UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

VERANICOS OCORRIDOS NA PORÇÃO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL ENTRE 1978 E 2005 E SUA ASSOCIAÇÃO ÀS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NA ATMOSFERA

JORGE SLEIMAN

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, sob orientação da Professora Doutora Maria Elisa Siqueira Silva, como requisito à obtenção de Titulo de Mestre em Geografia.

SÃO PAULO
2008

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

VERANICOS OCORRIDOS NA PORÇÃO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL ENTRE 1978 E 2005 E SUA ASSOCIAÇÃO ÀS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NA ATMOSFERA

JORGE SLEIMAN

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, sob orientação da Professora Doutora Maria Elisa Siqueira Silva, como requisito à obtenção de Título de Mestre em Geografia.

SÃO PAULO
2008

VERANICOS OCORRIDOS NA PORÇÃO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL ENTRE 1978 E 2005 E SUA ASSOCIAÇÃO ÀS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NA ATMOSFERA

JORGE SLEIMAN

Aprovado em 07/11/2008 pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção de Título de Mestre em Geografia

Membros da Banca Examinadora:

Profª. Dra. Maria Elisa Siqueira Silva – Presidente - (FFLCH/USP)
Prof. Dr. Emerson Galvani – Titular - (FFLCH/USP)
Profª. Dra. Rosmeri Porfírio da Rocha - Titular - (IAG/USP)

São Paulo – SP
2008

Ao sempre lembrado sobrinho Thiago Sleiman da Silva (*in memorian*)

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos sinceros a todas as pessoas que colaboraram para minha vinda a São Paulo e aos auxílios recebidos.

Ao professor *(in momorian*) Felisberto Cavalheiro que me inseriu na comunidade USP, em 2003, como aluno especial.

À professora Maria Elisa que depositou confiança em mim para realização do projeto de Mestrado e que durante o andamento do curso sempre demonstrou atenção e preocupação em passar seus conhecimentos.

Ao professor Yuri Tavares Rocha do Departamento de Geografia dando-me a oportunidade de apresentar-me à Maria Elisa.

Ao meu irmão Michel Sleiman que me incentivou a cursar o Mestrado apoiando-me de forma incondicional em todas as etapas do curso.

Aos meus pais, pelo carinho e apoio integral, mesmo desde antes de minha vinda a São Paulo até a finalização do curso.

Aos meus colegas de pós-graduação Júlio Chiquetto, Karine dos Santos, Elaine Rosângela, e, ao Rogério, secretário do LCB/USP, sempre prestativos.

Aos professores José Bueno Conti e Emerson Galvani que estavam presentes em minha qualificação de Mestrado.

Ao professor Tarik Rezende de Azevedo que permitiu a mim assistir às suas aulas de Climatologia I.

Ao Josué Azevedo dos Santos por sua colaboração com a língua inglesa.

Aos alunos e professores do IAG/USP, como Luiz Felipe Gozzo (aluno) que me auxiliou com o software GrADS no Laboratório de Climatologia e Biogeografia do Departamento de Geografia da FFLCH/USP; aos professores Ricardo de Camargo e Pedro Dias.

À Viviane B. S. Silva do CPC/NOAA/EUA, pela cessão de dados de precipitação diária para a América do Sul.

Às secretárias acadêmicas Ana, Cida, Jurema e Rosângela sempre dispostas ao esclarecimento das dúvidas.

E a inestimável contribuição da CAPES, pela cessão de uma bolsa de estudos que permitiu a existência de melhores condições de bem estar nos últimos dois anos.

RESUMO

A atividade agrícola é muito importante para a economia do Rio Grande do Sul, cuja região alvo deste estudo é sua porção noroeste, representada por seis municípios: São Luiz Gonzaga, Santa Rosa, Cruz Alta, Iraí, Passo Fundo e Marcelino Ramos. Esta região é foco nacional de produção de soja, dependendo fortemente das condições atmosféricas, tanto em escala sinótica quanto climática. Os períodos secos, conhecidos como veranicos, durante a fase de desenvolvimento até a colheita, que acorrem entre outubro e março, acarretam vários prejuízos à região. O objetivo do trabalho é estimar a climatologia de ocorrência de veranicos no NW do RS, no primeiro e quarto trimestres do ano, entre 1978 e 2005 e associá-los a padrões atmosféricos característicos. Verificou-se que o maior número de veranicos ocorre no primeiro trimestre em relação ao quarto, resultado que apresenta correlação direta com o volume médio climatológico de precipitação para esses 2 trimestres. Março e dezembro apresentam mais eventos secos do que os outros meses, o que parece ser resposta direta de menor volume de chuva. Por outro lado, numa análise espacial, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga apresentam os maiores números de veranicos, mesmo com médias anuais climatológicas de precipitação superior aos demais municípios. Durante os períodos secos (úmidos) verificou-se o padrão dipolo com base na ROL. Nesses períodos, no sul do Brasil foram observados baixos (altos) valores de ROL, em relação à média climatológica. Sobre o norte e nordeste do Brasil há a inversão das anomalias de ROL, configurando o dipolo. Anomalias de convergência (divergência) em altos níveis são observadas sobre boa parte do sul do Brasil e oceano Atlântico adjacente, durante períodos secos (úmidos), fornecendo desta forma, maior divergência em baixos níveis. A circulação do ar em períodos úmidos (secos) evidencia a intensificação (enfraquecimento) do JBN em direção ao sul do Brasil, contribuindo para o incremento (decréscimo) de chuvas na região. Anomalias negativas e positivas de TSM sobre o Pacífico Equatorial parecem influir em todos os meses selecionados a variabilidade de precipitação no sul e a variabilidade da TSM do Atlântico Subtropical, adjacente à Região Sul do País, não influencia diretamente a variabilidade de chuvas sobre o RS. Assim, conclui-se que períodos de veranicos ou úmidos são descritos por padrões climáticos definidos.

Palavras chave: climatologia, precipitação, padrões atmosféricos, veranico, soja

ABSTRACT

Agriculture plays an extremely important role in the economy of Rio Grande do Sul state. The target region of the present work in its northwest portion is represented by six cities: São Luiz Gonzaga, Santa Rosa, Cruz Alta, Iraí, Passo Fundo e Marcelino Ramos. It constitute a national focus of soya production and thus depend heavily on atmospheric conditions not only in the synoptic scale but also in climatic. In dry spells periods (known as veranicos in portuguese), during growing to harvest and, comprehending the months from October to March, the frequent lack of rain brings great economic losses to the region. The aim of this work is to estimate the climatology of dry spells occurrence in the northwest portion of Rio Grande do Sul in the first and fourth quarters of the year, between 1978 and 2005. Related to extreme climatic periods and the greater occurrence of dry spells, we depicted atmospheric and oceanic patterns. In conclusion, it is stated that the number of dry spells that occur in the first quarter of the year is greater than that which take place in the fourth quarter what is directly related to the monthly precipitation climatology. Santa Rosa is the municipality which presents the greater number of dry spells, even with higher monthly climatologic average than the other locations. March and December present more events than the other months, what in this case is related to the low amount of precipitation. During dry and wet periods, there is the evidence of a dipole standard based on ROL data. During dry (wet) periods in the southern part of Brazil it is observed low (high) values of ROL, in relation to climatology. Over the northern region of Brazil, during the same periods, it is observed inverted ROL anomalies, figuring the dipole pattern. An anomalous convergence (divergence) region in high levels above part of the South Region and the adjacent South Atlantic is observed during dry (wet) periods. The circulation pattern in low atmospheric levels, during wet (dry) periods, shows the strengthening (weakening) of the meridional low levels jet, which contributes for the increase (decrease) of rain in the region. ENSO events are somehow connected to the occurrence of dry spells in the region of study. All the considered month during dry (wet) periods in climatic extremes are related to negative (positive) TSM anomalies in the Equatorial Pacific region, that is, to La Niña (El Niño) events. This strong relation between precipitation variability and surface temperature anomalies over South Atlantic is not so evident. In conclusion, the occurrence of dry spells periods is well related to extreme climatic conditions.

Key-words: climatology, precipitation, standards atmospherics, dry spells, soya

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS *10*

LISTA DE FIGURAS *12*

LISTA DE TABELAS *18*

CAPÍTULO I

1 Introdução *20*

1.1 Justificativa *22*

1.2 Objetivo Geral *24*

1.3 Hipótese *24*

1.4 Caracterização Geográfica do Rio Grande do Sul *25*

1.5 Mecanismos de grande escala que controlam o comportamento atmosférico no Sul do Brasil *30*

1.6 Sistemas sinóticos que atuam no Rio Grande do Sul *40*

1.7 Veranico *49*

CAPÍTULO II

2 Dados meteorológicos e metodologia *54*

CAPÍTULO III

3 Resultados e discussões *60*

3.1 Climatologia de precipitação e temperatura na Região Sul do Brasil *60*

3.2 Evolução temporal do ENOS e caracterização climática do Noroeste do Rio Grande do Sul *63*

3.3 Precipitação anual na Região Noroeste do Rio Grande do Sul *74*

3.4 Variabilidade sazonal de precipitação no NW do RS *77*

3.4.1 Evolução temporal da precipitação mensal no NW do RS *79*

3.5. Ocorrência de veranico na porção noroeste do Rio Grande do Sul *89*

3.6 Padrões atmosféricos associados às condições de extremos climáticos *106*
3.6.1 Eventos Secos *108*
Divergência do ar em 200 e 850 hPa *110*
Escoamento médio do ar em 200 e 850 hPa *114*
Altura geopotencial em 200 e 850 hPa *118*
Radiação de onda longa emergente (ROL) *122*
Pressão à superfície *124*
Temperatura à superfície do mar (TSM) *126*
3.6.2 Eventos Úmidos *129*
Divergência do ar em 200 e 850 hPa *131*
Escoamento médio do ar em 200 e 850 hPa *135*
Altura geopotencial em 200 e 850 hPa *139*
Radiação de onda longa emergente (ROL) *143*
Pressão à superfície *145*
Temperatura à superfície do mar (TSM) *147*

CAPÍTULO IV
4 Conclusões *150*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS *155*

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

AS - América do Sul

CPTEC/INPE - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

EMATER/RS Associação Riograndense de Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural

EN - El Niño

ENOS - El Nino Oscilação Sul

FEE/RS - Fundação Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser

FFLCH - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas

FIDENE/RS - Fundação de Integração, Desenvolvimento do Noroeste do Estado

FORTRAN - Formula Translation

GEOP - Geopotencial

GrADS - Grid Analysis and Display System

HS - Hemisfério Sul

IAG - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IOS - Índice de Oscilação Sul

IR - Infrared (Infravermelho)

JBN - Jato de Baixos Níveis

JS - Jato Subtropical

LN - La Niña

NCAR - National Center for Atmospheric Research

NCEP - National Centers for Environmental Prediction

NW - Noroeste

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration

OMJ - Oscilação Madden e Julian

PNM - Pressão ao Nível do Mar

PRECIP - Precipitação

ROL - Radiação de Onda Longa Emergente

RS - Rio Grande do Sul

S - Sul

SCM - Sistema Convectivo de Mesoescala

SEFAZ/RS - Secretaria da Fazenda do Rio Grande do Sul

SF - Sistema Frontal

TSM - Temperatura da Superfície do Mar

U - Vento Zonal

USP - Universidade de São Paulo

V - Vento Meridional

VCAN - Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO I

Figura 1.1: Localização dos municípios do NW do RS: Santa Rosa (1), São Luiz Gonzaga (2), Cruz Alta (3); Passo Fundo (4), Marcelino Ramos (5) e Irai (6) *23*

Figura 1.2: Topografia (m) da Região Sul *27*

Figura 1.3: Unidades do Relevo Brasileiro *27*

Figura 1.4: Escoamento Médio do ar em 850 hPa para Janeiro (1978-2005) *29*

Figura 1.5: Teleconexões no Hemisfério Sul áreas usadas para a análise atmosférica (1 e 2) e análise oceânica (3 e 4) *32*

Figura 1.6: Localização Geográfica de Darwin na Austrália e Taiti na Polinésia no Pacifico Sul..... *34*

Figura 1.7 (A): Representação Esquemática da Circulação Oceânica na Fase Negativa do IOS.com indicação da intensidade da circulação..... *34*

Figura 1.7 (B): Representação Esquemática da Circulação Oceânica na Fase Positiva do IOS com indicação da intensidade da circulação..... *34*

Figura 1.8: Efeitos do Fenômeno ENOS na América do Sul *36*

Figura 1.9 (A) Regiões de Niño no Pacífico Equatorial: 4, 3.4, 3 e 1+2 ..... *37*

Figura 1.9 (B): Regiões oceânicas preferenciais que afetam o regime de precipitação no sul do Brasil. No Pacífico, o Pacífico Equatorial tem-se a Região Nino 4, 3.4, 3 e 1+2 e no Atlântico, o Atlântico Subtropical, nas coordenadas 30°O e 60°O *37*

Figura 1.10 (A e B) Correlação entre TSM das regiões do Niño 1+2 e 3.4 e a precipitação no sul e norte do Brasil *38*

Figura 1.11: Imagem de um VCAN com nebulosidade para a formação de fortes trovoadas e até tornados, no sul do Brasil *45*

Figura 1.12: (Quadros A e B) IR com nebulosidade associadas a um SCM sobre parte do RS, Argentina e o Paraguai *46*

Figura 1.13: Imagem aproximada do fluxo zonal (comprimento entre 5.000 e 7.000 Km) (A) e meridional (B) do Jato Subtropical no sul da América do Sul *47*

Figura 1.14 Regiões de convergência e divergência na entrada e saída do JS no HS..... *48*
Figura 1. 15 (Quadro 1 a 3). Geopotencial, as anomalias de geopotencial (500hPa) e de PNM, anomalias de PNM, na AS, para março de 2007..... *48*

CAPITULO III

Figura 3.1: Precipitação Média Anual (mm/ano) no Brasil, para o período de janeiro de 1978 a dezembro de 2005 ..... *61*
Figura 3.2: Precipitação Média Anual (mm/ano) entre 1978 e 2005 na Região Sul do Brasil *61*
Figura 3.3: Topografia (m) do NW do RS e do Estado de Santa Catarina..... *62*
Figura 3.4: Temperatura do ar média anual em superfície em todo o Brasil entre 1979 e 2005..... ..... *62*
Figura 3.5: Anomalia anual de precipitação para as seis localidades do NW do RS, 1978 a 2005 ..... *64*
Figura 3.6 Seleção de alguns anos de anomalia de precipitação na Região Sul para anos, com anomalia positiva *64*
Figura 3.6 (B) Seleção de alguns anos de anomalia de precipitação na Região Sul para anos, com anomalia negativa *65*
Figura 3.7 Precipitação acumulada anual entre os seis municípios do NW do RS para o período de 1978 e 2005..... *67*
Figura 3.8 Composição média de três meses entre 1970 e 2005 em que períodos mais quentes (preto) e mais frios (cinza) no Oceano Pacífico Equatorial foram registrados, com anomalia absoluta de TSM superior a + ou - 0,5ºC, na região do Niño 3.4 ..... *71*
Figura 3.9 Evolução entre 1970 e 2005 de números de anomalia de TSM positiva (preta) ou negativa (cinza) de + ou – 0,5ºC, por ano, na região do Pacífico equatorial conhecida como Niño 3.4..... *71*
Figura 3.10 (A) Anomalias de TSM (ºC) nas quatro regiões de Niño do Pacífico equatorial 1+2, 3, 3.4 e 4 de 1978 a 2006 ..... *72*
Figura 3.10 (B) (Quadro 1 a 8) Valor absoluto e as anomalias de TSM nas

regiões de Niño 1+2 (1,2), Nino 3 (3,4), Niño 3.4 (5,6) e Nino 4 (7,8) entre 1978 e 2006 ..... *73*
Figura 3.11 Precipitação média (mm), entre 1978 e 2005, para os municípios São Luiz Gonzaga, Santa Rosa, Cruz Alta, Irai, Passo Fundo e Marcelino Ramos... *75*
Figura 3.12 Desvio padrão de precipitação anual em São Luiz Gonzaga, Santa Rosa, Cruz Alta, Irai, Passo Fundo e Marcelino Ramos *75*
Figura 3.13 (Quadros 1 a 6) Precipitação anual (mm) em São Luiz Gonzaga, Santa Rosa, Cruz Alta, Irai, Passo Fundo e Marcelino Ramos *75*
Figura 3.14 Precipitação média anual para a Região NW do RS, entre 1978 e 2005 ..... *76*
Figura 3.15 Precipitação climatológica mensal (mm) entre 1978 e 2006, para os seis municípios da Região Noroeste do RS *77*
Figura 3.16 (Quadros 1 a 12) Precipitação média mensal para todos os meses de ano (Janeiro a dezembro) na Região Sul do Brasil, no período de 1978 a 2006. *78*
Figura 3.17 (Quadros 1 a 12) Evolução temporal da precipitação mensal (curva tracejada) na Região Noroeste do RS para os meses de janeiro a dezembro. Estão assinalados os valores de ±1σ e da tendência linear da precipitação em cada mês, para o período de 1978 a 2005. ..... *80*
Figura 3.18: Representação de desvio padrão mensal (mm) médio no NW do RS de 1978 a 2006..... *82*
Figura 3.19 (Quadros 1 a 12) Desvio padrão médio mensal (jan/dez) representando a Região Sul do Brasil..... *83*
Figura 3.20 (Quadros 1 a 12) Variabilidade interanual da precipitação (mm) de janeiro a dezembro, de 1978 a 2005, para a Região Noroeste do RS..... *86*
Figura 3.21 Número de veranicos no NW do RS para jan/fev/mar (lado esquerdo) e out/nov/dez (lado direito) trimestres, no período de 1978 a 2005... *89*
Figura 3.22 Número de veranicos no primeiro trimestre do ano, entre 1978 a 2005. .... *90*
Figura 3.23 Número de veranicos do último trimestre do ano, entre 1978 e 2005.. *90*
Figura 3.24 Número de veranicos nos seis postos da Região Noroeste do RS, no primeiro trimestre do ano, de 1978 e 2005..... *91*
Figura 3.25 Número de veranicos nos seis postos da Região Noroeste do RS, no último trimestre do ano, de 1978 e 2005..... *91*

Figura 3.26 Número de veranicos nos meses do primeiro trimestre do ano, para cada posto selecionado, de 1978 e 2005..... *92*
Figura 3.27 Número de veranicos nos meses do último trimestre do ano, para cada posto selecionado, de 1978 e 2005..... *93*
Figura 3.28 Total anual de veranicos no primeiro trimestre nos seis postos, na Região Noroeste do RS, de 1978 e 2005..... *94*
Figura 3.29 Total anual de veranicos no quarto trimestre nos seis postos, na Região Noroeste do RS, de 1978 e 2005..... *94*
Figura 3.30 Número de veranicos no primeiro trimestre nos seis municípios do noroeste do Rio Grande do Sul, entre 1978 e 2005..... *101*
Figura 3.31 Número de veranicos no quarto trimestre nos seis municípios no noroeste do Rio Grande do Sul, de 1978 a 2005..... *101*
Figura 3.32 Número de veranicos do mês de janeiro entre 1978 e 2005, no nw do RS..... *103*
Figura 3.33 Número de veranicos do mês de fevereiro entre 1978 e 2005, no nw do RS..... *103*
Figura 3.34 Número de veranicos do mês de março de 1978 e 2005, no nw do RS *103*
Figura 3.35 Número de veranicos em outubro, na Região NW do RS, de 1978 a 2005..... *106*
Figura 3.36 Número de veranicos em novembro, na Região NW do RS, de 1978 a 2005..... *106*
Figura 3.37 Número de veranicos em dezembro, na Região NW do RS, de 1978 a 2005..... *106*
Figura 3.38 Número de veranicos no primeiro e quarto trimestre do ano, de 1978 a 2005..... *105*
Figura 3.39 Número de veranicos nos dois trimestres juntos, no noroeste do RS, de 1978 a 2005..... *105*
Figura 3.40 (Quadros 1 a 6). Anomalias mensais de precipitação (mm) do 1°e 4° trimestres, entre janeiro 1978 a julho de 2006 no noroeste do RS..... *107*
Figura 3.41 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de divergência em 200(10^{-5} s^{-1}) e 850 hPa nos meses de janeiro (1,2,3,4), fevereiro (5,6,7,8), março (9,10,11,12), outubro(13,14,15,16), novembro(17,18,19,20) e dezembro (21,22,23,24) em períodos secos, entre *110*

1978 a 2005.....
Figura 3.42 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico do vento (ms^{-1}) em 200 e 850 hPa nos meses de janeiro (1,2,3,4), fevereiro (5,6,7,8), março (9,10,11,12), outubro (13,14,15,16), novembro (17,18,19,20) e dezembro (21,22,23,24) em períodos secos, entre 1978 a 2005..... *114*
Figura 3.43 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de altura geopotencial (mgp) em 200 e 850 hPa nos meses de janeiro (1,2,3,4), fevereiro (5,6,7,8), março (9,10,11,12), outubro (13,14,15,16), novembro (17,18,19,20) e dezembro (21,22,23,24) em períodos secos, entre 1978 a 2005 *118*
Figura 3.44 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de ROL (Wm^{-2}) nos meses de janeiro (1,2), fevereiro (3,4), março (5,6), outubro (7,8), novembro (9,10)e dezembro (11,12), em períodos secos, entre 1978 a 2005..... *122*
Figura 3.45 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de PNM (hPa) nos meses de janeiro (1,2), fevereiro (3,4), março (5,6), outubro (7,8), novembro (9,10) e dezembro (11,12), em períodos secos, entre 1978 a 2005.... *124*
Figura 3.46 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de TSM (ºC) nos meses de janeiro (1,2), fevereiro (3,4), março (5,6), outubro (7,8), novembro (9,10) e dezembro (11,12), em períodos secos, entre 1978 a 2005.... *126*
Figura 3.47 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de divergência (10^{-5} s^{-1}) em 200 e 850 hPa nos meses de janeiro (1,2,3,4), fevereiro (5,6,7,8), março (9,10,11,12), outubro(13,14,15,16), novembro(17,18,19,20) e dezembro(21,22,23,24) em períodos úmidos, entre 1978 a 2005..... *131*
Figura 3.48 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico do vento (ms^{-1}) em 200 e 850 hPa nos meses de janeiro (1,2,3,4), fevereiro (5,6,7,8), março (9,10,11,12), outubro (13,14,15,16), novembro (17,18,19,20) e dezembro (21,22,23,24) em períodos úmidos, entre 1978 a 2005..... *135*
Figura 3.49 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de altura geopotencial (mgp) em 200 e 850 hPa nos meses de janeiro (1,2,3,4), fevereiro (5,6,7,8), março (9,10,11,12),outubro (13,14,15,16), novembro (17,18,19,20) e dezembro (21,22,23,24) em períodos úmidos, entre 1978 a 2005..... ..... *139*
Figura 3.50 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de ROL

(Wm^{-2}) nos meses de janeiro (1,2), fevereiro (3,4), março (5,6), outubro (7,8), novembro (9,10)e dezembro (11,12), em períodos úmidos, entre 1978 a 2005.. *143*

Figura 3.51 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de pressão à superficie (hPa) nos meses de janeiro (1,2), fevereiro (3,4), março (5,6), outubro (7,8), novembro (9,10) e dezembro (11,12), em períodos úmidos, entre 1978 a 2005..... *145*

Figura 3.52 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de TSM (ºC) nos meses de janeiro (1,2), fevereiro (3,4), março (5,6), outubro (7,8), novembro (9,10) e dezembro (11,12), em períodos úmidos, entre 1978 a 2005. *147*

LISTA DE TABELAS

CAPITULO I

Tabela 1.1: Domínios morfoestruturais do Brasil..... *26*

Tabela 1.2: Efeito da radiação eletromagnética sobre a vegetação, de acordo com a faixa espectral..... *53*

CAPITULO II

Tabela 2.1: Coordenadas geográficas a altitudes dos seis municípios a noroeste do Rio Grande do Sul..... *55*

Tabela 2.2: Valores de precipitação correspondentes ao percentil 10%, P 0,1 para cada posto e cada mês considerado. *56*

CAPITULO III

Tabela 3.1: Evolução de Períodos Quentes (Vermelho) e Frios (Azul) na Região do Niño 3.4, entre 1970 a 2005. As anomalias de TSM com valores absolutos superiores a 0,5°C são marcadas com cores azul e vermelha *66*

Tabela 3.2 TSM positiva e negativa sobre o Pacífico Equatorial com intensidade superiores a 1°C e inferiores a -1°C na Região do Nino 3.4..... *68*

Tabela 3.3 Eventos El Niño e La Niña intensos (fortes), entre 1978 e 2006, em conformidade com a tabela 3.2 (Niño 3.4) *69*

Tabela 3.4 Desvio padrão da precipitação mensal para o NW do RS..... *85*

Tabela 3.5 Classificação de meses com anomalia de precipitação superior e inferior a ± 1σ, (3.20) em anos de El Niño e La Niña intenso a moderado. (Tabela 3.1, 3.2 e 3.3)..... *88*

Tabela 3.6 Número de veranicos nos seis postos do NW do RS, no primeiro trimestre do ano, para o período de 1978 a 2005 ..... *96*

Tabela 3.7. Número de veranicos nos seis postos do NW do RS, no quarto trimestre do ano, para o período de 1978 a 2005..... *97*

Tabela 3.8 Número de veranicos e valor em porcentagem nos seis postos do NW do RS, em cada mês do primeiro trimestre do ano, para o período de 1978 a 2005 .... *100*

Tabela 3.9 Número de veranicos e valor em porcentagem nos seis postos do NW

do RS, em cada mês do último trimestre do ano, para o período de 1978 a 2005 .... *102*

Tabela 3.10 Períodos extremos selecionados (precipitação > 70,0 mm) para o primeiro e quarto trimestre do ano (1978 a 2006)..... *106*

Tabela 3.11 Sinal da anomalia média mensal de divergência do ar e altura geopotencial em 200 e 850 hPa (DIV_{200}, $DIV_{850,}$ $_{200}$ e $_{850}$), ROL, PS, TSM no Pacífico Equatorial (TSMP) e TSM no Atlântico Sudoeste na costa da Região Sul do Brasil (TSMA). A cor cinza indica anomalia negativa e a branca, anomalia positiva, em períodos secos. *128*

Tabela 3.12 Sinal da anomalia média mensal de divergência do ar e altura geopotencial em 200 e 850 hPa (DIV_{200}, $DIV_{850,}$ $_{200}$ e $_{850}$), ROL, PNM, TSM no Pacífico Equatorial (TSMP) e TSM no Atlântico Sudoeste na costa da Região Sul do Brasil (TSMA). A cor cinza indica anomalia negativa e a branca, anomalia positiva, em períodos úmidos..... *149*

CAPÍTULO I

1 - INTRODUÇÃO

A variabilidade climática exerce significativa influência nas diversas atividades sócio-econômicas de cada região, especialmente na produção agrícola. Na busca da compreensão do comportamento atmosférico, um pesquisador depara-se com dificuldades de diferentes proporções. O estudo do desordenado e o desafio de analisar o que não segue uma seqüência linear ou, ao menos, previsível, como os fenômenos atmosféricos extremos, é o que torna a variabilidade climática instigante.

O clima constitui-se em um conjunto de elementos integrados, determinante para para a vida como elemento do suporte físico do espaço geográfico. Adquire relevância uma vez que sua configuração pode facilitar ou dificultar a fixação do Homem e o desenvolvimento de suas atividades nas diversas regiões do planeta. Dos elementos climáticos, a precipitação tem papel preponderante no desenvolvimento das atividades humanas, o que resulta freqüentemente em consequências na economia. A América do Sul, região caracterizada por clima tropical na maior parte de seu território, apresenta grande variabilidade temporal e espacial de precipitação atmosférica. A importância econômica da agricultura da Região Noroeste do Rio Grande do Sul (Figura 1.1) é um aspecto que contribui para a necessidade de análise mais detalhada da variabilidade da precipitação na escala sazonal e interanual, fornecendo, assim, subsídios científicos para o planejamento.

A distribuição relativamente homogênea da chuva durante as estações de primavera e verão é um fator importante para o sucesso de atividades agrícolas do noroeste gaúcho (Berlato et al., 2001.). Neste contexto, o presente estudo busca identificar a ocorrência climatológica mensal e anual de veranicos no Noroeste do RS, interpretando sua ocorrência de acordo com os padrões atmosféricos vigentes.. Embora as anomalias negativas de precipitação sejam mais representativas neste estudo, uma vez que o tema central está vinculado a períodos de dias secos que ocorrem no NW do Estado, os padrões atmosféricos em situações de anomalias positivas de precipitação também serão considerados.

A variabilidade interanual de precipitação no Rio Grande do Sul é explicada parcialmente pela variabilidade do fenômeno El Nino-Oscilação Sul (ENOS) (Studzinski, 1995; Pezzi e Cavalcanti, 1998; Grimm *et al.*, 1998, 2000 e 2004; Silva, 2001; Muza, 2005 e Silva *et al,* 2008) e indicaram valores de correlação linear positiva (0.3 e 0.4) entre a temperatura da superfície do mar (TSM) e a precipitação no sul do Brasil. Em geral, as maiores correlações entre TSM e precipitação na América do Sul são encontradas ao norte e sul do Brasil, com valores equivalentes a 0.3 e 0.5, dependendo da região do Pacífico escolhida. A alteração da temperatura da superfície do mar tem grande influência na circulação atmosférica , alterando os padrões da célula zonal de Walker (Ropelewski e Halpert ,1987; Coelho, 2001; Silva 2001 Grimm *et al* 2004; Silva, 2005; Cardoso, 2005) pelo deslocamento de seus ramos descendentes e ascendentes e pela intensificação e deslocamento do Jato Subtropical . Tais alterações são verificadas nas escalas de tempo e clima.

A variabilidade da produção agrícola no RS, como a da soja e do milho, é correlacionada recentemente à ocorrência do fenômeno ENOS (Berlato *et al*. 2001; Berlato e Fontana, 2005; Bergamaschi *et al.* 2004) concluíram que em eventos úmidos (El Nino) a produção nas safras agrícolas de soja e milho é maior do que em eventos secos (La Niña).

Superposta à variabilidade interanual da região Sul do Brasil, está a variabilidade intra-anual, ou sazonal, caracterizada pela atuação de sistemas sinóticos e sub-sinóticos e que conferem à região pequena amplitude anual da precipitação. Sua localização em latitude mais altas da América do Sul leva à atuação mais frequente de sistemas frontais no decorrer do ano, proporcioando a menor amplitude intra-anual da precipitação (Sartori, 2003). Por outro lado, a participação de componentes geográficos, como a composição do relevo, por exemplo, é determinante para as variações dos valores médios de chuva no Estado. A persistência de altas pressões de bloqueio por vários dias colabora para a interrupção do avanço de sistemas transientes precipitantes no sul do País (Fuentes, 1997), sendo, desta forma, deslocados sistematicamente para o Oceano Atlântico. Tal configuração ocasiona tempo seco e aumento de temperatura na Região Sul do Brasil. A presença de anticiclone quase estacionário de grande amplitude em latitudes médias e altas interrompe a progressão normal dos sistemas transientes para leste.

A apresentação do desenvolvimento deste trabalho foi dividida em quatro capítulos principais. O primeiro, subdividido em algumas seções: introdução, objetivos, justificativa, importância do tema de pesquisa e hipótese, a caracterização geográfica do RS, revisão bibliográfica acerca dos sistemas atmosféricos que afetam as condições de tempo e clima no Sul do Brasil; aspectos da cultura da soja na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul e, uma pequena introdução ao tema veranico. O segundo capítulo trata da caracterização dos dados que embasam o trabalho e os métodos e técnicas empregadas para atingir os objetivos propostos. O terceiro capítulo consiste na apresentação dos resultados e discussões, e é subdividido em três seções: climatologia da precipitação da Região Sul do País, climatologia de veranicos no noroeste do Rio Grande do Sul; padrões atmosféricos característicos de eventos extremos de precipitação. Finalmente, o quarto capítulo expõe as conclusões do trabalho.

1.1 - JUSTIFICATIVA

A justificativa deste trabalho apóia-se no fato de que o aumento do conhecimento e da precisão acerca da probabilidade de ocorrência de veranicos deve prover melhorias nas condições de planejamento econômico da região, cuja economia é baseada principalmente em atividades agrícolas. Adicionalmente, a identificação de padrões atmosféricos associados a eventos secos e chuvosos permite a elaboração de modelos conceituais para condições particulares da atmosfera.

Esta pesquisa toma como universo de análise um recorte espacial situado na porção noroeste do Rio Grande do Sul, que apresenta a atividade agrícola como a principal fonte geradora de divisas na composição de sua renda interna, em grande parte da Região Sul do Brasil, como aponta a Fundação Economia e Estatística (FEE, 2007), a Associação de Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural, (EMATER/RS, 2007), a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, (IBGE, 2007), Secretaria da Fazenda do Rio Grande do Sul (SEFAZ/RS, 2007). Tal região adquiriu o status de celeiro produtor de grãos, em particular de soja, por apresentar condições geográficas, como relevo, solo e clima, propícias para a sua cultura.

O Noroeste Rio-Grandense é uma mesorregião que compõem o Estado do RS (Figura 1.1). Esta região carece de informações mais precisas sobre a climatologia do fenômeno veranico durante a estação chuvosa. Os seis municipios envolvidos neste trabalho estão enumerados na Figura 1.1: Santa Rosa (1), São Luiz Gonzaga (2), Cruz Alta (3), Passo Fundo (4), Marcelino Ramos (5) e Iraí (6).

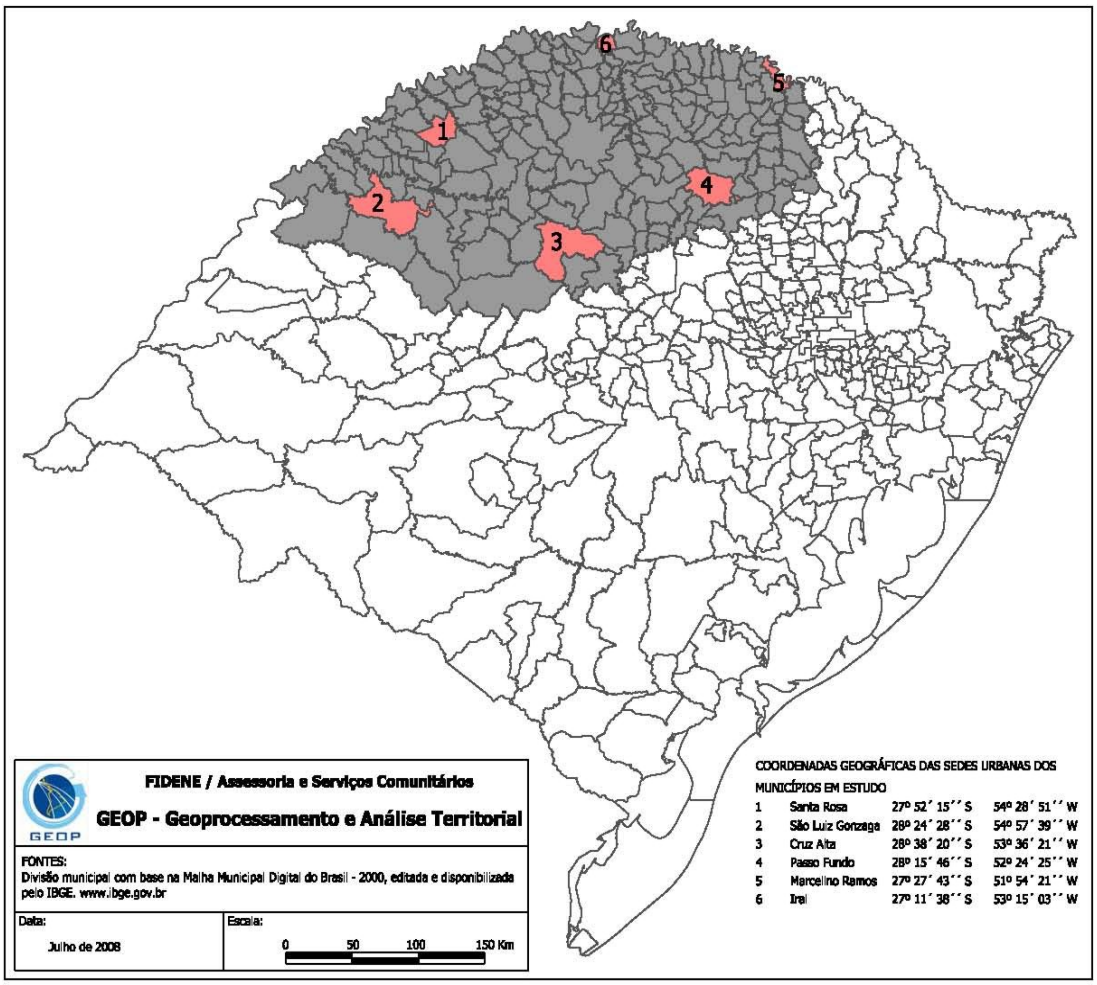


Figura 1.1 Localização dos municípios a noroeste do Rio Grande do Sul, Santa Rosa (1), São Luiz Gonzaga (2), Cruz Alta (3), Passo Fundo (4), Marcelino Ramos (5) e Iraí (6). Fonte: FIDENE-RS, 2008

A definição da climatologia de veranicos para a região, para cada mês separadamente, deve fornecer informações mais precisas sobre a variabilidade espacial e temporal deste evento, uma vez que nem sempre os totais mensais ou sazonais de chuva sugerem indicativos semelhantes aos fornecidos por uma análise de freqüência mensal de veranicos. Adicionalmente, a definição dos padrões atmosféricos associados a períodos de veranico e períodos chuvosos deve prover insumos aos modelos conceituais já existentes sobre o comportamento da atmosfera na região de estudo.

Nos últimos anos, o NW do RS vem apresentando queda de produção agrícola em função dos sucessivos períodos de estiagem (Berlato *el al.*, 2001; Melo *et al.*, 2003) que, ao se prolongarem durante a fase crítica de crescimento, que compreende o tempo de reprodução e desenvolvimento inicial da cultura agrícola, afetam sua produção, tal como discutido por Cunha *et al*. (1998), Berlato *et al.* (2001) e Melo *et al.* (2003).

A reincidência de períodos extremos climáticos, principalmente pela escassez de chuva, merece atenção por parte do Poder Público Municipal e Estadual do Rio Grande do Sul para tentar amenizar os danos ao produtor rural. Uma vez consolidada as perdas do produtor rural, todos os demais setores regionais, sejam econômicos ou sociais, sofrem as conseqüências em um efeito cascata SEFAZ/RS (2007)

1.2 - OBJETIVO GERAL

A presente pesquisa pretende oferecer uma contribuição aos estudos climáticos da porção noroeste do Estado do Rio Grande do Sul através do estudo da ocorrência de veranicos nessa área do território gaúcho, partindo-se de dados de precipitação atmosférica diária entre 1978 e 2006. Adicionalmente, pretende-se identificar os padrões atmosféricos associados às situações climáticas anômalas, secas e úmidas durante o período chuvoso do ano (outubro a março).

1.3 - HIPÓTESE

Supõe-se que as condições climáticas se repitam de forma aproximada, ou seja, com reincidência de períodos secos, entre os meses de outubro e março, no noroeste do Rio Grande do Sul. Apesar de ser uma região relativamente pequena, supõe-se ainda que exista uma diferença espacial na climatologia de veranicos, nos diferentes meses considerados. Adicionalmente, a ocorrência de eventos secos está associada também a situações climáticas extremas, o que leva à suposição de existência de padrões atmosféricos e oceânicos distintos. Este estudo tenta dirimir a dúvida intrínseca a estas suposições citadas.

1.4 - CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO RIO GRANDE DO SUL

O Rio Grande do Sul ocupa uma área de aproximadamente 282.184 km², localiza-se entre as latitudes 27°05’ S e 33°45’ S e as longitudes 49°43’ O e 57°39’ O. Apresenta uma complexidade físico-geográfica formada parcialmente por uma estreita Zona Costeira disposta na direção nordeste-sudeste, acompanhada de uma significativa região serrana alinhada na mesma direção, cujas altitudes superam mais de 1.000 metros. Estas duas unidades topográficas denominadas conjuntamente de Faixa Atlântica diferenciam-se dos planaltos interiores, mais a oeste, com altitudes que variam, em média, entre 200 e 600 metros, direcionados para a Bacia do Rio da Prata.

O relevo da Região Sul é bastante simples. Não obstante a importância das suas baixas altitudes, que caracteriza em grande parte sua topografia, a existência de largas extensões de superfícies de planalto, com altitudes entre 200 e 800 metros, e áreas serranas, com altitudes superiores a 1000 metros, ocupam área significativa (Figura 1.2). Embora o relevo, por suas características gerais suaves, não exerça grande influência na distribuição da chuva, seu papel, neste sentido, mesmo assim se salienta. Por outro lado, embora as Planícies e Depressões Gaúchas e os Planaltos de Campanha e Sul-Rio-Grandense apresentem altitudes inferiores ao Planalto das Araucárias do Paraná, estão associados a um maior número de dias chuvosos, proporcionado pela passagem mais freqüente de frentes frias, conforme aponta Nimer (1990).

Quatro domínios morfoestruturais, cinco subdomínios e várias unidades de relevo foram identificados no mapeamento sistemático multidisciplinar elaborado no âmbito do projeto RADAMBRASIL para todo o Brasil, conforme apresentado na Tabela 1.1, apontados por Herrmann e Rosa (1990) A porção noroeste do Estado do Rio Grande do Sul está inserida no domínio morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares, subdomínio morfoestrutural de Bacias e Depósitos Sedimentares do Paraná e integrante da unidade da Depressão Periférica da Bacia do Paraná (Figura 1.3).

Tabela 1.1 - Domínios morfoestruturais do Brasil

Domínio Morfoestrutural	**Subdomínio Morfoestrutural**	**Unidades de Relevo**
Depósitos Sedimentares	Depósitos Sedimentares e Dep. Sedimentares Interioranos.	Planície Gaúcha; do rio Paraná; dos rios Jacuí e Ibicuí.
Bacias e Coberturas Sedimentares	Bacia e Depósitos. Sedimentares do Paraná.	Depressão Periférica da Bacia do Paraná, Planalto das Araucárias.
Faixas de Dobramentos	Faixas de Dobramentos do Sul	Escarpas e Reversos da Serra do Mar
Embasamento em Estilo Complexo	Embasamento do Sul	Planalto Sul Rio-Grandense; Serras do Leste Catarinense.

Fonte: Herrmann e Rosa (1990)

O entendimento dos processos climáticos requer um conhecimento prévio de seus diversos fatores, tanto de ordem estática, como a posição do relevo, por exemplo, como de ordem físico-dinâmica. Ambos influenciam os processos climáticos ao mesmo tempo e em constante interação, contudo, em escalas diferentes.

A orografia exerce papel mais importante nas regiões tropicais do em latitudes médias e altas, principalmente em relação à nebulosidade e à precipitação, segundo Nimer (1990). Ao longo do rebordo oriental do Brasil, a encosta das superfícies elevadas do interior (Serra do Mar, Serra Geral na Região Sul do país), contribui para o aumento da precipitação pela ascensão, resfriamento e condensação do ar proveniente do Oceano Atlântico. Somado ao fator orográfico, a maior umidade oriunda do oceano auxilia a formação de nebulosidade na encosta oriental.

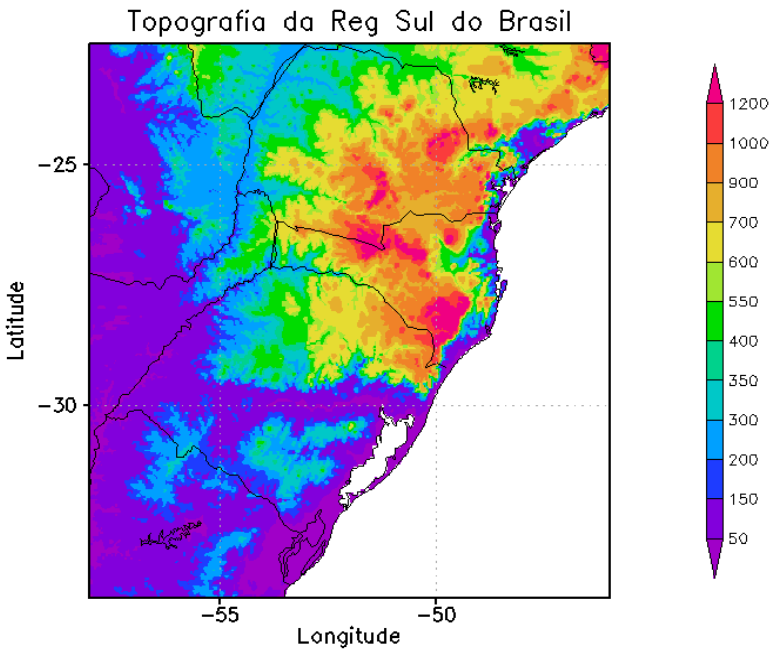


Figura 1.2. Topografia (m) da Região Sul do Brasil

Figura 1.3 Unidades do relevo brasileiro. Fonte IBGE (1997)

As posições latitudinal e marítima do sul do Brasil propiciam, respectivamente, uma intensa insolação e evaporação, contribuindo para o acréscimo de chuvas em seu território sempre que esta é atingida por frentes frias e sistemas de baixa pressão que induzem a ascensão do ar.

A primeira característica geral que se observa no clima da Região Sul é sua homogeneidade (Nimer, 1989). Embora não seja uma das mais uniformes no que diz respeito ao regime térmico, o é, no entanto, no que se refere à pluviometria, tanto temporal quanto espacialmente. A tendência à uniformidade e unidade climática, determinada pelos fatores dinâmicos, prevalecem, em geral, sem notáveis interferências dos fatores geográficos, o que torna o espaço geográfico da Região Sul do Brasil, de certa forma, uniforme e homogêneo.

A dinâmica climática do Rio Grande do Sul devido à sua localização nas latitudes médias (27º a 33º S) é influenciada por dois grandes sistemas atmosféricos que atuam na América do Sul, como aponta Sartori (2003): os ciclones extratropicais, com seus mecanismos frontais, instabilizadores (Frente Polar) do tempo e seus domínios anticiclonais polares (Massa Polar Atlântica) de ações estabilizadoras do tempo; e, os Sistemas Intertropicais, com seus domínios tropicais marítimos (Massa Tropical Atlântica), estabilizadores do tempo, e suas correntes tropicais continentais (Massa Tropical Continental), com fluxos de oeste e noroeste responsáveis, em parte, por fortes aquecimentos pré-frontais, instabilizadores do tempo antes das passagens frontais. Os Sistemas Extratropicais, como afirma a autora, são os grandes responsáveis pelo controle dos tipos de tempo em cerca de 90% dos dias do ano, proporcionando também a distribuição mensal e anual das chuvas, com influência, em maior ou menor grau, dos fatores geográficos do clima, tais como altitude e relevo.

Nimer (1990), diz que por sua posição, compreendida nas latitudes médias, o Rio Grande do Sul é atingido, tal como os demais estados sulinos, pelos principais sistemas atmosféricos, quer das latitudes mais baixas, quer das latitudes mais elevadas. Próximos ao Trópico de Capricórnio localizam-se dois centros de alta pressão sobre os oceanos adjacentes, Atlântico e Pacífico, tangenciando o continente sul americano. Por sua constância e fraco deslocamento, estas regiões de alta pressão são denominadas de anticiclones semi-estacionários, centros dinâmicos, inseridos na zona de altas pressões

subtropicais do Hemisfério Sul: a alta subtropical do Pacífico e a alta subtropical do Atlântico. Os centros subtropicais de alta pressão apresentam movimento anticiclônico e divergente em níveis baixos, como mostra a Figura 1.4 e, constituem-se como fontes das principais massas de ar marítima tropical. Ambas têm um papel muito importante no quadro da circulação atmosférica do Sul do Brasil. Enquanto o anticiclone do Pacífico, barrado pela Cordilheira dos Andes é impedido de avançar para o interior do continente, o anticiclone do Atlântico penetra, por vezes, sobre o interior do Brasil, auxiliado pela pouca resistência do relevo.

O anticiclone semi-permanente do Atlântico Sul, fonte de massa de ar tropical marítima, apresenta geralmente temperaturas elevadas devido à intensa radiação solar recebida nestas latitudes e, forte umidade específica devido à intensa evaporação marítima. Em virtude da subsidência do ar em grande parte da camada atmosférica e, à conseqüente inversão de temperatura, a umidade atmosférica fica confinada na camada superficial. A inversão térmica contribui para o caráter de homogeneidade e estabilidade desta camada.

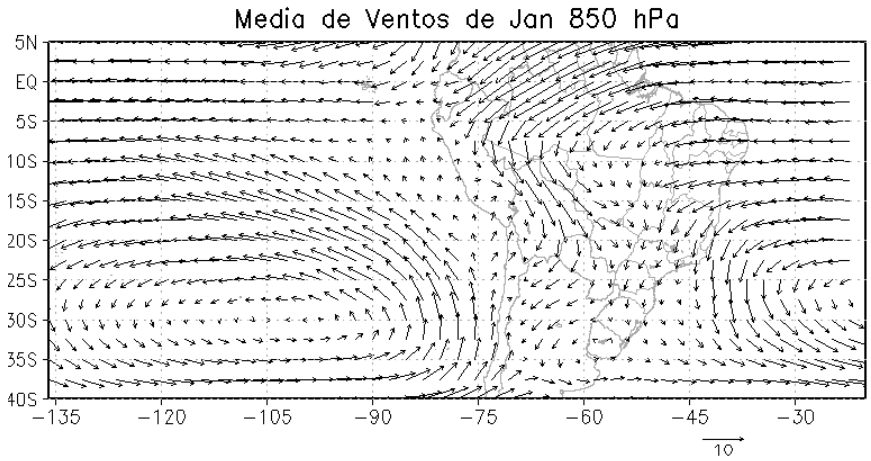


Figura 1.4. Escoamento médio do ar em 850 hPa para o mês de janeiro (1979-2005), caracterizando os anticiclones subtropicais do Atlântico e Pacífico Sul.

No setor oriental do anticiclone, ou seja, na costa oeste da África a inversão térmica chega geralmente a 500 m de altitude. No setor ocidental o aquecimento do continente e a corrente marítima quente que tangencia o litoral do Brasil produzem nas

camadas superficiais um ligeiro movimento ascendente que eleva o topo da camada de inversão térmica para além de 1500 m. Conseqüentemente, a umidade proveniente do oceano Atlântico penetra até grandes altitudes, tornando o setor ocidental da massa subtropical marítima mais sujeito a instabilidades do que o setor oriental (Nimer, 1990).

Além do anticiclone subtropical do Atlântico Sul, sistemas transientes participam diretamente do quadro da circulação atmosférica da Região Sul do Brasil. A região é atingida por altas e baixas pressões transientes, muitas vezes associadas à passagem de ciclones extratropicais. Entre duas massas de ar com pressões altas existe sempre uma zona de depressão que constitui uma descontinuidade, para a qual convergem os ventos das duas massas de ar ou das altas pressões. Na descontinuidade, os ventos convergentes ou ciclônicos estão associados à instabilidade atmosférica com tempo instável e geralmente chuvoso (Nimer, 1990).

1.5 - MECANISMOS DE GRANDE ESCALA QUE CONTROLAM O COMPORTAMENTO ATMOSFÉRICO NO SUL DO BRASIL

A precipitação na Região Sul do Brasil, na escala de tempo, está condicionada à influência de determinados sistemas atmosféricos, como as frentes frias, os sistemas convectivos de mesoescala, regiões preferenciais do jato subtropical e linhas de instabilidade. Durante o verão, parte da precipitação pode ser devida ainda à convecção local. A variabilidade da precipitação nesta escala está, de forma geral, condicionada à influência destes sistemas. Por outro lado, a influência de padrões de maior escala pode alterar a freqüência e intensidade destes sistemas, produzindo estações mais ou menos chuvosas, mais ou menos quentes do que a média climática. Vários estudos relatam a variabilidade da precipitação na escala climática e de tempo.

A atmosfera e o oceano são os dois principais componentes do sistema climático e apresentam características físicas muito distintas. O oceano apresenta densidade, capacidade térmica e inércia muito maiores do que a atmosfera. Devido a estas características, as variações das propriedades físicas do oceano ocorrem em escalas de tempo muito maiores que as da atmosfera. As interações entre o oceano e a atmosfera ocorrem nesta interface (elemento que proporciona uma ligação física entre dois sistemas), onde os gradientes das propriedades físicas, tais como temperatura e

densidade, são acentuados e a dinâmica destes meios é acoplada através dos processos de trocas de energia (calor, umidade e momento).

Além da influência local, o clima está associado à variabilidade em áreas remotas e à influência de regiões remotas no clima local dá-se o nome de teleconexões. A análise de teleconexões exige uma visão mais abrangente da circulação atmosférica (Pezzi e Cavalcanti, 1998). Pezzi e Cavalcanti (1998) estudaram a teleconexão entre duas regiões no Hemisfério Sul: uma sobre o Brasil, onde ocorreram anomalias de precipitação e de temperatura, área 1 (30°S a 15°S, 60°W a 45°W) e a outra, sobre o oeste da América do Sul, no Pacífico Sudoeste, área 2 (70°S a 50°S, 120°W a 80°W). Estes autores estudaram a relação entre variações atmosféricas nas regiões 1 e 2 e variações oceânicas nas regiões 3 e 4. As variações oceânicas estão representadas por médias espaciais de anomalias de TSM sobre os Oceanos Atlântico, área 3 (40°S a 70°S, 65°W a 30°W) e Pacífico, representadas pela área 4 (45.0°S a 70°S, 140°W a 100°W), próximas à América do Sul (Figura 1.5). Essas análises têm sido usadas principalmente para estudar as flutuações de grande escala, de baixa freqüência da atmosfera. Estudos de teleconexões foram também realizados considerando-se a o Índice de Oscilação Sul no Oceano Pacífico (Grimm, 2003). Analisando dados de pressão ao nível do mar, a autora encontrou correlações negativas entre as regiões do Oceano Pacífico Sul e regiões próximas à Austrália e o Oceano Indico.

A variabilidade climática natural ou não definem as características de cada localidade do globo terrestre. Embora a média climatológica sazonal da precipitação seja bem conhecida para a maioria das regiões do globo, as causas de sua variabilidade intra e interanual são pouco conhecidas. Fundamentalmente, a incerteza aliada à dinâmica atmosférica está associada às várias interações de processos atmosféricos em diferentes escalas.

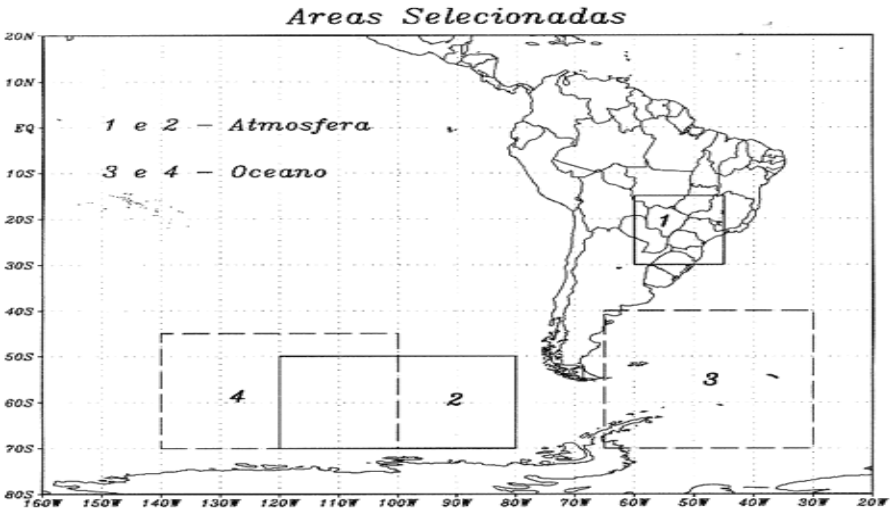


Figura 1.5. Teleconexões no Hemisfério Sul: áreas usadas para análises atmosféricas (1 e 2) e análises oceânicas (3 e 4). Fonte: Pezzi e Cavalcanti (1998)

Na escala intrazazonal, a Oscilação de 30 a 60 dias ou Oscilação Madden e Julian (OMJ) (Madden e Julian 1971, 1972; Kayano e Kousky, 1992; Hall *et al*., 2001; Carvalho *et al*., 2004; Pohl e Matthews, 2007) influencia diretamente a atmosfera na América do Sul. O ENOS (Ropelewski e Halpert, 1987, Grimm *et al*.,1996, 2004; Oliveira *et al*., 1998, Silva., 2001, Coelho, 2001, Cardoso, 2005) caracteriza a variabilidade da atmosfera na escala interanual e a Oscilação Interdecadal do Pacífico está associada à variabilidade com periodicidade de décadas, Rebello (2005).

As chuvas na América do Sul estão relacionadas com fenômenos atmosféricos pertencentes a várias escalas temporais e espaciais, que vão desde a escala global até a local. Dentre os fenômenos de escala global, a Oscilação Madden e Julian (OMJ), ou simplesmente oscilação de 30-60 dias, tem grande importância tendo em vista sua influência direta e indireta na chuva em regiões da América do Sul (Madden e Julian, 1971, 1972; Casarin e Kousky, 1986; Kayano, 1996; Hall *et al.*, 2001, Carvalho *et al.*, 2004).

Na década de 70 do século passado, dois pesquisadores norte-americanos, Roland Madden e Paul Julian, analisando séries históricas de 10 anos de dados de radiossondagem (dados meteorológicos do perfil vertical da atmosfera numa dada

região) para várias estações próximas à Indonésia (Pacífico Tropical Oeste), observaram que num período de 30 a 60 dias os sistemas meteorológicos que atuavam em diversos locais da região eram ora intensificados e ora inibidos, o que favorecia ou não a precipitação local. Madden e Jullian (1971) verificaram que este comportamento estava associado à atuação de um sistema que se desloca de oeste para leste ao redor do globo em latitudes tropicais, com periodicidade variável de 30 a 60 dias. O fato foi tomado como um comportamento local das variáveis meteorológicas; mas não mencionava a ligação com outras regiões. Pesquisas posteriores, como a de Ferranti *et al*. (1990), de Cavalcanti *et al*. (1999), de Hall *et al.* (2002), de Carvalho *et al.* (2004) e Pohl e Matthews, (2007) revelaram que a OMJ é o modo de maior variabilidade nas regiões tropicais na escala de tempo intrasazonal e que afeta outras regiões do globo, como as extratropicais, posto que tem uma projeção sobre padrões de teleconexão.

Uma das principais causas da variabilidade interanual da precipitação na Região Sul do Brasil é a ocorrência do fenômeno ENOS (Grimm, 2004). O ENOS é um fenômeno de grande escala caracterizado por anomalias no padrão de temperatura da superfície do Oceano Pacífico Tropical que ocorrem de forma simultânea com anomalias no padrão de pressão atmosférica nas regiões de Darwin (12°S;131°E), Austrália, e Taiti (18°S;15°O), Polinésia, indicadas na Figura 1.6.

