

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**ESTUDO ESTATÍSTICO DA OCORRÊNCIA DE JATOS NO PERFIL VERTICAL
DO VENTO NA BAIXA ATMOSFERA E A SUA RELAÇÃO COM EVENTOS DE
INTENSA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NO RIO GRANDE DO SUL**

CLEBER SOUZA CORRÊA

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Robin Thomas Clarke

Co-orientador: André Luiz Lopes da Silveira

Banca Examinadora

Prof. Dr. Joel Avruch Goldenfum	IPH/UFRGS
Prof. Dr. Olavo Corrêa Pedrollo	IPH/UFRGS
Prof. Dr. Gervásio Annes de Degrazia	Depto. de Física /UFSM
Prof. Dr. Moacir Antonio Berlato	Depto. de Agrometeorologia/UFRGS

Porto Alegre, maio de 2005

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Prof. Dr. Robin Thomas Clarke da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e co-orientado pelo Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

AGRADECIMENTOS

Em memória a minha mãe à Dona Marlene e ao meu filho Karlmer e a Sônia pelas horas que estive ausente realizando este trabalho.

Ao Dr. Jonas de Carvalho por sua orientação fundamental na simulação do estudo de caso com o modelo de alta resolução (MM5).

Ao Meteorologista Solismar Prestes, diretor do 8ºDismet de Porto Alegre pelo acesso aos dados de precipitação no Rio Grande do Sul.

Aos colegas do DTCEA-PA pelo apoio e estímulo.

ESTUDO ESTATÍSTICO DA OCORRÊNCIA DE JATOS NO PERFIL VERTICAL DO VENTO NA BAIXA ATMOSFERA E A SUA RELAÇÃO COM EVENTOS DE INTENSA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NO RIO GRANDE DO SUL.

RESUMO

Neste estudo buscou-se entender as relações dos Jatos de Nível Baixo (JNB) na geração de convecção em escala sinótica e a sua associação com eventos de intensa precipitação. Observou-se o perfil vertical do vento através de radiossondagens realizadas no Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre e em Uruguaiana no interior do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Analisou-se a sua variabilidade sazonal, intra e inter-sazonalidade. Estimaram-se suas escalas e intensidades predominantes, descrevendo a interação dos JNB's e o seu importante papel na circulação geral da atmosfera e no transporte de vapor de água e calor das regiões equatoriais para regiões de latitudes médias, influenciando diretamente o balanço hídrico de extensas bacias hidrográficas interligadas neste transporte. Os JNB's associados neste intenso transporte apresentam uma tendência de estarem ligados a eventos convectivos noturnos e na geração de Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), que geram elevados índices pluviométricos que podem causar importante impacto econômico. Utilizam-se várias técnicas estatísticas para realização deste estudo, como a Análise das Componentes Principais, Classificação Não-Hierárquica dos JNB's, cálculo das correlações dos sinais das séries temporais dos JNB's e as precipitações, com a utilização de técnicas "Bootstrap", uso de técnicas geoestatísticas, com o cálculo do variograma da precipitação máxima e dos seus dias de evento com ajustamento de um modelo para o variograma teórico. Realiza-se a modelagem com o uso do modelo meteorológico "Model Mesoscale Five" (MM5) para estudar a estrutura e caracterizar o transporte realizado pelo JNB. O emprego destas metodologias facilita o entendimento da complexidade das interações de diferentes escalas meteorológicas envolvidas nos processos sinóticos de macro e mesoescala. Em tal complexidade, o trabalho realizado pelos JNB's nesta interação é o de ser a escala efetiva de transporte na baixa atmosfera, que realiza o importante papel de acoplar a meteorologia regional e o ciclo hidrológico em escala continental.

A STATISTICAL STUDY OF THE OCCURRENCE OF JETS IN THE LOWER-ATMOSPHERE VERTICAL WIND PROFILE, AND OF THEIR RELATION TO INTENSE PLUVIAL PRECIPITATION EVENTS IN RIO GRANDE DO SUL.

ABSTRACT

This study analyses the relation between Low-Level Jets (LLJ) generating convection at the synoptic scale, and associated events of intense rainfall, using vertical wind profiles obtained by radiosonde at the Salgado Filho International Airport in Porto Alegre, Brazil, and at Uruguaiana, in the interior of the State of Rio Grande do Sul. Both within-season and between-season variability's are analysed, and their scales and predominant intensities are estimated. The work describes the important role of LLJs in general atmospheric circulation and in the transport of heat and water vapour from equatorial regions to the middle latitudes, directly influencing the water balance of extensive drainage basins affected by this transport. The LLJs involved in this large-scale transport tend to be associated with nocturnal convective events and with the generation of Mesoscale Convective Complexes (MCCs), giving high rainfall intensities, which may have important economic consequences. To describe the relations involved, the study uses a range of statistical methods including principal component analysis, non-hierarchical classification of LLJs, correlation between signs of LLJ time series and rainfall, using bootstrap methods. Geostatistical methods were used to fit a theoretical variogram to maximum annual rainfalls and their times of occurrence. High-resolution modelling of a synoptic system with LLJs was used to study its structure and to characterise the transport mechanisms, by means of the meteorological model "Model Mesoscale Five" (MM5). Use of these methods helps to understand the complex interactions operating at meteorological scales involved in synoptic processes, from macro- to meso-scale. In such complexity, the role played by LLJs in this interaction is to be the effective transport scale in the lower atmosphere, thereby coupling regional meteorology and water circulation at the continental scale.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 ASPECTOS FÍSICOS DAS ESCALAS ESPACIAL E TEMPORAL.....	5
2.2 ASPECTOS SINÓTICOS ASSOCIADOS AO JNB.....	10
2.2.1 SISTEMAS DE MESOESCALA.....	10
2.2.2 VARIAÇÕES SAZONAIS E INTERSAZONAIS.....	15
2.2.2.1 ASPECTOS DE VARIAÇÃO SAZONAL NO INVERNO.....	15
2.2.2.2 ESCALAS INTERSAZONAIS - EL NINO-OSCILAÇÃO SUL.....	16
2.2.2.3 ASPECTOS DE VARIAÇÃO SAZONAL NO VERÃO.....	21
2.3 FLUXO DE VAPOR DE ÁGUA ASSOCIADO AO JNB E À PRECIPITAÇÃO.....	26
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA.....	29
3.2 DADOS METEOROLÓGICOS E HIDROLÓGICOS.....	31
3.3 CLASSIFICAÇÃO NÃO HIERÁRQUICA DOS JATOS DE BAIXOS NÍVEIS (JNB) E VENTO MÁXIMO (VM).....	35
3.4 ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP).....	36
3.5 INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DOS ESCORES OBTIDOS PELAS COMPONENTES PRINCIPAIS.....	37
3.6 CORRELAÇÃO ENTRE OS JATOS DE BAIXO NÍVEIS E A PRECIPITAÇÃO.....	40
3.7 ANÁLISE DOS MÁXIMOS DE PRECIPITAÇÃO COM USO DE GEOESTATÍSTICA.....	42
3.8 ESTUDO DE CASO COM O USO DO MODELO MM5.....	44
4. RESULTADOS.....	47
4.1 PARÂMETROS ESTATÍSTICOS.....	47

4.2 CLASSIFICAÇÃO NÃO HIERÁRQUICA DOS JATOS E VENTOS MÁXIMOS.....	49
4.3 ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP).....	54
4.4 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE A OCORRÊNCIA DOS JATOS DE NÍVEL BAIXO E A OCORRÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO.....	74
4.5 ANÁLISE DOS VARIOGRAMAS DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA E DOS SEUS DIAS DE EVENTO.....	88
4.6 ESTUDO DE CASO COM O USO DO MODELO MM5.....	94
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	125
5.1 CONCLUSÕES.....	125
5.2 RECOMENDAÇÕES.....	130
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132

LISTA DE TABELA

2. Revisão Bibliográfica

Tabela 2.1 – Escalas características da Atmosfera.....	6
Tabela 2.2 – Categorias dos JNB's.....	9
Tabela 2.3 – Categorias do Vento Máximo (VM).....	9

3. Material e Métodos

Tabela 3.1 – Estações Pluviométricas da ANA no Rio Grande do Sul.....	32
Tabela 3.2 – Estações Meteorológicas do 8º DISME no Rio Grande do Sul.....	33

4. Resultados

Tabela 4.1 - Dados estatísticos dos JNB's e VM's durante o ano, série de 01 de agosto de 1992 a 18 de janeiro de 2002.....	47
Tabela 4.2 – Distribuição da ocorrência de JNB entre o período de 01 de agosto de 1992 a 18 de janeiro de 2002.....	48
Tabela 4.3 – Distribuição da ocorrência de VM entre o período de 01 de agosto de 1992 a 18 de janeiro de 2002.....	48
Tabela 4.4 – Classificação não hierárquica dos JNB's em 10 classes médias.....	50
Tabela 4.5 - Classificação não hierárquica dos VM's em 10 classes médias.....	52
Tabela 4.6 – Variação das percentagens das Componentes Principais do Módulo do Vento e da Direção, entre os anos de 1992 e 2002, no horário das 09:00 horas local.....	62
Tabela 4.7 – Percentagens das componentes da ACP no período de 2001 nas estações de radiossonda de Uruguaiana e Porto Alegre.....	63
Tabela 4.8 – 2ª Componente da ACP dos eventos de JNB e de precipitação no período de 01 de abril a 19 de julho de 1995 sobre o Rio Grande do Sul.....	65
Tabela 4.9 – 3ª Componente da ACP dos eventos de JNB e de precipitação no período de 01 de abril a 19 de julho de 1995 sobre o Rio Grande do Sul.....	67
Tabela 4.10 – 4ª Componente da ACP dos eventos de JNB e de precipitação no período de 01 de abril a 19 de julho de 1995 sobre o Rio Grande do Sul.....	69
Tabela 4.11 – Total de precipitação associado a ACP entre o período de 1994 a 1997.....	70

Tabela 4.12 – Correlação dos sinais entre os JNB's e a Precipitação e os seus valores críticos (5%) obtidos das 10000 permutações, no período de 20 de março a 30 de junho de 1996.....	76
Tabela 4.13 – Correlação dos sinais entre os JNB's e a Precipitação e os seus valores críticos (5%) obtidos das 10000 permutações, no período de 01 de julho a 31 de outubro de 1996.....	77
Tabela 4.14 – Correlação dos sinais entre os JNB's e a Precipitação e os seus valores críticos (5%) obtidos das 10000 permutações, no período de 01 de janeiro a 25 de abril de 1997.....	82
Tabela 4.15 – Correlação dos sinais entre os JNB e a Precipitação e os seus valores críticos (5%) obtidos das 10000 permutações, no período de 13 de julho a 30 de setembro de 1997...	83
Tabela 4.16 – Percentagem da variância explicada pelo ajustamento do modelo linear.....	91
Tabela 4.17 - Comparação da percentagem da variância explicada pelo ajustamento do modelo linear com o sinal de ENOS, entre os anos de 1971 a 2000.....	92
Tabela 4.18 – Precipitação acumulada ocorrida entre os dias 24 e 25 de Julho de 2002 sobre o Rio Grande do Sul.....	102

LISTA DE FIGURAS

2. Revisão Bibliográfica

Figura 2.1- Perfil do vento no dia 01 de novembro de 1999, sobre Porto Alegre-RS.....	13
Figura 2.2 – Perfil do vento no dia 02 de novembro de 1999, sobre Porto Alegre-RS.....	13
Figura 2.3 – Imagens de satélite GOES-8 IR –4 dos horários 00, 03 e 12 UTC.....	14
Figura 2.4 – Imagem de satélite GOES-8 IR, do dia 20 de junho de 1997, 12UTC.....	18
Figura 2.5- Perfil do vento no dia 21 de junho de 1997, 12 UTC, sobre Porto Alegre-RS.....	18
Figura 2.6- Perfil do Vento no dia 22 de junho de 1997, 12UTC, sobre Porto Alegre-RS.....	19
Figura 2.7 – Perfil do vento no dia 23 de junho de 1997, 12UTC, sobre Porto Alegre-RS.....	19
Figura 2.8- Imagem de satélite GOES-8 IR, do dia 23 de junho de 1997, 12UTC.....	20
Figura 2.9 – Perfil do Vento, no dia 30 de novembro de 1998, 12UTC, sobre Porto Alegre-RS.....	23
Figura 2.10 – Imagem de satélite GOES 8 IR, do dia 30 de novembro de 1998, 12UTC.....	23
Figura 2.11- Imagem de satélite GOES-8 IR, no dia 02 de fevereiro de 1996, 12UTC.....	25
Figura 2.12- Perfil do vento, no dia 02 de fevereiro de 1996, 12UTC, sobre Porto Alegre-RS.....	25

3. Material e Métodos

Figura 3.1 - Mapa da distribuição espacial das estações Pluviométricas e Meteorológicas no Rio Grande do Sul.....	33
Figura 3.2 - Procedimento de lançamento do balão de radiossondagem no Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre.....	34
Figura 3.3 - Primeira componente do perfil da variância do vento em 30 pontos na vertical, em centenas de metros, sobre o Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre.....	38
Figura 3.4 - Segunda componente do perfil da variância do vento em 30 pontos na vertical, em centenas de metros, sobre o Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre.....	39

Figura 3.5 - Terceira componente do perfil da variância do vento em 30 pontos na vertical, em centenas de metros, sobre o Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre.....	39
Figura 3.6 - Quarta componente do perfil da variância do vento em 30 pontos na vertical, em centenas de metros, sobre o Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre.....	40
Figura 3.7 - Distribuição das correlações da série temporal entre a precipitação e os JNB, no período de 13 de julho a 30 de setembro de 1997.....	41
4. Resultados	
Figura 4.1 - Altura dos JNB's entre o período de 01 de agosto de 1992 a 18 de janeiro de 2002.....	49
Figura 4.2 - Primeira componente, mostrando a variância na vertical, em centenas de metros, do perfil do módulo do vento.....	55
Figura 4.3- Segunda componente, mostrando a variância na vertical, em centenas de metros, do perfil do módulo do vento.....	56
Figura 4.4 - Terceira componente, mostrando a variância na vertical, em centenas de metros, do perfil do módulo do vento.....	56
Figura 4.5 - Quarta componente, mostrando a variância na vertical, em centenas de metros, do perfil do módulo do vento.....	57
Figura 4.6 - Primeira componente, mostrando a variância na vertical, em centenas de metros, do perfil da direção.....	59
Figura 4.7 - Segunda componente, mostrando a variância na vertical, em centenas de metros, do perfil da direção.....	59
Figura 4.8 - Terceira componente, mostrando a variância na vertical, em centenas de metros, do perfil da direção.....	61
Figura 4.9 - Quarta componente, mostrando a variância na vertical, em centenas de metros, do perfil da direção.....	61
Figura 4.10 – Perfil vertical da variância da segunda componente da ACP do período de 01 de abril a 19 de julho de 1995, em centenas de metros.....	64
Figura 4.11 – Perfil vertical da variância da terceira componente da ACP do período de 01 de abril a 19 de julho de 1995, em centenas de metros.....	66

Figura 4.12 – Perfil vertical da variância da quarta componente da ACP do período de 01 de abril a 19 de julho de 1995, em centenas de metros.....	68
Figura 4.13 – Distribuição espacial da correlação entre os JNB e a precipitação sobre o Rio Grande do Sul, no período de 01 de julho a 31 de outubro de 1996.....	78
Figura 4.14 – Distribuição espacial da correlação entre os JNB's e a precipitação, com as séries temporais deslocadas em um espaço de tempo de 24 horas sobre o Rio Grande do Sul, no período de 01 de julho a 31 de outubro de 1996.....	79
Figura 4.15 – Distribuição espacial da correlação entre os JNB's e a precipitação, com as séries temporais deslocadas em um espaço de tempo de 48 horas sobre o Rio Grande do Sul, no período de 01 de julho a 31 de outubro de 1996.....	80
Figura 4.16 – Distribuição espacial da correlação entre os JNB's e a precipitação sobre o Rio Grande do Sul, no período de 13 de julho a 30 de setembro de 1997.....	84
Figura 4.17 – Distribuição espacial da correlação entre os JNB's e a precipitação, com as séries temporais deslocadas em espaço de tempo de 24 horas sobre o Rio Grande do Sul, no período de 13 de julho a 30 de setembro de 1997.....	85
Figura 4.18 – Distribuição espacial da correlação entre os JNB's e a precipitação, com as séries temporais deslocadas em um espaço de tempo de 48 horas sobre o Rio Grande do Sul, no período de 13 de julho a 30 de setembro de 1997.....	86
Figura 4.19 - Imagem do satélite GOES Infravermelho do dia 24 de julho de 2002, às 00:39 horas local.....	95
Figura 4.20 - Imagem do satélite GOES Infravermelho do dia 24 de julho de 2002, às 06:09 horas local.....	96
Figura 4.21 - Perfil vertical do vento em Uruguaiana no dia 24 de julho de 2002, às 09:00 horas local.....	96
Figura 4.22 - Perfil vertical do vento em Porto Alegre no dia 24 de julho de 2002, às 09:00 horas local.....	97
Figura 4.23 - Imagem do satélite GOES Infravermelho do dia 24 de julho de 2002, às 12:09 horas local.....	97
Figura 4.24 - Imagem do satélite GOES Infravermelho do dia 24 de julho de 2002, às 21:09 horas local.....	98

Figura 4.25 - Imagem do satélite GOES Infravermelho do dia 25 de julho de 2002, às 00:10 horas local.....	99
Figura 4.26 - Imagem do satélite GOES Infravermelho do dia 25 de julho de 2002, às 06:10 horas local.....	99
Figura 4.27 - Imagem do satélite GOES Infravermelho do dia 25 de julho de 2002, às 12:09 horas local.....	100
Figura 4.28 - Perfil vertical do vento em Uruguaiana no dia 25 de julho de 2002, às 09:00 horas local.....	101
Figura 4.29 - Perfil vertical do vento em Porto Alegre no dia 25 de julho de 2002, às 09:00 horas local.....	102
Figura 4.30 - Campo do vento do dia 23 de julho de 2002 às 18 horas local. A escala da velocidade do vento é dada em metros por segundo.....	105
Figura 4.31 - Campo do vento do dia 24 de julho de 2002 às 00 horas local. A escala da velocidade do vento é dada em metros por segundo.....	106
Figura 4.32 - Campo do vento do dia 24 de julho de 2002 às 03 horas local. A escala da velocidade do vento é dada em metros por segundo.....	107
Figura 4.33 - Campo do vento do dia 24 de julho de 2002 às 06 horas local. A escala da velocidade do vento é dada em metros por segundo.....	108
Figura 4.34 - Campo do vento do dia 24 de julho de 2002 às 09 horas local. A escala da velocidade do vento é dada em metros por segundo.....	109
Figura 4.35 - Campo do vento do dia 24 de julho de 2002 às 12 horas local. A escala da velocidade do vento é dada em metros por segundo.....	110
Figura 4.36 - Campo do vento do dia 24 de julho de 2002 às 15 horas local. A escala da velocidade do vento é dada em metros por segundo.....	111
Figura 4.37 - Campo do vento do dia 25 de julho de 2002 às 12 horas local. A escala da velocidade do vento é dada em metros por segundo.....	112
Figura 4.38 – Campo da água precipitável do dia 23 de julho de 2002 às 18 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.....	115
Figura 4.39 – Campo da água precipitável do dia 24 de julho de 2002 às 00 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.....	116

Figura 4.40 – Campo da água precipitável do dia 24 de julho de 2002 às 03 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.....	117
Figura 4.41 – Campo da água precipitável do dia 24 de julho de 2002 às 06 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.....	118
Figura 4.42 – Campo da água precipitável do dia 24 de julho de 2002 às 09 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.....	119
Figura 4.43 – Campo da água precipitável do dia 24 de julho de 2002 às 12 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.....	120
Figura 4.44 – Campo da água precipitável do dia 24 de julho de 2002 às 15 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.....	121
Figura 4.45 – Campo da água precipitável do dia 24 de julho de 2002 às 18 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.....	122
Figura 4.46 – Campo da água precipitável do dia 25 de julho de 2002 às 00 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.....	123
Figura 4.47 – Campo da água precipitável do dia 25 de julho de 2002 às 12 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.....	124

LISTAS DE SÍMBOLOS

\mathbf{a} – autovetor da matriz variância-covariância.

$^{\circ}\text{C}$ – graus Celsius.

$E[x]$ – valor esperado da variável x .

g – gramas.

Ghertz – medida de frequência, 10^9 ciclos por segundo.

h – horas

h – distância de discretização.

hPa . – hectoPascal.

kg . – Quilogramas.

km – Quilometro.

m – metros.

m^2 – metros quadrados.

m^3 – metros cúbicos.

Mb – megabytes

ms^{-1} – metros por segundo.

mm – milímetros.

$\text{var}[x]$ – variância de x .

\mathbf{S} – matriz variância-covariância.

X_i – variável randômica.

X – pontos de grade horizontal.

Y – pontos de grade vertical.

$Z(x)$ – variável randômica.

$\%$ – porcentagem.

$^{\circ}$ – graus.

\geq – maior ou igual.

$>$ – maior.

Gregos

α – letra grega Alfa.

β – letra grega Beta.

$\epsilon(\mathbf{x})$ – função autocorrelacionada randômica.

γ – letra grega Gama.

$\gamma(\mathbf{h})$ – semivariância.

ΔV – módulo da diferença de velocidades no perfil vertical do vento.

λ_p – raízes características ou autovalores.

μ – vetor médio de uma distribuição multivariada.

$\bar{\mu}$ – valor médio.

LISTAS DE SIGLAS

ACP – Análise das Componentes Principais.

CCM – Complexo Convectivo de Mesoescala.

CISK – “conditional instability of the second kind” (Instabilidade condicional de segundo tipo).

CLC – Camada Limite Convectiva.

CLE – Camada Limite Estável.

CLIVAR – “Climate Variability and Predictability Programme” (Programa de Predição e Variabilidade do Clima).

CLP – Camada Limite Planetária.

CMAS – Chuvas de Monção na América do Sul.

ENOS – El Niño-Oscilação Sul.

GPS – “Global position systems” (Sistema de posição global).

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

IR – Infravermelho.

JNB – Jato de Nível Baixo.

JNS – Jato de Nível Superior.

MESA – “Monsoon Experiment South America” (Experimento de Monção da América do Sul).

MM5 – “Model of mesoscale five” (Modelo de mesoescala de alta resolução).

MRF – “Medium range forecast” (Previsão de médio prazo).

NCAR – “National Center Atmospheric Research” (Centro Nacional de Pesquisas Atmosféricas).

NCEP AVN – “National Centers for Environmental Prediction Aviation Forecast” (Centro Nacional de Previsão com Fins Aeronáuticos).

RAM – “Random-access Memory” (memória de acesso aleatório).

ROL – Radiação de Onda Longa.

SCM – Sistemas Convectivos de Mesoescala.

TSM – Temperatura da superfície do mar.

USGS – “United States Geological Survey” (Pesquisa Geológica dos Estados Unidos).

UTC – “Universal Time Conversion” (Conversão do horário local no tempo universal com referência a Greenwich na Inglaterra).

VAMOS – “Variability of The American Monsoon Systems” (Variabilidade do Sistema de Monção da América).

VM – Vento Máximo.

1. INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

Diferentes estudos observacionais e simulações numéricas (Pitchford e London, 1962; Bonner, 1968; Stensrud, 1996; Higgins et al., 1997; Whiteman et al., 1997; Igau et al., 1998; Parsons et al., 2000 e Lackmann, 2002) realizados em diversas regiões do planeta mostraram que no interior da Camada Limite Planetária (CLP) existe normalmente uma estreita faixa vertical contendo ventos máximos que ocorrem em alturas de cerca de 100 metros ou mais, e cujos valores extremos são da ordem de 10 a 40 ms^{-1} , conhecido como Jato de Nível Baixo (JNB).

A presença de um JNB provoca um forte efeito no transporte de propriedades atmosféricas em alturas próximas à superfície, sendo um importante mecanismo de transporte de massa e energia entre regiões. A turbulência dentro da CLP traz associada ao JNB uma memória destas escalas espaciais e temporais, que estão intimamente ligadas ao gradiente vertical do perfil do vento. Tal estrutura apresenta uma rápida resposta baroclínica dentro da turbulência em escala sinótica. A frequência e o período destes gradientes verticais dão informação do comportamento destas escalas envolvidas e de suas intensidades.

Existe um determinado perfil vertical do vento, que ocorre dentro da CLP, em que ocorrem ventos fortes com magnitudes da ordem dos JNB's, mas não apresentam um perfil vertical de jato, não mostrando a existência de uma região de decaimento do módulo do vento, que normalmente existe acima do núcleo dos jatos. Sua intensidade pode aumentar com a altura até estar na atmosfera livre. Este perfil vertical é considerado como Vento Máximo (VM).

O cisalhamento que ocorre acima do núcleo do JNB, abaixo de 3000 metros, é representativo das escalas envolvidas nos processos atmosféricos na baixa atmosfera. Portanto, os JNB's desempenham enorme papel no transporte em baixos níveis na circulação atmosférica, através da rápida resposta das diferentes estruturas meteorológicas que compõem uma complexa interação sinótica. Por causa desta interação complexa há, no desenvolvimento

de modelagem numérica, em modelos regionais e climáticos, dificuldades na precisão dos resultados, pois os JNB's podem possuir escala espacial e vertical menor que a resolução dos modelos meteorológicos usuais. Estes modelos incorporam, portanto, incertezas na simulação dos JNB's que ocasionam a diminuição da sua precisão, implicando na imprecisão da suas respostas e afetando a representação dos processos atmosféricos. Esta situação ocorre especialmente no caso de frontogênese rápida associada aos processos de convecção na atmosfera. Além disso, os modelos apresentam dificuldades em representar os processos convectivos associados aos JNB's dentro da CLP, pois estão relacionados a diferentes escalas e forçantes, possuindo um ciclo predominantemente noturno em latitudes médias numa faixa entre 20 a 40 graus, em que os processos de transporte predominam em escalas temporais da ordem de 6 a 12 horas.

Dificuldades técnicas adicionais podem advir do fato de que os sistemas de observações operacionais não possuem malha e resoluções consistentes, pois existem poucas estações de radiossondagens para o monitoramento da baixa atmosfera, e também há dificuldades em razão de que muitos serviços de meteorologia não realizam observações noturnas. No presente momento, com o advento de novas tecnologias, há maior possibilidade de monitoramento dos perfis verticais do vento, facilitando um melhor entendimento das relações entre as escalas envolvidas. A estimativa espacial e temporal dos JNB's na baixa atmosfera pode ser realizada atualmente através de radiossondagens automáticas, com o uso de telemetria por "Global Position Systems - GPS" diferencial, ou através de outro tipo de sensoriamento remoto, como: radar meteorológico, perfilador de vento, sondas acústicas e "LIDAR" - sistema óptico com coleta de dados a base de laser.

Os JNB's apresentam variabilidade temporal de baixa frequência que está relacionada às escalas meteorológicas de períodos intra-sazonais, variando de escalas intersazonais até decênios. O monitoramento dos JNB's próximos à superfície sugere um potencial de predição destes eventos, podendo melhorar o entendimento das relações destes fenômenos que geram situações de tempo severo, com intensas precipitações pluviais. Os eventos de chuva intensa podem apresentar escalas espaço-temporais distintas e identificáveis como bloqueio (Kousky e Cavalcanti, 1984) e sistemas de mesoescala (Silva Dias, 1987).

Os JNB's atuam normalmente na circulação geral da atmosfera, contribuindo fortemente, ao lado de outros fatores, no transporte de umidade de regiões equatoriais para latitudes

médias, com conseqüente condensação e precipitação. Desta forma seu estudo é necessário em todas as regiões do globo, em que a sua existência seja significativa, pois é fundamental para a compreensão dos diferentes regimes meteorológicos. Na América do Sul, por exemplo, os estudos ainda são pouco numerosos, pois ainda não está bem definido o papel dos JNB's no transporte de vapor de água entre regiões, que não a Amazônia, como norte-noroeste da Argentina, Paraguai, Bolívia e região centro-oeste e sul do Brasil. É um tema complexo, apresentando várias áreas de intensa pesquisa, como demonstram os programas “Climate Variability and Predictability Programme” (CLIVAR) (Programa de Predição e Variabilidade do Clima), “Variability of The American Monsoon Systems” (VAMOS) (Variabilidade do Sistema de Monção da América) e “Monsoon Experiment South America” (MESA) (Experimento de Monção da América do Sul).

Neste contexto, a busca de maior entendimento e de conhecimento das relações dos JNB's com os diversos sistemas meteorológicos é muito importante, porque os JNB's são estruturas na baixa troposfera que participam em diversas escalas meteorológicas espaciais e temporais, sendo que, quanto mais intensos, apresentam maiores gradientes, resultando em uma estrutura complexa de interação de escalas, que acopla aspectos de meteorologia regional com o ciclo hidrológico. Por isso podem estar associados e interagindo com os modelos de circulação de escala continental (Arritt et. al., 1997).

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é o de analisar a influência dos JNB's em diferentes escalas meteorológicas e a sua associação com chuvas intensas, pois até o presente momento existem lacunas nos estudos que retratem tanto a descrição dinâmica dos processos turbulentos de transporte, como também, uma descrição do papel dinâmico realizado pelos Jatos de Nível Baixo na baixa atmosfera. Busca-se explicar sua participação nos fenômenos meteorológicos, relacionando a sua frequência e a sua magnitude com as escalas meteorológicas predominantes, que atuam sobre o Rio Grande do Sul.

A descrição das principais características e das escalas meteorológicas mais efetivas poderá mostrar a sua participação na geração de tempo severo, como nos máximos de precipitação; também a provável associação dos eventos de El Niño-Oscilação Sul, que tem grande influência econômica no estado do Rio Grande do Sul. O entendimento do processo físico que está associado a este transporte em baixos níveis poderia possibilitar e melhorar o conhecimento de sua influência no tempo meteorológico e nas conseqüentes implicações da variabilidade sazonal e intersazonal. A complexidade das ligações de diferentes escalas meteorológicas interagindo ao mesmo tempo dificulta a descrição destes processos. Portanto, algumas questões relacionadas aos JNB's foram colocadas:

- Qual é a estrutura, tipologia e a predominância dinâmica do perfil vertical do vento, em situações com a existência de fluxos ou com JNB?
- Existem tipos específicos de perfis verticais associados à ocorrência de convecção e de precipitação? Que perfis seriam estes?
- Existiria tendência nas escalas intra-sazonais e intersazonais associadas aos JNB's?
- Os eventos de precipitação máxima estão associados a intensos processos convectivos e, portanto, partes destes processos poderiam estar relacionadas ao transporte realizado pelos JNB's. Poderia esta relação ser confirmada, se os JNB's apresentam características físicas de predominância (direção e intensidade)? Pois os máximos de precipitação poderiam ter características temporais influenciadas pelo ciclo da existência dos JNB's. E tal relação poderia ser responsável por uma possível tendência espacial e temporal destes máximos de precipitação.
- Em processos de frontogênese, pode ocorrer a presença de JNB. Qual seria o comportamento dinâmico e meteorológico neste desenvolvimento e quais as possíveis magnitudes e intensidades dessas escalas, vertical e horizontal?

Tais fatos realçam a importância deste estudo, pois uma melhor compreensão das interações dos JNB's com os diversos fenômenos meteorológicos pode contribuir significativamente para aumentar o conhecimento dos processos efetivos de transporte na baixa atmosfera. Trata-se de um processo dinâmico, no qual as estruturas sinóticas interagem

e realizam a ligação de uma escala meteorológica de atuação continental com processos meteorológicos regionais, ao nível de meso e macro escalas. Muitos pontos descritos acima são áreas ainda de intensa pesquisa e o maior conhecimento sobre estes temas ocasionaria uma ampliação de forma significativa no entendimento da variabilidade climática no Rio Grande do Sul.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPECTOS FÍSICOS DAS ESCALAS ESPACIAL E TEMPORAL

No estudo do comportamento das escalas e estruturas predominantes segue-se a divisão das escalas meteorológicas proposta por Orlanski (1975), dividindo em três escalas principais: macro, meso e micro escala (Tabela 2.1). A Tabela 2.1 mostra que a chave do processo físico entre as escalas, é definida ao longo da diagonal no diagrama espaço-tempo. Esta diagonal essencialmente apresenta a combinação particular entre as escalas espacial e temporal envolvidas. Os fenômenos de grande escala, tais como ondas planetárias, não atuam sobre os períodos mais curtos de tempo e, também, o processo turbulento não persiste mais que uns poucos minutos no tempo. Porém, nesta diagonal as escalas envolvidas com o JNB são as escalas que podem coexistir tanto na direção de escalas maiores como também para escalas menores.

Dentro dessa estrutura o JNB é responsável pelo grande impacto no transporte de vapor de água na baixa atmosfera, sendo uma escala de Meso, típica Meso β , com ciclo diário e com uma escala espacial da ordem de 10 km ou mais. Portanto, tal comportamento tem profundo efeito nos processos de transporte na baixa atmosfera.

A variabilidade dos JNB's é bastante grande, tanto na horizontal quanto na vertical. Na vertical, o perfil do vento pode apresentar o máximo de intensidade nas alturas entre 100 metros e 3000 metros. Na horizontal o JNB pode estender-se em uma distância entre 10 km e mais de 1000 km de comprimento, o que caracteriza uma escala continental, e sua dimensão zonal (largura) pode chegar à ordem de 500 km. As variações dos JNB's também podem

ocorrer em função da latitude. Smith e Mahrt (1981), indicam a latitude de 30 graus como a latitude crítica em que a resposta da camada limite é máxima e a frequência dos forçantes é igual ao parâmetro de Coriolis.

Tabela 2.1 – Escalas características da atmosfera, Orlanski (1975).

ESCALAS DISTÂNCIA	TEMPO				
	1 Mês	1 Dia	1 Hora	1 Min.	1 Seg
Macro α	10000 km	Ondas Planetárias			
Macro β	1000 km	Ondas Baroclínicas			
Meso α	100 km	Frentes			
Meso β	10 km	Jatos de Nível Baixo			
Meso γ	1 km	Brisas de Mar	Trovoadas/CAT		
Micro α	100 m			Tornados	
Micro β	10 m				Térmicas Fracas
Micro γ	1 m				Plumas
ESCALAS					
Climatológico Sinóticos		Meso		Turbulência	

Alguns pesquisadores, como Paegle e McLawhon (1983), sugerem uma fase de aproximadamente de 10 horas entre 40 e 20 graus de latitude. Exemplos dessa variabilidade são os trabalhos de Gerhardt (1962), Izumi e Barad (1963), Bonner (1968), Raymond (1978), Anderson (1976), Malcher e Kraus (1983), Chen e Kpaeyeh (1993), Augustine e Caracena (1994), Whiteman et al. (1997), Stenrud (1996), Higgins et al. (1997), Chen et al. (1998), Douglas et al. (1998) e Marengo et al. (2000).

Investigações têm mostrado que existem vários fatores, isolados ou em conjunto, podendo influir na formação dos JNB's. O trabalho de Kraus et al. (1985) mostra os seguintes fatores: a baroclinicidade em escala sinótica associada às situações meteorológicas, a baroclinicidade associada com superfícies inclinadas, as acelerações advectadas no campo do vento, as canalizações e confluências ao entorno de barreiras montanhosas, a circulação de brisa de terra e mar, os ventos de montanha e vale e as oscilações inerciais no campo do vento.

Estes forçantes em conjunto ou isolados podem gerar diferentes intensidades de escalas espaciais e intensidades de JNB's.

Na mudança da Camada Limite Convectiva (CLC) para estável, os grandes turbilhões que caracterizam a CLC extraem a sua energia do fluxo de calor turbulento positivo superficial, em forte insolação. Meia hora antes do pôr-do-sol, o fluxo turbulento de calor torna-se negativo de modo que o forçante básico que mantém a sua estrutura desaparece e, como consequência, o resfriamento da superfície da terra por radiação de onda longa, torna-se importante dando início à formação de uma Camada Limite Estável (CLE). Durante o desenvolvimento da CLE, após a mudança de sinal do fluxo de calor na superfície, a turbulência começa a decair e passa a ser dominada por pequenos turbilhões isotrópicos, resultando em uma estrutura turbulenta estável estratificada, na qual os pequenos turbilhões perdem a informação da superfície e a CLE torna-se desacoplada dos forçantes superficiais.

Essa estrutura é fortemente influenciada pela taxa de resfriamento radiativo e pela taxa de advecção da turbulência mecânica. O balanço destes fluxos resulta em diferenças no comportamento da CLE. Estas diferenças, por sua vez, implicam em distintas intensidades e magnitudes de escalas no seu interior. Segundo Blackadar (1957), a ausência dos grandes turbilhões leva ao desacoplamento entre as partes da camada, gerando muitas vezes um fluxo supergeostrófico, ou seja, o JNB.

O JNB implica em um efetivo transporte dentro da CLP, através desta estrutura complexa podendo apresentar seu ciclo temporal no decorrer de uma noite. Este mecanismo é influenciado significativamente pela taxa de resfriamento da superfície e da baixa atmosfera, bem como pelo desacoplamento entre as camadas que compõem a CLP. A presença destes mecanismos distintos de forçantes, segundo Brost e Wyngaard (1978), complicam de um modo significativo a descrição da CLP, ou seja, ela é um sistema físico em contínua evolução, em que a turbulência não é eficiente em estabelecer o equilíbrio com os forçantes superficiais devido ao tempo de relaxação ter a mesma duração da sua existência.

Podem-se fazer distinções entre jatos associados a forçantes de escala sinótica, apresentando regiões de alta velocidade de vento com centenas de quilômetros, de jatos mais fracos que têm um significativo ciclo diário ou de ocorrência restrita em regiões específicas e localizadas.

Reiter (1963, 1969), argumenta que os jatos que têm significativo ciclo diário e estão associados com o desenvolvimento de inversão noturna deveriam ser nomeados de vento máximo de inversão, embora apresentando pequeno cisalhamento horizontal. Somente aqueles jatos com apreciável cisalhamento vertical e horizontal deveriam ser denominados JNB. Contudo, o termo vento máximo de inversão não tem sido usado na literatura e o termo JNB tem sido usado extensivamente para jatos na baixa troposfera de todos os tipos.

Os JNB's com grande cisalhamento e intensa frontogênese têm grande importância no processo de transporte de umidade e calor sensível na baixa atmosfera. Uccellini e Johnson (1979) observaram que este transporte, realizado pelo JNB, aumenta a transferência de umidade por um fator de três e a transferência de calor sensível por um fator de dois, sendo um mecanismo efetivo de otimização dos processos físicos no desenvolvimento dos sistemas meteorológicos.

O transporte realizado pelo JNB pode ser suscetível a apresentar determinadas instabilidades dinâmicas. Raymond (1978) discute algumas dessas estruturas convectivas, podendo ser simétricas e paralelas em linha e em banda, mostrando a associação entre regiões de convergência na superfície e o movimento vertical próximo do topo da Camada Limite Planetária. Esta estrutura descrita pode causar grande impacto no balanço hídrico, pois gera picos de precipitação noturna, podendo não ser observada nas redes de observação de superfície e nem ser simulada pelas resoluções dos modelos numéricos atuais.

Os JNB's são classificados quanto à intensidade e ao cisalhamento vertical do módulo do vento, seguindo-se a classificação proposta por Bonner (1968) e modificada por Whiteman et al. (1997), em que foi agregada uma nova categoria (JNB Fraco) proposta por Corrêa et al. (2001), que é apresentada na Tabela 2.2. Para as situações que não caracterizam JNB utiliza-se uma classificação para Ventos Máximos (VM) que é apresentada na Tabela 2.3, utilizando-se de uma classificação similar à anterior, mas sem o critério do cisalhamento vertical associado às situações de jato e também sem a classe de JNB Fraco. As escalas sinóticas descritas apresentam a ocorrência de JNB em diferentes épocas do ano e diferentes escalas de tempo, em que mostra ciclos predominantes entre 1 a 5 dias porém podem variar numa escala de 1 a 10 dias, segundo Nicolini et al. (2002).

Tabela 2.2 – Categorias dos JNB's.

JNB Categoria	Definição	
	$V_{\text{máx}}$ (ms^{-1})	ΔV (ms^{-1})
JNB Fraco	> 6	≥ 5
JNB-0	≥ 10	≥ 5
JNB-1	≥ 12	≥ 6
JNB-2	≥ 16	≥ 8
JNB-3	≥ 20	≥ 10

Tabela 2.3 – Categorias do Vento Máximo (VM).

VM Categoria	Definição
	$V_{\text{máx}}$ (ms^{-1})
V M-0	≥ 10
V M-1	≥ 12
V M-2	≥ 16
V M-3	≥ 20

O termo $V_{\text{máx}}$ representa o valor do módulo do vento no nível do JNB e o termo ΔV significa o valor do módulo do decaimento da velocidade do vento acima do núcleo do JNB até a altura de 3000 metros.

2.2 ASPECTOS SINÓTICOS ASSOCIADOS AO JNB.

Devido à complexidade de interação nas escalas que são envolvidas na dinâmica com os JNB's, procurou-se fazer uma abordagem do problema caracterizando as principais escalas temporais e espaciais envolvidas, os sistemas convectivos de mesoescala, as variações sazonais de inverno e de verão e as escalas intersazonais como El Niño-Oscilação Sul (ENOS).

2.2.1 SISTEMAS DE MESOESCALA

O vigoroso transporte realizado pelo JNB pode ser susceptível a apresentar determinadas instabilidades dinâmicas gerando situações de tempo meteorológico severo, sistemas convectivos de mesoescala (SCM). Raymond (1978) discute algumas dessas estruturas convectivas, podendo ser simétricas e paralelas em linha e em banda, mostrando a associação entre regiões de convergência na superfície e o movimento vertical próximo do topo da CLP. Tal comportamento afeta a distribuição espacial da precipitação, gerando grupos com valores máximos simétricos e paralelos ou em banda.

Maddox e Doswell III (1982) apresentaram estudos de casos em que ocorreram intensas trovoadas convectivas, não apresentando o mesmo modelo sinótico clássico para trovoadas severas que têm sido extensivamente documentado, sugerindo que o aquecimento pela condensação e a advecção de calor na baixa troposfera esteja associado ao transporte realizado pelo JNB, dominando a advecção de vorticidade diferencial na média troposfera, forçando movimentos ascendentes na vertical e resultando na organização de eventos convectivos e na geração de Sistemas Convectivos de Mesoescala.

O trabalho de Uccellini e Johnson (1979) mostra que os Jatos de Nível Superior (JNS) e os JNB podem estar freqüentemente acoplados pelos ajustamentos de massa na vertical, que pode ocorrer com a propagação dos JNS's. Este transporte na baixa troposfera ajuda a criar um ambiente favorável para o desenvolvimento de severas trovoadas, especialmente quando essa

interação dos jatos ocorre através da interseção dos eixos de forma perpendicular na horizontal e ocorrendo dentro da região de saída dos JNS's. Conforme Guedes e Silva Dias (1984), Velasco e Fritch (1987), Sugahara e Rocha (1994), Stensrud (1996) e Chin et al. (1998) estes processos ocorrendo na baixa troposfera, associados ou não à circulação que está ocorrendo na alta troposfera em latitudes médias, geram uma complexa estrutura, atuando na geração de tempo severo e intensa precipitação.

Na América do Sul, uma situação de grande importância é a circulação que ocorre através do JNB a leste dos Andes, ocasionando uma circulação entre a Bacia do Amazonas e a Bacia do Prata. A Amazônia é a fonte de umidade que inicialmente vem do Atlântico tropical e ganha umidade devido à evapotranspiração na floresta Amazônica. Esta umidade é transportada pelo JNB para a Bacia do Prata. Este fluxo de norte atinge os estados da região Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil, Bolívia, Paraguai, Uruguai e norte e nordeste da Argentina, exemplificando a importância deste processo para a formação e a manutenção das frentes e SCM, causando intensa precipitação (Berri e Inzunza, 1993; Severo, 1994; Noguez-Paegle e Mo, 1997; Paegle, 1998; Douglas et al., 1998; Saulo et al., 2000; Seluchi e Marengo, 2000; Nicolini et al., 2002 e Barros et al., 2002).

Um exemplo de desenvolvimento de um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) associado à uma onda curta em nível médio ocorreu nos dias 1 e 2 de novembro de 1999, sendo observado nas Figuras 2.1 e 2.2 os perfis da velocidade do vento para estes dias, às 0900 horas locais, no Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre. Percebe-se a presença, no dia 01 de novembro de 1999, de um jato do tipo JNB-2, ocorrendo em uma altura em torno de 1000 metros, com intensidade de 16 ms^{-1} e $\Delta V \approx 9 \text{ ms}^{-1}$ e com sentido de noroeste para o sudeste, com direção de 330 graus. No dia 02 de novembro de 1999, apresenta um jato do tipo JNB-1, ocorrendo em uma altura de 500 metros, com intensidade de $12,5 \text{ ms}^{-1}$ e $\Delta V \approx 11 \text{ ms}^{-1}$ e com sentido de norte para o sul, com direção de 360 graus.

Os JNB's estão associados à Camada de Mistura (CM) vigorosa, com alturas próximas da altura do núcleo do jato, características de um perfil de resfriamento radiativo turbulento e podendo estar associados a extensas camadas de nebulosidade baixa do tipo stratocumulus. No caso do dia 02 de novembro de 1999, na imagem das 03 UTC (Figura 2.3) apresenta a ocorrência de três linhas de instabilidade em estrutura de banda de nebulosidade. Tais bandas

de nebulosidade poderiam existir até esse estágio e se dissolverem, ou poderiam desenvolver e atingir o estágio de CCM.

No conjunto das imagens de satélite da Figura 2.3 (GOES-8, sensor infravermelho, canal quatro, horários 00, 03 e 12 UTC) observa-se, no decorrer da noite do dia 02, o desenvolvimento de um CCM no oeste/norte do Rio Grande do Sul. Este CCM durante sua formação deslocou-se para nordeste, em direção ao sul do Paraguai e sul do Mato Grosso do Sul e este tipo de trajetória já foi observado por Figueiredo e Scola (1996), estando interligado em níveis altos na troposfera. Sobre a região do estado de Mato Grosso do Sul, oeste do Paraná e oeste de Santa Catarina há uma forte divergência em altitude, estando associada a uma corrente de Jato em Nível Superior.

Em níveis médios este sistema meteorológico também estava associado a um vórtice ciclônico (onda curta) no litoral da Argentina e sul do Uruguai. Este fluxo em nível baixo para o sul transportando calor e umidade, é uma fonte de umidade para condensação. Neste exemplo, com a ocorrência de uma frontogênese rápida associada à passagem de uma onda curta em níveis médios dentro da troposfera, apresenta-se a formação de um JNB sobre a região de advecção, em que no hemisfério sul tem a direção de norte/noroeste, e está posicionada a leste e sudeste da propagação do CCM, segundo Corrêa e Dallarosa (2000).

O aquecimento gerado pelo calor latente resulta em um incremento na espessura adiante do cavado de onda curta, para níveis superiores adicionando profundidade no vórtice ciclônico de onda curta. O JNB desenvolve-se através da atuação da força de Coriolis no fluxo do vento ageostrófico, em resposta ao incremento do gradiente de pressão relacionado ao desenvolvimento do ciclone, sendo realçado pelo aquecimento gerado pelo calor latente.

Os aquecimentos pela condensação e a advecção de calor excedem o resfriamento adiabático, gerado pela expansão, à frente do ciclone na baixa troposfera. Em contrapartida o resfriamento gerado pela evaporação e a advecção fria excede o aquecimento adiabático atrás do ciclone na baixa troposfera.

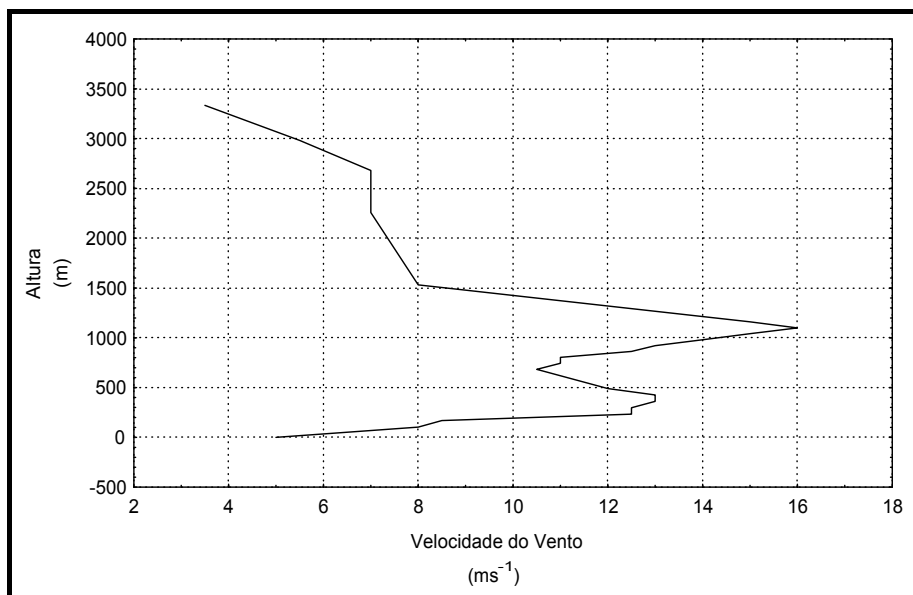


Figura 2.1- Perfil do vento no dia 01 de novembro de 1999, sobre Porto Alegre-RS.

