



**Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
Instituto de Geociências
Departamento de Meteorologia**

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO
PARA O MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO**

ISABEL LOPES PILOTTO DOMINGUES

Orientadores: Prof^ª. D^{ra}. Claudine Pereira Dereczynski

Prof^o. D^f. José Ricardo de Almeida França

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da UFRJ como requisito necessário à obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

Rio de Janeiro, RJ

Fevereiro, 2007

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO
PARA O MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO**

ISABEL LOPES PILOTTO DOMINGUES

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia

Aprovada por:

Prof^a. D^{ra}. Claudine Pereira Dereczynski

Departamento de Meteorologia – IGEO – UFRJ

Prof^o. D^f. José Ricardo de Almeida França

Departamento de Meteorologia – IGEO – UFRJ

D^{ra}. Chou Sin Chan

DMD – CPTEC – INPE

Rio de Janeiro, RJ

Fevereiro, 2007

Ficha Catalográfica:

Domingues, Isabel Lopes Pilotto

**“AVALIAÇÃO DE DIFERENTES ESTIMATIVAS DE
PRECIPITAÇÃO PARA O MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO”**

Rio de Janeiro, 2007

XV, pp 79. Universidade Federal do Rio de Janeiro

Dissertação para obtenção do título de Bacharel em Meteorologia

"A ciência humana de maneira nenhuma nega a existência de Deus. Quando considero quantas e quão maravilhosas coisas o homem compreende, pesquisa e consegue realizar, então reconheço claramente que o espírito humano é obra de Deus, e a mais notável." (Galileu Galilei)

Dedico esta monografia ao meu pai, meu grande amigo, que sempre me apoiou em tudo, me dando muito amor e carinho, a minha mãe, a minha irmã e a toda minha família.

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, Claudine Dereczynski, pela sua grande ajuda não apenas na realização desta monografia, mas também durante todo o tempo em que me orientou, sendo para mim um exemplo de profissional e por quem sempre vou admirar.

Ao Marcos Pristo, que me ajudou muito na realização desta monografia, ao José Rozante, por ter me fornecido alguns dos dados que utilizei neste trabalho, ao Carlos Frederico Angelis por ter me recebido na Divisão de Satélites Ambientais e por ter esclarecido algumas dúvidas.

As minhas grandes amigas, Débora Leite e Raquel Volpi, pela grande amizade e por estarem sempre presentes em minha vida. E aos grandes amigos que fiz durante os anos de faculdade, Fernanda Mendonça, Anne Moraes, Maria Francisca Velloso, Renato Gonçalves, Bruno Cunha, Rafael Le Masson, Rodrigo Matola, Caroline Mazzoli, Caroline Vidal, Vitor Hugo Meirelles, Caroline Mourão, Lúcio Robalinho.

A todos os professores do Departamento de Meteorologia, pelos ensinamentos, incentivo, apoio e companheirismo. E a professora Maria Darci, do Departamento de Matemática, por quem tive o privilégio de ser aluna e que me fez pensar em seguir a área de pesquisa.

RESUMO

Neste trabalho avaliou-se o desempenho de modelos que estimam a precipitação através de satélites (Hidroestimador do CPTEC, TRMM e GPCP) e da Reanálise do NCEP/NCAR no município do Rio de Janeiro durante o período de 2004 e 2005. O objetivo é definir o modelo que melhor reproduz a série de totais pluviométricos diários observados sobre a região. Para realizar esta avaliação, as séries temporais de totais pluviométricos diários de cada um destes modelos foram confrontadas com as séries observadas em 31 estações da Geo-Rio. Os critérios utilizados nesta avaliação se basearam em medidas estatísticas do erro médio (EM), raiz quadrada do erro quadrático médio (REQM) e correlação linear (CORR) e na elaboração de tabelas de contingência, para toda a série de dados e para cada estação do ano. Os resultados indicam que o desempenho do GPCP foi insatisfatório, apresentando valores de CORR muito baixos e negativos e as menores taxas de acertos (Tacs) em relação às demais fontes de dados, além de produzir uma série temporal defasada das séries observadas. O Hidroestimador do CPTEC subestima os eventos durante o inverno, considerando apenas como nuvens precipitantes aquelas cujas temperaturas de brilho do topo são inferiores a 210 K. No verão o modelo produz vários eventos de chuva conseguindo, desta forma captar muitos dos que ocorrem ($T_{ac}=0,67$), porém a custo de produzir muitos eventos que não ocorrem, apresentando elevada taxa de alarme falso ($T_{af}=0,38$). Este modelo superestima demasiadamente a precipitação no verão. O TRMM é o modelo que apresenta a melhor performance no verão, com uma Tac elevada (0,60) e uma Taf baixa (0,17), contudo no inverno apresenta uma deficiência em produzir chuva, assim como ocorre com o Hidroestimador do CPTEC. A Reanálise do NCEP/NCAR não deve ser utilizada no verão, pois o modelo produz precipitação de forma contínua durante toda a estação, gerando elevados valores de Taf (0,45), porém no outono e inverno este modelo apresenta melhor performance do que os demais.

Evaluation of satellite-derived estimates of precipitation and NCEP/NCAR Reanalysis precipitation over Rio de Janeiro

Abstract

This work investigates the performance of the Hydroestimator of the Center for Weather Forecasts and Climate Studies (CPTEC), the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), the Global Precipitation Climatology Project (GPCP) and the Reanalysis of National Centers for Environmental Precipitation/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) to produce daily precipitation over the city of Rio de Janeiro. To make this evaluation the bias, the root mean square error, the correlation and contingency tables skill scores were analyzed seasonally, comparing the model data against Geo-Rio network (31 stations) observed precipitation in the period 2004-2005. The results show that all models are not able to reproduce the maximum intensity of precipitation events. The GPCP presented the worst performance for the region under examination, with low and negative CORRs, and it must be disregarded. The CPTEC's Hydroestimator must not be used during the winter, because it is not able to detect precipitation events in this season. It considers rainy clouds that ones with cloud tops below 210 K (cumulonimbus clouds), which rarely occurs during the winter. During summer, this model overestimates the precipitation and it reproduces many events, with high false alarm rate. The TRMM product also must be disregarded during winter, but it has the best performance during the summer, presenting a high hit rate (0,60) and low false alarm rate (0,23). The NCEP/NCAR Reanalysis must not be used during summer, because it originates rain continually. Although it is the best product to be used during winter and autumn.

ÍNDICE

Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xii
Lista de Siglas	xiii
Lista de Símbolos	xv
Resumo	vi
1 – Introdução	1
2 – Revisão da Literatura	3
3 – Precipitação Observada sobre o Município do Rio de Janeiro	9
3.1 Climatologia da Precipitação sobre o Município do Rio de Janeiro	10
3.2 A Precipitação no período 2004-2005	14
4 – Dados e Metodologia	16
4.1 Dados Avaliados	16
4.1.1 Hidroestimador do CPTEC	16
4.1.1.1 Auto-estimador	16
4.1.1.2 Hidroestimador	23
4.1.2 TRMM	32
4.1.2.1 Imageador de microondas do TRMM (TMI)	34
4.1.2.2 Radar de precipitação (PR)	34
4.1.2.3 Sistema de radiômetro do visível e infravermelho (VIRS)	34
4.1.2.4 Produto 3B42	35
4.1.3 GPCP	38
4.1.4 Reanálise do NCEP/NCAR	40
4.2 Dados Observacionais da Fundação Geo-Rio	40
4.3 Metodologia utilizada nas Avaliações Subjetiva e Objetiva	41
4.3.1 Avaliação Subjetiva	44
4.3.2 Avaliação Objetiva	44
5 – Resultados	47
5.1 Avaliação Subjetiva do Hidroestimador do CPTEC, do TRMM, do GPCP e da Reanálise do NCEP/NCAR	47
5.1.1 Hidroestimador do CPTEC	47
5.1.2 TRMM	48
5.1.3 GPCP	49
5.1.4 Reanálise do NCEP/NCAR	50
5.2 Avaliação Objetiva do Hidroestimador do CPTEC, do TRMM, do GPCP e da Reanálise do NCEP/NCAR	52
5.2.1 Desempenho diário	52
5.2.2 Desempenho total mensal por estações do ano	58
6 – Conclusões e Recomendações	74
Referências Bibliográficas	78
Anexo	82

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1 – Desempenho do Hidroestimador/DSA em de abril de 2005. (Fonte: Souza, 2006). 5
- Figura 2.2 – Série temporal global da precipitação mensal (mm.dia^{-1}) para a Reanálise e para o GPCP. (Fonte: Janowiak, 1997). 8
- Figura 3.1 – Totais pluviométricos anuais (a cada 200 mm) sobre a cidade do Rio de Janeiro. A topografia é apresentada em isolinhas a cada 50 m de altitude. 11
- Figura 3.2 – Totais pluviométricos mensais (a cada 20 mm) sobre a cidade do Rio de Janeiro, valores médios nas estações (a) verão (DJF) e (b) inverno (JJA). A topografia é apresentada em isolinhas a cada 50 m de altitude. 13
- Figura 3.3 – Totais pluviométricos médios mensais (mm) nas estações pluviométricas do Sumaré, Mendanha, Grota Funda, Santa Cruz e Penha. 14
- Figura 3.4 – Totais pluviométricos (mm) acumulados mensalmente na estação pluviométrica da Penha para os anos de 2004 e 2005 e para a climatologia do período 1997-2005. 15
- Figura 4.1 – Estimativa média de precipitação para cada temperatura calculada por pares de estimativas de precipitação por radar e temperatura no IR do topo da nuvem (curva pontilhada). Ajuste de potência entre as estimativas de radar e temperatura do topo da nuvem (curva cheia) (Fonte: Modificado de Vicente et al., 1998). 19
- Figura 4.2 – Funções ajustadas utilizadas no Hidroestimador: (a) Taxa de precipitação a uma temperatura de 210 K (mm.h^{-1}) em função da água precipitável (mm) do modelo Eta que é usada para produzir a relação de temperatura de brilho e taxa de precipitação; (b) A relação de temperatura de brilho e taxa de precipitação para diversos valores de água precipitável (mm) para a chuva “núcleos convectivos”; e (c) A relação correspondente para a precipitação “sem núcleos convectivos”. A legenda em (b) e (c) indicam os valores de água precipitável correspondentes a cada curva. (Fonte: Modificado de Kuligowski). 25
- Figura 4.3 – Funções adicionais dos ajustes do Hidroestimador: (a) Ajuste na temperatura de brilho (K) em função da água precipitável do modelo Eta (mm); (b) Aumento da umidade relativa do modelo Eta em função da taxa de precipitação do Hidroestimador (mm.h^{-1}); (c) Redução da taxa de precipitação do Hidroestimador (mm.h^{-1}) em função do ajuste na umidade relativa do modelo Eta. (Fonte: Modificado de Kuligowski). 29
- Figura 4.4 – Comparação da imagem GOES-8 (leste) sobre o noroeste do Pacífico: (a) antes do ajuste no ângulo zenital e (b) depois do ajuste, comparando com (c) as imagens GOES-10 (oeste). Todas as imagens são do dia 22 de janeiro de 2003 as 12:15 UTC. (Fonte: Kuligowski, 2004). 31

- Figura 4.5 – Representação esquemática da aquisição de dados pelo sensor de microondas (TMI), radiômetro (VIRS) e radar meteorológico (PR) do satélite TRMM (Fonte: Collischonn, 2006). 33
- Figura 4.6 – Fluxograma de dados para geração de estimativas do projeto TRMM (Fonte: Adaptado de <http://daac.gsfc.nasa.gov/>). 37
- Figura 4.7 – Distribuição espacial das estações pluviométricas da Geo-Rio. 41
- Figura 4.8 – Representação da grade do Hidroestimador do CPTEC [■] e do TRMM [■] em relação à localização das estações pluviométricas da Geo-Rio [+]. 43
- Figura 4.9 – Representação da grade da Reanálise do NCEP/NCAR [•] e do GPCP [+] em relação à localização das estações pluviométricas da Geo-Rio [■]. 44
- Figura 5.1 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC (linha vermelha grossa) durante o mês de abril de 2005. Os números correspondem aos eventos de precipitação ocorridos e os círculos em verde destacam os eventos detectados pelo modelo. 48
- Figura 5.2 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo TRMM (linha vermelha grossa) durante o mês de novembro de 2004. Os números correspondem aos eventos de precipitação ocorridos e os círculos em verde destacam os eventos detectados pelo modelo. 49
- Figura 5.3 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo GPCP (linha vermelha grossa) durante os meses (a) fevereiro, (b) outubro e (c) janeiro de 2004. 50
- Figura 5.4 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pela Reanálise do NCEP/NCAR (linha vermelha grossa) durante os meses (a) janeiro e (b) julho de 2004. 51
- Figura 5.5 – Erro médio (mm) do Hidroestimador (a), TRMM (b), GPCP (c) e Reanálise (d) calculado em relação às estações da Geo-Rio (enumeradas de acordo com a Tabela 3.1). As linhas vermelhas representam o valor de EM ideal (zero). 53
- Figura 5.6 – Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) do Hidroestimador (a), TRMM (b), GPCP (c) e Reanálise (d) calculada em relação às estações da Geo-Rio (enumeradas de acordo com a Tabela 3.1). 54
- Figura 5.7 – Correlação (CORR) do Hidroestimador (a), TRMM (b), GPCP (c) e Reanálise (d) calculada em relação às estações da Geo-Rio (enumeradas de acordo com a Tabela 3.1). 55

Figura 5.8 – Taxas de acerto (Tac) e de alarme falso (Taf), repectivamente para (a) e (b) Hidroestimador, (c) e (d) TRMM, (e) e (f) GPCP, (g) e (h) Reanálise, calculadas em relação às estações da Geo-Rio (enumeradas de acordo com a Tabela 3.1). As linhas vermelhas representam o valor de Tac e Taf ideais (um e zero, respectivamente). 56

Figura 5.9 – Valores de EM (mm) entre a série de precipitação total diária e as estações da Geo-Rio (enumeradas de acordo com a Tab. 3.1) para (a) Hidroestimador do CPTEC, (b) TRMM e (c) Reanálise do NCEP/NCAR. 61

Figura 5.10 – Valores de REQM (mm) entre a série de precipitação total diária e as estações da Geo-Rio (enumeradas de acordo com a Tab. 3.1) para (a) Hidroestimador do CPTEC, (b) TRMM e (c) Reanálise do NCEP/NCAR. 64

Figura 5.11 – Valores de CORR entre a série de precipitação total diária e as estações da Geo-Rio (enumeradas de acordo com a Tab. 3.1) para (a) Hidroestimador do CPTEC, (b) TRMM e (c) Reanálise do NCEP/NCAR. 66

Figura 5.12 – Valores de Tac e Taf obtidos a partir das tabelas de contingência construídas confrontando-se as séries de precipitação total diária das estações da Geo-Rio (enumeradas de acordo com a Tab. 3.1) e as séries do Hidroestimador do CPTEC (a) e (b), TRMM (c) e (d) e Reanálise do NCEP/NCAR (e) e (f). 70

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Localização e altitude das estações pluviométricas da Geo-Rio.	10
Tabela 4.1 – Características principais dos sensores do TRMM.	35
Tabela 4.2 – Características principais das fontes de dados utilizadas no trabalho.	42
Tabela 4.3: Representação de uma tabela de contingência.	46
Tabela 5.1 – Média aritmética dos valores de EM (mm), REQM (mm), CORR, Tac e Taf considerando-se todas as estações da Geo-Rio, em relação ao Hidroestimador do CPTEC.	69
Tabela 5.2 – Média aritmética dos valores de EM (mm), REQM (mm), CORR, Tac e Taf considerando-se todas as estações da Geo-Rio, em relação ao TRMM.	69
Tabela 5.3 – Média aritmética dos valores de EM (mm), REQM (mm), CORR, Tac e Taf considerando-se todas as estações da Geo-Rio, em relação à Reanálise do NCEP/NCAR.	70

LISTA DE SIGLAS

AIRS	Atmospheric Infrared Sounder
AF	Alarme Falso
CERES	Sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DMSP	Defense Meteorological Satellite Program
DSA	Divisão de Satélites Ambientais
EML	Experimental Meteorology Laboratory
FR	Fracasso
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
GPCC	Global Precipitation Climatology Centre
GPCP	Global Precipitation Climatology Project
GPI	GOES Precipitation Index
GV	Ground Validation
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IR	Infravermelho
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
LIS	Sensor de imageamento de relâmpagos
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NEDIS	National Environmental Satellite, Data and Information Service
OPI	Outgoing Longwave Radiation Precipitation Index
PR	Radar de precipitação

PW	Precipitable Water
PWRH	Fator de correção de umidade
RC	Rejeição Correta
RH	Umidade relativa
SC	Sucesso
SIMO	Sistema de Informações Meteorológicas e Oceanográficas
SSM/I	Special Sensor Microwave/Imager
TIROS	Television Infrared Observation Satellite Program
TMI	Imageador de microondas do TRMM
TOVS	TIROS Operational Vertical Sounder
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
VIRS	Visible and Infrared Radiometer System
WCRP	World Climate Research Program

LISTA DE SÍMBOLOS

BS	Bias Score
CORR	Correlação
EM	Erro Médio
ETS	Equitable Threat Score
FCA	Fractional-covered area
HSS	Heidke Skill Score
P_0	Ponto centrado do pixel
P_{obs}	Precipitação observada
P_{prev}	Precipitação prevista
R	Taxa de precipitação
R_c	Taxa “núcleo convectivo”
R_{max}	Taxa de precipitação máxima
R_n	Taxa “sem núcleo convectivo”
REQM	Raiz quadrada do Erro Quadrático Médio
T	Temperatura de brilho do topo da nuvem
Tac	Taxa de acerto
Taf	Taxa de alarme falso
T_{min}	Temperatura mínima de uma caixa de 101 x 101 pixels centrada no pixel de interesse
TS	Threat Score
Z	Refletividade
σ	Desvio padrão da temperatura de brilho
μ	Média da temperatura de brilho

1. Introdução

As informações meteorológicas são de extrema importância para diversas atividades, sendo frequentemente utilizadas por setores que influenciam diretamente na economia do país, tais como turismo, agricultura, transporte, hidrologia, energia, segurança e defesa civil. Os institutos, centros de pesquisa, universidades e órgãos do governo têm se empenhado em gerar dados meteorológicos de qualidade a fim de atender a crescente demanda pela informação ambiental. As técnicas para estimativa de dados provenientes dos satélites também têm sido aprimoradas a fim de fornecer uma ampla cobertura espacial e temporal de dados meteorológicos essenciais para a previsão numérica de tempo.

A aplicação das informações meteorológicas e hidrológicas tem se tornado cada vez mais essencial para a condução de uma variada gama de atividades humanas. No campo meteorológico, as atividades de previsão de tempo, climatologia e pesquisas são realizadas a nível nacional pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pelo Instituto de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (INPE/CPTEC). No campo hidrológico a Agência Nacional de Águas (ANA) opera uma rede de estações a nível nacional e conta com a parceria dos Estados e entidades afins para levar a termo suas responsabilidades de gerar e disseminar informações hidrológicas.

Em função principalmente das dimensões continentais do país e das particularidades de cada região, as informações disseminadas por estes órgãos nem sempre atendem as demandas específicas dos usuários. Dessa forma, muitas empresas e municípios constituíram com recursos próprios setores de meteorologia e hidrologia destinadas a atender suas necessidades. Municípios como o Rio de Janeiro, Curitiba e São Paulo e empresas de energia elétrica tais como, Furnas e Companhia Paranaense de Energia (Copel) são exemplos desta tendência.

As crescentes demandas por informações de natureza hidrológica e meteorológica cada vez mais específicas e com alto grau de confiabilidade, destinadas a atender às diversas áreas da

atividade humana forçaram a criação dos Núcleos e Centros Estaduais de Meteorologia e Recursos Hídricos, na sua grande maioria amparados por projetos coordenados pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), porém carecendo de bases de sustentação definidas em orçamento capazes de garantir sua sobrevivência a longo prazo.

Setores como a agricultura, pesca, turismo e energia logo perceberam que poderiam aumentar sua produtividade se contassem com informações meteorológicas disseminadas com antecedência e passaram a demandar uma previsão do tempo com maior qualidade, com prazos maiores e regionalizadas para suas áreas de interesse.

Nas três últimas décadas ocorreram avanços consideráveis no sensoriamento remoto da chuva por meio de satélites ambientais, aumentando a disponibilidade e qualidade das estimativas de chuva por satélite que passaram da categoria de tema de pesquisa para a categoria de produto operacional disseminado por entidades de hidrologia e meteorologia (Araujo, 2006). A vantagem da estimativa de precipitação por satélite é a possibilidade de obter informações contínuas de chuva, com ampla cobertura espacial. Valores de precipitação também podem ser gerados por modelagem numérica, devendo, contudo, ser utilizados com cautela, uma vez que estes produtos não sofrem influência direta das observações, sendo completamente determinado pelos modelos. Além disso, os dados gerados por modelos numéricos apresentam em geral resolução temporal e espacial inferior àqueles gerados por satélite.

As fontes de dados de precipitação avaliadas neste trabalho são o Hidroestimador do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e o Tropical Rainfall Measuring Mission TRMM, ambos gerados por satélite. Os dados de precipitação do Precipitation Climatology Project (GPCP), uma combinação de dados de pluviômetros com estimativas de precipitação obtidas por satélite, e da Reanálise do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) / National Center for Atmospheric Research (NCAR) também são avaliados. Estas quatro fontes de dados foram escolhidas pela facilidade e disponibilidade de acesso aos dados. O período analisado estende-se de janeiro de 2004 a dezembro de 2005, com exceção do GPCP, cujo período estende-se apenas até abril de 2005.

Optou-se por realizar as avaliações no Município do Rio de Janeiro, onde a Fundação Geo-Rio mantém uma rede densa de pluviômetros (32 postos) homoganeamente distribuídos pela cidade e por sua proximidade com a região da Bacia de Campos.

O objetivo desta monografia é apresentar e discutir os resultados da avaliação das quatro fontes de dados, confrontando-as com os dados observacionais da Geo-Rio. Uma verificação sucinta nos mapas de precipitação sobre a América do Sul, gerados pelas fontes avaliadas revela que o padrão da chuva é, em geral, consistente com a nebulosidade observada nas imagens de satélites. Contudo, o interesse deste trabalho é revelar se as séries temporais dos totais pluviométricos diários observados no Rio de Janeiro poderiam ser bem representadas pelas séries temporais da precipitação diária de cada uma das estimativas disponíveis.

No próximo capítulo são apresentadas as avaliações e críticas em relação às mesmas fontes de dados utilizadas nesta monografia. No capítulo 3 apresenta-se a precipitação sobre o Município do Rio de Janeiro, abordando-se a climatologia do período 1997-2005 e o comportamento da precipitação no período 2004-2005. No capítulo 4 são descritas as características principais de cada uma das fontes de dados de precipitação e dos dados observacionais da GEO-RIO utilizados para a avaliação e também os índices empregados para efetuar as avaliações subjetiva e objetiva das fontes de dados anteriormente mencionadas. No capítulo 5 estão os resultados das avaliações subjetiva e objetiva e também da dependência sazonal da qualidade das fontes de dados. Finalmente no capítulo 6 encontram-se as conclusões, considerações finais e recomendações para trabalhos futuros.

2. Revisão da Literatura

Nos últimos anos, com o aumento da oferta de conjuntos de dados meteorológicos gerados por modelagem numérica e por satélites, aumentaram-se os esforços no sentido de investigar a qualidade dos mesmos. No caso da variável precipitação muitas técnicas têm sido empregadas e os resultados da avaliação de um mesmo modelo, dependem de diversos fatores, tais como do período de acumulação da precipitação (totais diários, mensais, sazonais ...), da estação do ano e da região considerada para análise, do período de anos avaliado e outros. A seguir são apresentados alguns trabalhos cujos resultados podem contribuir para o entendimento das avaliações efetuadas nesta monografia.

Souza et al. (2006) avaliaram o desempenho do Hidroestimador do CPTEC comparando as estimativas de precipitação diária com os valores da precipitação acumulada em cada pluviômetro da rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e das Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) do CPTEC para áreas de 100 km por 100 km. A Figura 2.1 mostra os resultados desta análise para o mês de abril de 2005 em três áreas diferentes. O valor médio da precipitação estimada pelo modelo em cada área foi calculado juntamente com o valor médio da precipitação obtido pelos registros de pelo menos quatro pluviômetros localizados dentro da área em questão. A partir desses valores foi calculado o Erro Médio (EM) entre os valores indicados pelo modelo e pluviômetros, e a Raiz quadrada do Erro Quadrático Médio (REQM) para cada área. No exemplo apresentado (Figura 2.1) o Hidroestimador/DSA tendeu a subestimar a precipitação no Nordeste e no Sudeste e a superestimá-la no Sul do Brasil.

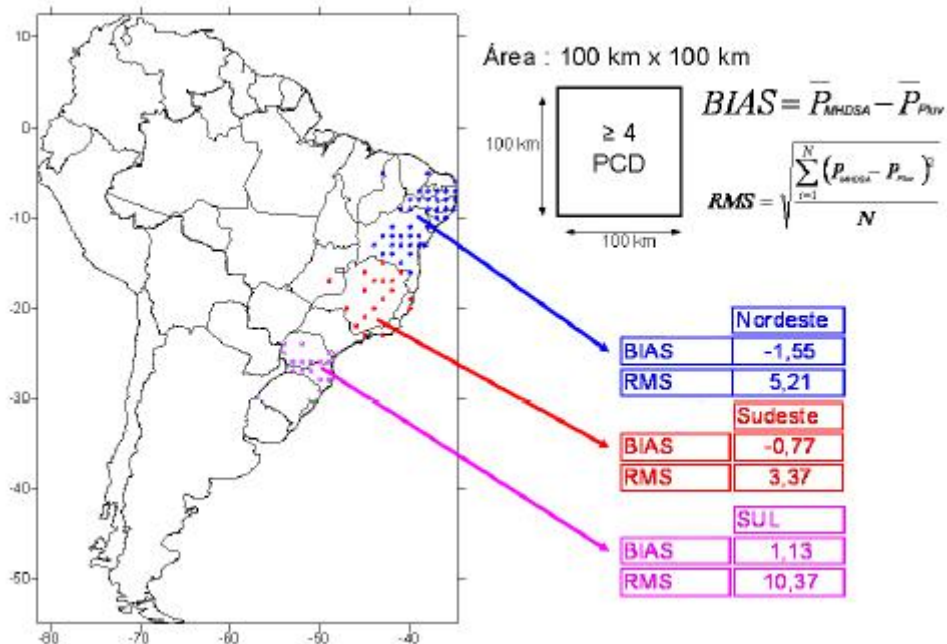


Figura 2.1 – Desempenho do Hidroestimador/DSA em de abril de 2005. (Fonte: Souza, 2006).

Jobard (2001) realizou um estudo comparativo entre diversos produtos de estimativa de chuva, incluindo o produto 3B42 do TRMM, e dados de redes densas de pluviômetros localizados na África. Esse estudo é apresentado detalhadamente por Ramage et al. (2000). Como resultado, foram verificados coeficientes de correlação da ordem de 0,72, 0,76 e 0,79 para escalas de cinco, dez e trinta dias, respectivamente, com resolução espacial de 2,5° x 2,5°. Já para a resolução de 1°x1°, os coeficientes aumentaram para 0,79 e 0,86, para escalas de dez e trinta dias respectivamente. Isso demonstra que quanto mais refinada for a escala (1°x1°), maior será a correlação da estimativa de precipitação por satélite com a chuva monitorada na superfície, devido a maior amostragem da chuva pelo satélite na região de estudo.

Nicholson et al. (2003) realizaram um estudo de validação de alguns produtos TRMM para o ano de 1998, em uma rede altamente densa contendo 920 pluviômetros na África, numa malha com resolução de 2,5° de latitude por 2,5° de longitude. Os resultados mostraram que os produtos TRMM apresentaram excelente concordância com os dados de superfície para a escala acumulada de cinco meses (maio a setembro) e para o mês de agosto, sendo este o mês mais úmido da série. A REQm apresentada foi de 0,6 mm.mês⁻¹ para a resolução de

cinco meses e 1 mm.mês^{-1} para agosto, e o EM foi praticamente nulo. A performance para a resolução espacial de $1^\circ \times 1^\circ$ foi excelente para escala de cinco meses e boa para o mês de agosto. Isso demonstra que os diversos produtos de estimativa de chuva apresentam boa performance tanto para períodos mais úmidos, quanto para períodos cobrindo diferentes estações do ano.

Collischonn (2006) avaliou as estimativas de precipitação do satélite TRMM em bacias hidrográficas brasileiras comparando campos de precipitação e a precipitação média obtida das estimativas de precipitação do satélite TRMM com o campo de precipitação e a precipitação média obtida a partir de uma rede pluviométrica bastante densa, ao menos para padrões brasileiros. As estimativas de precipitação fornecidas pelo satélite TRMM foram consistentes. Elas conseguiram reproduzir com bastante fidelidade o regime de chuvas de bacias hidrográficas brasileiras. As variações sazonais da chuva foram bem representadas. Em alguns casos, as estimativas subestimaram ou superestimaram a precipitação de forma pontual, mas, quando ponderadas sobre a bacia, apresentaram resultados muito similares àqueles obtidos por interpolação de pluviômetros. Nas duas bacias analisadas (bacia do São Francisco e dos Tapajós), o satélite superestimou levemente, sistematicamente as precipitações médias nas estações secas. Já nos meses úmidos, o comportamento foi mais aleatório, com uma leve tendência do TRMM em subestimar as precipitações médias sobre a bacia.

de Gonçalves et al. (2006) compararam os dados de precipitação diária do TRMM e de outras fontes de dados com dados de pluviômetros na região continental da América do Sul ao longo do ano de 2000. A área de estudo foi dividida em três regiões: norte (20°S 80°E a 10°N 50°E), nordeste ($20\text{S}50\text{E}$ to $10\text{N}/35\text{E}$) e sul ($55\text{S}/80\text{E}$ to $20\text{S}/40\text{E}$). Para esta comparação foi realizado o cálculo estatístico do EM, REQM, CORR, Threat Score (TS) e fractional-covered area (FCA). Como resultado, em relação ao EM, o TRMM tendeu a subestimar a área sem precipitação e a superestimar bastante a área com pouca quantidade de chuva (menor que 5 mm.dia^{-1}). Quanto aos valores de TS conclui-se que o TRMM subestima a precipitação com uma intensidade média dominante de $2,2 \text{ mm.dia}^{-1}$. Em termos do comportamento zonal, o TRMM subestimou mais a precipitação comparado às

outras fontes de dados, exceto no período de outubro a dezembro. Em relação aos valores da REQM, o TRMM apresentou os melhores valores comparados às outras fontes de dados nas regiões norte e nordeste da área estudada.

McCollum et al. (1999) compararam dados médios diários de precipitação estimados pelo GPCP com dados médios diários de precipitação medidos por pluviômetros na região da África Equatorial nos anos de 1988 a 1994. Como resultado, encontraram que o GPCP produziu o dobro da precipitação observada na região durante o período estudado.

Janowiak et al. (1997) compararam a precipitação média mensal gerada pela Reanálise do NCEP/NCAR e pelo GPCP para todo o globo nos anos de 1988 a 1995. Primeiramente comparou-se as médias sazonais (dezembro, janeiro e fevereiro e junho, julho e agosto) das duas fontes de dados e verificou-se que estas têm praticamente o mesmo comportamento durante o verão e inverno. Em seguida foi comparado o ciclo anual da precipitação média global entre as duas fontes de dados o que mostrou que o ciclo anual só foi reproduzido na Reanálise (Figura 2.2).

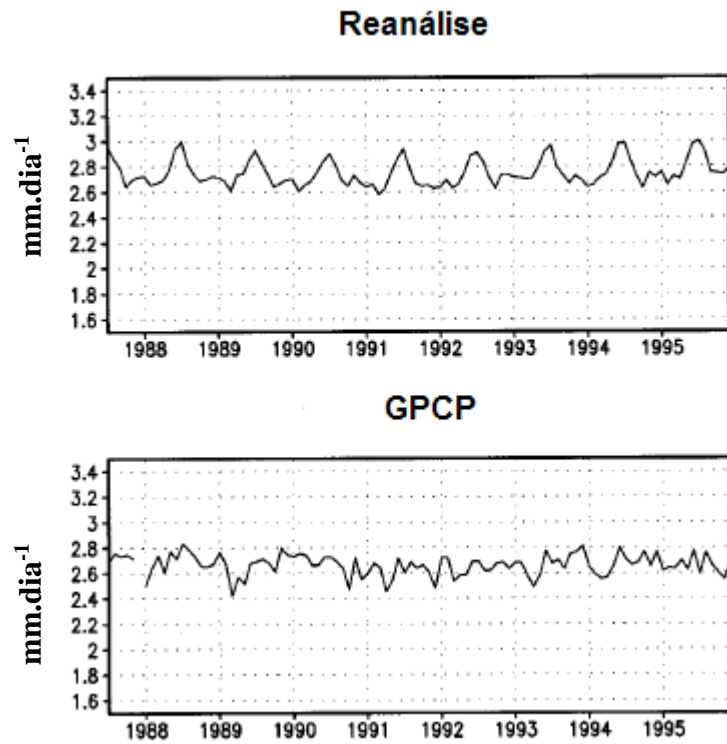


Figura 2.2 – Série temporal global da precipitação mensal (mm.dia^{-1}) para a Reanálise e para o GPCP. (Fonte: Janowiak, 1997).

