, a precipitação foi consideravelmente subestimada para os limiares acima de 20 mm, e ligeiramente superestimados para os limiares menores que 10 mm. Entretanto, da mesma forma que o observado no experimento RNA1, os ETSs maiores ocorreram com os limiares compreendidos entre 3 a 10 mm. A previsão do T126 superestimou as áreas de precipitação entre 3-10 mm tanto no continente como no oceano, muito mais que o experimento RNA1. Por outro lado, ela também subestimou os limiares acima de 15 mm de forma similar ao comportamento dos experimentos RNA1 e RNA2. Os valores de ETS indicaram um maior acerto para o limiar de 3mm, mas, para os limiares de 15 mm o experimento RNA2 foi melhor. Este experimento capturou o núcleo sobre o leste de São Paulo.

No segundo caso analisado (dia 30), o experimento RNA1 apresentou uma leve superestimativa de precipitação de 3 mm sobretudo em áreas oceânicas, entretanto as subestimativas foram mais evidentes para os limiares acima de 10 mm. O ETS mais significativo esteve associado ao limiar de 3 mm. O segundo experimento, embora apresente um padrão de chuva próximo do 3B42, a superestimativa de precipitação foi mais evidente para o limiar de 30 mm. Observa-se que ele gera um núcleo sobre o norte de São Paulo que não é evidente na imagem 3B42, pois a faixa de precipitação está deslocada mais para nordeste. Nesse experimento o ETS mais significativo ocorreu para os limiares de 3 a 10 mm. A previsão do T126 superestimou as áreas de 3, 6, 20 e 30 mm, sendo que as superestimativas das áreas de 30 mm estiveram associadas aos núcleos intensos localizados sobre o leste de São Paulo e sobre o oceano. Os ETS foram

maiores quando comparados com os experimentos da RNA, sobretudo para o limiar de 3 mm (0.54).

TABELA – 7.2 - BIASS e ETS para a RNA1, RNA2 e T126: Mês de Janeiro de 2003.

| JANEIRO 2003 | | | | | | | | |
|---------------------|--------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| dia 21 | | | | | | | | |
| Limiare (mm) | | 3 | 6 | 10 | 15 | 20 | 30 | 50 |
| RNA1 | BIASS | 0.30 | 0.22 | 0.09 | -0.09 | -0.29 | -0.94 | 0.0 |
| | ETS | 0.48 | 0.42 | 0.30 | 0.20 | 0.08 | 0.0 | 0.0 |
| RNA2 | BIASS | 0.44 | 0.37 | 0.30 | 0.02 | -0.41 | -0.97 | -1.0 |
| | ETS | 0.49 | 0.43 | 0.30 | 0.24 | 0.09 | 0.0 | 0.0 |
| Modelo/T126 | BIASS | 0.49 | 0.36 | 0.13 | -0.24 | -0.59 | -0.89 | -1.0 |
| | ETS | 0.55 | 0.46 | 0.35 | 0.14 | 0.10 | 0.03 | 0.0 |
| dia 30 | | | | | | | | |
| RNA1 | BIASS | 0.10 | -0.19 | -0.64 | -0.78 | -0.87 | -1.0 | -1.0 |
| | ETS | 0.36 | 0.26 | 0.13 | 0.06 | 0.13 | 0.0 | 0.0 |
| RNA2 | BIASS | 0.27 | 0.20 | 0.05 | -0.07 | 0.03 | 2.50 | 0.0 |
| | ETS | 0.27 | 0.22 | 0.20 | 0.10 | 0.03 | 0.0 | 0.0 |
| Modelo/T126 | BIASS | 0.14 | 0.04 | -0.07 | -0.07 | 0.19 | 8.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.54 | 0.48 | 0.37 | 0.21 | 0.06 | 0.0 | 0.0 |

Fevereiro

No primeiro caso do dia 19 (Figura (7.5)), a área de precipitação na imagem 3B42/TRMM somente não cobre a região de Paraná, sul e sudeste de São Paulo, e se estende horizontalmente para o oceano pelo litoral de Rio de Janeiro e Espírito Santo. Núcleos de precipitação se localizam sobre Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Paraguai. No modelo T126 a precipitação estende-se em quase toda a região de estudo, sendo que o núcleo sobre Minas Gerais e Paraguai encontra-se deslocado para o leste em relação ao observado no 3B42. A faixa de chuva estende-se para o oceano pelo litoral sul. Nos experimentos RNA1 e RNA2, a área de precipitação também estende-se sobre o continente, mas no RNA2 ela é mais estreita e concentra-se na região central.

Os núcleos não são tão intensos e localizam-se sobre o centro do Paraguai (RNA1), Rio Grande do Sul (RNA2), sul de Mato Grosso do Sul (RNA2), leste de São Paulo (RNA1) e oeste do Paraná (RNA1). As chuvas neste dia estiveram associadas ao segundo evento de ZCAS (16-24) ocorrido neste mês. Observa-se na imagem de satélite uma banda de nebulosidade com uma orientação quase zonal, estendendo-se sobre Minas Gerais e um núcleo convectivo sobre o sul do Brasil.

No dia 20 de fevereiro, a imagem do 3B42 ainda mostra a área de precipitação observada a do dia anterior, porém mais deslocada para leste, com um núcleo intenso sobre o sul do Mato Grosso do Sul. A faixa de precipitação que se estende para o oceano é menos estreita que do dia anterior. A RNA1 mostra precipitação sobre a mesma área de estudo, e o núcleo mais intenso está deslocado para o oeste sobre a região central do Paraguai. Outro núcleo menos intenso localiza-se sobre Paraná. A previsão da RNA2 posiciona o núcleo mais intenso sobre sul do Paraguai, e nas demais áreas a precipitação é fraca. O T126 mostra a banda de precipitação com uma extensão maior e deslocada para leste. Os núcleos mais fortes se localizam sobre o centro oeste de Mato Grosso e ao norte de Rio de Janeiro, sendo que o segundo núcleo não é observado tanto na imagem do TRMM como nas previsões da RNA (Figura (7.6)).

O segundo evento ZCAS ainda atua sobre a região sul do Brasil e observa-se na imagem de satélite a banda de nebulosidade ligeiramente deslocada para o sul. A convecção associada a AB é mais intensa e no sul também ela se acentua devido a incursão de um SF pela região.

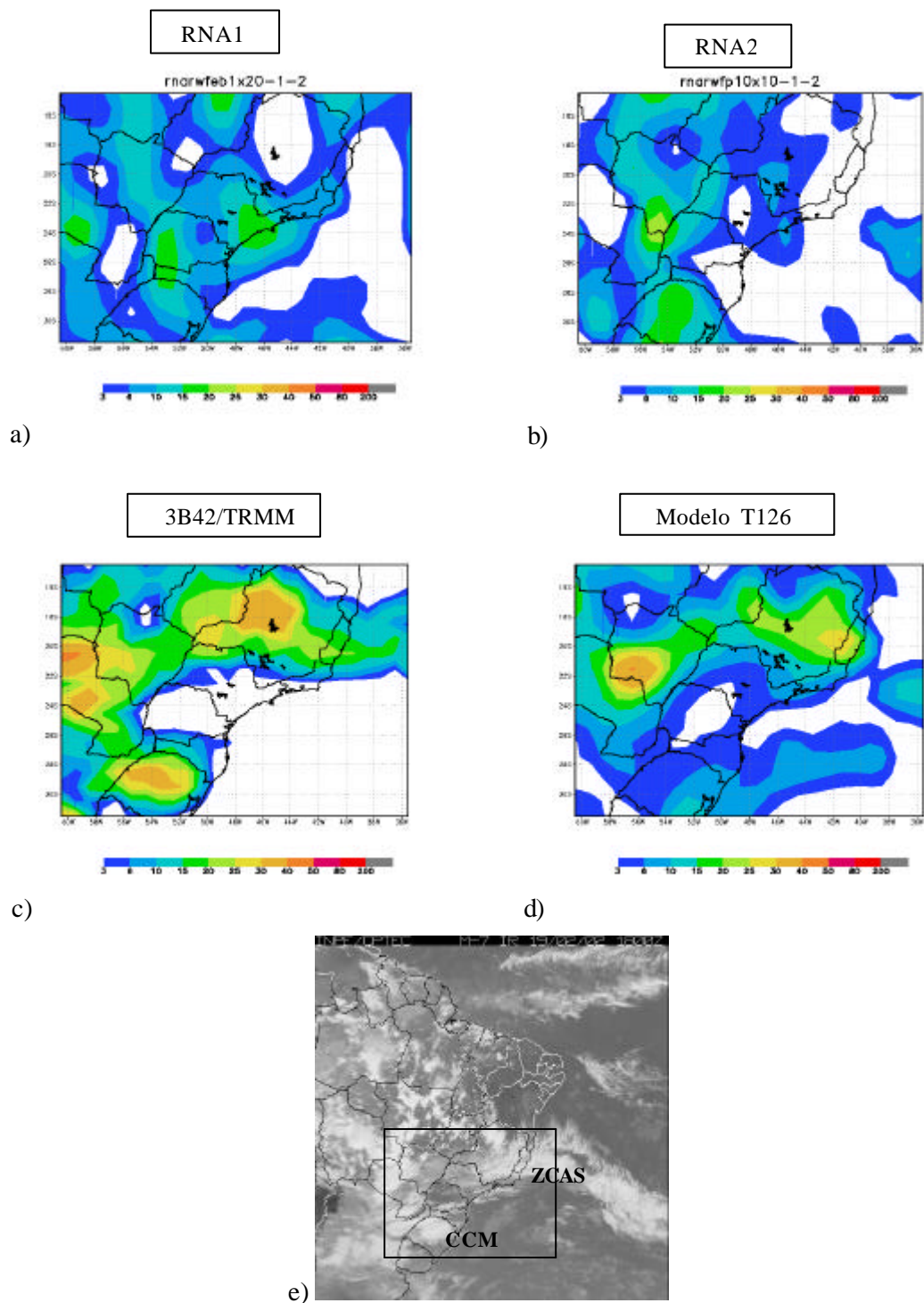


FIGURA 7.5 – Mapas de precipitação (mm/dia): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa do TRMM (c), previsão do modelo global T126 (d), e a imagem do satélite GOES-8 para o dia 19 de fevereiro do 2002, no horário das 18:00 Z (e).