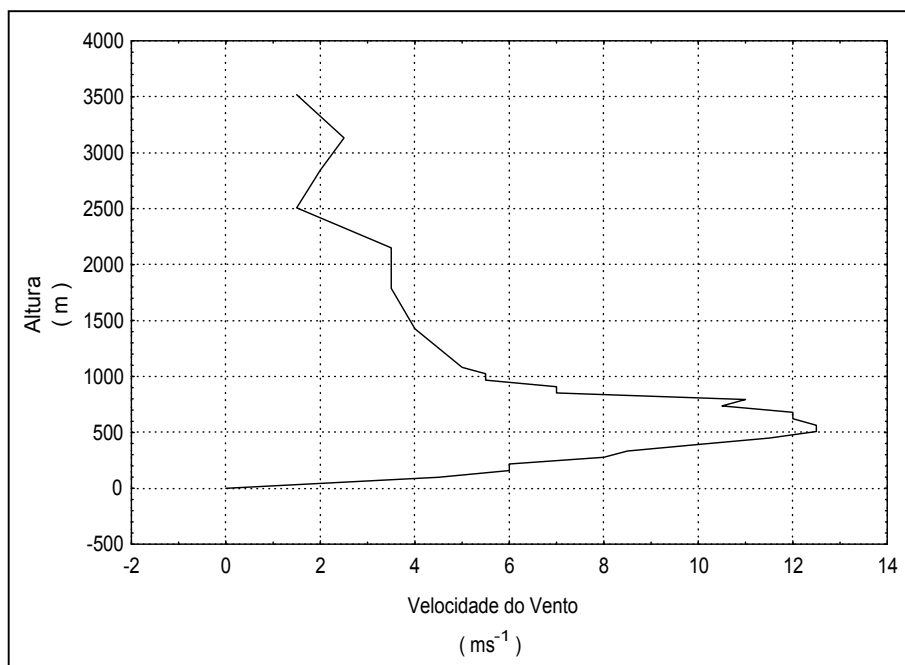


Figura 2.2 – Perfil do vento no dia 02 de novembro de 1999, sobre Porto Alegre-RS.

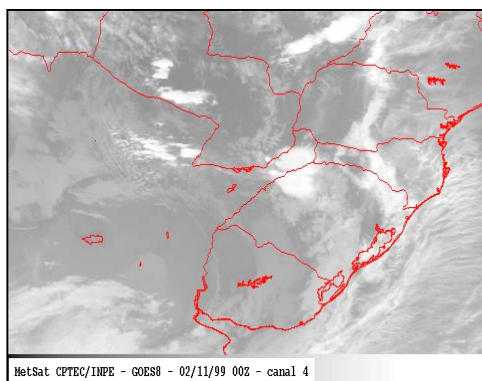


Imagem das 00 UTC.

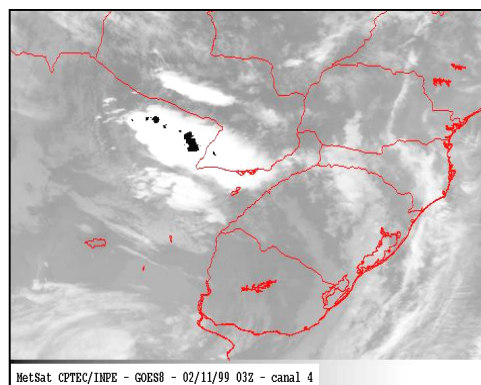


Imagem das 03 UTC.

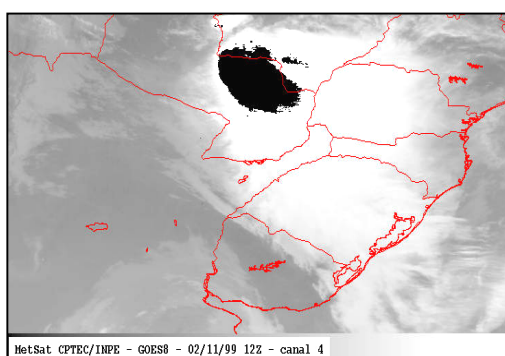


Imagem das 12 UTC.

Figura 2.3 – Imagens de satélite GOES-8 IR –4 dos horários 00, 03 e 12 UTC.

As imagens da Figura 2.3 apresentam manchas pretas que representam o limite superior da escala de tons de cinza e podem ser interpretados como os valores máximos de temperatura negativa e correspondendo a regiões de intensa convecção.

Portanto, ambas situações realçam a baroclinicidade em nível baixo e segundo Chen et al. (1996), a interação destes processos não-lineares leva a uma maior intensificação dos JNB's e de convergência de vapor de água na CLP.

Este processo de desenvolvimento transcorreu durante a noite, culminando com a maior intensidade no final da noite e início da manhã. Tais situações apresentam uma tendência de os picos de precipitação, associados aos SCM, ocorrerem no oeste/ noroeste/ norte do Rio Grande

do Sul, apresentando escalas temporais da ordem de 2 a 24 horas, gerando altos índices de precipitação, sendo de enorme importância e de grande dificuldade na previsão de tempo em curto prazo, segundo Silva Dias (1987).

2.2.2 VARIAÇÕES SAZONAIS E INTERSAZONAIS

2.2.2.1 ASPECTOS DE VARIAÇÃO SAZONAL NO INVERNO

Utilizando-se de um modelo conceitual da circulação geral da atmosfera em regiões em que caracterizam as latitudes médias, são apresentadas determinadas circulações definidas como a célula de Hadley e de Ferrel, apresentando um padrão quase permanente. Estas células caracterizam uma estrutura dinâmica de frontogênese associada à corrente de jato superior, no qual podem existir vários núcleos de jatos de nível superior, com diferentes intensidades e diferentes alturas, sendo dados nomes diferentes conforme a latitude: em direção aos trópicos, Jato Subtropical e na direção dos pólos, Jato Polar.

Palmén (1951) expressou a conexão entre a circulação de Hadley dos trópicos e a formação e manutenção dos JNS's. Os jatos em nível alto dentro da troposfera estão associados a regiões de divergência e convergência, através de ondas na média e alta troposfera, as quais apresentam regiões bem pronunciadas e com intensos ventos.

Esta significativa estrutura de circulação planetária pode existir em diferentes latitudes e com múltiplos sistemas de corrente de jato associados, algumas se estendendo por longas distâncias, e, frequentemente, os jatos podem estar conectados em torno de cada hemisfério. Tal estrutura de circulação atmosférica é muito eficiente e de suma importância no transporte de vapor de água realizado entre os trópicos e as latitudes médias.

Uccellini e Johnson (1979) mostraram que determinados JNB's têm o seu desenvolvimento acoplado ao JNS pelo ajustamento de massa entre as duas camadas dentro da região de saída do JNS, caracterizando um modelo de circulação transversa, sendo a geometria deste ajustamento resultante da combinação da forte advecção de ar quente e úmido em baixos níveis com o ar frio e seco no nível do JNS. A atuação conjunta destas escalas produz advecções diferenciais que instabilizam a atmosfera e podem gerar profunda convecção. Estes

conceitos de divergência e convergência acoplados a este modelo de circulação transversa resultam no desenvolvimento das condições favoráveis para a geração de tempo severo, com intensas trovoadas.

Cotton e Anthes (1989) observam a existência de instabilidade condicional, convectiva e cavados de onda curta em níveis médios, os quais podem estar associados. Neste caso, devem atuar por um tempo suficiente para que os Cumulonimbus iniciais (as nuvens de maior desenvolvimento vertical) transformem-se num Complexo Convectivo de Mesoescala.

As situações anteriores descrevem parte do comportamento característico das relações entre as escalas meteorológicas no inverno no sul do Brasil. No verão os JNS's passam a atuar em latitudes mais altas e, conseqüentemente, são mais fracos sobre as latitudes médias, diminuindo sua influência.

2.2.2.2 ESCALAS INTERSAZONAIS - EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL

Pode ocorrer uma variabilidade meteorológica bem grande, de ano para ano, sobre a região sul do Brasil. Associados a estas mudanças, os JNS's apresentam mudanças sazonais. O hemisfério sul no inverno possui um maior gradiente de temperatura entre o Equador/Pólo, resultando em JNS's mais intensos e persistentes. No verão, os JNS's apresentam gradientes e valores de vento mais fracos, porém continuam atuando, de forma mais fraca. Os JNB's acoplados aos JNS's acompanham esse comportamento sazonalmente.

Os dados de radiossondagens realizadas no Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre, segundo Corrêa et. al. (2001), revelam que os JNB's apresentaram valores na média mais intensos no inverno, em torno de 20% maiores, e a altura dos JNB's mostraram diferenças de 40% entre os meses de inverno/verão, sendo mais baixos no inverno.

Tal variação pode ser intensificada em situações de El Niño-Oscilação Sul (ENOS), em que estudos de Radiação de Onda Longa (ROL) e anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) mostram a existência de teleconexões sobre o Pacífico e o Atlântico Tropical, exercendo influência sobre as chuvas na América do Sul, segundo Wallace e Gutzler (1981), Hoskins e Ambrizzi (1993), Figueroa (1997) e Veiga et. al. (2002).

As anomalias de TSM do Pacífico influenciam as chuvas de monção na América do Sul (CMAS), modulando a intensidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul e do vórtice ciclônico de altos níveis. Quando a influência é do Oceano Atlântico, os sistemas meteorológicos causadores de chuva seriam de dinâmica local, em que as anomalias negativas de TSM produziriam gradientes de temperatura entre o oceano e o continente mais forte, e com maior intensidade na circulação anticiclônica, aumentando o transporte de umidade para o continente e, conseqüentemente, aumentando a quantidades de chuva na região de CMAS. Isto indica que a ocorrência de efeitos regionais interage com os de grande escala, causando variações devido aos forçantes remotos e locais.

Conforme estudado por Kousky e Cavalcante (1984), nos anos de ENOS ocorre uma implementação da intensidade dos JNS's, teleconexão do Pacífico, de maneira que apresenta um padrão de escoamento na alta troposfera que caracteriza situações de bloqueio, sendo ligado a intensas precipitações, como ocorrem na região sul do Brasil, Uruguai e Argentina.

Chu (1991) investigou as anomalias climáticas no Brasil, associadas ao ENOS, observando que, nos anos de El Niño, as precipitações na região sul do Brasil tendem a ficar acima do normal de Abril a Dezembro e de Março a Julho do ano seguinte, com os maiores valores em Maio e Junho. Em tais situações de ENOS, os JNS's são mais intensos e persistentes, ficando acima do normal; como existe o acoplamento já descrito por Uccellini e Jonhson (1979), os JNB's também apresentam valores muito mais intensos.

O ano de 1997 foi caracterizado por intenso sinal de ENOS. A Figura 2.4, com a imagem IR GOES-8 do dia 20 de junho às 12 UTC, apresenta um característico bloqueio do JNS sobre a Argentina, mostrando uma forma triangular com nuvens médias/altas sobre a região. As Figuras 2.5, 2.6 e 2.7 mostram, a partir do dia 21 até o dia 23 de junho, a ocorrência de intensos JNB's do tipo JNB-3, com velocidades da ordem de 30 ms^{-1} e a direção de 300/310 graus e altura de 700/750 metros, conforme radiossondagens realizadas no Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre.

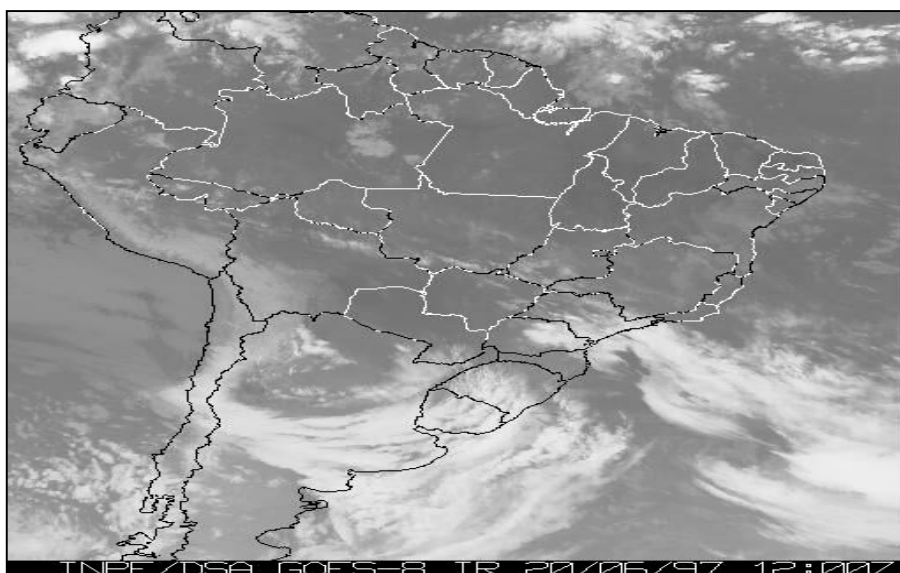


Figura 2.4 – Imagem de satélite GOES-8 IR, do dia 20 de junho de 1997, 12UTC.

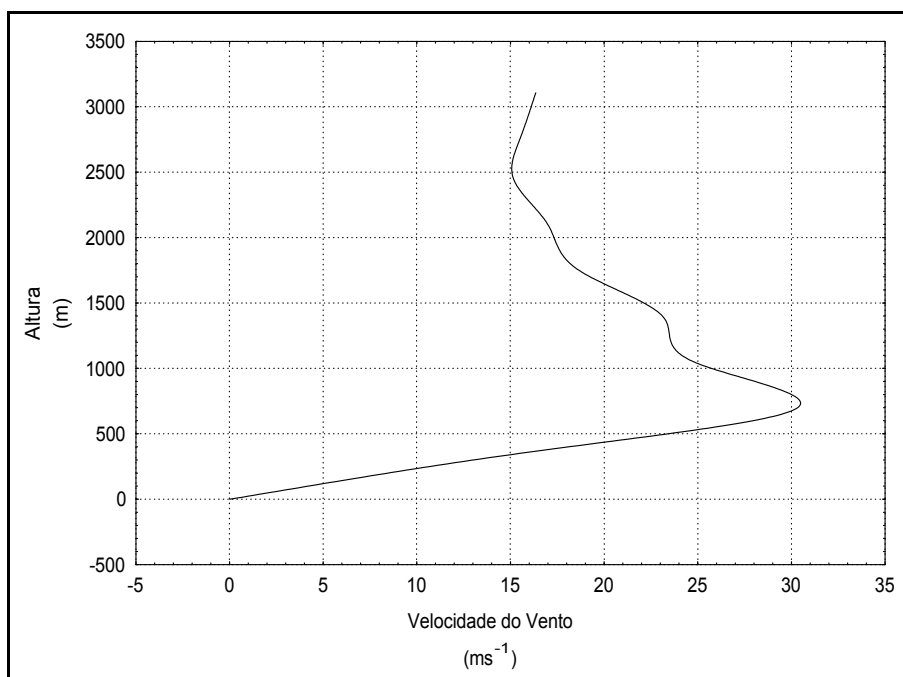


Figura 2.5- Perfil do vento no dia 21 de junho de 1997, 12 UTC, sobre Porto Alegre-RS.

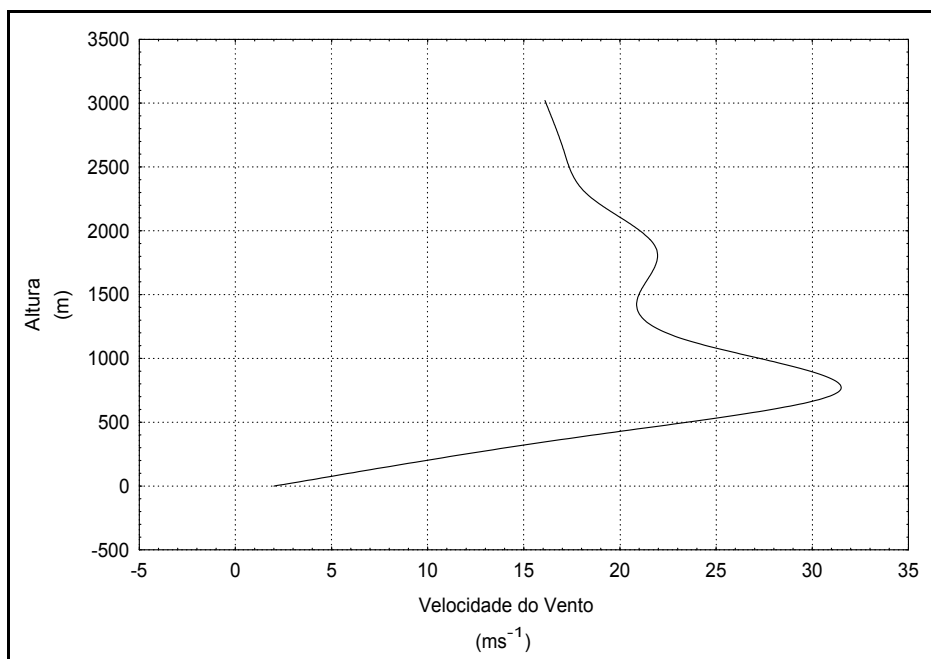


Figura 2.6- Perfil do Vento no dia 22 de junho de 1997, 12UTC, sobre Porto Alegre-RS.

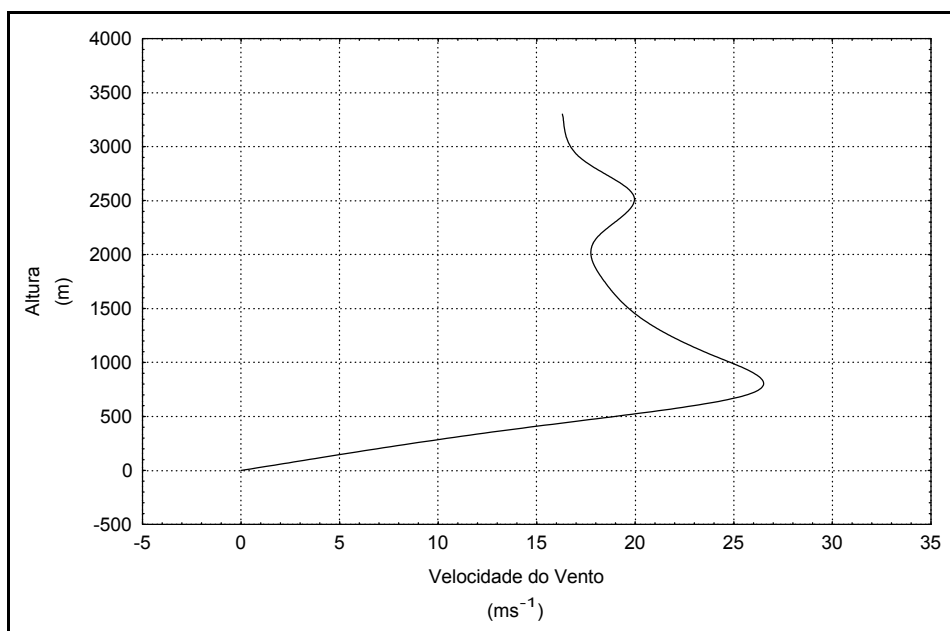


Figura 2.7 – Perfil do vento no dia 23 de junho de 1997, 12UTC, sobre Porto Alegre-RS.

A Figura 2.8, da imagem GOES-8 IR do dia 23 de junho de 1997 às 12UTC, apresenta o padrão de circulação na alta troposfera associado ao JNS, caracterizando ventos fortes e persistentes em altitude e caracterizando uma situação de bloqueio.

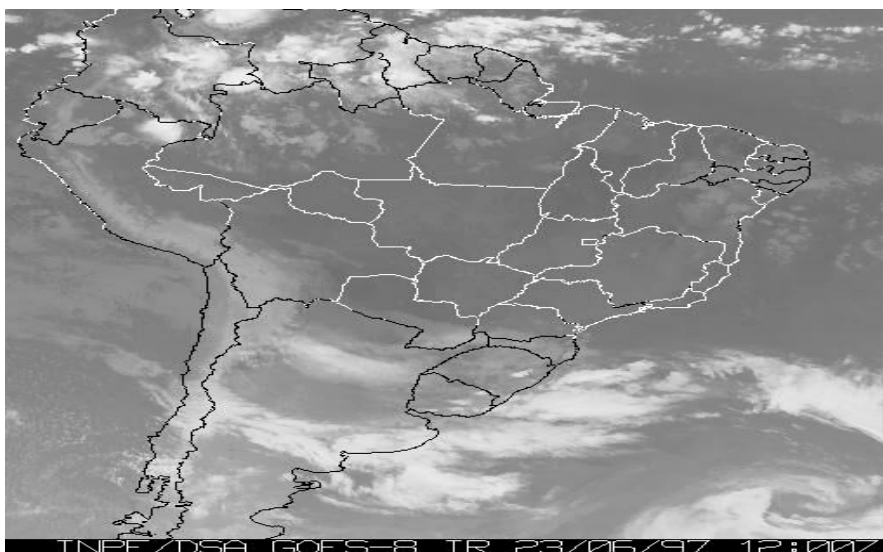


Figura 2.8- Imagem de satélite GOES-8 IR, do dia 23 de junho de 1997, 12UTC.

Existe uma idéia generalizada na literatura que os CCM ocorrem com maior freqüência sobre o oeste/noroeste do Rio Grande do Sul (oeste da região sul do Brasil), em que os máximos de precipitação acompanhariam este comportamento, porém os mecanismos mais intensos associados aos JNB's e JNS's mais intensos ocorrem em situações de El Niño e, portanto, possivelmente possuam uma configuração espacial diferente na precipitação, com sistemas convectivos mais intensos e com valores máximos de precipitação mais ao sul, sobre o Uruguai e sudoeste/ sul do Rio Grande do Sul.

No verão, devido às escalas de tempo convectivas serem mais freqüentes, tem-se maior ocorrência de JNB's associados aos SCM's no oeste/noroeste do Rio grande do Sul, mas estas relações no presente momento não foram bem esclarecidas, podendo-se buscar um melhor entendimento deste comportamento.

2.2.2.3 ASPECTOS DE VARIAÇÃO SAZONAL NO VERÃO

No verão diminui a influência do JNS devido ao enfraquecimento de sua intensidade, porém continua ainda atuando e participando na geração das situações sinóticas de forma mais fraca. Como o continente sul americano passa a ser aquecido pela radiação solar de forma mais intensa, este aquecimento do continente apresenta no centro-oeste uma circulação na alta troposfera, podendo ser vista no escoamento médio de 250 hPa, apresentando uma circulação anticiclônica fechada, chamada de Alta da Bolívia, em que caracteriza uma região de intensa divergência em altitude e com a presença de um cavado sobre o nordeste brasileiro.

De abril a julho a Alta da Bolívia migra para o noroeste, deixando o escoamento mais zonal sobre a maior parte da América do Sul. Esta circulação aparece principalmente como reflexo da liberação de calor latente na coluna troposférica, devido à forte atividade convectiva na região tropical, conforme Kousky e Kagano (1980), Hoskins e Karoly (1981), Nobre (1983) e Silva Dias et al. (1983).

Com esta circulação pode-se inferir que a região amazônica atua como intensa fonte de calor para a atmosfera. A delimitação no lado oeste pela Cordilheira dos Andes atua como barreira natural ao escoamento predominante dos alísios nos baixos níveis, confinando a maior bacia de drenagem e a maior floresta tropical do mundo, fatores estes que contribuem para uma grande taxa de evapotranspiração na região e, conseqüentemente, grande precipitação.

Gandú e Geisler (1992) e Figueroa et al. (1995) mostraram que os Andes exercem um papel fundamental no estabelecimento do escoamento de norte, como uma barreira natural em baixos níveis, com a sua encosta leste atuando de forma importante sobre as fontes de calor e umidade que inicialmente vêm do Atlântico tropical e são incrementadas devido à evapotranspiração.

Em outubro e novembro esta atividade desloca-se em direção ao sul, sobre o oeste da Amazônia, podendo continuar até atingir regiões mais ao sul e sudeste, alcançando a Bacia do Prata e a região sul do Brasil. Em março, a atividade começa a deslocar-se de volta em direção ao norte, estando em abril localizada sobre o rio Amazonas.

De maio a junho os máximos em precipitação deslocam-se para o norte na direção da Venezuela e Colômbia (Kousky e Kagano, 1980). Considerando a continuidade de massa, a divergência em altos níveis deve estar associada com movimento de ar ascendente em níveis médios e convergência em níveis baixos. As convergências de massa e de vapor de água nos baixos níveis estão ligadas principalmente à camada limite, que por sua vez está associada ao transporte realizado pelo mecanismo do JNB. Entretanto, não está claramente definida na literatura a predominância de direção e de intensidade do fluxo que mantém esta convecção. Tal situação deveria ser mais estudada e o seu acoplamento com a circulação da Alta da Bolívia melhor entendida, como também a sua ligação com as anomalias negativas de TSM no Atlântico.

Este mecanismo da Alta da Bolívia é uma circulação que resulta em uma forte convecção, produzindo aquecimento devido à condensação. Este aquecimento resulta em uma maior espessura entre os níveis de pressão, sendo caracterizado pela divergência. A divergência em altitude favorece a manutenção da área de baixa pressão à superfície.

Este processo de interação entre o escoamento e a atividade convectiva é conhecido por CISK (“Conditional Instability of the Second Kind”), instabilidade condicional de segundo tipo, na forma visualizada por Ooyama (1964) e Eliassen e Charney (1964). Um exemplo desta situação ocorreu no dia 30 de novembro de 1998. A Figura 2.9 mostra o perfil do vento neste dia, com a presença de um JNB do tipo JNB-1 sobre Porto Alegre, com direção de sudeste (148 graus) e altura de 1681 metros. A Figura 2.10 apresenta a imagem GOES-8 IR para o horário de 12 UTC.

Este tipo de situação, na qual fica caracterizado um escoamento do mar para o continente pode caracterizar uma circulação do tipo monção marítima. Circulação que caracteriza uma variação sazonal causada pela diferença de temperatura entre o Atlântico sul e o continente. Cujo regime de circulação da direção do vento acompanha a mudança sazonal de estação do ano (inverno/verão), caracterizando uma circulação periódica.

No verão esta circulação, entre a Bacia do Amazonas e a Bacia do Prata, realiza um importante transporte de umidade pelo JNB, caracterizando um fluxo de norte e também de sul pela CLP, atingindo os estados da região centro-oeste, sudeste e sul do Brasil, Bolívia, Paraguai, Uruguai e norte/nordeste da Argentina. O estabelecimento de um escoamento de

norte ao lado leste dos Andes é uma situação climatológica típica do verão na América do Sul, segundo Virji (1981).

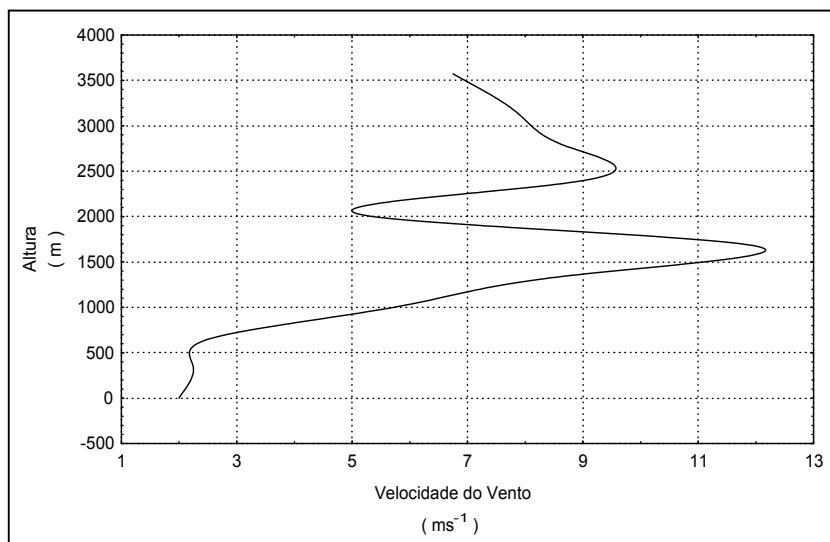


Figura 2.9 – Perfil do Vento, no dia 30 de novembro de 1998, 12UTC, sobre Porto Alegre-RS.

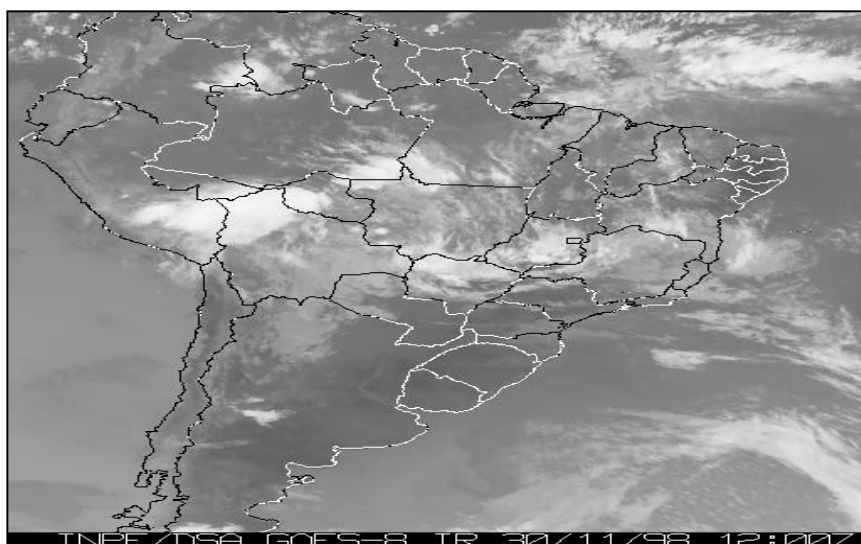


Figura 2.10 – Imagem de satélite GOES 8 IR, do dia 30 de novembro de 1998, 12UTC.

Sugahara et al. (1994) mostram em seu estudo, englobando oito verões, que este escoamento de norte adquire características de jatos em baixos níveis, com velocidade superior a 8 ms^{-1} e cisalhamento vertical de no mínimo de 2 ms^{-1} entre 850 hPa e 700 hPa, em aproximadamente 30% dos dias, com máxima atingindo 13 ms^{-1} em 850 hPa.

Este processo de transporte é importante para a formação e manutenção dos sistemas frontais e CCM, causando intensa precipitação. Porém o seu estudo não considerou a possibilidade de ocorrer o processo de transporte dentro da CLP, com uma direção de sul e sudeste.

No verão os CCM's subtropicais podem estar associados a situações sinóticas que são definidas como a Baixa do Chaco, a qual é mais intensa e organizada em dias com JNB e apresenta a tendência da pressão nos dias anteriores à ocorrência do jato indicar a passagem de um distúrbio ondulatório de latitudes médias.

Gandú e Geisler (1992) e Figueroa et al. (1995) mostraram que a Baixa do Chaco pode ser também uma resposta dinâmica à fonte de calor na Amazônia e no Brasil Central, apesar de estar ligada dinamicamente à convecção ao norte. A Baixa do Chaco é também modulada por sistemas baroclínicos transientes que afetam a intensidade dos JNB's a leste do Andes, independentemente da organização e intensidade da convecção tropical.

Um padrão sinótico que caracteriza estas situações ocorreu no dia 02 de fevereiro de 1996, descrito a seguir. A Figura 2.11 mostra a imagem de satélite GOES-8 IR às 12UTC deste dia, em que é apresentada uma situação sinótica com uma área de instabilidade sobre o norte da Argentina e uma onda curta abaixo do Uruguai, sobre a província de Buenos Aires. A Figura 2.12 mostra neste dia o perfil do vento sobre Porto Alegre com um JNB do tipo JNB-1, com 12 ms^{-1} e com sua direção de 110 graus (sudeste) em direção ao norte do Rio Grande do Sul.

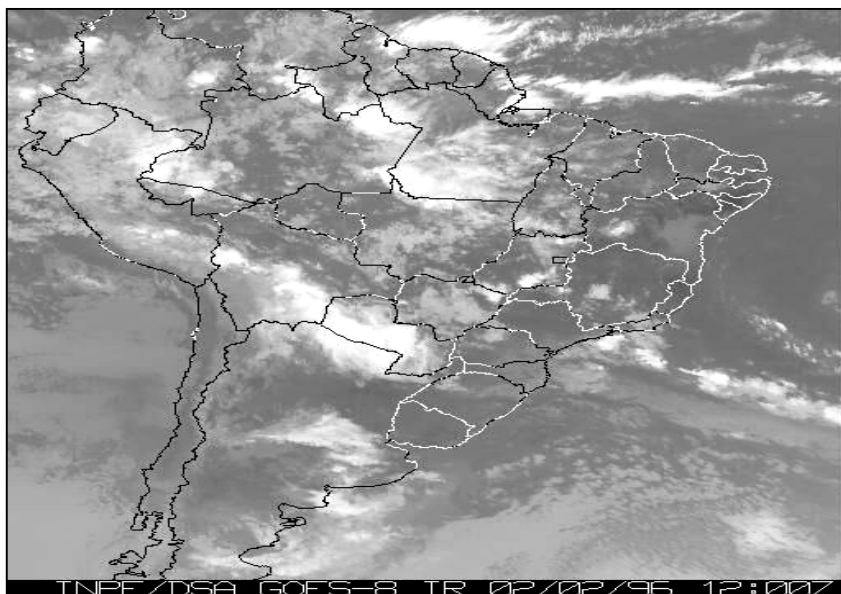


Figura 2.11- Imagem de satélite GOES-8 IR, no dia 02 de fevereiro de 1996, 12UTC.

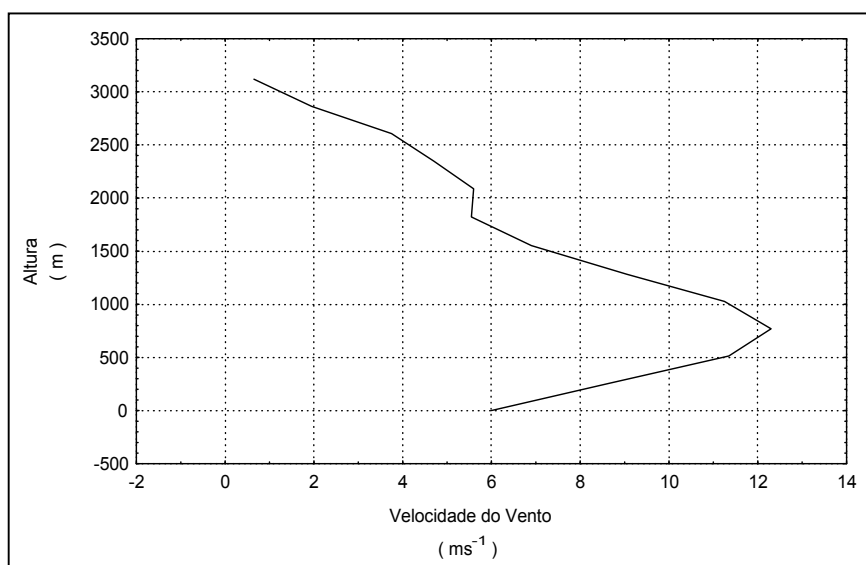


Figura 2.12- Perfil do vento, no dia 02 de fevereiro de 1996, 12UTC, sobre Porto Alegre-RS.

2.3 FLUXO DE VAPOR DE ÁGUA ASSOCIADO AO JNB E À PRECIPITAÇÃO

O transporte realizado pelo JNB foi primeiro observado por Means (1952), demonstrando a importância dos JNB's na advecção de calor e umidade sobre as Grandes Planícies dos Estados Unidos. Bonner (1966) observou, em dados de radiossondagens, este transporte, com aumentos de 4°C na temperatura em 850 hPa e o aumento da razão de mistura do vapor de água em 3 g/kg, na vizinhança da cidade de Tulsa, no estado de Oklahoma, nos Estados Unidos. Durante a noite ocorrendo dentro do período de 12 horas, com uma intensidade de umidade específica de 9 a 12 g/kg no início das 12 horas e de valores superiores a 12 g/kg no final deste horário.

Helfand e Schubert (1995) argumentam que os JNB's são a chave do processo no balanço do transporte de umidade que entra na parte continental dos Estados Unidos e este fluxo ocorre durante as 12 horas da noite. Higgins (1997) obteve o ciclo diário de precipitação em estações de observações horárias de 1963 a 1993, revelando um máximo noturno bem definido sobre as Grandes Planícies, nos meses de primavera e verão. Durante o verão ocorreu 25% a mais de precipitação durante a noite que durante o dia. O impacto dos JNB's sobre o balanço total no verão é consideravelmente intensificado pelo transporte realizado do Golfo do México, aumentando mais que 45% na média, sobre os valores médios noturnos.

Whiteman et al. (1997), analisando dados de radiossondagens, observaram associado ao JNB um fluxo na direção norte sobre o centro dos Estados Unidos, apresentando diferenças entre as sondagens com jato e sem jato e encontrou um valor de umidade específica média da ordem de 8,27 g/kg. O transporte realizado durante a noite associado ao JNB com magnitudes de umidade específica da ordem de 10 g/kg, podem gerar um fluxo muito intenso e severa precipitação.

Chen et al. (1991) estudaram ciclones Lee (ondas curtas) no leste asiático, no lado leste do Platô Tibetano, especialmente nos verões na estação chuvosa sobre o sudeste da China e na área de Taiwan, entre maio a junho. Este período é caracterizado por severa precipitação e é acompanhado de desenvolvimento e intensificação de JNB na direção norte na baixa troposfera.

Chen e Yu (1988) em seu estudo encontraram trinta e cinco casos de severas precipitações, sendo um dos mais desastrosos fenômenos de tempo na estação chuvosa, com precipitações da ordem ou maiores que 100 mm de precipitação por dia, podendo ocorrer sobre o Japão e a China. Estas severas precipitações estão intimamente associadas com JNB. Encontraram 84% de verossimilhança com os JNB's, com intensidades da ordem de $12,5 \text{ ms}^{-1}$, sendo que ocorreram no nível de 700 hPa e com 12 horas de antecedência dos eventos de intensa precipitação. Este estudo mostrou ainda que, quando os JNB's estiveram presentes sobre a Ilha de Taiwan, apresentaram uma verossimilhança de 91% entre os eventos de precipitação e os JNB's.

Lackmann (2002) discute a contribuição adiabática que a máxima vorticidade potencial produz na intensidade dos JNB's. Tal ligação potencial existe entre as bandas de precipitação frontal e a redistribuição adiabática da vorticidade potencial na estrutura horizontal dos ventos que acompanham os JNB's, atuando diretamente na intensidade destes.

Na América do sul, o trabalho de Abdoulaev et al. (1996), mostrou que os SCM podem ser responsáveis por uma parte significativa da precipitação que ocorre no sul do Brasil, em que ocorrem no mínimo 13 eventos por ano, apresentando intensa precipitação e podem estar associados a JNB's intensos.

Abdoulaev et al. (2001), estudando sistemas não lineares de mesoescala com convecção severa, observaram a ocorrência de alta probabilidade de ocorrer precipitação superior a 15 mm/h por volta das 6 horas da manhã e de apresentar uma variabilidade sazonal entre o início e o término das células convectivas. Na média no verão, elas possuem um ciclo de 06 a 30 horas e a maioria dos CCM terminou sua vida entre 18 e 20 horas, concluindo que, provavelmente, o ciclo das tempestades noturnas e de madrugada são amplificados e modulados pela convergência de vapor de água, sendo que esta convergência é realizada pelos JNB's.

Um importante efeito dos JNB está ligado ao ciclo diário da umidade, pois o vapor de água e a convergência deste transporte dentro da CLP implicam em um tipo de armazenamento dinâmico, pois este aumento de vapor de água noturno e diário, faz com que este armazenamento corresponda a um reservatório dinâmico sobre grandes áreas e bacias. Isto pode gerar fenômenos meteorológicos como a restrição de visibilidade por névoas e nevoeiro e camadas de nebulosidade baixa do tipo stratus e stratocumulus e, com o decorrer do

tempo, um balanço positivo permitiria que este armazenamento fosse uma fonte de vapor de água para ocorrência de convecção futura. Portanto esta estrutura diária de transporte desempenha um papel de suma importância no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica em latitudes médias.

Algumas destas questões ainda estão em aberto, pois existem poucos trabalhos nesta área e a maior parte é simulações com dados de reanálises dos modelos globais para estudos de casos. Tais situações se mostram limitadas em representar toda complexidade na interação das escalas e sutileza dos forçantes, levando a determinado equilíbrio no perfil vertical do vento, gerando JNB de diferentes intensidades. As estruturas de mesoescala dos JNB's podem não ser bem resolvidas por reanálises globais, em que a advecção de umidade (vapor de água) que ocorre com o fluxo na direção sul da América do Sul pode ser maior que o calculado nestas reanálises, segundo Berbery e Collini (2000). Também não existem estudos que analisem a contribuição do espectro de diferentes escalas meteorológicas associado às diferentes características e intensidades de JNB e sua ligação com a intensidade da precipitação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

Devido à grande complexidade associada ao nível de mesoescala dos JNB's, desenvolveu-se uma estratégia metodológica em que se busca identificar e quantificar mais especificamente o papel dos JNB's no contexto dos fenômenos hidrometeorológicos, para obter-se uma visão panorâmica deste papel resultante das diversas análises específicas realizadas. Neste caso, o resultado esperado seria a confirmação da existência destas relações, permitindo estabelecer hipóteses que as expliquem do ponto de vista fenomenológico, além de explicar os mecanismos pelos quais ocorrem, como também as suas inter-relações com o grau de detalhamento que for possível de suas principais características e das estruturas associadas aos JNB's. Realizou-se uma análise com a precipitação no estado do Rio Grande do Sul e as radiossondagens nas cidades de Porto Alegre e Uruguaiana.

Para atingir este objetivo geral foram executadas análises específicas, que podem ser enumeradas seqüencialmente. Estas são:

1. Caracterização dos JNB's através dos parâmetros estatísticos, perfis dominantes, frequências e principais escalas meteorológicas envolvidas na sua variação temporal a partir dos dados observados em perfis verticais do vento coletados por radiossondagens automáticas;
2. Classificação dos JNB's segundo critérios de variabilidade sazonal, relacionando-os às principais estruturas sinóticas predominantes, tais como Jatos de Nível Superior (Alta Troposfera), no inverno e a atividade convectiva, no verão;
3. Identificação dos sentidos predominantes dos ventos associados aos JNB's e investigação da ligação entre estes e zonas de fonte de umidade, incluindo eventuais circulações monçônicas no Rio Grande do Sul;

4. Relacionamento dos JNB's com sinais de El Niño para verificar a influência destes no primeiro e, conseqüentemente, na relação esperada com as intensidades máximas de precipitação;
5. Relacionamento entre os JNB's e as intensidades de chuva sobre o Rio Grande do Sul e a correlação entre a magnitude da precipitação e os diferentes tipos de perfis e a sua dinâmica com JNB;
6. Análise de possível correlação entre os JNB's e as variações espaciais das intensidades e máximos anuais das precipitações;
7. Realização de um estudo de caso para identificar características e estruturas de escala espacial no desenvolvimento dinâmico de uma perturbação meteorológica com existência de JNB com grande intensidade e magnitude.

Para realizar tais análises utilizam-se alguns métodos estatísticos, como a classificação Não Hierárquica dos JNB e VM, Análise das Componentes Principais (ACP), análise da correlação entre JNB e a precipitação, análise geoestatística com o cálculo do semi-variograma e o seu ajustamento por um modelo linear e a implementação de um modelo de alta resolução de mesoescala “Model of Mesoscale Five” (MM5) para o estudo de caso.

3.2 DADOS METEOROLÓGICOS E HIDROLÓGICOS

Os dados do perfil vertical do vento foram obtidos de radiossondagens realizadas no Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre e no Aeroporto Internacional Rubem Berta em Uruguaiana. O equipamento utilizado foi o W-9000 produzido pela VIZ – “Manufacturing Company USA”. Parte dos dados foram gerados por métodos diferentes: até o ano de 1997 utilizou-se o sistema radionavegação Omega, obtendo-se os dados de vento através do uso de ondas radioelétricas; a partir de 1997 utilizou-se um sistema de telemetria com satélites geoestacionários, pelo sistema GPS. Tal mudança no sistema de telemetria não afetou a qualidade dos dados gerados pela radiossondagens.

Os dados do perfil vertical do vento foram coletados por radiossondagens sobre Porto Alegre, entre agosto de 1992 e janeiro de 2002, e Uruguaiana a partir de janeiro de 2001 até maio de 2002. Os dados apresentam descontinuidades de coleta, mas correspondem a períodos médios da ordem de 99 dias. Foram gerados arquivos com a altura, direção e intensidade do vento, obtendo-se matrizes com três colunas de dados diários. Em alguns períodos foram realizadas duas observações, uma pela manhã, entre as 08:30/09:00 horas e a outra durante a noite entre as 20:30/21:00 horas.

No tratamento, classificação e consistência dos dados de radiossondagem foi utilizada uma planilha eletrônica do software EXCEL[®], gerando arquivos em formato texto Lotus (*.prn). Após foram submetidos para análise com uso do software GENSTAT[®], para realização da padronização dos dados de radiossondagens.

Os dados foram tratados através de interpolação linear obtendo-se valores da altura, direção e velocidade, no formato de uma matriz de três colunas por 30 linhas, correspondendo a níveis de 100 metros cada linha. Os anos entre 1992 e 1998 foram analisados com as séries temporais de precipitação em 12 estações meteorológicas de superfície e 52 postos pluviométricos sobre o Rio Grande do Sul, conjuntamente com a série temporal dos JNB que ocorreram em Porto Alegre. A Tabela 3.1 mostra os 52 postos pluviométricos da Agencia Nacional de Águas (ANA) e a Tabela 3.2 mostra as estações meteorológicas do 8º Distrito de Meteorologia. Utilizou-se uma sub-rotina desenvolvida no software MATLAB[®] para o cálculo da correlação entre as séries temporais.

Tabela 3.1 Estações Pluviométricas da ANA no Rio Grande do Sul.

Código	Localidade	Latitude	Longitude	Rede
2850009	Passo Tainhas	-28,87	-50,45	ANA
2851003	Antonio Prado	-28,85	-51,28	ANA
2851021	Passo do Prata	-28,87	-51,45	ANA
2851022	Passo Migliavaca	-28,62	-51,87	ANA
2851024	Prata	-28,77	-51,62	ANA
2951010	Encantado	-29,23	-51,85	ANA
2951022	Nova Palmira	-29,33	-51,19	ANA
2951024	Porto Garibaldi	-29,82	-51,38	ANA
2951027	São Vendelino	-29,37	-51,37	ANA
2951028	Sapucaia do Sul	-29,82	-51,50	ANA
3051005	Guaíba Country Club	-30,11	-51,65	ANA
3052011	Quiteria	-30,42	-52,07	ANA
3151003	São Lourenço do Sul	-31,37	-51,99	ANA
3152002	Bouqueirão	-31,28	-52,08	ANA
3152011	Passo do Mendonça	-31,00	-52,05	ANA
2853014	Santa Clara do Ingai	-28,73	-53,19	ANA
2952003	Botucarai	-29,72	-52,89	ANA
2953008	Dona Francisca	-29,63	-53,35	ANA
3152003	Canguçu	-31,39	-52,70	ANA
3152008	Granja São Pedro	-31,67	-52,18	ANA
3152016	Ponte Cordeiro de Farias	-31,57	-52,46	ANA
3153007	Pedras Altas	-31,74	-53,59	ANA
3153008	Pinheiro Machado	-31,58	-53,38	ANA
3252005	Granja Coronel Pedro Osório	-32,01	-52,65	ANA
3252006	Granja Cerrito	-32,35	-52,54	ANA
3252008	Granja Santa Maria	-32,40	-52,56	ANA
3253001	Arroio Grande	-32,24	-53,09	ANA
3253003	Granja Osório	-32,95	-53,12	ANA
3253004	Herval	-32,03	-53,40	ANA
2751006	Paim Filho	-27,70	-51,77	ANA
2751007	Sananduva	-27,95	-51,81	ANA
2752006	Erebango	-27,85	-52,30	ANA
2753004	Linha Cescon	-27,81	-53,03	ANA
2754001	Alto Uruguai	-27,30	-54,13	ANA
2755001	Porto Lucena	-27,85	-55,02	ANA
2852006	Carazinho	-28,29	-52,79	ANA
2852007	Colônia Xadrez	-28,19	-52,75	ANA
2854003	Giruá	-28,03	-54,34	ANA
2853003	Conceição	-28,46	-53,97	ANA
2854005	Passo Major Zeferino	-28,73	-54,65	ANA
2854006	Passo Viola	-28,21	-54,60	ANA
2855001	Garruchos	-28,18	-55,64	ANA
2855002	Passo do Sarmento	-28,21	-55,32	ANA
2855005	Fazenda S. Cecília de Butuí	-29,00	-55,68	ANA
2956005	Itaqui	-29,12	-56,56	ANA
2954001	Cacequi	-29,88	-54,82	ANA
2954004	Ernesto Alves	-29,37	-54,73	ANA
2954005	Furnas do Segredo	-29,36	-54,50	ANA
2954007	Jaguari	-29,49	-54,69	ANA
2955002	Cachoeira Santa Cecília	-29,20	-55,47	ANA
2956006	Passo Mariano Pinto	-29,31	-56,05	ANA
2956007	Plano Alto	-29,77	-56,52	ANA

Tabela 3.2 Estações Meteorológicas do 8° DISME/INMET no Rio Grande do Sul.

