



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**IDENTIFICAÇÃO DOS PADRÕES DE GRANDE  
ESCALA RELACIONADOS A EXTREMOS  
CLIMÁTICOS DE PRECIPITAÇÃO NO SUL DE MINAS  
GERAIS**

---

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO**

**Gabriel Miller de Oliveira**

**Itajubá, MG, Brasil**

**2015**

# **IDENTIFICAÇÃO DOS PADRÕES DE GRANDE ESCALA RELACIONADOS A EXTREMOS CLIMÁTICOS DE PRECIPITAÇÃO NO SUL DE MINAS GERAIS**

---

por

**Gabriel Miller de Oliveira**

Monografia apresentada à comissão examinadora do Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Ciências Atmosféricas.**

**Orientador: Prof. Dr. Roger Rodrigues Torres**  
**Coorientadora: Profa. Dra. Sâmia Regina Garcia Calheiros**

**Itajubá, MG, Brasil**  
**2015**

**Universidade Federal de Itajubá  
Instituto de Recursos Naturais  
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a  
Monografia

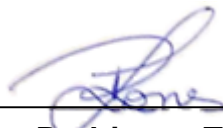
**IDENTIFICAÇÃO DOS PADRÕES DE GRANDE ESCALA  
RELACIONADOS A EXTREMOS CLIMÁTICOS DE PRECIPITAÇÃO  
NO SUL DE MINAS GERAIS**

elaborada por

**Gabriel Miller de Oliveira**

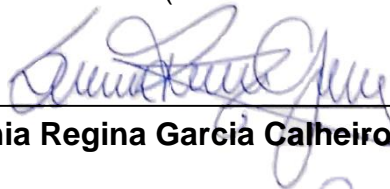
Como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Bacharel em Ciências Atmosféricas**

**Comissão Examinadora:**



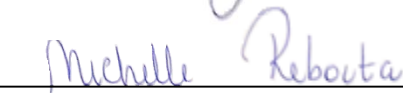
---

**Roger Rodrigues Torres, Dr.**  
(Presidente/Orientador)



---

**Sâmia Regina Garcia Calheiros, Dra.** (Coorientadora)



---

**Michelle Simões Reboita, Dra.**

Itajubá, 10 de novembro de 2015.

## **AGRADECIMENTOS**

A minha família, pelo apoio em todo o período de graduação.

Ao meu orientador, pela dedicação, pela transmissão de conhecimentos e por me fazer buscar cada vez mais realizar um bom trabalho sempre dando continuidade ao aprendizado.

O meu muito obrigado a todos os meus amigos, colegas de curso, irmãos de república, enfim, todos os que me aturaram durante todo esse tempo.

A todos os professores do curso de Ciências Atmosféricas que me apoiaram e que foram fundamentais em todo o processo de graduação. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados os quais sem nominar terão os meus eternos agradecimentos.

À madrinha Lurdinha, por sua  
capacidade de acreditar em mim. Seu  
cuidado e dedicação foi que deram, em  
alguns momentos, a esperança para  
seguir.

*“All stable processes, we shall predict. All unstable processes, we shall control!”*

John Von Neumann

## RESUMO

Monografia de Graduação  
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

### **IDENTIFICAÇÃO DOS PADRÕES DE GRANDE ESCALA RELACIONADOS A EXTREMOS CLIMÁTICOS DE PRECIPITAÇÃO NO SUL DE MINAS GERAIS**

AUTOR: GABRIEL MILLER DE OLIVEIRA  
ORIENTADOR: Prof. Dr. ROGER RODRIGUES TORRES  
Local e Data da Defesa: Itajubá, 10 de novembro de 2015.

A região sul do estado de Minas Gerais é tida como uma das regiões mais promissoras do Brasil com relação ao desenvolvimento. Contudo, é altamente dependente do tempo e do clima em suas atividades socioeconômicas, com destaque na agricultura e processos industriais. Enquanto o comportamento médio é bem compreendido, os estudos sobre os eventos extremos e de sua variabilidade climática continuam a ser muito limitados. Assim, o objetivo principal deste trabalho baseia-se em identificar os padrões de grande escala que induzem os eventos extremos climáticos de precipitação no sul de Minas. Os índices extremos analisados foram: CDD, CWD, R10p, R95p, R99p e RX5day. Foram utilizados dados diários de precipitação correspondentes ao período de 01/01/1970 a 31/12/2014 (44 anos), provenientes de 48 estações convencionais do estado de Minas Gerais disponibilizados pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Realizou-se uma análise de *cluster* para a precipitação nos dados das estações objetivando alocar indivíduos em grupos de estações semelhantes entre si com relação ao regime de precipitação, obtendo o agrupamento do sul de Minas, representado por Barbacena, Juiz de Fora, Lambari, Lavras, Machado, Poços de Caldas e São Lourenço. Em seguida, a determinação de um evento extremo foi dada, analisando-se a variabilidade dos índices de extremos com base nas médias anuais de precipitação tais que, os índices apresentados atingiram valores acima (abaixo) do terceiro (primeiro) quartil de toda a série de dados. Foi realizada a composição das anomalias de seis variáveis meteorológicas para cada um dos seis índices utilizados, tomando como base a climatologia correspondente ao período de 1981 a 2010. Foi possível encontrar padrões de grande escala que podem vir a explicar os padrões de precipitação extrema sobre a região do Sul de Minas Gerais como, anomalias de Temperatura da Superfície do Mar no Pacífico e Atlântico Sul e anomalias de Radiação de Onda Longa sobre a América do Sul direcionadas no sentido noroeste para sudeste. Também se notam padrões que contribuíram para eventos de ausência de precipitação, como as anomalias de geopotencial no Pacífico Sul sugerindo um trem de ondas atingindo o continente com valores negativos, que também pode ter deslocado para oeste o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul nos anos em questão, enfraquecendo a Zona de Convergência do Atlântico Sul, diminuindo, portanto, os regimes de precipitação sobre o Sul de Minas.

**Palavras-chave:** Extremos Climáticos. Minas Gerais.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Porcentagem de dados válidos por estação .....	6
<b>Figura 2</b> - Dendograma do agrupamento das estações meteorológicas de Minas Gerais.....	13
<b>Figura 3</b> - Posição geográfica dos grupos de precipitação sobre Minas Gerais .....	14
<b>Figura 4</b> – Séries temporais de precipitação para cada índice estudado .....	15
<b>Figura 5</b> - Composição das anomalias das seis variáveis meteorológicas para o índice CDD que se encontraram acima do terceiro quartil.....	18
<b>Figura 6</b> - Composição das anomalias das seis variáveis meteorológicas para o índice CDD dos anos que se encontraram abaixo do primeiro quartil .....	20
<b>Figura 7</b> - Composição das anomalias das seis variáveis meteorológicas para o índice CWD que se encontraram acima do terceiro quartil .....	22
<b>Figura 8</b> - Composição das anomalias das seis variáveis meteorológicas para o índice CWD que se encontraram abaixo do primeiro quartil .....	24
<b>Figura 9</b> - Composição das anomalias das seis variáveis meteorológicas para o índice R10p que se encontraram acima do terceiro quartil.....	26
<b>Figura 10</b> - Composição das anomalias das seis variáveis meteorológicas para o índice R10p que se encontraram abaixo do primeiro quartil .....	28
<b>Figura 11</b> - Composição das anomalias das seis variáveis meteorológicas para o índice R95p que se encontraram acima do terceiro quartil .....	30
<b>Figura 12</b> - Composição das anomalias das seis variáveis meteorológicas para o índice R99p que se encontraram acima do terceiro quartil .....	32
<b>Figura 13</b> - Composição das anomalias das seis variáveis meteorológicas para o índice Rx5day que se encontraram abaixo do primeiro quartil.....	34