3. Precipitação Observada sobre o Município do Rio de Janeiro

Neste capítulo é apresentada uma breve climatologia da precipitação sobre o Município do Rio de Janeiro a partir dos dados coletados pela Geo-Rio de janeiro de 1997 a dezembro de 2005 (Oliveira et al., 2005). Além disso avalia-se o comportamento da precipitação observada durante o período 2004-2005.

Tabela 3.1 – Localização e altitude das estações pluviométricas da Geo-Rio.

Num.	Nome	Long. (W)	Lat. (S)	UTM (E)	UTM (N)	Cota (m)
1	Copacabana	43 11 19	22 59 9	685,65	7456,86	90
2	Urca	43 10 00	22 57 20	687,88	7460,30	90
3	Cachambi	43 16 41	22 53 23	676,64	7467,59	25
4	Anchieta	43 24 11	22 49 36	663,89	7474,74	50
5	Bangu	43 27 55	22 53 10	657,40	7468,22	15
6	Gericinó	43 35 00	22 51 58	645,31	7470,54	0
7	Campo Grande	43 33 42	22 54 12	647,49	7466,43	30
8	Cidade de Deus	43 21 44	22 56 42	667,91	7461,59	15
9	São Cristóvão	43 13 18	22 53 48	682,39	7466,81	25
10	Grajaú	43 16 04	22 55 25	677,62	7463,77	80
11	Grota Funda	43 31 08	23 00 52	651,76	7454,06	10
12	Guaratiba	43 34 40	23 03 08	645,70	7449,95	0
13	Ilha do Governador	43 12 36	22 49 03	683,87	7475,52	0
14	Irajá	43 20 12	22 49 17	670,74	7474,68	20
15	Itanhangá	43 18 08	22 59 54	674,20	7455,42	80
16	Itaúna	43 25 29	23 00 33	661,43	7454,57	65
17	Jardim Botânico	43 13 24	22 58 20	682,09	7458,38	0
18	Laranjeiras	43 11 14	22 56 15	685,92	7462,18	60
19	Madureira	43 20 20	22 52 20	670,38	7469,60	45
20	Mendanha	43 31 24	22 49 25	651,58	7475,21	736
21	Penha	43 16 28	22 50 37	677,03	7472,69	111
22	Piedade	43 18 31	22 53 28	673,49	7467,47	72
23	Riocentro	43 24 42	22 58 30	662,79	7458,31	0
24	Santa Cruz	43 41 04	22 54 44	634,80	7466,08	15
25	Santa Teresa	43 11 47	22 55 52	684,94	7462,91	170
26	São Conrado	43 15 29	22 59 52	678,54	7455,61	75
27	Saúde	43 11 39	22 5350	685,21	7466,69	35
28	Sepetiba	43 42 42	22 58 06	632,60	7459,35	62
29	Sumaré	43 14 09	22 57 03	681,42	7460,87	768
30	Tanque	43 21 59	22 54 37	667,53	7565,45	73
31	Tijuca	43 13 18	22 55 54	682,33	7462,90	340

3.1 Climatologia da Precipitação sobre o Município do Rio de Janeiro

A Figura 3.1 apresenta a análise do total pluviométrico anual sobre a cidade do Rio de Janeiro. Nota-se que os máximos de precipitação localizam-se sobre os três maciços existentes na cidade: Maciço da Tijuca (Serra da Carioca – 2200 mm), Maciço de Gericinó (Serra do Mendanha – 1400 mm) e Maciço da Pedra Branca (Serra Geral de Guaratiba –

pluviométricos (respectivamente 132, 137 e 134 mm) são ligeiramente inferiores aos observados na Zona Norte (Tanque, Madureira, Piedade, Cachambi e Grajaú, respectivamente 142, 148, 150, 148 e 145 mm), o que só ocorre nesta estação do ano. Isto pode estar relacionado ao caráter convectivo da precipitação na Zona Norte durante o verão, onde é maior o aquecimento local nesta estação.

No inverno (Figura 3.2b), estação seca ocorre um máximo de 120 mm na Serra da Carioca, e outros três máximos de 60 mm na Serra do Mendanha, na Serra Geral de Guaratiba e na estação Riocentro. Valores inferiores a 50 mm são registrados em toda a Zona Norte e parte da Zona oeste da cidade, destacando-se o total de precipitação de apenas 29 mm na Penha e Irajá.

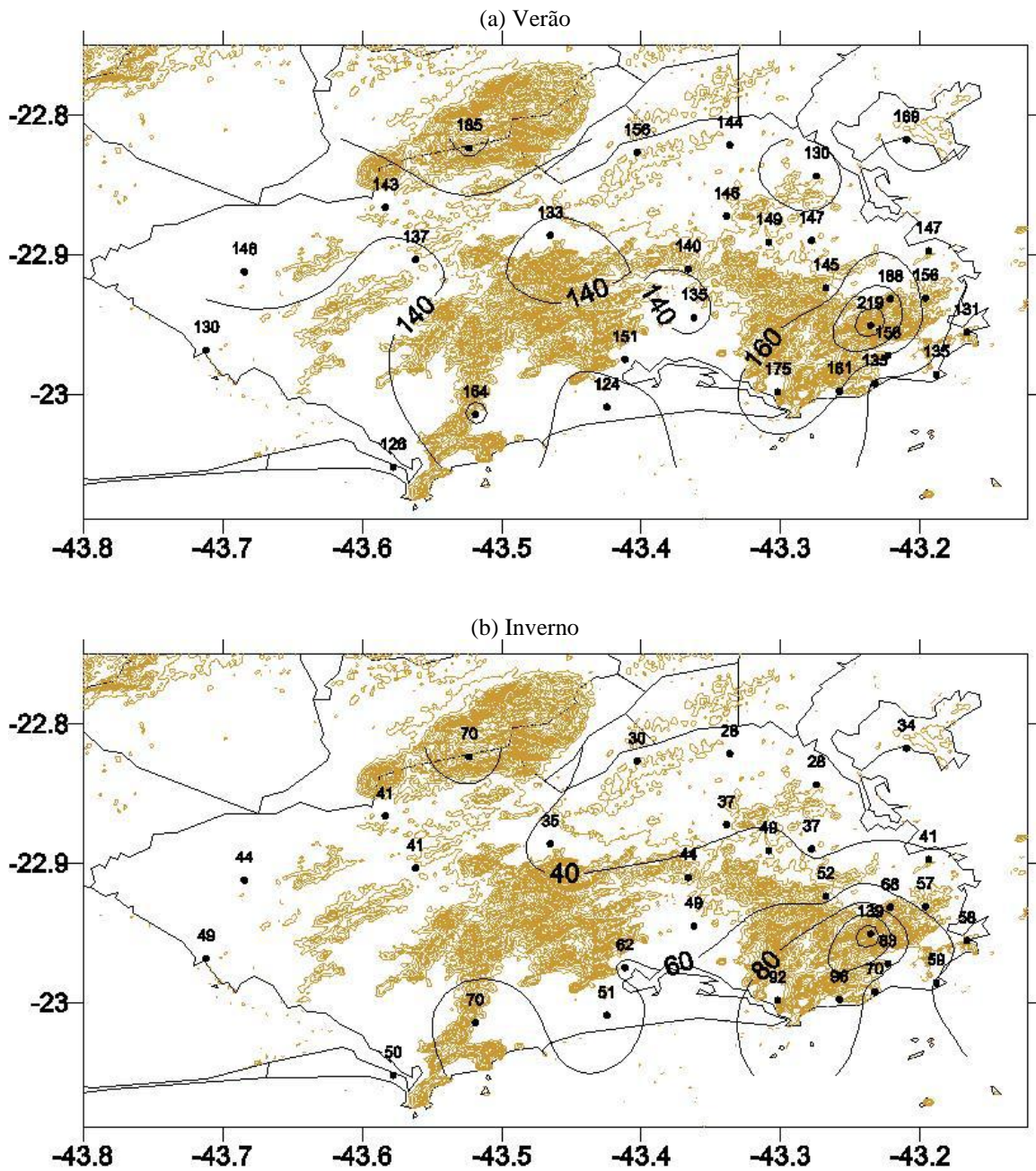


Figura 3.2 – Totais pluviométricos mensais (a cada 20 mm) sobre a cidade do Rio de Janeiro, valores médios nas estações (a) verão (DJF) e (b) inverno (JJA). A topografia é apresentada em isolinhas a cada 50 m de altitude.

Para analisar a distribuição da precipitação ao longo do ano (Figura 3.3), foram selecionadas cinco estações pluviométricas (Sumaré, Mendanha, Grota Funda, Santa Cruz e

Penha) representativas, respectivamente das regiões localizadas na Serra da Carioca, Serra do Mendanha, Serra Geral de Guaratiba, “Baixada” e Zona Norte. Os resultados indicam que de forma geral, ao longo do ano, a precipitação é maior de novembro a janeiro, decaindo de março até junho, quando se verifica um mínimo anual. Um aumento gradual da precipitação incia-se em agosto, atingindo novamente o máximo em janeiro. A elevação da precipitação em julho (valores maiores do que junho e agosto) não está de acordo com as climatologias dos períodos 1931-1960 e 1961-1990 para as estações do Instituto Nacional de Meteorologia, localizadas no município do Rio de Janeiro. Tal aspecto deve estar associado ao reduzido número de anos desta climatologia. (1997-2005). A estação do Sumaré destaca-se em relação às demais, com elevados índices pluviométricos durante todo o ano. Seus totais pluviométricos mensais são inferiores apenas aos do Itanhangá, em janeiro e do Mendanha e da Tijuca (não mostrado), em fevereiro. Em setembro por exemplo, a precipitação no Sumaré chega a ser 75% maior do que no Itanhangá (não mostrado), que é o segundo local mais chuvoso naquele mês, e seis vezes maior do que na Penha (local menos chuvoso em setembro).

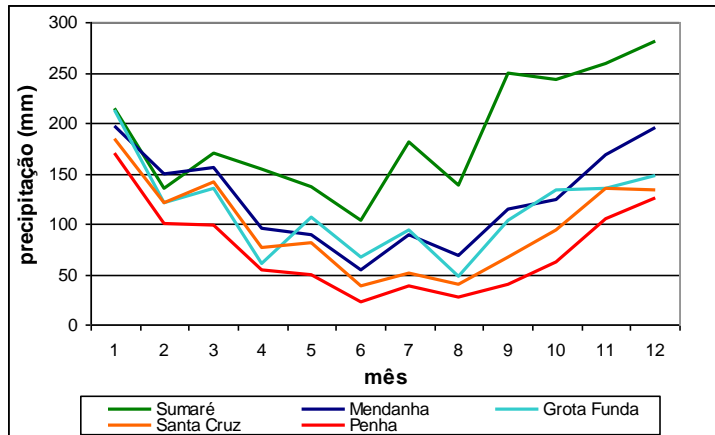


Figura 3.3 – Totais pluviométricos médios mensais (mm) nas estações pluviométricas do Sumaré, Mendanha, Grota Funda, Santa Cruz e Penha.

3.2 A Precipitação no período 2004-2005

Comparando-se os totais pluviométricos observados no período 2004-2005 com a climatologia da precipitação (1997-2005) das estações da Geo-Rio, nota-se que os meses de

abril e julho de 2004 e 2005 apresentaram anomalias positivas de precipitação. A Fig. 3.4 apresenta apenas os resultados para a estação Penha.

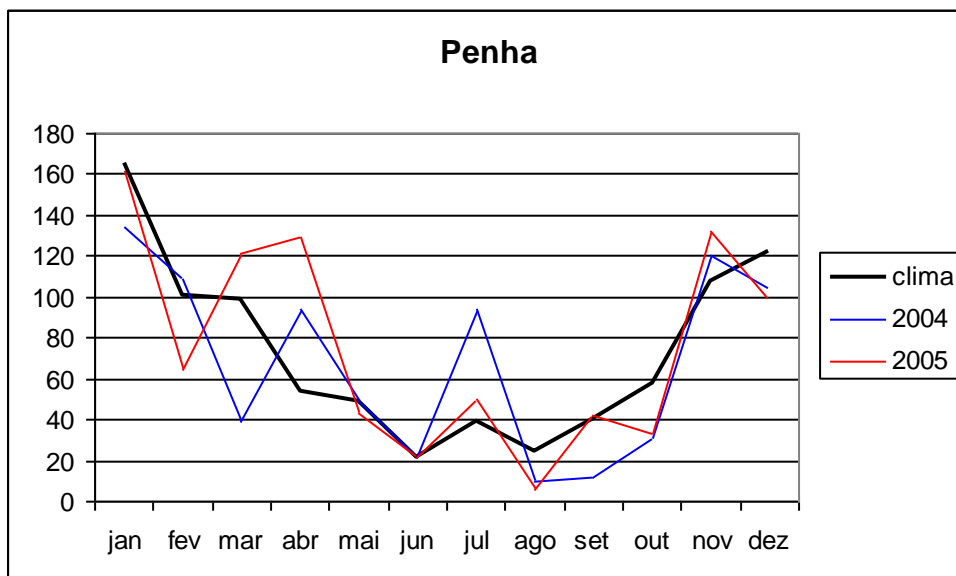


Figura 3.4 – Totais pluviométricos (mm) acumulados mensalmente na estação pluviométrica da Penha para os anos de 2004 e 2005 e para a climatologia do período 1997-2005.

O Informativo Infoclima do CPTEC/INPE (<http://www.cptec.inpe.br/infoclima>) confirma tais anomalias positivas de precipitação na Região Sudeste do Brasil. De acordo com este informativo, em abril de 2004 ocorreram chuvas isoladas que totalizaram valores acima da média histórica em quase toda a região. Em julho do mesmo ano, dos seis sistemas frontais que atuaram no país, quatro atingiram a Região Sudeste. As frentes foram mais frequentes na primeira quinzena do mês de julho de 2004, quando apresentaram rápido deslocamento meridional e favoreceram a ocorrência de chuvas no Sudeste do Brasil. Em abril de 2005 as chuvas ocorreram em forma de pancadas, com queda de granizo em algumas localidades variando entre 50 mm e 250 mm em toda Região. No Rio de Janeiro choveu acima da média histórica com valor médio igual a 122,4 mm. Em julho de 2005 as chuvas estiveram ligeiramente acima da média histórica no Rio de Janeiro em decorrência da atuação das frentes frias e os totais acumulados variaram entre 50 mm e 100 mm.

4. Dados e Metodologia

Neste capítulo são descritas as características principais das fontes de dados de precipitação utilizadas neste trabalho (Hidroestimador do CPTEC, TRMM, GPCP e Reanálise do NCEP/NCAR) e dos dados observacionais da Geo-Rio utilizados para avaliação. As técnicas empregadas para efetuar as avaliações subjetiva e objetiva de todas as fontes de dados anteriormente mencionadas também são apresentadas.

4.1 Dados Avaliados

4.1.1 Hidroestimador do CPTEC

O Hidroestimador do CPTEC é uma adaptação do Hidroestimador utilizado pela National Environmental Satellite, Data and Information Service (NEDIS; Vicente et al., 2001).

Este modelo passou por diversas modificações e para ser implementado operacionalmente na Divisão de Satélites Ambientais (DSA) foi inteiramente adaptado para as condições e estruturas da precipitação sobre a América do Sul (Vila, 2001). O Hidroestimador da NESDIS, por sua vez, foi desenvolvido a partir de uma técnica automatizada chamada de Auto-estimador (Vicente et al., 1998).

Neste item são descritas as técnicas do Auto-estimador e do Hidroestimador.

4.1.1.1 Auto-estimador

O Auto-estimador inicialmente calcula as taxas de precipitação baseado numa relação de regressão não linear entre temperatura do topo das nuvens e estimativas de precipitação feitas através de radar. O uso da relação entre a temperatura do topo das nuvens e taxas de precipitação foi proposta no estudo de Gagim et al. (1985) e utilizada por Martin et al.

(1990) e Goodman et al. (1994). A seguir o modelo utiliza informações de umidade relativa (RH) e água precipitável (PW) geradas pelo modelo Eta, do NCEP, para analisar a umidade do ambiente e com isso ajustar as taxas de chuva. Esta metodologia foi inicialmente proposta por Wylie (1979) e Scofield e Oliver (1980). Finalmente, são realizados dois testes adicionais para monitorar pixels sem chuva. O primeiro teste baseia-se no trabalho de Woodley et al. (1972), onde é assumido que a chuva está associada com nuvens em crescimento cujos topos atingem a troposfera (overshooting tops). Imagens de satélite no canal infravermelho (IR) consecutivas (a cada meia hora) são usadas para indicar sistemas de nuvens em crescimento e dissipação. No segundo teste é feita, na ausência dessas imagens de satélite, uma análise diferencial finita da temperatura do topo das nuvens em uma única imagem IR para ser usada como fator de correção do gradiente de temperatura. Este fator identifica topos de nuvens que atingem a troposfera e áreas de subsidência com núcleo quente dentro do sistema de nuvens. Adler e Negri (1988) aplicaram a análise do gradiente espacial de temperatura para remover nuvens finas tipo cirrus não precipitantes, e desta forma diferenciar nuvens convectivas de estratiformes.

a) Taxa de precipitação x temperatura do topo da nuvem

Para se obter as taxas de precipitação, inicialmente foi utilizado um ajuste entre estimativas instantâneas de chuva feitas por radar e medições da temperatura de brilho do topo da nuvem obtidas por imagens de satélite IR. A relação foi calculada usando pares de imagens IR do satélite Geostationary Operational Environmental Satellite – 8 (GOES-8) com resolução espacial de 4 km e estimativas instantâneas de chuva da rede operacional de radares meteorológicos de 5 e 10 cm na parte central das Grandes Planícies nos Estados Unidos e áreas adjacentes ao Golfo do México. A razão de conversão da reflectância para chuva do radar é baseada na relação $Z - R$.

$$Z = 300R^{1.4} \quad (4.1)$$

onde Z é a refletividade e R a taxa de precipitação. Esta relação foi usada durante os experimentos do Experimental Meteorology Laboratory (EML; Woodley, 1970).

O primeiro conjunto de observações, coletados durante os meses de março a junho de 1995, foi composto por 120 pares de imagens IR de temperatura do topo das nuvens e estimativas de chuva feitas por radar com resolução espacial de 4 km, sendo somente considerado sistemas de chuva convectiva. Cada par de imagens IR-radar tinha uma defasagem temporal menor que 10 minutos e erro de navegação de 5 a 10 km. Uma busca automatizada, seguida de uma análise manual, foi realizada para selecionar 32 pares de imagens que mostram claramente núcleos convectivos delineados na imagem IR e na imagem de radar correspondente (Vicente, 1996). Foram usadas tanto imagens no canal do IR como no canal do visível para coincidir a maior taxa de chuva com o topo da nuvem mais fria no IR, dentro de uma grade de 60 km x 60 km. Este procedimento ajuda a minimizar os erros localizados devido às diferenças no tempo e na navegação entre as imagens IR e de radar. Depois de analisar muitos sistemas convectivos por vários dias, foram extraídos de 16 pares de imagens, 6800 pixels de temperaturas do topo das nuvens, localizados nas imagens IR e suas correspondentes estimativas de chuva por radar. Esta série de dados foi utilizada para calcular a curva de regressão. O resultado da comparação entre as estimativas médias por radar a cada intervalo de temperatura de 1 Kelvin entre 195 e 260 K, é mostrado na Figura 4.1. Os pontos representam a chuva média no radar e a curva sólida representa o ajuste da regressão dado por

$$R = 1,1183 \times 10^{11} \exp(-3,6382 \times 10^{-2} T^{1,2}) \quad (4.2)$$

onde R é a taxa de precipitação, em milímetros por hora e T é a temperatura de brilho do topo da nuvem, em Kelvin. Os pixels de chuva e sem chuva são considerados no cálculo do ajuste da regressão.

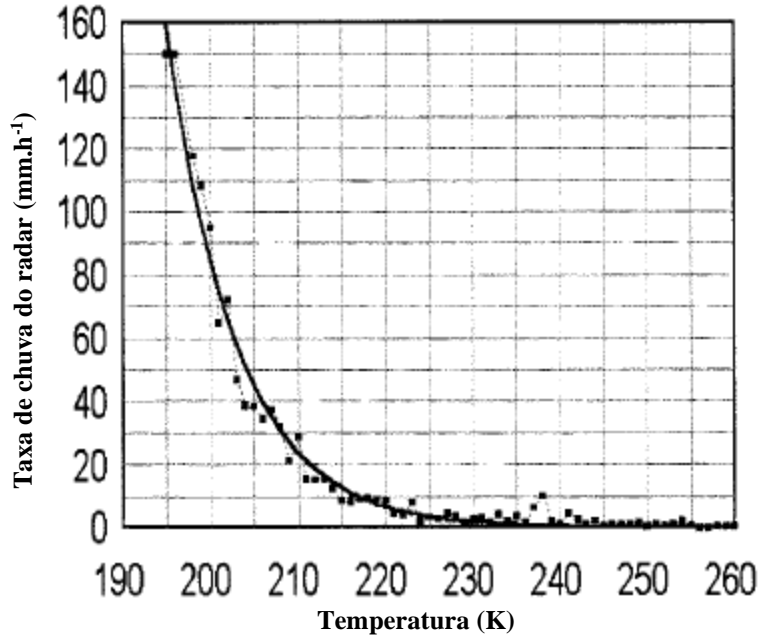


Figura 4.1 – Estimativa média de precipitação para cada temperatura calculada por pares de estimativas de precipitação por radar e temperatura no IR do topo da nuvem (curva pontilhada). Ajuste de potência entre as estimativas de radar e temperatura do topo da nuvem (curva cheia) (Fonte: Modificado de Vicente et al., 1998).

b) Fator de correção da umidade

A relação entre temperatura do topo da nuvem e taxa de precipitação varia com o tipo de tempestade, estação do ano, localidade, ambientes em baixos níveis, e muitos outros fatores. Ao invés de procurar uma curva diferente para cada tipo de situação, é mais prático calibrar uma relação genérica com mais informações do que apenas a temperatura do topo da nuvem. A curva exponencial usada neste experimento é inadequada para representar a chuva sobre todos os Estados Unidos durante o ano, pois há uma certa tendência em superestimar as taxas de precipitação em ambientes mais secos e subestimá-las em ambientes mais úmidos. Este problema foi discutido por Scofield (1987), que propôs a utilização de um fator de correção de umidade definido como o produto de água precipitável (PW), em polegadas de água, na camada que vai da superfície até o nível de 500 mb, pela umidade relativa (RH), em porcentagem, (valores médios entre a superfície e o nível de 500 mb), obtidas por radiossonda coletadas duas vezes ao dia (PWRH). O fator PWRH é empiricamente normalizado, variando de 0 a 2, e o ambiente é considerado seco

se o fator for significativamente abaixo de 1 (tempestades com bases altas) e úmido se o fator for acima de 1 (tempestades com bases baixas). Este fator diminui as taxas de precipitação em ambientes muito secos e as aumenta em ambientes muito úmidos. Entretanto, observa-se na curva da Figura 4.1, que se a temperatura for menor que 210 K, uma pequena redução na temperatura causará um rápido aumento na taxa de precipitação, pois a curva de regressão entre temperatura do topo da nuvem e a estimativa de precipitação por radar foi desenvolvida para sistemas convectivos intensos, podendo ser contaminado por granizo, de modo que a taxa de precipitação no radar seja alta. Por exemplo, de 220 a 210 K, a taxa de precipitação muda de 7 para 25 mm.h⁻¹, e de 210 a 200 K, muda de 25 para 83 mm.h⁻¹. Houve poucas situações observadas nos Estados Unidos em que a taxa de precipitação excedeu 72 mm.h⁻¹, não havendo necessidade de aumentar as taxas de precipitação para temperaturas menores que 210 K, mas sim diminuí-las quando o ambiente for seco ($PWRH < 1$). Baseando-se nestas justificativas, os seguintes critérios são aplicados:

- Se $T < 210$ K e $PWRH > 1$, a umidade do ambiente já é muito alta, e a taxa de precipitação calculada não deve ser multiplicada pelo fator de correção $PWRH$.
- Se $T < 200$ K, a taxa de precipitação deve ser limitada a 72 mm.h⁻¹, aproximadamente a taxa máxima de precipitação encontrada (nos EUA) em uma grade de 4 km x 4 km.

c) Fator de correção da taxa de crescimento da nuvem

Assumindo que as taxas de chuva podem ser calculadas através de uma curva de regressão e ajustadas a diferentes ambientes com o fator de correção de umidade, a próxima etapa enfatiza o problema de distinguir o que é chuva e o que não é. De acordo com Woodley e Sancho (1971), aproximadamente 90% da precipitação é produzida por apenas 50% da área da nuvem, com isso o uso somente da temperatura de topo das nuvens de imagens IR para estimativas de precipitação, sem a evolução da nuvem, resultará numa área excessiva de chuva. Um sistema convectivo é mais ativo e produz as maiores taxas de precipitação quando os topos se tornam mais frios e estão em expansão (Woodley et al., 1975; Griffth et

al., 1978; Scofield e Oliver, 1977). Além disso, a partir dos pixels localizados em duas imagens IR consecutivas pode-se detectar porções de tempestades ativas ou enfraquecidas que se tornam mais frios, quentes, ou se mantêm com a mesma temperatura.

Baseado na conclusão de Woodley (1972) e Scofield (1987) de que nuvens em dissipação, ou com topos frios que se tornam mais quentes, produzem pouca ou nenhuma chuva, a taxa de precipitação calculada através da curva de regressão é modificada de acordo com o seguinte:

- Se os pixels mais frios na primeira imagem IR se tornam mais frios na segunda imagem, o sistema convectivo está se intensificando e os pixels na primeira imagem estão associados a taxas de precipitação mais intensas. Neste caso, a taxa de precipitação calculada pela curva de regressão permanece a mesma.
- Se os pixels mais frios na primeira imagem IR se tornam mais quentes na segunda imagem, o sistema convectivo está se dissipando e o movimento vertical ascendente se enfraquecendo. Neste caso, a taxa de precipitação é ajustada para zero naqueles pixels.
- Se não houve mudanças na temperatura do topo da nuvem em duas imagens consecutivas (sem enfraquecimento ou crescimento em um intervalo de tempo correspondente a meia hora), a taxa de precipitação calculada pela curva de regressão não se altera.

Portanto, o fator de correção do crescimento será 0 ou 1, atuando como uma máscara para selecionar os pixels com chuva. O fator de correção da taxa de crescimento atua como um diferenciador de chuva e não-chuva, sem alterar a magnitude das taxas de precipitação.

d) Correção do gradiente de temperatura do topo da nuvem

Para ser eficiente como um diferenciador de chuva e não-chuva, o fator de correção da taxa de crescimento depende da disponibilidade de duas imagens consecutivas num intervalo de meia hora. Entretanto, em algumas circunstâncias apenas uma imagem de satélite IR é

disponibilizada em um período de 2 a 3 horas, o que é muito comum durante o período de eclipse do satélite ou quando há problemas de transmissão dos dados, o que pode ser um obstáculo para uma técnica de estimativa de precipitação que funciona em tempo real. Devido à alta resolução das imagens IR, muitas informações podem ser extraídas sobre o gradiente de temperatura do topo das nuvens em somente uma imagem.

O conceito de diferença finita é usado para localizar as temperaturas máxima e mínima dentro de uma grade de 3 x 3 ou de 5 x 5 pixels. A idéia é assumir que os pixels que estão acima da altura média da superfície do topo da nuvem (temperatura local mínima) apresentam atividade convectiva ativa associada à precipitação. Como resultado, o procedimento consiste em procurar pelos topos de nuvens mais altos (mais frios) e mais baixos (mais quentes) dentro de uma área de 3 x 3 pixels centrada no ponto $P_o = (x_o, y_o)$. Se a superfície do topo da nuvem é definida por $T = T(x, y)$, onde T é a temperatura do topo da nuvem como função das coordenadas x e y , pode-se encontrar os máximos e mínimos analisando a primeira e a segunda derivada de T . As segundas derivadas de T no ponto ou pixel $P_o = (x_o, y_o)$ são dadas por:

$$T''_{x/x=x^o} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2_{x=x^o}} \quad (4.3)$$

$$T''_{y/y=y^o} = \frac{\partial^2 T}{\partial y^2_{y=y^o}} \quad (4.4)$$

$$T''_{x/x=x^o, y/y=y^o} = \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial y_{x=x^o, y=y^o}} \quad (4.5)$$

e o termo H é dado por

$$H = (T''_{x/x=x^o})(T''_{y/y=y^o}) - (T''_{x/x=x^o, y/y=y^o}) \quad (4.6)$$

Logo, P_o é caracterizado do seguinte modo:

- Se $H > 0$ e $\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \Big|_{x=x_0} \right) < 0 \rightarrow$ máximo,
- Se $H > 0$ e $\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \Big|_{x=x_0} \right) > 0 \rightarrow$ mínimo,
- Se $H < 0 \rightarrow$ não é máximo nem mínimo,
- Se $H = 0 \rightarrow$ não é conhecido.

Usando estas informações, a taxa de precipitação derivada da curva da Figura 4.1 é ajustada de acordo com o seguinte:

- Se P_0 é um máximo, indicando um topo de nuvem alto com P_0 mais frio que os pixels vizinhos, a taxa de precipitação dada pela curva não se altera.
- Se P_0 é um mínimo, indicando um topo de nuvem relativamente baixo com P_0 mais quente que os pixels vizinhos, a taxa de precipitação é zero.
- Se P_0 não é nem máximo nem mínimo, indicando P_0 na mesma altura que seus vizinhos, a taxa de precipitação é zero.
- Se P_0 não pode ser definido, todo o processo é repetido utilizando pixels em uma grade de 5 x 5 pixels.

O fator de correção do gradiente de temperatura do topo da nuvem será 0 ou 1 e atua como uma máscara para selecionar pixels com chuva.

4.1.1.2 Hidroestimador

As precipitações convectiva e estratiforme são produzidas por mecanismos de movimento ascendente distintos, resultando em diferenças na estrutura vertical e horizontal da nuvem para a precipitação de uma dada intensidade. Para se levar em conta parcialmente estas diferenças, o Hidroestimador diferencia a precipitação entre “núcleo convectivo” e “sem núcleo convectivo” (baseados empiricamente ao invés das definições físicas) e assume que

a taxa de precipitação é uma combinação das duas dependendo das características espaciais próximas à massa de nuvem.

A precipitação dos núcleos convectivos é relacionada à temperatura de brilho do topo da nuvem (T) através de uma equação que é similar a Eq.(4.2), usada no Auto-estimador, pois a calibração original usada por Vicente et al. (1998) se focou em núcleos convectivos. Em vez de um valor fixo para o multiplicador ($1,1183 \times 10^{11}$) e um ajuste multiplicativo para T na exponencial ($-3,6382 \times 10^{-2}$), esses valores são ajustados para uma taxa de chuva de $0,5 \text{ mm.h}^{-1}$ quando a temperatura de brilho é 240 K e para T igual a 210 K, a taxa de chuva é relacionada ao valor de PW do modelo Eta, segundo a função mostrada na Figura 4.2a. A altura máxima da taxa de precipitação é dada pela água precipitável (em polegadas) multiplicada por 40 mm.h^{-1} , atribuída à idéia de que a taxa de precipitação máxima deve ser função da umidade disponível. Se a taxa de chuva próxima ao pixel mais frio for mais alta do que este máximo teórico, os coeficientes da curva da taxa de precipitação são recalculados baseando-se nos valores de $0,5 \text{ mm.h}^{-1}$ para a taxa de chuva e de 240 K para a temperatura de brilho, e no valor máximo teórico da temperatura mais baixa das vizinhanças do pixel. Curvas experimentais são mostradas na Figura 4.2b. Para este exemplo, assume-se que a temperatura de brilho mais baixa nas vizinhanças do pixel é 195 K, apenas por simplicidade.