Código	Localidade	Latitude	Longitude	Rede
83964	Encruzilhada do Sul	-30,32	-52,31	8° DISME/INMET
83967	Porto Alegre (central)	-30,01	-51,13	8° DISME/INMET
83980	Bagé	-31,20	-54,06	8° DISME/INMET
83995	Rio Grande	-32,01	-52,05	8° DISME/INMET
83997	Santa Vitória do Palmar	-33,31	-53,21	8° DISME/INMET
83881	Irai	-27,11	-53,14	8° DISME/INMET
83907	São Luiz Gonzaga	-28,24	-55,01	8° DISME/INMET
83912	Cruz Alta	-28,38	-53,36	8° DISME/INMET
83914	Passo Fundo	-28,15	-52,24	8° DISME/INMET
83916	Lagoa Vermelha	-28,25	-51,35	8° DISME/INMET
83936	Santa Maria	-29,42	-53,42	8° DISME/INMET
83927	Uruguaiana	-29,45	-57,05	8° DISME/INMET

A Figura 3.1 apresenta a distribuição espacial das estações pluviométricas da ANA e das estações meteorológicas do 8° DISME/INMET no Rio Grande do Sul.

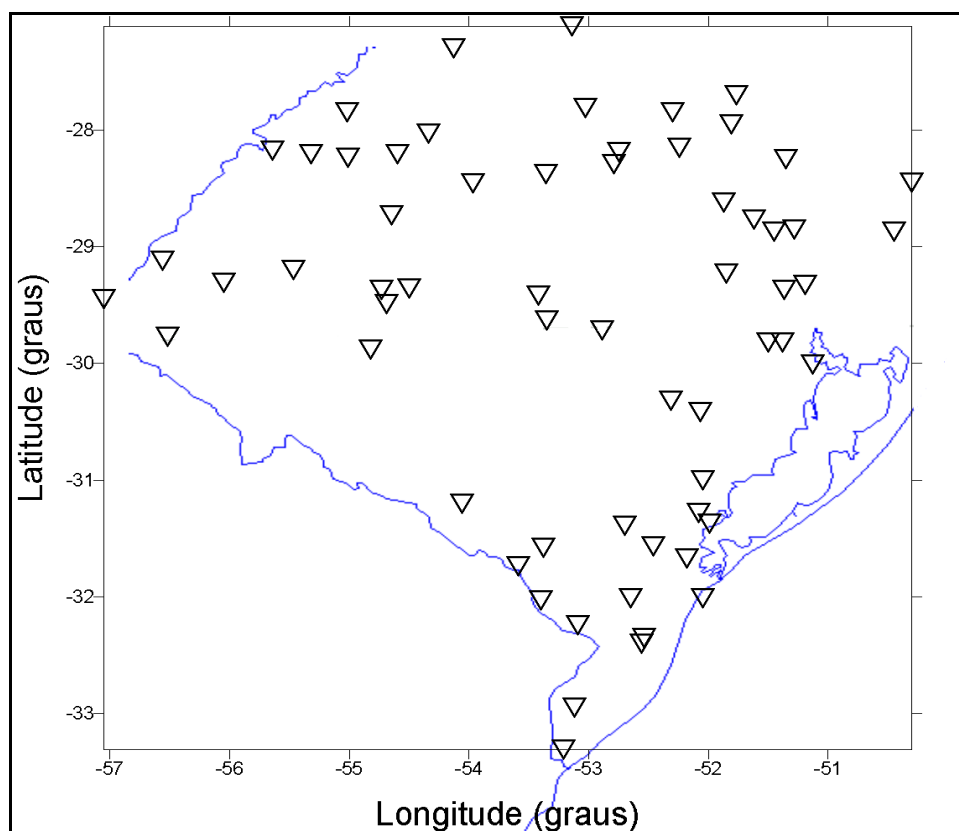


Figura 3.1 – Mapa da distribuição espacial das estações Pluviométricas e Meteorológicas no Rio Grande do Sul.

A Figura 3.2 mostra um lançamento da radiossonda no Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre, em que no processo de lançamento são realizadas atividades específicas, desde o enchimento do balão com gás hidrogênio, a inicialização dos dados da sonda e sua configuração junto ao equipamento de solo; um computador PC com o programa W-9000 cujo programa gera a matriz de dados verticais e a análise da sondagem. O sistema é composto por um receptor com sistema de antenas para telemetria pelo uso de GPS diferencial.



Figura 3.2- Procedimento de lançamento do balão de radiossondagem no Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre.

3.3 CLASSIFICAÇÃO NÃO-HIERÁRQUICA DOS JNB E VM.

A classificação não-hierárquica com K médias é um método de análise multivariada que possui características interessantes na análise de agrupamentos de dados. Quando o número de elementos e de variáveis a ser analisado é grande, pode-se utilizar este método usando todos os elementos do agrupamento de dados.

Para o emprego deste método, foram utilizadas 926 observações de JNB com quatro variáveis (velocidade do vento, direção, altura e o módulo do cisalhamento do vento acima do núcleo do JNB) e 280 dados de VM com três variáveis (velocidade do vento, direção e altura).

A série temporal dos JNB foi gerada através de gráficos diários, tendo-se separado os dias específicos com JNB e VM. A classificação não-hierárquica classificou a dispersão dos dados de JNB e VM em K classes.

Este método minimizou o determinante da matriz dos JNB e dos VM, assumindo-se que os dados desta matriz apresentam uma combinação de K distribuições normais multivariadas, com igual matriz variância-covariância. A estimativa de Máxima Verossimilhança desta matriz é dada quando o agrupamento dentro das K classes é minimizado através do determinante da matriz variância-covariância, obtendo-se grupos compactos dos dados originais.

Utilizou-se o programa GENSTAT[®] com a função específica de análise multivariada de K grupos, com um total de 10 classes, em que a seleção das K classes foi obtida através de várias tentativas. A utilização deste método permitiu reconhecer e identificar padrões no perfil vertical do vento com JNB e VM através dos K grupos, de forma a melhor representar características estritamente dinâmicas e de possíveis predominâncias na série temporal.

3.4 ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)

Para analisar os dados de radiossonda utilizou-se a técnica multivariada de Análise das Componentes Principais (ACP) que foi descrita por Pearson (1902) e por Hottelling (1935). Esta análise foi primeiramente introduzida dentro da meteorologia por Lorenz (1956).

Dado um conjunto de variáveis (por exemplo, velocidades do vento em diferentes alturas) e denotadas por X_1, \dots, X_p supondo ser uma variável aleatória com uma distribuição multivariada, um vetor médio $\boldsymbol{\mu}$ e uma matriz variância-covariância \mathbf{S} . A ACP procura um número de variáveis, Y_1, \dots, Y_k (com k idealmente muito menor que p), com:

$$Y_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{ip}X_p \quad (1)$$

e

$$Y_i = \mathbf{a}_i^T \mathbf{X} \quad \text{com } i = 1, \dots, k. \quad (2)$$

, de forma que as novas variáveis Y_i contenham uma grande fração das informações da variável X_1, \dots, X_p , sendo \mathbf{S} a matriz variância-covariância entre X_1, \dots, X_p e apresentando uma dimensão $p \times p$. A equação 2 mostra que os valores a_1, a_2, \dots, a_k das novas variáveis Y_1, \dots, Y_k são os k autovetores da matriz \mathbf{S} . Isto é,

$$\mathbf{S} \mathbf{a}_i = \lambda_i \mathbf{a}_i \quad (3)$$

Sendo $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i$ os autovalores da matriz \mathbf{S} , isto é, $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i$ são as raízes da equação 4 e são todas independentes e ortogonais.

$$|\mathbf{S} \mathbf{a}_i - \lambda \mathbf{I}| = 0 \quad (4)$$

Procuram-se os k autovetores (idealmente, $k \leq 3$) que expliquem 90% ou mais da variação nas X_1, \dots, X_p variáveis. Por isso as primeiras componentes explicam a maior parte do total da variância da amostra, o que permite reduzir o número de variáveis registradas por cada radiossondagem (velocidade e direção em um grande número de altitude) para um número

menor de variáveis. Nesta análise estamos estudando e explorando as novas variáveis Y_1, \dots, Y_k no espaço de $k=4$ dimensões, em vez do espaço unidimensional.

Para extrair as componentes da matriz dos dados de radiossondagens e os autovetores das componentes utilizou-se o programa GENSTAT[®]. Após calcular os autovetores realizou-se um ajuste através da rotação dos vetores em relação aos dados pelo uso de uma função “FACROTATE”, a qual procura otimizar e minimizar através dos mínimos quadrados os resíduos da matriz.

A partir da análise dos autovetores da matriz **a**, cada coluna representa uma componente da variância total e cada linha desta matriz pode representar a contribuição de determinada componente para a ocorrência de um determinado evento. Os autovetores da matriz **a** geometricamente podem ser compreendidos como as projeções das amostras na direção da componente principal, e tal fato implica que na análise destes coeficientes da matriz **a** (os autovetores), o maior valor do coeficiente representaria a sua maior contribuição.

3.5 INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DOS ESCORES OBTIDOS PELAS COMPONENTES PRINCIPAIS

Na análise dos autovetores calculados procura-se o maior valor em módulo do escore, o qual representa a contribuição de uma componente predominante na amostra, possuindo a maior projeção. Este valor, por sua vez, corresponde a um determinado dia na serie temporal. O ideal deste valor do autovetor seria se ele fosse próximo do valor de uma unidade (≈ 1). Quando os autovetores apresentam valores similares anulou-se a linha, não havendo a ocorrência de uma predominância no perfil vertical do vento que corresponde a um dia da série.

Durante este trabalho utilizaram-se gráficos das principais componentes para caracterizar a sua variância e a variação do perfil vertical do vento com a altura.

A Figura 3.3 apresenta um exemplo da primeira componente no período de 01 de maio a 31 de outubro de 2000. Apresentou uma variância na vertical que caracteriza um perfil vertical linear, com um baixo cisalhamento do vento e uma frequência de 53,21% no período analisado.

As Figuras 3.4, 3.5 e 3.6, segunda, terceira e quarta componentes mostram uma variância na vertical com a presença de JNB/fluxos no perfil vertical do vento, com percentagem das componentes de 23,77%, 7,53% e 3,94% respectivamente. Tal análise permite classificar o perfil vertical do vento pela sua variância e o dia dentro da série de dados, pela magnitude dos autovetores da matriz **a** resultante.

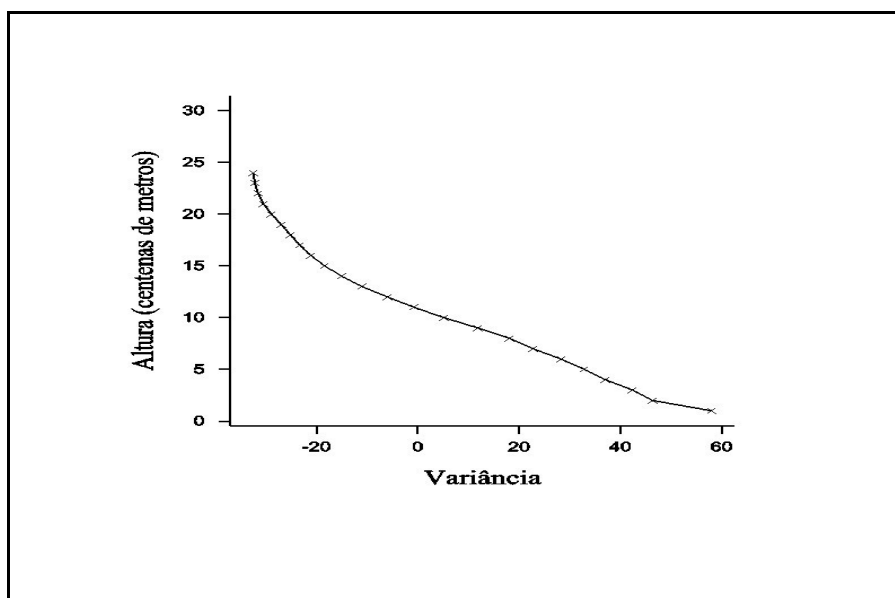


Figura 3.3- Primeira componente do perfil da variância do vento em 30 pontos na vertical, em centenas de metros, sobre o Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre.

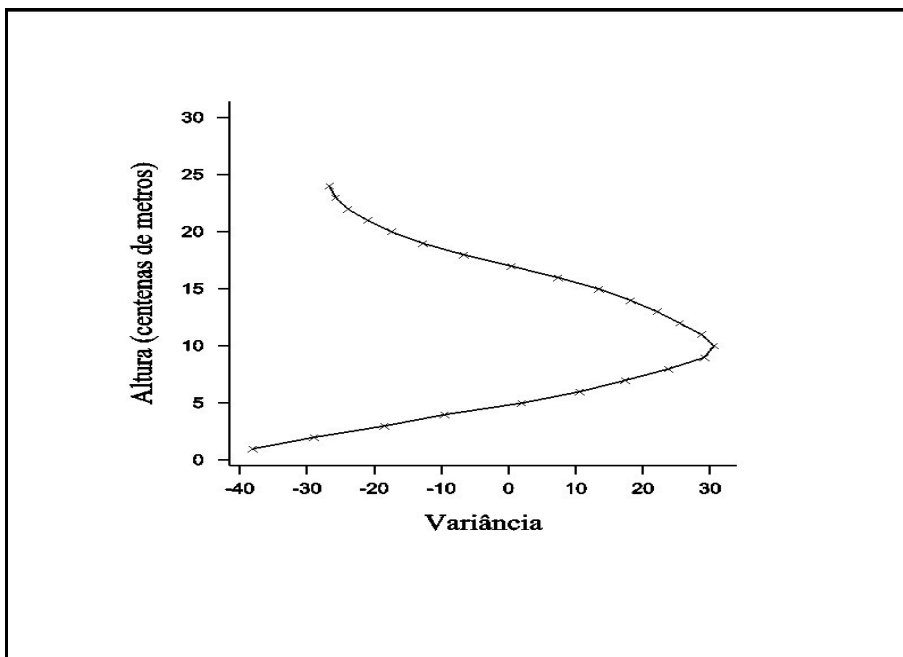


Figura 3.4- Segunda componente do perfil da variância do vento em 30 pontos na vertical, em centenas de metros, sobre o Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre.

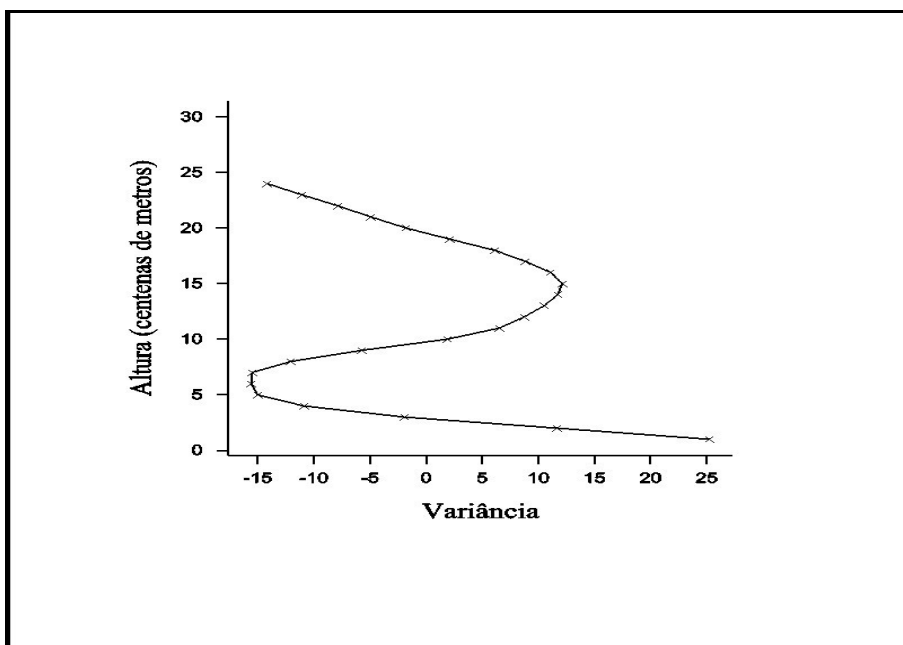


Figura 3.5- Terceira componente do perfil da variância do vento em 30 pontos na vertical, em centenas de metros, sobre o Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre.

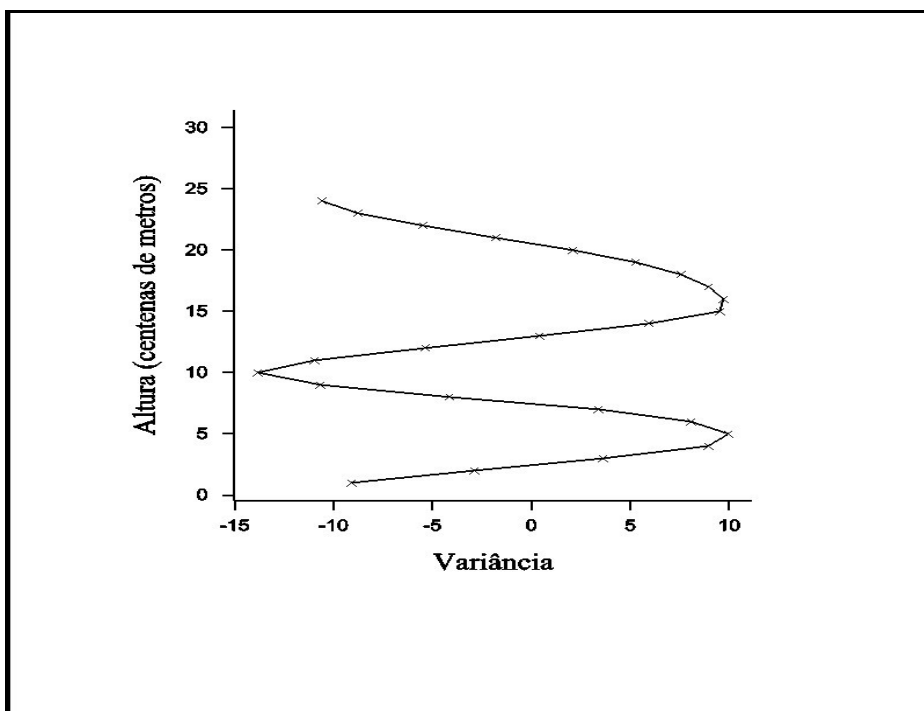


Figura 3.6- Quarta componente do perfil da variância do vento em 30 pontos na vertical, em centenas de metros, sobre o Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre.

3.6 CORRELAÇÃO ENTRE OS JATOS DE BAIXO NÍVEIS E A PRECIPITAÇÃO

Para análise de sinais na série temporal dos dados de JNB e da precipitação no estado do Rio Grande do Sul, utilizaram-se 12 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência ANA, com 52 postos, com o uso dos seus dados pluviométricos. Foi analisado o período entre os anos de 1996 a 1997, que correspondem períodos de estiagem (sem sinal ENOS em 1996) e de chuva intensa (El Niño em 1997). Com a utilização da técnica “BOOTSTRAP”, supõe-se que os dados utilizados nesta análise são vetores ($N \times 1$) da precipitação e dos jatos de baixo nível, obtidos na estação de radiossonda em Porto Alegre, no Aeroporto Internacional Salgado Filho.

Fizeram-se correlações das permutações da precipitação, com as séries dos JNB fixas. Para cada permutação do vetor da precipitação, foi calculada a correlação entre o vetor da precipitação permutada e o vetor do JNB fixo. Permutaram-se 10000 vezes, resultando a distribuição das correlações das séries temporais analisadas. A partir destas distribuições foi

obtido o valor representativo do intervalo de confiança ao nível de 5% das correlações, na cauda superior da distribuição gerada pelas permutações. O teste é obtido pela comparação do valor da correlação original da série temporal com o valor crítico da distribuição.

A Figura 3.7 mostra a distribuição típica das correlações após a simulação. Utilizou-se uma sub-rotina no programa MATLAB[®] em que foram realizados os cálculos das correlações e a geração das distribuições, entre as precipitações e os JNB. Para melhor visualizar a distribuição espacial das correlações obtidas das séries temporais utilizou-se o programa SURFER V7, no qual foi gerada uma tendência da distribuição espacial das correlações, utilizando um método geoestatístico de “Kriging”, (Cressie, 1991), produziram-se mapas de dados irregularmente distribuídos no espaço, obtendo-se uma melhor visualização desta distribuição. Utilizou-se a sub-rotina “Kriging Standard”, que otimiza o método de “Kriging”. Tal método sugere tendências nos dados, sendo utilizado como um método de interpolação da distribuição espacial para uma determinada variável em análise.

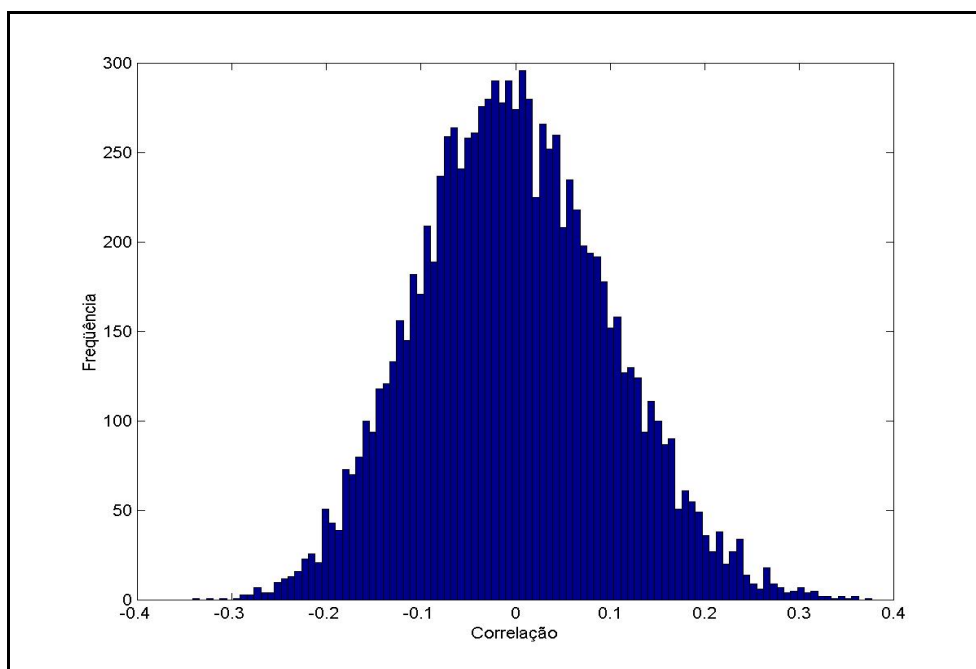


Figura 3.7 – Distribuição das correlações da série temporal entre a precipitação e os JNB, no período de 13 de julho a 30 de setembro de 1997.

3.7 ANÁLISE DOS MÁXIMOS PLUVIOMÉTRICOS COM O USO DE GEOESTATÍSTICA.

De certa forma os JNB podem apresentar tendências nas direções e o aumento de sua frequência no tempo. Como consequência, os JNB estão associados a determinadas estruturas físicas compondo parte dos sistemas meteorológicos, podendo ser responsáveis por gerar parte da convecção e, conseqüentemente, de intensas chuvas. Estas precipitações poderiam também apresentar, de forma similar, uma tendência espacial e temporal, em que estes máximos poderiam ocorrer seguindo padrões de alinhamento espacial e seqüencial no tempo, sofrendo influência deste transporte realizado pelo JNB com suas predominâncias. Para tanto, desenvolveu-se uma metodologia de análise das precipitações com o uso das 52 estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) no estado do Rio Grande do Sul.

Com o uso de uma rotina desenvolvida no programa estatístico GENSTAT[®], calculou-se o máximo de precipitação de um dia, dois dias, três dias, quatro dias e cinco dias, para cada estação pluviométrica, compreendendo os anos de 1971 a 2000. Também foi determinado o dia do ano em que este evento máximo de precipitação ocorreu, seguindo-se um procedimento similar ao utilizado para os eventos máximos, para um dia, dois dias, três dias, quatro dias e cinco dias, para cada estação. Nesta análise geoestatística utilizou-se um modelo que foi implementado no GENSTAT[®], utilizando o cálculo do variograma, o que permitiu representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço, (Huijbregts, 1975), que pode ser expresso como:

$$\mathbf{Z}(\mathbf{x}) = \boldsymbol{\mu} + \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{x}), \quad (5)$$

em que $\mathbf{Z}(\mathbf{x})$ é o valor da variável aleatória, $\boldsymbol{\mu}$ é a média da variável $\mathbf{Z}(\mathbf{x})$ e o termo $\boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{x})$ é uma função autocorrelacionada aleatório, com média zero e variância definida por:

$$\text{var}[\boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{x}) - \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{x} + \mathbf{h})] = \mathbf{E}[\{\boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{x}) - \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{x} + \mathbf{h})\}^2], \quad (6)$$

em que o vetor \mathbf{h} é a distância da discretização separando espacialmente o ponto \mathbf{x} do ponto $\mathbf{x} + \mathbf{h}$. A média é assumida ser uma constante local, como:

$$\mathbf{E}[\mathbf{Z}(\mathbf{x}) - \mathbf{Z}(\mathbf{x} + \mathbf{h})] = 0, \quad (7)$$

O nível de dependência entre o ponto \mathbf{x} e o ponto $\mathbf{x}+\mathbf{h}$ é representado pelo variograma $2\gamma(\mathbf{h})$, o qual é definido como a esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores :

$$\text{var}[\mathbf{Z}(\mathbf{x}) - \mathbf{Z}(\mathbf{x} + \mathbf{h})] = \mathbf{E}[\{\mathbf{z}(\mathbf{x}) - \mathbf{Z}(\mathbf{x} + \mathbf{h})\}]^2 = 2\gamma(\mathbf{h}) , \quad (8)$$

a variância somente depende da separação \mathbf{h} e não da posição \mathbf{x} . A quantidade γ é a semivariância, que por sua vez é função de \mathbf{h} que é usado na estimativa do variograma. Assume-se a hipótese de “Matheron” e também que o processo seja estacionário de 2º ordem, em que a média do processo aleatório é globalmente constante, isto é, com valor esperado $\mathbf{E}[\mathbf{Z}(\mathbf{x})]=\mu$, a variância seja constante ($\text{var}[\mathbf{Z}(\mathbf{x})]=\sigma^2$) e a covariância exista e só dependa da diferença entre $\mathbf{Z}(\mathbf{x})$ e $\mathbf{Z}(\mathbf{x} + \mathbf{h})$, sendo representada por:

$$\mathbf{C}(\mathbf{h}) = \mathbf{E}[\{\mathbf{Z}(\mathbf{x}) - \mu\} \{\mathbf{Z}(\mathbf{x} + \mathbf{h}) - \mu\}] \quad (9)$$

e

$$\mathbf{C}(0) = \text{var}[\mathbf{Z}(\mathbf{x})] = \mathbf{E}[\{\mathbf{Z}(\mathbf{x}) - \mu\}^2] \quad (10)$$

A covariância é correlacionada pelo semivariograma pela seguinte expressão:

$$\gamma(\mathbf{h}) = \mathbf{C}(0) - \mathbf{C}(\mathbf{h}) \quad (11)$$

Para o cálculo do variograma utilizou-se a função “FVARIOGRAM”, em que cria-se um semi-variograma experimental do conjunto de valores da variável $\mathbf{Z}(\mathbf{x})$, distribuídos em uma ou duas dimensões, usando a formula definida pela expressão:

$$\hat{\gamma} = \frac{1}{2\mathbf{m}(\mathbf{h})} \sum_{i=1}^{\mathbf{m}(\mathbf{h})} \{\mathbf{Z}(\mathbf{x}_i) - \mathbf{Z}(\mathbf{x}_i + \mathbf{h})\}^2 , \quad (12)$$

os $\mathbf{Z}(\mathbf{x}_i)$ e $\mathbf{Z}(\mathbf{x}_i + \mathbf{h})$ são os valores da posição $\mathbf{x}_i + \mathbf{h}$. O termo $\mathbf{m}(\mathbf{h})$ é o número de pares para comparação, que contribuem para a estimativa. Como os dados pluviométricos apresentam espalhamento espacial irregular, \mathbf{h} é discretizado de forma que seu valor seja constante, em que a variação da distância apresenta o mesmo incremento e a variação da direção é considerada como isotrópica.

A função “FVARIOGRAM” calcula o semi-variograma experimental. Com a estimativa do semi-variograma já realizada, busca-se ajustar um modelo matemático para o semi-variograma obtido. Nesta análise utilizou-se um modelo semi-variograma linear, através da utilização da função “MVARIOGRAM” no GENSTAT®.

O teste estatístico usa uma hipótese em que é realizado o cálculo da razão da variância, mostrando até que ponto o modelo explica a variância dos dados. Assim, uma variância próxima de 100% seria interpretada como resultante de uma forte relação linear. Por outro lado, valores próximos de zero (0 %) seriam típicos de uma fraca relação linear. A razão da variância é a razão entre a regressão e o seu resíduo.

Os resultados anuais da variância explicada pelo modelo linear são comparados com o sinal de ENOS obtido no site “www.cpc.ncep.noaa.gov” buscando correlacionar variações de grande escala planetária com a tendência espacial e temporal da precipitação máxima.

3.8 ESTUDO DE CASO COM O USO DO MODELO MM5.

Neste estudo se faz uso de modelagem numérica para analisar os campos meteorológicos, que caracterizam determinadas escalas meteorológicas, com sua estrutura e o seu transporte, principalmente associados aos JNB e o seu acoplamento à intensa convecção e precipitação. Para tanto foi utilizado o modelo de alta resolução MM5 rodado em um computador PC, tipo Pentium IV com 512 Mb de memória RAM e processador de 1,8 GHz e com sistema operacional Linux.

O modelo é um “freeware” podendo ser obtido no site “<http://box.mmm.ucar.edu/mm5/>”, o qual foi desenvolvido pela Universidade de Penn State e “National Center Atmospheric Research” (NCAR), sendo um modelo em contínua atualização, a qual é realizada pela contribuição dos usuários de inúmeras universidades e laboratórios governamentais espalhados pelo mundo.

A sua utilização permite estudar os fenômenos meteorológicos que estão envolvidos nos sistemas convectivos de mesoescala, que podem atuar ao nível de escalas do tipo meso-gama e meso-beta, da ordem de 2 a 200 Km, como também para estudar frentes, brisas de terra-mar, circulações de vale-montanha e ilhas urbanas de calor.

O modelo MM5 simula e prediz a mesoescala e as circulações atmosféricas de escala regional. A simulação foi desenvolvida a partir do dia 23 de julho de 2002, com início às 03 horas (hora legal), terminando em 27 de julho de 2002 às 03 horas (hora legal) e tempo total de simulação atingindo 96 horas.

Os dados utilizados para a inicialização foram os resultados das análises do “National Centers for Environmental Prediction Aviation Forecast” (NCEP AVN), com resolução espacial com 2,5 graus e resolução temporal com seis horas. Os dados de análise do NCEP AVN foram informados a cada 06 horas às grades do modelo durante a simulação, ou seja, a escala de tempo do “Nudging” foi de 06 horas.

Usaram-se duas grades para a simulação, com posicionamento central na latitude em 30 graus sul e longitude em 53 graus oeste. A grade 1 apresenta 120 pontos em X e 100 pontos em Y, com resolução espacial de 30 Km para topografia, e uso do solo com resolução de 4 Km. A grade 2 apresenta 151 pontos em X e Y, com resolução espacial de 10 Km para topografia, e uso do solo com resolução de 0,9 Km e com intervalo de discretização no tempo de 90 segundos.

Realizou-se a parametrização de Cumulus pelo método de Grell (1993), apresentando um esquema simples de uma nuvem com os fluxos de ascensão e de subsidência, como também apresenta a compensação dos movimentos resultantes do perfil de aquecimento e de umidade. Tal parametrização é útil para grades de tamanho entre 10 e 30 Km, em que pode ocorrer o ajustamento entre a escala de precipitação e a precipitação convectiva, apresentando-se os efeitos dinâmicos sobre a eficiência da precipitação.

A Camada Limite Planetária (CLP) foi parametrizada utilizando um esquema proposto por Hong e Pan (1996), em uso no modelo “Medium Range Forecast” (MRF) que segue um esquema similar ao esquema de alta resolução proposto por Blackadar (1979), em que o quilômetro mais baixo da atmosfera é dividido em cinco camadas, com a camada da superfície apresentando espessura inferior a 100 metros e as quatro camadas seguintes apresentando quatro regimes de estabilidade diferentes, nas quais incluí uma camada de mistura de convecção livre. O esquema é eficiente e é baseado na representação Troen e Mahrt (1986), em que existem dois regimes, estável e instável. A difusão vertical é realizada de forma implícita usando a teoria K (Transporte pelo gradiente). Quando em uma CLP instável o coeficiente de difusão depende dos fluxos sobre a superfície, e também dos gradientes

verticais. A difusividade tem um perfil vertical parabólico e a profundidade da CLP é determinada pelo critério do Número de Richardson Crítico.

Utilizou-se um esquema explícito de umidade “Simple Ice”, proposto por Dudhia (1993), em que adiciona-se o processo de microfísica do gelo, a nuvem e o gelo compõem uma única estrutura, não apresentando água super-resfriada. Parametriza-se os processos de radiação com o esquema “Cloud-radiation”, bastante sofisticado em representar as interações de onda longa e de onda curta com a nuvem e o céu claro, como também as tendências da temperatura atmosférica. Isto é fornecido pelos fluxos de radiação da superfície.

A simulação foi realizada considerando o modelo de temperatura no solo com multicamadas. Os dados de topografia e o uso do solo foram obtidos do banco de dados do “United States Geological Survey” (USGS). As análises gráficas foram geradas no software “GRADS” de 03 em 03 horas a partir do início da simulação do MM5. Geraram-se gráficos dos campos do vento e da água precipitada que melhor caracterizaram o transporte realizado.

4. RESULTADOS

4.1 PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Os dados de radiossondagem foram coletados no Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre. A partir de uma série de dados de 1992 a 2002 armazenadas, realizou-se uma análise diária através de gráficos. A partir destes, foram obtidas diretamente as informações sobre altura, velocidade, intensidade e direção do vento. Na tabela 4.1 são mostrados estes parâmetros e informações de dois grupos, os JNB e os VM. Os VM apresentam-se, em média, mais intensos e mais altos. Os JNB foram mais freqüentes que os VM e no inverno os JNB apresentaram valores mais baixos na sua altura, na ordem de 14%, e valores mais intensos na velocidade.

Tabela 4.1- Dados estatísticos dos JNB e VM durante o ano, série de 01 de agosto de 1992 a 18 de janeiro de 2002. Os valores médios foram calculados com estimativa de erro padrão.

	Médias			Desvio Padrão		
	Ano	Inverno	Verão	Ano	Inverno	Verão
<u>JNB</u>						
Altura	780± 66	722± 101	836± 154	435± 26	430± 43	406± 53
			(m)			
Velocidade	12 ± 1	12± 2	11± 2	4± 0,25	5± 0,5	4± 0,5
			(ms ⁻¹)			
N.º de casos	926	340	195	Primavera/Outono: 391		
<u>VM</u>						
Altura	1042 ± 83	937 ± 132	1103± 183	541± 59	523± 94	461± 130
			(m)			
Velocidade	15± 0,6	15 ± 1	13± 1	4± 0,42	4± 0,75	3± 0,9
			(ms ⁻¹)			
N.º de casos	280	104	42	Primavera/Outono: 134		

Tabela 4.2 – Distribuição da ocorrência de JNB entre o período de 01 de agosto de 1992 a 18 de janeiro de 2002.

Critérios				
Categoria	Vento Máx.	Decréscimo	N. ° de JNB.	Frequência
JNB	(ms ⁻¹)	(ms ⁻¹)	Observados	Relativa (%)
JNB Fraco	> 6	≥5	149	16,1
JNB-0	≥10	≥5	310	33,5
JNB-1	≥12	≥6	278	30
JNB-2	≥16	≥8	164	17,7
JNB-3	≥20	≥10	25	2,7

Tabela 4.3 – Distribuição da ocorrência de VM entre o período de 01 de agosto de 1992 a 18 de janeiro de 2002.

Critérios			
Categoria	Vento Máx.	N. ° de VM.	Frequência
VM	(ms ⁻¹)	Observados	Relativa (%)
VM-0	≥10	106	37,85
VM-1	≥12	103	36,8
VM-2	≥16	50	17,85
VM-3	≥20	21	7,5

A Tabela 4.2 apresenta a ocorrência de 926 JNB, na qual foi utilizada a classificação proposta por Bonner, (1968) e modificada por Whiteman et al., (1997), a qual foi agregada

uma nova categoria (JNB Fraco) proposta por Corrêa et al., (2001). Com uma frequência dos JNB do tipo JNB-0 com 16%, o tipo JNB-1 apresentou frequência da ordem de 33,5%. Os JNB mais fortes do tipo JNB-3 apresentaram 25 ocorrências com valores de $\geq 20 \text{ ms}^{-1}$. Destas 12 ocorreram entre março e setembro de 1997, em que os JNB apresentaram valores maiores de intensidade e um período bem definido caracterizando uma situação de intenso El Niño.

A Figura 4.1 mostra as alturas dos JNB dentro desse período, apresentando a seguinte distribuição: 24,2% dos JNB ocorreram abaixo de 400 metros, 35,6% entre 400/800 metros, 23,2% entre 800/1200 metros e 10% entre 1200/1600 metros. Esta distribuição mostra que existe uma tendência dos JNB ocorrerem abaixo dos 1200 metros, com 83% das ocorrências.

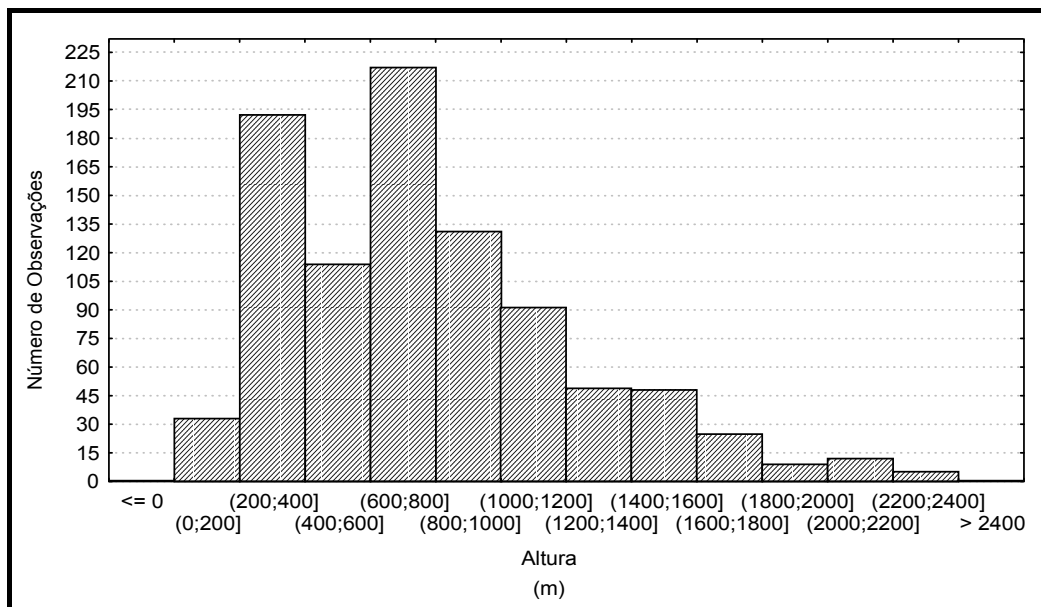


Figura 4.1 – Altura dos JNB entre o período de 01 de agosto de 1992 a 18 de janeiro de 2002.

4.2 CLASSIFICAÇÃO NÃO HIERÁRQUICA DOS JNB E VM

Na tabela 4.4 apresenta-se uma classificação não hierárquica dos JNB e VM, em que é mostrada uma divisão de 10 classes, com os respectivos valores médios da altura, direção,

velocidade e o número de ocorrências entre as classes. A distribuição dos dados realçou 10 grupos distribuídos entre as alturas da ordem de 400 a 1700 metros na média.

Tabela 4.4 – Classificação não hierárquica dos JNB em 10 classes médias.

Classes	Altura (m)	Direção (graus)	Velocidade (ms ⁻¹)	Módulo do cisalhamento (ms ⁻¹)	Número de observações	Tipo de JNB
10	1692	299	18	10	38	JNB-2
9	1595	272	13	11	39	JNB-1
8	1220	55	11	8	118	JNB-0
7	937	311	12	7	123	JNB-1
6	826	306	25	11	20	JNB-3
5	792	325	14	11	81	JNB-1
4	566	175	10	7	102	JNB-0
3	517	110	15	12	95	JNB-1
2	488	82	10	7	212	JNB-0
1	448	328	10	6,6	98	JNB-0

Nota-se entre as classes, primeira e a quarta, com alturas respectivas de 448 e 566 metros, três grupos bem definidos. O primeiro grupo com duas classes (segunda e terceira), apresentam alturas médias de 488 e 517 metros e uma direção média da ordem de 82-110 graus (leste) e duas intensidades do módulo do vento, uma mais fraca na altura média de 488 metros, com 10 ms⁻¹ (tipo JNB-0) e a segunda na altura média de 517 metros, com intensidade

da ordem 15 ms^{-1} (tipo JNB-1), e um total de 307 ocorrências, correspondendo a 33% dos casos do período analisado.

O segundo grupo com altura média de 448 metros, uma direção média de 328 graus (noroeste), com intensidade de 10 ms^{-1} (tipo JNB-0) e um total de 98 ocorrências. O terceiro grupo com altura média de 566 metros, uma direção média de 175 graus (sul), com intensidade média de 10 ms^{-1} (tipo JNB-0) e um total de 102 ocorrências.

Considerando os grupos da Tabela 4.4, pode-se analisar três grupos com direções principais. Um grupo de sul (175 graus) e com 102 ocorrências (11%), um segundo grupo de noroeste/oeste (272-328 graus) com 399 ocorrências (43%) e um terceiro grupo de leste/nordeste (55-110 graus) com 425 ocorrências (46%). Tal característica na direção dos JNB nos níveis baixos demonstra a ocorrência de convergência dentro da CLP (Paegle e McLawhorn, 1973). Tal comportamento físico implica que o JNB é uma escala meteorológica eficiente de convergência de vapor de água, possuindo uma existência predominantemente noturna, podendo ser responsável em grande parte pela convergência de vapor de água sobre o continente, é uma escala vigorosa e que está ligada diretamente na geração e na dinâmica das chuvas na região sul do Brasil.

A predominância em baixos níveis da direção de leste/sudeste/nordeste demonstra ser um mecanismo de transporte de vapor de água do oceano para o continente, ficando caracterizado esta situação para 46% dos eventos. Este fluxo do Atlântico sul para áreas de instabilidades sobre o continente é um mecanismo efetivo, estando associado a Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), também atuando na manutenção de sistemas frontais. Na literatura, o maior impacto é descrito para o fluxo de norte/noroeste oriundo da região amazônica.

A Tabela 4.4 mostra um grupo na altura média da ordem de 826 metros, direção média 306 graus (noroeste) e intensidade média de 25 ms^{-1} (tipo JNB-3) com um total de 20 ocorrências caracterizando uma região de otimização do transporte de vapor d'água de regiões mais a noroeste, norte da Argentina, Paraguai, Bolívia e região centroeste do Brasil, para regiões mais ao sul e sudeste do continente sul americano. Tais características trabalham em conjunto para gerar sistemas de grande profundidade e desenvolvimento vertical e intensa precipitação.

No ciclo do desenvolvimento de CCM de grande desenvolvimento, parte do vapor de água em uma escala continental viria de noroeste (região amazônica) para atuar na região sul do Brasil, característica que ocorre em eventos típicos, como no verão, ou em situações de bloqueios (como em anos de EL Niño). Em tais situações é esperado que ocorram altos valores de precipitação, ocasionando forte impacto econômico e social sobre o Estado do Rio Grande Sul e sobre a região sul do Brasil.

Tabela 4.5 - Classificação não hierárquica dos VM em 10 classes médias.

Classes	Altura (m)	Direção (graus)	Velocidade (ms ⁻¹)	Módulo do cisalhamento (ms ⁻¹)	Número de Observações	Tipo de VM
10	2100	284	15	4	22	VM-1
9	1686	293	22	5	21	VM-3
8	1477	278	12	3	33	VM-1
7	946	198	14	4	21	VM-1
6	873	328	12	4	51	VM-1
5	848	299	19	3	30	VM-2
4	837	281	18	6	20	VM-2
3	786	68	13	4	33	VM-1
2	605	285	12	4	22	VM-1
1	582	267	13	2	27	VM-1

A Tabela 4.5 apresenta as situações com vento máximo, na qual não é caracterizada uma estrutura vertical no perfil do vento com jato, levando em conta somente a sua intensidade. Nela são apresentados quatro grupos característicos com relação às direções médias. O primeiro grupo abrange as direções médias entre as classes de 267-328 graus (oeste/noroeste), com intensidades médias do vento entre as classes de 12-22 ms^{-1} (VM-1 a VM-3), e um total de 226 ocorrências (80%), o segundo grupo corresponde à direção média de 68 graus (leste/nordeste), com intensidades médias do módulo do vento da ordem de 13 ms^{-1} (VM-1), e um total de 33 ocorrências (12%); e o terceiro grupo corresponde à direção média de 198 graus (sul), com intensidades médias do módulo do vento da ordem de 14 ms^{-1} (VM-1), e um total de 21 ocorrências (7,5%).

Tais características com os VM demonstram que a maioria de sua frequência está associada às situações que caracterizam o transporte de vapor de água de noroeste (Região acima do norte da Argentina e Paraguai, sul da região amazônica) para as regiões da Argentina e Uruguai e região sul do Brasil. Comparando as Tabelas 4.4 e 4.5 pode-se notar várias diferenças nos dois grupos de JNB e VM. Os VM apresentam três grupos com valores médios mais intensos de magnitude, do tipo VM-3 ($> 20 \text{ms}^{-1}$) e dois níveis VM-2 ($> 16 \text{ms}^{-1}$), nas respectivas alturas da ordem de 1686 metros e os outros dois na ordem de 800 metros, com 71 ocorrências e uma percentagem de 25% dos casos.

Uma característica importante foi que os VM's foram observados em alturas médias mais altas, da ordem de 600 metros ou mais. Os JNB apresentaram apenas uma classe, JNB-3, na altura da ordem de 800 metros com valor médio de 25 ms^{-1} e correspondendo a 2% dos casos. Os grupos de VM apresentaram valores de magnitude maiores que os JNB, porém a frequência dos dois grupos mostrou que os JNB são muito mais frequentes com 926 observações e os VM com 280 observações no período da ordem de dez anos. Ambos os JNB e os VM são importantes estruturas de transporte na baixa troposfera e podem ocorrer em diferentes tipos de escalas meteorológicas (espacial e temporal).

Estes fluxos em diferentes alturas e direções fazem parte de uma estrutura dinâmica em que a turbulência em escala sinótica utiliza-se destes fluxos para transportar e otimizar vários processos atmosféricos. Falta uma descrição do comportamento físico e dinâmico das relações entre os fluxos em diferentes alturas e direções e dos JNB no perfil vertical do vento, bem como o seu papel na dinâmica da geração dos sistemas meteorológicos. Tais processos

dinâmicos definem estruturas extremamente turbulentas e baroclínicas que são responsáveis por gerar grande parte da dinâmica meteorológica sobre o Rio Grande do Sul.

4.3 ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)

Utilizando-se da técnica da ACP com o uso das suas quatro primeiras componentes, busca-se mostrar a existência de predominâncias no perfil vertical do vento que permitem explicar parte destes processos dinâmicos em diferentes alturas na baixa atmosfera. Tal variação dinâmica mostrou a existência de uma estrutura vertical de fluxos dentro da CLP. Todas as componentes da ACP estiveram associadas às situações com chuvas de diferentes intensidades, porém cada componente analisada apresentou diferentes características, podendo ser relacionadas dinamicamente aos processos físicos que atuam no desenvolvimento e na geração dos sistemas meteorológicos.