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Dados mensais utilizados para as composições de anomalias .....	5
<b>Tabela 2.</b> Cidades de Minas Gerais utilizadas nos cálculos. ....	7
<b>Tabela 3.</b> Índices anuais de extremos climáticos utilizados no estudo. ....	11
<b>Tabela 4.</b> Anos utilizados para a composição das anomalias.....	16
<b>Tabela 5 -</b> Anos de últimas ocorrências de El Niño e La Niña .....	17

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS**

ANA – Agência Nacional das Águas

ASAS – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

BDMEP – Banco de dados meteorológicos para ensino e Pesquisa

ETCCDI – *Expert Team on Climate Change Detection and Indices*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

NCAR – *National Center for Atmospheric Research*

NCEP – *National Centers for Environmental Prediction*

PIB – Produto Interno Bruto

ROL – Radiação de Onda Longa

SMAS – Sistema Monçônico da América do Sul

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

WMO – *World Meteorological Organization*

## SUMÁRIO

RESUMO.....	VII
LISTA DE FIGURAS .....	VIII
LISTA DE TABELAS .....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	X
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Objetivos.....	4
2. DADOS E MÉTODOS.....	5
2.1. Dados utilizados .....	5
2.2. Metodologia .....	8
2.2.1.Área de estudo e análise de agrupamento .....	8
2.2.2.Definição e obtenção de um evento extremo .....	9
2.2.3.Obtenção da composição das anomalias .....	11
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	13
3.1. Análise de cluster .....	13
3.2. Avaliação das séries temporais dos extremos no sul de Minas Gerais.....	15
3.3. Análise de compostos e determinação dos padrões .....	16
3.4. Discussão.....	35
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	37
5. REFERÊNCIAS.....	39

## 1. INTRODUÇÃO

Minas Gerais possui sua região sul como uma das regiões mais promissoras do Brasil com relação ao desenvolvimento. Contudo, é altamente dependente do tempo e do clima em suas atividades socioeconômicas, com destaque nos processos industriais e na agricultura. Assim, o sucesso destas atividades fica condicionado às variáveis meteorológicas atuantes no local, principalmente a precipitação, e de sua variabilidade no decorrer do tempo. Nesse âmbito, ressalta-se a importância do estudo mais aprofundado dessa variável a fim de entender suas características e de se obter um prognóstico de seus efeitos, melhorando, portanto, os processos envolvidos no desenvolvimento de toda a região.

Grande parte de toda a extensão do sul de Minas Gerais possui sua economia dependente principalmente da agricultura e pecuária. Assim, todo o sistema econômico desta região sofre grande influência da variabilidade natural da precipitação e da temperatura do ar, uma vez que esta última é o principal fator que governa todo o estágio de desenvolvimento das plantas e a disponibilidade térmica afeta diretamente sua fenologia, determinando a aceleração ou o atraso no desenvolvimento, principalmente em plantas de clima tropical (WAGNER et al, 2011).

Apesar dos extremos de temperatura se mostrarem proeminentes e com um fator de influência muito alto no contexto socioeconômico, quando se fala de um evento extremo, a variável meteorológica com uma influência ainda mais direta para a sociedade é a precipitação, uma vez que, além de sua influência econômica com impactos na produção de alimentos e na geração de energia, também atinge a sociedade em geral através de desastres naturais, sendo uma consequência destes extremos associados a fatores geológicos e ocupação desordenada do espaço. Seu entendimento e comportamento são de suma importância para estudos estratégicos associados ao planejamento do meio ambiente, geração de energia e manejo da agricultura, especialmente em condições tropicais.

Um evento de precipitação extrema pode causar devastação em áreas urbanas, onde a drenagem se torna insuficiente para acomodar grandes quantidades de chuva repentina e também em zonas rurais onde a perda de colheitas pode prejudicar a agroindústria (LIMA et al, 2010), além de ser associado a ocorrências de

deslizamentos de terra, raios, tempestades de vento e granizo, causando danos aos serviços essenciais, como fornecimento de energia elétrica, abastecimento de água, saneamento e saúde. Em contrapartida, a escassez acentuada de precipitação afeta diretamente toda a gestão do abastecimento de água doce para a população e de água disponível para a geração de energia elétrica, uma vez que a matriz energética principal da região é baseada em centrais hidrelétricas, podendo causar períodos de racionamento de energia como ocorrido durante 2001-2002 (VALVERDE & MARENGO, 2014).

A distribuição da precipitação no sul de Minas Gerais, assim como em boa parte da América do Sul, não é regular tanto no tempo quanto no espaço, sendo que a região possui um máximo (mínimo) de precipitação durante o verão (inverno) (REBOITA et al., 2012). Este regime climático também atuante em todo Sudeste brasileiro, onde inclui-se o sul de Minas Gerais, é chamado de Sistema Monçônico da América do Sul (SMAS) e é caracterizado por verões chuvosos e quentes e invernos secos e com temperaturas mais baixas. Este sistema se desenvolve sobre regiões continentais em resposta às alterações sazonais de contraste térmico entre o continente e regiões oceânicas adjacentes (ZHOU e LAU, 1998; GAN et al., 2004; GRIMM et al., 2005; GARCIA e KAYANO, 2013; GARCIA et al., 2015).

Eventos de precipitação na região sul de Minas são comumente causados por duas importantes perturbações atmosféricas: a incursão de sistemas frontais (SILVA et al, 2014) e a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (ABREU, 1998). Contudo, não é possível afirmar que os eventos extremos de precipitação podem ser provenientes apenas destes dois sistemas.

Coelho et al. (2015) verificaram a influência de extremos negativos de precipitação sobre o sudeste do Brasil no ano de 2014 e segundo os autores o verão de 2014 foi anormalmente seco devido a uma combinação de fatores. Dentre muitos, pode-se citar uma fonte de calor localizada no norte e nordeste da Austrália causando perturbações na atmosfera fazendo a circulação de ar subsidir sobre o sudeste do Brasil, fazendo com que o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) se intensificasse entre o sudeste do Brasil e o Oceano Atlântico. A alta pressão desse sistema inibiu os movimentos ascendentes na atmosfera e a formação de nuvens, além disso, favoreceu o aquecimento das águas oceânicas que em conjunto com a

alta intensificada, cria um padrão de bloqueio-enfraquecimento da passagem de frentes frias que são importantes para a ocorrência de chuva. O mesmo padrão foi encontrado nos estudos de Cardozo et al (2014) e Oliveira et al (2015) que mostraram também que, o deslocamento do ASAS para oeste e sua permanência por cerca de 3 meses no verão de 2014, pode ter contribuído para as anomalias positivas de temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico Sudoeste se comparadas ao ano de 2013. Também, Nógues-Peagle e Mo (1997) verificaram que quando há o deslocamento para oeste do ASAS, há uma ausência (presença) acentuada de precipitação na região Sudeste (Sul) do país, por enfraquecimento da ZCAS.