Para a precipitação “sem núcleo convectivo”, a taxa de precipitação máxima (R_{max}) é também função da água precipitável, e a equação da taxa de precipitação é uma relação linear da temperatura de brilho (T) que é ponderada por R_{max} :

$$R_s = (250 - T) * \frac{R_{\text{max}}}{5} \quad (4.7)$$

Este valor não pode exceder 20% da taxa de precipitação convectiva correspondente ou 12 mm.h^{-1} , o que é considerado baixo (Fig.4.2c).

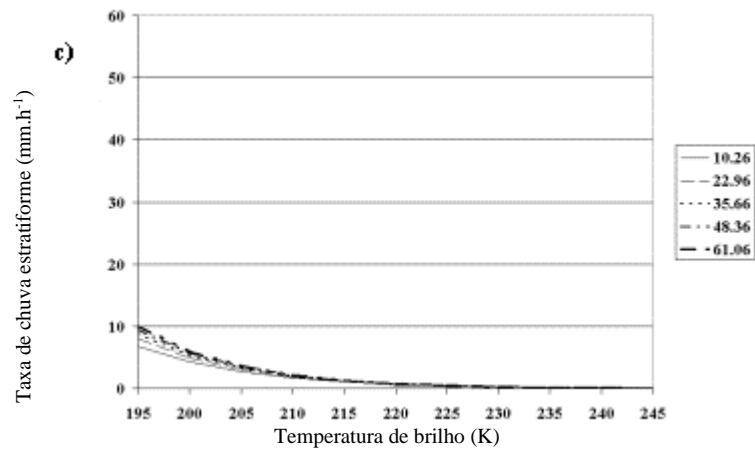
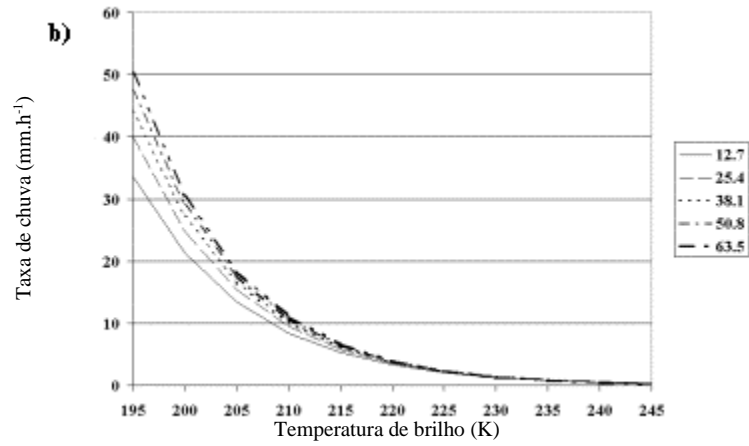
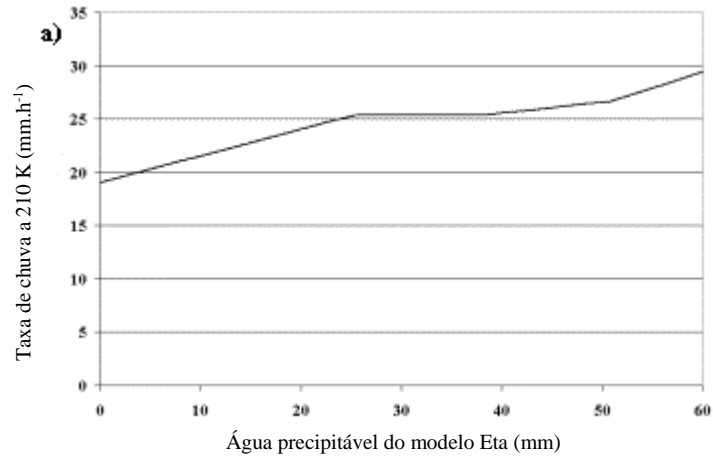


Figura 4.2 – Funções ajustadas utilizadas no Hidroestimador: (a) Taxa de precipitação a uma temperatura de 210 K (mm.h^{-1}) em função da água precipitável (mm) do modelo Eta que é usada para produzir a relação de temperatura de brilho e taxa de precipitação; (b) A relação de temperatura de brilho e taxa de precipitação para diversos valores de água precipitável (mm) para a chuva “núcleos convectivos”; e (c) A relação correspondente para a precipitação “sem núcleos convectivos”. A legenda em (b) e (c) indicam os valores de água precipitável correspondentes a cada curva. (Fonte: Modificado de Kuligowski, 2004).

A presença ou ausência de precipitação e sua intensidade são função do grau em que um determinado pixel é considerado “núcleo convectivo” ou “sem núcleo convectivo”, que é baseado nas características da região ao redor do pixel de interesse, sendo determinado em diversas etapas, depois inicia-se a eliminação dos pixels que são considerados quentes demais para produzir alguma precipitação significativa.

O Primeiro passo implica em determinar a temperatura mínima (T_{\min}) de uma caixa de 101 x 101 pixels centrada no pixel de interesse. Esta temperatura mínima é utilizada para obter o raio exato da região de interesse. Quando T_{\min} apresenta valores baixos o núcleo convectivo é grande e, portanto a área de interesse será extensa, enquanto que valores altos resultam numa área de interesse menor.

O segundo passo determina a presença ou ausência de precipitação e a fração relativa da chuva que é “núcleo convectivo” e “sem núcleo convectivo” para o pixel de interesse baseada em como as suas temperaturas se comparam com as suas vizinhanças. Isto é feito calculando a média (μ) e o desvio padrão (σ) da temperatura de brilho (T) dentro do raio selecionado anteriormente e comparando a T do pixel a estes valores de acordo com a seguinte equação:

$$Z = \frac{\mu - T}{\sigma} \quad (4.8)$$

Se Z apresentar valores negativos, ou seja, o pixel é mais quente do que a média ao seu redor, a taxa de precipitação é considerada zero, supondo que tais pixels são cirrus ou nuvem convectivamente inativa. Para valores positivos de Z , entre 0 e 1,5, a fração “núcleo convectivo” é relacionada a Z e a “sem núcleo convectivo” a $(1,5 - Z)$, tal que a

taxa de precipitação final R pode ser calculada a partir da taxa “núcleo convectivo” (R_c) e da taxa “sem núcleo convectivo” (R_n) como mostrado abaixo:

$$R = \frac{R_c * Z^2 + R_n * (1,5 - Z)^2}{Z^2 + (1,5 - Z)^2} \quad (4.9)$$

resultando em chuva puramente convectiva (precipitação “núcleo convectivo”) para topos frios ($Z = 1,5$) e puramente estratiforme (precipitação “sem núcleo convectivo”) para topos quentes (no valor médio para $Z = 0$), e uma mistura dos dois para valores intermediários.

Sistemas tipicamente convectivos têm diversos mínimos de temperatura de brilho, e aquele único raio é impróprio para diferenciar o local dos mínimos globais. Com isso, este mesmo cálculo da taxa de precipitação é realizado para raios pequenos, e a taxa de precipitação final é a raiz quadrada do produto das duas taxas. Não se considera o cálculo da taxa de precipitação final em casos onde a taxa de precipitação calculada para raios pequenos é igual à zero.

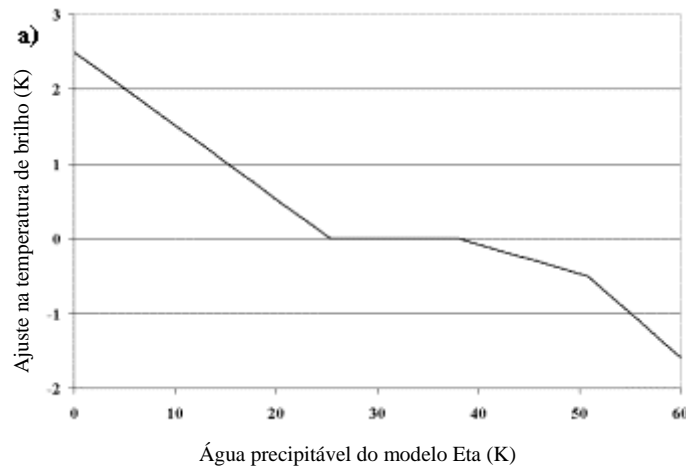
Além de descrever as diferenças nos mecanismos de precipitação, esta aproximação tem o benefício de ser mais robusta do que o Auto-estimador em distinguir a precipitação de um cumulonimbus da precipitação de um cirrus fino. Ambos os tipos de nuvem podem produzir valores de temperatura de brilho similares para um dado pixel, assim o Auto-estimador como foi visto na seção 4.2.1, utiliza as mudanças na temperatura de brilho entre sucessivas imagens para diferenciar cumulonimbus de cirrus, entretanto, as mudanças de temperatura em um pixel particular devido ao movimento da nuvem mascaram frequentemente as mudanças reais em uma determinada parcela da nuvem, resultando na eliminação da chuva num cumulonimbus ou no acúmulo de taxas não nulas associadas à cirrus.

a) Ajustes na umidade disponível e na evaporação sub-nuvem

O Hidroestimador se baseia no fator de correção de umidade utilizada no Auto-estimador (seção 4.1.1.1b), só que com uma correção fisicamente mais realística, para isto aplicam-se as correções de PW e RH separadamente.

A água precipitável se torna um fator de umidade disponível, e a curva da taxa de precipitação é ajustada para cima ou para baixo baseada no valor de PW , além disso, os valores de temperatura de brilho são ajustados de acordo com o valor de PW , resultando num pequeno aumento (redução na taxa de precipitação) em ambientes secos, e um decréscimo (elevação na taxa de precipitação) em ambientes onde PW é alto (Fig. 4.3a).

O fator RH foi modificado de um efeito multiplicativo para um subtrativo, tal que uma quantidade fixa de precipitação evapora antes de alcançar a superfície, ao invés de remover uma fração da chuva que precipita. Ajusta-se minimamente RH do modelo Eta para descrever a chuva que precipita (Fig. 4.3b), e posteriormente faz-se uma subtração na taxa de precipitação baseada no valor de RH , como é mostrado na Fig. 4.3c.



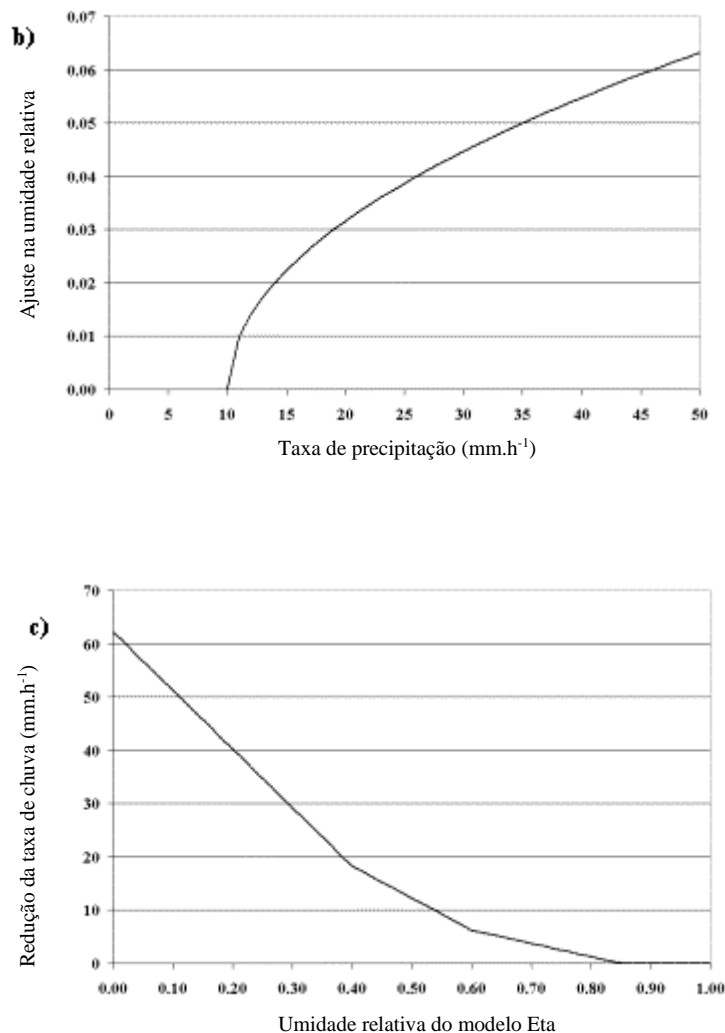


Figura 4.3 – Funções adicionais dos ajustes do Hidroestimador: (a) Ajuste na temperatura de brilho (K) em função da água precipitável do modelo Eta (mm); (b) Aumento da umidade relativa do modelo Eta em função da taxa de precipitação do Hidroestimador (mm.h^{-1}); (c) Redução da taxa de precipitação do Hidroestimador (mm.h^{-1}) em função do ajuste na umidade relativa do modelo Eta. (Fonte: Modificado de Kuligowski, 2004).

b) Ajustes de outros parâmetros

O ajuste do equilíbrio convectivo introduzido à versão do Auto-estimador descrita em Scolfield (2001), foi também incluído ao Hidroestimador. Este ajuste foi inicialmente desenvolvido para acentuar a chuva em regiões onde o nível de equilíbrio convectivo é baixo demais (em altura) para desenvolver topos de nuvem muito frios. Utilizam-se perfis de temperatura e temperatura do ponto de orvalho do modelo Eta para determinar a

temperatura de equilíbrio convectivo para um dado pixel. Se este valor exceder 213 K, o ajuste no topo da nuvem quente é realizado pelos 90% da diferença entre a temperatura de equilíbrio exata e 213 K, que é subtraído de T (somente em pixels mais quentes que a temperatura no nível de equilíbrio) ao calcular a taxa de precipitação, com um tampão de 25 K no valor do ajuste.

A versão do Hidroestimador para esta correção adiciona informações das vizinhanças do pixel. Se o topo mais frio da nuvem dentro da região de interesse não for mais de 10 K mais frio do que o nível de equilíbrio (isto é de acordo com o nível de equilíbrio convectivo dado às diferenças de escala entre os pixels do GOES e a grade espacial do Eta), utiliza-se a temperatura mínima dentro da região de interesse ao invés da temperatura do pixel para se determinar o ajuste. Em caso contrário, assume-se que a temperatura no nível de equilíbrio do modelo Eta é bastante quente e o ajuste diminui para 60% da diferença entre a temperatura de equilíbrio exata e 213 K, com um tampão de 15 K.

Os ajustes para a orografia e paralaxe, que são descritos com mais detalhes em Vicente et al. (2002), foram adicionados ao Hidroestimador. O ajuste para a orografia é realizado utilizando dados de ventos e de topografia de um modelo de elevação digital com uma resolução de 4 km para obter desta forma a componente vertical do vento, onde é feito um ajuste multiplicativo em sua escala. A correção de paralaxe, também descrita com mais detalhes em Vicente et. al (2002), ajusta a localização horizontal do pixel anterior baseada na altura da nuvem (estimada de T e da U.S. Standard Atmosphere) e do ângulo zenital do satélite.

O ajuste para o ângulo zenital do satélite também foi introduzido à versão do Autoestimador descrita em Scolfield (2001), assim como ao Hidroestimador. O caminho ótico (e, portanto, a atenuação atmosférica da radiação) aumenta com o ângulo zenital do satélite, valores muito baixos de T podem ocorrer próximos a borda da varredura do satélite, superestimando consideravelmente a taxa de precipitação, já que a taxa de chuva do Autoestimador é altamente sensível a T em temperaturas baixas. Uma técnica desenvolvida por Joyce et al. (2001) utiliza informações de latitude, estação do ano, ângulo zenital do satélite

e T para corrigir estes efeitos. A Figura 4.4 mostra a aplicação desta técnica na região noroeste do Pacífico, comparando as imagens GOES-8 antes (Fig. 4.4a) e depois (Fig. 4.4b) do ajuste no ângulo zenital do satélite, e também com a imagem GOES-10, que possui um ângulo de incidência maior do que a imagem GOES-8 para esta faixa de latitude (em torno de 115 a 125 W). A imagem GOES-8 ajustada se parece mais com a imagem GOES-10 do que com a imagem GOES-8 sem os ajustes no ângulo zenital do satélite.

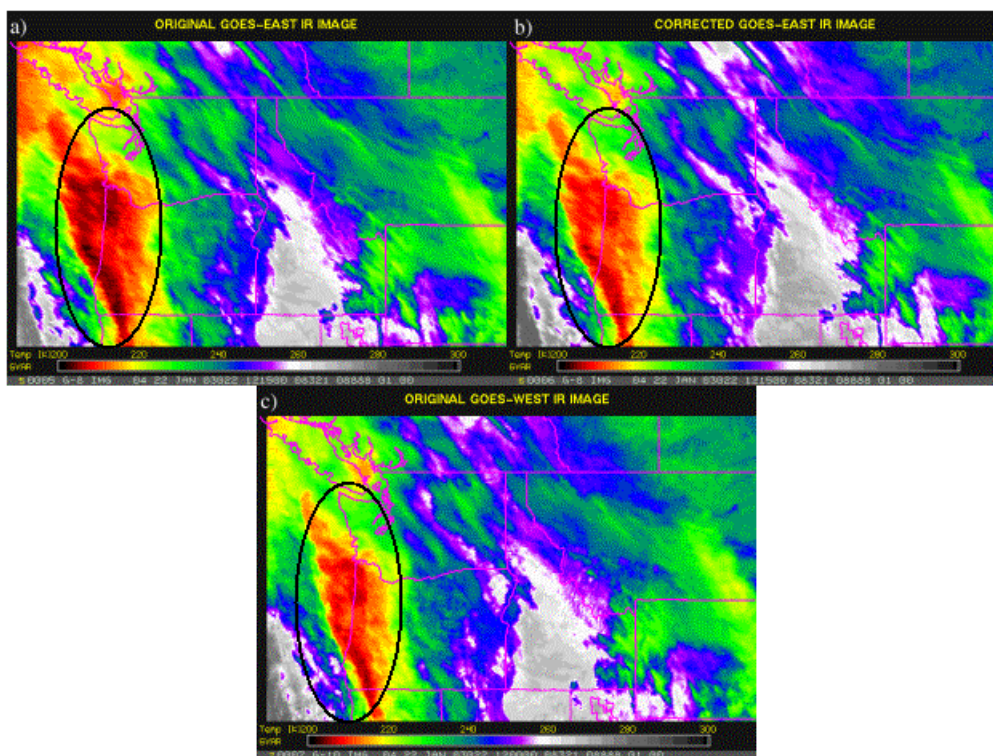


Figura 4.4 – Comparação da imagem GOES-8 (leste) sobre o noroeste do Pacífico: (a) antes do ajuste no ângulo zenital e (b) depois do ajuste, comparando com (c) as imagens GOES-10 (oeste). Todas as imagens são do dia 22 de janeiro de 2003 as 12:15 UTC. (Fonte: Kuligowski, 2004).

4.1.2 TRMM

O Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) é uma missão conjunta entre a National Aeronautics and Space Administration (NASA) e a Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) e foi lançada em 27 de novembro de 1997, com o objetivo específico de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, além de verificar como a mesma influencia o clima global (Kummerow et al., 2000).

Os instrumentos a bordo do TRMM são o imageador de microondas do TRMM (TMI), o radar de precipitação (PR), o sistema de radiômetro no visível e infravermelho (VIRS), o sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens (CERES), e o sensor de imageamento de relâmpagos (LIS), que permite investigar a distribuição e variabilidade de descargas elétricas dentro das nuvens, como também das nuvens para o solo e vice-versa (Kummerow e Barnes, 1998). O sensor de microonda (TMI) é o principal instrumento na medição da precipitação, obtida através da conversão de brilho espectral em temperatura de brilho, através da inversão da Lei de Planck (Schultz e Engman, 2000). O instrumento imageia com um ângulo NADIR de 49° , o que resulta em um ângulo de incidência na superfície terrestre de $52,8^\circ$. Para refinar as estimativas, afetadas pelas diferentes formações de nuvens, utiliza-se o PR, que é o primeiro radar meteorológico a ser lançado a bordo de um satélite, permitindo produzir mapas tridimensionais de estruturas precipitantes. Esse radar é capaz de detectar taxas de precipitação muito baixas da ordem de menos de $0,7 \text{ mm.h}^{-1}$ (Kawanishi et al., 2000). Os instrumentos que compõem o TRMM serão vistos com maior detalhe nas próximas seções. A Figura 4.5 mostra uma representação esquemática do processo de aquisição de dados do TRMM.

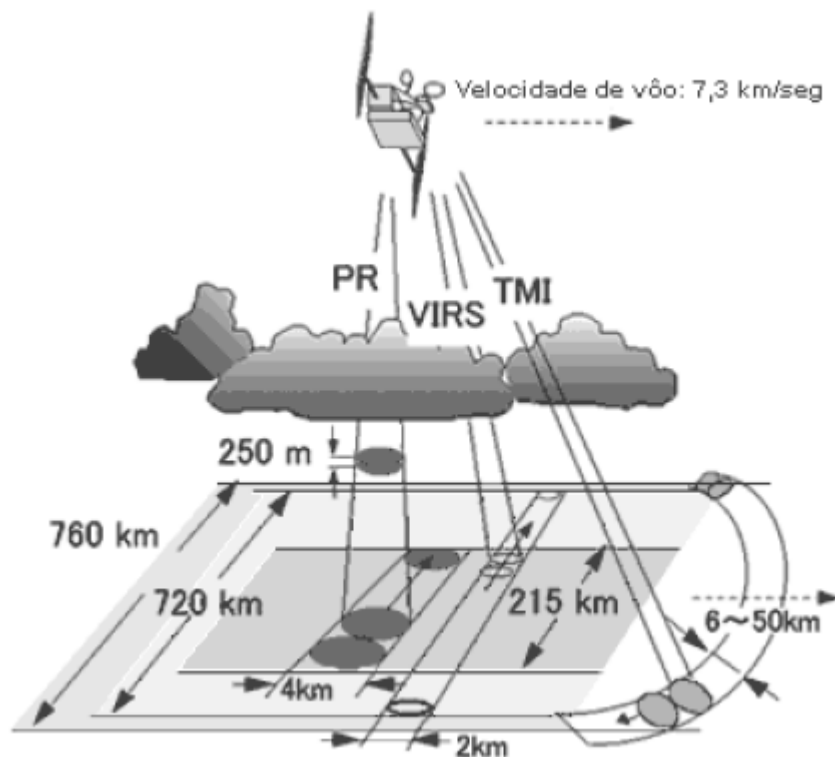


Figura 4.5 – Representação esquemática da aquisição de dados pelo sensor de microondas (TMI), radiômetro (VIRS) e radar meteorológico (PR) do satélite TRMM (Fonte: Collischonn, 2006).

As grandezas primárias medidas pelos instrumentos TMI, PR e VIRS são, respectivamente, temperatura, potência e radiância. A partir de combinações sucessivas entre essas medidas e seu cruzamento com produtos de outros satélites, são obtidas as estimativas referentes à precipitação, cuja resolução temporal e espacial depende do refinamento da estimativa.

Para refinar as medições, existe um programa de validação em campo (Ground Validation ou GV), contando com radares meteorológicos em diversas estações ao longo da faixa intertropical.

Nas seções abaixo cada sensor do TRMM é descrito sucintamente e algumas das suas características, como banda de observação, resolução horizontal e largura de varredura são apresentados na Tabela 4.1.

4.1.2.1 Imageador de microondas do TRMM (TMI)

O TMI é um radiômetro de microonda passivo baseado no Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I), que está a bordo dos satélites do U.S. Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) desde 1987. O TMI quantifica o vapor de água, a água precipitável, e a intensidade da chuva na atmosfera, por meio da medição da quantidade de energia microondas emitidas pela Terra na atmosfera. O instrumento mede a intensidade da radiação em cinco frequências: 10,7, 19,4, 21,3, 37 e 85,5 GHz. Estas frequências são similares ao SSM/I, exceto que o TMI tem um canal adicional 10,7 GHz projetado para fornecer uma resposta mais linear para altas taxas de chuva tipicamente observadas na região tropical (TRMM, 2004).

4.1.2.2 Radar de precipitação (PR)

O PR é o primeiro radar no espaço, que fornece em três dimensões a estrutura da chuva, especialmente a sua distribuição vertical, obtém medidas quantitativas de precipitação tanto sobre a superfície terrestre, quanto sobre os oceanos, e melhora a precipitação total do TRMM recuperando a acuracia, devido ao uso combinado dos dados dos sensores ativo (PR) e passivo (TMI e VIRS). O PR foi desenvolvido pela NASA em parceria com o Communications Research Laboratory.

4.1.2.3 Sistema de radiômetro do visível e infravermelho (VIRS)

O VIRS é um imageador espectral radiométrico de cinco canais com bandas de comprimento de onda na faixa de 0,6 a 12 μm . O VIRS é um instrumento primário do TRMM, pois se trata de um indicador muito indireto de chuva. Os dados do VIRS são usados para estudar a precipitação usando técnicas no visível e infravermelho.

Tabela 4.1 – Características principais dos sensores do TRMM.

	TMI	PR	VIRS	CERES	LIS
Banda de Observação	10.7 GHz 19.4 GHz 21.3 GHz 37.0 GHz 85.5 GHz	13.796 GHz 13.802 GHz	0.63 μm 1.60 μm 3.75 μm 10.8 μm 12.0 μm	0.3-3.5 μm 8-12 μm 0.3 \geq 50 μm	0.7774 μm
Resolução Horizontal	5 - 41 Km	4.3 Km	2 Km (Nadir)	25 Km (Nadir)	4 Km (Nadir)
Largura da Varredura	790 Km	220 Km	720 Km	angulo de varredura \approx 80°	campo de visada 80° X 80°

(Fonte: Coelho, 2004)

4.1.2.4 Produto 3B42

O projeto TRMM gera diversos produtos (estimativas) de acordo com a combinação de instrumentos usada no algoritmo de cálculo. O produto 3B42 (que é usado neste trabalho) utiliza estimativas de precipitação por microondas do TMI, corrigidas através de informações sobre a estrutura vertical das nuvens obtidas do PR. O projeto TRMM possui ainda um programa de validação em campo, para minimizar as diferenças entre as estimativas por satélite e medições no solo. Deve-se ressaltar que esta calibração com dados de campo é feita de forma bastante global e generalizada, podendo gerar estimativas locais pouco precisas. As estimativas de precipitação são então convertidas para totais acumulados mensais por meio de interpolação para ter uma homogeneidade temporal, decorrentes da baixa frequência de passagem do satélite, gerando o produto 3B31. Este produto tem resolução espacial de 0,25°. Os totais acumulados mensais de precipitação são então usados para corrigir estimativas baseadas em imagens IR dos satélites da série GOES, os quais possuem resolução temporal de 3 horas. Resultando, portanto, em um produto que combina resoluções temporal e espacial relativamente altas.

A grande vantagem deste produto é sua alta resolução temporal, de 3 horas, e espacial, de $0,25^\circ$, na faixa latitudinal de 50°S-N . Por outro lado, a desvantagem é a complexidade do algoritmo e o número de dados necessários para gerar o produto, de forma que os dados não são distribuídos de forma imediata. Mesmo assim, atualmente, as estimativas de um mês qualquer são disponibilizadas até o dia 15 do mês seguinte, prazo que pode ser considerado relativamente curto.

A Figura 4.6 mostra a seqüência de procedimentos para geração das diferentes estimativas do TRMM.

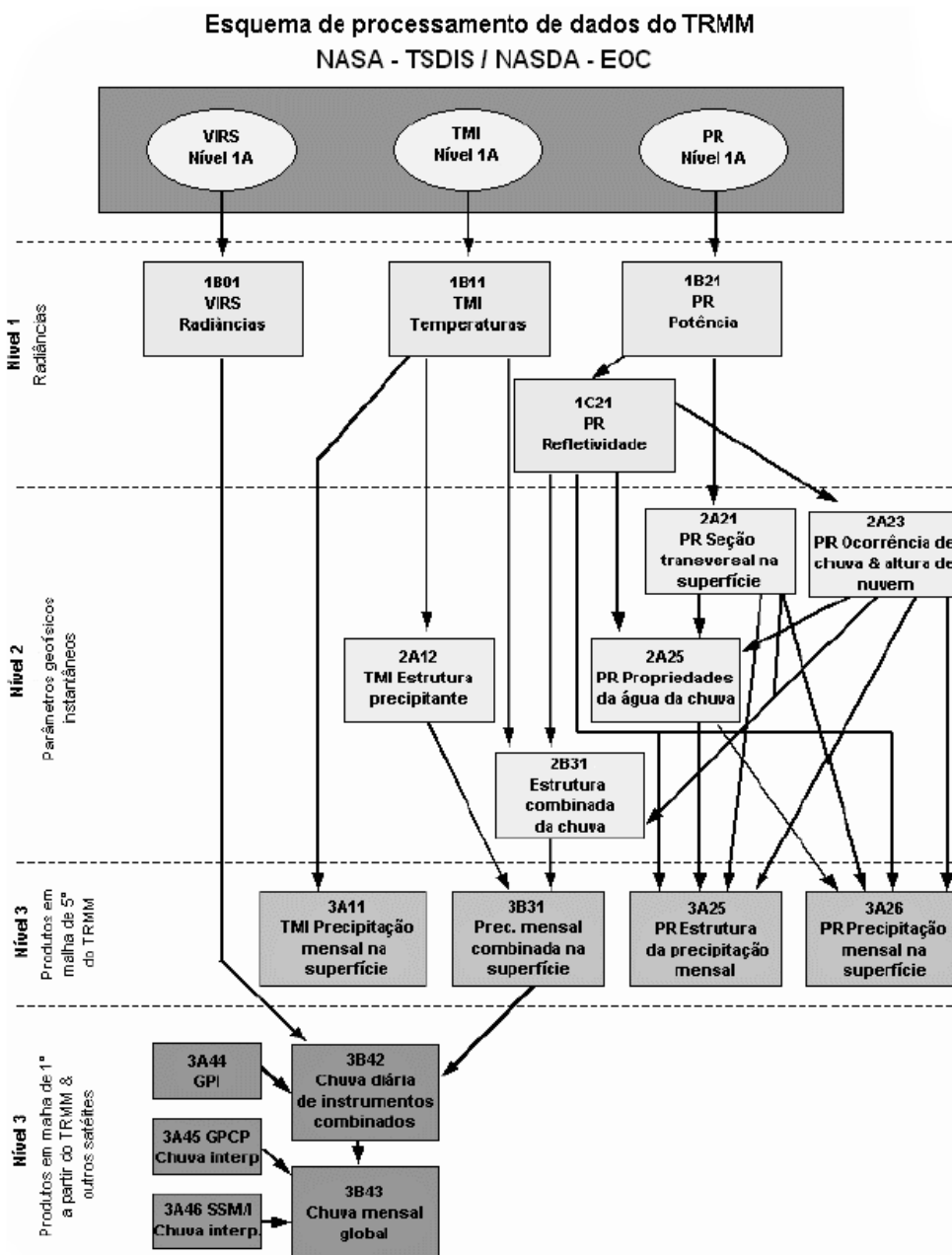


Figura 4.6 – Fluxograma de dados para geração de estimativas do projeto TRMM (Fonte: Adaptado de <http://daac.gsfc.nasa.gov/>).

4.1.3 GPCP

O Global Precipitation Climatology Project (GPCP), estabelecido pelo World Climate Research Program (WCRP) com o objetivo de fornecer dados médios mensais de precipitação por todo o globo em uma grade de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ no período de 1986 a 2000, é uma combinação de dados de pluviômetros com estimativas de precipitação obtidas por satélite e também contém estimativas da incerteza para cada local e mês. Uma das principais aplicações da série de dados do GPCP é a validação das análises mensais de precipitação que são produzidas por modelos numéricos.

As estimativas de precipitação por satélite são derivadas do IR obtidas principalmente de satélites geo-estacionários (Estados Unidos, Europa e Japão) e também de satélites de órbita polar (Estados Unidos), de dados do Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I) obtidos dos satélites de órbita polar do Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) e do Atmospheric Infrared Sounder (dados AIRS da NASA Aqua, e Television Infrared Observation Satellite Program – TIROS Operational Vertical Sounder (TOVS) e Outgoing Longwave Radiation Precipitation Index (OPI) a partir de dados de satélite da NOAA.

Os dados obtidos de pluviômetros são agrupados e analisados pelo Global Precipitation Climatology Centre (GPCC).