A chamada fase quente do ENOS é caracterizada pela elevação acima do normal da temperatura das águas superficiais da região leste do Pacífico tropical/equatorial, conforme ilustrado na Figura 1.7A, juntamente com a ocorrência de pressões atmosféricas anomalamente mais baixas no Taiti e mais altas em Darwin, no norte da Austrália, ou seja, ocorre o enfraquecimento do sistema de pressão na atmosfera. Na fase fria do fenômeno, durante eventos La Niña, a TSM apresenta padrões de resfriamento na região equatorial e o sistema de pressões atmosféricas é intensificado (Figura 1.7B).

O Indice de Oscilação Sul (IOS) ajuda a definir a ocorrência do ENOS. É calculado pela diferença entre as anomalias de pressão atmosférica em Tahiti e Darwin. O enfraquecimento do sistema de alta pressão no Pacífico Central e da pressão baixa na região oeste do Pacífico (Indonésia) está associado ao estabelecimento de eventos El Niño. Com a diminuição da pressão alta em Taiti (anomalias negativas) e o aumento da

pressão baixa em Darwin (anomalias positivas), a diferença de anomalia de pressão em superfície entre estas duas localidades é negativa, daí identifica-se a ocorrência de El Niño com valor negativo de IOS. Por outro lado, a intensificação tanto do sistema de alta pressão no Pacífico Central como o de baixa pressão na Indonésia, gera, respectivamente, anomalias positivas e negativas, redundando em valores positivos do IOS. Em tais situações, caracteriza-se a ocorrência do evento La Niña. Quando ocorrem eventos de aquecimento das águas superficiais do Pacífico Tropical, El Niño, a circulação atmosférica é enfraquecida (Figura 1.7 A); por outro lado, quando ocorrem eventos de resfriamento, La Niña, a circulação atmosférica é intensificada (Figura 1.7 B). O fenômeno ENOS afeta a circulação atmosférica, determinando anomalias de precipitação pluvial em diversas regiões do globo (Ropelewski e Halpert, 1987; Silva 2001; Coelho, 2001,Grimm *et al*., 2003, 2004, Cardoso, 2005)

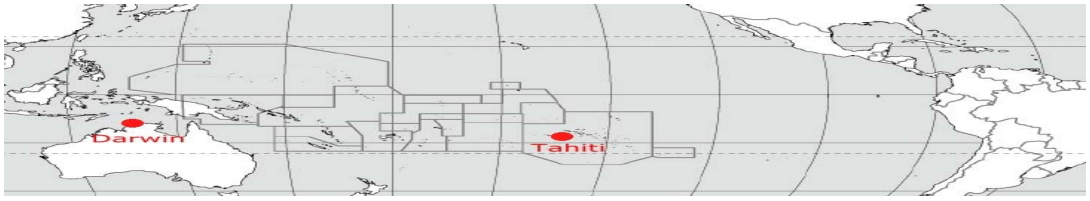
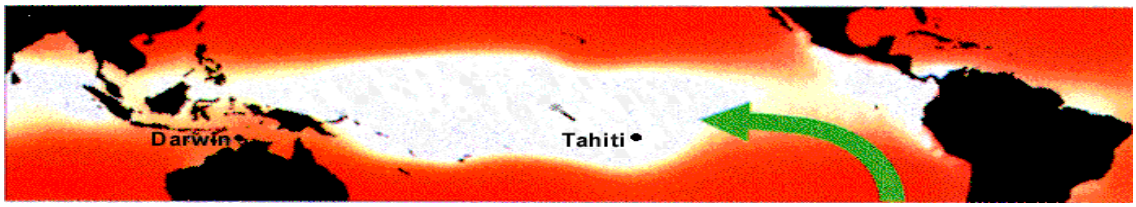
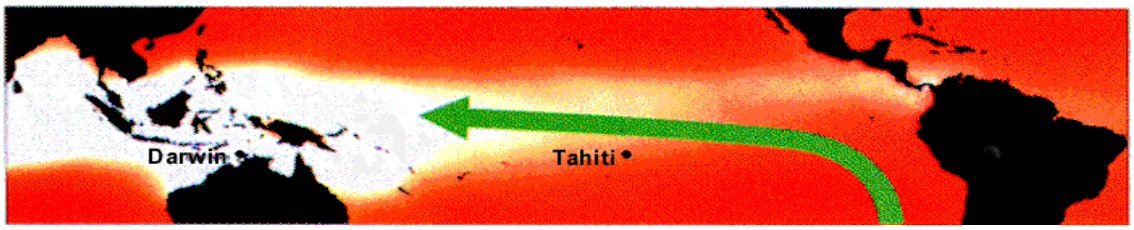


Figura 1.6. Localização geográfica de Darwin, na Austrália e Tahiti, na Polinésia, no Pacifico Sul. Fonte: Environmental Science Published for Everybody Round the Earth -Espere, 2007



(A)



(B)

Figura 1.7 Representação esquemática da circulação oceânica na fase negativa (A) e positiva (B) do Índice de Oscilação Sul, com a indicação da intensidade da circulação.
Fonte: Ropelewski e Halpert (1987)

A variabilidade climática da precipitação influenciada pelos oceanos possui um papel determinante no comportamento da atmosfera pelo transporte de calor e umidade para a atmosfera, afetando assim o regime de precipitação (Studzinski, 1995). No Oceano Pacífico e Atlântico Tropical, as relações entre os padrões anômalos da TSM com o clima continental do Brasil tem sido objeto de pesquisas. Em relação à influência do Atlântico Sul no clima do Estado do Rio Grande do Sul existem poucos estudos, porém, há indicações da influência da TSM do Atlântico Subtropical na variabilidade interanual das chuvas da região (Coelho, 2001, Nery *et al*., 2002; Scaglioni *et al*., 2007).

Estas modificações são conseqüência da adição de grande quantidade de energia na atmosfera, dissipada por ondas de calor que tendem a se propagar em percursos preferenciais na atmosfera. No sudeste da América do Sul as ondas geradas tendem a intensificar a corrente do jato subtropical (ventos que sopram na região subtropical, de oeste para leste, posicionado em torno de 10 km de altitude, em altos níveis). A corrente de jato intensificada determina bloqueios na atmosfera, fazendo com que as frentes frias fiquem semi-estacionárias sobre o sul do Brasil, causando excessos de chuva. Kousky e Cavalcanti (1984) concluíram que durante o período de El Niño de 1982-1983 (fase negativa da Oscilação Sul), uma corrente de jato subtropical bem definida sobre a América do Sul e a leste do Oceano Pacífico Sul, juntamente com várias situações de bloqueio, em latitudes médias, favoreceram o ingresso de sistemas frontais ativos no Sul do Brasil, explicando a excessiva precipitação observada nessa região, naquele período.

Na Região Sul do Brasil, a fase quente do ENOS, El Niño, determina, em geral, a ocorrência de precipitação pluvial acima da média climatológica,e a fase fria, La Niña, precipitação pluvial abaixo da média climatológica. Nos anos de El Niño os impactos são maiores em toda a porção noroeste do estado do RS, ocorrendo aumentos médios de precipitação de 40 a mais de 60 mm, conforme Grimm *et al.* (1996, 1997, 1998). Fontana e Berlato (1996), estudando a climatologia dos fenômenos ENOS do período de 1913 a 1995, mostraram que na fase quente a precipitação pluvial no RS é superior a media climatológica na maioria dos meses do ano, havendo, porém, dois períodos bem destacados. O período principal é o da primavera do ano de início do fenômeno, especialmente em outubro e novembro, com um repique no final de outono do ano seguinte. Na fase fria, a precipitação é menor do que a média climatológica, também na

maioria dos meses do ano, ocorrendo novamente dois períodos que se destacam e são mais ou menos coincidentes com os da fase quente.

As alterações de temperatura da superfície do Oceano Pacífico durante episódios El Niño e La Niña são acompanhadas de alterações climáticas globais. Há variações dos fluxos de calor sensível e de vapor d'água da superfície do Oceano Pacífico Equatorial para a atmosfera. Isto provoca mudanças na circulação atmosférica e na precipitação em escala global. No Brasil (Figura 1.8), há impactos significativos sobre a precipitação em várias regiões em diferentes fases do ciclo El Niño-Oscilação Sul (Grimm *et al.*, 2000; Coelho, 2001; Silva 2001; Grimm *et al.*, 2003, 2004).

Figura 1.8 Efeitos do fenômeno ENOS na América do Sul. Fonte: CNPT/EMBRAPA (2006)

Comumente se faz correlações das regiões de Niño 1+2, 3, 3.4 e 4 no Pacífico Equatorial (indicadas na Figura 1.9 A) com a precipitação na América do Sul, como apontam alguns trabalhos, tais como os de Grimm *et al.* (2004); Ambrizzi (2003) e Silva (2001), Coelho (2001) e Lopes *et al.* (2007). No Pacífico Equatorial e no Atlântico Sul Subtropical, tal como indicado na Figura 1.9 B, são bem correlacionados com a precipitação no sul e nordeste do Brasil (Silva, 2001 e Coelho, 2001).

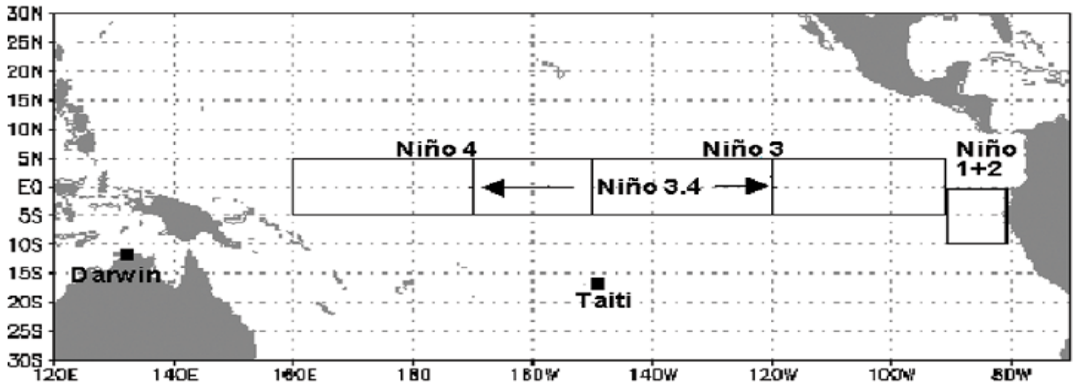


Figura 1.9 (A) Regiões de Niño no Pacífico Equatorial: 4; 3.4; 3 e 1+2. Fonte: CPC/NOAA (2007).

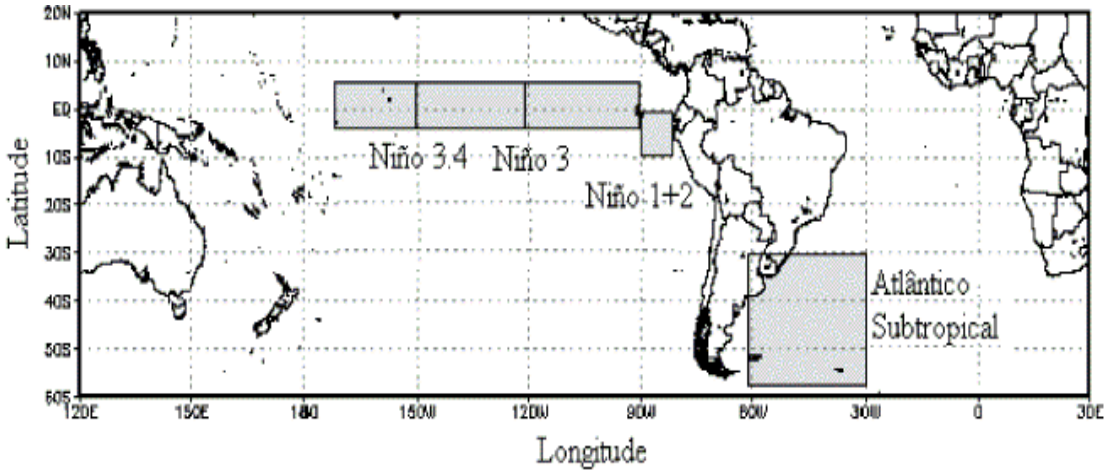
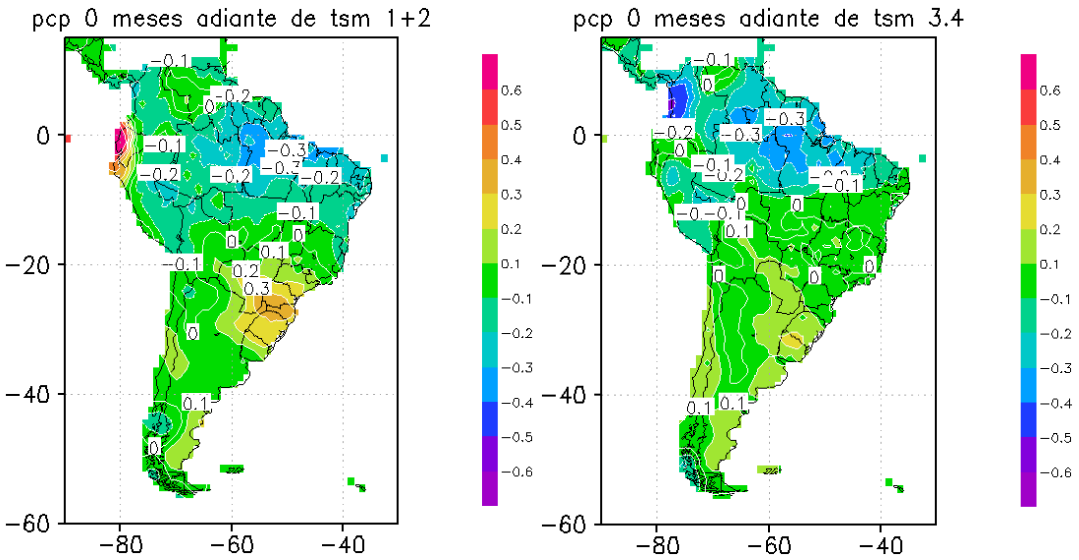


Figura 1.9 B. Regiões oceânicas preferenciais que afetam o regime de precipitação no Sul do Brasil. No Pacífico, tem-se a Região do Nino 3, 3.4 e1+2 e no Atlântico, o Atlântico Subtropical, nas coordenadas 30° O e 60°O. Fonte: Silva (2001)

Correlações entre TSM de algumas regiões do Pacífico Equatorial e a precipitação no Brasil é verificada no estudo de Silva *et al*. (2008). Observam que há valores de correlação linear positiva (0.3 e 0.4) entre a temperatura da superfície do mar (TSM) e a precipitação no sul do Brasil. Em geral, as maiores correlações entre TSM e precipitação na América do Sul são encontradas ao norte e sul do Brasil, com valores equivalentes a 0.3 e 0.5, dependendo da região do Pacífico escolhida (Figura 1. 10 A e B).



(A) **(B)**

Figura 1. 10 (A e B). Correlação entre TSM das regiões do Niño 1+2 (a) e 3.4 (b) e a precipitação sobre a América do Sul. Fonte Silva *et al.* (2008).

É importante salientar que as áreas da Região Sul com maior influência do ENOS sobre a precipitação são coincidentemente onde a agricultura e pecuária têm também grande expressão (Fontana e Berlato, 1996; Berlato e Fontana 1999 e 2003; Matzenhauer *et al.*,1996; Berlato *et al.*, 2001, 2005; Cunha *et al.* 2001 ; Melo *et al.*, 2004 e Gruppelli *et al.* 2006), o que enfatiza a importância de maior detalhamento e quantificação da influência do veranico, visto que possivelmente seja a agricultura a maior beneficiária deste tipo de informação.

A influência do ENOS na variabilidade da produção de soja é citada nos estudos de Berlato e Fontana (1997, 2003) e de Melo *et al.* (2004); de cevada, em Cunha *et al.* (1999) e de arroz, em Carmona e Berlato (2002) e à produção de uvas no nordeste do RS em Gruppelli *et al.* (2006). A produtividade do milho também é afetada pela variabilidade do fenômeno ENOS, no Rio Grande do Sul, como apontam Fontana e Berlato (1996), em duas localidades situadas na significativa região de produção de milho do Estado: Cruz Alta e Passo Fundo. O ENOS, segundo Berlato *et al.* (2005), causa impacto na produtividade do milho porque interfere na variabilidade da precipitação pluvial. A fase quente, El Niño, contribui para precipitação pluvial acima da média climatológica e a fase fria, La Niña, para estiagem na primavera e início de verão, período no qual se desenvolve grande parte do calendário agrícola da cultura do

milho, no Rio Grande do Sul. Estes autores concluíram que eventos de El Niño determinam ganhos e eventos de La Niña determinam perdas na produtividade do milho no Estado do RS e que a precipitação pluvial mais importante do calendário agrícola do milho, no Estado, ocorre de outubro a março. O milho desempenha papel relevante na economia agrícola do Estado, pois a cadeia alimentícia desse cereal inclui a suinocultura, a avicultura e o gado leiteiro.

A soja constitui-se como a principal cultura agrícola da porção NW do Rio Grande do Sul. O Estado, entre 1993 e 1995, segundo Berlato e Fontana (1999), cultivou uma área média de 3,1 milhões de hectares, obtendo uma produção média anual de 5,8 milhões de toneladas de grãos, o que representou 24% da produção brasileira da oleaginosa. Os mesmos autores, num estudo acerca da variabilidade interanual de precipitação pluviométrica e da produção de soja no RS, consideraram os eventos de ENOS e concluíram que a precipitação do período de dezembro a março explica cerca de 80% da variação interanual da produção de soja e que o fenômeno El Niño favorece a cultura da soja, ocasionando, na maioria das vezes, rendimentos recordes no Estado.

Na Região Noroeste do RS, a soja passa a ter expressão significativa a partir da segunda metade da década de 60 do século passado. Sua consolidação acontece no decorrer da década de 70, entre 1970 e 1980 e a área de colheita da soja aumenta 80%. A importância econômica da soja é evidente, conforme atesta a Emater/RS (2007). A produção da soja apresenta oscilações no decorrer dos anos, por exemplo, a safra colhida em 1991 foi seriamente afetada por uma seca que ocorreu nas regiões produtoras, o que causou enormes dificuldades aos produtores, segundo levantamento da Emater/RS. Apesar da agricultura da região NW do RS se ressentir das oscilações de uma crise que perdura há algumas décadas, seja por problemas de esgotamento do solo ou pela variabilidade climática, ainda é a atividade principal da região e mantém níveis de produção importantes para o setor primário do Estado (Fidene, 1993).

1.6 - SISTEMAS SINÓTICOS QUE ATUAM NO RIO GRANDE DO SUL

Sistemas sinóticos são circulações atmosféricas da escala horizontal da ordem de 10^3 km ou mais como, por exemplo, centros de alta e baixa pressão, cavados e cristas, frentes frias e quentes, entre outros, Satyamurty (2004). O termo sinótico deriva do grego *synoptikos*, que significa obter uma visão geral de um local. Para uma descrição satisfatória da circulação atmosférica nesta escala, são necessárias observações simultâneas sobre uma extensa região (alguns milhares de quilômetros na horizontal e algumas dezenas na vertical). Usualmente, imagens de satélites e cartas sinóticas com informações das observações meteorológicas mostram que existem, em latitudes médias, distúrbios atmosféricos transitórios não permanentes que se estendem sobre milhares de quilômetros na horizontal. Para apreensão dos elementos observados, é comum se fazer as observações sinóticas sempre nos mesmos horários ao longo de vários dias. Os sistemas sinóticos estão embebidos no escoamento de escala planetária, que por sua vez é altamente baroclínico (em latitudes médias) e sofrem influências orográficas e dos contrastes oceano-continente.

Dentre alguns dos sistemas atmosféricos em escala sinótica e de mesoescala (de 10^2 a 10^3 km) que se manifestam na Região Sul do Brasil, estão as frentes frias, ciclones extratropicais, sistemas convectivos de mesoescala (SCM) e linhas de instabilidade. A intensidade e freqüência destes sistemas estão associadas às variações da escala climática, muitas vezes relacionadas à variabilidade dos oceanos Pacífico e Atlântico (Nobre, 1996; Cardoso e Silva Dias, 2000; França *et al.*, 2000; Cardoso, 2005 e Silva *et al*., 2008).

Frente ou um conjunto de frentes a que se chama sistema frontal é composto por uma frente fria, uma frente quente e um centro de baixa pressão em superfície, Oliveira at al. (1986). Os sistemas frontais atuam durante o ano todo sobre o Brasil com freqüências maiores nas latitudes mais altas e menores nas latitudes mais baixas, conforme Oliveira (1986), contribuindo para grande parte da variabilidade das condições atmosféricas sobre as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do País. A interação entre a convecção tropical e sistemas frontais ocorre mais freqüentemente quando as frentes se encontram na banda entre 20°S e 35°S, (Lemos e Calbete ,1996). Algumas regiões do Brasil, tais como as Regiões Sul e Sudeste, são regiões frontogenéticas, onde as frentes podem se formar e se intensificar.

Durante o regime de verão, as frentes frias, ao ingressarem pelo sul do país, associam-se a um sistema de baixa pressão em superfície sobre o Paraguai, conhecido como Baixa do Chaco. Neste período, estes sistemas ficam freqüentemente semi-estacionados no litoral da Região Sudeste, associando-se ainda à presença de vórtices ciclônicos de altos níveis (VCAN) e Oceano Atlântico Tropical adjacente. A permanência dos sistemas frontais sobre a região Sudeste associados à convecção tropical nas Regiões Central e Norte do Brasil caracteriza a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Lemos e Calbete, 1996). Além de propiciarem a ocorrência de chuvas em boa parte do território brasileiro devido à instabilidade dinâmica inerente ao sistema, as frentes frias interagem com a convecção local, o que ocorre especialmente na região central da América do Sul, intensificando-as e deslocando-as (Siqueira e Machado, 2000 e 2006).

A ZCAS é um dos mais importantes fenômenos de escala intra-sazonal que ocorrem durante o verão na América do Sul. É convencionalmente definida como uma persistente faixa de nebulosidade com orientação noroeste-sudeste, que se estende do sul da Amazônia ao Atlântico Sul-Central (Ambrizzi *et al.*, 1998; Escobar e Costa, 2005). As bandas de nebulosidade associadas a eventos de ZCAS são importantes na transferência de calor, momento e umidade dos trópicos para as latitudes mais altas (Sanches e Silva Dias, 1996). Uma das características de eventos de ZCAS é um forte indício de confluência entre o ar da Alta Subtropical do Atlântico Sul e o ar oriundo de latitudes mais altas, provocando a convergência de umidade e nebulosidade. Nos níveis superiores, a configuração mais favorável corresponde a um cavado a leste dos Andes de maneira que a divergência em altos níveis seja favorecida, como aponta Ambrizzi *et al.* (1998). Além disso, deve haver persistência dessas condições por, pelo menos, quatro dias, pois, caso contrário, a confluência observada pode estar associada à penetração de um sistema frontal.

Em situações nas quais os fenômenos El Niño e La Niña estiveram em atividade, observou-se que durante os verões de anos normais e de La Niña houve a ocorrência de mais de três eventos de ZCAS e que em anos de El Niño, houve uma tendência de ocorrência de três eventos de ZCAS. Através da comparação de dois casos extremos de ZCAS, Quadro (1994) sugere que durante um evento de El Niño a ZCAS apresenta-se inibida ou tende a se formar fora de sua região preferencial de ocorrência.

Os vórtices ciclônicos de altos níveis (VCAN) de origem subtropical atuam nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil por um período de um ou dois dias, provocando chuvas e ventos fortes. (Figura 1.11). Além de causarem fortes chuvas, os VCAN também estão, muitas vezes, associados à ocorrência de geadas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, durante o inverno. Situações desse tipo geralmente causam grandes prejuízos para a agricultura, principalmente para a cultura cafeeira desses lugares. Os VCAN subtropicais são também chamados de baixas frias ou baixas desprendidas. Conforme a região em que se formam, são conhecidos por vórtices de Palmem, com origem extratopical, e vórtices de Palmer, com origem tropical. Apresentam uma circulação ciclônica fechada na alta troposfera, em escala sinótica, cujo núcleo é mais frio que a periferia. Os VCAN oriundos do leste do Pacífico podem atravessar a Cordilheira dos Andes e atingir a América do Sul, provocando a ocorrência de chuva e condições severas de tempo, conforme aponta Varejão Silva (2001).

Em menor escala, no entanto, os sistemas convectivos de mesoescala (SCM) (Figura 1.12), segundo Silva Dias (1996) e Santos (2006), são eventos que produzem precipitação, principalmente na Região Sul do Brasil. Apresentam espessa cobertura de nuvens frias constituídas basicamente por topos e bigornas dos cumulunimbus, com forma circular e tempo de vida relativamente longo em comparação a um sistema convectivo isolado, no mínimo seis horas. Os SCM estão associados a eventos de chuvas intensas, fortes rajadas de vento e até tornados. A expressividade deste fenômeno é maior durante a madrugada. A formação dos SCM está associada principalmente à localização do Jato Subtropical (JS) e ao transporte meridional de calor e umidade pelo Jato de Baixos Níveis (JBN), ao longo do lado leste dos Andes, como aponta Santos, (2006). Os setores noroeste e sudeste do JS no Hemisfério Sul caracterizam-se por apresentar maior divergência do ar em altos níveis, induzindo, por continuidade de massa, a formação de regiões de convergência em baixos níveis. A associação destas características dinâmicas na região do JS ao transporte de calor e umidade oriundos de latitudes mais baixas induz a formação de sistemas convectivos de mesoescala na região norte da Argentina e Paraguai, deslocando-se normalmente para leste e atingindo a Região Sul do Brasil.

A corrente de jato de pouca amplitude, chamada de fluxo zonal e apresentada em imagem infravermelho na Figura 1.13 (A), indica que o ar está fluindo quase que diretamente de oeste para leste. Com o fluxo zonal, há uma pequena mistura entre o ar quente e frio e as baixas que se desenvolvem são normalmente fracas. Por outro lado, uma onda com alta amplitude apresenta um escoamento meridional mais intenso, e é bem caracterizada por cavados com baixas pressões e cristas com altas pressões. O resultado é um grande transporte meridional de massas com um acentuado contraste térmico (Figura 1.13 (B)). A circulação da corrente de jato abastecida com grande energia provê a formação de ondas com grande amplitude, assim, o escoamento meridional contribui para o desenvolvimento de fortes tempestades, aliadas às frentes frias (Ferreira, 2006). Ainda segundo este autor, o eixo da corrente de jato indica a área de ventos com maior intensidade. Um indicador comum da posição do eixo do JS é a nuvem cirrus, que tende a se formar do lado norte ou nordeste da corrente de jato no HS, ou seja, do lado tropical.

É possível identificar áreas características de divergência e convergência nas regiões de entrada e saída do JS. Na região de entrada do JS, caracterizada por escoamento acelerado devido à maior intensidade do vento, o equilíbrio geostrófico tende a se enfraquecer. Com o aumento da velocidade da parcela na região central do JS, a força de Coriolis se intensifica e provoca maior desvio para a esquerda, no caso do Hemisfério Sul. Assim, forma-se uma região de divergência no setor norte da entrada do JS. Este processo se reverte na saída do JS, onde a aceleração é negativa e a velocidade da parcela tende a diminuir; nesta situação a parcela tende a voltar a sua posição original, desviando-se para a direita. Desta forma, tanto o setor norte na região de entrada do JS como o setor sul na região de saída do JS caracterizam-se por divergência do ar. Por continuidade de massa, nestas condições é gerada uma circulação agestrófica, perpendicularmente ao movimento geostrófico principal. Dessa forma, as áreas com divergência em altos níveis são compensadas por áreas com convergência em baixos níveis. Tal configuração é propícia à formação de instabilidade nas áreas de divergência em altos níveis (Figura 1.14).

Um importante sistema sinótico que afeta o comportamento atmosférico na América do Sul, principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, consiste no fenômeno denominado bloqueio, caracterizado por uma anomalia de alta

pressão persistente por vários dias em altos níveis da troposfera, em latitudes mais altas, em torno de 60º. É definido frequentemente pela diferença entre as anomalias de altura geopotencial nas latitudes mais elevadas, em níveis altos, segundo Marques e Rao (1996), Nascimento (1998) e Fuentes (1997). A presença deste anticiclone faz com que os sistemas transientes inseridos no escoamento zonal de oeste, em médias e altas latitudes, se desviem para a direção meridional, deslocando-se no sentido equatorial como polar. A característica do bloqueio atmosférico em barrar a circulação de transientes na atmosfera e seu caráter persistente exerce forte influência em regiões vizinhas e remotas, causando padrões anômalos por vários de dias.

De acordo com Fuentes (1997), uma forte característica da circulação atmosférica associada à situação de bloqueio é a divisão do jato subtropical em dois ramos, que ocasiona um rompimento do padrão zonal. Na situação de bloqueio, um anticiclone forma-se em latitudes mais altas do que aquelas onde se localiza a alta subtropical e é freqüentemente acompanhado por uma baixa fria em latitudes mais baixas. Nesta situação deve-se esperar, naturalmente, um escoamento mais meridional onde os sistemas transientes de oeste, como cavados e cristas, são desviados de suas trajetórias originais. Assim, as baixas migratórias ao se aproximarem de uma alta de bloqueio ficam estacionárias ou se deslocam pela periferia da alta pressão, podendo causar condições de tempo duradouras sobre grandes áreas.

O impacto dos bloqueios nas condições de tempo e clima é analisado com base nos campos médios das temperaturas máximas e mínimas e da precipitação sobre o continente sul-americano. Durante episódios de bloqueio é observada uma redução da precipitação sobre o Brasil, principalmente durante o verão, e um aumento das temperaturas máximas e mínimas no sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e norte da Argentina, durante o inverno (Mendes at al., 2005).

Em 500 hPa (Figura 1.15 A) evidencia-se a anomalia positiva de geopotencial em quase todo o Brasil. Ao sul, no oceano Atlântico, observa-se anomalia negativa de geopotencial, a qual mostra que os sistemas transientes restringiram às latitudes mais altas. No Pacífico o que dominou durante o mês foi a intensa crista bloqueando também a entrada de distúrbios. Para ilustrar melhor o domínio da alta pressão que causou temperaturas elevadas, baixos índices de umidade relativa do ar e chuva abaixo da

média durante o mês de março de 2007, é mostrado o campo em 500 hPa da primeira e segunda quinzena (Figura 1. 15 B). A anomalia de PNM para este mês indica valores positivos sobre o Oceano Atlântico Sul e valores negativos sobre o Oceano Pacífico Sul, o que fornece o indicativo da existência de bloqueio sobre o Atlântico Sul. Esta configuração impede a passagem de frentes frias pelo sul do Brasil. Os valores intensos de anomalia negativa de pressão sobre o Pacífico Sul indica que os sistemas de baixa pressão e frentes frias atuaram principalmente nesta região.

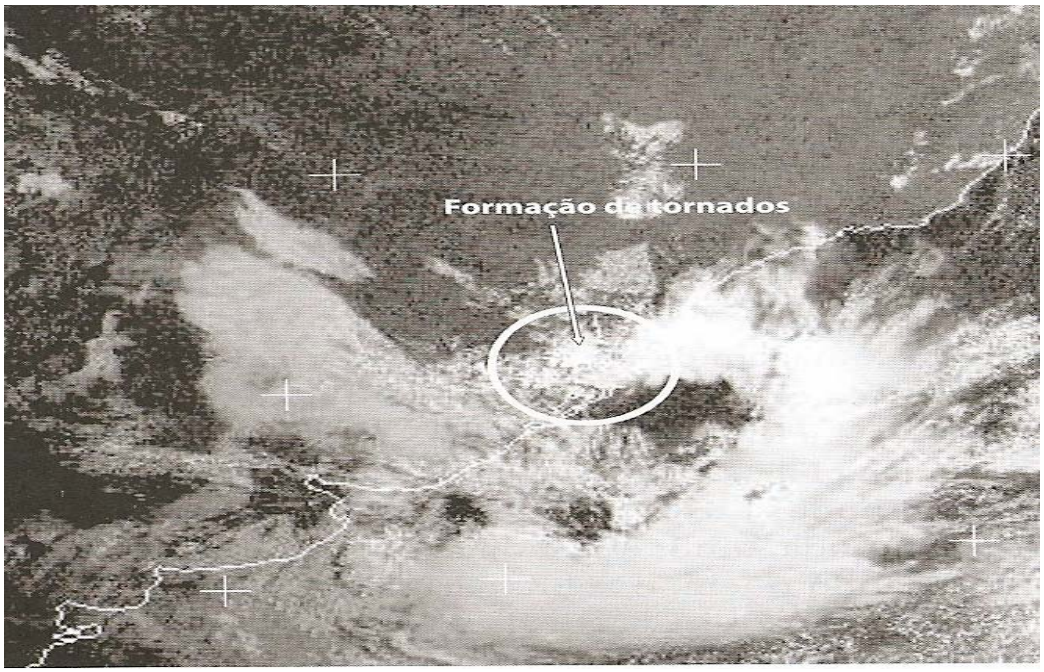
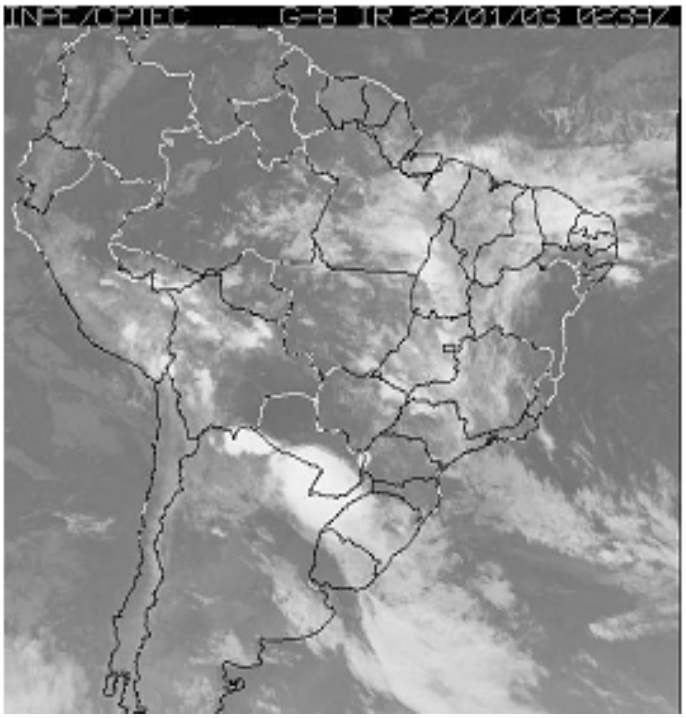
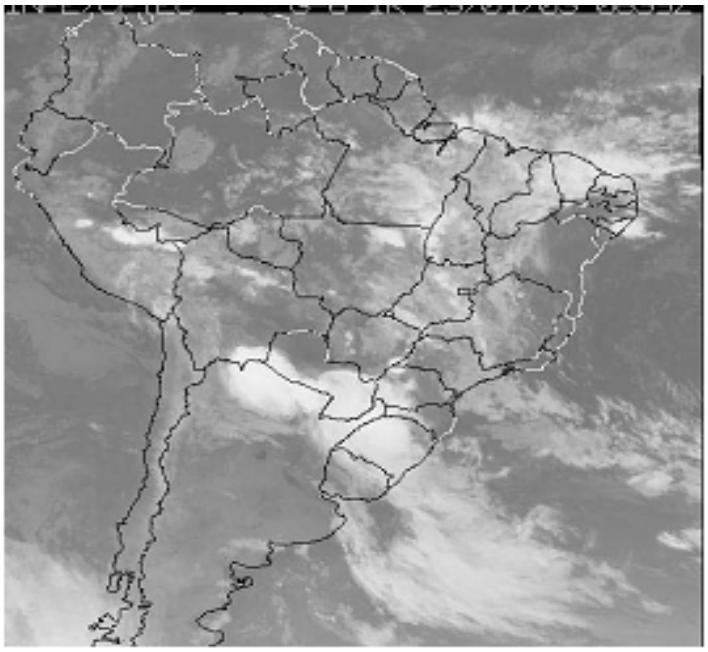


Figura 1.11 Imagem de um VCAN com nebulosidade para formação de fortes trovoadas e até tornado, no sul do Brasil em IR Fonte: Ferreira (2006).



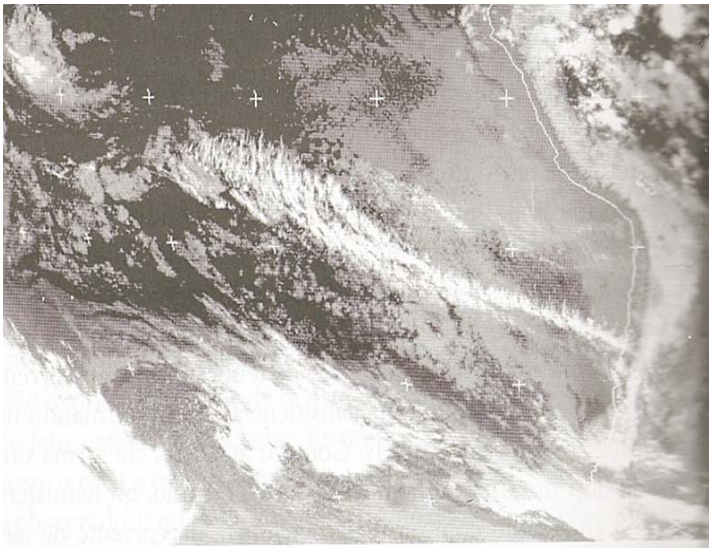
(A)



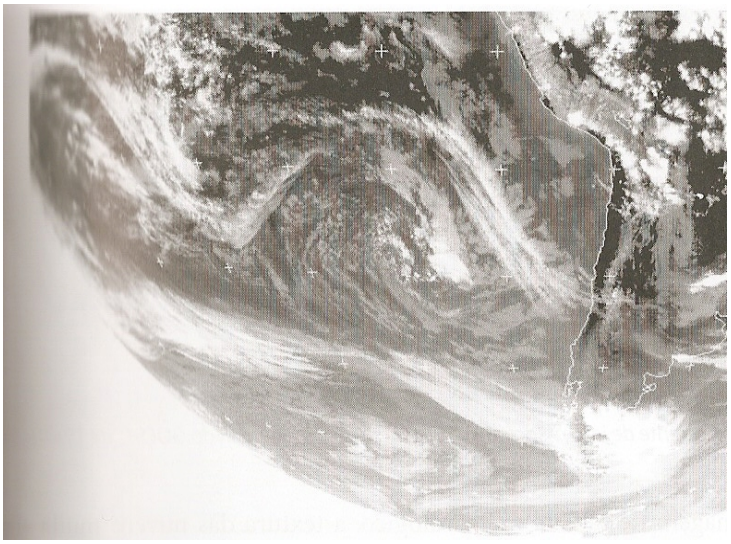
(B)

Figuras 1.12 (A e B) Imagens em infravermelho identificam nebulosidades associadas a um SCM sobre o RS, parte da Argentina e do Paraguai. Fonte: Ferreira (2006).

.



(A)



(B)

Figura 1.13. Imagem aproximada do fluxo zonal (comprimento entre 5.000 e 7.000 Km) (A) e meridional (B) do Jato Subtropical no sul da América do Sul, em IR. Fonte: Ferreira (2006).

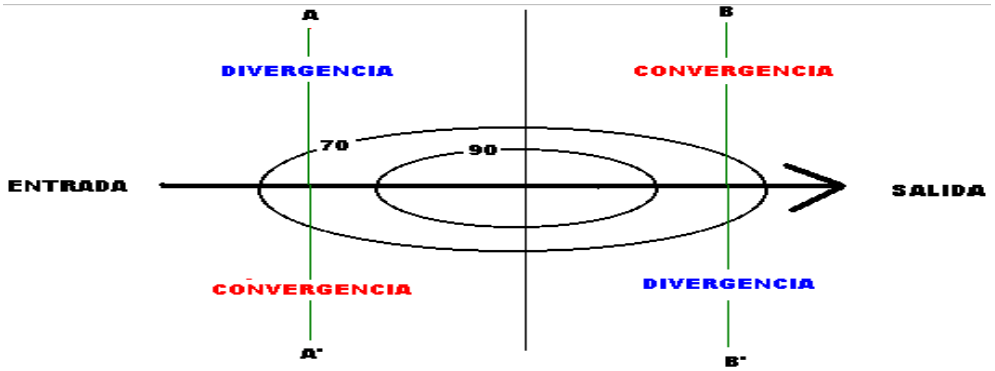
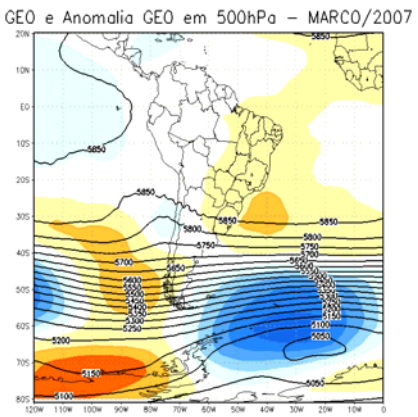
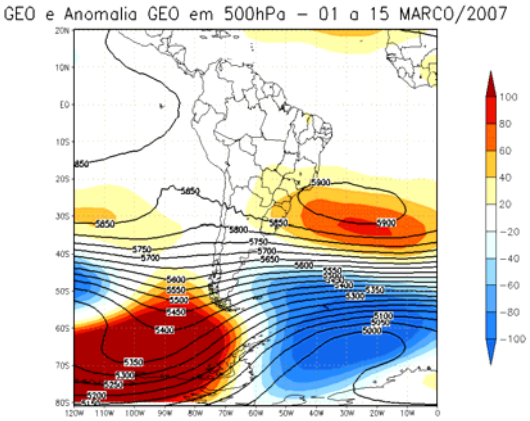


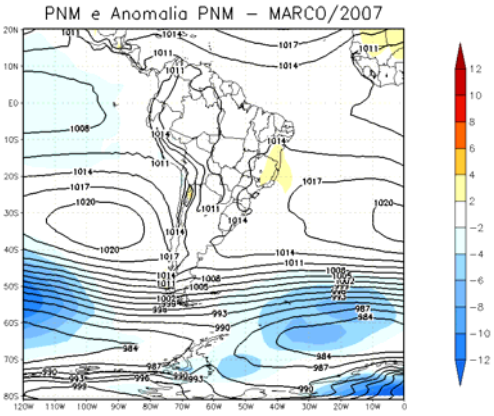
Figura 1.14. Regiões de convergência e divergência na entrada e saída do jato no Hemisfério Sul.



(1)



(2)



.

(3)

Figura 1.15 Geopotencial e as anomalias de geopotencial em 500hPa (quadro 1 e 2), e de PNM e anomalia de PNM (quadro 3), na América do Sul, para março de 2007. Fonte: CPTEC/INPE (2007)

1.7 - VERANICO

A variabilidade climática é determinada por uma gama extensa de fenômenos atmosféricos e oceânicos e suas interações. A ocorrência de períodos anormalmente secos e úmidos causa, por vezes, impactos significativos na sociedade como um todo. Períodos secos ocorridos durante a estação chuvosa podem ser denominados de veranicos. Veranico durante a estação chuvosa é normalmente considerado como um número seqüencial de alguns dias (5, 6 e 10 dias) sem que haja precipitação atmosférica significativa. Por vezes, durante o inverno, veranico é conhecido como período de dias consecutivos anormalmente quentes. Nesta pesquisa, veranico é definido como períodos de cinco dias secos durante a estação chuvosa, o que influenciaria o desenvolvimento de culturas agrícolas e da pecuária, desencadeando prejuízos à região.

A ocorrência de veranico vem sendo estudada há algum tempo em algumas regiões do Brasil, por profissionais como engenheiros, agrônomos, meteorologistas e geógrafos. O veranico pode ser considerado tanto do ponto de vista agrícola como do ponto de vista meteorológico. Na agricultura, os aspectos mais importantes dizem respeito à insuficiência hídrica no solo; por outro lado, a ausência ou não de precipitação é um aspecto frequentemente mais considerado por meteorologistas. Assad (1994), Souza e Peres (1998), Ferreira (1996 e 2000), Minuzzi *et al.* (2004) são exemplos relativamente recentes de trabalhos relacionados ao mapeamento da freqüência, probabilidade de ocorrência e do período de incidência do fenômeno. Nestes estudos são utilizadas séries temporais de dados pluviométricos e de temperatura para as Regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do País.

Grande parte do Brasil apresenta na agricultura sua maior fonte de renda, como nos Estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul. É desenvolvida em todas as estações do ano, o que indica, portanto, a existência de uma estreita ligação entre a produtividade agrícola e as condições de tempo e clima, que ocorre durante o ciclo de desenvolvimento de uma determinada cultura (Berlato e Fontana, 1999). Os efeitos proporcionados por desvios significativos de precipitação e temperatura em regiões agrícolas estão associados à perda da produção, total ou parcial.

Quando o fenômeno veranico atinge a cultura agrícola em sua fase reprodutiva, cuja influência na produção final é fundamental, assume considerável importância (Assad, 1994). A maior freqüência de ocorrência do fenômeno neste período pode reduzir a produtividade agrícola, desencadeando a desaceleração em rede da atividade econômica regional. O impacto da variabilidade dos eventos extremos de precipitação na agricultura é notável pois culturas como a soja, cevada e milho, podem ser severamente afetadas em períodos de estiagem (Berlato *et al.*, 1992). Desta forma, a variabilidade interanual da precipitação no RS, determinada, em parte, por condições climáticas remotas, é um fator importante na flutuação da produção agrícola do Estado.

Devido à grande importância de eventos de veranico para a produção agrícola, é necessária a realização de trabalhos mais detalhados acerca de sua ocorrência e aspectos atmosféricos associados. A grande variabilidade espacial da precipitação sugere a necessidade de regionalização destes estudos. Grande parte dos estudos realizados nos últimos anos não contam com a indicação da variabilidade espacial da freqüência e probabilidade de ocorrência do evento. As primeiras preocupações em espacializar o fenômeno, em termos de freqüência e probabilidade, surgiram com o trabalho de Garcia e Rodriguez de Castro (1986) que analisaram a precipitação em 81 estações na região do Pantanal-Matogrossense, e o de Moreira (1985) apud Assad (1994), que, com base nas médias mensais de 200 estações localizadas no Cerrado brasileiro, definiu os padrões pluviométricos da região, subdividindo a região em cinco zonas com ofertas pluviométricas mensais bem disitntas.

Souza e Peres (1998) calcularam a probabilidade de ocorrência de veranicos e a queda de rendimento da produção do milho em dois períodos de cultivo para a região de Piracicaba, em São Paulo: durante o verão (janeiro a março) e safrinha (maio a julho). Concluiram que no período de verão, a probabilidade de grandes perdas foi pequena, e que no período de safrinha, entretanto, a probabilidade de ocorrência de veranicos mais longos, que causam mais prejuízo, foi maior. Em ambos períodos, a queda de rendimentos deu-se em conseqüência da época de ocorrência do veranico. Ocorrendo na fase de floração, fase anterior ao enchimento dos grãos, as perdas mostraram ser mais significativas.

A avaliação da ocorrência de veranico no Estado do Rio de Janeiro, com o objetivo de simular o fenômeno de diferentes durações e identificar sua probabilidade de ocorrência nos meses de dezembro a fevereiro foi realizada por Cruz et al. (2004). Com base nos resultados foi possível identificar o mês de dezembro como o mais propenso à ocorrência de veranico e os meses de janeiro e fevereiro, nesta ordem de signficância, como os menos propensos.

Ferreira e Batista (2004) investigaram a ocorrência do fenômeno veranico e de deficiência hídrica na Bacia do Rio Paraibuna, em Minas Gerais. Objetivaram obter parâmetros balizadores de estratégia de manejo para as atividades agrícolas, baseando-se no conhecimento espacial da probabilidade de ocorrência do veranico para minimizar os efeitos de eventuais períodos secos associados a um provável estresse hídricos. Ressaltam que quando se trata da observação e estudo da ocorrência e frequencia da precipitação e como ela se apresenta com grandes flutuações durante todo o mês, sugere que as médias não se constituem um bom índice para análise de oferta de chuvas, porque estas médias associam-se a coeficientes de variação que chegam a passar de 100% em alguns meses menos chuvosos.

Alencar e Fonseca (2006) realizaram um estudo mais localizado para a ocorrência de veranico no município de Belo Horizonte, MG, para o mês de janeiro de 2006. Segundo os autores, o mês de janeiro corresponde ao segundo mês com maior média pluviométrica no município (296,3 mm), inferior apenas a dezembro (319,4 mm), sendo assim importante para o estudo da regulação do regime fluvial, deslizamentos de encostas e cultivos agrícolas. Analisando os dados de precipitação do INMET, concluiram que em janeiro de 2006 foi registrado na capital mineira o mais longo veranico de um período de seis anos, atingindo o pico de 19 dias ininterruptos de seca. Ferreira (2000) estudou a probabilidade de ocorrência de veranicos no município mineiro de Juiz de Fora, enfatizando que em quase todo o estado de Minas Gerais existem duas estações do ano bem definidas: uma chuvosa, que vai de outubro a março, e outra seca, que se estende de abril a setembro. Segundo a autora, o conhecimento das épocas de maior probabilidade de ocorrência de veranicos permite o planejamento da prática do plantio, de modo que a fase da cultura dependente da disponibilidade hídrica coincida com os períodos favoráveis à ocorrência de chuva e, a época seca seja

aproveitada para atividades que não podem ser conduzidas em tempo chuvoso, como, por exemplo, a colheita.

A influência de eventos La Niña na ocorrência de veranico em Minas Gerais foi estudada por Minuzzi et al. (2005). Foram analisados dados diários de chuva de mais de 100 localidades com o objetivo de se identificar o início do periodo chuvoso, a quantidade de chuvas durante este período e o comportamento da ocorrência e duração de veranicos em anos de resfriamento da TSM do Pacífico Equatorial. Concluíram que em anos de La Niña há registros de chuvas abaixo da média em boa parte de MG e, as estiagens ao norte e nordeste do Estado de MG estão relacionadas a períodos de 15 dias de duração, enquanto que no sul e sudoeste, os períodos de veranicos têm duração menor, de três a seis dias. O déficit hídrico no período crítico do ciclo de uma cultura, período definido entre o pendoamento e o início de enchimento de grãos, está associado a uma redução produtiva. Bergamaschi et al. (2004) estudaram o suprimento de água durante o período crítico do milho em Eldorado do Sul, RS, localizado em 30º50’ S e 51º40’ O, a 40 metros de altitude, nas safras de 1998/1999 e 2002/2003, anos em que ocorreram, respectivamente, os fenômenos de La Niña e El Niño. A condição de La Niña esteve associada, em 1998/1999, à redução na produção de milho no Estado, com sérios prejuízos aos produtores e à cadeia produtiva ligada ao cereal. Por outro lado, em 2002/2003, período de El Niño, foi verificada produção de milho superior à média histórica gaúcha, ao mesmo tempo em que as precipitações ficaram acima da média climatológica.

Muitos trabalhos levam em consideração não somente a precipitação, mas as condições de evaporação e evapotranspiração em estudos de avaliação do déficit hídrico do solo. Além da disponibilidade hídrica, a variabilidade da radiação solar que atinge a superfície influencia a produtividade vegetativa. A intensidade da radiação solar depende essencialmente da declinação do Sol sobre o horizonte (Nimer, 1990). A energia disponível nos níveis inferiores da atmosfera na Região Sul é de aproximadamente 0,34 cal/cm²/min em ondas curtas e de 0,30 cal/cm²/min em ondas longas. Na zona intertropical estes valores passam a 0,43-0,37 cal/cm²/min, em ondas curtas, e 0,3 cal/cm²/min, em ondas longas e, em latitude elevadas superiores a 60º, a 0,13 cal/cm²/min, em ondas curtas, e 0,3 cal/cm²/min, em ondas longas. Também é notória a influência que a temperatura do solo exerce na germinação. As trocas de calor

entre a superfície do solo e a atmosfera, tanto por condução como por irradiação, bem como por processos de evaporação e condensação da água, ocorrem durante o dia e a noite. O efeito da radiação sobre as plantas varia conforme o comprimento de onda e foi classificado por Chang (1968, apud Varejão-Silva, 2001), tal como indicado na Tabela 1.2.

Tabela 1.2. Efeito da radiação eletromagnética sobre a vegetação, de acordo com a faixa espectral

Radiação (μm)	**Efeito sobre a vegetação**
< 0,28	morte da planta
0,28 – 0,40	inibição do crescimento
0,40 – 0,51	influencia a fotossíntese
0,51 – 0,61	exerce pouca influência sobre a fotossíntese
0,61 – 0,72	acentuada ação fotossintética
0,72 – 1,00	influencia a germinação, floração e coloração
> 1,00	não exerce papel essencial

Fonte: (Chang, 1968, apud Varejão-Silva, 2001).

Cunha *et al*. (1998), através de um estudo baseado em um modelo de relação clima-planta, ao considerarem as interações entre local, data de semeadura e ciclo dos cultivares, determinaram a perda de potencial de rendimento de soja no RS por deficiência hídrica. O estudo permitiu concluir que a disponibilidade hídrica é uma variável que limita a expressão de potencial de rendimento da cultura de soja no Rio Grande do Sul, independentemente do ciclo do cultivar, da época de semeadura e do local. Entretanto, dentre as regiões do Estado, foi observada certa variabilidade, de tal forma que a magnitude da perda de potencial de rendimento variou de acordo com a falta de água. No RS a fase de semeadura ocorre com regularidade entre outubro e dezembro para os cultivares representativos dos grupos de maturação precoce, médio e semitardio/tardio, respectivamente. Ainda, segundo Cunha *et al.* (1998), as perdas de rendimentos em soja são, de forma geral, maiores na metade sul do Estado. Assim, considerou-se, neste estudo, que a falta hídrica no solo, através do déficit de precipitação, foi o aspecto físico determinante para a alteração da produção agrícola no RS.

CAPÍTULO 2

2 - DADOS METEOROLÓGICOS E METODOLOGIA

Os dados de precipitação pluviométrica diária utilizados neste trabalho referem-se ao período de janeiro de 1978 a julho de 2006, obtidos do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e alocados na site diretório ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/wd52ws/SA/historical/. Este conjunto de dados foi compilado por Silva *et al.* (2007) e apresenta resolução espacial de 1 grau. As variáveis meteorológicas utilizadas para a caracterização dos padrões atmosféricos em períodos extremos foram obtidas do conjunto de dados da Reanálise I e II, do site http://www.cdc.noaa.gov/cgi-bin/db_search/SearchMenus.pl. Foram obtidas as variáveis: componente zonal e meridional do vento (m/s), em 200 e 850 hPa, pressão à superfície (hPa), radiação de onda longa (ROL) (W/m^2), altura geopotencial (m) em 200 e 850 hPa e temperatura da superfície do mar (TSM) (^oC). A resolução espacial deste conjunto de dados é 2,5 graus, tanto na direção zonal quanto meridional.

Foram escolhidos seis municípios para a representação da Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul: São Luiz Gonzaga, Santa Rosa, Cruz Alta, representativos da porção mais a oeste, Iraí, Marcelino Ramos e Passo Fundo, representativos da porção mais ao norte. Os distintos municípios selecionados representam uma das áreas do Brasil de maior produção em atividade da agropecuária, com destaque para a produção de soja, gado leiteiro e rebanho suíno (FEE, 2008; EMATER/RS, 2006).

Como os dados de precipitação diária estão dispostos espacialmente em grade regular de 1 grau, cada posto foi representado pelo valor de grade mais próximo de sua localização geográfica (Tabela 2.1).

Tabela 2.1. Coordenadas geográficas e altitude dos seis municípios a noroeste do RS.

Município	Latitude (S)	Longitude (O)	Altitude (m)
São Luiz Gonzaga	28	54	231
Santa Rosa	27	54	277
Cruz Alta	28	53	452
Iraí	27	53	235
Passo Fundo	28	52	687
Marcelino Ramos	27	51	405

Fonte: http://paginas.terra.com.br/educacao/Astronomia/latRS.html (2008).

Os dados de precipitação foram manipulados com base em linguagem computacional Fortran, de tal forma que pudessem ser calculados os valores acumulados em pêntadas, meses e anos, para todo o Estado do RS. Para os valores mensais e anuais, foram calculadas as médias climatológicas e as respectivas anomalias. Tanto os dados originais quanto os tratados foram também lidos pelo software GrADS (Iges, 2008), utilizado para a elaboração de mapas com os padrões atmosféricos e de séries temporais da precipitação em várias escalas (anual, mensal e pentadal). Tanto o compilador para linguagem Fortran como o GrADS foram utilizados no sistema LINUX, que podem ser facilmente instalados em computadores pessoais.

Uma análise de distribuição de freqüência dos dados de precipitação acumulada em pêntadas foi feita para a escolha padronizada do limite inferior de cada posto, para cada mês, que pudesse ser tomado como indicador da pêntada com chuva ou sem chuva Assis *et al.*, (1996). Esse limite foi definido como o valor da precipitação pentadal referente ao percentil 10% (ou decil) para cada mês e cada posto (Tabela 2.2) (Assis *et al.*,1996, Xavier *et al.*, 2002). Uma vez determinado o valor limite, procedeu-se a contagem das pêntadas sem chuva para cada mês e de cada posto. Foi dada ênfase à análise dos veranicos do primeiro e último trimestre dos anos do período considerado (1978/2005) devido à sua associação aos períodos de plantio e desenvolvimento das culturas agrícolas na região. A soja, principal cultura agrícola desta região, é plantada a partir do mês de outubro e colhida até março (Berlato *et al.*, 1992). Os valores acumulados em pêntadas foram usados para o cálculo do número de veranicos em cada

mês e analisados para o primeiro e último trimestre de cada ano, jan-mar e out-dez, respectivamente.

Tabela 2.2. Valores de precipitação (mm) correspondentes ao percentil 10%, $p_{0,1}$, para cada posto e cada mês considerado

POSTO/MÊS	JAN	FEV	MAR	OUT	NOV	DEZ
SÃO LUIZ GONZAGA	0,4	2,0	0,5	1,3	1,0	0,6
SANTA ROSA	1,5	4,6	1,3	3,0	2,0	2,0
CRUZ ALTA	1,0	2,0	0,5	1,4	1,4	1,6
IRAI	1,6	3,8	1,0	1,6	1,3	2,4
PASSO FUNDO	0,5	4,0	1,2	2,0	2,0	2,8
MARCELINO RAMOS	0,4	5,5	1,5	3,7	2,2	3,5

A climatologia de precipitação no NW do Estado foi baseada no cálculo do acumulado mensal, anual, respectivas anomalias e desvio padrão. As anomalias mensais e anuais foram calculadas tanto para os dados de precipitação como para as variáveis atmosféricas usadas na elaboração dos padrões em períodos de extremos climáticos. De forma geral, a anomalias de uma variável específica pode ser calculada como: $\mathrm{var}' = \mathrm{var}_i - \mathrm{var}_{c\lim}$, em que var' indica a anomalia, var_i, a variável em questão e var_{clim}, sua média climatológica.