Os padrões sinóticos associados a eventos de deslizamento de terra na Serra do Mar, localizado no sudeste do Brasil, durante o período de verão entre 1995 e 2005 foram estudados por Seluchi e Chou (2009). Nos casos associados tanto a ZCAS quanto a incursão de sistemas frontais, os campos compostos mostraram que a divergência de massa em 250 hPa foi notavelmente mais intensa do que a climatologia, além do cavado de altos níveis, cerca de 24h antes dos eventos de deslizamento de terra, interagir com a ZCAS e intensificando e deslocando o sistema precipitante para o norte, próximo à costa de São Paulo. Anomalias deste evento com relação a uma climatologia de 10 anos mostrou anomalias positivas de umidade, que foram mais evidentes na ZCAS do que nos casos frontais. Teixeira e Satyamurty (2007) estudaram as características dinâmicas e sinóticas que distinguiram episódios de “chuvas intensas” de “chuvas não intensas” no Sul do Brasil utilizando dados da Agência Nacional das Águas (ANA) no período de 1991 a 2001. Os padrões de fluxo médio no período de 1-3 dias que antecederam os episódios, mostraram algumas características marcantes de escala sinótica que podem ser considerados precursores desses episódios: um aprofundamento do cavado na média troposfera localizado no leste do Pacífico Sul que se aproxima do continente três dias antes do evento; um centro de baixa pressão em superfície se forma no norte da Argentina um dia antes; um jato de baixos níveis desenvolve-se ao longo do Paraguai dois dias antes; e uma forte convergência do fluxo de umidade sobre o sul do Brasil torna-se proeminente um dia antes do episódio. No entanto, os padrões sinóticos e sazonais associados a episódios de chuvas intensas na Região Sudeste do Brasil, e principalmente no sul de Minas Gerais, ainda não foram profundamente estudados.

## **1.1. Objetivos**

Enquanto respostas médias sazonais são bem compreendidas no território brasileiro, os estudos sobre as respostas de eventos extremos à variabilidade climática continuam a ser muito limitados. Assim, o objetivo principal deste trabalho é identificar os padrões de grande escala relacionados a eventos extremos climáticos de precipitação na região do sul de Minas.

## 2. DADOS E MÉTODOS

### 2.1. Dados utilizados

Foram utilizados dados diários de precipitação provenientes de 48 estações convencionais do estado de Minas Gerais disponibilizados pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), fornecido pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os dados são correspondentes ao período de 01/01/1970 a 31/12/2014 (44 anos) e foram ajustados em uma rotina de Fortran 95 para que seus dados faltantes fossem preenchidos como dados inválidos (-999,99).

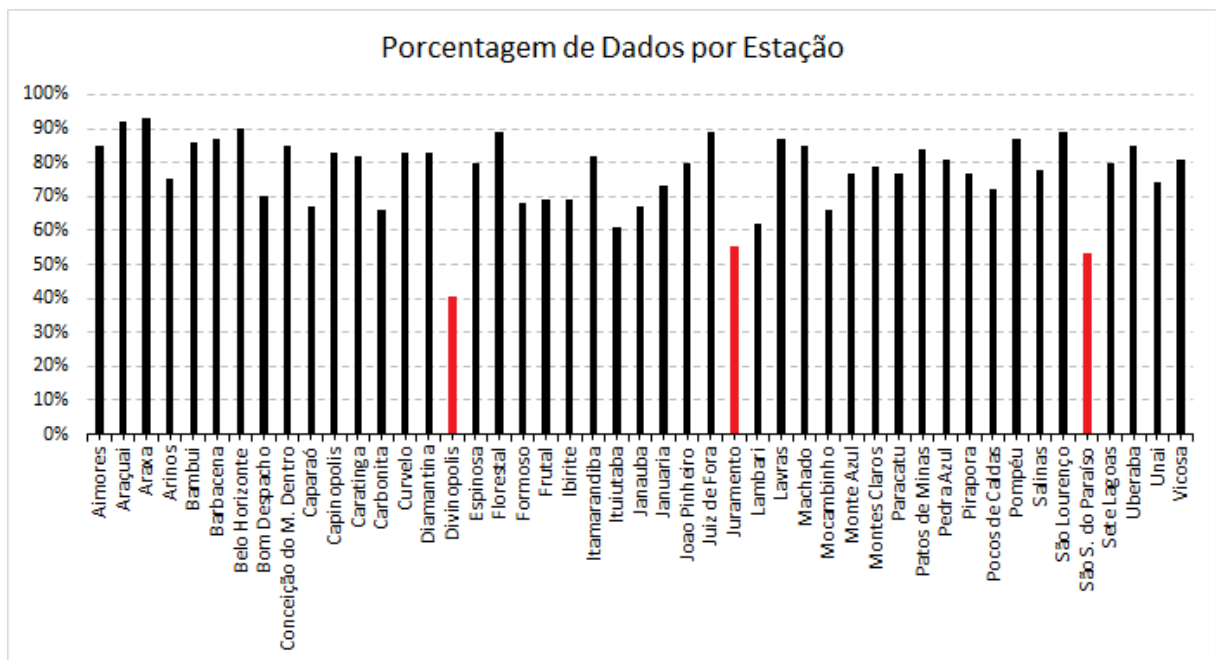
Para a composição das anomalias, foram utilizados os dados de seis variáveis meteorológicas conforme segue na Tabela 1.

**Tabela 1.** Dados mensais utilizados para as composições de anomalias

Variáveis	Resolução	Área de estudo	Período	Fonte
Altura Geopotencial (850 e 200 hPa)	2,5° x 2,5°	Global: (0°-360° E, 0°- 180°N)	1970 - 2014	Reanalysis I NCEP/ NCAR <a href="http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html">http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html</a>
Temperatura da superfície do mar				
Radiação de onda longa (superfície)				
Componentes do Vento: u, v, w (850hPa)				
Umidade Específica (850 hPa)				
Ômega (500hPa)	1° x 1°	América do Sul (60°S-15°N e 90°W-30°W)		<i>Global Precipitation Climatology Centre</i> <a href="http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcc.html">http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcc.html</a>
Precipitação				



Foram excluídas as estações meteorológicas de Divinópolis (20,08°S; 44,53°W), Juramento (16,50°S; 43,35°W), e São Sebastião do Paraíso (20,55°S; 46,59°W), pois apresentaram menos que 60% de dados existentes, para que não prejudicassem o posterior agrupamento que seria aplicado (Figura 1). A cidade de Coronel Pacheco (21,35°S; 43,15°W) também foi excluída por apresentar seus dados disponíveis somente até o ano de 2009, o que acarretaria na exclusão de cinco anos (2010-2014), período no qual uma grande parte dos dados está contida. Assim, o total de estações utilizadas para os cálculos é de 44, conforme a Tabela 2.



**Figura 1** - Porcentagem de dados válidos por estação. As barras vermelhas indicam as estações que foram excluídas das análises.