As estimativas individuais de cada fonte (IR, microondas, dados observados) têm sido utilizadas em muitos trabalhos científicos (Janowiak e Arkin, 1991; Chang et al., 1995; Weng et al. 1994; Rudolf et al. 1996). As estimativas de precipitação através de dados IR de satélites geo-estacionários são baseadas em imagens frequentes (a cada 3 horas), fornecendo assim uma boa resolução temporal dos sistemas precipitantes e da cobertura do ciclo diurno. Contudo, a relação entre radiância do IR e precipitação instantânea na superfície é relativamente fraca e válida principalmente para sistemas convectivos profundos na zona latitudinal de 40° N-S. A radiância do SSM/I tem uma forte relação com a chuva na superfície, principalmente sobre os oceanos e são usadas também em latitudes altas, entretanto, as observações do SSM/I apresentam uma amostragem temporal pobre,

tendo em média somente 1,2 imagens.dia⁻¹ nos trópicos e subtropicais com um satélite. Informações de pluviômetros são consideradas mais precisas (pelo menos depois das correções nos erros sistemáticos das medidas), apesar dos pluviômetros em geral se limitarem a áreas continentais e se concentrarem em países economicamente mais desenvolvidos.

As estimativas de precipitação que são incorporadas dentro das análises do GPCP são geradas por diferentes fontes. O procedimento de combinação é realizado para incorporar informações de cada fonte baseado numa estimativa da sua qualidade (Huffman et al., 1997). Primeiramente, os valores das estimativas completas baseadas no IR (GOES Precipitation Index (GPI); Arkin and Meisner 1987) são ajustados pela proporção das estimativas obtidas do IR e SSM/I que praticamente são coincidentes no espaço e no tempo. A série de dados ajustada resultante do GPI reflete a taxa elevada da amostragem dos dados IR combinados com a polarização comparativamente mais baixa da microonda, mas é limitada à região 40°N-40°S onde as estimativas de GPI são válidas. As estimativas de GPI ajustadas são então combinadas somente com as estimativas de microondas, resultando em uma estimativa multi-satélite. Finalmente, a estimativa do multi-satélite é ajustada à polarização em grande escala dos dados de chuva dos pluviômetros e um campo com uma grade de 2,5° x 2,5° é produzido pela combinação dos dados observados ajustados e das análises do multi-satélite com as análises dos dados observados pelo erro inverso da variância ponderada.

4.1.4 Reanálise do NCEP/NCAR

O sistema de assimilação de dados da Reanálise do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) e do National Center for Atmospheric Research (NCAR) descrito com mais detalhes em Kalnay et al. (1996) inclui o modelo global espectral do NCEP com 28 níveis sigma na vertical e truncamento triangular de 62 ondas, equivalente a uma resolução aproximada de 210 km na horizontal. As observações assimiladas são radiossondagens; sondagens verticais de temperatura operacional do TIROS Operational Vertical Sounder (TOVS); ventos determinados a partir de satélites geoestacionários; observações de ventos e temperatura de aeronaves, dados de pressão à superfície de estações meteorológicas em terra; e dados oceânicos de pressão à superfície, temperatura, vento horizontal e umidade específica.

As variáveis em pontos de grade (produto da reanálise mais usado) são classificadas em três categorias (Kalnay et al., 1996). As variáveis da categoria A são em geral fortemente influenciadas pelas observações disponíveis e são, portanto, o produto mais confiável da Reanálise. As variáveis da categoria B são influenciadas tanto pelas observações quanto pelo modelo, sendo então menos confiáveis que a categoria A. A precipitação fornecida por este modelo é classificada na categoria C, onde os dados são completamente determinados pelo modelo, devendo ser utilizada com muita cautela e sempre que possível ser comparada com outras estimativas independentes. Os dados de precipitação da Reanálise é fornecido a cada 6 horas.

4.2 Dados Observacionais da Fundação Geo-Rio

Os dados observacionais de precipitação utilizados referem-se aos observados na rede pluviométrica instalada pela Geo-Rio no Município do Rio de Janeiro em setembro de 1996. A rede atual é composta por 32 estações automáticas (Fig. 4.7), com dados desde janeiro de 1997 até os dias atuais, sendo que Laranjeiras e São Cristóvão começaram a operar apenas em setembro de 2000.

Cada uma das estações é constituída por um pluviômetro do tipo tipping-bucket, uma unidade central de processamento com sistema de aquisição de dados, rádio UHF, antena, painel solar e bateria. A série histórica e os dados em tempo real encontram-se disponíveis no sítio da Geo-Rio (<http://www.Geo-Rio.gov.br>).

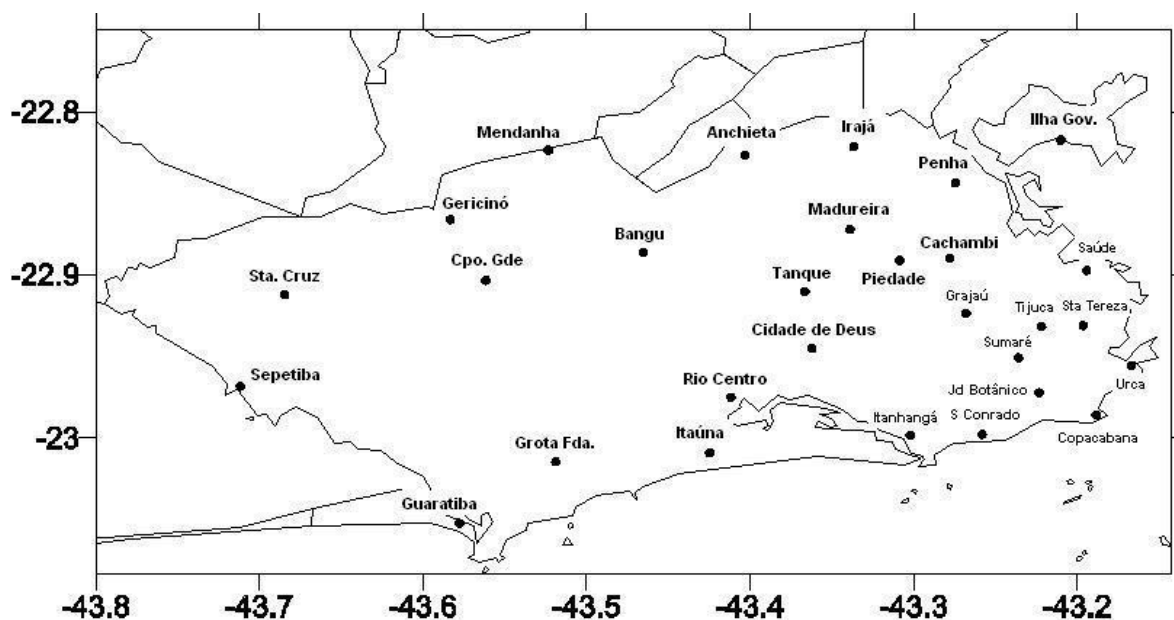


Figura 4.7 – Distribuição espacial das estações pluviométricas da Geo-Rio.

Para este estudo foram utilizadas 31 estações (com exceção da estação do Vidigal) no período de janeiro de 2004 a dezembro de 2005, obtendo-se 2 anos para análise. Para cada uma das estações efetuou-se o total de precipitação em 24 horas considerando o acumulado a cada 15 minutos, no intervalo entre as observações de 9h e 15 min do dia anterior e 9h do referido dia.

4.3 Metodologia utilizada nas Avaliações Subjetiva e Objetiva

O período avaliado neste trabalho estende-se de janeiro de 2004 a dezembro de 2005 para todas as fontes de dados, com exceção do GPCP que é avaliado para o período de janeiro de 2004 até abril de 2005. As características das fontes de dados avaliadas e também dos dados observacionais da Geo-Rio são apresentadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Características principais das fontes de dados utilizadas no trabalho.

	Hidroestimador	TRMM	Reanálise	GPCP	Geo-Rio
Área de abrangência	América do Sul	Todo o globo	Todo globo	Todo globo	Município do RJ
Frequência temporal	30 minutos	3 h	6 h	1 dia	15 min
Resolução horizontal	aprox. 4 km x 4 km	aprox. 25 km x 25 km	aprox. 210 km x 210 km	aprox. 100 km x 100 km	-
Área referente ao Rio de Janeiro	22.81 a 23.06°S 43.17 a 43.71°W	22.88 a 23.13°S 43.13 a 43.63°W	21.90 a 23.81°S 43.13 a 45.00°W	22.5 a 23.5°S 42.5 a 43.5°W	22.8 a 23.0°S 43.2 a 43.7°W

Para efeito de comparação todos os totais pluviométricos são acumulados nos horários de 12 Z de um dia até 12 Z do dia seguinte. Os valores de precipitação obtidos a partir dos modelos são médias na área representativa da cidade do Rio de Janeiro. Na Figura 4.8 estão representados graficamente os pontos de grade do Hidroestimador (em azul) e do TRMM (em amarelo), utilizados para o cálculo da precipitação média na área. Nota-se que no caso do Hidroestimador a média é feita considerando-se um total de 120 pontos (15 pontos em x e 8 pontos em y), enquanto para o TRMM a média envolve apenas 6 pontos de grade (3 pontos em x e 2 pontos em y).

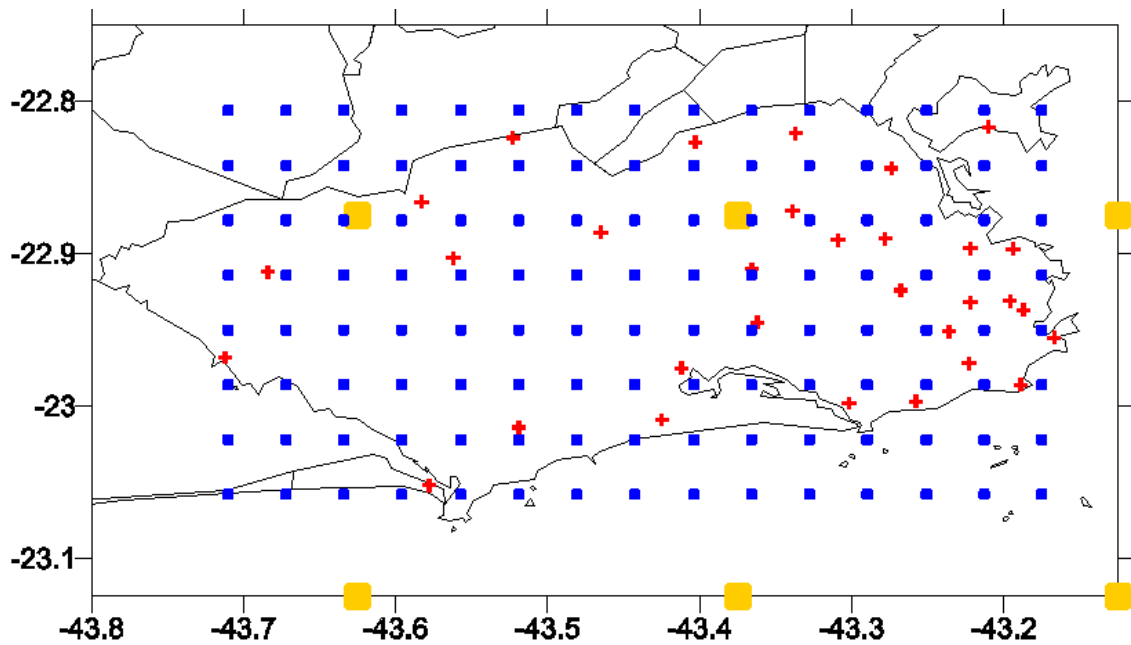


Figura 4.8 – Representação da grade do Hidroestimador do CPTEC [■] e do TRMM [■] em relação à localização das estações pluviométricas da Geo-Rio [+] .

No caso da Reanálise do NCEP/NCAR e do GPCP os pontos de grade do modelo localizam-se muito distantes da área metropolitana do Rio de Janeiro (Fig. 4.9). Para a Reanálise do NCEP/NCAR a série de totais pluviométricos diários foi obtida a partir da precipitação média na área compreendida entre os quatro pontos roxos (2 pontos em x e 2 pontos em y). No caso do GPCP foram utilizados os pontos verdes apresentados na Fig. 4.9 (2 pontos em x e 2 pontos em y).

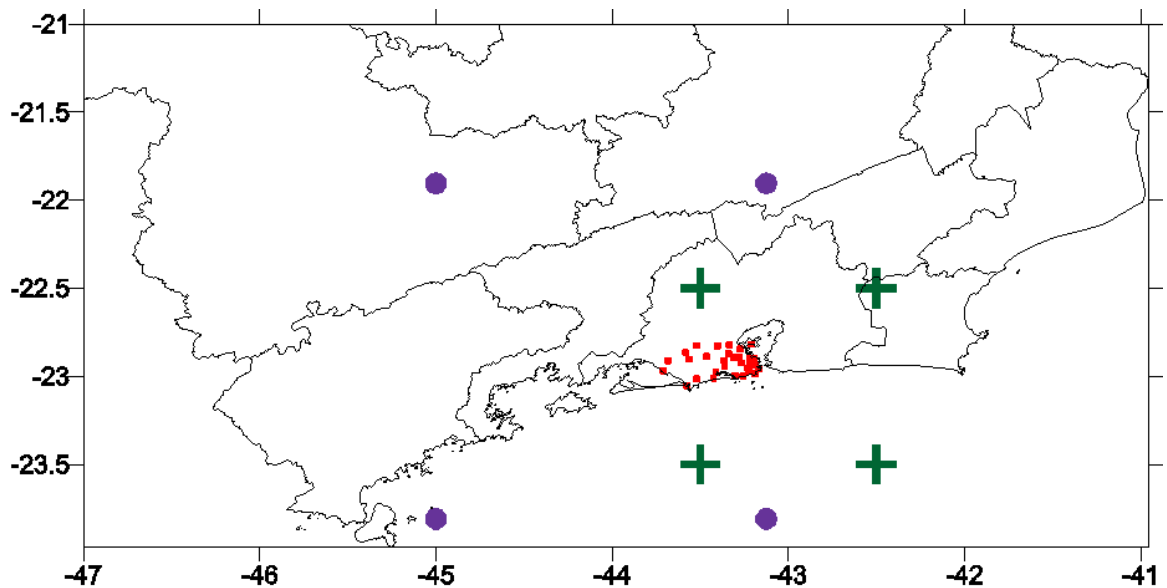


Figura 4.9 – Representação da grade da Reanálise do NCEP/NCAR [•] e do GPCP [+] em relação à localização das estações pluviométricas da Geo-Rio [■].

4.3.1 Avaliação Subjetiva

A avaliação subjetiva foi realizada plotando-se a série temporal da precipitação gerada por cada uma das fontes de dados, e de todas as estações da Geo-Rio num mesmo gráfico. Para cada mês foi computado o número de eventos observados e aqueles detectados pelo modelo. A vantagem deste método é a possibilidade de analisar os eventos de precipitação isoladamente, ao invés de avaliar todos os totais pluviométricos diários. As desvantagens estão relacionadas à subjetividade da análise, pois pessoas diferentes podem analisar os mesmo eventos de formas diferentes, além da dificuldade de se estabelecer o início e o final de cada evento.

4.3.2 Avaliação Objetiva

A avaliação objetiva inclui o cálculo do erro médio (EM), da raiz quadrada do erro quadrático médio (REQM) e da correlação (CORR) e também a construção de tabelas de contingência. Esta avaliação foi elaborada para todo o período (2004-2005) e também

sazonalmente, considerando-se o verão como o período de dezembro-janeiro-fevereiro, o outono como março-abril-maio, o inverno junho-julho-agosto e a primavera setembro-outubro-novembro.

a) Cálculo do EM, da REQM e da CORR

As estatísticas utilizadas para avaliação objetiva dos dados são: o erro médio (EM), a raiz do erro quadrático médio (REQM) e a correlação temporal (CORR). Estas estão representadas abaixo respectivamente pelas equações (4.10), (4.11) e (4.12).

$$EM = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{prev_i} - P_{obs_i})}{n} \quad (4.10)$$

$$REQM = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{prev_i} - P_{obs_i})^2}}{n} \quad (4.11)$$

$$CORR = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{prev_i} - \overline{P_{prev}})(P_{obs_i} - \overline{P_{obs}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{prev_i} - \overline{P_{prev}})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{obs_i} - \overline{P_{obs}})^2}} \quad (4.12)$$

sendo P_{obs} e P_{prev} a precipitação observada e prevista pelas fontes de dados, respectivamente, e n o tamanho da amostra de totais pluviométricos diários, que não necessariamente corresponde ao número total de dias avaliados, pois existem algumas falhas na série. No período avaliado, para o Hidroestimador, TRMM e Reanálise, n é igual a 729 e para o GPCP é igual a 458. Esta diferença no valor de n ocorre porque o período avaliado do GPCP é menor, comparado com as outras fontes e também por apresentar mais dados espúrios, que consequentemente foram descartados da amostra.

b) Construção de Tabelas de Contingência

As tabelas de contingência fornecem uma medida do desempenho de um sistema de previsão através da relação entre as taxas de acerto e de alarme falso de um determinado evento (Swets, 1973). Para este trabalho foi definido o limiar de totais pluviométricos diários superiores a 5,0 mm, para confecção das tabelas de contingência (Tab. 4.3). Desta forma, um Sucesso (SC) significa um evento de precipitação ocorrido superior a 5,0 mm que foi corretamente estimado pelo modelo. Um Fracasso (FR), pelo contrário é um evento ocorrido de chuva superior a 5,0 mm que não foi previsto pelo modelo. O Alarme Falso (AF) é uma situação em que não ocorre uma chuva superior a 5,0 mm, mas que o modelo prevê. E finalmente a Rejeição Correta (RC) é contabilizada nos casos em que não ocorre chuva superior a 5,0 mm e o modelo não prevê. A partir daí define-se a Taxa de acerto (Tac) e a Taxa de alarme falso (Taf), como:

$$Tac = \frac{SC}{SC + FR} \quad (4.13)$$

$$Taf = \frac{AF}{AF + RC} \quad (4.14)$$

ou seja, a taxa de acerto indica a proporção de eventos ocorridos, para os quais um alerta foi emitido corretamente, enquanto a taxa de alarme falso representa a proporção de eventos que não ocorreram e que um alerta foi emitido incorretamente.

Tabela 4.3: Representação de uma tabela de contingência.

Chuva > 5mm	Previsão do evento	
	Previsto	Não previsto
Observação do evento		
Ocorrido	Sucesso (SC)	Fracasso (FR)
Não ocorrido	Alarme falso (AF)	Rejeição correta (RC)

5. Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados das avaliações subjetiva e objetiva para cada uma das fontes de dados estudadas para o Rio de Janeiro. Para o Hidroestimador do CPTEC, TRMM e Reanálise do NCEP/NCAR a avaliação é realizada em maior detalhe, investigando-se a performance de tais modelos sazonalmente.

5.1 Avaliação subjetiva do Hidroestimador do CPTEC, do TRMM, do GPCP e da Reanálise do NCEP/NCAR

Inicialmente foi feita uma avaliação subjetiva confrontando-se visualmente as séries temporais de precipitação do Hidroestimador do CPTEC, do TRMM, do GPCP e da Reanálise do NCEP/NCAR com as séries temporais das observações de todas as estações pluviométricas do município do Rio de Janeiro para os anos de 2004 e 2005 (ver Anexo I). Para cada fonte de dados avaliada a série é construída com totais pluviométricos diários, mediados em áreas sobre o município do Rio de Janeiro, conforme descrito na metodologia.

5.1.1 Hidroestimador do CPTEC

A análise da série temporal da precipitação ao longo dos dois anos avaliados indica que no verão o Hidroestimador do CPTEC consegue estimar grande parte dos eventos ocorridos (80%) no Rio de Janeiro, sendo que se nota uma tendência de superestimativa da intensidade dos mesmos. No inverno o modelo consegue identificar apenas 28% dos eventos ocorridos, uma vez que não são freqüentes o desenvolvimento de nuvens cumuliformes nesta estação, e com isso o modelo não produz muitos eventos de chuva. O outono é a estação em que o modelo apresenta a melhor performance no que diz respeito à detecção de eventos ocorridos (82%), seguido da primavera (65%). Ao longo do período estudado, o modelo acertou 68% dos casos. A Fig. 5.1 apresenta um exemplo do comportamento do modelo em abril de 2005, onde se nota que dos seis eventos observados, o modelo captou cinco deles. Neste mês o modelo captou corretamente o evento 1,

subestimou bastante a intensidade da chuva nos eventos 2 e 5, antecipou o evento 3, superestimou o evento 6 e não captou o evento 4. Apesar do modelo apresentar, ao longo do ano, uma tendência maior de superestimar a intensidade dos eventos do que subestimar, a precipitação diária máxima do Hidroestimador durante o período avaliado foi de 91,1 mm (ocorrida em março de 2005), estando dentro da faixa observada nas estações da Geo-Rio, onde o menor valor foi 51,4 mm em Bangu e o maior valor 180,4 mm no Sumaré.

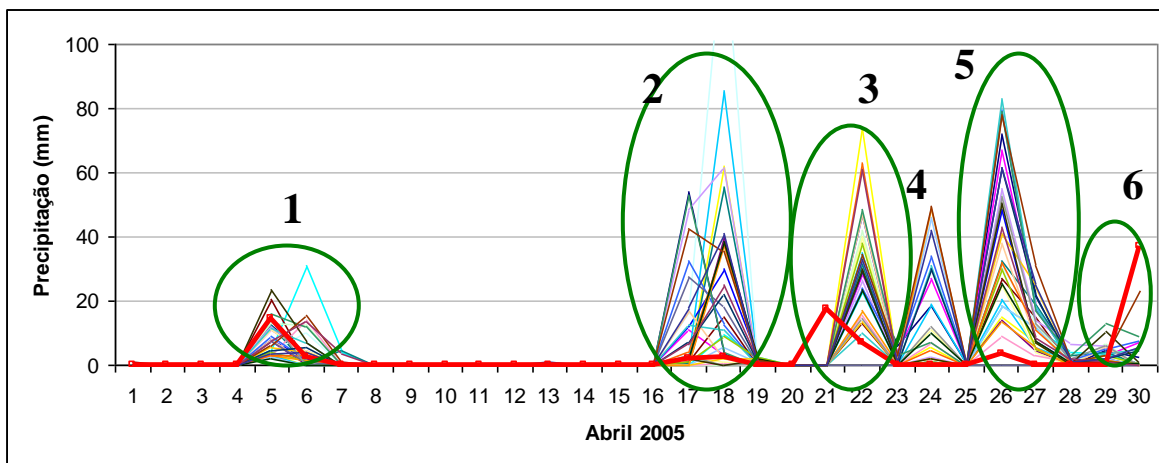


Figura 5.1 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC (linha vermelha grossa) durante o mês de abril de 2005. Os números correspondem aos eventos de precipitação ocorridos e os círculos em verde destacam os eventos detectados pelo modelo.

5.1.2 TRMM

O TRMM em geral consegue estimar os eventos de precipitação, com uma performance melhor do que a do Hidroestimador. No verão o modelo apresenta sua melhor performance, conseguindo captar 91% dos eventos ocorridos. No outono esta taxa decai para 79%, seguido da primavera (76%) e do inverno (50%), quando ainda apresenta-se relativamente elevada. Uma característica do TRMM é que não se nota uma tendência de superestimativa dos eventos, mantendo-se a mesma proporção de eventos em que os valores ficam próximos ao observado e eventos em que o modelo subestima a precipitação. A Fig. 5.2 apresenta um exemplo da análise subjetiva para o TRMM em novembro de 2004. Do total de 7 eventos ocorridos, o modelo captou 6 deles, apesar de ter subestimado os eventos 1 e 6, de ter subestimado e antecipado o evento 2. Os eventos 4, 5 e 7 foram bem previstos e o

evento 3 não foi identificado pelo modelo. O maior total pluviométrico previsto pelo TRMM durante o período estudado foi de 82,6 mm ocorrido em maio de 2004, estando dentro da faixa observada nas estações da Geo-Rio.

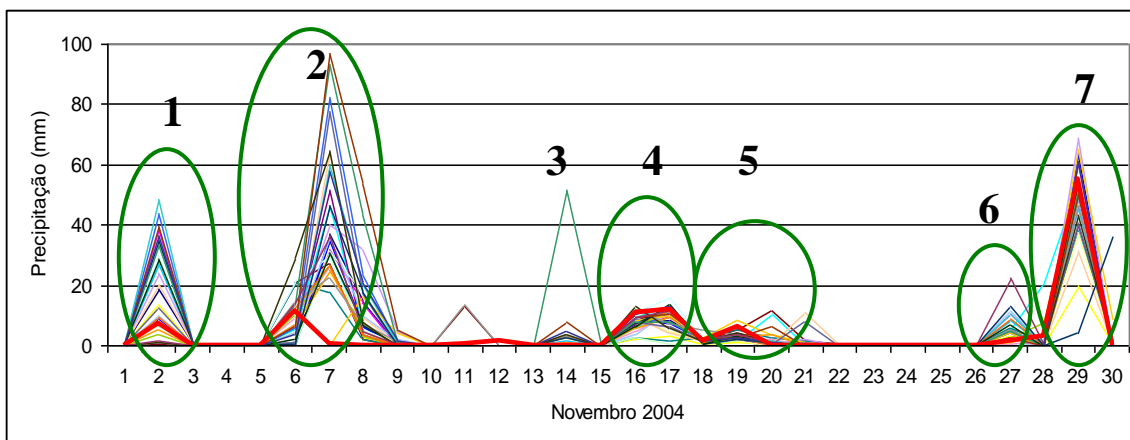
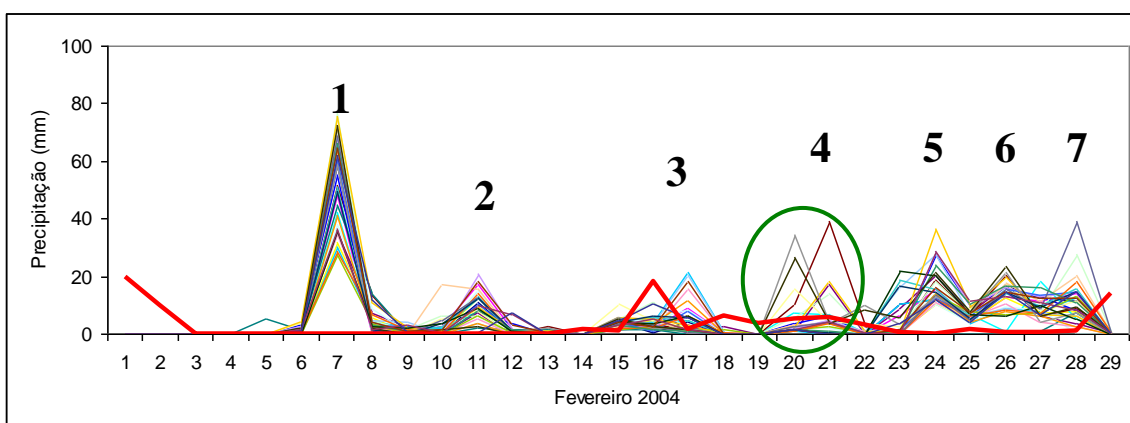


Figura 5.2 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo TRMM (linha vermelha grossa) durante o mês de novembro de 2004. Os números correspondem aos eventos de precipitação ocorridos e os círculos em verde destacam os eventos detectados pelo modelo.

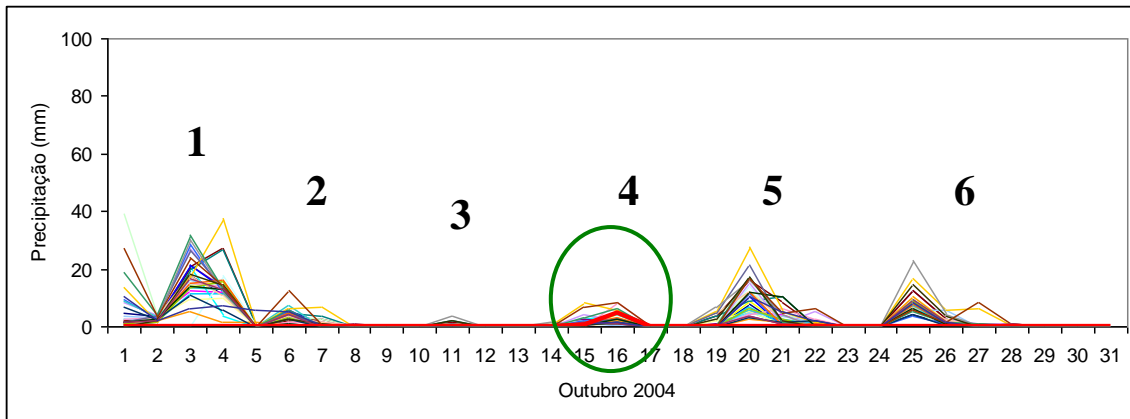
5.1.3 GPCP

Para o GPCP nota-se que sua série temporal é, em geral, completamente defasada das séries observadas (Fig. 5.3a), o que se observa durante todo o ano. O modelo não consegue captar os eventos que ocorrem (Fig. 5.3b) e também produz eventos que não ocorrem (Fig. 5.3c).

(a) fevereiro de 2004



(b) outubro de 2004



(c) janeiro de 2004

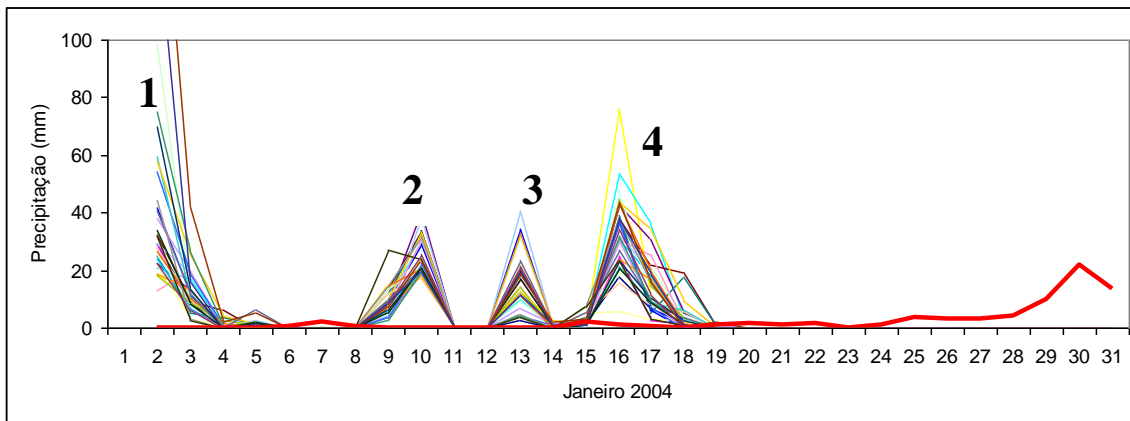


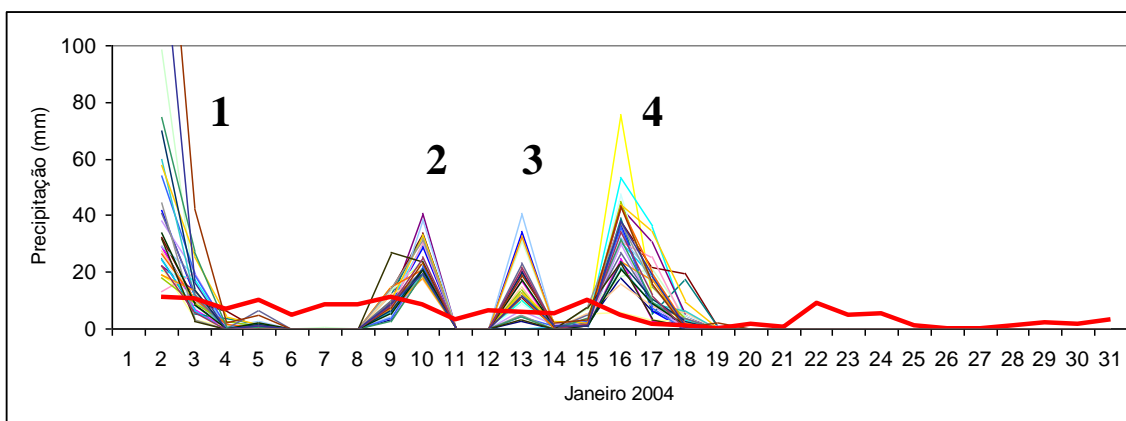
Figura 5.3 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo GPCP (linha vermelha grossa) durante os meses (a) fevereiro, (b) outubro e (c) janeiro de 2004.

5.1.4 Reanálise do NCEP/NCAR

Nas séries temporais da precipitação gerada pela Reanálise do NCEP/NCAR (Fig.5.4 a) é difícil identificar eventos isolados no período entre dezembro e março, já que o modelo produz precipitação leve, porém contínua durante todo o mês. Um exemplo do funcionamento do modelo neste período encontra-se na Fig. 5.4 a (janeiro de 2004), onde se considera que o modelo não tenha captado corretamente os quatro eventos ocorridos. No verão o modelo consegue captar 54% dos eventos ocorridos, um valor baixo quando

comparado ao índice alcançado pelo TRMM e pelo Hidroestimador. Por outro lado, no inverno (exemplo na Fig. 5.4 b) os eventos ficam mais nítidos e a performance do modelo é bem elevada, conseguindo detectar 72% dos eventos ocorridos. Do total de eventos ocorridos na primavera e no outono o modelo captou respectivamente 76% e 93%, sendo esta uma taxa muito alta em relação aos demais modelos.