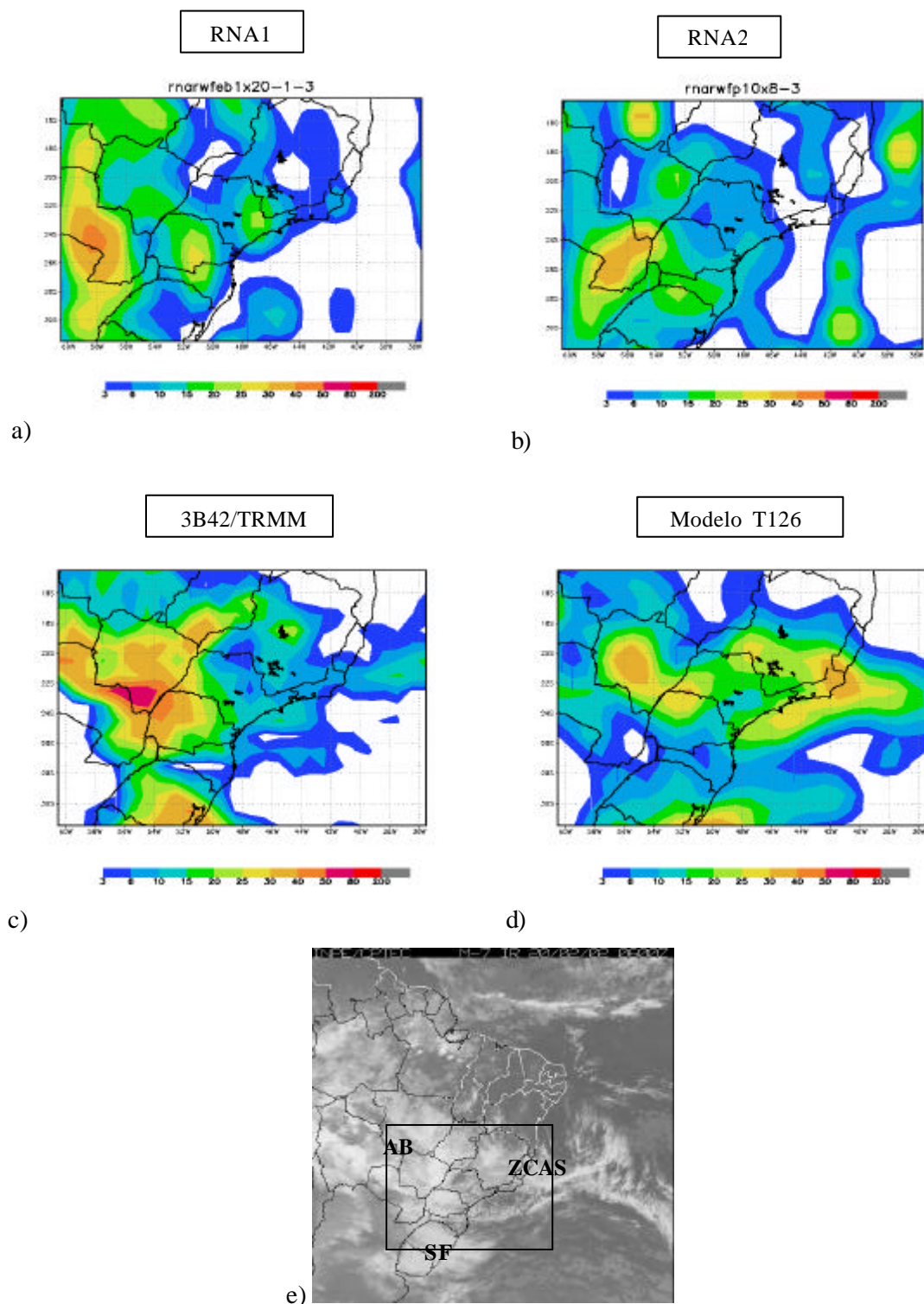


FIGURA 7.6 – Mapas de precipitação (mm): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa do TRMM (c) e a previsão do T126 (d), para 20 de fevereiro do 2002, no horário das 06:00 Z (e).

A estatística (Tabela 7.3) para estes dois dias analisados mostram comportamentos diferentes, no primeiro caso (dia 19) para o experimento RNA1 o BIASS superestimou ligeiramente a precipitação para o limiar de 3 mm, mas subestimou os valores para limiares acima de 6 mm. Observa-se na Figura (7.5) que grande parte da previsão do RNA1 corresponde a áreas entre 3-6 mm. Por outro lado, a subestimação é evidente sobretudo para o limiar acima de 20 mm, já que o 3B42 apresenta muito mais núcleos de precipitação intensa que o observado pela RNA1. O ETS (0.56 e 0.41), como era de se esperar, é maior para o limiar de 3 a 10 mm, uma vez que uma grande área de chuva com este valor também foi detectada pelo 3B42. Por outro lado, no caso da RNA2 foram evidentes as subestimativas para os limiares iguais ou maior que 10 mm, e em alguns casos maiores para o limiar acima de 20 mm, onde o núcleo intenso sobre o Paraguai não foi previsto. A superestimativa para áreas de 3 mm foi bem menor que no experimento anterior, pois foi observado um número menor de áreas de chuva sobre o oceano. Os valores de ETS somente foram significantes para os limiares entre 3-10 mm. O resultado do T126 apresentou maiores superestimativas de áreas de 3 mm, como pode ser observado na Figura (7.5), e também áreas de precipitação espalhada por quase toda a área de estudo, inclusive sobre uma grande parte do oceano adjacente. Os ETSs foram ligeiramente maiores para todos os limiares quando comparados com os RNA1 e RNA2, sobretudo para o limiar de 3 mm. Isto ocorre porque ela apresentou uma área maior de cobertura de precipitação e estendeu-se sobre as mesmas áreas detectadas pelo 3B42.

No segundo caso (dia 20), o experimento RNA1 apresentou um BIASS insignificante para o limiar de 3 mm e o ETS foi de 0.60. Para os limiares acima de 10 mm as subestimativas das áreas de precipitação também foram evidentes. Por outro lado, no experimento RNA2 a precipitação também foi subestimada para os limiares acima de 10 mm, apresentando maiores valores para os limiares de 20 e 30 mm. O ETS novamente foi mais significativo para o limiar de 3 mm. O T126 não apresentou um comportamento muito diferente em relação ao RNA1 e RNA2, ele subestimou as áreas acima de 15 mm, e o ETS foi somente superior para o limiar de 10 mm quando comparado com o experimento RNA1.

TABELA – 7.3 - BIASS e ETS para a RNA1, RNA2 e T126: Mês de Fevereiro 2002.

| FEVEREIRO 2002 | | | | | | | | |
|-----------------------|--------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| dia 19 | | | | | | | | |
| Limiares (mm) | | 3 | 6 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 |
| RNA1 | BIASS | 0.27 | -0.12 | -0.59 | -0.82 | -1.0 | -1.0 | -1.0 |
| | ETS | 0.51 | 0.32 | 0.16 | 0.07 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| RNA2 | BIASS | 0.01 | -0.35 | -0.61 | -0.84 | -0.96 | -1.0 | -1.0 |
| | ETS | 0.46 | 0.35 | 0.18 | 0.04 | 0.02 | 0.0 | 0.0 |
| Modelo/T126 | BIASS | 0.30 | -0.06 | -0.38 | -0.58 | -0.62 | -0.75 | -0.50 |
| | ETS | 0.60 | 0.51 | 0.46 | 0.34 | 0.28 | 0.0 | 0.0 |
| dia 20 | | | | | | | | |
| RNA1 | BIASS | 0.03 | -0.06 | -0.03 | -0.09 | -0.36 | -0.63 | -0.75 |
| | ETS | 0.60 | 0.54 | 0.45 | 0.33 | 0.18 | 0.10 | 0.0 |
| RNA2 | BIASS | 0.16 | 0.12 | -0.07 | -0.39 | -0.60 | -0.73 | -1.0 |
| | ETS | 0.55 | 0.47 | 0.36 | 0.31 | 0.21 | 0.06 | 0.0 |
| Modelo/T126 | BIASS | 0.19 | 0.14 | 0.06 | -0.05 | -0.23 | -0.56 | -1.0 |
| | ETS | 0.70 | 0.57 | 0.39 | 0.27 | 0.17 | 0.11 | 0.0 |

7.4 Período de Primavera

Setembro

A Figura (7.7) mostra os resultados obtidos pela RNA1, RNA2, precipitação derivada do TRMM e do modelo T126. Para este período, apresentam-se os mapas de precipitação do dia 21 de Setembro de 2002. Observa-se que os experimentos RNA1 e RNA2 geraram áreas de precipitação dentro do continente que não foram observadas no 3B42/TRMM. A imagem do 3B42 apresenta uma faixa estreita de precipitação entrando pelo nordeste de São Paulo e Rio de Janeiro. Um núcleo significativo no sul de Minas Gerais é evidente. Nos experimentos RNA1 e RNA2 também se observa uma faixa de precipitação, mas com orientação meridional deslocada para o oeste no caso de RNA1, e deslocada para leste no caso da RNA2. Por outro lado, o T126 apresenta uma área de precipitação com núcleo mais intenso sobre oceano, estendendo-se dentro do continente

pelo centro de Minas Gerais. As chuvas neste período estiveram associadas a incursão de um SF sobre o Sudeste do Brasil.

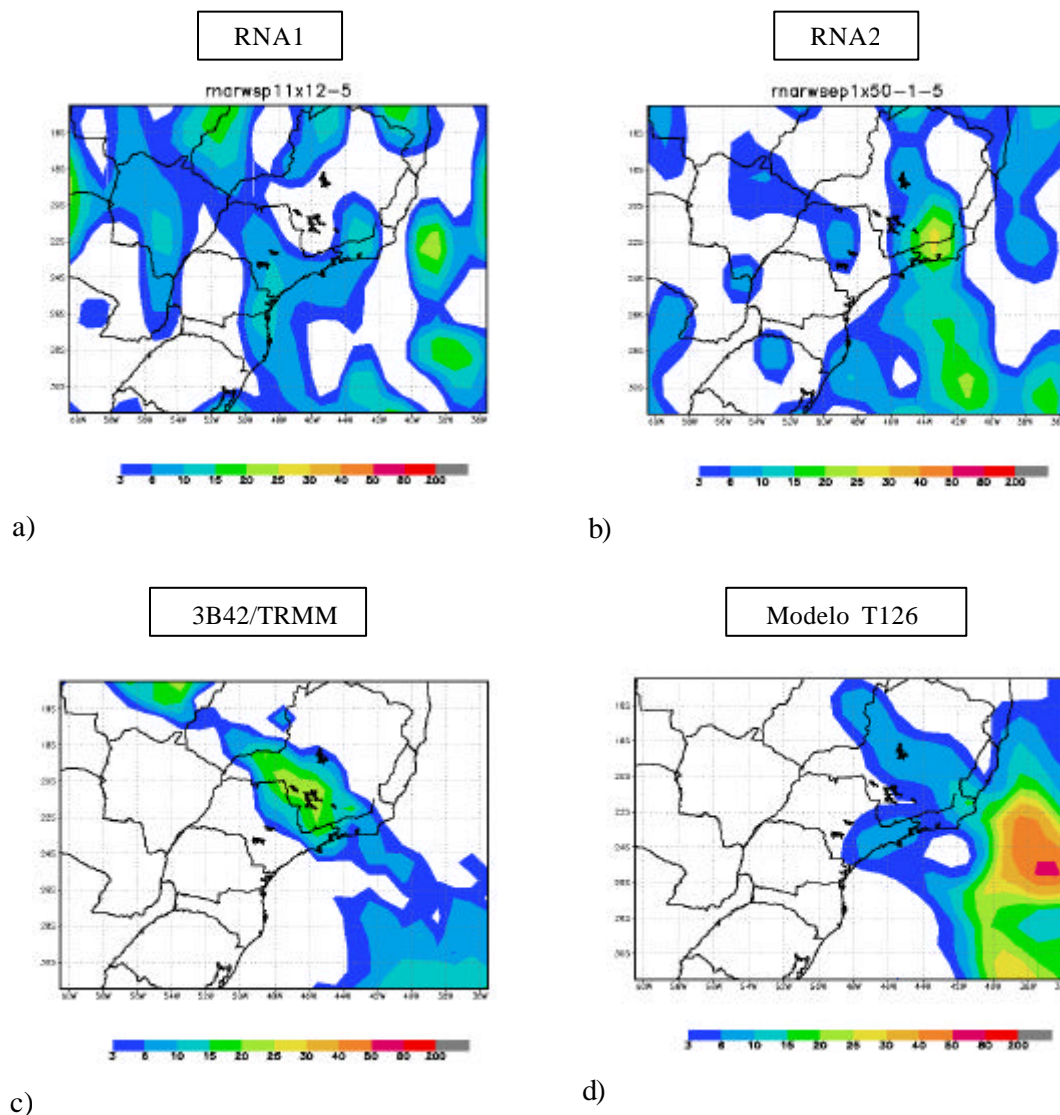


FIGURA 7.7 – Mapas de precipitação (mm/dia): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa do TRMM (c) e previsão do modelo global T126 (d), para o dia 21 de setembro do 2002.