Os dados das variáveis atmosféricas altura geopotencial, vento, ROL, PNM e TSM foram obtidos para a elaboração de campos representativos de condições específicas da atmosfera. Considerando-se que a divergência horizontal do ar em altos e baixos níveis pode indicar a caracterização de sistemas sinóticos específicos, particularmente numa atmosfera baroclínica, procedeu-se ao cálculo desta grandeza para melhor caracterizar os períodos selecionados. O cálculo da divergência horizontal em 200 e 850 hPa (considerando-se as componentes u e v do vento) pode ser indicado como:

$$div = \left(\partial u / \partial x + \partial v / \partial y \right),$$

que, na forma discretizada, é escrita como $div \approx \left(\Delta u / \partial x + \Delta v / \partial y \right)$, em que $\left(\Delta u / \Delta x \right)$ é a variação da componente zonal do vento (u) na direção zonal (x) e $\left(\Delta v / \Delta y \right)$ é a variação da componente meridional (v) do vento na direção meridional (y).

A análise da atmosfera em latitudes médias é caracterizada pelo deslocamento de perturbações de escala sinótica, ciclones e anticiclones. As condições termodinâmicas necessárias para a intensificação destas perturbações em latitudes médias são o deslocamento de um cavado em altos níveis e a aproximação de uma zona baroclínica ou frontal com advecção média de ar frio na camada atmosférica (Kousky e Elias, 1982). Considerando-se uma atmosfera baroclínica, regiões com convergência em níveis baixos estão associadas a regiões de divergência em níveis mais altos (Kousky e Elias, 1982).

Na frente dos sistemas de baixa pressão, em baixos níveis troposféricos, o ar ganha vorticidade ciclônica que implica em convergência. Na retaguarda de um sistema de baixa pressão à superfície, o ar ganha vorticidade anticiclônica (ou perde vorticidade ciclônica), isto implica em divergência. Similarmente, na vanguarda de um sistema de alta pressão em superfície, o ar está ganhando vorticidade anticiclônica e, portanto, é divergente, enquanto que na retaguarda de um sistema de alta pressão o ar está perdendo vorticidade anticiclônica e, assim sendo, o ar tende a ser mais convergente (Kousky e Elias, 1982). Estas características são observadas em ambos os hemisférios do globo.

As componentes de vento zonal e meridional em 200 e 850 hPa utilizadas para a composição de campos médios foram obtidas do conjunto de dados da Reanálise II do NCEP/NCAR, com espaçamento de grade de 2,5 graus de latitude e longitude. Pela representação das setas do vento é fácil observar muitas vezes a convergência e divergência do ar em vários níveis da atmosfera. Áreas de convergência em baixos níveis normalmente estão associadas à ascensão do ar, com a possibilidade de condensação do vapor d'água e formação de nebulosidade, o que depende da quantidade de umidade e energia em baixos níveis. Nuvens pouco desenvolvidas podem estar associadas a movimentos subsidentes na camada atmosférica.

A variável geopotencial (m^2 s^{-2}) é a energia potencial de uma parcela de ar de massa unitária, sendo que seu valor referencial zero encontra-se, em geral, no nível médio do mar. Pode ser definido como o trabalho requerido para levantar uma massa unitária do nível médio do mar ao nível z. A altura geopotencial (m) é obtida dividindo-se o geopotencial pela aceleração da gravidade referencial do planeta.

Valores de altura geopotencial são utilizados para caracterizar regiões propícias ou não à formação de nebulosidade. Representa a altitude acima do nível do mar em que está um determinado nível de pressão, levando-se em consideração a temperatura média da camada abaixo deste nível. Normalmente, camadas mais frias (quentes) apresentam menor (maior) altura geopotencial. Conforme Varejão Silva (2002), regiões com valores de geopotencial relativamente baixos (altos) estão muitas vezes associadas à formação e intensificação (desintensificação) da nebulosidade. Na prática, valores negativos de anomalias de geopotencial indicam aproximação de sistemas frontais, enquanto valores positivos indicam aproximação de centros de alta pressão, que inibem a formação de nuvens, aspecto relevante para a previsão de tempo em regiões extratropicais. A análise da altura geopotencial média em períodos distintos permite identificar períodos preferencialmente caracterizados por condições de baixa e alta pressão na atmosfera, o que está associado à freqüência de passagem de ciclones e anticiclones pela região de estudo.

Campos de radiação de onda longa emergente (ROL) medida por satélite contribuem para a análise das condições sinóticas. Como as nuvens emitem menos radiação infravermelha do que a superfície, valores baixos de ROL (negativos de anomalia de ROL) estão muitas vezes associados à presença de nebulosidade.

A TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico tropicais é uma importante variável física que influencia as condições atmosféricas de tempo e clima na América do Sul. Eventos quentes e frios no Pacífico Equatorial, com anomalias positivas e negativas, estão associados aos extremos de precipitação na Região Sul do Brasil, tal como citado na seção 3 sobre o comportamento da TSM em períodos de ENSO. Os eventos com precipitação extrema selecionados para a análise sinótica dos padrões atmosféricos referem-se a anos de El Niño (1983, 1997, 1998) e La Niña (1988, 1989) mais intensos. As anomalias de TSM da região 3.4 (Niño) do Pacífico estão relacionadas na Tabela 3.2

do Capítulo 3. Foram ainda selecionados períodos muito secos ou úmidos na região, mesmo sem a incidência de eventos ENOS: (janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro).

CAPÍTULO 3

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são apresentados em três seções principais: caracterização da climatologia da precipitação e da temperatura para a Região Sul do Brasil, enfocando particularmente o Estado do RS (seção 3.1); climatologia de veranicos para a porção Noroeste do RS (seção 3.2) e; associação de períodos extremos de precipitação no Noroeste do RS aos padrões atmosféricos (seção 3.3). Todos os resultados mostrados neste capítulo foram elaborados com base no conjunto de dados de variáveis meteorológicas obtidas para este estudo.

3.1 - CLIMATOLOGIA DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA NA REGIÃO SUL DO BRASIL

Refletindo a variabilidade a que está sujeita a dinâmica atmosférica, seu principal fator genético, os elementos constituintes do clima são também irregulares, estando, por isso, sujeitos as variabilidades ou desvios de um ano para outro. Considerando-se todo o Brasil, os maiores volumes anuais de chuva ocorrem na porção norte do País, ressalta-se que o NW do RS e oeste de Santa Catarina e sudoeste do Paraná têm médias anuais semelhantes com parte da Região Amazônica, nos limites de seu contorno, como pode ser observado na Figura 3.1.

Entre os aspectos pluviométricos mais marcantes do Sul do Brasil ressalta-se o fato das chuvas caírem de forma bastante uniforme, tanto temporalmente quanto espacialmente. Ao longo de quase todo o território do RS a altura média da precipitação anual varia de 1200 a 1800 mm, como indicado na Figura 3.2.

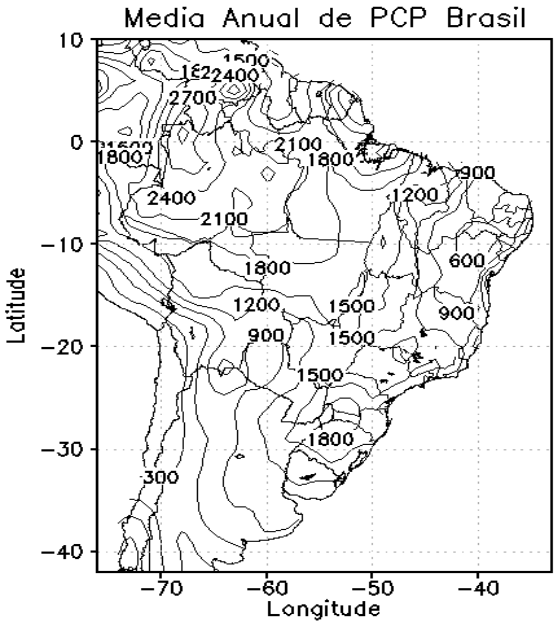


Figura 3.1 Precipitação média anual (mm/ano) no Brasil, para o período de janeiro de 1978 a dezembro de 2005.

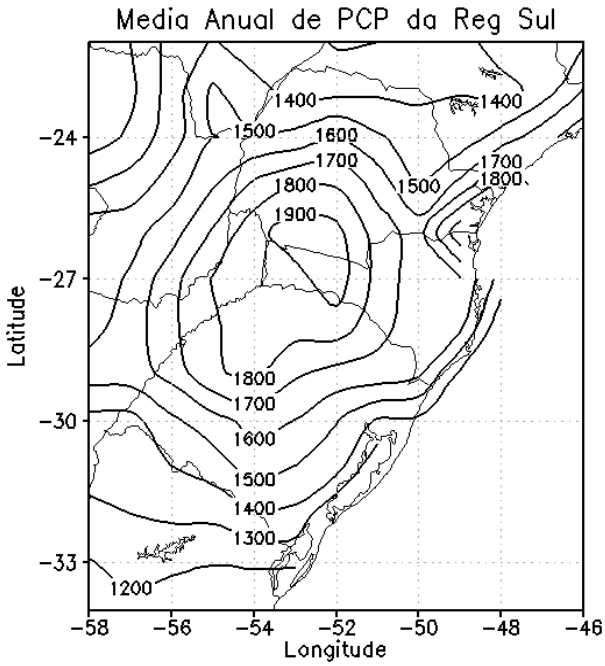


Figura 3.2 Precipitação média anual (mm/ano) entre 1978 a 2005 para a Região Sul do Brasil

A presença de relevo com configuração de planalto na porção centro-norte do Estado do Rio Grande do Sul e extremo oeste de Santa Catarina (Figura 3.3), associado ao escoamento do ar contribui para o grande volume observado de precipitação observado, entre de 1800 a 2100 mm.

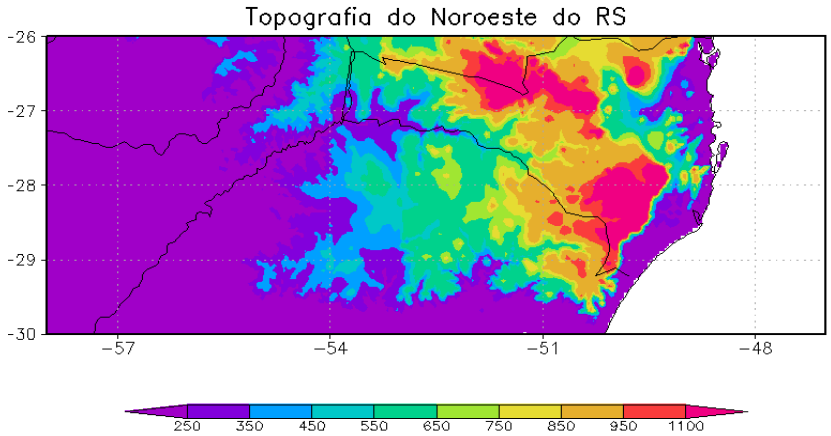


Figura 3.3 Topografia (m) do NW do RS e do Estado de Santa Catarina

Os dados de temperatura à superfície indicam que a Região Sul do Brasil apresenta temperaturas médias anuais entre 18 ^{o}C e 24 ^{o}C e o Estado do RS, particularmente, apresenta média anual entre 17 ^{o}C e 22° C (Figura 3.4).

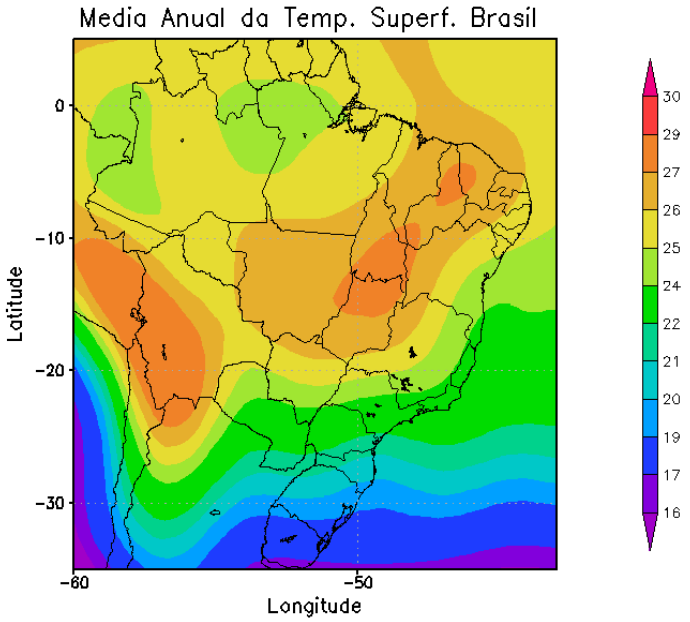


Figura 3.4. Temperatura do ar média anual em superfície, em todo o Brasil, entre 1979 e 2005.

3. 2 - EVOLUÇÃO TEMPORAL DO ENOS E CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL

O fato de a Região Sul do País caracterizar-se por pequena variabilidade pluviométrica não deve ser interpretado como uma situação de absoluta constância no clima. Em determinados anos a precipitação torna-se tão abundante que, em certos anos, chega a atingir totais pluviométricos equivalentes ao dobro da média climatológica (Nimer, 1990), enquanto que em outros o decréscimo de precipitação é tão notável que o valor acumulado é menor do que a metade da média climatológica.

A distribuição temporal da anomalia anual de precipitação nos seis municípios do NW do RS para anos com precipitação intensa, 1979, 1983, 1986, 1990, 1994, 1996, 1997, 1998, 2001 e 2002, anos em que a ocorrência de El Nino é verificada com maior freqüência, é indicada na Figura 3.5, onde se observam anomalias positivas na região de estudo em associação às anomalias de TSM no Pacífico com registros de precipitação bem superiores a 2000 mm em boa parte da Região Sul. Em contrapartida, 1978, 1981, 1985, 1988, 1991, 1994, 1995, 1999 e 2004 (Figura 3.5), anos com anomalias negativas de precipitação, estão associados mais frequentemente a eventos La Niña, onde as médias chegaram em torno de 1400 e 1500 mm . Para efeito de melhor visualização, anos tanto positivos quanto negativos de anomalia de precipitação (mm/ano) estão demonstradas na Figura 3.6 (A quadro 1 a 10) e (B quadro 1 a 6), mas, no entanto, demonstram toda a Região Sul do Brasil.

Também se faz observar as médias do acumulado anual na série histórica de 28 anos que podem ser vistas no gráfico da Figura 3.7 para a Região Noroeste do Rio Grande do Sul. Existe certa variabilidade anual de precipitação, mas mesmo assim, as médias não são tão ruins se comparadas à porção sul do Estado do RS ou outras regiões brasileiras.

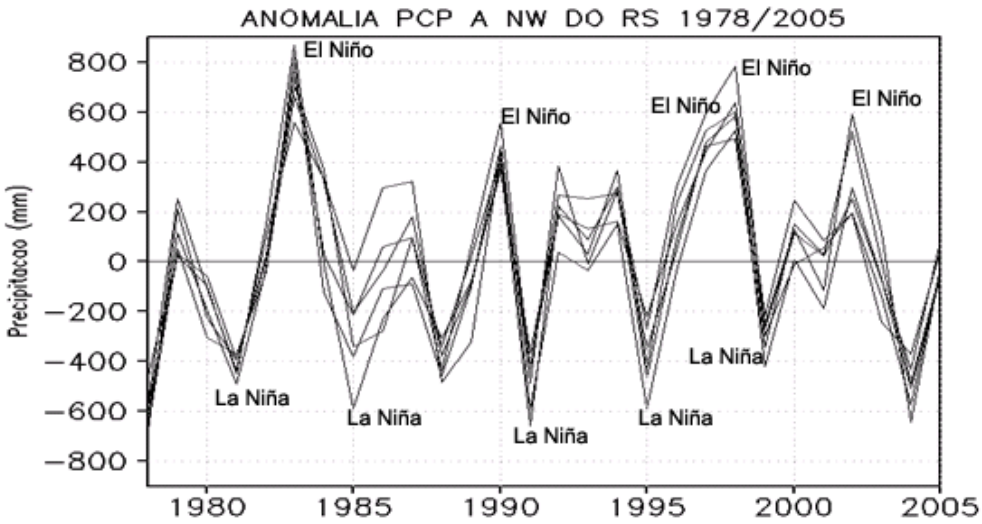
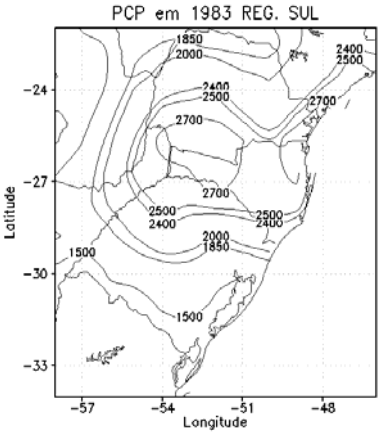
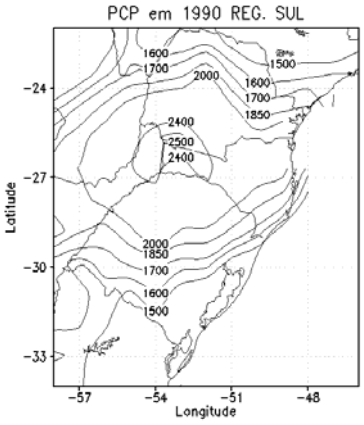


Figura 3.5. Anomalia anual de precipitação para as seis localidades do NW do RS, 1978 a 2005 e a indicação de ocorrência de ENOS.

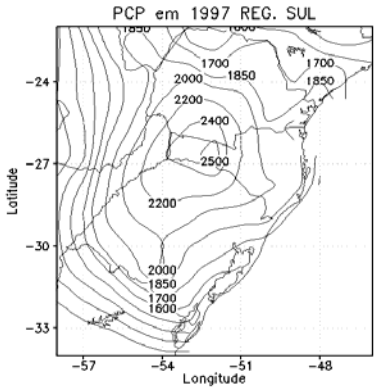
A seguir, são apresentados alguns anos com as médias acumuladas anuais de precipitação sobre a Região Sul do Brasil, primeiramente para os períodos com anomalias positivas logo após, anomalias negativas de precipitação.



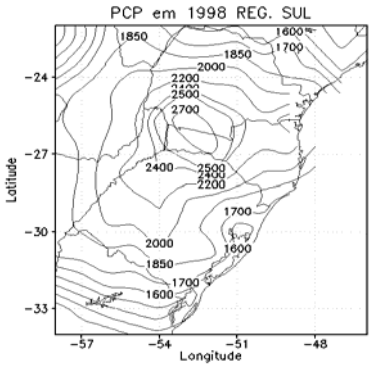
(1)



(2)

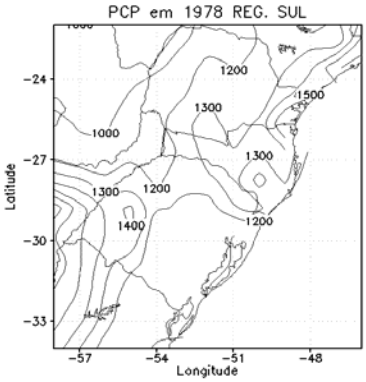


(3)

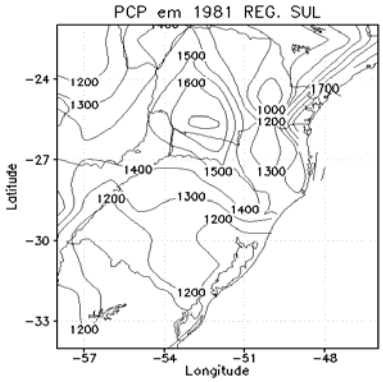


(4)

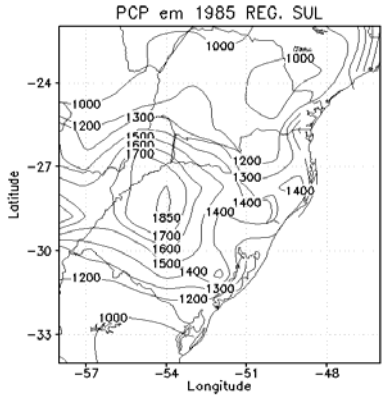
Figura 3.6 (A quadro 1 a 4). Seleção de alguns anos com anomalia de precipitação (mm/ano) na Região Sul, com anomalia positiva.



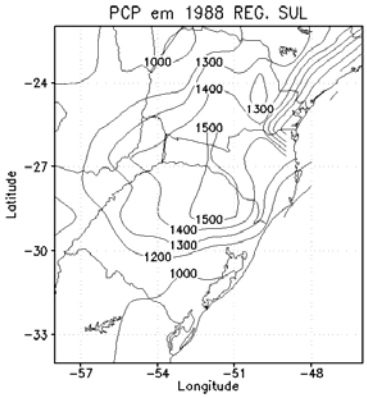
(1)



(2)



(3)



(4)

Figura 3.6 (B quadro 1 a 4) Seleção de alguns anos com anomalia de precipitação (mm/ano), na Região Sul, com anomalia negativa.

O comportamento da TSM do Pacífico e Atlântico tropicais influencia as condições climáticas em várias partes do globo. A evolução temporal dos eventos ENOS no Pacífico Tropical, entre 1970 e 2005, está indicada na Tabela 3.1, e Tabela 3.2 entre 1978 a 2006, com valores absolutos mais intensos da anomalia de TSM, superiores a 0,5 ^{o}C, coloridos em vermelho em casos de El Niño e, em azul, em casos de La Niña.

Tabela 3.1 Evolução de períodos quentes (vermelho) e frios (azul) na região do Niño3.4 entre 1970 e 2005. As anomalias de TSM com valores absolutos superiores a **0,5 ^{o}C** são marcadas com cores azul e vermelha.

Ano	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1970	0,5	0,3	0,2	0,1	-0,1	-0,4	-0,6	-0,8	-0,8	-0,8	-0,9	-1,2
1971	-1,4	-1,4	-1,2	-1	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,9	-0,9	-1	-0,9
1972	-0,7	-0,3	0	0,3	0,5	0,8	1,1	1,3	1,5	1,8	2	2,1
1973	1,8	1,2	0,5	-0,1	-0,5	-0,8	-1,1	-1,3	-1,4	-1,7	-1,9	-2
1974	-1,8	-1,6	-1,2	-1,1	-0,9	-0,7	-0,5	-0,4	-0,5	-0,7	-0,8	-0,7
1975	-0,6	-0,6	-0,7	-0,8	-1	-1,1	-1,3	-1,4	-1,6	-1,6	-1,7	-1,8
1976	-1,6	-1,2	-0,9	-0,7	-0,5	-0,2	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,8
1977	0,6	0,5	0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,8
1978	0,7	0,4	0	-0,3	-0,4	-0,3	-0,4	-0,5	-0,5	-0,4	-0,2	-0,1
1979	-0,1	0	0,1	0,2	0,1	0	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5
1980	0,5	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0	-0,1	0	0	-0,1
1981	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1
1982	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8	1	1,5	1,9	2,2	2,3
1983	2,3	2	1,6	1,2	1	0,6	0,2	-0,2	-0,5	-0,8	-0,9	-0,8
1984	-0,5	-0,3	-0,2	-0,4	-0,5	-0,5	-0,3	-0,2	-0,3	-0,6	-1	-1,1
1985	-1	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3
1986	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,2	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2
1987	1,3	1,2	1,1	1	1	1,2	1,5	1,6	1,6	1,5	1,3	1,1
1988	0,8	0,5	0,1	-0,3	-0,8	-1,2	-1,2	-1,1	-1,3	-1,6	-1,9	-1,9
1989	-1,7	-1,5	-1,1	-0,9	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1
1990	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4
1991	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	0,8	0,9	0,9	0,8	1	1,4	1,7
1992	1,8	1,7	1,6	1,4	1,1	0,8	0,4	0,2	-0,1	-0,1	0	0,1
1993	0,3	0,4	0,6	0,8	0,8	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2
1994	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9	1,2	1,3
1995	1,2	0,9	0,7	0,4	0,2	0,1	0	-0,3	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8
1996	-0,8	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4
1997	-0,4	-0,3	0	0,4	0,9	1,4	1,7	2	2,3	2,4	2,5	2,5
1998	2,4	2	1,4	1,1	0,4	-0,1	-0,8	-1	-1,1	-1,1	-1,3	-1,5
1999	-1,6	-1,2	-0,9	-0,7	-0,8	-0,8	-0,9	-0,9	-1	-1,2	-1,4	-1,6
2000	-1,6	-1,5	-1,1	-0,9	-0,7	-0,6	-0,4	-0,3	-0,4	-0,5	-0,7	-0,7
2001	-0,7	-0,5	-0,4	-0,2	-0,1	0,1	0,2	0,1	0	-0,1	-0,2	-0,2
2002	-0,1	0,1	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,1	1,3	1,5	1,3
2003	1,1	0,8	0,6	0,1	-0,1	0	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,5
2004	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8
2005	0,6	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,2	0	0	-0,2	-0,4	-0,7

Fonte: CDC/NOAA (2007)

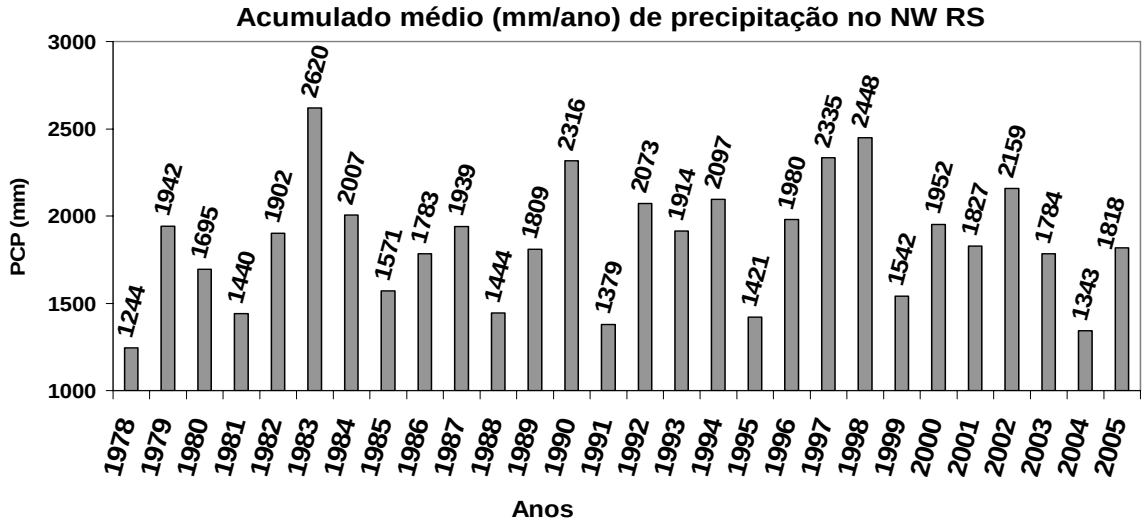


Figura 3.7. Precipitação acumulada anual entre os seis municípios do NW do RS de 1978 até 2005.

Para melhor compreensão da variabilidade climática da precipitação da Região Noroeste do RS, a evolução temporal de eventos ENOS está listada na Tabela 3.2. Tal como indicado no Capítulo 1, a precipitação na Região Sul do Brasil é bem correlacionada com os índices de ENSO. Durante o período estudado, eventos de El Niño mais intensos ocorreram nos anos 1982-1983, 1987-1988, 1991, 1992, 1994, 1995, 1996-1997, 1998, 2002, 2003 e eventos La Niña mais expressivos tem-se 1988, 1989, 1998, 1999, 2000, 2001 (Tabelas 3.1 e 3.2). Associados a estes eventos observa-se, respectivamente, a ocorrência de anomalias positivas e negativas de precipitação na Região Noroeste do RS. A tabela 3.1 classifica o ENOS com valores acima de 0.5°C e a tabela 3.2, classifica o ENOS com valores absolutos acima de 1°C. Ressalta-se que a tabela 3.1 contempla os sinais de ENOS fracos, moderados e intensos e a Tabela 3.2, somente considera os eventos muito fortes sobre o Niño 3.4, no Pacífico Equatorial. O acumulado médio anual dos vinte e oito anos pode ser visto pela Figura 3.7, evidenciando-se aumento (diminuição) do volume médio de precipitação no NW do Rio Grande do Sul, concordando com o gráfico da Figura 3.5.

Tabela 3.2 Anomalia da TSM sobre o Pacífico Equatorial com intensidades superiores a 1 °C (El Niño) e inferiores a -1°C (La Niña), na Região do Niño 3.4.

ANO	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1978	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1979	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1982	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
1983	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1984	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1986	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1987	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1988	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0
1989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1991	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1992	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1993	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1997	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
1998	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
2001	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2002	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
2003	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: NOAA (2008)

Tabela 3.3 Eventos El Niño e La Niña intensos (fortes), entre 1978 e 2006, em conformidade com a Tabela 3.2 (Niño 3.4).

ANO	**ENOS**
1978	NEUTRO
1979	NEUTRO
1980	NEUTRO
1981	NEUTRO
1982	**EL NIÑO**
1983	**EL NIÑO**
1984	NEUTRO
1985	NEUTRO
1986	NEUTRO
1987	**EL NIÑO**
1988	**LA NIÑA**
1989	NEUTRO
1990	NEUTRO
1991	**EL NIÑO**
1992	**EL NIÑO**
1993	**EL NIÑO**
1994	NEUTRO
1995	NEUTRO
1996	NEUTRO
1997	**EL NIÑO**
1998	**EL NIÑO**
1999	**NEUTRO**
2000	**LA NIÑA**
2001	**LA NIÑA**
2002	**EL NIÑO**
2003	**EL NIÑO**
2004	NEUTRO
2005	NEUTRO
2006	NEUTRO

Fonte: NOAA (2008)

A realização de uma análise climatológica sazonal da TSM na região de Niño 3.4 evidencia que os meses entre setembro e fevereiro do ano seguinte apresentam maior probabilidade de ocorrência de anomalias extremas (superiores a 0,5 ºC), tanto de anomalias negativas de TSM quanto positivas (Figura 3.8 e Tabelas 3.1 e 3.2).

O número de anomalias trimestrais positivas e negativas de TSM superiores ao valor absoluto de 0,5 °C, tal como apresentado na Figura 3.9, indica os anos mais representativos sobre a região do Niño 3.4, no Pacífico Equatorial. O ano de 1982 é um exemplo em que se registraram anomalias positivas de TSM a partir do quinto trimestre, sem que fosse registrado nenhum valor negativo até o sexto trimestre de 1983 (Tabela 3.2). Estes dois anos são exemplos típicos da ocorrência de El Niño e esteve associado a anomalias positivas de precipitação no sul do Brasil. Outros exemplos da ocorrência de El Niño foram os anos de 1986 e 1987 e o período entre 1991 e 1994. Em 1997 e no período de 2002 a 2005, caracterizados por El Niño, foram registradas anomalias positivas de precipitação na Região Sul do Brasil. Por outro lado, em 1984 e 1985, 1989, 1996, 1999, 2000 e 2001, foram registradas anomalias negativas de TSM (Tabelas 3.1 e 3.2). O período de 1988 a 1989 foi caracterizado por anomalias negativas de precipitação no Sul do Brasil.

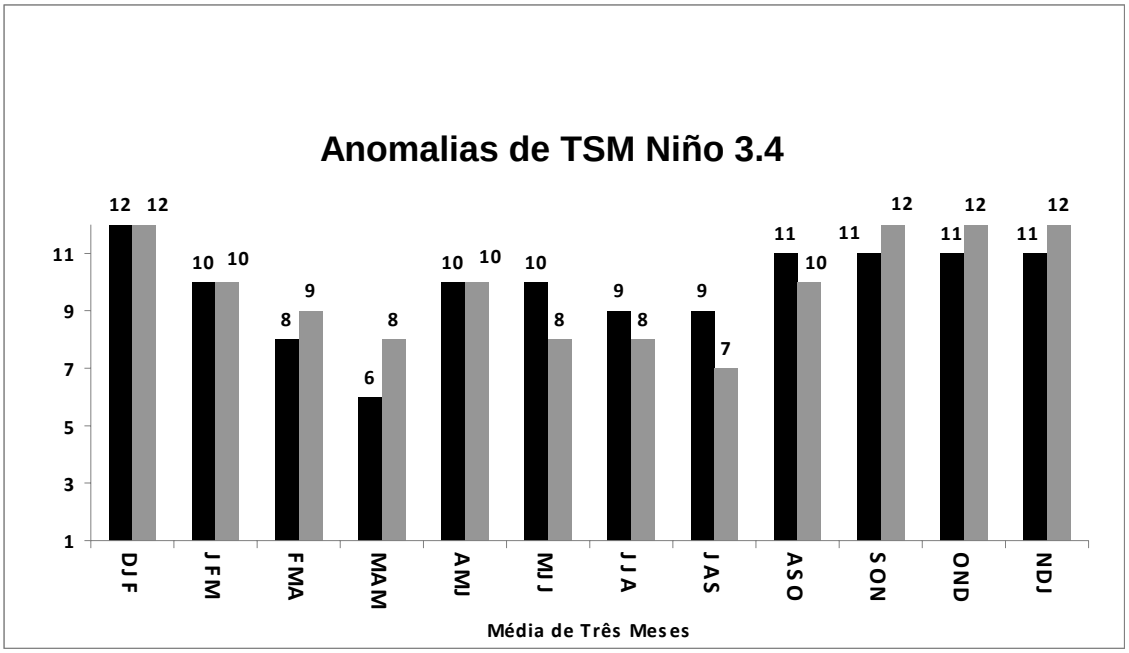


Figura 3.8. Composição média de três meses entre 1970 e 2005 em que períodos mais quentes (preto) e mais frios (cinza) no Oceano Pacifico Equatorial foram registrados, com anomalia absoluta de TSM superior a + ou - 0,5 °C, na região do Niño 3.4 (Tabela 3.1).

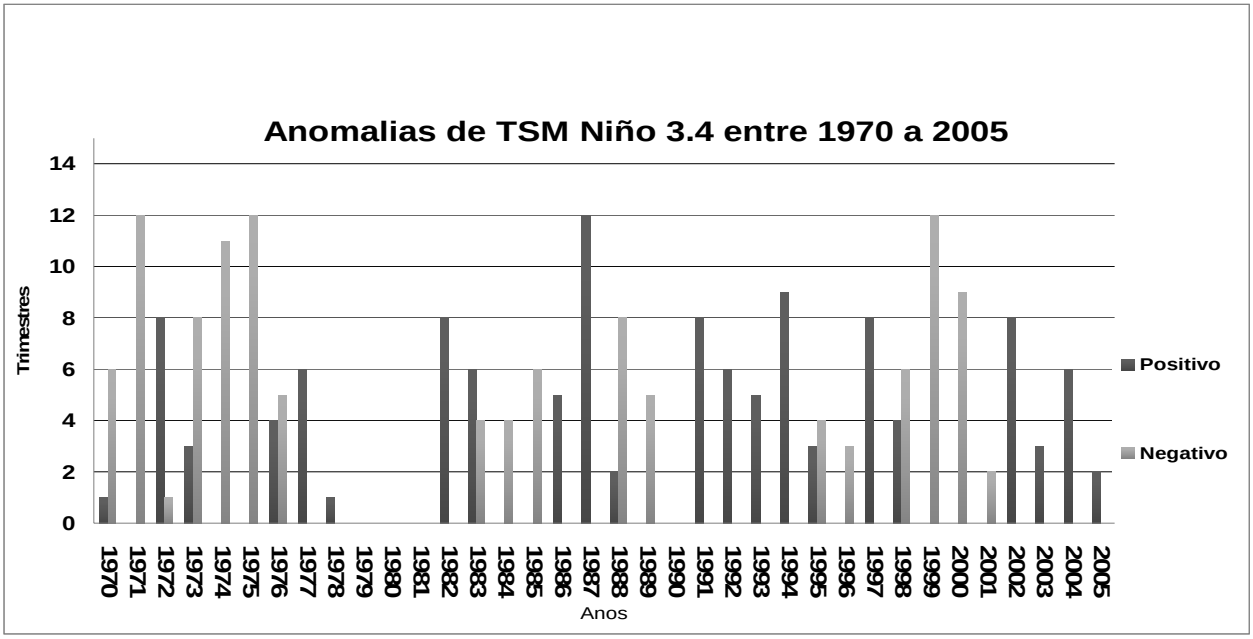


Figura 3.9 Evolução entre 1970 a 2005 de números de anomalia de TSM positiva (preta) ou negativa (cinza) de + ou – 0,5°C, por ano, na região do Pacifico Equatorial, conhecida como Niño 3.4 (Tabela 3.1).

Com base nos valores de anomalia anual de precipitação (Figura 3.5, 3.6 A e B, e 3.7) e de TSM da região de Nino 3.4 (Figuras 3.8 e 3.9 e Tabela 3.1), no Pacífico Equatorial, entre 1970 e 2005, e Tabela 3.2 (1978 a 2006) verifica-se que as anomalias mais significativas de precipitação ocorrem preferencialmente nos anos em que eventos de ENOS são caracterizados.

Observa-se que as regiões 1+2 e 3 e as regiões 3.4 e 4 apresentam comportamentos distintos com relação à variabilidade da TSM (Figura 3.10 A e 3.10 B (Quadros 1 a 8)). Os valores observados nas regiões a leste do Pacífico Equatorial, regiões 1+2 e 3 são similares, indicando valores positivos da anomalia da TSM em anos caracterizados como El Niño, como é o caso de 1983 e 1997. Adicionalmente, estas regiões apresentam uma amplitude de variação da TSM maior do que a observada na região 4.

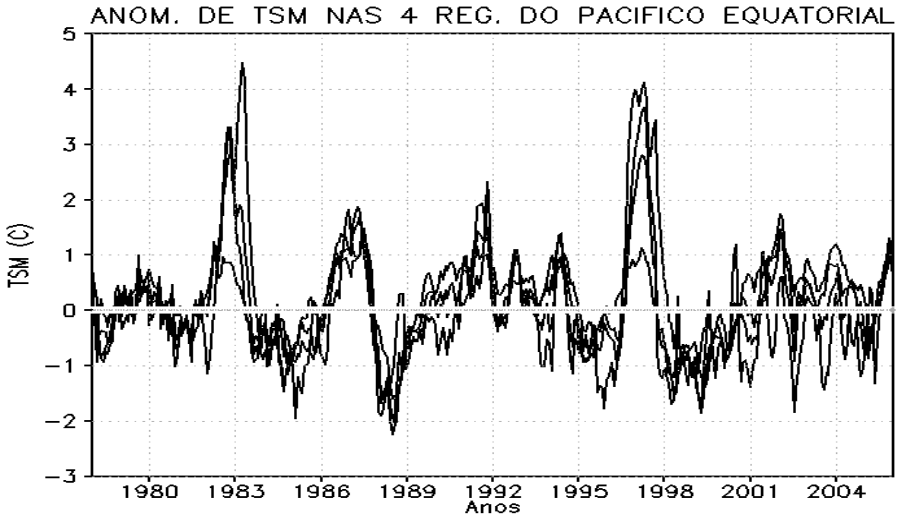


Figura 3.10 (A) Anomalias de TSM (°C) nas quatro regiões de Niño do Pacífico Equatorial: 1+2, 3, 3.4 e 4, de 1978 e 2006.

Com base nas anomalias de TSM nas regiões de Niño 1+2, 3, 3.4 e 4 (Figuras 3.10 A.e 3.10 B, quadros 1 a 8), verifica-se que as anomalias positivas de precipitação na região de estudo estão associadas às anomalias positivas de TSM, como é o caso dos anos 82-83, 87-88 e 96-97. Por outro lado, as anomalias negativas de precipitação estiveram associadas às anomalias negativas de TSM, como nos anos de 77-78, 85, 90-91, 95 e 99. Verifica-se ainda que a TSM nas regiões mais próximas à costa oeste da

América do Sul (Niño 1+2 e 3) apresenta uma sazonalidade maior do que a TSM de regiões mais afastadas da costa (Niño 3.4 e 4).

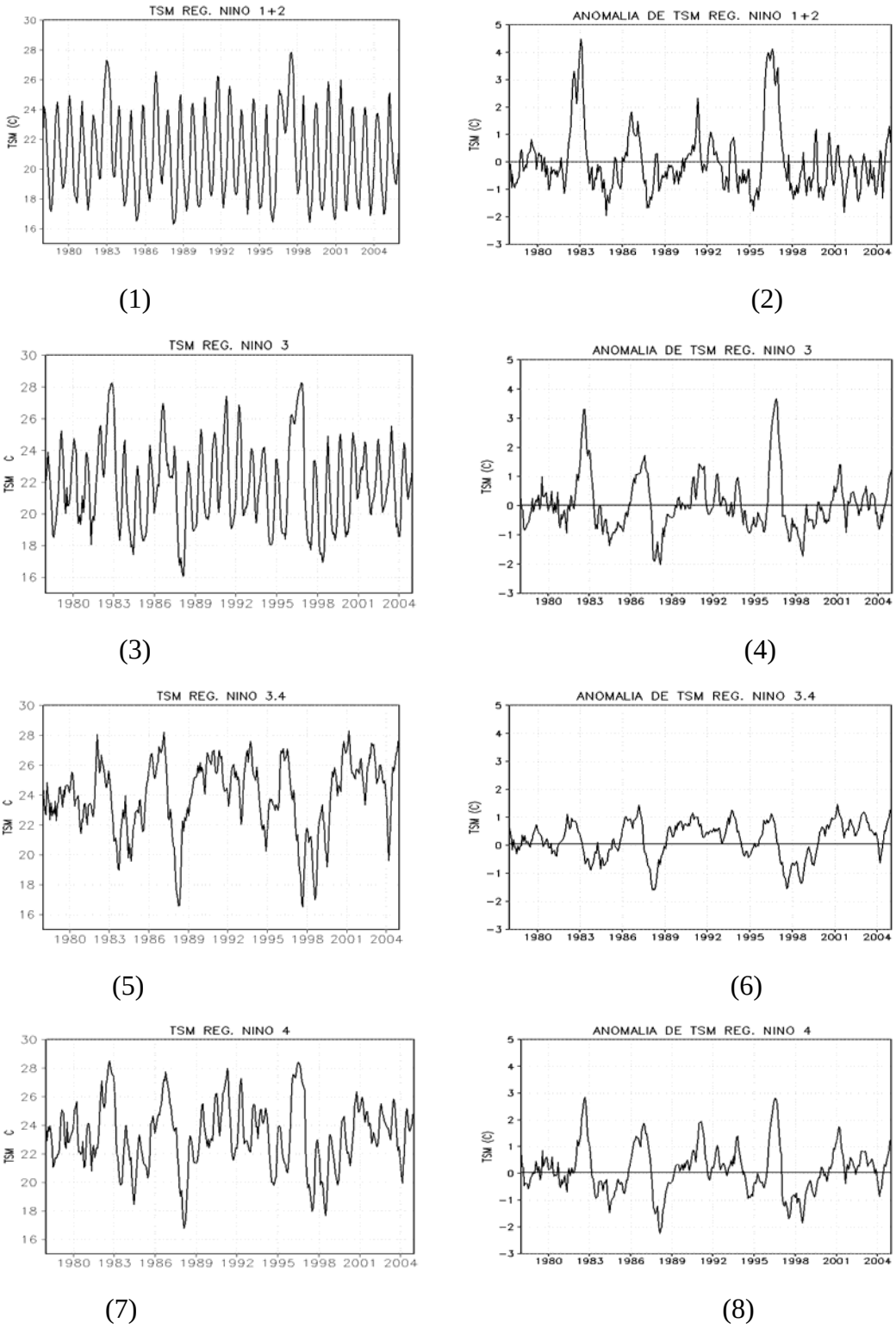


Figura 3.10 B (Quadro 1 a 8) Valor absoluto e as anomalias de TSM nas regiões de Niño 1+2 (1,2), Niño 3 (3,4), Niño 3.4 (5,6) e Niño 4 (7,8), entre 1978 e 2006.

3.3 PRECIPITAÇÃO ANUAL NA REGIÃO NOROESTE DO RS

O regime de precipitação é caracterizado tanto por influências remotas de escala climática como por aspectos locais, por exemplo, topografia e aquecimento diferencial. Os municípios considerados neste estudo apresentam médias semelhantes de precipitação anual (Figura 3.11). Apresentam, contudo, algumas diferenças. Com base numa análise mais detalhada, nota-se que Marcelino Ramos e São Luís Gonzaga apresentam as menores médias, 1767 e 1783 mm, respectivamente, o que é visto nas Figuras 3.11 e 3.13 (Quadros 6 e 1). Por outro lado, Marcelino Ramos e Santa Rosa são os municípios que apresentam os menores desvios padrão, 72,0 e 76,4 mm, respectivamente (Figura 3.12 e 3.13 (Quadros 6 e 2)). São Luís Gonzaga e Cruz Alta são os municípios com os maiores desvios padrão (Figura 3.12 e 3.13 (Quadros 1 e 3)). São Luiz Gonzaga, Iraí e Santa Rosa são os municípios com as menores altitudes, 231 e 235 e 277 metros, respectivamente. Passo Fundo, Cruz Alta e Marcelino Ramos estão localizados em regiões mais altas, em 687, 452 e 405 metros de altitude, respectivamente. À medida que se avança para o norte do RS, na divisa com o Estado de Santa Catarina, as altitudes tornam-se maiores, com exceção de Iraí, localizado a apenas 235 metros de altitude, está localizado em um vale, próximo do rio Uruguai. Embora se trate relativamente de uma pequena região à noroeste do Estado do RS, existem algumas diferenças específicas. Por exemplo, apesar de Santa Rosa apresentar uma média de precipitação anual relativamente elevada, apresenta também valor elevado do desvio padrão, indicando maior variabilidade interanual do que nos demais outros postos. São Luiz Gonzaga apresenta pouco volume de precipitação e alto desvio padrão. Tais aspectos serão lembrados posteriormente na discussão da climatologia de veranicos.

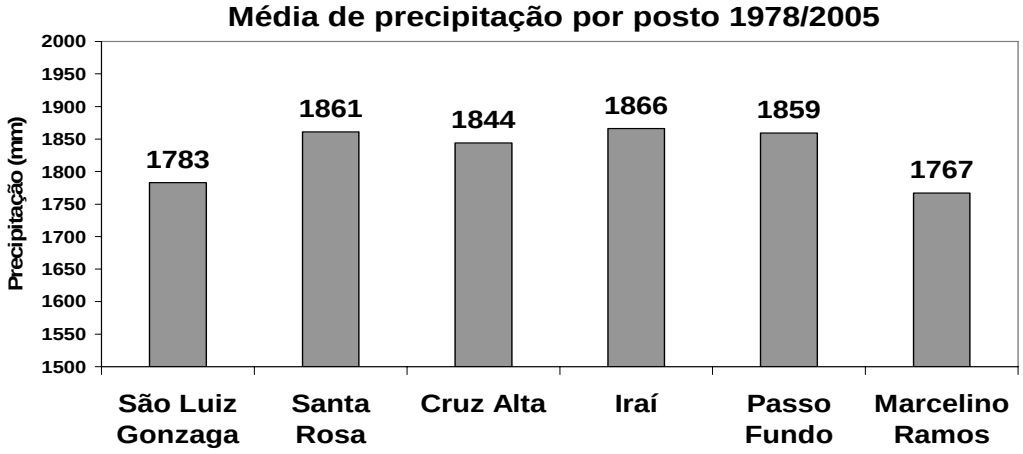


Figura 3.11. Precipitação média (mm), entre 1978 e 2005, para os municípios São Luiz Gonzaga, Santa Rosa, Cruz Alta, Iraí, Passo Fundo e Marcelino Ramos.

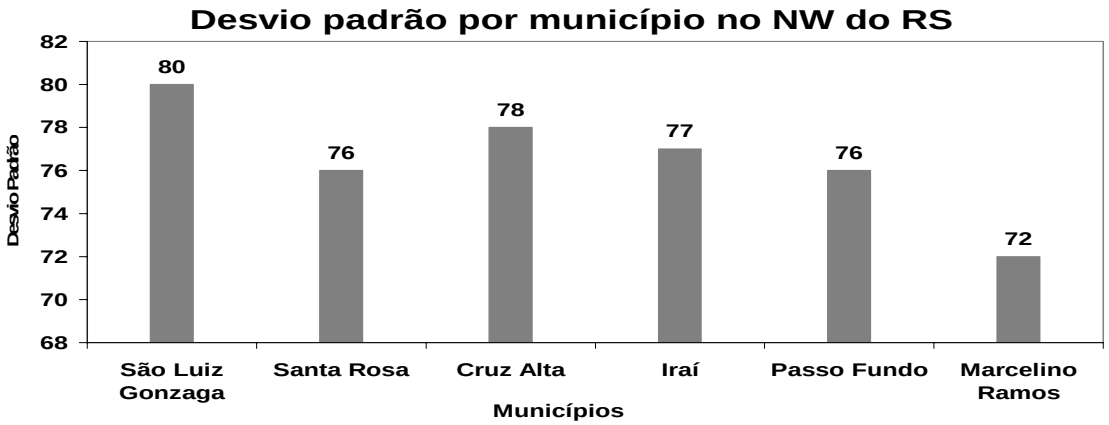
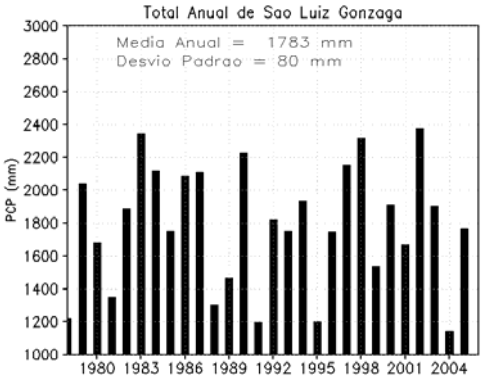
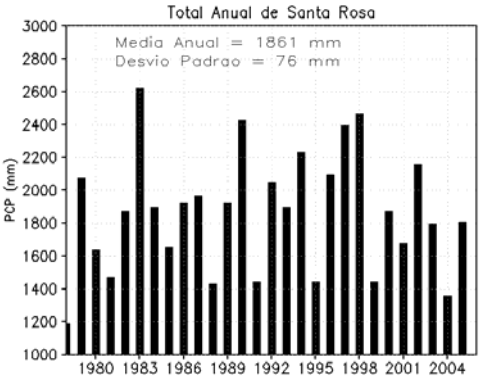


Figura 3.12 Desvio padrão da precipitação anual em São Luiz Gonzaga, Santa Rosa, Cruz Alta, Iraí, Passo Fundo e Marcelino Ramos, de 1978 a 2006.



(1)



(2)

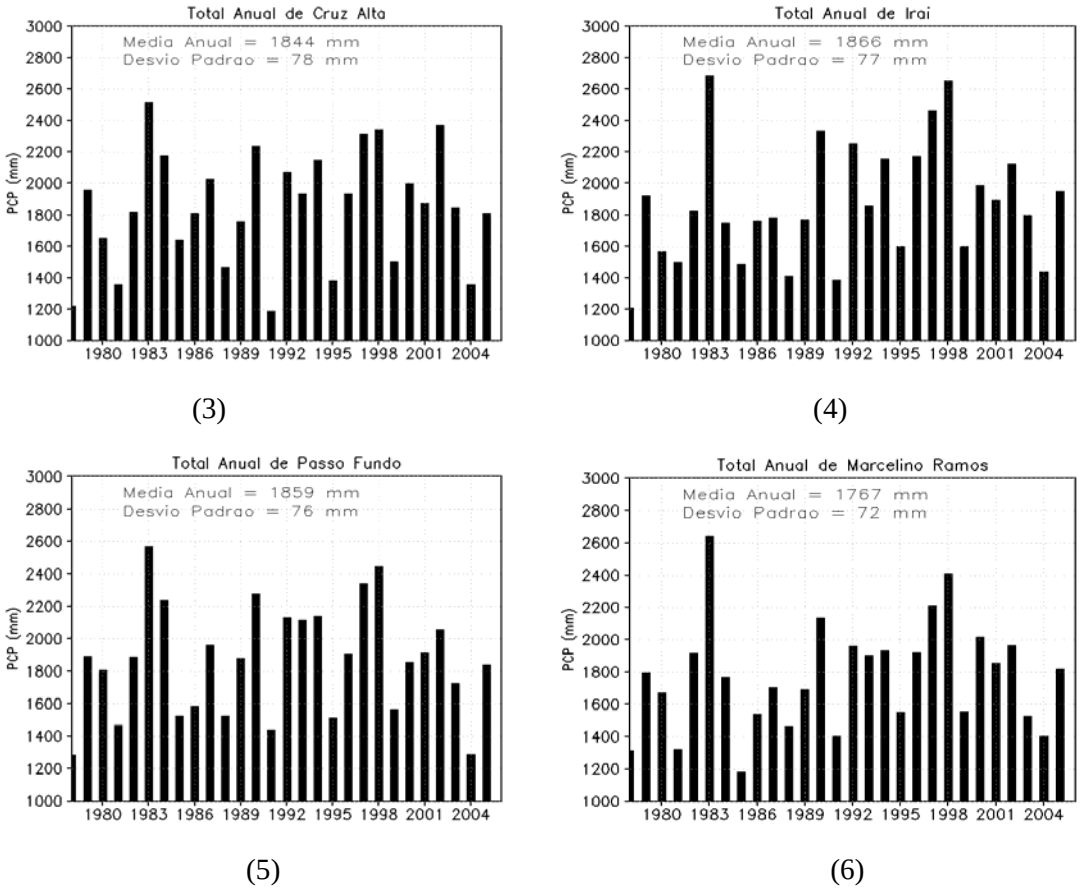


Figura 3.13 (Quadro 1 a 6) Precipitação anual (mm) em São Luiz Gonzaga (1), Santa Rosa (2), Cruz Alta (3), Iraí (4), Passo Fundo (5) e Marcelino Ramos (6), de 1978 a 2005.

Numa análise de mais longo prazo, observa-se que existe uma tendência de aumento da precipitação na região, 3,6 mm ano$^{-1,}$ tal como indicado na Figura 3.14, com potencial para modificar a climatologia ora apresentada,

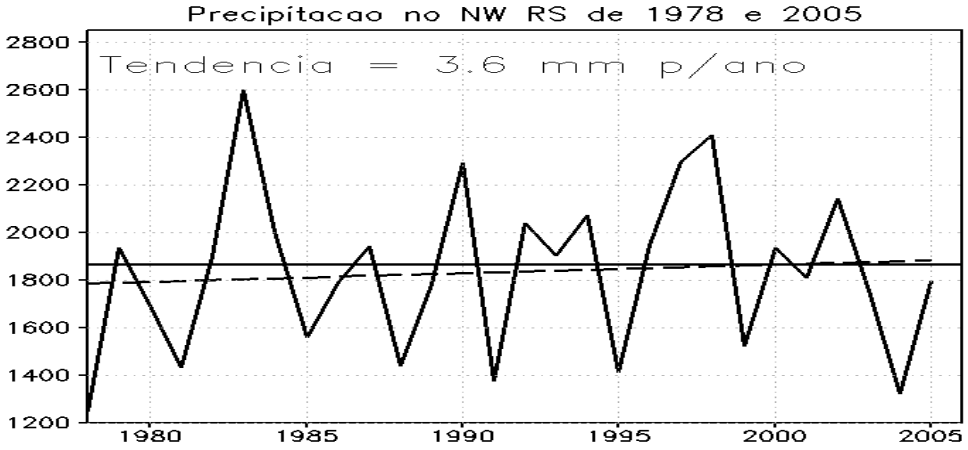


Figura 3.14 Precipitação média anual para a Região NW do RS, entre 1978 e 2005.

3.4 – VARIABILIDADE SAZONAL DE PRECIPITAÇÃO NO NW DO RS

Com base na variação sazonal climatológica da precipitação na região de estudo (Figura 3.15), verifica-se que o último trimestre do ano (outubro a dezembro) é o mais chuvoso, contribuindo, em média, com 523 mm, sendo outubro o mês mais chuvoso, com média igual a 218 mm. Apesar da baixa variabilidade da precipitação mensal climatológica no decorrer do ano, é significativo o pequeno valor médio nos meses de março e agosto, 124 mm e 118 mm, respectivamente. O valor médio acumulado nos quatro trimestres do ano são, respectivamente: 442 mm., 447 mm, 419 mm e 523 mm.

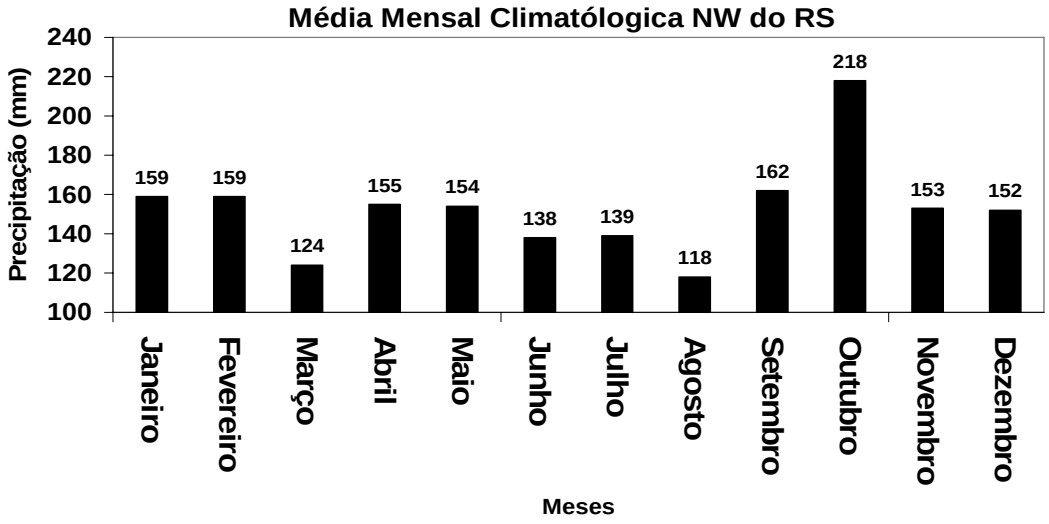
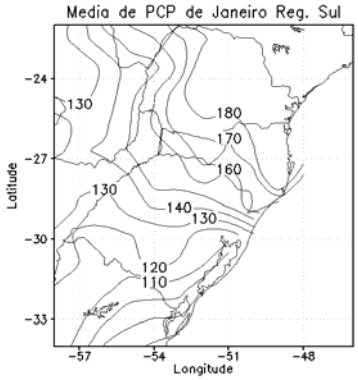


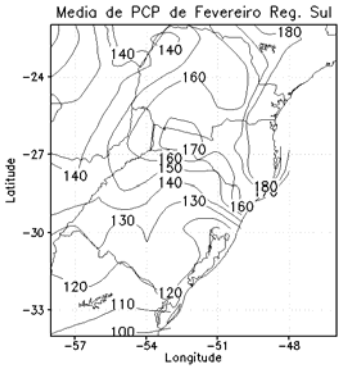
Figura 3.15. Precipitação climatológica mensal (mm), entre 1978 e 2006, para os seis municípios da Região NW do RS.