(a) janeiro de 2004



(b) julho de 2004

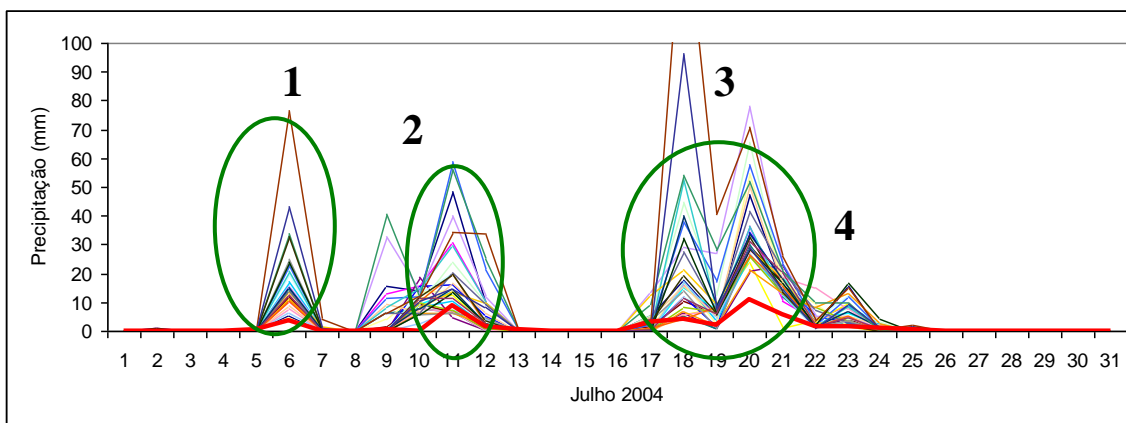


Figura 5.4 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pela Reanálise do NCEP/NCAR (linha vermelha grossa) durante os meses (a) janeiro e (b) julho de 2004.

5.2 Avaliação Objetiva do Hidroestimador do CPTEC, do TRMM, do GPCP e da Reanálise do NCEP/NCAR

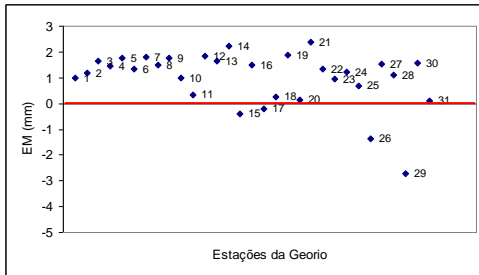
A avaliação objetiva é realizada comparando-se a performance de todas as fontes de dados através de seus EMs, REQMs e CORRs, e também construindo-se tabelas de contingência para avaliar eventos de precipitação superiores a 5,0 mm, ao longo de todo o período estudado (2004-2005).

5.2.1 Desempenho diário

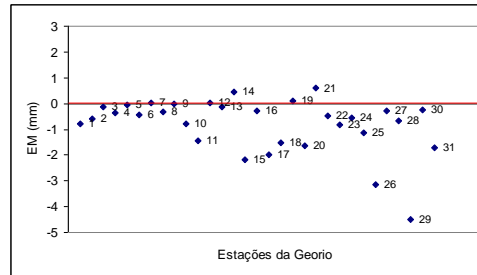
a) Erro Médio (EM)

A Fig. 5.5 apresenta os valores de EM das quatro fontes de dados, para todos os postos da Geo-Rio. Para o Hidroestimador (Fig. 5.5a), nota-se que a maioria dos valores do EM são positivos, o que está de acordo com a análise subjetiva dos eventos de precipitação, que indica uma tendência de superestimativa dos eventos. Apenas nas estações Itanhangá, Jardim Botânico, São Conrado e Sumaré, localizadas em áreas mais chuvosas, o EM é negativo, ou seja, o modelo subestima a precipitação ao longo do ano para estas localidades. No caso do TRMM (Fig. 5.5 b) o EM é positivo nas estações da Penha, Madureira e Irajá, sendo estas regiões consideradas as mais secas segundo a climatologia (capítulo 2), nulo nas estações de Bangu, Campo Grande, São Cristóvão e Guaratiba e negativo nas demais estações. No GPCP (Fig. 5.5c) todos os valores do EM são negativos, ou seja, o modelo subestima a precipitação em relação a todas as localidades. Para a Reanálise (Fig. 5.5d) não se observa uma tendência no sinal dos desvios, sendo que para a metade das localidades o modelo superestima e para a outra metade subestima a precipitação (Fig.5.5d).

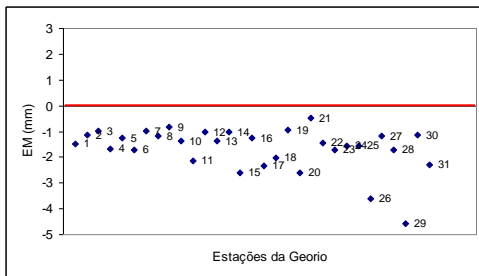
(a) Hidroestimador CPTEC



(b) TRMM



(c) GPCP



(d) Reanálise NCEP/NCAR

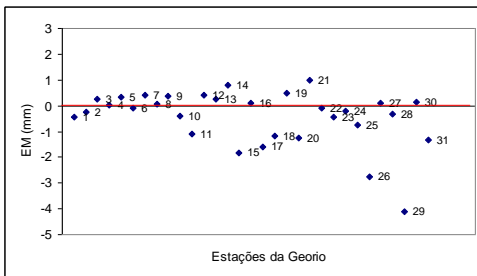


Figura 5.5 – Erro médio (mm) do Hidroestimador (a), TRMM (b), GPCP (c) e Reanálise (d) calculado em relação às estações da Geo-Rio (enumeradas de acordo com a Tabela 3.1). As linhas vermelhas representam o valor de EM ideal (zero).

b) Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM)

Na Fig. 5.6 apresenta-se os resultados da REQM das quatro fontes de dados, em relação a todas as estações da Geo-Rio. O Hidroestimador e o GPCP apresentam os maiores valores de REQM (12,7 e 12,1 mm, respectivamente), já a Reanálise apresenta os menores valores (em média 9,0 mm) e para o TRMM a REQM é em média 9,9 mm. Para as quatro fontes de dados os maiores valores de REQM ocorrem em relação às estações localizadas em regiões muito chuvosas (Sumaré, Jardim Botânico, São Conrado, Tijuca), uma vez que a topografia acentuada de tais estações favorece chuvas intensas, dificilmente bem representada pelos modelos.

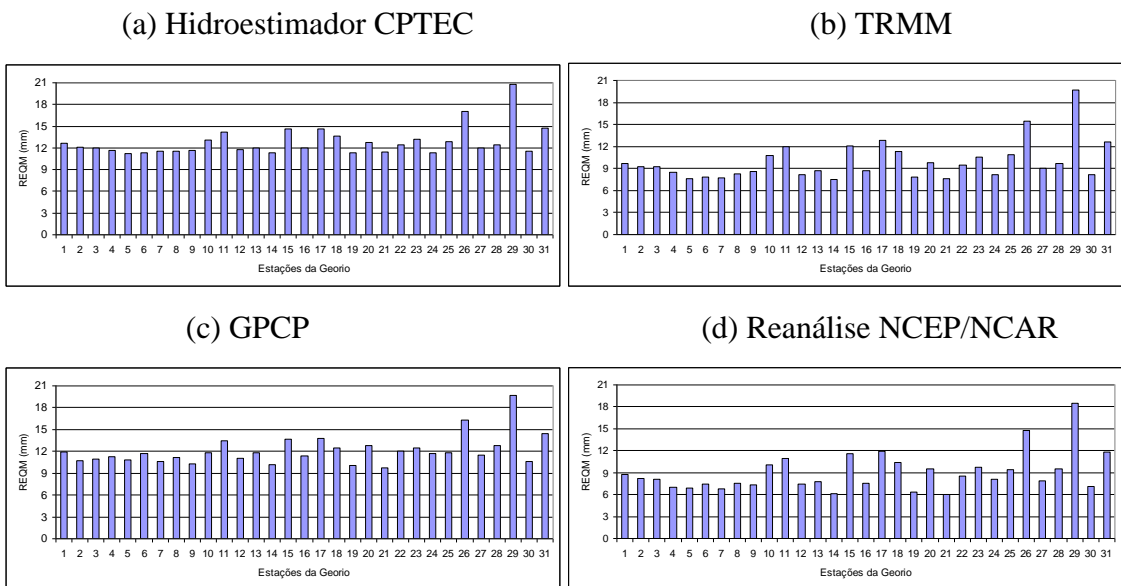


Figura 5.6 – Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) do Hidroestimador (a), TRMM (b), GPCP (c) e Reanálise (d) calculada em relação às estações da Geo-Rio (enumeradas de acordo com a Tabela 3.1).

c) Correlação (CORR)

A CORR é apresentada na Fig. 5.7. Nota-se que ela é mais alta para o TRMM e para a Reanálise, com médias de 0,42 e 0,45, respectivamente (Fig. 5.7(b) e (d)). O GPCP apresenta os menores valores de CORR (valor máximo de 0,07) chegando a ser nulo em algumas estações e negativos e próximos de zero em relação à maioria das estações (incluindo o Sumaré), a média da CORR para esta fonte de dados é zero. O valor médio de CORR para o Hidroestimador é igual a 0,27, tendo um valor máximo de 0,36.

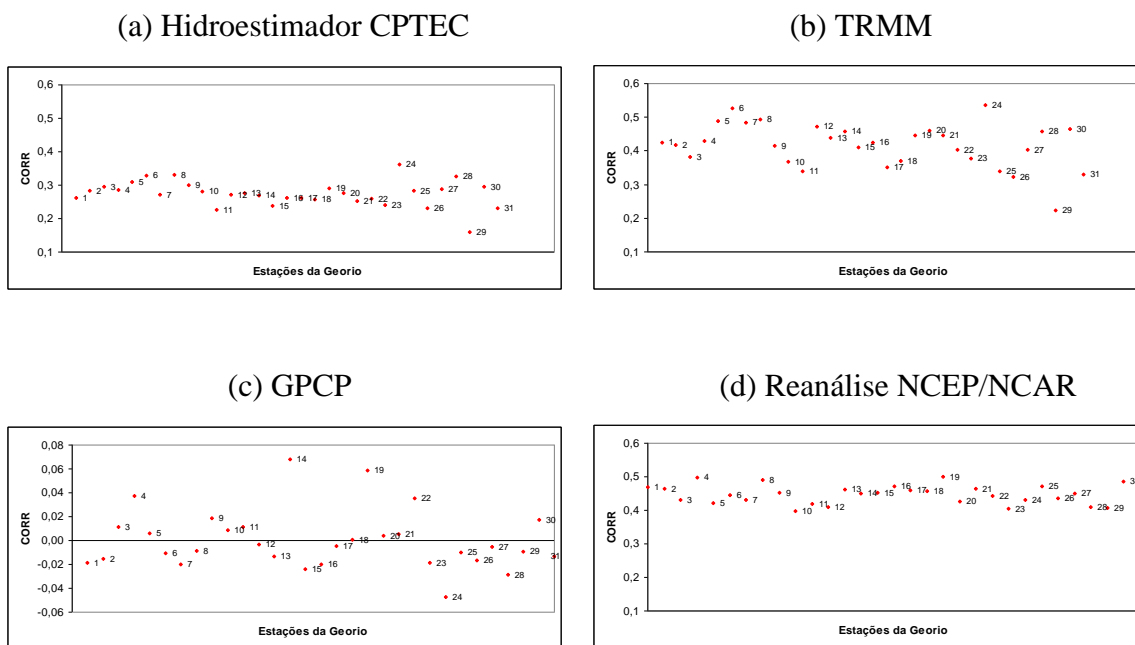
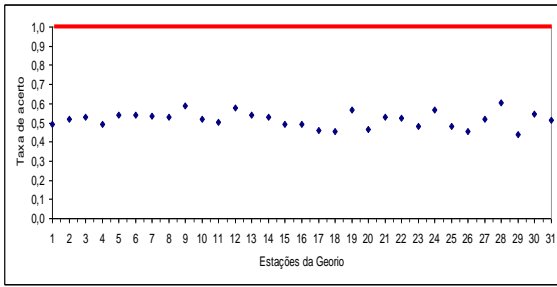


Figura 5.7 – Correlação (CORR) do Hidroestimador (a), TRMM (b), GPCP (c) e Reanálise (d) calculada em relação às estações da Geo-Rio (enumeradas de acordo com a Tabela 3.1).

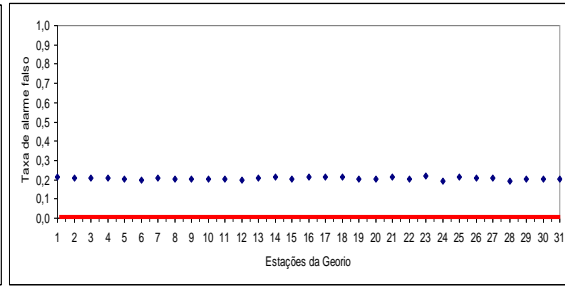
d) Taxa de Acerto (Tac) e Taxa de Alarme Falso (Taf)

Na Fig. 5.8 são apresentadas as Tacs e Tafs de todas as fontes de dados. Os resultados indicam que para o Hidroestimador a Tac (Fig. 5.8 a) fica entre 0,44 e 0,49. A Taf (Fig. 5.8 b) fica em torno de 0,20. Para o TRMM predominam valores de Tac (Fig. 5.8 c) entre 0,37 (Sumaré) e 0,54 (São Cristóvão). As Tafs para o TRMM (Fig. 5.8 d) são inferiores ou iguais a 0,1. O GPCP apresenta valores muito baixos de Tacs (Fig. 5.8 e) inferiores a 0,12, contudo as Tafs (Fig. 5.8 f) são também muito baixas, em torno de 0,1. A Reanálise do NCEP/NCAR é a fonte de dados que apresenta as maiores taxas de acerto (Fig. 5.8 g), em média 0,59, uma vez que o modelo prevê chuvas acima de 5,0 mm em várias ocasiões, o que resulta também em altas taxas de alarme falso (Fig. 5.8 h) com valores médios de 0,20.

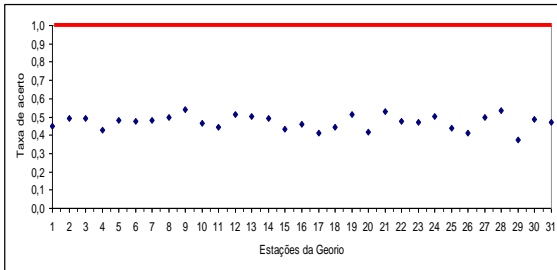
(a) Tac -Hidro



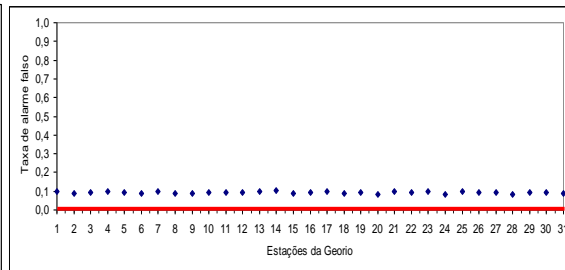
(b) Taf – Hidro



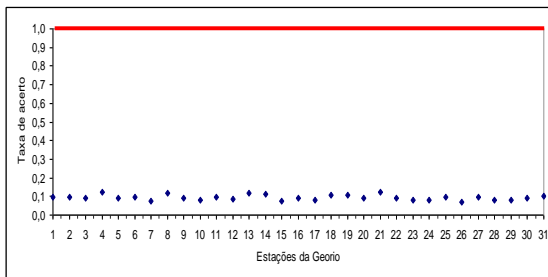
(c) Tac –TRMM



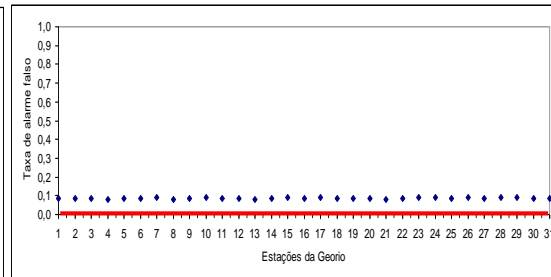
(d) Taf – TRMM



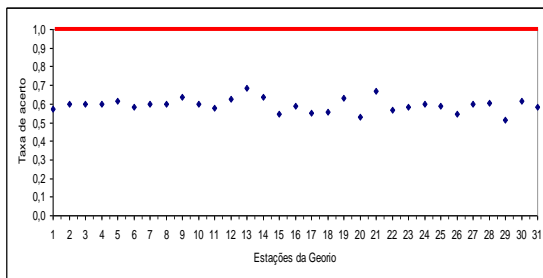
(e) Tac – GPCP



(f) Taf - GPCP



(g) Tac – Reanálise



(h) Taf – Reanálise

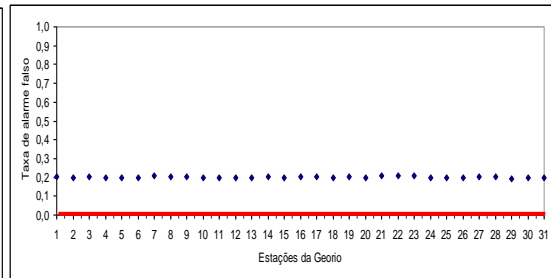


Figura 5.8 – Taxas de acerto (Tac) e de alarme falso (Taf), respectivamente para (a) e (b) Hidroestimador, (c) e (d) TRMM, (e) e (f) GPCP, (g) e (h) Reanálise, calculadas em relação às estações da Geo-Rio (enumeradas de acordo com a Tabela 3.1). As linhas vermelhas representam o valor de Tac e Taf ideais (um e zero, respectivamente).

Uma avaliação comparativa entre as fontes de dados indica que a característica comum a todas elas está relacionada à incapacidade dos modelos em reproduzir os elevados valores de chuva que em geral ocorrem nas regiões localizadas à barlavento das serras. Isto é demonstrado pelos elevados valores negativos de EM, na maioria das fontes, para as estações Itanhangá (15), Jardim Botânico (17), São Conrado (26), Sumaré (29) e Tijuca (31).

O GPCP apresenta, em relação às demais fontes de dados, o pior desempenho para a região estudada, não sendo capaz de acompanhar a tendência da chuva observada na maioria dos eventos, apresentando assim CORRs muito baixas e negativas, elevados valores de REQM e as menores Tacs em relação às demais fontes de dados.

A Reanálise do NCEP/NCAR durante a estação chuvosa (novembro a março) não consegue captar os eventos de forma isolada, mantendo uma taxa de precipitação constante nesta estação. Nas demais estações o modelo aumenta sua performance, uma vez que detecta melhor a ocorrência dos eventos. Ao longo de todo o ano, o modelo apresenta Tacs elevadas à custa de produzir uma Taf também alta, porém tais valores são da ordem de grandeza daqueles observados no Hidroestimador do CPTEC.

O Hidroestimador do CPTEC, apesar de superestimar grande parte dos eventos de precipitação (EMs positivos para a maioria das localidades), consegue captar o início e final destes, principalmente no outono e no verão. A REQM é a mais elevada dentre as demais fontes de dados, o que é um aspecto negativo. A CORR é a mais baixa depois do GPCP. As Tacs são elevadas (maiores do que a do TRMM), contudo as Tafs também são altas (0,20), assim como da Reanálise do NCEP/NCAR.

O TRMM apresenta melhor performance do que os demais modelos no verão, apresentando EM próximo de zero, CORR elevada, Tacs altas e Tafs baixas (em relação aos demais modelos). Não se nota no TRMM uma tendência de superestimar os eventos, assim como verificado no Hidroestimador.

A partir dos resultados obtidos até o momento, será desconsiderada a série de precipitação do GPCP nas análises posteriores, por ser esta a pior das quatro fontes analisadas, não merecendo, portanto avaliações em escala sazonal.

5.2.2 Desempenho total mensal por estações do ano

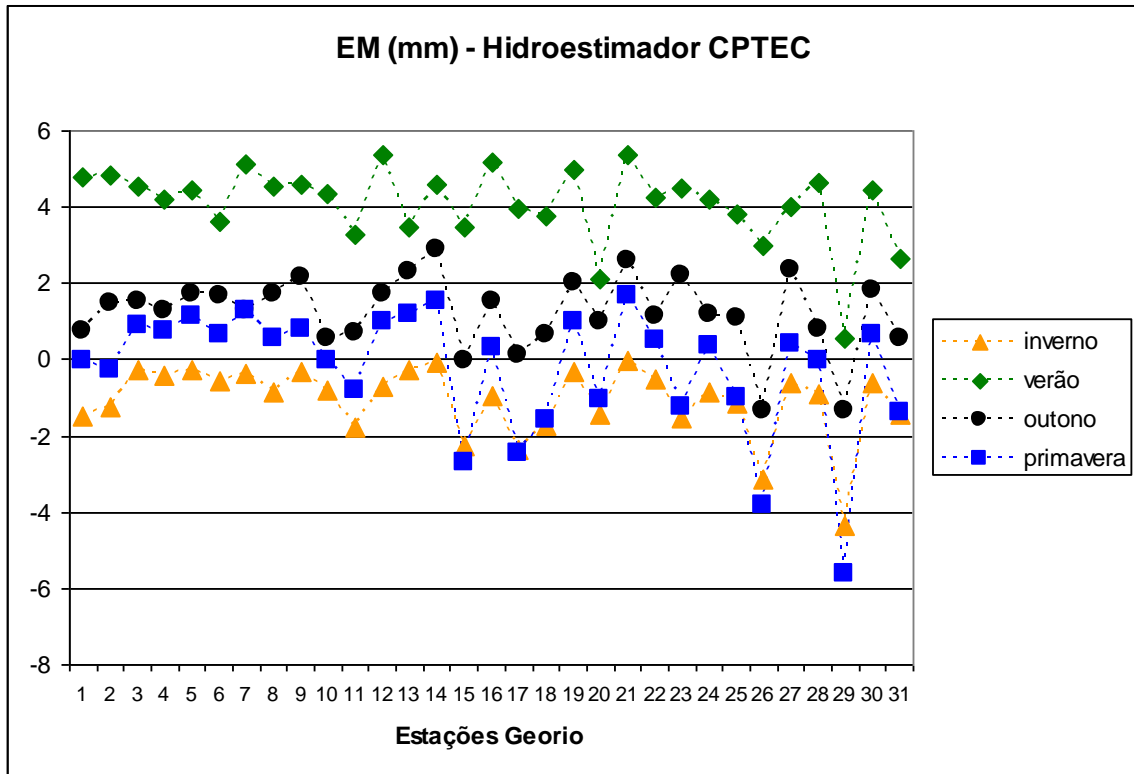
A fim de avaliar em maior detalhe a performance do Hidroestimador, do TRMM e da Reanálise, foram calculados os mesmos índices estatísticos (EM, REQM e CORR) e construídas as tabelas de contingência sazonalmente. É válido ressaltar que a partir desta seção o GPCP é descartado, devido a sua péssima atuação para a região do Rio de Janeiro, não sendo capaz de acompanhar a tendência da chuva observada na maioria dos eventos, apresentando assim CORRs muito baixas e negativas, elevados valores de REQM e menores Tacs em relação às demais fontes de dados.

a) Erro Médio (EM)

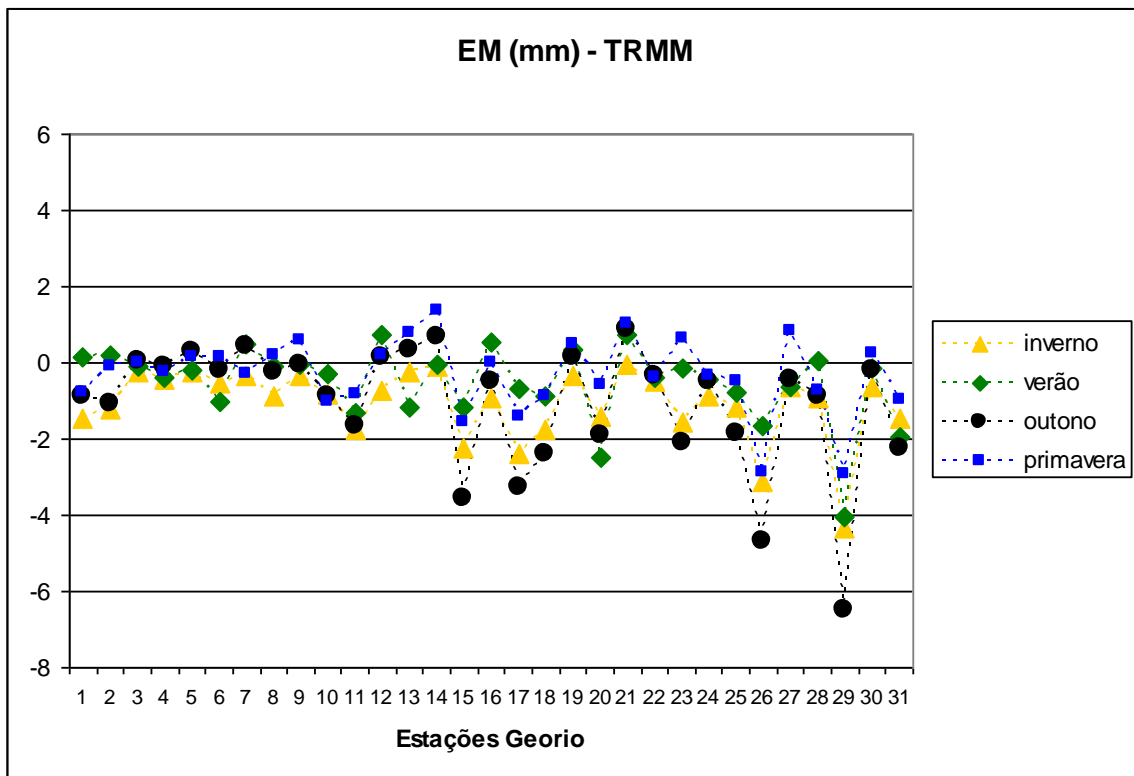
A Fig. 5.9 apresenta os valores de EM do Hidroestimador do CPTEC (Fig. 5.9 a), do TRMM (Fig. 5.9 b) e da Reanálise (Fig. 5.9 c) em relação às estações da Geo-Rio para as quatro estações do ano. Para o Hidroestimador do CPTEC (Fig. 5.9 a), os resultados mostram que o EM é mais elevado e positivo no verão para todas as localidades. No inverno, o EM é negativo e próximo de zero para a maioria das localidades, o que indica que nesta estação o modelo subestima levemente a precipitação. No outono, a maioria dos valores de EM são positivos, com exceção das estações São Conrado (-1,33 mm) e Sumaré (-1,36 mm), onde o modelo subestima a precipitação. Na primavera, em grande parte das

localidades o modelo superestima pouco a precipitação, no máximo em 2 mm, contudo em algumas localidades, tais como no Itanhangá, Jardim Botânico, São Conrado e Sumaré, a precipitação é bastante subestimada, produzindo EMs de respectivamente -2,71, -2,45, 3,83 e -5,64 mm. No caso do TRMM (Fig. 5.9 b) os valores de EM ficam concentrados entre -2 e 0 mm, com muitos valores próximos de zero, o que indica uma tendência do modelo para subestimar levemente a precipitação ao longo de todo o ano. No inverno o EM é negativo para todas as localidades. Nas demais estações do ano o EM é predominantemente negativo, porém verificam-se valores positivos principalmente na primavera. Destacam-se as localidades de São Conrado (26) e Sumaré (29), onde ocorrem os maiores valores negativos de EM. Para a Reanálise do NCEP/NCAR (Fig. 5.9 c) os valores de EM concentram-se entre -2 e 2 mm No verão e outono os EMs são positivos, já que o modelo tenta manter uma taxa contínua de chuva nestas estações. Na primavera e inverno o modelo subestima a precipitação.

(a)



(b)



(c)

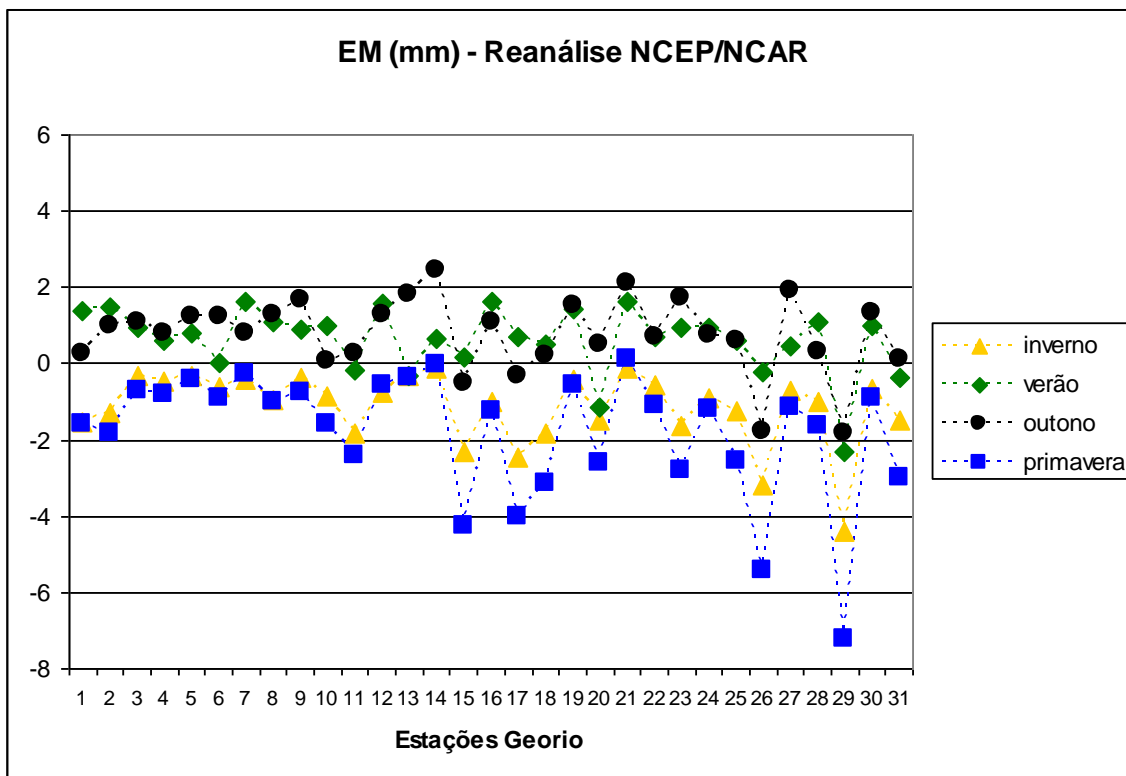


Figura 5.9 – Valores de EM (mm) entre a série de precipitação total diária e as estações da Geo-Rio (enumeradas de acordo com a Tab. 3.1) para (a) Hidroestimador do CPTEC, (b) TRMM e (c) Reanálise do NCEP/NCAR.