No segundo caso, exemplificado (Figura (7.8)) para o dia 22 de setembro, a RNA teve um desempenho melhor. Observa-se na imagem do TRMM uma faixa dupla de precipitação fraca, orientada de NW-SE sobre a região de Minas Gerais, São Paulo e

com um pequeno núcleo significativo sobre Rio de Janeiro. A previsão da RNA1 não detectou esta faixa, porém, identificou núcleos dispersos na mesma área (nordeste de São Paulo e Espírito Santo) da faixa observada no TRMM. Por outro lado, a previsão da RNA2 mostra uma das faixas bem definida atravessando São Paulo, deslocada para o sul. A faixa que atravessa Espírito Santo e parte de Minas Gerais, não é observada. Os núcleos de precipitação mais significativos se localizam sobre oceano, sendo mais intensos sobre o oceano, não atingindo o estado de Espírito Santo. A previsão do T126 evidencia uma faixa mais extensa de precipitação deslocada para o Norte, estendendo-se sobre Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais, mas o núcleo intenso localiza-se sobre oceano. O T126 não gera precipitação sobre o estado de São Paulo. Para esta data a precipitação ainda esta associada ao SF que se deslocou para o norte da região Sudeste no dia 20.

A estatística por meio do cálculo do BIASS e ETS (Tabela 7.4), para o dia 21 mostram que o experimento RNA1 e RNA2 superestimam as áreas de precipitação compreendida entre 3 e 15 mm. Como observado na Figura (7.7), áreas de precipitação com esse valor são evidentes sobre oceano e continente no RNA1 e não no 3B42/TRMM que apresentou apenas uma faixa estreita dentro do continente. Os valores de ETS são baixos como consequência da pouca intersecção de áreas semelhantes entre a RNA1 e o 3B42. Por outro lado, o T126 superestimou consideravelmente as áreas de precipitação acima do limiar de 15 mm, devido o núcleo intenso presente sobre o continente.

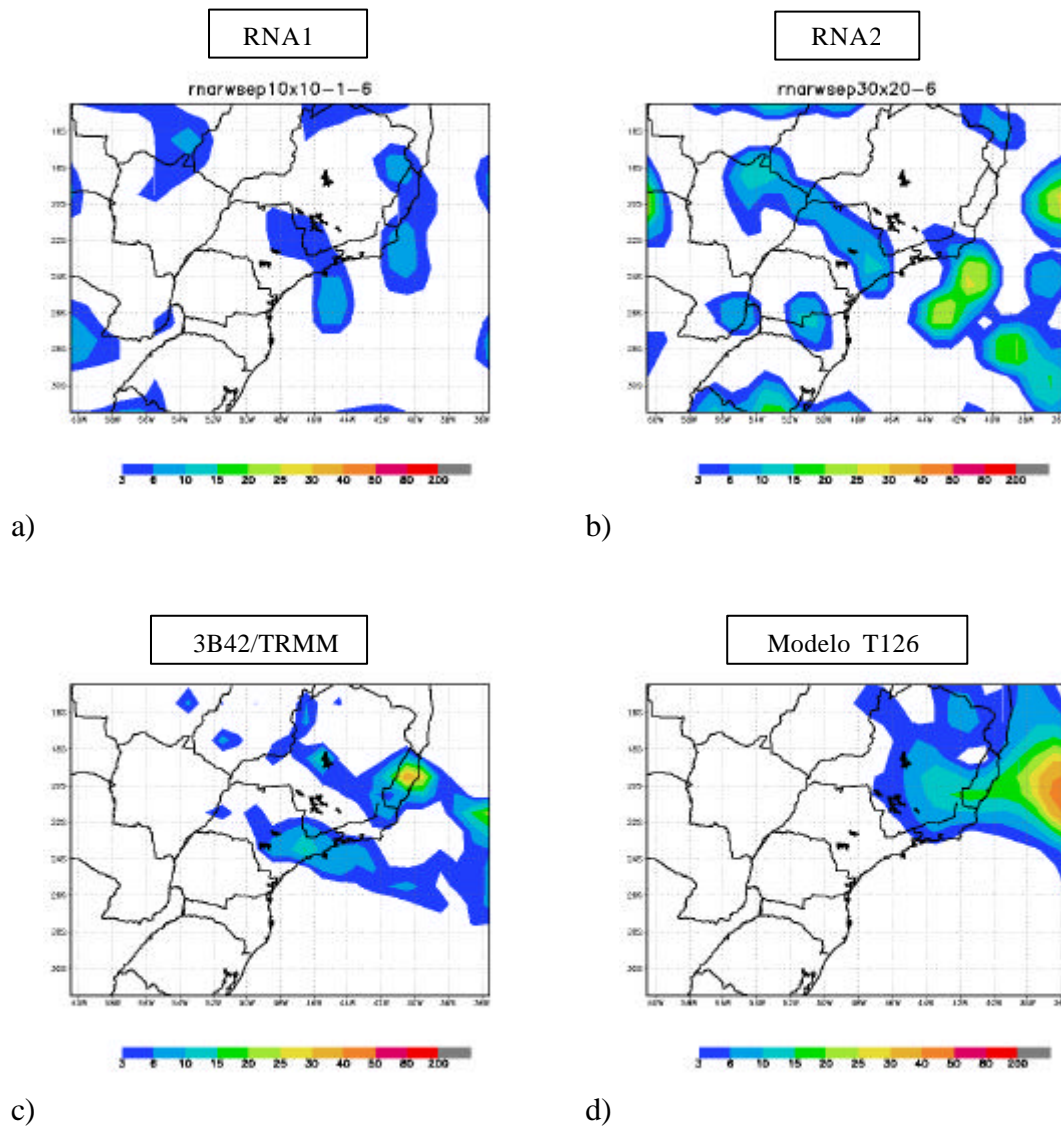


FIGURA 7.8 – Mapas de precipitação (mm/dia): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa do TRMM (c) e previsão do modelo global T126 (d), para o dia 22 de setembro do 2002.

A análise estatística para o dia 22 de setembro (Tabela 7.4) mostrou um comportamento diferente. Devido as poucas áreas de chuva somente os limiares compreendidos entre 6 e 10 mm foram subestimados pela RNA1, e as áreas de precipitação de 3 mm foram superestimada, porém poucas áreas de interseção com este valor foram detectados (ETS=0.10). No experimento RNA2 observou-se superestimativas da precipitação para todos os limiares. Os ETSS foram mais altos que os observados em RNA1, para os

limiares de 3 e 6 mm, isto está relacionado com a área de precipitação sobre São Paulo que a RNA2 e o 3B42 capturam. No experimento T126 também observou-se superestimativas de precipitação para todos os limiares, sobretudo para o de 30 mm, relacionado ao núcleo intenso sobre o oceano e que o 3B42 não apresentou.

TABELA – 7.4 - BIASS e ETS para a RNA1, RNA2 e o T126: Mês de Setembro de 2002.

| SETEMBRO 2002 | | | | | | | | |
|----------------------|--------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| dia 21 | | | | | | | | |
| Limiares (mm) | | 3 | 6 | 10 | 15 | 20 | 30 | 50 |
| RNA1 | BIASS | 1.06 | 0.91 | 0.26 | 0.37 | -0.14 | 1.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.26 | 0.15 | 0.09 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | - |
| RNA2 | BIASS | 1.30 | 1.27 | 0.64 | 0.53 | -0.29 | 0.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.19 | 0.16 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | - | - |
| Modelo/T126 | BIASS | 0.46 | 0.58 | 0.66 | 2.16 | 4.43 | 29.0 | 0 |
| | ETS | 0.36 | 0.26 | 0.13 | 0.03 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| dia 22 | | | | | | | | |
| RNA | BIASS | 0.39 | -0.17 | -0.89 | -1.0 | -1.0 | -1.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.10 | 0.02 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| RNA1 | BIASS | 1.21 | 2.06 | 4.11 | 3.40 | 4.0 | -1.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.18 | 0.14 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Modelo/T126 | BIASS | 0.27 | 0.66 | 2.33 | 3.20 | 3.33 | 5.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.20 | 0.16 | 0.18 | 0.13 | 0.07 | 0.0 | 0.0 |

Outubro

Para o mês de outubro, no primeiro caso analisado para o dia 1 (Figura (7.8)) observa-se na imagem do TRMM uma área estreita de precipitação fraca (< de 15 mm) estendendo-se sobre parte dos estados de Mato Grosso, São Paulo e Sudeste de Minas Gerais. O campo do T126 mostra uma faixa deslocada para o norte, localizada sobre o oceano estendendo-se até os estados de Rio de Janeiro e sudeste de Minas Gerais. Novamente

observa-se um núcleo de chuva mais forte sobre oceano. O resultado da RNA1 não mostra a faixa dentro do continente, porém apresenta áreas descontínuas sobre a mesma área da faixa (Mato Grosso e São Paulo) detectada no TRMM, além disso, ela gera outras áreas pequenas sobre o Norte de Minas e o oeste de Rio Grande do Sul. No resultado do RNA2 o panorama não é muito diferente. Observou-se a área de precipitação mais próxima a área da faixa (São Paulo e Rio de Janeiro) visualizado no 3B42, mas, gera outros núcleos dispersos sobre a região de estudo. Neste período um SF foi responsável pelas precipitações observadas sobre a região sudeste. Observa-se na imagem do GOES-8 (Figura (7.9)) a banda de nebulosidade associada ao SF sobre o estado de São Paulo.