A variabilidade mensal do padrão espacial da precipitação na Região Sul do Brasil evidencia maior organização entre os meses de maio e outubro, com valores máximos no setor norte do RS, oeste de SC e sudoeste do PR, de acordo com o mês do ano, e, um padrão menos definido entre novembro e abril. Entre novembro e abril, a relativa desorganização espacial pode estar relacionada à organização da ZCAS na Região Sudeste do Brasil, o que alteraria a disposição espacial da precipitação no sul. A configuração média anual (Figuras 3.1 e 3.2) é preponderantemente definida pelo padrão espacial entre os meses de maio e outubro, notadamente pelo mês de outubro. O mês de outubro apresenta valores médios superiores a 200 mm sobre o oeste de SC,

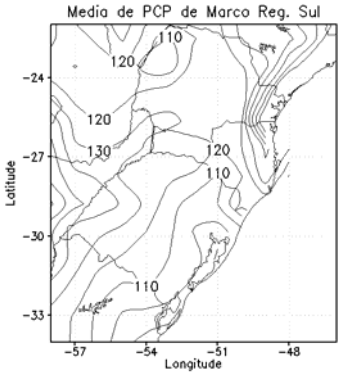
enquanto o mês de agosto apresenta médias máximas de até pouco mais do que 120 mm sobre o norte do RS (Figura 3.16 (Quadros 10 e 8)).



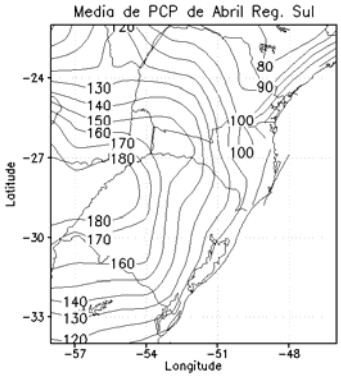
(1)



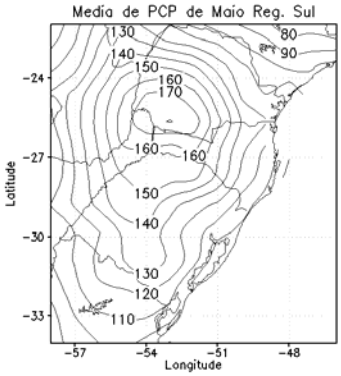
(2)



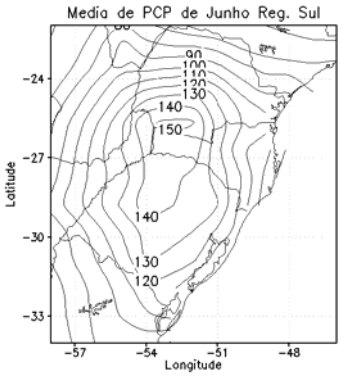
(3)



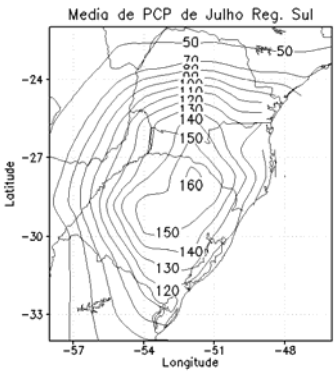
(4)



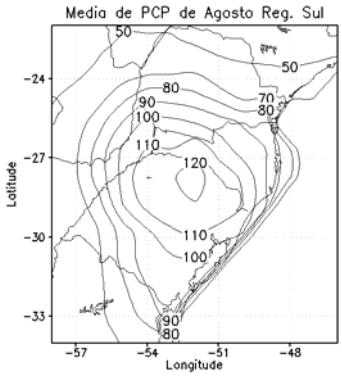
(5)



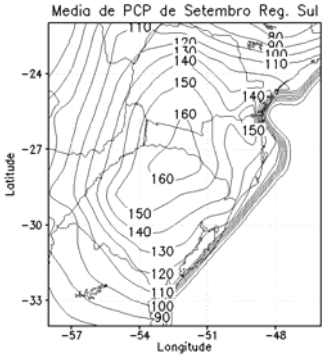
(6)



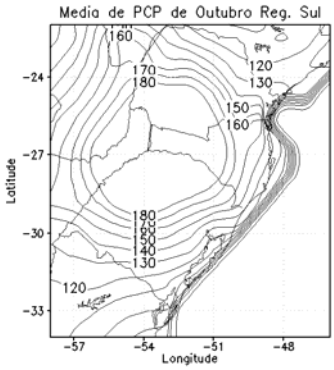
(7)



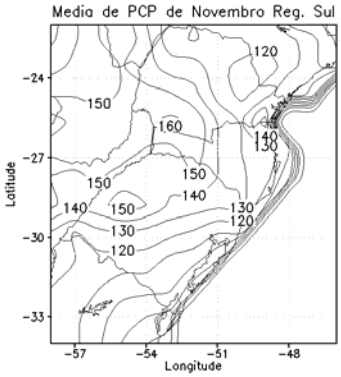
(8)



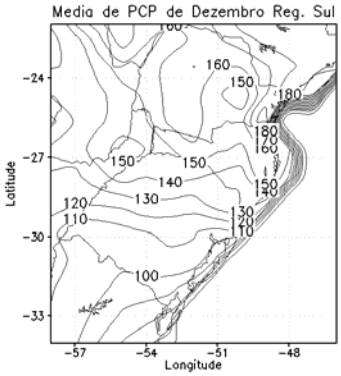
(9)



(10)



(11)



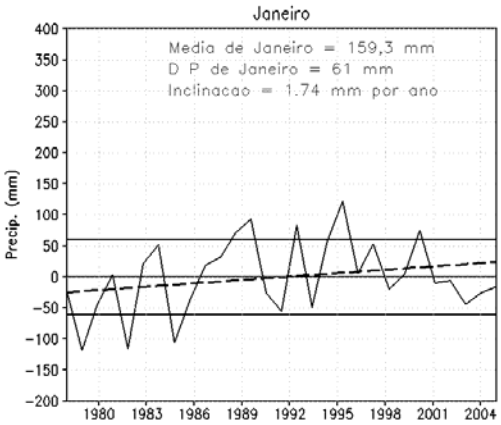
(12)

Figura 3.16 (Quadro 1 a 12). Precipitação média mensal para todos os meses do ano (janeiro a dezembro) na Região Sul do Brasil, no período de 1978 a 2006.

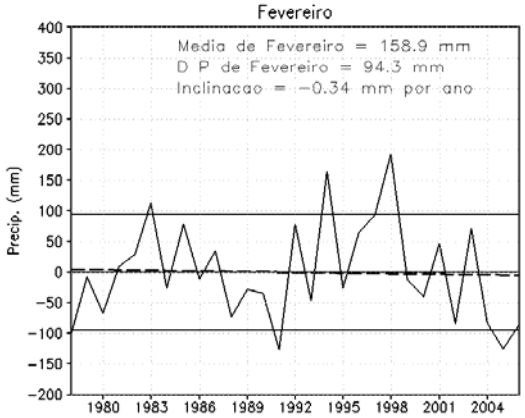
3.4.1 - EVOLUÇÃO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO MENSAL NO NW DO RS

A análise da tendência evidencia que alguns meses apresentam tendência positiva e outros, tendência negativa, tal como pode ser verificado pela Figura 3.17(Quadros 1 a 12). Esta análise foi feita a partir da média espacial na área definida pelas longitudes 55º W e 51º W e pelas latitudes 28º S e 27º S, para representação da

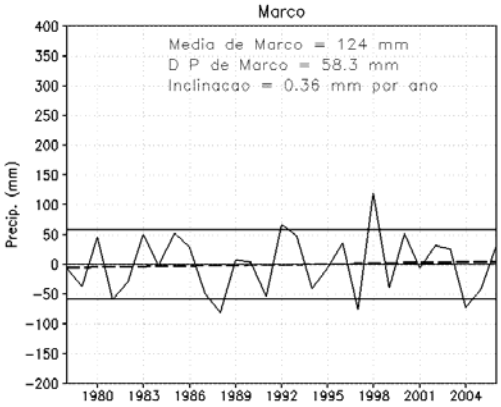
tendência de longo prazo da precipitação na região. Os meses de janeiro (1,74 mm) e outubro (3,6 mm) apresentam forte tendência positiva, enquanto que maio, julho, agosto e novembro apresentam tendência negativa, variando entre -2,72 e -1,76. Os demais meses apresentam pequeno valor de tendência. Com base nestes resultados, pode-se sugerir que existe uma tendência de longo prazo das chuvas mais intensas se concentrarem principalmente nos períodos mais chuvosos, enquanto que a estação mais seca se caracterizaria por menor volume pluviométrico. Apesar de ser detectada a variabilidade mensal de tendência em longo prazo, na média anual, a tendência calculada para o mês de outubro prepondera sobre a tendência dos demais meses, uma vez que seu valor é bastante alto, 3,6 mm.



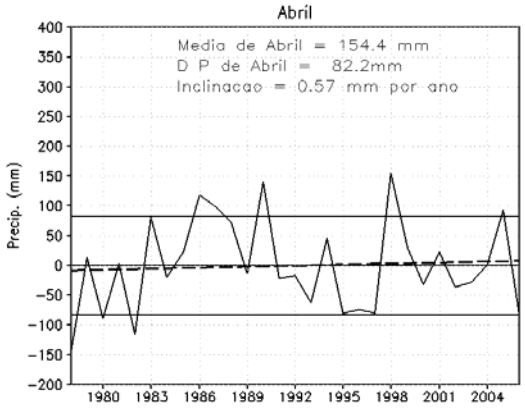
(1)



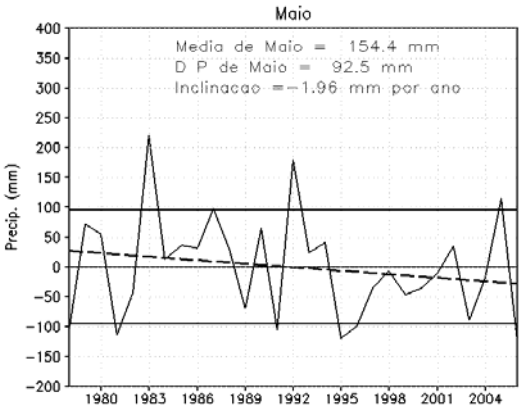
(2)



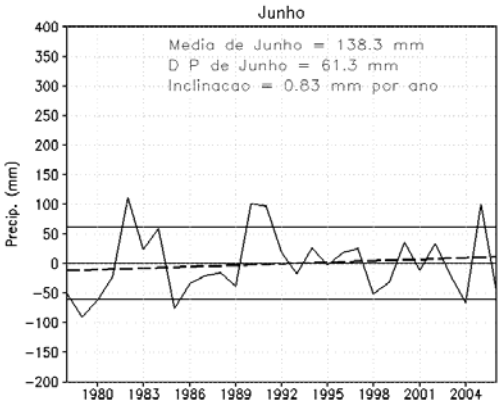
(3)



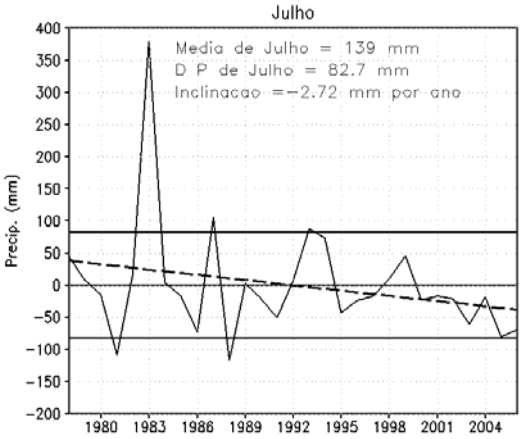
(4)


Maio
Media de Maio = 154.4 mm
D P de Maio = 92.5 mm
Inclinacao =-1.96 mm por ano
Precip. (mm)

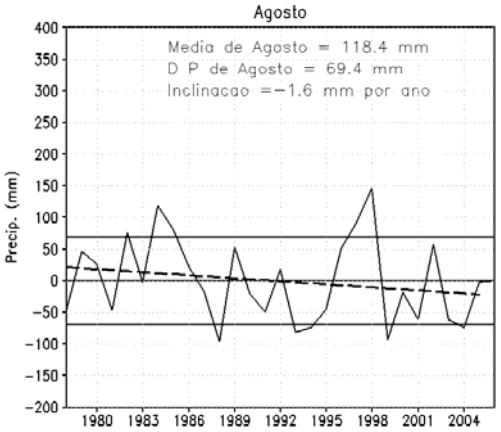
(5)


Junho
Media de Junho = 138.3 mm
D P de Junho = 61.3 mm
Inclinacao = 0.83 mm por ano
Precip. (mm)

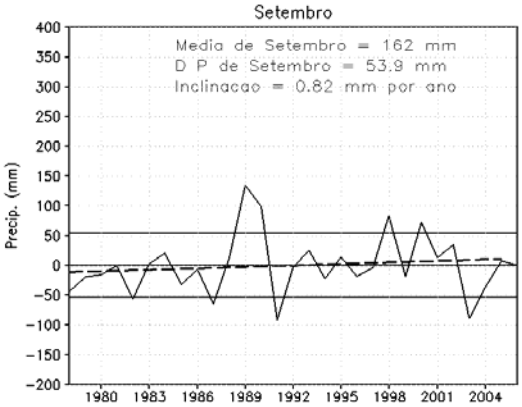
(6)


Julho
Media de Julho = 139 mm
D P de Julho = 82.7 mm
Inclinacao =-2.72 mm por ano
Precip. (mm)

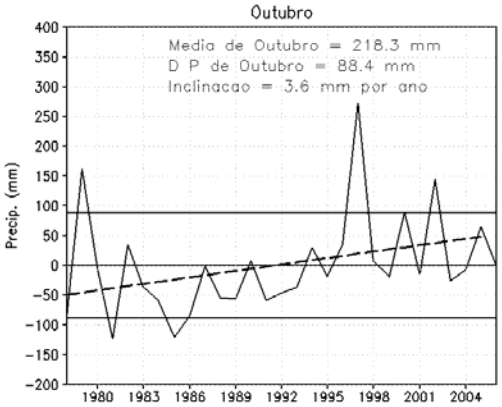
(7)


Agosto
Media de Agosto = 118.4 mm
D P de Agosto = 69.4 mm
Inclinacao =-1.6 mm por ano
Precip. (mm)

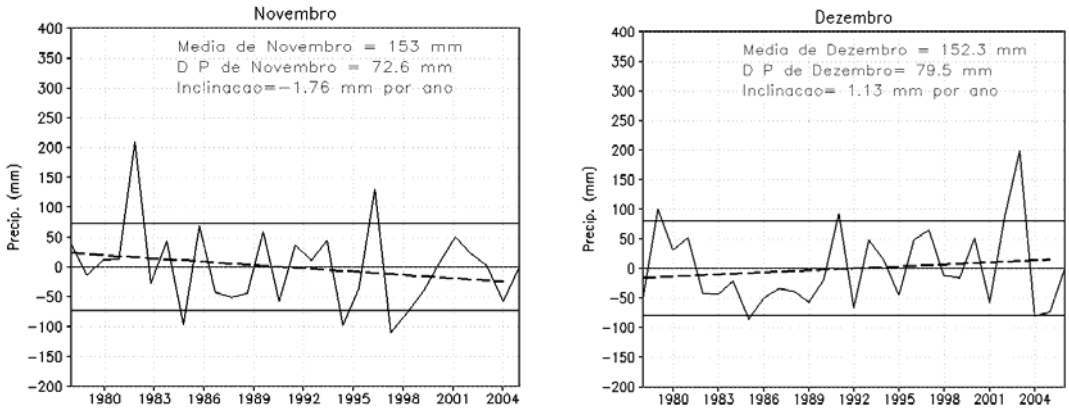
(8)


Setembro
Media de Setembro = 162 mm
D P de Setembro = 53.9 mm
Inclinacao = 0.82 mm por ano
Precip. (mm)

(9)


Outubro
Media de Outubro = 218.3 mm
D P de Outubro = 88.4 mm
Inclinacao = 3.6 mm por ano
Precip. (mm)

(10)



(11) **(12)**

Figura 3.17 (Quadros 1 a 12) Evolução temporal da precipitação mensal (curva tracejada) na região noroeste do RS para os meses de janeiro a dezembro. Estão assinalados os valores de ±1σ e da tendência linear da precipitação em cada mês, para o período de 1978 a 2005.

O desvio padrão mensal do noroeste do RS varia entre 54 mm e 94 mm (Figura 3.18). Setembro é o mês que apresenta o menor desvio padrão e fevereiro, o maior desvio padrão. Espacialmente, fevereiro apresenta maior variabilidade do que setembro (Figuras 3.18 e 3.19 (Quadro 2 e 9)).

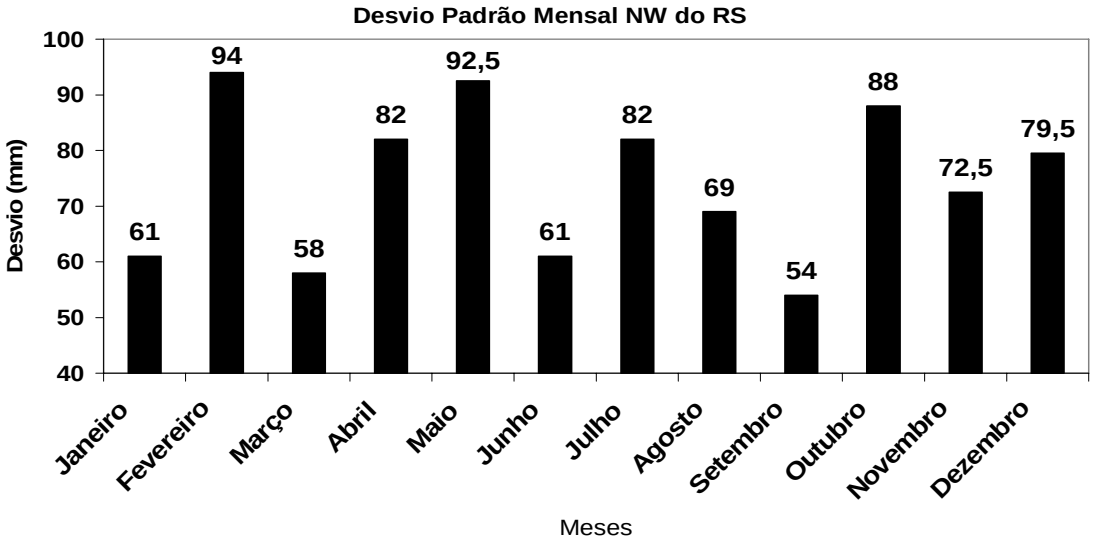
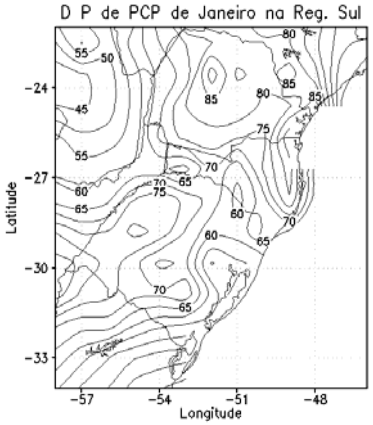


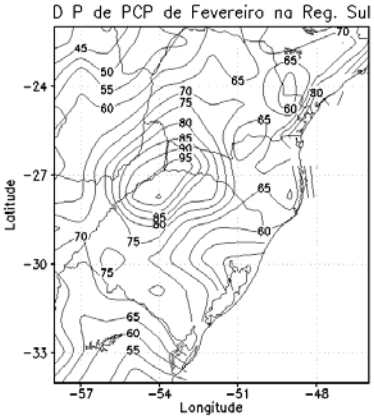
Figura 3.18. Representação de desvio padrão mensal (mm) médio no NW do RS de 1978 a 2006.

Tratando-se do desvio padrão mensal médio da Região Sul do Brasil é observado uma maior variabilidade nas diversas sub-regiões, é verificado que os maiores registros estão focados nos meses de fevereiro, maio, julho e outubro ao passo

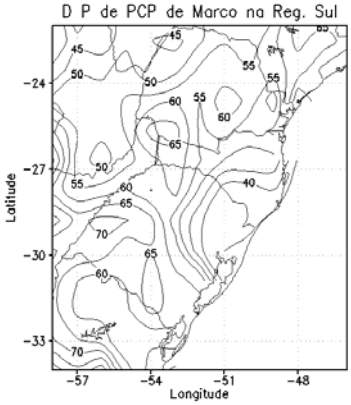
que nos meses de março, junho e setembro, os menores, (Figura 3.19 (Quadros 5, 7, 10 e 3, 6 e 8, respectivamente)).



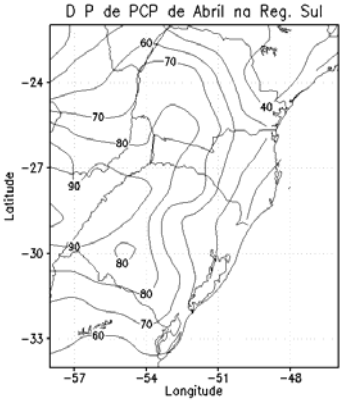
(1)



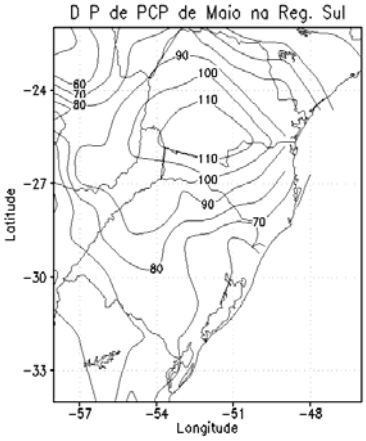
(2)



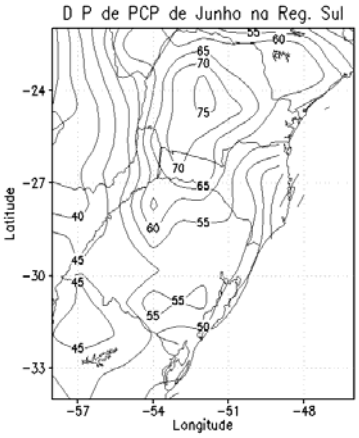
(3)



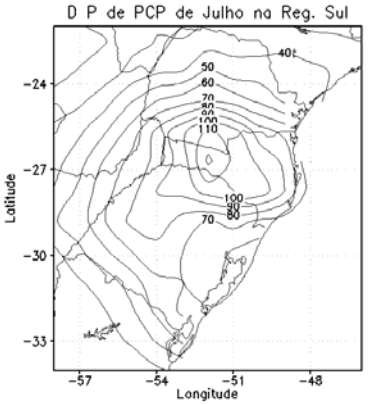
(4)



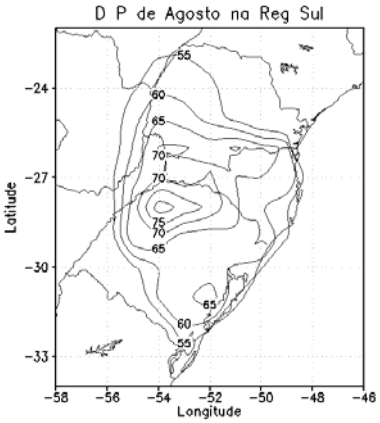
(5)



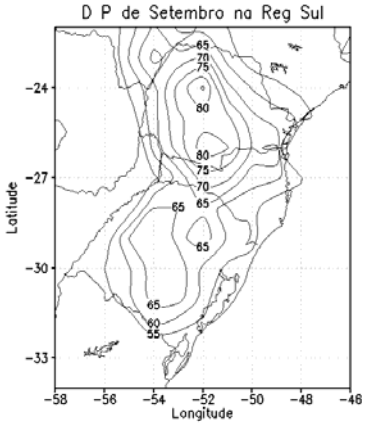
(6)



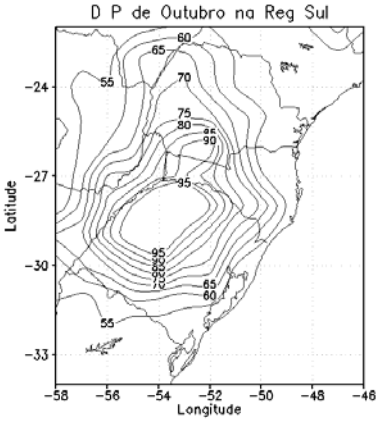
(7)



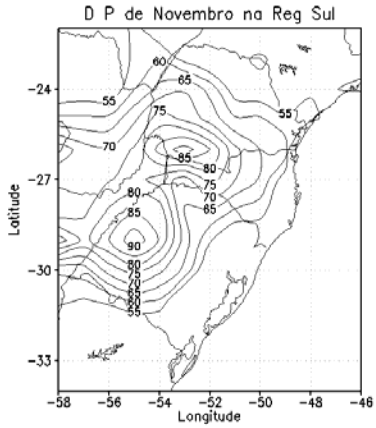
(8)



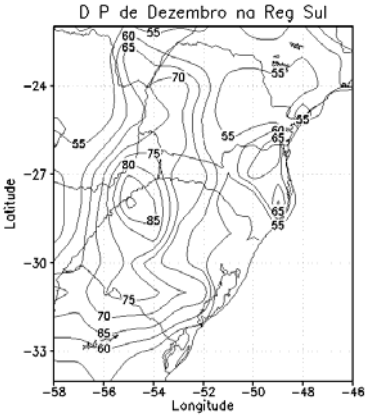
(9)



(10)



(11)



(12)

Figura 3.19 (Quadros 1 a 12) Desvio padrão de precipitação médio mensal (jan./dez.) representando a Região Sul, de 1978 e 2006.

A variabilidade mensal não apresenta um padrão característico durante o ano. Fevereiro, maio e outubro apresentam os maiores desvios padrão, entre 88 e 94 mm, seguidos pelos meses abril, julho e dezembro, com desvios entre 79 e 82 mm. Agosto,

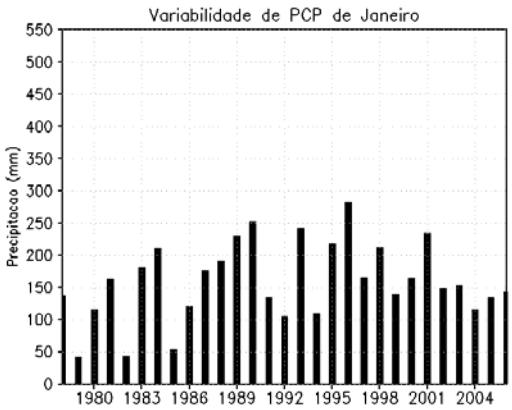
janeiro, março, junho, setembro e novembro são os meses com menores desvios padrão, entre 54 e 73 mm (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 - Desvio padrão da precipitação mensal para o NW do RS

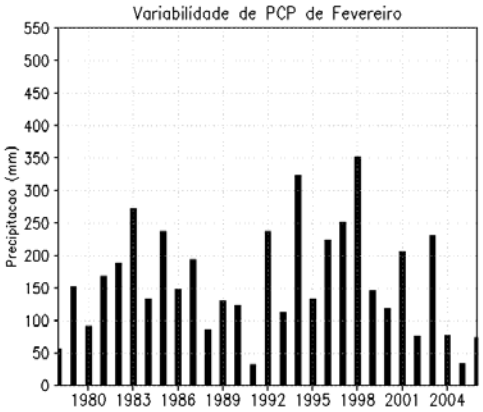
MESES	**σ (mm)**
FEVEREIRO, MAIO, OUTUBRO.	88 – 94
ABRIL, JULHO, DEZEMBRO.	79 – 82
AGOSTO, JANEIRO, MARÇO, JUNHO, SETEMBRO, NOVEMBRO.	54 – 73

O mês de julho, apesar de apresentar pequena variância na maior parte da série, mostra um pico de precipitação em 1983, conforme vista na Figura 3.20 (Quadros 1 a 12), que provavelmente está associado à ocorrência de El Niño de 1982/1983 (Tabela 3.2). Desta forma, pode-se inferir que, a menos desta alta intensidade de precipitação ocorrida em julho/1983, os meses de junho a setembro apresentariam pequena variância, conforme Figura 3.20 (Quadros 6 a 9), definindo assim um padrão sazonal para o desvio padrão. Com base em uma análise qualitativa, pode-se sugerir que o evento El Niño ocorrido em 1982/1983 esteve associado aos altos valores de precipitação observados em junho e novembro de 1982 e em fevereiro, maio e julho de 1983, com ênfase para o mês de julho, quando foi registrado um acumulado superior a 500 mm, conforme indicado na Figura 3.20 (Quadro 7). O aquecimento das águas superficiais do Pacífico Equatorial ocorreu entre maio de 1982 e julho de 1983, tal como indicado na Tabela 3.1 e 3.2 e discutido por Casarin e Kousky (1986); Cavalcanti (1996), Studzinsky (1995); Coelho, (2001); Silva (2001); Grimm *et al.* (1998, 2000 e 2004); Silva et al (2008). O El Niño de 1997/1998, segundo Oliveira *et al.* (1998), aparentemente influenciou a precipitação no noroeste do RS, principalmente, nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, agosto e setembro de 1997. Foram registradas chuvas muito acima da média climatológica da região nos meses de outubro, novembro e dezembro de 1996 (Figura 3.20 (Quadros 10,11 e 12). Outubro tem em vários anos anomalias bem expressivas de chuvas de com médias de 200 mm, ou mais, dependendo o ano. Este fato pode estar associado à maior influência de outras áreas do Pacífico, que não aquela apresentada na Tabela 3.1 (Nino 3.4), tais como o Niño 3 e 1+2, Grimm *et al.* (1998, 2000 e 2004);

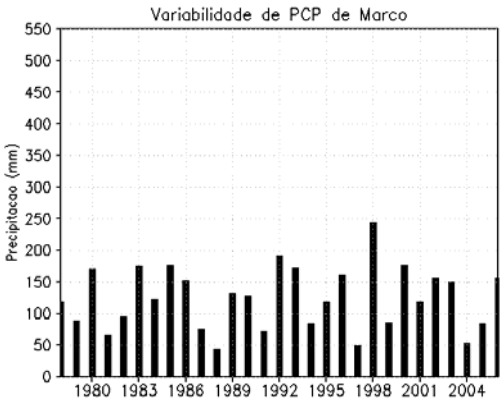
Silva (2001) Silva *et al*. (2008) discutem a influência da TSM de outras áreas do Oceano Pacífico Tropical na precipitação do Sul do Brasil. Em contrapartida, o mês de janeiro teve em 79/82/85 (Figura 3.20 (Quadro 1)) e de agosto registrou em vários anos (Figura 3.20 (Quadro 8)), anomalias negativas bem acentuadas, assim como o ano de 1978, nos meses de janeiro, fevereiro e abril (Figura 3.20 (Quadros 1, 2 e 4)). O ano de 1985, em novembro e dezembro (Figura 3.20 (Quadros 11 e 12)) e, 1988, março julho e agosto (3.20 (Quadros 3, 7 e 8)) tiverem nesses meses, volumes inexpressivos de chuvas. Estes períodos estão, muitas vezes, associados à ocorrência do evento La Niña (Tabela 3.2). Sobressaem-se agosto representando muitos eventos secos e outubro, úmidos (Figura 3.20 (Quadros 8 e 10)).



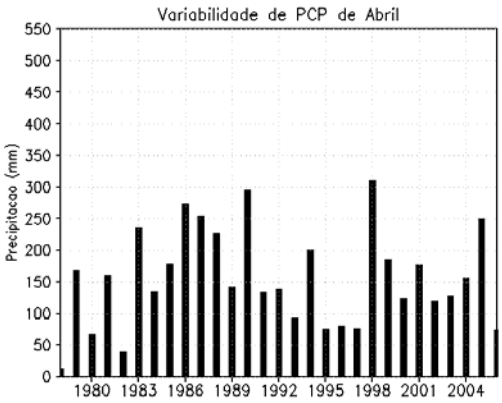
(1)



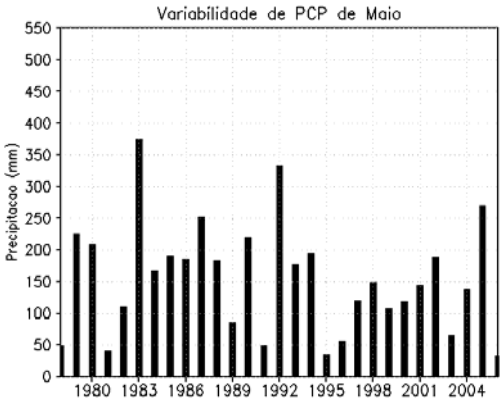
(2)



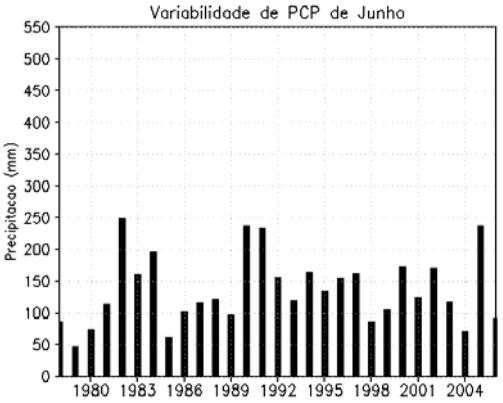
(3)



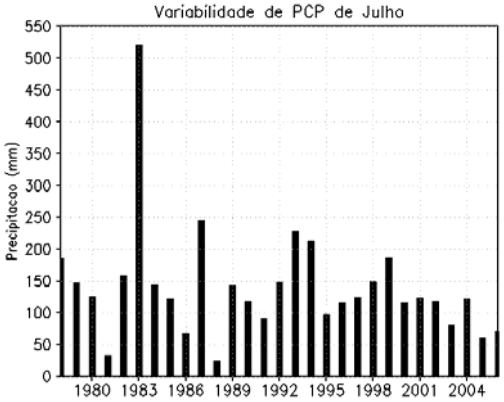
(4)


Variabilidade de PCP de Maio
Precipitacao (mm)
0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550
1980 1983 1986 1989 1992 1995 1998 2001 2004

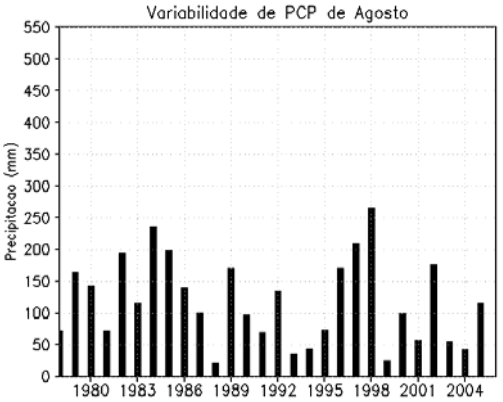
(5)


Variabilidade de PCP de Junho
Precipitacao (mm)
0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550
1980 1983 1986 1989 1992 1995 1998 2001 2004

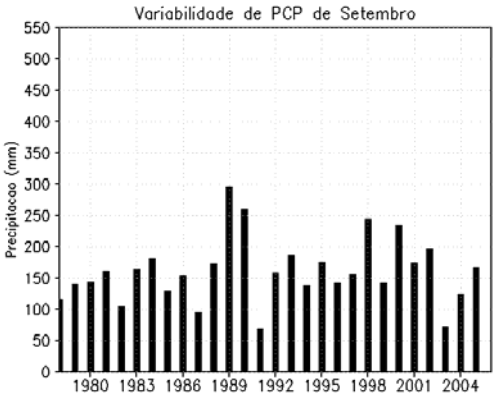
(6)


Variabilidade de PCP de Julho
Precipitacao (mm)
0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550
1980 1983 1986 1989 1992 1995 1998 2001 2004

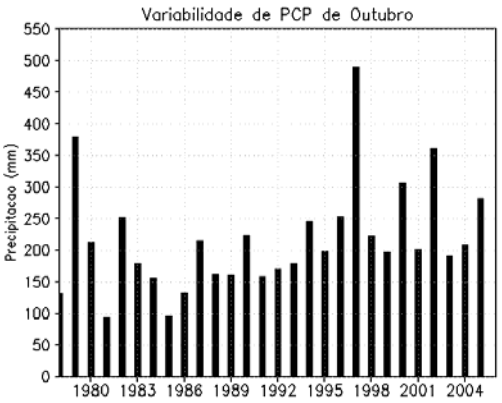
(7)


Variabilidade de PCP de Agosto
Precipitacao (mm)
0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550
1980 1983 1986 1989 1992 1995 1998 2001 2004

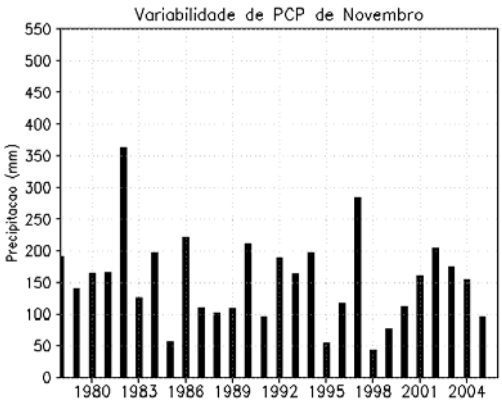
(8)


Variabilidade de PCP de Setembro
Precipitacao (mm)
0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550
1980 1983 1986 1989 1992 1995 1998 2001 2004

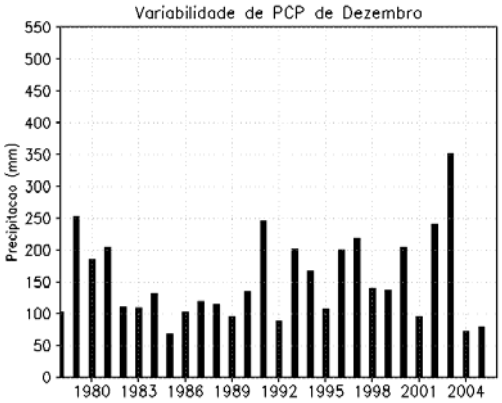
(9)


Variabilidade de PCP de Outubro
Precipitacao (mm)
0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550
1980 1983 1986 1989 1992 1995 1998 2001 2004

(10)



(11)



(12)

Figura 3.20 Variabilidade interanual da precipitação (mm) de janeiro a dezembro (Quadros 1 a 12), de 1978 a 2005, para a Região Noroeste do RS.

Tabela 3.5 Classificação de meses com anomalia de precipitação superior e inferior a ± 1σ, (Figura 3.20(Quadros 1 a 12) em anos de El Niño e La Niña intenso a moderado.(Tabela 3.1, 3.2 e 3.3)

ANOS DE EL NIÑO	**MESES *COM ANOMALIA POSITIVA* > *1σ***
1983	Fev/Abr/Mai/Jul
1992	Jan/Fev/Mai/Jul
1997	Jan/Fev/Mar/Abr/Ago/Set/ Out
ANOS DE LA NIÑA	***MESES COM ANOMALIA NEGATIVA < 1σ***
1985	Jan/Jun/Jul/Out/Nov/Dez
1988	Fev/Mar/Jul/Ago
1989	Mai/Jun/Dez
1995	Abr/Mai/Jul/Ago/Nov
1996	Abr/Mai/ago
1998	Jun/Nov
1999	Mar/Mai/Jun/Ago/Nov
2000	Ago/Dez
2001	Fev/Ago
2004	Fev/Mar/Jun/Ago//Dez
2005	Fev/Abr/Mar/Jul/Nov/Dez
2006 (01/07)	Fev/Mar/Abr/Mai/Jun/Jul

3.5 OCORRÊNCIA DE VERANICO NA PORÇÃO NOROESTE DO RS

São apresentados nesta seção os resultados da caracterização climatológica da ocorrência de veranicos na porção Noroeste do Estado Rio Grande do Sul. Esta seção é apresentada de forma a enfocar o primeiro e quarto trimestres do ano, período mais chuvoso característico de plantio da soja na região.

A variação temporal (1978-2005) do número de veranicos para o primeiro e quarto trimestres do ano, para os seis municípios estudados, está indicada na Figura 3.21. Aparentemente a evolução temporal do número de veranicos nos dois trimestres avaliados é bastante diferente. No primeiro trimestre é possível identificar máximos em 1979, 1991 e 2005 (anos posteriores à ocorrência de eventos La Niña). No quarto trimestre, os valores máximos ocorreram em 1985-86, 1989, 1999-2000, períodos posteriores ao valor máximo de anomalias negativas no Pacífico Equatorial, Niño 3.4 (Figura 3.8 e 3.9).

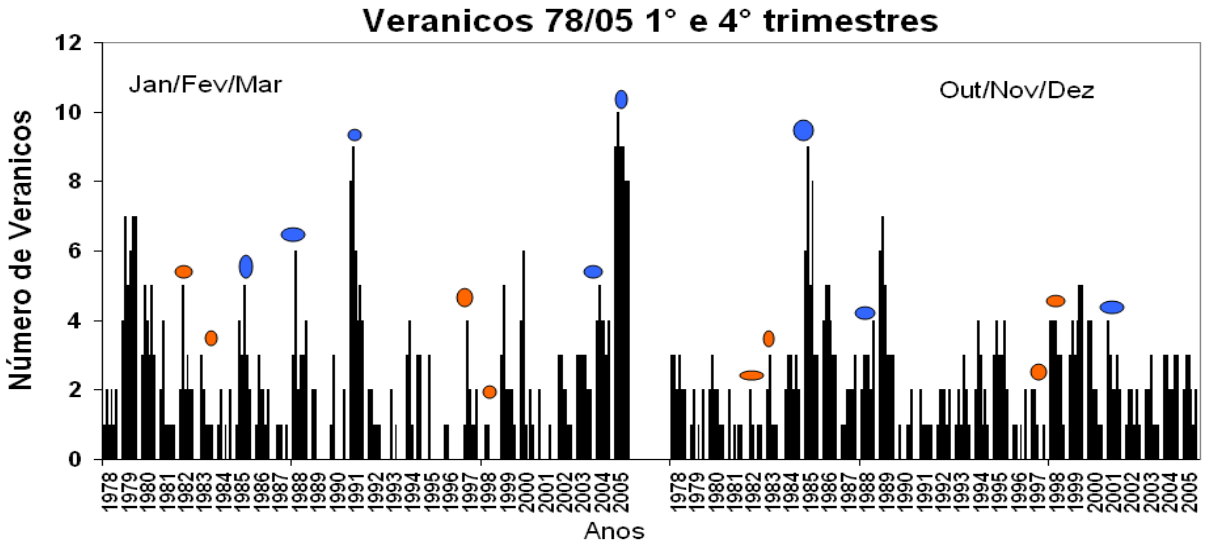


Figura 3.21 Número de veranicos no NW do RS para jan/fev/mar (lado esquerdo) e out/nov/dez (lado direito) trimestres, no período de 1978 a 2005.

Numa análise mensal dos trimestres considerados, durante o período avaliado (1978-2005), verifica-se que março e dezembro são os meses com a maior quantidade de veranicos, com 141 e 130 casos, respectivamente (Figuras 3.22 e 3.23). De acordo com a climatologia da precipitação para estes meses (pcp_{jan}=159 mm; pcp_{fev}=159 mm;

pcp_{mar}=124 mm; pcp_{out}=218 mm; pcp_{nov}=153 e pcp_{dez}=152 mm) (Figura 3.20), verifica-se que os meses menos chuvosos são os apresentam maior ocorrência de veranicos.

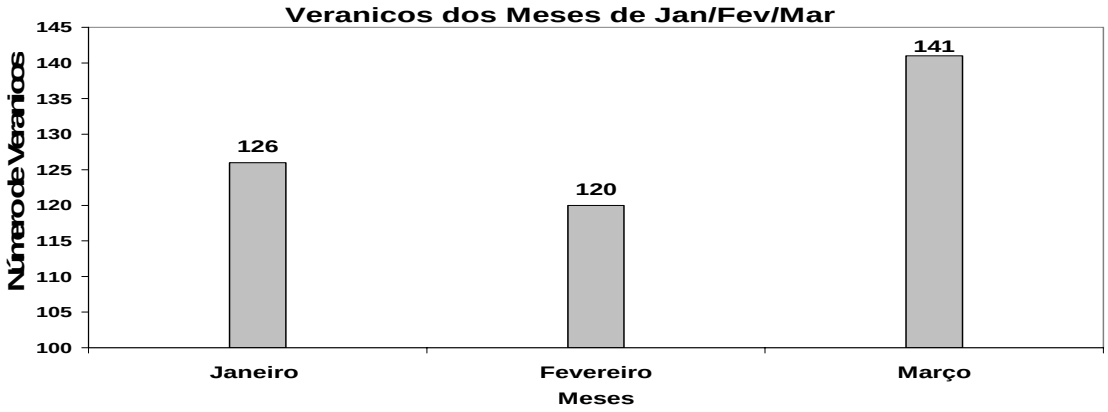


Figura 3.22 Número de veranicos no primeiro trimestre do ano, entre 1978 e 2005

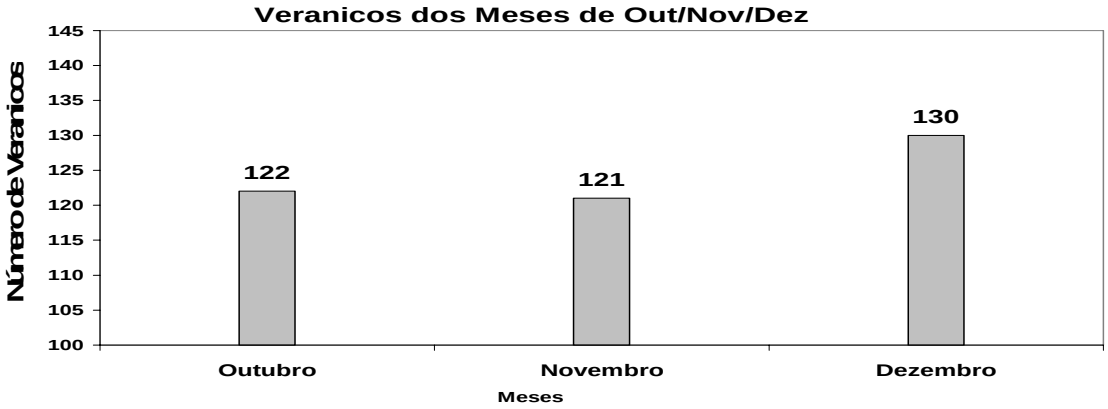


Figura 3.23 Número de veranicos no último trimestre do ano, entre 1978 e 2005

Numa análise espacial, verifica-se que apesar de Santa Rosa apresentar um volume alto de precipitação anual (1861 mm, Figura 3.16 e 3.17), apresenta o maior número de casos de veranicos, em ambos os trimestres (Figuras 3.24 e 3.25). Da mesma forma, o município de Marcelino Ramos apresenta a menor média climatológica de precipitação anual na região, 1767 mm, e o menor valor de incidência de veranico (55 e 53 casos no 1º e 4º trimestres, respectivamente), se comparado ao de Santa Rosa (105 e 83 casos no 1º e 4º trimestres, respectivamente) (Figuras 3.24 e 3.25).

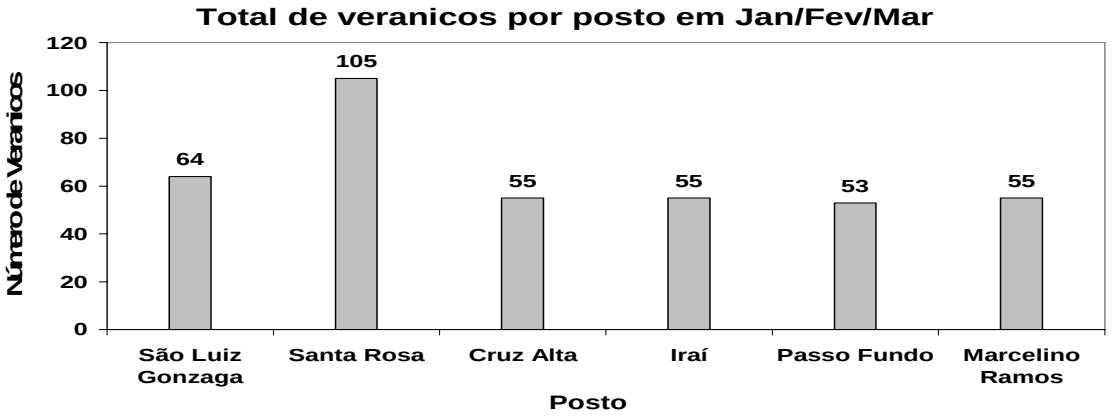


Figura 3.24 Número de veranicos nos seis postos da Região Noroeste do RS, no primeiro trimestre do ano, de 1978 a 2005.

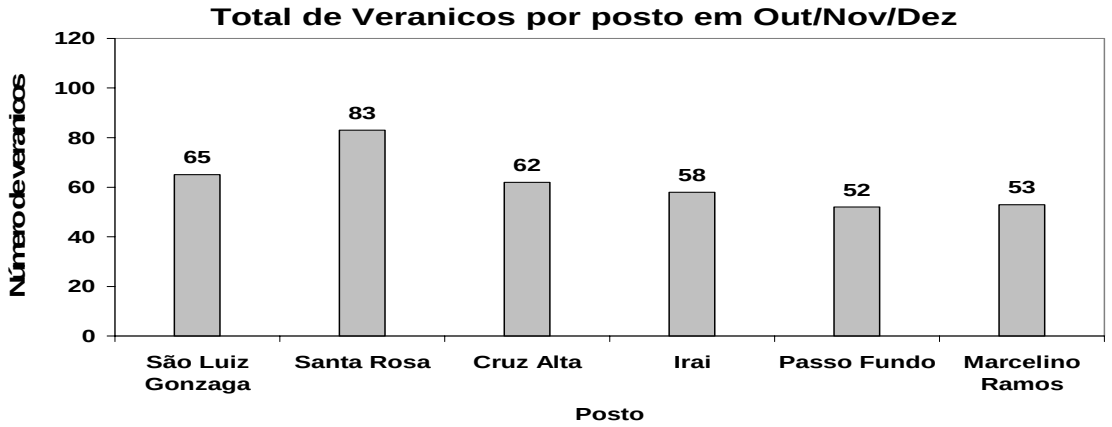


Figura 3.25. Número de veranicos nos seis postos do Noroeste do RS, no último trimestre do ano, de 1978 e 2005.

Santa Rosa se destaca dos demais municípios, principalmente no primeiro trimestre, por apresentar maior número de eventos que, por vezes, chega a ser superior ao dobro do observado em outras localidades, como é o caso do mês de março que apresenta 40 casos em comparação ao mesmo mês em Iraí e Passo Fundo, ambos com 17 casos (Figuras 3.26). A maior diferença de número de eventos secos no primeiro trimestre ocorre entre Santa Rosa e Cruz Alta, com 91% do que em Cruz Alta. No quarto trimestre, Santa Rosa continua a apresentar o maior número de eventos secos dentre os postos da região, porém, com menores diferenças em comparação ao observado nos demais municípios. A maior diferença do número de eventos secos no quarto trimestre ocorre entre Santa Rosa e Passo Fundo, com 60% eventos a mais do que em para Passo Fundo (Figuras 3.27).

Numa análise mensal climatológica, observa-se que o mês de março e dezembro apresentam o maior número de veranicos (Figuras 3.26 e 3.27), o que é corroborado pela baixa quantidade de chuva observada nestes dois meses na região, 124 mm e 152 mm (Figura 3.15) O total de pêntadas no último trimestre do período analisado para a porção noroeste do RS foi 373 (Tabela 3.7), pouco menos que no primeiro trimestre que contou com 383 casos (Tabela 3.6).

Dentre os municípios considerados, observa-se uma variabilidade mensal da ocorrência do número máximo de períodos secos. No primeiro trimestre do ano, Santa Rosa, Cruz Alta e Marcelino Ramos apresentam a máxima ocorrência de veranicos em março, enquanto São Luiz Gonzaga, Iraí e Passo Fundo apresentam a máxima ocorrência em janeiro (Figura 3.26). No quarto trimestre, os municípios de Santa Rosa, São Luiz Gonzaga, Iraí, Passo Fundo e Marcelino Ramos, quase a totalidade dos postos, apresentam os valores máximos em dezembro e em Cruz Alta o valor máximo ocorre em novembro (Figura 3.27).

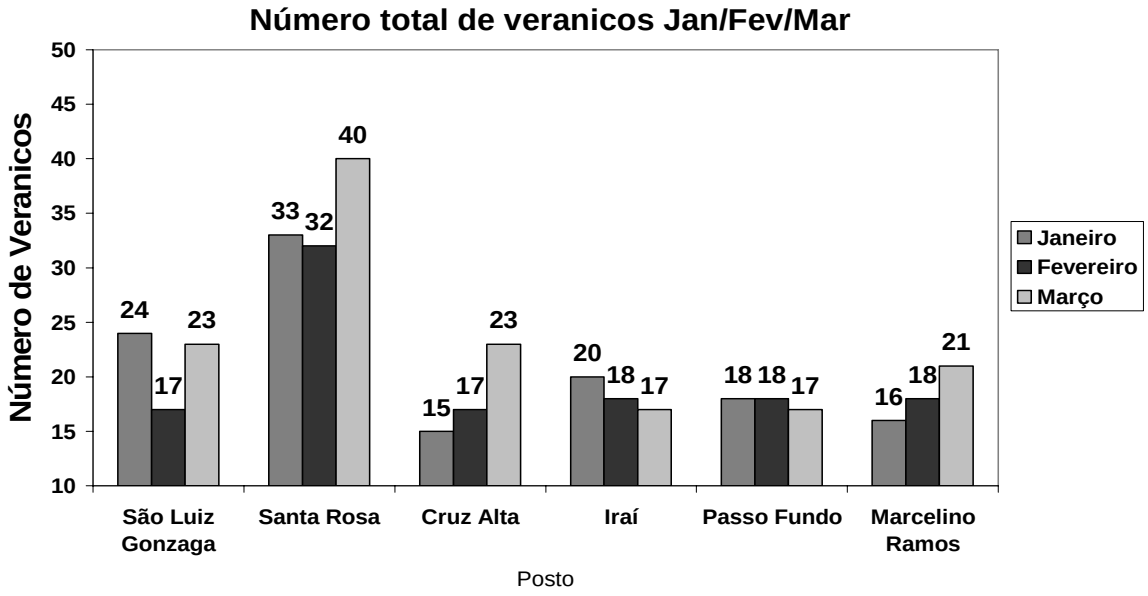


Figura 3.26 Número de veranicos nos meses do primeiro trimestre do ano, para cada posto selecionado, de 1978 e 2005

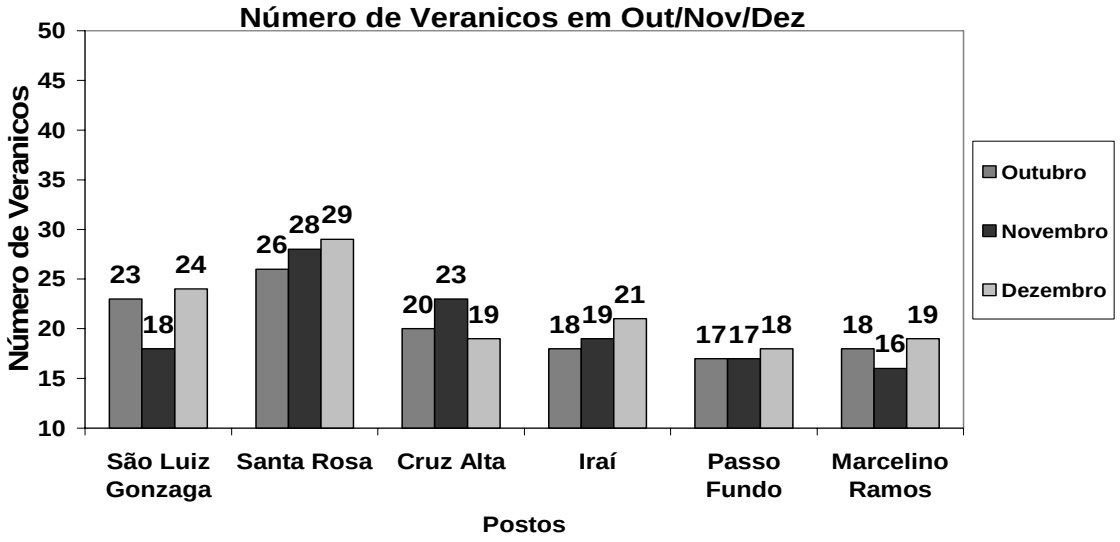


Figura 3.27 Número de veranicos nos meses do último trimestre do ano, para cada posto selecionado, de 1978 a 2005

Com base na variabilidade interanual do número de veranicos no primeiro trimestre, na região de estudo, no decorrer da série analisada, verifica-se que a maior quantidade de casos ocorreu nos anos de 1979, 1980, 1991, 2004 e 2005 (Figura 3.21), anos classificados como normais, de acordo com a Figura 3.28 e Tabela (3.1 e 3.2), exceto o início de 2005, em que foi observado aquecimento no Pacífico Equatorial na região do Niño 3.4. Porém, caso se considere o resfriamento anômalo de outras regiões do Pacífico, tais como o Nino 4, 3 e 1+2 e ainda do Atlântico Subtropical, próximos à costa da Região Sul, atuando nos três primeiros meses do ano de 2005, conclui que de fato, estas regiões oceânicas contribuíram para o incremento no cômputo de veranicos no primeiro trimestre daquele ano. De maneira geral, conclui-se que o número de veranicos ocorridos no primeiro trimestre do ano não responde diretamente à ocorrência de eventos La Niña, mas sim em anos considerados normais, se forem consideradas, apenas, as anomalias das Tabelas 3.1 e 3.2 (Niño 3.4).