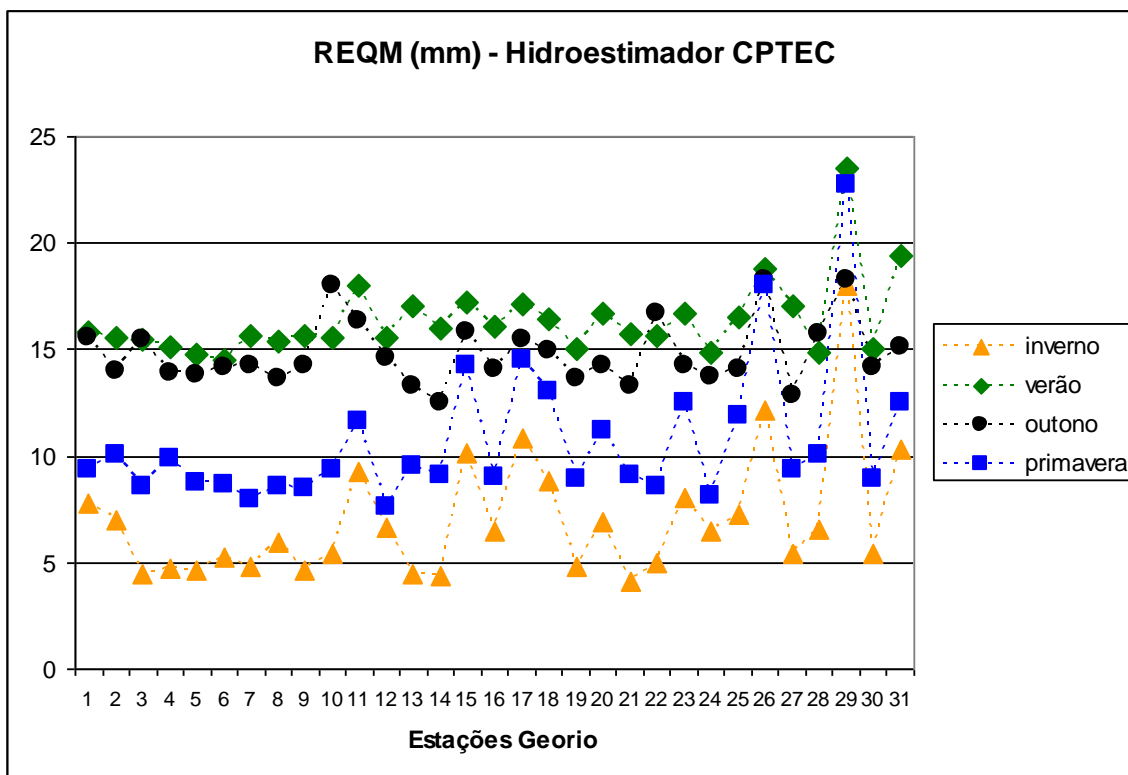
Conclui-se então que os três modelos subestimam a precipitação no inverno. O Hidroestimador do CPTEC e a Reanálise do NCEP/NCAR superestimam a precipitação no verão, sendo que o Hidroestimador superestima demasiadamente. O Hidroestimador (TRMM) apresenta os piores (melhores) resultados de EM, considerando-se o afastamento dos valores da linha de EM igual a zero.

b) Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM)

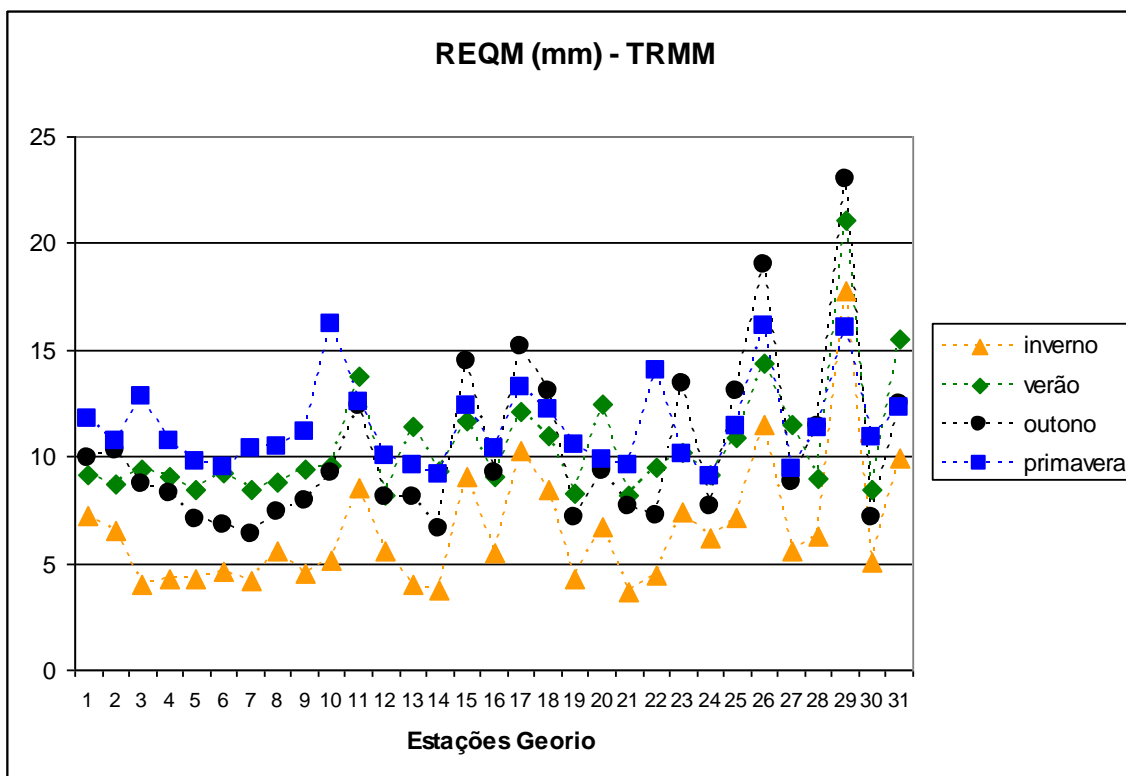
A REQM está apresentada na Fig. 5.10. Para o Hidroestimador do CPTEC (Fig. 5.10 a) nota-se uma elevação gradual dos valores do inverno, para a primavera, outono e finalmente verão. Os valores ficam concentrados entre 5 e 20 mm. No TRMM (Fig. 5.10 b)

e na Reanálise do NCEP/NCAR (Fig. 5.10 c) a REQM também é menor no inverno. Nas demais estações não se nota aumento gradual, como verificado no Hidroestimador do CPTEC. Para ambas as fontes de dados os valores de REQM concentram-se entre 5 e 15 mm.

(a)



(b)



(c)

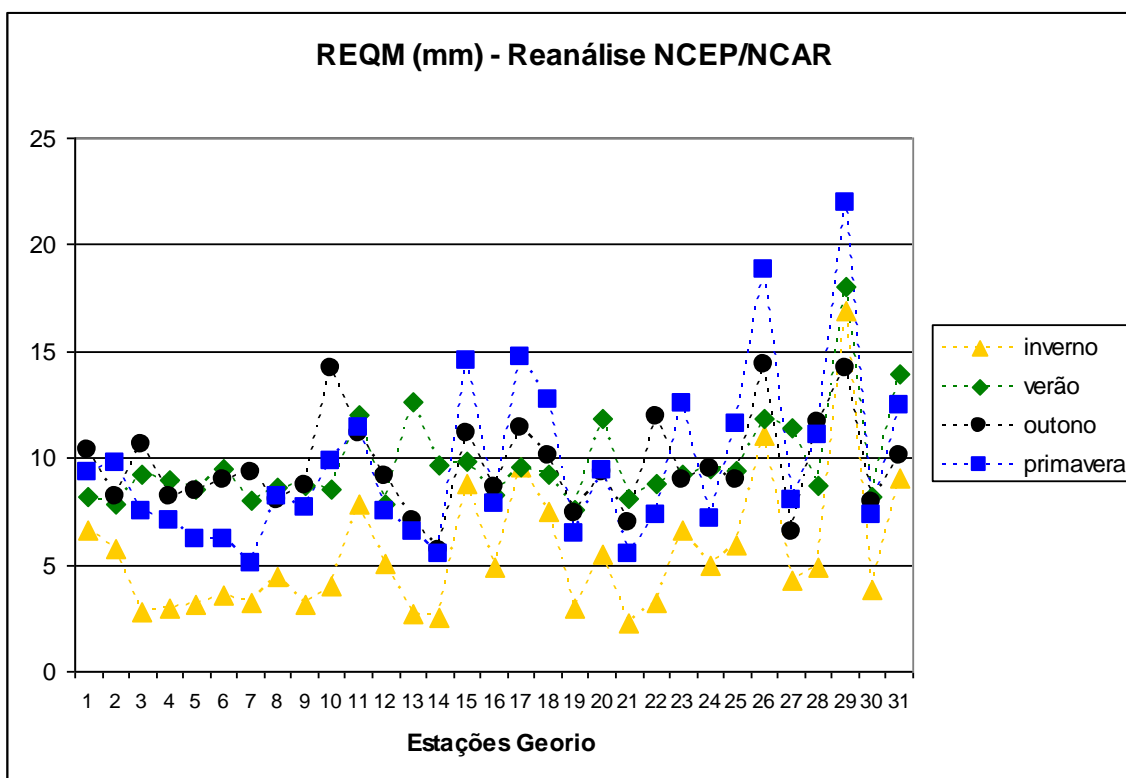


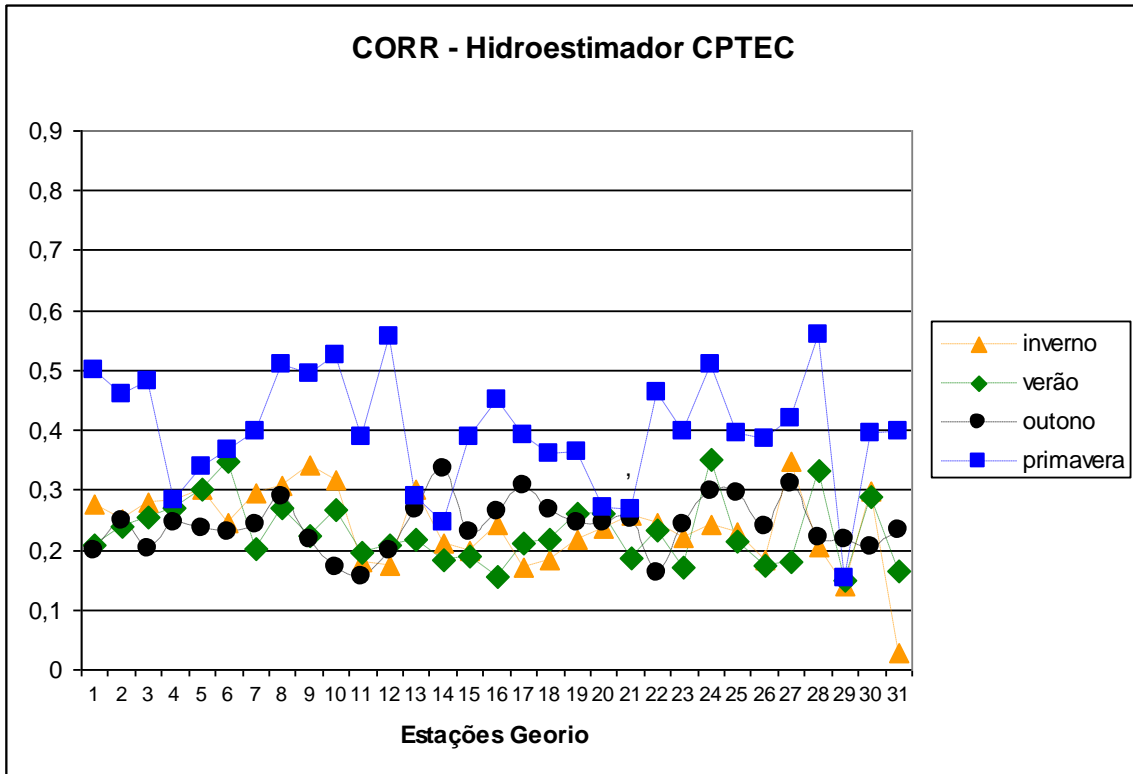
Figura 5.10 – Valores de REQM (mm) entre a série de precipitação total diária e as estações da Geo-Rio (enumeradas de acordo com a Tab. 3.1) para (a) Hidroestimador do CPTEC, (b) TRMM e (c) Reanálise do NCEP/NCAR

Os resultados da REQM para todas as fontes indicam que, como esperado, os valores de REQM são inferiores no inverno, já que nesta estação ocorrem os menores índices de precipitação. A Reanálise do NCEP/NCAR apresenta os melhores resultados (menores valores de REQM), seguido do TRMM e por último o Hidroestimador do CPTEC.

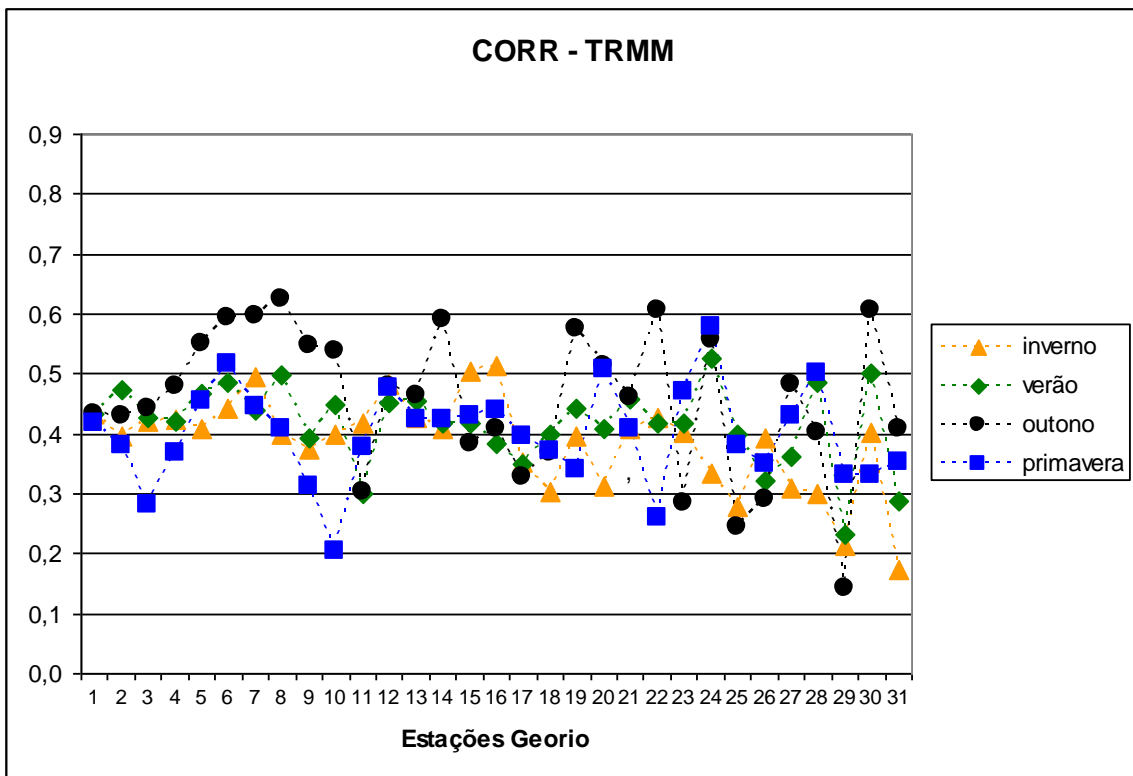
c) Correlação (CORR)

A Fig. 5.11 apresenta os valores de CORR em relação às estações da Geo-Rio para as três fontes de dados. Para o Hidroestimador (Fig. 5.11 a) os resultados mostram que a CORR é mais elevada na primavera do que nas demais estações, quase o dobro. Na primavera a CORR varia entre 0,15 (no Sumaré) e 0,56 (em Guaratiba e Sepetiba). Para o TRMM (Fig. 5.11 b) a CORR é aproximadamente 0,40, sem variação significativa com relação às estações do ano, os valores ficam entre 0,3 e 0,5. No caso da Reanálise do NCEP/NCAR (Fig 5.11 c) a CORR se destaca no inverno, com valores entre 0,7 e 0,8. No verão ocorrem os valores mais baixos de CORR para esta fonte de dados. No outono e primavera verificam-se valores entre 0,4 e 0,6.

(a)



(b)



(c)

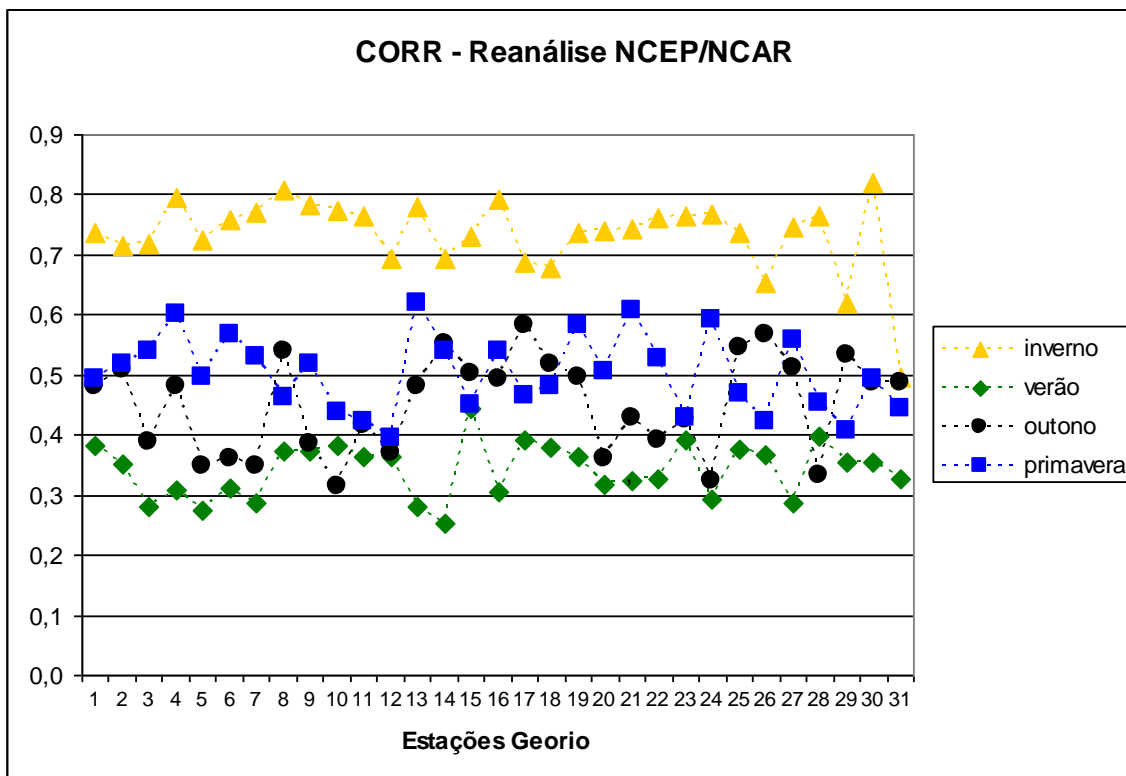


Figura 5.11 – Valores de CORR entre a série de precipitação total diária e as estações da Geo-Rio (enumeradas de acordo com a Tab. 3.1) para (a) Hidroestimador do CPTEC, (b) TRMM e (c) Reanálise do NCEP/NCAR.

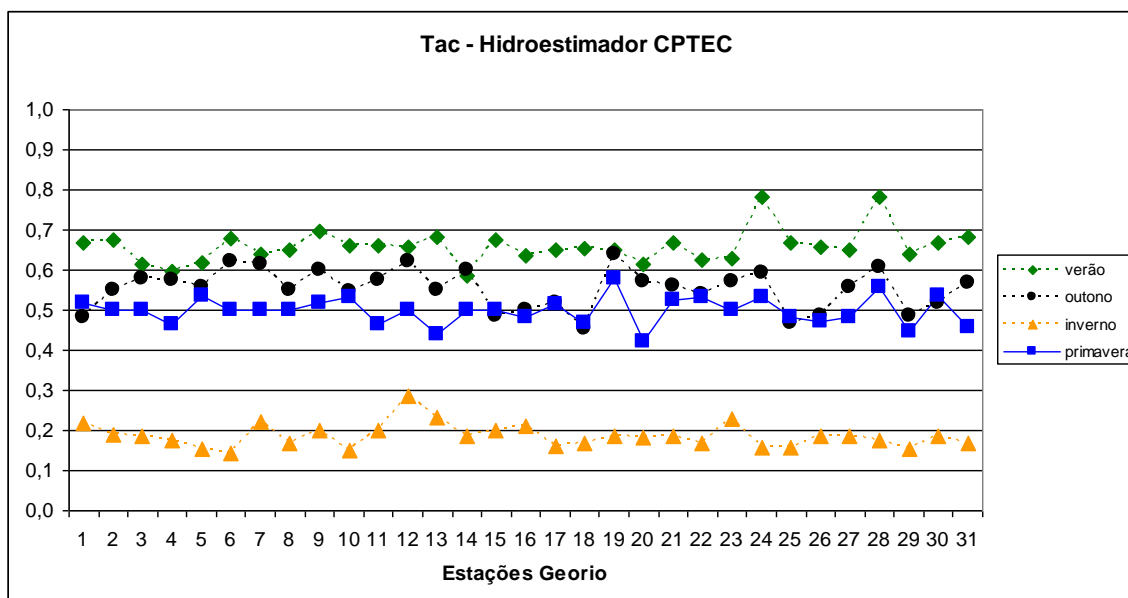
Em resumo, a Reanálise do NCEP/NCAR é a fonte que apresenta os maiores valores de CORR, com exceção do verão quando os valores do TRMM são superiores. O Hidroestimador do CPTEC apresenta as CORRs mais baixas dentre as 3 fontes de dados.

d) Taxa de Acerto (Tac) e Taxa de Alarme Falso (Taf)

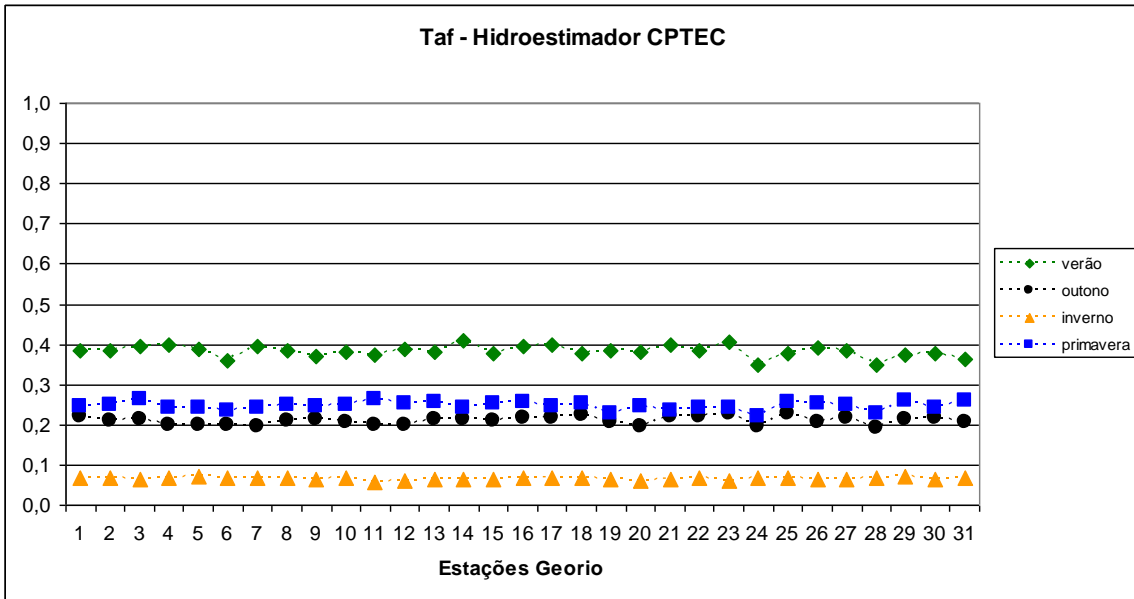
Na Fig. 5.12 são apresentados os valores de Tac e Taf, obtidos a partir da tabela de contingência para o Hidroestimador do CPTEC, TRMM e Reanálise do NCEP/NCAR. Para o Hidroestimador do CPTEC (Fig. 5.12 a e b) os resultados indicam que durante o verão ocorrem os maiores valores de Tac, contudo estas são alcançadas à custa de produzir também as maiores Tafs (em relação às demais estações do ano). Por outro lado no inverno

ocorrem as menores Tacs e menores Tafs. No outono e primavera nota-se comportamentos parecidos, com valores médios de aproximadamente 0,5 (Tac) e 0,2 (Taf). Para o TRMM (Fig. 5.12 c e d) as Tacs são mais elevadas do que para o Hidroestimador do CPTEC, com exceção das Tacs de verão, ligeiramente mais altas no Hidroestimador. Contudo o TRMM não produz Tafs tão elevadas para esta estação do ano. No inverno as Tacs também são baixas no TRMM. No outono, primavera e verão o TRMM apresenta Tacs relativamente altas e Tafs baixas. Na Reanálise do NCEP/NCAR (Fig. 5.12 e e f) nota-se Tacs bastante elevadas no verão e outono, contudo no verão a Taf é também bastante elevada, assim como ocorre no Hidroestimador do CPTEC. O outono parece ser a estação com melhor performance para este modelo, com altos valores de Tac, sendo que a Taf não se apresenta tão elevada (em torno de 0,3), quanto no verão. No inverno e a Reanálise não apresenta performance tão ruim, pois suas Tacs ficam em torno de 0,40 enquanto as Tafs são bastante reduzidas, muito próximo de zero.

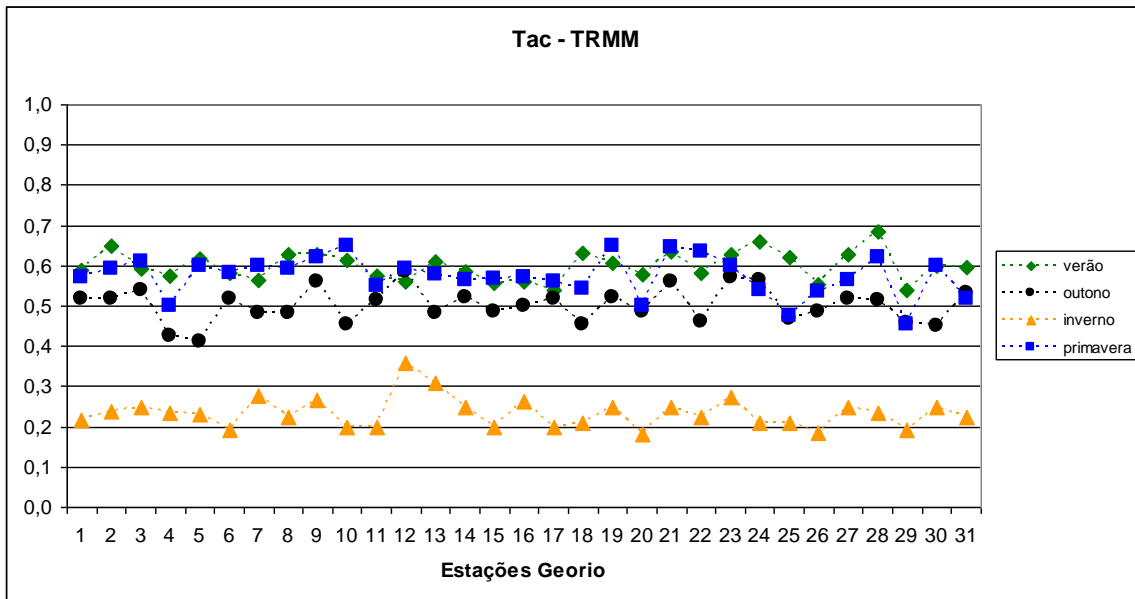
(a)



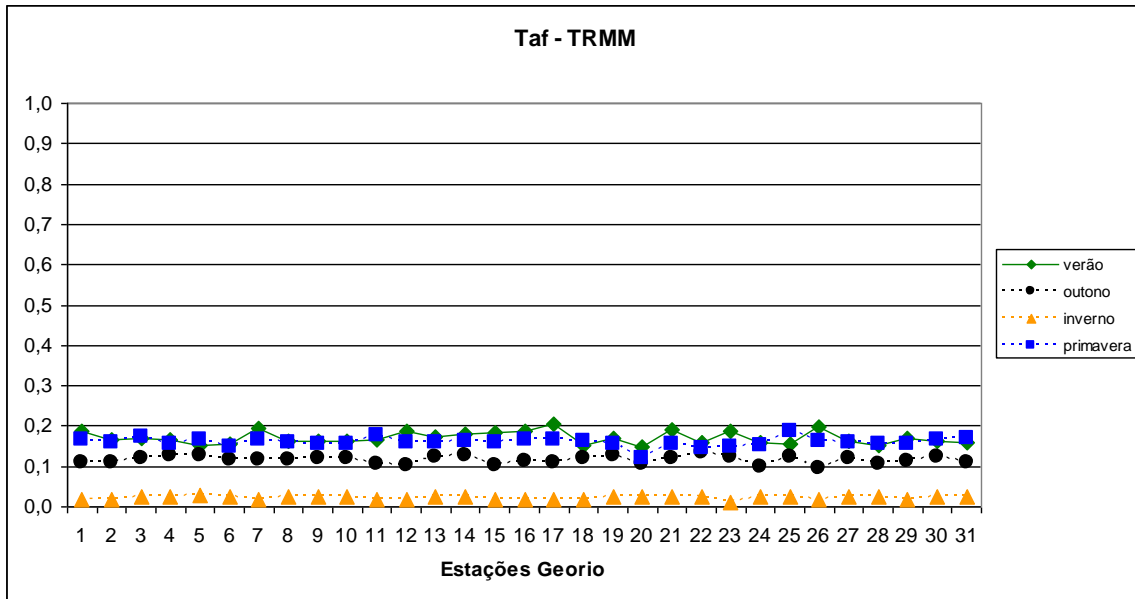
(b)



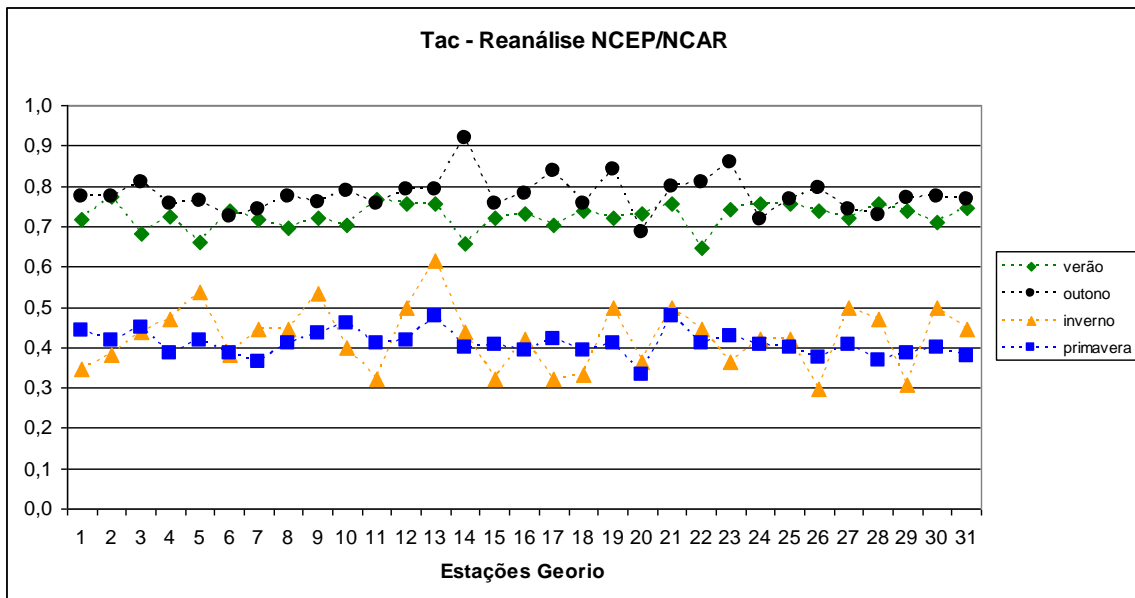
(c)



(d)



(e)



(f)

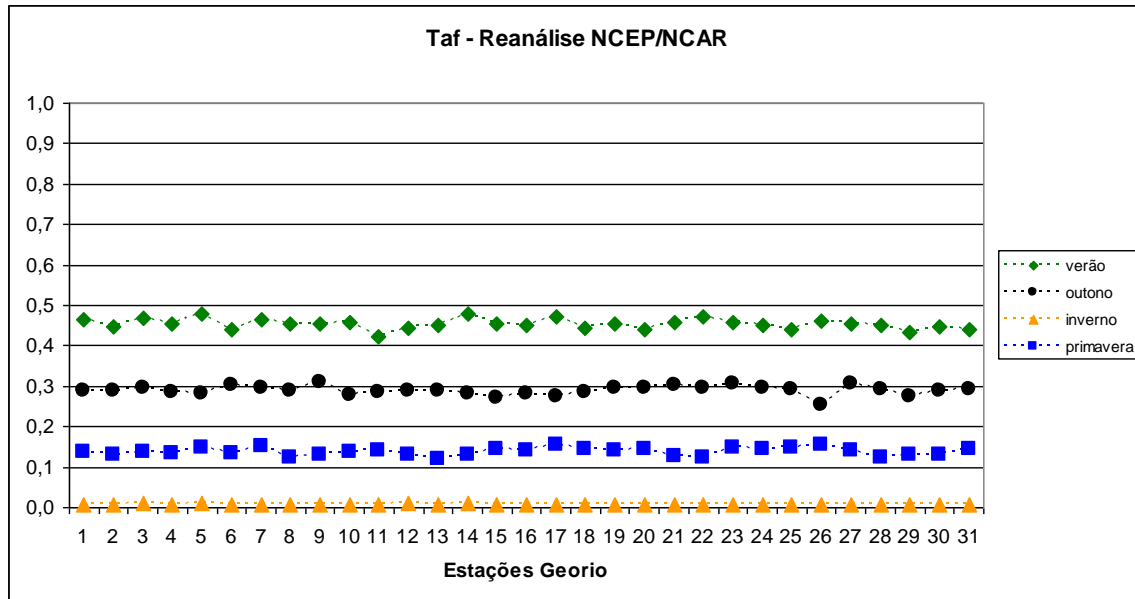


Figura 5.12 – Valores de Tac e Taf obtidos a partir das tabelas de contingência construídas confrontando-se as séries de precipitação total diária das estações da Geo-Rio (enumeradas de acordo com a Tab. 3.1) e as séries do Hidroestimador do CPTEC (a) e (b), TRMM (c) e (d) e Reanálise do NCEP/NCAR (e) e (f).

e) Resumo

As Tabelas a seguir resumem os resultados das avaliações sazonais para o Hidroestimador do CPTEC (Tab. 5.1), TRMM (Tab. 5.2) e Reanálise do NCEP/NCAR (Tab. 5.3), a partir de médias aritméticas dos valores de EM, REQM, CORR, Tac e Taf levando-se em consideração todas as estações da Geo-Rio.