No segundo caso analisado para o dia 08 de outubro, observamos na imagem do 3B42 uma extensa área de precipitação sobre quase toda a região de estudo, com os núcleos mais intensos sobre o Sul do Paraguai, Santa Catarina e norte do Rio Grande do Sul. A RNA1 apresenta uma área de precipitação menos extensa e os núcleos mais intensos estão deslocados para o leste sobre Paraná e Santa Catarina. Além disso, um outro núcleo de precipitação mais intenso é visível sobre Goiás. A RNA2 mostra uma faixa mais extensa de precipitação, com o núcleo mais intenso deslocado sobre o oeste de Paraguai. A previsão do modelo T126 mostra os núcleos de precipitação mais intensos deslocados para o sudoeste se comparados com os do 3B42/TRMM. Também se observa uma área de precipitação mais extensa sobre oceano. Essa característica também foi observada no experimento RNA2 (Figura (7.10)). As precipitações neste período estiveram associadas a um SF que atingiu a região, que induziu convecção sobre a região sul.

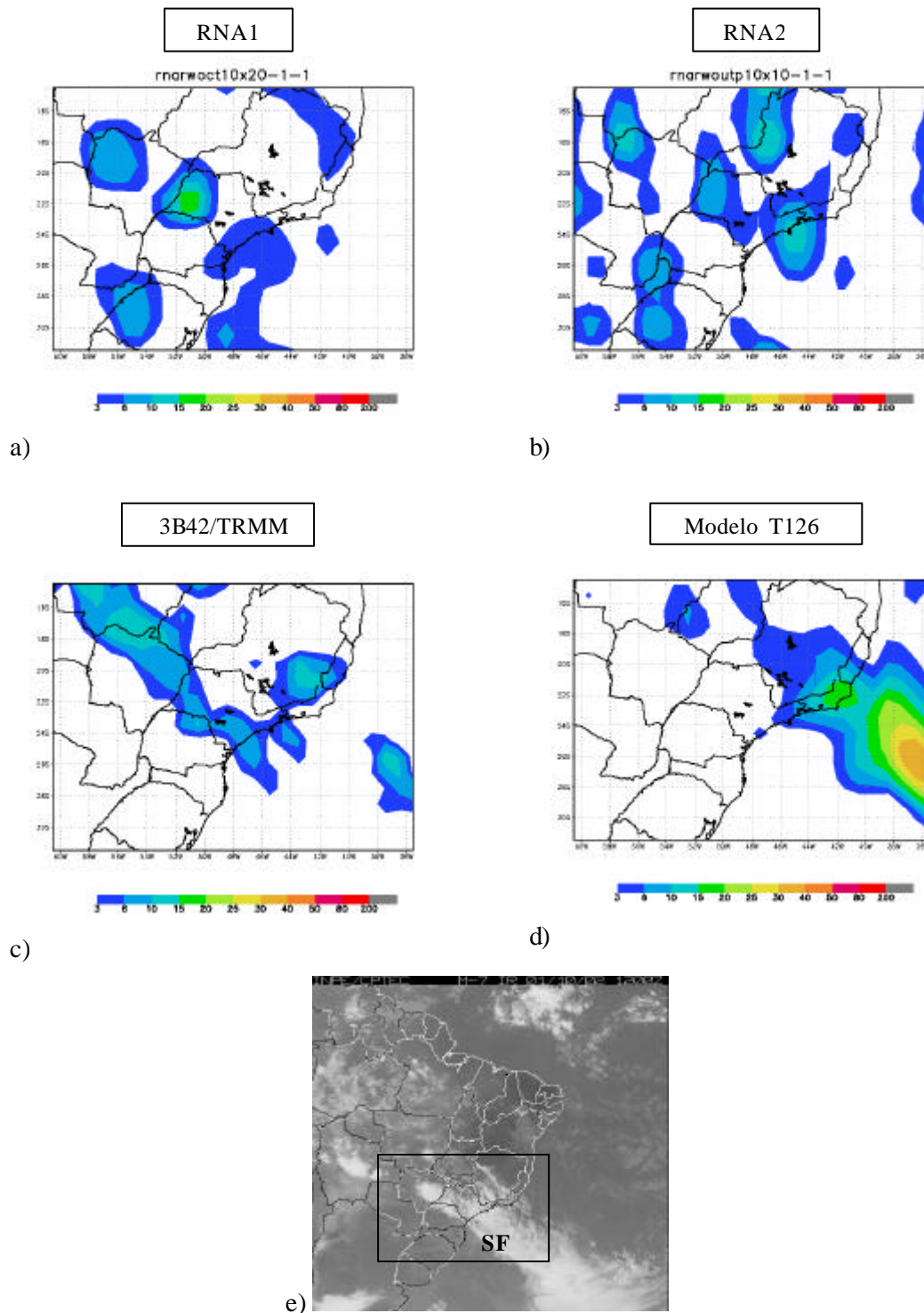


FIGURA 7.9 – Mapas de precipitação (mm/dia): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa do TRMM (c), previsão do T126 (d), e imagem do satélite GOES-8 para o dia 01 de outubro do 2002, no horário das 12:00 Z (e).

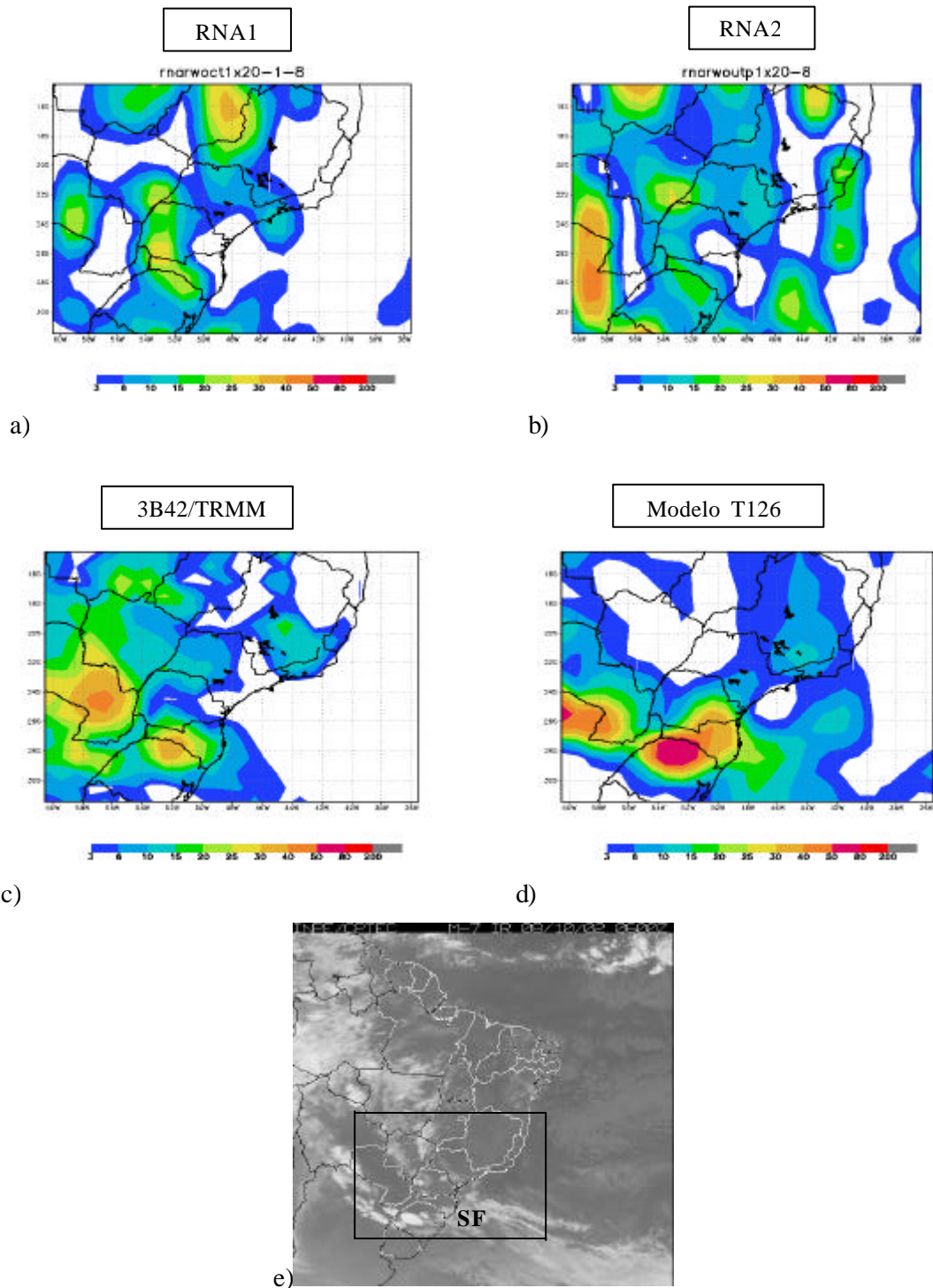


FIGURA 7.10 – Mapas de precipitação (mm/dia): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa do TRMM (e), previsão do modelo global T126 (d), e imagem do satélite GOES8 para o dia 08 de outubro do 2002, no horário das 06:00 Z (e).

Os valores de ETS e BIASS para o primeiro caso (1 de outubro), mostraram uma ligeira superestimativa das áreas de precipitação para o valor de 3 mm na previsão da RNA1. Estas áreas foram mais evidentes a nordeste de Minas Gerais, leste do Rio Grande do Sul e sobre oceano. Muito poucas áreas de 3 mm se intersectaram, o que evidenciou um valor baixo de ETS. Os outros limiares (6 e 10 mm) foram subestimados. O experimento RNA2 apresentou um BIASS positivo mais elevado que no experimento anterior para o limiar de 3 mm, sendo que o ETS foi maior por existir mais áreas de interseção com esse valor. Os outros limiares também foram subestimados, porém em menor grau que o experimento RNA1. A previsão do T126 apresentou superestimativas para todos os limiares, sendo mais evidente para o de 10 mm, associada ao núcleo sobre Rio de Janeiro, que o TRMM não gerou.

As estatísticas mais significantes para o dia 8 de outubro mostraram os maiores valores de ETS, para os limiares de 3 a 6 mm no experimento RNA2, indicando maior precisão na interseção de pontos com esses valores de precipitação. Por outro lado, o T126 apresentou maior precisão para os limiares de 10, 15 e 20 mm, com um ETS de 0.29. Também observou-se que o T126 superestimou as precipitações de 40 mm, a qual esteve associada ao núcleo localizado ao norte do Rio Grande do Sul.