**Tabela 2.** Cidades de Minas Gerais utilizadas nos cálculos.

Número	Cidade	Latitude	Longitude
1	Aimorés	-19° 29' 45"	-41° 03' 50"
2	Araçuaí	-16° 50' 59"	-42° 04' 13"
3	Araxá	-19° 35' 36"	-46° 56' 26"
4	Arinos	-15° 55' 01"	-46° 06' 20"
5	Bambuí	-20° 00' 23"	-45° 58' 37"
6	Barbacena	-21° 13' 33"	-43° 46' 25"
7	Belo Horizonte	-19° 55' 15"	-43° 56' 16"
8	Bom Despacho	-19° 44' 11"	-45° 15' 08"
9	Conceição do Mato Dentro	-19° 02' 14"	-43° 25' 30"
10	Caparaó	-20° 31' 23"	-41° 54' 16"
11	Capinópolis	-18° 40' 55"	-49° 34' 11"
12	Caratinga	-19° 47' 23"	-42° 08' 21"
13	Carbonita	-17° 31' 37"	-43° 00' 57"
14	Curvelo	-18° 45' 23"	-44° 25' 51"
15	Diamantina	-18° 14' 58"	-43° 36' 01"
16	Espinosa	-14° 55' 34"	-42° 49' 09"
17	Florestal	-19° 53' 22"	-44° 25' 57"
18	Formoso	-14° 56' 48"	-46° 13' 55"
19	Frutal	-20° 01' 29"	-48° 56' 26"
20	Ibirité	-20° 01' 19"	-44° 03' 32"
21	Itamarandiba	-17° 51' 26"	-42° 51' 32"
22	Ituiutaba	-18° 58' 08"	-49° 27' 54"
23	Janaúba	-15° 48' 09"	-43° 18' 32"
24	Januária	-15° 29' 17"	-44° 21' 42"
25	João Pinheiro	-17° 44' 33"	-46° 10' 21"
26	Juiz de Fora	-21° 45' 51"	-43° 21' 01"
27	Lambari	-21° 58' 32"	-45° 21' 01"
28	Lavras	-21° 14' 43"	-44° 59' 59"
29	Machado	-21° 40' 29"	-45° 55' 11"
30	Mocimbo	-21° 40' 29"	-44° 02' 11"
31	Monte Azul	-15° 09' 18"	-42° 52' 29"
32	Montes Claros	-16° 44' 06"	-43° 51' 42"
33	Paracatu	-17° 13' 20"	-46° 52' 29"
34	Patos de Minas	-18° 34' 44"	-46° 31' 05"
35	Pedra Azul	-16° 00' 19"	-41° 17' 50"
36	Pirapora	-17° 20' 42"	-44° 56' 31"
37	Poços de Caldas	-21° 47' 16"	-46° 33' 41"
38	Pompéu	-19° 13' 28"	-44° 56' 07"
39	Salinas	-16° 10' 13"	-42° 17' 25"
40	São Lourenço	-22° 06' 59"	-45° 03' 16"
41	Sete Lagoas	-19° 27' 57"	-44° 14' 48"
42	Uberaba	-19° 44' 54"	-47° 55' 55"
43	Unaí	-16° 21' 27"	-46° 54' 22"
44	Viçosa	-20° 45' 14"	-42° 52' 55"

## 2.2. METODOLOGIA

### 2.2.1. Área de estudo e análise de agrupamento

De modo geral, segundo o IBGE, a divisão regional do Brasil em mesorregiões busca identificar áreas individualizadas em cada uma das unidades federadas, definindo-se as mesorregiões com base nas seguintes dimensões: o processo social como determinante, o quadro natural como condicionante e a rede de comunicação e de lugares como elemento da articulação espacial (IBGE, 2014). A divisão socio-política define as mesorregiões de Minas Gerais com relação ao PIB, PIB *per capita*, densidade demográfica, entre outros fatores. Contudo, para uma análise climática é necessário que haja a utilização de uma nova classificação para que seja possível analisar a influência dos sistemas climáticos atuantes em cada região em específico.

Assim, foi realizada uma análise de agrupamento (ou análise de *cluster*) para a precipitação nas estações do estado de Minas Gerais, que consiste em um procedimento estatístico multivariado composto de processos que qualificam, avaliam e sistematizam os dados (Ferreira, 2008). A análise de agrupamento objetivou alocar indivíduos em grupos de estações mutuamente exclusivas semelhantes, isto é, agrupou-se as estações mais similares quanto possível umas com as outras, enquanto estações localizadas em grupos diferentes são dissimilares. Ou seja, foram analisados aspectos estatísticos, com o objetivo de verificar como eles podem ser utilizados na avaliação, classificação e formação de conglomerados de estações meteorológicas climaticamente similares entre si com relação a precipitação.

A análise de agrupamento apresenta diferentes métodos de similaridade ou de dissimilaridade entre os elementos a serem agrupados, dispostos geralmente em função de uma distância ou métrica. A medida de dissimilaridade utilizada no presente trabalho foi a Distância Euclidiana que consiste na equação:

$$DE = \left[ \sum_1^n (x_{i,n} - x_{j,n})^2 \right]^{1/2} \quad [1]$$

em que  $x_{i,n}$  e  $x_{j,n}$  são os elementos a serem comparados;  $i$  e  $j$  indicam os elementos ou número de variáveis aleatórias a serem agrupadas; e  $n$  indica o número de comparações a ser efetuada.

Após a obtenção das medidas de dissimilaridade, é efetuado o agrupamento, podendo ser de modo hierárquico ou não hierárquico de acordo com a finalidade do agrupamento. Neste estudo foi utilizado o método hierárquico, que consiste em sucessivos agrupamentos, onde os elementos são agregados de acordo com a menor dissimilaridade, sendo estes agrupamentos cessados de modo subjetivo, de acordo com a quantidade de agrupamentos finais desejados. No estudo em questão, baseando-se na análise do comportamento do nível de fusão, o nível selecionado para se parar os agrupamentos foi em 900, ponto este no qual a similaridade entre os conglomerados que estão sendo combinados nos respectivos passos vai decrescendo, logo, a distância entre eles vai aumentando.

O método hierárquico ainda pode ser subdividido em métodos aglomerativos e divisivos, e no presente estudo, foi utilizado um método aglomerativo chamado de Método de Ward. O método de Ward busca unir objetos que tornem os *clusters* formados os mais homogêneos possíveis, e é bastante utilizado por basear-se numa medida com alta relevância estatística, e por gerar grupos que possuem alta homogeneidade interna (OLIVEIRA, 2014; WILKS 2006). Essa medida de homogeneidade utilizada baseia-se na partição da soma de quadrados totais de uma análise de variância, descrita pela seguinte equação:

$$w = \sum_{g=1}^j \sum_{i=1}^{n_g} \|X_i - \bar{X}_g\|^2 = \sum_{g=1}^j \sum_{i=1}^{n_g} \sum_{k=1}^K (X_{i,k} - \bar{X}_{g,k})^2 \quad [2]$$

em que  $g$  e  $j$  representam os grupos.

### 2.2.2. Definição e obtenção de um evento extremo

Um evento extremo, de precipitação ou temperatura, para uma dada localidade pode ser descrito como uma ocorrência na qual a magnitude num certo período, apresenta um desvio superior ou inferior ao comportamento habitual no período analisado. Assim, geralmente são obtidos estatisticamente através do uso de percentis, determinando, portanto, um limiar no qual um evento pode ser considerado um extremo com relação à média.

No trabalho proposto, a determinação de um evento extremo foi dada analisando-se a variabilidade dos índices de extremos com base nos dados diários de

precipitação, segundo a metodologia e critérios adotados pelo ETCCDI (*Expert Team on Climate Change Detection and Indices*), e amplamente utilizado na literatura (e.g., KING et al, 2014; KENYON & HEGERL, 2010; HAYLOCK & GOODESS, 2004; SILLMAN et al, 2013).