Tais características mostraram uma predominância dinâmica em dois níveis de altura, em que ocorre a existência de fluxos e JNB. Estes têm grande efeito no transporte de vapor de água e massa na baixa atmosfera. Quando, nestes fluxos, no perfil vertical do vento, existe a presença de um JNB ocorre fisicamente o máximo transporte (otimização) e a conseqüente intensificação da convecção se estiver associado aos forçantes sinóticos.

Nesta situação as componentes (2º, 3º e 4º componente) com perfil vertical de variância mostram a existência de eventos com JNB e fluxos. Na série temporal analisada observa-se que os fluxos e os JNB's podem ocorrer tanto isolados, como em conjunto (combinação das componentes) e causarem chuvas de diferentes intensidades, tanto fracas como de intensidade extrema. Portanto, na série temporal, observa-se que dias com repetições da ocorrência de fluxos e JNB, estão associados à formação de sistemas meteorológicos organizados, atuando e participando no desenvolvimento de estruturas mais complexas com maior tempo de convecção e mais organizadas no espaço e no tempo.

A Figura 4.2 mostra a variância da primeira componente, no período de 01 de janeiro a 30 de abril de 2001, apresentando nesta componente um processo físico que não representa característica da existência de fluxo e jato, sendo representativo de um processo com fraco

cisalhamento do vento, mas podendo possuir valores de magnitude elevada do módulo do vento.

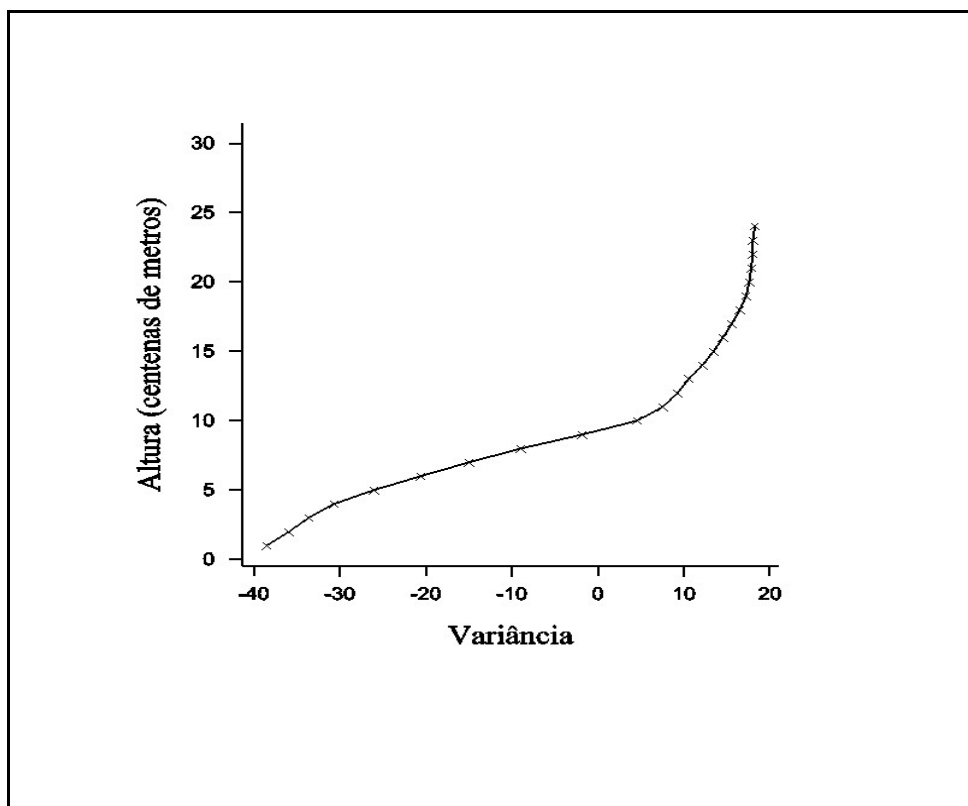


Figura 4.2 – Primeira componente, mostrando a variância na vertical, em centenas de metros, do perfil do módulo do vento.

A Figura 4.3 mostra a segunda componente, caracterizando a presença de uma variância com um fluxo no perfil vertical do vento. Tal fluxo pode apresentar a existência de JNB. Os perfis deste tipo foram caracterizados por apresentar intenso cisalhamento e fortes gradientes, com alturas da ordem de 1000/ 1500 metros ou mais.

A Figura 4.4 mostra uma variância com fluxo mais baixo no perfil vertical do vento. Neste nível pode existir a ocorrência de JNB, apresentando gradientes intensos e forte

cisalhamento. Estas situações estão ligadas a eventos em que o transporte de vapor de água apresentou uma tendência de ocorrer com uma maior otimização, em função de esta componente ocorrer em percentagem menor que a segunda componente. Os JNB associados neste perfil vertical apresentam alturas menores, da ordem de 500/ 1000 metros.

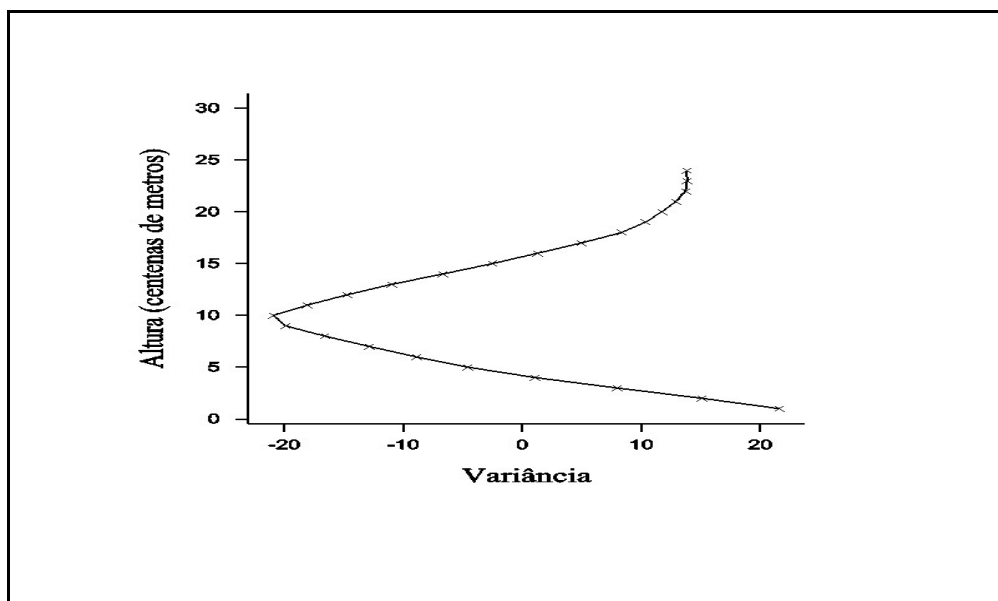


Figura 4.3 - Segunda componente, mostrando a variância na vertical, em centenas de metros, do perfil do módulo do vento.

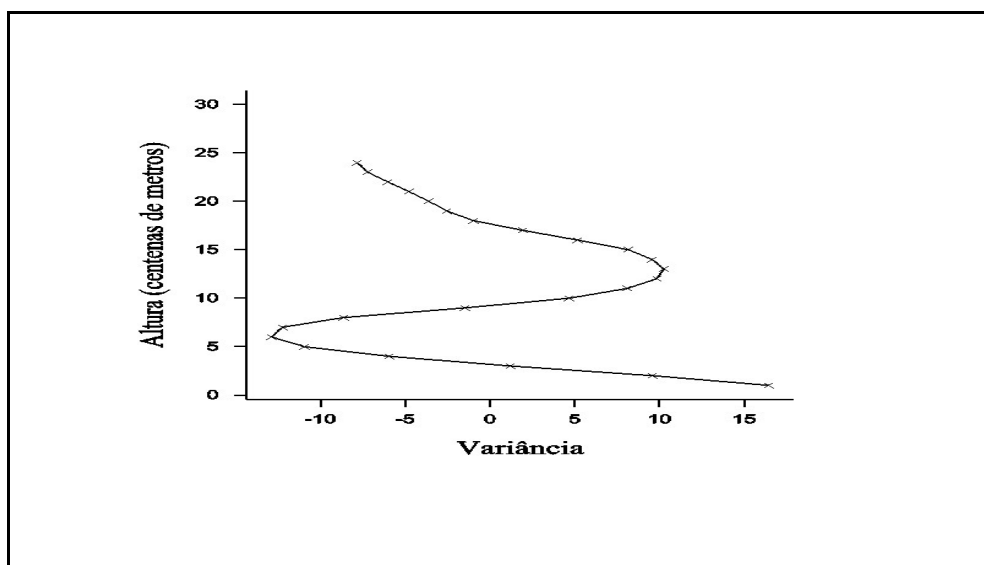


Figura 4.4 - Terceira componente, mostrando a variância na vertical, em centenas de metros, do perfil do módulo do vento.

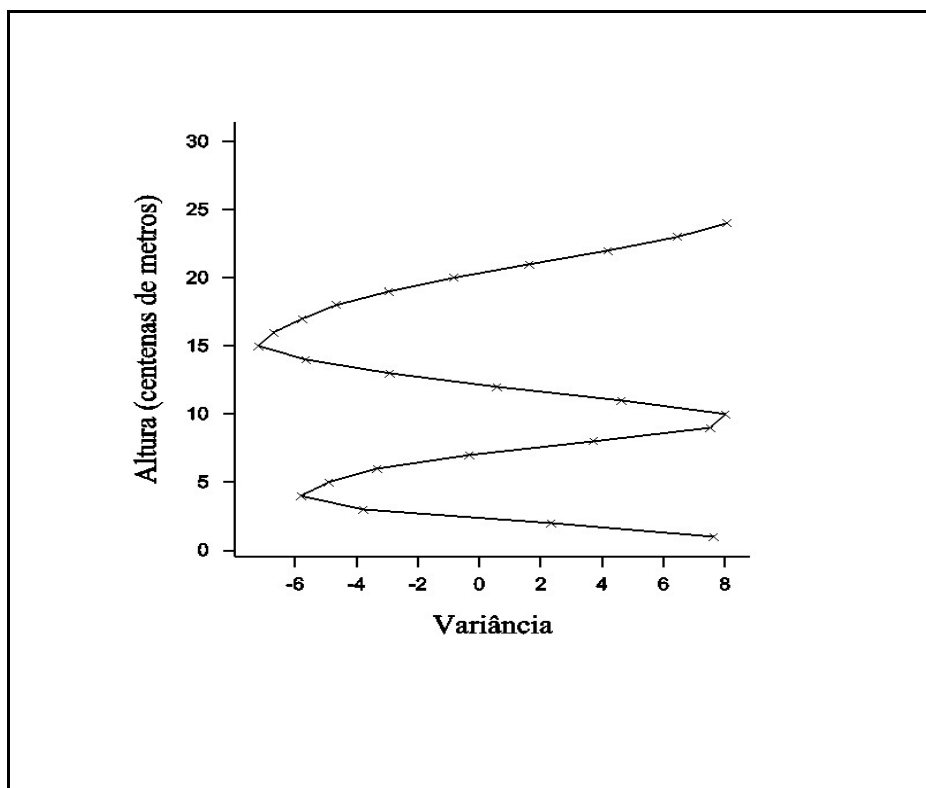


Figura 4.5 - Quarta componente, mostrando a variância na vertical, em centenas de metros, do perfil do módulo do vento.

A Figura 4.5 mostra situações em que pode ocorrer a soma dos dois efeitos, apresenta fluxos na altura da ordem de 500/ 1000 metros (terceira componente) e fluxos na altura da ordem de 1000/1500 metros ou mais (segunda componente). Possuem uma característica física muito importante; os dois fluxos na vertical podem ser máximos no perfil vertical do vento, podendo apresentar estrutura de combinação de fluxos e JNB, que poderiam caracterizar circulações transversas e de compensação de massa, cujo papel pode ser muito importante na manutenção da convecção e na geração de sistemas meteorológicos de grande intensidade e baroclinicidade. Como também pode transportar e participar do desenvolvimento sinótico de diferentes sistemas meteorológicos e, com a existência dos dois fluxos, ter fontes diferentes de vapor de água e massa para otimização simultânea.

A 4ª componente observada na Figura 4.5 pode, em algumas situações, apresentar comportamento parecido com a 2ª componente, em que a importância do fluxo seja no nível mais alto da ordem de 1000/ 1500 metros ou mais, com JNB no nível mais alto e um fluxo que não caracteriza Jato na parte mais baixa. Em outras situações pode ocorrer o predomínio do nível mais baixo da ordem de 500/ 1000 metros com JNB, e no nível mais alto um fluxo que não caracteriza Jato. Pode ter somente os dois fluxos sem JNB.

Portanto tal comportamento dinâmico mostra a grande capacidade baroclínica deste sistema físico na baixa atmosfera, o qual tem enorme impacto no transporte de massa e de vapor de água mesmo para valores baixos de módulo do vento. Uma consequência desta estrutura dinâmica e estratificada no perfil vertical do vento ocorre quando este fluxo for mais intenso no nível mais alto, na ordem de 850 hPa (1000/1500 metros ou mais), ocasionando à noite um aumento da turbulência devido ao cisalhamento do vento e do transporte de massa.

A CLP noturna apresenta uma Camada Residual (CR) (região vertical de decaimento da turbulência que existiu na Camada Limite Convectiva (CLC) do dia anterior) que sofre o efeito do incremento da turbulência. Tal efeito de interação do fluxo com JNB faz com que a existência deste forçante sinótico resulte no aumento da turbulência de cima para baixo, tendo como consequência até mesmo a destruição da Camada Residual, por estruturas sinóticas de grande intensidade. As camadas estratificadas que compõem a CLP possuem uma estrutura fortemente dinâmica, em que a sua turbulência sofre influência direta dos forçantes sinóticos.

A Figura 4.6 mostra a variância da primeira componente do perfil da direção do vento. A Figura 4.7 apresenta a segunda componente. Este perfil vertical da direção mostra estar associada a uma estrutura com fluxo similar a segunda componente do módulo do vento, apresentando uma faixa em torno de 1000/ 1500 metros ou mais. Resulta que na presença de um perfil vertical de vento, a intensidade do vento e a direção estão significativamente correlacionadas com relação à estrutura dinâmica na vertical.

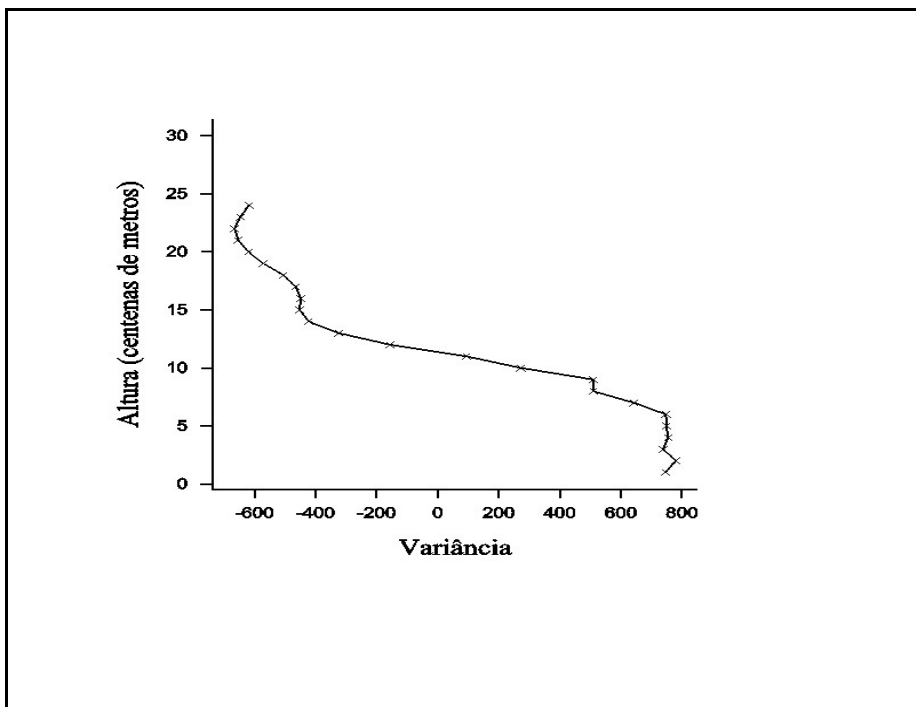


Figura 4.6 - Primeira componente, mostrando a variância na vertical, em centenas de metros, do perfil da direção do vento.

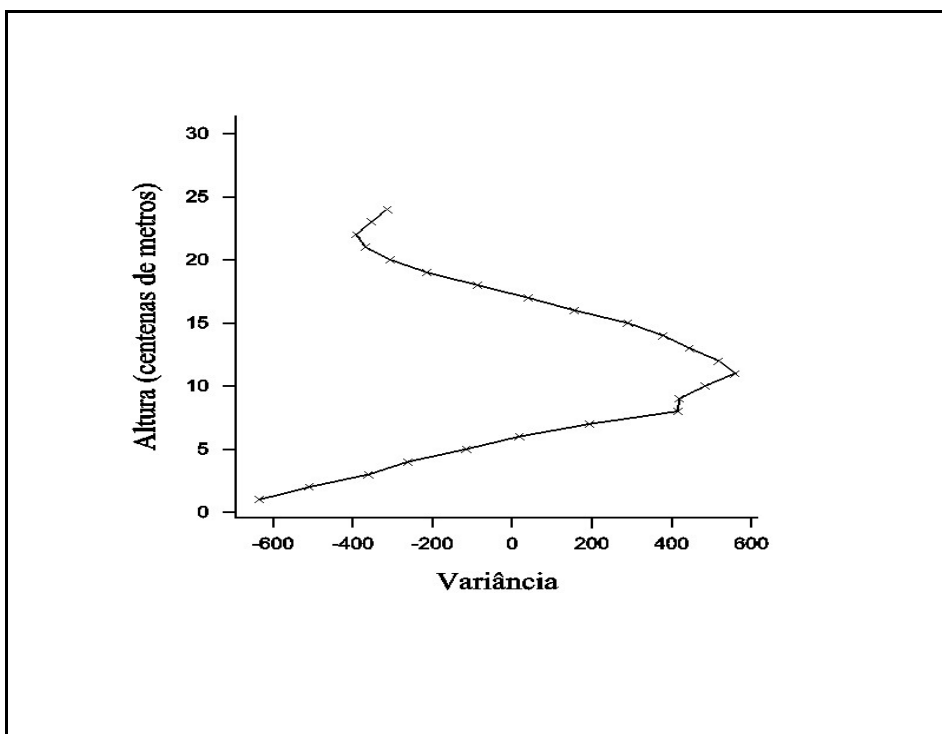


Figura 4.7- Segunda componente, mostrando a variância na vertical, em centenas de metros, do perfil da direção do vento.

As Figuras 4.8 e 4.9 mostram a terceira e a quarta componente da direção, que apresentam situação similar a terceira e quarta componente do módulo do vento, demonstrando a existência de similaridade entre os perfis de vento e da direção. Porém a quarta componente da direção do vento apresentou uma maior percentagem (praticamente o dobro) em relação à quarta componente do módulo do vento.

A Tabela 4.6 mostra as percentagens das componentes principais, no decorrer dos 26 períodos, desde agosto de 1992 a janeiro de 2002, em que é apresentada a frequência dos perfis predominantes. Na análise dos períodos fica realçado o período de El Niño ocorrido em 1997, entre janeiro e abril. Ocorreu uma exceção na série temporal, a primeira componente com uma frequência de 44,16% representa um perfil vertical com fluxo/JNB sendo característico de uma segunda componente, diferente das outras primeiras componentes, de tal forma que, foi colocada na Tabela 4.6 como sendo a segunda componente.

No período de El Niño o padrão de escoamento em níveis altos na troposfera pode apresentar situações com intensas divergências no nível do Jato de Nível Superior (JNS), sendo uma característica de bloqueio no escoamento nos níveis altos sobre a região sul do Brasil. Em tais situações ocorre uma intensificação da circulação em baixos níveis dentro da CLP (baixa atmosfera) e um processo de otimização na atmosfera como um todo, caracterizando um aumento do fluxo de massa em nível baixo da atmosfera, do equador para latitudes médias, denotando o acoplamento na vertical com o ajuste de massa entre os JNB's e os JNS's, fazendo com que ocorra um aumento significativo na intensidade dos JNB's. Uma característica importante dos JNS's é que também podem atuar de forma sazonal. Portanto, os JNS's em determinados anos apresentam uma maior intensidade no inverno, fazendo com que ocorra um aumento de intensidade dos JNB's nesta estação.

A Tabela 4.6 apresenta também, em alguns anos, um aumento significativo de frequência de fluxos/JNB no verão, mostrando a existência de uma variabilidade intersazonal, como nos exemplos dos anos de 1995 e 1998. Estes ciclos convectivos durante a estação de verão podem estar relacionados ao aumento da convecção sobre o continente. Tal processo convectivo pode ser relacionado à convecção local diária ou às estruturas convectivas organizadas como a circulação da Alta da Bolívia.

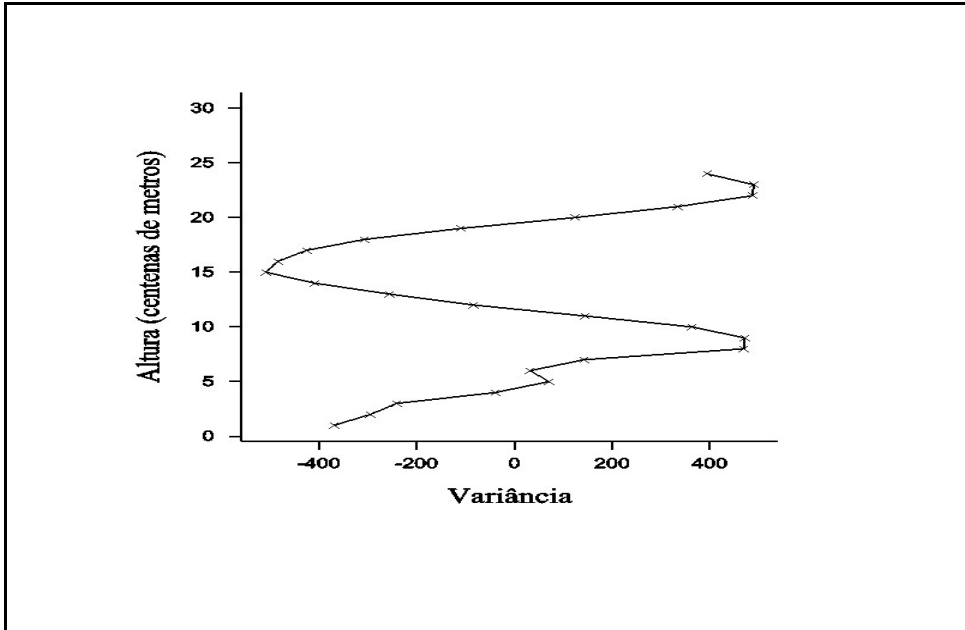


Figura 4.8 - Terceira componente, mostrando a variância na vertical, em centenas de metros, do perfil da direção.

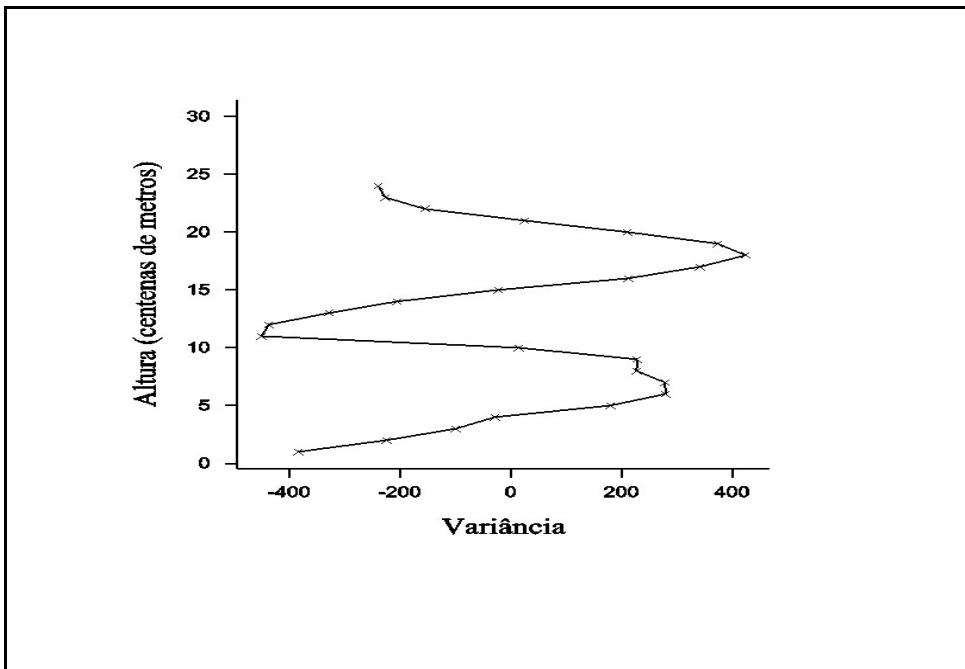


Figura 4.9 - Quarta componente, mostrando a variância na vertical, em centenas de metros, do perfil da direção.

Tabela 4.6 – Variação das percentagens das Componentes Principais do Módulo do Vento e da Direção, entre os anos de 1992 e 2002, no horário das 0900 horas local.

Período	Variação com as percentagens da ACP								
	Módulo do Vento				Número de dias	Direção do Vento			
	1ª %	2ª %	3ª %	4ª %		1ª %	2ª %	3ª %	4ª %
01/08 a 30/11/92	67	14	8	5	122	39	23	11	9
01/12/92 a 31/03/93	42	26	18	6	121	37	23	11	9
01/04 a 31/07/93	60	23	10	3	123	36	28	12	8
01/08 a 30/11/93	64	20	8	3	122	55	17	11	7
13/04 a 09/07/94	62	19	11	4	94	46	23	11	6
05/08 a 30/11/94	69	15	8	3	118	43	27	11	7
01/12/94 a 31/03/95	54	25	12	3	121	51	20	12	6
01/04 a 19/07/95	68	19	8	2	110	44	19	13	9
01/08 a 20/11/95	71	18	8	2	112	51	19	13	6
20/03 a 30/06/96	68	18	10	2	103	45	18	17	9
01/07 a 31/10/96	67	16	10	3	123	43	26	11	8
01/01 a 25/04/97	28	44	19	4	115	37	27	11	10
13/06 a 30/09/97	48	29	15	5	80	53	23	12	6
12/03 a 03/05/98	61	21	10	3	53	37	21	13	10
01/06 a 25/08/98	68	13	10	4	86	41	20	14	9
11/11 a 30/12/98	46	34	9	5	50	42	21	13	9
20/04 a 29/06/99	55	18	13	5	72	36	19	17	9
01/07 a 30/09/99	59	20	10	5	92	41	20	11	8
01/10 a 29/12/99	48	22	14	6	90	36	22	13	10
02/01 a 21/03/00	42	33	9	6	80	38	25	14	7
01/05 a 31/07/00	60	25	7	4	92	40	20	13	7
01/08 a 31/10/00	28	24	15	7	92	54	17	9	6
01/01 a 30/04/01	58	24	10	4	120	43	17	14	9
01/04 a 02/06/01	57	20	13	4	93	37	22	13	8
01/07 a 30/09/01	50	30	10	5	92	36	24	12	8
01/10 a 18/01/02	56	22	11	5	110	48	21	9	6
Médias	55	23	11	4	99	43	22	13	8
D. padrão	12	7	3	1		6	3	2	1

A Tabela 4.7 mostra os valores das percentagens das Componentes Principais em dois horários. O primeiro à noite no horário das 2100 horas local e os outros às 0900 horas da manhã. As percentagens apresentaram uma característica importante. A existência dos perfis foi similar entre a localidade de Uruguaiana e Porto Alegre. Como a amostragem foi de um período pequeno, não se pode mostrar a existência de um efeito de continentalidade. Por exemplo, em Porto Alegre poderia caracterizar perfis de JNB com maior tendência de leste e em Uruguaiana poderia caracterizar perfis com tendência de predominância do norte/noroeste.

Tabela 4.7 – Percentagens das componentes da ACP no período de 2001 nas estações de radiossonda de Uruguaiana e Porto Alegre.

Período	Hora	Variação das percentagens da ACP								
		Módulo do Vento				Número de dias	Direção do Vento			
		1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a		1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a
%	%	%	%	%	%	%	%	%		
Uruguaiana										
03/04 a 22/05/01	21:00	75	12	6	3	50	67	18	5	3
06/07 a 29/09/01	09:00	69	14	8	3	86	50	21	10	6
01/10 a 18/01/02	09:00	61	24	8	3	110	43	23	10	7
01/02 a 19/05/02	09:00	51	26	13	3	108	51	20	9	6
Porto Alegre										
02/04 a 03/07/01	21:00	53	24	12	5	93	44	26	11	6
01/07 a 30/09/01	09:00	50	30	10	5	92	36	24	12	8
01/10 a 18/01/02	09:00	56	22	11	5	110	48	21	9	6
01/02 a 19/05/02	09:00	55	23	12	4	108	43	15	11	9

Na análise da variância do perfil vertical do vento em Porto Alegre, a Figura 4.10 mostra a segunda componente, no período de 01 de abril a 19 de julho de 1995, apresentando a existência de fluxos com possibilidade de existência de JNB na altura de 1500 metros.

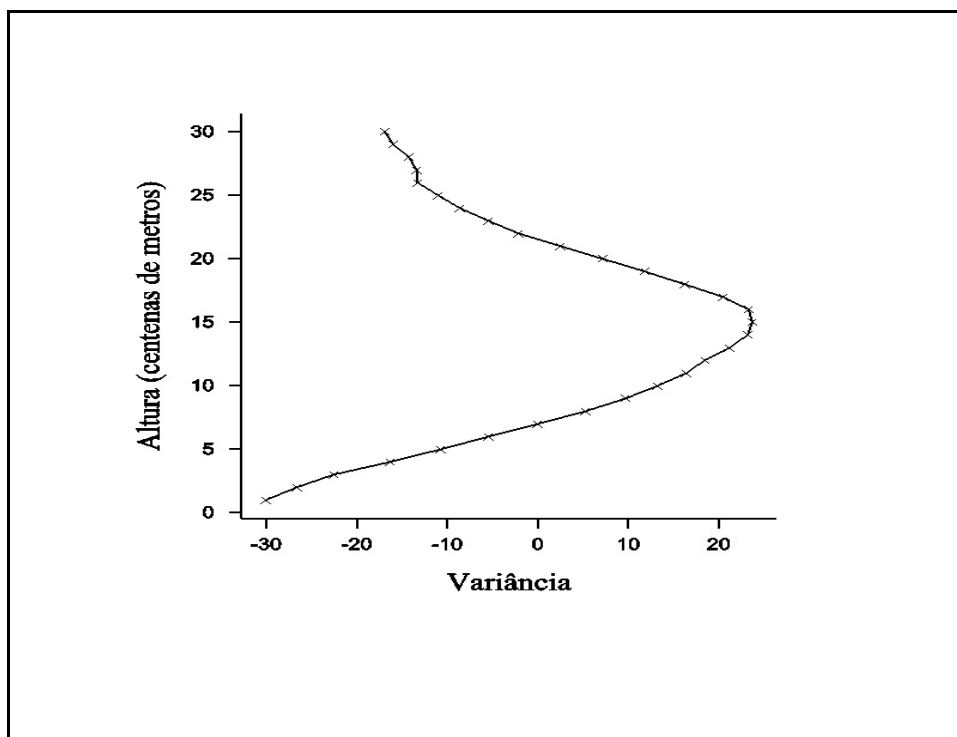


Figura 4.10 – Perfil vertical da variância da segunda componente da ACP do período de 01 de abril a 19 de julho de 1995, em centenas de metros.

A Tabela 4.8 mostra os totais diários de precipitação sobre sessenta e quatro pontos de observação no estado do Rio Grande do Sul, no período de 01 de abril a 19 de julho de 1995. Pela análise dos escores da ACP, separou-se o dia de ocorrência da segunda componente. Para cada dia selecionado somou-se o total de precipitação de cada localidade, obtendo-se a soma dos totais diários nos meses de abril a julho, a qual resultou em uma estimativa da ordem de 4379 mm.

Tabela 4.8 – 2ª Componente da ACP dos eventos de JNB e de precipitação no período de 01 de abril a 19 de julho de 1995 sobre o Rio Grande do Sul.

2º Comp. do ACP	Abril							Maio Dias				Junho				Julho		Total (mm)	
	1	2	6	7	9	10	22	1	5	18	26	1	6	23	5	11	14		15
Rio Grande	32,3	6,6	0	0	0	3,1	0	35	0	2,5	0	1	0	0,1	9,9	0,2	14	80	214,6
Santa V. do Palmar	23,7	13	0	0	0,1	3,3	0	30	0	22	0	1	0	0	0	0	22	3,6	118,6
Bage	17,5	5,8	0	0	0	0	0	33	0	1,1	0	1	1,9	0	0,2	0	22	95	178,5
Santa Maria	28,7	3,4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	33,3
Porto Alegre	22	6,3	0	0	0	1,5	0	4,4	0	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	48,2
Irai	10,4	0	0	0,2	0,3	1,9	0,1	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0	30,5
Encruzilhada do Sul	29,9	14	0	0	0	0	0	58	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0,6	103
São Luiz Gonzaga	2,7	0	0	0	0	6,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
Cruz Alta	25,3	1,7	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27,6
Passo Fundo	15,6	0,8	0	0	0	1,2	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	18,1
Lagoa Vermelha	9,2	0,9	0	0	0,3	2,6	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	13,3
Passo Tainhas	14	0	0	0	0	0	0	0	0	3,4	0	0	0	0	0	0	0	0	17,4
Antonio Prado	30,8	5,5	0	0	0	4,8	7,1	0	0	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0	50,6
Passo do Prata	0	0	0	0	0	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25,1
Passo Migliovaca	23,5	0	0	0	0	5,4	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	40,4
Prata	16	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
Encantado	30	24	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	6	10	0	2	6,6	0	98,2
Nova Palmira	0	0	39	5,3	0	0	3,7	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	69,9
Porto Garibaldi	0	48	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82
São Vedelino	28	23	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	66,4
Sapucaia do Sul	28,5	3,9	0	0	0	1,2	0	0	0	1,4	0	0	0	0	0	0	0	0	45,3
Guaíba Country C.	9,6	11	0	0	6,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,5	33,3
Quiteria	25,1	22	0	0	0	4,8	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,2	69,3
São Lourenço do Sul	10,8	21	0	0	0	4,9	0	57	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	46	139,9
Boqueirão	0	0	0	0	0	3	0	88	0	4	0	0	0	0	0	0	25	30	150
Passo do Mendonça	20,4	1	0	0	0	3,5	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	125,5
Santa Clara do Ingaí	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5
Botucarai	42,3	7,4	0	0	0	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52,1
Dona Francisca	48,6	6,4	0	0	0	1,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71,2
Canguçu	20	20	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0	40	0	18	118	295,4
Granja São Pedro	4,8	0	0	0	21	0	0	22	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	65,2
P. Cordeiro de Farias	0	0	0	0	0	8,4	0	78	0	0	0	0	0	10	0	0	0	90	186,8
Pedras Altas	18	5,2	0	0	0	4,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	38,8
Pinheiro Machado	21	5	0	0	0	0	0	43	0	1,5	0	0	0	4	0	62	103	239,7	
G. Cel. Pedro Osorio	35,3	1,2	0	0	0	1,7	0	0	0	4	0	1	0	0	3,4	0	20	83	164,2
Granja Cerrito	0	0	0	0	0	0	0	71	0	0	0	0	0	0	0	0	45	64	180,2
Granja Santa Maria	121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	64	221,6
Arroio Grande	0	0	0	0	0	3,5	0	75	0	0	0	0	0	0	17	11	0	0	137,6
Granja Osorio	50	0	0	0	19	2,5	0	0	13	0	0	0	0	11	0	0	0	0	118
Herval	35	2,5	0	0	0	7,2	0	60	0	9	0	0	0	0	0	0	54	67	234,7
Passo Socorro	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,4
Paim Filho	25,2	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	25,6
Sananduva	9,2	1	0	0	0	9,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
Erebango	13,8	1,6	0	0	0	4,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20,2
Linha Cescon	22,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22,4
Alto Uruguai	5,6	0	0	0	0	1,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,7
Porto Lucena	5,2	0	0	0	0	2,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Carazinho	11,2	0,5	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,5
Colônia Xadrez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	3
Giruá	5,6	0	0	0	0	1,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16,3
Conceição	0	4,1	0	0	0	4,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,2
Passo Faxinal	8,8	0	0	0	0	3,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
P. Major Zeferino	2,4	0	0	0	2	0	0	0	0	2,8	0	0	0	0	0	0	0	1	8,2
Passo Viola	5	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
Garruchos	0	0	0	0	0	3,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39,4
Passo do Sarmiento	1,3	0	0	0	0	1,2	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22,9
F. S. Cecília do Butuí	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	4,3	0	29,7
Itaqui	3,4	0	0	0	21	0	0	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	83,3
Ernesto Alves	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
Furnas do Segredo	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Jaguari	24,5	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	26,3
Cachoeira S. Cecília	12,4	0	0	0	0	6,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	19,6
Passo Mariano Pinto	23,9	0	0	0	0	10	0	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	48,1
Plano Alto	0	2	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	4,4	1,5	0	13	0	37,4
Total (mm)	1086	270	39	5,5	87	446	11	844	13	86	20	4	7,9	38	114	13	355	940	4379,2

A Figura 4.11 mostra o perfil vertical de variância do vento para a terceira componente em Porto Alegre, apresentando a existência de fluxos com possibilidade de JNB na altura de 700 metros. A Tabela 4.9 mostra os totais diários de precipitação sobre sessenta e quatro pontos de observação no estado do Rio Grande do Sul, no período de 01 de abril a 19 de julho de 1995.

Pela análise dos escores da ACP, obtendo-se a soma dos totais diários nos meses de abril a julho, resultou em uma estimativa da ordem de 7600 mm, da ordem de 70% maior que o valor da segunda componente neste período. Os jatos da terceira componente são mais baixos e podem estar associados a valores maiores de precipitação acumulada.

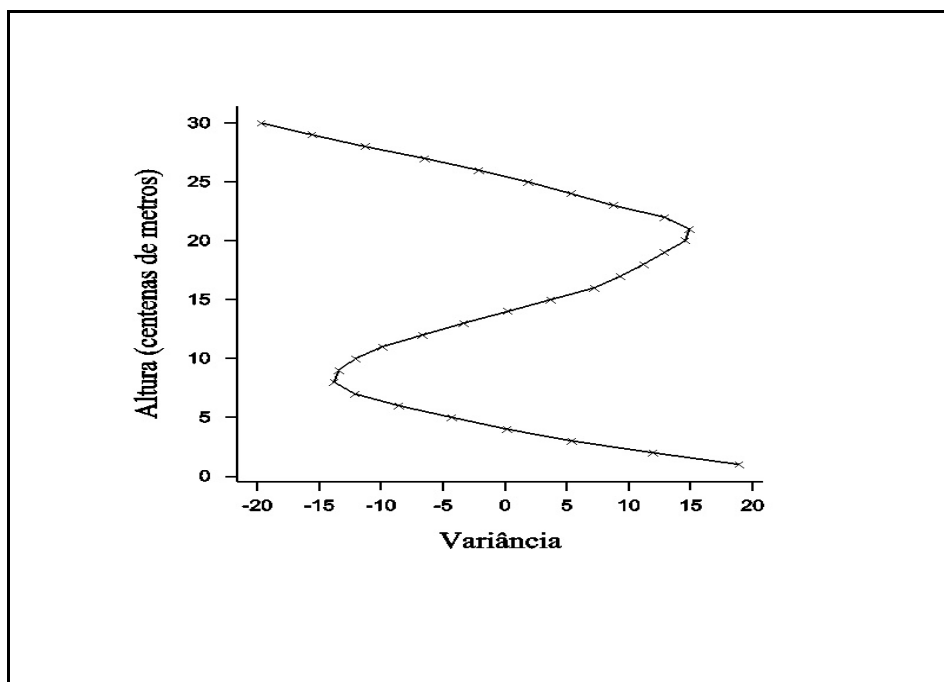


Figura 4.11 – Perfil vertical da variância da terceira componente da ACP do período de 01 de abril a 19 de julho de 1995, em centenas de metros.

Tabela 4.9 – 3ª Componente da ACP dos eventos de JNB e de precipitação no período de 01 de abril a 19 de julho de 1995 sobre o Rio Grande do Sul.

3º Comp. do ACP	Abril							Maio					Junho					Julho				Total (mm)		
	Dias														18									
	4	5	8	12	14	20	24	28	30	3	9	25	27	7		10	12	16	25	30	2		4	17
Rio Grande	0	0	0	29	0	6,9	0	0,3	0	0	0	0	0	0,4	0,2	0	26	31,5	0	17	0,4	0	7,1	119,8
Santa V. do Palmar	0	0	0	55	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	9,2	0	28	5,1	30	0	28	0	0	0,2	155,5
Bage	0	0	0	1,2	0	9,8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	10	22,8	0	24	0	0,2	7,2	76,4
Santa Maria	0	0	0	0,7	0	20	0	0	0	0	0	0	0	17	28,7	0	7	42	0	5,4	0	23,4	8,5	152,7
Porto Alegre	0	0	0	0,6	0	8,7	0	0	0	0	0	0	0	0,1	7,2	0	26	58,2	0	1,5	0	38,7	24	164,9
Irai	0,2	0	0	0	0,2	34	0,2	0,1	0	0,2	0,2	0	0,1	1,2	53,7	0,1	0,1	17,1	0	0	6,4	2,6	0,3	116,6
Encruzilhada do Sul	0	0	0	0,7	0,2	29	0	0	0	0	0	0	0	1,6	7,6	0	36	36,2	0	11	0	16,3	33	170,4
São Luiz Gonzaga	0	0	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	79	0	0	5,2	0	0	0	48,7	4,5	171,7
Cruz Alta	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0,3	0	3	50	1	2	19,2	0	0	0	30,6	3,9	121,2
Passo Fundo	0	0	0	1,2	0	11	0	0	14	0	0	0	0	0	49,8	0	0	25	0	0	1,3	9,1	2,3	113,5
Lagoa Vermelha	0	0	0	0,6	0,1	9,6	0	0	1	0	0	0	0	0	56,2	0	0,1	24,2	0	0	2,2	11,8	12	117,7
Passo Tainhas	0	0	0	1,7	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	23,9	0	0	26,9	0	0	10	18	17	112,3
Antonio Prado	0	0	0	3,2	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	29,6	0	0	34,1	0	0	4,8	13	14	123
Passo do Prata	0	0	0	0	0	8,1	0	0	0	0	0	0	0	0	9,9	0	0	20,3	0	0	7,2	10,4	6,2	62,1
Passo Migliaivaca	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	42,3	0	0	26,5	0	0	0	19,5	6,4	118,1
Prata	0	0	0	2,5	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	28,6	0	0	39	0	38	0	21,5	5,7	157,8
Encantado	0	0	8,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,4	18	0	0	0	28,4	0	0	0	3	12	77,9
Nova Palmira	0	0	0	7,4	0	5,3	0	0	0	3,5	0	0	0	0	29,2	0	19	3,5	17	0	0,1	75,2	14	172,7
Porto Garibaldi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14,6	0	18	55,2	0	0	0	43,6	23	154,6
São Vedelino	0	0	0	0	0	5,3	0	0	0	0	0	0	0	2	27,1	0	0	50,3	0	0	0	26,3	12	123,4
Sapucaia do Sul	0	0	0	6,1	0,5	13	0	0	1	0	0	0	0	0	11,8	0	6	49	0	2	0	42,3	17	149,1
Guaíba Country C.	0	0	0	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,1	0	4	62,4	0	0	0	37	24	139,3
Quiteria	0	0	0	3,1	0	6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	2,4	0	15	32,6	0	8,6	0	15,4	33	116,8
São Lourenço do Sul	0	0	0	0	2,4	0	0	0	29	0	0	0	0	3,4	0	0	9,4	21,5	0	38	0	1,2	27	131,5
Boqueirão	0	0	0	0	14	13	0	0	0	0	0	0	0	2,8	0	0	0	0	0	26	0	9,2	18	83
Passo do Mendonça	0	0	0	0	0	5,6	0	0	0	0	0	0	0	0,5	2,5	0	13	28,5	0	14	0	4,2	23	91,3
Santa Clara do Ingai	0	0	0	0	0	18	0	2,3	0	6,5	0	0	0	0	9,8	42,3	0	0,1	42,2	0	0	37,7	4,9	163,8
Botucarai	0	0	0	0	0	9,1	0	0	0	0	0	0	0	1,3	20,5	0	6,8	54,9	0	1,9	0	25	27	146,7
Dona Francisca	0	0	0	0	0	6,2	0	0	0	0	0	0	0	0	33,2	0	3,4	18,2	0	3,4	0	33,2	25	123
Canguçu	0	0	0	11	0	68	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	57	18	32	21	231,9
Granja São Pedro	0	0	0	15	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	140	0	197
P. Cordeiro de Farias	0	0	0	30	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	22	20,3	0	30	0	25,2	20	155,5
Pedras Altas	0	0	0	8	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	31	23	0	0	0	0	0	62,8
Pinheiro Machado	0	0	0	8,3	0	11	0	0	2	0	0	0	0	0,2	0,2	0	30	0	0	30	0	37	11	129,6
G. Cel. Pedro Osorio	0	0	0	15	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0	0,3	37	38	0	0	0	0	0	103,2
Granja Cerrito	0	0	0	22	0	0	0	0	0	8,3	0	0	0	0	0	0	15	16	0	14	0	0	0	75,5
Granja Santa Maria	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,2	0	0	0	29,4	0	11	0	0	0	84,8
Arroio Grande	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,5	0	23	18	30	0	49	0	0	50	197,2
Granja Osorio	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	8	28,5	0	18	0	0	18	94,5
Herval	0	0	0	7,2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	40	0	15	0	0	0	94,2
Passo Socorro	0	0	0	1,2	0	17	0	0	1	0	0	0	0	0	67,3	0	0	3	0	0	0	4,7	22	115,8
Paim Filho	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	54,3	0	0	12,8	0	0	0,3	8,6	5,5	82
Sananduva	0	0	0	0,2	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	57,5	0	0	15,5	0	0	7,6	13,9	9,1	119
Erebango	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	91	0	0	27	0	0	1	11,8	3,6	154
Linha Cescon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	19	0	0	0	28	6,4	0	63,7
Alto Uruguai	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	63,3	0	0	15	0	0	8,3	2,4	0	109
Porto Lucena	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0,5	44,7	0	0	0,4	0	0	0	8,1	0,6	80,4
Carazinho	0	0	0	0,9	0	11	0	0	7	0	0	0	0	0	52	0	0	54,2	0	0	0	12,9	0,7	138,1
Colônia Xadrez	0	0	0	0	0	7,8	0	0	4	0	0	0	0	0	45	0	0	35,4	0	0,5	15,6	0,6	108,7	
Giruá	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	97,8	0	0	7	0	0	0	5,2	3,3	130,8
Conceição	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	35,3	0	0	19,7	0	0	0	20,1	6,2	98,9
Passo Faxinal	0	0	0	0,2	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	38,3	0	0	25,1	0	0	0	23,1	9,5	105,2
P. Major Zeferino	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	1	83	0	0	1,4	0	0	0	27	5,8	132
Passo Viola	0	0	0	0	0	28	0	0	7	0	0	0	0	0	49	0	0	6	0	0	0	13	15	118,3
Garruchos	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	41,5	0	0	0	0	0	0	31,7	0	117
Passo do Sarmiento	0	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	0	0	70	0	0	0,3	4,7	0	0	0	21	3,4	145
F. S. Cecília do Butuí	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	13,4	0	0	0	0	0	23,9
Itaqui	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	6,7	0	1,3	0	0	0	0	16,4	0	33
Ernesto Alves	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39,5	0	0	24,2	0	0	0	22,1	0	85,8
Furnas do Segredo	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	50,2	0	0	40	0	24	0	0	40	163,8
Jaguari	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	52,4	0	0	11,2	0	0	0	32,2	11	116,9
Cachoeira S. Cecília	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	1	0	0	0	11	7	72
Passo Mariano Pinto	0	0	0	0	0	58	0	0	0	0	0	0	0	0	24,5	0	0	2,8	0	0	0	15,2	4,3	104,6
Plano Alto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,5	0	0	0	17	0	8,3	0	29,1
Total (mm)	0,2	0	8,1	303	17	847	0,2	2,7	86	19	0,4	0,3	8,5	181	1690	56	445	1479	17	483	96	1182	680	7600

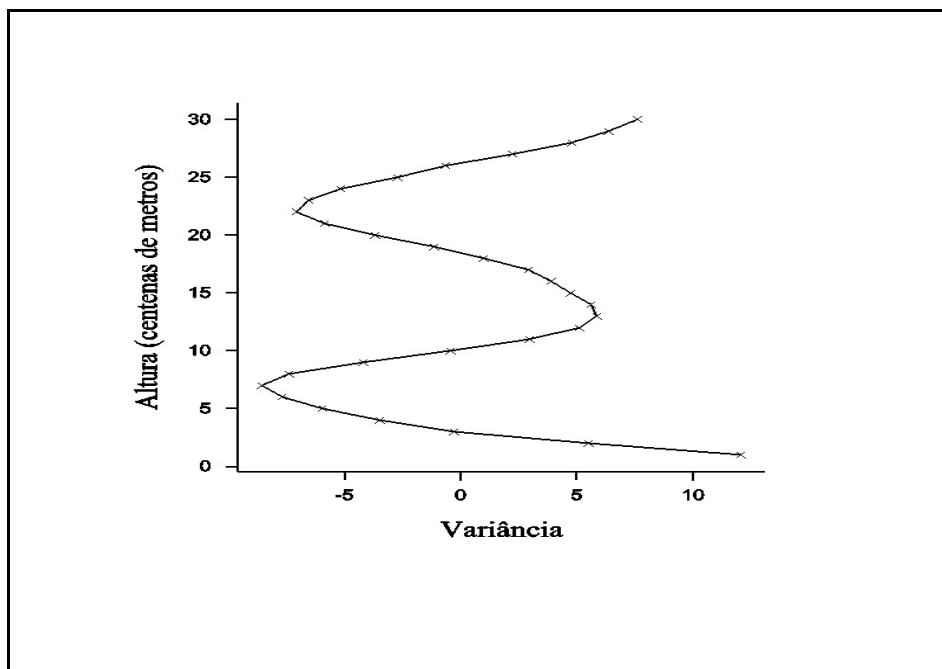


Figura 4.12 – Perfil vertical da variância da quarta componente da ACP do período de 01 de abril a 19 de julho de 1995, em centena de metros.