TABELA – 7.5 - BIASS e ETS para a RNA1, RNA2 e T126: Mês de Outubro 2002.

| OUTUBRO 2002 | | | | | | | | |
|----------------------|--------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| dia 1 | | | | | | | | |
| Limiares (mm) | | 3 | 6 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 |
| RNA1 | BIASS | 0.16 | -0.53 | -0.80 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.15 | 0.12 | 0.04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| RNA2 | BIASS | 0.73 | -0.09 | -0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.20 | 0.09 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Modelo/T126 | BIASS | 0.25 | 0.18 | 1.35 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.22 | 0.13 | 0.05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| dia 8 | | | | | | | | |
| RNA1 | BIASS | -0.08 | -0.25 | -0.4 | -0.31 | -0.33 | -0.52 | 0.0 |
| | ETS | 0.55 | 0.30 | 0.20 | 0.09 | 0.01 | 0.0 | 0.0 |
| RNA2 | BIASS | 0.28 | 0.32 | 0.14 | 0.10 | 0.06 | 0.29 | 2.0 |
| | ETS | 0.6 | 0.45 | 0.28 | 0.12 | 0.04 | 0.0 | 0.0 |
| Modelo/T126 | BIASS | 0.10 | -0.18 | -0.34 | -0.30 | -0.1 | 0.71 | 8.0 |
| | ETS | 0.51 | 0.40 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.15 | 0.0 |

Novembro

No mês de novembro, as previsões do dia 22 para os diferentes modelos, mostraram comportamentos quase similares. Observa-se no 3B42 uma área de precipitação que se estende sobre o oeste do Mato Grosso do Sul e norte de Paraguai e uma outra área sobre Minas Gerais, Goiás e São Paulo, com um núcleo mais intenso sobre o centro de Minas Gerais. A previsão obtida pela RNA1 também mostra três núcleos de precipitação, sobre o norte do Mato Grosso do Sul (mais intenso), sobre o sudoeste de Minas Gerais (menor intensidade), e sobre o norte da Argentina. A RNA2 mostra núcleos nas mesmas áreas que a RNA1, porém, de menor intensidade, estendendo sua área de precipitação para a região de São Paulo, Paraná e Santa Catarina. A previsão do modelo T126 apresenta uma faixa de precipitação contínua na mesma área que o TRMM, entretanto, apresenta um único núcleo intenso sobre o centro oeste de Minas Gerais. Ele não captou o segundo núcleo sobre o oeste de Mato Grosso, observado no

3B42/TRMM e na RNA (Figura (7.11)). As chuvas estiveram associadas à convecção induzida pela AB e um SF fraco sobre o oceano (Figura (7.11))

Para o segundo caso exemplificado (dia 22), a área de precipitação sobre o 3B42, estende-se sobre continente com as áreas mais significativas sobre Rio de Janeiro e Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul e Paraguai (Figura (7.12)). A previsão do T126, mostra a área de precipitação deslocada para o sul, sobre São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e estendendo-se para o oceano pelo litoral de Rio de Janeiro e Espírito Santo. As previsões dos experimentos de RNAs mostram as áreas de precipitação dentro do continente, porém, a RNA1 apresenta núcleos intensos sobre o Sul de Minas e sobre o oceano, características essas não observadas no 3B42/TRMM. Por outro lado, no experimento RNA2 a precipitação se localiza sobre as mesmas áreas do TRMM, mas precipitação observada sobre o oceano não esta presente no 3B42. O mesmo SF (sobre o oceano) deslocado para o norte induziu convecção sobre a área de estudo ocasionando as chuvas em áreas isoladas, similar ao observado na imagem de satélite GOES8 (Figura (7.12))

A Tabela 7.6 mostra que as estatísticas para o mês de Novembro foram diferentes para cada caso. No dia 22, observa-se que para os limiares de 3 mm os dois experimentos de RNAs superestimam este valor, porém o ETS foi maior. Em RNA2 observa-se ETSs maiores para os limiares de 3 e 6 mm. A estatística do T126 foi melhor, já que as áreas de precipitação e os núcleos mais significantes se interceptaram com as áreas de chuvas observadas no 3b42/TRMM.

Para o dia 24 de novembro as estatísticas favoreceram novamente ao T126 com valores de ETSs mais elevados, uma vez que, grande parte da área de precipitação com limiares de 3 a 6 mm, interceptou a área gerada pelo 3B42/TRMM. Porém, o T126 subestimou áreas de precipitação com limiares de 10 a 20 mm.

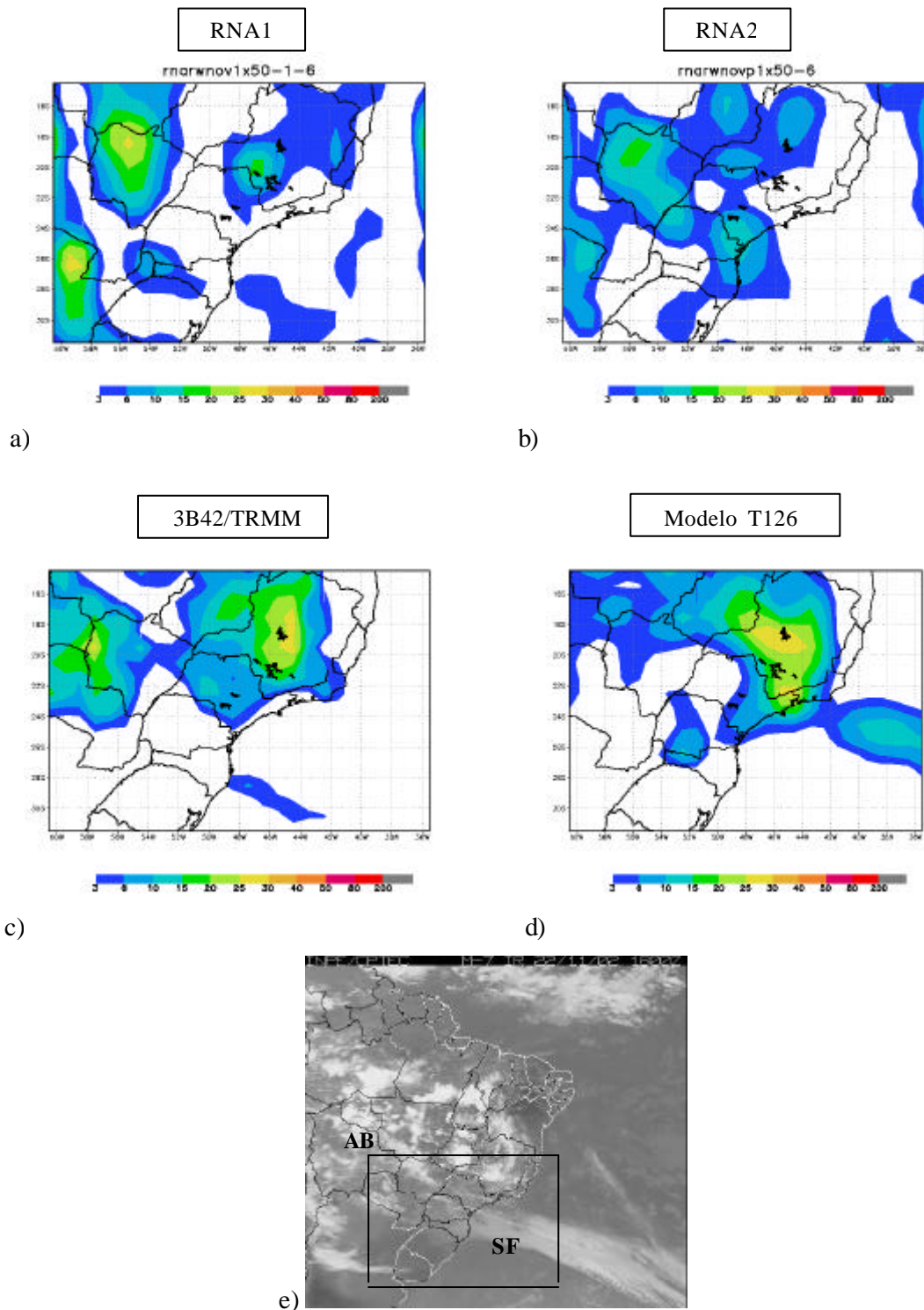


FIGURA 7.11 – Mapas de precipitação: previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b) mapa do TRMM (c) e previsão do modelo global T126 (d), para o 22 de novembro de 2002 no horário das 18:00 Z (e).

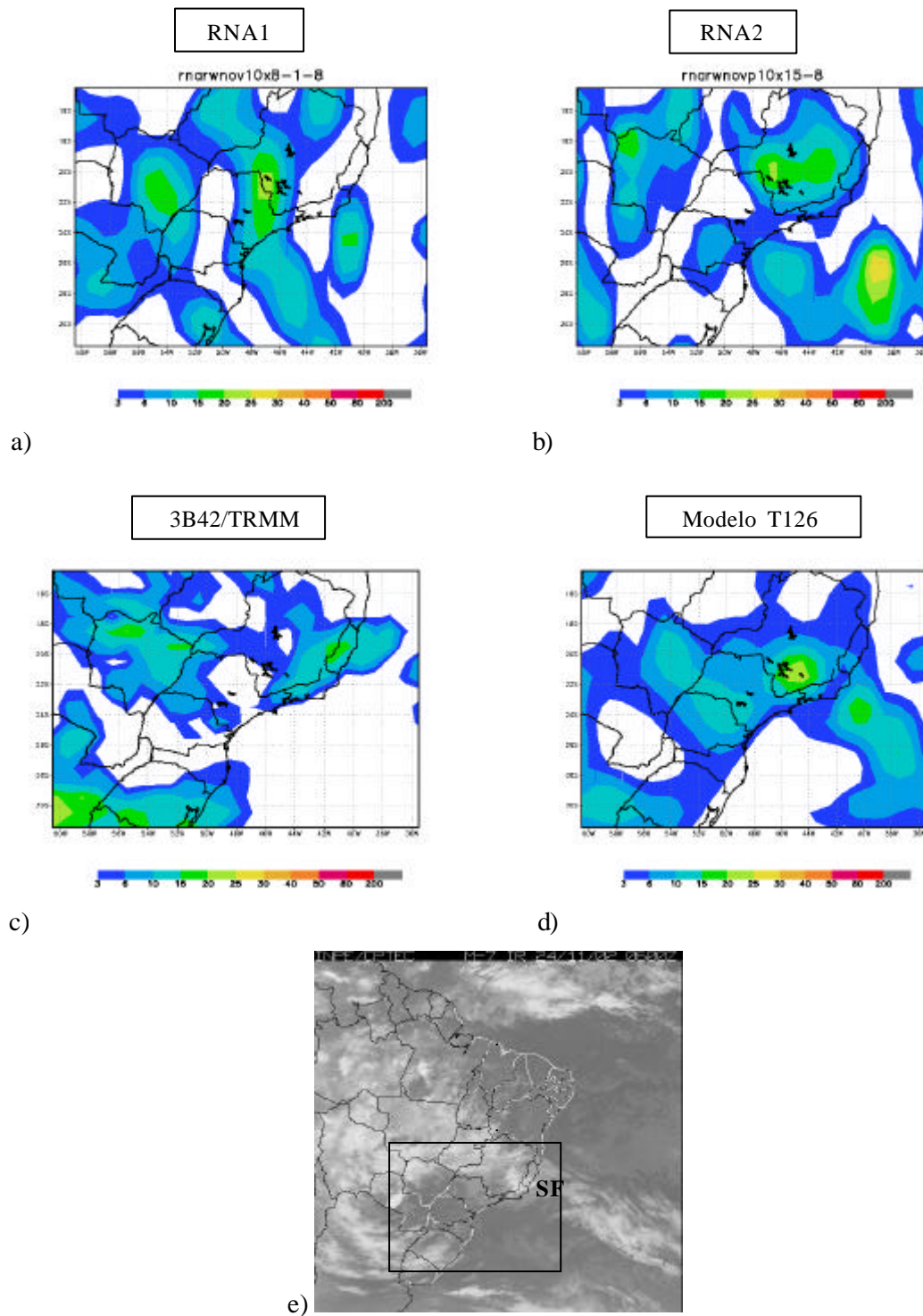


FIGURA 7.12 – Mapas de precipitação (mm/dia): previsão da RNA1 (a) e RNA2 (b), mapa do TRMM (c) e previsão do T126 (d), para o 24 de novembro de 2002, no horário das 06:00 Z (e).