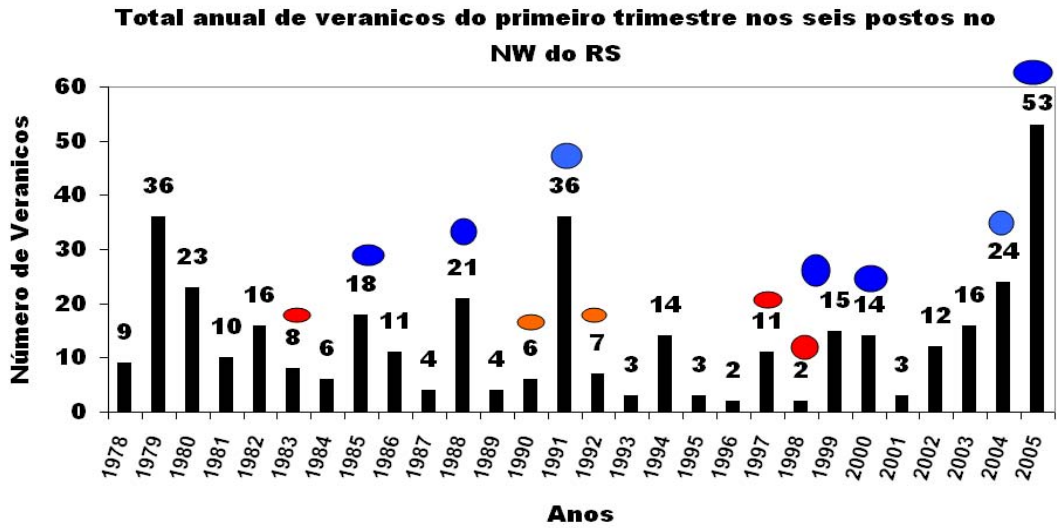


Figura 3.28 Número de veranicos, no primeiro trimestre do ano, com indicação de El Nino (vermelho)/La Niña (azul), para a Região Noroeste do RS, de 1978 a 2005

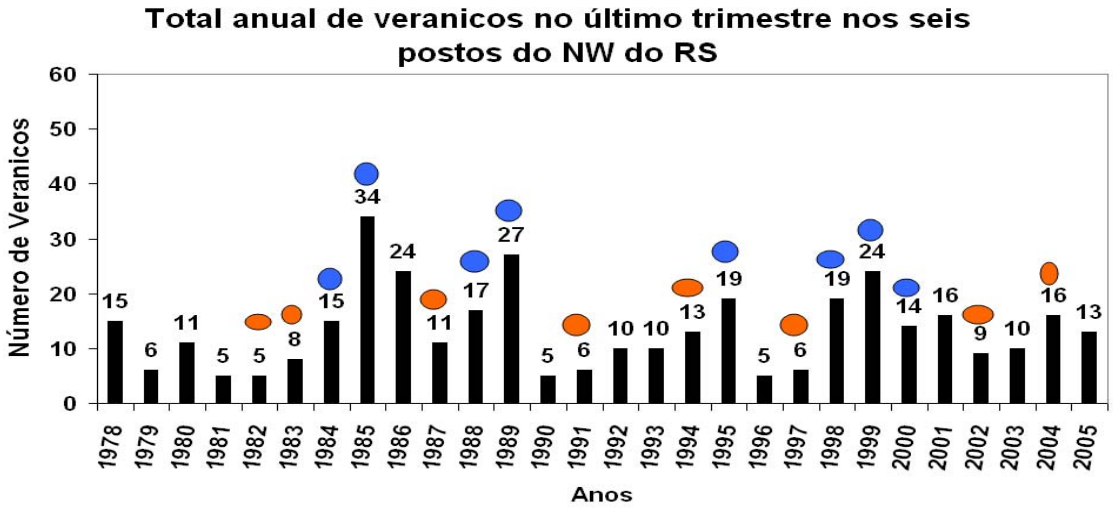


Figura 3.29 Número de veranicos, no quarto trimestre do ano, com indicação de El Nino (vermelho)/La Niña (azul), para a Região Noroeste do RS, de 1978 a 2005

Por outro lado, a maior quantidade de casos de veranico no último trimestre do ano (out. a dez) foi observada nos anos 1985, 1986, 1989, 1995, 1998, 1999 (Figura 3.29), anos em que foi registrada a ocorrência de episódios frios no Pacífico (La Niña) ou anos normais precedidos pela ocorrência de episódios frios, tal como indicado na Tabela 3.1 e 3.2 (Niño 3.4). Assim, verifica-se que o último trimestre do ano parece responder mais diretamente às anomalias de TSM no Pacífico Equatorial do que o

primeiro trimestre. Tal aspecto é corroborado por resultados de correlação entre precipitação no Sul do Brasil e TSM no Pacífico Tropical que indicam maior correspondência (maior valor de correlação) para os últimos meses do ano, como apontam Grimm *et al*. (1998, 2000 e 2004, Silva *et al.* 2008).

Santa Rosa e São Luis Gonzaga aparecem como os municípios com as maiores incidências de veranico, tanto no primeiro quanto no quarto trimestre, com, respectivamente, 27,1% e 16,5% dos casos no primeiro trimestre e, 22,3% e 17,4% no quarto trimestre (Tabelas 3.6 e 3.7).

Tabela 3.6 Número de veranicos nos seis postos do NW do RS, no primeiro trimestre do ano, para o período de 1978 a 2005

Ano	São Luiz Gonzaga	Santa Rosa	Cruz Alta	Iraí	Passo Fundo	Marcelino Ramos	Total
1978	1	2	1	2	1	2	9
1979	4	7	5	6	7	7	36
1980	3	5	4	3	5	3	23
1981	2	4	1	1	1	1	10
1982	2	5	2	3	2	2	16
1983	0	3	2	1	1	1	8
1984	1	2	0	1	0	2	6
1985	1	4	3	5	3	2	18
1986	1	3	2	2	1	2	11
1987	0	1	1	1	0	1	4
1988	3	6	2	3	3	4	21
1989	2	2	0	0	0	0	4
1990	1	3	0	0	0	2	6
1991	8	9	6	4	5	4	36
1992	2	2	1	1	1	0	7
1993	0	2	0	1	0	0	3
1994	3	4	1	0	3	3	14
1995	0	3	0	0	0	0	3
1996	1	1	0	0	0	0	2
1997	1	4	2	1	1	2	11
1998	0	1	1	0	0	0	2
1999	3	5	2	2	2	1	15
2000	4	6	1	0	2	1	14
2001	2	0	0	0	1	0	3
2002	3	3	2	2	1	1	12
2003	3	3	3	3	2	2	16
2004	4	5	4	4	3	4	24
2005	9	10	9	9	8	8	53
Total	64	105	55	55	53	55	387
Percentual	16,5	27,1	14,2	14,2	13,7	14,2	100,0

Tabela 3.7 Número de veranicos nos seis postos do NW do RS, no quarto trimestre do ano, para o período de 1978 a 2005

Ano	São Luiz Gonzaga	Santa Rosa	Cruz Alta	Irai	Passo Fundo	Marcelino Ramos	Total
1978	3	3	2	3	2	2	15
1979	1	2	0	1	0	2	6
1980	2	3	2	2	1	1	11
1981	2	0	1	0	1	1	5
1982	0	2	1	0	1	1	5
1983	2	3	1	1	1	0	8
1984	2	3	3	2	3	2	15
1985	6	9	5	8	3	3	34
1986	4	5	5	4	3	3	24
1987	1	1	2	2	2	3	11
1988	2	3	3	3	2	4	17
1989	6	7	5	3	3	3	27
1990	1	0	0	1	1	2	5
1991	0	2	1	1	1	1	6
1992	1	2	2	2	1	2	10
1993	1	2	1	3	2	1	10
1994	2	4	3	1	2	1	13
1995	3	4	3	3	4	2	19
1996	1	1	0	1	0	2	5
1997	2	2	1	0	0	1	6
1998	4	4	4	3	3	1	19
1999	3	4	3	4	5	5	24
2000	4	4	2	2	1	1	14
2001	4	3	2	2	3	2	16
2002	1	2	2	1	2	1	9
2003	2	2	3	1	1	1	10
2004	3	3	2	2	3	3	16
2005	2	3	3	2	1	2	13
Total	65	83	62	58	52	53	373
Percentual	17,4	22,3	16,6	15,5	13,9	14,2	100,0

A variabilidade interanual do número de eventos em cada posto, para o primeiro e último trimestres (Figuras 3.28 e 3.29) indica que, apesar de algumas diferenças, os seis municípios considerados a noroeste do RS comportam-se aproximadamente como uma região homogênea. É possível questionar, com base nos dados para o primeiro trimestre (Figura 3.28), que há influência da variabilidade de larga escala com periodicidade aproximada de 12 a 14 anos, embora, pelo pequeno tamanho da série e, portanto, pela baixa significância estatística, não se possa fazer nenhuma afirmação conclusiva.

Com base na avaliação da variabilidade temporal do número de veranicos em cada mês do primeiro trimestre do ano, verifica-se que fevereiro, de modo geral, é o mês que apresenta a menor quantidade de eventos, embora apresente o mesmo valor climatológico de precipitação acumulada em janeiro de 159 mm (Figura 3.26). Os meses de março e janeiro (124 mm e 159 mm) contribuem para a maior parte dos casos ocorridos em todo o período analisado (Figura 3.26). Por outro lado, verifica-se que o mês de fevereiro apresenta grande ocorrência de veranicos nos anos 2004 e 2005 (Tabela 3.6), anos nas quais foi verificado aquecimento oceânico na região Nino 3.4 nos primeiros trimestres.

Para cada mês do quarto trimestre, observou-se que dezembro concentra os maiores índices de veranicos, sobretudo em Santa Rosa, São Luiz Gonzaga, Iraí, Passo Fundo e Marcelino Ramos, com exceção a Cruz Alta, que teve em novembro mais casos de veranicos no trimestre (Figura 3.27). A média mensal climatologica de precipitação pluviométrica é menor em dezembro (152 mm) do que novembro (153 mm) e, outubro, tem 218 mm. Mas, novembro (121 casos) se equipara ao número de veranicos de outubro (122 casos, Figura 3.23). Outubro tem a maior média mensal climatológica de precipitação em todo o período de 28 anos.

Janeiro participa com cerca de 26% de veranicos em Santa Rosa, denota uma taxa porcentual superior aos demais municípios, neste mês. Fevereiro com 26% em Santa Rosa, com situação semelhante a janeiro para os outros municípios. E março contribui com 28% de veranicos em Santa Rosa e com bem menos nos outros cinco municípios. Ou seja, março, no primeiro trimestre, foi o mês e Santa Rosa, o município

mais propenso aos veranicos (Tabela. 3.8). Em segundo lugar, conforme a mesma tabela, aparece o município de São Luiz Gonzaga e o mês de janeiro. Passo Fundo e fevereiro, na Região NW do RS, pareceu ser no primeiro trimestre, os que menos sofreram com a presença de veranicos.

Tabela 3.8 Número de veranicos e valor em porcentagem nos seis postos do NW do RS, em cada mês do primeiro trimestre do ano, para o período de 1978 a 2005

POSTO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	TOTAL
SÃO LUIZ GONZAGA	24 (20%)	17 (14%)	23 (16%)	64 (16%)
SANTA ROSA	33 (26%)	32 (26%)	40 (28%)	105 (28%)
CRUZ ALTA	15 (12%)	17 (14%)	23 (16%)	55 (14%)
IRAÍ	20 (16%)	18 (16%)	17 (12%)	55 (14%)
PASSO FUNDO	18 (14%)	18 (16%)	17 (12%)	53 (14%)
MARCELINO RAMOS	16 (12%)	18 (16%)	21 (14%)	55 (14%)

Para o quarto trimestre, conforme Tabela 3.9, verifica-se que o município de Santa Rosa contribui com a maior taxa de veranicos em relação aos outros cinco, com 22%. São Luiz Gonzaga novamente está em segundo lugar, com 18%. Cruz Alta e Iraí, ambos têm 16%. Passo Fundo e Marcelino Ramos registram 14% cada um. Em relação aos meses em que incidem as maiores taxas percentuais, São Luiz Gonzaga evidencia que outubro e dezembro são idênticas, com 18%; Santa Rosa e Cruz Alta em novembro registraram 24 e 20%, respectivamente. Iraí em novembro e dezembro teve o mesmo índice, 16% e, Passo Fundo e Marcelino Ramos, ambos os municípios, nos três últimos meses do ano, distribuíram uniformemente seus veranicos em cerca de 14% cada qual em cada mês.

Tabela 3.9 Número de veranicos e valor em porcentagem nos seis postos do NW do RS, em cada mês do último trimestre do ano, para o período de 1978 a 2005

POSTO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	TOTAL
SÃO LUIZ GONZAGA	23 (18 %)	18 (14%)	24 (18%)	65 (18%)
SANTA ROSA	26 (22%)	28 (24%)	29 (22%)	83 (22%)
CRUZ ALTA	20 (16%)	23 (20%)	19 (14%)	62 (16%)
IRAÍ	18 (14%)	19 (16%)	21 (16%)	58 (16%)
PASSO FUNDO	17 (14%)	17 (14%)	18 (14%)	52 (14%)
MARCELINO RAMOS	18 (14%)	16 (14%)	19 (14%)	53 (14%)

A freqüência de eventos de seca no NW do RS, para o primeiro e quarto trimestres do ano, é apresentada nas Figuras 3.30 e 3.31. Observa-se que nos anos de 1989, 1990, 1993, 1995 e 1996, existem muitas lacunas (Figura 3.30). Dentre os anos citados, apenas em 1990 houve períodos de neutralidade no Oceano Pacífico, conforme aponta a Tabela 3.1 e, nos demais, intercalou-se com períodos frios e quentes. A ocorrência de veranico nos vários municípios é baixa ou nula. Por outro lado, é notável a contribuição do primeiro trimestre de 2005 na ocorrência de veranico, onde aparentemente, as anomalias no primeiro trimestre daquele ano foram positivas e, positivas também, a partir do segundo semestre de 2004, conforme mostra a tabela 3.1.

A ocorrência de eventos de veranico no quarto trimestre (Figura 3.31) é mais bem distribuída ao longo dos anos, e a não ocorrência de eventos é menos evidente. A variância de ocorrência de veranicos no quarto trimestre é menor do que no primeiro, exceto nos anos 1985-1986 e 1989. Houve nos primeiros trimestres de 1985, resfriamento das águas superficiais do Pacífico Equatorial e neutralidade nos demais, em 1986, neutralidade nos primeiros e aquecimento nos últimos trimestres e em 1989, resfriamento nos primeiros trimestres e neutralidade nos demais, sob a região Nino 3.4 (Tabela 3.1), que contribuem para o aumento da variância.

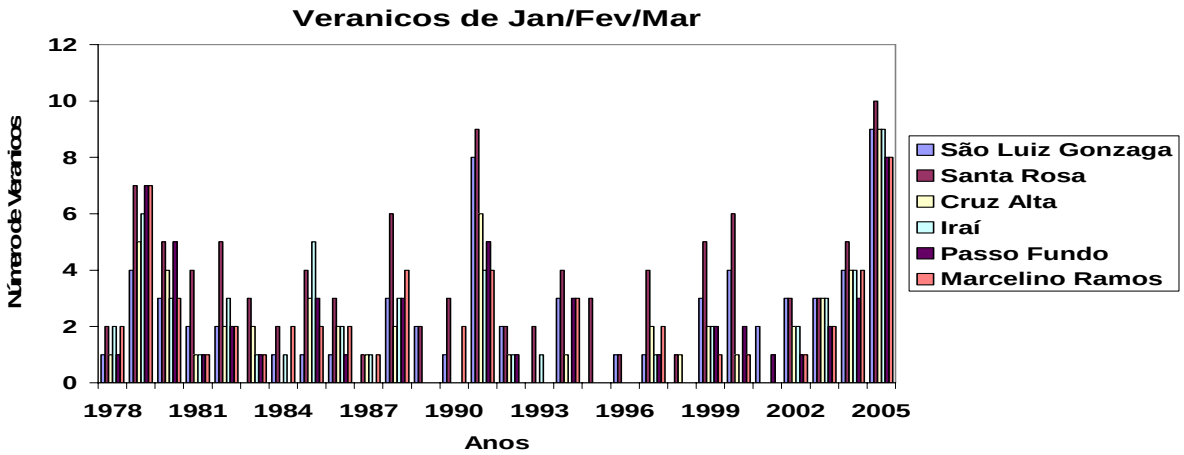


Figura 3.30 Número de veranicos no primeiro trimestre nos seis municípios do noroeste do Rio Grande do Sul, entre 1978 e 2005.

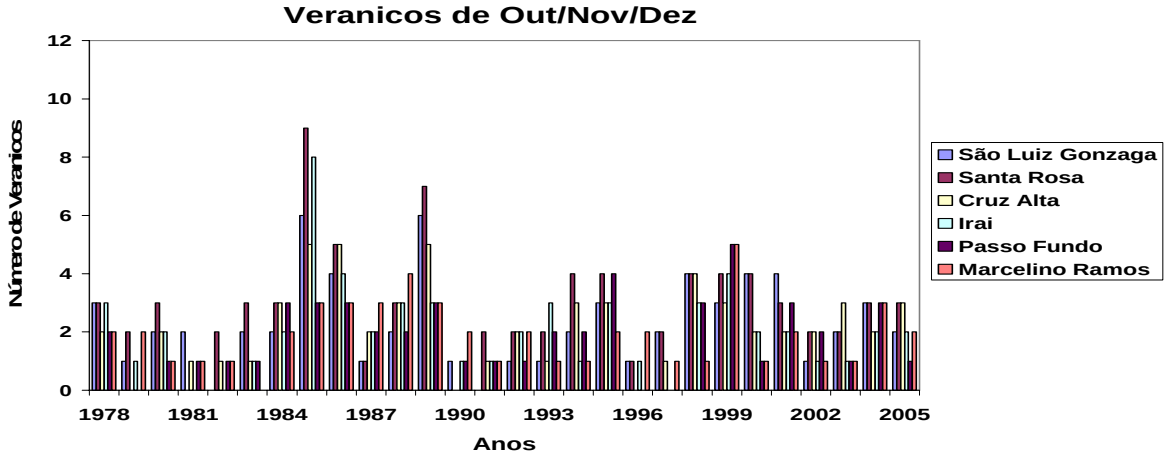


Figura 3.31 Número de veranicos no quarto trimestre nos seis municípios do noroeste do Rio Grande do Sul, de 1978 a 2005.

Janeiro e fevereiro (Figuras 3.32 e 3.33) demonstram muitas lacunas de veranicos no decorrer da série temporal em comum, os anos de 81, 87, 93, 95, 97, 98. Fevereiro concentra menor número se comparado aos veranicos de janeiro e março. Janeiro tem menor quantidade de eventos secos em janeiro de 2005 do que em fevereiro e março. É a partir de fevereiro que se intensificam os veranicos deste ano. O mês de março apresenta uma distribuição mais uniforme de veranicos ao longo do período analisado (Figura 3.34), com a presença de eventos de modo mais regular nos anos da série temporal (1978-2005), salvo em 1990, 1992, 1996, 2001 e 2003 com lacunas

grandes. O mês de março de 2005 apresentou dois a quatro veranicos em todos os postos da região.

Os meses de outubro e novembro e dezembro (Figuras 3.35 e 3.36 e 3.37) apresentam comportamento semelhante aos do primeiro trimestre, quanto à distribuição de veranicos ao longo da série temporal, 1978 a 2005. Não apresentam ocorrência de veranicos em anos determinados, porém nem tão coincidentes. O número máximo de eventos em outubro e novembro é igual a três, como em outubro de 1986 e 1989 e em novembro de 1985 e 2001, em apenas alguns postos. Nota-se que em outubro de 2005 não foi detectada a ocorrência de nenhum veranico (Figura 3.35), ao passo que, em novembro (Figura 3.36) foi detectada a ocorrência de um evento em três municípios da região. O mês de dezembro (Figura 3.37) é o menos chuvoso no trimestre, apresenta a menor média mensal (152 mm) (Figura 3.21) e contribui para os maiores índices de veranico do período analisado (Figuras 3.23 e 3.27). Pode-se dizer que o maior número de eventos secos na Região Noroeste do RS está associado ao menor valor de precipitação média em dezembro. Entretanto, em alguns anos é observada a ausência de eventos secos em dezembro, tal como em 1981, 1982, 1987, 2002 e 2003 (Figura 3.37). Em dezembro desses anos, exceto em dezembro de1981 (ano de janeiro a dezembro, neutro), houve aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacifico Equatorial (Niño 3.4) e a presença marcante de El Niño (Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3).

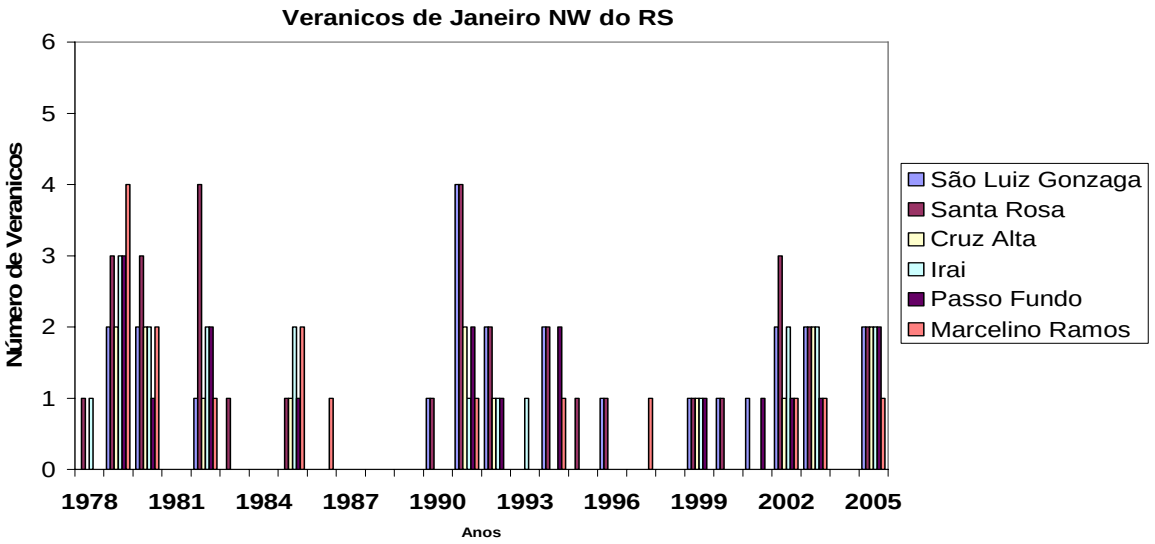


Figura 3.32 Número de veranicos do mês de janeiro entre 1978 e 2005 no nw do RS

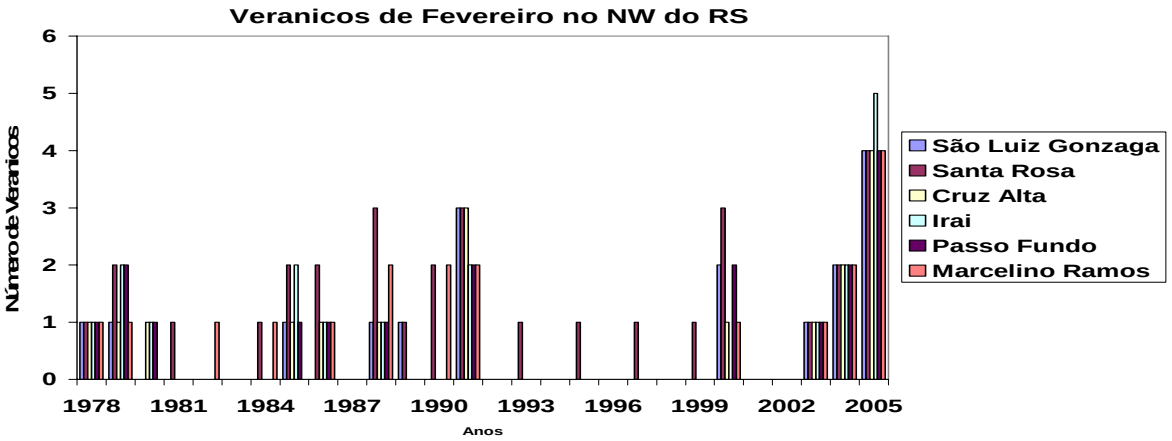


Figura 3.33 Número de veranicos do mês de fevereiro entre 1978 e 2005 no nw do RS

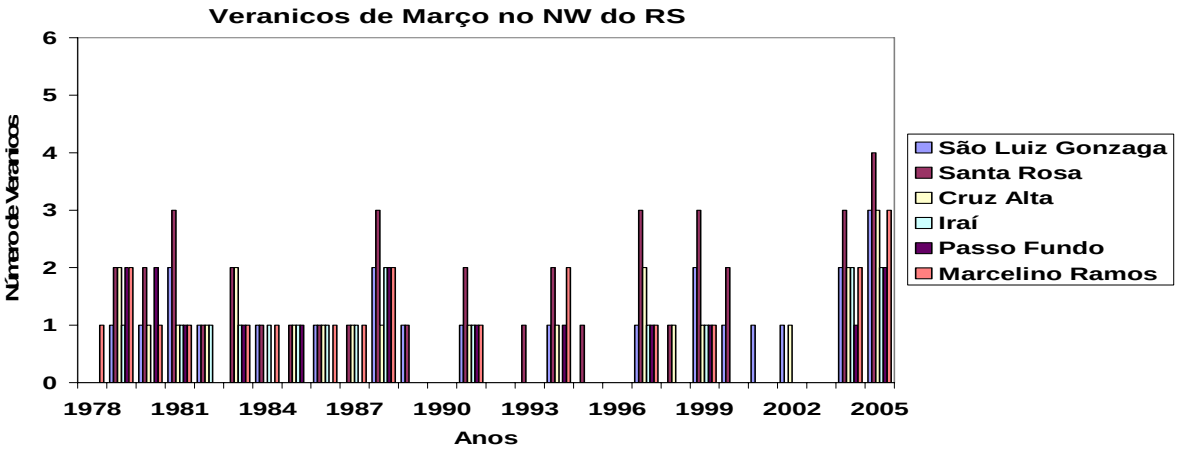


Figura 3.34 Número de veranicos do mês de março de 1978 e 2005 no nw do RS

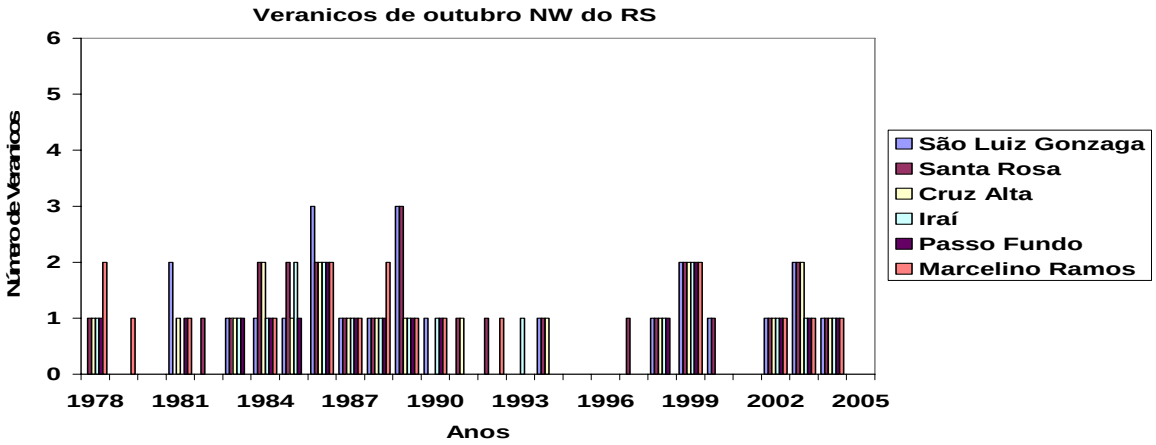


Figura 3.35 Número de veranicos em outubro, na Região NW do RS, de 1978 a 2005

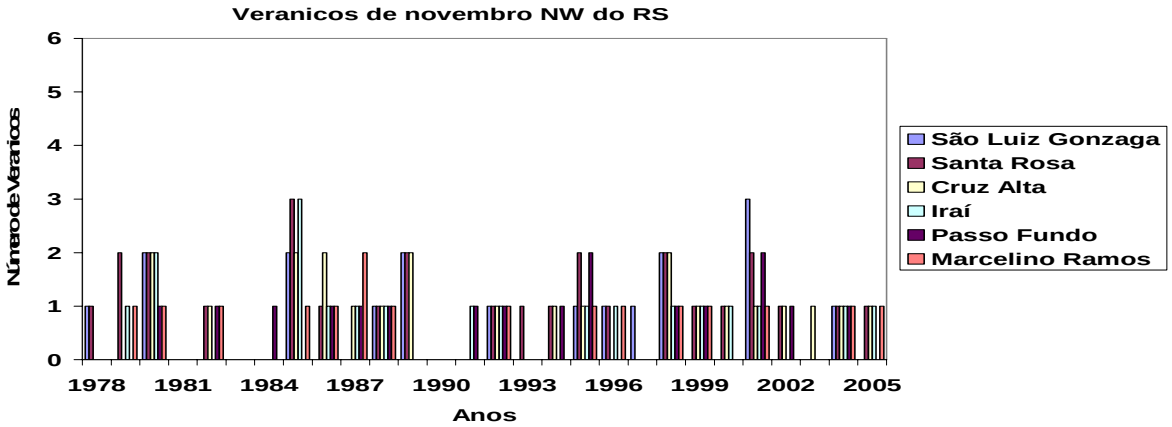


Figura 3.36 Número de veranicos em novembro, na Região NW do RS, de 1978 a 2005

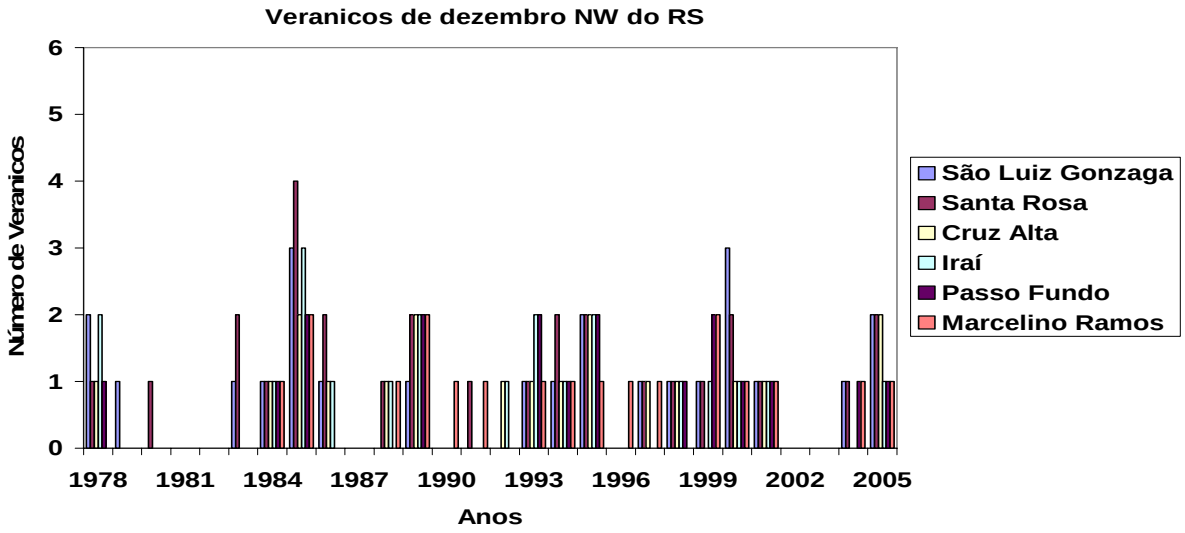


Figura 3.37 Número de veranicos em dezembro, na Região NW do RS, de 1978 a 2005

Numa avaliação temporal, março e dezembro, nesta ordem, são os meses que apresentam as maiores ocorrências de veranico (Figura 3.38). A ocorrência de um número maior de veranicos nestes meses está associada à menor precipitação observada (124 mm e 152 mm). Espacialmente, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga aparecem como os municípios com maior número de veranicos, tanto no primeiro quanto no quarto trimestre (Figura 3.39). Percentualmente, observou-se 27% e 16,6 dos casos no primeiro trimestre, em Santa Rosa e São Luis Gonzaga, respectivamente, e 22,3% e 17,4% no quarto trimestre. Marcelino Ramos e Passo Fundo são os municípios com as menores incidências do evento, 14,2% e 13,9% no quarto trimestre e 14,2 e 13,7 no primeiro, ou seja, é muito semelhante o comportamento desses dois municípios no que tange à incidência de veranicos. A chuva média acumulada anual nos municípios de Santa Rosa, São Luis Gonzaga, Marcelino Ramos e Passo Fundo é, respectivamente, 1861 mm, 1783 mm, 1763 mm e 1859 mm. Verifica-se, assim, que ocorrência ou não de eventos secos não é diretamente relacionada ao volume de chuva em cada município, e sim à distribuição mais ou menos homogênea da precipitação no decorrer de cada mês.

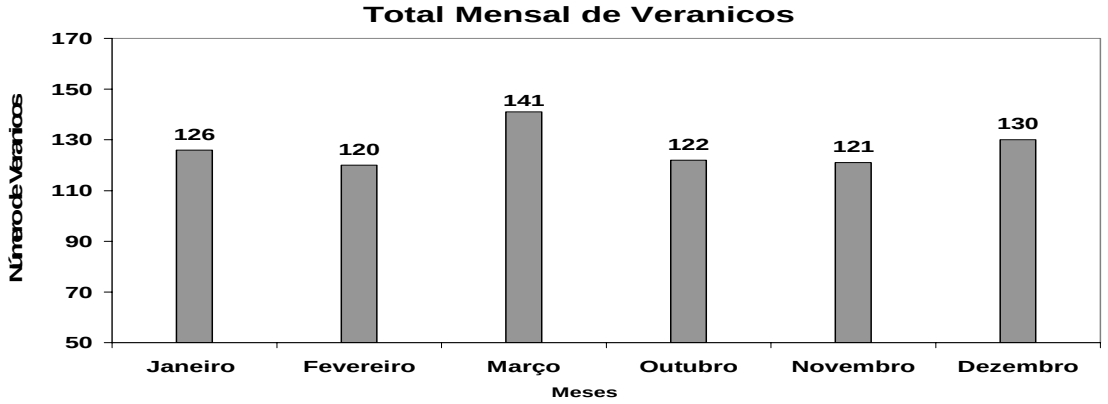


Figura 3.38 Número de veranicos no primeiro e quarto trimestre do ano, de 1978 a 2005

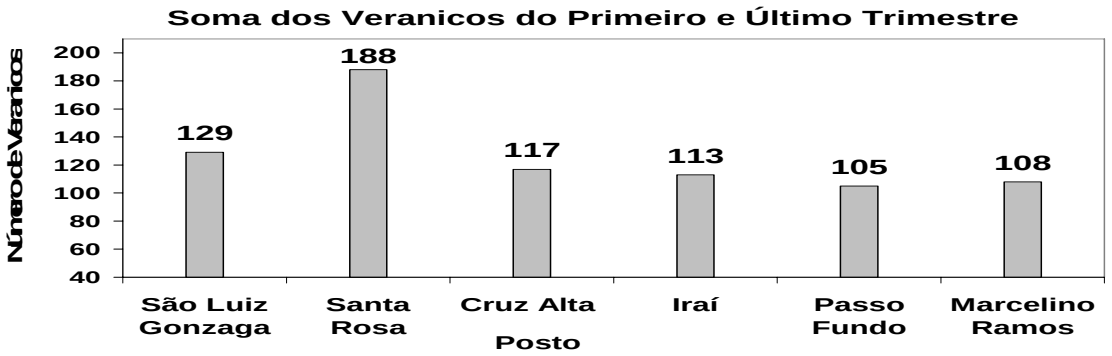


Figura 3.39 Número de veranicos nos dois trimestres juntos, no noroeste do RS, de 1978 a 2005

3.6 - PADRÕES ATMOSFÉRICOS ASSOCIADOS ÀS CONDIÇÕES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS

Com o intuito de identificar padrões atmosféricos característicos de condições climáticas extremas entre 1978 e 2005, incluindo os períodos de ocorrência de veranicos descritos na seção 3.5, é apresentada nesta seção a distribuição espacial de campos médios mensais de variáveis atmosféricas em períodos pré-estabelecidos. As variáveis meteorológicas selecionadas para análise foram altura geopotencial (m), componentes zonal e meridional do vento (ms^{-1}) e divergência do ar (s^{-1}) em 200 e 850 hPa; radiação de onda longa emergente (ROL) (Wm^{-2}), da temperatura da superfície do mar (TSM) (^{o}C) e a pressão à superfície (hPa). Os campos analisados referem-se aos dados da Reanálise II do NCEP/NCAR (Kanamitsu et al., 2002) e Reanálise I, tal como descrito no capítulo 2. O conjunto dos períodos selecionados pode ser subdividido em dois blocos distintos: períodos secos e períodos úmidos. Estabeleceu-se um critério para a seleção dos anos extremos, para cada mês, como o fato do valor absoluto da anomalia de precipitação exceder 70 mm, tal como indicado na Figura 3.40 (Quadros 1 a 6). Os anos que caracterizam o período seco e úmido estão listados na Tabela 3.10. Alguns dos períodos selecionados coincidem com a atuação de eventos de ENOS (Tabela 3.1, 3.2 e 3.3).

Tabela 3.10 Períodos extremos selecionados (precipitação > 70,0 mm) para o primeiro e quarto trimestre do ano (1978 a 2006).

Mês	Seco	Úmido
Janeiro	***79, 82, 85***	***90, 93, 96***
Fevereiro	***78, 91, 02, 04 e 05***	***83, 85, 92, 94 e 98***
Março	***88, 97 e 04***	***92, 97 e 98***
Outubro	***78, 81, 85, 86 e 91***	***79, 96, 97 e 02***
Novembro	***85, 88, 91, 95 e 98***	***82, 92, 94 e 97***
Dezembro	***78, 85, 92, 01, 04 e 05***	***79, 81, 91, 96 e 03***

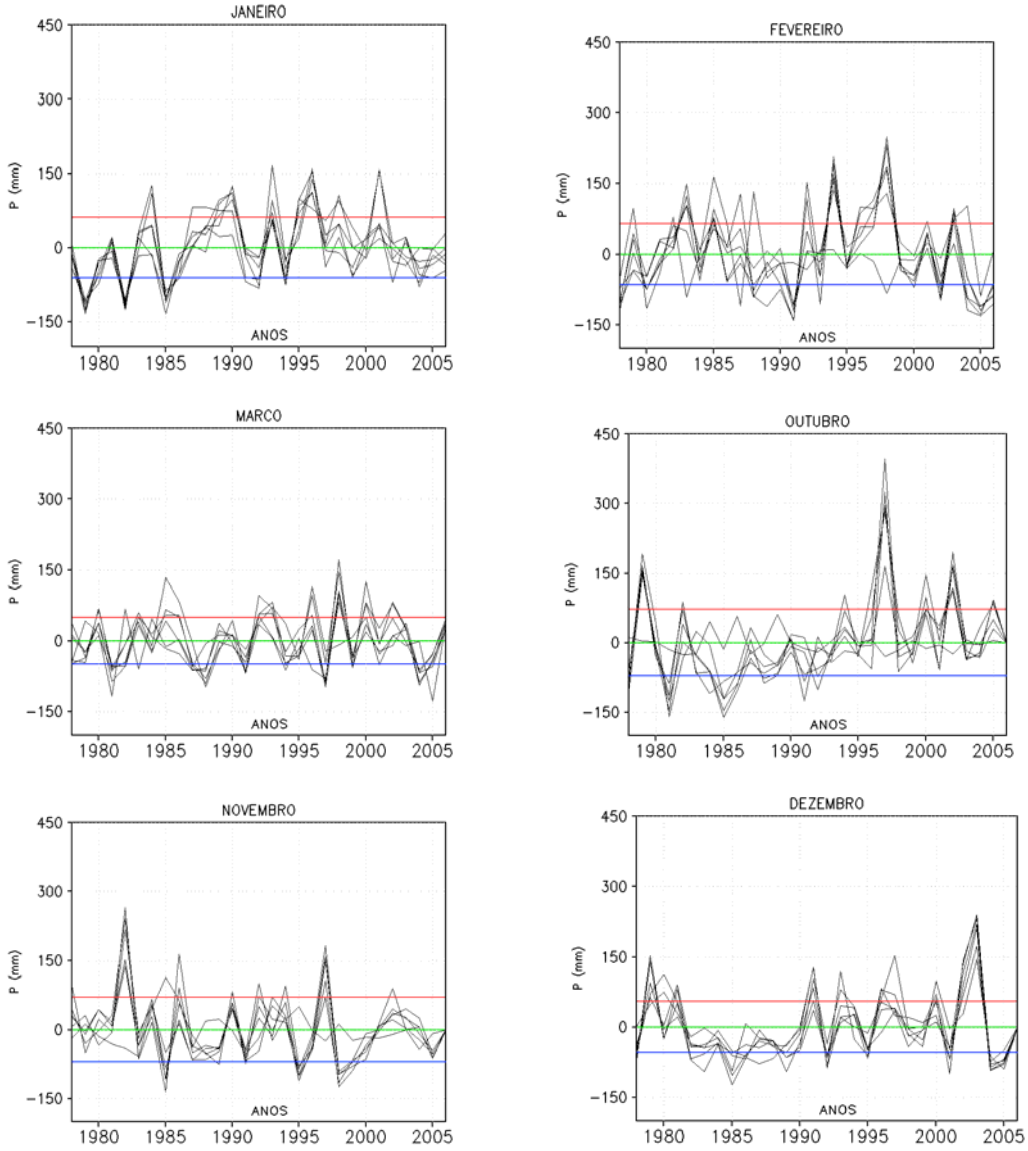


Figura 3.40 (Quadros 1 a 6). Anomalias mensais de precipitação (mm) do 1°e 4° trimestres (jan - mar; out - dez), entre janeiro 1978 e julho de 2006, no noroeste do RS

3.6.1 - EVENTOS SECOS

Em geral, espera-se que os períodos secos estejam associados a menor presença de nebulosidade e a anomalias positivas de divergência em baixos níveis e de pressão de superfície. Anomalias negativas de altura geopotencial em altos níveis estariam associadas teoricamente a movimentos subsidentes e, portanto, a inibição de nebulosidade.

Considerando os períodos secos, os meses de janeiro, março, outubro, novembro e dezembro apresentam padrões similares de divergência do ar e sua correspondente anomalia em 200 e 850 hPa. Observa-se que em 200 hPa é característica uma grande região de convergência do ar atuando sobre todo o Brasil central (Figura 3.41 (Quadros 1, 5, 9, 13, 17 e 21)), incluindo a Região Sul do Brasil até o norte do RS. Além do fato da convergência em altos níveis estar associada a movimentos subsidentes do ar e divergência em baixos níveis (Figura 3.41 (Quadros 3, 7, 11, 15, 19 e 23)), este padrão é mais intenso do que a média climatológica sobre toda a Região Sul do Brasil e porção sul da Sudeste, como pode ser constatado pela Figura 3.41 (Quadros 2, 6, 10, 14, 18 e 22) Observa-se ainda anomalias positivas de divergência em baixos níveis (Figura 3.41 (Quadros 3, 11, 15, 19 e 23)) sobre a região de estudo, contribuindo para a inibição de formação de nebulosidade). A média dos meses de fevereiro secos apresenta comportamento distinto, com anomalias positivas (negativas) de divergência do ar em altos (baixos) níveis.

O padrão da circulação do ar (Figura 3.42 (Quadros 1 a 24)) observado nos períodos secos, em todos os meses, evidencia uma anomalia ciclônica em 200 hPa com centro geralmente sobre Atlântico Sul adjacente às regiões Sul e Sudeste do Brasil, em aproximadamente 40º-50ºW e 30ºS (Figura 3.42 (Quadros 1, 5, 9, 13, 17 e 21)). A presença deste padrão anômalo ciclônico está associada a um cisalhamento meridional do vento, com ventos mais intensos a norte e ventos mais fracos ao sul. Em todos os casos este padrão contribui para a convergência do ar em altos níveis sobre a Região Sul do Brasil. Em níveis baixos, observa-se normalmente uma anomalia ciclônica na mesma região, porém, deslocada para leste, de forma que na Região Sul do Brasil ocorra divergência do ar, associado pelo enfraquecimento do Jato de Baixos Níveis (Figura 3.42 (Quadros 4, 8, 12, 16, 20 e 24)). As anomalias de baixos níveis (Figura 3.42

(Quadros 3, 7, 11, 15, 19 e 23)) durante o quarto trimestre são bem menores do que as observadas durante o primeiro trimestre, nos casos de períodos secos, na região.

Em altos níveis, a anomalia da altura geopotencial foi sempre negativa sobre o sul do Brasil (Figura 3.43 (Quadros 1, 5, 9, 13, 17 e 21)) e, em baixos níveis (Figura 3.43 (Quadros 3, 7, 11, 19 e 23)), sempre positiva, exceto no mês de outubro (3.43 Quadro 15). Tal padrão está associado à intensificação da crista em altitude, favorecendo movimentos subsidentes. O enfraquecimento de sistemas convergentes em baixos níveis sobre a Região Sul do Brasil (Figura 3.43 (Quadros 3, 7, 11, 15, 19 e 23)), localizados entre as altas subtropicais do Atlântico e Pacífico Sul, não favorecem a formação de nuvens.

As anomalias de radiação de ROL observadas nos períodos secos, nos meses de outubro a março, sobre a região Sul do Brasil foram sempre positivas (Figura 3.44 (Quadros 1, 3, 5, 7, 9 e 11)), sugerindo condições atmosféricas mais secas do que a média climatológica. A ROL é uma boa indicadora de formação de nebulosidade. Além dos valores positivos de anomalia de ROL, verifica-se que nestas condições de seca sobre o Sul a parte do Sudeste do Brasil, áreas com intensa nebulosidade (valores negativos de anomalia de ROL) ficam deslocadas mais ao norte de sua posição climatológica. A permanência de sistemas frontais sobre o a Região Sudeste organiza a convecção tropical nas regiões Central e Norte do Brasil e indica o posicionamento da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Ambrizzi et al. 1998 e Carvalho et al. 2004, Siqueira e Machado, 2006).

O padrão da anomalia de pressão à superfície (3.45 (Quadros 1, 3, 7, 9 e 11)), de modo geral, indica valores positivos na Região Sul do Brasil em contraposição a anomalias negativas nas regiões Sudeste e Nordeste. Este padrão repetiu-se em todos os meses avaliados sobre o RS. Anomalias positivas de pressão à superfície sugerem pouca formação de nebulosidade e, portanto, tendência ao tempo seco.

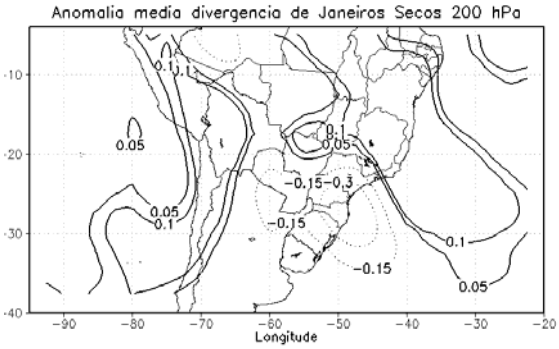
Em todos os meses avaliados (outubro a março), para os períodos secos selecionados, observa-se um padrão de anomalias negativas de TSM na região do Pacífico Equatorial (Figura 3.46 (Quadros 1, 3, 5, 7, 9 e 11)), confirmando a associação entre eventos La Niña e pouca chuva na Região Sul do Brasil. No Atlântico Sudoeste (Subtropical), em áreas adjacentes às regiões Sul e Sudeste do Brasil, são identificadas

anomalias negativas de TSM que inibem a formação de nebulosidade, corroborando para intensificar as estiagens no Rio Grande do Sul (Grimm *et al*., 2004 e Coelho, 2001), (Figura 4.46 (Quadros 3, 5, 7, 9 e 11)).

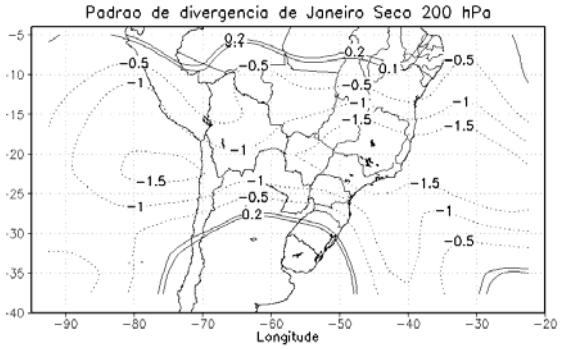
Levando-se em consideração as variáveis atmosféricas consideradas neste trabalho, conclui-se que a divergência do ar em altos e baixos níveis é um bom indicador do enfraquecimento dos sistemas associados à formação de nebulosidade e, conseqüentemente, da precipitação na Região Sul do Brasil, durante períodos caracterizados pela ocorrência de La Niña intensa ou não. ROL e TSM são boas indicadoras de formação de nebulosidade, ou seja, valores positivos de ROL e negativos de TSM coincidem, geralmente, com pouca chuva.

A seguir, são identificados os mapas com as composições das anomalias e as médias de divergência do ar, escoamento do vento e altura geopotencial, em dois níveis atmosféricos: 200 e 850 hPa, e ainda as variáveis: radiação de onda longa, pressão à superfície e a temperatura à superfície do mar, primeiramente são identificados os períodos secos e posteriormente, os úmidos (Figuras 3.41 a 3.53).

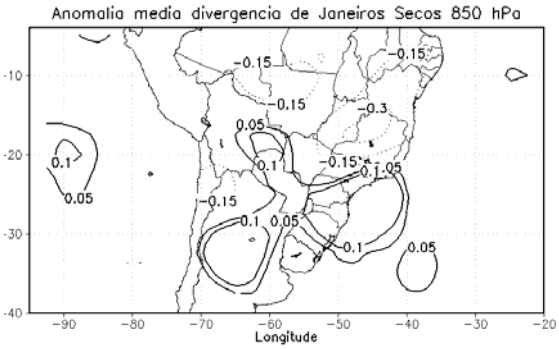
Divergência do ar em 200 e 850 hPa (Seco)

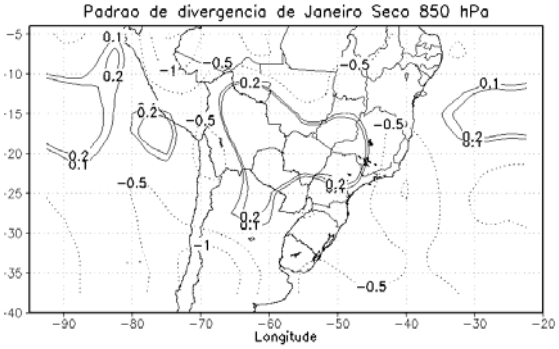


(1)

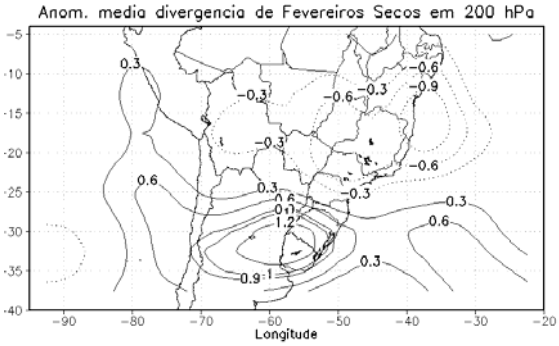


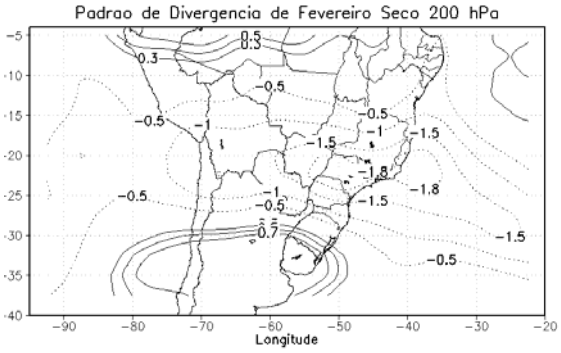
(2)


Anomalia media divergencia de Janeiros Secos 850 hPa
Longitude

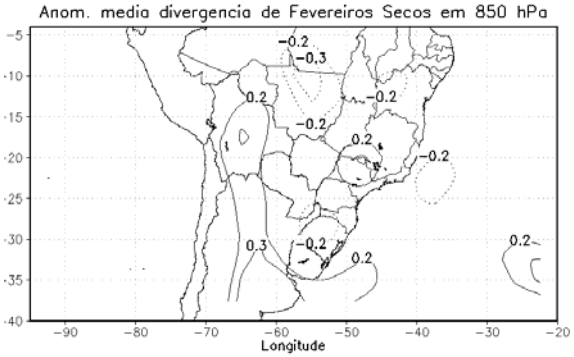

Padrao de divergencia de Janeiro Seco 850 hPa
Longitude

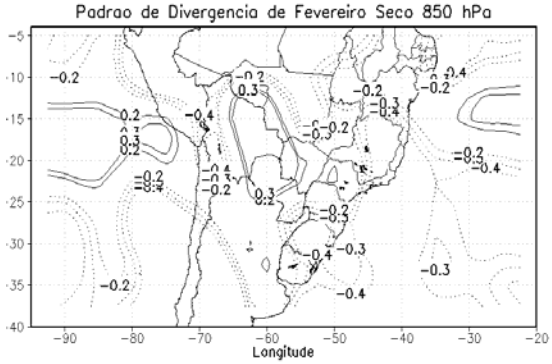
(2) **(4)**


Anom. media divergencia de Fevereiros Secos em 200 hPa
Longitude

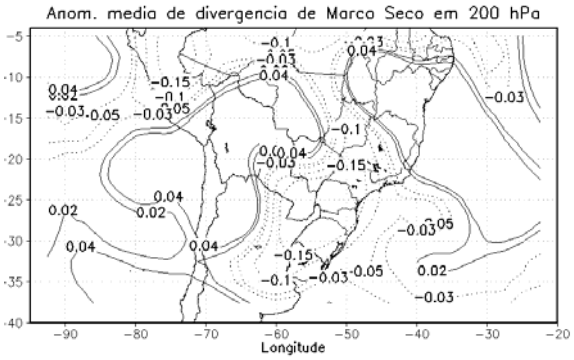

Padrao de Divergencia de Fevereiro Seco 200 hPa
Longitude

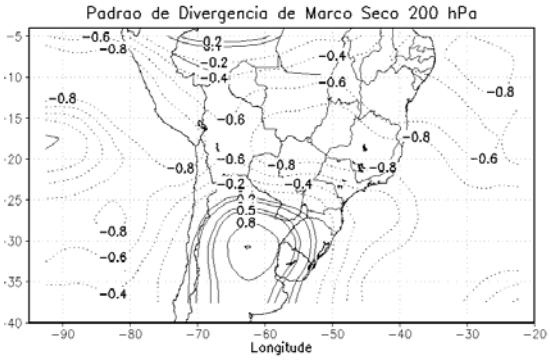
(5) **(6)**


Anom. media divergencia de Fevereiros Secos em 850 hPa
Longitude

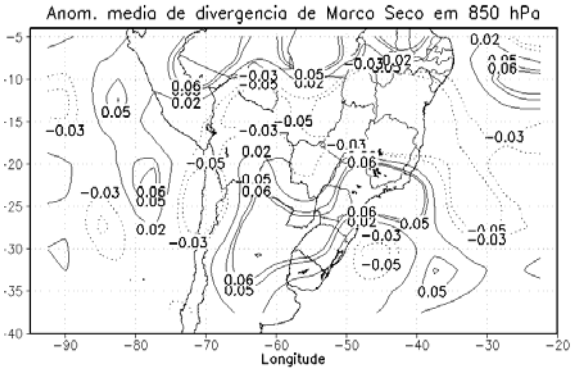

Padrao de Divergencia de Fevereiro Seco 850 hPa
Longitude

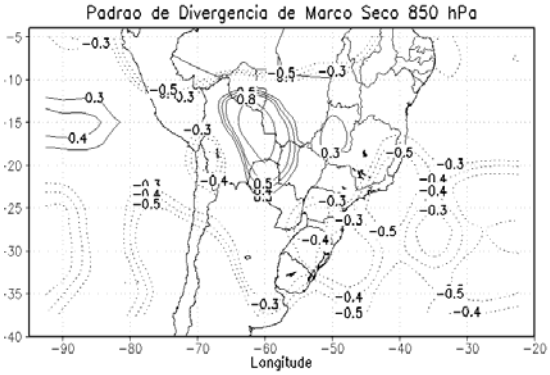
(7) **(8)**



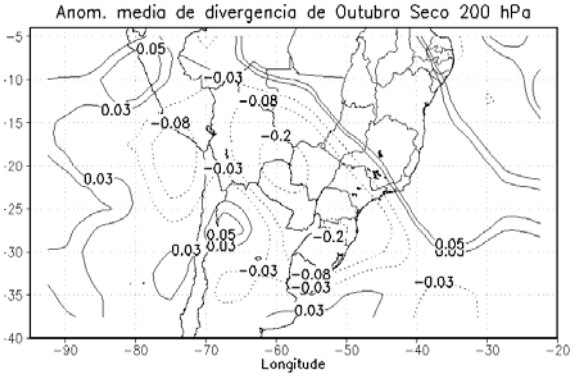


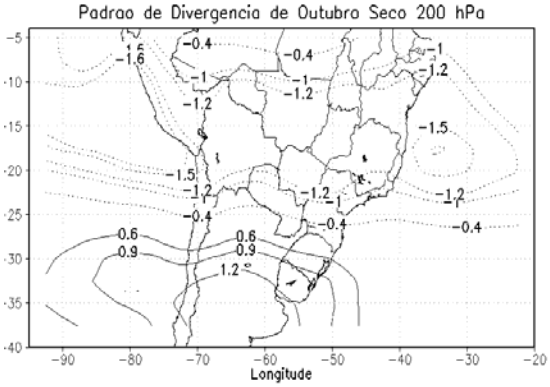
(8) **(10)**



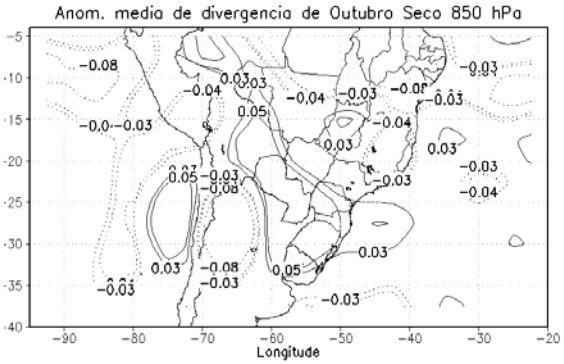


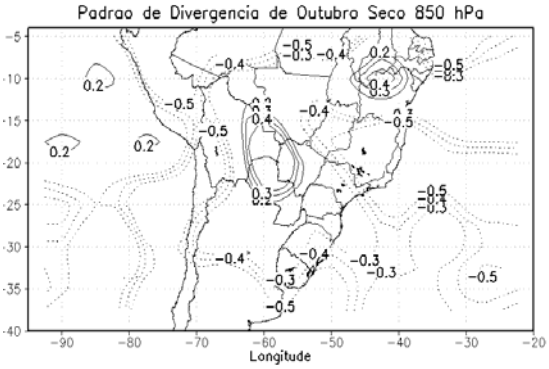
(11) **(12)**



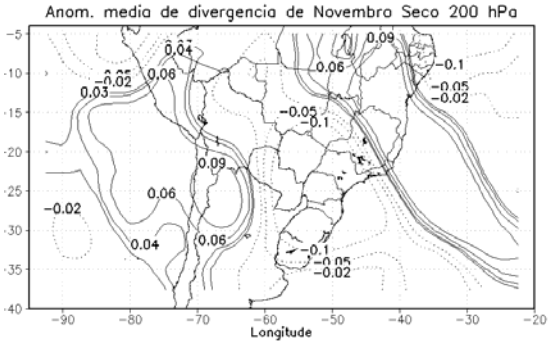


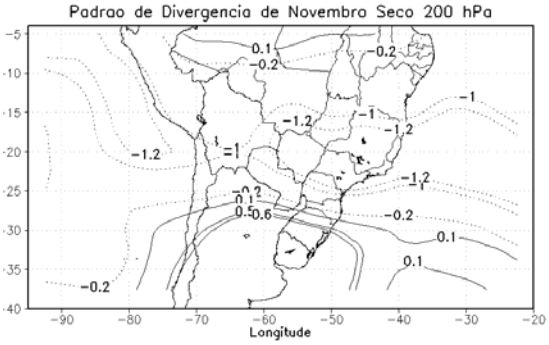
(13) **(14)**



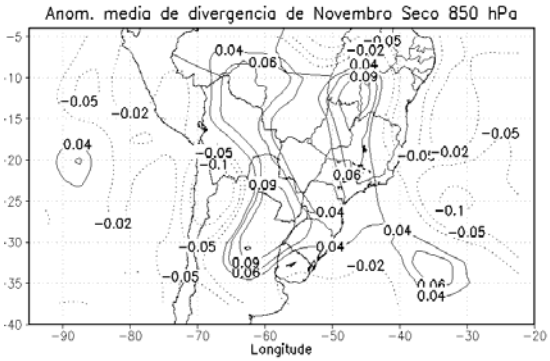


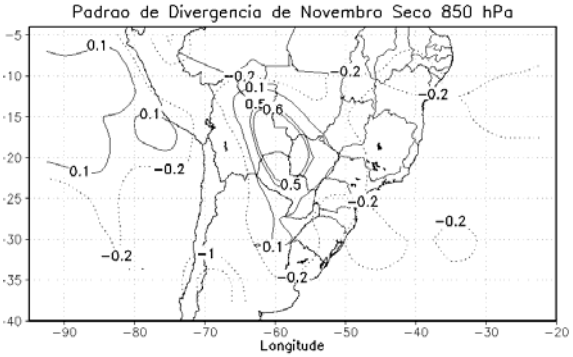
(15) **(16)**



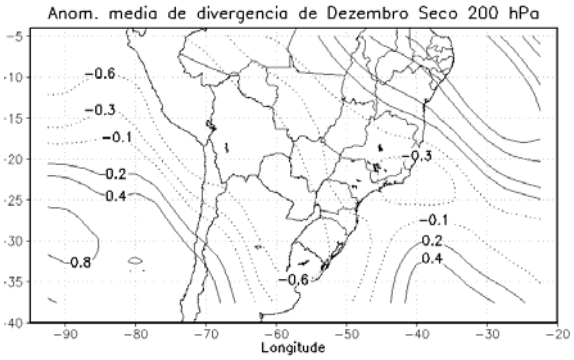


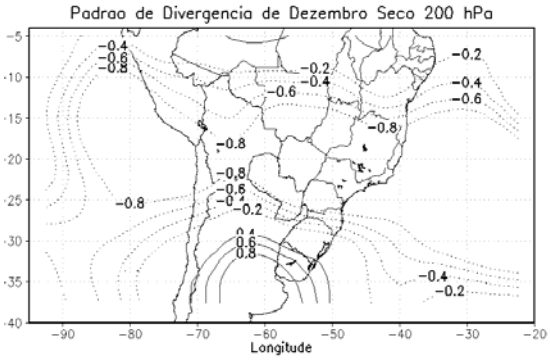
(17) **(18)**



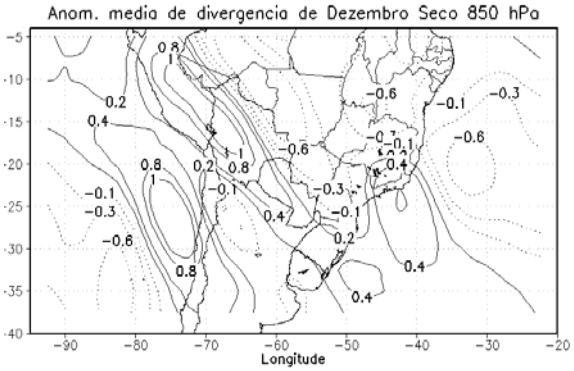


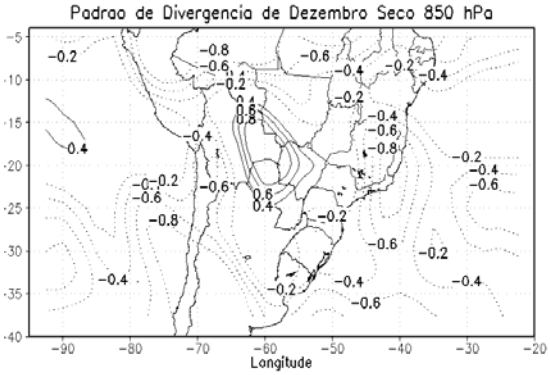
(19) **(20)**





(21) **(22)**

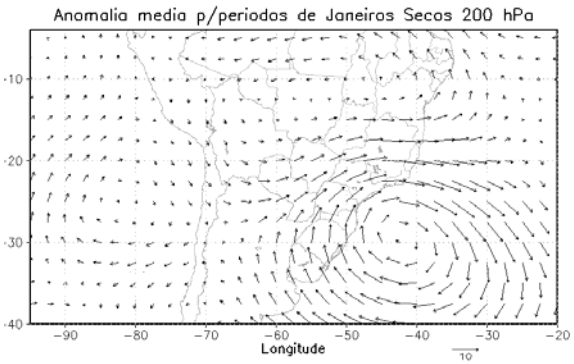


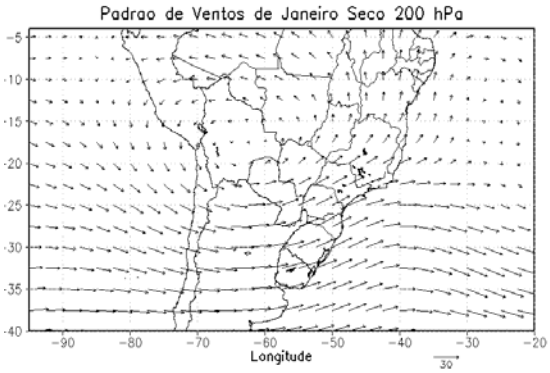


(23) **(24)**

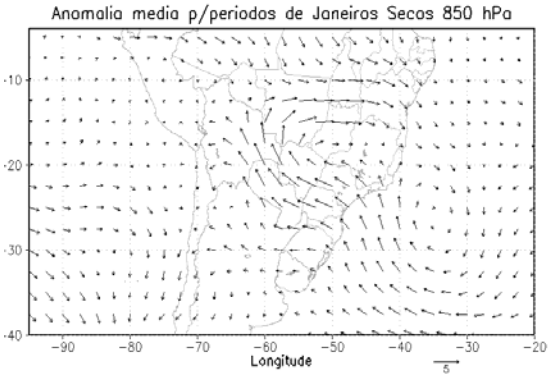
Figura 3.41 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de divergência (10^{-5} s^{-1})200 e 850 hPa nos meses de janeiro (1,2,3,4), fevereiro (5,6,7,8), março (9,10,11,12), outubro (13,14,15,16), novembro (17,18,19,20) e dezembro (21,22,23,24) em períodos secos, entre 1978 a 2005.

