



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**INPE-14801-TDI/1244**

**CARACTERÍSTICAS DE PRECIPITAÇÃO SOBRE A AMÉRICA  
DO SUL PROVENIENTES DE DIFERENTES FONTES DE DADOS  
COM ÊNFASE NO BRASIL**

Ana Carolina Vasques

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia,  
orientada pelos Drs. Sergio Henrique Franchito e Vadlamudi Brahmananda  
Rao, aprovada em 27 de fevereiro de 2007.

INPE  
São José dos Campos  
2007

Publicado por:

**esta página é responsabilidade do SID**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Gabinete do Diretor – (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 – CEP 12.245-970

São José dos Campos – SP – Brasil

Tel.: (012) 3945-6911

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: [pubtc@sid.inpe.br](mailto:pubtc@sid.inpe.br)

**Solicita-se intercâmbio  
We ask for exchange**

**Publicação Externa – É permitida sua reprodução para interessados.**



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**INPE-14801-TDI/1244**

**CARACTERÍSTICAS DE PRECIPITAÇÃO SOBRE A AMÉRICA  
DO SUL PROVENIENTES DE DIFERENTES FONTES DE DADOS  
COM ÊNFASE NO BRASIL**

Ana Carolina Vasques

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia,  
orientada pelos Drs. Sergio Henrique Franchito e Vadlamudi Brahmananda  
Rao, aprovada em 27 de fevereiro de 2007.

INPE  
São José dos Campos  
2007

551.515.1 (81)

Vasques, A. C.

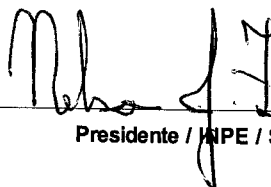
Características de precipitação sobre a América do Sul provenientes de diferentes fontes de dados com ênfase no Brasil / Ana Carolina Vasques. - São José dos Campos: INPE, 2007.

145 p. ; (INPE-14801-TDI/1244)

1. Medida de precipitação. 2. Estação pluviométrica.  
3. Banco de dados. 4. Satélite TRMM. 5. Climatologia.  
I.Título.

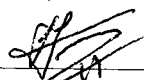
**Aprovado (a) pela Banca Examinadora  
em cumprimento ao requisito exigido para  
obtenção do Título de Mestre em  
Meteorologia**

**Dr. Nelson Jesus Ferreira**



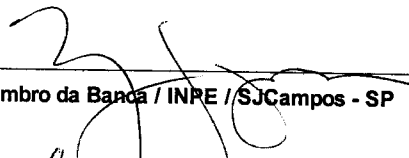
Presidente / INPE / SJCampos - SP

**Dr. Sérgio Henrique Franchito**



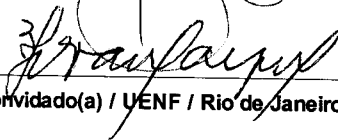
Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

**Dra. Mary Toshie Kayano**



Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

**Dr. Valdo da Silva Marques**



Convidado(a) / UENF / Rio de Janeiro - RJ

**Aluno (a): Ana Carolina Vasques**

**São José dos Campos, 27 de Fevereiro de 2007**



*“Quando o Senhor Deus fez a terra e os céus, ainda não tinha brotado nenhum arbusto no campo, e nenhuma planta havia germinado, porque o Senhor Deus ainda não tinha feito chover sobre a terra”.*

*GÊNESIS 2:4,5*





*A meus pais, Edson José Vasques e Raquel Ramalho Vasques.  
Ensinaram-me os caminhos de Deus e da verdade.*



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ser a minha rocha e fortaleza nos momentos difíceis e por mostrar que depois das tempestades chega a bonança, e depois das chuvas aparece o arco-íris.

A meus pais Edson e Raquel porque me deram a educação, os princípios e a base de toda a minha formação.

Ao meu esposo Ruimar Costa Freitas, pelo amor, compreensão e apoio para que eu estivesse aqui.

A meus queridos irmãos Amanda e Rérison, que sempre compreenderam muito bem as dificuldades e exigências da realização de uma pós-graduação.

A minha querida cunhada Priscila, que leva no ventre meu já amado sobrinho Lucas.

A toda a minha família de modo geral, minha vó Maria (in memoriam), minha vó Cida que nunca se esqueceram de mim em suas orações e as minhas tias e tios que eu amo tanto.

Ao meu orientador Prof. Dr. Sérgio Henrique Franchito, pela orientação e constante apoio na realização deste trabalho. Obrigada pelas conversas que me orientaram também nas questões pessoais.

Ao meu orientador Prof. Dr. Vadlamudi Brahmananda Rao, pela também orientação e apoio na realização deste trabalho, pelas aulas particulares ministradas de forma tão didática e principalmente por me estimular a atingir uma visão crítica da ciência.

Ao Sr. Clóvis Monteiro do Espírito Santo pela imensa ajuda, paciência e orientação que foram essenciais no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Dr. Emanuel Giarolla pela grande ajuda com o Fortran e ao Dr. Jorge Conrado Conforte pela ajuda com os dados do TRMM.

Ao Prof. Dr. Nelson Jesus Ferreira pela amizade e atenção que demonstrou desde a minha chegada ao INPE.

Aos queridos amigos da pós-graduação, que dividiram comigo uma importante etapa de vida.

Às queridas secretárias da Meteorologia do INPE, Lilian e Patrícia, que sempre estiveram dispostas e prontas a ajudar nas mais diferentes questões.

Ao parecerista da FAPESP que analisou cada etapa do meu trabalho, enriquecendo-o com sugestões, críticas e comentários pertinentes que aprimoraram esta pesquisa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo auxílio financeiro que possibilitou a disponibilidade de tempo integral para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

Neste trabalho foram investigadas as potencialidades e limitações de diferentes fontes de precipitação sobre a América do Sul, com ênfase no Brasil. Foram analisadas as semelhanças e diferenças regionais entre os valores de precipitação obtidos das estações da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), e as séries pluviométricas obtidas da reanálise do NCEP/ NCAR (National Centers for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research), do GPCP (Global Precipitation Climatology Project), e do TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Para os dados da ANEEL, GPCP e reanálise do NCEP/NCAR foram consideradas séries pluviométricas mensais para o período de 1979-2000, enquanto que para os dados provenientes do TRMM foi considerado o período de 1998-2005. A análise levou em conta as precipitações médias anuais e sazonais, os desvios-padrões e as correlações entre as séries pluviométricas de valores medidos (estações da ANEEL) e as séries pluviométricas obtidas das outras fontes nas diferentes regiões do país. Além disso, a representação do ciclo anual e semi-anual da precipitação obtida destas fontes de dados foi investigada através do uso da análise harmônica. As diferenças nas anomalias de precipitação durante os anos de ocorrência de El Niño e La Niña em JFMA de 1998 e 1999 também foram consideradas. Os principais resultados obtidos mostram que a ANEEL apresenta uma densa rede de estações com valores de precipitação mensal confiáveis nas regiões nordeste, sudeste e sul do Brasil. Entretanto, esta rede de estações é deficitária nas regiões norte e centro-oeste do Brasil, além de algumas estações apresentarem falhas ou descontinuidades nos valores de precipitação mensal. Os dados da reanálise do NCEP/NCAR foram os que apresentaram maiores diferenças regionais nos valores de precipitação em comparação com as outras fontes de dados. Em grande parte da região norte do Brasil os valores de precipitação obtidos da reanálise foram superestimados. As séries pluviométricas do GPCP mostraram conformidade com as séries obtidas a partir das estações da ANEEL. Semelhanças também foram observadas entre os dados do TRMM e os da ANEEL na última fase do El Niño e La Niña em 1998 e 1999. As principais características observadas nesses anos foram reproduzidas em todas as fontes de dados utilizadas, com algumas diferenças regionais entre elas, principalmente na região norte.



## **PRECIPITATION CHARACTERISTICS OVER THE SOUTH AMERICA USING DIFFERENT SOURCES OF DATA WITH EMPHASIS IN BRAZIL**

### **ABSTRACT**

In this work the potentialities and limitations from different precipitation sources over South America, with emphasis on Brazil were investigated. The regional similarities and differences were analyzed between the precipitation values obtained from ANEEL (National Electrical Energy Agency), and the rain gauge series obtained from the reanalysis of NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research), GPCP (Global Precipitation Climatology Project) and TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). For the ANEEL data, GPCP and reanalysis of NCEP/NCAR was considered monthly rain gauge series from the period of 1979-2000, while for the data coming from TRMM was considered the period of 1998-2005. The analysis considers the annual and seasonal averages and the standard deviations of the data measured (ANEEL stations) and the rain gauge series obtained from the other sources from the different country regions. Moreover, the annual and semi-annual representations of the precipitation cycle from these sources were investigated using harmonic analysis. The differences in the precipitation anomalies during JFMA of 1998 and 1999, years of El Niño and La Niña, using the different data sources were also analyzed. The main results show that there are a large number of meteorological stations from ANEEL with reliable values of monthly precipitation over Brazils' northeast, south and southeast. However, this agency's data are sparse mainly over north and center-west of Brazil, there are missing also monthly precipitation values and there are a lack of continuity in some stations. The data reanalysis from NCEP/NCAR was the one that represented the biggest regional differences in the precipitation values in comparison with the other data sources. In the great part of the Brazil's north region the precipitation values obtained from the reanalysis were overestimated. The rain gauges series from GPCP shows conformity with the series obtained from ANEEL stations. Similarities were also observed between TRMM and ANEEL data in El Niño's and La Niña's last phase in 1998 and 1999. The main characteristics observed in these years were reproduced in all the data sources used, with some regional differences between them, mainly in the north region.





# SUMÁRIO

**Pág.**

## **LISTA DE FIGURAS**

## **LISTA DE TABELAS**

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

## **LISTA DE SÍMBOLOS**

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>27</b>
1.1 Objetivo geral.....	29
1.2 Objetivos específicos.....	29
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>31</b>
2.1 Características gerais.....	31
2.2 Principais sistemas meteorológicos atuantes na AS.....	34
2.3 A influência do ENOS e do Dipolo do Atlântico na precipitação.....	38
2.4 Comparação entre os dados de precipitação da reanálise do NCEP/NCAR com dados obtidos de estações pluviométricas.....	43
2.5 Comparação entre os dados de precipitação do TRMM com os dados de precipitação do GPCP.....	45
<b>3 DADOS E METODOLOGIA</b> .....	<b>49</b>
3.1 Introdução.....	49
3.2 Dados.....	51
3.3 Metodologia.....	52
3.3.1 Tratamento para os dados pluviométricos da ANEEL.....	53
3.3.2 Cálculo das médias anual e sazonal.....	57
3.3.3 Desvio-padrão e coeficiente de variação.....	58
3.3.4 Desvios normalizados.....	58
3.3.5 Razão entre a média sazonal e anual (R).....	59
3.3.6 Interpolação.....	59
3.3.7 Análise harmônica.....	64
3.3.8 Coeficiente de correlação.....	66
3.3.9 Análise dos resultados.....	67
<b>4 Resultados</b> .....	<b>68</b>
4.1 Introdução.....	69
4.1.1 Médias anual e sazonal.....	69
4.1.2 Desvio padrão.....	76
4.1.3 Desvios normalizados.....	80
4.1.4 Porcentagem de precipitação sazonal.....	89
4.1.5 Análise harmônica.....	92

4.1.6	Coeficiente de correlação .....	98
4.2	Inclusão do TRMM.....	104
4.2.1	Médias anual e sazonal .....	104
4.3	Eventos El Niño e La Niña .....	112
<b>5</b>	<b>Considerações finais .....</b>	<b>121</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>125</b>
	<b>APÊNDICE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DAS FONTES DE DADOS.....</b>	<b>137</b>
A.1	Estações pluviométricas .....	137
A.2	Reanálise do NCEP/NCAR .....	137
A.3	Satélite TRMM .....	139
A.4	GPCP .....	144

## LISTA DE FIGURAS

2.1 - Distribuição das estações do GPCP.....	46
3.1 - Estações da ANEEL.....	53
3.2 - Estações da ANEEL agrupadas irregularmente na grade de $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ .....	53
3.3 - Número de estações utilizadas para o cálculo da média aritmética em cada bloco de $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ .....	55
4.1 - Precipitação média anual (mm) obtida a partir dos dados do GPCP de 1979 - 2000. ....	69
4.2 - Precipitação média anual (mm) obtida a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR de 1979 - 2000. ....	70
4.3 - Precipitação média anual (mm) obtida a partir dos dados da ANEEL de 1979-2000. ....	70
4.4 - Precipitação sazonal média (mm) obtida a partir dos dados do GPCP de 1979-2000. ....	72
4.5 - Precipitação sazonal média (mm) obtida a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR de 1979-2000. ....	73
4.6 - Precipitação sazonal média (mm) obtida a partir dos dados da ANEEL de 1979-2000. ....	74
4.7 - Desvio padrão obtido a partir dos dados do GPCP... ..	77
4.8 - Desvio padrão obtido a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR .....	77
4.9 - Desvio padrão obtido a partir dos dados da ANEEL.. ..	78
4.10 - CV obtido a partir dos dados do GPCP.....	78
4.11 - CV obtido a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR .....	79
4.12 - CV obtido a partir dos dados da ANEEL.....	79
4.13 - Desvios normalizados para a região norte obtidos a partir dos dados da ANEEL de 1979-2000. ....	80
4.14 - Desvios normalizados para a região norte obtidos a partir dos dados do GPCP de 1979-2000. ....	81
4.15 - Desvios normalizados para a região norte obtidos a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR de 1979-2000. ....	81
4.16 - Desvios normalizados para a região nordeste obtidos a partir dos dados da ANEEL de 1979-2000. ....	82
4.17 - Desvios normalizados para a região nordeste obtidos a partir dos dados do GPCP de 1979-2000. ....	82
4.18 - Desvios normalizados para a região nordeste obtidos a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR de 1979-2000. ....	83
4.19 - Desvios normalizados para a região sudeste obtidos a partir dos dados da ANEEL de 1979-2000. ....	83
4.20 - Desvios normalizados para a região sudeste obtidos a partir dos dados do GPCP de 1979-2000. ....	84
4.21 - Desvios normalizados para a região sudeste obtidos a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR de 1979-2000. ....	84
4.22 - Desvios normalizados para a região sul obtidos a partir dos dados da ANEEL de 1979-2000. ....	85

4.23 - Desvios normalizados para a região sul obtidos a partir dos dados do GPCP de 1979-2000. ....	85
4.24 - Desvios normalizados para a região sul obtidos a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR de 1979-2000. ....	86
4.25 - Desvios normalizados para a região centro-oeste obtidos a partir dos dados da ANEEL de 1979-2000. ...	86
4.26 - Desvios normalizados para a região centro-oeste obtidos a partir dos dados do GPCP de 1979-2000. ....	87
4.27 - Desvios normalizados para a região centro-oeste obtidos a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR de 1979-2000. ....	87
4.28 - Porcentagem de precipitação sazonal obtida a partir dos dados do GPCP. ....	89
4.29 - Porcentagem de precipitação sazonal obtida a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR. ....	90
4.30 - Porcentagem de precipitação sazonal obtida a partir dos dados da ANEEL. ....	91
4.31 - Amplitudes (mm) e fases do primeiro harmônico obtidas a partir dos dados do GPCP. ....	93
4.32 - Amplitudes (mm) e fases do primeiro harmônico obtidas a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR. ....	94
4.33 - Amplitudes e fases do primeiro harmônico obtidas a partir dos dados da ANEEL. ....	94
4.34 - Amplitudes (mm) e fases do segundo harmônico obtidas a partir dos dados do GPCP. ....	96
4.35 - Amplitudes (mm) e fases do segundo harmônico obtidas a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR. ....	97
4.36 - Amplitudes (mm) e fases do segundo harmônico obtidas a partir dos dados da ANEEL. ....	97
4.37 - Diagrama de dispersão para a Região Norte, obtidos a partir dos dados de precipitação acumulada (mm), entre ANEEL e GPCP e ANEEL e NCEP. ....	100
4.38 - Diagrama de dispersão para a Região Nordeste, obtidos a partir dos dados de precipitação acumulada (mm), entre ANEEL e GPCP e ANEEL e NCEP. ....	100
4.39 - Diagrama de dispersão para a Região Sudeste, obtidos a partir dos dados de precipitação acumulada (mm), entre ANEEL e GPCP e ANEEL e NCEP. ....	101
4.40 - Diagrama de dispersão para a Região Sul, obtidos a partir dos dados de precipitação acumulada (mm), entre ANEEL e GPCP e ANEEL e NCEP. ....	101
4.41 - Diagrama de dispersão para a Região Centro-Oeste, obtidos a partir dos dados de precipitação acumulada (mm), entre ANEEL e GPCP e ANEEL e NCEP. ....	102
4.42 - Estações da ANEEL. ....	103
4.43 - Precipitação média anual (mm) obtida a partir dos dados do TRMM de 1998-2005. ....	105
4.44 - Precipitação média anual (mm) obtida a partir dos dados do GPCP de 1998-2005. ....	105
4.45 - Precipitação média anual (mm) obtida a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR de 1998-2005. ....	106

4.46 - Precipitação sazonal média (mm) obtida a partir dos dados do TRMM de 1998-2005. ....	108
4.47 - Precipitação sazonal média (mm) obtida a partir dos dados do GPCP de 1998-2005. ....	109
4.48 - Precipitação sazonal média (mm) obtida a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR de 1998-2005. ....	110
4.49 - Índice ENOS por ano. Fase quente em vermelho: El Niño. Fase fria em azul: La Niña. ....	112
4.50 - Precipitação acumulada (mm) em JFMA nos anos de 1998 e 1999 obtida a partir dos dados do TRMM. ....	114
4.51 - Anomalia de precipitação média de JFMA nos anos de 1998 e 1999 obtida a partir dos dados do TRMM. ....	114
4.52 - Precipitação acumulada (mm) em JFMA nos anos de 1998 e 1999 obtida a partir dos dados do GPCP. ....	115
4.53 - Anomalia de precipitação média de JFMA nos anos de 1998 e 1999 obtida a partir dos dados do GPCP. ....	115
4.54 - Precipitação acumulada (mm) em JFMA nos anos de 1998 e 1999 obtida a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR. ....	116
4.55 - Anomalia de precipitação média de JFMA nos anos de 1998 e 1999 obtida a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR. ....	116
4.56 - Precipitação acumulada (mm) em JFMA nos anos de 1998 e 1999 obtida a partir dos dados da ANEEL. ....	117
4.57 - Anomalia de precipitação média de JFMA nos anos de 1998 e 1999 obtida a partir dos dados da ANEEL. ....	117
A.1 - Órbita do TRMM.....	140
A.2 - Conceito da medida de precipitação efetuada pelo PR a bordo do TRMM .....	143



## LISTA DE TABELAS

3.1 - Número de estações existentes em cada região do Brasil .....	54
4.1 - Número de estações, número de pontos de dados, número de falhas e coeficiente de correlação linear para 5 regiões. ....	99
4.2 - Coeficiente de correlação. O asterisco representa correlação significativa ao nível de 99% pelo teste t. ....	104





## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AB	Alta da Bolívia
AIRS	Atmospheric Infrared Sounder
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AS	América do Sul
BLUE	Best Linear Unbiased Estimator
BUFR	Binnary Universal Format Representation
CERES	Clouds and Earth's Radiant Energy System
COADS	Comprehensive Ocean - Atmosphere Data Set
DJF	dezembro-janeiro-fevereiro
DMSP	Defense Meteorological Satellite Program
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ENOS	El Niño - Oscilação Sul
EOS	Earth Observing System
GMS	Geostationary Meteorological Satellite
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
GPCC	Global Precipitation Climatology Centre
GPCP	Global Precipitation Climatology Project
GPI	Global Precipitation Index
GV	Ground Validation
IOS	Índice de Oscilação Sul
IR	infravermelho
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
JFMA	janeiro - fevereiro - março - abril
JJA	junho-julho-agosto
LBA	Large Scale Biosphere – Atmosphere Experiment in Amazonia
LIS	Lightening Imaging Sensor
MA	Média Anual
MAM	março-abril-maio
Meteosat	Meteorological Satellite
MS	Média Sazonal
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NDJ	novembro-dezembro-janeiro
NEB	Nordeste Brasileiro
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OMJ	Oscilação de Madden e Julian
OPI	OLR Precipitation Index
PA	Precipitação Acumulada Anual

PR	Precipitation Radar
PS	Precipitação Acumulada Sazonal
ROL	Radiação de Onda Longa
SCMs	Sistemas Convectivos de Mesoescala
SFs	Sistemas Frontais
SIMPAR	Sistema Paranaense de Meteorologia
SON	setembro-outubro-novembro
SSM/I E	Special Sensor Microwave/Imager Emission
SSM/I	Special Sensing Microwave/Imager
TMI	TRMM Microwave Imager
TOVS	TIROS Operational Vertical Sounder
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
VCANs	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
VIRS	Visible Infrared Scanner
VIS	Visível
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCPS	Zona de Convergência do Pacífico Sul
ZCST	Zona de Convergência Subtropical

## LISTA DE SÍMBOLOS

Coeficiente de correlação

Desvio padrão

Fase

Média

Número PI

Somatório

Variância



## 1 INTRODUÇÃO

A precipitação é de fundamental importância para o planejamento de inúmeras atividades produtivas, tais como: agricultura, pecuária e geração de energia hidroelétrica. A variação da precipitação em longo prazo afeta também diversas atividades econômicas. O regime de precipitação é a principal característica climática que determina a duração da estação de crescimento das plantas em regiões tropicais, em contraste com as regiões temperadas, nas quais o início e o fim da estação de crescimento são definidos pelo regime sazonal da temperatura do ar (Oliveira et al., 2000). Além disso, o conhecimento da precipitação média sobre uma área é importante para a previsão de tempo e simulações climáticas com modelos de circulação geral (Mintz, 1981).

O Brasil, por ser um país de grande extensão territorial, apresenta diferentes estações chuvosas em cada uma de suas regiões (Rao et al., 1996). Trewartha (1961) e Rastibona (1976) descrevem os diferentes regimes de precipitação no Brasil: o noroeste da bacia Amazônica é caracterizado por elevados índices pluviométricos (da ordem de 3000 mm ano<sup>-1</sup>); precipitações abundantes ocorrem na parte litorânea do extremo leste do continente (taxa anual da ordem de 2000 mm); no interior da Região Nordeste do Brasil (NEB) a precipitação é modesta (inferior a 400 mm ano<sup>-1</sup>), apresentando uma extensa área semi-árida conhecida como “polígono das secas”; as regiões sul e sudeste do país são caracterizadas por um regime de precipitação que varia espacialmente.

Muitos estudos foram feitos sobre as variações climáticas no Brasil, na tentativa de explicar as causas do comportamento dos regimes de precipitação associado. Nesse contexto, a variabilidade interanual do clima na região do NEB (Hastenrath, 1991) tem sido mais estudada do que em outras regiões do país, principalmente devido ao impacto econômico e social.

A estação chuvosa nas Regiões Central e Sudeste do Brasil ocorre no verão austral (dezembro-janeiro-fevereiro (DJF)) e a estação seca no inverno (junho, julho e agosto (JJA)). Rao et al. (2001a), usando dados climatológicos de 40 anos (1959-1998) provenientes da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), observaram que na Região Sudeste do Brasil, 50% ou mais da chuva anual ocorrem durante os meses de DJF e na Região Sul neste mesmo trimestre ocorrem apenas 25% da chuva anual. Durante março, abril e maio (MAM) a Região Sudeste apresenta menos de 20% da chuva anual e as Regiões norte e nordeste mais de 40%. Em JJA as Regiões Central e Sudeste recebem menos de 5% da chuva anual; já o litoral do nordeste e as partes noroeste e sul do Brasil recebem 25%. Em setembro, outubro e novembro (SON) a quantidade de chuva começa a aumentar nas Regiões Sul e Sudeste, chegando a 25% do total anual.

Os estudos sobre a variabilidade da precipitação no Brasil enfocam diferentes aspectos, entre os quais, a conexão da precipitação com fenômenos oceanográficos (Hastenrath e Heller, 1977; Moura e Shukla, 1981, Rao et al., 1986; Rao et al., 1993, Nobre e Shukla, 1996; Diaz et al., 1998; Grimm et al., 2000), os papéis dos distúrbios baroclínicos (Kousky, 1979; Gan e Rao, 1991, 1994; Rao et al., 2002 a, 2003) e dos bloqueios atmosféricos (Marques e Rao, 1999, 2000) sobre a precipitação, a determinação das datas do início e fim das estações seca e chuvosa (Kousky, 1988; Marengo et al., 2001 a, b, Rao et al., 2001 b, Cavalcanti et al., 2001) e o impacto da precipitação na produtividade agrícola (Rao et al., 1996; Ferreira, 2005).

Diferentes fontes de dados de precipitação foram utilizadas nos estudos mencionados anteriormente. Os valores de precipitação provenientes dessas diversas fontes apresentam diferenças nas várias regiões do país. Rao et al. (2002b) comparam as séries pluviométricas mensais da reanálise do NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research ) com as séries pluviométricas da ANEEL para um

período de 40 anos (1959-1998). Notaram que a precipitação obtida da reanálise é superestimada sobre o NEB, porém no sul e sudeste do Brasil a correlação entre as duas fontes de dados é significativa (0,36 e 0,38, respectivamente). Sobre as outras partes do Brasil a validade dos dados de precipitação do NCEP/NCAR é questionável. O estudo de Rao et al. (2002b) enfatizou o episódio do El Niño 1997/1998. Pode-se estender este tipo de estudo para episódios de El Niño e La Niña considerando-se várias fontes de dados de precipitação. Um melhor conhecimento das potencialidades e limitações das diversas fontes de dados será de grande utilidade para a obtenção de informações confiáveis sobre a variabilidade da precipitação e dos mecanismos responsáveis pela mesma, fornecendo subsídios para a previsão climática.

### **1.1 Objetivo geral**

Com o intuito de contribuir para o aprimoramento do conhecimento da problemática mencionada anteriormente, o presente estudo tem como objetivo geral avaliar as semelhanças e diferenças regionais entre os valores da precipitação sobre o Brasil, medidos nas estações da ANEEL, e as séries pluviométricas obtidas da reanálise do NCEP/ NCAR, do GPCP (Global Precipitation Climatology Project), e do satélite do TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission).

### **1.2 Objetivos específicos**

O estudo envolve séries de precipitação acumulada a cada mês, sendo efetuados cálculos estatísticos para cada fonte de dados, através da:

- análise das precipitações médias anuais e sazonais sobre o território brasileiro para cada uma das fontes de dados;

- cálculo e análise das correlações entre as séries pluviométricas de valores medidos (estações da ANEEL) e as séries pluviométricas obtidas das outras fontes nas diferentes regiões do país;
- análise harmônica das séries pluviométricas das diversas fontes e comparação dos ciclos anual e semi-anual da precipitação;
- análise das diferenças e semelhanças da precipitação medida em estações da ANEEL e a precipitação fornecida pelas outras fontes consideradas, na última fase do episódio de El Niño e La Niña de 1998 e 1999.



## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo apresenta as características mais relevantes dos diferentes regimes de precipitação na América do Sul (AS), os principais sistemas meteorológicos que atuam nesta região e a influência desses sistemas nas condições do tempo. Além disso, as variações na precipitação relacionadas ao El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e ao Dipolo do Atlântico também são abordadas. Constam também nesta revisão bibliográfica estudos já efetuados que comparam: a) as séries de precipitação da reanálise do NCEP/NCAR e as séries de dados obtidos das estações pluviométricas; b) estudos que comparam as séries de precipitação do TRMM com as do GPCP.

### **2.1 Características gerais**

Estendendo-se meridionalmente de 100N a 600S, a AS tem uma extensão de 17.819.100 Km<sup>2</sup>, abrangendo 12% da superfície terrestre. Este continente apresenta características tropicais, subtropicais e extratropicais de tempo e clima. Uma climatologia de precipitação para a AS tropical foi obtida por Figueroa e Nobre (1990), baseado em 30 anos de dados no período de 1960-89. A distribuição espacial da precipitação anual mostra que sobre a bacia Amazônica e regiões adjacentes, a precipitação varia de 1500 mm/ano no leste para 3500 mm/ano no oeste e nordeste (em torno da foz do rio Amazonas). Na Amazônia central, é cerca de 2800 mm/ano. Elevados índices pluviométricos, excedendo 5000 mm/ano, são observadas no oeste da Colômbia sobre uma região relativamente pequena. A precipitação é também abundante (cerca de 3000 mm/ano) no leste do Peru e regiões adjacentes a leste das montanhas andinas. Os máximos de precipitação estão localizados sobre o sul e o leste da Amazônia no verão (DJF). No outono (abril a junho) os máximos estão localizados sobre o noroeste e nordeste da Amazônia, e mais tarde, inverno austral (JJA), os máximos se situam na região noroeste da Amazônia. Durante

a primavera (SON) os máximos de precipitação estão sobre o interior da região sudeste na Amazônia central (Satyamurty et al. 1998).

Rao e Hada (1990) determinaram os períodos chuvoso e seco para várias estações pluviométricas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) no Brasil usando séries com 21 anos de dados (1958-78). Exceto para o nordeste e o extremo sul, a maior parte do Brasil central, entre 100 e 270S, tem sua estação chuvosa no verão (DJF) e para a maior parte do extremo norte do Brasil, ao norte de 20S, o período chuvoso ocorre de abril a junho. Para grande parte do Brasil central, de 50 a 240S e a oeste de 420W, a estação seca se inicia no inverno (JJA); e ao norte de 20S o período seco inicia-se na primavera austral (SON).

Quadro et al. (1996) apresentaram a climatologia de precipitação e temperatura para o Brasil dividindo este território em 5 regiões: Norte, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. Em termos de precipitação, a Região Norte tem o maior total pluviométrico anual. Observaram-se três centros de precipitação abundante nesta região: noroeste da Amazônia, cuja existência está associada à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); parte central da Amazônia e parte leste da bacia Amazônica, cuja existência se deve às linhas de instabilidade que se formam ao longo da costa, durante o fim de tarde, forçadas pela circulação de brisa marítima (Kousky 1979, 1980). A Região Nordeste apresenta diferentes regimes de precipitação. No norte desta região a estação chuvosa ocorre no trimestre MAM, no sul e sudeste as precipitações ocorrem principalmente durante o período de DJF e no leste a precipitação acumulada é maior nos meses de maio a julho. A principal estação chuvosa do NEB, correspondendo a 60% da precipitação anual, ocorre nos meses de abril a julho e a estação seca, para a maior parte da região, estende-se de setembro a dezembro (Rao et al., 1993).

Em termos de variabilidade climática, o NEB é uma das regiões mais estudadas. Vários trabalhos enfocaram a conexão de diversos sistemas

atmosféricos com a precipitação nesta região. Kayano et al. (1990) mostraram a influência da Oscilação de Madden e Julian (OMJ). Yamazaki e Rao (1977) estudaram a importância dos distúrbios de leste. Rao et al. (1993) constataram que se a alta subtropical do Atlântico Sul estiver mais intensa podem ocorrer precipitações no setor leste do nordeste, principalmente nos meses de inverno. Diversos pesquisadores, entre eles Hastenrath e Heller (1977), Rao et al. 1999, Moura e Shukla (1981) enfocaram a importância da temperatura da superfície do mar (TSM) do Atlântico Tropical no aumento ou diminuição de precipitação nesta região. Chaves (1999) afirmou que variabilidade climática do NEB é resultado de efeitos combinados da ação de vários sistemas meteorológicos e das variações na intensidade e posição das circulações de Hadley e de Walker. A circulação de Walker com ramo ascendente sobre a bacia Amazônica, associada à convecção intensa, e a circulação de Hadley cujo ramo ascendente está associado a ZCIT, apresentam seu ramo descendente sobre o NEB e adjacências do Atlântico subtropical sul (Nobre e Molion, 1988). A ausência de um mecanismo dinâmico que provoque movimentos ascendentes seria a principal razão da existência do semi-árido nordestino (Aragão, 1975).

A Região Sul, possui distribuição anual de precipitação bastante uniforme (Quadro et al. 1996). O relevo não exerce grande influência na distribuição pluviométrica, já a passagem de sistemas frontais (SFs) é responsável por grande parte dos totais pluviométricos registrados (Oliveira, 1986). A trajetória desses sistemas está intimamente ligada ao posicionamento e intensidade do jato subtropical da América do Sul. Sistemas convectivos de mesoescala (SCMs) e os vórtices ciclônicos de ar frio, que se formam na retaguarda de algumas frentes frias, também são responsáveis por grandes totais de precipitação sobre esta região (Custódio e Herdies, 1994; Matsumoto et al., 1982). As Regiões Sudeste e Centro-Oeste se caracterizam por serem regiões de transição entre os climas quentes de latitudes baixas e os climas mesotérmicos do tipo temperado de latitudes médias (Nimer, 1979). Estas regiões sofrem a atuação de sistemas que associam características de

sistemas tropicais com sistemas típicos de latitudes médias. Nos meses de maior atividade convectiva, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um dos principais fenômenos que influenciam o regime de precipitação (Quadro e Abreu, 1994). Em geral, na região do Brasil Central e no litoral da Região Sudeste a precipitação se distribui uniformemente com dois núcleos máximos, enquanto que no norte de Minas Gerais observam-se baixos índices de precipitação durante o ano.

## **2.2 Principais sistemas meteorológicos atuantes na AS**

A precipitação, assim como a sua ausência, tem íntima relação com fenômenos meteorológicos que atuam em várias escalas temporais e espaciais. Segundo Vitorino (2002), sobre a AS e oceanos adjacentes, principalmente nos meses de primavera (SON) e verão (DJF) austral, observa-se uma grande diversidade de sistemas meteorológicos. Os principais sistemas atuantes são: os SFs que ocorrem ao longo do ano e se deslocam das latitudes mais altas para as mais baixas, influenciando as condições de tempo, desde o sul da AS até todo o leste e centro-oeste do Brasil (Kousky, 1988); a ZCAS que atua nos meses de verão sobre as regiões sudeste e central do Brasil (Silva Dias et al, 1988; Kodama, 1992; Quadro, 1993; Marton, 2000; Sanches, 2002); os SCMs, que ocorrem nas regiões tropicais e de latitudes médias, durante os meses de primavera e verão (Guedes, 1985; Velasco e Fritsch, 1987; Vitorino et al., 1997); os Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCANs), com maior frequência no verão sobre o NEB (Kousky e Gan, 1981; Virji, 1981; Kayano et al., 1997; Ramirez et al. 1999); a ZCIT do Pacífico e do Atlântico Equatorial, que atua durante todo o ano, oscilando na faixa equatorial, influenciando nos meses de primavera, verão e outono, o regime de chuvas do NEB e da região noroeste da AS (Hastenrath e Heller, 1977; Moura e Shukla, 1981; Uvo, 1989); a Alta da Bolívia (AB), principalmente no verão, que se localiza sobre o Altiplano Boliviano (Virji, 1981; Lenters e Cook, 1997); e a Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) que atua no Pacífico Sul, durante todo o ano, mas que nos

meses de verão e outono se encontra localizada diagonalmente no Pacífico Sul central (Kodama, 1992; Vincent, 1994).