TABELA – 7.6 - BIASS e ETS para a RNA1, RNA2 e T126: Mês de Novembro 2002.

| NOVEMBRO 2002 | | | | | | | | |
|----------------------|--------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| dia 22 | | | | | | | | |
| Limiares (mm) | | 3 | 6 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 |
| RNA1 | BIASS | 0.31 | -0.16 | -0.29 | -0.12 | -0.08 | 0.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.25 | 0.12 | 0.10 | 0.05 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| RNA2 | BIASS | 0.33 | -0.14 | -0.65 | -0.88 | -1.0 | 0.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.27 | 0.15 | 0.03 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Modelo/T126 | BIASS | 0.14 | -0.02 | -0.29 | -0.15 | 0.38 | 0.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.50 | 0.37 | 0.27 | 0.31 | 0.29 | 0.0 | 0.00 |
| dia 24 | | | | | | | | |
| RNA | BIASS | 0.23 | 0.10 | 0.06 | -0.20 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.37 | 0.17 | 0.06 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| RNA1 | BIASS | 0.26 | 0.22 | 0.28 | 0.22 | 0.8 | 0.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.33 | 0.18 | 0.10 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Modelo/T126 | BIASS | 0.30 | 0.02 | -0.18 | -0.61 | -0.40 | 0.0 | 0.0 |
| | ETS | 0.41 | 0.29 | 0.16 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

7.5 Sumário e Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos para a previsão espacial de precipitação mostraram que a RNA apresentou dificuldades para obter um padrão similar ao observado pelo 3B42/TRMM. Para os casos testados observou-se que a previsão aproximou-se do padrão de chuva do 3B42, mas muitas vezes com os núcleos deslocados, refletindo negativamente no cálculo das variáveis estatísticas. Em alguns casos (Figuras (7.1), (7.3), (7.4), (7.8), (7.9), (7.11) e (7.12)) observaram-se melhorias na previsão do experimento RNA2 (inclui ao 3B42/TRMM como preditor) com áreas de chuvas similares ao padrão do 3B42/TRMM, porém os núcleos de precipitação ainda permaneciam defasados.

Outra característica observada nas previsões foi que a RNA teve maior facilidade para prever chuvas fracas (3 a 10 mm) sobre continente, quando comparado com a previsão do T126, que mostrou um padrão mais próximo do observado. Além disso, ele

apresentou uma tendência exagerada a gerar núcleos de precipitação intensos sobre oceano que não foram observados na imagem do 3B42/TRMM. Para alguns casos do período de primavera (Figuras (7.7), (7.8) e (7.9)), onde as precipitações foram escassas, as RNAs apresentaram maior eficácia em prever chuva no continente quando comparadas com a previsão do modelo T126.

Nos dias selecionados aleatoriamente para teste, os SFs e as ZCAS foram os principais responsáveis pelas chuvas na região de estudo, por esse motivo as variáveis preditoras selecionadas estariam caracterizando esses eventos, e contribuindo no desempenho da previsão. A RNA apresentou uma tendência a superestimar valores de precipitação entre 3 a 6 mm, e a subestimar os valores acima de 10 mm. As superestimativas foram mais freqüentes sobre o continente que sobre o oceano. Por outro lado, o modelo T126 mostrou uma tendência acentuada a superestimar as chuvas acima de 20 mm sobretudo em áreas oceânicas e em maior intensidade no período de primavera.

Observou-se também na previsão da RNA que quando ela não consegue reproduzir um padrão próximo ao do 3B42, ela apresenta um campo misturado entre as estimativas do 3B42 com a previsão do T126 (Figuras (7.12) e (7.6)). Isto se justifica até certo ponto, pois ao utilizar como preditores as variáveis derivadas do T126, existe uma tendência a gerar um padrão de chuva similar ao do T126. Entretanto, como a RNA é treinada com dados do TRMM, a rede deveria apresentar um padrão melhor.

Aspectos de treinamento e ajustes relacionados ao aprendizado da RNA e a incorporação de novas variáveis preditoras poderiam melhorar o desempenho da RNA. Outro aspecto que também influencia no resultado da RNA é a série temporal curta que foi utilizada (2000 – 2002) para o treinamento da RNA, a qual não possibilitaria uma caracterização melhor dos sistemas relacionados a chuva.

CAPÍTULO 8

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A previsão de chuva não é uma tarefa complexa, assim, o desenvolvimento de outras técnicas, metodologias e modelos se justificam pelo intuito de melhorar o seu desempenho. A técnica desenvolvida e implementada neste trabalho surge como uma alternativa para ser utilizada nesta problemática.

O estudo sinótico realizado possibilitou diagnosticar os diferentes sistemas atmosféricos atuantes na região Sudeste relacionados à ocorrência de precipitação. Observou-se que durante os verões analisados houve uma acentuada interação de frentes frias, e ZCAS com VCANs do Nordeste. Esta interação possibilitou uma intensificação da nebulosidade presente na região Sudeste e um aumento das precipitações.

Para o período de inverno, caracterizado por poucas chuvas, os sistemas sinóticos dominantes foram as frentes frias, os VCANs de latitudes médias e ocasionalmente a existência de ciclogêneses em regiões oceânicas adjacentes a região Sudeste.

A análise da distribuição de chuvas sobre as diferentes estações em São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, comprovou que a maior parte delas é produzida pela ocorrência dos sistemas sinóticos mencionados. Comparou-se também os períodos de chuva com as ocorrências de ZCAS e frentes frias, e observou-se que eles variaram em intensidade e duração dependendo da intensificação dos sistemas. É evidente que existem outros mecanismos de escala menor (micro e mesoescala), que também são importantes para a geração e intensificação de chuva. Entretanto, devido à limitação da informação, e porque o objetivo foi explorar a utilização dos produtos operacionais de previsão de tempo (Eta e T126/global) pode-se afirmar que os sistemas de escala sinótica são os principais responsáveis pela ocorrência de chuvas na região estudada.

O modelo de RNA desenvolvido para previsão de chuva na região se mostrou superior quando comparado com a precipitação disponível em ponto de grade obtida diretamente

pelo modelo Eta. É importante esclarecer que a previsão do modelo em cada ponto de grade é um valor médio representativo de uma área equivalente a sua resolução, por isso é de se esperar que as previsões tenham uma tendência de se afastar do valor real quando comparado com dados das estações em questão, eventualmente apresentando uma tendência no comportamento das chuvas. Mas muitas vezes, isto não ocorre devido a grande variabilidade espacial e temporal da precipitação. Entretanto, as previsões feitas pelo Eta ainda se constituem numa informação útil para o usuário em geral, uma vez que estão sendo aprimoradas continuamente.

A análise estatística para os resultados da RNA e RLM mostrou a evidente superioridade da RNA, e quando comparados com as previsões do Eta, observou-se que há uma melhoria em quase todas as estações, sendo que o grau de melhoramento depende principalmente da localização geográfica, estação do ano e conhecimento do evento sinótico associado a chuva.

O modelo estatístico de RLM apresentou uma tendência acentuada de gerar chuvas em períodos que efetivamente não aconteceram, embora também consiga prever os dias em que efetivamente ocorreu chuva. A previsão neste caso é limitada por ter sido feita por um modelo linear simples que dificulta a obtenção de um ajuste mais adequado entre a precipitação e as variáveis dinâmicas associadas. Por outro lado, a RNA por ter uma característica não-linear, conseguiu obter um ajuste melhor entre estas variáveis. Neste caso específico, ela teve um desempenho melhor em relação à previsão do modelo Eta, para a maioria das estações meteorológicas estudadas.

Realizaram-se quatro experimentos de RNAs para determinar qual teve o melhor desempenho. Observou-se que no período de verão os melhores experimentos foram aqueles que incluíram a precipitação observada no dia anterior como preditor, e o que considerou uma série homogênea de dados, a partir do ano 2000 até hoje. De um modo geral, as mudanças feitas relacionadas a esquema de superfície e parâmetros de convecção, documentado na metodologia tiveram um impacto positivo no *skill score* principalmente no verão.

Observou-se que no período de inverno as previsões de precipitação no estado de São Paulo, alcançaram melhorias de até 80 % na redução do erro quando comparadas com a previsão do Eta. No Rio de Janeiro, o Skill alcançou um valor médio de 60 % e em Minas Gerais a melhoria foi em média de 80 %. Para o período de verão o *skill* diminuiu, e a acurácia da previsão em média se reduziu a 40 % para São Paulo, 50 % para Rio de Janeiro e 35 % em Minas Gerais.

Os resultados obtidos, sugerem que no inverno a precipitação apresenta maior previsibilidade, por que a forçante sinótica é mais forte, e a convecção profunda é menos prevalente.

É importante ressaltar que na região Sudeste, no período de inverno o índice pluviométrico é baixo. Desta forma, o inverno apresenta um comportamento atmosférico mais definido e homogêneo. Assim, nessas condições a RNA teria maior facilidade para prever chuva. Já no verão, os sistemas meteorológicos atuantes são diversos e dinamicamente mais complexos, o que dificulta uma caracterização definitiva dos sistemas através das variáveis preditoras selecionadas, isto também explicaria porque o desempenho da previsão da RNA é melhor no inverno do que no verão.

Mesmo assim, as variáveis selecionadas que caracterizam os eventos sinóticos, se constituem como potenciais preditores, refletindo no bom desempenho das previsões. Um bom desempenho na previsão está associado com a capacidade da RNA para relacionar a circulação de grande escala com a precipitação local.

Os resultados da previsão espacial mostraram comportamentos diferenciados. Observou-se que a RNA1 conseguiu prever os núcleos e faixas de precipitação com uma certa defasagem na posição, porém a previsão do T126 muitas vezes também apresentou este problema. O resultado com a inclusão do mapa de precipitação do dia anterior (RNA2), mostrou alguma melhoria, porém não foi substancial no desempenho da previsão.

Para o período da primavera o comportamento foi um tanto similar, porém como as chuvas foram reduzidas a previsão da RNA mostrou-se mais eficiente em gerar chuvas

sobre continente que o modelo T126. O cálculo do BIASS indicou que a RNA tem a característica de superestimar precipitação fraca sobre continente, e o T126 superestimar acentuadamente sobre áreas oceânicas. Em algumas situações a RNA se mostrou melhor que o T126, porém, em outras, observou-se que o resultado refletia uma mistura do TRMM e do T126. Isto se justifica, em parte, porque as variáveis predictoras foram obtidas do modelo T126. Desta forma, observa-se que para previsão espacial a RNA também mostra-se potencialmente hábil, porém é necessário fazer maiores ajustes para garantir um melhor desempenho. Outro aspecto que também pode ter influenciado negativamente no resultado da previsão da RNA foi a extensa área selecionada para fazer a previsão: regiões Sul e Sudeste, onde os regimes de chuvas não necessariamente são os mesmos.