Tabela 5.1 – Média aritmética dos valores de EM (mm), REQM (mm), CORR, Tac e Taf considerando-se todas as estações da Geo-Rio, em relação ao Hidroestimador do CPTEC.

Hidroestimador CPTEC	verão	outono	inverno	primavera
EM (mm)	4,1	1,2	-1,1	-0,2
REQM (mm)	16,4	14,8	7,0	10,7
CORR	0,23	0,24	0,24	0,40
Tac	0,67	0,50	0,15	0,50
Taf	0,38	0,20	0,08	0,20

Tabela 5.2 – Média aritmética dos valores de EM (mm), REQM (mm), CORR, Tac e Taf considerando-se todas as estações da Geo-Rio, em relação ao TRMM.

TRMM	verão	outono	inverno	primavera
EM (mm)	-0,54	-1,08	-1,29	-0,32
REQM (mm)	10,5	10,2	6,5	11,4
CORR	0,42	0,46	0,39	0,40
Tac	0,60	0,50	0,23	0,57
Taf	0,17	0,12	0,02	0,16

Tabela 5.3 – Média aritmética dos valores de EM (mm), REQM (mm), CORR, Tac e Taf considerando-se todas as estações da Geo-Rio, em relação à Reanálise do NCEP/NCAR.

Reanálise NCEP/NCAR	verão	outono	inverno	primavera
EM (mm)	0,62	0,76	-1,15	-1,8
REQM (mm)	9,7	9,6	5,5	9,6
CORR	0,34	0,45	0,73	0,50
Tac	0,73	0,78	0,43	0,41
Taf	0,45	0,29	0,01	0,14

Conclui-se que o Hidroestimador do CPTEC não deve ser utilizado no inverno, uma vez que o modelo não produz muitos eventos nesta estação, considerando apenas como nuvens precipitantes aquelas cujas temperaturas de brilho do topo são inferiores a 210 K (condição normalmente encontrada dentro de nuvens cumulonimbus), e que de fato não ocorre com frequência nesta estação do ano. Em consequência, o modelo apresenta a pior taxa de acerto (Tac=0,15) dentre todas as fontes de dados e em todas as estações do ano. No verão, o modelo produz muitos eventos, conseguindo, desta forma captar também muitos dos que ocorrem, porém a custo de produzir muitos eventos que não ocorrem (Tac=0,67 e Taf=0,38). Assim, o modelo deve ser utilizado com muita cautela no verão e ainda é necessário levar em conta que existe uma tendência de elevada superestimativa na intensidade da precipitação (maior EM e REQM dentre todas as fontes e estações do ano). No outono, o modelo consegue captar o maior número de eventos, a Tac decai, contudo a

Taf também decai (ambas em relação ao verão), o que é vantajoso para o modelo, contudo a CORR ainda é baixa (0,24). Na primavera, a CORR é muito mais elevada do que nas demais estações, quase o dobro (0,40), o modelo consegue captar a maior parte dos eventos ocorridos, o EM é próximo de zero e a REQM é menor do que no outono e verão. A primavera é a estação em que o modelo tem a melhor atuação.

O TRMM apresenta o mesmo problema que o Hidroestimador do CPTEC no inverno, mantém uma Tac muito baixa (Tac=0,23) e baixa CORR, portanto também não deve ser utilizado no inverno. O verão é a estação do ano em que o TRMM trabalha melhor, com Tac elevada (maior do que as demais Tacs ocorridas no ano) e também com Taf reduzida. Este modelo, funciona melhor nesta estação do ano do que o Hidroestimador e a Reanálise. No outono e primavera o TRMM funciona aproximadamente com a mesma performance, mantendo CORR em torno de 0,4, Tac em torno de 0,5 e Taf em torno de 0,15.

A Reanálise do NCEP/NCAR não deve ser utilizada no verão, já que o modelo funciona de forma semelhante ao Hidroestimador. A diferença é que o Hidroestimador ainda consegue reproduzir o início e o final dos eventos, enquanto a Reanálise mantém uma taxa de chuva constante durante o verão. Porém ambos apresentam elevadas Tafs. Este modelo é o que apresenta melhor performance no outono e inverno, com CORRs de respectivamente 0,45 e 0,73, Tacs elevadas em relação aos demais modelos, respectivamente 0,78 e 0,43 e Tafs baixas, respectivamente 0,29 e 0,01. Na primavera o modelo não apresenta taxas que o diferenciem dos demais modelos, mantendo Tac relativamente elevada (0,41), Taf baixa (0,14), CORR relativamente alta (0,50) e REQM de 9,6, ou seja, valores muito próximos aos apresentados no Hidroestimador e TRMM. A elevada performance deste modelo no inverno e nas estações de transição (outono e primavera) está relacionada ao fato de nestas estações os eventos de chuva estarem associados em geral com sistemas de escala sinótica, tais como sistemas frontais que são mais facilmente detectados por modelos numéricos.

Em resumo, pode-se dizer que no verão o ideal seria utilizar o TRMM, no outono e inverno a Reanálise do NCEP/NCAR e na primavera pode-se utilizar qualquer uma das fontes. Contudo, a escolha da melhor fonte de dados torna-se uma tarefa difícil e depende da

necessidade, já que existem restrições associadas à cada uma delas: A Reanálise do NCEP/NCAR possui baixa resolução espacial (210 x 210 km) e temporal (totais pluviométricos a cada 6 horas). O TRMM apesar de ser a melhor fonte no verão, deverá ser desativado até 2010 (http://www.space.com/spacenews/businessmonday_050620.html). Por outro lado o Hidroestimador do CPTEC, fornece dados a cada 30 minutos, encontra-se em funcionamento no CPTEC, existindo a possibilidade de implementações no código deste modelo, sendo possível melhorar a qualidade das estimativas de precipitação no verão.

6. Conclusões e Recomendações

Nesta monografia avaliou-se o comportamento de modelos que estimam a precipitação através de satélites (Hidroestimador do CPTEC, TRMM e GPCP) e da Reanálise do NCEP/NCAR no município do Rio de Janeiro durante o período de 2004 e 2005. O objetivo é definir o modelo que apresenta a melhor performance para reproduzir a série de totais pluviométricos diários observados sobre a região.

Para realizar esta avaliação as séries temporais de totais pluviométricos diários de cada modelo mencionado acima foram confrontadas com as séries observadas em 31 estações da Geo-Rio, homogeneamente distribuídas na cidade do Rio de Janeiro. Os critérios utilizados nesta avaliação se basearam nos cálculos estatísticos do EM, REQM e CORR e na elaboração de tabelas de contingência, para toda a série de dados e para cada estação do ano.

Uma avaliação comparativa entre as fontes de dados indica que a característica comum a todas elas está relacionada à incapacidade dos modelos em reproduzir os elevados valores de chuva que, em geral, ocorrem nas regiões localizadas a barlavento dos maciços existentes na cidade (Maciços da Tijuca, da Pedra Branca e do Gericinó). Desta forma suas intensidades são frequentemente subestimadas, o que gera valores negativos de EM ao longo de todo ano, para todas as fontes de dados nas localidades Itanhangá, Jardim Botânico, São Conrado e Sumaré (Maciço da Tijuca), Grota Funda (Maciço da Pedra Branca) e Mendanha e Gericinó (Maciço do Gericinó).

De acordo com os resultados da avaliação para todo o período estudado percebe-se que o desempenho do GPCP foi altamente insatisfatório, apresentando valores de CORR muito baixos e negativos, valores elevados de REQM e as menores Tacs em relação às demais fontes de dados. Além disso, a análise subjetiva indicou que o modelo não consegue captar os eventos isoladamente, reproduzindo uma série completamente defasada das séries observadas. A análise dos totais pluviométricos mensais de janeiro de 2004 até abril de 2005 (não mostrada) indica que este modelo não consegue reproduzir o ciclo anual da

precipitação no período estudado. Este resultado está de acordo com aqueles obtidos por Janowiak et al. (1997), que mostram que o GPCP não reproduziu o ciclo anual da precipitação no período de 1998 a 1995 na média global. Esta fonte de dados foi descartada da avaliação sazonal.

Com relação ao Hidroestimador do CPTEC foi verificado que tal modelo não deve ser utilizado no inverno, uma vez que não produz muitos eventos nesta estação, considerando apenas como nuvens precipitantes aquelas cujas temperaturas de brilho do topo são inferiores a 210 K (condição normalmente encontrada dentro de nuvens cumulonimbus), e que de fato não ocorre com frequência nesta estação do ano. Em consequência, o modelo apresenta a pior taxa de acerto ($Tac=0,15$) em relação ao TRMM e à Reanálise do NCEP/NCAR e em todas as estações do ano. No verão o modelo produz vários eventos de chuva, conseguindo, desta forma captar também muitos dos que ocorrem, porém a custo de produzir muitos eventos que não ocorrem ($Tac=0,67$ e $Taf=0,38$). Assim, o modelo deve ser utilizado com muita cautela no verão e ainda é necessário levar em conta que existe uma tendência de elevada superestimativa na intensidade da precipitação (maior EM e REQM dentre todas as fontes e estações do ano) nesta estação. A análise dos totais pluviométricos mensais (não mostrada) torna-se evidente a superestimativa de precipitação do modelo no trimestre dezembro-janeiro-fevereiro. No outono, o modelo consegue captar o maior número de eventos, a Tac decai, contudo a Taf também decai (ambas em relação ao verão), o que é vantajoso para o modelo, contudo a CORR ainda é baixa (0,24). Na primavera, a CORR é muito mais elevada do que nas demais estações, quase o dobro (0,40), o modelo consegue captar a maior parte dos eventos ocorridos, o EM é próximo de zero e a REQM é menor do que no outono e verão. Esta é a estação em que o modelo apresenta o melhor desempenho.

Os resultados obtidos para o TRMM indicaram que este modelo apresenta algumas características semelhantes ao Hidroestimador do CPTEC, com a mesma deficiência na produção de precipitação no inverno, mantendo uma Tac muito baixa ($Tac=0,23$) e baixa CORR, portanto também não deve ser utilizado no inverno. O verão é a estação do ano em que o TRMM trabalha melhor, com Tac elevada (maior do que as demais Tacs ocorridas no

ano) e também com Taf reduzida. Este modelo funciona melhor nesta estação do que o Hidroestimador, pois não superestima os eventos. No outono e primavera o TRMM funciona aproximadamente com a mesma performance, mantendo CORR em torno de 0,4, Tac em torno de 0,5 e Taf em torno de 0,15.

A Reanálise do NCEP/NCAR não deve ser utilizada no verão, já que o modelo produz precipitação de forma contínua durante toda a estação, produzindo elevados valores de Taf (como no caso do Hidroestimador). Este modelo é o que apresenta melhor performance no inverno, com CORR de 0,73, Tac elevada, em relação aos demais modelos (0,43) e Taf muita próxima de zero (0,01). No outono este modelo apresenta a maior Tac (0,78), com relação aos demais modelos e estações do ano, e a Taf não é tão elevada (0,29). A CORR é alta (0,45) e a REQM é menor do que nos demais modelos. Portanto esta fonte deve ser preferida no outono. Na primavera o modelo não apresenta taxas que o diferenciem dos demais modelos, mantendo Tac relativamente elevada (0,41), Taf baixa (0,14), CORR relativamente alta (0,50) e REQM de 9,6, ou seja, valores muito próximos aos apresentados no Hidroestimador e TRMM. A elevada performance deste modelo no inverno e nas estações de transição (outono e primavera) está relacionada ao fato de nestas estações os eventos de chuva estarem associados em geral com sistemas de escala sinótica, tais como sistemas frontais que são mais facilmente detectados por modelos numéricos.

Em resumo, pode-se dizer que no verão o ideal seria utilizar o TRMM, no outono e inverno a Reanálise do NCEP/NCAR e na primavera pode-se utilizar qualquer uma das fontes. Contudo, a escolha da fonte de dados torna-se uma tarefa difícil e depende da necessidade, já que existem restrições associadas à cada uma delas: A Reanálise do NCEP/NCAR possui baixa resolução espacial (210 x 210 km) e temporal (totais pluviométricos a cada 6 horas). O TRMM apesar de ser o melhor no verão, deverá ser desativado até 2010 (http://www.space.com/spacenews/businessmonday_050620.html). Por outro lado o Hidroestimador do CPTEC, fornece dados a cada 30 minutos, encontra-se em funcionamento no CPTEC, existindo a possibilidade de implementações no código deste modelo, sendo possível melhorar a qualidade das estimativas de precipitação no verão.

Estes resultados mostram que, apesar de muitos pesquisadores evitarem a utilização dos dados de precipitação da Reanálise do NCEP/NCAR, devido sua baixa confiabilidade, este modelo foi considerado a melhor fonte de dados entre as quatro avaliadas, conseguindo reproduzir com maior eficiência os totais pluviométricos observados na maior parte do ano (de março a novembro) no Rio de Janeiro. Isto sugere que a utilização de modelos numéricos de escala regional, com maior resolução espacial e temporal, poderia fornecer resultados superiores àqueles obtidos com estimativa da precipitação por satélite, como evidenciado também em Gonçalves et al. (2006).

A análise do comportamento dos modelos em relação às estações pluviométricas da Geo-Rio indica que no verão o Hidroestimador do CPTEC e o TRMM apresentam melhor performance para reproduzir a precipitação observada na Zona Oeste da cidade (Sepetiba e Santa Cruz). Por outro lado, a Reanálise do NCEP/NCAR no outono, inverno e primavera, apresenta melhor performance para representar a precipitação que ocorre na zona norte da cidade (Irajá, Penha e Ilha do Governador). Isto pode ser explicado pelo fato de tais estações estarem localizadas em áreas de baixada, longe da influência dos maciços.

Finalmente, como sugestão para trabalhos futuros recomenda-se: a) que esta avaliação seja estendida por um prazo mais longo, até 2007; b) o desenvolvimento de estudos de casos para analisar eventos, como por exemplo, o ocorrido entre 12 e 14 de outubro de 2004, onde o Hidroestimador do CPTEC prevê chuva forte (42 mm) porém observa-se valores inferiores a 1 mm no Rio de Janeiro; e também eventos onde o modelo não prevê chuva e ocorrem chuvas intensas, como por exemplo entre os dias 6 e 9 de julho de 2005, quando os totais pluviométricos diários ultrapassaram 100 mm; c) o aprofundamento dos estudos para o Hidroestimador do CPTEC, principalmente para a estação do verão, tentando encontrar uma melhor calibração para a área de interesse e d) a avaliação da previsão de precipitação com 6 h de antecedência, obtida por um modelo numérico de escala regional de alta resolução temporal e espacial para a área do Rio de Janeiro.

Referências Bibliográficas

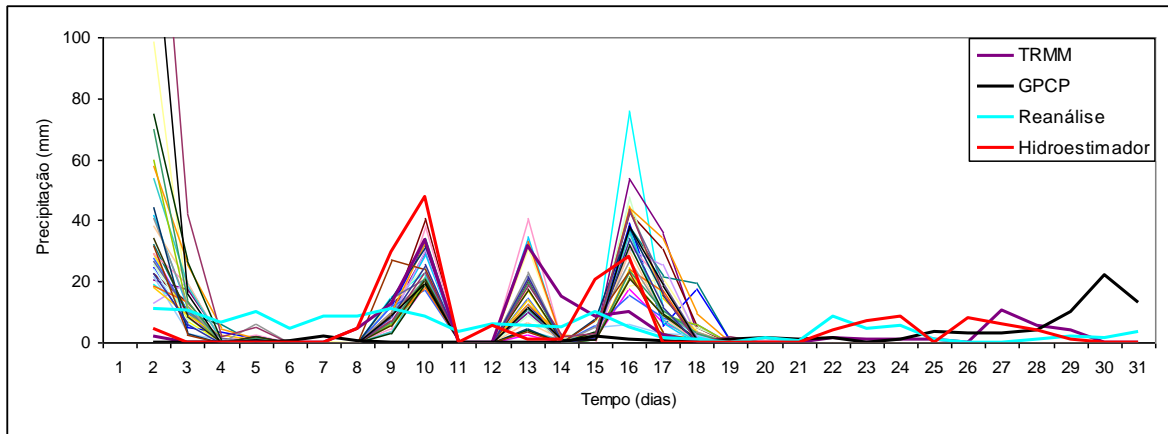
- Adler, R. F.; Negri A. J., 1988: A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall. *Journal of Applied Meteorology*, 27, 30–51.
- Alder, R. F.; Huffman, G. J.; Chang, A.; Ferraro, R.; Xie, P.; Janowiak, J.; Rudolf, B.; Schneider, U.; Curtis, S.; Bolvin, D.; Gruber, A.; Susskind, J.; e P. Arkin, P., 2003: The Version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979-Present). *Journal Hydrometeorology*, 4, 1147-1167.
- Arkin, P. A.; Meisner, B. N., 1987: The relationship between large-scale convective rainfall and cold cloud over the Western Hemisphere during 1982–1984. *Monthly Weather Review*, 115, 51–74.
- Chang, A. T.; Chiu, L. S.; Yang, G., 1995: Diurnal cycle of oceanic precipitation from SSM/I data. *Monthly Weather Review*, 123, 3371–3380.
- Coelho, M. S., 2002: Estudo da estrutura vertical horizontal da precipitação e da circulação atmosférica na região da ZCIT. Dissertação de mestrado, INPE, 158p. (INPE-10287-TDI/906).
- Collischonn, B., 2006: Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- de Araujo, A. N., 2006: Simulação hidrológica com o uso de chuva estimada por satélite. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná.
- de Goncalves L. G. G.; W. J. Shuttleworth; B. Nijssen; E. J. Burke; J. A. Marengo; S. C. Chou; P. Houser; D. L. Toll, 2006: Evaluation of model-derived and remotely sensed precipitation products for continental South America. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 111, D16113, doi: 10.1029/2005JD006276.
- Gagin, A.; D. Rosenfeld; R. E. Lopez, 1985: The relationship between height and precipitation characteristics of summertime convective cells in South Florida. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 42, 84–94.
- Goodman, B.; D. W. Martin; W. P. Menzel; E. C. Cutrim, 1994: A non-linear algorithm for estimating 3-hourly rain rates over Amazonia from GOES/VISSR observations. *Remote Sensing Reviews*, 10, 169–177.
- Griffith, C. G., Woodley, W. L.; Grube, P. G.; Martin, D. W.; Stout, J.; Sikdar, D. N., 1978: Rain estimates from geosynchronous satellite imagery: Visible and infrared studies. *Monthly Weather Review*, 106, 1153–1171.

- Huffman, G. J. et al., 1997: The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Combined Precipitation Dataset. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 5-20.
- Janowiak, J. E.; Arkin, P. A., 1991: Rainfall Variations in the Tropics during 1986– 1989. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 96, 3359–3373.
- Jobard, I., 2001: Status of satellite retrieval of rainfall at different scales using multisource data. *Mega-tropiques 2nd Scientific Workshop*, Paris, França.
- Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gadin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Woolen, J.; Zhu, Y.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Higgins, W.; Jonawiak, J.; Mo, K.C.; Ropelewisk, C.; Wang, J.; Leetmaa, A.; Reynold, R.; Jenne, R.; Joseph, D., 1996: The NCEP/NCAR 40- Year Reanalysis Project. *Bulletin of the Meteorological Society*, 77, 437-471.
- Kuligowski, R. J.; Davenport, J. C.; Scofield, R. A., 2004: The Hydro-Estimator Technique for High-Resolution Geostacionary Satellite Rainfall Estimates. 13th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, Norfolk, VA, Setembro de 2004.
- Kummerow, C.; Barnes, W.; Kozu, T. et al., 1998: The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 15, 809-817.
- Kummerow, C.; Simpson, J.; Thiele, O.; Barnes, W.; Chang, A. T. C.; Stocker, E.; Adler, R. F.; Hou, A.; Kakar, R.; Wentz, F.; Ashcroft, P.; Kozu, T. Hong, Y.; Okamoto, K.; Iguchi, T.; Kuroiwa, H.; Im, E.; Haddad, Z.; Huffman, G.; Ferrier, B.; Olson, W. S.; Zipser, E.; Smith, E. A.; Wilheit, T. T.; North, G. Krishnamurti, T.; Nakamura, K., 2000: The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. *Journal of Applied Meteorology*, 39, 1965-1982.
- McCollum, J. R.; Gruber, A.; Ba, M. B., 1999: Discrepancy between Gauges and Satellite Estimates of Rainfall in Equatorial Africa. *Journal of Applied Meteorology*. 39, 666-679.
- Nicholson, S. E.; Some, B.; McCollum, J.; Nelkin, E.; Klotter, D.; Berte, Y.; Diallo, B.M; Gayle, I.; Kpabeba, G.; Ndiaye, O.; Noukpozounkou, J.N.; Tanu, M.M.; Thiam, A.; Toure, A.A.; Traore, A.K., 2003: Validation of TRMM and other rainfall estimates with a high-density gauge dataset for West Africa. Part II: Validation of TRMM Rainfall Products. *Journal of Applied Meteorology*, 10(42), 1355-1368.
- Oliveira, J. S. de, C. P. Dereczynski e C. O. Machado, 2005: Climatologia da Precipitação no Município do Rio de Janeiro. CD-ROM do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia - XIV CBMET - Florianópolis, SC. 27 de novembro a 1 de dezembro de 2006.

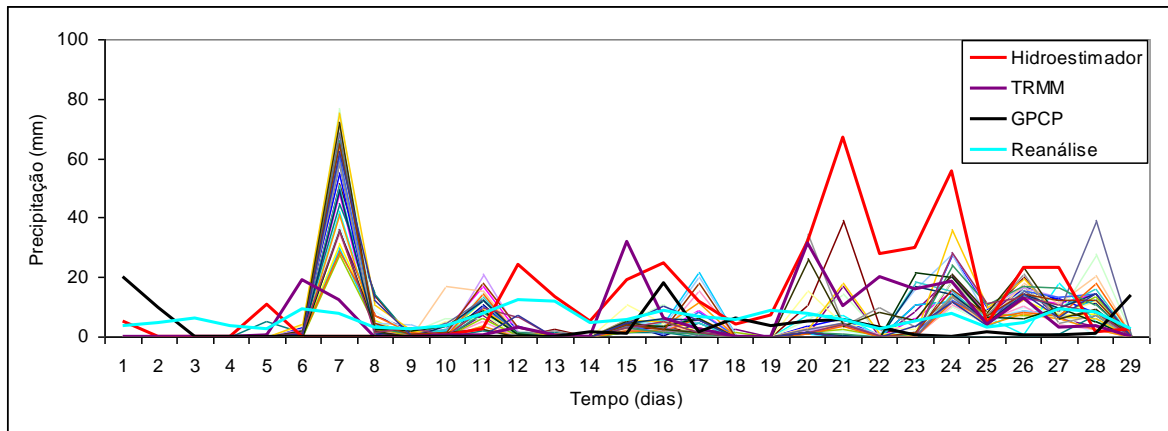
- Ramage, K.; Jobard, I.; Lebel, T.; Desbois, M., 2000: Satellite estimation of 1-day to 10-day precipitation: Comparison and validation over Tropical Africa of TRMM, METEOSAT and GPCP products. The 2000 EUMETSAT Meteorological Satellite Data User's Conference, Bologna, Italy, 363-369.
- Rudolf, B.; Hauschild, H.; R  th, W.; Schneider, U., 1996: Comparison of Rain gauge Analyses, Satellite-based Precipitation Estimates, and Forecast Model Results. *Advances in Space Research*, 18, 53–62.
- Schultz, G. A.; Engman, E. T., 2000: *Remote Sensing in Hydrology and Water Management*. Springer, 483p.
- Scotfield, R. A.; Oliver, V. J., 1977: A scheme for estimating convective rainfall from satellite imagery. NOAA Tech. Memo. NESS 86, U.S. Dept. Commerce, Washington, DC, 47 pp. [Available from U.S. Department of Commerce/National Oceanic and Atmospheric Administration/National Environmental Satellite, Data, and Information Service, Washington, DC 20233.]
- Scotfield, R. A.; Oliver, V. J., 1980: Some improvements to the Scotfield/Oliver technique. *Proceedings of the Second Conference on Flash Floods*. Atlanta, American Meteorology Society, 115-122.
- Scotfield, R. A., 1987: The NESDIS operational convective precipitation technique. *Monthly Weather Review*, 115, 1773–1792.
- Scotfield, R. A., 2001: Comments on "A quantitative assessment of the NESDIS Auto-Estimador." *Weather and Forecasting*, 16, 277-278.
- Souza, R. A. F. et. al., 2006: *Contribui  es   Meteorologia por Satélite: Produtos Operacionais no CPTEC*.
- Swets, J. A., 1973: The relative operating characteristic in psychology. *Science*, 182, 990-1000.
- Vicente, G. A., 1996: Algorithm for rainfall rate estimation using a combination of GOES-8 11.0 mm and 3.9 mm measurements. *Proceedings of the 8th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography*, Atlanta, GA, American Meteorology Society, 274–278.
- Vicente, G. A.; Scotfield, R. A.; Menzel, W. P., 1998: The Operation GOES Infrared Rainfall Estimation Technique. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.79, p. 1883-1898.

- Vicente, G. A.; Davenport, J. C.; Scofield, R. A., 2002: The role of orographic and parallax corrections on real time high resolution satellite rainfall estimation. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 221-230.
- Vila D., Velasco I., Goniadski D., 2001, Satellite Rainfall Estimation Using Rainfall Observed Data: Two events evaluation. *Anales del CONGREGMET VIII y CLIMET IX*, Buenos Aires, Argentina, Mayo 2001.
- Weng, F.; Grody, N. C.; 1994: Retrieval of cloud liquid water using the Special Sensor Microwave Imager (SSM/I). *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 99, 25 535–25 551.
- Woodley, W. L., 1970: Precipitation results from pyrotechnic cumulus seeding experiment. *Journal of Applied Meteorology*, 9, 109–122.
- Woodley, W. L.; Sancho, B., 1971: A first step towards rainfall estimation from satellite cloud photographs. *Weather*, July, 279–289.
- Woodley, W. L.; Miller, A. H., 1972: Rainfall estimation from satellite cloud photographs. NOAA Tech. Memo. ERL OD-11, 43 pp. [Available from U.S. Department of Commerce/National Oceanic and Atmospheric Administration/National Environmental Satellite, Data, and Information Service, Washington, DC 20233.]
- Woodley, W. L.; Olsen, A. R.; Herndon, A.; Wiggert, V., 1975: Comparison of gauge and radar methods of convective rain measurements. *Journal of Applied Meteorology*, 14, 909–928.
- Wylie, D. P., 1979: An application of a geostationary satellite rain estimation technique to an extratropical area. *Journal of Applied Meteorology*, 18, 1640–1648.

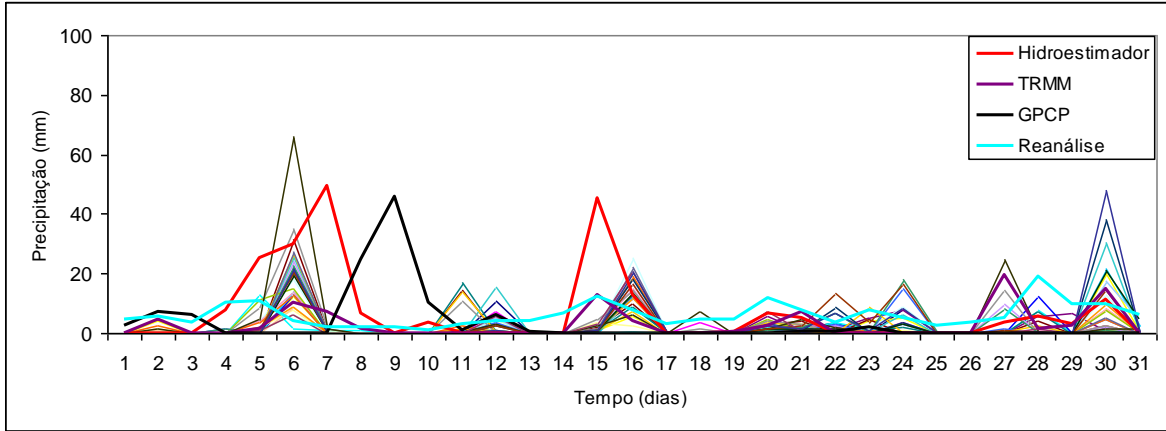
Anexo



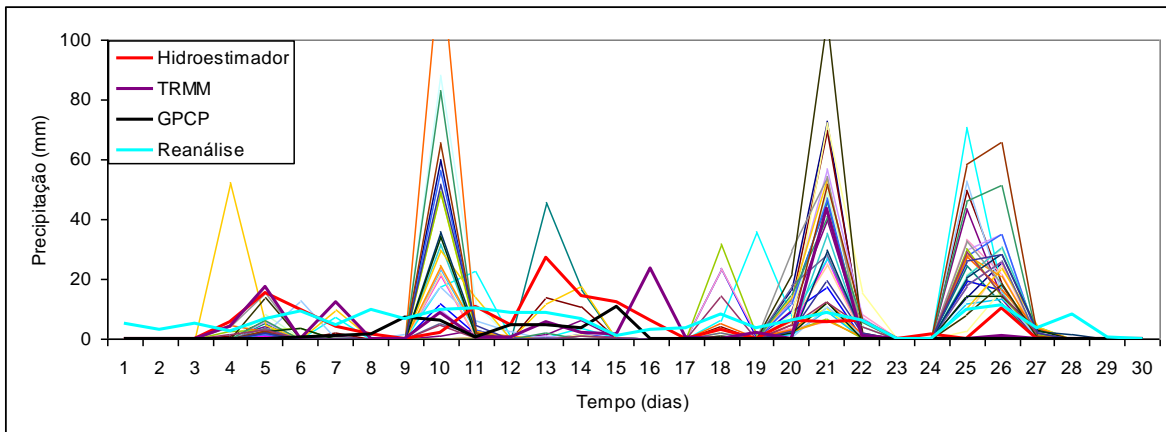
A.1 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM, GPCP e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de janeiro de 2004.



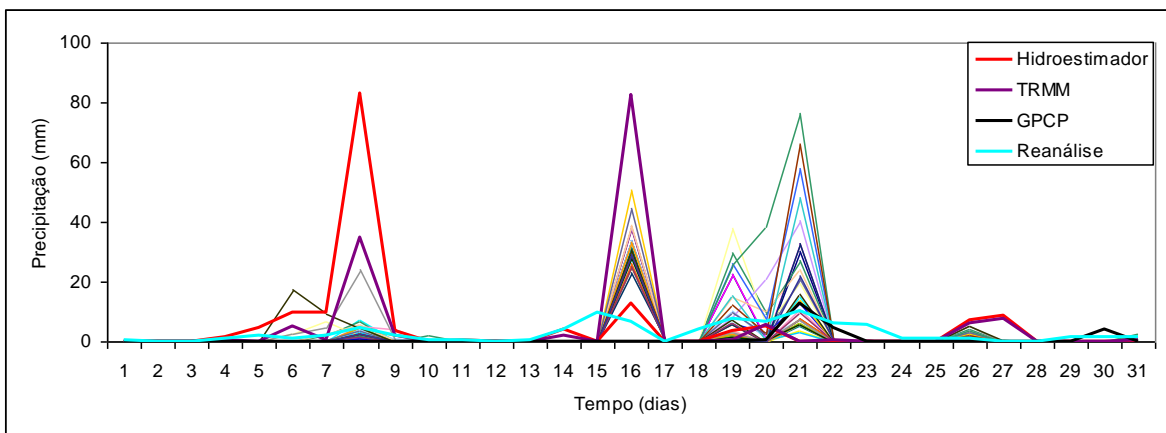
A.2 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM, GPCP e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de fevereiro de 2004.