As frentes frias são definidas como o encontro de duas massas de ar distintas e estão entre os mais comuns eventos que afetam o tempo sobre a AS. Em geral, as penetrações frontais são bem distribuídas sobre todas as estações do ano, em todas as bandas latitudinais. Sua atividade convectiva, entretanto, é muito baixa nos meses de inverno, especialmente em junho e julho. Os SFs são mais freqüentes na faixa latitudinal sul entre 350 e 400 S (cerca de 9 por mês) e menos freqüente ao norte de 200S (cerca de 2 por mês). Eles são responsáveis por grande parte da precipitação no norte da Argentina, Uruguai, Paraguai, regiões sul, sudoeste, e oeste central do Brasil, Bolívia e sul do Peru (Satyamurty et al. 1998).

A ZCAS é caracterizada por uma banda de nebulosidade convectiva, que nos meses de primavera e verão, se estende da região Amazônica até o Atlântico subtropical. Esta nebulosidade é resultado da interação da convecção tropical com sistemas extratropicais, como as zonas frontais. A ZCAS está associada à intensa atividade convectiva da região Amazônica, formando-se ao longo de jatos subtropicais em altos níveis (Kodama, 1992 e 1993). As variações na posição e intensidade da ZCAS têm sido associadas à teleconexões existentes entre a ZCPS e a convecção tropical sobre a AS (Casarin e Kousky, 1986 e Obregon, 1991), através da propagação das ondas de Rossby (Grimm e Silva Dias, 1995 e Ambrizzi et al, 1998).

Segundo Rocha e Gandu (1996) os mecanismos que originam e mantêm a ZCAS não estão ainda totalmente definidos, porém, estudos observacionais e numéricos indicam que esse sistema sofre influências tanto de fatores remotos quanto locais. Aparentemente as influências remotas, tal como a convecção na ZCPS, modulam o início, duração e localização da ZCAS, enquanto os fatores locais (tais como o papel da convecção na região Amazônica) são

determinantes para a ocorrência desse fenômeno, ou seja, sem eles o sistema provavelmente não existiria.

As regiões do Paraguai, norte da Argentina, Uruguai, e sul do Brasil experimentam os efeitos do desenvolvimento súbito dos SCMs (Maddox 1980), especialmente no período de novembro a abril (Velasco e Fritsch 1987). O jato de baixos níveis provê o transporte de umidade necessária para a formação das nuvens e precipitação nos SCMs. Esses sistemas se movem na direção leste da sua região fonte, norte da Argentina e Paraguai, afetando o sudoeste do Brasil e Uruguai com intensa precipitação (Satyamurty et al. 1998). Em geral, estes sistemas são continentais e noturnos. Os SCMs de latitudes médias começam a se formar no final do dia e atingem seu máximo desenvolvimento durante a madrugada, se dissipando no final da manhã seguinte. Nas latitudes mais baixas, os SCMs têm praticamente o mesmo comportamento, mas seu ciclo de vida tem início mais tardio e a preferência para a sua formação é na região boliviana e colombiana, praticamente durante o ano todo.

Índices elevados de precipitação são observados, muitas vezes, por várias horas ou até mesmo por vários dias, associados à ZCAS, aos SFs e aos SCMs, causando inundações e conseqüentes prejuízos. No caso dos VCANs, a sua permanência pode causar estiagem prolongada na região de atuação do seu núcleo e também atividade convectiva associada à precipitação na parte oeste e norte do sistema (Vitorino, 2002). Estes sistemas são importantes na distribuição de precipitação sobre o NEB (Kousky, 1979; Kousky e Gan, 1981; Uvo, 1989). Gan e Kousky (1986) verificaram que quando estes vórtices penetram no Brasil, produzem condições de céu claro no sul e no centro da Região Nordeste, e precipitação no norte do NEB.

Segundo Chaves (1999), em muitos casos os VCANs se formam ou se intensificam devido à penetração de SFs em latitudes tropicais. A advecção de

ar quente de latitudes mais baixas que precede estes sistemas amplifica a crista em altos níveis (que se situa a leste do cavado associado ao sistema frontal), que por sua vez favorece a amplificação do cavado a leste (Kousky e Gan, 1981). Ramirez et al. (1998) observaram que os VCANs podem originar-se também como consequência da formação de uma circulação anticiclônica em altos níveis associada a ZCAS e também através do alinhamento do cavado do Pacífico Norte e do Atlântico Norte com a AB, com amplificação desta e conseqüentemente do cavado do Nordeste, porém consideram que o mecanismo proposto por Kousky e Gan (1981) é o principal mecanismo na formação dos VCANs do Nordeste. Além da instabilidade barotrópica outros processos seriam importantes no desenvolvimento dos VCANs, como a liberação de calor latente e variação diária da AB (Rao e Bonatti, 1987).

A ZCIT apresenta uma estrutura que consiste em um conjunto de características, tais como: zona de confluência dos ventos alísios de sudeste e nordeste, região do cavado equatorial, zona de máxima TSM e banda de cobertura de nuvens convectivas. A ZCIT tem uma influência primordial no clima de várias regiões nos trópicos, como por exemplo, no norte do NEB, onde a estação chuvosa depende fortemente da posição deste sistema. Essa variação na posição da ZCIT pode resultar em períodos de estiagem ou de chuvas intensas sobre o sertão nordestino durante a estação chuvosa (Kousky, 1985). Esses períodos de estiagem ou de chuvas intensas ocorrem quando a banda convectiva associada a ZCIT desloca-se alguns graus de latitude para o norte ou para o sul, respectivamente, durante um pequeno período da estação (Coelho, 2002).

A AB é um anticiclone que ocorre em altos níveis (200 hPa), no verão, sobre a AS. A intensificação e posição deste sistema modificam-se ao longo do verão e estão bem relacionadas à variação sazonal da chuva na AS (Horel et al. 1989). Gutman e Schwerdfeger (1965), baseados no balanço de calor da coluna troposférica na região do platô boliviano, apontaram o papel do calor sensível

como o possível responsável pela formação da AB. Outros estudos usando modelos linearizados simples (Silva Dias et al. 1983; DeMaria 1985) apontam o papel importante do calor latente. O mecanismo básico de formação da AB é o movimento ascendente de escala regional devido à intensa atividade convectiva sobre a Amazônia. A convergência do vapor d'água em baixos níveis e a liberação do calor latente na média troposfera ajudam a sustentar o movimento ascendente e a manter a região relativamente quente na troposfera superior (Satyamurty et al. 1998).

A ZCPS é um importante aspecto da circulação no Hemisfério Sul no período de verão. É marcada por uma região de convergência em superfície estendendo-se em uma direção noroeste-sudeste desde a região da Nova Guiné até cerca de 300S, 1200W (Kiladis et al. 1989). Portanto, no verão, na região central do Pacífico Sul encontra-se uma significativa zona de precipitação.

### **2.3 A influência do ENOS e do Dipolo do Atlântico na precipitação**

As principais teleconexões entre as circulações de escala planetária do Oceano Pacífico e a AS são devidas ao ENOS. Muito se estudou nas últimas décadas sobre os efeitos do ENOS na variabilidade da precipitação sobre o Brasil e outros países na AS (Aceituno 1988, Rao e Hada 1990, Ropelewski e Halpert 1987, 1989 e outros). Caviedes (1973) e Markham e McLain (1977) associaram as secas no NEB diretamente ao evento de El Niño no Pacífico leste. Kousky et al. (1984) estenderam o assunto para todas as regiões do Brasil. A maioria dos estudos geralmente indica que a precipitação no norte da AS diminui (aumenta) durante eventos El Niño (La Niña) e no sul da AS anomalias de precipitação opostas ocorrem.

Variações na precipitação de muitas regiões parecem estar relacionadas ao Índice de Oscilação Sul (IOS). Este índice é um indicador atmosférico que



mede a diferença de pressão ao nível do mar entre Taiti (17<sup>o</sup>33'S, 149<sup>o</sup>31'W) e Darwin (12<sup>o</sup>20'S, 130<sup>o</sup>52'E), apresentando valores negativos em anos de El Niño e positivos em anos de La Niña. Nos anos de El Niño, a pressão tende a valores mais baixos no Pacífico leste e aumenta no restante da região tropical. Os valores baixos da pressão, a mudança dos ventos alísios e o aumento da evaporação no Pacífico leste aumentam os movimentos ascendentes, formando mais nuvens e produzindo mais chuva. Uma aceleração dos movimentos ascendentes e o calor latente de condensação liberado no processo de formação das nuvens modificam a circulação de Walker, provocando movimentos descendentes anômalos em outras partes da atmosfera tropical, principalmente no sentido zonal. Esses movimentos descendentes inibem a formação de nuvens e diminuem a precipitação, como é o caso das secas no norte do NEB e da Indonésia. Nas regiões extra-tropicais, a circulação da atmosfera (corrente de jato) também é alterada, causando o fenômeno de bloqueio e mudando a trajetória e intensidade dos SFs, provocando chuvas fortes, como no caso do sul do Brasil.

Stoeckenius (1981) notou que a precipitação sobre o NEB tem uma correlação positiva significativa com o IOS. No sul da AS, incluindo o sul do Brasil, não foi encontrada uma correlação alta entre o IOS e a precipitação. Rao and Hada (1990) mostraram que existe uma correlação significativa entre a precipitação na primavera sobre o sul do Brasil e o IOS da estação precedente. Gan and Rao (1991) observaram que nos anos em que ocorreram eventos de El Niño a frequência de ciclôgenese era alta sobre o continente, indicando também uma explicação para as altas precipitações encontradas nesses anos, no sul do país.

Ropelewski e Halpert (1987), com o objetivo de investigar o padrão de precipitação em escala regional e global que tinha associação com o ENOS, observaram que quatro regiões na Austrália, duas na América do Norte, duas na AS (Regiões Nordeste e Sudeste da AS), duas na Índia, duas na África, e

uma na América Central, apresentavam variações no padrão de precipitação associado ao fenômeno. Estudos indicam que, sobre o Brasil, existem três áreas de atuação do El Niño: nas regiões do semi-árido do Nordeste, norte e leste da Amazônia e sul do Brasil. Quadro (1993), analisando 28 casos de ZCAS ocorridos sobre a América do Sul entre 1980 e 1989, verificou que nos anos de ocorrência de ENOS, a atividade da ZCAS tende a ser inibida ou formar-se fora de sua região preferencial.

Velasco e Fritsch (1987) observaram que o número de SCMs na região norte da Argentina e Paraguai em um ano de El Niño são mais que o dobro do número observado em um ano normal (sem ocorrência de El Niño ou La Niña). Este fato está ligado à intensidade do jato subtropical em anos de El Niño. O aumento da precipitação no sul do Brasil em anos de El Niño é devido ao aumento da atividade do SCMs (Satyamurty et al. 1998).

O Chile e a região andina próxima à costa oeste da AS constituem-se em outra região chave onde a variabilidade interanual de precipitação está intimamente relacionada ao fenômeno ENOS. Estudos diagnósticos por Aceituno e Garreaud (1994) sobre a variabilidade interanual da precipitação no Chile central têm confirmado uma tendência bem definida para a abundante precipitação no inverno, durante a ocorrência de episódios de El Niño, e seca, durante eventos de La Niña. Usando métodos empíricos sugeridos por Ropelewski e Halpert, Pisciotano et al. (1994) encontraram que, no Uruguai, os anos de ocorrência de El Niño apresentam precipitação maior do que o normal nos meses de novembro a janeiro. Anos com altos valores do IOS apresentam precipitação abaixo do normal nos meses de outubro a dezembro. O período de março a julho tem precipitação acima da normal em anos subseqüentes aos de ocorrência de El Niño e precipitação abaixo da normal em anos subseqüentes com alto IOS (Satyamurty et al. 1998).

As anomalias negativas de precipitação observadas sobre o NEB e Amazônia são comuns durante os eventos ENOS, devidas principalmente ao deslocamento da Circulação de Walker para leste (Kousky et al, 1984 e Oort e Yienger, 1996). Grande parte da variância da precipitação sobre a Amazônia é explicada pelo ENOS (Obregon e Nobre,1990; Marengo, 1992; Matsuyama et al, 2000). Durante a fase quente dos eventos ENOS observam-se anomalias positivas (negativas) no oeste (leste) da Amazônia (Obregón P., 2003).

Obregón P. (2003) determinou que o fenômeno ENOS modula a precipitação interanual sobre a AS em dois períodos distintos, de 3,7 e 5 anos. As duas oscilações modulam a precipitação sobre a AS quase que com a mesma intensidade e diferem na área abrangida. A oscilação de 5 anos predomina nas regiões equatoriais enquanto que a oscilação de 3,7 anos influencia o sul do Brasil.

Coelho (2002) estudou a estrutura vertical e horizontal da precipitação e da circulação atmosférica na região da ZCIT (40°N-40°S e 10°E-80°W) para os meses de março e abril de 1998 (El Niño) e 1999 (La Niña). Verificando o valor médio mensal da Radiação de Onda Longa (ROL) para os meses de março e abril dos anos de 1998 e de 1999, notou-se que no ano de 1998 (El Niño), a convecção associada a ZCIT posicionou-se um pouco mais ao norte, enquanto que em 1999 (La Niña) a convecção esteve um pouco mais ao sul quando comparada à posição climatológica. Quanto à intensidade da convecção, esta se mostrou mais enfraquecida em março de 1998 e em abril de 1999. Em abril de 1998 e em março de 1999 a convecção mostrou-se mais intensa se comparada à média climatológica.

Satyamurty et al. (1998), lembraram as maiores mudanças observadas nas características da circulação sobre a AS durante o ano de 1993, ano de El Niño, que foi uma extensão do evento de El Niño de 1991-92. Atividade convectiva muito forte persistiu fora da costa do norte do Peru e Equador no

Pacífico tropical leste. Como resultado, a precipitação anual sobre esta região, que é normalmente cerca de 300 mm, excedeu 1000 mm. Condições propícias a secas persistiram sobre todo o Brasil tropical, especialmente sobre o NEB, onde muitas regiões receberam menos de 100 mm e alguns locais no interior permaneceram completamente secos, indicando uma extensa e forte subsidência sobre a AS, a leste de 650W e norte de 250S. As circulações de Walker no plano leste-oeste e a de Hadley no plano norte-sul afetaram adversamente esta região. O jato subtropical se situou próximo de 300S e foi mais forte do que o normal. Atividade convectiva intensa sobre Paraguai, nordeste da Argentina, Uruguai e regiões adjacentes no Brasil resultaram em precipitação excessiva nestas regiões. As frentes frias não puderam penetrar além de 300S, devido à persistência de condições gerais de bloqueio próximo da costa sudoeste da AS e a presença do forte jato subtropical, e, como resultado, as temperaturas sobre a maior parte do Brasil foram alguns graus mais alta, especialmente no inverno.

Segundo Obregón P. (2003), a precipitação tanto anual como mensal sobre a AS mostra uma mudança brusca na metade da década de 70, como reposta à mudança da TSM dos oceanos, particularmente do Pacífico. Esta mudança climática abrupta alterou os regimes de precipitação sobre a AS, com aparente exceção da região do NEB onde a precipitação apresenta alta variabilidade interanual, modulada por uma oscilação quase decadal (por exemplo, Kousky e Chu, 1978; Rao et al., 1999).

Existe ainda outro fenômeno de interação oceano-atmosfera conhecido como Dipolo do Atlântico que causa variação de precipitação no NEB e na África. Quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais quentes e as águas do Atlântico Equatorial e Tropical Sul estão mais frias, existem movimentos descendentes anômalos sobre o NEB e alguns países da África Ocidental, inibindo a formação de nuvens e diminuindo a precipitação, podendo causar secas. Por outro lado, quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais

frias e as águas do Atlântico Tropical Sul estão mais quentes, existem movimentos ascendentes anômalos sobre o NEB e países da África Ocidental, acelerando a formação de nuvens, aumentando a precipitação e, em muitas ocasiões, provocando enchentes. A duração das secas e enchentes depende do período de atuação, duração, intensidade e área de influência do ENOS e do Dipolo do Atlântico. Os episódios podem ser considerados muito fracos, fracos, moderados e fortes dependendo do valor da temperatura da água do mar, a extensão e o período de atuação (Aragão, 1990).

#### **2.4 Comparação entre os dados de precipitação da reanálise do NCEP/NCAR com dados obtidos de estações pluviométricas**

Rao et al. (2002b) fizeram uma comparação, para o Brasil, entre os dados de precipitação provenientes do NCEP/NCAR e dados pluviométricos coletados nas estações da ANEEL. Além disso, caracterizaram a precipitação sobre o Brasil durante um forte evento de El Niño registrado em 1997/98. Eles utilizaram dados de precipitação da reanálise do NCEP/NCAR e dados pluviométricos das estações da ANEEL de 1959-1998. Verificaram que os dados da reanálise do NCEP/NCAR superestimam a precipitação no NEB. Além disso, esses dados não reproduzem corretamente a intensidade e orientação da ZCAS. Sobre o sudeste e sul do Brasil o coeficiente de correlação entre as séries de precipitação provenientes das duas fontes de dados é significativo (0,38 e 0,36, respectivamente), sugerindo, assim, a utilidade dos dados de precipitação da reanálise do NCEP/NCAR para essas regiões. Porém, sobre as regiões da Amazônia, norte e meio-oeste do Brasil os dados de precipitação da reanálise do NCEP/NCAR são de qualidade questionável. Todavia, a série de precipitação da reanálise do NCEP/NCAR reproduz razoavelmente a distribuição sazonal da precipitação sobre o Brasil.

Oliveira e Brito (2002) também compararam a os dados de precipitação da reanálise do NCEP/NCAR com os dados de precipitação provenientes de

estações pluviométricas localizadas no sul do Ceará e oeste da Paraíba. Além disso, eles analisaram o possível uso dos dados de precipitação da reanálise para estimativa de chuvas em bacias hidrográficas do semi-árido Nordeste. Os dados utilizados foram obtidos dos totais mensais de precipitação medidos em 65 postos pluviométricos, espacialmente distribuídos no sul do Ceará e oeste da Paraíba, para o período de 1982 a 1994. As conclusões do trabalho foram as seguintes:

- As precipitações totais mensais obtidas dos dados da reanálise do NCEP/NCAR são, em geral, superiores às observadas nos postos pluviométricos no sul do Ceará e oeste da Paraíba;

- Os dados de precipitação da reanálise do NCEP/NCAR reproduzem fielmente a variabilidade interanual da precipitação do semi-árido do NEB. Portanto, estes podem ser utilizados nos estudos de variabilidade interanual do clima da região;

- As precipitações obtidas nos dados da reanálise do NCEP/NCAR podem ser usadas para estimativa das chuvas de bacias hidrográficas do semi-árido Nordeste, para períodos de um mês ou superiores.

Guedes et al. (2005) compararam a climatologia e a variabilidade de baixa frequência da precipitação observada em Fortaleza (totais mensais no período de janeiro de 1849 a dezembro de 2002) e os dados de precipitação da reanálise do NCEP/NCAR (no período de janeiro de 1951 a dezembro de 2000). Para caracterizar e comparar a variabilidade de baixa frequência foi utilizada a análise de ondeleta. Os autores observaram uma boa concordância entre os totais anuais de precipitação observada e os obtidos dos dados da reanálise do NCEP/NCAR. Com respeito a média mensal existe uma relativa concordância, apesar do ciclo anual da reanálise do NCEP/NCAR estar um mês adiantado em relação ao das observações. Os desvios-padrões mensais

das duas séries de dados apresentam grandes diferenças. Por exemplo, em abril, que é o mês climatológico de máxima ocorrência de precipitação, o desvio padrão calculado para a série da reanálise do NCEP/NCAR é pouco maior do que o desvio calculado para a série observada. Entretanto, deve-se ressaltar que estas diferenças são mais importantes exatamente no período de maior interesse para a região, a saber, na pré-estação chuvosa (janeiro), na quadra chuvosa (fevereiro a maio) e na pós-estação (junho e julho). O uso dos dados da reanálise do NCEP/NCAR deve ser feito com cuidado, principalmente para estudos que consideram variabilidade de baixa frequência, entre 15 e 20 anos, pois nessas escalas podem existir grandes diferenças entre a variabilidade encontrada na precipitação observada e a encontrada nos dados da reanálise do NCEP/NCAR.

Com relação aos dados de precipitação provenientes da reanálise do NCEP/NCAR é conveniente verificar se estes reproduzem a climatologia e as variabilidades de baixa frequência observadas para as regiões de interesse. Isso é necessário, pois os dados da reanálise podem conter erros sistemáticos para a AS. Costa e Foley (1998) e Rocha (2001) mostraram que a reanálise do NCEP/NCAR contém erros substanciais no posicionamento dos centros de máxima precipitação na Amazônia (Guedes et al. 2005).

## **2.5 Comparação entre os dados de precipitação do TRMM com os dados de precipitação do GPCP**

Li e Fu (2005) compararam duas séries de valores de precipitação média mensal nos trópicos, uma estimada pela versão 2 da série de dados do GPCP e outra estimada com o radar de precipitação (PR) do TRMM de 1998 a 2002. Os resultados desse trabalho mostraram que as duas fontes de dados são consistentes com relação ao padrão de distribuição da precipitação média mensal nos trópicos. Entretanto, diferenças significativas existem nas regiões com zonas de precipitação intensa nos oceanos tropicais assim como na suas

vizinhanças. Segundo Li e Fu, normalmente, a precipitação média estimada pelo GPCP é mais alta do que a estimada pelo PR sobre os oceanos tropicais, cerca de 0.45 mm/dia. Sobre o continente, a diferença média entre as estimativas do GPCP e PR é cerca de 0.08 mm/dia. Entretanto, detalhadas diferenças sobre o continente são amplamente correlacionadas com a densidade de distribuição das estações pluviométricas do GPCC (Global Precipitation Climatology Centre) (Figura 2.1). Nas regiões onde as estações pluviométricas são raras ou esparsas, GPCP tende a subestimar a precipitação na região, enquanto que nas regiões com densa cobertura de estações do GPCC as estimativas do PR são menores do que as observações reais das estações.

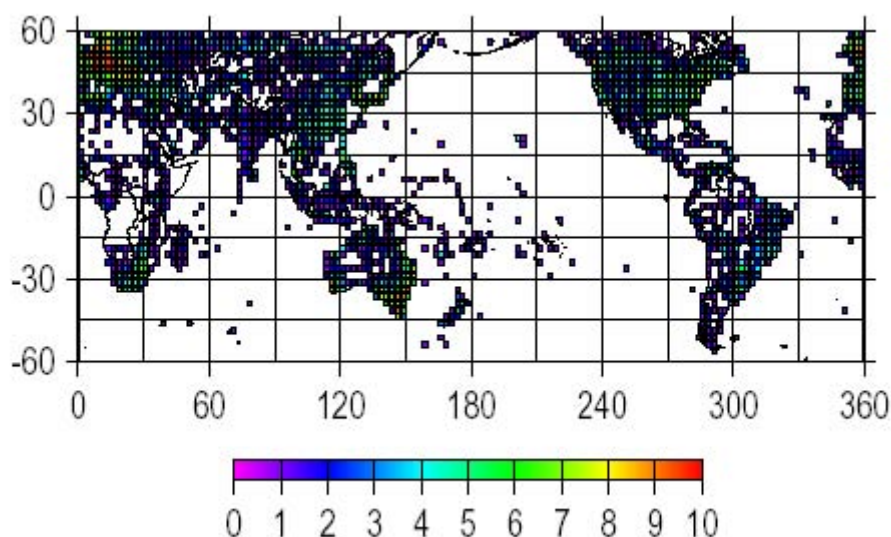


Figura 2.1 - Distribuição das estações do GPCP

Fonte: Adaptada de Li and Fu (2005).

Adler et al. (2000) descrevem uma técnica para combinar dados de satélite meteorológico com informações de estações pluviométricas (a maior parte no continente) para fornecer análises mensais e pentadais em alta resolução ( $1^\circ \times 1^\circ$ ). Neste trabalho, eles observaram que as estimativas do TRMM combinadas com dados de estações pluviométricas são 10% maiores que as do GPCP,



quando integradas sobre os oceanos tropicais para o ano de 1998 (primeiro ano do TRMM), e com diferenças de 20% observadas nas áreas com precipitação intensa. Na região seca dos subtrópicos os valores de precipitação estimados pelo TRMM são menores que os estimados pelo GPCP. No Pacífico leste os valores médios das precipitações máximas estimadas pelo TRMM e pelo GPCP são aproximadamente iguais. Já nas áreas tropicais chuvosas a média das precipitações máximas estimadas pelo PR são mais altas do que a estimada pelo GPCP. Esta diferença regional sugere que o produto TRMM combinado com as informações das estações é melhor levando-se em conta a estrutura vertical dos sistemas de precipitação e a diferença na estrutura da convecção no Pacífico oeste e leste.



### **3 DADOS E METODOLOGIA**

#### **3.1 Introdução**

A variável precipitação pode ser quantificada utilizando-se dois instrumentos meteorológicos, o pluviômetro (recipiente que acumula a chuva) e o pluviógrafo (registra continuamente através de um gráfico a precipitação no decorrer de um intervalo de tempo). A unidade de medição usual é o milímetro de chuva, definido como a quantidade de precipitação correspondente ao volume de 1 litro por metro quadrado de superfície. Embora a obtenção dos dados de precipitação através destes instrumentos seja confiável, a dificuldade reside no fato de que as estações meteorológicas existentes em algumas regiões do Brasil são deficientes devido à grande extensão territorial do país e também pela existência de locais de difícil acesso.

Segundo Liebmann e Allured (2005), dentre os problemas que acarretam erros na descrição da precipitação em uma dada área, o mais sério e mais difícil de resolver é o que envolve valores ausentes, falhas ou descontinuidades nos dados obtidos de estações pluviométricas. Em alguns casos, valores ausentes são registrados como zero. Em outros casos, valores em branco são registrados nos dias com precipitação zero. Outro problema é que não há uma padronização dos dados que provêm de diferentes instituições, pois estas enviam os dados diariamente e muitas vezes de equipamentos diferentes. Além disso, em algumas estações os dados são coletados manualmente e pode haver erros posteriormente na transcrição dos dados.

Sobre o oceano a dificuldade é ainda maior, já que não existem medições de radares meteorológicos de superfície ou pluviógrafos. Nesse contexto, a medição de precipitação através de sensoriamento remoto via satélite tem sido uma boa solução para estas limitações. Enquanto as observações nas bandas do visível e infravermelho são sensíveis basicamente aos hidrometeoros presentes no topo das nuvens, as observações em microondas são sensíveis à

coluna total de hidrometeoros, representando uma ferramenta promissora para o estudo da estrutura interna das nuvens precipitantes.

O monitoramento da precipitação por meio de sensoriamento remoto baseia-se na interação dos diferentes hidrometeoros, como vapor d'água, água de nuvem e chuva, e gelo, com a energia eletromagnética captada e emitida em algumas faixas de frequência pelos sensores. A combinação das informações coletadas pelos sensores de microondas ativos (radares) e passivos (radiômetros) de satélites pode trazer uma visão tridimensional da distribuição dos hidrometeoros, precipitação e calor latente na atmosfera.

Assim, os sensores remotos diretos (radar) e indiretos (satélites) facilitaram o estudo da precipitação, mas devido a algumas limitações encontradas com os sensores diretos, como sua escala espacial, os sensores indiretos são mais utilizados no monitoramento da precipitação. Estes sensores atualmente fornecem medidas médias para a estimativa de precipitação convectiva e estratiforme em grande escala. O modelo de estimativa indireta da precipitação utilizando a alta resolução temporal dos satélites geoestacionários geralmente baseia-se no uso de informações fornecidas pelos canais Visível (VIS) e Infravermelho (IR). Considera-se a distribuição espacial e temporal da temperatura do topo das nuvens para fornecer a distribuição e intensidade da precipitação abaixo dessas nuvens (Arkin e Meisner, 1987). Para um monitoramento contínuo da precipitação normalmente utiliza-se somente o canal IR devido às limitações do canal VIS durante o período noturno (Lima, 2001).

Embora o sensoriamento remoto esteja se mostrando uma ferramenta útil na medição da precipitação, as medidas baseadas em pluviômetros, de boa qualidade e com densidade de estações suficiente ainda provêm a mais precisa estimativa de precipitação em uma dada área. Além disso, a medição

de precipitação via satélite necessita das observações baseadas nos pluviômetros para os processos de validação e calibração dos satélites.

### **3.2 Dados**

Os dados de precipitação a serem usados no trabalho correspondem as séries pluviométricas medidas nas estações da ANEEL e as obtidos de outras fontes, como reanálise do NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996), GPCP (Huffman et al., 1997) e do satélite do TRMM ([www.trmm.gsfc.nasa.gov/](http://www.trmm.gsfc.nasa.gov/)). Uma revisão bibliográfica destas fontes de dados encontra-se descrita no Apêndice A.

Foram consideradas séries pluviométricas mensais de 1979-2000 obtidas das estações da ANEEL e do GPCP e reanálise do NCEP/NCAR. O período para a série do TRMM é de 1998-2005. A resolução utilizada em todas as fontes de dados é de  $2.5^0 \times 2.5^0$ ; priorizando dessa forma a homogeneidade espacial dos dados.

Para a reanálise do NCEP/NCAR as séries foram obtidas através do site da internet: <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html>. A variável é a taxa de precipitação ( $\text{Kg/m}^2/\text{s}$ ) e a grade é T62 Gaussiana (192x94 pontos). Para obter a precipitação mensal foi necessário multiplicar a taxa de precipitação por 3600s (1 hora) x 24h (1 dia) x o número de dias em cada mês do ano (levando-se em consideração os anos bissextos). Além disso, as séries pluviométricas mensais foram colocadas em uma grade de  $2.5^0 \times 2.5^0$ . Isso foi conseguido por meio do cálculo das médias aritméticas das séries efetuadas dentro de cada bloco de  $2.5^0$ .

As séries pluviométricas mensais do GPCP correspondem a versão 2 e já se encontram numa grade de  $2.5^0 \times 2.5^0$ . Foram obtidas no site: <http://lwf.ncdc.noaa.gov/oa/wmo/wdcamet-ncdc.html>. A variável é precipitação acumulada (mm/dia). Deve-se, portanto multiplicar esta variável pelo número

de dias em cada mês, levando-se em consideração os anos bissextos, para se obter a precipitação mensal.

Para o satélite TRMM as séries pluviométricas mensais utilizadas são provenientes do produto TRMM Precipitation Radar – Level 3, conhecido como 3A25G2. Estas séries se encontram em uma grade  $0.50^0 \times 0.50^0$ , formato binário e foram obtidas via [ftp://helios.eorc.jaxa.jp/pub/TRMM/L3\\_data/Ver/](ftp://helios.eorc.jaxa.jp/pub/TRMM/L3_data/Ver/). A variável disponível neste endereço é a precipitação acumulada mensal que está definida como:

Precipitação acumulada = taxa média de precipitação (mm/h) x (pixel de chuva/pixel total) x 24 x número de dias em cada mês.

As séries do TRMM também foram colocadas em uma grade de  $2.5^0 \times 2.5^0$  através do cálculo das médias aritméticas efetuadas dentro de cada bloco de  $2.5^0$ .

### **3.3 Metodologia**

A análise e comparação das semelhanças e diferenças indicarão as potencialidades e limitações das outras fontes de dados em relação às séries pluviométricas medidas nas estações da ANEEL em representar as médias sazonais e anual, bem como o quanto à precipitação referente às médias sazonais representam em relação à média anual. Isso corresponde a uma expansão do trabalho feito por Rao et al. (2002b) com algumas modificações inseridas. Um número maior de estações da ANEEL foi utilizado e a resolução e o período são diferentes do que os empregados no trabalho de Rao et al. (2002b). Além disso, outras fontes de dados foram acrescentadas e as potencialidades e limitações destas fontes em relação aos dados pluviométricos das estações em representar os ciclos anual e semi – anual da precipitação no Brasil são investigadas neste trabalho.

Nesta seção os principais aspectos da metodologia utilizada neste trabalho são discutidos.

### 3.3.1 Tratamento para os dados pluviométricos da ANEEL

As estações da ANEEL, irregularmente espaçadas como se vê na Figura 3.1, foram agrupadas (baseado em médias aritméticas) numa grade  $2.50 \times 2.50$  (Figura 3.2).

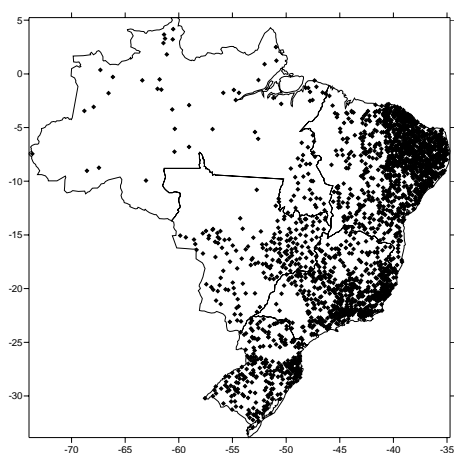


Figura 3.1 – Estações da ANEEL.

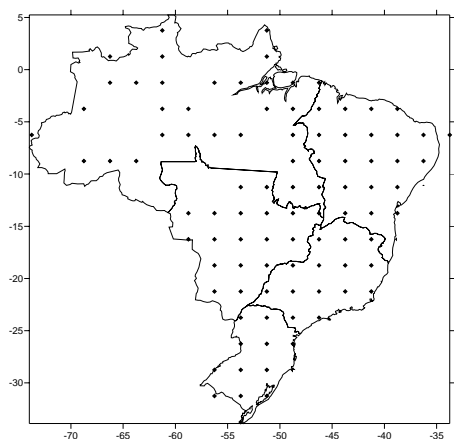


Figura 3.2 – Estações da ANEEL agrupadas irregularmente na grade de  $2.5^0 \times 2.5^0$ .

A Figura 3.1 exibiu as estações da ANEEL irregularmente espaçadas, ou seja, sem haverem sido colocadas em pontos de grade. A Tabela 3.1 mostra o número total de estações existentes em cada região do Brasil.

Tabela 3.1 - Número de estações existentes em cada região do Brasil.

Região	Nº estações
Sul	286
Sudeste	605
Centro – Oeste	151
Nordeste	1090
Norte	55

Através da Figura 3.1 e da Tabela 3.1 observa-se que existe uma densa rede de estações na região nordeste, porém na região norte e centro-oeste do Brasil a rede de estações é deficiente.

As séries pluviométricas de cada uma das estações da ANEEL foram colocadas em uma grade  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  realizando-se médias aritméticas em cada bloco de  $2.5^\circ$ . A Figura 3.3 mostra o número de estações em cada região do Brasil que foram utilizadas para este cálculo. Como a resolução é baixa, estações mais afastadas entram no cálculo da média. Se fosse utilizada uma resolução mais alta, seriam usadas para o cálculo das médias aritméticas em cada bloco estações mais próximas, melhorando o resultado final.