É importante destacar que esta técnica não pretende substituir os modelos (estatísticos ou de PNT) atualmente em uso, mas, poderia vir a complementar o que já existe no CPTEC, disponibilizando assim maiores elementos de decisão, no momento de se emitir um resultado final sobre a previsão. Assim, as ferramentas prognósticas desenvolvidas neste trabalho, encontram-se prontas para ser utilizadas e testadas em centros operacionais de previsão do tempo, sobretudo o modelo da previsão pontual, uma vez que proporcionaria uma previsão mais específica para uma determinada localidade.

Hoje em dia metodologias de *downscaling* estatístico são amplamente utilizadas nos grandes centros operacionais do mundo, utilizando apenas relações lineares (RLM), este trabalho mostra-se inovador por ter implementado uma metodologia de *downscaling* estatístico utilizando uma técnica não linear conhecida como RNAs.

Porém, ainda é necessário se aprimorar nessas pesquisas, já que a técnica que se mostrou potencialmente útil pode ser substancialmente melhorada. A utilização da RNA neste trabalho foi enfocada em sua forma mais simples, no entanto, os resultados foram alentadores. Atualmente, existe muita sofisticação no uso desta técnica que a torna muito mais eficiente em termos de uso computacional e aprendizado. Além disso, é necessário fazer um embasamento físico mais detalhado na escolha dos preditores, isto com certeza aprimorará os resultados da previsão.

8.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Considerando que os modelos operacionais no CPTEC possuem uma série temporal de dados limitada e mesmo assim, foi possível obter uma ferramenta prognóstica de precipitação baseada numa RNA com melhor desempenho que o modelo de regressão linear, torna-se necessário continuar com as pesquisas nesta área, já que a técnica apresentou uma potencialidade alta para previsão. Porém, para tornar mais eficiente esta ferramenta sugere-se algumas possíveis alternativas que possibilitem minimizar em parte a carência de dados:

a) previsão pontual

- i. incluir preditores observados nas estações meteorológicas, tais como: temperatura do ar, pressão, umidade relativa, e se possível dados de radiossonda. **Parâmetros** geográficos (lat e long) e topográficos (altitude da estação), também podem ser importantes para caracterizar a alta variabilidade espacial da precipitação;
- ii. incluir preditores derivados do modelo Eta, mais específicos relacionados a atividade convectiva, tais como, índice K e de instabilidade por levantamento, CAPE, fração de cobertura de nuvens, radiação de onda longa;
- iii. incluir dentro da série de treinamento os horários de previsão com defasagem de até dois dias antes da previsão;

b) previsão espacial

- i. treinar a série tendo como preditando e preditor a precipitação observada interpolada em ponto de grade para área de estudo;
- ii. utilizar também outras variáveis mais específicas derivadas do modelo global T126, tais como as mencionadas para o modelo Eta;
- iii. incluir dentro da série de treinamento os horários de previsão com defasagem de até dois dias antes da previsão;

- iv. se houver uma estrutura computacional mais rápida e potente, treinar uma RNA com as dimensões originais dos campos (TRMM e T126) sem utilizar a TO, e ainda selecionar áreas menores para a previsão.
- v. utilizar outros produtos derivados do TRMM, tais como PR e TMI;
- vi. incluir preditores fora da área de estudo, levando em conta as teleconexões existentes entre a região sudeste e sul do Brasil com áreas como o Pacífico Tropical (IOS) e o oceano Atlântico (TSM);

c) aprimoramento da RNA

- i. neste trabalho foi utilizada uma RNA *feedforward*, entretanto, é possível utilizar redes recorrentes que permitam atualizar constantemente a matriz de peso com informações recentes dos modelos de PNT;
- ii. para o arranjo da série de dados de treinamento e de teste utilizar uma técnica de seleção aleatória, por exemplo, a validação cruzada;

d) utilização de um modelo de regressão não linear, por exemplo, a versão não linear do modelo media móvel auto-regressivo (Hamilton, 1994), para fins comparativos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Adler, R. F.; A. J. Negri. A satélite infrared technique to estimate tropical convective and stratiforme rainfall. **Journal Applied Meteorology**, v. 27, n. 1, p. 31-51, 1988.
- Adler, R.F.; Huffman, G.; Keehn, P. R. Global tropical rain estimates from microwave-adjusted geosynchronous IR data. **Remote Sensing Reviews**, v. 11, p.125-152, 1994.
- Alexander, D; Weinman, J. Karyapundi, V. The effect of assimilating rain rates derived from satellites and lightning on forecasts of the 1993 superstorm. **Monthly Weather Review**, v. 127, n. 7, p. 1433 – 1457, Jul. 1999.
- Applequist S.; Gahrs, G.; Pfeffer R. Comparison of Methodologies for Probabilistic Quantitative Precipitation Forecasting. **Weather and Forecasting**, v. 117, n. 4, p. 783 – 799, Aug. 2002.
- Arkin, P. A. The Relationship between fractional coverage of high cloud and rainfall accumulations during GATE over the B-scale array. **Monthly Weather Review**, v. 107, n. 10, p. 1382-1387, Oct. 1979.
- Bonatti, J. P. Modelo De Circulação Geral Atmosférico do CPTEC. **Climanálise Especial de 10 anos**. Disponível em: <<http://tucupi.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/bonatti.html>>. Acesso em: 20 jul. 2001.
- Bustamante, J.; Gomes J.; Chou S.; Rozante, J. Evaluation Of April 1999 Rainfall Forecasts Over South America Using The Eta Model. **Climanálise**, May. 1999. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/artigos/Eta_forecast_april99.pdf> Acesso em: 20 jul. 2001.
- Cavazos, T. Downscaling Large-Scale Circulation to Local winter rainfall in North-Eastern Mexico. **International Journal of Climatology**, v. 17, n. 10, p. 1069-1082, Aug. 1997.
- Chou, S. C.; Justi da Silva, M. G. Objective evaluation of Eta model precipitation forecasts over South America. **Climanálise**, Jan. 1999. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/artigos/ets.html>. Acesso em: 20 jul. 2001.
- Chou. S. **Modelo Eta**. (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Cachoeira Paulista, 2002). Comunicação pessoal.

- Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise climática. Cachoeira Paulista: CPTEC/INPE, 1999a. v. 11, n. 1. 53p.
- Cohen, A.; Froment, J. Image compression and multiscale approximation. In: Meyer, Y. (ed.): **Wavelets and applications**: Proceedings of the International Conference Marseille, France, May 1989, p.181-206.
- Daubechies, I. **Tem lectures on wavelets**. Philadelphia: SIAM. 1992.
- Dos Santos, C.C. **Modelagem de bacias urbanas com redes neurais artificiais**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- Doty, B. E. **Using the grid analysis and display system**. Maryland: University of Maryland. Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions (COLA). Jan. 1992.
- Fletcher, D.; Goss E. Forecasting with neural networks: an application using bankruptcy data. **Information & Management**, v. 24, n. 3, p. 159-167, 1993.
- French, M.; Krajewski, W; Cuykendall, R. Rainfall Forecasting in space and time using a neural network. **Journal Hydrology**, v. 137, n. 1-4, p. 1-31, Aug. 1992.
- Gairola, R. K.; Krishnamurti, T.N. Rain Rates based on SSM/I, OLR and raingauge data sets. **Meteorol. Atmos. Phys**, v. 50, n. 4, p. 165-174, Dec.1992.
- Gan, M. A. **Ciclogeneses e ciclones sobre a America do Sul**. fev. 1992. 221 p. (INPE--5400-TDI/479). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1992. Disponível na biblioteca digital URLib: <http://MTC-m13.sid.inpe.br:80/rep-/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/08.19.11.11>. Acesso em: 27 set. 2005.
- Gardner, M. W; Dorling, S. R. Artificial neural networks (the multilayer perceptron) – A review of applications in the Atmospheric Sciences. **Atmospheric Environment**, v. 32, n.14-15, p. 2627-2636, Aug. 1998.
- Geva, A. B. ScalaNet – Multiescale Neural-Network Architecture for time Series Prediction **IEEE Transaction on Neural Networks**, v. 9, n. 5, p. 1472- 1482, Sep. 1998.
- Glahn, H. R.; Lowry D. L. The Use of Model Output Statistics (MOS) in Objective Weather Forecasting. **Journal Applied Meteorology**, v. 11, n. 8, p. 1203 – 1211, Dec. 1972.

- Gomes, J.L. **Comparação dos esquemas de parametrização de cúmulos Betts-Miller e Fluxo de Massa sobre a América do Sul**. 2000. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- Greischar L.; Hastenrath. S. The Rainy Season of the 1990s in the Northeast Brazil: Real-Time Forecasts and Verification. **Journal of Climate**, v.13, n. 1, p. 3821-3826, Nov. 2000.
- Hall, T.; Brooks, H.; Doswell, C. Precipitation forecasting using a neural network. **Weather and Forecasting**, v. 14, n. 3, p. 338-345, Jun. 1999.
- Haykin, S. **Neural networks: a comprehensive foundation**. Ontario, Canada. Mc Master University, Prentice Hall International Inc, 1994.
- Hewitson B.C.; Crane, R.G. Climate downscaling: techniques and application. **Climate Research**, v. 7, n. 29, p. 85-95, Nov. 1996.
- Hornik, K.; Stinchcombe, M.; White, H. Multilayer Feed Forward networks are universal approximators. **Neural Networks**, v. 2, n. 5, p. 359-366, 1989.
- Hsie ,W. W.; Tang, B. Applying Neural Network Models to Prediction and Data Analysis in Meteorology and Oceanography. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, n. 9, p. 1855 - 1869, Sep. 1998.
- Hsu, K.; Gao, X.; Soroshian, S.; Gupta, H. Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks. **Journal of Applied Meteorology**, v. 36, n. 9, p. 1176-1190, Sep. 1997.
- Jacks, E.; Brower, J.; Dagostaro, V.; Dallavalle, J. New NGM-based MOS guidance for maximum/minimum temperature, probability of precipitation, cloud amount, and sea surface wind. **Weather and Forecasting**, v. 5, n. 1, p.128-138, March 1990.
- Key, J. R. Classification of arctic cloud and sea ice features in multi-spectral satellite data. In: Hewitson, B. C., Crane, R. G. (ed.) **Neural nets: applications in geography**. Pennsylvania: State University, Kluwer Academic Publishers. Printer in the Netherlands, pp 145-179. 1994.
- Klein, B.; Lewis, M.; Enger, I. Objective prediction of 5 day mean temperature during winter. **Journal of Meteorology**, v. 16, n. 6, p. 672-682, 1959.
- Kodama, Y. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: characteristic of subtropical frontal zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v.70, n. 4, p. 813 – 836, Aug. 1992.