O ETCCDI desenvolveu os índices para fornecer medidas cientificamente robustas de variabilidade diária de precipitação e temperatura, principalmente de extremos. Os índices são produzidos para permitir o monitoramento contínuo das mudanças na frequência e/ou intensidade de eventos extremos, concentrando-se em eventos que normalmente ocorrem várias vezes por ano (ZHANG et al, 2011). Para as análises a serem apresentadas neste estudo foram escolhidos 6 índices extremos propostos pelo ETCCDI referentes a variável precipitação. Tais índices estão descritos na Tabela 3.

O índice CDD indica a quantidade de dias secos consecutivos na região, ou seja, a quantidade de dias consecutivos nos quais não houve a presença de chuva significativa (abaixo de 1 mm) e vem contrapor com o índice CWD, que indica a quantidade de dias úmidos consecutivos, ou seja, dias consecutivos nos quais houve precipitação significativa (acima de 1 mm). O índice R10 indica a quantidade de dias nos quais houve precipitação intensa, no caso, acima de 10 mm.dia<sup>-1</sup>. Com relação aos percentis, foram utilizados dois índices: R95p e R99p que fornecem o valor da precipitação total anual em dias que se encontraram acima do 95<sup>o</sup> e 99<sup>o</sup> percentil respectivamente. Por fim, também foi utilizado o índice Rx5day que fornece o máximo de cinco dias consecutivos de precipitação.

Para o cálculo dos índices do ETCCDI no software R, fez-se necessário a utilização de uma normal climatológica não oficial, ou seja, um período de 30 anos de dados não coincidente com a normal climatológica recomendada pela *World Meteorological Organization* – WMO (incluindo os dados faltantes). O período utilizado, de 1981 a 2010, foi selecionado por se tratar de um período mais atual do que a normal estabelecida pela WMO.

Após os cálculos dos referidos índices, foram determinadas as séries temporais dos mesmos para todas as estações pertencentes ao Sul de Minas Gerais resultantes do agrupamento, assim como supracitado no item 2.2. Em posse dessas séries temporais, foram determinados os anos em que os extremos climáticos foram mais

proeminentes em toda a região (baseado nas 7 estações avaliadas), baseando-se no limiar acima (abaixo) do terceiro (primeiro) quartil. Em posse desse conjunto de anos mais extremos, foram produzidos mapas de composição de inúmeras variáveis meteorológicas, tais como altura geopotencial, precipitação, radiação de onda longa, ômega, temperatura da superfície do mar e transporte de umidade, para determinar-se os possíveis padrões de grande escala atuantes, que possivelmente contribuíram para esses anos mais extremos.

**Tabela 3.** Índices anuais de extremos climáticos utilizados no estudo.

ID	Nome	Descrição	Unidade
CDD	Dias secos consecutivos	Número máximo de dias com precipitação < a 1 mm	dias
CWD	Dias úmidos consecutivos	Número máximo de dias com precipitação $\geq$ 1 mm	dias
R10	Números de dias com precipitação intensa	Contagem anual quando a precipitação é $\geq$ 10 mm	dias
R95p	Dias muito úmidos	Precipitação total anual de dias > 95º percentil	mm
R99p	Dias extremamente úmidos	Precipitação total anual de dias > 99º percentil	mm
RX5day	Máximo acumulado de 5 dias de precipitação	Máx mensal de 5 dias de precipitação consecutivos	mm

### 2.2.3. Obtenção da composição das anomalias

Foi realizada a composição das anomalias de seis variáveis meteorológicas para cada um dos cinco índices utilizados, tomando como base a climatologia correspondente ao período de 1981 a 2010. Com os dados mensais de precipitação, foi efetuada a média anual no cálculo dos índices de extremos para efetuar a composição das anomalias.

Primeiramente, as anomalias foram calculadas subtraindo-se a média climatológica (1981-2010) das variáveis meteorológicas medias em cada ano no

período de 1970 a 2014. Posteriormente, a composição das anomalias foi efetuada selecionando-se os anos nos quais os dados encontravam-se acima do terceiro quartil e abaixo do primeiro quartil da série temporal em pelo menos três das sete estações correspondentes ao cluster do Sul de Minas.

A área de estudo é todo o globo para as composições de anomalias de geopotencial, temperatura da superfície do mar e radiação de onda longa, uma vez que faz necessário o estudo destas variáveis em várias localidades para a verificação de teleconexões influenciando os extremos no sul de Minas. Já para as variáveis precipitação, ômega e transporte de umidade, foi efetuada a análise apenas na América do Sul com ênfase no sul de Minas por ser a localidade realmente mais importante para a análise destas variáveis e por elas necessitarem de uma maior resolução de análise.

Se uma variável realmente possui poder explicativo, seu coeficiente deve ser estatisticamente diferente de zero. Ou seja, deve ser suficientemente maior ou menor do que zero para que se tenha confiança de que a variável realmente possui poder explicativo. Caso isso não seja verdade, a variável poderia ser retirada do modelo sem que exista grande perda da sua qualidade. Assim a significância foi calculada com base na equação [3].

$$\bar{x} - \mu_0 = \frac{t * \sigma}{\sqrt{n-1}} \quad [3]$$

Onde  $\bar{x}$  indica a média da amostra;  $\mu_0$  é o valor fixo usado para comparação com a média da amostra;  $t$  é o valor de  $t$  de Student retirado da tabela;  $n$  indica os graus de liberdade da série de dados e  $\sigma$  é o desvio padrão da série.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