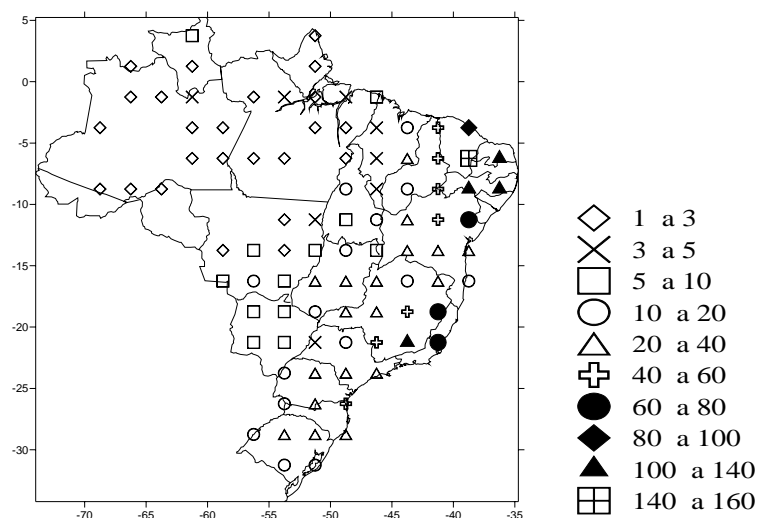


Figura 3.3 – Número de estações utilizadas para o cálculo da média aritmética em cada bloco de 2.5° x 2.5°.

É importante ressaltar que como não há um controle de qualidade efetuado para os dados pluviométricos medidos em estações, faz-se necessário uma análise de consistência dos dados. Isso é importante, pois muitas vezes as diferenças entre as séries pluviométricas das várias fontes de dados são relativamente altas devido a problemas de arredondamento, descontinuidades ou falhas presentes nestas séries.

A análise de consistência para as séries pluviométricas da ANEEL foi feita primeiramente detectando e excluindo valores de precipitação maiores que quatro vezes o desvio padrão. Porém, não foram encontrados valores que excedessem este limite. Como foram observadas descontinuidades ou falhas em várias estações da ANEEL (principalmente na região norte e centro-oeste), e os cálculos são baseados na precipitação acumulada, não foram considerados anos com menos de 10 meses para o cálculo da precipitação média anual e trimestre com menos de 2 meses para o cálculo da precipitação média sazonal. Estes casos foram considerados como falhas. Finalmente, procedeu-se a uma interpolação linear para substituir os valores de precipitação mensal ausente.

Interpolar é prever ou estimar o valor da variável a ser estudada num ponto não amostrado; sendo que este se situa entre pontos conhecidos. A interpolação linear consiste em ajustar segmentos de reta (polinômios de primeiro grau) a cada par de pontos conhecidos. Para isso, determina-se um polinômio de primeiro grau  $f(x) = a_0 + a_1x$ , que contenha os pontos  $(x_0, f(x_0))$  e  $(x_{+1}, f(x_{+1}))$ . Encontram-se os valores de  $a_0$  e  $a_1$ , resolvendo-se um sistema linear de duas equações com duas incógnitas, obtendo-se:

$$a_0 = \frac{f(x_{+1}) * (x_0) - f(x_0) * (x_{+1})}{x_{+1} - x_0}, \quad a_1 = \frac{f(x_{+1}) - f(x_0)}{x_{+1} - x_0}$$

(3.1)

Para traçar as isolinhas de precipitação para as séries da ANEEL foi utilizado o método Kriging tipo ponto, ou seja, o valor de um determinado ponto foi estimado usando um conjunto de pontos vizinhos. No programa Surfer este método utiliza um círculo de busca dos dados. Pode-se então definir o raio deste círculo e o número mínimo de pontos que devem ser usados em cada setor (Isaaks and Srivastava, 1989). Como a região norte e centro-oeste tem um número muito reduzido de estações e a maioria delas com muitas falhas ou descontinuidades, o raio da elipse de busca precisa ser aumentando de modo a abranger um número maior de estações. Porém, ao abranger estações mais afastadas pode deixar de existir a correlação espacial (que a técnica de Kriging assume) e isso gera resultados com menor confiabilidade.

É importante destacar que devido ao fato da rede de estações da ANEEL ser deficiente na região norte e centro – oeste, nestas regiões a precipitação será mais bem representada nas outras fontes de dados, especialmente nos dados do GPCP e TRMM.

### 3.3.2 Cálculo das médias anual e sazonal

A média anual foi calculada para toda a extensão do Brasil e América do Sul (nos dados do GPCP) baseada na seguinte fórmula:

$$MA = \frac{\sum(PA)}{N} \quad (3.2)$$

onde,

MA é a média anual, PA é a precipitação acumulada anual e N é o número de anos.

A média sazonal também foi calculada para a mesma região baseada na fórmula:

$$MS = \frac{\sum(PS)}{N} \quad (3.3)$$

onde,

MS é a média sazonal e PS é precipitação acumulada sazonal (3 meses).

A significância estatística de cada uma dessas médias será calculada. As médias anuais e sazonais são significantes ao nível de 99% se obedecerem a seguinte expressão:

$$MA > \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{N-1}} ; MS > \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{N-1}} \quad (3.4)$$

onde,

$t$  é o valor da distribuição t-Student a 99% utilizando-se  $N-1$  graus de liberdade e  $N$  corresponde ao período em anos,  $\sigma$  é o desvio-padrão.

### 3.3.3 Desvio-padrão e coeficiente de variação

O desvio-padrão da PA foi calculado segundo a fórmula abaixo para toda a região de interesse. Ele mede a variação em torno da média aritmética em termos absolutos, ou seja, tem a mesma unidade dos dados.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (PA_i - MA)^2}{N - 1}} \quad (3.5)$$

onde,

$\sigma$  é o desvio-padrão.

Além desta medida, o coeficiente de variabilidade de Pearson ou coeficiente de variação (CV) também foi calculado. Este é interpretado como a variabilidade dos dados em relação à média. Pode ser expresso em porcentagem. Quanto menor o valor de CV, menor será a dispersão dos dados em torno da média aritmética, ou seja, mais representativa será a média aritmética e, portanto, mais homogêneo o conjunto de dados. CV pode ser calculado por:

$$CV = \frac{\sigma}{MA} \quad (3.6)$$

### 3.3.4 Desvios normalizados

Os desvios normalizados (DN) em cada ano foram calculados para cada uma das 5 regiões do Brasil baseados na seguinte fórmula:

$$DN = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad (3.7)$$

Onde,  $x$  é a média em cada ano da precipitação acumulada de cada um dos pontos de grade referentes a cada região considerada e  $\bar{x}$  é a média de  $x$  para todos os anos considerados (1979-2000).

### 3.3.5 Razão entre a média sazonal e anual (R)

Serão calculadas, também, as porcentagens correspondentes à razão entre as médias sazonais e anual através da seguinte fórmula:

$$R = \frac{MS}{MA} * 100 \quad (3.8)$$

### 3.3.6 Interpolação

Para traçar as isolinhas foi utilizado o método de interpolação do Vizinho mais Próximo para o GPCP, reanálise do NCEP/NCAR e TRMM, já que os dados destas fontes já se encontravam em pontos de grade. Para interpolar os dados da ANEEL irregularmente espaçados em pontos de grade utilizou-se o método Kriging (Matheron, 1970).

Cabe ressaltar que os dados de cada uma das fontes foram colocados em uma grade de 2.50 x 2.50 (exceto os dados do GPCP que já se encontravam originalmente nesta resolução), portanto, ao traçar as isolinhas foi realizada uma extrapolação. Isto é semelhante à interpolação, porém diferentemente desta, se pretende encontrar o valor da função desejada num ponto fora da zona conhecida.

O método Vizinho mais Próximo atribui o valor do ponto mais próximo e é um método útil quando os dados estão regularmente espaçados. Já a técnica de Kriging assume que os dados de uma determinada amostra se encontram correlacionados no espaço; assim se em determinado ponto o valor de precipitação é  $x$ , é muito provável que se encontrem valores muito próximos de

x quanto mais próximos se estiver do ponto x, porém, a partir de determinada distância de x, certamente não se encontrarão valores aproximados de x porque a correlação espacial pode deixar de existir. Esta técnica atribui diferentes pesos às amostras e estes são calculados de forma a minimizar a variância estimada. Esta variância é calculada em função de um modelo selecionado com base em um variograma, e a localização de cada uma das amostras em relação às outras e os pontos que se pretendem estimar.

O modelo de variograma especifica matematicamente a variabilidade espacial da série de dados. Os pesos da interpolação que são aplicados aos pontos de grade, durante os cálculos dos nós da grade, são funções diretas do modelo de variograma.

Fazem partes dos métodos de Kriging: o Simple Kriging, o Ordinary Kriging e o Co-Kriging. Foi utilizado o Ordinary Kriging que consiste na utilização dos pontos vizinhos para a estimação e não as médias locais (Cressie, 1991).

Além disso, existem dois tipos de Kriging: Point Kriging – estima o valor de um ponto usando um conjunto de pontos vizinhos e Block Kriging – estima o valor de um bloco usando um conjunto de pontos vizinhos. Neste trabalho o Point Kriging foi utilizado.

Considerando um conjunto de valores de Z em n pontos distintos, com coordenadas representadas pelo vetor  $\vec{x} : \{Z(\vec{x}_i), i = 1, \dots, n\}$ , onde  $\vec{x}_i$  identifica uma posição em duas dimensões representada pelos pares de coordenadas  $(x_i, y_i)$ . Suponha que se deseje estimar o valor de Z no ponto  $\vec{x}_0$ . O valor desconhecido de  $Z(\vec{x}_0)$  pode ser estimado por uma combinação linear dos n valores observados adicionado a um parâmetro  $\lambda_0$  (Journel, 1988):

$$Z_{x_0}^* = \lambda_0 + \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(\vec{x}_i) \quad (3.9)$$

Deseja-se um estimador não tendencioso, ou seja, em média, a diferença entre valores estimados e verdadeiros para o mesmo ponto deve ser nula:

$$E\left[Z_{x_0}^{\vec{}} - Z_{x_0}^{*\vec{}}\right] = 0 \quad (3.10)$$

Esta relação impõe que as duas médias sejam iguais, isto é,

$$E\left[Z_{x_0}^{\vec{}}\right] = E\left[Z_{x_0}^{*\vec{}}\right] \quad (3.11)$$

Mas,

$$E\left[Z_{x_0}^{*\vec{}}\right] = E\left[\lambda_0 + \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)^{\vec{}}\right] = \lambda_0 + \sum_{i=1}^n \lambda_i E\left[Z(x_i)^{\vec{}}\right] \quad (3.12)$$

O parâmetro  $\lambda_0$  é obtido substituindo a Equação 3.12 em 3.11, então:

$$\lambda_0 = E\left[Z(x_0)^{\vec{}}\right] - \sum_{i=1}^n \lambda_i E\left[Z(x_i)^{\vec{}}\right] \quad (3.13)$$

Substituindo o valor de  $\lambda_0$  na Equação 3.9, obtém-se o estimador:

$$Z_{x_0}^{*\vec{}} = E\left[Z(x_0)^{\vec{}}\right] - \sum_{i=1}^n \lambda_i E\left[Z(x_i)^{\vec{}}\right] + \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)^{\vec{}} \quad (3.14)$$

O método de krigeagem simples supõe que a média ( $m$ ) é conhecida e constante a priori, então:

$$E\left[Z(x_0)^{\vec{}}\right] = E\left[Z(x_i)^{\vec{}}\right] = m \quad (3.15)$$

Substituindo a Equação 3.15 em 3.14, o estimador de krigagem simples fica:

$$Z_{x_0}^* = m + \sum_{i=1}^n \lambda_i [Z(x_i) - m] \quad (3.16)$$

A krigagem ordinária não requer o prévio conhecimento da média  $m$ . Neste caso, partindo da Equação 3.10 e utilizando as Equações 3.9 e 3.15 têm-se:

$$E[Z_{x_0}^*] = E\left[\lambda_0 + \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)\right] \Rightarrow m = \lambda_0 + \sum_{i=1}^n \lambda_i m \quad (3.17)$$

Para que esta igualdade seja satisfeita, no caso de krigagem ordinária, é necessário que

$$\lambda_0 = 0 \quad \text{e} \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (3.18)$$

Portanto, o estimador de krigagem ordinária é:

$$Z_{x_0}^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i), \text{ com } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (3.19)$$

Journel (1988) mostra que, minimizando a variância do erro  $(\text{Var}[Z_{x_0} - Z_{x_0}^*])$  sob a condição de que  $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ , os pesos são obtidos a partir do sistema de equações abaixo, denominado sistema de equações de krigagem ordinária:



$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n \lambda_j C(\vec{x}_i, \vec{x}_j) - \alpha = C(\vec{x}_i, \vec{x}_0) \quad \text{para } i=1, \dots, n \text{ (n equações)} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \end{array} \right. \quad (3.20)$$

onde,

- $C(\vec{x}_i, \vec{x}_j)$  refere-se à função covariância correspondente a um vetor,  $\vec{h}$ , com origem em  $\vec{x}_i$  e extremidade em  $\vec{x}_j$ .
- $C(\vec{x}_i, \vec{x}_0)$  refere-se à função covariância correspondente a um vetor,  $\vec{h}$ , com origem em  $\vec{x}_i$  e extremidade no ponto a ser estimado  $\vec{x}_0$ .
- $\alpha$  é o multiplicador de Lagrange necessário para a minimização da variância do erro.

A correspondente variância minimizada do erro, denominada variância de krigeagem ordinária ( $\sigma_{ko}^2$ ) é dada pela seguinte expressão (Journal, 1988):

$$\sigma_{ko}^2 = Var[Z_{x_0} - Z_{x_0}^*] = C(\vec{0}) - \sum_{i=1}^n \lambda_i C(\vec{x}_i, \vec{x}_0) - \alpha \quad (3.21)$$

Como foi visto, o método Kriging é considerado BLUE (best linear unbiased estimator) pois: suas estimativas são combinações lineares ponderadas dos dados existentes (baseia-se numa média - móvel – ponderada) e faz com que a média dos erros (desvios entre o valor real e o valor estimado) seja nula. Essa técnica é a melhor porque os erros de estimação apresentam uma variância (variância da estimação) mínima.

### 3.3.7 Análise harmônica

A análise harmônica consiste em representar flutuações ou variações em uma série temporal na adição de uma série de funções seno e co-seno. Estas funções trigonométricas são “harmônicos” que são escolhidos como tendo freqüências que são múltiplas da freqüência “fundamental” determinada pelo tamanho amostral da série de dados (Wilks, 1995). A análise harmônica permite indicar o período de máxima precipitação. O primeiro harmônico representa o ciclo anual e o segundo harmônico, o ciclo semi-anual.

Assim, denomina-se análise harmônica de uma série finita  $(y_1, y_2, y_3, \dots, y_t)$  de  $N$  dados, a sua decomposição em uma série finita de somas de senos e co-senos:

$$y_t = \bar{y} + \sum_1^k \left[ A_k \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) + B_k \text{sen}\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \right] \quad (3.22)$$

onde,

$\bar{y}$  é a média de  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_t$

$k = 1, 2, 3, \dots, N/2$  se  $N$  é par e  $k = 1, 2, \dots, (N-1)/2$  se  $N$  é ímpar,

$A_k = C_k \cos \phi_k$  e  $B_k = C_k \text{sen} \phi_k$

A grandeza  $k$  é denominada de número do harmônico,  $T$  é o período,  $C$  é a amplitude e  $\phi$  é a fase. Para séries temporais de  $N$  valores  $(y_1, y_2, y_3, \dots, y_t)$ , igualmente espaçadas no tempo, são válidas as seguintes expressões:

$$A_k = \frac{2}{N} \sum_{(t=1)}^{(t=N)} \left[ Y_t \cos\left(\frac{2\pi kt}{T}\right) \right] \quad (3.23)$$

$$B_k = \frac{2}{N} \sum_{(t=1)}^{(t=N)} \left[ Y_t \text{sen} \left( \frac{2\pi kt}{T} \right) \right] \quad (3.24)$$

$$C_k^2 = A_k^2 + B_k^2 \quad (3.25)$$

$$\phi_k = \begin{cases} \tan^{-1} \frac{B_k}{A_k} & A_k > 0 \\ \tan^{-1} \frac{B_k}{A_k} \pm \pi & A_k < 0 \\ \frac{\pi}{2} & A_k = 0 \end{cases} \quad (3.26)$$

O primeiro harmônico, ou harmônico fundamental, tem um período  $T$  igual ao comprimento da série ( $T = N$ ); o segundo harmônico tem um período igual à metade do período do harmônico fundamental, o terceiro  $T/3$  e assim por diante.

A fração da variação total explicada por cada harmônico é obtida por:

$$Var_k = \frac{C_k^2}{2\sigma^2} \quad (3.27)$$

onde,

$\sigma^2$  é a variância.

A informação contida nas funções harmônicas pode ser convenientemente resumida usando um recurso gráfico conhecido como disco harmônico (harmonic dial). Discos harmônicos são especialmente úteis para representar a distribuição espacial de quantidades periódicas.

O disco harmônico descreve os dois parâmetros de um único harmônico usando um segmento de linha cujo comprimento é proporcional à amplitude, e

cuja orientação angular (direção em que o vetor aponta) indica o ângulo de fase.

Geralmente um mapa de discos harmônicos inclui uma legenda. Esta indica a seguinte convenção para a fase: cada 30° representa um mês, 1° de janeiro é representado por 0° (Leste), 1° de abril por 90° (Norte), 1° de julho por 180° (Oeste) e assim por diante. Deste modo, a orientação angular dos vetores aponta para a data em que o primeiro harmônico é maximizado.

### 3.3.8 Coeficiente de correlação

Após isto, será feita uma análise para cada uma das regiões do país separadamente. Serão selecionadas as estações e os pontos de grade referentes às outras fontes, que estão localizadas em cada uma das regiões, e, então, serão calculados os coeficientes de correlação entre as séries de precipitação medidas nas estações da ANEEL e as séries correspondentes às outras fontes. Considerando um conjunto de dados com N pares de valores para as variáveis x e y, representados por  $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, N$ . O coeficiente de correlação é calculado da seguinte forma:

$$\rho_{x,y} = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma_x * \sigma_y} \quad (3.28)$$

onde,

$\rho_{x,y}$  é o coeficiente de correlação,  $\sigma$  é o desvio padrão e  $\text{cov}(x,y)$  é a covariância dada por:

$$\text{cov}(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)}{N} \quad (3.29)$$

onde,

$x$  e  $y$  são os valores de PA para a série de dados pluviométricos da ANEEL e o das outras fontes respectivamente,  $\mu_x$  é média de PA para os dados da ANEEL,  $\mu_y$  é a média de PA para os dados das outras fontes.

O coeficiente de correlação ( $\rho_{x,y}$ ) se situa no intervalo compreendido entre -1 e +1 e é uma medida da dependência linear entre as variáveis.

Os valores dos coeficientes de correlação devem ser considerados a um determinado nível de significância. No presente trabalho, considerou-se o nível de 99% para o teste t- Student. Com o auxílio de uma tabela que fornece os pontos de porcentagem para a distribuição do coeficiente de correlação com  $N - 2$  graus de liberdade, verifica-se se o valor calculado de  $\rho$  excede o valor tabelado em  $p=0.01$  (99%). Se isso ocorrer, o coeficiente de correlação é significativo ao nível de 99%. A tabela mencionada anteriormente fornece o valor absoluto da amostra do coeficiente de correlação  $\rho$  que leva a rejeição da hipótese nula que  $\rho = 0$  contra a hipótese alternativa que  $\rho \neq 0$  nos níveis de significância  $p$  indicados.

### **3.3.9 Análise dos resultados**

A análise dos resultados será feita através da comparação entre as isolinhas de precipitação referentes às médias sazonais e anual considerando uma série temporal longa, bem como dos desvios – padrões sobre o Brasil. Serão calculados os coeficientes de correlação entre as séries pluviométricas medidas nas estações da ANEEL e as séries provenientes de outras fontes para cada região do país. Será feita uma análise considerando a última fase do episódio de El Niño e La Niña de 1998 e 1999. As comparações avaliarão a confiabilidade do uso dos dados de precipitação provenientes de fontes como a

reanálise do NCEP/NCAR, o GPCP e o TRMM, em estudos sobre a variabilidade de precipitação sobre o Brasil.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Introdução

Para o cálculo desta primeira parte dos resultados foram consideradas séries pluviométricas mensais da ANEEL, GPCP e reanálise do NCEP/NCAR para o período de 1979 – 2000.

#### 4.1.1 Médias anual e sazonal

As Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 mostram a precipitação média anual obtida através dos dados do GPCP, da reanálise do NCEP/NCAR e da ANEEL, respectivamente. Todas as regiões apresentam médias significativas a 99%.

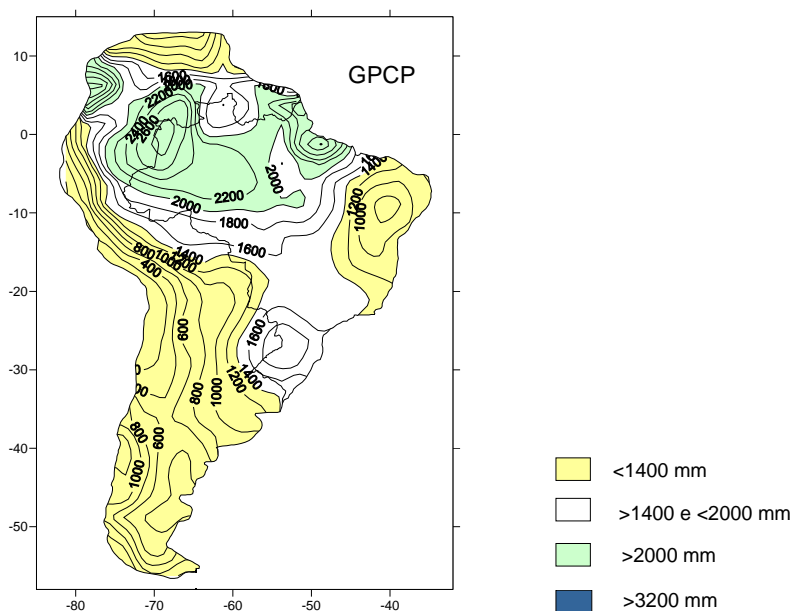


Figura 4.1 - Precipitação média anual (mm) obtida a partir dos dados do GPCP de 1979 – 2000.

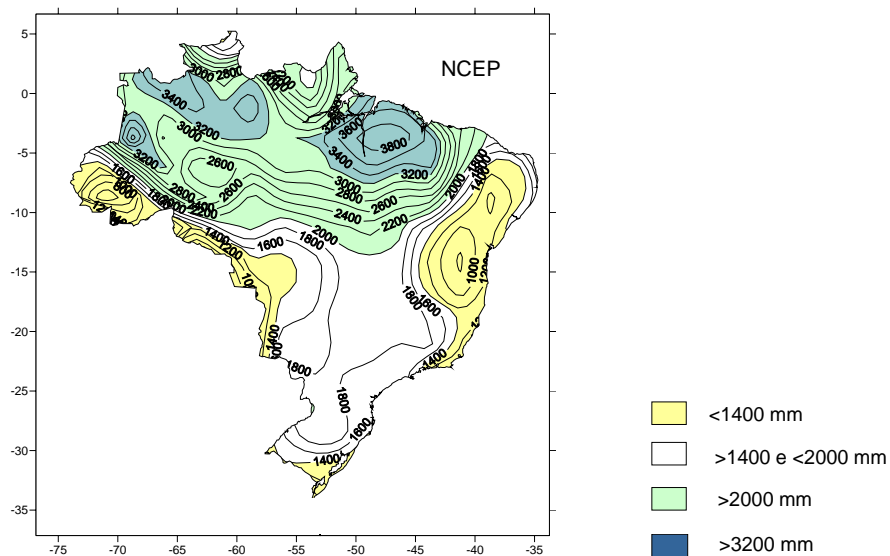


Figura 4.2 - Precipitação média anual (mm) obtida a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR de 1979 – 2000.

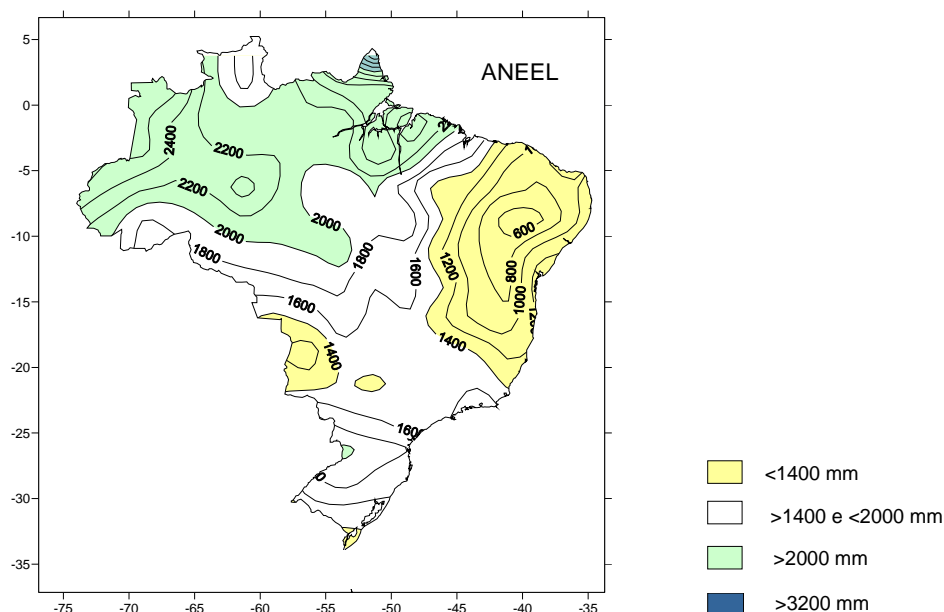


Figura 4.3 - Precipitação média anual (mm) obtida a partir dos dados da ANEEL de 1979-2000.

Como era esperado, nas três fontes de dados observam-se baixos índices pluviométricos no NEB (valores menores que 1400 mm, que diminuem na direção do interior do NEB – polígono das secas). Deve-se destacar que as



estações da ANEEL têm uma ótima cobertura espacial no NEB. Pode-se observar no interior desta região, através dos dados desta fonte, centros com valores de precipitação inferiores a 800 mm.

Os maiores índices pluviométricos (acima de 2000 mm) se encontram na região noroeste da Bacia Amazônica. Interessante notar que nos dados da reanálise do NCEP/NCAR altos índices pluviométricos são encontrados na parte leste da Amazônia e baixos índices pluviométricos são encontrados sobre o sudoeste da Amazônia; resultado semelhante foi encontrado por Rao et al. (2002b). Além disso, os dados da reanálise do NCEP/NCAR tendem a superestimar a precipitação, principalmente na região norte da Amazônia onde se observam centros com valores de precipitação acima de 3200 mm.

Os dados do GPCP cobrem toda a AS. É possível observar altos índices pluviométricos sobre o oeste da Colômbia em uma região relativamente pequena; conforme foi visto na climatologia de precipitação obtida por Figueroa e Nobre (1990). Na região do Chile é onde se encontram os menores índices pluviométricos, devido ao fato dessa região abrigar o Deserto do Atacama. A região do Equador também apresenta baixos índices devido ao clima dessa região ser predominantemente seco; assim como na costa do Peru.

As Figuras 4.4, 4.5 e 4.6 mostram a precipitação sazonal média obtida a partir de cada uma das fontes de dados. Todas as regiões apresentam médias significativas a 99%.

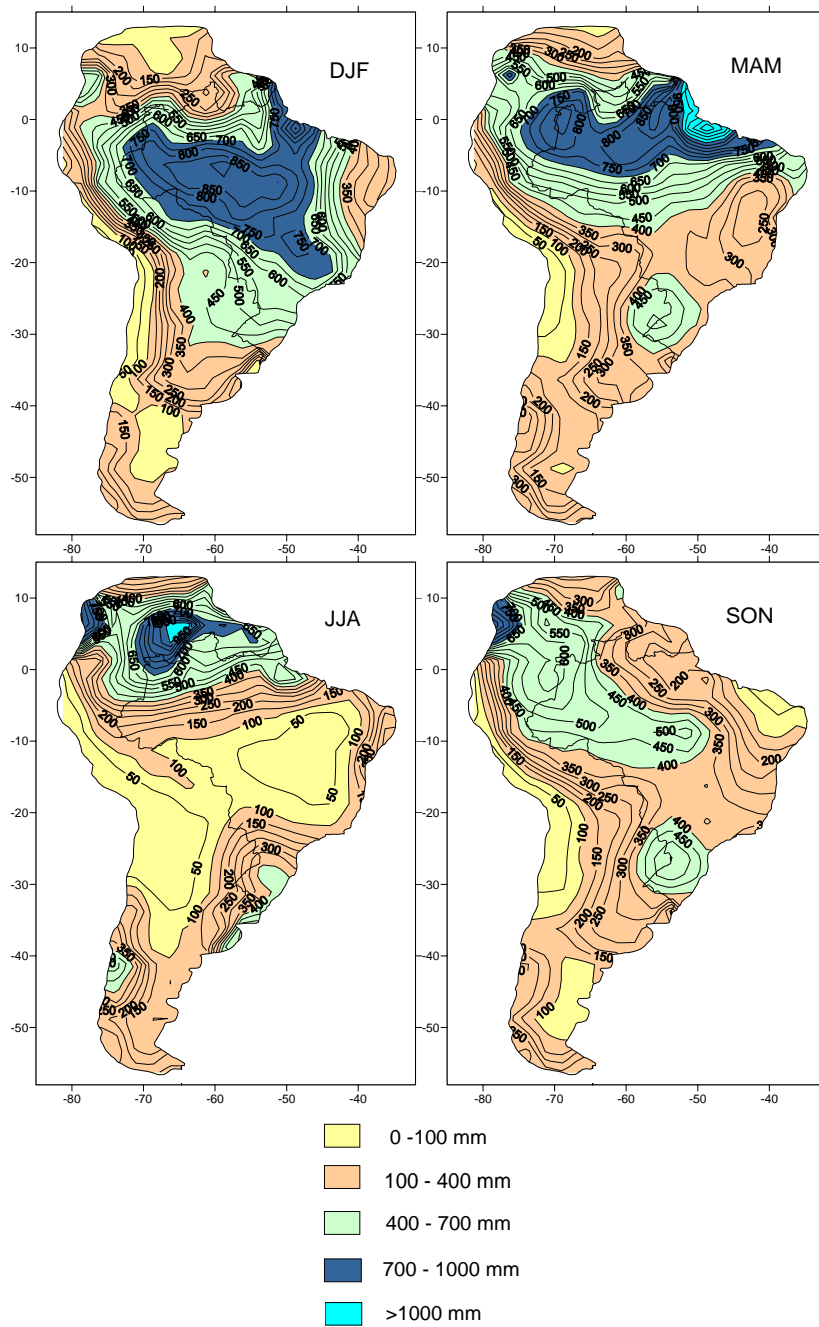


Figura 4.4 - Precipitação sazonal média (mm) obtida a partir dos dados do GPCP de 1979-2000.

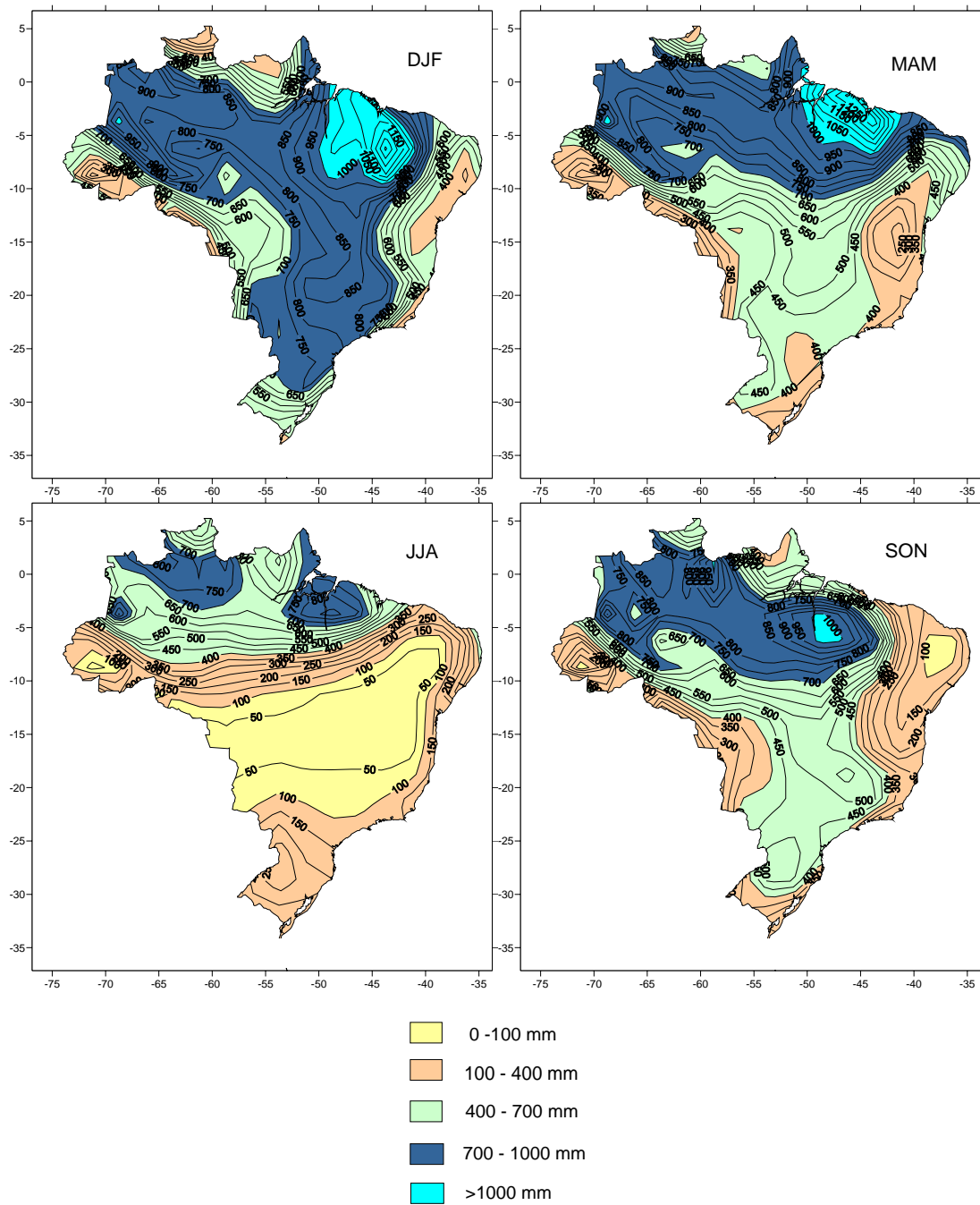


Figura 4.5 - Precipitação sazonal média (mm) obtida a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR de 1979-2000.