A Figura 4.12 mostra o perfil vertical da variância do vento para a quarta componente em Porto Alegre, no período de 01 de abril a 19 de julho de 1995, apresentando a existência de fluxos ou JNB, na altura de 600 metros e nas alturas acima de 2000 metros.

A Tabela 4.10 mostra os totais diários de precipitação para sessenta e quatro pontos de observação no estado do Rio Grande do Sul no mesmo período. Obtendo-se a soma dos totais diários nos meses de abril a julho, resultou em uma estimativa da ordem de 6273 mm. Tal valor acumulado mostra que esta componente pode ocorrer associada a sistemas meteorológicos com grande atividade convectiva.

Comparado às componentes anteriores, esta foi a que apresentou maior otimização de transporte em função de apresentar menor percentagem da variância total. Estes resultados permitem ter um entendimento do processo físico. Um sistema meteorológico em desenvolvimento pode apresentar a combinação destas componentes e pode mudar de um perfil para outro de forma contínua visando à otimização e respondendo aos forçantes sinóticos e baroclínicos.

Tabela 4.10 – 4ª Componente da ACP dos eventos de JNB e de precipitação no período de 01 de abril a 19 de julho de 1995 sobre o Rio Grande do Sul.

4º Comp. do ACP	Abril			Maio					Junho				Julho			Total (mm)		
	15	18	26	2	4	7	23	31	Dias	8	11	17	20	24	7	12	13	19
Rio Grande	0	0	0,2	6,8	0	11	0	0,3	0,3	0,2	32	0	1,2	0	2,6	24	19,2	97,8
Santa V. do Palmar	0	0	0	3,7	0	0	0	0	0	0,1	8,5	0	2	0	0	77	10	101,3
Bage	0	0	0	4,6	0	4,6	0	0	0	4,6	23	0	0,9	0	0,2	3,5	10	93
Santa Maria	0	0	0	20	0	36,4	0	0	4,2	0	15	0	0,8	0	0	0	28	103,9
Porto Alegre	0	0	0	18	0	27,3	0	0	12	0	23	0	15	12	0	0	24,5	131,9
Iraí	0	18	0	0	0,1	8,4	0	0,1	31	0,2	22	0,2	2,8	1,5	0	0	20	104,4
Encruzilhada do Sul	0	0	0	30	0	36,8	0	0	0	0	24	0	4,2	0	0	2,3	3,9	100,9
São Luiz Gonzaga	0	0,1	0	14	0	26,1	0	0	1,7	0	1,1	0	0,2	4,2	0	0	30,4	77,4
Cruz Alta	0	0,4	0	4,3	0	8,5	0	0	15	0	0,5	0,1	0	11	0	0	12,2	51,1
Passo Fundo	0	0	0	3,2	0	5,7	0	0	43	0	23	0	0,8	41	0	0	12,6	130
Lagoa Vermelha	0	0,2	0	0	0	6,1	0	0	25	0	12	0	8,2	39	0	0	14,3	104,7
Passo Tainhas	0	15	0	2,3	0	2,9	0	0	32	3,7	17	0	2,9	49	0	0	14,5	139,4
Antonio Prado	0	0	0	0	0	5,6	0	0	29	0	15	0	1,3	56	0	0	23,9	130,5
Passo do Prata	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	9	0	9,2	45	0	0	13,1	110,7
Passo Migliavaca	0	0	0	0	0	12,8	0	0	43	1,5	13	0	1,3	44	0	0	16,5	131,8
Prata	0	0	0	4	0	7	0	0	29	0	18	0	2	56	0	0	17,8	133,5
Encantado	0	14	0	0	0	15,3	0	0	0	0	11	7	0	0	0	0	32,5	80,3
Nova Palmira	13	6,5	0	1,3	0	11,1	0	0	25	10	0	3,4	5,7	27	0	0	32,3	135,9
Porto Garibaldi	0	0	0	17	0	21,2	0	0	26	0	19	0	2,4	38	0	0	13,4	137,5
São Vedelino	0	5,2	0	0	0	11,1	0	0	23	0	10	0	15	31	0	0	15	111,4
Sapucaia do Sul	0	0	0	15	0	11,2	0	0	25	0	3,2	0	0,8	3,4	0	0	5,3	64,1
Guaíba Country C.	0	0	0	0	0	46,5	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	7,7	74,5
Quiteria	0	0	0	13	0	37,3	0	0	15	0	14	0	7,4	0	0	0	27,4	114,7
São Lourenço do Sul	0	0	0	17	0	21,6	0	0	0	0	51	0	0	0	0	11	29,4	130,5
Boqueirão	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	36	0	24	0	0	19	25	128
Passo do Mendonça	0	0	0	16	0	23	0	0	0	0	47	0	4,7	0	0	5,3	14,4	110,1
Santa Clara do Ingai	0	0	0	0	0	17,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,5	24,3
Botucarai	0	5,9	0	14	0	74,9	0	0	2,7	0	17	0	0	2,5	0	0	37,4	154,1
Dona Francisca	0	0	0	15	0	79,4	0	0	0	0	10	0	0	5,4	0	0	46,2	156,4
Canguçu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	40	22	0	42	18,8	151,5
Granja São Pedro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57	0	0	0	0	0	50,5	107,5
P. Cordeiro de Farias	0	0	0	13	0	16,7	0	0	0	0	20	0	4	0	0	4	6	64,2
Pedras Altas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	2,4	0	0	3,4	4,2	27,4
Pinheiro Machado	0	0	0	20	0	10	0	0	0	0	15	0	29	0	0	1,3	15,2	90,8
G. Cel. Pedro Osorio	0	0	0	42	0	6	0	0	0	0	30	0	2	0	0,4	3,6	23,4	107,8
Granja Cerrito	0	0	0	64	0	5,1	0	0	0	0	34	0	0	0	0	30	15	148,5
Granja Santa Maria	0	0	0	98	0	0	0	1,8	0	0	54	0	0	0	0	31	12,4	196,4
Arroio Grande	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0	0	13	73,5	119,9
Granja Osorio	0	0	0	0	0	17	0	0	19	0	0	0	0	75	0	13	14	137,5
Herval	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0	5,5	11	65,5
Passo Socorro	0	0	0	0	0	2,6	0	0	16	0	4,5	0	12	17	0	0	10,6	62,9
Paim Filho	0	2	0	0	0	22,5	0	0	27	0	16	0	0,4	8,4	0	0	5,5	81,4
Sananduva	0	0	0	0	0	9,8	0	0	17	0,6	9,6	0	1	19	0	0	18,6	75,8
Erebango	0	0	0	0	0	11,5	0	0	20	0	9	0	0	23	0	0	13,8	77,2
Linha Cescon	0	14	0	0	0	15	0	0	10	0	19	0	0	44	0	0	0	101,4
Alto Uruguai	0	18	0	8,5	0	9	0	0	6,2	0	7,9	0	0	9,9	0	0	2,9	62,4
Porto Lucena	0	4,3	0	8	0	22,5	0	0	9,6	0	1,1	0	1,9	4,4	0	0	15,7	67,5
Carazinho	0	0	0	0	0	9	0	0	37	0	10	0	0	49	0	0	4,2	110
Colônia Xadrez	0	0	0	0	0	7	0	0	41	0	17	0	0	45	0	0	11,5	121,8
Girúá	0	0	0	0	0	29,6	0	0	3,8	0	0,5	0	2,1	5,7	0	0	5,5	47,2
Conceição	0	0	0	7,8	0	13,8	0	0	9,4	0	0	0	0	7,5	0	0	7,1	45,6
Passo Faxinal	0	0	0	3,8	0	17,7	0	0	24	0	0	0	0	11	0	0	0	56,5
P. Major Zeferino	0	0	0	12	0	25	0	0	3,8	0	0,1	0	1	0	0	0,1	34	76,4
Passo Viola	0	0	0	16	0	20,5	0	0	22	0	0,7	0	9	0	0	0	12	80,5
Garruchos	0	0	0	15	0	22,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33,3	71,4
Passo do Sarmiento	0	2,1	0	4,7	0	26,8	0	0	0	0	0	0	9,1	2,3	0	0	27,9	72,9
F. S. Cecília do Butuí	0	0	0	0	0	42,7	0	0	0	0	0	0	0	9,5	0	0	0	52,2
Itaqui	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,1	0	3,7	0	0	5,8
Ernesto Alves	0	0	0	40	0	71	0	0	0	0	8,8	0	7,5	0	0	0	22,4	149,7
Furnas do Segredo	0	0	0	40	0	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	130
Jaguari	0	0	0	40	0	41,8	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	15,8	118,8
Cachoeira S. Cecília	0	0	0	39	0	49	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	4	105
Passo Mariano Pinto	0	0	0	35	0	38,1	0	0	0	0	3,2	0	0	0	0	0	0	76,6
Plano Alto	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,8	0	43,2
Total (mm)	13	106	0,2	843	0,1	1202	0	2,2	684	21	950	15	244	819	6,9	295	1072	6273,3

Tabela 4.11 – Total de precipitação associado a ACP entre o período de 1992 a 1998.

Período Módulo do Vento	Componente (Percentagem (%))				Soma Total (%)	Nº de Dias	Total de Precipitação (mm) em 64 pontos de observação		
	1ª	2ª	3ª	4ª			2ª	3ª	4ª
01/08 a 30/11/92	67	14	8	5	94	122	3631	6316	4849
01/12/92 a 31/03/93	42	26	18	6	92	121	2835	5375	9129
01/04 a 31/07/93	60	23	10	3	96	123	3778	6216	7280
01/08 a 30/11/93	64	20	8	3	95	122	9042	2948	4102
13/04 a 09/07/94	62	19	11	4	96	94	6850	9269	4856
05/08 a 30/11/94	69	15	8	3	95	118	4416	9002	4900
01/12/94 a 31/03/95	54	25	12	3	94	121	7643	4573	4792
01/04 a 19/07/95	68	19	8	2	97	110	4379	7600	6273
01/08 a 20/11/95	71	18	8	2	99	112	3338	6296	3606
20/03 a 30/06/96	68	18	8	2	96	103	4585	8031	5709
01/07 a 31/10/96	67	16	10	3	96	123	3949	12016	5961
01/01 a 25/04/97	28	44	19	4	95	115	7526	7150	5559
13/06 a 30/09/97	48	29	15	5	97	80	4093	7435	5396
12/03 a 03/05/98	61	21	10	3	95	53	5899	5019	3342
						Total	71964	97246	75754
Média	59	22	11	3		108	5140	6946	5411

A Tabela 4.11 mostra a análise das Componentes principais do módulo do vento por componente e a sua precipitação associada entre o período de 01 de agosto de 1992 a 03 de maio de 1998 no estado do Rio Grande do Sul. Esta análise foi realizada com um total de 97088 dias de precipitação de sessenta e quatro postos de observação, tendo apresentado importantes resultados.

Observou-se a tendência, na média, da terceira componente estar associada com o maior valor de precipitação (total e na média), maior que a segunda e a quarta componentes. Em ambas as situações a terceira componente foi maior por um fator da ordem de 1,35 ou mais nos períodos analisados. Porém ocorreram períodos, como 01 de dezembro de 1992 a 31 de março de 1993 e 01 de abril de 1993 a 31 de julho de 1993, com a quarta componente predominando, e os períodos de 01 de agosto a 30 de novembro de 1993, 01 de dezembro de 1994 a 31 de março de 1995, 01 de janeiro a 25 de abril de 1997 e 12 de março a 03 de maio

de 1998, em que a segunda componente apresentou o maior valor de precipitação total acumulada, maior que a terceira componente ou da ordem desta. Um aspecto importante desta situação foi que estes períodos têm em comum a estação do verão ou em transição para outono.

A segunda componente apresenta alturas próximas a 1000 metros ou mais, correspondendo a níveis de pressão da ordem de 850 hPa e a terceira componente apresenta alturas próximas a 500/1000 metros, correspondendo a níveis de pressão da ordem de 950 hPa ou mais próximos da superfície.

Tais aspectos mostram que nem todos os tipos de JNB apresentam a mesma estrutura de escala no transporte de vapor de água, mostrando que podem existir diferenças nas suas escalas e intensidades no processo de formação da convecção e das escalas sinóticas entre o verão e o inverno para as latitudes do estado do Rio Grande do Sul. Portanto, nesta análise o processo físico da convecção apresenta uma tendência de sazonalidade entre o verão e o inverno.

A quarta componente pode apresentar uma estrutura vertical em que os processos turbulentos são otimizados para as alturas da ordem de 850 hPa e 950 hPa, uma combinação das componentes anteriores, e tal estrutura vertical caracteriza um mecanismo baroclínico que atua na baixa atmosfera, diretamente ligado aos processos convectivos que ocorrem ao nível de mesoescala e em outras escalas meteorológicas que apresentem convecção. Nesta situação a quarta componente mostra ser a componente com maior otimização do transporte de vapor de água e massa, pois mesmo sendo a componente com menor percentagem de ocorrência entre as componentes, apresenta o maior valor acumulado de precipitação por evento.

Tal fato resulta em uma estrutura dinâmica de transporte nos baixos níveis que realçam a natureza baroclínica deste transporte turbulento. Fisicamente, a ACP mostra a existência de uma estrutura dinâmica no processo de transporte turbulento em que os perfis podem apresentar a seguinte combinação:

- Um JNB isolado no nível de 950hPa ou mais próximo da superfície.
- Um JNB isolado no nível de 850hPa ou mais alto.
- Um fluxo isolado no nível de 950hPa, mas que não caracteriza a existência de JNB.
- Um fluxo isolado no nível de 850hPa, mas que não caracteriza a existência de JNB.

- Um JNB no nível de 950hPa e um fluxo no nível de 850hPa.
- Um fluxo no nível de 950hPa e um JNB no nível de 850hPa.
- Um fluxo no nível de 950hPa e um fluxo no nível de 850hPa.

Na serie temporal não foi encontrada a combinação de dois JNB nas alturas de 950hPa e 850hPa para o mesmo perfil vertical do vento. Porém quando ocorre a existência de um fluxo este pode atingir magnitudes de módulo do vento da ordem de um JNB, mas este fluxo não obedece aos critérios de definição propostos na literatura para um JNB.

Os modelos de reanálise global, que são usados para estudar os JNB, não são hábeis em representar todas estas estruturas baroclínicas de mesoescala dos JNB, podendo subestimar o fluxo transportado de vapor de água, sendo que este fluxo pode ser maior na realidade do que foi calculado pelos modelos (Berbery e Collini, 2000).

Os modelos de reanálise enfatizam o transporte de vapor de água nas alturas de 850 hPa, que corresponderiam às alturas de 1000/1500 metros ou mais, e seriam associados à segunda componente. A Tabela 4.4 mostra a correspondência entre estas alturas e as direções de norte/nordeste. Neste nível os valores de JNB possuem maiores magnitudes, porém não estão associados aos maiores valores totais de precipitação. A análise das CP mostra que o processo é otimizado para as alturas de 500/1000 metros (950 hpa), terceira e quarta componentes.

Na análise realizada pela classificação não hierárquica dos JNB (Tabela 4.4), mostra-se que as alturas da ordem de 500 metros ou inferiores apresentam a tendência de possuírem direção de leste, caracterizando um fluxo do Atlântico Sul. Tal dinâmica caracterizaria um mecanismo de transporte de vapor de água diretamente do Atlântico para o continente, sendo que este transporte pode ser responsável por gerar e manter significativa parcela da convecção, através da manutenção e alimentação dos SCM. Este fluxo do Atlântico sul pode ser intensificado e influenciar nas variações sazonais e intrasazonais, pela influência das temperaturas da superfície do mar (TSM).

A variação temporal dos perfis verticais do vento com JNB mostra que, no desenvolvimento de uma perturbação meteorológica, pode existir a combinação dos diferentes tipos de perfis verticais. As Figuras 2.1 e 2.2, nos dias 01 e 02 de novembro de 1999 apresentam o desenvolvimento de um CCM em que a quarta componente ocorreu no dia 01 de novembro e a terceira componente ocorreu no dia 02 de novembro. As características desta

alternância de perfis verticais do vento demonstram a riqueza dos mecanismos baroclínicos que surgem no processo de desenvolvimento dos diferentes sistemas meteorológicos. O JNB é um mecanismo de otimização destes processos e do transporte em baixos níveis. Quando atua de forma isolada possui a capacidade de gerar instabilidades baroclínicas criando sistemas convectivos, em bandas de nebulosidades lineares e paralelas, cujas frequências possuem a tendência de apresentar um ciclo noturno para o Rio grande do Sul.

Portanto, poderia se estudar a existência de predominância nos perfis verticais do vento associados aos sistemas meteorológicos mais freqüentes. Esta repetição de determinados perfis verticais no tempo traria informações dos diferentes tipos de escalas envolvidas, pois os sistemas meteorológicos apresentam escalas de tempo de vários dias, como ocorre em situações de bloqueio. A convecção associada a este tipo de sistema apresentaria vários ciclos convectivos, portanto a segunda, a terceira e quarta componentes tenderiam a se repetir no tempo, criando características que acompanham os sinais das escalas meteorológicas com maior duração. Abre-se a possibilidade de desenvolver uma climatologia dos perfis verticais correlacionados às diferentes escalas meteorológicas existentes, o que ajudaria a entender os mecanismos meteorológicos das escalas intrasazonais, sazonais e intersazonais.

A segunda componente que ocorre no nível de 850 hPa (1000/1500 metros ou mais) está associada a sistemas com grandes estruturas sinóticas. O aumento da frequência desta componente poderia caracterizar a influência de um sinal de macroescala em nível planetário (sinal remoto), tipo o sinal ENOS. A terceira componente que ocorre no nível de 950 hPa (500/1000 metros ou mais próximo da superfície), poderia o seu aumento de frequência caracterizar uma tendência de representar processos de natureza convectiva (sinal local), atuando ao nível de mesoescala ou com influência de fatores regionais ou parcialmente continentais. Portanto, as mudanças de frequência das componentes da ACP podem caracterizar sinais de variação sazonal e intersazonais.

A Tabela 4.11 mostra a relação da precipitação com as componentes da ACP do módulo do vento, apresentando uma cascata de estruturas com diferentes intensidades e magnitudes, realçando os aspectos dinâmicos dos fluxos verticais e dos JNB. Nesta dinâmica podem existir tendências de predominância da direção do vento, altura e intensidade no perfil vertical do vento com fluxo ou JNB. Durante a formação de um sistema meteorológico pode-se apresentar uma combinação dos diferentes tipos de perfil. Estas combinações poderiam mostrar padrões

de comportamento. Quando estes padrões fossem associados aos valores de precipitação poderiam mostrar cascatas de estruturas. Portanto, os valores de certa magnitude dos JNB e os máximos de precipitação estariam associados a um determinado grupo de sistemas meteorológicos que fazem parte desta cascata de estruturas, neste contexto, quando isto ocorre poderiam gerar possíveis homogeneidades, tanto espaciais quanto temporais na precipitação.

4.4 ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE A OCORRÊNCIA DOS JATOS DE NÍVEL BAIXO E A OCORRÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO.

Os JNB estão relacionados com o transporte de vapor de água em baixos níveis para os sistemas meteorológicos. Este transporte é observado no fluxo de vapor de água das regiões do equador para latitudes médias, como o transporte no Golfo do México para a região central dos Estados Unidos e na América do Sul da região Amazônia para o sul do continente sobre a bacia do Prata. Tal estrutura de circulação planetária esta ligada a eventos de intensa convecção e com altos valores de precipitação nestas latitudes. Portanto, espera-se que as séries temporais de JNB e de precipitação associadas a estes mecanismos de circulação apresentem períodos com significativos valores de correlação positiva.

Com a intenção de comparar períodos característicos com chuva intensa e estiagem utilizou-se a série temporal de JNB e da precipitação abrangendo os anos de 1996 a 1997, correspondendo um evento neutro (sem sinal ENOS) entre os meses analisados, de março a outubro de 1996 e de El Niño em 1997. No ano de 1997 ocorreram chuvas acima do normal e o de 1996 caracteriza períodos de estiagem sobre estado do Rio Grande do Sul. Os mecanismos associados aos JNB podem gerar eventos convectivos isolados e precipitações de forma pontual, criando padrões em que a precipitação possa variar espacialmente de forma significativa.

A Tabela 4.12 mostra as correlações calculadas através das permutações das médias de cinco dias com as séries temporais dos JNB e da precipitação no período de 20 de março a 30 de junho de 1996. Os resultados mostram os sinais da série temporal dos JNB e da precipitação das doze localidades em que foi calculada a correlação pelo método “Bootstrap”,

obtendo-se o valor crítico de 0,17 para todas (Rio Grande, Santa Vitória do Palmar, Bagé, Santa Maria, Uruguaiana, Porto Alegre, Iraí, Encruzilhada do Sul, São Luiz Gonzaga, Cruz Alta, Passo Fundo e Lagoa Vermelha). A correlação calculada para as localidades mostrou ser significativa ao nível de 5% nas 10000 permutações, existindo correlação no sinal das séries entre a precipitação e os JNB. Este resultado também é válido para os eventos que ocorreram no dia, ou deslocados em 24 e 48 horas no tempo entre as séries.

Mostra-se um comportamento em que a maioria das localidades aumentou a sua correlação quando foi deslocada no tempo, exceto para as localidades de Santa Vitória do Palmar e Bagé. O segundo período analisado, no ano de 1996, foi entre os dias 01 de julho até o dia de 31 de outubro de 1996.

A Tabela 4.13 mostrou uma tendência de diminuição da correlação entre os JNB e as precipitações na maioria das estações observadas. Quando as séries foram deslocadas no tempo 24 e 48 horas, somente Santa Vitória do Palmar melhorou a correlação dos sinais. As demais localidades diminuíram as correlações após o período de 24 horas. Tal comportamento apresenta diferenças com relação à Tabela 4.12 em que observa-se o aumento da correlação. Neste outro período apareceram alguns valores negativos de correlação nas localidades de Iraí, São Luiz Gonzaga e Cruz Alta, para as correlações deslocadas no tempo em períodos de 48 horas.

Tabela 4.12 – Correlação dos sinais entre os JNB e a Precipitação e os seus valores críticos (5%) obtidos das 10000 permutações, no período de 20 de março a 30 de junho de 1996.

Localidades	Dia	24 horas	48 horas	Valor Critico (5%)
Rio Grande	0,30	0,26	0,28	0,17
Santa Vitoria do Palmar	0,53	0,43	0,33	0,17
Bagé	0,23	0,18	0,17	0,17
Santa Maria	0,30	0,30	0,37	0,17
Uruguaiana	0,18	0,23	0,32	0,17
Porto Alegre	0,37	0,42	0,51	0,17
Iraí	0,35	0,39	0,49	0,17
Encruzilhada do Sul	0,25	0,26	0,35	0,17
São Luiz Gonzaga	0,20	0,20	0,23	0,17
Cruz Alta	0,17	0,24	0,31	0,17
Passo Fundo	0,27	0,32	0,38	0,17
Lagoa Vermelha	0,18	0,26	0,36	0,17

Tabela 4.13 – Correlação dos sinais entre os JNB e a Precipitação e os seus valores críticos (5%) obtidos das 10000 permutações, no período de 01 de julho a 31 de outubro de 1996.

Localidades	Dia	24 horas	48 horas	Valor Critico (5%)
Rio Grande	0,22	0,20	0,11	0,15
Santa Vitoria do Palmar	0,22	0,30	0,36	0,15
Bagé	0,13	0,08	0,06	0,15
Santa Maria	0,22	0,16	0,04	0,15
Uruguaiana	0,23	0,18	0,20	0,15
Porto Alegre	0,36	0,31	0,18	0,15
Iraí	0,29	0,13	-0,01	0,15
Encruzilhada do Sul	0,26	0,19	0,09	0,15
São luiz Gonzaga	0,09	0,00	-0,09	0,15
Cruz Alta	0,16	0,08	-0,02	0,15
Passo Fundo	0,36	0,27	0,17	0,15
Lagoa Vermelha	0,39	0,29	0,18	0,15

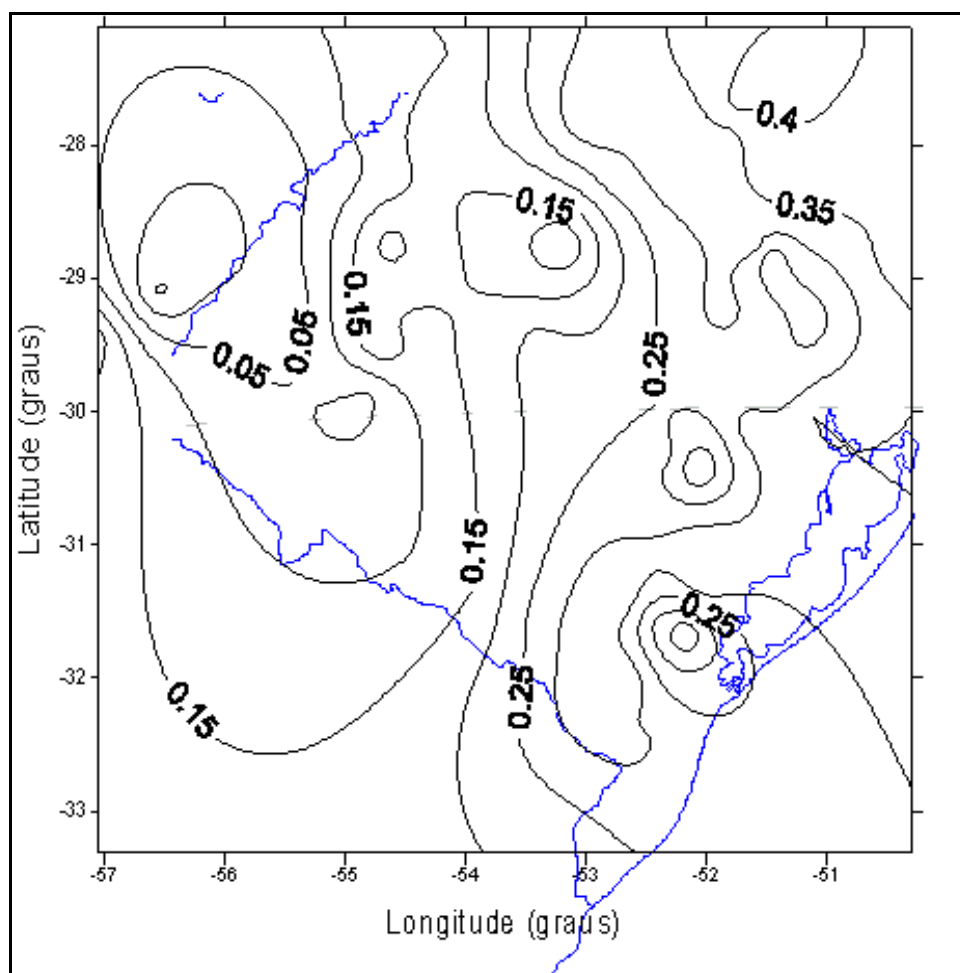


Figura 4.13 – Distribuição espacial da correlação entre os JNB e a precipitação sobre o Rio Grande do Sul, no período de 01 de julho a 31 de outubro de 1996.

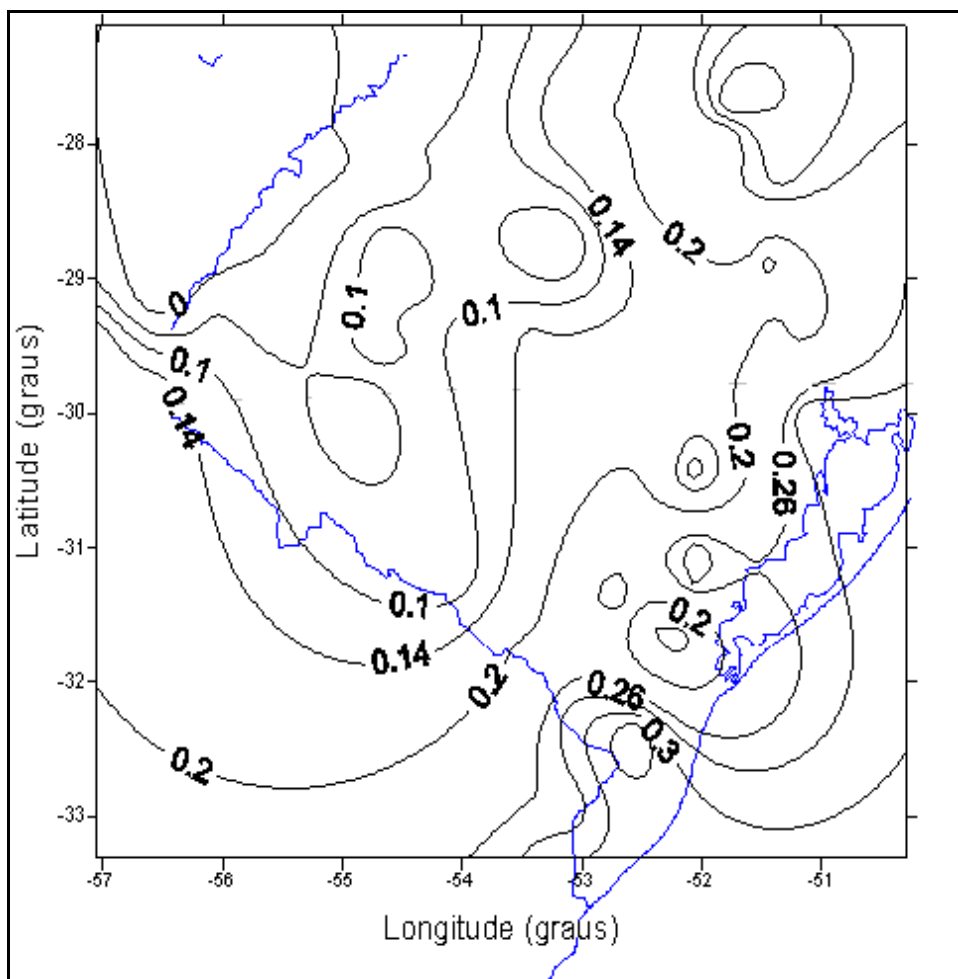


Figura 4.14 – Distribuição espacial da correlação entre os JNB e a precipitação, com as séries temporais deslocadas em um espaço de tempo de 24 horas sobre o Rio Grande do Sul, no período de 01 de julho a 31 de outubro de 1996.

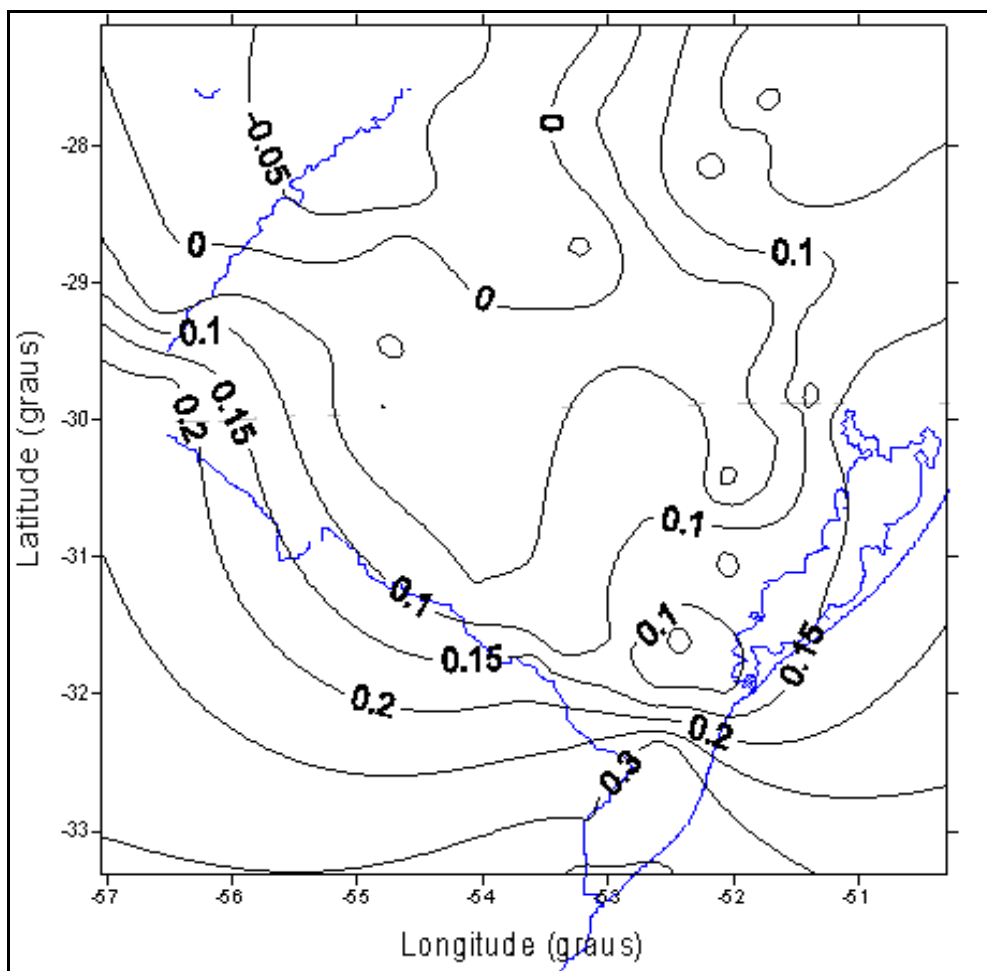


Figura 4.15 – Distribuição espacial da correlação entre os JNB e a precipitação, com as séries temporais deslocadas em um espaço de tempo de 48 horas sobre o Rio Grande do Sul, no período de 01 de julho a 31 de outubro de 1996.

As Figuras 4.13, 4.14 e 4.15 foram obtidas pelo cálculo da correlação de dados pluviométricos dos sessenta e quatro pontos de coleta de dados de precipitação (ANA, 8ª DISME) e dos JNB sobre o Aeroporto Internacional Salgado Filho no Rio Grande do Sul. Mostrando neste período a diminuição da correlação dos sinais entre as séries temporais nas regiões norte e oeste do estado do Rio Grande do Sul, mas para as estações da região sul e litoral do estado permaneceram correlacionados os sinais entre as séries, acima do valor crítico que foi de 0,15. Tal característica marca uma possível variação espacial longitudinal e o efeito de continentalidade da precipitação com sentido de leste para oeste, sendo que no noroeste apresentou o menor valor ou a ausência de correlação, atingindo inclusive valores negativos.

Também pode ser definido aspecto secundário como no sentido norte para o sul e no oeste a região da cidade de Uruguaiana em que aparecem valores de correlação acima dos valores críticos.

A Tabela 4.14 mostra os resultados das correlações entre as series temporais dos JNB e da precipitação para o período de 01 de janeiro a 25 de abril de 1997. Os resultados mostram que os valores dos sinais não apresentaram boa correlação, como na localidade de Uruguaiana onde observam-se valores de correlação negativa. Tal comportamento ficou mais evidenciado quando as correlações diminuíram os seus valores pelo deslocamento no tempo, em períodos de 24 horas e 48 horas.

A Tabela 4.14 apresenta correlações negativas em quatro localidades: Bagé, Santa Maria, Uruguaiana e Encruzilhada do Sul, e apresenta localidades onde a correlação não é significativa como Cruz Alta, São Luiz Gonzaga que diminuiu e tendeu a zero ou foi negativa próxima de zero. As demais localidades apresentam correlações positivas e significativas ao nível de 5%, como as localidades de Rio Grande (nos três dias), Santa Vitória do Palmar (somente no primeiro dia), Porto Alegre, Irai, Passo Fundo e Lagoa Vermelha (nos três dias).

Tais resultados neste período mostraram que a correlação calculada apresenta uma variabilidade espacial maior, o que pode salientar que esta variação resultou de uma estrutura com vários sistemas meteorológicos de diferentes escalas de tamanho e de duração temporal, que atuaram conjuntamente. Este período foi caracterizado pela ocorrência de intensos JNB com direção de norte/noroeste, podendo estar associados predominantemente com características da circulação de massa entre o JNS e JNB.

Em tais situações a escala meteorológica possui uma escala temporal maior, resultando em uma estrutura complexa, de compensação de massa na vertical, entre os jatos. Gerando estruturas complexas e configurações com máximos e mínimos com grande variação espacial das escalas meteorológicas envolvidas.

Tabela 4.14 – Correlação dos sinais entre os JNB e a Precipitação e os seus valores críticos (5%) obtidos das 10000 permutações, no período de 01 de janeiro a 25 de abril de 1997.

Localidades	Dia	24 horas	48 horas	Valor Critico (5%)
Rio Grande	0,20	0,17	0,14	0,16
Santa Vitoria do Palmar	0,15	0,09	0,02	0,16
Bagé	0,01	-0,04	-0,06	0,16
Santa Maria	-0,05	-0,03	0,01	0,16
Uruguaiana	-0,19	-0,21	-0,17	0,16
Porto Alegre	0,14	0,16	0,15	0,16
Iraí	0,25	0,30	0,27	0,16
Encruzilhada do Sul	-0,15	-0,15	-0,16	0,16
São Luiz Gonzaga	0,10	0,09	0,05	0,16
Cruz Alta	0,10	0,07	0,04	0,16
Passo Fundo	0,40	0,44	0,40	0,16
Lagoa Vermelha	0,12	0,24	0,32	0,16

A Tabela 4.15 mostra que os valores das correlações voltam a ser positivos na maioria das localidades analisadas, como também, aumentam no decorrer das 24 e 48 horas. Somente em duas localidades Iraí e Lagoa Vermelha começam negativas e se tornam positivas no decorrer do tempo, sendo significativas ao nível de 5% em 48 horas.

Tabela 4.15 – Correlação dos sinais entre os JNB e a Precipitação e os seus valores críticos (5%) obtidos das 10000 permutações, no período de 13 de julho a 30 de setembro de 1997.

Localidades	Dia	24 horas	48 horas	Valor Crítico (5%)
Rio Grande	0,48	0,53	0,49	0,19
Santa Vitoria do Palmar	0,62	0,59	0,47	0,19
Bagé	0,46	0,54	0,53	0,19
Santa Maria	0,31	0,45	0,53	0,19
Uruguaiana	0,12	0,19	0,23	0,19
Porto Alegre	0,16	0,3	0,41	0,19
Iraí	-0,04	0,05	0,15	0,19
Encruzilhada do Sul	0,28	0,4	0,46	0,19
São Luiz Gonzaga	0,17	0,21	0,22	0,19
Cruz Alta	0,09	0,19	0,27	0,19
Passo Fundo	0,01	0,12	0,22	0,19
Lagoa Vermelha	-0,1	0,03	0,18	0,19

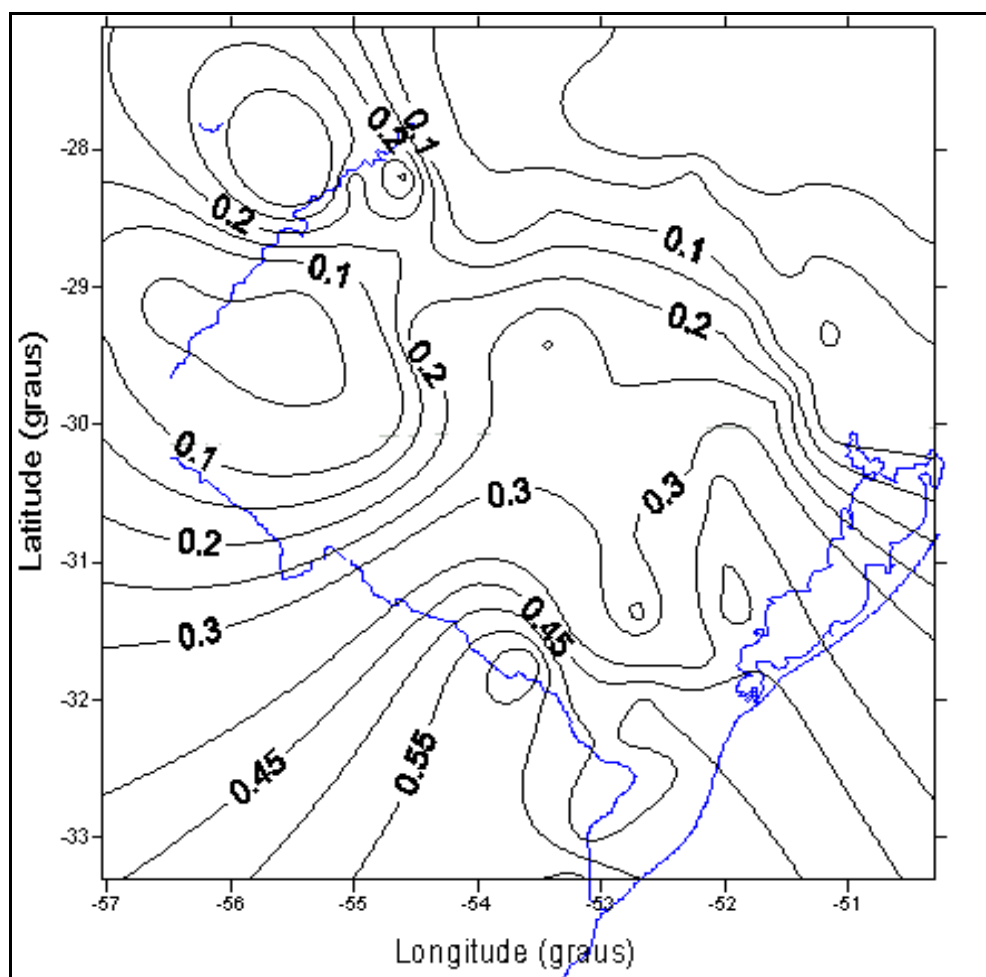


Figura 4.16 – Distribuição espacial da correlação entre os JNB e a precipitação sobre o Rio Grande do Sul, no período de 13 de julho a 30 de setembro de 1997.

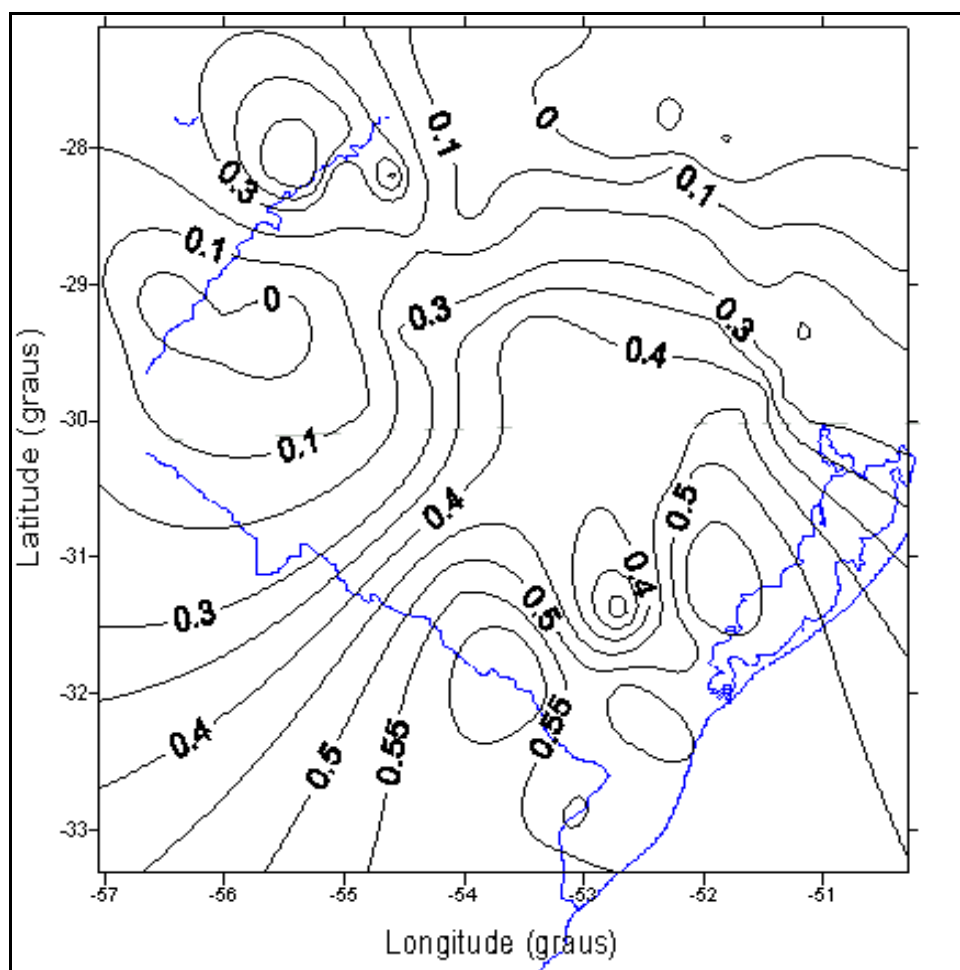


Figura 4.17 – Distribuição espacial da correlação entre os JNB e a precipitação, com as séries temporais deslocadas em um espaço de tempo de 24 horas sobre o Rio Grande do Sul, no período de 13 de julho a 30 de setembro de 1997.

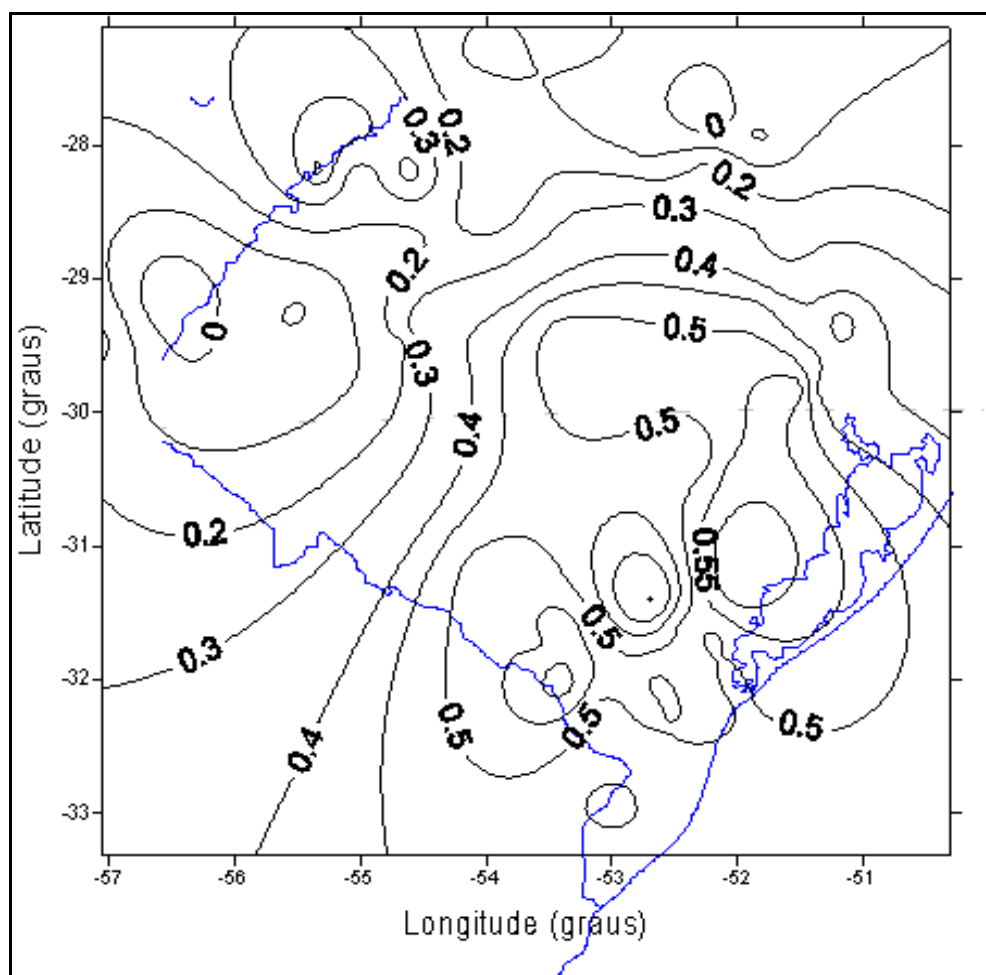


Figura 4.18 – Distribuição espacial da correlação entre os JNB e a precipitação, com as séries temporais deslocadas em um espaço de tempo de 48 horas sobre o Rio Grande do Sul, no período de 13 de julho a 30 de setembro de 1997.