- Koizumi, K. An objective method to modify numerical model forecasts with newly given weather data using an artificial neural network. **Weather and Forecasting**, v. 14, n. 1, p. 109-108, Feb. 1999.
- Kovacs, Z.L. **Redes neurais artificiais: fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Collegium Cognition. 1996.
- Krishnamurti, T.N. e Bedi, H. S. A brief review of physical initialization. **Meteorology and Atmospheric Physics**. v. 60, n. 1-3, p. 137-142. March 1996.
- Kuligowski, R.; Barros A. Localized Precipitation Forecast from a Numerical Weather Prediction Model using Artificial Neural Networks. **Weather and Forecasting**, v. 13, n. 4, p. 1194 – 1204, Dec. 1998.
- Kumar, A.; Maini, P.; Singh V. An Operational Model for Forecasting Probability of Precipitation and Yes/No Forecast. **Weather and Forecasting**, v. 14, n. 1, p. 38-48, Feb. 1999.
- Kummerow, C.; Simpson, J.; Thiele, O.; Barnes, W. The status of the tropical rainfall measuring mission (TRMM) after two years in orbit. **Journal of Applied Meteorology**, v. 39, n. 12, p.1965-1981, Dec. 2000.
- Lee, J.; Weger R.C.; Sengupta, R.W.; Weelch, J. A Neural Network Approach to Cloud Classification . **IEEE transaction on Geoscience and Remote Sensing**, v. 28, n. 5, p. 846 – 855, Sep. 1990.
- Loesch, C.; Sari S. **Redes neurais artificiais: fundamentos e modelos**. Blumenau: Editora da FURB, 1996.
- Lourenço, M. C. **Vórtices ciclônicos de altos neveis que atuam no sul da América do Sul**. 1996. 102 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1996.
- Maier, H.; Dandy, G. Neural networks for the predictions and forecasting of water resources variables: review of modeling issues and applications. **Environmental Modelling & Software**, v. 15, n. 1, p. 101-124, 2000.
- Mallat, S. Multifrequency channel decomposition of images and wavelets models. **IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Proc.**, v. 37, n. 12, p. 2091-2110. Dec. 1989.
- Mao, Q.; McNider, T.; Mueller, S. An Optimal Model Output Calibration Algorithm Suitable for Objective Temperature Forecasting. **Weather Forecasting**, v. 14, n. 2, p. 190 – 202, April 1999.

- Marzban, C.; Stumpf, G. Neural Network for Tornado prediction based on Doppler radar derived attributes. **Journal of Applied Meteorology**, v. 35, n. 5, p. 617-626, May 1996.
- Matsuo, P.T. **Previsão de precipitação intensa a curto prazo com base em parâmetros sinóticos**. 1992. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 1992
- Mendonça, A. M. **Desempenho do modelo global CPTEC/COLA durante episódio de ZCAS, utilizando os esquemas de convecção profunda tipo Kuo e Arakawa – Schubert relaxada**. (INPE-9660-TDI/850). 1999. 166 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.
- Mesinger, F.; Thomas, L.; Ward, J. ETA Model precipitation forecast for a period including tropical storm Alison. **Weather and Forecasting**, v. 5, n. 3, p. 483-493. Sep. 1990.
- Misiti, M.; Misiti, Y.; Oppenheim, G.; Poggi, J. **MATLAB, wavelet toolbox: user's guide**. Natick, MA . The Math Works, Inc. 24 Prime Park Way, 01760-1500, USA. 1997.
- Moorthi, S.; Suarez, M.J. Relaxed Arakawa-Shubert: A Parameterization of Moist Convection for General Circulation Models. **Monthly Weather Review**, v. 120, n. 6, p. 851-875, Jun. 1992.
- Nowosad, A. G.; Campos Velho, H. F.; Rios Neto, A. Data Assimilation in Chaotic Dynamics Using Neural Networks. In: **International Conference on Nonlinear Dynamics, Chaos, Control and Their Applications in Engineering Sciences**, 3., 31 July - 4 Aug. 2000, Campos de Jordão. **Proceedings ... Campos de Jordão**. 2000. v. 6, p. 212-221.
- Nunes, A. M. B. **Inicialização física em modelos espectrais de previsão de tempo global e regional uma análise de seus efeitos na partição de energia dos modos verticais e horizontais nos trópicos e na América do Sul**. 2002. 217 p. (INPE – 9359-TDI/821). Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 2002.
- Oliveira, S. A. **Interações entre Sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia**. (INPE -4008-TDL/239). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.1986.
- Olson, D. A.; Junker, N.; Korty, B. Evaluation of 33 years of quantitative precipitation forecasting at the NMC. **Weather and Forecasting**, v. 10, n. 3, p. 498-511, Sep.1995.

- Quadro, M.F.L. **Estudo de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 1993. 124 p. (INPE -6341-TDL/993).Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1994.
- Scofield, R. A. The NESDIS operational convective precipitation technique. **Monthly Weather Review**, v. 115, n. 8, p. 1773-1792, Aug. 1987.
- Silva Dias, M. A; Grammelsbacher, E. A. A. Possível ocorrência de tornado em São Paulo no dia 26 de Abril de 1991; um estudo de caso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 6, n.2, p.513-522, 1991.
- Silva Dias, P.L.;Schubert, W.H.; De Maria, M. Large –scale response of the tropical to the transient convection. **Journal Atmosphere Science**, v. 40, n.115, p. 2689-2707, 1983.
- Silverman, D.; Dracup, J. Artificial Neural Networks and Long – Range Precipitation Prediction in California. **Journal of Applied Meteorology**, v. 39, n. 1, p. 57 – 66, Jan. 2000.
- Snell, S.; Gopal S.; Kaufmann R. Spatial interpolation of surface air temperature using artificial neural networks: evaluating their use for downscaling GCMs. **Journal of Climate**, v. 13, n. 5, p. 886 – 895, March 2000.
- Sorooshian, S. Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural network models (PERSIANN). **Global Energy and Water Cycle Experiment**, v. 2, n. 2, p. 1-7, May 1997.
- Strang, G.; Nguyen, T. **Wavelet and filter banks**. Wellesley: Cambridge Press, Box, 812060, Wellesley, MA 02181, USA. 1996.
- Tang, B.; Hsieh, W.; Monahan, H.; Tangang, F. Skill Comparisons between neural networks and canonical correlations analysis in predicting the Equatorial Pacific sea surface temperatures. **Journal of Climate**, v. 13, n. 1, p. 287 – 293, Jan. 2000.
- Tangang, F. T.; Hsuh, H.; Tang K. Forecasting the regional sea surface temperatures of the Tropical Pacific by Neural Networks Model, with wind stress and sea level pressure as predictors. **Journal of Geophysical Research -Oceans**, v. 103, n. c4, p. 7511 –7522, Apr. 1998.
- Tian, B.; Mukhtiar, A.; Mahmood, R. A Study of cloud classification with neural networks using spectral and textural features. **IEEE Transactions on Neural Networks**, v.10, n. 1, p. 138 – 151, Jan. 1999.

- Tippett, M.; Da Silva, A. Model error estimations for the CPTEC Eta model. **Climanálise**, Divulgação Científica. INPE, Cachoeira Paulista, SP, Brazil. Mar. 1999.
- Valverde Ramírez, M.C. **Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos em altos níveis no Nordeste do Brasil**. 1996. 132 p. (INPE-6408-TDI/618). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos 1997.
- Valverde Ramírez, M. C.; Kayano, M. T.; Ferreira, N. J. Statistical analysis of upper tropospheric vortices in the vicinity of northeast Brazil during the 1980-1989. **Atmosfera**, v. 12, n. 2, p. 75-88, Apr. 1999.
- Valverde Ramírez, M.C., Ferreira, N. J., de Campos Velho, H. F. Estudo da quantificação da precipitação sobre a região leste do estado de São Paulo: sistemas sinóticos associados e comparações com a previsão do modelo Eta. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7., 2002 Foz de Iguaçu (PR), **Anais ...** Foz de Iguaçu, p. 522-530. 1 CD-ROM .
- Valverde Ramírez, M. C.; Weigang, L.; Ferreira, N. J. Aplicação de redes neurais artificiais e transformada de ondeletas para estimativas de precipitação usando imagens do satélite GOES-8 : resultados preliminares. In: Congresso Brasileiro de Redes Neurais, 4. 1999, São José dos Campos. **Anais ...** São José dos Campos: ITA, 1999. p. 888-999. 1 CD-ROM.
- Valverde Ramírez, M. C.; Ferreira, N. J.; Gan M. A Vórtices ciclônicos desprendidos em altos níveis que originam-se no leste do Pacífico Tropical Sul - Parte I : aspectos sinóticos relacionados a sua formação. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 6. 2000, Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro: UERJ, 2000. p. 3287 - 3295. 1 CD-ROM.
- Valverde Ramírez, M. C.; Ferreira, N. J.; Gan M. A Vórtices ciclônicos desprendidos em altos níveis que originam-se no leste do Pacífico Tropical Sul. Parte II: uso de imagens de satélites. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 6. 2000, Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro:UERJ, 2000. p. 3296-3301. 1 CD-ROM.
- Valverde Ramírez, M. C.; Haroldo, V. C. e Ferreira, N. J. Artificial neural networks technique for precipitation forecasts over São Paulo region. In: International Conference on Quantitative Precipitation Forecasting, 2- 6 September 2002, Reading, Inglaterra. **Proceedings ...** Reading 2002. p 49.
- Vislocky, R. L.; Frith, J.M. Generalized additive models versus linear regression in generating probabilistic MOS forecasts of aviation weather parameters. **Weather and Forecasting**, v. 10, n. 4, p. 669 – 680, Dec.1995.

- Verdecchia, M.; Visconti G. Neural networks approach for blocking recognition. **Geophysical Research Letters**, v. 23, n.16, p. 2081 – 2084, Aug. 1996.
- Verkemo, M. C.; Aguiar, S. **Análise de regressão**: como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo. Belo Horizonte: Editora Azul, Computação Gráfica Ltda, 1996.
- Weigang, L.;G.; Sà, L.D.; Prasad, G.S.; Nowosad, A.G; Bolzan, M.J. e Chang, E.S. Neural network adaptive wavelets for prediction of the Northeastern Brazil monthly rainfall anomalies time series. In: SPIES's Aerospace Defense Sensing and Controls Symposium: Applications and Science of Artificial Neural Networks, 2. 8-12 April, 1996, Orlando. **Proceedings ...** Orlando: 1996, p.175 - 187.
- Wilby, R.L.; Wigley T.M.L. Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. **Progress in Physical Geography**, v. 21, n. 4, p. 530 – 548. 1997.
- Wilson, J. L.; Vallee, M. The Canadian updateable model output statistic system (UMOS): design and development test. **Weather and Forecasting**, v. 17, n. 12, p. 206 – 222, April 2002.
- Yuval. Neural network training for prediction of climatological time series regularized by minimization of the generalized cross-validation function. **Monthly Weather Review**, v. 128, n. 5, p. 1456 – 1473, May 2000.
- Zell, A. **Stuttgart Neural Network Simulator (SNNS)**, manual version 4.01. Stuttgart: University of Stuttgart, Report N° 6/95. 1995.
- Zorita, E.; Von Storch, H. The Analog Method as a Simple Statistical Downscaling Technique: Comparison with more complicated methods. **Journal of Climate**, v. 12, n. 8, p. 2474- 2488, Aug. 1999.