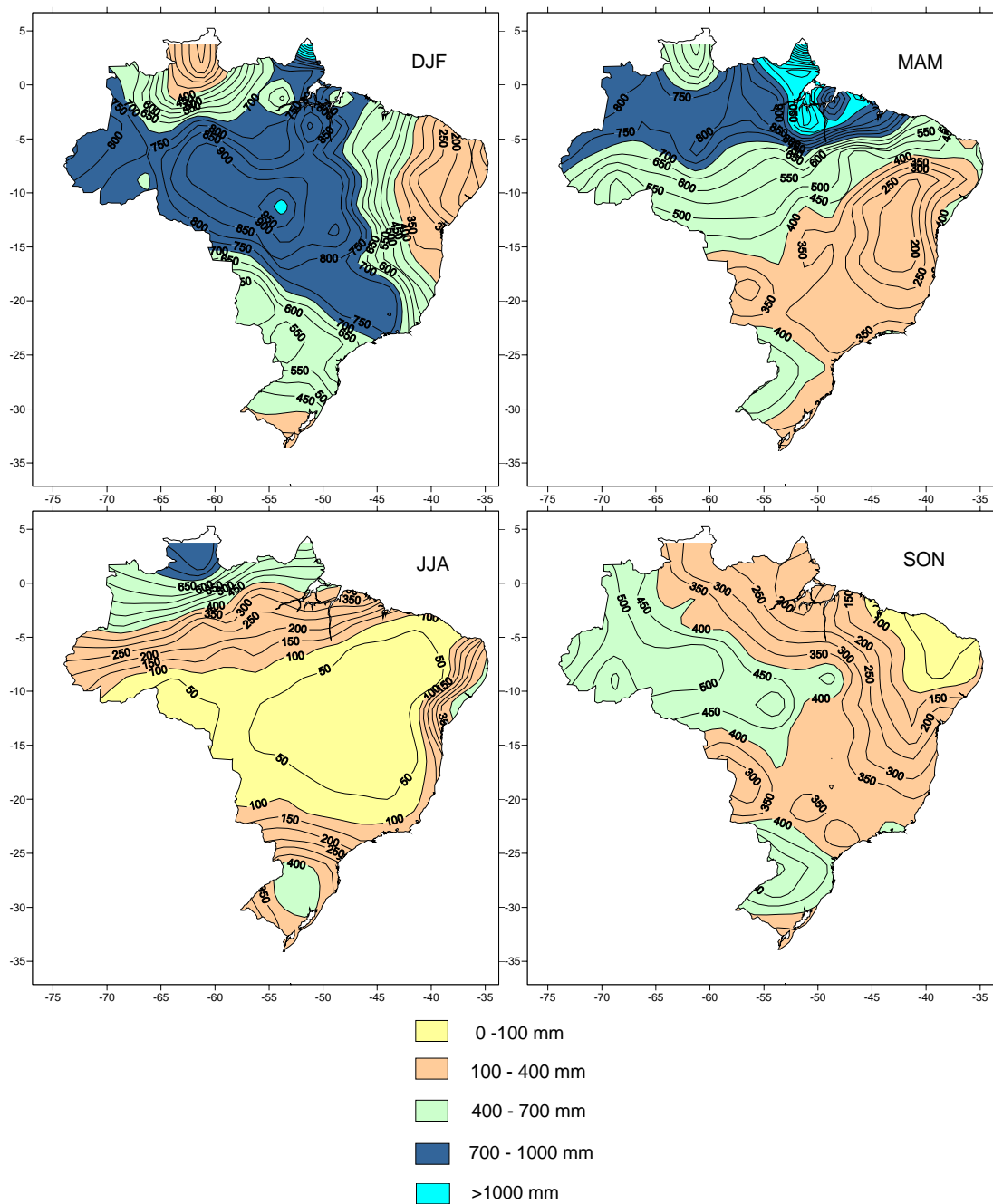


Figura 4.6 - Precipitação sazonal média (mm) obtida a partir dos dados da ANEEL de 1979-2000.

Conforme descrito em Rao e Hada (1990), a estação chuvosa para a maior parte do Brasil ocorre no verão (DJF). Portanto, observa-se nas figuras, para DJF nas três fontes, que os maiores índices pluviométricos abrangem grande parte do Brasil e tem uma orientação noroeste para sudeste bem nítida nos dados do GPCP e ANEEL. Rao et al. (2002b) comentaram a dificuldade das séries pluviométricas obtidas da reanálise do NCEP/NCAR em reproduzir corretamente a intensidade e orientação da ZCAS. Além disso, nesta fonte de dados observa-se, através da Figura 4.5 para DJF, uma região no estado do Maranhão com valores de precipitação superiores a 1000 mm. Esse aspecto não é observado nas outras fontes de dados.

Nota-se nos meses de verão (DJF) uma configuração em que se apresentam dois ramos principais com altos índices pluviométricos: um na direção noroeste-sudeste e outro que se estende desde o estado do Amapá e do Pará até a região sudeste. Na região exterior a esses ramos encontramos três áreas com baixos índices pluviométricos: norte da Amazônia, NEB e sudoeste do Brasil.

No outono (MAM), altos índices pluviométricos são encontrados no norte do NEB e norte da Amazônia. Esse período caracteriza-se como a principal estação chuvosa do norte do NEB, sendo esta fortemente influenciada pela posição da ZCIT. Nos mapas para MAM as três fontes de dados mostram os altos índices pluviométricos sobre essas regiões.

A estação seca para o Brasil central ocorre no inverno (JJA). Nesse período para esta região, observam-se índices pluviométricos inferiores a 100 mm nas três fontes de dados. Em contraste, no noroeste do Brasil é onde encontramos os mais altos valores de precipitação nesse período. Estes abrangem uma área muito maior nos dados da reanálise do NCEP/NCAR.

Nesse período (JJA) também se encontram precipitações significativas na região da costa leste do NEB, noroeste do Brasil e região sul, esta última não representada nos dados da reanálise do NCEP/NCAR. É possível ainda observar através dos dados do GPCP altos índices pluviométricos sobre a Venezuela, concordando com Figueroa e Nobre (1990).

Na primavera (SON) a estação seca localiza-se no norte do NEB (Rao e Hada 1990). Portanto, observa-se que as três fontes de dados reproduzem bem o período seco no NEB em SON. Na região sul, nesse mesmo período, valores de precipitação acima de 400 mm são encontrados nas três fontes. É interessante notar nesse período (SON) que a precipitação representada nas séries da reanálise do NCEP/NCAR é superestimada (índices pluviométricos superiores a 700 mm em grande parte da região norte). Esse aspecto também é observado em outros períodos principalmente na região norte.

Nos dados da reanálise do NCEP/NCAR observa-se sistematicamente baixos índices pluviométricos sobre o estado do Acre, enquanto que nas outras fontes de dados essa característica só é observada em JJA.

#### **4.1.2 Desvio padrão**

As Figuras 4.7, 4.8 e 4.9 apresentam os mapas do desvio padrão obtido a partir de cada uma das fontes de dados.

As Figuras 4.10, 4.11 e 4.12 apresentam o C.V. obtido a partir de cada uma das fontes de dados.

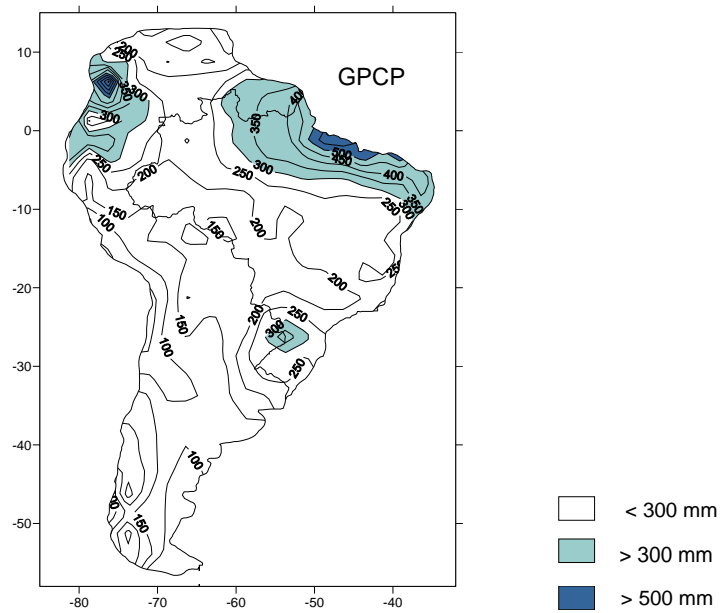


Figura 4.7 - Desvio padrão obtido a partir dos dados do GPCP

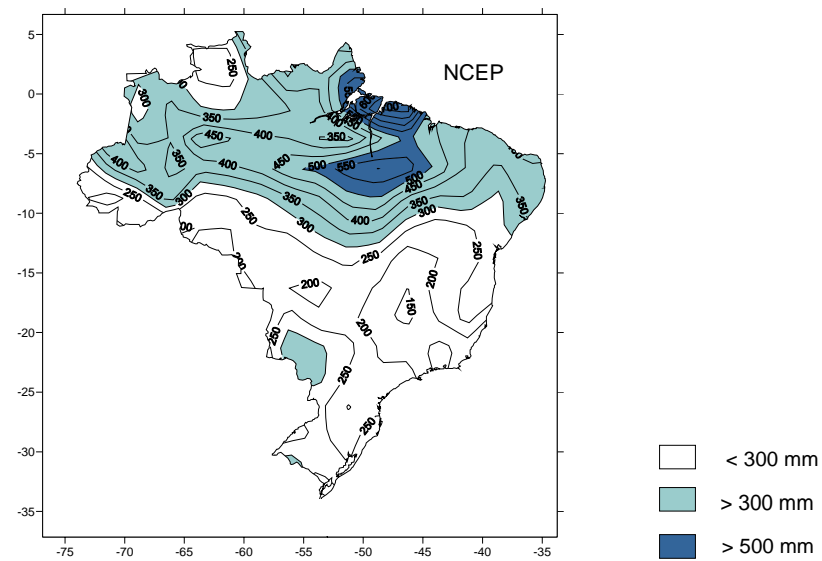


Figura 4.8 - Desvio padrão obtido a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR

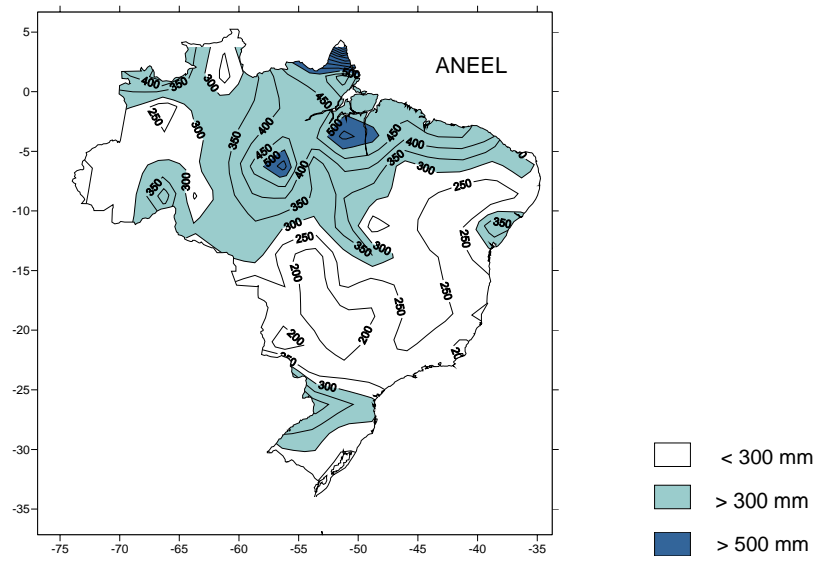


Figura 4.9 - Desvio padrão obtido a partir dos dados da ANEEL

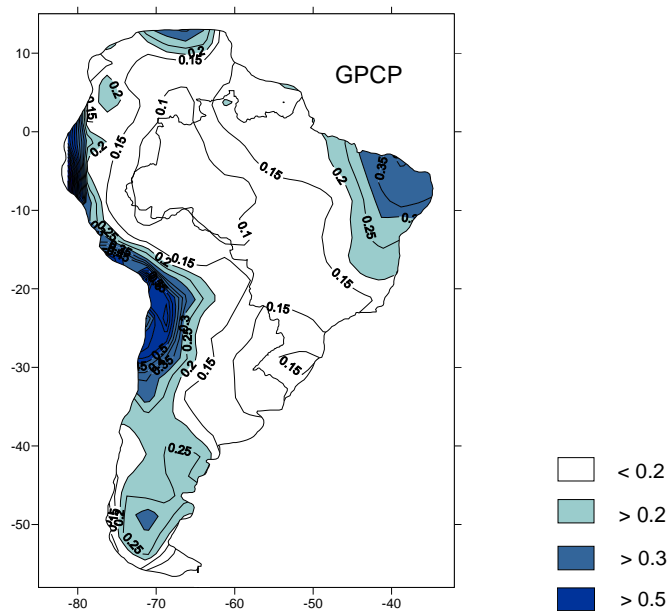


Figura 4.10 - CV obtido a partir dos dados do GPCP



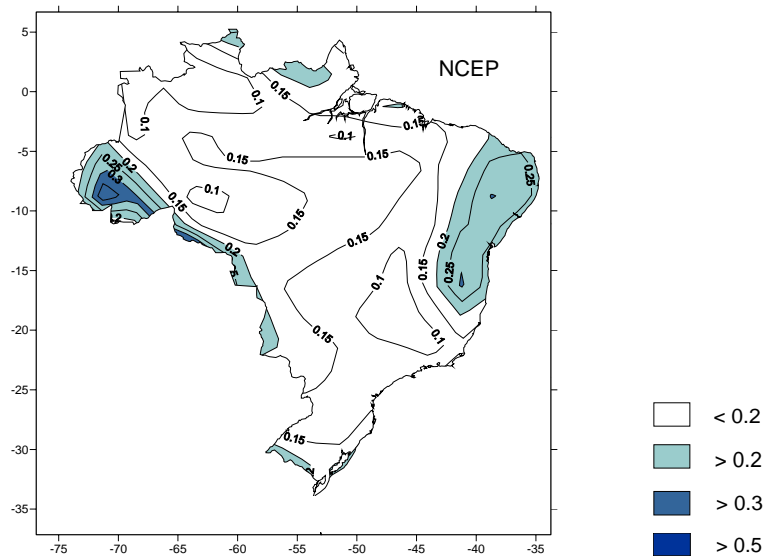


Figura 4.11 - CV obtido a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR

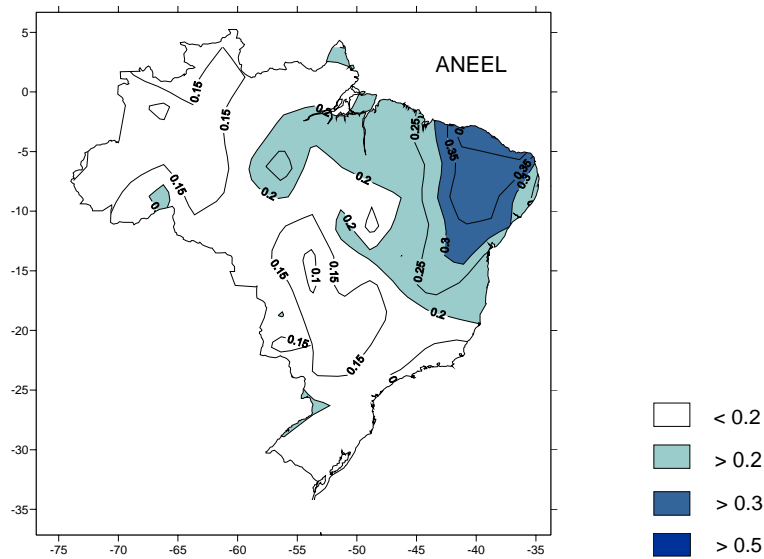


Figura 4.12 - CV obtido a partir dos dados da ANEEL

Pode-se observar que a região norte, especificamente o norte do NEB e parte leste da Amazônia, é onde encontramos os maiores valores de desvio padrão.

As regiões que se caracterizam pela alta variabilidade interanual possuem alto valor de C.V.; é o caso do NEB ( $> 0,25$ ), resultado principalmente do

deslocamento latitudinal da ZCIT (Hastenrath e Heller, 1977; Moura e Shukla, 1981; Nobre e Shukla, 1996); e da região a leste da Cordilheira dos Andes ( $> 0,3$ ), associado com um padrão de fluxo de leste (úmido) e de oeste (seco) da troposfera média e inferior sobre o Altiplano Boliviano (Garreaud e Aceituno, 2001); visível na Figura 4.10.

#### 4.1.3 Desvios normalizados

As Figuras 4.13 – 4.27 apresentam os mapas dos desvios normalizados em função do ano obtidos a partir dos dados de cada uma das fontes de dados para cada uma das regiões do Brasil consideradas.

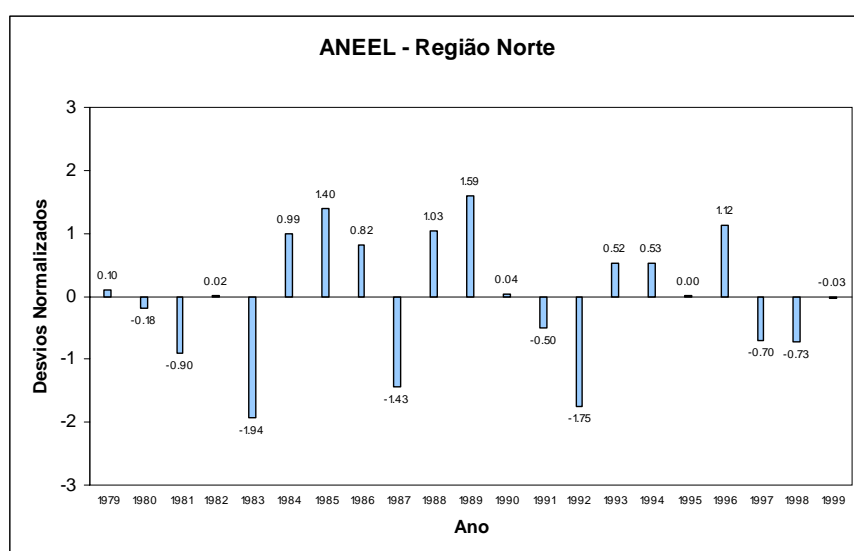


Figura 4.13 - Desvios normalizados para a região norte obtidos a partir dos dados da ANEEL de 1979-2000.

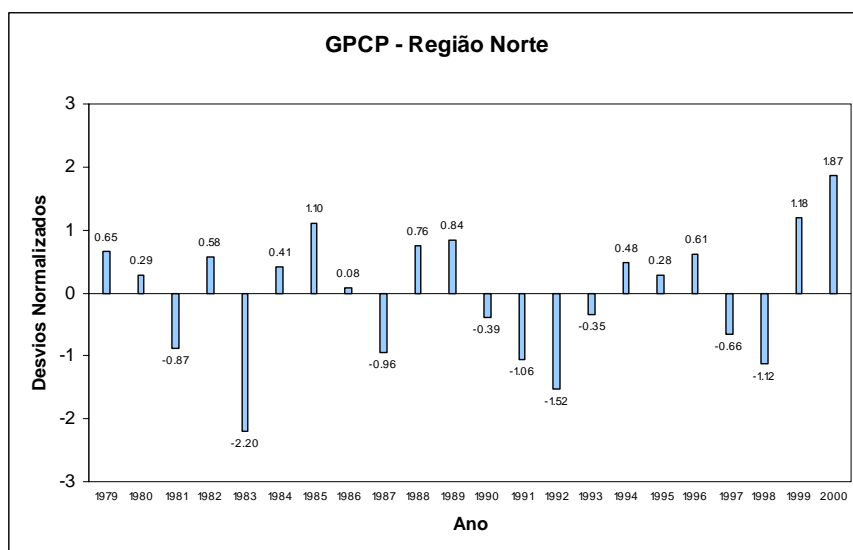


Figura 4.14 - Desvios normalizados para a região norte obtidos a partir dos dados do GPCP de 1979-2000.

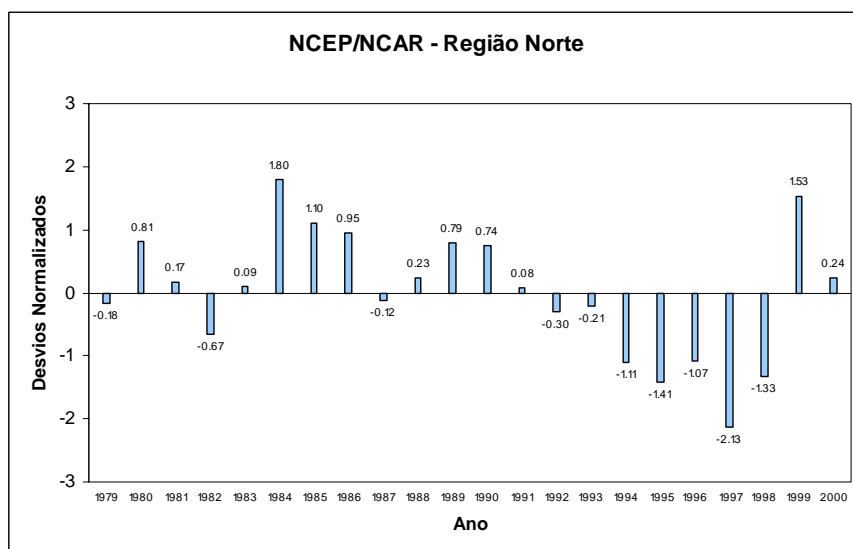


Figura 4.15 - Desvios normalizados para a região norte obtidos a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR de 1979-2000.

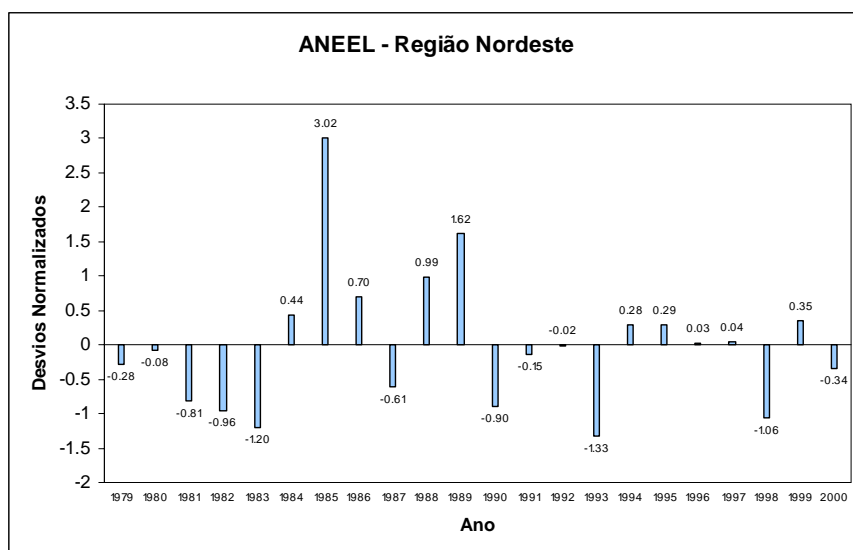


Figura 4.16 - Desvios normalizados para a região nordeste obtidos a partir dos dados da ANEEL de 1979-2000.

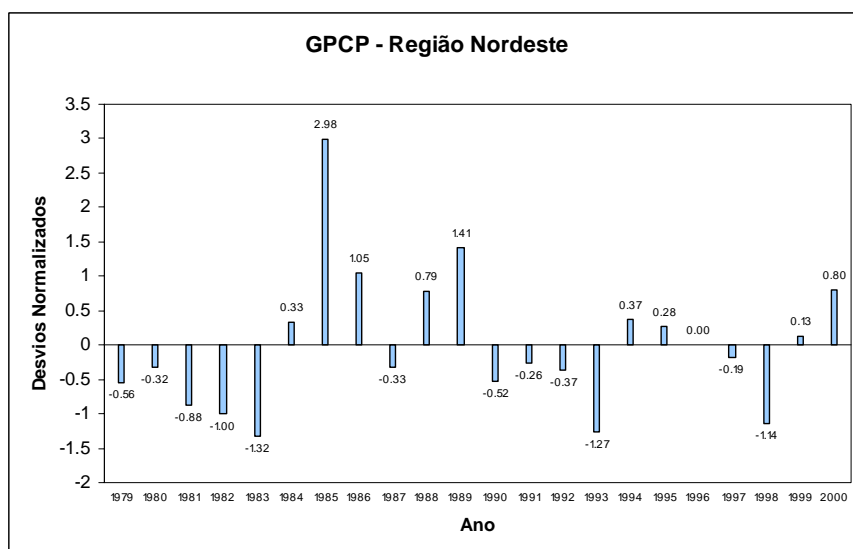


Figura 4.17 - Desvios normalizados para a região nordeste obtidos a partir dos dados do GPCP de 1979-2000.

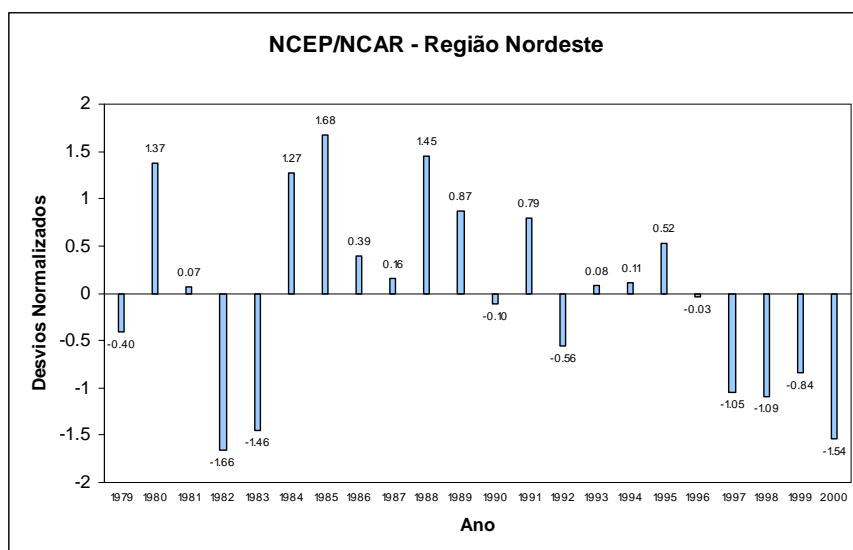


Figura 4.18 - Desvios normalizados para a região nordeste obtidos a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR de 1979-2000.

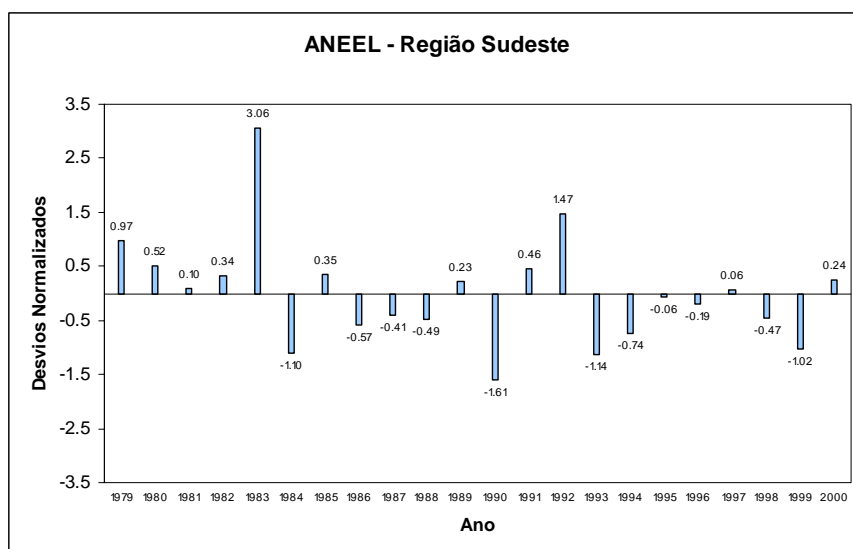


Figura 4.19 - Desvios normalizados para a região sudeste obtidos a partir dos dados da ANEEL de 1979-2000.

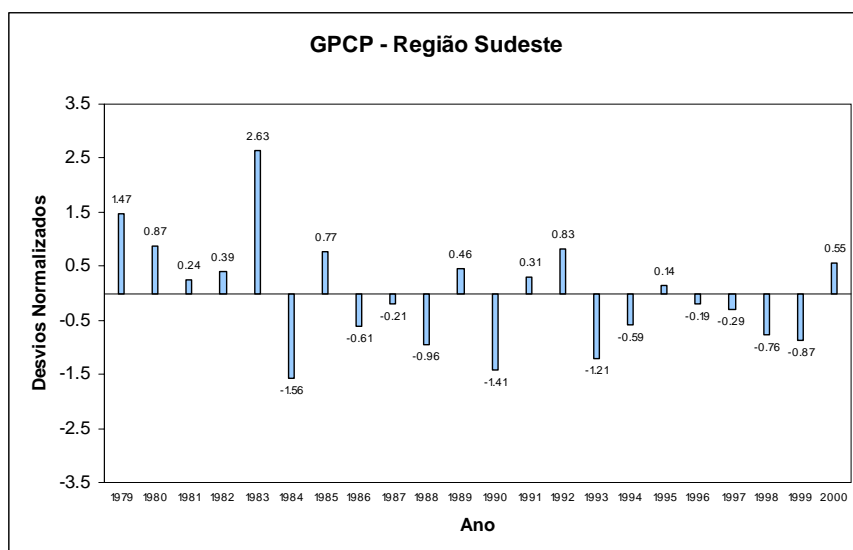


Figura 4.20 - Desvios normalizados para a região sudeste obtidos a partir dos dados do GPCP de 1979-2000.

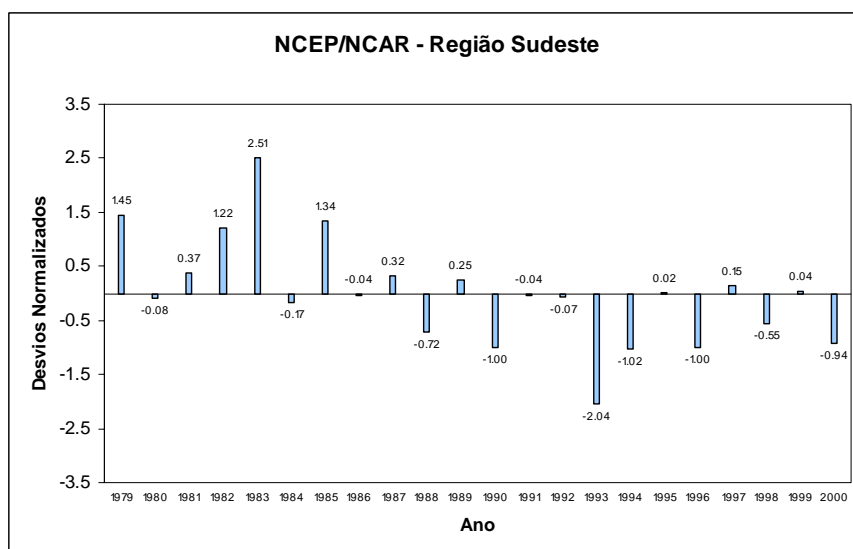


Figura 4.21 - Desvios normalizados para a região sudeste obtidos a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR de 1979-2000.

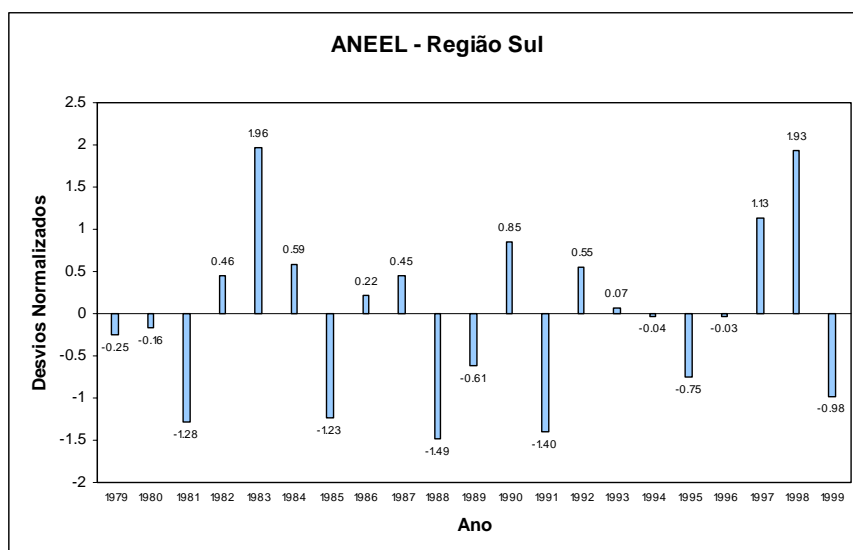


Figura 4.22 - Desvios normalizados para a região sul obtidos a partir dos dados da ANEEL de 1979-2000.

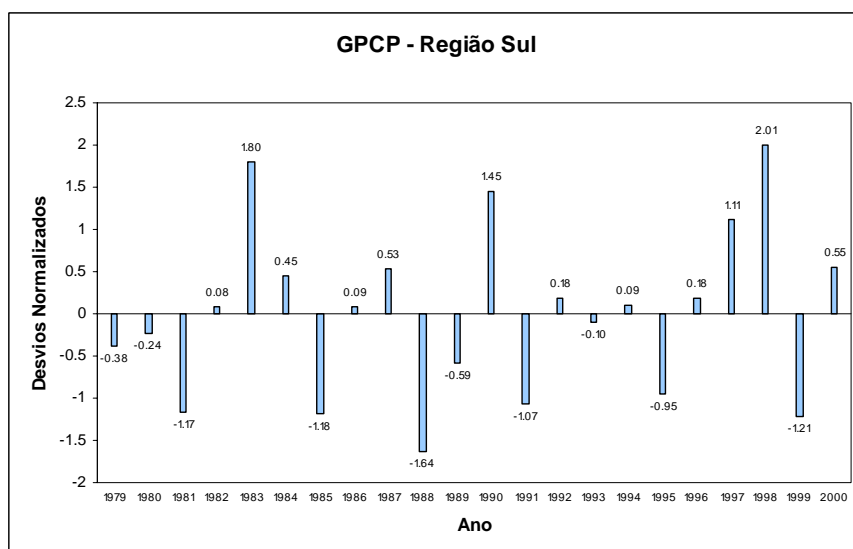


Figura 4.23 - Desvios normalizados para a região sul obtidos a partir dos dados do GPCP de 1979-2000.