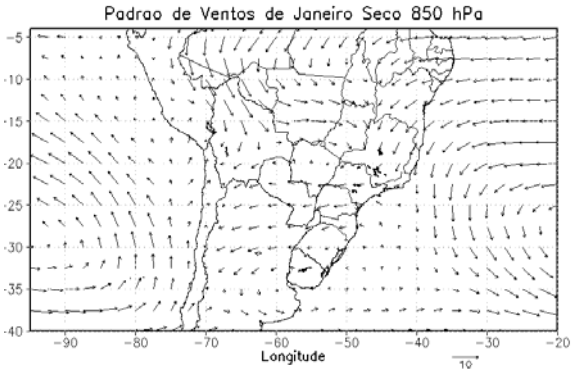
Escoamento médio do ar em 200 e 850 hPa



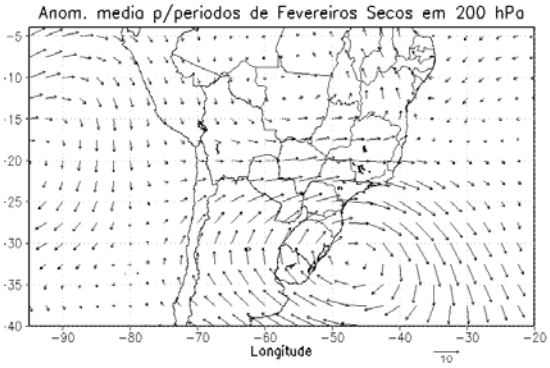


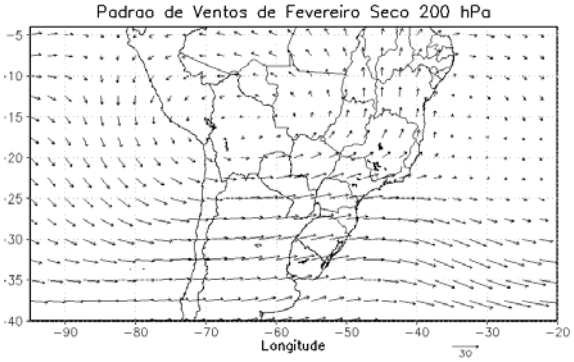
(1) **(2)**


Anomalia media p/periodos de Janeiros Secos 850 hPa
Longitude

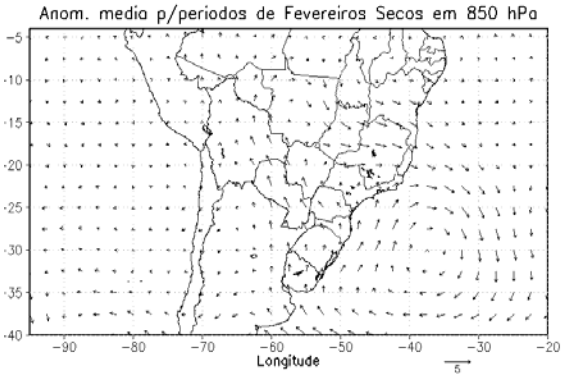

Padrao de Ventos de Janeiro Seco 850 hPa
Longitude

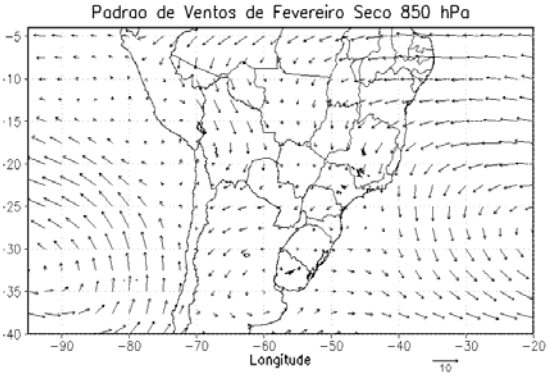
(3) **(4)**


Anom. media p/periodos de Fevereiros Secos em 200 hPa
Longitude

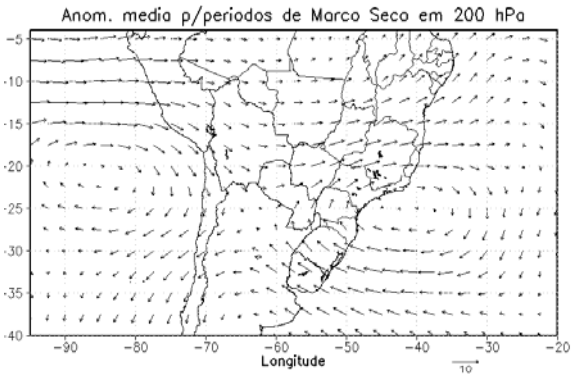

Padrao de Ventos de Fevereiro Seco 200 hPa
Longitude

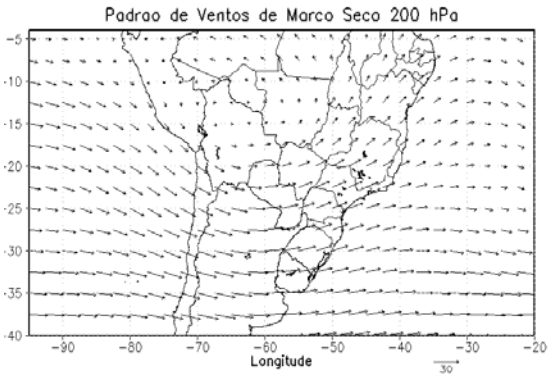
(5) **(6)**


Anom. media p/periodos de Fevereiros Secos em 850 hPa
Longitude

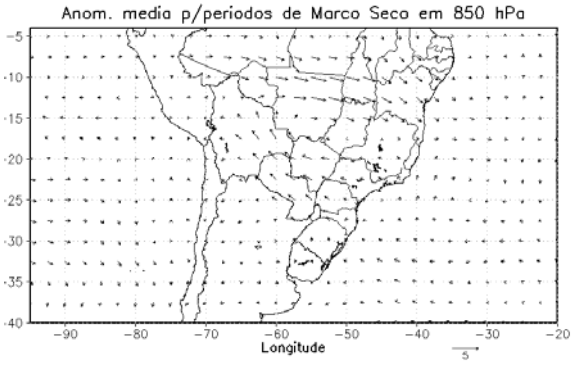

Padrao de Ventos de Fevereiro Seco 850 hPa
Longitude

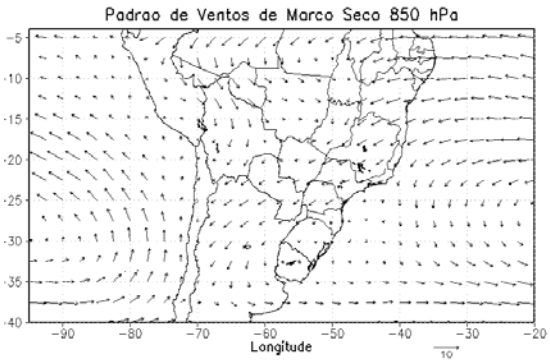
(6) **(8)**



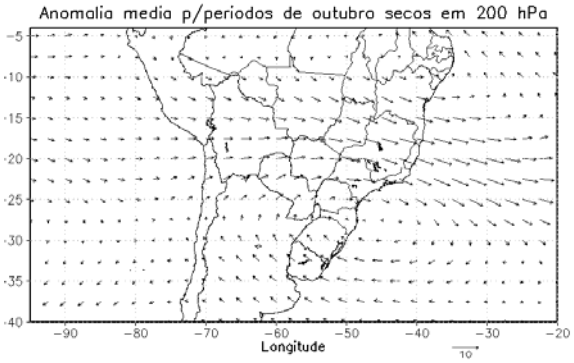


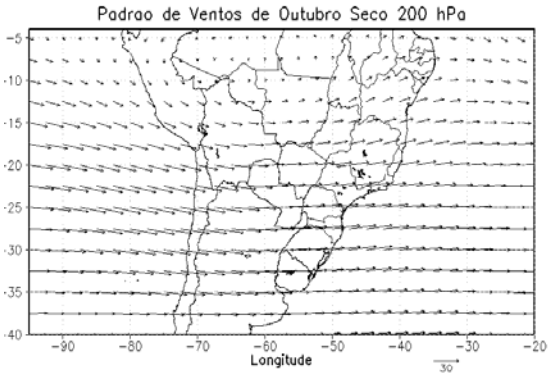
(9) **(10)**



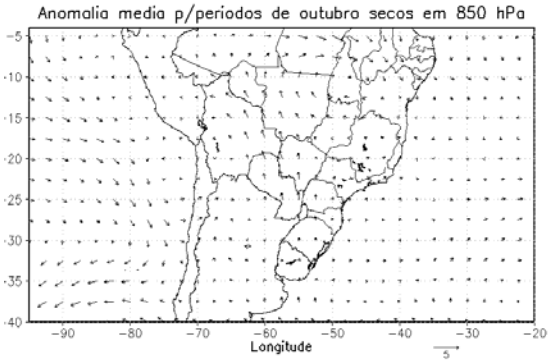


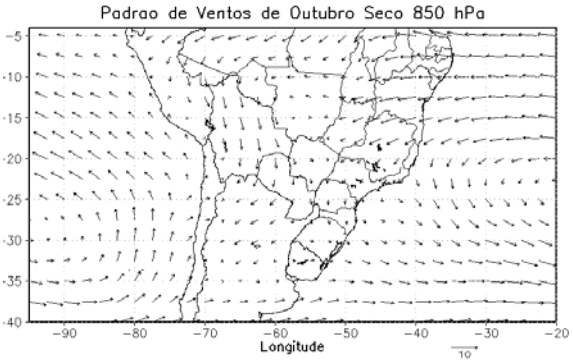
(11) **(12)**



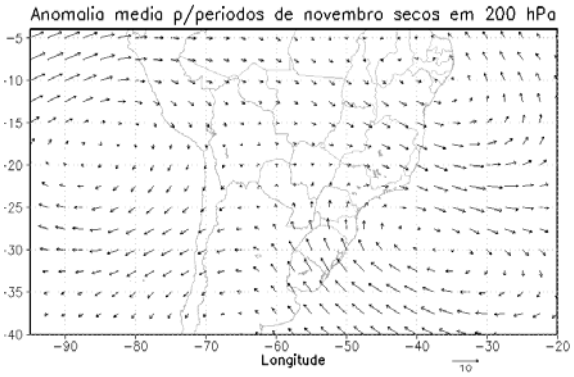


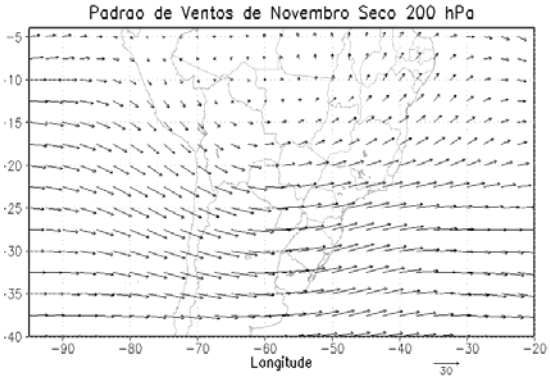
(13) **(14)**



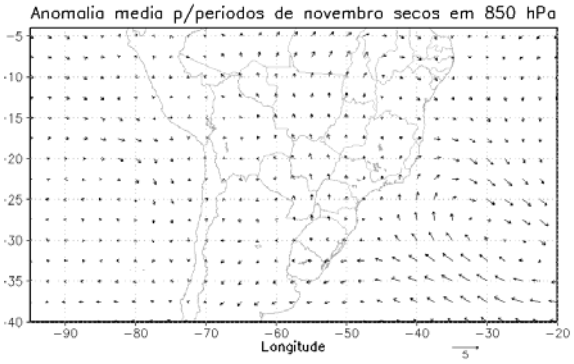


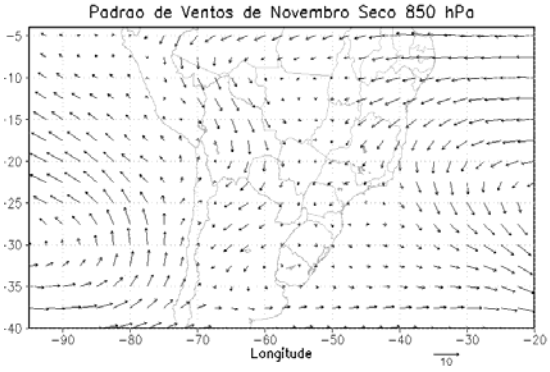
(15) **(16)**



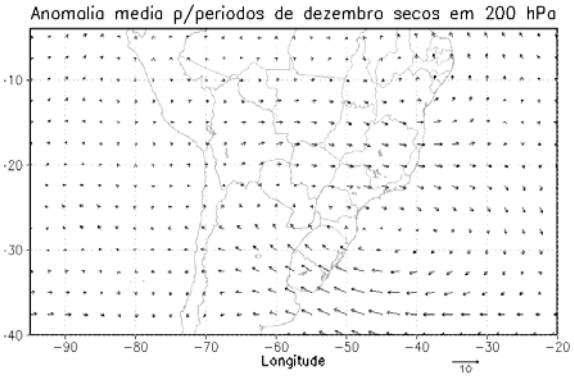


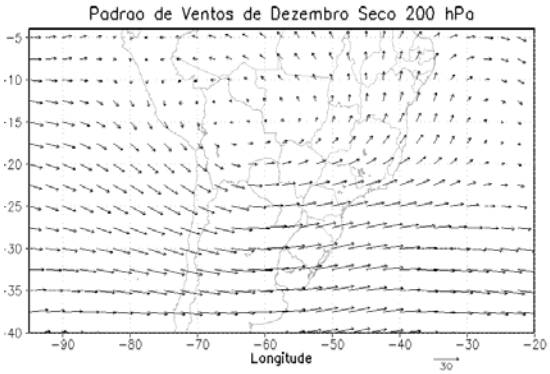
(17) **(18)**



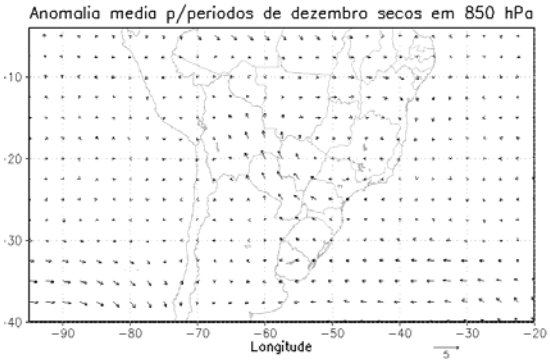


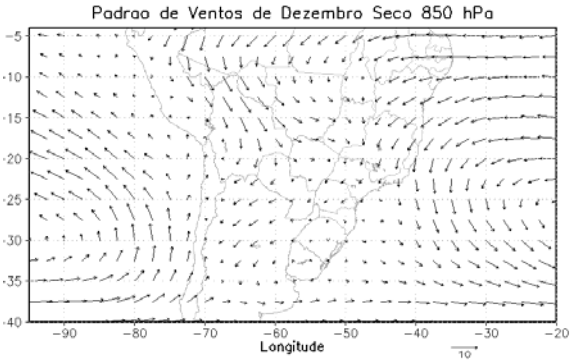
(19) **(20)**





(21) **(22)**

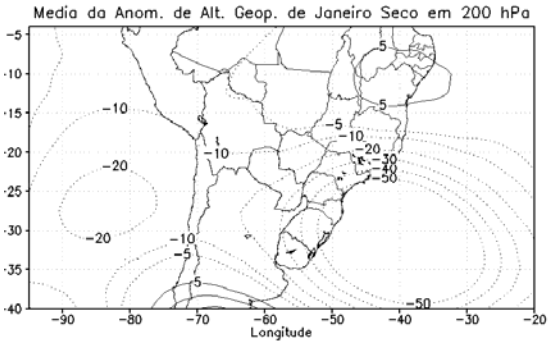


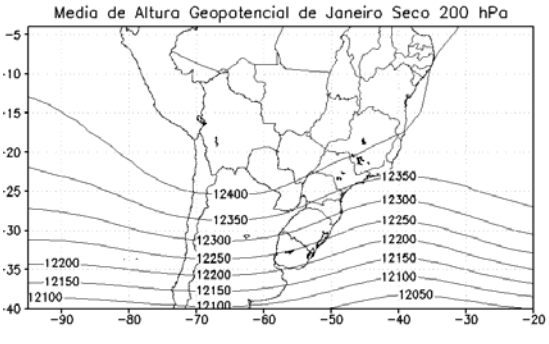


(23) **(24)**

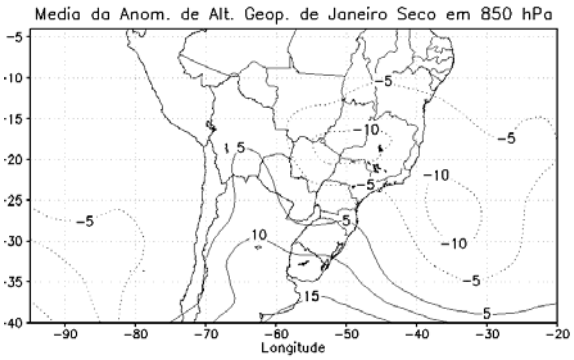
Figura 3.42 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico do vento (ms^{-1}) em 200 e 850 hPa nos meses de janeiro (1,2,3,4), fevereiro (5,6,7,8), março (9,10,11,12), outubro (13,14,15,16), novembro (17,18,19,20) e dezembro (21,22,23,24) em períodos secos, entre 1978 a 2005.

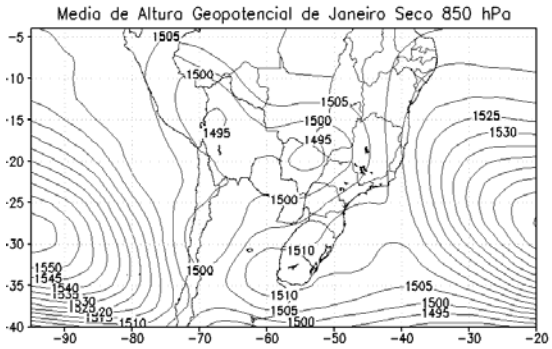
Altura geopotencial em 200 e 850 hPa



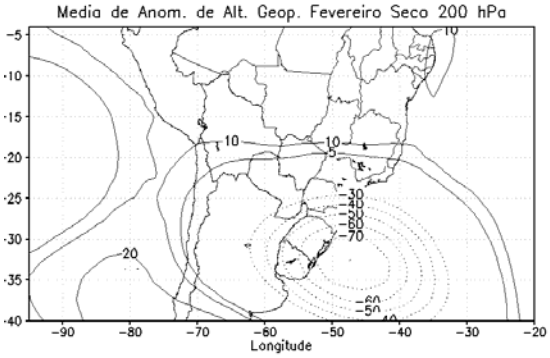


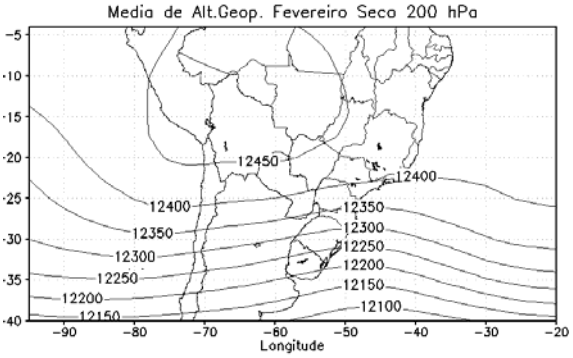
(1) **(2)**


Media da Anom. de Alt. Geop. de Janeiro Seco em 850 hPa
Longitude

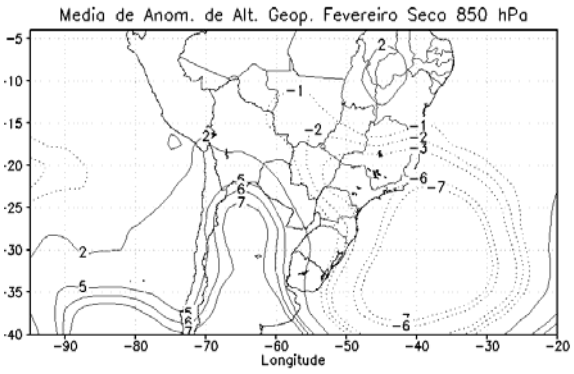

Media de Altura Geopotencial de Janeiro Seco 850 hPa

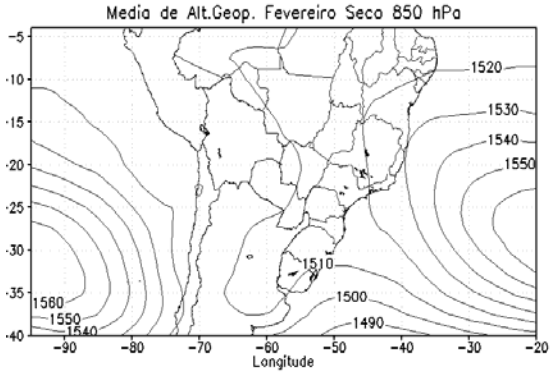
(3) **(4)**


Media de Anom. de Alt. Geop. Fevereiro Seco 200 hPa
Longitude

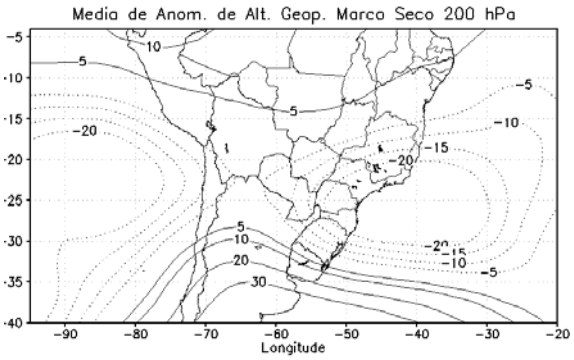

Media de Alt.Geop. Fevereiro Seco 200 hPa
Longitude

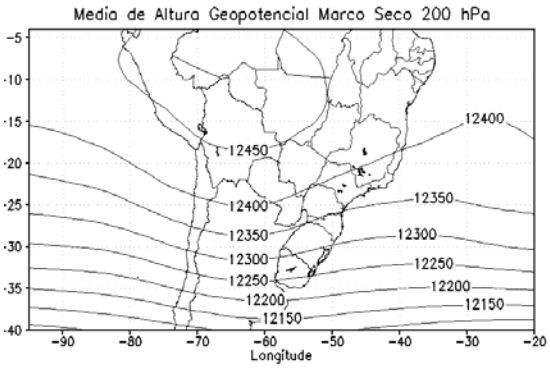
(5) **(6)**


Media de Anom. de Alt. Geop. Fevereiro Seco 850 hPa
Longitude

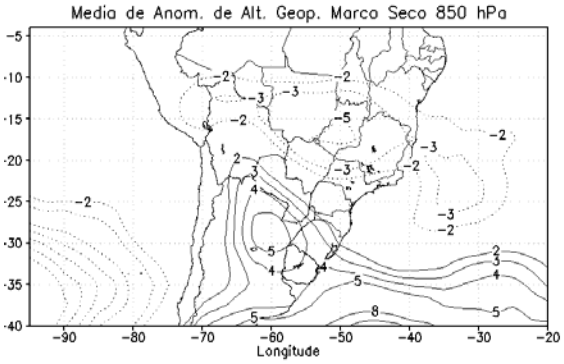

Media de Alt.Geop. Fevereiro Seco 850 hPa
Longitude

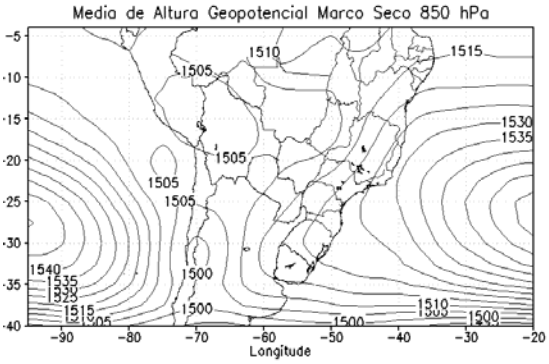
(7) **(8)**



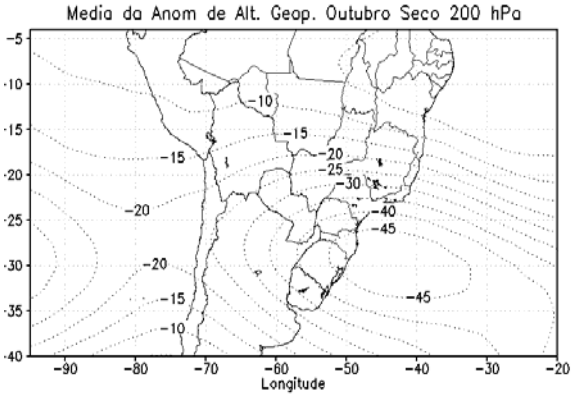


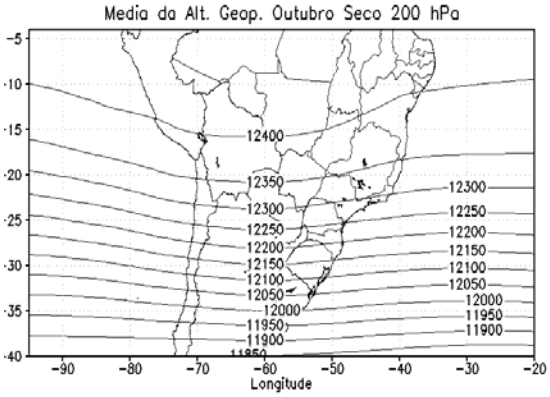
(9) **(10)**



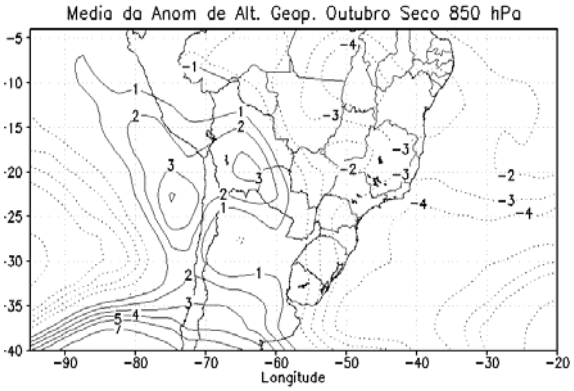


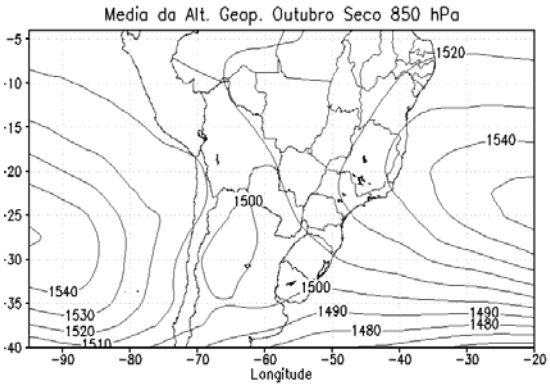
(11) **(12)**



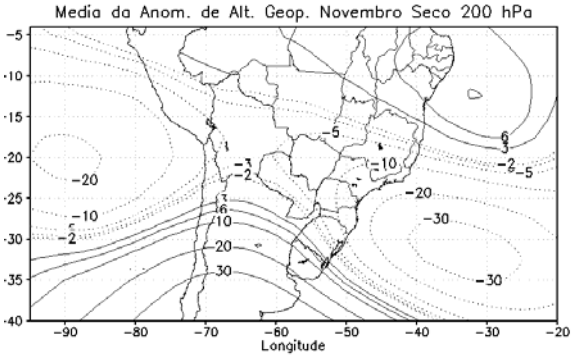


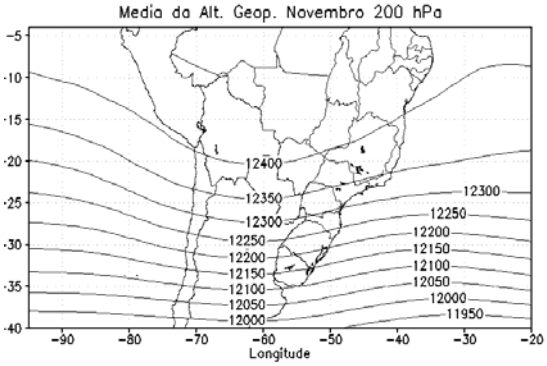
(13) **(14)**



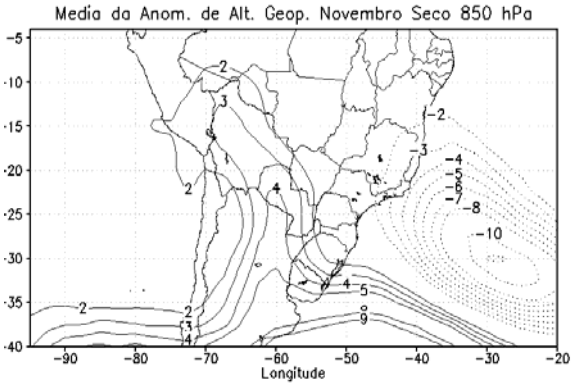


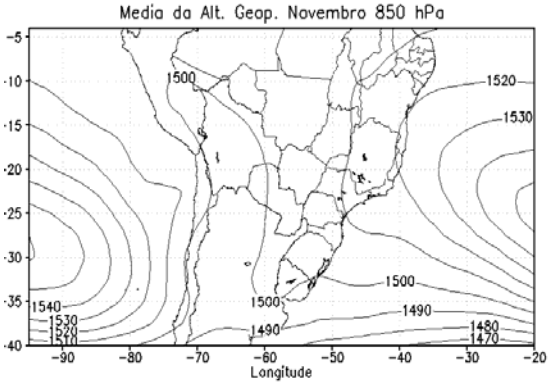
(15) **(16)**



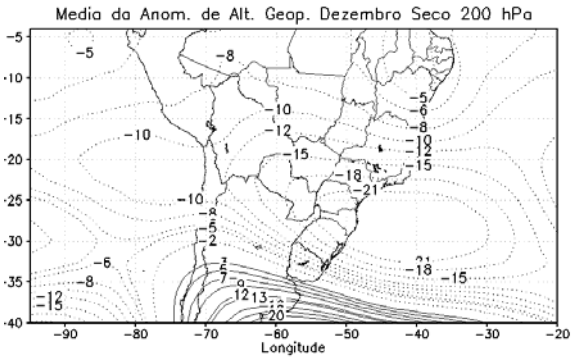


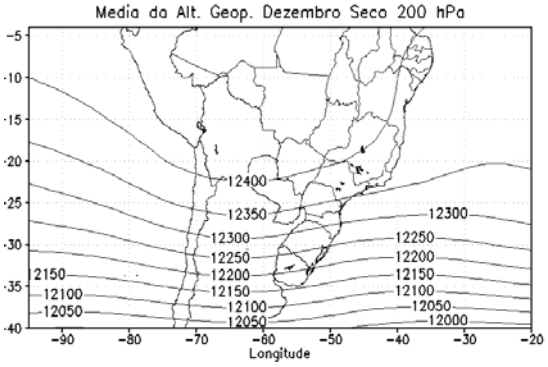
(17) **(18)**



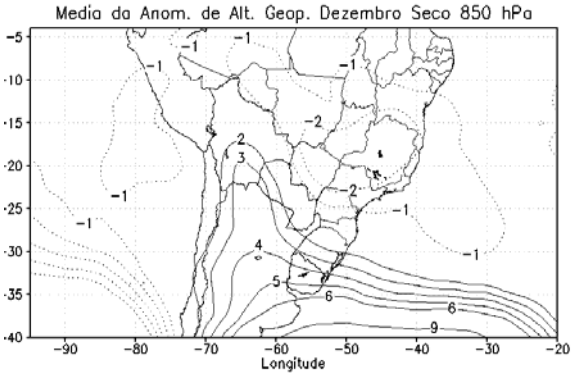


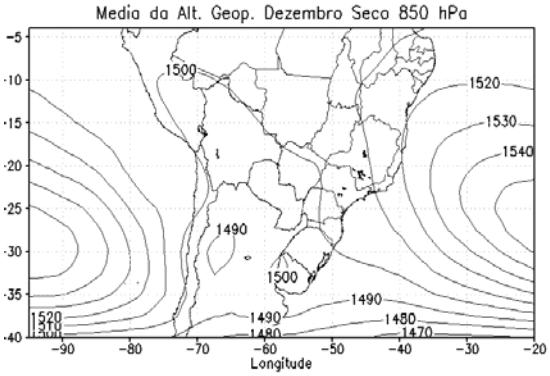
(19) **(20)**





(21) **(22)**

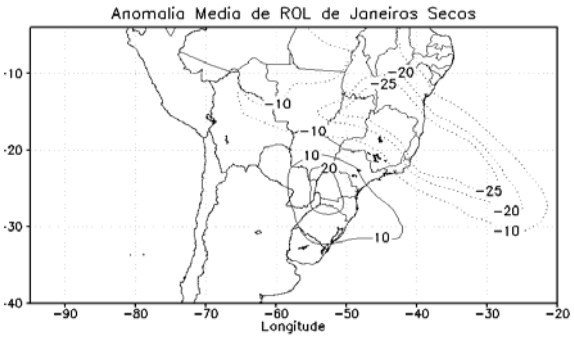


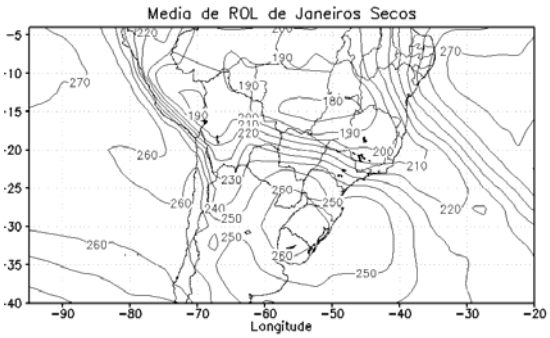


(23) **(24)**

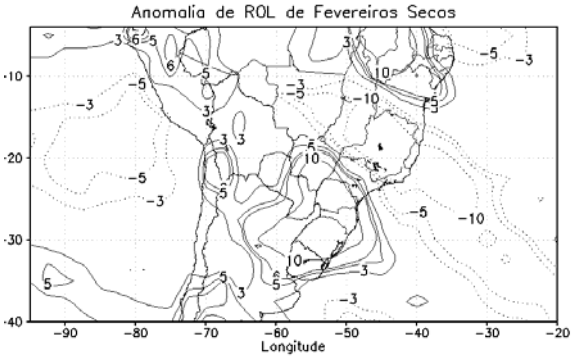
Figura3.43 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de altura geopotencial (mgp) em 200 e 850 hPa nos meses de janeiro (1,2,3,4), fevereiro (5,6,7,8), março (9,10,11,12), outubro (13,14,15,16), novembro (17,18,19,20) e dezembro (21,22,23,24) em períodos secos, entre 1978 a 2005.

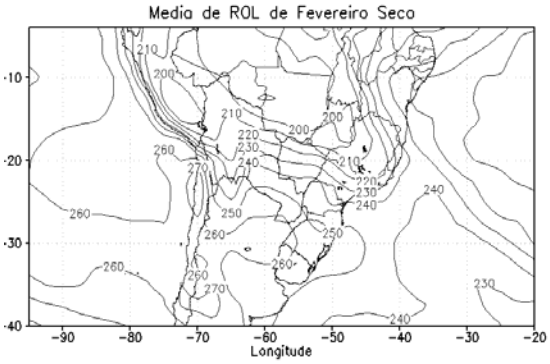
Radiação de onda longa emergente (ROL)



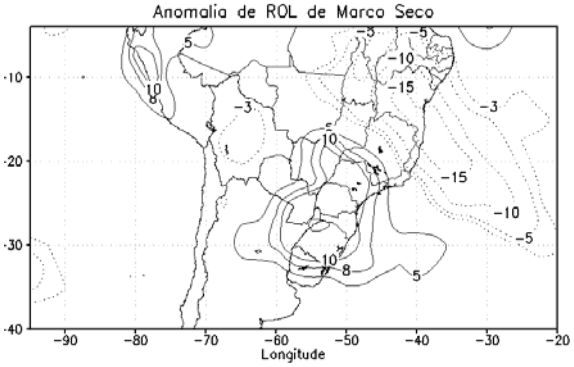


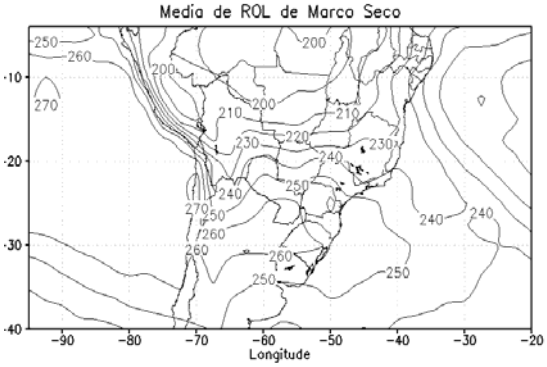
(1) **(2)**


Anomalia de ROL de Fevereiros Secos
Longitude

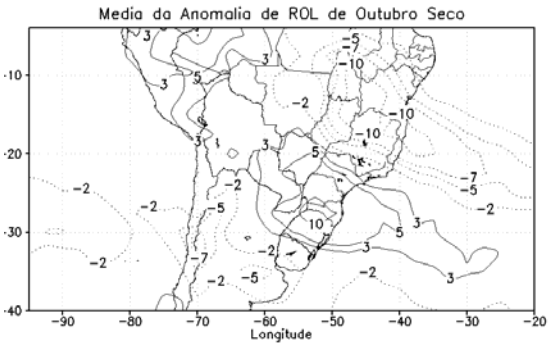

Media de ROL de Fevereiro Seco
Longitude

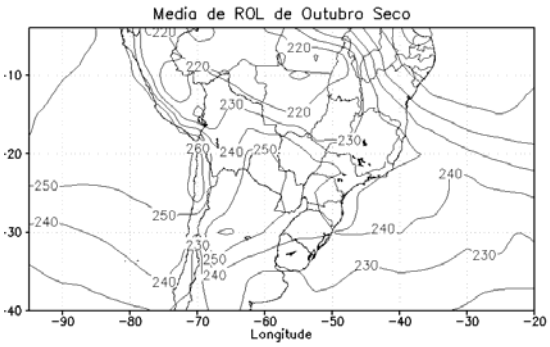
(3) **(4)**


Anomalia de ROL de Marco Seco
Longitude

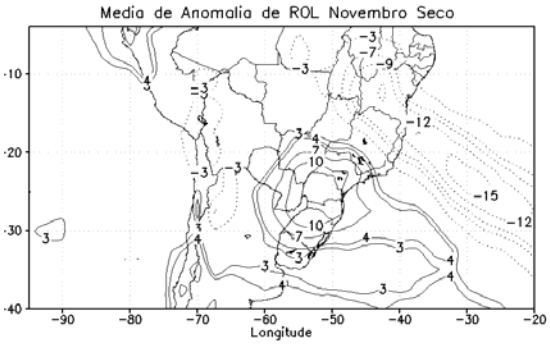

Media de ROL de Marco Seco
Longitude

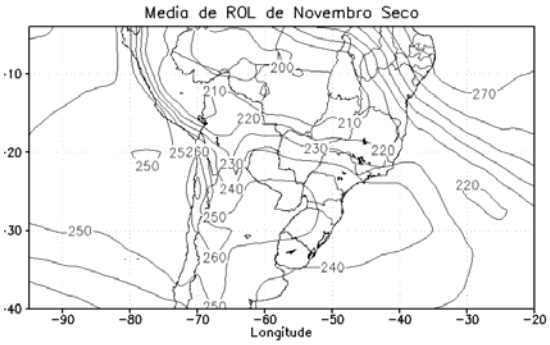
(5) **(6)**


Media da Anomalia de ROL de Outubro Seco
Longitude

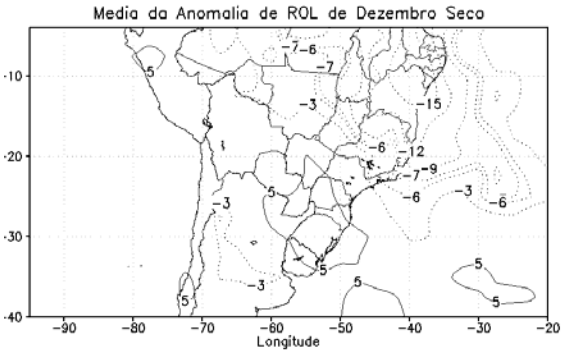

Media de ROL de Outubro Seco
Longitude

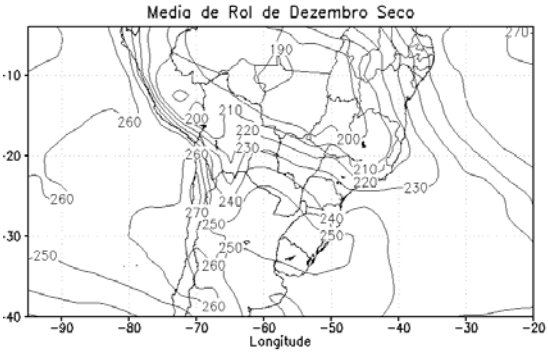
(7) **(8)**





(9) **(10)**

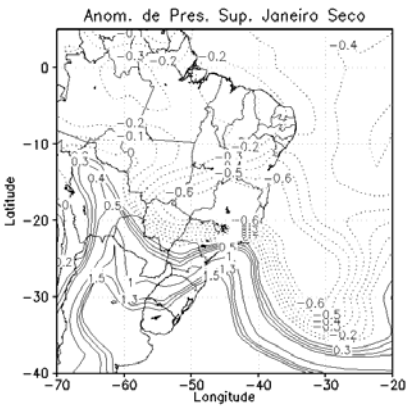


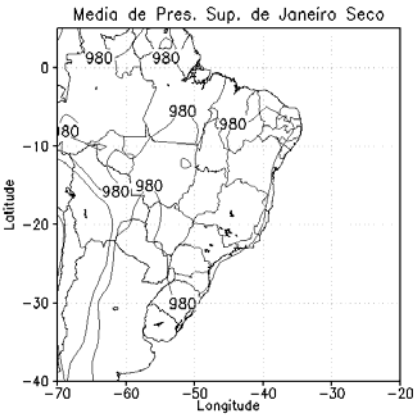


(11) **(12)**

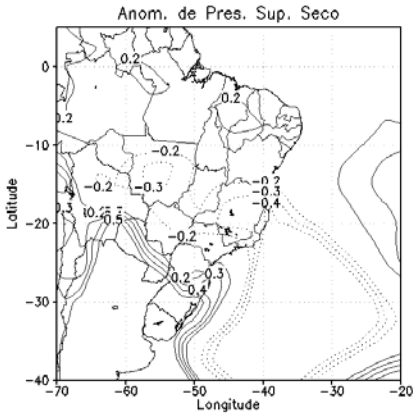
Figura 3.44 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de ROL (Wm^{-2}) nos meses de janeiro (1,2), fevereiro (3,4), março (5,6), outubro (7,8), novembro (9,10)e dezembro (11,12), em períodos secos, entre 1978 a 2005.

Pressão à Superfície





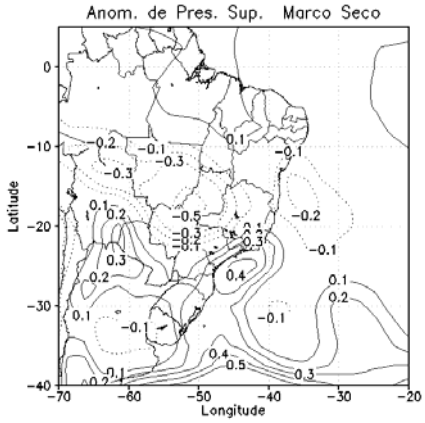
(1) **(2)**


Anom. de Pres. Sup. Seco
Latitude
Longitude

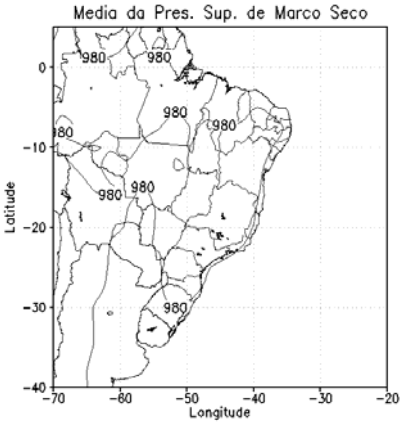
(3)

Media de Pres. Sup. Fevereiro Seco
Latitude
Longitude

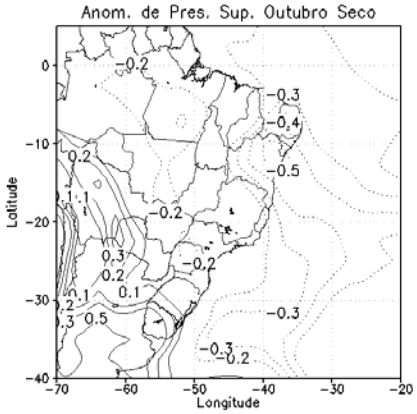
(4)


Anom. de Pres. Sup. Marco Seco
Latitude
Longitude

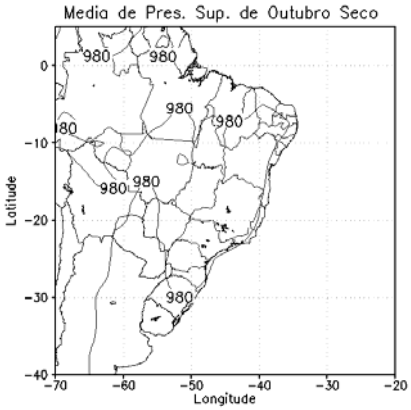
(5)


Media da Pres. Sup. de Marco Seco
Latitude
Longitude

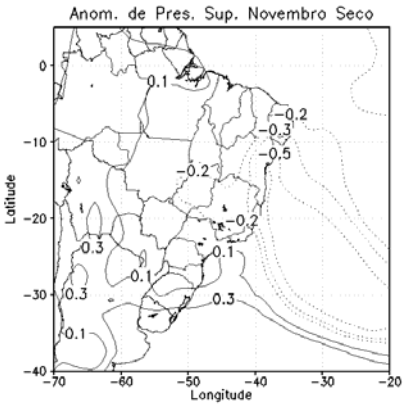
(6)

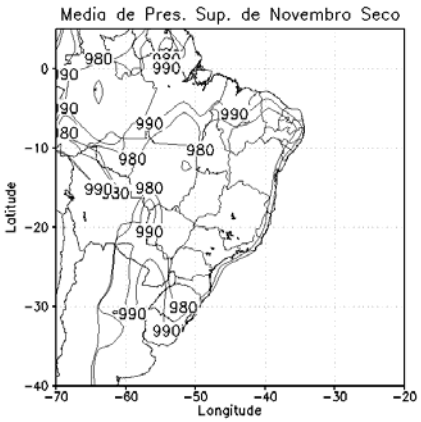

Anom. de Pres. Sup. Outubro Seco
Latitude
Longitude

(7)

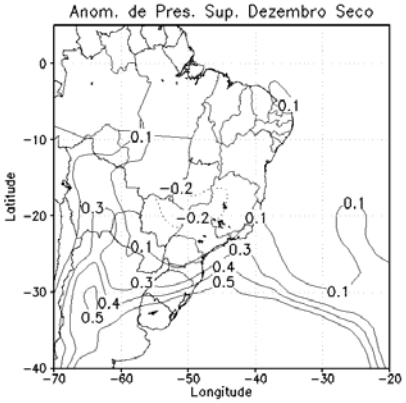

Media de Pres. Sup. de Outubro Seco
Latitude
Longitude

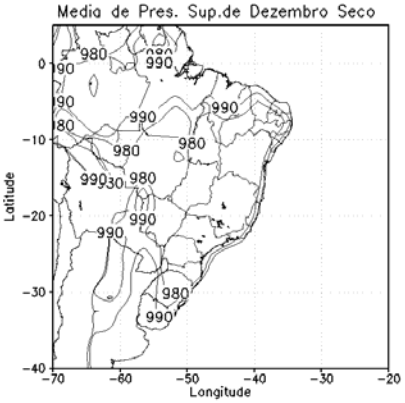
(8)





(9) **(10)**

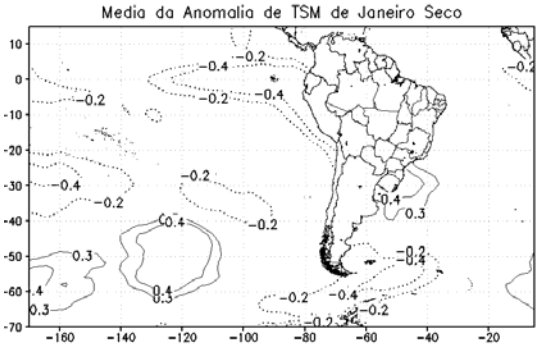


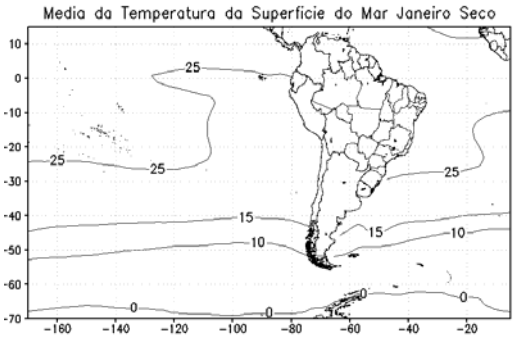


(11) **(12)**

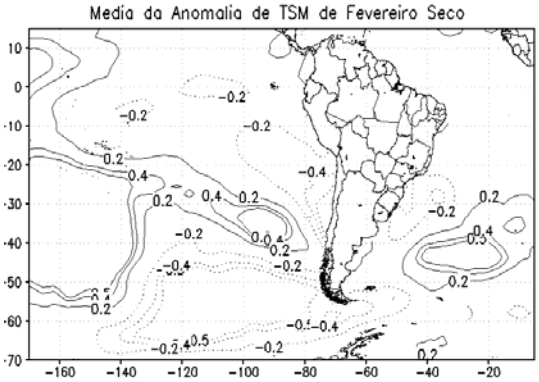
Figura 3.45 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de Pressão à Superfície. (hPa) nos meses de janeiro (1,2), fevereiro (3,4), março (5,6), outubro (7,8), novembro (9,10) e dezembro (11,12), em períodos secos, entre 1978 e 2005

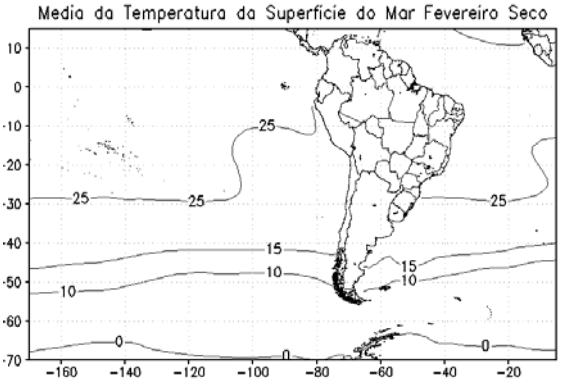
Temperatura da superfície do mar (TSM)



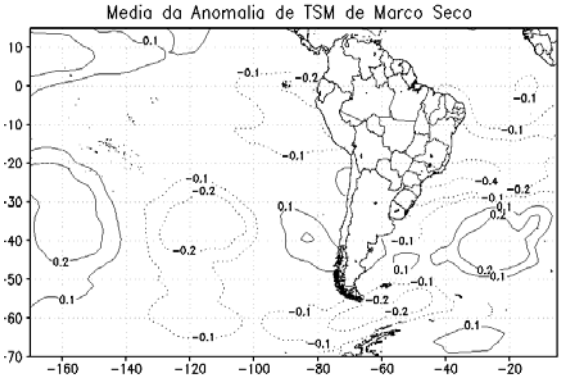


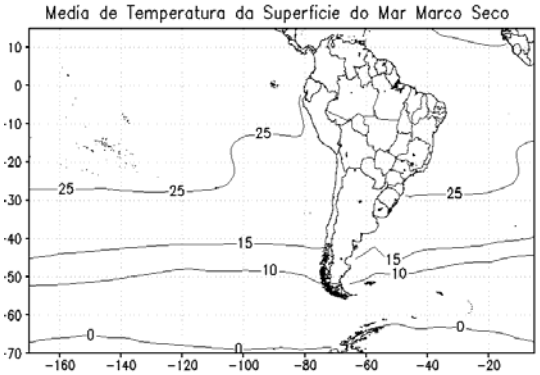
(1) **(2)**


Media da Anomalia de TSM de Fevereiro Seco

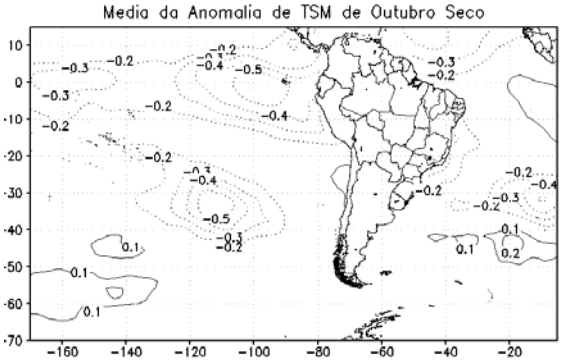

Media da Temperatura da Superficie do Mar Fevereiro Seco

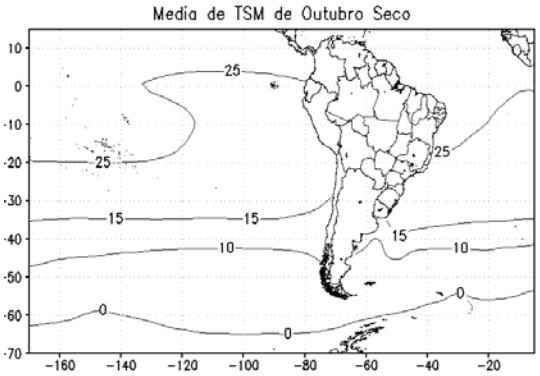
(3) **(4)**


Media da Anomalia de TSM de Marco Seco

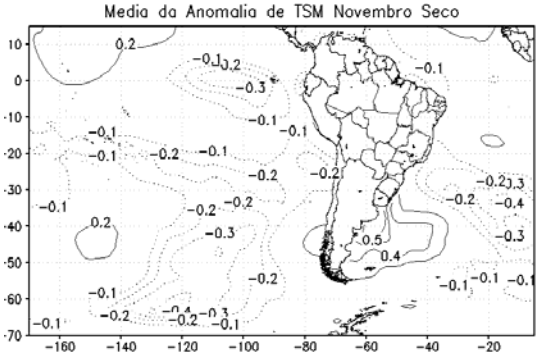

Media de Temperatura da Superficie do Mar Marco Seco

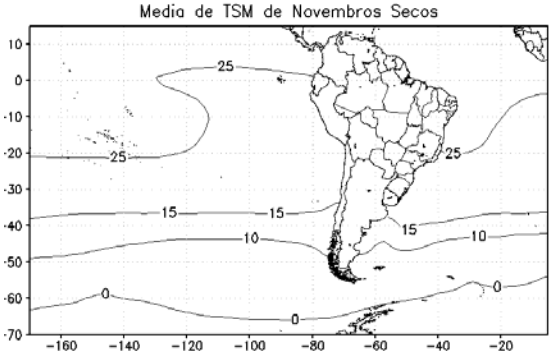
(5) **(6)**


Media da Anomalia de TSM de Outubro Seco

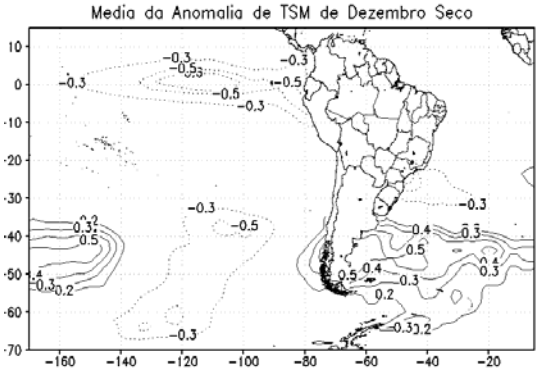

Media de TSM de Outubro Seco

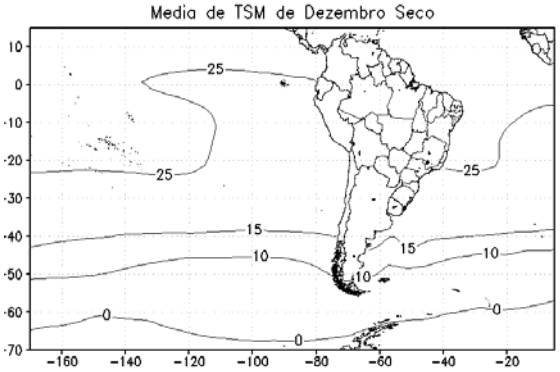
(7) **(8)**





(9) **(10)**





(11) **(12)**

Figura 3.46 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de TSM (ºC) nos meses de janeiro (1,2), fevereiro (3,4), março (5,6), outubro (7,8), novembro (9,10) e dezembro (11,12), em períodos secos, entre 1978 a 2005.