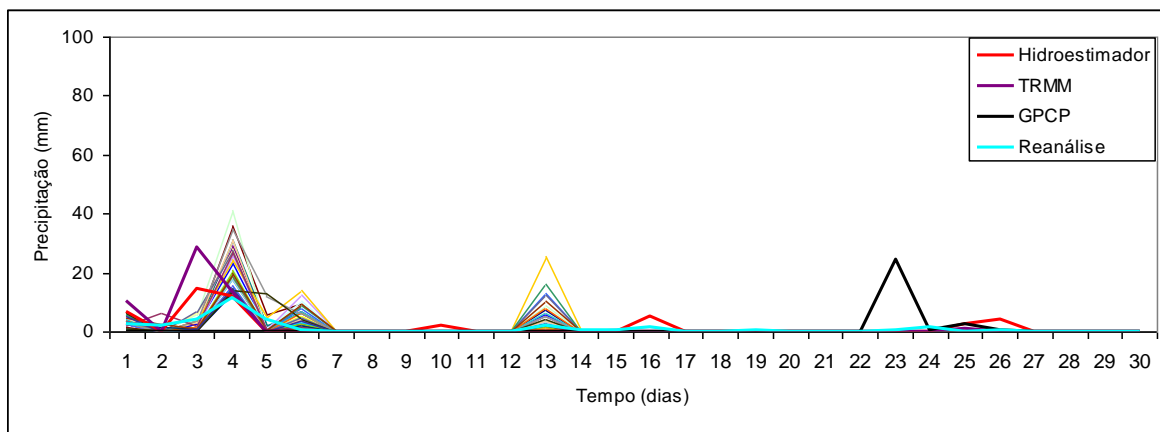
A.3 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM, GPCP e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de março de 2004.



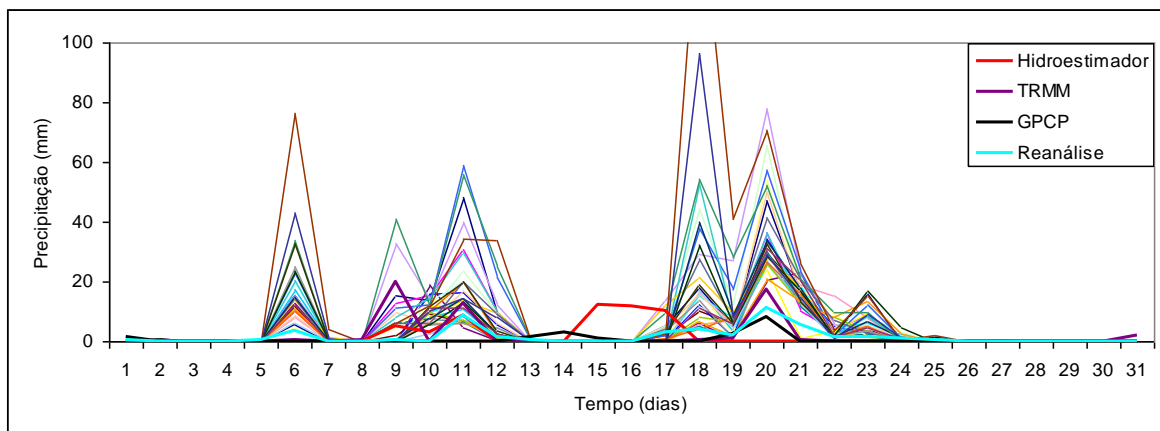
A.4 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM, GPCP e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de abril de 2004.



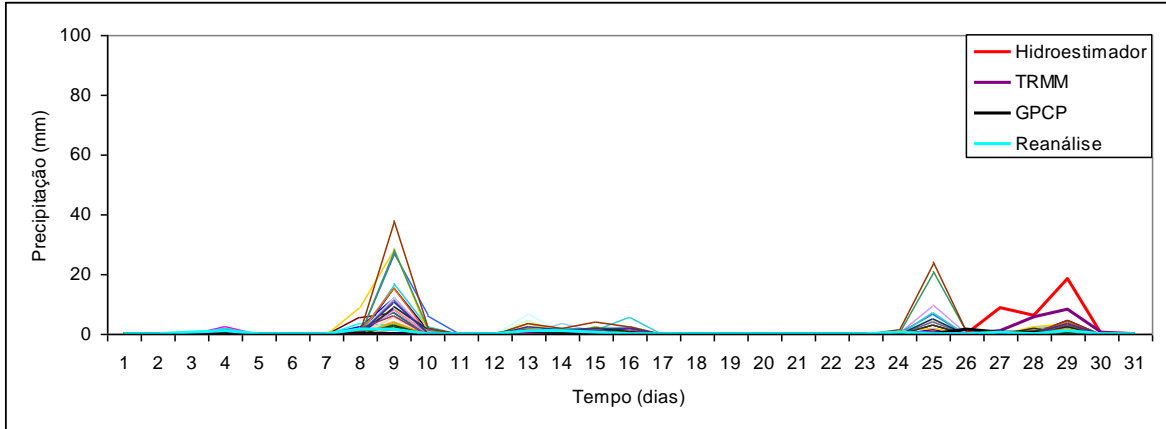
A.5 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM, GPCP e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de maio de 2004.



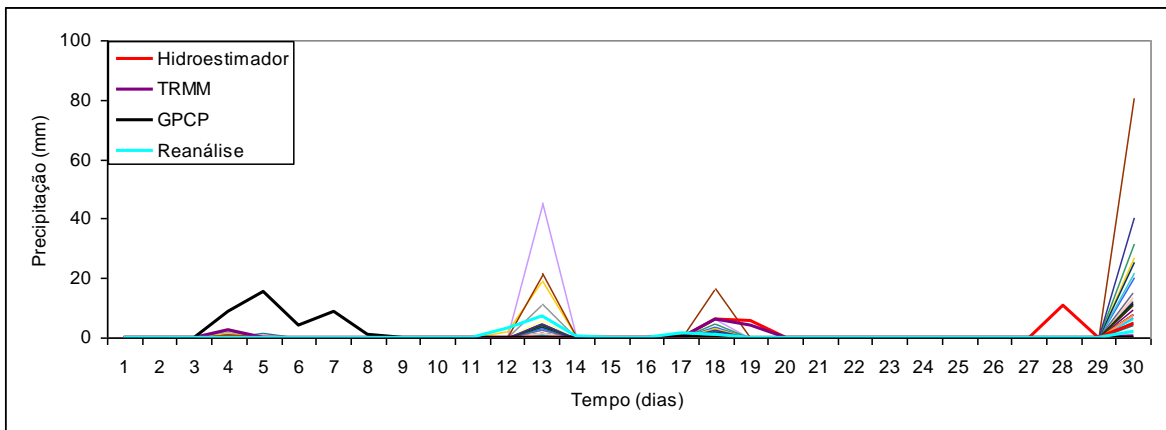
A.6 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM, GPCP e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de junho de 2004.



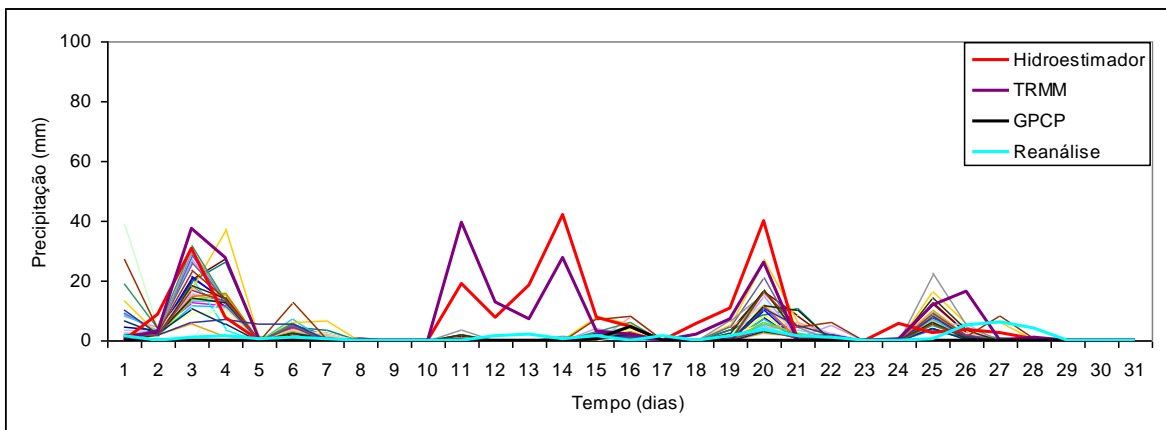
A.7 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM, GPCP e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de julho de 2004.



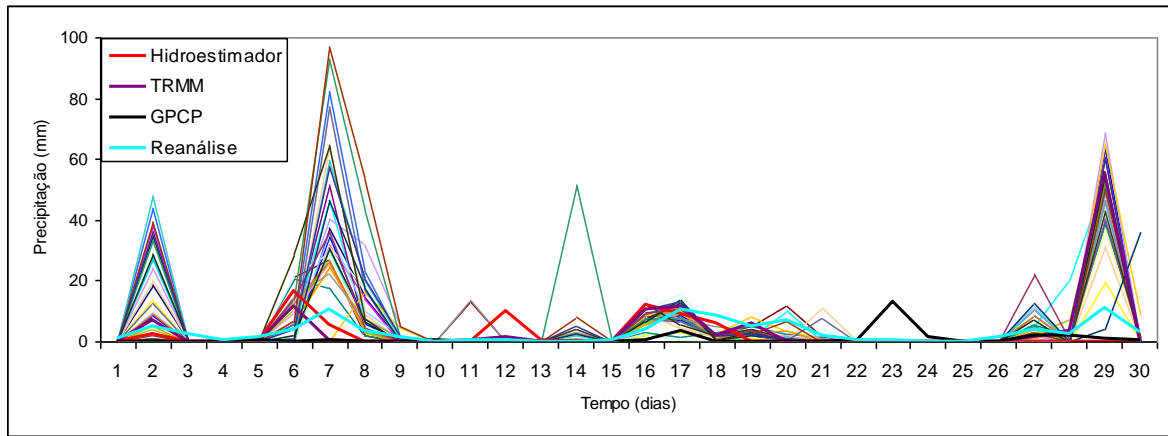
A.8 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM, GPCP e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de agosto de 2004.



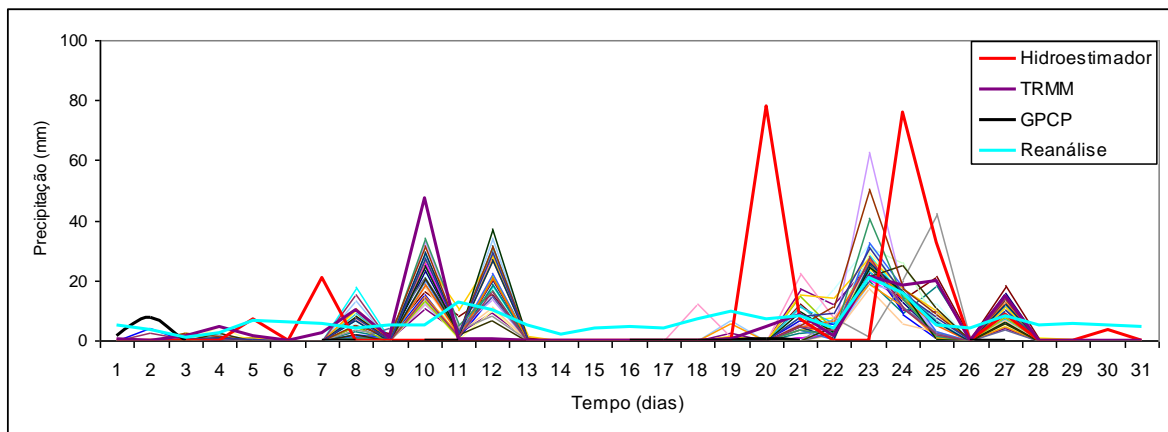
A.9 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM, GPCP e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de setembro de 2004.



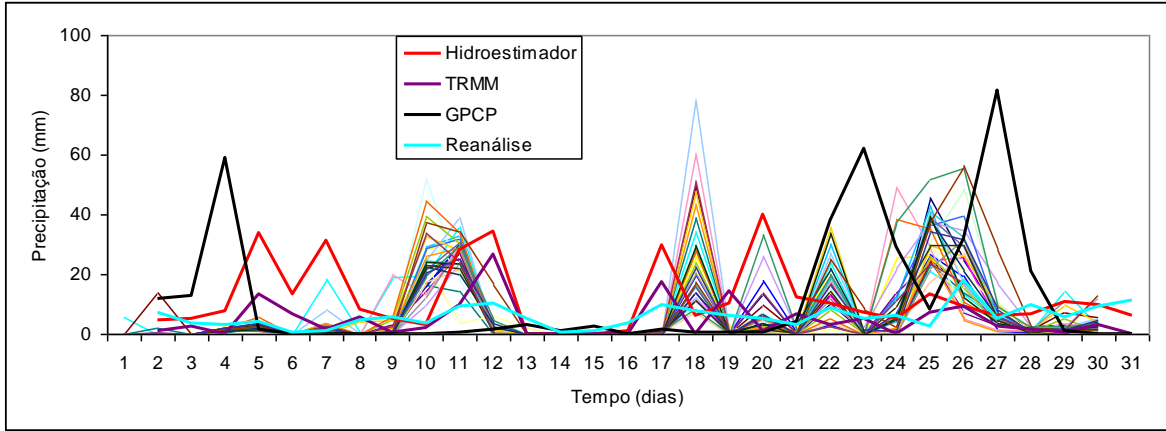
A.10 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM, GPCP e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de outubro de 2004.



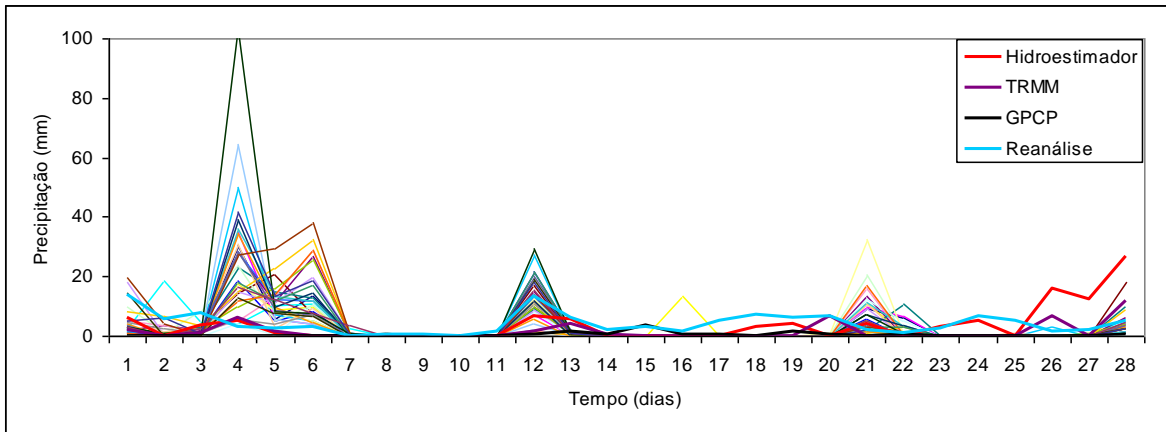
A.11 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM, GPCP e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de novembro de 2004.



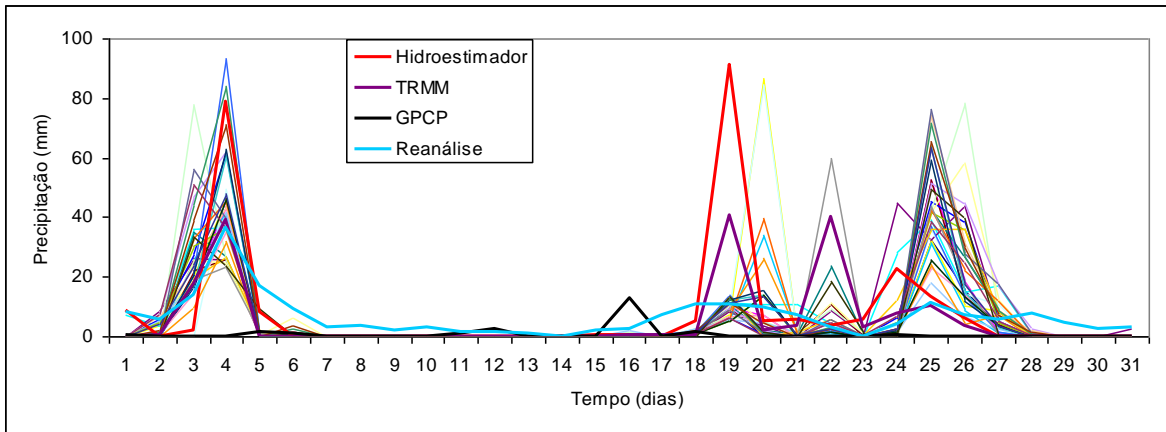
A.12 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM, GPCP e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de dezembro de 2004.



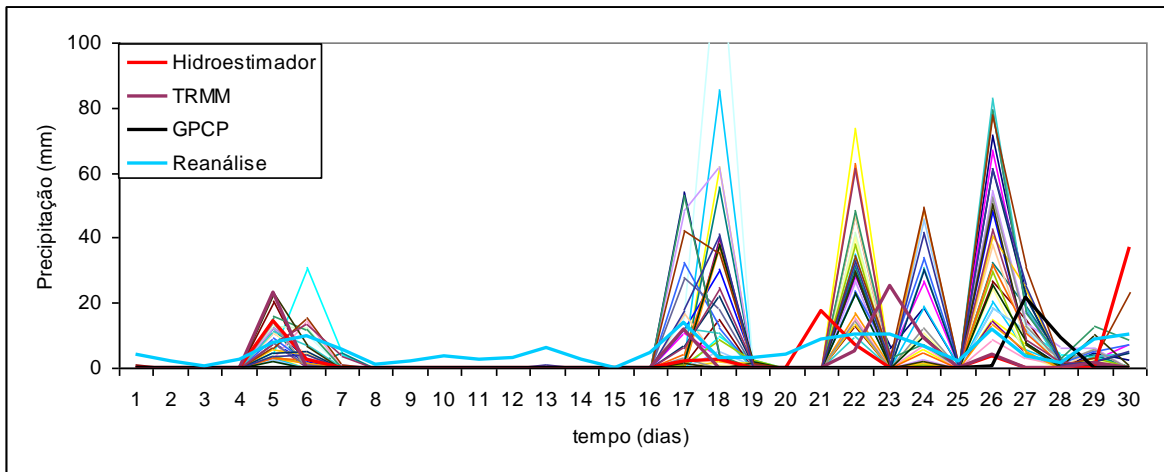
A.13 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM, GPCP e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de janeiro de 2005.



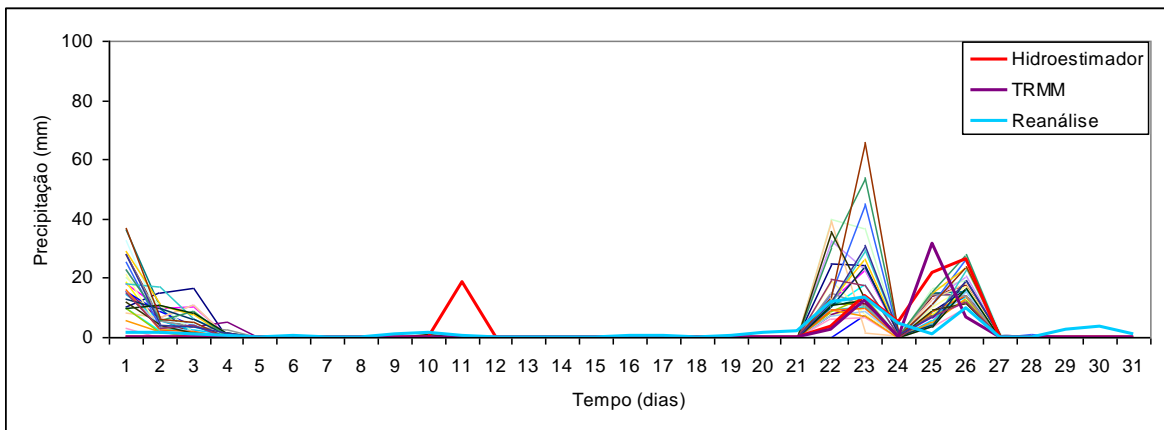
A.14 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM, GPCP e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de fevereiro de 2005.



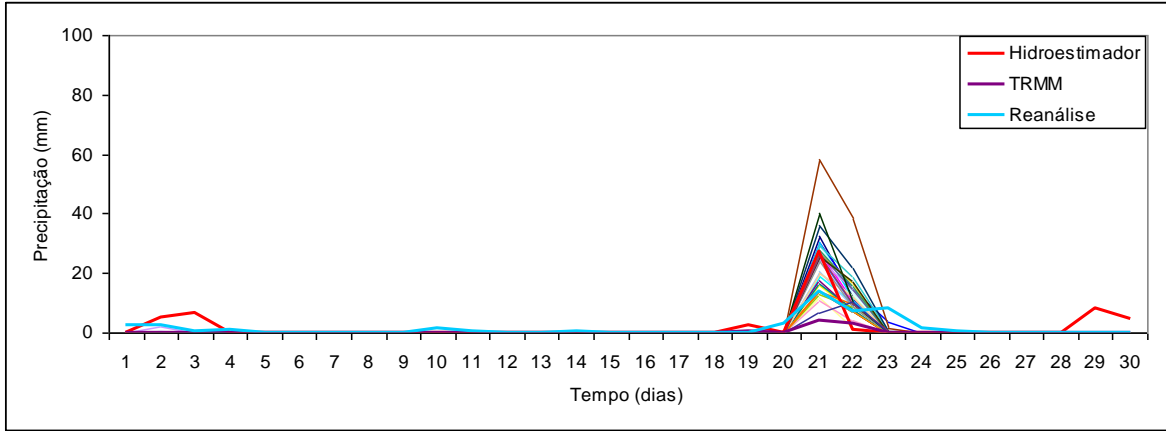
A.15 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM, GPCP e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de março de 2005.



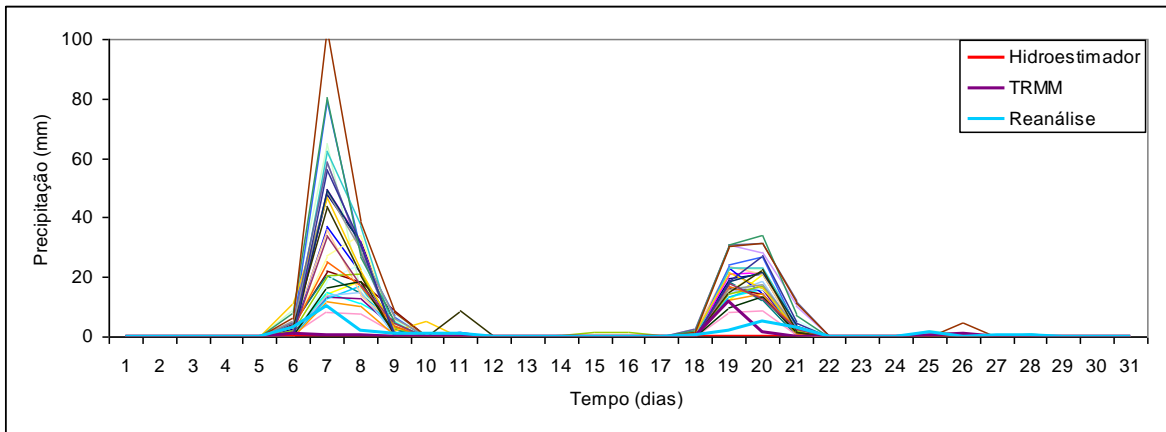
A.16 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM, GPCP e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de abril de 2005.



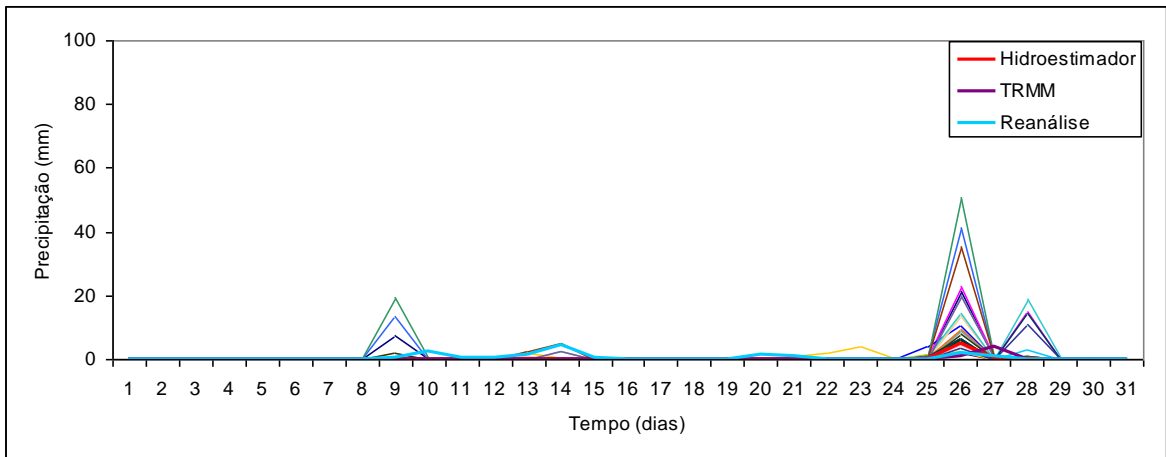
A.17 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de maio de 2005.



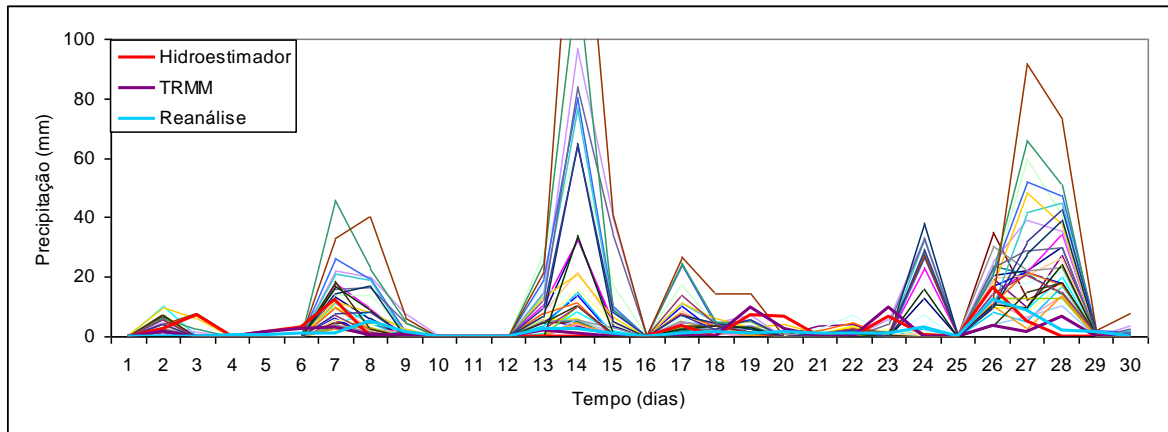
A.18 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de junho de 2005.



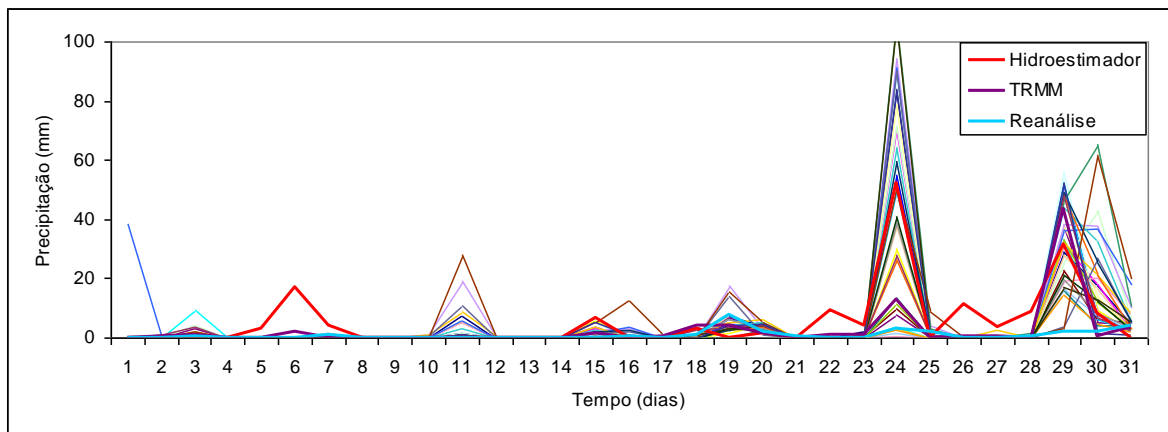
A.19 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de julho de 2005.



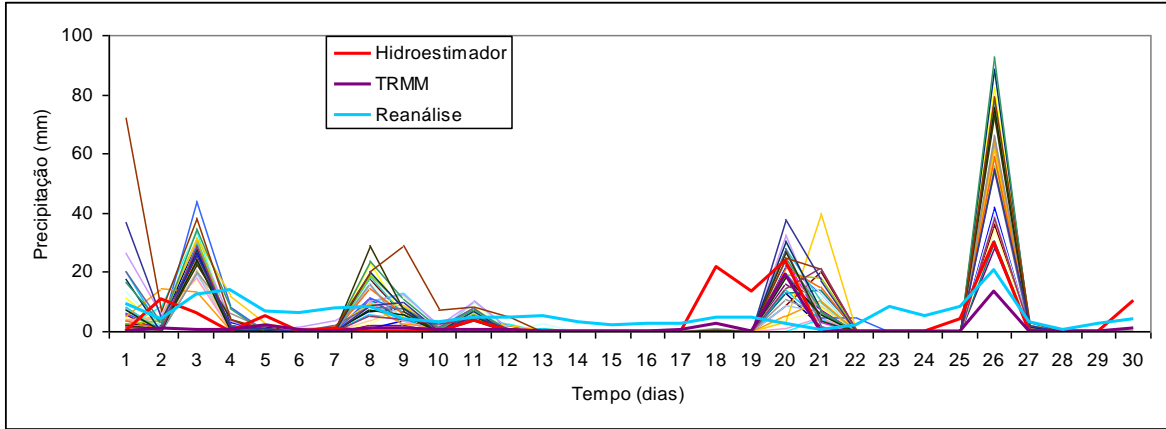
A.20 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de agosto de 2005.



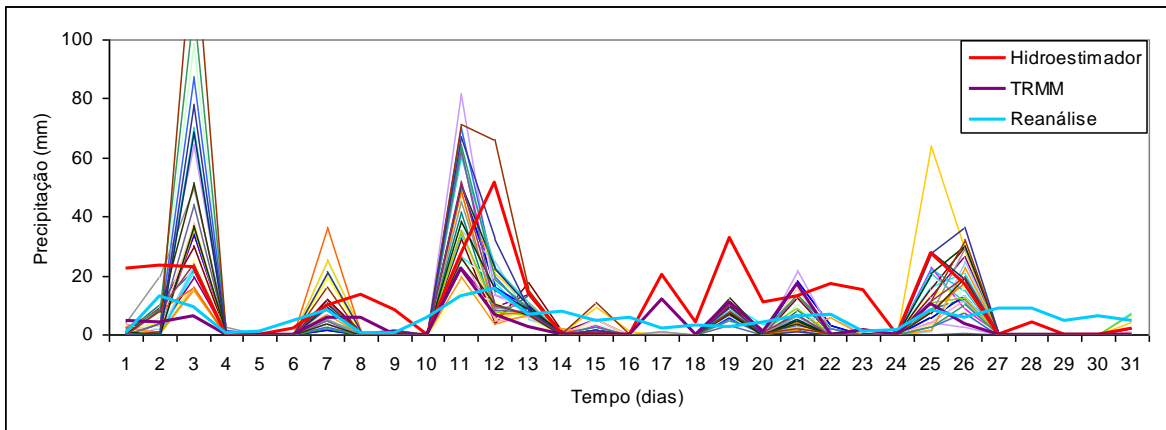
A.21 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de setembro de 2005.



A.22 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de outubro de 2005.



A.23 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de novembro de 2005.



A.24 – Série temporal da precipitação (mm) observada nas estações da Geo-Rio (linhas coloridas finas) e prevista pelo Hidroestimador do CPTEC, TRMM e Reanálise do NCEP/NCAR durante o mês de dezembro de 2005.