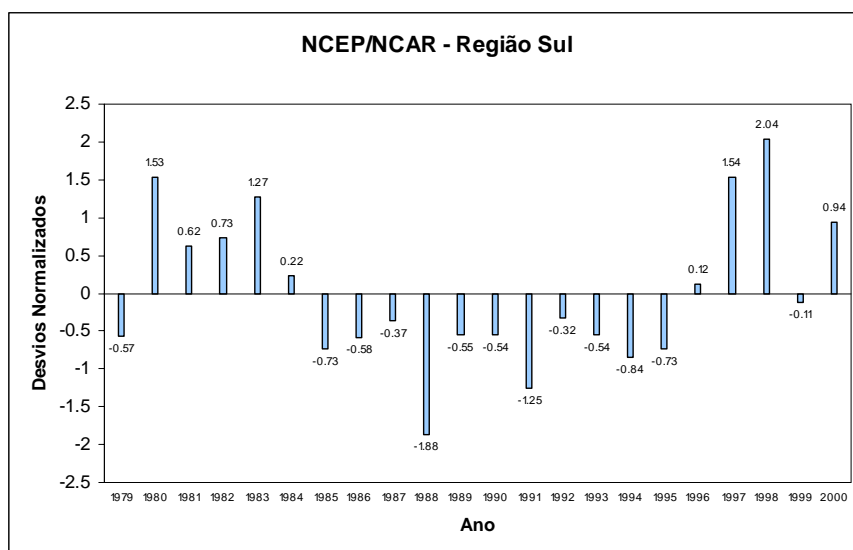


Figura 4.24 - Desvios normalizados para a região sul obtidos a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR de 1979-2000.

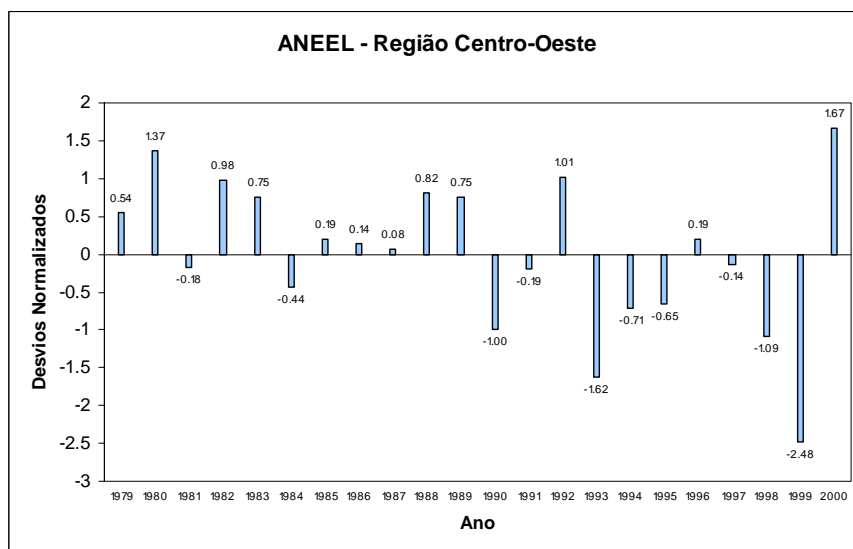


Figura 4.25 - Desvios normalizados para a região centro-oeste obtidos a partir dos dados da ANEEL de 1979-2000.



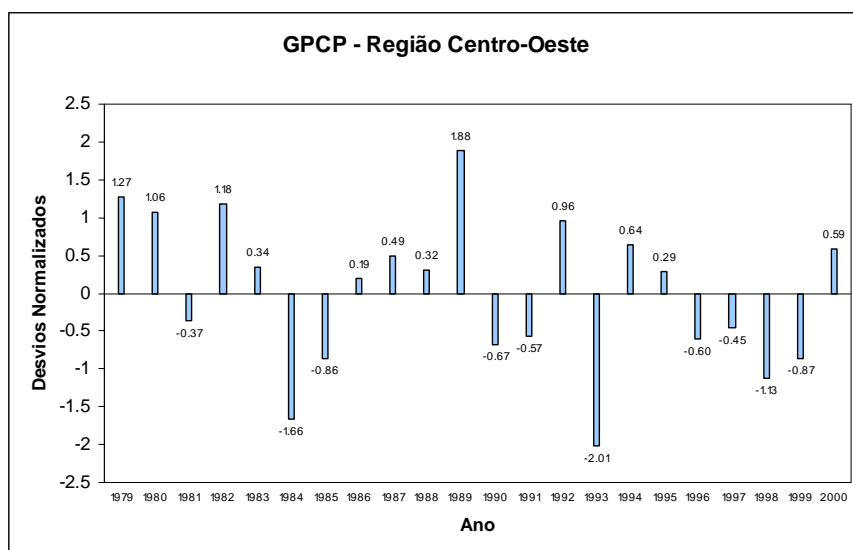


Figura 4.26 - Desvios normalizados para a região centro-oeste obtidos a partir dos dados do GPCP de 1979-2000.

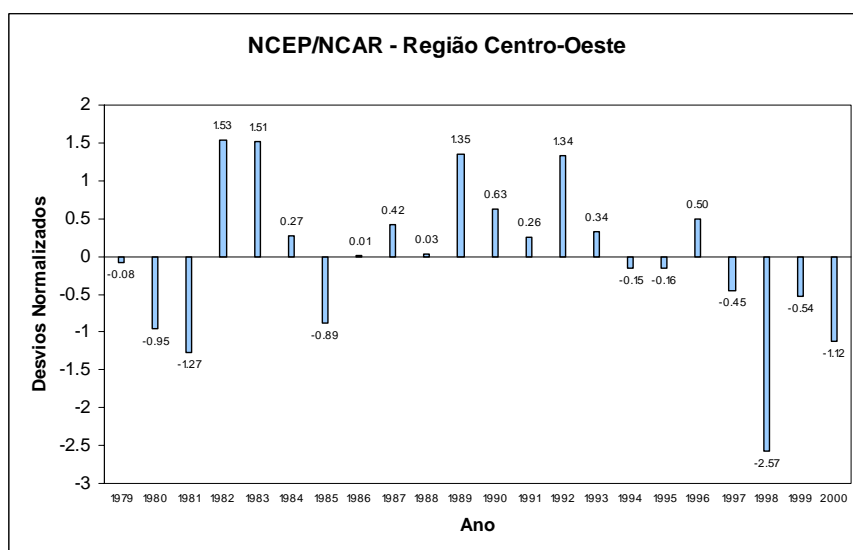


Figura 4.27 - Desvios normalizados para a região centro-oeste obtidos a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR de 1979-2000.

É importante lembrar o que foi comentado anteriormente com relação aos dados da ANEEL. Algumas estações pluviométricas apresentam valores ausentes de precipitação mensal ou com menos de 10 meses no ano. Devido a este fato as Figura 4.13 e 4.22 não apresentam o valor do desvio normalizado

para o ano de 2000 (ano com falhas em todas as estações nas regiões norte e sul).

Através das Figuras 4.13, 4.14 e 4.15 na região norte observa-se que a ANEEL e o GPCP tem os maiores valores de desvio negativo em 1983. Na região nordeste, nesse mesmo ano para as mesmas fontes de dados também se observam altos valores de desvio negativo, assim como isso é notado também para o ano de 1993. Os maiores valores de desvio positivo na região nordeste ocorrem em 1985 para as três fontes de dados. Já na região sudeste os maiores valores de dados ocorrem em 1983 para as três fontes. O mesmo aspecto é observado na região sul para os dados do GPCP e ANEEL. Além desses altos valores de desvio positivo observados em 1983; em 1998 o mesmo ocorre para as três fontes de dados na região sul. Altos valores de desvio negativo nesta região ocorrem em 1988 para as três fontes de dados. Na região centro-oeste nenhuma das fontes mostra concordância quanto ao ano com maior valor de desvio positivo ou negativo.

A partir dessas considerações nota-se que o ano de 1983 mostrou alto valor de desvio negativo nas regiões norte e nordeste e alto valor de desvio positivo nas regiões sudeste e sul do Brasil. Esse ano foi caracterizado como um ano de forte evento de El Niño, explicando assim, os valores de desvio encontrados; já que nas regiões sul e sudeste há aumento na precipitação e o oposto ocorre nas regiões norte e nordeste. Em 1998 também houve ocorrência de El Niño e podem-se observar na região sul altos valores de desvio positivo nas três fontes de dados. Já em 1988 ocorreu La Niña e em decorrência desse fenômeno, a região sul recebe pouca precipitação, o que explica os altos valores de desvio negativo nesta região para as três fontes de dados.

#### 4.1.4 Porcentagem de precipitação sazonal

As Figuras 4.28, 4.29 e 4.30 mostram a porcentagem de precipitação sazonal obtida a partir de cada uma das fontes de dados analisadas.

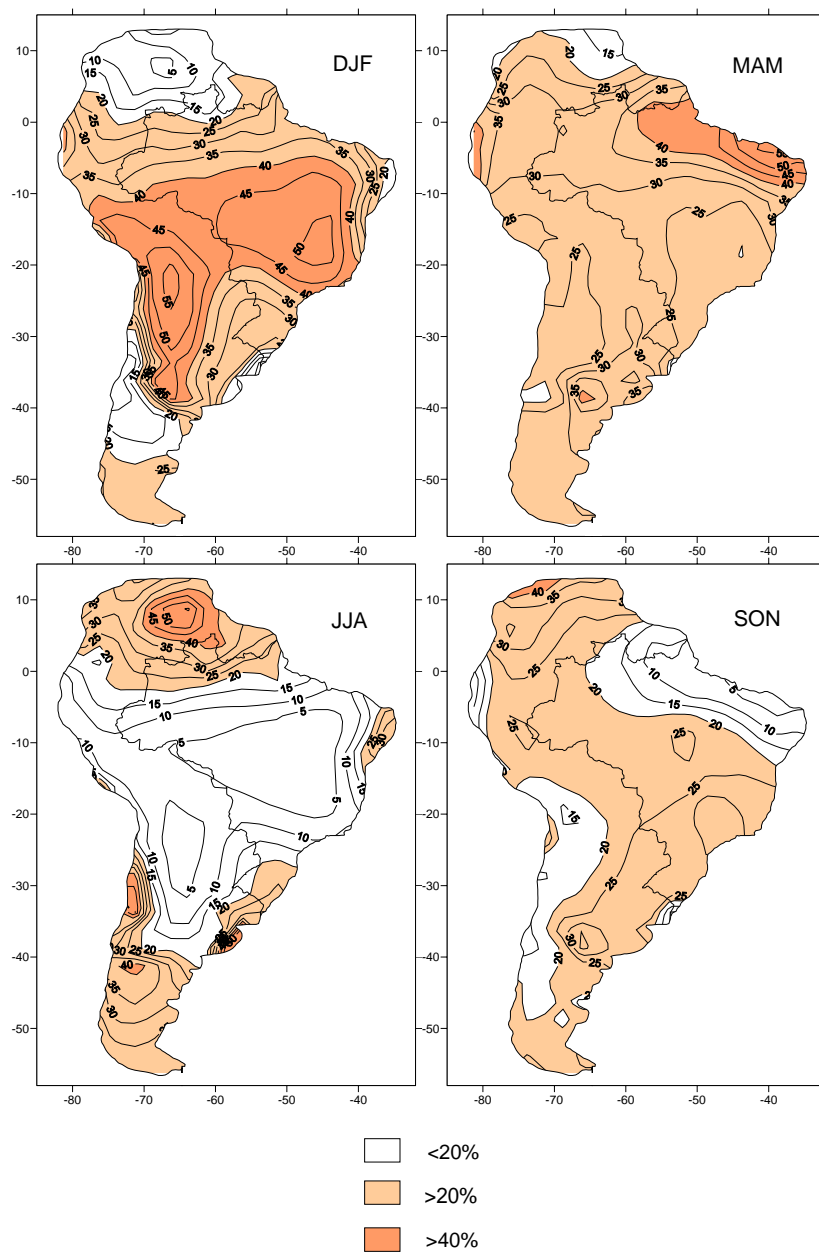


Figura 4.28 - Porcentagem de precipitação sazonal obtida a partir dos dados do GPCP.

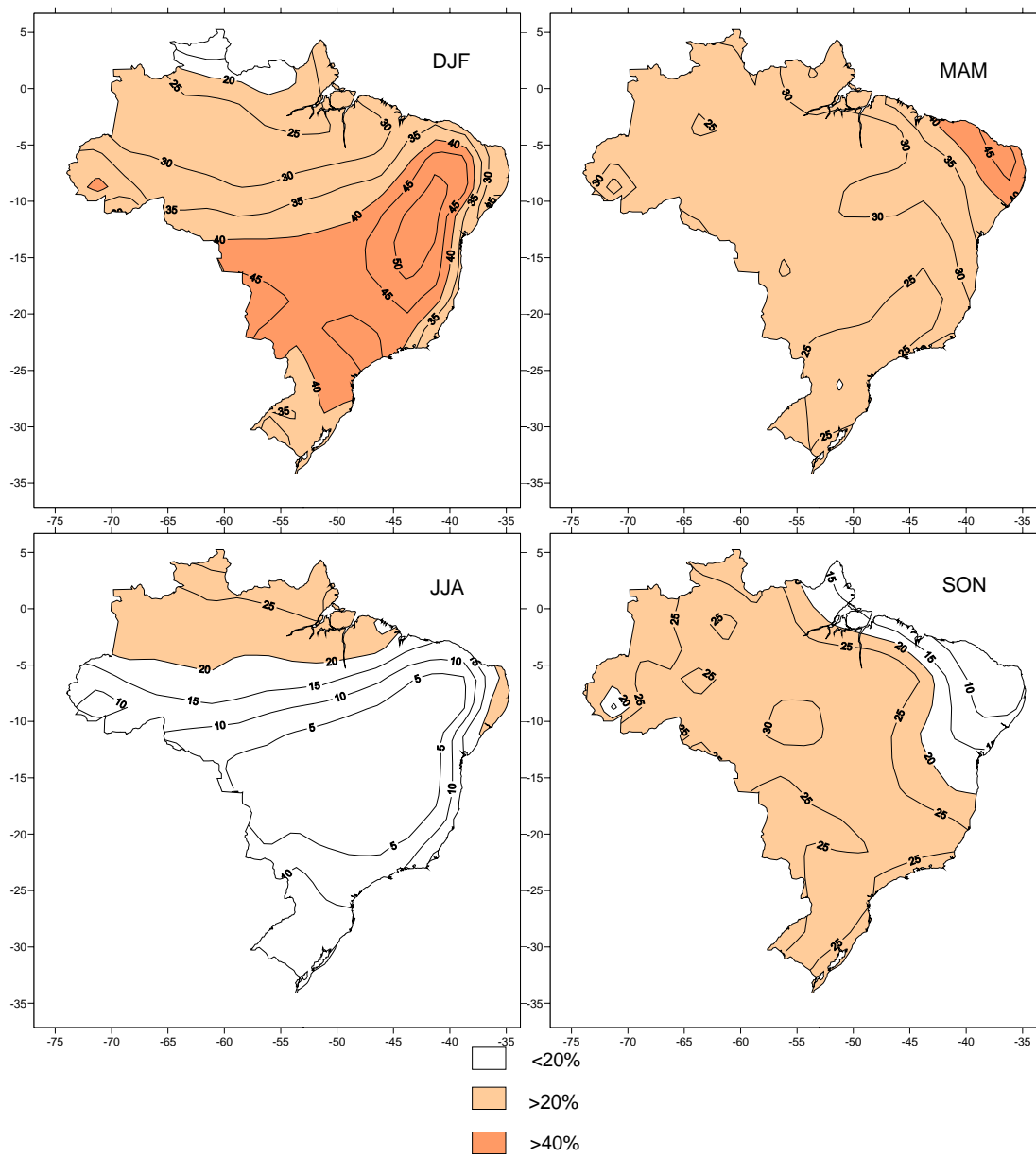


Figura 4.29 - Porcentagem de precipitação sazonal obtida a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR.

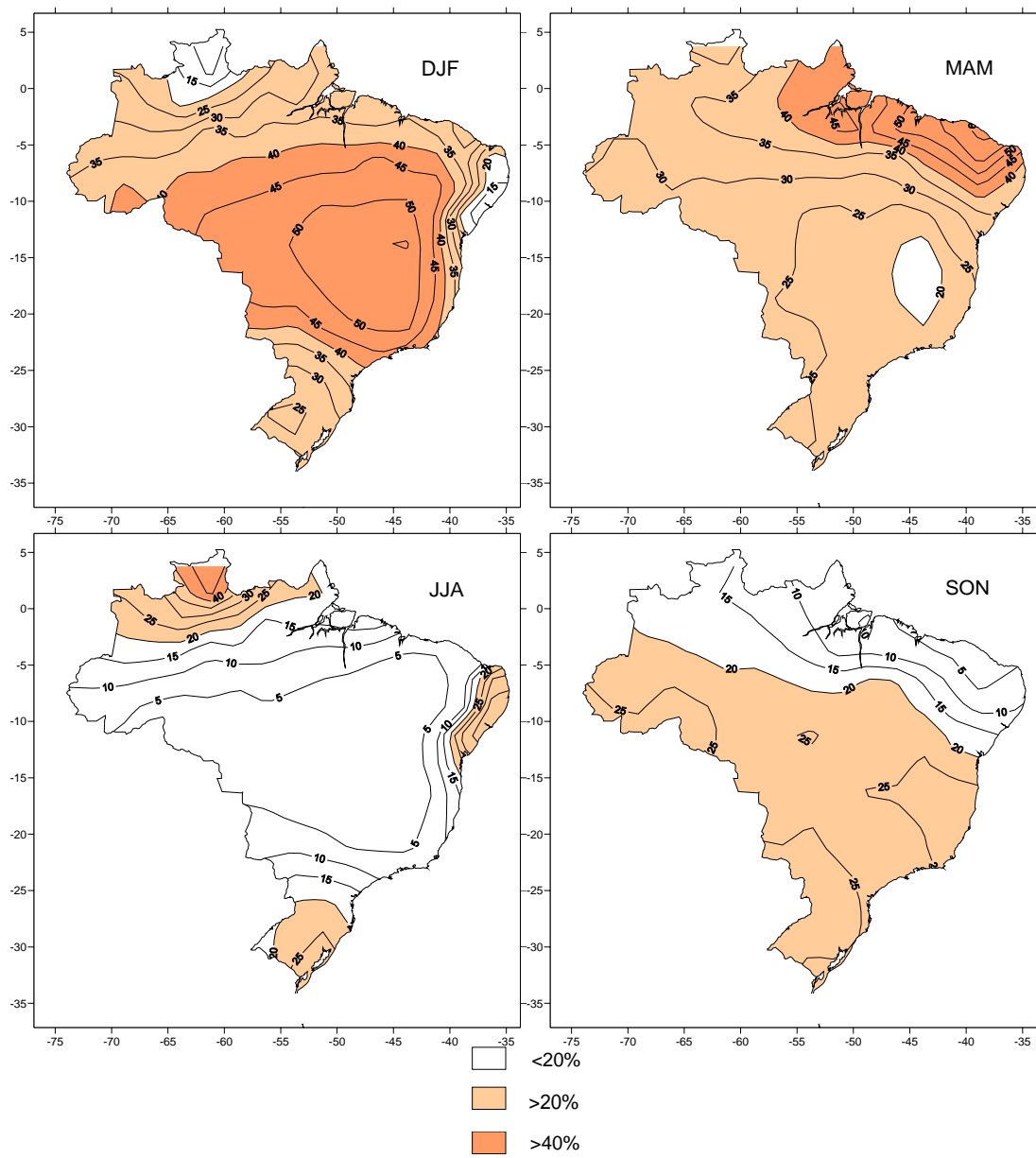


Figura 4.30 - Porcentagem de precipitação sazonal obtida a partir dos dados da ANEEL.

Em DJF (verão) mais de 40% da precipitação anual se encontram sobre a parte central do Brasil nas três fontes; porém nos dados da reanálise do NCEP/NCAR o contorno de 40% se estende na direção sul e leste.

A principal estação chuvosa do NEB é MAM. Na série pluviométrica da reanálise do NCEP/NCAR o contorno de 40% representando este período chuvoso abrange uma região bem menor do NEB em comparação com as duas outras fontes de dados.

A estação seca em JJA para a maior parte do Brasil está bem representada nas três fontes de dados. Observa-se nesse período que mais de 20% da precipitação anual se encontram sobre a região sul da AS, costa leste do NEB, noroeste e sul do Brasil. A região da Venezuela recebe nesse mesmo período mais de 40% da precipitação anual (observado através dos dados do GPCP).

Em SON observa-se a estação seca no NEB representada pela região em branco; porém nos dados da reanálise do NCEP/NCAR essa área se estende na direção sul e nos dados da ANEEL na direção oeste em comparação com os dados do GPCP.

#### **4.1.5 Análise harmônica**

As Figuras representando as fases e amplitudes do ciclo anual (primeiro harmônico) e semi-anual (segundo harmônico) obtidas a partir de cada uma das fontes de dados de precipitação são apresentadas nesta seção.

As Figuras 4.31, 4.32 e 4.33 mostram a amplitude (mm) e fase do primeiro harmônico obtida a partir dos dados do GPCP, reanálise do NCEP/NCAR e ANEEL, respectivamente.

Regiões com grandes amplitudes do primeiro harmônico possuem uma grande distinção entre uma estação chuvosa e outra seca; já regiões com pequena amplitude do primeiro harmônico retratam um ciclo anual com pouca variação sazonal. Regiões do tipo desérticas (isto é, pouca variabilidade na probabilidade de secas durante o ano), devem apresentar baixas amplitudes do primeiro harmônico.

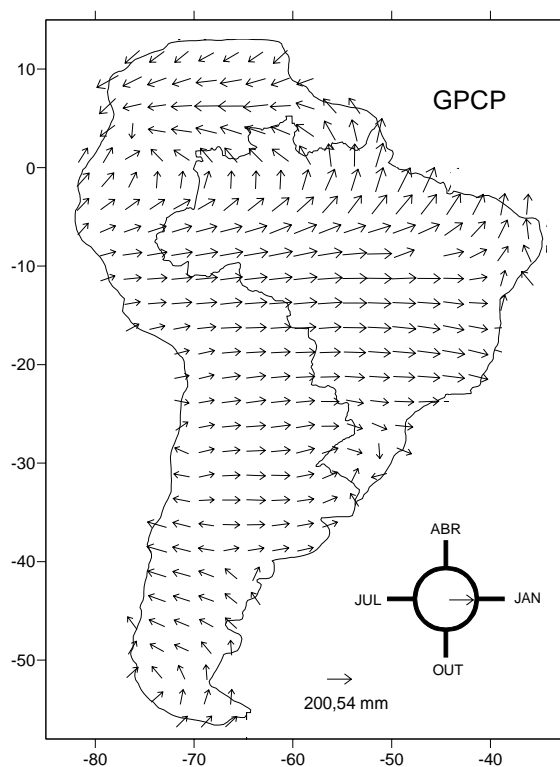


Figura 4.31 - Amplitudes (mm) e fases do primeiro harmônico, obtidas a partir dos dados do GPCP.

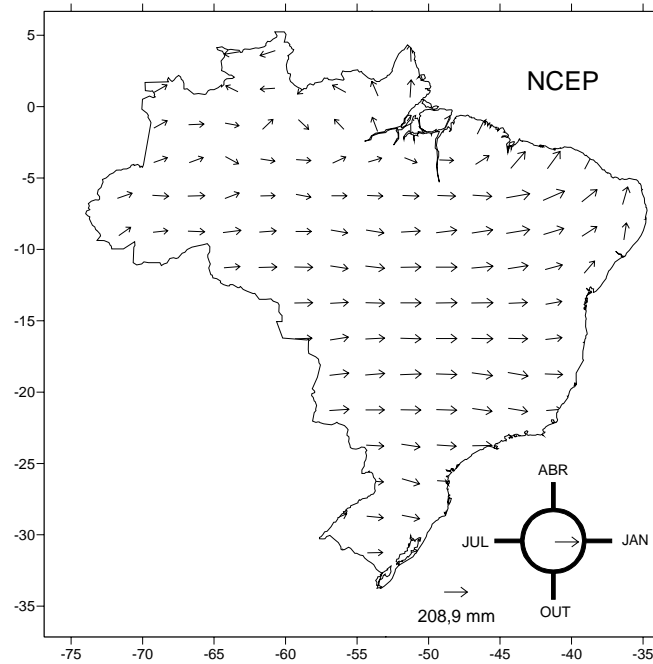


Figura 4.32 - Amplitudes (mm) e fases do primeiro harmônico obtidas a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR.

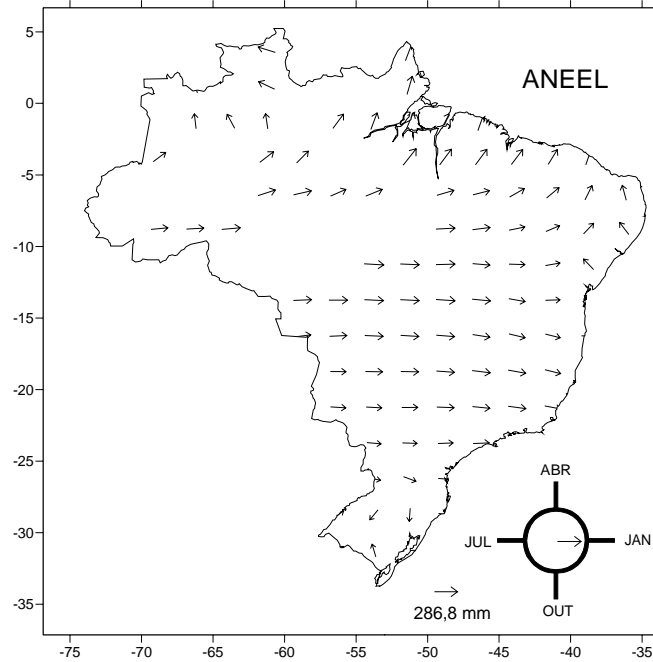


Figura 4.33 - Amplitudes e fases do primeiro harmônico obtidas a partir dos dados da ANEEL.



Os máximos de precipitação ocorrem durante os meses de verão sobre grande parte do domínio nas três fontes de dados; assim como os mínimos de precipitação ocorrem durante os meses de inverno. O maior valor de amplitude obtido a partir dos dados do GPCP é  $C_1 = 200,54$  mm, da reanálise do NCEP/NCAR é  $C_1 = 208,9$  mm, e da ANEEL é  $C_1 = 286,8$  mm.

Nos dados da ANEEL e GPCP a análise harmônica considerando o ciclo anual mostra que no norte da Amazônia e norte do NEB os máximos de precipitação ocorrem nos meses de outono (MAM), concordando com Rao e Hada (1990).

Nos dados do GPCP pode-se observar que em JJA as maiores precipitações ocorrem na Venezuela de acordo com Figueroa e Nobre (1990). A região do Chile apresenta pequena amplitude do primeiro harmônico, pois nesta região se localiza o Deserto do Atacama.

As maiores amplitudes estão na região norte do Brasil, onde encontramos um regime de chuvas bem marcado, com uma clara distinção entre o período seco e chuvoso.

A orientação angular e a amplitude dos vetores são diferentes nos dados da reanálise do NCEP/NCAR sobre a região noroeste e sul do Brasil em comparação com os resultados obtidos nas outras fontes de dados.

Nas três fontes de dados o ciclo anual explica mais de 85% da variância, demonstrando assim, ser a característica mais relevante na dinâmica da precipitação.

As Figuras 4.34, 4.35 e 4.36 mostram as amplitudes (mm) e fases do segundo harmônico obtidas a partir dos dados do GPCP, reanálise do NCEP/NCAR e ANEEL, respectivamente. No segundo harmônico os vetores não têm uma única direção como no primeiro harmônico porque executam dois ciclos

durante o ano. Assim, exibem dois máximos localizados em  $\frac{\phi_2}{2} e^{\frac{\phi_2}{2} + \frac{2\pi}{2}}$ , separados, portanto, por metade de um ano.

Analogamente à interpretação do primeiro harmônico, grandes amplitudes do segundo harmônico, que forem comparáveis ou maiores do que os primeiros harmônicos indicam que existe uma tendência a existirem duas estações relativamente secas e duas relativamente chuvosas por ano (Wilks, 1995).

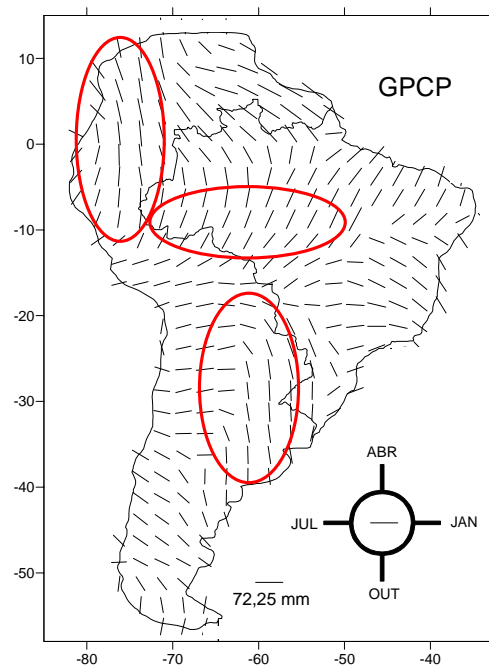


Figura 4.34 - Amplitudes (mm) e fases do segundo harmônico obtidas a partir dos dados do GPCP.

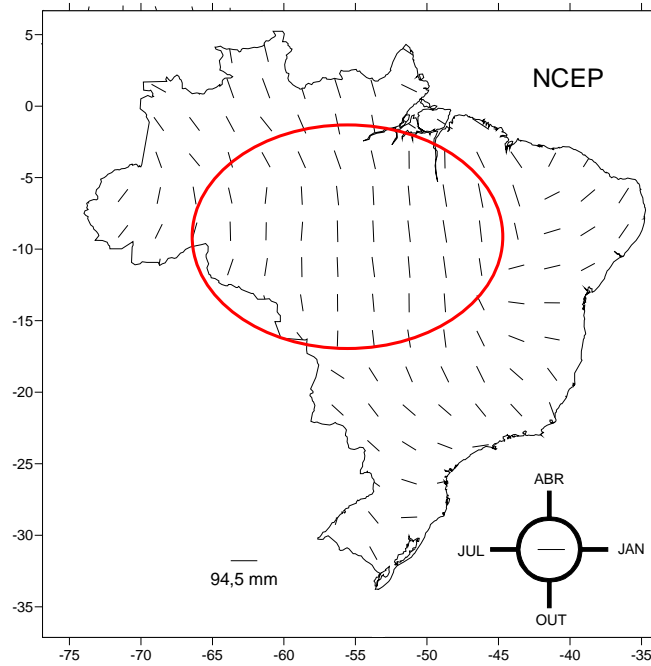


Figura 4.35 - Amplitudes (mm) e fases do segundo harmônico obtidas a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR.

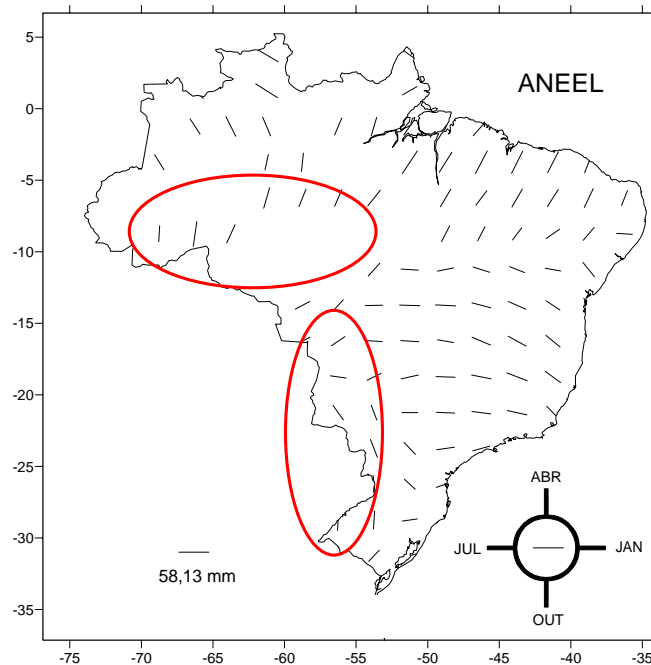


Figura 4.36 - Amplitudes (mm) e fases do segundo harmônico obtidas a partir dos dados da ANEEL.

Na Figura 4.34 as elipses em vermelho mostram as maiores diferenças entre o primeiro e o segundo harmônico. Cabe ressaltar que na região sul do Brasil e no Uruguai, representada pela elipse, os máximos de precipitação no ciclo semi-anual é entre abril-maio e outubro-novembro e a amplitude dos vetores é comparável à do primeiro harmônico, comprovando a forte bimodalidade da precipitação nestas regiões (Grimm et al., 1998).

Na região sul, sudeste e sudoeste da Amazônia a fase máxima ocorre durante o mês de janeiro para o primeiro harmônico; já para o segundo harmônico observa-se através das Figuras 4.34 e 4.36 que a fase máxima é entre março-abril e setembro-outubro.

A elipse vermelha da Figura 4.35 representando a análise harmônica para o ciclo semi-anual nos dados da reanálise do NCEP/NCAR mostra uma orientação dos vetores na direção norte-sul (máximos de precipitação em abril e outubro) que não é observada nas outras fontes.

As regiões demarcadas pela elipse da Figura 4.36 coincidem com as da Figura 4.34; demonstrando a concordância entre os dados da ANEEL e os do GPCP.

A variância total explicada pelo ciclo anual e semi-anual é maior que 90% sobre a maior parte do domínio espacial para as três fontes de dados.

#### **4.1.6 Coeficiente de correlação**

O coeficiente de correlação fornece uma medida do grau de associação linear entre duas variáveis. Varia entre  $-1$  e  $+1$  e quanto mais próximo de  $\pm 1$ , mais forte a associação.

As Figuras 4.37, 4.38, 4.39, 4.40 e 4.41 mostram uma comparação entre a precipitação acumulada anual obtida através das séries pluviométricas da reanálise do NCEP/NCAR e do GPCP com as obtidas através das séries

medidas nas estações da ANEEL, para cinco regiões do Brasil: norte, nordeste, sul, sudeste e centro-oeste. Para a obtenção da precipitação acumulada anual não foram utilizados anos que contivessem menos de 10 meses (estes pontos de dados foram contabilizados nas falhas para que se pudessem avaliar quais as regiões com maiores deficiências). Os valores dos coeficientes de correlação lineares, o número de falhas, o número de estações pluviométricas e o número de pontos de dados presentes nos diagramas de dispersão são mostrados na Tabela 4.1. O asterisco representa correlação significativa ao nível de 99% pelo teste t.

Tabela 4.1 - Número de estações, número de pontos de dados, número de falhas e coeficiente de correlação linear para 5 regiões.