Tabela 3.11 Sinal da anomalia média mensal de divergência do ar e altura geopotencial em 200 e 850 hPa (**DIV_{200}, DIV_{850}, ϕ_{200}** e **ϕ_{850}**), ROL, PS, TSM no Pacífico Equatorial (TSMP) e TSM no Atlântico Sudoeste na costa da Região Sul do Brasil (TSMA). A cor cinza indica anomalia negativa e a branca, anomalia positiva, em períodos secos.

SECO	**DIV_{200}**	**DIV_{850}**	**$GEOP_{200}$**	**$GEOP_{850}$**	**ROL**	**PS**	**TSMP**	**TSMA**
JANEIRO								
FEVEREIRO								
MARÇO								
OUTUBRO								
NOVEMBRO								
DEZEMBRO								

3.6.2 - EVENTOS ÚMIDOS

Nesta seção são avaliados os padrões atmosféricos mensais associados à ocorrência de eventos úmidos no Rio Grande do Sul. Estes eventos estão indicados na Figura 3.40 e Tabela 3.10, para os meses dos primeiro e quarto trimestre do ano (outubro a março).

Em todos os meses avaliados com anomalias positivas de precipitação pluviométrica na Região Noroeste do RS, foi observada convergência do ar em baixos níveis (850 hPa) sobre o sul do Brasil (Figura 3.47 (Quadros 7,11,15,19 e 23). Em todos os meses avaliados, esta convergência foi mais intensa do que a média climatológica, como confirmam os valores de suas anomalias, sempre negativos neste nível atmosférico, exceto no mês de janeiro, quando foi observada uma anomalia divergente (Figura 3.47 (Quadro 3)).

Em contraste ao observado nos períodos secos, o escoamento do ar em altos níveis nos períodos úmidos apresenta uma circulação anômala anticiclônica recorrente sobre a Região Sul do Brasil e Oceano Atlântico adjacente (com centro aproximadamente em 47ºW e 27ºS) (Figura 3.48 (Quadros 1, 5, 9, 13, 17 e 21)). Este padrão é particularmente intenso durante os períodos úmidos selecionados no mês de outubro (Figura 3.48 (Quadro 13)). Conclui-se, dessa forma, que ao norte do centro anticiclônico anômalo os ventos de oeste estariam mais fracos do que a climatologia e ao sul, mais intensos, provendo uma anomalia da circulação do ar contrária à observada nos casos de períodos secos. Um outro aspecto importante de ser pontuado é a intensificação do jato de baixos níveis nestes períodos mais úmidos sobre o Sul do Brasil, levando ar mais úmido e quente para esta região (Figura 3.48 (Quadros 3, 11, 15, 19 e 23)). No caso dos períodos secos, observou-se, em geral, o enfraquecimento do JBN.

Em geral, anomalias positivas de altura geopotencial estão associadas à intensificação de uma crista e anomalias negativas à intensificação de um cavado. Nos casos úmidos avaliados, todos os meses apresentaram anomalias positivas em altos níveis (Figura 3.49 (Quadros 1, 5, 13, 17 e 21)), exceto no mês de março, quando se observou anomalias negativas de altura geopotencial (Figura 3.49 (Quadro 9)). A

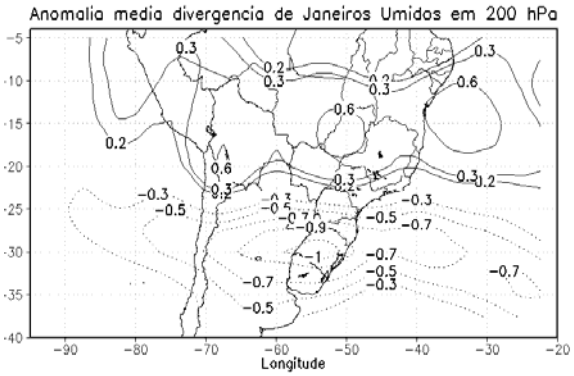
configuração observada na maior parte dos casos contribui para a intensificação de movimentos divergentes em níveis altos e, portanto, movimentos convergentes em baixos níveis. Na maior parte dos meses, exceto em março e outubro (Figuras 3.49 (Quadros 11 e 15), a anomalia de altura geopotencial em 850 hPa não esteve diretamente associada à intensificação de cavado.

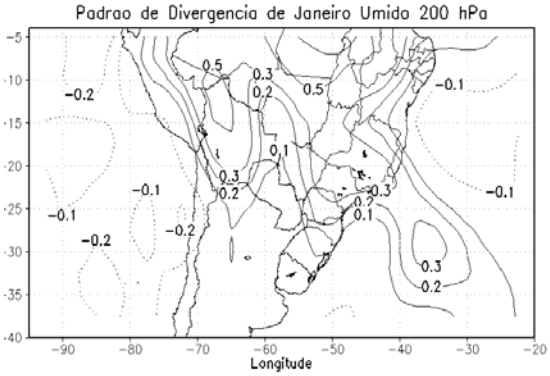
Anomalias negativas de ROL indicam maior presença de nebulosidade e anomalias positivas de ROL, menor presença de nebulosidade durante um período específico (3.50 (Quadros 1, 3, 5, 7 e 9)). Em todos os meses avaliados foi observado um padrão de anomalias negativas de ROL no centro-sul do Brasil, durante os períodos úmidos considerados (3.50 (Quadros 1, 3, 5, 7 e 9)). Por outro lado, as regiões Sudeste e Nordeste estiveram associadas a anomalias positivas, indicando menos nebulosidade do que a média climatológica. Comparando-se estes resultados com o padrão de ROL obtido para períodos secos, verifica-se que boa parte do Brasil, principalmente o setor leste, é influenciada por este padrão de dipolo, que divide o setor leste em duas grandes áreas, mais ao norte e mais ao sul, com anomalias positivas e negativas. Durante os períodos úmidos selecionados, os meses de outubro, novembro e dezembro são mais secos do que a média climatológica em quase toda a Região Nordeste, situação influenciada também pelo aquecimento anômalo do Pacífico Equatorial e resfriamento do Atlântico Tropical próximo à costa do NE brasileiro. É sabido que anomalias negativas (positivas) de TSM no Atlântico Tropical influenciam negativamente (positivamente) a ocorrência de chuvas no Nordeste brasileiro (Ferreira, 1996 e Mendes *et. al*. 2004)

As anomalias positivas de TSM sobre o Pacífico Equatorial estiveram intensas nos seis meses analisados, ao passo que as anomalias negativas observadas sobre o Atlântico Sul (Subtropical) em janeiro, fevereiro, março e novembro, não influíram de forma consistente para que houvesse um decréscimo no volume de chuva sobre o Sul do Brasil nesses períodos de anomalias positivas de precipitação.

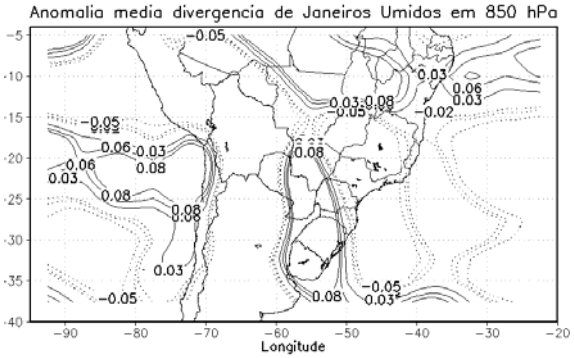
As anomalias de pressão à superfície (Figura 3.51 (Quadros 1, 3, 5, 7, 9 e 11)) estiveram negativas somente nos meses de março, outubro e novembro (Fig. 3.51(Quadros 5, 7 e 9)), contribuindo para o decréscimo do valor médio da pressão superficial e para a formação de nebulosidade e possibilidade ocorrência de chuva.

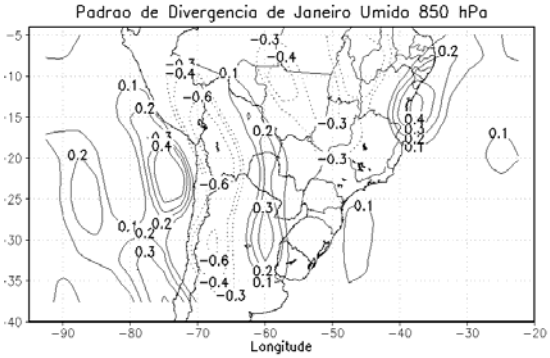
Divergência do ar em 200 e 850 hPa



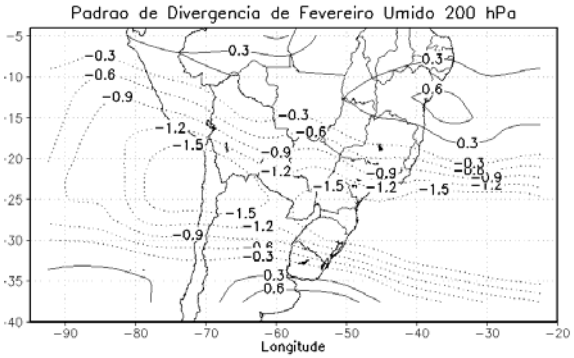


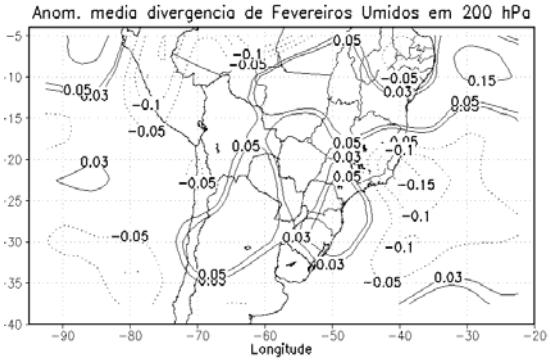
(1) **(2)**



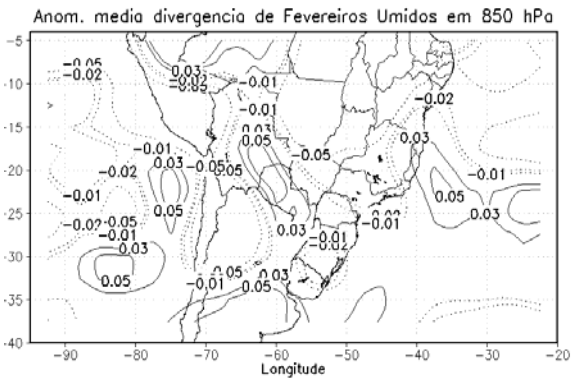


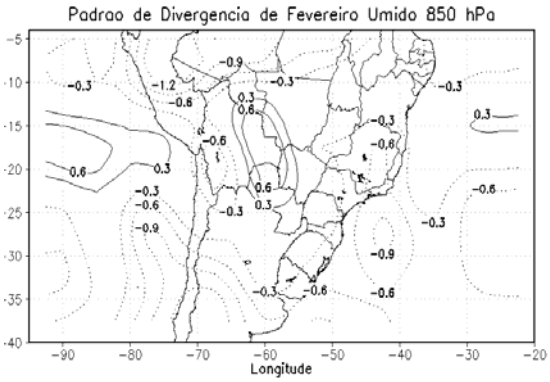
(3) **(4)**



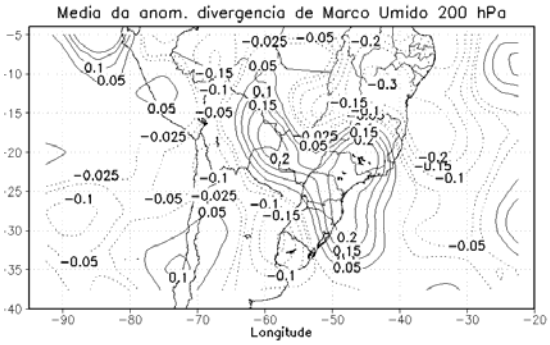


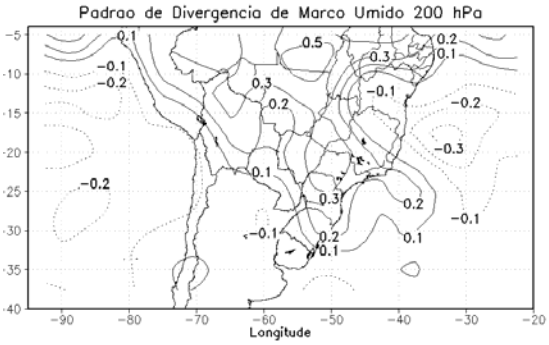
(5) **(6)**


Anom. media divergencia de Fevereiros Umidos em 850 hPa
Longitude

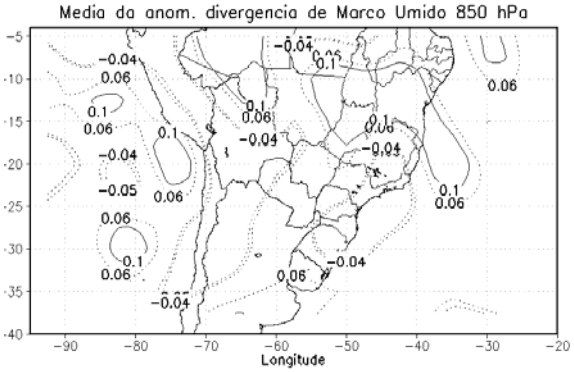

Padrao de Divergencia de Fevereiro Umido 850 hPa
Longitude

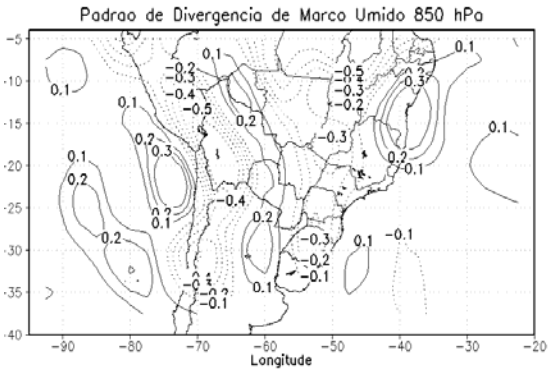
(7) **(8)**


Media da anom. divergencia de Marco Umido 200 hPa
Longitude

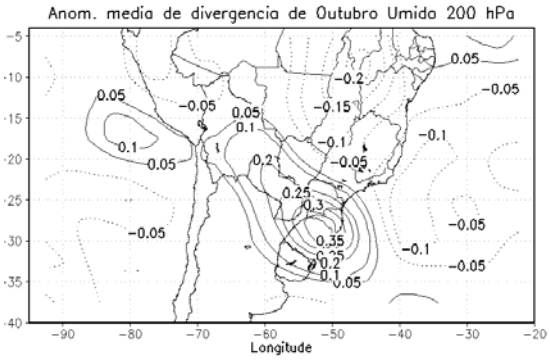

Padrao de Divergencia de Marco Umido 200 hPa
Longitude

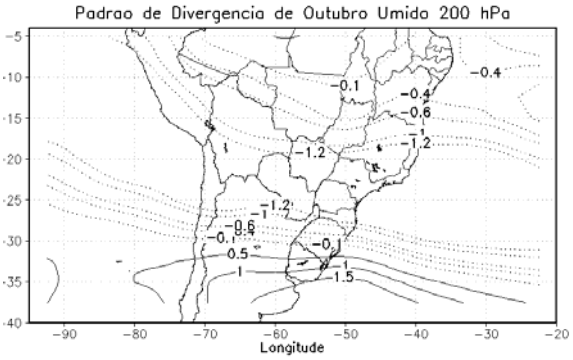
(9) **(10)**


Media da anom. divergencia de Marco Umido 850 hPa
Longitude

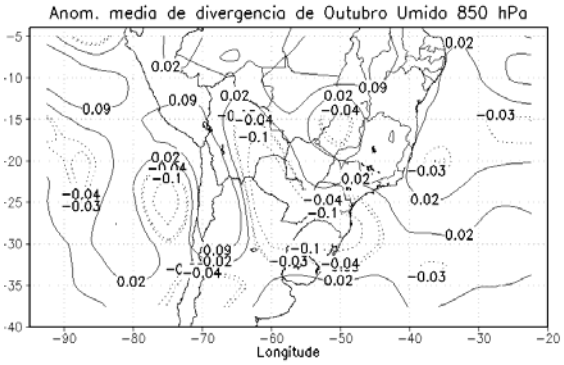

Padrao de Divergencia de Marco Umido 850 hPa
Longitude

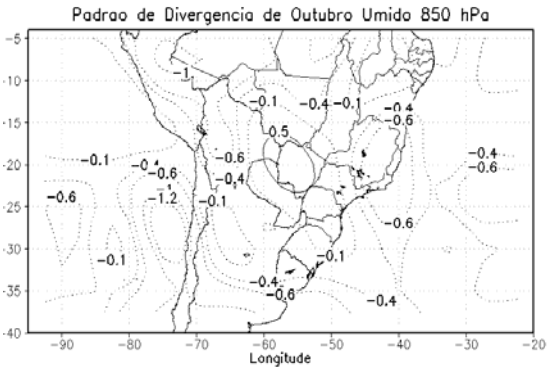
(11) **(12)**



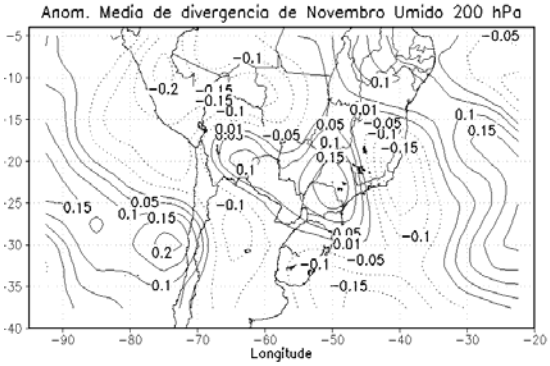


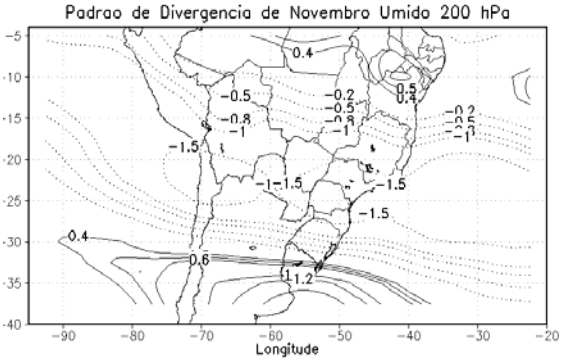
(13) **(14)**



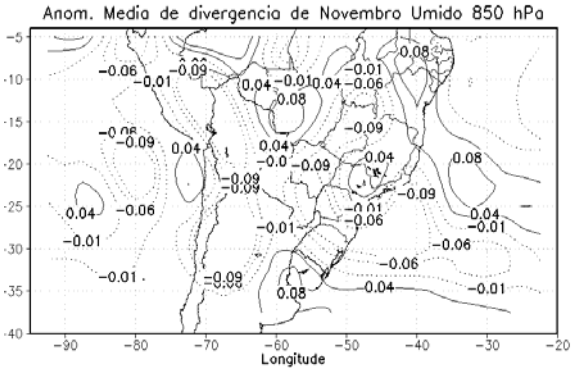


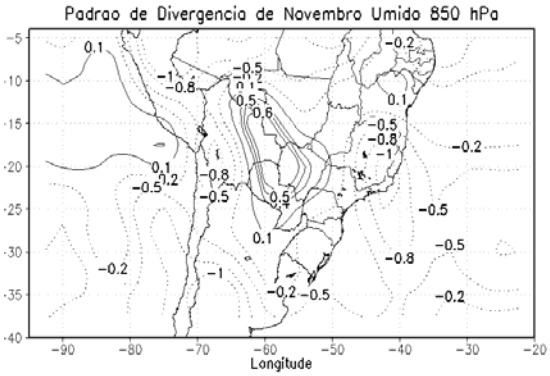
(15) **(16)**



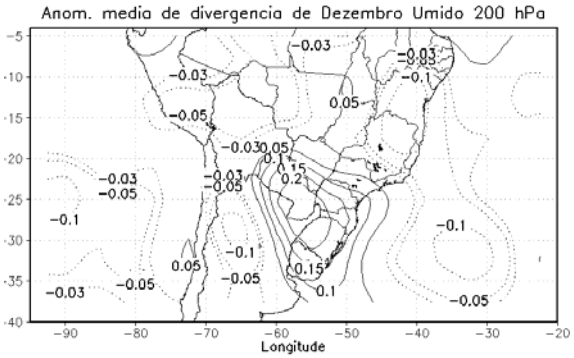


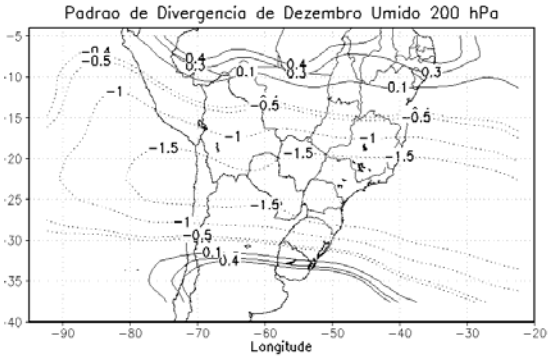
(17) **(18)**



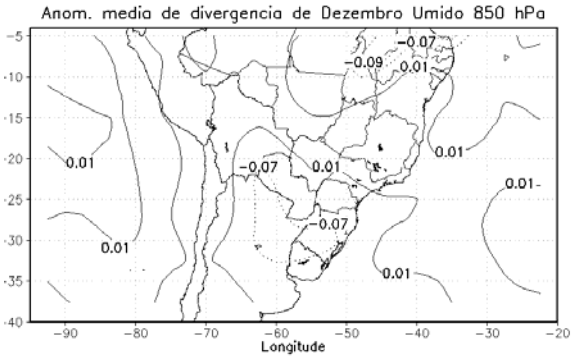


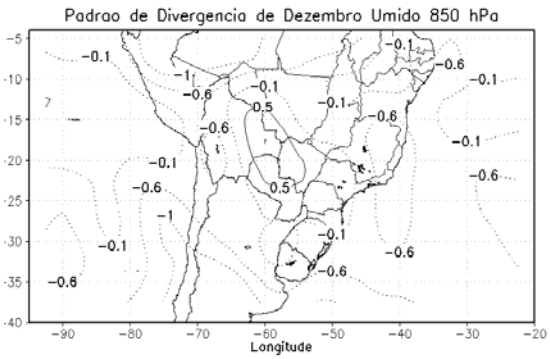
(19) **(20)**





(21) **(22)**

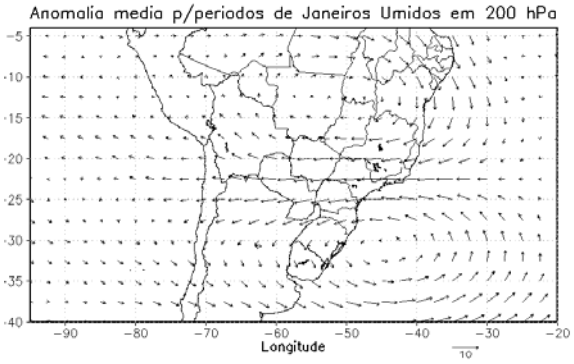


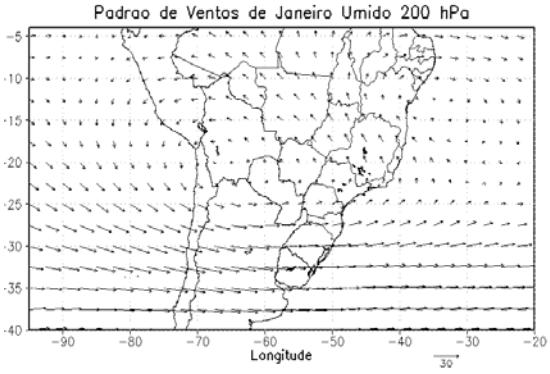


(23) **(24)**

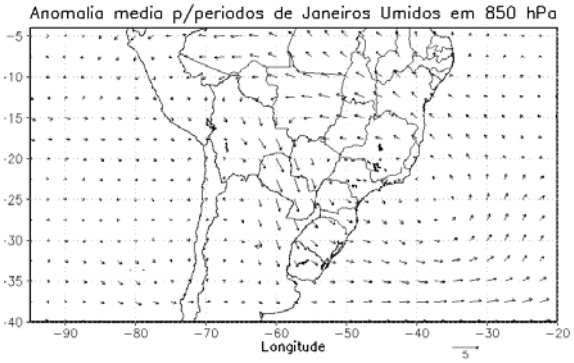
Figura 3.47 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de divergência ((10^{-5} s^{-1})) em 200 e 850 hPa nos meses de janeiro (1,2,3,4), fevereiro (5,6,7,8), março (9,10,11,12), outubro(13,14,15,16), novembro(17,18,19,20) e dezembro (21,22,23,24) em períodos úmidos, entre 1978 a 2005

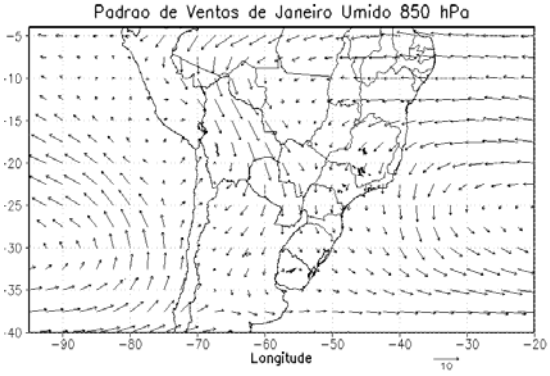
Escoamento médio do ar em 200 e 850 hPa



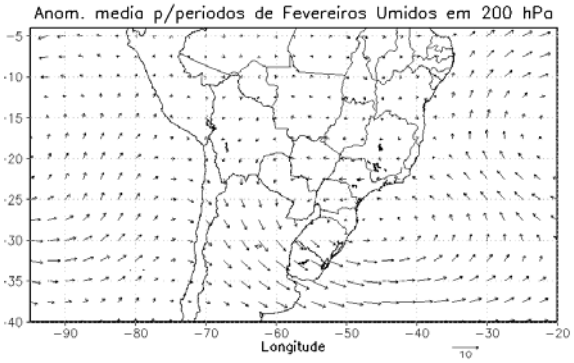


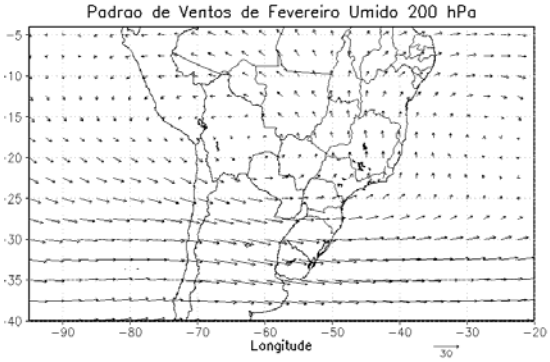
(1) (2)



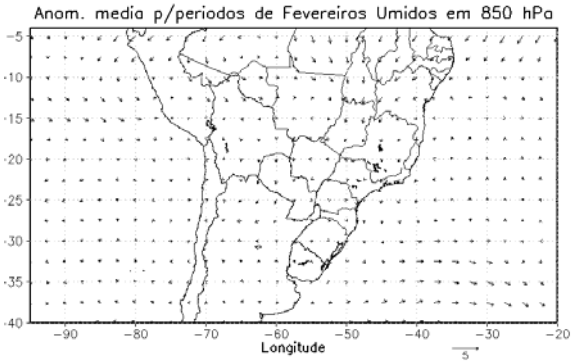


(3) (4)

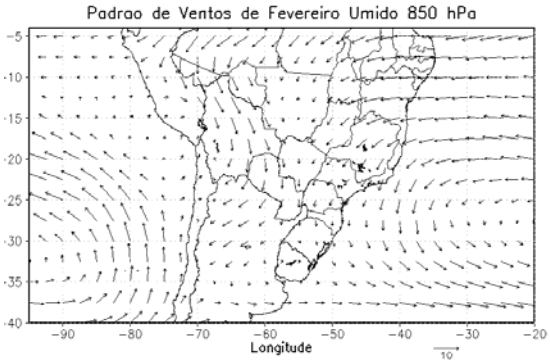




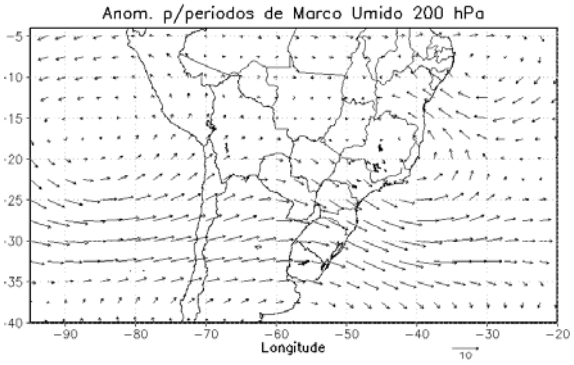
(5) (6)


Anom. media p/periodos de Fevereiros Umidos em 850 hPa
Longitude

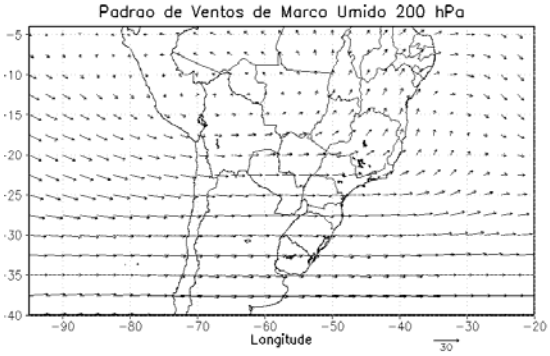
(7)


Padrao de Ventos de Fevereiro Umido 850 hPa
Longitude

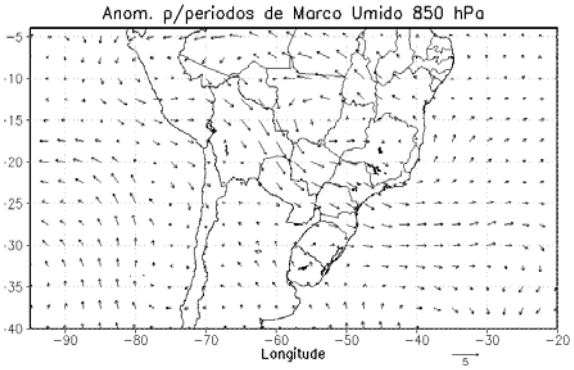
(8)


Anom. p/periodos de Marco Umido 200 hPa
Longitude

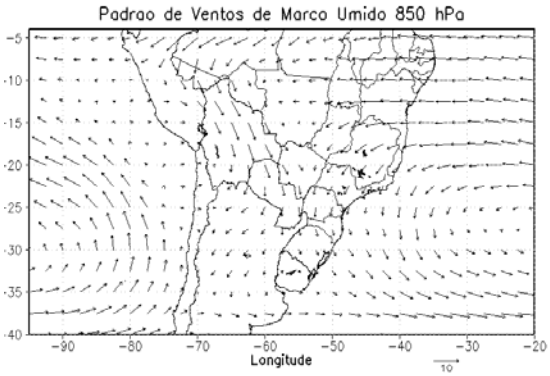
(9)


Padrao de Ventos de Marco Umido 200 hPa
Longitude

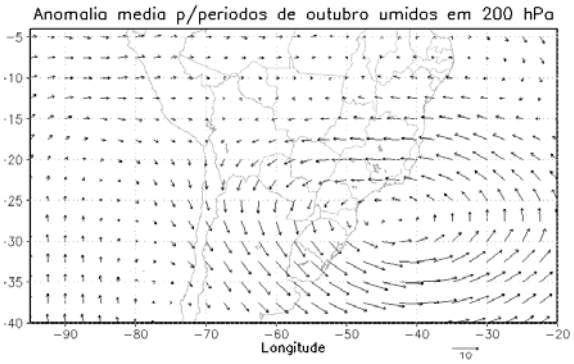
(10)


Anom. p/periodos de Marco Umido 850 hPa
Longitude

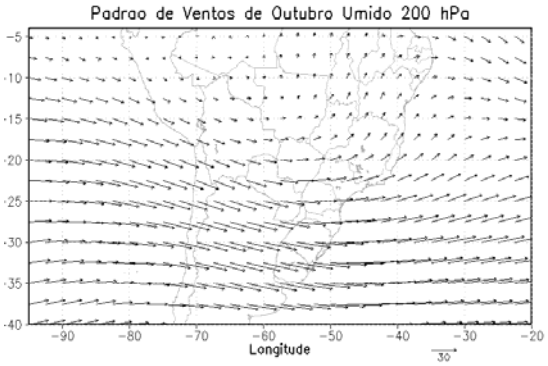
(11)


Padrao de Ventos de Marco Umido 850 hPa
Longitude

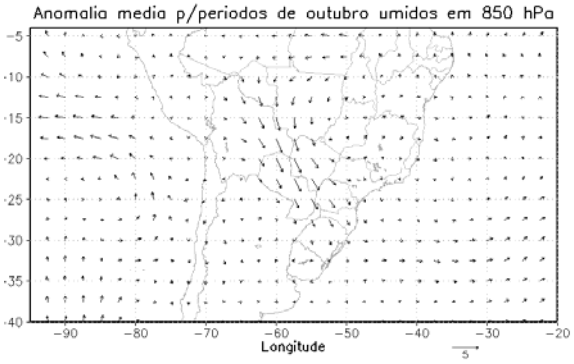
(12)



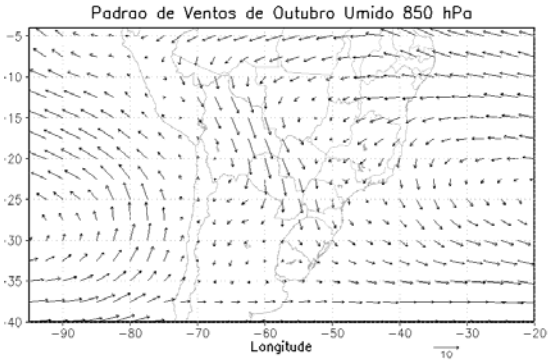
(13)



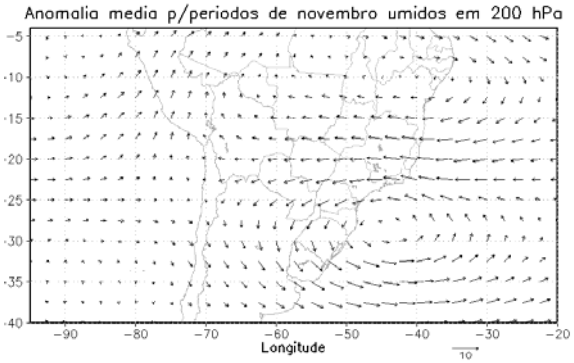
(14)



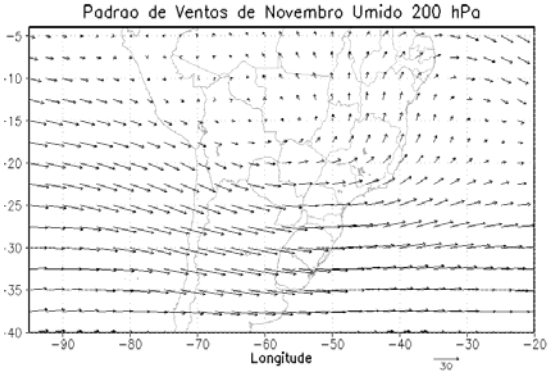
(15)



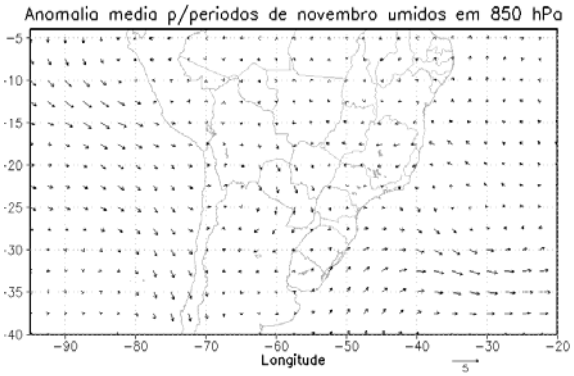
(16)

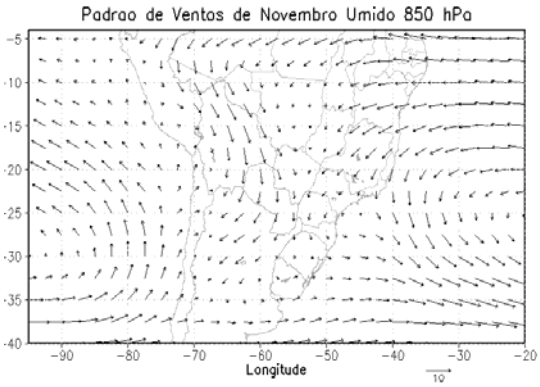


(17)

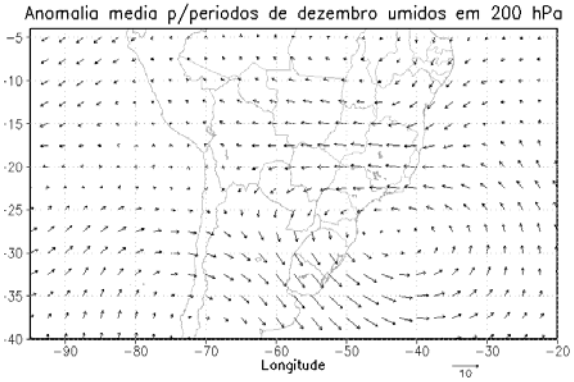


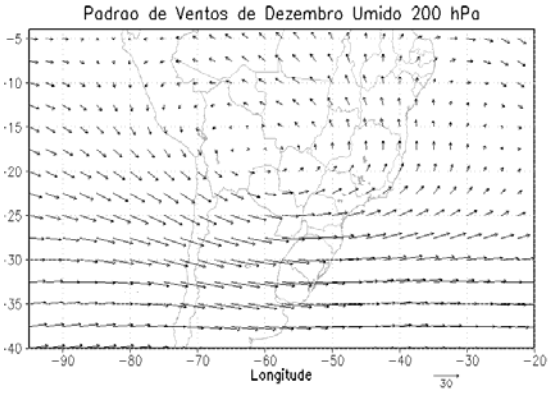
(18)



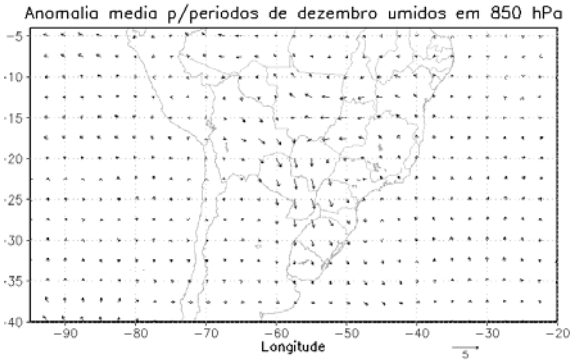


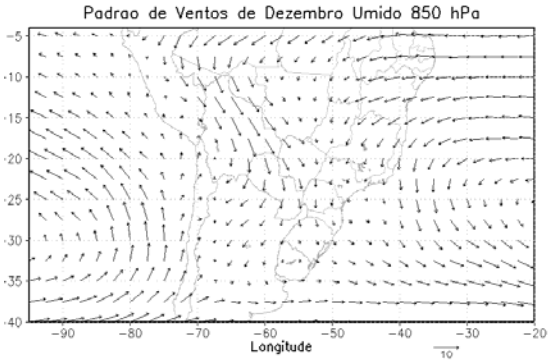
(19) (20)





(21) (22)

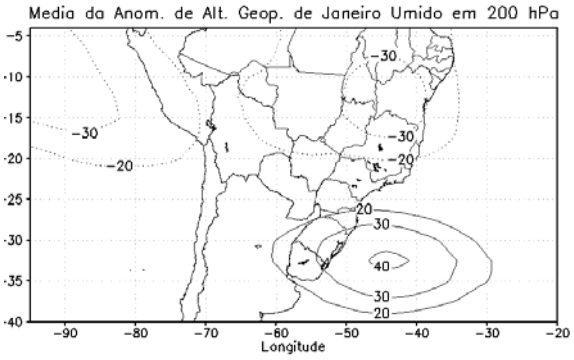


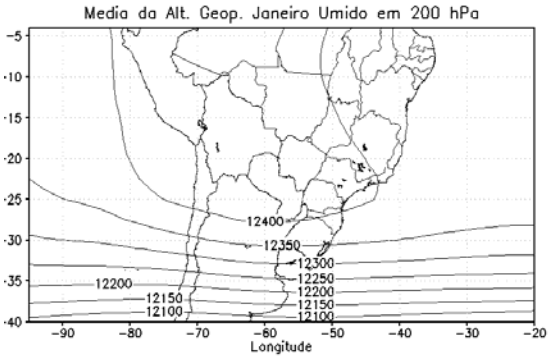


(23) (24)

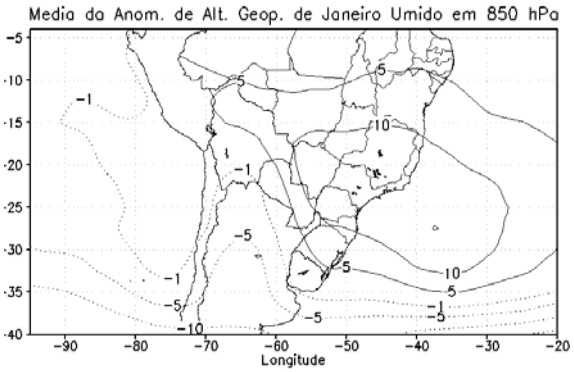
Figura 3.48 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico do vento (ms^{-1}) em 200 e 850 hPa nos meses de janeiro (1,2,3,4), fevereiro (5,6,7,8), março (9,10,11,12), outubro (13,14,15,16), novembro (17,18,19,20) e dezembro (21,22,23,24) em períodos úmidos, entre 1978 a 2005.

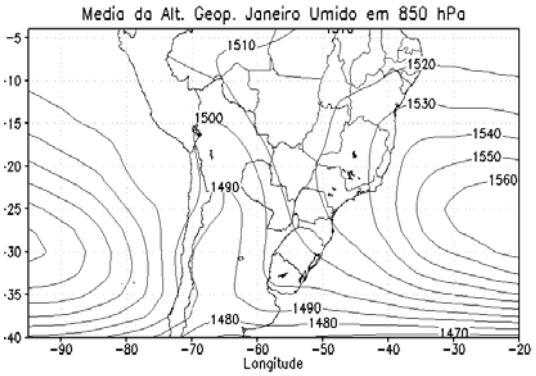
Altura geopotencial em 200 e 850 hPa



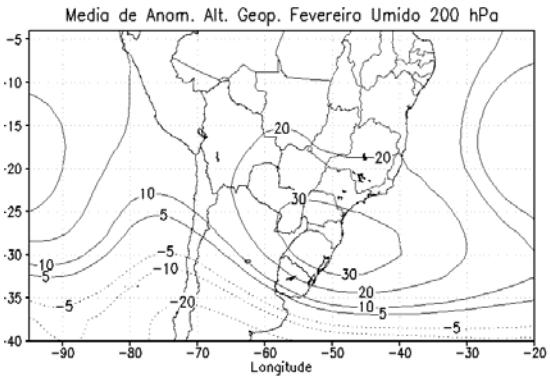


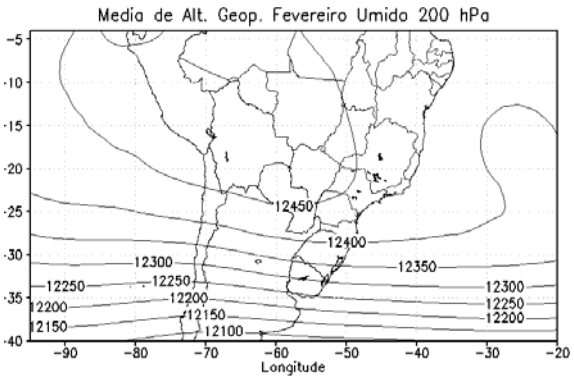
(1) **(2)**



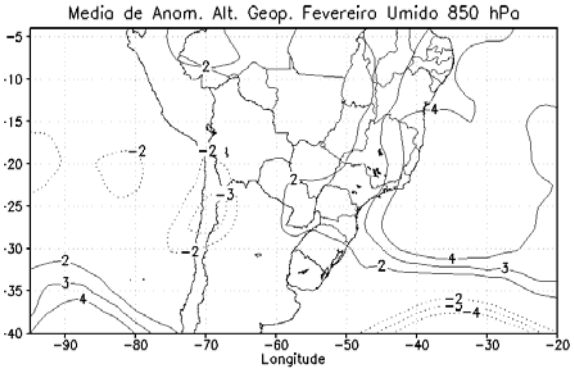


(3) **(4)**

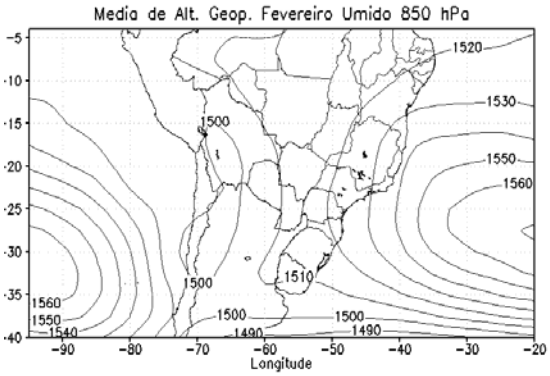




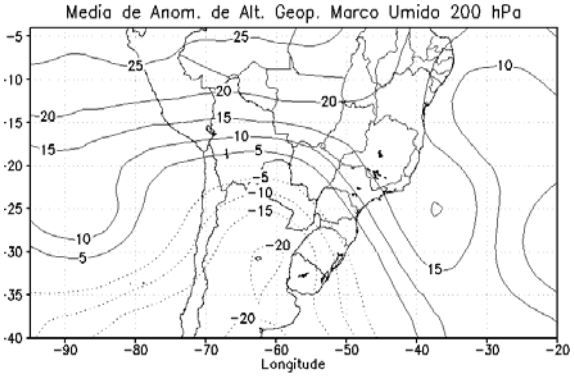
(5) **(6)**


Media de Anom. Alt. Geop. Fevereiro Umido 850 hPa
Longitude

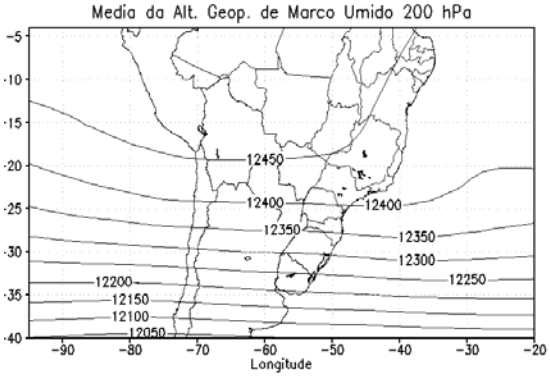
(7)


Media de Alt. Geop. Fevereiro Umido 850 hPa
Longitude

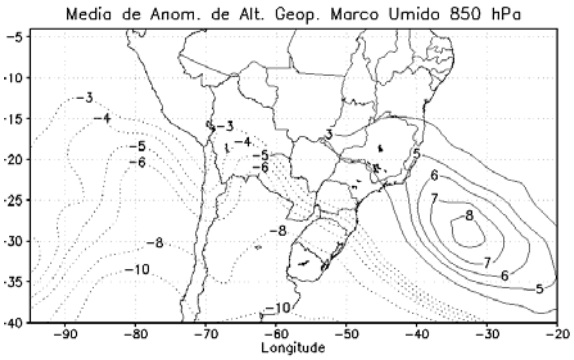
(8)


Media de Anom. de Alt. Geop. Marco Umido 200 hPa
Longitude

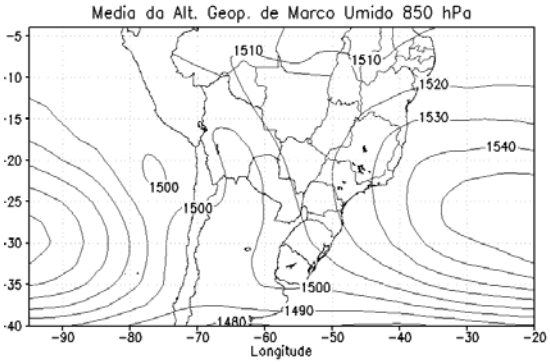
(9)


Media da Alt. Geop. de Marco Umido 200 hPa
Longitude

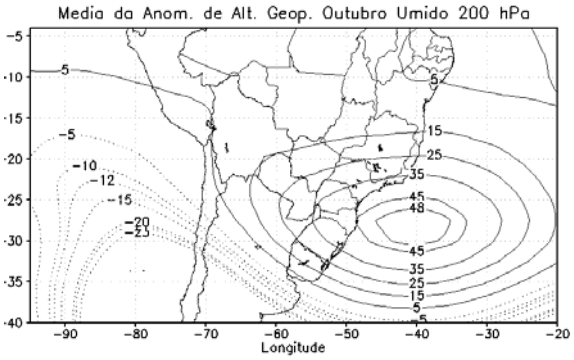
(10)

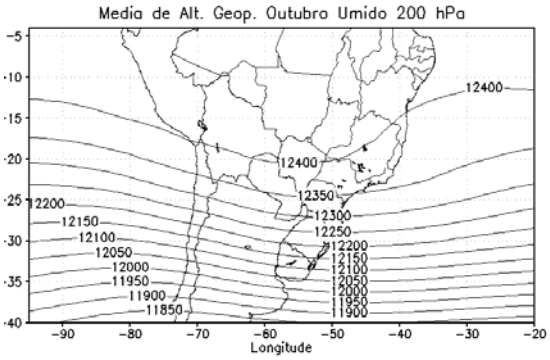

Media de Anom. de Alt. Geop. Marco Umido 850 hPa
Longitude

(11)

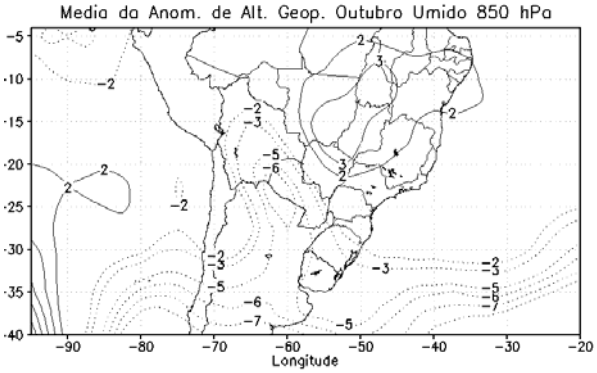

Media da Alt. Geop. de Marco Umido 850 hPa
Longitude

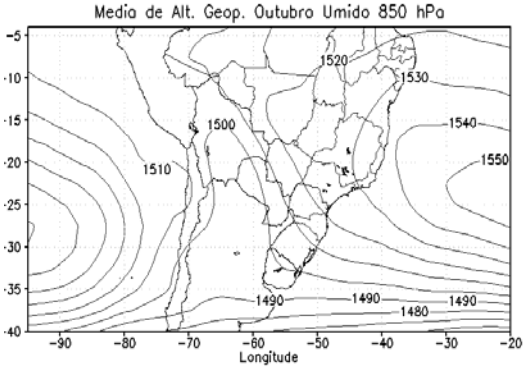
(12)



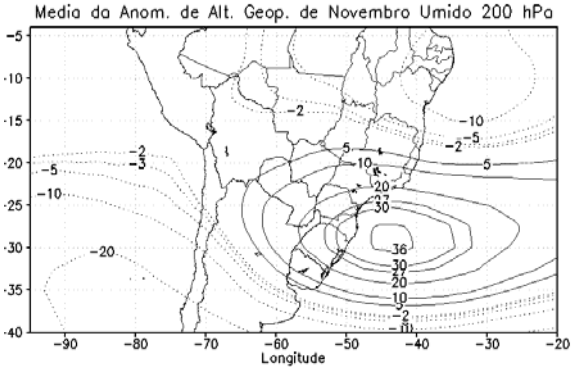


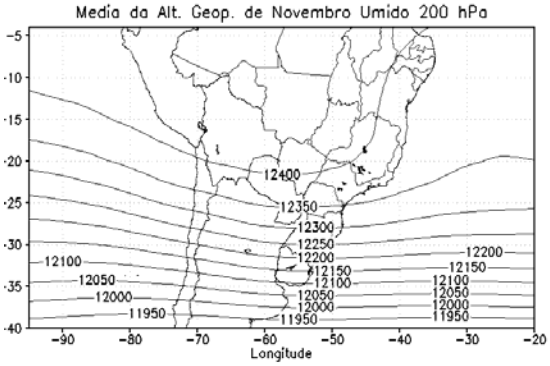
(13) **(14)**



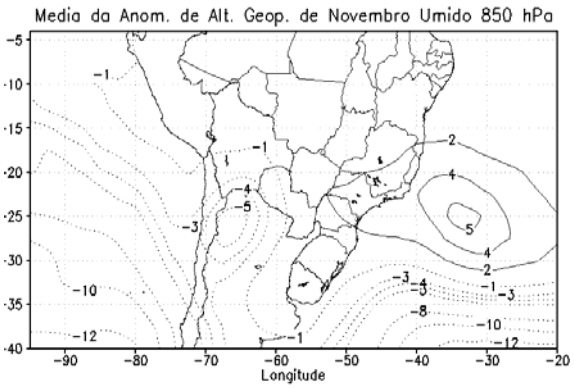


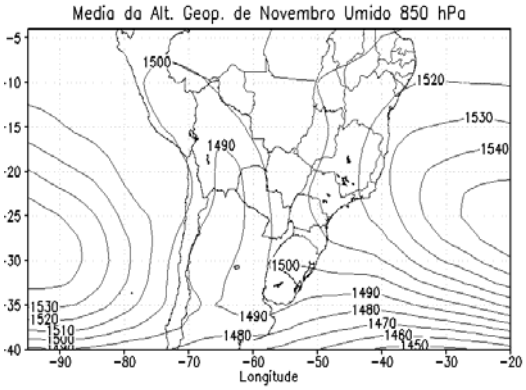
(15) **(16)**



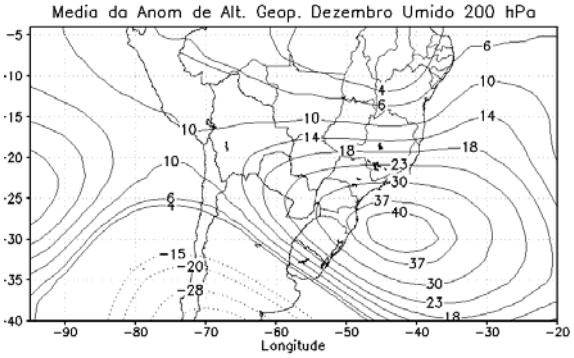


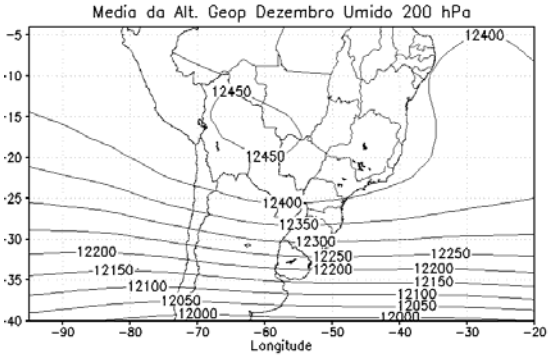
(17) **(18)**



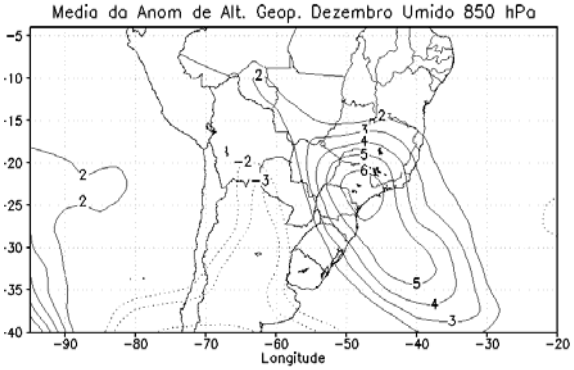


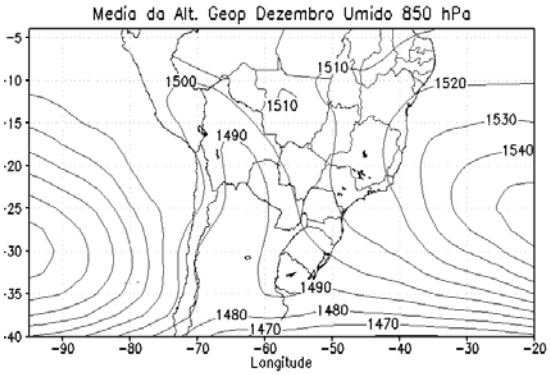
(19) **(20)**





(21) **(22)**

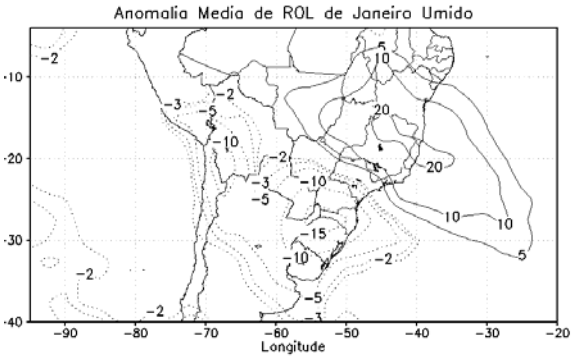


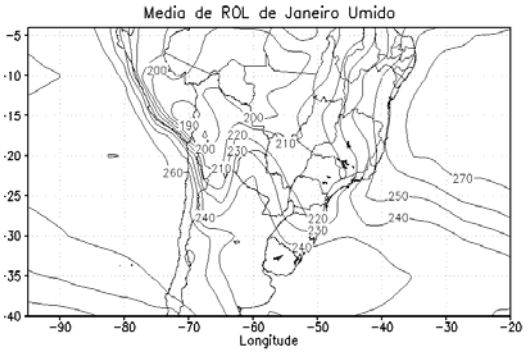


(23) **(24)**

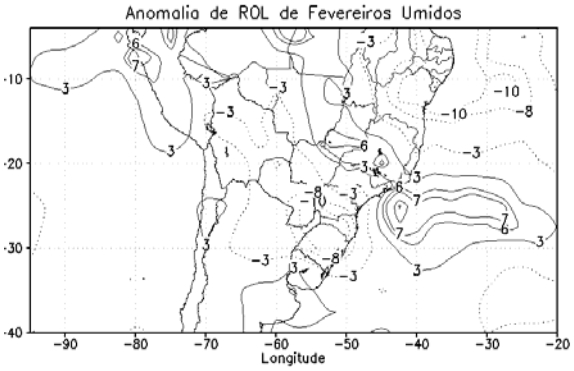
Figura 3.49 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de altura geopotencial (mgp) em 200 e 850 hPa nos meses de janeiro (1,2,3,4), fevereiro (5,6,7,8), março (9,10,11,12),outubro (13,14,15,16), novembro (17,18,19,20) e dezembro (21,22,23,24) em períodos úmidos, entre 1978 a 2005.