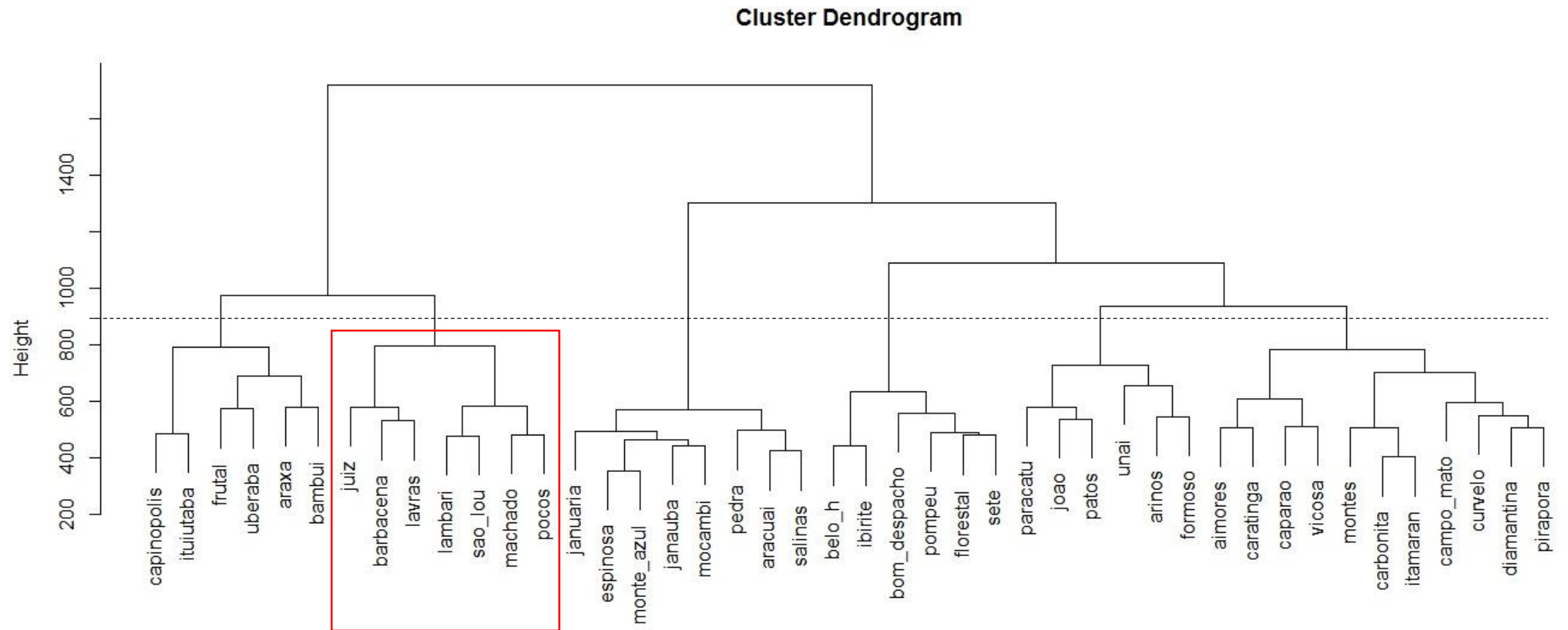
#### 3.1. Análise de *cluster*

Para as análises de *cluster* foi obtido um dendograma (Figura 2), que é um tipo específico de diagrama ou representação que organiza determinados fatores e variáveis, sendo resultado de uma análise estatística em que se emprega um método quantitativo que leva a agrupamentos e à sua ordenação hierárquica ascendente. Isto é, o dendograma ilustra o arranjo de agrupamentos derivado da aplicação do agrupamento por *cluster*. O dendograma é a representação mais utilizada em algoritmos de agrupamento por cluster hierárquico, pois além da sequência de agrupamentos, apresenta também a dissimilaridade com que os clusters são formados.

No dendograma obtido, as estações são dispostas no eixo horizontal, enquanto que o eixo vertical indica a distância com que os agrupamentos são criados. O primeiro nível do dendograma corresponde a alguns clusters contendo duas estações cada, do conjunto total de dados. O segundo nível corresponde à função dos clusters presentes no primeiro nível, o que resulta em outros clusters e assim, sucessivamente até que se escolha um nível tal qual se deseja parar os agrupamentos, no presente estudo, o agrupamento foi cessado na distância 900.

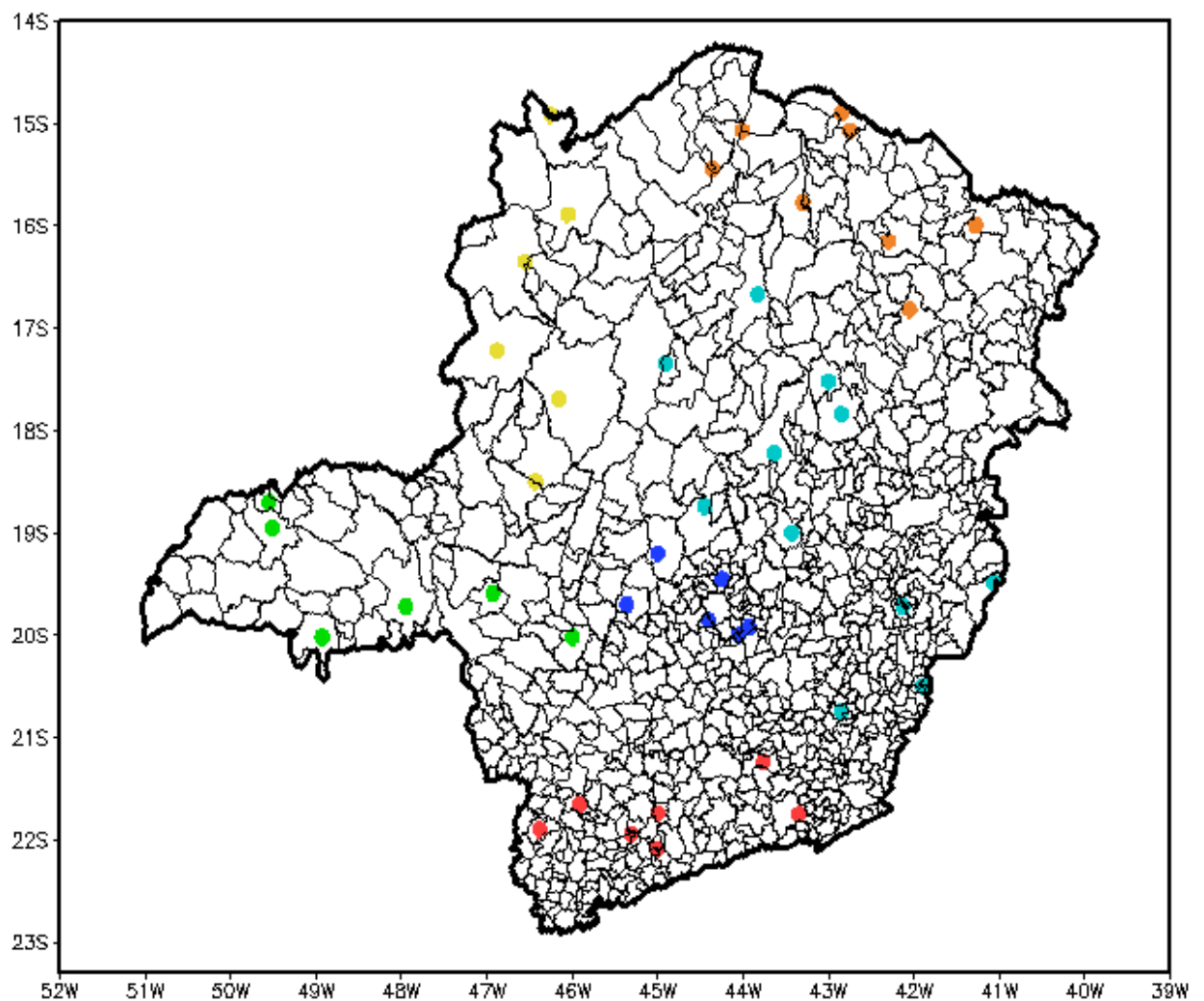
A análise de *cluster* alocou portanto as cidades em grupos semelhantes, tal que as estações pertencentes a cada grupo são mais similares entre si quanto possível com relação ao regime anual de precipitação.





**Figura 2** - Dendrograma do agrupamento das estações meteorológicas de Minas Gerais.

Assim, foram obtidas basicamente seis regiões do estado de Minas Gerais classificadas de acordo com o seu regime de precipitação. As regiões, indicadas na Figura 3, puderam ser denominadas de acordo com sua localização geográfica no estado, obtendo-se portanto a região Sul de Minas Gerais (Vermelho), a região Central de Minas Gerais (Azul), a região do Triângulo Mineiro (Verde), a região Centro-Leste Mineira (Ciano), a região do Nordeste de Minas Gerais (Laranja) e por fim, a região Noroeste do estado (Amarelo).