	Número de estações	Número de pontos de dados	Número de Falhas	Coeficiente de correlação entre ANEEL e NCEP	Coeficiente de correlação entre ANEEL e GPCP
Norte	28	510	106	0.24	0.65*
Nordeste	20	421	19	0.60*	0.90*
Sudeste	14	302	6	0.67*	0.91*
Sul	10	205	15	0.59*	0.91*
Centro-oeste	18	332	64	0.24	0.67*

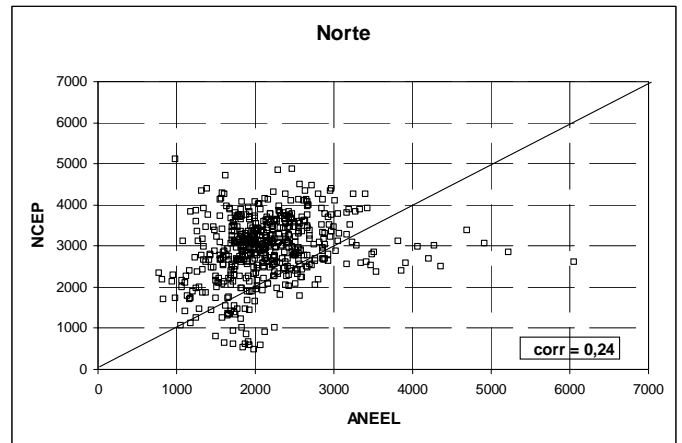
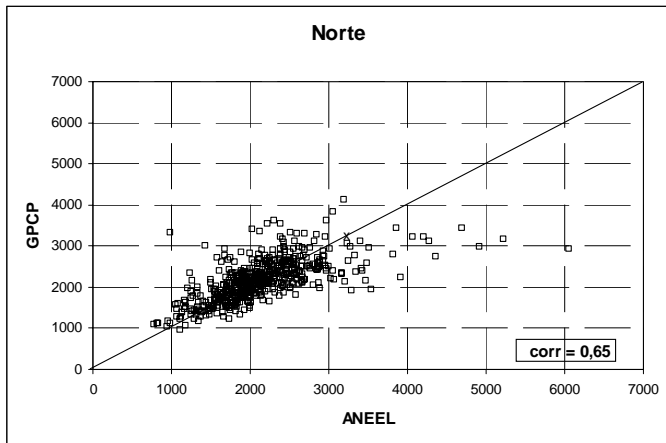


Figura 4.37 - Diagrama de dispersão para a Região Norte, obtidos a partir dos dados de precipitação acumulada (mm), entre ANEEL e GPCP e ANEEL e NCEP.

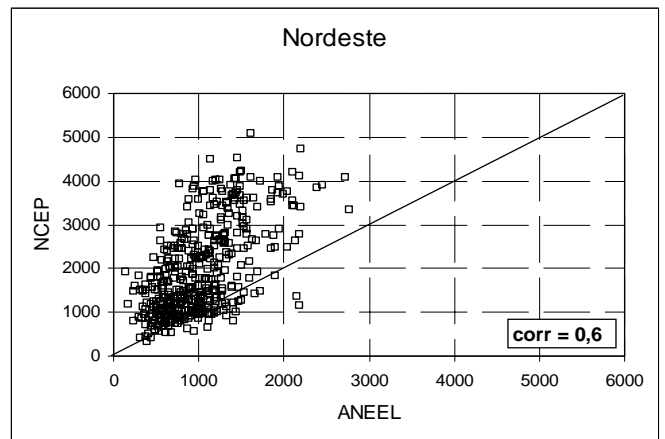
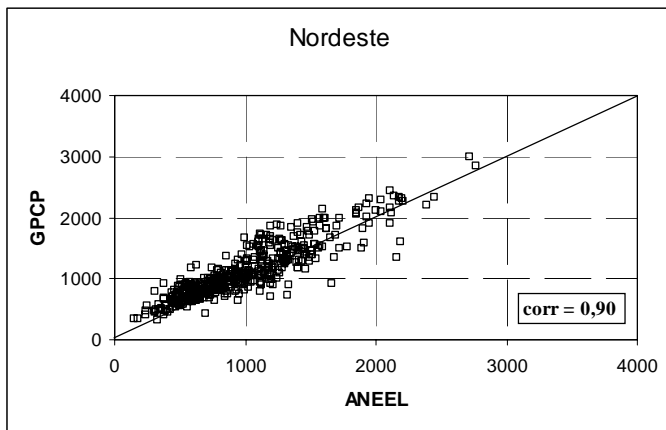


Figura 4.38 - Diagrama de dispersão para a Região Nordeste, obtidos a partir dos dados de precipitação acumulada (mm), entre ANEEL e GPCP e ANEEL e NCEP.

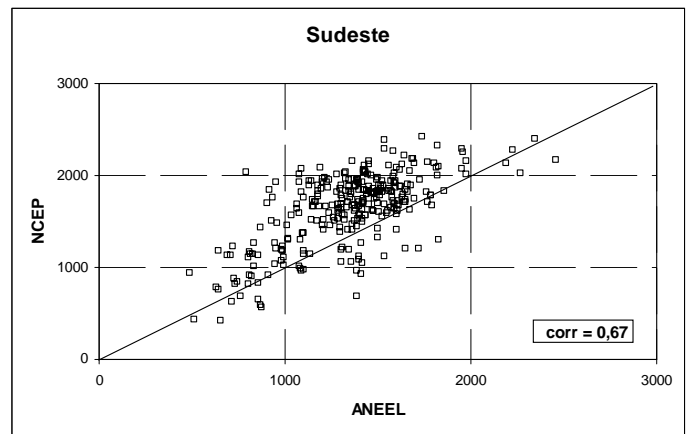
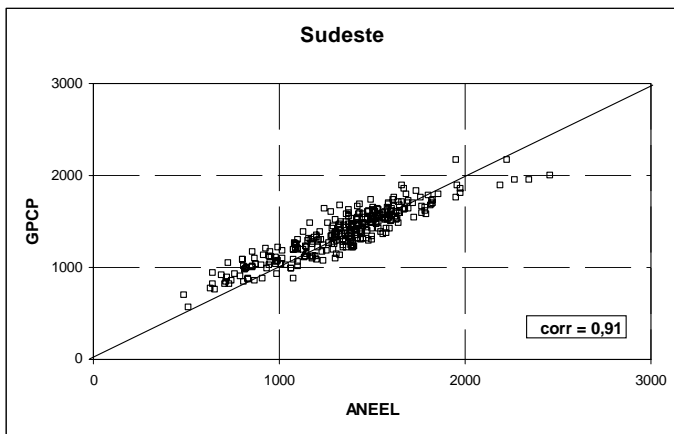


Figura 4.39 - Diagrama de dispersão para a Região Sudeste, obtidos a partir dos dados de precipitação acumulada (mm), entre ANEEL e GPCP e ANEEL e NCEP.

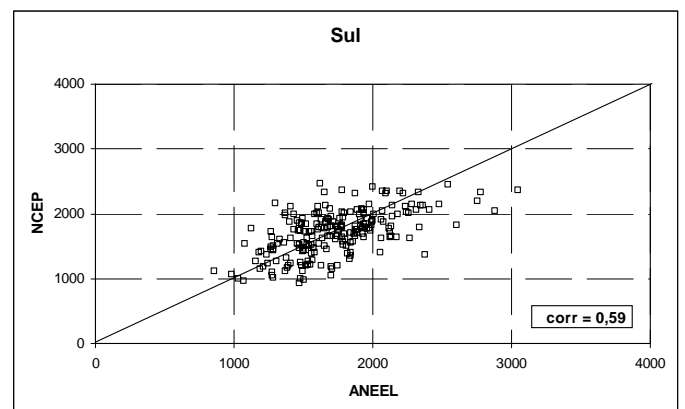
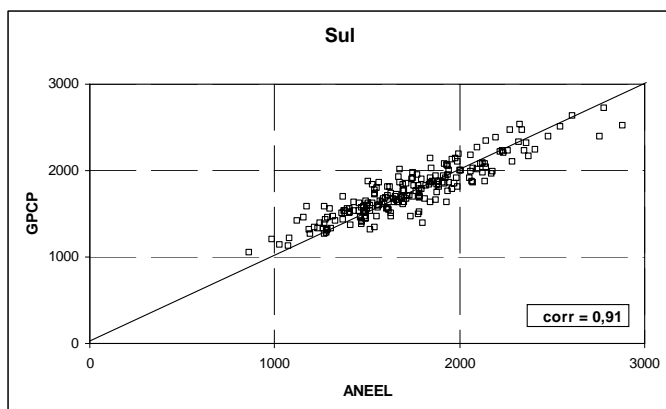


Figura 4.40 - Diagrama de dispersão para a Região Sul, obtidos a partir dos dados de precipitação acumulada (mm), entre ANEEL e GPCP e ANEEL e NCEP.

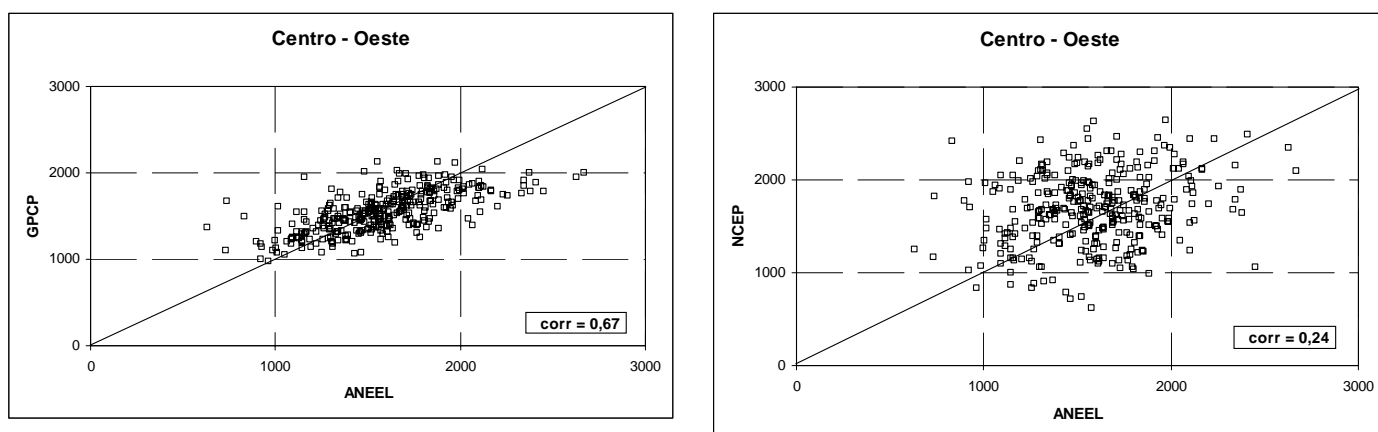


Figura 4.41 - Diagrama de dispersão para a Região Centro-Oeste, obtidos a partir dos dados de precipitação acumulada (mm), entre ANEEL e GPCP e ANEEL e NCEP.

As regiões com maior número de falhas são as regiões norte e centro-oeste (menor cobertura espacial das estações da ANEEL) e isso se reflete no baixo coeficiente de correlação nessas regiões, sendo que somente o coeficiente entre os dados de precipitação acumulada da ANEEL e do GPCP é significativo (a 99%).

As regiões com menor número de falhas são as regiões sudeste, sul e nordeste devido à boa cobertura espacial das estações da ANEEL. Desse modo, os coeficientes de correlação nestas regiões são altamente significativos, principalmente entre os dados obtidos a partir da ANEEL e do GPCP, em torno de 0,9 a 99%. Entre os dados obtidos a partir da ANEEL e da reanálise do NCEP/NCAR esse valor cai para em torno de 0,6 a 99%.

Com essas considerações pode-se concluir que as séries pluviométricas da ANEEL e as séries do GPCP mostraram altos índices de correlação. Índices significativos também foram encontrados nas regiões em que a rede de estações da ANEEL é esparsa (norte e centro-oeste).



Observando as Figuras 4.37, 4.38, 4.39, 4.40 e 4.41 nota-se grande dispersão nos diagramas entre a ANEEL e a reanálise do NCEP/NCAR principalmente na região centro-oeste. As séries pluviométricas da reanálise do NCEP/NCAR são úteis nas regiões sudeste, sul e nordeste (embora superestimem a precipitação nesta região), mas nas regiões norte e centro-oeste são de qualidade questionável em vista da baixa correlação encontrada.

É importante ressaltar a influência da rede de estações deficitária associada com o baixo coeficiente de correlação encontrado. No artigo de Rao e al. (2002b) a rede de estações era ainda mais esparsa (em comparação com a Figura 3.1), como se vê na Figura 4.42, e foram encontrados coeficientes de correlação ainda mais baixos entre as séries pluviométricas obtidas a partir da ANEEL e as obtidas da reanálise do NCEP/NCAR (Tabela 4.2).

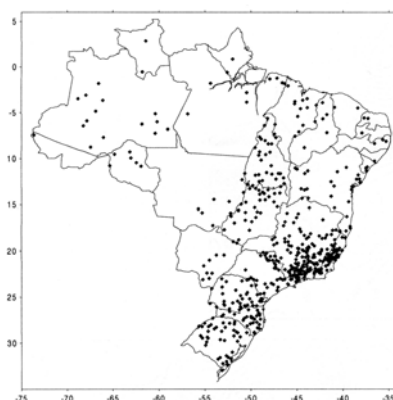


Figura 4.42 - Estações da ANEEL.

Fonte: Adaptada de Rao et al. (2002b).

Tabela 4.2 - Coeficiente de correlação. O asterisco representa correlação significativa ao nível de 99% pelo teste t.

Regiões	Coeficiente de correlação entre ANEEL e NCEP
Norte	0.13
Nordeste	0.36*
Sudeste	0.38*
Sul	0.36*
Centro-oeste	0.06

Fonte: Rao et al.(2002b).

## 4.2 Inclusão do TRMM

A inclusão dos dados do TRMM não havia sido feita até o momento devido ao fato destes dados possuírem uma série temporal de 1998-2005 e, como já justificado anteriormente, a prioridade estabelecida foi de uma homogeneidade temporal e espacial das diferentes fontes de dados. Desta forma nesta seção o período utilizado será de 1998-2005 para os dados do TRMM, GPCP e reanálise do NCEP/NCAR e conterà somente o cálculo das médias anual e sazonal obtido a partir de cada uma dessas fontes de dados. A resolução continua sendo de 2.5° x 2.5°, assim como foi estabelecido na primeira parte dos resultados.

### 4.2.1 Médias anual e sazonal

As Figuras 4.43, 4.44 e 4.45 mostram a precipitação média anual obtida a partir dos dados do TRMM, do GPCP e da reanálise do NCEP/NCAR, respectivamente.

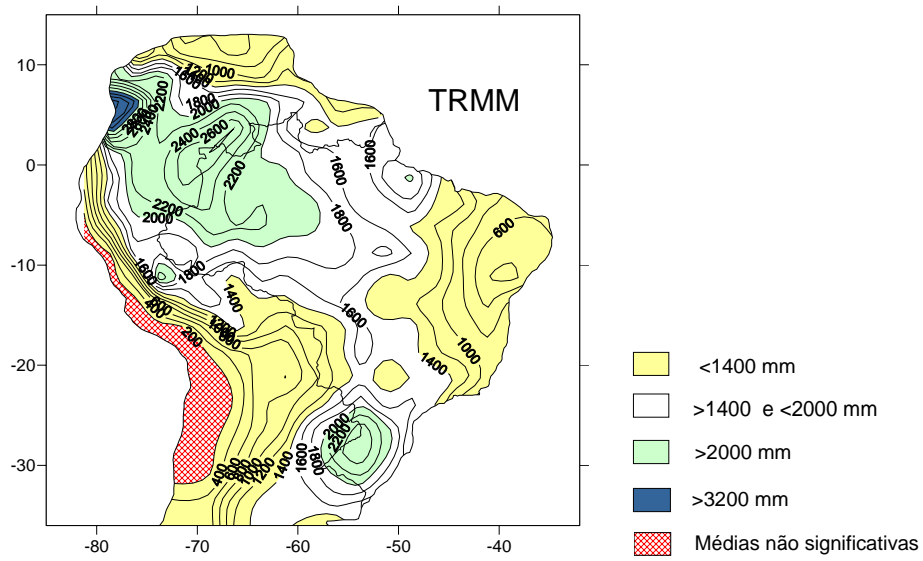


Figura 4.43 - Precipitação média anual (mm) obtida a partir dos dados do TRMM de 1998-2005.

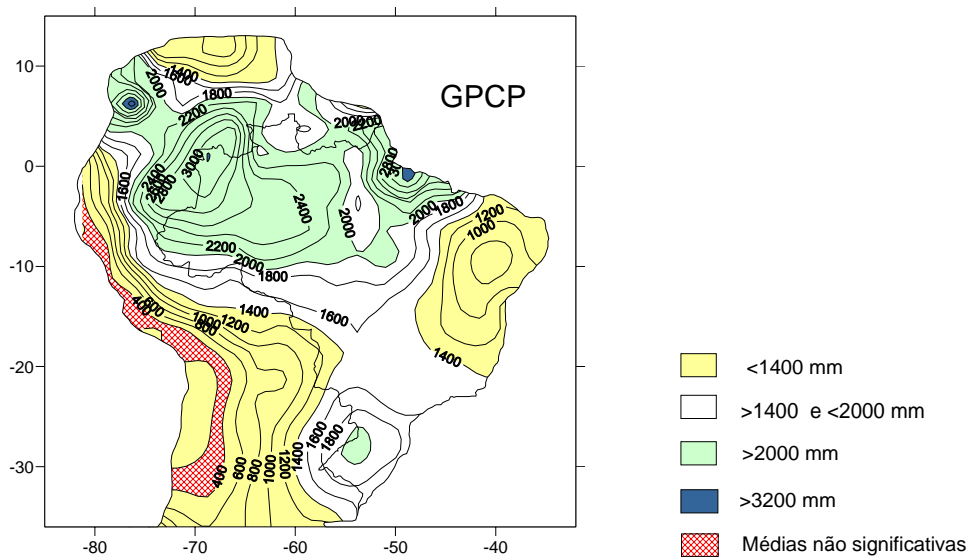


Figura 4.44 - Precipitação média anual (mm) obtida a partir dos dados do GPCP de 1998-2005.

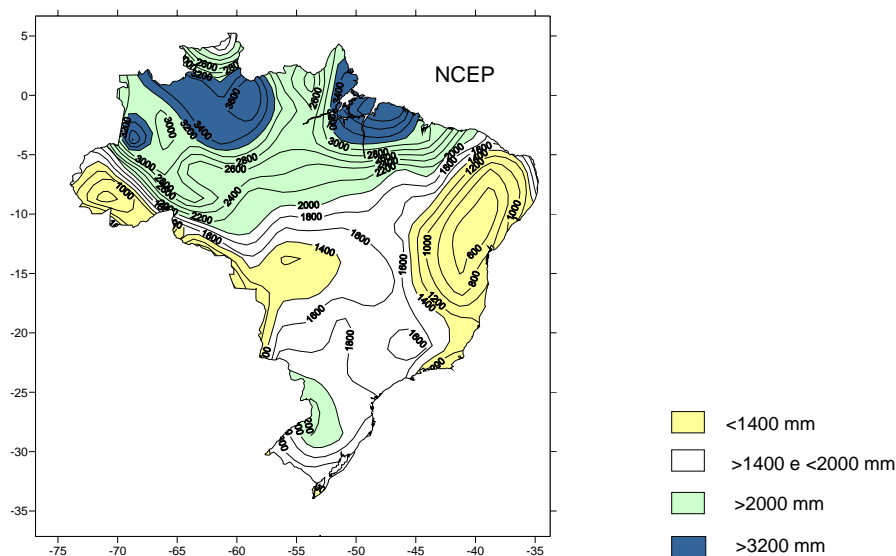


Figura 4.45 - Precipitação média anual (mm) obtida a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR de 1998-2005.

Nas três fontes de dados observam-se baixos índices pluviométricos no NEB (valores menores que 1400 mm, que diminuem no interior do NEB – polígono das secas).

Os maiores índices pluviométricos (acima de 2000 mm) se encontram na região noroeste da Bacia Amazônica. Novamente aqui nota-se que nos dados da reanálise do NCEP/NCAR a precipitação na região leste da Amazônia é mais alta, já sobre o sudoeste da Amazônia é menor; resultado semelhante foi encontrado por Rao et al. (2002b). Além disso, como notado anteriormente, a reanálise do NCEP/NCAR tende a superestimar a precipitação, principalmente nesta região mencionada. Nos dados da reanálise observamos índices pluviométricos acima de 3200 mm sobre o norte do Pará e sudeste do Amapá e sobre o sul de Roraima; característica não observada nas outras fontes.

Comparando-se a precipitação média anual do TRMM com a do GPCP observam-se índices pluviométricos acima de 2000 mm em uma pequena parte

da região noroeste da Bacia Amazônica e em uma maior parte no sul do Brasil nos dados do TRMM.

É possível observar altos índices pluviométricos sobre o oeste da Colômbia em uma região relativamente pequena nos dados do TRMM e do GPCP; conforme foi visto na climatologia de precipitação obtida por Figueroa e Nobre (1990).

As Figuras 4.46, 4.47 e 4.48 mostram a precipitação sazonal média obtida a partir de cada uma das fontes de dados.

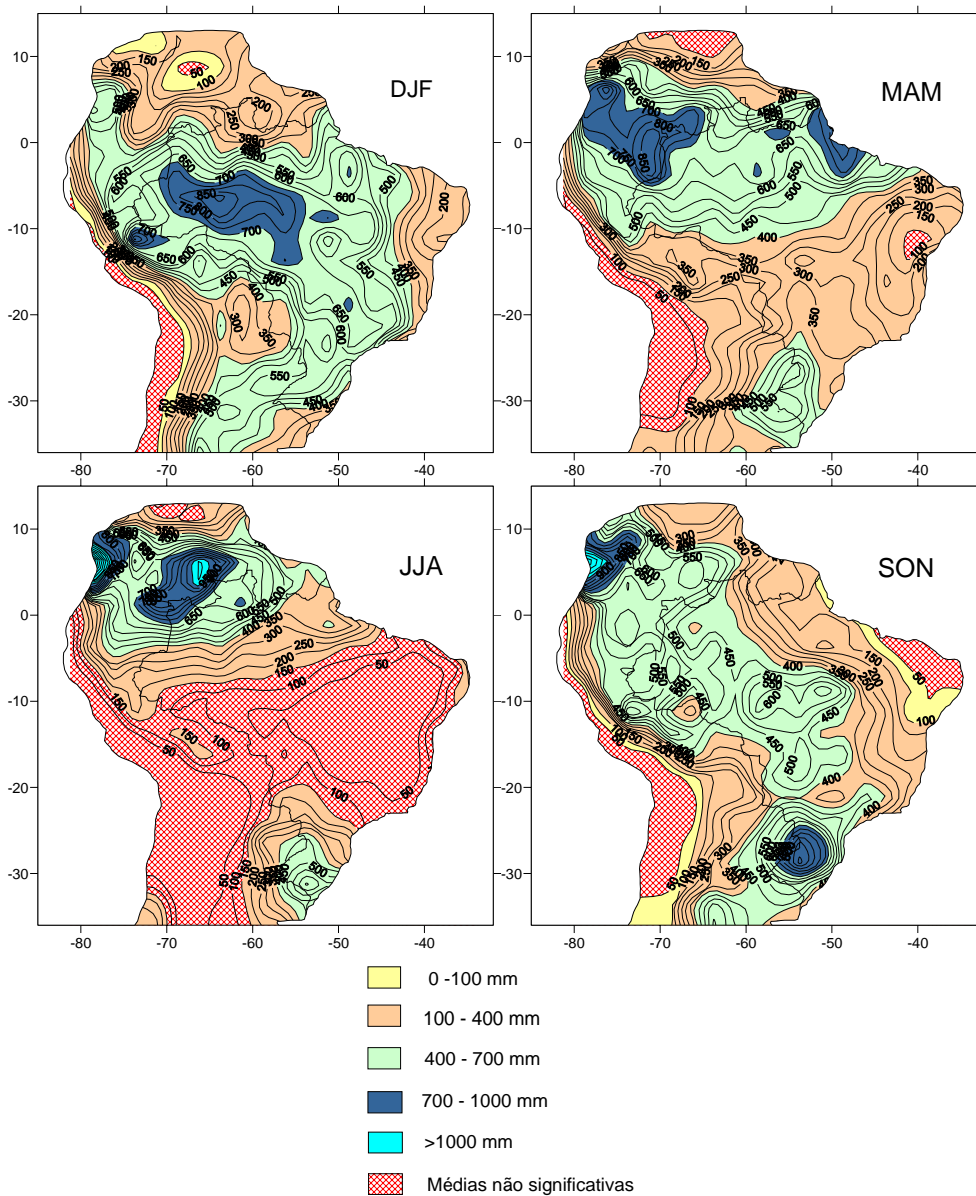


Figura 4.46 - Precipitação sazonal média (mm) obtida a partir dos dados do TRMM de 1998-2005.

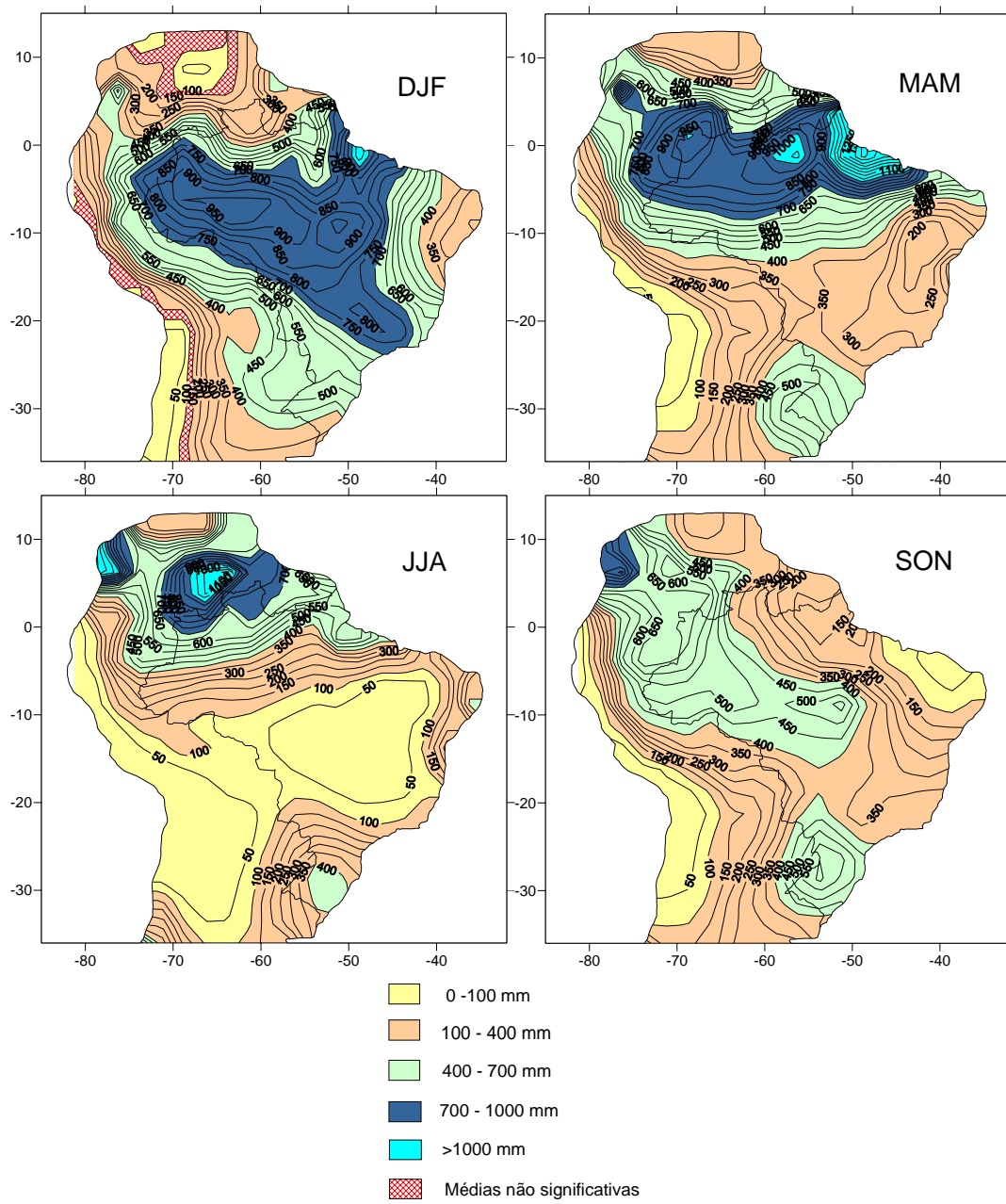


Figura 4.47 - Precipitação sazonal média (mm) obtida a partir dos dados do GPCP de 1998-2005.

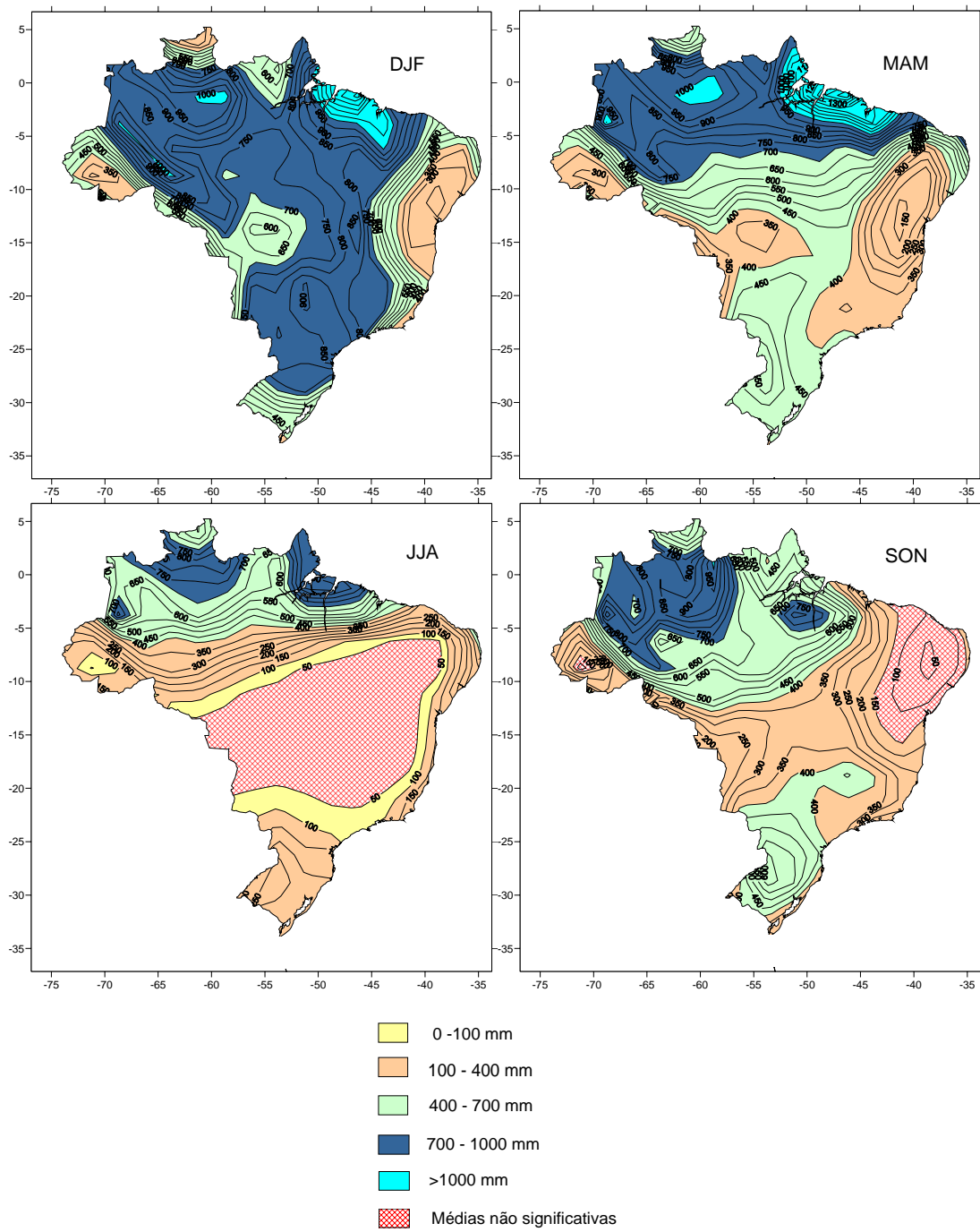


Figura 4.48 - Precipitação sazonal média (mm) obtida a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR de 1998-2005.



Nos dados do TRMM observa-se regiões com valores não significativos de precipitação média sazonal. A análise para DJF nos dados do TRMM só poderá ser feita em regiões com valores de precipitação acima de 50 mm, para MAM acima de 100 mm, para JJA acima de 150 mm e para SON acima de 50 mm, onde se tem valores significativos a 99% de precipitação média sazonal.

Nos dados do GPCP também se observa uma região com valores não significativos de precipitação média sazonal entre 100 e 150 mm. Assim também nos dados da reanálise do NCEP/NCAR, especialmente em JJA e SON. Para estes dados a análise só poderá ser feita em regiões com valores de precipitação acima de 50 mm em JJA e acima de 150 mm em SON.

No verão (DJF) observa-se, através da Figura 4.47 referente aos dados do GPCP, uma configuração em que se apresentam dois ramos principais com altos índices pluviométricos (acima de 700 mm): um na direção noroeste-sudeste e outro que se estende desde o estado do Amapá e do Pará até a região sudeste. Diferentemente disto, nos dados do TRMM índices acima de 700 mm estão presentes em uma pequena parte da região noroeste do Brasil. Já nos dados da reanálise do NCEP/NCAR esses mesmos índices também apresentam dois ramos principais: um com uma orientação noroeste-sul e outro que se estende desde o estado do Amapá e do Pará até a região sudeste. Esta fonte de dados também mostra através da Figura 4.48 para DJF valores de precipitação superiores a 1000 mm no norte do estado do Maranhão.

No outono (MAM) os maiores índices pluviométricos são encontrados na região norte do Brasil. Esta é a estação chuvosa no norte do NEB, portanto, nas três fontes observam-se índices pluviométricos acima de 400 mm. Porém nos dados do TRMM esses índices se apresentam em uma pequena parte dessa região. Além disso, índices superiores a 1000 mm são encontrados no sudeste do Amapá, norte do Pará e noroeste do Maranhão nos dados do GPCP e

reanálise do NCEP/NCAR. Entretanto, nos dados do TRMM esses índices não são observados.

No inverno (JJA) em grande parte do Brasil os índices pluviométricos são inferiores a 100 mm nos dados do GPCP. Índices pluviométricos superiores a 100 mm são encontrados sobre a costa do NEB e região sul do Brasil. O noroeste do Brasil é onde se encontra os maiores índices pluviométricos nesse período.

Na primavera (SON) observa-se que os dados do GPCP representam bem o período seco (precipitação inferior a 100 mm) no norte do NEB. Altos índices pluviométricos (valores superiores a 700 mm) em SON são observados na região sul nos dados do TRMM, porém nos dados do GPCP e reanálise do NCEP/NCAR esses índices são inferiores a 700 mm.

### 4.3 Eventos El Niño e La Niña

No período de 1979 – 2000 sabe-se que ocorreram fortes eventos de El Niño em 1982-1983, 1990 – 1993, 1997 – 1998; e fortes eventos de La Niña em 1988 – 1989, 1998 – 2001 (sendo este considerado um evento de intensidade moderada). A seguir isso é mostrado mais claramente através do gráfico do Índice de Oscilação Sul por ano (1950-2005).