As Figuras 4.16, 4.17 e 4.18 apresentaram um aumento da correlação entre os sinais da série temporal dos JNB e da precipitação no período de 13 de julho a 30 de setembro de 1997, com valor de correlação da ordem de 0,52 e valor crítico da ordem de 0,19 para 10000 permutações. Em tal período a variação espacial da correlação entre os JNB e a precipitação mostrou uma tendência de variação latitudinal, em que a correlação esteve alinhada na direção de norte para o sul.

Estes resultados abrem uma perspectiva de que a precipitação varie intra-sazonalmente, em períodos com escala mensal, de forma que as variações sejam em função da latitude e longitude. Nestes casos os sistemas convectivos de mesoescala apresentam uma tendência direcional associada à predominância direcional e de magnitude das escalas envolvidas.

A existência deste sistema dinâmico e baroclínico, dos fluxos e dos JNB, dentro da baixa atmosfera, atuaria de forma a estarem associados e alinhados com determinadas configurações, criando variações específicas para escalas intrasazonais e intersazonais, como do caso do período de 13 de julho a 30 de setembro de 1997 (El Niño). Portanto, estas configurações poderiam gerar persistências e padrões para determinadas escalas de tempo e de escala espacial associados à precipitação.

4.5 ANÁLISE DOS VARIOGRAMAS DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA E DOS SEUS DIAS DE EVENTO.

A análise geoestatística de possível tendência espacial e temporal da precipitação máxima e dos seus dias de evento abrangeu o período entre os anos 1971 até 2000, com o uso de 52 estações pluviométricas da agência ANA sobre o Rio grande do Sul. Utilizou-se um modelo linear para realizar o ajustamento do variograma. Poderia se utilizar outros modelos, do tipo não linear, obtendo ajustes mais precisos, como exemplo o modelo “boundedlinear” e o Gaussiano. Mas procurou-se utilizar o modelo linear por ser um modelo básico e também se obter bons resultados.

A Tabela 4.16 mostra os resultados dos ajustamentos do modelo linear dos variogramas calculados apresentando as suas respectivas percentagens da variância explicada pelo modelo linear. Os resultados são muito interessantes, pois mostram a existência de determinada coerência espacial e temporal da precipitação máxima em alguns anos entre o período de 1971 e 2000 sobre o estado do Rio Grande do Sul.

Neste período pode ser observado que existiram quatro anos com significativa coerência, tanto espacial como temporal, de 1974, 1978, 1985 e 1997. Estes anos apresentaram uma variância explicada com valores mais significativos para intensidades máximas e escalas temporais da ordem de dois, três e quatro dias. Tais características mostram sistemas meteorológicos cujos ciclos de existência possuem uma tendência de escala temporal da ordem de uma semana.

Durante a formação de um sistema meteorológico com estas características, escala temporal de uma semana, ocorre uma combinação dos diferentes tipos de perfis verticais de fluxo ou JNB, as quais poderiam mostrar padrões de comportamento máximos e mínimos. Estes padrões, quando fossem associados aos valores de certa magnitude dos JNB e os máximos de precipitação, estariam ligados a um determinado grupo de sistemas meteorológicos (ondas atmosféricas, CCM e sistemas de bloqueio) que fariam parte de uma cascata de estruturas que compõem a variabilidade climática; neste contexto, quando isto

ocorre poderiam estas estruturas gerar possíveis homogeneidades, tanto espaciais quanto temporais na precipitação.

Na Tabela 4.16 ocorreram anos em que existiu coerência espacial, mas não ocorreu coerência temporal, os seguintes anos: 1972, 1973, 1979, 1982, 1983, 1986, 1987, 1995, 1999 e 2000.

Na Tabela 4.17 os anos de El Niño apresentaram duas situações predominantes, a predominância de anos com coerência espacial (cinco anos) e anos sem coerência espacial e temporal (cinco anos). Nos anos de La Niña ocorreram três situações, três anos com coerência temporal, três anos sem coerência espacial e temporal e quatro anos com coerência espacial.

Nos anos sem sinal de ENOS, ocorreu a predominância de quatro anos sem coerência espacial e temporal. Os anos de 1974, 1978, 1985 e 1997 com coerência espacial e temporal ocorreram igualmente no El Niño, La Niña e na situação sem sinal de ENOS.

Os anos com coerência espacial se dividiram entre anos com El Niño e La Niña, mas os anos de El Niño caracterizaram-se por apresentar duas situações predominantes, uma com coerência espacial e a outra sem coerência espacial e temporal. Os sistemas meteorológicos destes períodos apresentaram uma dinâmica na qual existiu a predominância de determinadas escalas meteorológicas específicas gerando coerência espacial.

Em anos de El Niño, os JNS's sobre a América do Sul apresentam uma intensidade e uma predominância maior, e conseqüentemente uma maior intensidade dos JNB's com maior persistência. Tais sistemas podem ser a passagem de sistemas frontais, como ondas curtas, sistemas convectivos de mesoescala e outros sistemas meteorológicos com estruturas convectivas organizadas gerando máximos com coerência espacial, porém estes sistemas meteorológicos não apresentaram uma freqüência no tempo caracterizando coerência temporal.

Os processos físicos que estão envolvidos na geração das precipitações máximas como em SCM podem possuir diferentes dimensões espaciais e sua formação estar associada a diferentes mecanismos meteorológicos, formando-se instabilidades isoladas ou em grupo, como em células de Cumulonimbus (Cb) (com poucos quilômetros) até aglomerados de Cb em um CCM (com dezena a centena de quilômetros), portanto a precipitação máxima pode variar no espaço entre poucos quilômetros até centena de quilômetros.

Isso é uma característica importante na precipitação, pois os mecanismos de geração de SCM podem não se repetir no tempo em função dos diferentes tipos de sistemas que podem ocorrer, com diferentes tamanhos e diferentes durações no tempo. A existência de uma variabilidade climática no estado do Rio Grande do Sul implica que a precipitação possa variar através das quatro estações meteorológicas do ano, alternando-se no tempo a sua predominância com diferentes sistemas de meso e até de grande escala meteorológica.

Os máximos de precipitação, nos anos de 1971, 1975 e 1998, não apresentaram coerência espacial, porém apresentaram coerência temporal. Tal fato é interessante, pois foram anos de La Niña (1971 e 1998 – moderada e 1975 – forte), situação meteorológica que caracteriza períodos de estiagem, ocasionando uma tendência de diminuição da frequência e intensidade dos diferentes tipos de escalas meteorológicas sobre o Rio Grande do Sul.

Um outro ponto importante na Tabela 4.16 foi os anos que não apresentaram coerência espacial e nem temporal. Fato ocorrido nos seguintes anos: 1976, 1977, 1980, 1981, 1984, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994 e 1996, os quais ocorreram distribuídos em todas as fases do sinal ENOS. Poderia se dizer que a normalidade da precipitação máxima seria não apresentar coerência espacial e nem temporal.

Estas características resultam do processo físico que gera os máximos de precipitação destes anos, mostrando a existência de uma grande variedade de escalas meteorológicas e a alternância dos diferentes tipos de estruturas meteorológicas no espaço e no tempo.

Os diferentes tipos de sistemas meteorológicos apresentaram relações no espaço e no tempo em que suas variações de escala do tipo mesoescala isolada ou atuando em conjunto com outras escalas diferentes (meso para meso, meso para macro e macro para macroescala), resultam na alteração das características das tendências espaciais ou temporais.

As combinações destas estruturas poderiam mostrar uma tendência de estabilidade e homogeneidade no crescimento, no desenvolvimento e na persistência dos sistemas meteorológicos, conseqüentemente apresentando um aumento de coerência espacial, porém estas mesmas relações podem possuir ou não coerência temporal. Um exemplo desta situação é quando áreas de instabilidades são formadas por divergências associadas a JNS, estas instabilidades podem apresentar irregularidades espaciais sobre uma determinada região.

Tabela 4.16 – Percentagem da variância explicada pelo ajustamento do modelo linear.

Ano	Número de Observações	Percentagem(%)									
		MaxI_01	MaxI_02	MaxI_03	MaxI_04	MaxI_05	DiaM_01	DiaM_02	DiaM_03	DiaM_04	DiaM_05
1971	50	0	18	33	30	24	75	71	70	59	81
1972	52	38	59	57	57	63	0	0	0	16	0
1973	50	42	53	47	57	48	32	36	32	25	0
1974	51	55	43	47	46	45	50	72	56	52	34
1975	50	35	39	39	40	43	49	71	26	33	35
1976	51	15	20	20	32	32	7	0	3	33	0
1977	49	16	0	19	0	14	11	20	18	0	0
1978	52	42	65	74	79	76	0	18	70	78	67
1979	50	78	84	80	87	87	15	0	13	33	7
1980	52	0	4	0	0	0	0	0	2	0	0
1981	51	0	0	14	25	56	0	15	0	0	0
1982	49	50	63	67	63	66	0	26	37	30	20
1983	50	74	53	8	0	5	0	0	38	21	43
1984	49	18	8	0	0	0	0	0	2	23	15
1985	49	57	75	62	69	45	18	42	45	79	50
1986	48	17	49	41	43	58	0	0	18	7	0
1987	49	67	83	79	80	79	33	0	0	3	0
1988	49	37	41	46	42	50	3	0	4	28	29
1989	52	27	0	1	22	48	4	0	4	0	0
1990	46	0	0	0	0	0	15	0	0	12	10
1991	42	0	0	13	26	33	33	32	19	5	9
1992	47	0	0	0	0	0	0	0	10	0	1
1993	45	2	0	0	7	16	0	0	0	0	0
1994	46	9	0	14	0	10	0	0	1	0	9
1995	44	27	46	66	62	50	3	20	10	0	0
1996	42	5	9	44	33	31	0	8	7	0	0
1997	32	36	25	68	68	61	18	15	52	28	46
1998	47	0	0	2	0	0	0	12	64	56	88
1999	45	35	53	15	57	46	11	12	35	17	0
2000	41	0	68	71	56	55	0	0	0	0	12
Média	48	26	32	34	36	38	13	16	21	21	19
Desvio Padrão	4	24	29	28	28	26	19	22	23	24	26

Os MaxI_01, MaxI_02, MaxI_03, MaxI_04 e MaxI_05 são os máximos de precipitação de um dia, dois dias, três dias, quatro dias e cinco dias. Os DiaM_01, DiaM_02, DiaM_03, DiaM_04 e DiaM_05 são os dias do ano em que estes eventos máximos de precipitação ocorreram.

Tabela 4.17 – Comparação da percentagem da variância explicada pelo ajustamento do modelo linear com o sinal de ENOS, entre os anos de 1971 a 2000.

A n o	E l N i ñ o	L a N i ñ a	S e m S i n a l d e E N O S
1971		2	
1972	3		
1973		3	
1974		4	
1975		2	
1976			1
1977	1		
1978			4
1979			3
1980			1
1981			1
1982	3		
1983	3		
1984		1	
1985		4	
1986	3		
1987	3		
1988		1	
1989		1	
1990			1
1991	1		
1992	1		
1993	1		
1994	1		
1995		3	
1996		1	
1997	4		
1998		2	
1999		3	
2000		3	

Fonte: Os dados de ENOS foram obtidos da pagina na internet: www.cpc.ncep.noaa.gov

Legenda da Tabela 4.17.

- 1- Sem coerência espacial/temporal.
- 2- Com coerência temporal.
- 3- Com coerência espacial.
- 4- Com coerência espacial/temporal.

Mas quando esta divergência se intensifica e aprofunda, gerando uma estrutura de onda na atmosfera (ciclones extratropicais) com uma escala espacial e temporal maior, ocasiona uma estrutura dinâmica e um campo de precipitação possivelmente mais homogêneo. Nos anos de El Niño os JNS's são mais intensos e persistentes e os JNB's estariam associados a configurações que poderiam apresentar uma tendência à homogeneidade espacial.

Os mecanismos físicos dos sistemas meteorológicos são fortemente baroclínicos (turbulentos), porém através de suas relações entre as diferentes escalas meteorológicas envolvidas, suas propriedades físicas no espaço e no tempo se alteram, tanto construtivamente ou destrutivamente. Existe dentro deste sistema dinâmico, uma escala de interação entre as diferentes estruturas sinóticas, a qual é muito importante na manutenção e na geração de processos baroclínicos e convectivos. Esta escala é caracterizada por fluxos que ocorrem dentro da CLP, cujo máximo de transporte e otimização ocorre com a existência no perfil vertical do vento de uma estrutura com JNB. O seu papel dentro desta estrutura turbulenta é ser um elo de ligação entre as diferentes escalas espaciais de meso/meso e meso/macro.

Nesta situação, em cada escala espacial, máximos de precipitação estariam associados. Portanto em anos de intensa precipitação estão associadas escalas meteorológicas de grande desenvolvimento vertical na atmosfera, como bloqueios meteorológicos, associado à configuração de JNS, vórtices frios em altitude na atmosfera e nos anos de ENOS (El Niño), com fortes JNB's. Esta estrutura de macro e meso, com fortes JNB's podem gerar máximos de precipitação com distribuição regular no espaço e no tempo, pelo tamanho da escala espacial e temporal envolvida (como o ano de 1997).

Em outras situações, os JNB's podem ser mais fracos e serem a escala típica meso predominante, podendo gerar e manter estruturas baroclínicas e instabilidades que poderiam ocasionar precipitações máximas de forma irregular ou regular no espaço e no tempo. Neste contexto, dentro desta estrutura dinâmica descrita, os fluxos e JNB sempre ocorrem, independentes se existiria ou não homogeneidade espacial ou temporal da precipitação.

Portanto, a mesma escala meteorológica pode atuar de forma diferente na geração dos máximos de precipitação, caracterizando uma estrutura muito complexa que compõem um conjunto dinâmico de sistemas meteorológicos e os quais em conjunto formariam o campo da precipitação, sofrendo influência de fatores locais, regionais e de grande escala.

4.6 ESTUDO DE CASO COM USO DO MODELO MM5.

O estudo de um caso com JNB utilizando modelagem numérica de resolução em nível de mesoescala permite apresentar características estruturais dessa escala meteorológica e da intensidade deste mecanismo, ajudando a entender os seus efeitos e o transporte realizado, bem como a obtenção de estimativas das estruturas predominantes e do seu impacto na geração de convecção e, conseqüentemente, sua influência no campo de precipitação. Os máximos de precipitação podem possuir uma estrutura homogênea ou apresentarem uma forma irregular. Para representar esta situação selecionou-se um evento entre os dias 24 e 25 de julho de 2002 sobre o Rio Grande do Sul, em que aparece o desenvolvimento de um sistema meteorológico noturno, na madrugada do dia 24, com desenvolvimento de um ciclone extratropical no dia 25 de julho.

As Figuras 4.19, 4.20, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26 e 4.27 mostram as imagens do satélite GOES de canal infravermelho neste período, apresentando o ciclo de desenvolvimento do sistema meteorológico sobre o Rio Grande do Sul. Nestas imagens a nebulosidade indica a ocorrência de divergência em níveis médios e altos, associada à passagem de uma onda curta ao sul do continente sul americano. Porém, no desenvolvimento deste sistema meteorológico, a seqüência das imagens mostra a formação de áreas de instabilidade, podendo estar associadas à existência, no perfil vertical do vento, de uma estrutura vertical de JNB, como observado nas Figuras 4.21 e 4.22.

A Figura 4.19 apresenta ao sul do continente uma onda curta, associada à uma nebulosidade mostrando uma certa quantidade de divergência em altitude sobre o litoral da Argentina.

A imagem da Figura 4.20 mostra pequenas instabilidades se formando ao sul do Rio Grande do Sul e sobre o Uruguai. Estas instabilidades estão em linha, paralelas e simétricas. Tal característica é retratada na literatura no trabalho de Raymond (1978).

A Figura 4.21 mostra o perfil vertical do vento nas cidades de Uruguaiana para o dia 24 de julho, em que aparece um JNB bem definido às 09:00 horas, aparecendo um JNB do tipo JNB-3 com velocidade da ordem de 27 ms^{-1} , direção de 330 graus e altura da ordem de 700

metros e poder-se-ia classificá-lo também como sendo do tipo quarta componente na ACP em que aparece um jato em 700 metros e um fluxo em 1500 metros.

A Figura 4.22 mostra o perfil vertical do vento na cidade de Porto Alegre no mesmo horário, em que aparece um VM-1 com direção de 323 graus e altura da ordem de 1000 metros e da mesma forma poder-se-ia classificá-lo como sendo de quarta componente com dois fluxos um em 1500 metros e o outro em 2700 metros.

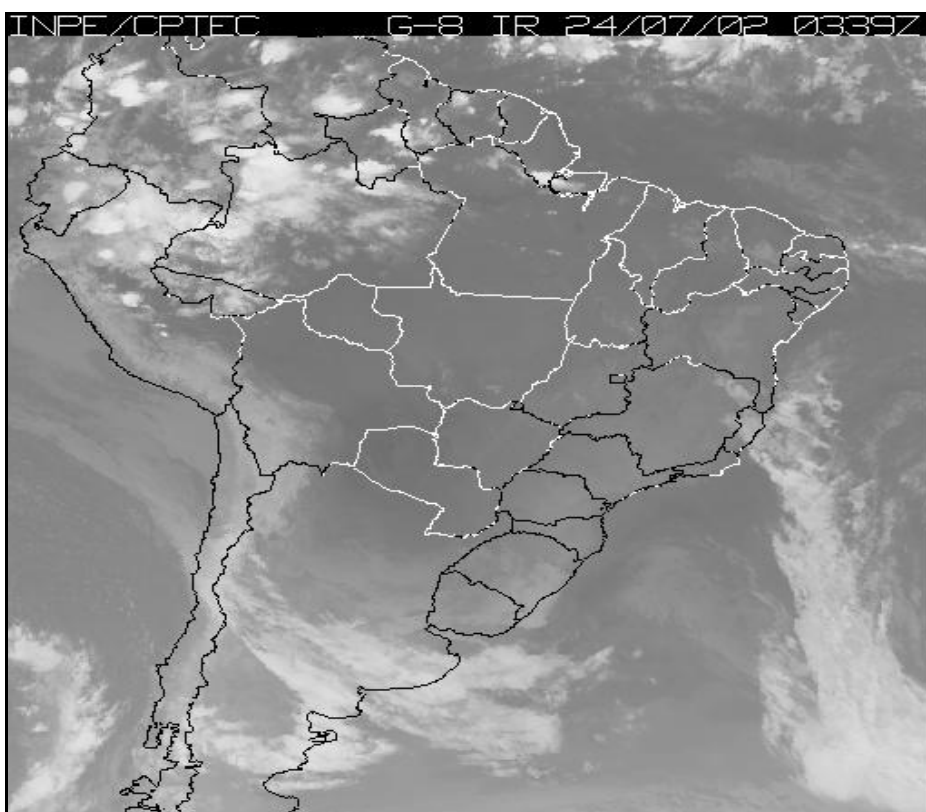


Figura 4.19- Imagem do satélite GOES Infravermelho do dia 24 de julho de 2002, às 00:39 horas local.

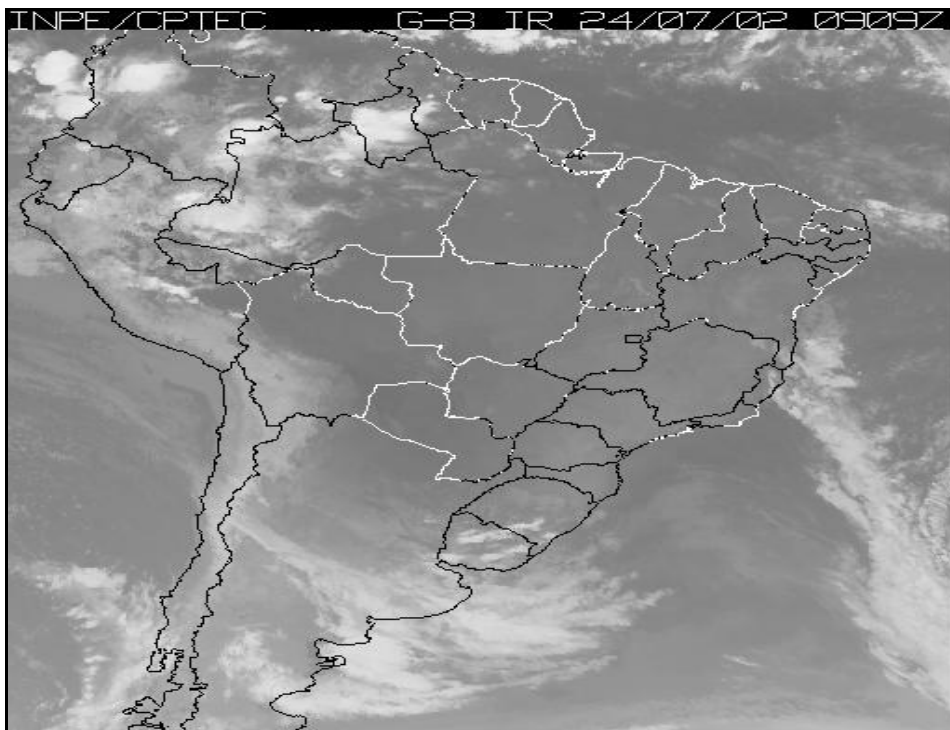


Figura 4.20 - Imagem do satélite GOES Infravermelho do dia 24 de julho de 2002, às 06:09 horas local.

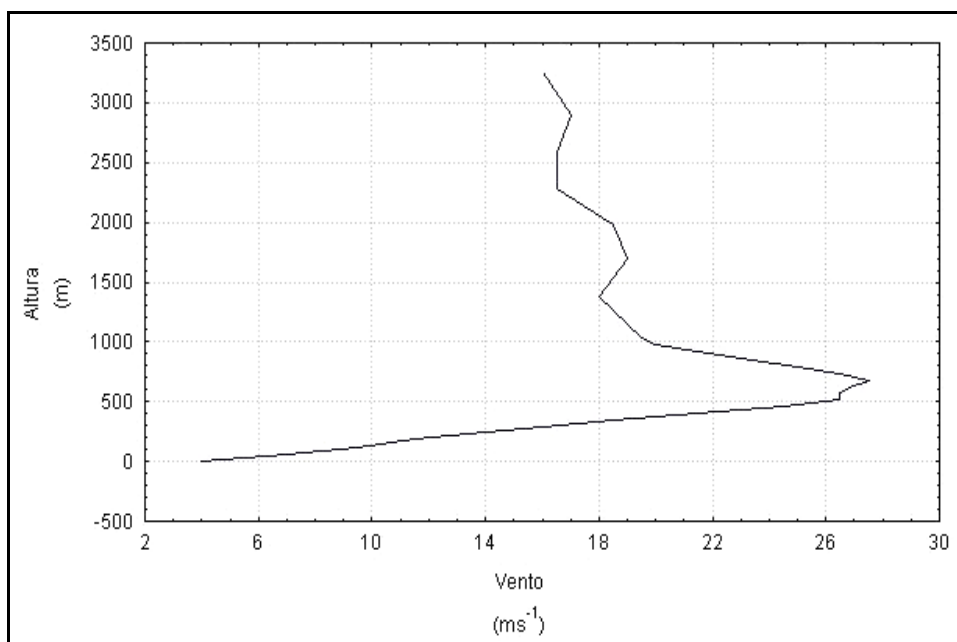


Figura 4.21 - Perfil vertical do vento em Uruguaiiana no dia 24 de julho de 2002, às 09:00 horas local.

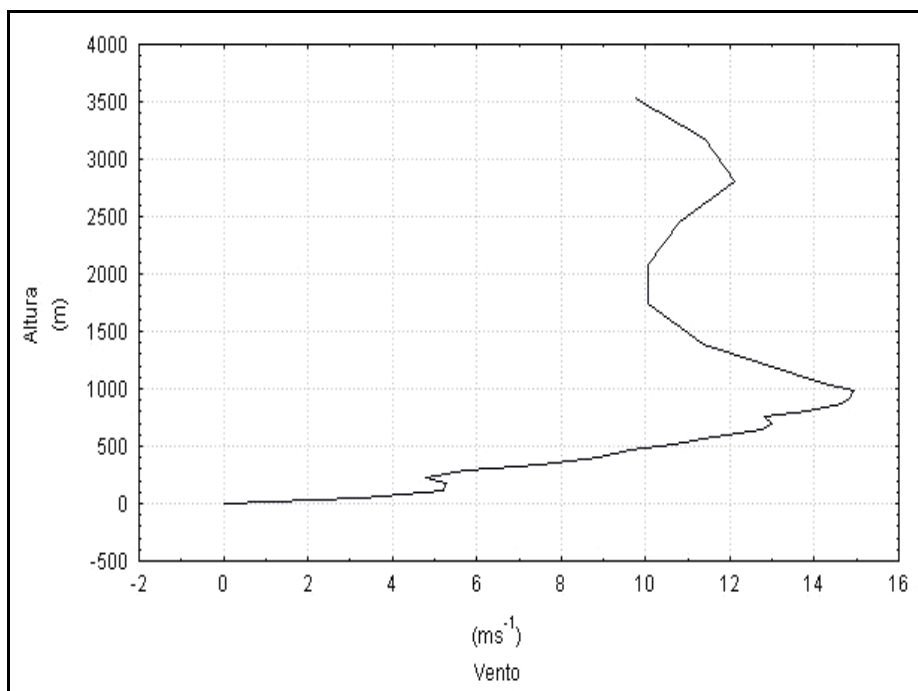


Figura 4.22 - Perfil vertical do vento em Porto Alegre no dia 24 de julho de 2002, às 09:00 horas local.

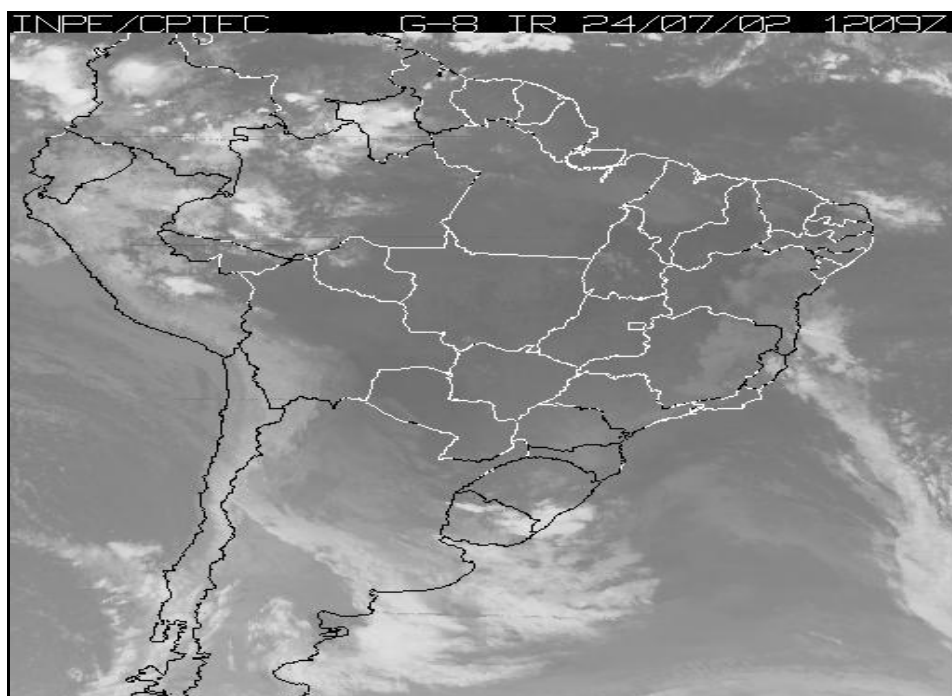


Figura 4.23 - Imagem do satélite GOES Infravermelho do dia 24 de julho de 2002, às 09:09 hora local.

A Figura 4.23 mostra a imagem no mesmo horário das radiossondagens de Uruguiana e Porto Alegre, apresentando uma área de instabilidade maior e mais desenvolvida no sul do Rio Grande do Sul. Durante o dia 24 de julho de 2002 as áreas de instabilidade permaneceram ao sul do Rio Grande do Sul e Uruguai, o que pode ser visto na imagem da Figura 4.24 apresentando a situação meteorológica praticamente inalterada.

Na noite de 24 para 25 de julho sobre o Rio Grande do Sul aparece o desenvolvimento de uma larga banda de nebulosidade que se forma sobre o norte do Uruguai e na parte sul e central do Rio Grande do Sul, formando um sistema frontal causando intensa precipitação no transcurso da madrugada e durante o dia 25 de julho de 2002. A Figura 4.25 apresenta o desenvolvimento desta nebulosidade às 00:10 horas local. As Figuras 4.26, 4.27 apresentam as imagens subseqüentes nos horários de 06:10 e 12:09 horas local.

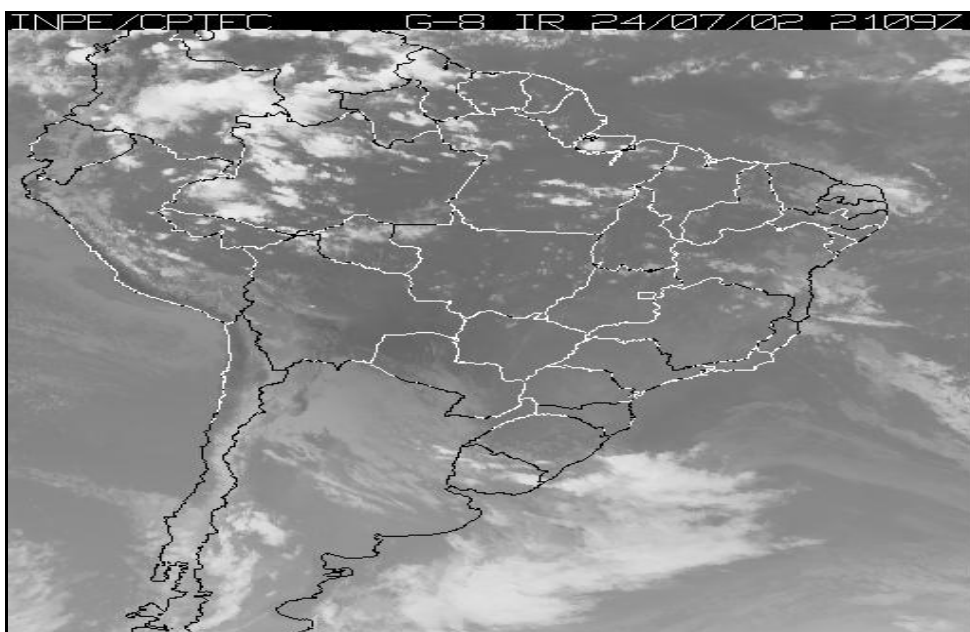


Figura 4.24 - Imagem do satélite GOES Infravermelho do dia 24 de julho de 2002, às 21:09 horas local.

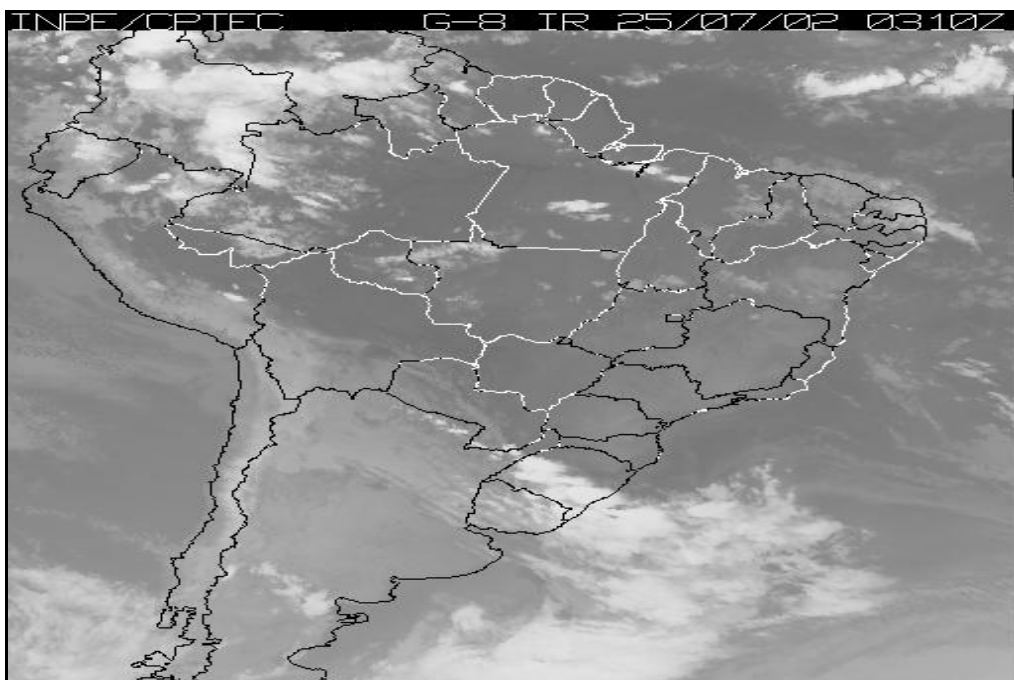


Figura 4.25 - Imagem do satélite GOES Infravermelho do dia 25 de julho de 2002, às 00:10 horas local.

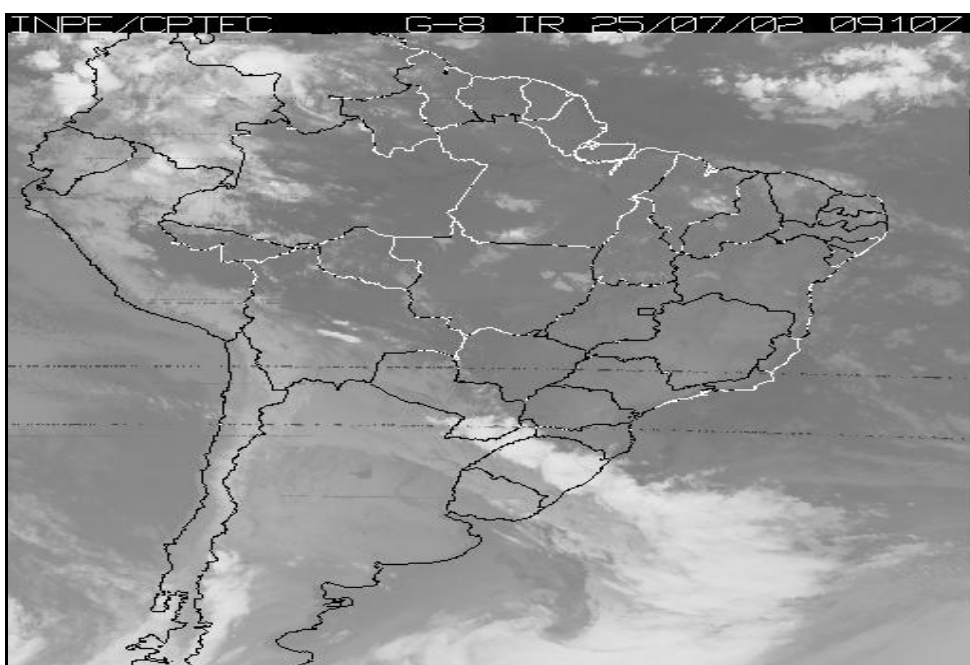


Figura 4.26 - Imagem do satélite GOES Infravermelho do dia 25 de julho de 2002, às 06:10 horas local.

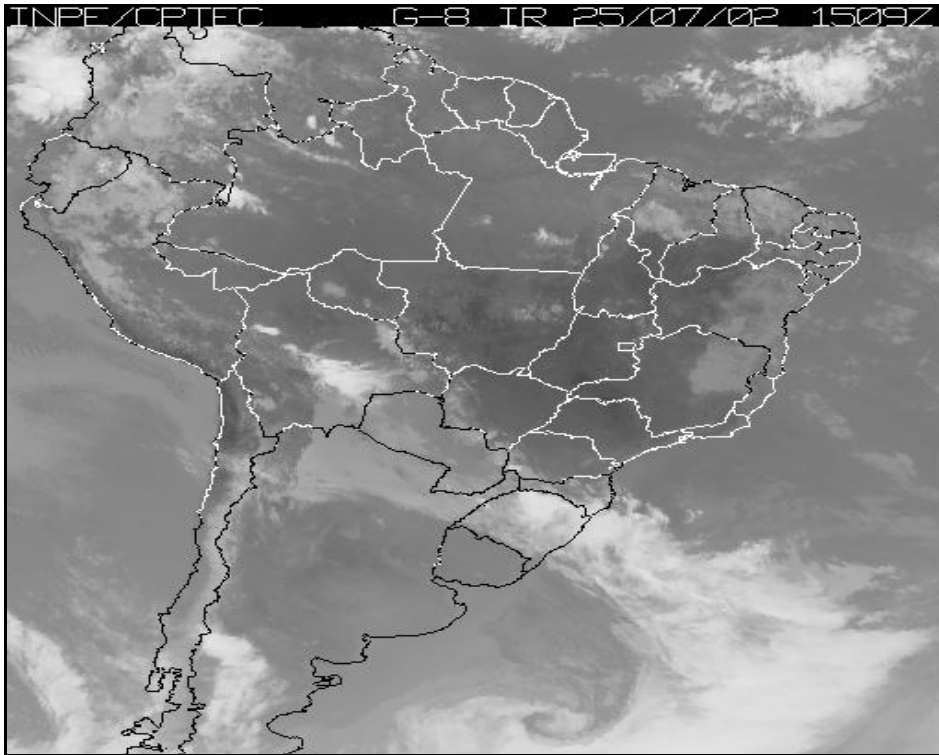


Figura 4.27 - Imagem do satélite GOES Infravermelho do dia 25 de julho de 2002, às 12:09 horas local.

As Figuras 4.28 e 4.29 apresentam os perfis verticais do Vento em Uruguaiana e Porto Alegre para o dia 25 de julho de 2002, em que aparece nas duas localidades a existência de intensos JNB. Todo o ciclo de desenvolvimento deste sistema frontal deu-se na madrugada do dia 25 de julho associado ao desenvolvimento de uma onda curta.

A Figura 4.28 em Uruguaiana apresentou o perfil vertical do vento um JNB do tipo JNB-3 com valor da ordem de 22 ms^{-1} e a direção de 160 graus e altura de 500 metros. A figura 4.29 em Porto Alegre apresentou um perfil vertical com um JNB mais fraco do tipo JNB-1 da ordem de 12 ms^{-1} e com uma direção de 178 graus e altura de 600 metros. Em ambas localidades o perfil vertical do vento poderia ser classificado como sendo da terceira componente da ACP.

A Tabela 4.18 mostra a precipitação ocorrida entre às 09:00 do dia 23 até 09:00 horas do dia 24 de julho, com valores observados da ordem de 9 (nove) mm. Os dados observados entre às 09:00 horas do dia 24 até às 09:00 horas do dia 25 apresentam valores da ordem de 30 mm no sul do estado do Rio Grande do Sul. Tal característica é interessante, pois pode ser

observada na madrugada do dia 24 uma certa quantidade de convecção com precipitação, associada à predominância da circulação realizada pelo JNB, de forma a caracterizar um tipo de nebulosidade descrita por Raymond (1978).

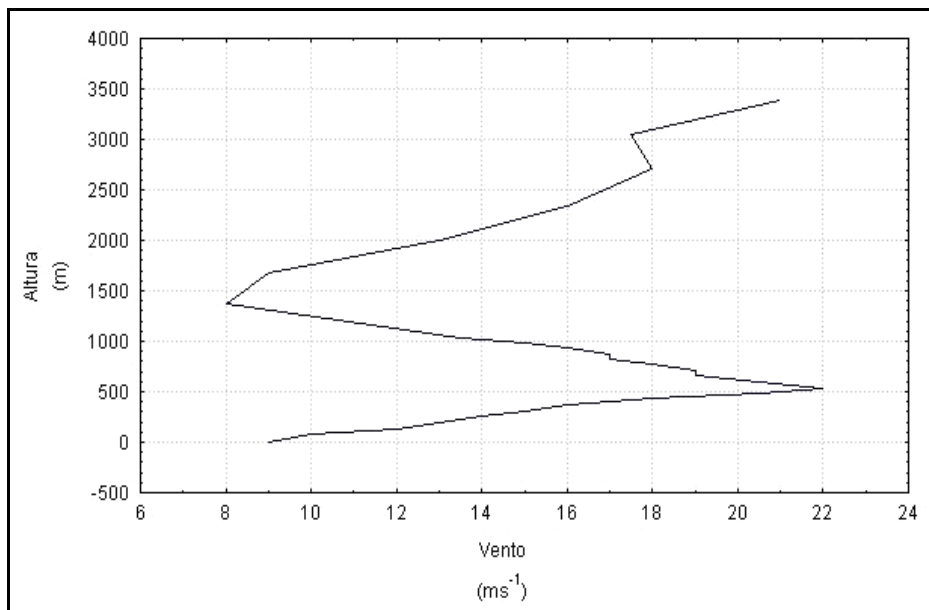


Figura 4.28 - Perfil vertical do vento em Uruguaiiana no dia 25 de julho de 2002, às 09:00 horas local.

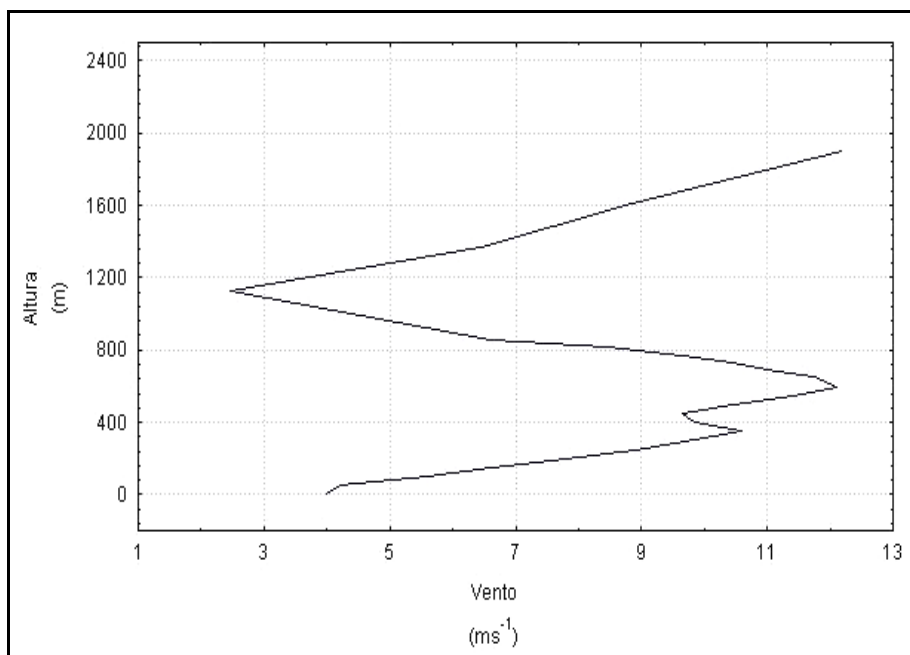


Figura 4.29 - Perfil vertical do vento em Porto Alegre no dia 25 de julho de 2002, às 09:00 horas local.

Tabela 4.18 – Precipitação acumulada ocorrida entre os dias 24 e 25 de Julho de 2002 sobre o Rio Grande do Sul.

Cidade	Dia 24 Precipitação (m m)	Dia 25 Precipitação (m m)
Santa Maria	0	16
Livramento	0	5,4
Encruzilhada do Sul	0	16,8
Porto Alegre	0	9,4
Bagé	9,1	22,9
Pelotas	8,2	24,4
Rio Grande	1,6	30,2
Santa Vitória do Palmar	0,8	23,8

Fonte: 8º Distrito de Meteorologia de Porto Alegre.

A existência de instabilidade simétrica e paralela associada ao transporte de vapor de água em baixos níveis realizado pelo JNB cria as condições necessárias ao desenvolvimento da convecção noturna. Esta estrutura desenvolveu-se na borda de uma onda curta, apresentando nos níveis médios e altos, em sua estrutura baroclínica, o predomínio de uma circulação com certa quantidade de divergência. Tal relação mostra escalas de meso para mesoescala (JNB/ Onda curta).

Estas condições na baixa atmosfera com a existência no perfil vertical de JNB e fluxos, em níveis de 500/700 metros e 1500/2700 metros, mostraram-se dinamicamente favoráveis ao desenvolvimento de intensa convecção.

Tais características são muito importantes, pois descrevem parte dos mecanismos geradores de intensa precipitação que ocorrem em latitudes médias. O impacto destas estruturas nas condições de tempo e a conseqüência de sua interação nestes mecanismos de mesoescala resultam em estruturas sinóticas que atuam em extensas bacias hidrográficas ou em mais de uma ao mesmo tempo. O impacto resultante é intenso, com altos valores de precipitação na superfície e, por conseqüência, gerando ondas de cheias em curtos períodos de tempo.

A simulação gerada no modelo MM5 mostra, a partir do dia 23, nas figuras 4.30 a 4.37, o campo do vento na altura aproximada de 650 metros (nível sigma=0,945), em que aparece o surgimento de regiões de vento máximo da ordem de 20 ms^{-1} e com uma largura da ordem de cinco graus de latitude ou mais, abrangendo as regiões do Paraguai e oeste da região sul do Brasil. A radiossondagem realizada em Uruguaiana às 09:00 horas mostrou uma altura da ordem de 500 metros, sendo mais baixa da ordem de aproximadamente 30% do que altura calculada pelo modelo.

Considerando que o núcleo do Jato tenha uma escala vertical de dezenas de metros, estimando-se um valor da ordem de 100 metros e que sua escala horizontal seja de cinco graus de latitude ($>500\text{km}$), (um grau de latitude corresponde a 111,13 km), poderíamos estimar uma área por grau de latitude da ordem de 11 milhões de m^2 e em cinco graus da ordem de 55 milhões de m^2 . Se multiplicarmos esta área pelo valor médio estimado do modelo da ordem de 20 ms^{-1} , teríamos um valor de fluxo por grau de latitude da ordem 222,27 milhões de m^3s^{-1} e com cinco graus da ordem de 1,11 bilhão de m^3s^{-1} .

Utilizando o valor medido do vento na radiossondagem de Uruguaiana, que foi da ordem de 27 ms^{-1} , teríamos um fluxo por grau de latitude da ordem de 300 milhões de m^3s^{-1} e em cinco graus da ordem de 1,5 bilhão de m^3s^{-1} . Tais magnitudes em baixos níveis na atmosfera são mais que suficientes para manter processos de convecção de forma intensa e em curto período de tempo.

As Figuras 4.30 até 4.37 mostram o desenvolvimento do campo do vento e os valores de magnitude atingidos pelo fluxo do vento, de norte em direção sul, para a região da Bacia do Prata. A Figura 4.34 mostra valores de intensidade de vento coerentes com a sondagem realizada na cidade de Uruguaiana para o mesmo horário, da ordem ou maior do que 20 ms^{-1} e com direção de norte/noroeste (330 graus) para o sul e sudeste.

A Figura 4.36, às 15 horas do dia 24, e a figura 4.37, às 12 horas do dia 25 de julho de 2002, mostram a região de descontinuidade frontal e a formação de um sistema frontal atuando sobre o Rio Grande do Sul, Uruguai, norte da Argentina, Paraguai e sul da Bolívia.

Essa situação sinótica já desenvolvida apresentou regiões de vento máximo da ordem de 15 a 20 ms^{-1} , mostrando um fluxo de sul para direção norte, sobre o norte da Argentina e o oeste da região sul do Brasil, caracterizando uma circulação pós-frontal. Tal característica mostra que, mesmo em situações pós-frontais, os JNB podem ser intensos do tipo JNB-3 maiores que 20 ms^{-1} . Porém neste sistema analisado o JNB mais intenso ocorreu em situação pré-frontal associado ao forte transporte de vapor de água de latitudes equatoriais, da região amazônica, em direção a Bacia do Prata.