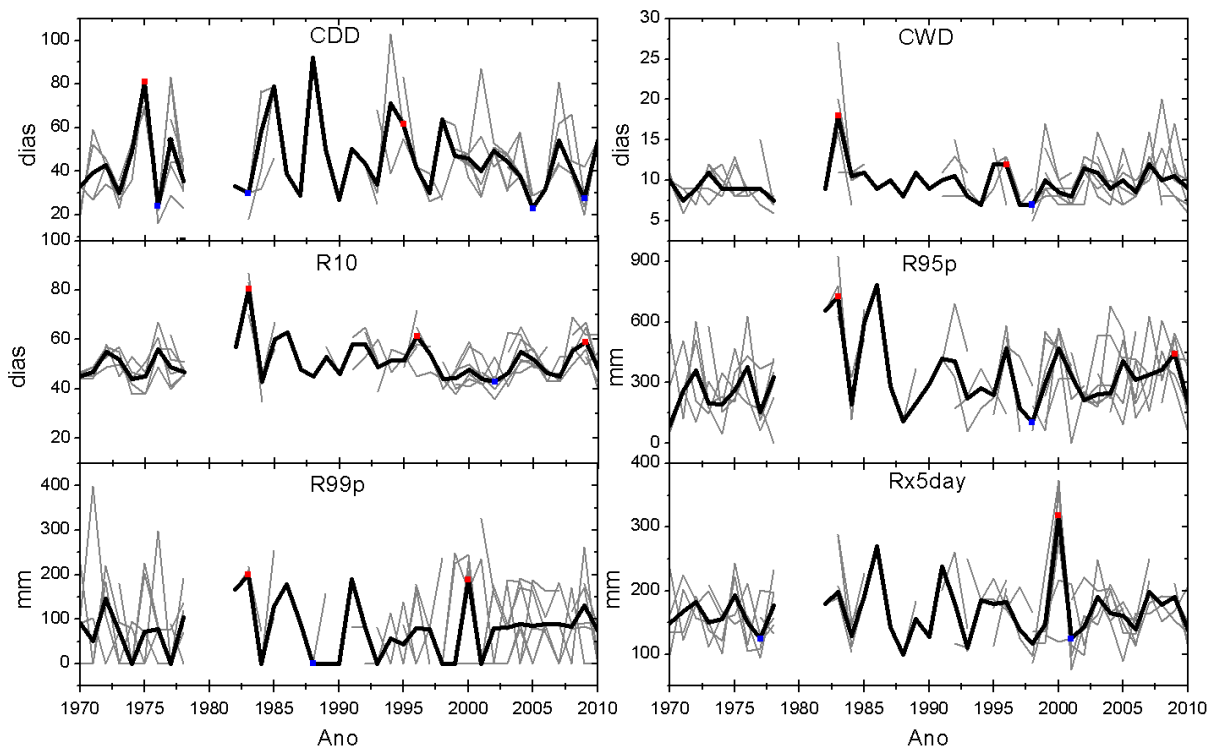
**Figura 3** - Posição geográfica dos grupos de precipitação sobre Minas Gerais. Cada grupo é representado por uma diferente cor: Sul (vermelho), Central (Azul escuro), Triângulo Mineiro (Verde), Centro-leste (Azul claro), Nordeste (Laranja) e Noroeste (Amarelo).

Por fim, com base na aplicação da técnica de análise de agrupamento para a precipitação em Minas Gerais, foi classificado como Sul de Minas que será adotado para as análises dos extremos, como sendo representado pelas cidades (em vermelho

na Figura 3): Barbacena (21,25° S; 43,76° W), Juiz de Fora (21,76° S; 43,35° W), Lambari (21,95° S; 45,31° W), Lavras (21,25° S; 45,0° W), Machado (21,66° S; 45,91° W), Poços de Caldas (21,91° S; 46,38° W) e São Lourenço (22,1° S; 45,01° W).

### 3.2. Avaliação das séries temporais dos extremos climáticos de precipitação sobre o sul de Minas Gerais

As séries temporais das sete estações meteorológicas das cidades do Sul de Minas e também seu comportamento médio foram plotadas para cada índice, a fim de se verificar a variação temporal dos dados anuais de precipitação, conforme mostra a Figura 4.



**Figura 4** – Séries temporais de precipitação para cada índice estudado. As linhas em cinza indicam as séries temporais de cada cidade do *cluster* do Sul de Minas, as linhas em preto indicam a série temporal média das cidades, os pontos em vermelho (azul) indicam os valores maiores (menores) que o terceiro (primeiro) quartil em pelo menos três estações.

Nota-se a grande variabilidade interanual da precipitação na região do Sul de Minas se levados em consideração os índices climáticos calculados. O índice CDD mostra grande quantidade de anos nos quais os valores ultrapassaram o terceiro quartil, contudo os anos os quais possuíam dados em pelo menos três estações eram

1975, 1995 e 2010, mostrando que estes anos possuíram uma quantidade maior de dias secos consecutivos.

Os valores de cada índice que estavam acima (abaixo) do terceiro (primeiro) quartil de pelo menos três estações meteorológicas das cidades de estudo são demonstrados pela Tabela 4.

### 3.3. Análise de compostos e determinação dos padrões de grande escala relacionados a extremos climáticos

Durante o período de estudo, os campos de composição de anomalias foram avaliados nos anos, tais que, os índices apresentados atingiram valores acima do terceiro quartil e abaixo do primeiro quartil de toda a série de dados, conforme a tabela 4, e são representados pelas figuras de 5 a 13. Também, são mostrados os últimos anos de ocorrência de El Niño e la Niña, para facilitar as análises de TSM.

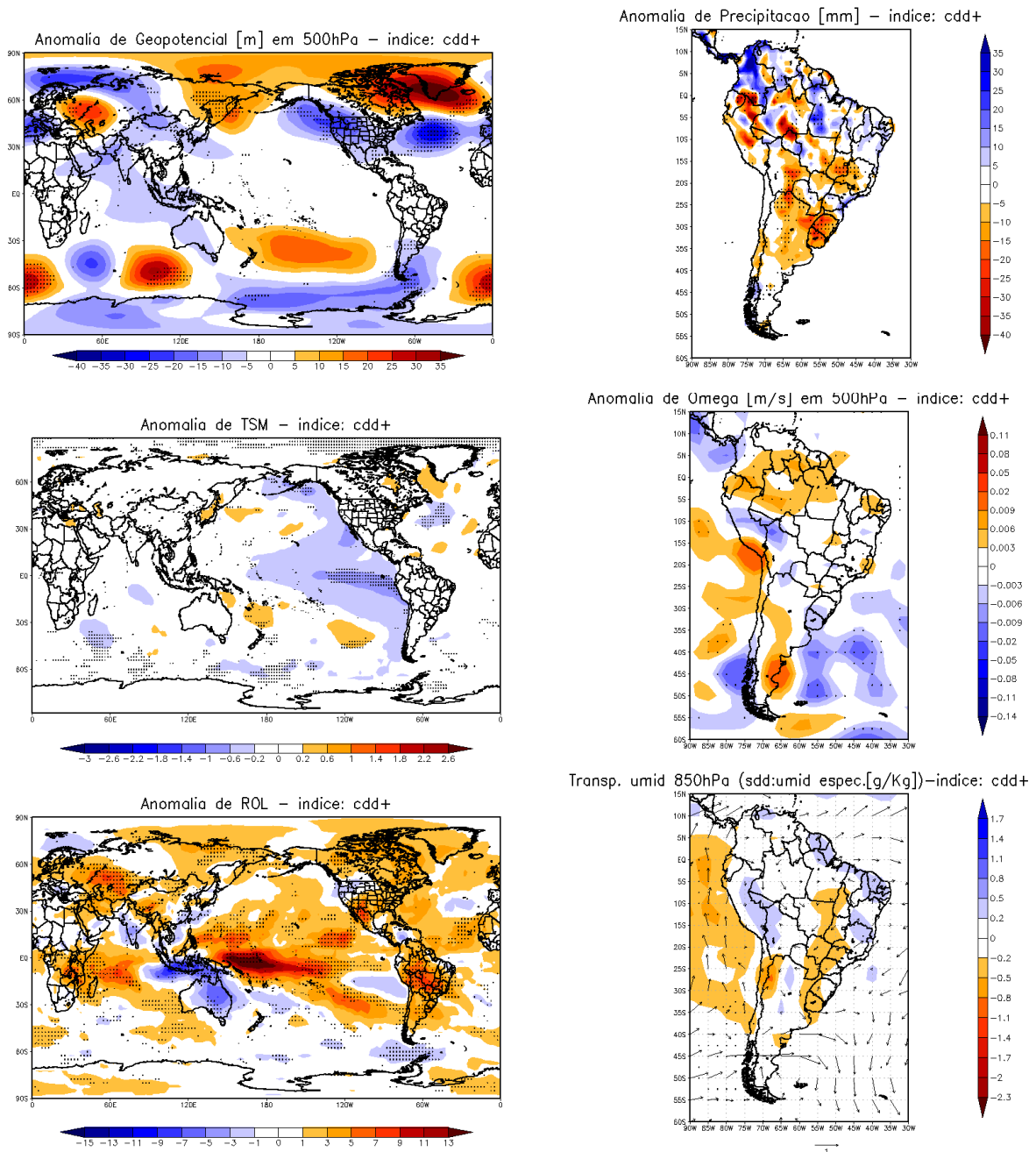
**Tabela 4.** Anos utilizados para a composição das anomalias de acordo com o índice.