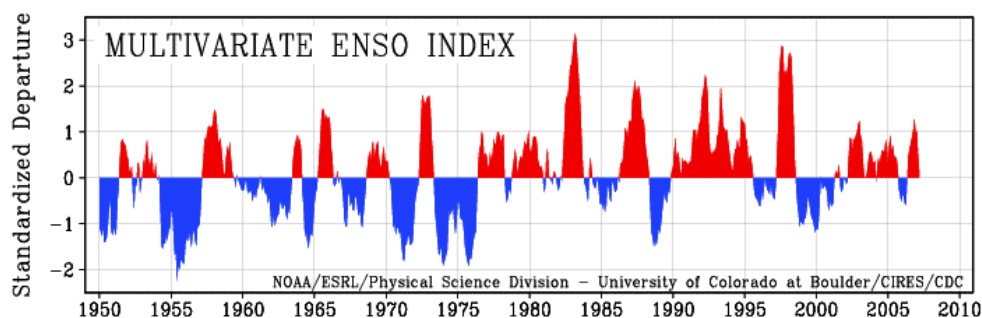


Figura 4.49 - Índice ENOS por ano. Fase quente em vermelho: El Niño. Fase fria em azul: La Niña.

Fonte: <http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/#LaNina>

No artigo de Rao et al. (2002b) a análise destes eventos é feita para os anos de 1997 e 1998; considerados os mais fortes no último século. A anomalia de TSM nas regiões do Niño 3 e 4 indicam que o El Niño começou em maio de 1997 e alcançou sua fase madura ao final de 1997, então, mudando rapidamente para La Niña em maio de 1998.

Esta seção foi incluída de modo a comparar todas as fontes de dados utilizadas neste trabalho e observar como estas reproduzem as principais características observadas na última fase do El Niño e La Niña.

As Figuras 4.50, 4.52, 4.54 e 4.56 mostram a precipitação acumulada (mm) em janeiro, fevereiro, março e abril (JFMA) de 1998 e para o mesmo período em 1999 para cada uma das fontes de dados, representando a última fase do El Niño e La Niña respectivamente.

As Figuras 4.51, 4.53, 4.55 e 4.57 mostram a anomalia de precipitação média de JFMA (valor da precipitação acumulada em JFMA no referido ano - valor da precipitação média de JFMA para todo o período considerado) para os anos de 1998 e 1999 em cada uma das fontes de dados.

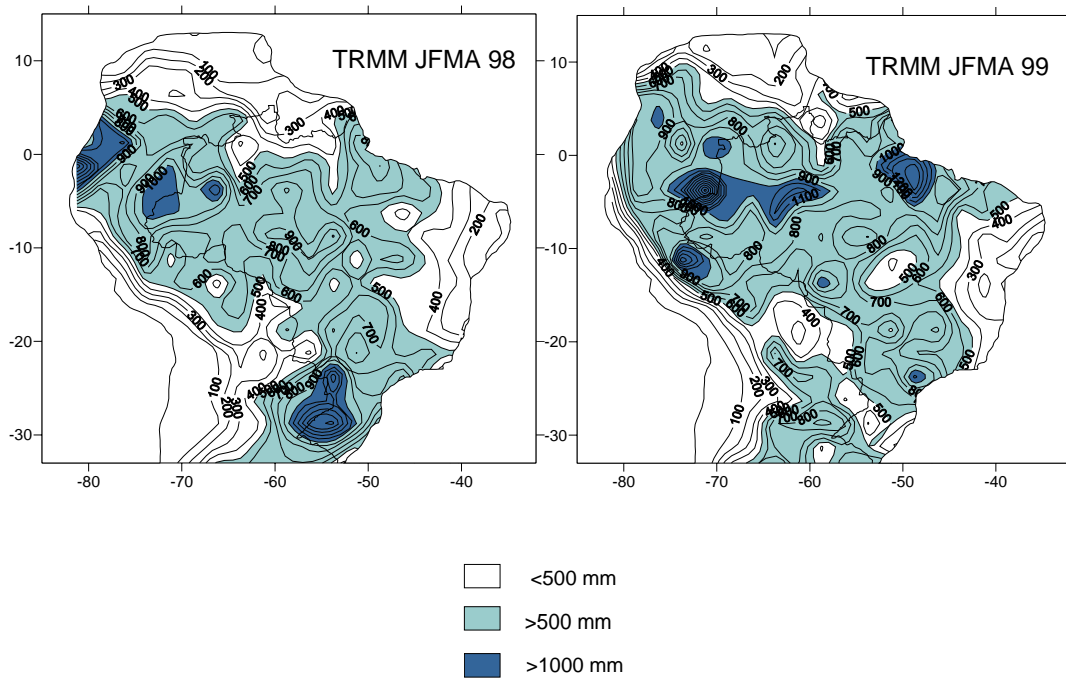


Figura 4.50 - Precipitação acumulada (mm) em JFMA nos anos de 1998 e 1999 obtida a partir dos dados do TRMM.

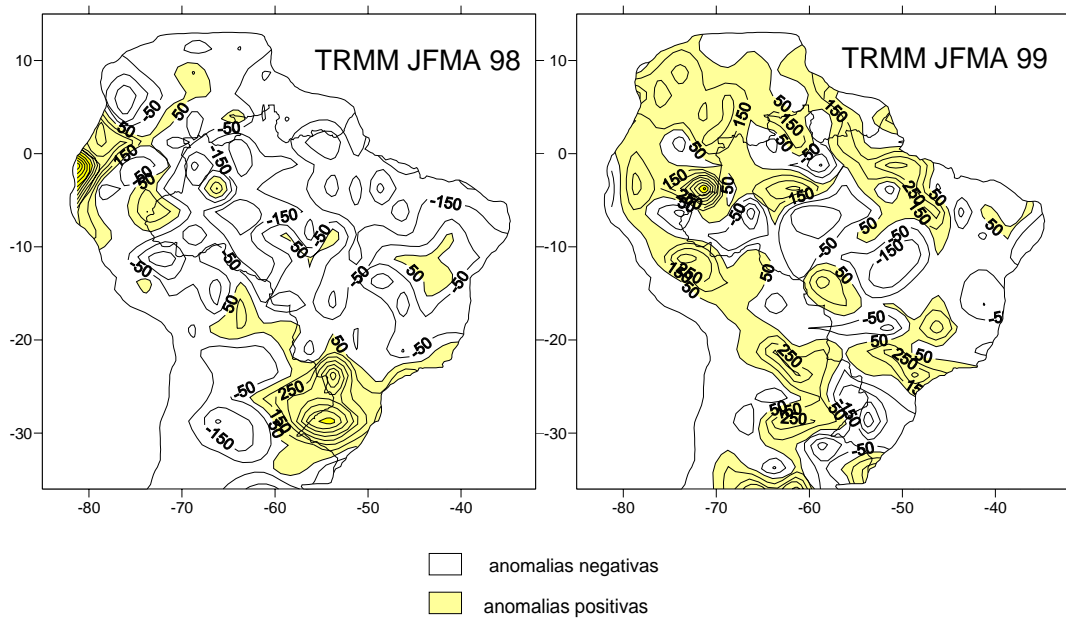


Figura 4.51 - Anomalia de precipitação média de JFMA nos anos de 1998 e 1999 obtida a partir dos dados do TRMM.

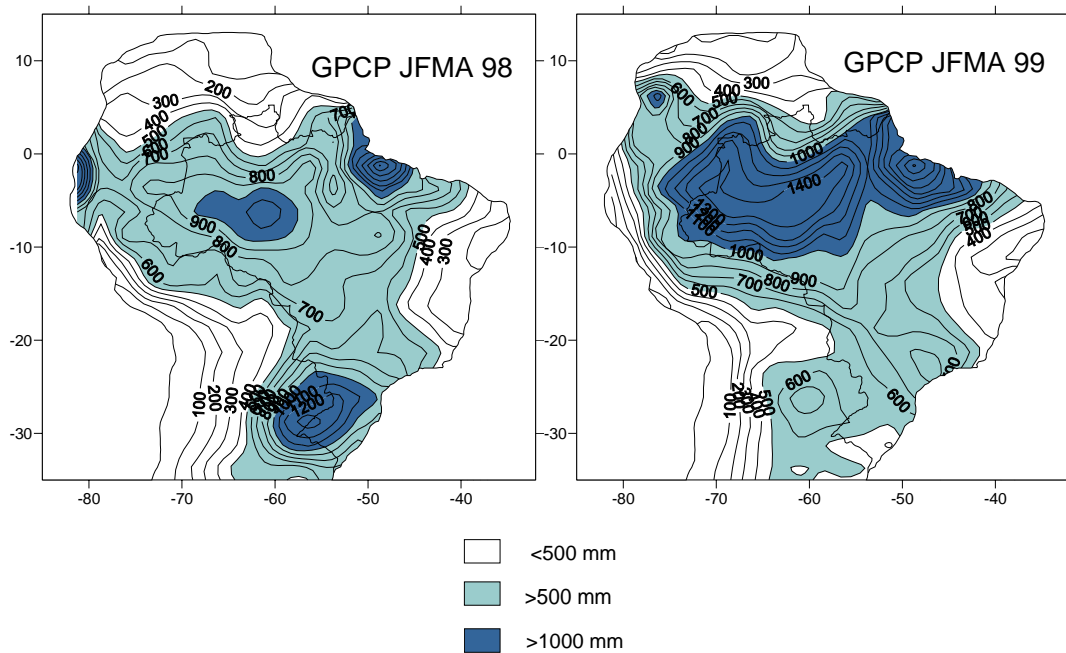


Figura 4.52 - Precipitação acumulada (mm) em JFMA nos anos de 1998 e 1999 obtida a partir dos dados do GPCP.

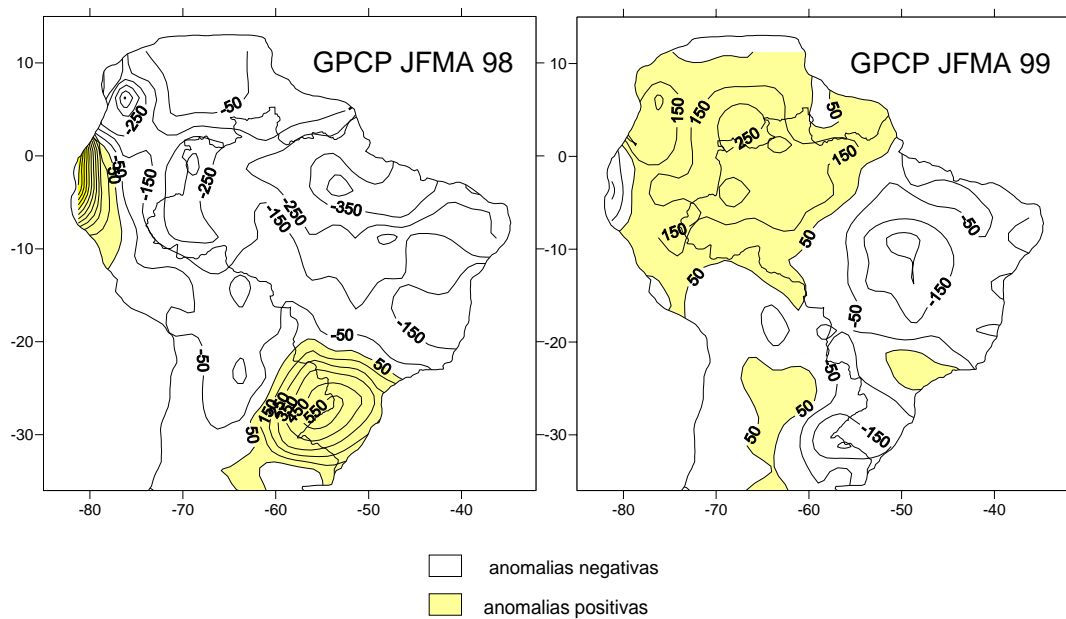


Figura 4.53 - Anomalia de precipitação média de JFMA nos anos de 1998 e 1999 obtida a partir dos dados do GPCP.

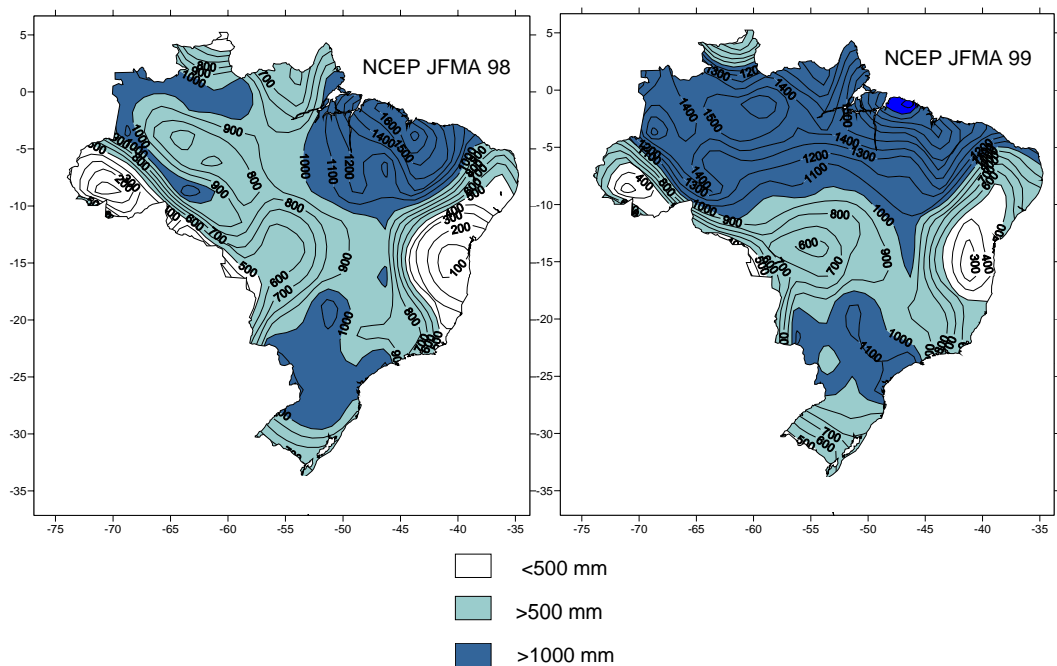


Figura 4.54 - Precipitação acumulada (mm) em JFMA nos anos de 1998 e 1999 obtida a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR.

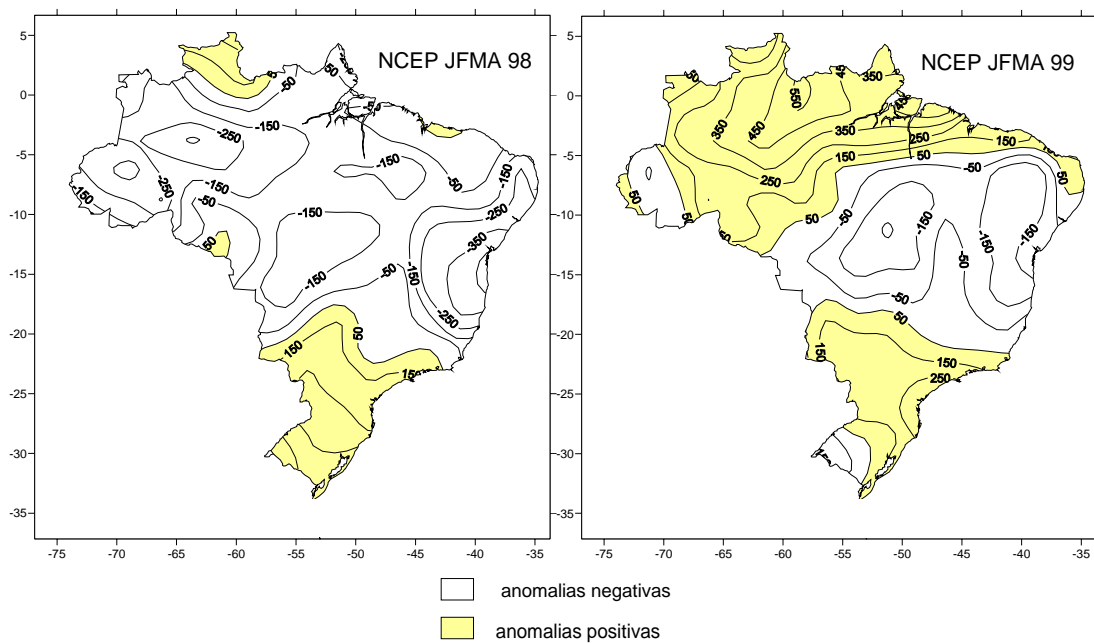


Figura 4.55 - Anomalia de precipitação média de JFMA nos anos de 1998 e 1999 obtida a partir dos dados da reanálise do NCEP/NCAR.

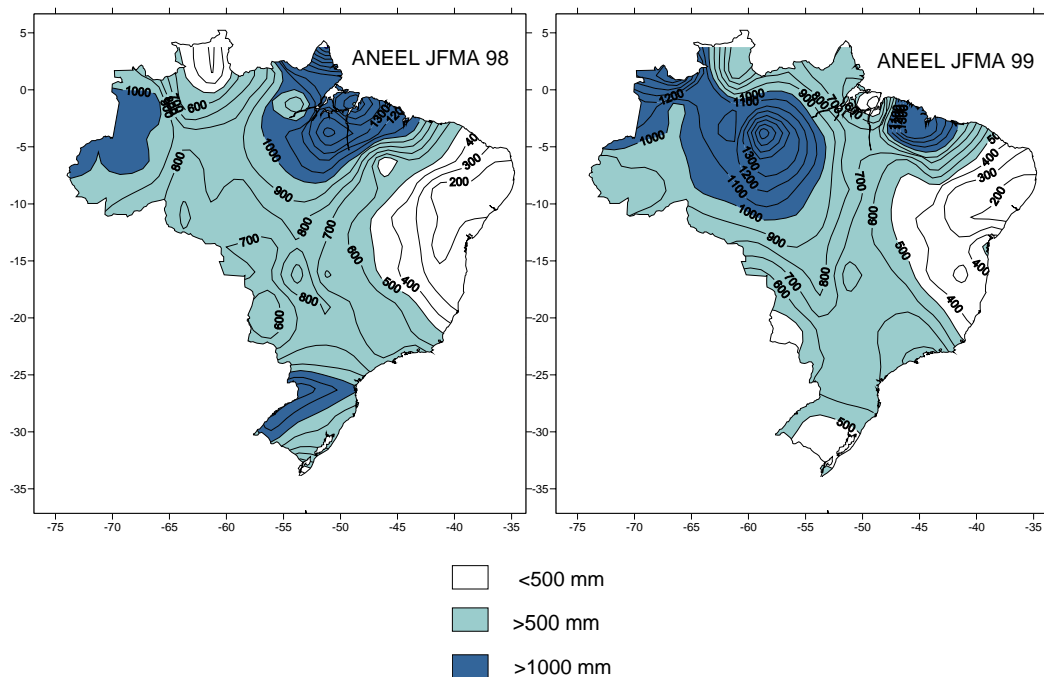


Figura 4.56 - Precipitação acumulada (mm) em JFMA nos anos de 1998 e 1999 obtida a partir dos dados da ANEEL.

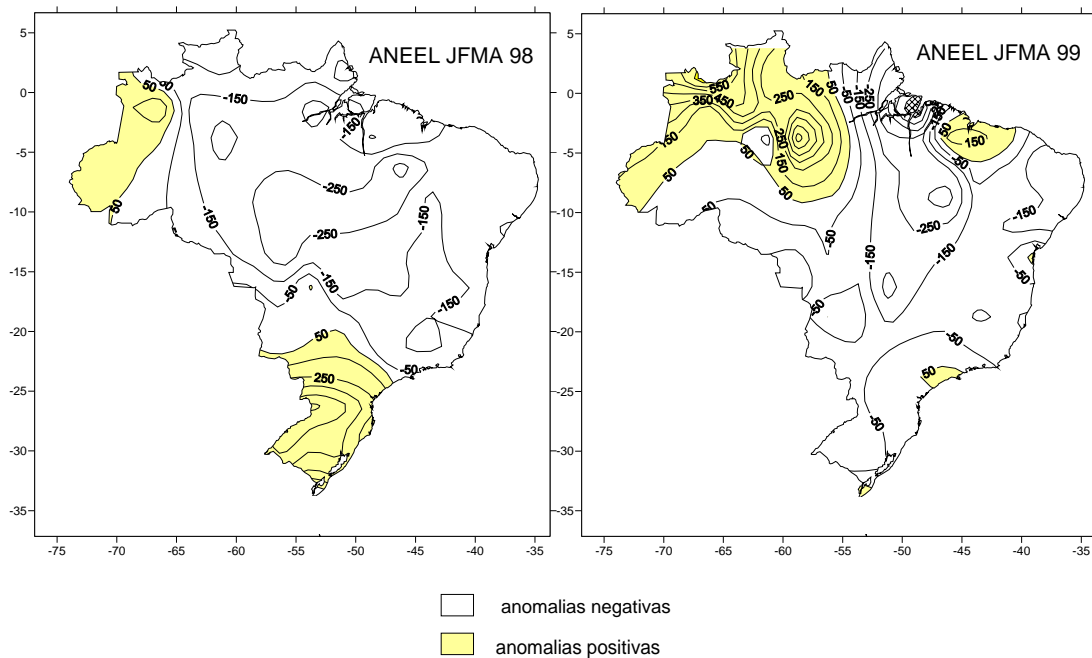


Figura 4.57 - Anomalia de precipitação média de JFMA nos anos de 1998 e 1999 obtida a partir dos dados da ANEEL.

Nos dados do TRMM em 1998 os maiores índices pluviométricos (superiores a 1000 mm) ocorrem no sul do Brasil e noroeste do Equador e os menores índices (inferiores a 500 mm) ocorreram principalmente no NEB e no norte e costa leste da AS. Em 1999 também se observam baixos índices pluviométricos (inferiores a 500 mm) no NEB e no norte e costa oeste da AS; porém a região representada por esses baixos índices é menor do que em 1998. Além disso, a região sul do Brasil nesse ano apresenta índices pluviométricos inferiores a 500 mm, diferentemente do que foi observado em 1998. Nesse ano notam-se também nos dados do TRMM precipitação acumulada acima de 1000 mm numa pequena parte do noroeste do Brasil e norte do Estado do Pará.

Com relação às anomalias, observam-se nos dados do TRMM anomalias positivas na região sul em 1998 e anomalias negativas nessa região em 1999. Em uma grande parte da região norte do Brasil e noroeste da AS observa-se anomalias positivas em 1999.

Em 1998 os maiores índices pluviométricos nos dados do GPCP ocorrem na região sul do Brasil, norte do estado do Pará, uma pequena parte no central da região norte e noroeste do Peru e Equador e os menores índices ocorreram principalmente no NEB, no norte e na costa oeste da AS. Em 1999 tem-se maiores índices na região norte abrangendo uma área muito maior do que se observa nos dados do TRMM para o mesmo ano. Na região do NEB, sul do Brasil, norte e costa oeste da AS têm-se os menores índices pluviométricos, como observado nos dados do TRMM.

Nos dados do GPCP observa-se anomalias positivas na região sul em 1998 e anomalias negativas nessa região em 1999. Em uma grande parte da região norte do Brasil e noroeste da AS observa-se anomalias positivas em 1999, resultado também encontrado nos dados do TRMM.



Nos dados da reanálise do NCEP/NCAR para o ano de 1998 observam-se os maiores índices pluviométricos no estado do Pará (a região representada por esses índices é maior do que nas outras fontes de dados), norte do NEB e na região sul do Brasil e os menores índices (inferiores a 500 mm) encontram-se sobre o estado do Acre (não observado nas outras fontes de dados) e sul do NEB. Em 1999 a região com maiores índices pluviométricos é bem maior do que nas outras fontes de dados e a precipitação na região sul também apresenta valores maiores do que os observados nas outras fontes. Além disso, a região do estado do Acre novamente apresenta valores de precipitação inferiores a 500 mm, porém nesse ano a área ocupada por esses contornos é menor do que em 1998.

As anomalias positivas são encontradas na região sul em 1998 nos dados da reanálise do NCEP/NCAR. Estes dados mostram que em 1999 em uma pequena parte desta mesma região observam-se anomalias negativas. Neste mesmo ano têm-se anomalias positivas em grande parte da região norte, com exceção do estado do Acre.

Os maiores índices pluviométricos (superiores a 1000 mm) em 1998 nos dados da ANEEL são observados na região sul e em uma pequena parte da região noroeste do Brasil, no norte do estado Pará e no estado do Amapá. Os menores índices (inferiores a 500 mm) estão principalmente sobre o NEB e no norte de Roraima. Em 1999 observa-se precipitação acumulada acima de 1000 mm na parte do norte do Maranhão e na parte central da região norte. Os menores índices pluviométricos se encontram na região sul e no NEB.

Os dados da ANEEL mostram anomalias positivas na região sul em 1998 e em uma parte da região noroeste e norte do Maranhão em 1999.

Todas as fontes concordam que em JFMA de 1998 os maiores índices pluviométricos foram observados no sul do Brasil com a ocorrência de

anomalias positivas e os menores índices no NEB e norte e costa oeste da AS (para os dados do GPCP e TRMM), caracterizando o evento El Niño. Somente os dados do TRMM não mostram a região do norte do estado do Pará possuindo precipitação acumulada maior que 1000 mm. As regiões com precipitação acumulada inferior a 500 mm são maiores em 1998 do que em 1999 em todas as fontes de dados. Em 1999 todas as fontes concordam que os valores de precipitação acima de 1000 mm ocorreram na região norte (caracterizando o evento La Niña), embora haja grandes diferenças na área desses contornos para cada uma das fontes de dados; ou seja, nos dados do TRMM esses contornos abrangem uma área muito pequena e nos dados da reanálise do NCEP/NCAR uma área muito grande. Anomalias positivas foram observadas em grande parte da região norte. Os valores de precipitação inferiores a 500 mm ocorrem na região sul (caracterizando o evento La Niña) em 1999, porém esta informação não é observada nos dados da reanálise do NCEP/NCAR. Nesta mesma região foi observada em todas as fontes de dados a ocorrência de anomalias negativas nesse período.

## 5 Considerações finais

A abordagem principal deste trabalho foi a comparação entre as seguintes fontes de dados de precipitação: reanálise do NCEP/NCAR, GPCP, TRMM e estações pluviométricas da ANEEL. Para isto, foi empregado o uso de algumas ferramentas estatísticas como, a média anual e sazonal, o desvio – padrão, o coeficiente de variabilidade, a porcentagem da precipitação sazonal, a análise harmônica e o coeficiente de correlação.

Com relação aos dados da ANEEL observou-se que a rede de estações é esparsa principalmente na região norte. Além disso, é notório o problema de ausência de dados, ou falhas em algumas estações nos valores de precipitação mensal. Várias delas possuíam menos de 10 meses de dados. Porém, apesar dos problemas mencionados, esses dados reproduziram a climatologia e serviram como base de comparação com as outras fontes de dados. As regiões nordeste, sul e sudeste foram as que apresentaram a mais densa rede de estações pluviométricas e, portanto, os dados de precipitação para essas regiões se mostraram confiáveis.

Foram observadas grandes diferenças entre o GPCP e o TRMM, principalmente na região norte do Brasil. Os valores de precipitação obtidos do TRMM foram subestimados nesta região, no NEB e no estado do Amapá. Este fato parece concordar com os resultados encontrados por Li e Fu (2005), onde afirmam que nas regiões onde as estações do GPCP têm uma boa distribuição, as estimativas do radar de precipitação do TRMM acabam sendo menores do que as observações reais.

As séries pluviométricas do GPCP foram as mais semelhantes às séries da ANEEL. Isso foi demonstrado através dos altos coeficientes de correlação encontrados entre essas duas fontes. Uma das explicações para isso é que os

dados do GPCP são frutos de uma combinação de dados de satélite com 6700 estações pluviométricas ao redor do globo.

Os valores de precipitação obtidos da reanálise do NCEP/NCAR foram o que apresentaram maiores diferenças regionais quando comparados com os dados pluviométricos. Além disso, os dados de precipitação da reanálise do NCEP/NCAR apresentaram deficiências em reproduzir o comportamento da ZCAS, que é o principal sistema atmosférico atuante no verão nas regiões sudeste e central do Brasil. Na configuração observada nos meses de verão (DJF) em que se apresentam dois ramos principais com altos índices pluviométricos, nos dados da reanálise o ramo com orientação noroeste-sudeste que representaria a principal banda de nebulosidade da ZCAS se apresenta com orientação noroeste-sul. Em grande parte da região norte do Brasil os valores de precipitação obtidos da reanálise foram superestimados, divergindo das outras fontes de dados. Porém, os dados de precipitação são úteis nas regiões sul, sudeste e nordeste, como foi mostrado através dos significativos coeficientes de correlação nessas regiões.

As séries pluviométricas do TRMM apresentaram semelhanças regionais com as séries da ANEEL nos anos de 1998 e 1999, que representam a última fase do El Niño e La Nina.

Todas as fontes de dados utilizadas reproduziram as principais características observadas na última fase de El Niño e La Niña, porém foram observadas algumas diferenças regionais entre os valores de precipitação obtidos dessas fontes, principalmente na região norte.

Os resultados obtidos levam a sugerir propostas para trabalhos futuros:

- Utilizar um número maior de fontes de dados para análise comparativa e incluir resultados de outros modelos (por exemplo, a reanálise do ECMWF) para possível comparação com os dados da reanálise do

NCEP/NCAR. Desse modo será possível observar o comportamento da precipitação através da saída dos modelos, demonstrando assim qual a confiabilidade destes dados.

- Fazer uso de outras ferramentas estatísticas, tais como Análise de Ondeletas, útil para análise da precipitação diária, pois esta técnica revela a estrutura temporal das séries temporais não estacionárias.
- Observar nas diversas fontes de dados o padrão de precipitação sobre os oceanos e associar a eventos El Niño e La Niña a fim de mostrar a confiabilidade das fontes de dados para reproduzir as principais características desses eventos e avaliar como estas fontes detectam a precipitação sobre o oceano.
- Incluir séries obtidas de estações pluviométricas de outras fontes com período semelhante aos dados do TRMM de modo a calcular o coeficiente de correlação entre elas, para que se possa avaliar qual o grau de semelhança entre os dados de precipitação obtidos do radar e os das estações.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEITUNO, P. On the functioning of the Southern Oscillation in the South America sector. Part I: Surface Climate. **Monthly Weather Review**, v.116, p.505-524, Mar. 1988.
- ACEITUNO, P.; GARREAUD, R. Impacto de los fenómenos El Niño y La Niña en regímenes fluviométricos andinos. In: Congresso Latinoamericano de Hidráulica, 16., 1994. Santiago. **Anales...**Santiago: Universidad Central de Chile, 1994, v.3, p.15-25.
- ADLER, F.R; HUFFMAN, J.G.; BOLVIN, T.D.; CURTIS, S.; NELKIN, J.E. Tropical Rainfall Distributions Determined Using TRMM Combined with Other Satellite and Rain Gauge Information. **Journal of Applied Meteorology**, v. 39, n.12, p. 2007-2023, Dec. 2000.
- AMBRIZZI, T.; MARENGO, J.A.; LIEBMANN, B.; KILADIS, G.N.; GLICK, J.D. Propagação de ondas extratropicais e a Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10., 1998, Brasília, **Anais...** Brasília: SBMET, 1998, 5p. Disponível em: <[http://mtc-m15.sid.inpe.br/col/cptec.inpe.br/walmeida/2004/07.02.10.20/doc/Ambrizzi\\_Propagacao%20de%20ondas.pdf](http://mtc-m15.sid.inpe.br/col/cptec.inpe.br/walmeida/2004/07.02.10.20/doc/Ambrizzi_Propagacao%20de%20ondas.pdf)>
- ARAGUÃO, J. O. R. 'Fatos sobre o fenômeno de El Niño e sua relação com as secas no Nordeste do Brasil' **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v.14, n.1, p.2-8, Mar. 1990.
- ARAGUÃO, J.O.R. **Um estudo das estruturas das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil**. 219p. (INPE-789-TPT/017). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1975.
- ARKIN, P. A.; MEISNER, B. N. The relationship between large-scale convective rainfall and cold cloud over the western hemisphere during 1982-84. **Monthly Weather Review**, v. 115, n. 1, p. 51-74, Jan. 1987.
- CAMARGO, G. de; N.J. FERREIRA. **Análise espacial/temporal da precipitação sobre o Brasil utilizando-se dados derivados da missão TRMM**. São José dos Campos: INPE, 2001. Relatório Final de Atividades Científicas Referentes ao Período de 08/2000 a 07/2001. Divisão de Sensoriamento Remoto – SERE I.
- CASARIN, D.P.; KOUSKY, V.E. Anomalias de precipitação no Sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.1, n.2, p.83-90, Dez. 1986.

CAVALCANTI, I.F.A., SOUZA, C. A; KOUSKY, V.E.; BARBOSA, E.B.M. **Desvios de precipitação na Região Sudeste do Brasil**, 2001. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/energia/saiba/portalpop2.shtml>.

CAVIEDES, C.N. Secas and El Niño: Two simultaneous climatological hazards in South America. In: American Association of Geography, 1973, Boston. **Proceedings...**Boston,1973, v.5, p.44-49.

CHAVES, R.R. **Variabilidade da Precipitação na Região Sul do Nordeste e sua Associação com Padrões Atmosféricos**. 159p. (INPE-7294-TDI/709). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.

COÊLHO, M. de SOUZA. **Estudo da Estrutura Vertical Horizontal da Precipitação e da Circulação Atmosférica na Região da ZCIT**. 158p. (INPE-10287-TDI/906). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.

COSTA, M.H.; FOLEY, J.A. A Comparison of Precipitation Datasets for the Amazon Basin. **Geophysical Research Letters**, v.25, n.2, p.155-158, Jan. 1998.

CRESSIE, N.A.C.; **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley and Sons, 1991. 900 p.

CUSTÓDIO, M. A. M.; D.L., HERDIES. O jato de baixos níveis a leste da Cordilheira dos Andes – um estudo de caso. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8., Belo Horizonte. **Anais...**Belo Horizonte: SBMET, 1994, v.2, p.617-619.

DE MARIA, M. Linear response of a stratified tropical atmosphere to convective forcing. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.42, n.18, p.1944-1959, Sept.1985.

DIAZ, A.F.; STUDZINSKI, C.D.; E MECHOSO, C.R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic oceans. **Journal of Climate**, v.11, n.2, p.251-271, Feb.1998.

FERREIRA, D.B. **Relação entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste**, 123p. (INPE-13599-TDI/1038). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C.A. Precipitation distribution over central and western tropical South America. **Climanálise**, v.5, n.6, p.36-45, July 1990.



GAN, M.A.; RAO, V.B. Surface cyclogenesis over South America. **Monthly Weather Review**, v.119, n.5, p.1293-1302, May 1991.