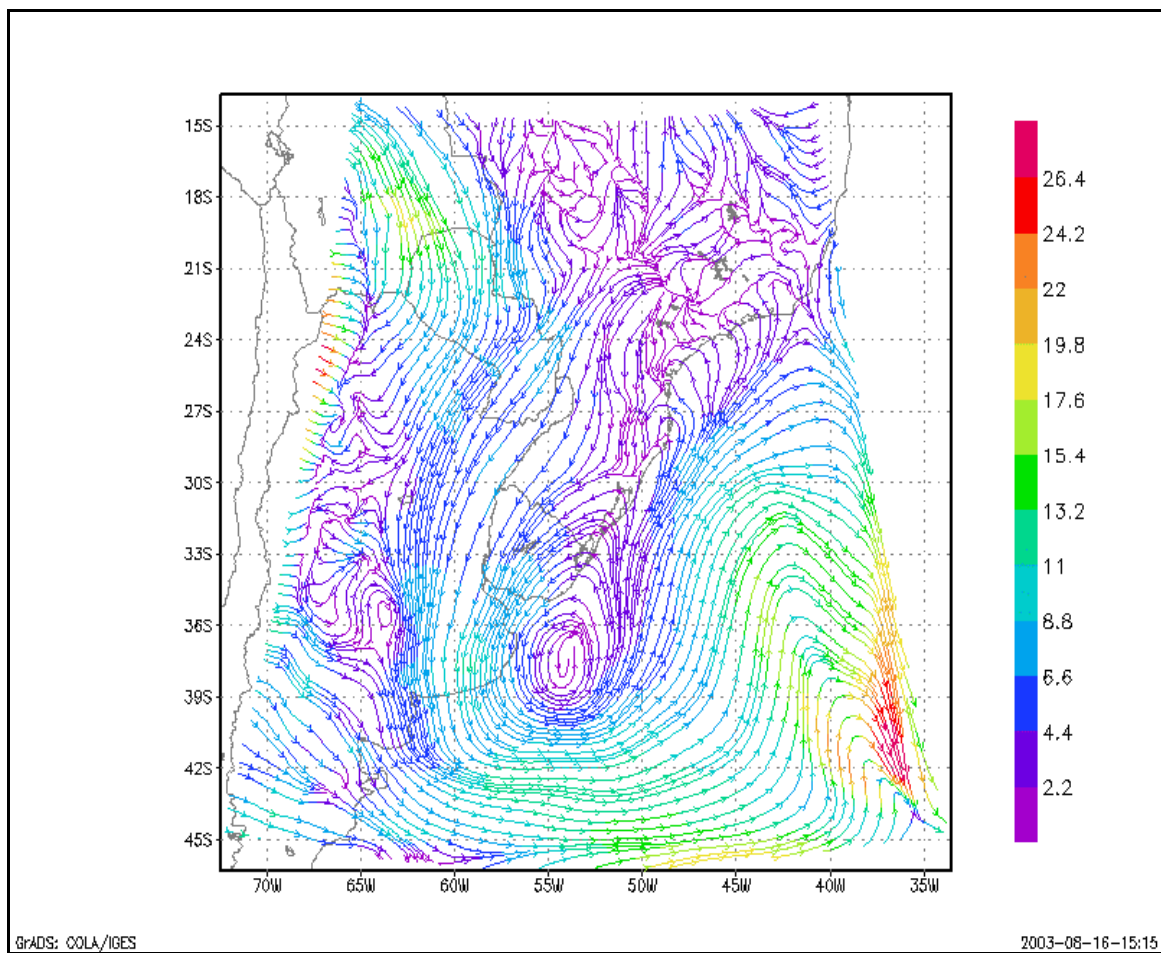


Figura 4.30 - Campo do vento do dia 23 de julho de 2002 às 18 horas local. A escala da velocidade do vento é dada em metros por segundo.

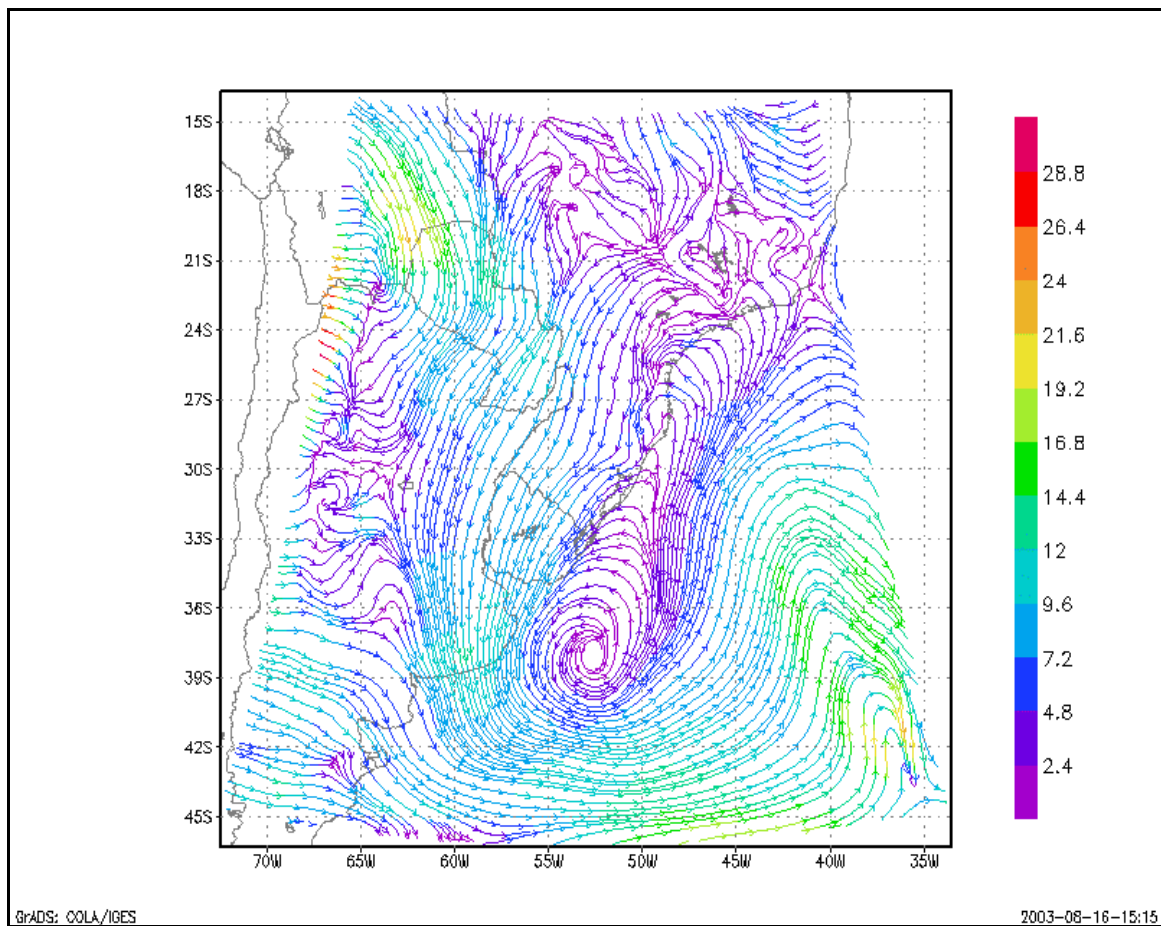


Figura 4.31 - Campo do vento do dia 24 de julho de 2002 às 00 horas local. A escala da velocidade do vento é dada em metros por segundo.

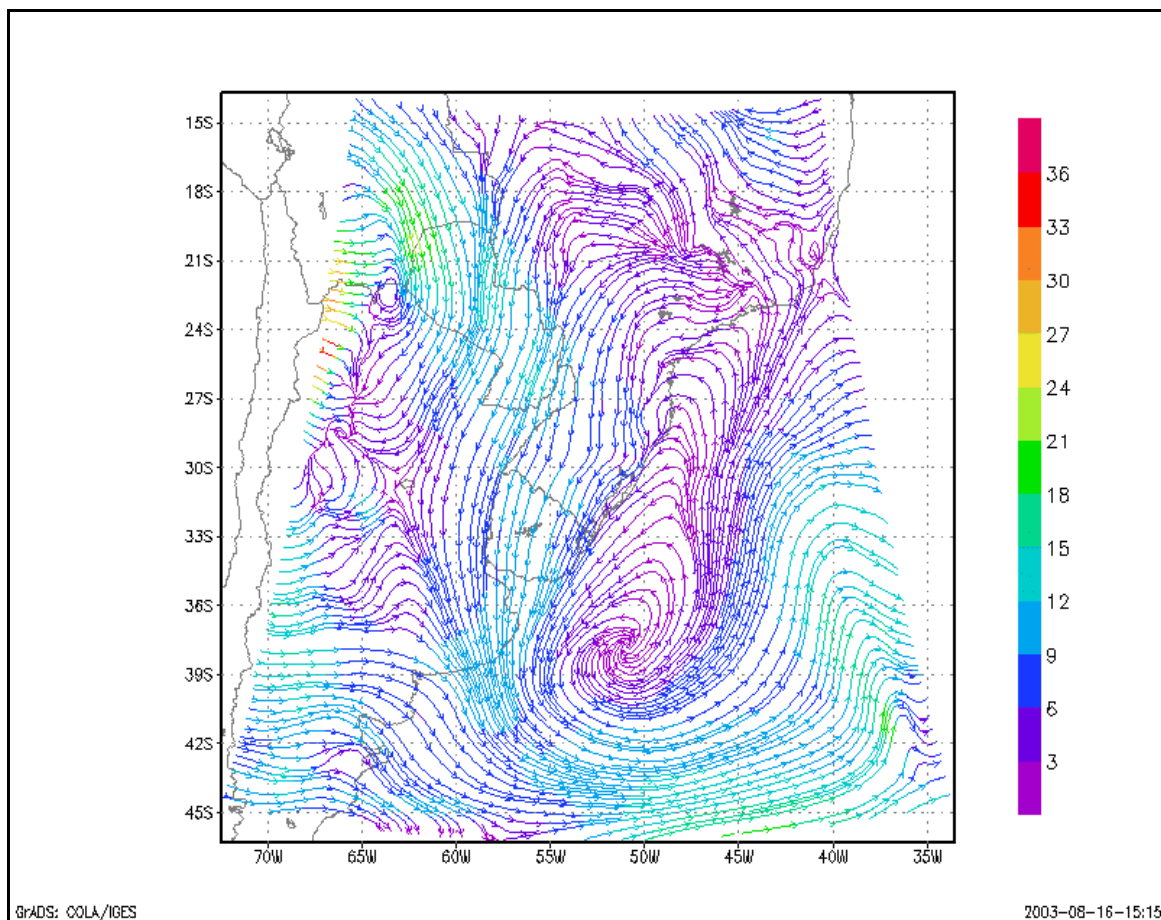


Figura 4.32 - Campo do vento do dia 24 de julho de 2002 às 03 horas local. A escala da velocidade do vento é dada em metros por segundo.

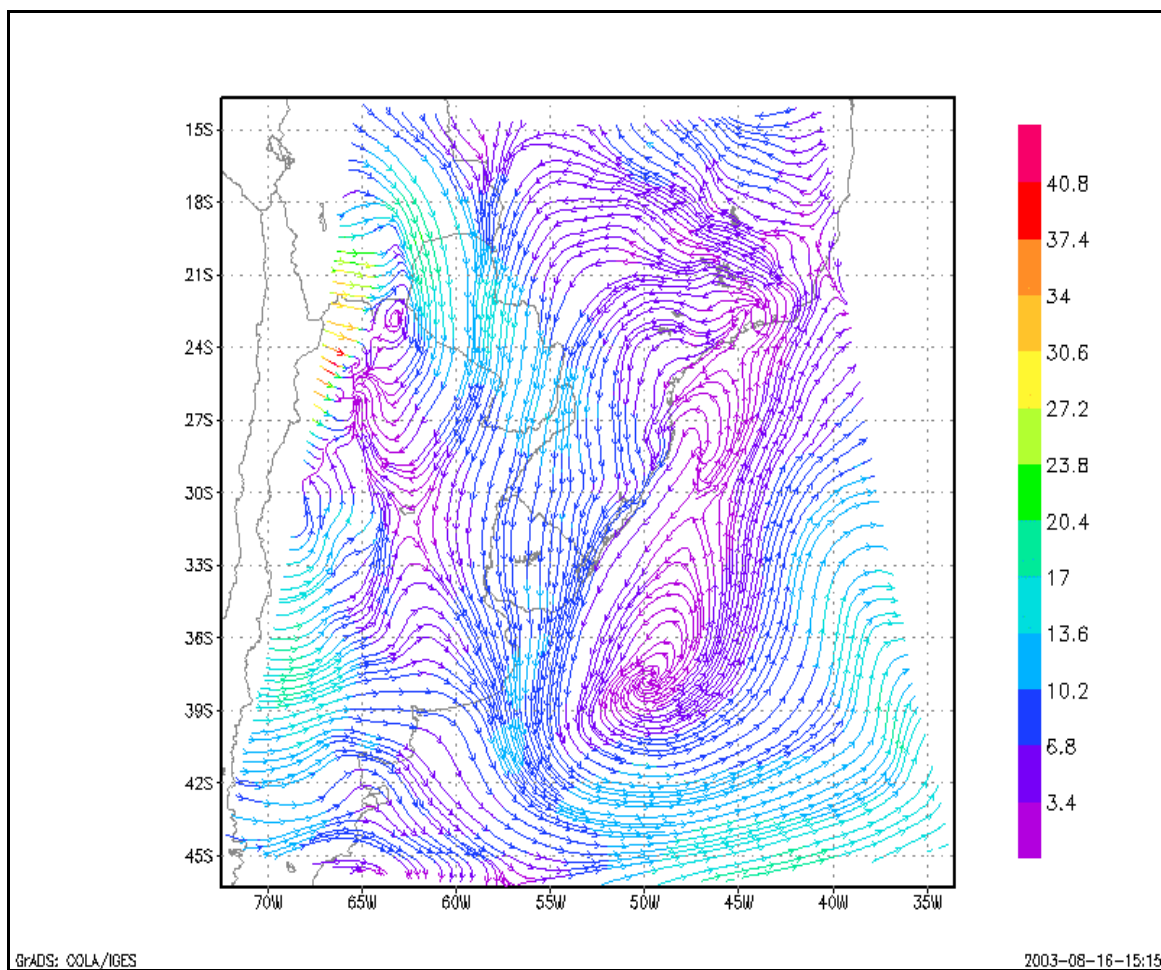


Figura 4.33 - Campo do vento do dia 24 de julho de 2002 às 06 horas local. A escala da velocidade do vento é dada em metros por segundo.

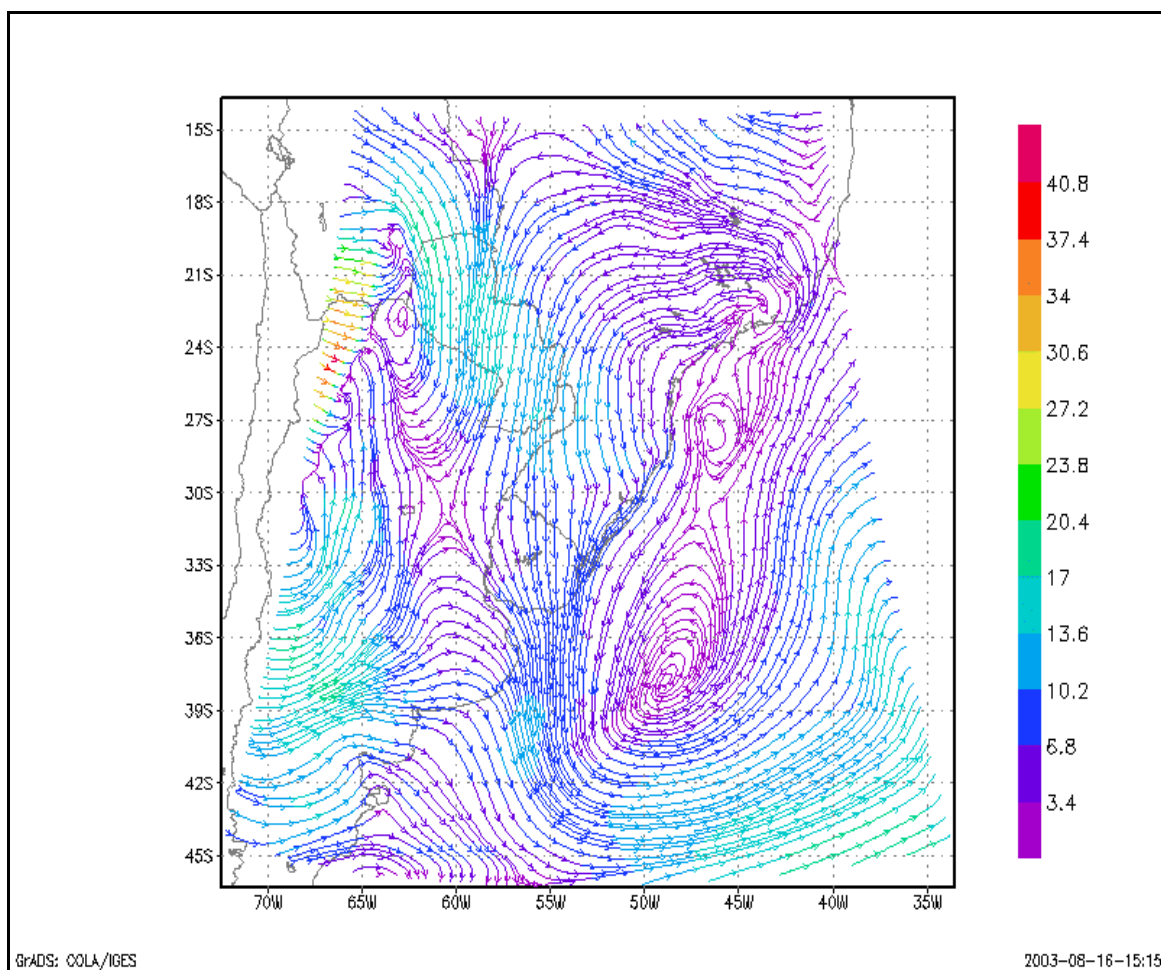


Figura 4.34 - Campo do vento do dia 24 de julho de 2002 às 09 horas local. A escala da velocidade do vento é dada em metros por segundo.

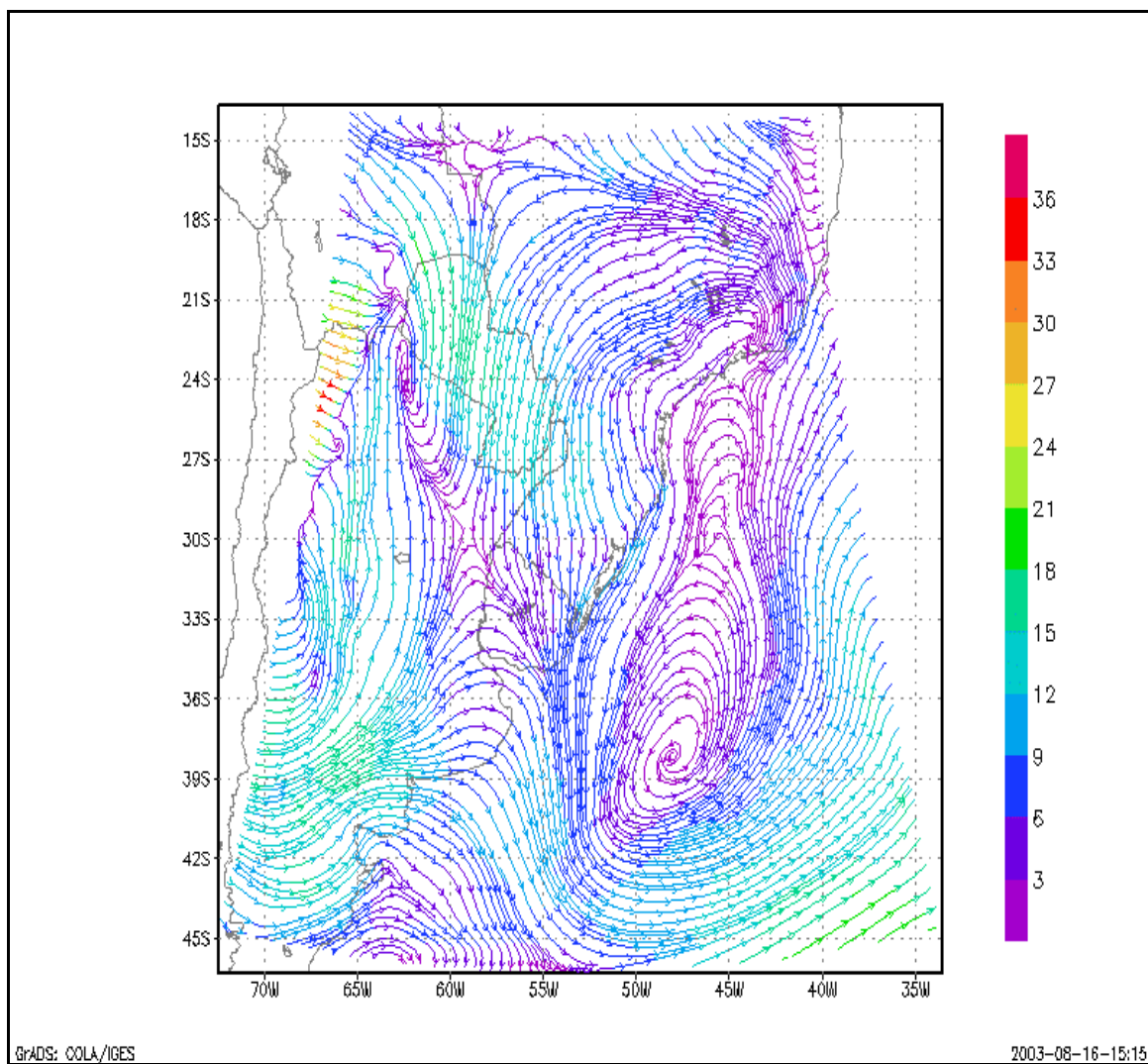


Figura 4.35 - Campo do vento do dia 24 de julho de 2002 às 12 horas local. A escala da velocidade do vento é dada em metros por segundo.

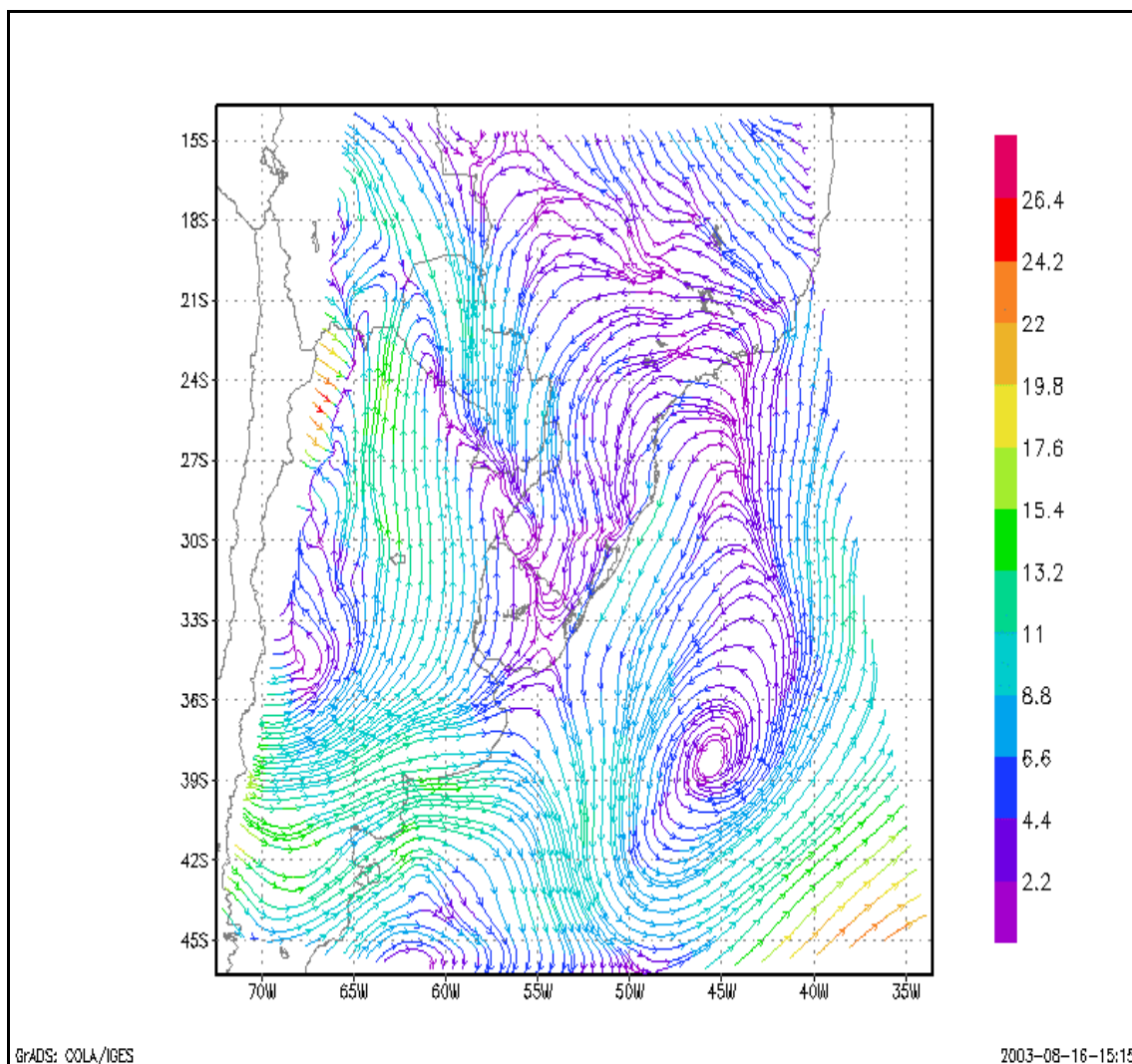


Figura 4.36 - Campo do vento do dia 24 de julho de 2002 às 15 horas local. A escala da velocidade do vento é dada em metros por segundo.

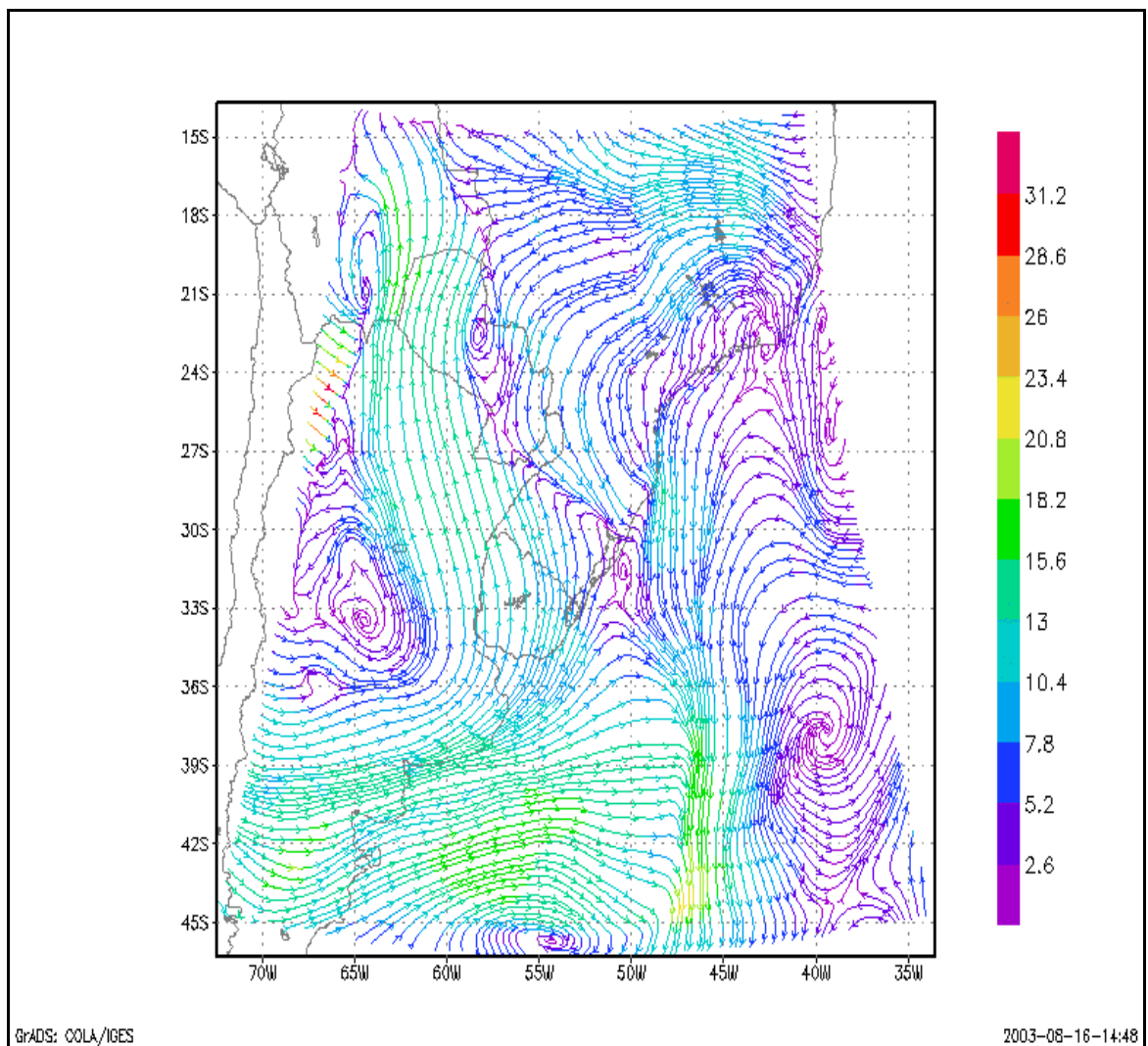


Figura 4.37 - Campo do vento do dia 25 de julho de 2002 às 12 horas local. A escala da velocidade do vento é dada em metros por segundo.

Das Figuras 4.38 até a 4.47 aparecem os campos de água precipitável para o sistema meteorológico já descrito anteriormente, sendo que os campos de água precipitável foram simulados com uma resolução espacial maior de grade (10 x 10 Km) daquela que foi utilizada nos campos do vento (30 x 30 Km).

A Figura 4.38 do dia 23 de julho às 1800 horas e a figura 4.39 do dia 24 de julho de 2002 às 00:00 hora mostram valores da ordem de 1,2 cm de água precipitável na região sul, sudoeste do Rio Grande do Sul e Uruguai. No decorrer da noite do dia 23 para a madrugada do dia 24, os valores de água precipitável vão aumentando, atingindo valores da ordem de 1,8 a 2,4 cm às 09:00 horas da manhã do dia 24 de julho. Durante este período, esta região sofreu a influência predominante do transporte realizado pelo JNB.

A saída do modelo apresentou valores de intensidade maiores que 20 ms^{-1} e a altura da ordem de 650 metros, sendo responsável por parte significativa do fluxo de vapor de água para esta região. Praticamente dobrou os valores de 1,2 cm para ordem de 2,4 cm em nove horas de transporte, com um fluxo por hora de 0,13 cm (13,33 mm/hora) de convergência de água precipitável.

O JNB pode não ser a única escala meteorológica responsável pela convergência de umidade em baixos níveis, porém foi a escala meteorológica mais intensa e efetiva que atuou durante a noite do dia 24 de julho. No dia 24 às 18 horas, a Figura 4.45 mostra o campo de água precipitável, apresentando um fluxo de noroeste sobre o norte da Argentina, Paraguai e oeste do Rio Grande do Sul bem definido e caracterizando um transporte direcionado para a onda curta ao sul do continente sobre a Argentina.

Estes dois fatos sobrepostos mostram a interação de diferentes escalas que trabalham de forma construtiva. Tal fato permitiu o desenvolvimento de um sistema frontal sobre o Rio Grande do Sul gerando chuvas da ordem de 30 mm (3 cm) (Tabela 4.18).

O dia 25 de julho já apresenta uma situação bem definida, em que aparece o desenvolvimento frontal de forma clássica, com a ampliação da onda curta do dia 24 em um ciclone extratropical com rápido deslocamento para leste no Atlântico.

Nas Figuras 4.45 até a 4.47 aparece a água precipitável, cujos valores foram da ordem de 4 cm (40 mm) sobre o Paraguai, norte da Argentina e o Rio Grande do Sul. Esta simulação mostrou que os JNB realizam intenso transporte de vapor de água durante a noite e também estão ligados aos processos de geração da convecção e conseqüentemente na formação da

chuva e da sua intensidade. Este sistema meteorológico caracteriza um tipo de sistema que possui a tendência de se formar durante a madrugada ou na da manhã nas primeiras horas, conseqüentemente os máximos de precipitação acompanhariam esta tendência de horário. Sendo que os SCM gerados poderiam perdurar e atuar no decorrer de ciclos da ordem ou maiores que 24 horas.

Em tal comportamento, os JNB marcam o ciclo diurno do balanço de umidade de tal forma que a convergência de umidade sofre a influência do ciclo noturno dos JNB e conseqüentemente definem uma característica associada à latitude no planeta. Este papel realizado pelo JNB mostra o transporte de vapor de água entre latitudes equatoriais para latitudes médias e do Oceano Atlântico para o continente sul americano atuando em uma escala continental e agindo diretamente no balanço hídrico regional.

Os JNB no seu ciclo noturno são responsáveis por gerar chuvas convectivas rápidas e de curta duração sem a necessidade de outras escalas meteorológicas sobrepostas. Tal característica pode dificultar e gerar discrepâncias em estudos hidrológicos, pois teríamos a possibilidade de ocorrer precipitações de forma pontual dentro de uma bacia hidrográfica, gerando um campo de precipitação de forma irregular com grande variabilidade espacial e temporal. Neste estudo de caso houve a formação de duas bandas de nebulosidade convectiva de mesoescala, paralelas e simétricas em linha, podendo ser vistas na Figura 4.20 na imagem do satélite GOES infravermelho, apresentando estes sistemas sobre o Uruguai e sul do Rio Grande do Sul às 06:09 horas da madrugada.

Tal nebulosidade mostrou ser perpendicular ao eixo principal do JNB, orientado de norte/sul e a nebulosidade ocorreu à direita do JNB na parte sul. As seqüências dos campos de água precipitável na madrugada do dia 24 apresentam um aumento da água precipitável nestas regiões, podendo ser visto nas Figuras 4.40, 4.41 e 4.42. No dia 25 as áreas de instabilidades cresceram e ficaram, sob determinado aspecto, mais estáveis, com maior duração temporal e estruturadas, gerando chuvas mais homogêneas espacialmente sobre boa parte do estado do Rio Grande do Sul.

Este mecanismo associado ao JNB e a ocorrência de convergência de vapor de água na CLP poderiam ser responsáveis por gerar boa parte do balanço hídrico regional e o seu monitoramento ajudaria a entender parte significativa dos processos convectivos e a geração de intensa precipitação. Constitui-se, portanto em um mecanismo dinâmico de elevada

importância por apresentar uma possibilidade de frequência diária e pela sua grande capacidade de transporte de massa e vapor de água.

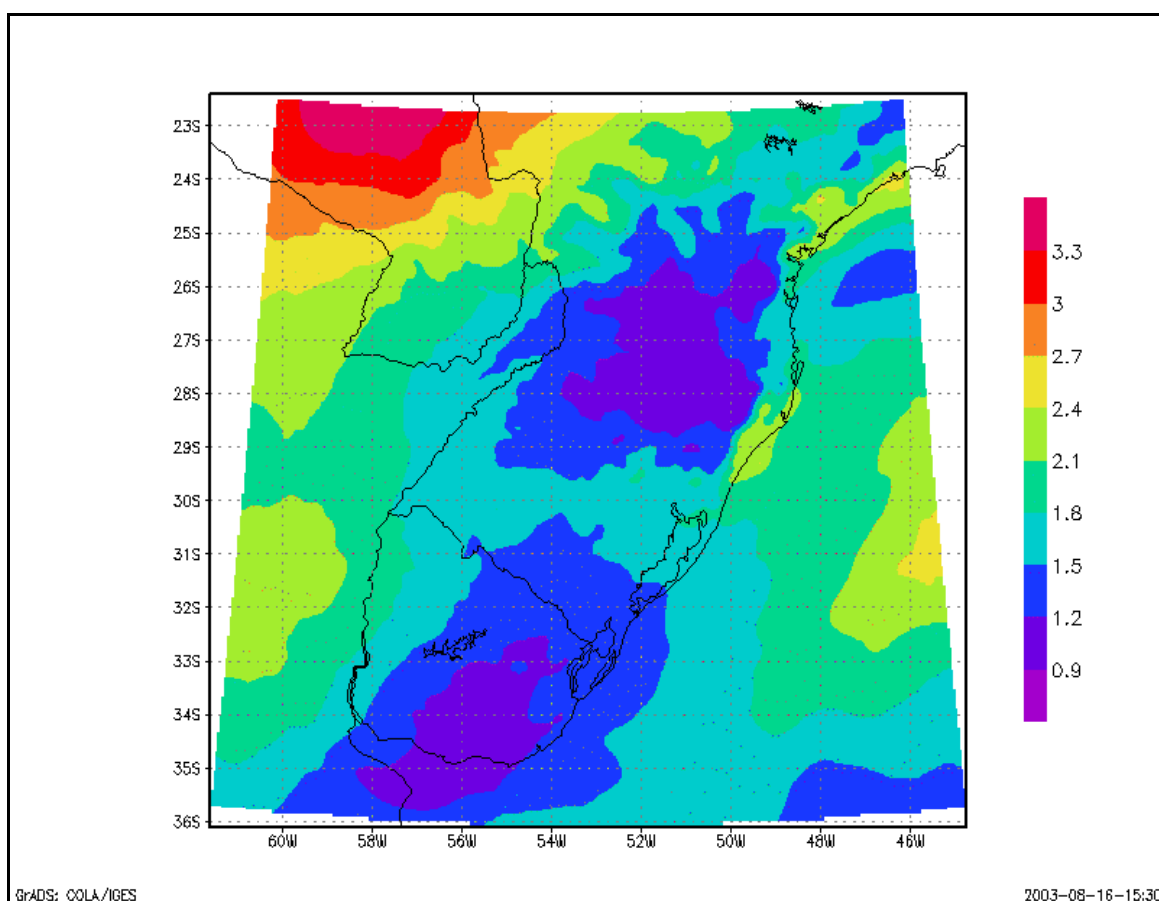


Figura 4.38 – Campo da água precipitável do dia 23 de julho de 2002 às 18 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.

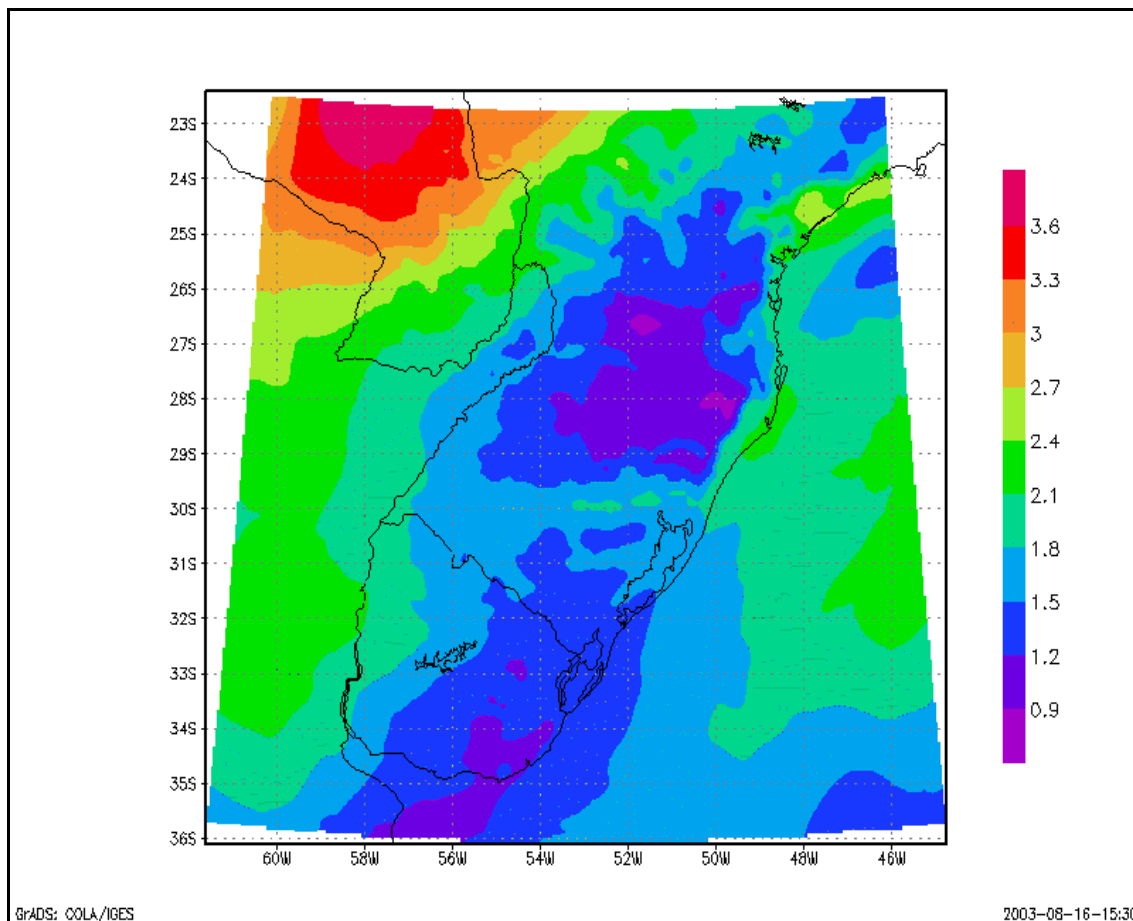


Figura 4.39 – Campo da água precipitável do dia 24 de julho de 2002 às 00 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.

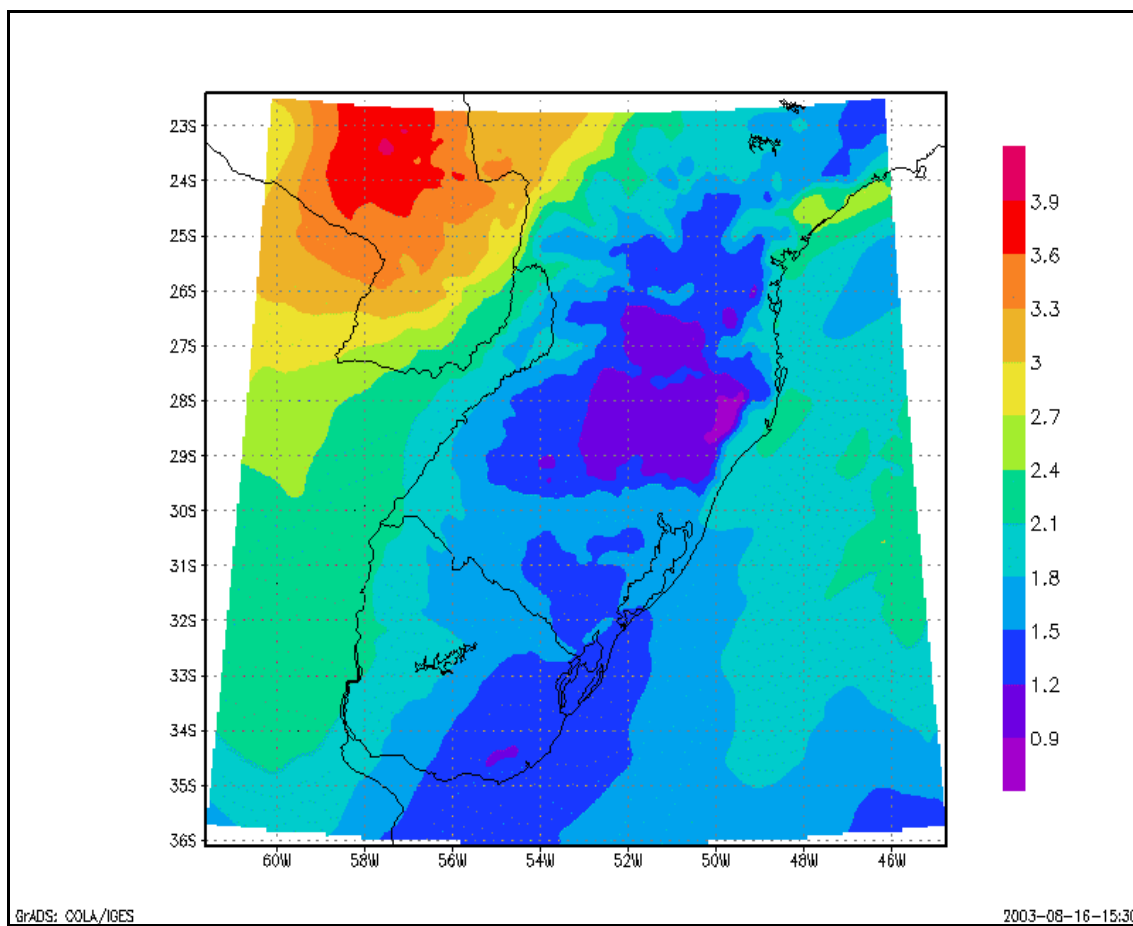


Figura 4.40 – Campo da água precipitável do dia 24 de julho de 2002 às 03 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.

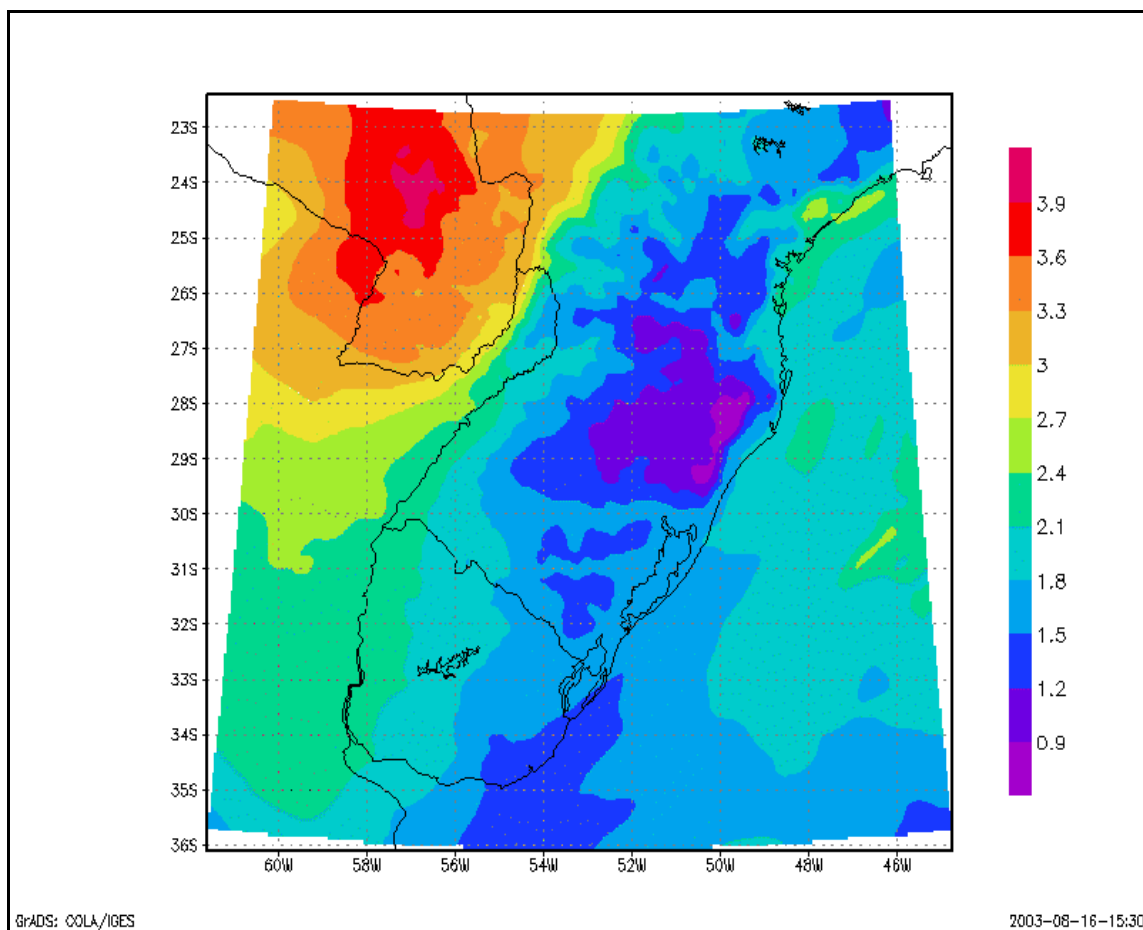


Figura 4.41 – Campo da água precipitável do dia 24 de julho de 2002 às 06 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.