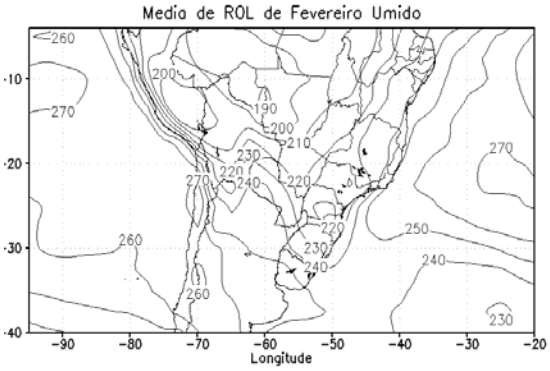
Radiação de onda longa emergente (ROL)



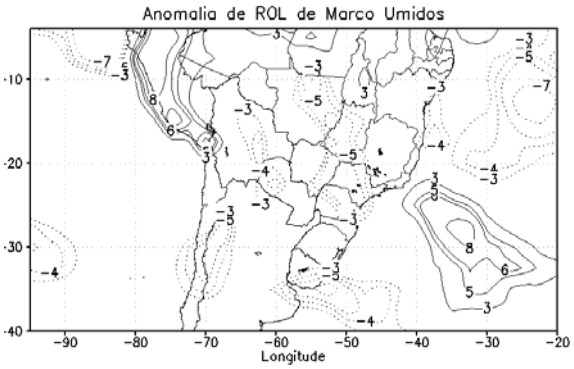


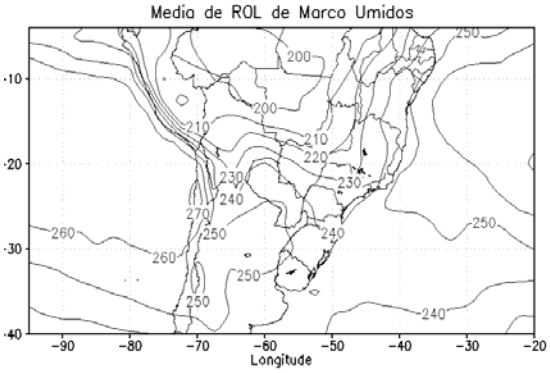
(1) **(2)**



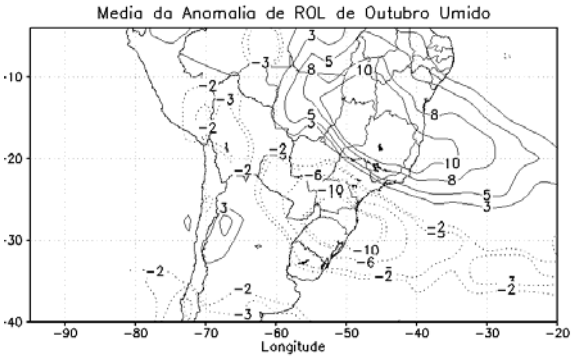


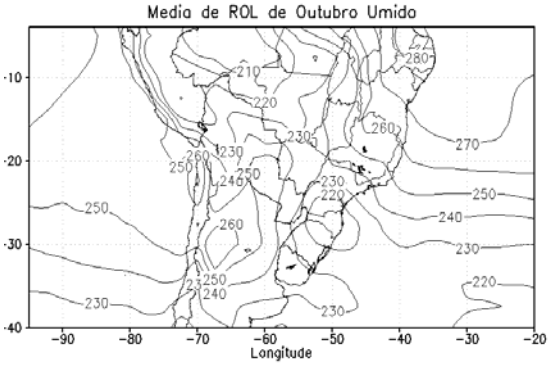
(3) **(4)**



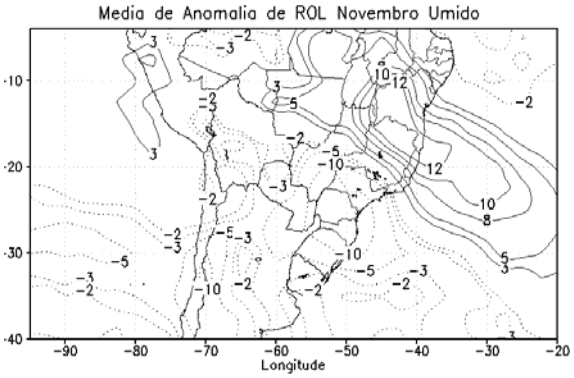


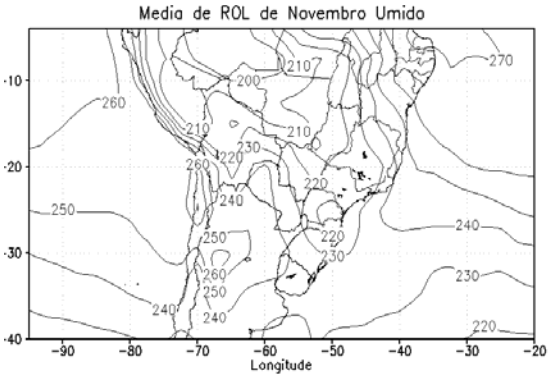
(5) **(6)**



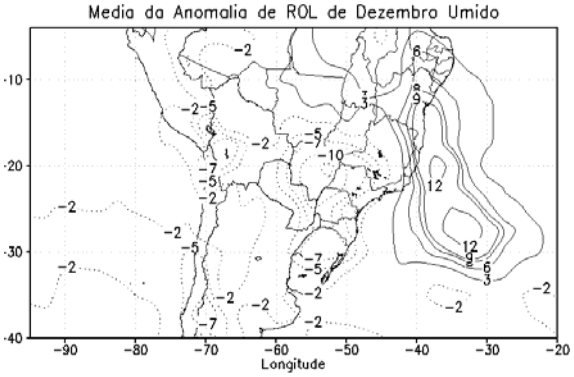


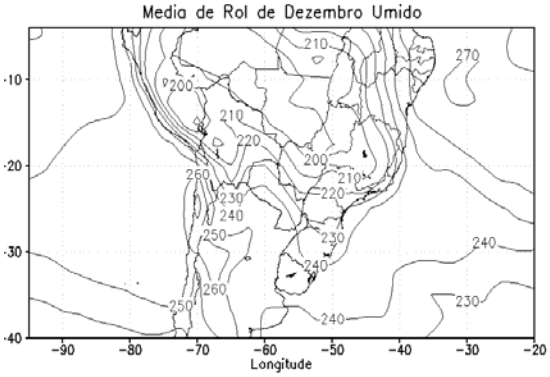
(7) **(8)**





(9) **(10)**

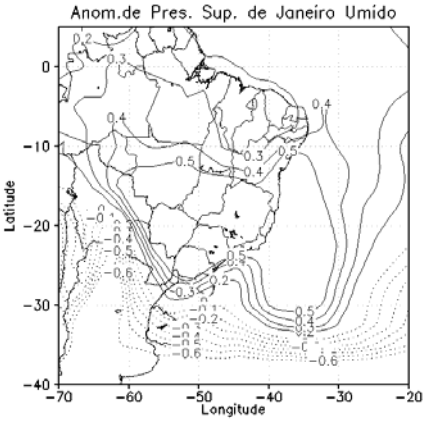




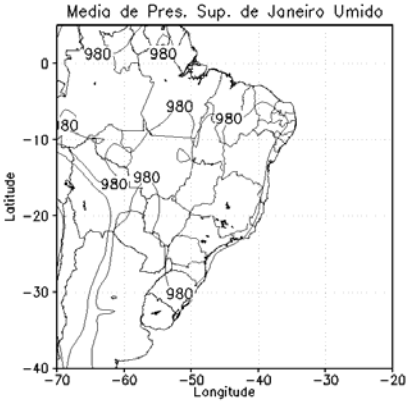
(11) **(12)**

Figura 3.50 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de ROL (Wm^{-2}) nos meses de janeiro (1,2), fevereiro (3,4), março (5,6), outubro (7,8), novembro (9,10)e dezembro (11,12), em períodos úmidos, entre 1978 a 2005.

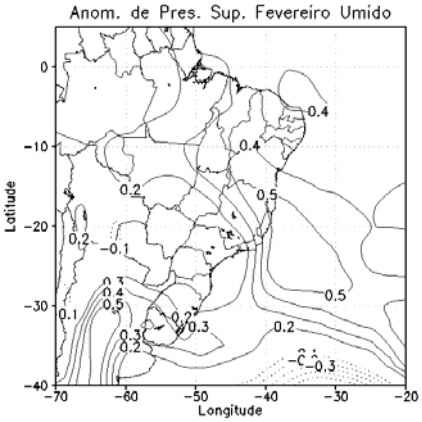
Pressão à Superfície



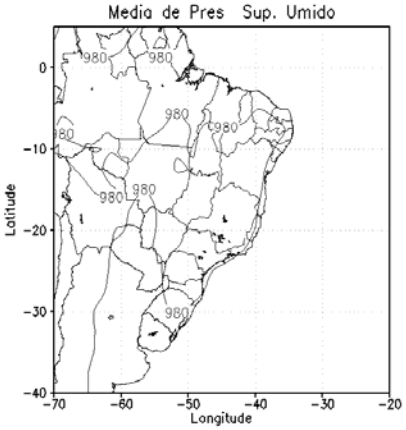
(1)



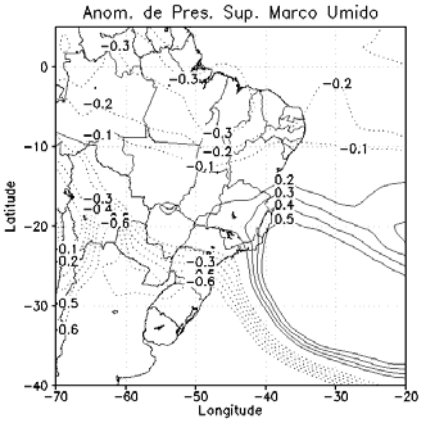
(2)



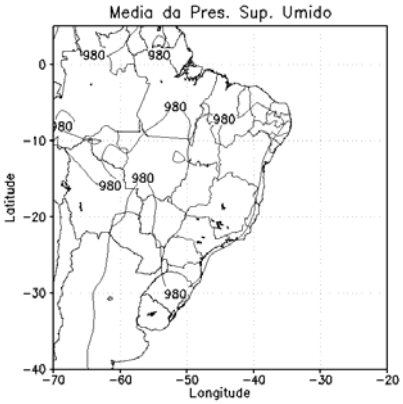
(3)



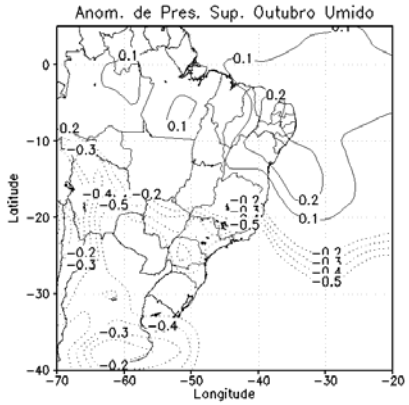
(4)



(5)

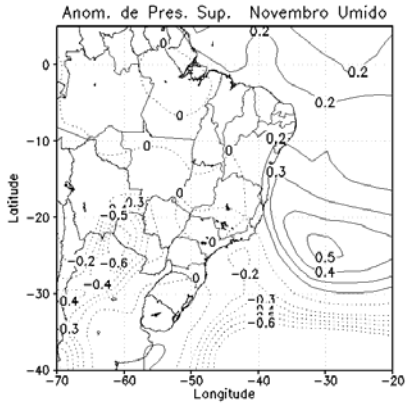


(6)

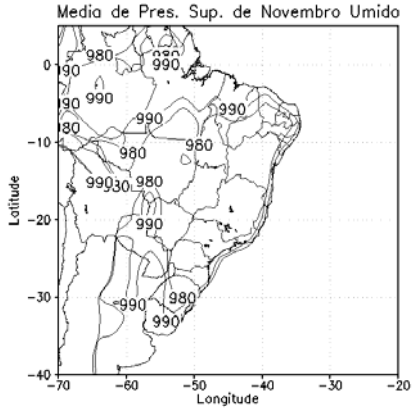


(7)

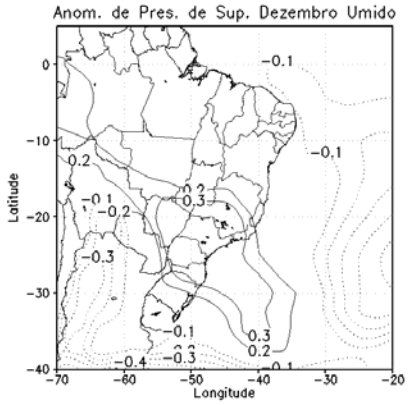
(8)



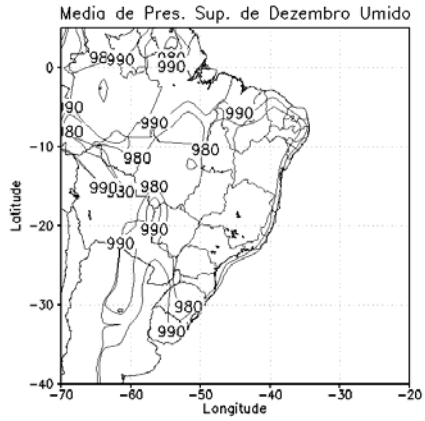
(9)



(10)



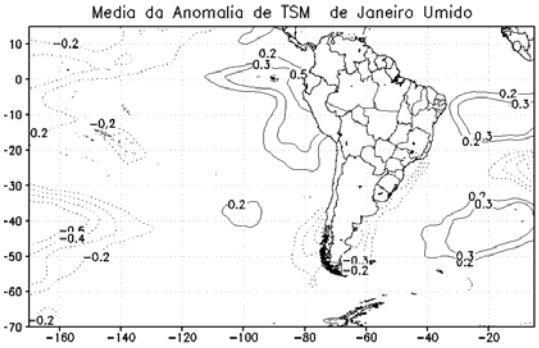
(11)

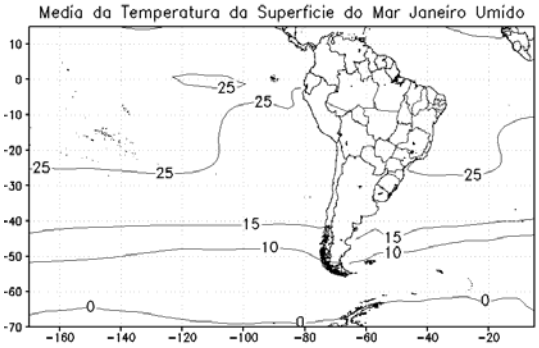


(12)

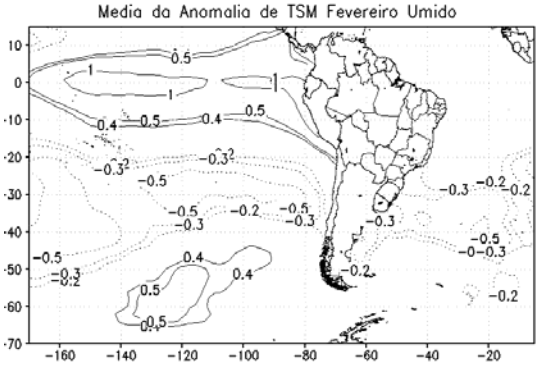
Figura 3. 51 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de Pressão à Superfície (hPa) nos meses de janeiro (1,2), fevereiro (3,4), março (5,6), outubro (7,8), novembro (9,10) e dezembro (11,12), em períodos úmidos, entre 1978 a 2005.

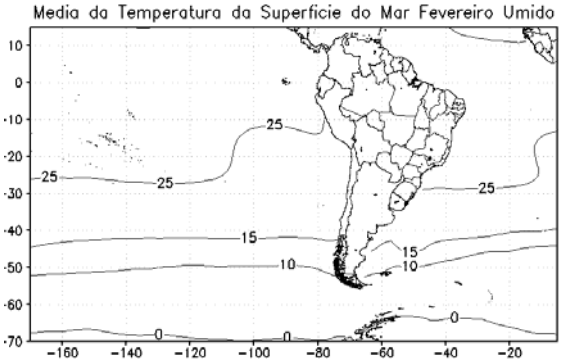
Temperatura à superfície do mar (TSM)



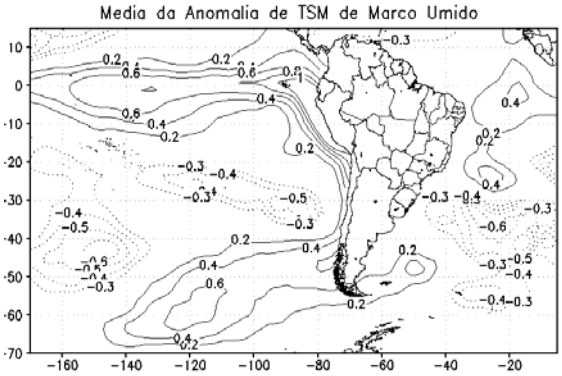


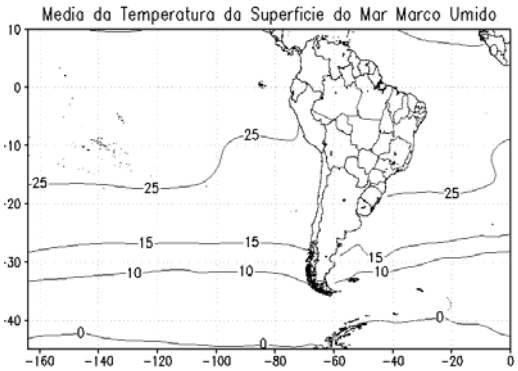
(1) **(2)**



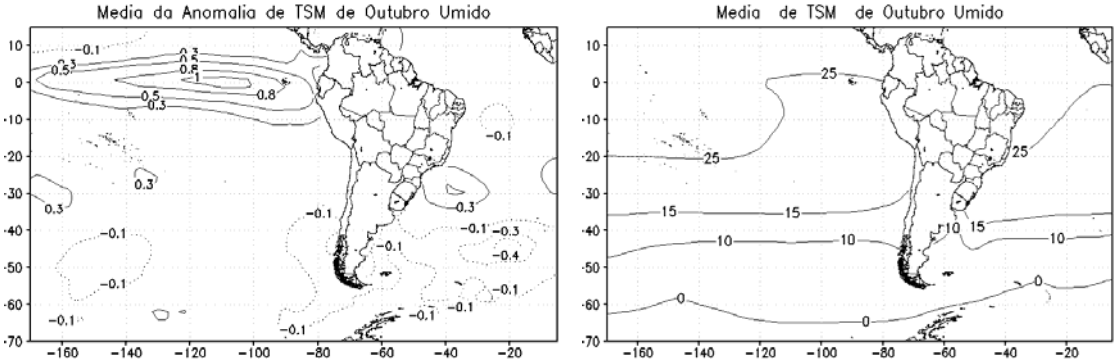


(3) **(4)**

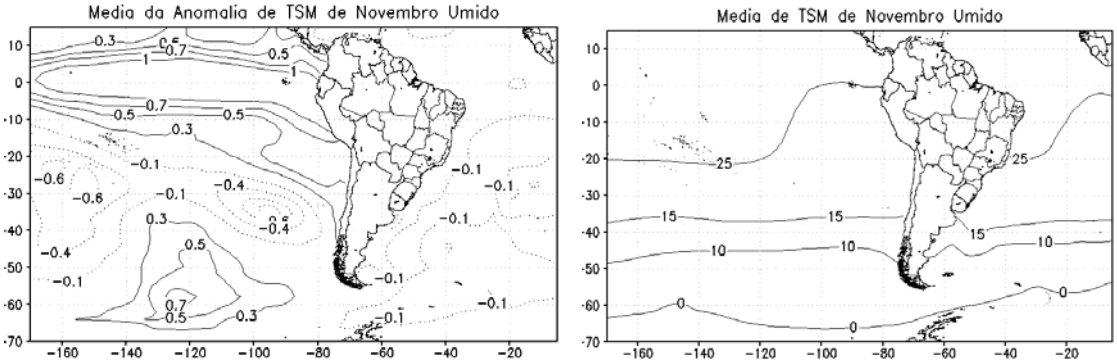




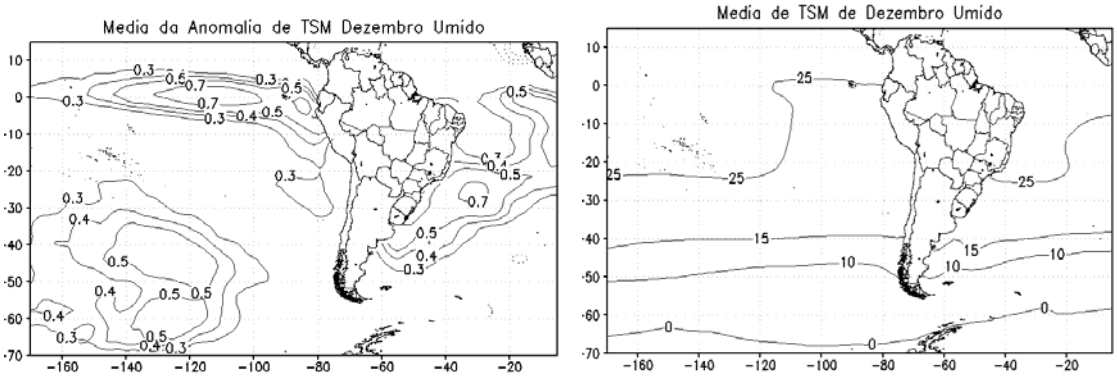
(5) **(6)**



(7) **(8)**



(9) **(10)**



(11) **(12)**

Figura 3.52 Média mensal da anomalia e do valor médio climatológico de TSM (ºC) nos meses de janeiro (1,2), fevereiro (3,4), março (5,6), outubro (7,8), novembro (9,10) e dezembro (11,12), em períodos úmidos, entre 1978 a 2005

Tabela 3.12 Sinal da anomalia média mensal de divergência do ar e altura geopotencial em 200 e 850 hPa (**DIV_{200}, DIV_{850}, ϕ_{200}** e **ϕ_{850}**), ROL, PS, TSM no Pacífico Equatorial (TSMP) e TSM no Atlântico Sudoeste na costa da Região Sul do Brasil (TSMA). A cor cinza indica anomalia negativa e a branca, anomalia positiva, em períodos úmidos.

ÚMIDO	DIV_{200}	DIV_{850}	$GEOP_{200}$	$GEOP_{850}$	ROL	PS	TSMP	TSMA
JANEIRO								
FEVEREIRO								
MARÇO								
OUTUBRO								
NOVEMBRO								
DEZEMBRO								

CAPITULO IV

4 - CONCLUSÕES

O estudo dividiu-se em três partes principais: caracterização climatológica da precipitação na região; caracterização da climatologia de veranicos e análise dos padrões atmosféricos para períodos de extremos climáticos.

A porção noroeste do Rio Grande do Sul é uma região brasileira que produz muita soja, por isso depende de boas condições meteorológicas principalmente na época do plantio, desenvolvimento e colheita, que comumente se estende de outubro a março.

Os seis municípios da porção noroeste do RS apresentam comportamento pluviométrico semelhante, o que pôde ser observado pela análise da climatologia de precipitação na região. A precipitação média sobre a porção noroeste é bem distribuída ao longo do ano, mesmo com um volume médio, para o período de 1978 a 2005, relativamente baixo em agosto, com 118 mm. Contudo, se comparada a outras regiões do Brasil, a média climatológica de agosto não chega ser tão baixa. Os municípios ao norte do Estado do RS (Irai, Marcelino Ramos e Passo Fundo) localizados nas áreas mais elevadas de planalto, próximo ao setor oeste de Santa Catarina, apresentam melhor distribuição sazonal da chuva, ao passo que os localizados mais a oeste (Santa Rosa, Cruz Alta e São Luiz Gonzaga), convivem com uma quantidade maior de períodos de estiagens, o que foi verificado pela análise da climatologia dos veranicos. A metade norte do Estado apresenta maiores volumes de chuvas durante todo o período analisado, o que foi verificado pelos valores acumulados anuais e médias mensais de precipitação.

Na escala trimestral, observa-se que o primeiro trimestre do ano (janeiro a março) apresenta sistematicamente um número maior de veranicos, 387 casos, em relação ao último trimestre (outubro a dezembro), com 373 casos. Os meses de março e dezembro são os que mais contribuem para a quantidade de veranicos. Com base na variabilidade espacial do número de veranicos, verifica-se que Santa Rosa e São Luiz Gonzaga apresentam o maior número de casos, com um valor total de 188 e 129 casos, respectivamente, embora apresentem valores relativamente bons (>100 mm) de precipitação em todos os meses. Assim, a quantidade de veranicos não está relacionada

diretamente à quantidade de chuva. Municípios com altos índices mensais de precipitação, como santa Rosa e São Luiz Gonzaga, tanto na escala mensal quanto na sazonal, apresentam número elevado de veranicos. Conclui-se então que a distribuição temporal da precipitação é o fator principal na determinação da quantidade de veranicos para uma determinada localidade. Estes dois municípios estão localizados a oeste da região, ao passo que Iraí, Passo Fundo e Marcelino Ramos ao norte da mesma. O município de Cruz Alta está situado mais ao sul da região estudada. Tais aspectos de localização sugerem uma regionalização da porção noroeste do estado com relação à ocorrência de veranicos.

A precipitação média climatológica no primeiro trimestre é menor do que a do último trimestre do ano nesta região, sendo que o mês de março apresenta o menor valor climatológico, enquanto que outubro, o maior valor. Associado a este fato, observa-se que o mês de março apresenta a maior ocorrência média de veranicos (141), o que sugere uma associação entre meses chuvosos (secos) com pouca (muita) ocorrência de veranico. Por outro lado, apesar de janeiro e fevereiro apresentarem precipitação média climatológica semelhantes entre si, janeiro apresenta maior número médio de veranicos em relação a fevereiro, ou seja, uma pior distribuição de chuvas durante o mês. O mesmo aspecto pode ser observado nos meses de outubro e novembro. Embora o mês de outubro apresente precipitação climatológica superior a novembro, 218 e 163 mm, respectivamente, o número médio de veranicos observado nestes dois meses é praticamente o mesmo, 122 (outubro) e 121 (novembro). Estes fatos indicam que além da chuva média climatológica observada nos diferentes meses analisados, deve-se levar em consideração a distribuição da chuva durante os dias de cada mês, uma vez que a distribuição espacial do número de veranicos depende destes fatores.

A ocorrência concomitante de eventos ENOS e veranicos na região de estudo indica certa associação. No conjunto de eventos secos analisados, em todos os meses, observou-se anomalias negativas (La Niña) no Pacífico Equatorial. O setor do Atlântico Sul adjacente à região Sul do Brasil também apresentou anomalias negativas de TSM, exceto no mês de janeiro. Os anos de El Niño (com intensidade moderada a forte) estão associados a grandes volumes de precipitação (anomalias positivas) na Região Sul do Brasil. Nos anos de 1982/83 e 1997/98, anos de El Niño, a ocorrência de veranicos na região, em ambos os trimestres analisados, foi baixa, 37 casos no primeiro trimestre e

38 casos no último trimestre. Por outro lado, a ocorrência de veranicos em anos de La Niña, como os de 1988/89 e 1998/2000, de intensidade forte a moderada, foi mais alta, com 69 e 67 casos, respectivamente, no primeiro e último trimestres do ano.

O comportamento atmosférico em períodos secos e úmidos, relativamente à precipitação, é distinto, evidenciando a possibilidade de se estabelecer padrões atmosféricos sob condições climáticas específicas. Em períodos secos, o padrão da divergência do ar, na maioria dos casos, mostrou-se convergente em altos níveis e divergente em níveis mais baixos. O padrão de altura geopotencial indicou valores positivos anômalos em superfície e negativos em altos níveis, o que esteve associado à inibição de formação de nebulosidade. Em períodos úmidos, os padrões são geralmente invertidos, havendo divergência do ar em altos níveis, e convergência em baixos níveis, conforme verificado nos mapas de divergência do ar. Observa-se que as anomalias positivas de divergência em baixos níveis sobre a região de estudo, contribuíram para a inibição de formação de nebulosidade em períodos secos. Por outro lado, as anomalias negativas de divergência em 850 hPa sobre o sul do Brasil, contribuem para a formação de bastante nebulosidade em períodos úmidos.

O padrão de escoamento do ar em 200 e 850 hPa foi bastante marcante nos períodos secos e úmidos sobre a região de estudo. Enquanto que nos períodos secos predominou a presença de uma circulação ciclônica anômala em altos níveis, com centro próximo à Região Sul do Brasil e Atlântico adjacente, 47°W e 27°S, nos períodos úmidos esta anomalia se inverteu, sendo clara uma circulação anômala anticiclônica aproximadamente sobre a mesma região, com centro em 47°W e 27°S. Tais anomalias em altos níveis contribuíram para a intensificação de movimentos descendentes durante os períodos secos e de movimento ascendentes durante os períodos úmidos, respectivamente, o que esteve diretamente relacionado à diminuição e aumento da precipitação, respectivamente. A circulação do ar em baixos níveis também foi diferente durante períodos distintos. Durante períodos secos, o JBN ficou enfraquecido, enquanto que durante os períodos úmidos, o JBN ficou mais intenso, contribuindo para a advecção de ar mais quente e úmido da região Amazônica (ou centro da América do Sul) para o Sul do Brasil, o que intensificou as condições de instabilidade do ar nesta região.

As variáveis atmosféricas divergência do ar, altura geopotencial e vento juntamente à ROL e TSM, usadas neste estudo como indicadores para a caracterização de períodos secos e úmidos, apresentaram comportamentos bastante coerentes, nos diversos meses analisados, aos resultados teóricos obtidos nas duas situações climáticas consideradas. Em todos os meses dos períodos secos (úmidos) foram identificadas anomalias positivas (negativas) de ROL sobre a região de estudo. Foi constatado um padrão de dipolo entre as regiões sul e norte/nordeste do Brasil para todos os meses avaliados (exceto em março), com valores positivos de anomalia de ROL concomitantes a anomalias negativas, respectivamente nestas duas regiões. É razoável supor que esta variabilidade em escala sinótica pudesse ser notada uma vez que se trata de períodos climáticos extremos, secos e úmidos. Esta distinção talvez não seja tão nítida em períodos mais próximos da normalidade ou da climatologia. Seria interessante avaliar até que ponto estes períodos anômalos (secos e úmidos) são influenciados por padrões atmosféricos da escala sinótica. Ou seja, verificar para períodos anômalos, mas não extremos se o comportamento sinótico se mantém tal como o obtido nestes casos.

Em todos os meses avaliados (out a mar) as anomalias observadas no Pacífico Equatorial estiveram associadas diretamente à variabilidade da precipitação no Sul do Brasil. Anomalias negativas (positivas) de TSM no Pacífico Equatorial estiveram associadas a anomalias negativas (positivas) de precipitação. Desta forma, verifica-se que as condições climáticas no Oceano Pacífico Equatorial são importantes para a definição de extremos climáticos no sul do Brasil. Por outro lado, as condições de TSM no Atlântico Sul adjacente à região de estudo não mostram uma associação tão forte às chuvas da região Sul como as condições do Pacífico Equatorial, principalmente em períodos úmidos. Durante os períodos úmidos, ocorre uma variabilidade alta do sinal da TSM do Atlântico Sul adjacente, não sendo possível definir um padrão para esta variável (quatro meses apresentaram anomalias negativas e dois meses, anomalias positivas de TSM). Contudo, durante períodos secos, o padrão de TSM do Atlântico Sul adjacente à costa sul parece ter influenciado mais as condições de precipitação na região. Todos os meses avaliados durante o período seco, exceto janeiro, apresentaram anomalias negativas de TSM no Atlântico Sul adjacente. Desta forma, sugere-se que as condições de superfície do Pacífico Equatorial contribuem para a definição de padrões

climáticos de freqüência mais baixa sobre o sul do Brasil, enquanto que as condições do Atlântico Sul adjacente estão associadas à variabilidade da precipitação em escala de freqüência mais alta. Tais aspectos necessitam obrigatoriamente de confirmação científica.

Um outro ponto a ser abordado futuramente seria a identificação dos padrões observados nesta análise, principalmente padrões de ROL e vento em altos níveis, com base em análise estatística mais robusta, tal como a Análise de Componentes Principais, aplicada em vários estudos climáticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alencar, R. C., Fonseca, G. L., 2006. “A influência do fenômeno veranico em janeiro de 2006: um estudo de caso da sua atuação em Belo Horizonte, MG”. *In: Anais do VII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica*, Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis.

Ambrizzi, T, *et al*., 1998. “Propagação de ondas extratropicais e a Zona de Convergência do Atlântico Sul”. *In: Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 10, Brasília.

Assad, E., 1994. *Chuva no Cerrado: análise e espacialização.* Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Brasília: EMBRAPA-CPAC: EMBRAPA-SPI.

Assad, E. *et al*., 1993. “Veranicos na Região dos Cerrados Brasileiros, frequencia e probabilidade”, *In: Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 28; n. 9, p. 993-1003.

Assis, F.N, Arruda, H. V, Pereira, A. R, 1996. Aplicações de estatística à climatologia Teoria e Prática. Pelotas: Ed. Universitária/UFPEL 161p.

Bergamaschi, H. *et al*., 2004. “Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos”. *In: Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, set., n. 9, p. 831-839.

Berlatto, M. A.; Fontana, D. C., 1999. “Variabilidade interanual da precipitação pluvial e rendimento da soja no Estado do Rio Grande do Sul”. *In: Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 7, p. 119-125.

Berlatto, M.A. *et al*., 2001. “Relação entre o rendimento agrícola de grãos de soja e variáveis meteorológicas”. *In: Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 27, n. 5, p. 695-702.

Berlatto, M. A.; Fontana, D. C., 2003. “El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura”. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 110 pp.

Berlatto, M.; Farenzena, H.; Fontana, D., 2005. “Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. *In: Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.. 40, n.5.

Cardoso, A. O.; Silva Dias, P. L., 2000. “A influência da temperatura da superfície do mar no clima de inverno para a cidade de São Paulo. *In: Anais do XI Congresso Nacional de Meteorologia, SBMET*.

Cardoso, A. O.; Silva Dias P.L., 2004. “Identificação de trimestres extremos no regime pluviométrico do Sul e Sudeste do Brasil em relação com as anomalias da TSM”. *In: Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 19, n.2, p. 149-162.

Cardoso, A. O., 2005. Relações entre a TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico e as condições climáticas nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil. Tese de Doutorado ACA/IAG/USP, São Paulo.

Carmona, L.C.; Berlato, M. A., 2002. “El Niño e La Niña e o rendimento de arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul”. *In: Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.10, p. 147-152.

Carvalho, L. M. V.; Jones, C.; Liebmann, B., 2004. “The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall”. *In: Journal of Climate*, 17, p. 88-108.

Carvalho, L. M. V., 2005. “Correntes de Jato”. *In. Meteorologia por Satélite*. DCA/IAG/USP. Site acessado em 12/2006: leila@model.iag.usp.br ou leila@icess.ucsb.edu.

Cavalcanti, I. F. A.,1985. “Casos de intensa precipitação nas regiões Sul e Sudeste do Brasil no período do inverno de 1979/1983”.(INPE-3743 –RPE/498).

Cavalcanti, I. F. A; Kayano, M. T., 1999. “High-frequency patterns of the atmospheric circulation over southern hemisphere and South America”, *In: Meteorology and Atmospheric Physics*, 69, p. 179-193.

Coelho, C. A. S., 2001. “Anomalias de precipitação sobre a América do Sul e sua relação com a TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico durante períodos de extremos de El Niño Oscilação Sul”. Dissertação de Mestrado IAG/USP, São Paulo.

Coelho, C. A. S.; Drumond, A. R. M.; Ambrizzi, T., 1999. “Estudo climatológico sazonal da precipitação sobre o Brasil em episódios extremos da Oscilação Sul”. *In: Revista Brasileira de Meteorologia*, 14(1), p. 49-65.

Cruz, E. *et al*, 2004. “Ocorrência de veranico no Estado do Rio de Janeiro”. *In: Engenharia Agrícola de Jaboticabal*, v. 24, n. 1, p. 68-79.

Cunha, G. R. *et al*, 2001. “El Niño – Oscilação do Sul e seus impactos sobre a cultura de cevada no Brasil”. *In: Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 9, n. 1, p. 137-145.

Diaz, A. E.; Studzinski, C. D.; Mechoso, C. R., 1998. “Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic oceans”. *In: Journal of Climate*, v. 11, n. 2, p. 251-271.

Diaz, A.; Studzinski, C. D., 1994: “Rainfall anomalies in the Uruguay-Southern Brazil region related to SST in the Pacific and Atlantic Oceans using cannonical correlation analysis”. *In: VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, SBMet*, Belo Horizonte, 2, p. 42-45.

Emater/RS, 2007. *Associação Riograndense de Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural*. Informativo disponível em www.emater.tche.br. Acesso em dezembro.

Escobar, G. C. J, Costa, I. C., 2005. “Situações meteorológicas associadas à ocorrência de eventos de Zona de Convergência do Atlântico Sul”. *In: IX Congresso Argentino de Meteorologia*, Buenos Aires.

Fepagro, 2006. Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, Centro de Meteorologia Aplicada. *In: Boletim Meteorológico do Estado do Rio Grande do Sul.* Maio, 2006, Porto Alegre.

Ferranti L. *et al*, 1990. “Tropical-Extratropical Interaction Associated with the 30-60 Day Oscillation and Its Impact on Medium and Extended Range Prediction”. *In: Journal of the Atmospheric Science*, 47, p. 2177-2199.

Ferreira, A. G., 2002. “Corrente de Jato” *In: Interpretação de Imagem de Satélites Meteorológicos*. Capitulo 8. INMET Brasília, p. 150 – 165.

Ferreira, A. G., 2006. *Meteorologia prática*. São Paulo: Oficina de Textos, 188 pp.

Ferreira, C. C. M., 2000. “Probabilidade de ocorrência de veranicos no município de Juiz de Fora”. *In: IV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica.*

Ferreira, C. C. M., Batista; A. J., 2004: “Distribuição espaço-temporal de veranicos e deficiência hídrica na bacia do rio Paraibuna-MG: Variabilidade, probabilidade e processos intervinientes”. *In: VI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica – Diversidades Climáticas*.

Ferreira, N. S. 1996. “Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)”. *In: Boletim de Monitoramento Climático.* Edição comemorativa de 10 anos. 1986-1996. www.cptec.inpe.br Acessado em 10/2007 - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

Ferreira, N. S. *et al*, 2005. “Loczcit - Um procedimento numérico do eixo central da ZCIT no Atlântico Tropical”. *In: Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 20, n. 2, p. 159-164.

Fidene, 1993. “Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Santa Rosa-RS”. *In: Documento I-Diagnóstico e Recomendações*, Ijuí: Editora Fidene.

Fontana, D. C.; Berlato, M. A., 1996. “Relação entre El Niño Oscilação Sul (ENOS), precipitação e rendimento do milho no Estado do Rio Grande do Sul”. *In: Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v.2, p. 39-46.

Fontana, D.C.; Berlato, M.A., 1997. “Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul”. *In: Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 5, n. 1, p. 127-132.

França, J. R. A. *et al*, 2000. “Sensibilidade do Modelo de Circulação Geral do LMD às variações da Temperatura da Superfície do Mar no Pacífico Tropical. *In: Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Rio de Janeiro, p. 3685-3693.

Fuentes, M. V., 1997. “Climatologia de bloqueios próximos à América do Sul e seus efeitos”. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

Fundação Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser (FEE), 2007 “Anuário Estatístico do Rio Grande do Sul”. Municípios do RS. Dados Sócio-Econômicos: 1970-1993. Acesso em 12 2007, http://www.fee.tche.br.

Garcia, E. C.; Rodrigues de Castro, L. H., 1986. “Análise de freqüência de chuva no pantanal matogrossense”. *In: Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 21, n. 9, p. 909-925.

Golden Gate Weather Service, 2008. “El Nino and La Niña Resource Page.” In: ggweather, acesso em setembro de 2008, home page: http://ggweather.com/enso.htm

Grimm, A. M. et al, 1996. “Anomalias de precipitação no sul do Brasil em eventos de El Nino”. *In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão*, Anais, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, p. 1098-1102.

Grimm, A. M.; Guetter, A. K.; Caramori, P. H., 1997: “El Niño no Paraná: o que se pode esperar em cada região. Uma análise científica”. *In: SIMEPAR - Informativo* n.1.

Grimm, A.; Ferraz, S.; Gomes, J., 1998. “Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events”. *In:* Journal of Climate, v.11, p. 2863-2880.

Grimm, A. M., 2003: “The El Niño Impact on Summer Monsoon in Brazil: Regional processes versus remote influences”. *Journal of Climate*, 16, p. 263-280.

Grimm, A. M.; Tadeschi, R. G., 2004. “Influência de eventos de El Niño e La Niña sobre a freqüência de eventos extremos de precipitação no Brasil”. *In*: *Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 13, CD ROM. Fortaleza - CE, SBMET.

Gruppelli, J. L.; Marques, J. R.; Diniz, G. B., 2006. “A relação da precipitação e da temperatura da superfície do mar em anos de alta e baixa qualidade da uva na Região Nordeste do Rio Grande do Sul”. *In: Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia*.

Hall, J. D.; Matthews, A. J.; Karoly, D. J., 2001. “The modulation of tropical cyclone activity in the Australian region by the Madden-Julian oscillation”. *In: Monthly Weather Review*, 129, p. 2970-2982.

Hastenrath, S., 1984: “Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic”. *In: Monthly Weather Review*, 112**,** p. 1097-1107.

Herrmann, M. L.; Rosa, R., 1990. “Relevo Região Sul”. *In: Geografia do Brasil*, vol. 2 IBGE, Rio de Janeiro.

IAG-USP, 2007. “Master – Ensino: Meteorologia Sinótica”. *In: Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais*, São Paulo.

IGES, 2008. *Grid Analysis and Display System – GrADS.* Acessado em 03/2008 - Link de acesso http://www.iges.org/grads/head.html.

IBGE, 2007. *Indicadores*. Acesso em 12 / 2007. http://www.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#indicadores.

Kanamitsu, M., *et al*., 2002 “NCEP/DOE AMIP Reanalysis (R-2)” *In*: Bulletin of the American Meteorological Society, 83, p.1-20.

Kayano, M. T.; Kousky, V., 1992. “Sobre o monitoramento das oscilações intra-sazonais”. *In: Revista Brasileira de Meteorologia*, 7. p. 593-602.

Kousky, V. E; Cavalcanti, I. F., 1984. “Eventos El Niño- Oscilação Sul: características, evolução e anomalias de precipitação. *In: Ciência e Cultura*, v. 36, n. 11, p 1188-1199.

Kousky, V. E.; Kayano, M. T.; Cavalcanti, I. F. A., 1984. “A review of the southern oscillation oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies”. *In: Tellus – Dynamic meteorology and oceanography*, 36 A, p. 490-504.

Kousky, V. Elias, M., 1982. Apostila de Meteorologia Sinótica I. IAG/USP

Lemos, C. F.; Calbete, N. O., 1996. “Sistemas frontais que atuaram no litoral de 1987 a 1995”. *In:* Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática Edição Especial de Comemoração de 10 Anos 1986/1996. (INPE-12801-PRE/8091). Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/14.html>. Acesso em: 01 jul. 2008.

Liebmann, B.; et al., 1999. “Submonthly convective variability over S A and the South Atlantic Convergence Zone”. *In: Journal of Climate*, v. 12, p. 1877-1891.

Lopes, F. Z.; Diniz, G., Marques, R, 2007. “Relação entre Multivariate Enso Index (MEI) e a TSM das regiões do Niño com a precipitação da regiões homogêneas do Estado do Rio Grande do Sul”. *In:* Anuário do Instituto de Geociências UFRJ, v. 30-2/2007 p. 11-22.

Madden, R. A.; Julian, P. R., 1971. “Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific”. *In: J. Atmos. Sci*, 28, p. 702-708.

Madden, R. A.; Julian, P. R., 1972. “Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period”. *In: J. Atmos. Sci*, 29, p. 1109-1123.

Marengo, J. A.; Uvo, C., 1996. “Variabilidade e mudança climática no Brasil e America do Sul”. *In: Climanálise. Boletim de Monitoramento e Análise Climática*. Edição comemorativa 10 anos, p. on line. (INPE-11893-PRE/7240). Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/mudanca.html>. Acesso em: 08/ 2008.

Marques, R. F. C.; Rao, V. B., 1996. “Bloqueio Atmosférico no Hemisfério Sul durante o período de 1980 a 1993”. *In*: *Climanálise Especial*. Edição Comemorativa de 10 Anos CPTEC/INPE.

Matzenhauer, R. *et al*, 1996. “Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas”. *In: Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 3, p. 85-92.

Melo, R. W.; Fontana, D. C; Berlato, M. A., 2004. **“**Indicadores de produção de soja no Rio Grande do Sul comparados ao zoneamento agrícola”. *In: Pesq. agropec. bras*, v. 39, n. 12, p. 1167-1175.

Mendes, M. *et al*, 2005. “Bloqueios atmosféricos de 1960 a 2000 sobre o Pacífico Sul: Impactos climáticos e mecanismos físicos associados”. *In: Revista Brasileira de Meteorologia,* v. 20, n. 2, p. 175-190.

Mendes, D. *et al*, 2004 “Monitoramento da zona de convergência intertropical (zcit) através de dados de temperatura de brilho (tb) e radiação de onda longa (rol)” Acesso em 08 2008, página on line *http://mtc-m15.sid.inpe.br/col/cptec.inpe.br/walmeida/2004/07.26.10.37/doc/Mendes_Monitoramento%20da%20zona%20de%20convergencia.pdf*

Minuzzi, R. B. *et al*, 2005: “El Niño: ocorrência e duração dos veranicos do Estado de Minas Gerais”. *In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v..9, n. 3, p. 364-371, UFCG, Campina Grande.

Moreira, M., 1985: “Metodologia para definir padrões pluviométricos. Caso: Cerrados brasileiros”. Dissertação de Mestrado, UnB, Brasília.

Muza, M. N., 2005.“Variabilidade intrasazonal e interanual dos eventos extremos de precipitação e seca no Sul e Sudeste do Brasil durante o verão austral”. Dissertação de Mestrado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo.

Nascimento, E. L., 1998. “Influência dos bloqueios atmosféricos na propagação de ondas de Rossby em escoamentos de inverno no Hemisfério Sul”. Tese de Mestrado. DCA/IAG/USP.

Nery, J. T.; Martins, M. L. O. F.; Sant’Ana, J. L. N., 2002: “Variabilidade de precipitação no Brasil Meridional”. *In: Acta Scientiarum. Agronomy*, (Universidade Estadual de Maringa) v. 24, n. 6, p. 1687-1695.

Nimer, E., 1989. “Climatologia do Brasil”. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2ª ed. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro, p. 195-263.

Nimer, E., 1990. “Clima Região Sul”. *In: Geografia do Brasil*, v. 2. IBGE, Rio de Janeiro.

NOAA, 2008. Earth System Research. *In*: ‘El Niño/La Niña - Table of Years’ Disponível em http://www.cdc.noaa.gov/people/cathy.smith/best/#years e http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyear.shtml acessado em 05/09/2008.

Nobre, P., 1996. “A variabilidade interanual do Atlântico Tropical no clima da América do Sul”. *In: Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática*. Edição comemorativa 10 anos, p. on line. Disponível em: http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/mudanca.html>. Acesso em: 08/ 2008.

Oliveira, A. S., 1986: “Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia”. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. INPE (4008-TDL/239), São José dos Campos.

Oliveira, S. G.; Marengo, J. A.; Kousky, V., 1998. “O final do episódio El Niño de 1997/98 e o desenvolvimento e a intensificação do La Niña 1998/99”. *In: X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da Federação Latino-Americana e Ibérica de Sociedades de Meteorologia*, Brasília.

Pezzi, L. P.; Cavalcanti, I. F. A., 1994. “O Jato Subtropical sobre a América do Sul no período de 1980 a 1989”. *In: VIII Congresso. Brasileiro de Meteorologia - II Congresso Latino Iber. de Meteorologia*, v. 2, p. 148-151.

Pezzi, L. P; Cavalcanti, I. F. A., 1998. “Anomalias de temperatura e precipitação sobre o Brasil durante o inverno de 1995: características atmosféricas e oceânicas”. *In: Rev. Bras. Geof.*, July/Nov., v. 16, n. 2-3, p. 209-218.

Pohl, B.; Matthews, A. J., 2007. “Observed changes in the lifetime and amplitude of the Madden-Julian oscillation associated with interannual ENSO sea surface temperature anomalies”. *In: J. Climate*, 20, p. 2659-2674. Acesso em 03/2008 http://envam1.env.uea.ac.uk/hmk2001.html.

Quadro, M. F. L., 1994. “Estudo de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul”. Dissertação de Mestrado em Meteorologia INPE, São José dos Campos.

Rebello, E. R. G., s/d. “A Oscilação Decadal do Pacífico e sua possível influência no clima do sul do Brasil”, INMET, Brasília. Acessado em setembro de 2008: http://www.ame-web.org/JORNADAS/1D_Rebello.pdf.

Ropelewski, C. F.; Halpert, M. S., 1987. “Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño - Southern Oscillation”. *In: Monthly Weather Review*, v. 115, p. 1606-1626.

Sanches, M. B; Dias, M. A. F. da S., 1999. “Análise sinótica de verão: a influência da ZCAS. *In: Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 9, Anais Eletrônicos, Campos do Jordão.

Santos, A. F., 2006. “Padrões sinóticos de circulação atmosférica associados ao Jato de Baixos Níveis a leste da Cordilheira dos Andes, na América do Sul”. Dissertação de Mestrado INPE, São José dos Campos.

Sartori, M. G. B. 2003. “A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico”. *In: Terra livre*. São Paulo, ano 19, vol. 1, n. 20, p. 27-49.

Satyamurty, P., 2004. “Meteorologia Dinâmica”. *In: Rudimentos de Meteorologia Dinâmica*. CPTEC/INPE, São José dos Campos, 143 pp.

Satyamurty, P.; Mattos, L. F., 1989. “Climatologycal lower trophosferic frontogenesis in the midlelatitudes due to horizontal deformation and divergence”. *In: Mon. Wea. Rev*., 108:410-520.

Scaglioni, T. P.; Gomes, R. G.; Marques, J. R. Q., 2007. “Influência dos Sistemas de Altas e Baixas Pressões e da Temperatura da Superfície do Mar do Atlântico Sul no desenvolvimento de Sistemas Convectivos de Mesoescala sobre o Rio Grande do Sul”. *In: Anuário do Instituto de Geociências* – UFRJ, v. 30-2/2007, p. 31-44.

Secretaria da Fazenda do RS (SEFAZ/RS), s/d. “Relatórios de Estatísticas Econômico-Fiscais do RS”, p. on line: http://www.sefaz.rs.gov.br. Acesso em 12 de 2007.

Silva, I. R. 2001. “Variabilidade sazonal e interanual das precipitações da Região Sul do Brasil, associadas às temperaturas dos oceanos Atlântico e Pacifico”. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

Silva, E. R; Silva, M.E.S.; Takeshi, P. 2008. “Influência da temperatura da superficie do mar das regiões de Niño 1+2 e 3 na precipitação mensal na América do Sul”. *In: XV Congresso Brasileiro de Meteorologia*, São Paulo-SP, CD ROM XV CBMET.

Silva, G. A. M, 2005. “Variabilidade inter- El Niños e seu impacto nos jatos de baixos níveis a leste dos Andes durante o verão austral”. Dissertação de Mestrado. ACA/IAG/USP.

Silva, V. B. S.; V. E. Kousky; W. Shi; R. W. Higgins, 2007. ‘An improved historical daily precipitation analysis for Brazil’. *In: J. Hydrometeorology*, 8, 847-861.

Silva Dias, M. A. F. da, 1987. “Sistemas de mesoescala e previsão de tempo a curto prazo”. *In: Revista Brasileira de Meteorologia*, 2, p. 133-150.

Silva Dias, M. A. F. da, 1996. “Complexos Convectivos de Mesoescala sobre a Região Sul do Brasil”. *In: Edição Comemorativa de 10 Anos do Climanálise. CPTEC/INP*E. www. cptec.inpe.br. Acessado em 25/12/2007.

Siqueira, J. R.; Machado, L. A. T., 2000. “Variações Interanuais das Trajetórias das Perturbações Sinóticas na América do Sul e Áreas Adjacentes”. *In: Anais: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Rio de Janeiro.

Siqueira, J. R.; Machado, L. A. T., 2006. “Climatologia de propagação meridional da convecção na América do Sul”. In: *XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Florianópolis.

Souza, S. A. V.; Peres, F. C., 1998. “Programa computacional para simulação de ocorrência de veranicos e quedas de rendimento”. *In: Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, n. 12.

Studzinski, C. 1995. *“Um estudo da precipitação na região sul do Brasil e a sua relação com os Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical Sul”*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos campos.

Teixeira, M. S., Satuamurty, P., 2004. “Episódios de chuvas intensas na Região Sul do Brasil. Parte II: relação entre parâmetros meteorológicos e a chuva intensa”. *In:* CPTEC/INPE acessado em 03/2008 http://mtc-m15.sid.inpe.br/col/cptec.inpe.br.

Varejão-Silva, M. A., 2001. *Meteorologia e Climatologia*, 2ª ed. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura e do Abastecimento.

Viana, D. R.; Aquino, E. F.; Matzenauer, R., 2006. “Comportamento espaço temporal de precipitação no Rio Grande do Sul entre 1945-1974 e 1975-2004”. *In: Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia*.

Xavier, T. M. B. S.; Silva, J. F.; Rebello, E. R. G., 2002. *A técnica dos quantis e suas aplicações em Meteorologia, Climatologia e Hidrologia, com ênfase para as regiões brasileiras.*Ed. Thesaurus Editora de Brasília Ltda, 140p