GAN, M.A.; KOUSKY, V.E. Vórtices Ciclônicos da Alta Troposfera no Oceano Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n.1, p.19-28, 1986.

GAN, M.A.; RAO, V.B. The influence of the Andes cordilleira on transient disturbances. **Monthly Weather Review**, v.122, n.6, p.1141-1157, June 1994.

GARREAUD, R. D.; ACEITUNO, P. Interannual rainfall variability over South American Altiplano. **Journal of Climate**, v.14 , n.12 , p.2779-2789, June 2001.

GRIMM, A.M., V.R. BARROS, E M.E. DOYLE. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v.13, n.1, p.35-58, Jan. 2000.

GRIMM, A.M.; SILVA DIAS, P.L. Analysis of tropical-extropical interactions with Influence Functions of a barotropic model. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.52, n.20, p.3538-3555, Oct. 1995.

GRIMM,A.M.; FERRAZ, S.E.T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v. 11, n. 11, p. 2863-2880, Nov.1998.

GUEDES, R.L. **Condições de grande escala associada a sistemas convectivos de mesoescala sobre a região central da América do Sul**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), IAG/USP, São Paulo (SP), 1985.

GUEDES, R.L.; ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T.; OYAMA, M.D. E ALVES, M.A.S. Série temporal mensal de Fortaleza, Brasil: Comparação entre observações e dados de reanálise do NCEP/NCAR, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.1, p.83-92, Abril 2005.

GUTMAN, G.J.; W. SCHWERDTFEGER. The role of latent and sensible heat for development of high pressure system over the subtropical Andes in the summer. **Meteorol. Rundschau**, v.18, n. 3, p.69-75, 1965.

HASTENRATH, S. **Climate dynamics of the tropics**, Boston: Kluwer Academic Publishers, 1991. 488p.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, v.103, n.435, p.77-92, Jan.1977.

HOREL, J.; HAHMANN, A.; GEISLER, J. An investigation of the annual cycle of the convective activity over the tropical Americas. **Journal of Climate**, v.2, n.11, p.1388-1403, Nov. 1989.

HUFFMAN, G.J.; ADLER, R.F.; ARKIN, P.A. et al. The Global precipitation climatology project. **Bulletin of the American Society**, v.78, n.1, p.5-20, Jan. 1997.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

JOURNEL, A.G. **Fundamentals of geostatistics in five lessons**. California, Stanford Center for Reservoir Forecasting Applied Earth Sciences Department, 1988.

KALNAY, E. KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; MO, K.C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; JENNE, R.; JOSEPH D. The NCEP/NCAR 40 year reanalysis project. **Bulletin of the American Society**, v.77, p.437-471, Mar.1996.

KAYANO, M.T.; FERREIRA, N.J.; RAMIREZ, M.C.V. Summer circulation patterns related to the upper tropospheric vortices over the tropical South Atlantic. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.64, n.3-4, p.203-213, Sept. 1997.

KAYANO, M.T.; KOUSKY, V.E.; STUDZINSKI, C.D.; DIAS, P.L.S. As variações intra-sazonais da precipitação no Brasil durante o verão de 1989/1990. **Climanálise**, v.5, n.4, p.40-50, 1990.

KILADIS, N.G.; STORCH, V.H.; LOON, V.H. Origin of the South Pacific Convergence Zone. **Journal of Climate**, v. 2, n.10, p. 1185-1195, Oct. 1989.

KODAMA, Y. M. Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of Subtropical Frontal Zones. **Journal Meteorological Society of Japan**, v.70, n.4, p.813-836, Aug. 1992.

KODAMA, Y. M. Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal, the SPCZ, and the SACZ) Part II: Conditions of the circulations for generating the STCZs. **Journal Meteorological Society of Japan**, v.71, n.5, p.581-610, Oct. 1993.

- KOUSKY V. E. Atmospheric Circulation Changes Associated With Rainfall Anomalies Over Tropical Brazil. **Monthly Weather Review**, v.113, n.11, p.1951-1957, Nov. 1985.
- KOUSKY, V.E. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.108, n.4, p.488-498, Apr. 1980.
- KOUSKY, V.E. E GAN, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, v.33, n.5, p.538-550, Oct. 1981.
- KOUSKY, V.E. Frontal influences on northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.107, n. 9, p.1140-1153, Sept. 1979.
- KOUSKY, V.E. Pentad outgoing long wave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.3, n.1, p.217-231, Jan. 1988.
- KOUSKY, V.E.; CHU, P.S. Fluctuations in annual rainfall for northeast Brazil. **Journal Meteorological Society of Japan**, v.56, n.5, p.457-465, Oct. 1978.
- KOUSKY, V.E.; KAYANO, M.T.; CAVALCANTI, I.F.A. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**, v.36A, n.5, p.490-504, Oct. 1984.
- KUMMEROW, C.; J. SIMPSON; O. THIELE; W. BARNES; A. T. C. CHANG; E. STOCKER; R. F. ADLER; A. HOU; R. KAKAR; F. WENTZ; P. ASHCROFT; T. KOZU; Y. HONG; K. OKAMOTO; T. IGUCHI; H. KUROIWA; E. IM; Z. HADDAD; G. HUFFMAN; B. FERRIER; W. S. OLSON; E. ZIPSER; E. A. SMITH; T. T. WILHEIT; G. NORTH; T. KRISHNAMURTI; K. NAKAMURA. The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. **Journal of Applied Meteorology**, v.39, n.12, p.1965-1982, Dec. 2000.
- KUMMEROW, C.; W. BARNES; T. KOZU; J. SHIUE; J. SIMPSON. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v.15, n.3, p.809-817, June 1998.
- LENTERS, J.D.; COOK, K.H. On the origin of the Bolivian High and related circulation features of the South American climate. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.54, n.5, p.656-678, May 1997.
- LI, R.; FU, Y. Tropical Precipitation Estimated by GPCP and TRMM PR Observations. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 22, n. 6, p. 852-864, May2005.
- LIEBMANN, B.; ALLURED, D. Daily precipitation grids for South America. **Bull. American Meteorological Society**, v. 86, n.11, p. 1567-1570, Nov. 2005.

LIMA, A. A. **A variabilidade da precipitação e suas relações com as medidas por satélite, radar e divergência do vento em altos níveis durante o LBA-WETAMC.** (INPE-10132-TDI/897). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.

MADDOX, R.A. Mesoscale convective complexes. **Bulletin of American Meteorological Society**, v.61, p.1374-1387, Nov. 1980.

MARENGO, J.A. Interannual variability of surface climate in the Amazon Basin. *International Journal of Climate*, v.12, n.8, p.853-863, Dec.1992.

MARENGO, J.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V.; FILIZOLA, N.; WAINER, I. On the onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v.14, n.5, p.833-852, Mar. 2001a.

MARENGO, J., ALVES, L.M.; CASTRO, C.A.C.; MENDES, D. **Início da estação chuvosa nas regiões sudeste, centro – oeste e sul do nordeste, afetadas pela crise de energia.** 2001b. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/energia/saiba/iniciochuvas.shtml>.

MARKHAM, C.G.; MCLAIN, D.R. Sea surface temperature related to rain in Ceará, northeastern Brazil. **Nature**, v.265, p.320-323, Jan. 1977.

MARQUES, R., F.C.; RAO, V.B. A diagnosis of a long –lasting blocking event over the Southeast Pacific Ocean. **Monthly Weather Review**, v.127, n.8, p.1761-1776, Aug.1999.

MARQUES, R.; F.C.; RAO, V.B. Interannual variations of blockings in the Southern Hemisphere and their energetics. **Journal of Geophysical Research**, v.105, n.D4, p.4625-4636, 2000.

MARTON, E. **Oscilações Intrazonais Associadas à Zona de Convergência do Atlântico Sul no Sudeste Brasileiro.** Tese (Doutorado em Meteorologia), IAG/USP, São Paulo (SP), 2000.

MATHERON, G.; Random functions and their applications in geology. In: Merriam, D.F. (Ed.). **Geostatistics**. New York: Plenum, 1970. p.79-87.

MATSUMOTO, S.; NINOMIYA, K.; HASEGAWA, R.; MIKI, Y. The structure and the role of a subsynoptic-scale cold vortex on the heavy precipitation. **Journal Meteorological Society of Japan**, v.60, p.339-354, Feb. 1982.

Matsuyama, H.; Marengo, J.A.; Obregón, G.O.; Nobre, C.A. Spatial and temporal variability of rainfall in tropical South America as derived from climate prediction center merged analysis of precipitation. **International Journal of Climatology**, v.22, n.2, p.175-195, Mar. 2002.

MINTZ, Y. **A brief review of the present status of global precipitation measurements. Precipitation measurements from space.** Greenbelt, NASA, Goddard space Flight center (MD D10-D18).1981. Workshop Report.

MOURA, A.D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.38, n.12, p.2653- 2675, Dec. 1981.

NATIONAL SPACE DEVELOPMENT AGENCY OF JAPAN (NASDA). **TRMM Data Users Handbook.** Japan, 2001. 226p. Disponível em: <[http://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/document/text/handbook\\_e.pdf](http://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/document/text/handbook_e.pdf)>

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro: SUPREN/IBGE, v.4, 1979. 422p.

NOBRE, C.A.; MOLION, L.C.B. The Climatology of drought and drought prediction. In: Parry, L. M., Carter, R. T. and Konijn, T.N. (Ed.). **The Impact of Variations on Agriculture.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988, v.2, p.305-323.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of the sea surface temperature, wind stress and rainfall over tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v.9, n.10, p.2464-2479, Oct. 1996.

OBREGÓN, G.O.; NOBRE, C.A. Principal Component Analysis of precipitation fields over Amazon River basin. **Climanálise**, v.5, n.7, p.35-46, July 1990.

OBREGÓN P., G.O. **Teleconexões no campo de vorticidade relativa durante o verão de 1979/1980 no Hemisfério Sul.** 86p. (INPE-5308-TDI/458). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Abril 1991.

OBREGÓN P., G.O. **Dinâmica da Variabilidade Climática da Precipitação sobre a América do Sul.** 196p. (INPE-8604-TDI/789). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, Maio 2003.

OLIVEIRA, A.S. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção na Amazônia**. 134p. (INPE-4008-TDL/239). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, Abril 1986.

OLIVEIRA, AD.; COSTA, J.M.N.; LEITE, R.A; SOARES, P.C.; SOARES, A. A Probabilidade de chuvas e estimativas de épocas de semeadura para cultivares de arroz de sequeiro, em diferentes regiões do Estado de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.8, n.2, p.295-309, 2000.

OLIVEIRA, M. B.L. E BRITO, J.I.B. Comparação da precipitação da reanálise do NCEP/NCAR no Nordeste do Brasil com dados observados. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...Foz do Iguaçu: SBMET**, 2002, p.202-211.

OORT, A.H.; YIENGER, J.J. Observed internannual variability in Hadley circulation and its connection to ENSO. **Journal of Climate**, v.9, n.11, p.2751-2767, Nov. 1996.

PISCIOTTANO, G.; DIAZ, A.; GAZES, G. E MECHOSO, C.R. Rainfall anomalies in Uruguay associated with the extreme phases of the El Niño/Southern Oscillation phenomenon. **Journal of Climate**, v.7, n.8, p.1286-1302, Aug. 1994.

QUADRO, M.F.L. **Estudo de episódios de zonas de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 124p. (INPE-6341-TDI/593). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Nov. 1993.

QUADRO, M.F.L. E ABREU, M.L. Estudos de episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul sobre a América do Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8., 1994, Belo Horizonte. **Anais...Belo Horizonte: SBMET**, 1994, v.2, p.620-623.

QUADRO, M.F.L., MACHADO, L. H. R.; CALBETE, S.; BATISTA, N.N.M; SAMPAIO, G. Climatologia de precipitação e temperatura. **Climanálise Especial** – Edição comemorativa de 10 anos. MCT/ INPE/ CPTEC. Cap.9, 1996.

RAMIREZ, M.C.V.; FERREIRA, N.J.; KAYANO, M.T. Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos em altos níveis no Nordeste do Brasil, Parte II: Aspectos sinóticos. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10., 1998, Brasília. **Anais...Brasília: SBMET**, 1998, 6p. Disponível em: <[http://mtc-m15.sid.inpe.br/col/cptec.inpe.br/walmeida/2004/06.11.11.06/doc/Ramirez\\_Padroes%20climaticos%20dos%20vortices%20ciclonicos\\_part%20II.pdf](http://mtc-m15.sid.inpe.br/col/cptec.inpe.br/walmeida/2004/06.11.11.06/doc/Ramirez_Padroes%20climaticos%20dos%20vortices%20ciclonicos_part%20II.pdf)>

RAMIREZ, M.C.V.; KAYANO, M.T.; FERREIRA, N.J. Statistical analysis of upper tropospheric vortices in the vicinity of northeast Brazil during the 1980-1989 period. **Atmosfera**, v.12, n.2, p.75-88, 1999.

RAO, V.B.; SATYAMURTY, P.; DE BRITO, J.I.B. On the 1983 drought in northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v.6, p.43-51, 1986.

RAO, V.B.; BONATTI, J.P. On the origin of upper tropospheric cyclones vortices in the South Atlantic Ocean and adjoining Brazil during the summer. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.37, n.1, p.11-16, 1987.

RAO, V.B.; HADA, K. Characteristics of Rainfall over Brazil: Annual Variations and Connections with the Southern Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v.42, n.2, p.81-91, June 1990.

RAO, V.B.; LIMA, M.C.; FRANCHITO, S.H. Seasonal and interannual variations of rainfall over Eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v.6, n.9, p.1754-1763, Sept. 1993.

RAO, V.B.; CAVALCANTI, I.F.A.; HADA, K. Annual variations of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. **Journal of Geophysical Research**, v.101, n.D21, p.26539-26552, 1996.

RAO, V.B.; CHAPA, S.R.; FRANCHITO, S.H. Decadal variation of atmosphere-ocean interaction in the Tropical Atlantic and its relationship to the Northeast Brazil rainfall. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v.77, n.1, p.63-75, Feb. 1999.

RAO, V.B.; SANTO, C.E.; FRANCHITO, S.H. **Informações climatológicas sobre a região**, 2001a. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/energia/saiba/criseenergia.shtml>>

RAO, V.B.; SANTO, C.E.; FRANCHITO, S.H. **Início da estação chuvosa**, 2001b. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/energia/saiba/inicio01.shtml>>

RAO, V.B.; DO CARMO, A.M.C.; FRANCHITO, S.H. Seasonal variations of the Southern Hemisphere storm tracks and associated wave propagation. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.59, n.6, p.1029-1040, Mar. 2002a.

RAO, V. B.; SANTO, C. E.; FRANCHITO, S. H. A diagnosis of rainfall over South America during the 1997/98 El Niño event. Part I: Validation of NCEP/NCAR reanalysis rainfall data. **Journal of Climate**, v.15, p.502-511, Mar. 2002b.

RAO, V.B.; DO CARMO, A.M.C.; FRANCHITO, S.H. Interannual variations of storm tracks in the Southern Hemisphere and their connections with the Antarctic oscillation. **International Journal of Climatology**, v. 23, n.12, p.1537-1545, 2003.

RASTIBONA, C. R. The climate of Brazil. In: Schwerdtfeger, W. and Landsberg, E. H. (Ed.). **World Survey of Climatology**. v.12 - **Climates of Central and South America**., Amsterdam: Elsevier, 1976, v.12, p.219-293.

ROCHA, A.M.G. DE CARVALHO E GANDU, A.W. A Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Climanálise Especial** – Edição comemorativa de 10 anos. MCT/INPE/CPTEC, Cap. 16, 1996.

ROCHA, E.J.P. **Balço da umidade e influência das condições de contorno superficiais sobre a precipitação da Amazônia**. 210p. (INPE-10243-TDI/904). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, Mar. 2001.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPER, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/ Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v.115, n.8, p.1606-1626, Aug. 1987.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPER, M. S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v.2, n.3, p.268-284, Mar. 1989.

SANCHES, M.B. **Análise Sinótica da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) Utilizando-se a Técnica de Composição**. 95p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, Mar. 2002.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.A.; SILVA DIAS, P.L. **South America**. In: Karoly, D.J.; D.G. Vincent ed. *Meteorology of the South Hemisphere*. Boston. MA.: American Meteorology Society, Cap.3, p.119-140, 1998.

SILVA DIAS, P.L.; CAPLAN, P.; KOUSKY, V.E. As chuvas Intensas de Fevereiro de 1988: Circulação Global e Previsibilidade. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 5., 1988, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: SBMET, 1988, v.2, p.6-10.

SILVA DIAS, P.L.; SCHUBERT, W.H. E DEMARIA, M. Large-scale response of the tropical atmosphere to transient convection. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.40, n.11, p.2689-2707, 1983.



STOECKENIUS, T. Interannual variations of tropical precipitation patterns. **Monthly Weather Review**, v.109, n.6, p.1233-1247, June 1981.

SURFER 8.0. Golden, CO: Golden Software, 2002. 1 CD-ROM. Disponível em: <www.goldensoftware.com>

TREWARTHA, G. T. **The Earth's Problem Climates**. The University of Wisconsin Press, 334 pp, 1961.

UVO, C.B. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro**. 99p. (INPE-4887-TDL/378). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, Agosto 1989.

VELASCO, I.; FRITSCH, J.M. Mesoscale convective complexes in the Americas. **Journal of Geophysical Research**, v.92, n.D8, p.9591-9614, Aug.1987.

VINCENT, D.G. The South Pacific Convergence Zone (SPCZ): A review. **Monthly Weather Review**, v.122, n.9, p.1949-1970, Sept 1994.

VIRJI, H. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. **Monthly Weather Review**, v.109, n.3, p.599-610, Mar. 1981.

VITORINO, M.I.; SILVA, M.E.S.; ALVES, J.M.B. Classificação de Sistemas Convectivos de Mesoescala no Setor Norte do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.12, n.1, p.21-32, 1997.

VITORINO, M.I. **Análise das oscilações intrasazonais sobre a América do Sul e oceanos adjacentes utilizando a análise de ondeletas**. 344p. (INPE-9822-TDI/865). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, Dezembro 2002.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences: An introduction**. San Diego: Academic Press, 1995. 470 p.

YAMAZAKI, Y.; RAO, V.B. Tropical cloudiness over South Atlantic Ocean. **Journal Meteorological Society of Japan**, v.55, n.2, p.205-207, Apr. 1977.

**Em branco**

## **APÊNDICE A**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DAS FONTES DE DADOS**

#### **A.1 Estações pluviométricas**

De acordo com dados de Dezembro de 2005, o Sistema de Monitoramento da ANEEL recebe dados de 896 estações pluviométricas e 662 estações pluviométricas referentes a mais de 800 Usinas Hidrelétricas, o que corresponde ao monitoramento de mais de 90% de toda a potência instalada no país. Os dados pluviométricos são medidas pontuais e que, portanto se encontram irregularmente espaçadas.

#### **A.2 Reanálise do NCEP/NCAR**

Projeto cujo propósito foi reanalisar dados atmosféricos de 1957 a 1996 usando um modelo de estado-da-arte. A motivação para este projeto foi remover as aparentes “mudanças climáticas” que resultavam dos ajustes realizados nos sistemas operacionais de previsão de tempo. Estes ajustes representavam esforços feitos para melhorar as previsões. O sistema de assimilação de dados e o modelo utilizado na reanálise são idênticos ao sistema global implementado operacionalmente no NCEP em Janeiro de 1995, exceto que a resolução horizontal é T62 (cerca de 210 km).

O sistema de reanálise do NCEP/NCAR tem três maiores módulos: decodificador de dados e controle de qualidade pré-processador, módulo de assimilação de dados com um sistema de monitoramento automático e módulo de arquivo. A base de dados da reanálise do NCEP/NCAR consiste de dados de radiossonda global, dados do Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (COADS), dados de avião, dados sinóticos em superfície do continente, dados em superfície das velocidades do vento do Special Sensing Microwave/Imager (SSM/I) e dados de satélite das correntes de vento nas nuvens. Os dados oriundos dessas diferentes fontes são reformatados para um formato uniforme

binary universal format representation (BUFR) e então pré-processados uma ou mais vezes em um tempo, antes do atual módulo de reanálise ser executado numa taxa de um mês por dia.

O módulo central da reanálise do NCEP/NCAR é a assimilação de dados usando o modelo T62 spectral global do NCEP com 28 níveis. As variáveis de saída são classificadas em quatro categorias, dependendo do grau em que são influenciadas pelas observações e/ou pelo modelo. A designação A indica que a variável analisada é fortemente influenciada pelos dados observados, e esta é categoria de maior confiança (por exemplo, temperatura em altos níveis e vento). A designação B indica que, embora existam dados observacionais que afetam diretamente o valor da variável, o modelo também tem uma forte influência no valor da análise (por exemplo, umidade e temperatura em superfície). A letra C indica que não existem observações que afetem diretamente a variável, assim esta é derivada somente dos campos do modelo forçados pela assimilação de dados a permanecer próximo da atmosfera (por exemplo, nuvens, precipitação e fluxos em superfície). Finalmente a letra D representa um campo que é obtido de valores climatológicos e que não depende do modelo (por exemplo, resistência de plantas, máscara terra-mar). Embora esta classificação seja subjetiva, deve-se ter cuidado ao interpretar os resultados da reanálise, especialmente para as variáveis classificadas nas categorias B e C.

Com as variáveis reanalisadas (u-velocidade do vento zonal, v-velocidade do vento meridional, T-temperatura, q-umidade) o modelo de circulação geral (T62128) é integrado por 6 horas e se obtém as variáveis do tipo C: precipitação total, convectiva, fluxos de superfície, etc. Portanto, a precipitação acumulada que é obtida através da reanálise não é baseada em dados observados, radar ou estimativas de precipitação de satélites. Derivada da integração do modelo por seis horas, esta variável é fortemente influenciada

pela análise inicial (vento, temperatura e umidade) e pelas parametrizações físicas do modelo.

Maiores informações sobre o projeto de reanálise do NCEP/NCAR podem ser encontradas em Kalnay et al. (1996).

### **A.3 Satélite TRMM**

O satélite TRMM, lançado em 28 de Novembro de 1997 de Tanegashima no Japão, é um projeto que resultou de uma parceria entre a National Aeronautics and Space Administration (NASA) e a Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA).

Construído de forma que pudesse medir a precipitação tanto sobre o continente quanto sobre o oceano na faixa tropical; a sua variabilidade e o calor latente associado. Possui uma órbita circular a 350 Km, sol-síncrona com uma inclinação de 35° para o Equador, entre 350N e 350S. O período de revolução deste satélite é de 91,5 minutos, perfazendo 15,9 órbitas por dia. Sua varredura cobre toda a faixa tropical (Kummerow et al., 2000). Cada amostra de área é visitada pelo menos uma vez por dia em baixas latitudes, mas em horários diferentes todo dia, levando 35 dias para passar no mesmo ponto e no mesmo horário. A Figura A.1 mostra a órbita do TRMM cobrindo toda a faixa tropical.

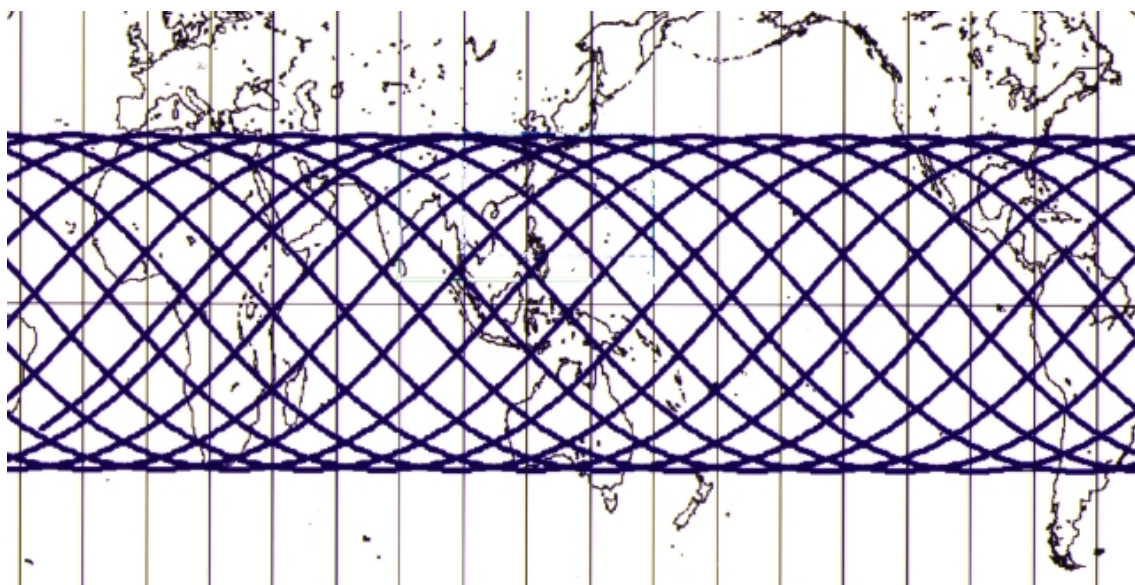


Figura A.1 - Órbita do TRMM.

Fonte: TRMM data users handbook (2001).

Os instrumentos principais que compõem o TRMM são (Kummerow et al., 1998):

- Imageador de Microondas do TRMM (TRMM Microwave Imager - TMI) – radiômetro de microondas passivo com nove canais. Este sensor é baseado no Sensor/Imageador Especial de Microondas (SSM/I) com a adição de um par de canais em 10,7 GHz com polarização horizontal e vertical e a mudança do canal de vapor de água de 22,235 para 21,3 GHz. Esta mudança do centro da linha de vapor de água foi feita para evitar saturação na órbita tropical do TRMM. A utilização do TMI é excelente sobre o oceano, proporcionando uma ótima recuperação de todos os tipos de chuva, com uma ótima resolução espacial devido a baixa altitude da órbita do satélite. Ele também auxilia na determinação de características da variabilidade diurna e semidiurna da precipitação tropical. Dessa forma essa ferramenta disponibiliza informações sobre

distribuição espacial e intensidade de precipitação (Camargo e Ferreira, 2001).

- Radar de Precipitação (Precipitation Radar - PR) – proporciona a estrutura tridimensional da chuva, particularmente da distribuição vertical, bem como a obtenção de medidas quantitativas de precipitação sobre continente e oceano. Portanto, pode-se obter o perfil vertical dos hidrometeoros nas nuvens e taxas de precipitação.
- Escaneador Visível e Infravermelho (Visible Infrared Scanner - VIRS) – espectrorradiômetro imageador de cinco canais atuando com bandas de comprimento de onda de 0.6 a 12  $\mu\text{m}$ . Disponibiliza dados de temperatura do topo das nuvens e suas estruturas para complementar a descrição obtida pelos dois sensores microondas. Embora as informações de precipitação direta do VIRS sejam menos fidedignas do que as obtidas pelos sensores microondas, ela tem um importante papel como elo entre a alta qualidade, mas com observações não freqüentes, do TMI e PR e os dados VIS/IR de satélites geoestacionários, que são mais disponíveis e apresentam maiores séries temporais.

Além desses o TRMM carrega dois instrumentos relacionados ao Sistema de Observação da Terra (Earth Observing System - EOS):

- Sistema de Radiação Terrestre e da Nuvem (Clouds and Earth's Radiant Energy System - CERES) - mede energia radiativa emitida e refletida pela superfície terrestre, pela atmosfera e pelos seus constituintes (nuvens aerossóis, etc).
- Sensor Imageador de Descargas Elétricas (Lightning Imaging Sensor - LIS) - determina a incidência global de descargas elétricas, sua relação com o circuito elétrico global, e sua correlação com a precipitação.

Segundo Camargo e Ferreira (2001), o TMI detecta a presença de água em nuvens e precipitação, não apenas por emissão, mas também pelo espalhamento das partículas de gelo relativamente grandes. As imagens do VIRS são inadequadas para mapear a precipitação devida às características dos sinais envolvidos. Por outro lado, a combinação delas possibilita a obtenção de diversos campos de interesse meteorológico. Combinando imagens dos canais infravermelho próximo e infravermelho térmico, obtém-se o mapeamento de nevoeiros e nuvens de gelo. O PR possibilita uma visão quantitativa da precipitação em um domínio espacial pequeno. Os dados do PR são úteis para o aprimoramento do conhecimento da dinâmica de nuvens e têm aplicação em estudos sobre a estrutura física da nuvem e também na definição de altura, onde ocorre a máxima liberação de calor latente de condensação.

Os dados de todos os instrumentos do satélite TRMM se tornaram disponíveis aproximadamente 30 dias após o lançamento. Desde então, muito progresso tem sido feito na calibração dos sensores, o aperfeiçoamento dos algoritmos de precipitação, e a aplicação desses resultados a áreas tais como a assimilação de dados. Todos os produtos do TRMM têm versões que são aperfeiçoadas cada vez que os dados são reprocessados de modo a refletir um avanço dos produtos do TRMM. Após o início do lançamento da versão 3 (versões 1 e 2 foram lançadas anteriormente como códigos de teste), os dados foram reprocessados para a versão 4 em 1 de Setembro de 1998 e para a versão 5 em 1 de Outubro de 1999.

Um dos componentes fundamentais da missão TRMM são os estudos de validação dos sensores do satélite. Tais estudos é que permitirão o desenvolvimento de modelos e algoritmos que relacionem as medidas dos sensores a bordo do satélite com quantidades úteis, tais como taxas de precipitação, perfis verticais de calor latente de condensação, etc. Normalmente as missões de validação são feitas para diferentes áreas,



englobando oceanos e diferentes continentes uma vez que os processos convectivos apresentam considerável variação espacial, isto é, um algoritmo validado para uma região oceânica provavelmente não será aplicável aos sistemas convectivos da Amazônia. Numa típica campanha de validação, procura-se medir a chuva e a estrutura vertical das nuvens com bastante precisão a partir de sensores colocados no solo ou a bordo de aeronaves de pesquisa.

Com relação ao PR, cujos dados foram utilizados neste trabalho, a Figura A.2 mostra o conceito de medida da precipitação através deste instrumento e suas principais características.

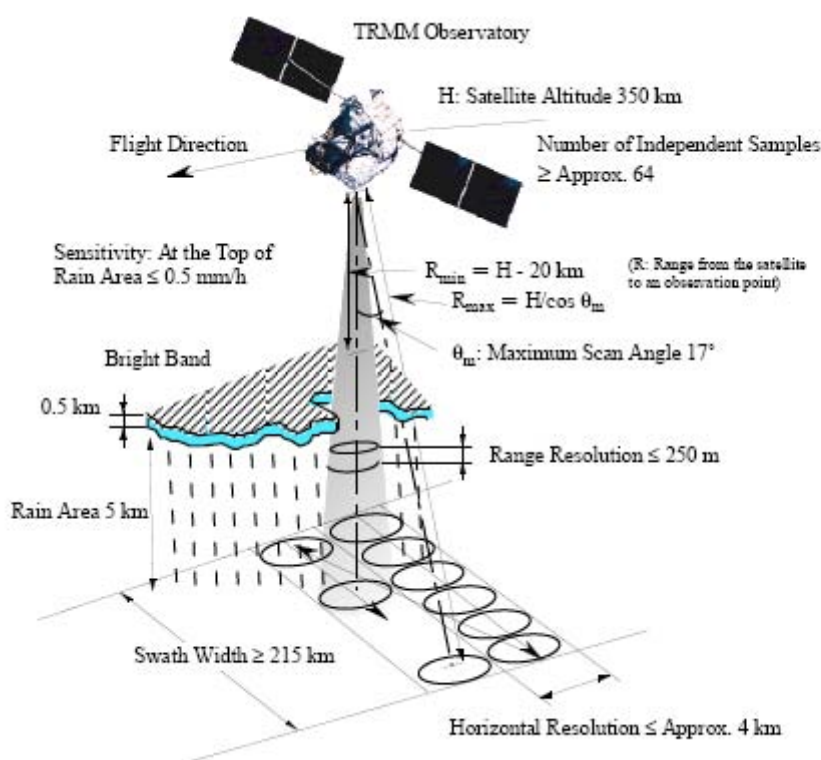


Figura A.2 - Conceito da medida de precipitação efetuada pelo PR a bordo do TRMM  
 Fonte: TRMM data users handbook (2001)

O princípio da medida de precipitação usando o radar faz uso das ondas de rádio. Quando ondas de rádio são emitidas do radar, elas são espalhadas

pelas gotas de chuva e uma parte retorna na direção do radar. A quantidade de precipitação é estimada baseada em uma expressão relacional (equação do radar) que é estabelecida entre a intensidade da energia das ondas espalhadas e a intensidade de precipitação que são recebidas pela antena do radar. O PR transmite pulsos de ondas de duas frequências ( $f_1=13.796$  GHz,  $f_2=13.802$  GHz) a cada  $360.23 \mu\text{s}$ , que é um intervalo de repetição da transmissão do pulso.

A experiência obtida na caracterização tridimensional da precipitação nos trópicos levou a NASA e a JAXA a elaborarem o Global Precipitation Measuring Mission (GPM). O GPM tem como objetivo principal o monitoramento da precipitação em tempo real a cada 3 horas sobre o globo, com uma resolução inferior a  $25 \times 25 \text{ km}^2$ .

#### **A.4 GPCP**

O GPCP foi estabelecido em 1986 com o objetivo inicial de fornecer dados médios mensais de precipitação numa grade  $2.50 \times 2.50$  latitude – longitude, desde 1979, e a partir de 1997, dados diários numa grade  $10 \times 10$  latitude – longitude. O GPCP estima a precipitação unindo um satélite constituído de sensores em infravermelho e microondas com dados de chuva de aproximadamente 6700 estações ao redor do globo.

Os dados do GPCP são capazes de revelar mudanças na precipitação observada nas escalas de tempo sazonal a interanual e na validação da precipitação gerada pelo modelo dos sistemas de reanálise do NCEP/NCAR e ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts).

A Versão 2 utilizada neste trabalho contém dados dos seguintes centros:

1. GPCP Polar Satellite Precipitation Data Centre - Emissão (estimativas de emissão do SSM/I),
2. GPCP Polar Satellite Precipitation Data Centre - Espalhamento (estimativas de espalhamento do SSM/I),
3. GPCP Geostationary Satellite Precipitation Data Centre (estimativas GPI (Global Precipitation Index) e OPI (OLR Precipitation Index) e análises de estações pluviométricas),
4. NASA/GSFC Satellite Research Team (estimativas TOVS (TIROS Operational Vertical Sounder) e AIRS (Atmospheric Infrared Sounder)),
5. GPCP Global Precipitation Climatology Centre (análises de estações pluviométricas)

## **PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE**

### **Teses e Dissertações (TDI)**

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

### **Manuais Técnicos (MAN)**

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

### **Notas Técnico-Científicas (NTC)**

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programa de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

### **Relatórios de Pesquisa (RPQ)**

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

### **Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)**

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

### **Publicações Didáticas (PUD)**

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

### **Publicações Seriadas**

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

### **Programas de Computador (PDC)**

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. São aceitos tanto programas fonte quanto executáveis.

### **Pré-publicações (PRE)**

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.