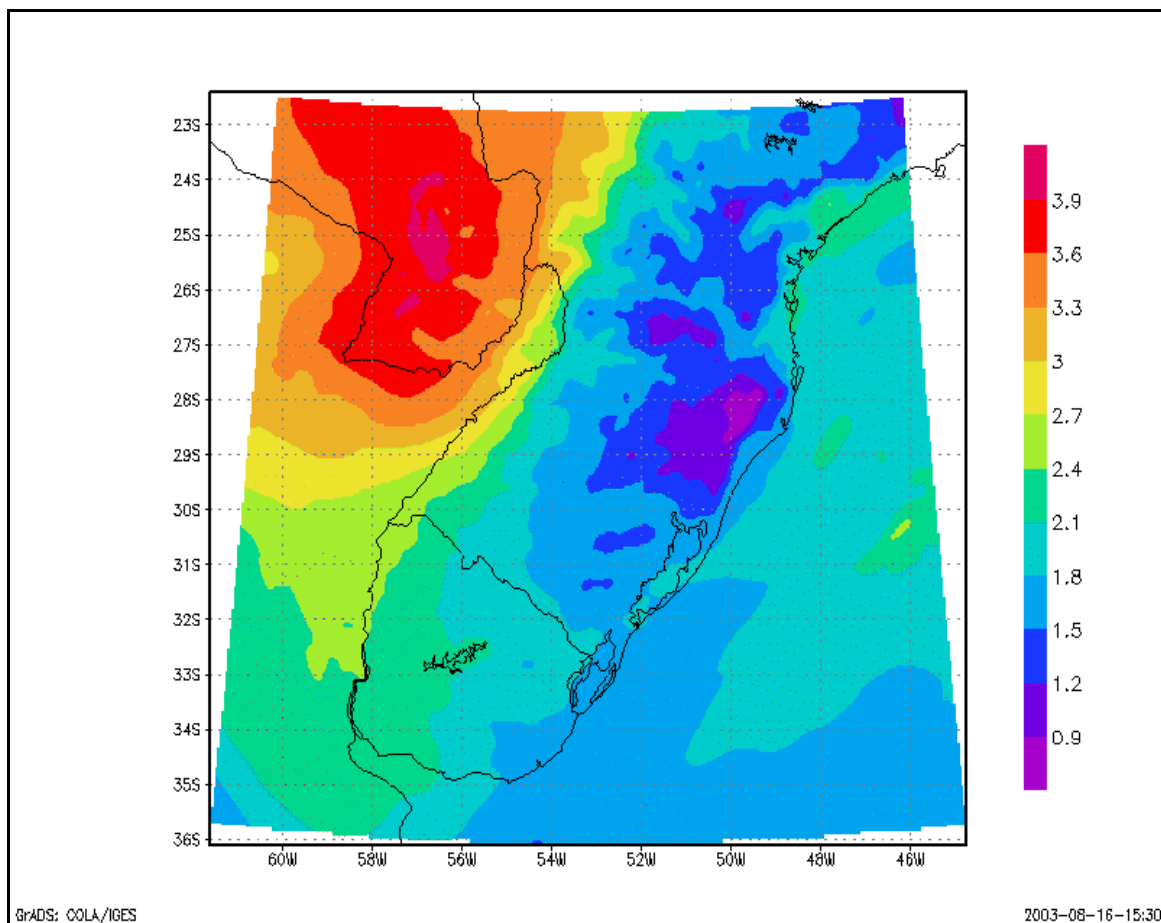


Figura 4.42 – Campo da água precipitável do dia 24 de julho de 2002 às 09 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.

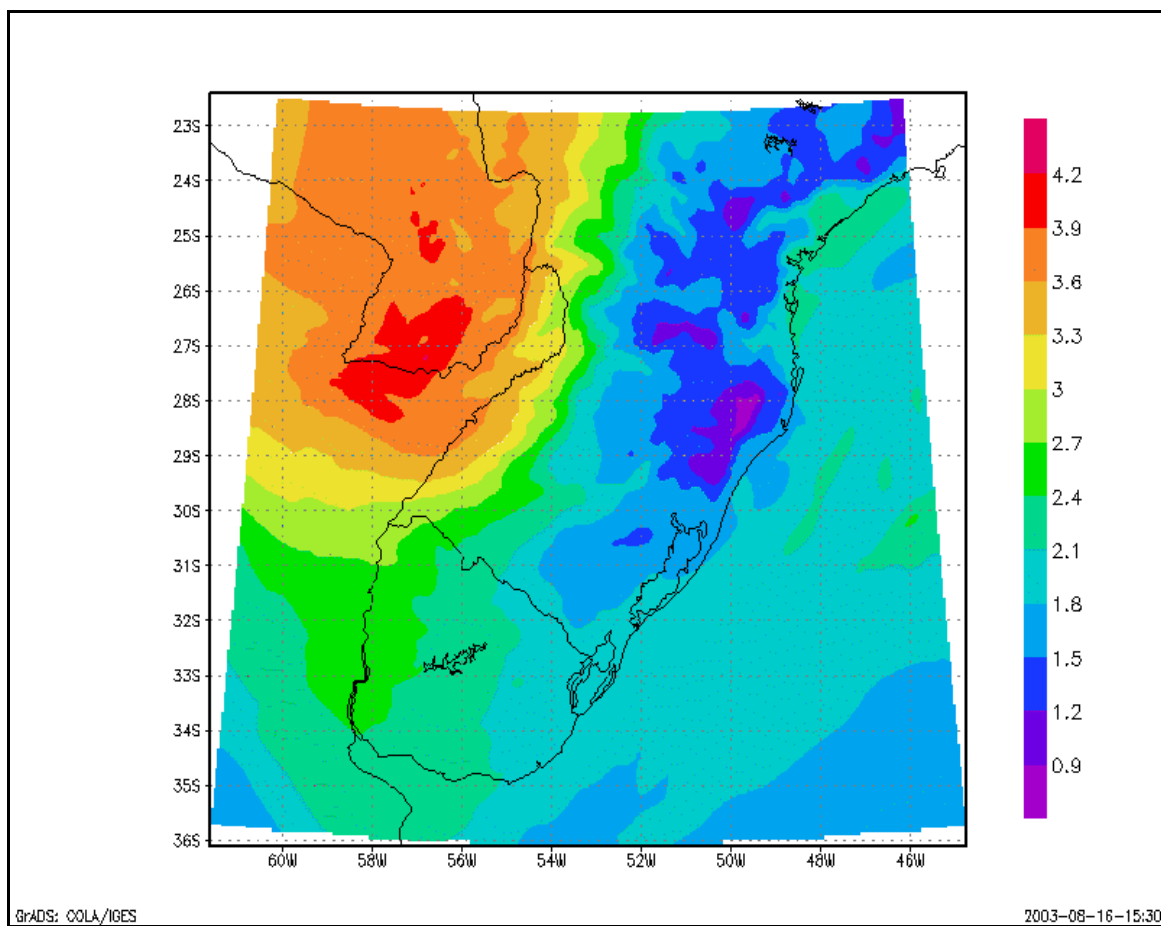


Figura 4.43 – Campo da água precipitável do dia 24 de julho de 2002 às 12 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.

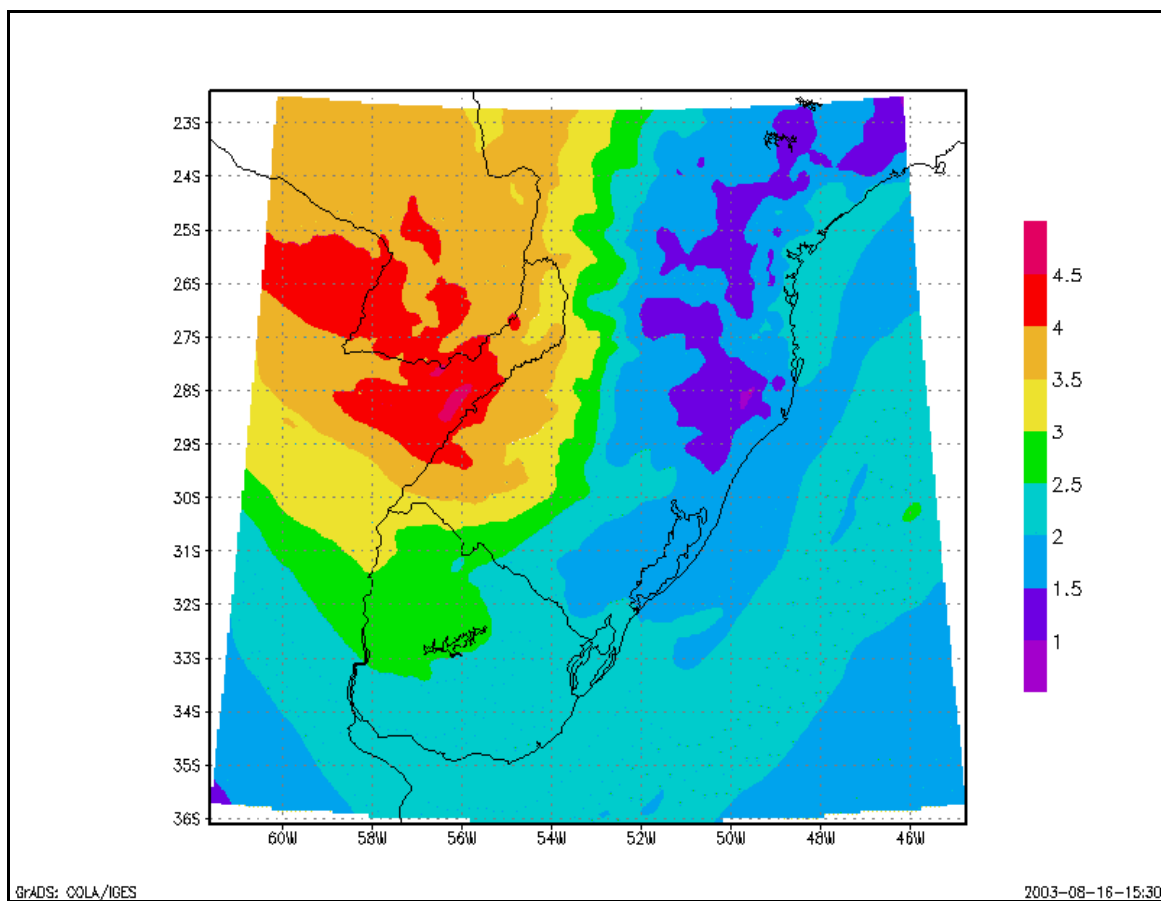


Figura 4.44 – Campo da água precipitável do dia 24 de julho de 2002 às 15 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.

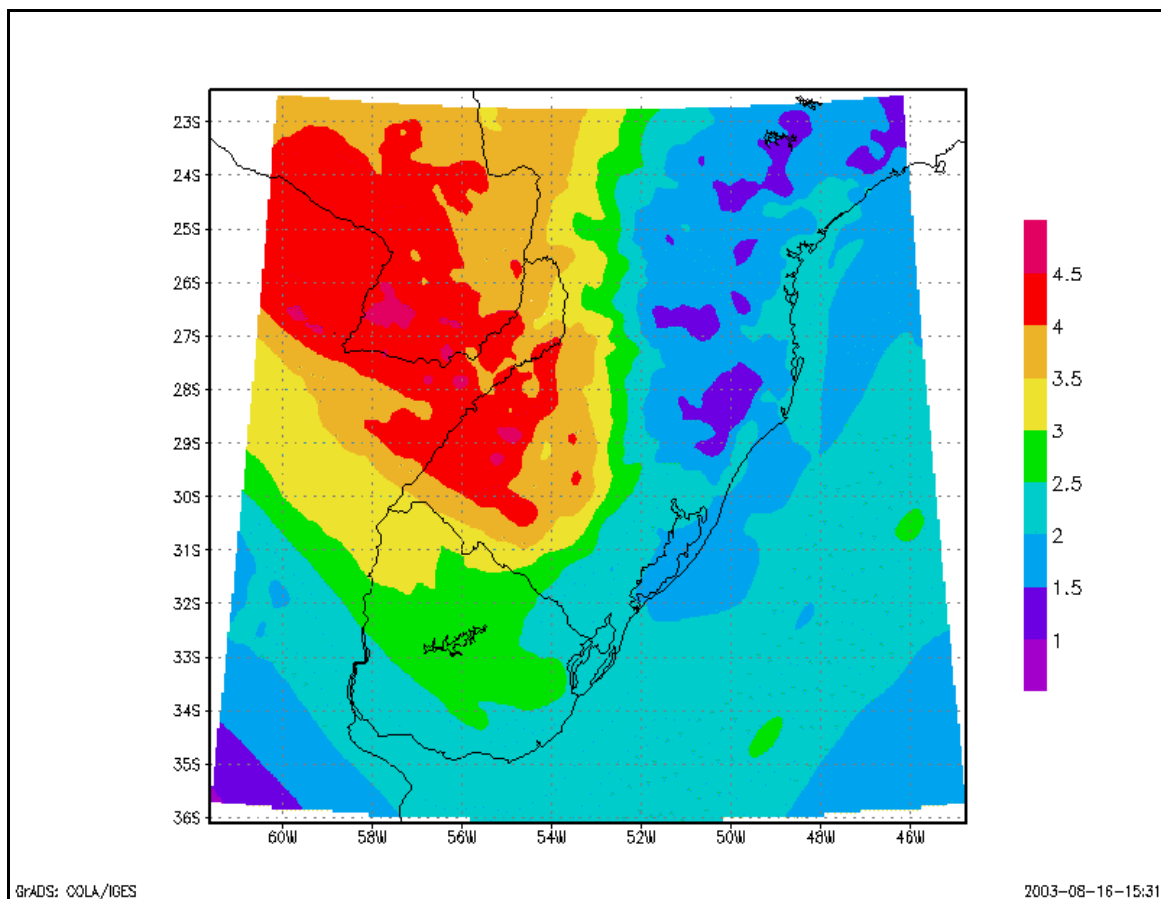


Figura 4.45 – Campo da água precipitável do dia 24 de julho de 2002 às 18 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.

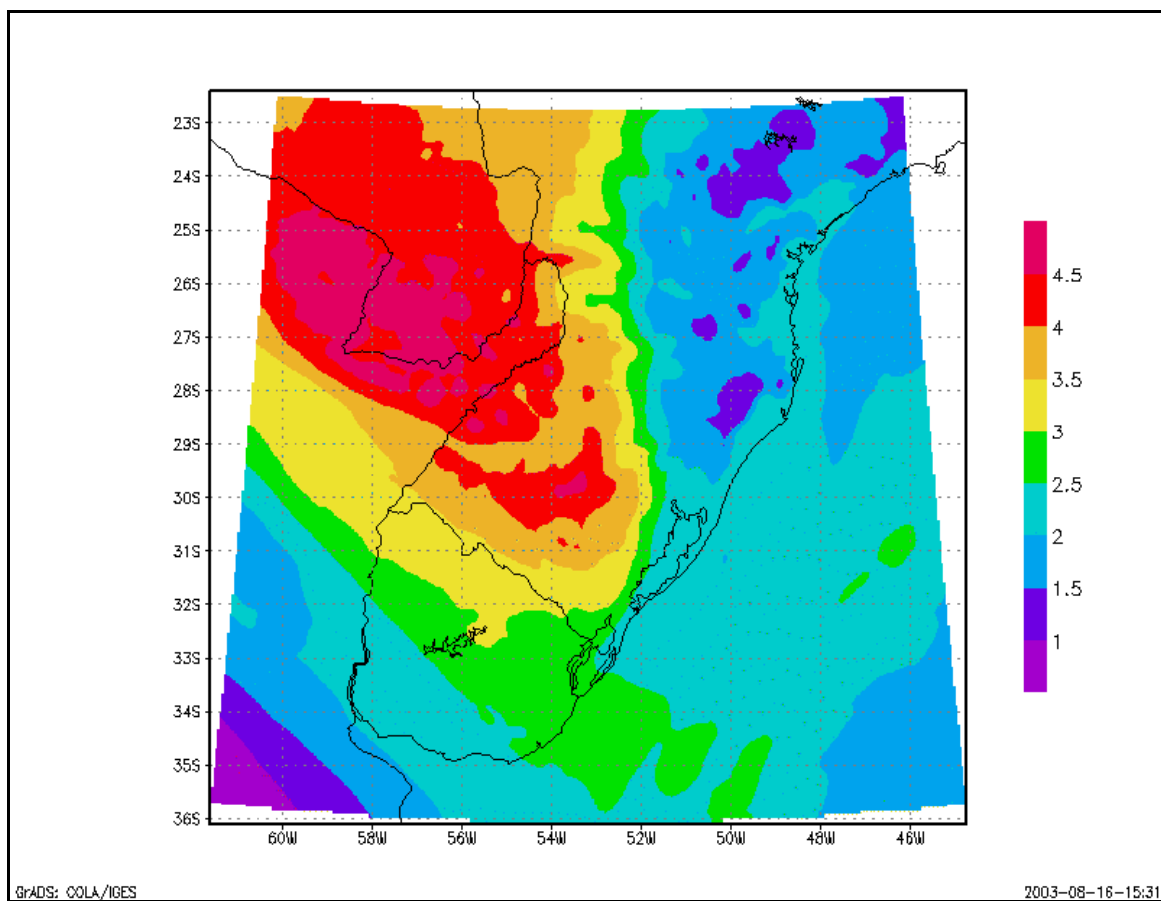


Figura 4.46 – Campo da água precipitável do dia 25 de julho de 2002 às 00 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.

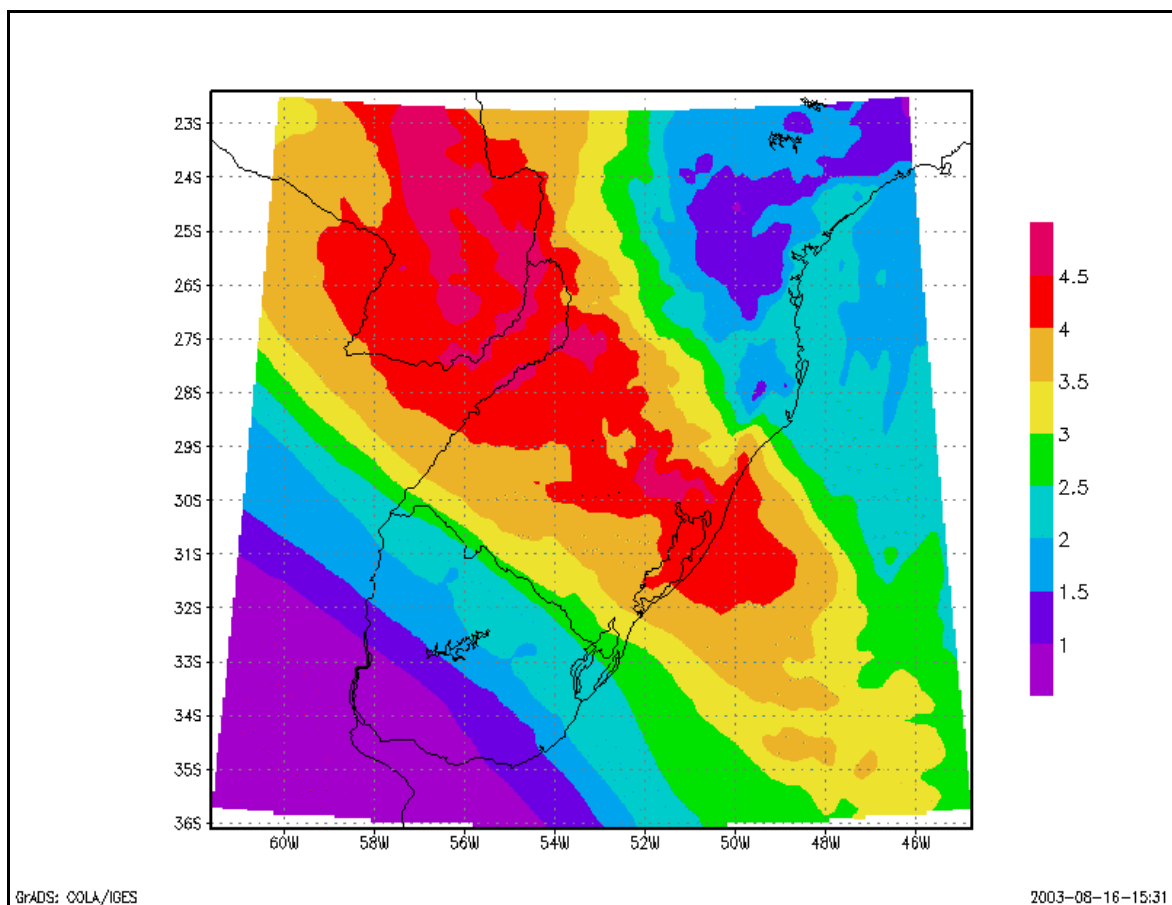


Figura 4.47 – Campo da água precipitável do dia 25 de julho de 2002 às 12 horas local. A escala da água precipitável é dada em centímetros.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

A realização deste trabalho permitiu obter-se importantes resultados, os quais ainda não tinham sido obtidos em pesquisas já realizadas sobre os JNB's. Apresentando uma descrição mais detalhada das suas estruturas estratificadas e da dinâmica dos perfis do vento na baixa atmosfera.

Nesta complexa interação de escalas na geração de convecção com precipitação e da presença de diferentes tipos de perfis do vento. Os fluxos e JNB's mostraram importantes informações das estruturas sinóticas e de suas escalas temporais, sendo observadas através da sua alteração de frequência e intensidade, pelo gradiente vertical do vento, decaimento vertical da velocidade do vento acima do núcleo do jato, na altura do jato e na sua direção.

A página 4 desta tese apresentou uma lista de cinco perguntas, cuja realização deste trabalho buscou responder. Para obter as respostas completas destas perguntas, pesquisas adicionais seriam necessárias, cuja forma é explicada abaixo nas recomendações da tese (seção 5.2), mas nesta altura, apesar do avanço realizado neste trabalho, são apresentadas respostas parciais às cinco perguntas, que são as seguintes:

(i) Em situações com existência de fluxos ou com JNB, qual seria a estrutura, tipologia e a predominância dinâmica do perfil vertical do vento?

Com a utilização da técnica de ACP permitiu diferenciar estas características na estrutura, na tipologia e na predominância dinâmica do perfil vertical do vento, através da sua variância vertical, e a sua associação com diferentes estruturas sinóticas de meso e macroescala sobre o Rio Grande do Sul.

Pode-se concluir que existem tipos específicos de perfis verticais associados à ocorrência de convecção (com chuva) e de intensa precipitação, permitindo diferenciar dois níveis de altura com JNB ou fluxo predominantes, caracterizando o transporte nos baixos níveis na atmosfera.

(ii) Existem tipos específicos de perfis verticais associados à ocorrência de convecção e de precipitação? Quais perfis seriam estes?

A estrutura estratificada do perfil vertical do vento pode ser observada em cerca de sete situações, duas com jatos isolados mais alto e mais baixo (níveis 850 hPa e 950 hPa); duas situações análogas a situação anterior, mas com fluxos que não caracterizam jatos; duas combinações de fluxo e jatos, com posição acima e abaixo alternadas (níveis 850 hPa e 950 hPa) e, finalmente, uma combinação de dois fluxos.

Tais características mostram uma riqueza de estruturas dinâmicas e baroclínicas que estão associadas aos processos de geração e manutenção da convecção com precipitação. Portanto, confirma-se a importância e a necessidade do monitoramento dos JNB's, o qual abre a possibilidade de aumentar o entendimento dos processos físicos de mesoescala e podem nos dar importantes informações das características das diferentes estruturas e escalas meteorológicas que compõem a variabilidade climática sobre o Rio Grande do Sul.

(iii) Existiria tendência nas escalas intra-sazonais e intersazonais associadas aos JNB's?

A repetição de determinados perfis verticais no tempo traz informações significativas dos diferentes tipos de escalas sinóticas envolvidas, como nos sistemas meteorológicos que apresentam escalas de tempo de vários dias (situações de bloqueio) possuem tendência. A convecção associada a este tipo de sistema apresenta vários ciclos convectivos, portanto a segunda, a terceira e quarta componente da ACP se alternam no tempo, criando características que acompanham os sinais das escalas meteorológicas com maior duração.

A segunda componente ocorre no nível de 850 hPa (1000/1500 metros ou mais), estando associada a sistemas meteorológicos com grandes estruturas sinóticas. O aumento da frequência desta componente poderia caracterizar a influência de um sinal remoto em nível planetário, exemplo o sinal de ENOS.

A terceira componente ocorre no nível de 950 hPa (500/1000 metros ou mais próximo da superfície). O seu aumento de frequência poderia caracterizar uma tendência de representar processos de natureza convectiva, atuando ao nível de mesoescala ou com influência de fatores regionais e parcialmente continentais, tendo-se como exemplo a convecção sobre o

continente no verão. Portanto, as mudanças de frequência das componentes da ACP caracterizariam sinais de variação sazonal e intersazonais de diferentes sistemas meteorológicos que compõem a variabilidade climática.

A terceira componente da ACP apresentou o maior valor total acumulado de precipitação. Tal situação implica que o transporte de vapor de água é otimizado para esta configuração, em que o JNB apresenta o maior efeito de desacoplamento entre as camadas da CLP e uma altura menor (da ordem de 950 hPa) em relação à superfície, mais baixa que a segunda componente (da ordem de 850 hPa).

A quarta componente apresentou a maior otimização por evento, sendo a componente com menor percentagem de ocorrência. A terceira e a quarta componente quando o seu JNB ocorre no nível mais baixo são similares, sendo que a quarta componente tem ainda o somatório do fluxo no nível acima. Esta característica tem enorme impacto na modelagem numérica, pois os modelos não possuem parametrização adequada deste efeito, subestimando a convergência de vapor de água na CLP e, conseqüentemente, o volume de água para a convecção e a precipitação resultante. Portanto, deve-se desenvolver parametrizações adequadas para que os modelos meteorológicos representem este efeito.

A quarta componente da ACP mostrou no perfil vertical do vento uma combinação de fluxos e de jatos. Tal situação apresenta a soma das características da segunda e terceira componente. Esta estrutura vertical ao nível de mesoescala pode desempenhar enorme papel na geração e manutenção de processos convectivos e na intensidade da precipitação, sendo possível existir circulações transversas e a ocorrência do ajustamento de massa dentro da CLP entre os JNB's e os fluxos, e também fora dela, com os JNS's. Estas características descrevem um mecanismo com uma estrutura dinâmica vertical estratificada, cujos fluxos horizontais são hábeis em realizar intensos transportes dentro dos processos turbulentos na atmosfera.

Os JNB's em determinadas situações meteorológicas realizam de maneira vigorosa a convergência de umidade na CLP, fazendo com que em poucas horas durante a madrugada alcance valores suficientes para gerar intensa convecção (com precipitação correspondente) e pode ser responsável por gerar pequenas instabilidades que serviriam de núcleos de frontogênese para escalas de meso e para escalas meteorológicas continentais. Isso caracteriza uma escala horizontal vigorosa e efetiva no transporte de grandes quantidades de calor latente e sensível em baixos níveis.

(iv) Os eventos de precipitação máxima estão associados a intensos processos convectivos e, portanto, partes destes processos poderiam estar relacionadas ao transporte realizado pelos JNB's. Poderia esta relação ser confirmada, se os JNB's apresentam características físicas de predominância (direção e intensidade)? Pois os máximos de precipitação poderiam ter características temporais influenciadas pelo ciclo da existência dos JNB's. E tal relação poderia ser responsável por uma possível tendência espacial e temporal destes máximos de precipitação?

Os resultados obtidos na análise da precipitação máxima mostraram a existência de determinada coerência espacial e temporal da precipitação máxima em alguns anos entre o período de 1971 e 2000 sobre o Rio Grande do Sul. Podendo caracterizar variações temporais intersazonais, cujos ciclos irregulares podem caracterizar variações da ordem de 2 a 10 anos, caracterizando escalas intra-decadais.

Com o uso da classificação não hierárquica dos JNB's ficou realçado em sua dinâmica um comportamento importante, além da situação clássica dos JNB's de noroeste/norte caracterizando o fluxo de calor e umidade da região amazônica. Também apresentou, de maneira significativa, a direção leste, caracterizando um fluxo em baixos níveis do Atlântico. Nesta situação a precipitação pode ter característica temporal e coerência espacial influenciadas também pelo ciclo da existência dos JNB's de leste. Este resultado é relevante, uma vez que a importância do papel e da influência do Oceano Atlântico vai além de fonte de umidade, podendo influenciar e explicar parte das variações sazonais, intra-sazonais e intersazonais na convecção (com precipitação). Estariam possivelmente ligadas às mudanças de temperatura na superfície do mar, que são influenciadas pelas correntes marítimas no litoral do Brasil ou por outro processo no oceano que cause a mudança da TSM associado a variações de baixa frequência.

No verão, com a diminuição da TSM no Atlântico sul surgiria um gradiente de maior magnitude entre o continente e o oceano, tendendo a intensificar este transporte em baixos níveis e aumentar a convergência noturna na CLP. Em anos em que estas características fossem mais evidentes, apresentaria verões mais chuvosos. Tal comportamento poderia caracterizar uma circulação tipo monção marítima. Numa situação oposta ocorrendo o aumento da TSM, este gradiente tende a diminuir e como consequência resulta em diminuição

da convecção noturna e diminuição das chuvas associadas à convergência noturna de vapor de água na CLP. Mas, com o aumento da TSM, haveria aumento da evaporação, resultando mais vapor de água para convecção. A interação dos processos resulta num comportamento complexo.

A análise da correlação entre as séries temporais da precipitação em 64 pontos de observação sobre o Rio Grande do Sul, conjuntamente com a série temporal dos JNB que ocorreram em Porto Alegre, observa-se em varias regiões resultados estatisticamente significativos em todos os períodos analisados. O valor de correlação positiva obtida foi da ordem de 0,55 na região centro/sul do estado e os valores das correlações calculadas aumentaram no tempo para sistemas meteorológicos com maior escala temporal, com períodos de 24 e 48 horas.

(v) Em processos de frontogênese, pode ocorrer a presença de JNB. Qual seria o comportamento dinâmico e meteorológico neste desenvolvimento e quais as possíveis magnitudes e intensidades dessas escalas, vertical e horizontal?

Os JNB's possuem uma escala vertical de umas poucas dezenas de metros e na horizontal de uma dezena até centenas de quilômetros (valor típico da ordem de 500 km) podendo atingir valores de fluxo da ordem de centenas de milhões de m^3s^{-1} por grau de latitude. Para tais situações os JNB's são uma escala vigorosa e participam da geração de forte convecção noturna, na forma pontual ou apresentando uma nebulosidade com estrutura em linha, com bandas simétricas e paralelas. Podendo gerar, manter e participar do desenvolvimento de estruturas sinóticas maiores, como aglomerados de mesoescala.

Na simulação do modelo MM5, mostra um JNB no ciclo de desenvolvimento de um sistema meteorológico sobre o Rio Grande do Sul, se considerarmos a diferença entre o observado por radiossondagens e o simulado pelo modelo existiu uma diferença com relação ao JNB e o transporte associado. O modelo subestimou o fluxo. Tal situação pode ser mais grave dependendo do tipo de escala meteorológica envolvida na simulação, podendo chegar a valores mais significativos.

Tal fato pode implicar que boa parte dos SCM pode ser formada pela atuação direta dos JNB's e este mecanismo serviria como uma instabilidade dinâmica necessária para originar instabilidades em escala maior, como na gênese dos CCM ou na interação de diferentes escalas meteorológicas em processos de frontogênese.

5.2 RECOMENDAÇÕES

As relações entre os fluxos e os JNB's podem caracterizar uma dinâmica exclusiva de baixos níveis na atmosfera e as suas associações com outras estruturas da circulação geral da atmosfera ainda não foram estudados ou caracterizados os seus modelos teóricos e dinâmicos.

Portanto baseado nos resultados deste trabalho decorre as seguintes recomendações, através da possibilidade de utilização de novos recursos tecnológicos, permitindo o monitoramento contínuo da CLP com a observação do perfil vertical do vento, abrindo a possibilidade de se registrar importantes informações das diferentes escalas espaciais e temporais na baixa atmosfera.

A criação de um banco de dados do perfil vertical do vento melhoraria significativamente o entendimento destas estruturas envolvidas e proporcionaria a melhoria da qualidade das previsões em períodos curtos (1-10 dias) e períodos intermediários (20-30 dias), proporcionando a realização de previsões meteorológicas mais acuradas e com maiores períodos de tempo.

Isso abre a possibilidade de desenvolver uma climatologia dos perfis verticais correlacionados às diferentes escalas meteorológicas existentes, o que ajudaria a entender os mecanismos meteorológicos das escalas intrasazonais, sazonais e intersazonais, criando características de tendência nestas escalas.

Para tanto seria necessário ampliar a rede básica de coleta de dados verticais, através de um número maior de radiossondagens e da colocação de perfiladores de vento, gerando uma estrutura de dados tridimensional, densa, confiável e com uma coleta de dados contínua. Esta nova estrutura permitiria a geração de modelos matemáticos e meteorológicos de mesoescala mais avançados e realísticos, dando um salto significativo de qualidade.

Na ACP, se comparou as componentes do módulo do vento com os valores de precipitação ocorridos no Rio Grande do Sul, faltando realizar a mesma análise com as componentes obtidas da direção do vento.

No perfil vertical do vento para fluxos ou JNB's com alturas de 950hPa ou mais próximos da superfície (terceira componente) estão associados ao maior valor acumulado de precipitação e são caracterizados por apresentar direções de leste. Tal fato no verão pode caracterizar uma circulação de monção no Rio Grande do Sul com a influência local da TSM no Atlântico sul e causar variações nas escalas sazonais e intra-sazonais.

Portanto sugere-se o desenvolvimento de estudo que proporcione a ampliação do conhecimento do sistema físico de monção e da sua variabilidade climática associada. Tal situação poderia ajudar a entender a variabilidade climática dos anos de La Niña (anos com ocorrência de seca ou com chuvas) sobre o Rio Grande do Sul.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDOULAEV, S., STAROSTIN, A. e LENSKAYA, O., Internal Structure of Non-Line Mesoscale Convective System in Southern Brazil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Campos do Jordão, **Anais...** v.2, p883-887, 1996.

_____, STAROSTIN, A. e LENSKAYA, O., Sistemas de Mesoescala de Precipitações no Rio Grande do Sul. Parte 2: Tempestades em Sistemas não lineares de convecção severa. **Revista Brasileira de Meteorologia**. V. 16, n. 1, p101-114, 2001.

ANDERSON, D. L., The low-level jet as western boundary current. **Mon. Wea. Rev.** v104, p907-921, 1976.

ARRITT, R. W., RINK, T. D., SEGAL, M., TODEY, D. P., CLARK, G. A., MITCHELL, M. J. e LABAS, K. M.. The Great Plains Low-level Jet during the Warm Season of 1993. **Mon. Wea. Rev.** v125, p2176-2192, 1997.

AUGUSTINE, J. A. e CARACENA, F.. Lower-troposphere precursors to nocturnal MCS development over the central United States. **Wea. Forecasting**. v9, p116-135, 1994.

BARROS, V., DOYLE, M., GONZÁLEZ, M., CAMILLONI, I., BEJARÁN, R. e CAFFERA, R. M.. Climate variability over subtropical south America and the south american monzón: a review. **Meteorologica**. v27- 1:2: p33-57, 2002.

BERBERY, E. H. e COLLINI, E. A.. Springtime precipitation and water vapor flux convergence over southeastern South America. . **Mon. Wea. Rev.** v128, p1328-1346, 2000.

BERRI, G. e INZUNZA, J., The effect of the low level jet on the poleward water vapour transport in the central region of South America. **Atmospheric Environment**. v. 27 A, p335-341, 1993.

BLACKADAR, A. K., Boundary layer wind maxima and their significance for the growth of nocturnal inversions. **Bull. Amer. Meteor. Soc.** v38, p283-290, 1957.

_____, High-resolution model of the planetary boundary layers. **Advances in Environmental Science and Engineering, I**, Pfafflin and Ziegler, Eds., Gordon and Breach Publ. Group, Newark, p50-85, 1979.

BONNER, W. A.. Case study of thunderstorm activity in relation to the low-level jet. **Mon. Wea. Rev.** v94(3): p167-178, 1966.

_____. Climatology of the low level jet. **Mon. Wea. Rev.** v96, p833-850, 1968.

BROST, R. A. e WYNGAARD, J. C.. A model study of the stable stratified planetary boundary layer. **J. Atmos. Sci.** v35, p1427-1440, 1978.

CHARNEY, J. G. e ELIASSEN, A.. On the growth of the hurricane depression. **J. Atmos. Sci.** v21(1), p68-75, 1964.

CHEN, C.; TAO, W.; LIN, P.; LAI, G. S.; TSENG, S.-T. e WANG, T.-C. C.. The intensification of the low-level jet during the development of mesoscale convective systems on a Mei-Yu front. **Mon. Wea. Rev.** v126(2), p349-371, 1998.

CHEN, G. T.-J. e YU, C.-C.. Study of low-level jet and extremely heavy rainfall over northern Taiwan in the Mei-Yu season. **Mon. Wea. Rev.** v116(4), p884-891, 1988.

CHEN, Y., CHEN, X. A., CHEN, S. e KUO, Y.. A Numerical Study of the Low-level Jet during TAMEX IOP 5. **Mon. Wea. Rev.** v125, 10, p2583-2604, 1996.

- CHEN, T.-C. e KPAEYEH, J. A., The synoptic-scale environment associated with the low-level jet of the great Plains. **Mon. Wea. Rev.** v121, p416-420, 1993.
- CHIN, H.-N. S. e WILHELMSON, R. B.. Evolution and structure of tropical squall line elements within a moderate CAPE and strong low-level jet environment. **J. Atmos. Sci.** v55 (20), p3089-3113, 1998.
- CHU, P. S.. Brazil's climate and ENSO. In: GLANTZ, M.; KATZ, R. W., NICHOLLS, N. (Eds.), Teleconnections linking worldwide climate anomalies. Cambridge: **Cambridge University Press**, p43-71, 1991.
- CORRÊA, C. S. e DALLAROSA, R. L. G.. Estudo observacional de Jatos de Nível Baixo (JNB) associados ao desenvolvimento de um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) sobre o Rio Grande do Sul. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia XI**. Rio de Janeiro, Anais.... (CD-ROM), 2000.
- _____ ; DALLAROSA, R. L. G. e DEGRAZIA, G. A.. Estudo Observacional dos Jatos de Nível Baixo sobre a região metropolitana de Porto Alegre. **Rev. Bras. de Recursos Hídricos**. v6, n.º 4, p19-27, 2001.
- COTTON, W. R. e ANTHES, R. A.. Storm and cloud dynamics. **Academic Press.**, 883, 1989.
- CRESSIE, N. A. C.. Statistics for Spatial Data. **John Wiley and Sons, Inc.**, New York, 900, 1991.
- DUDHIA, J.. A nonhydrostatic version of the Penn State/ NCAR mesoscale model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. **Mon. Wea. Rev.** v121, p1493-1513, 1993.

DOUGLAS, M. e NICOLINI, M. e SAULO, A. C.. Observational evidences of a low level jet east of the Andes during January-march 1998. **Meteorologica**. V 23, 1,2, 1998.

IGAU, R. C. e NIELSEN-GAMMON, J. W.. Low-level Jet development during a numerically simulated return flow event. **Mon. Wea. Rev.**. v126, 11, p2972-2990, 1998

IZUMI, Y, e BARAD, M. L.. Wind and temperature variations during development of a low-level jet. **J. of Applied Meteorology**. v2(5), p668-673, 1963.

FIGUEREDO, J. C. e SCOLAR, J.. Estudo da trajetórias dos sistemas convectivos de mesoescala na América do Sul. **VII Congresso Argentino de meteorologia e VII congresso Latino-americano e Ibérico de Meteorologia**. Argentina. p165-166, 1996.

FIGUEROA, S. N.. **Estudos dos sistemas de circulação de verão sobre a América do Sul e suas simulações com modelos numéricos**. 1997. Tese (Doutorado em Meteorologia)-Instituto nacional de pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos, 1997.

FIGUEROA, S. N.; SATYAMURTY, P. e SILVA DIAS, P. L.. Simulation of the summer circulation over the South America region with an ETA coordinate model. **J. Atmos. Sci.**. v52, p1573-1584, 1995.

GANDÚ, A. W. e GEISLER, J. E.. A primitive equation model study of the effect of topography on the summer circulation over tropical South America. **J. Atmos. Sci.**. v48: p1822-1836, 1992.

GERHARDT, J. R.. An example of a nocturnal low-level jet stream. **J. Atmos. Sci.**. v19(1), p116-118, 1962.

GRELL, G. A.. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. **Mon. Wea. Rev.**, v121, p764-787, 1993.

GUEDES, R. L. e SILVA DIAS, M. A. F.. Estudo de tempestades severas associadas com o jato subtropical na América do Sul. **Anais III do Cong. Brasileiro de Meteorologia**. V 2, p289-296, 1984.

HELFAND, H. M. e SCHUBERT, S. D.. Climatology of simulated great plains low-level jet and its contribution to the continental moisture budget of the United States. **J. of climate**. v8(4), p784-806, 1995.

HIGGINS, R. W.; YAO, Y.; YAROSH, E. S.; JANOWIAK, J. E. e MO, K. C.. Influence of the great plains low-level jet on summertime precipitation and moisture transport over the central United States. **J. Climate**. v10, p481-507, 1997.

HONG, S. -Y. e H. -L. PAN. Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. **Mon. Wea. Rev.**, v124, p2322-2339, 1996.

HOSKINS, B. J. e AMBRIZZI, T.. Rossby wave propagation on a realistic longitudinally varying flow. **J. Atmos. Sci.**. v. 50, p1661-1671, 1993.

HOSKINS, B. J. e KAROLY, D. J.. The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing. **J. Atmos. Sci.**. v38(3), p1179-1196, 1981.

HOTTELLING, H.. The most predictable criterion. **J. Ed. Psych.**. v26, p139-142, 1935.

HUIJBREGTS, C. J., Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data. In: Davis, J. C.; McCullagh, M. J. ed. *Display and analysis of spatial data*. New York, John Wiley. P 38-53, 1975.

KRAUS, H., MALCHER, J. e SHALLER, E.. Nocturnal low-level jet during PUKK. **Bound. - Layer Meteor.**. v31, p187-195, 1985.

KOUSKY, V. E. e KAGANO, M. T.. A climatological study of the tropospheric circulation over the Amazon region. São José dos Campos, **INPE, (INPE-1761-RPE/150)**, 36, 1980.

_____ e CAVALCANTI, I. F. A.. Eventos Oscilação Sul – El Niño: Características, evolução e anomalias de precipitação. **Ciência e Cultura**. v36 (11), p1888-1899, 1984.

LACKMANN, G. M.. Cold-frontal potential vorticity maxima, the low-level jet, and moisture transport in extratropical cyclones. **Mon. Wea. Rev.**.v130, p59-74, 2002.

LORENZ, E. N.. Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction. Technical report, Statistical Forecast Project Report 1. **Dept. of Meteor.**. MIT, 49pp, 1956.

MADDOX, R. A. e DOSWELL III, C. A.. An examination of jet stream configurations, 500mb vorticity advection and low-level thermal advection patterns during extended periods of intense convection. **Mon. Wea. Rev.**. v110, p184-197, 1982.

MARENGO, J. A. ; DOUGLAS, M. W. e SILVA DIAS, P. L.. On the circulation features of the low level jet episode of April 14-15 1999, during the TRMM_LBA. **15th Conference on Hydrology**. MAS. Long Beach. 2000.

MEANS, L. L.. On thunderstorm forecasting in the central United States. **Mon. Wea. Rev.**. v80 (10), p165-189, 1952.

MALCHER, J. e KRAUS, H.. Low-level jet phenomena described by an integrated dynamic PBL model. **Bound.-layer Meteor.**. v27, p327-343, 1983.

MM5 – *Home Page*. Disponível em: < <http://box.mmm.ucar.edu/mm5/>> . Acesso em 18 mar 2003.

NICOLINI, M., SAULO, A. C., TORRES, J. C. e SALIO, P.. Enhanced precipitation over southeastern South America related to strong low-level jet events during austral warm season. **Meteorologica**. v27- 1:2, p59-69, 2002.

NOBRE, C. A.. Tropical heat sources and their associated large-scale atmospheric circulation. Ph. D. Thesis, **Cambridge, MA, M.I.T.**. 1983.

NOGUÉS-PAEGLE, J. e MO, K. C.. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. **Mon. Wea. Rev.**. v125, p279-291, 1997.

OOYAMA, K.. A dynamical model for the study of tropical cyclone development. **Geofis. Intern.**. v4: p187-198, 1964.

ORLANSKI, I.. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. **Bull. Amer. Soc.**. v56(5), p527-534, 1975.

PAEGLE, J. A. e MCLAWHORN, D. W.. Numerical modeling of diurnal convergence oscillations above sloping terrain. **Mon. Wea. Rev.**. v111, p67-85, 1983.

_____, A comparative review of South American low level jets. **Meteorologica**. v3: p73-82, 1998.

PALMEN, E.. The role of atmospheric disturbances in the general circulation. **Quart. Journ. Roy. Met. Soc.**. v77, p337-354, 1951.

PARSONS, D. B., SHAPIRO, M. A. e MILLER, E.. The mesoscale structure of a nocturnal dryline and of a frontal-dryline Merger. **Mon. Wea. Rev.** .v128(11), p3824-3838, 2000.

PEARSON, K.. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Phil. Mag.*. v2, p559-572, 1902.

PITCHFORD, K. L. e LONDON, J.. The low-level jet as related to nocturnal thunderstorms over Midwest United States. **J. Appl. Meteor.** v1, p43-47, 1962.

RAYMOND, D. J.. Instability of the low-level jet and severe storm formation. **J. Atmos. Sci.** v35, p2274- 2280, 1978.

REITER, E. R.. Jet stream meteorology. **University of Chicago Press**. 515, 1963.

_____. Tropopause circulation and jet streams. World Survey of Climatology., **Climate of the free Atmosphere**. D. F. Rex, Ed., Elsevier, v4, p85-193, 1969.

SAULO, C. e NICOLINI, M. e CHOU, S. C.. Model characterization of the South American low-level flow during the 1997-98 spring-summer season. **Climate Dynamics**. v16, p867-881, 2000.

SELUCHI, M. e MARENGO, J.. Tropical-Mid latitude exchange of air masses during summer and winter in South America: climatic aspects and extreme events. **Int. J. Climatol**. v20, p1167-1190, 2000.

SEVERO, D. L.. Estudo de casos de chuvas intensas no estado de Santa Catarina. Dissertação de mestrado em Meteorologia. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE**, São José dos Campos. 1994.

SILVA DIAS, P. L., SCHUBERT, W. H. e DE MARIA, M.. Large-scale response of the tropical atmospheric to transient convection. **J. Atmos. Sci.** v40(11), p2689-2707, 1983.

SILVA DIAS, M. A. F.. Sistemas de Mesoescala e Previsão de Tempo a Curto Prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**. Vol. 2, 133-150. 1987.

SMITH, B. e MAHRT, L.. A study of boundary layer pressure adjustments. **J. Atmos. Sci.** v38, p334-346, 1981.

STENSRUD, D. J.. Importance of low-level Jets to Climate: A Review. **Journal of Climate**. v9, p1698-1711, 1996.

SUGAHARA, S.; ROCHA, R. P, RODRIGUES, M. L.. Condições atmosféricas de grande escala associadas a jato de baixos níveis na América do Sul. Anais do **VIII Cong. Bras. De Meteorologia e II Cong. Latino-Americano e Ibérico de Meteorologia**. p573-577, 1994.

TROEN, I. e MAHRT, L., A simple model of the atmospheric boundary layer; sensitivity to surface evaporation. **Bound. -Layer Meteor.**, v37, p129-148, 1986.

UCCELLINI, L. W.; JOHNSON, D. R.. The coupling of upper and lower tropospheric jet streaks and implications for the development of severe convective systems. **Mon. Wea. Rev.**. v107(6), p662-703, 1979.

VEIGA, J. A. P., ORSINI, J. A. M. e RAO, V.B.. A influência das anomalias de TSM dos Oceanos Atlântico e pacífico sobre as chuvas de monção da América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.17,n.2, p.181 -194, 2002.

VELASCO, I. e FRITCH, J. M.. Mesoscale convective complexes in the America. **J. Geophys. Res.**. v92, p9591-9613, 1987.

VIRJI, H.. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from clouds winds. **Mon. Wea. Rev.**. v109, p.167-178, 1981.

WALLACE, J. M., GUTZLER, D. S.. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern hemisphere winter. **Mon. Wea. Rev.**. v109, p. 785-812, 1981.

WHITEMAN, C. D., XINDI B. e SHIYUAN Z.. Low-level jet climatology from enhanced Rawinsonding observations at a site in the Southern Great Plains. **J. Appl. Meteor.**. v36, p1363-1376, 1997.