CDD	Acima do 3º quartil	1975 1995 2010	CWD	Acima do 3º quartil	1983 1996	R10	Acima do 3º quartil	1983 1996 2009
	Abaixo do 1º quartil	1976 1983 2005 2009		Abaixo do 1º quartil	1998 2014		Abaixo do 1º quartil	2002 2014
R95p	Acima do 3º quartil	1983 2009	R99p	Acima do 3º quartil	1983 2000	Rx5day	Acima do 3º quartil	2000
	Abaixo do 1º quartil	1998		Abaixo do 1º quartil			Abaixo do 1º quartil	1977 2001

**Tabela 5** - Anos de últimas ocorrências de El Niño e La Niña

El Niño		La Niña	
1968 - 1970	1972 - 1973	1970 - 1971	1973 - 1976
1976 - 1977	1977 - 1978	1983 - 1984	1984 - 1985
1979 - 1980	1982 - 1983	1988 - 1989	1995 - 1996
1986 - 1988	1990 - 1993	1998 - 2001	2007 - 2008
1994 - 1995	1997 - 1998		
2002 - 2003	2004 - 2005		
2006 - 2007	2009 - 2010		

A composição de anomalias para o índice que indica a quantidade de dias secos consecutivos (CDD) com valores acima do terceiro quartil da série, mostra informações nas quais pode-se obter uma identificação de padrões que favoreceram a predominância de dias secos na região Sul de Minas Gerais e é mostrada na Figura 5.



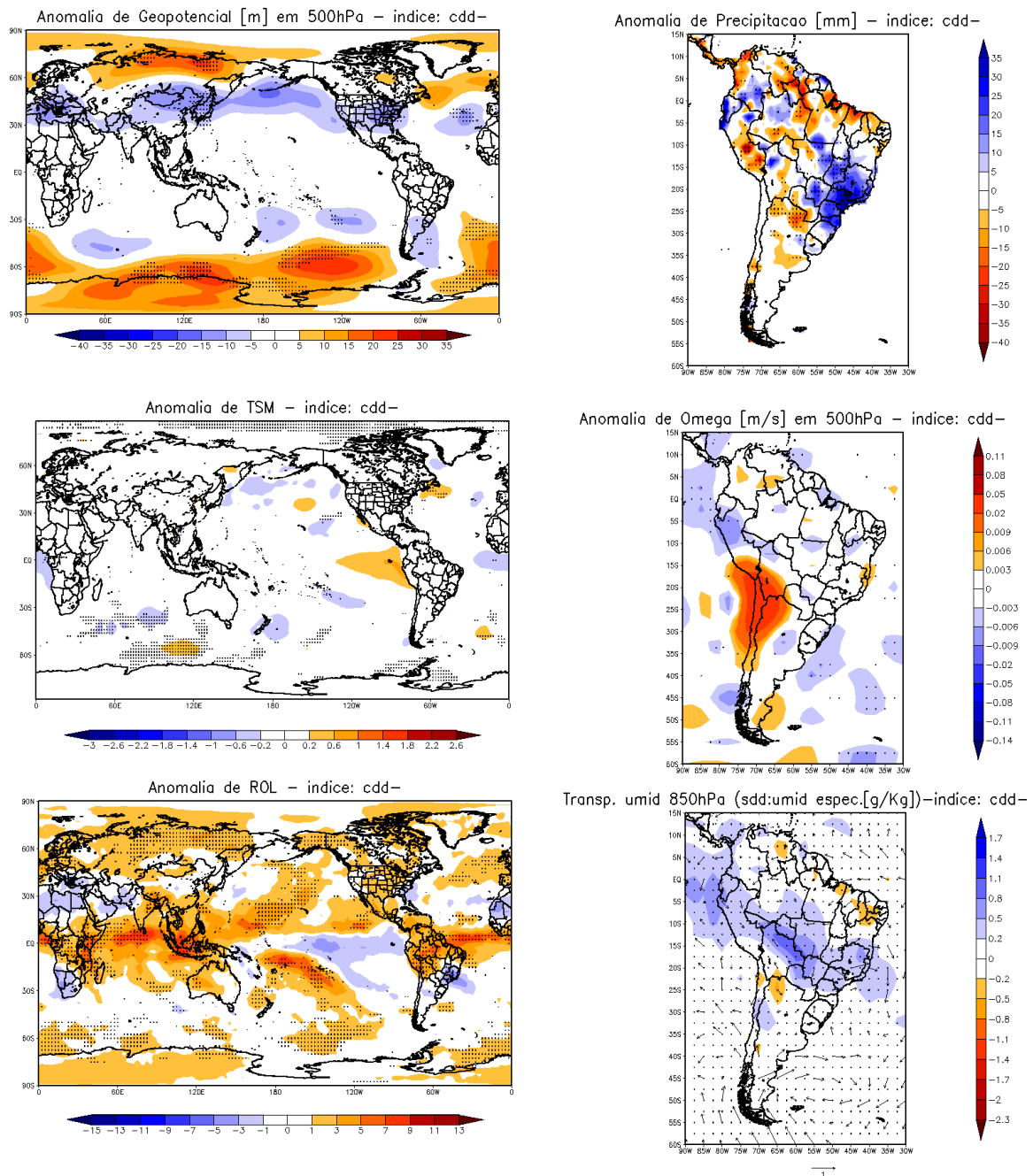
**Figura 5** - Composição das anomalias das seis variáveis meteorológicas para o índice CDD que se encontraram acima do terceiro quartil. São mostradas as figuras de Anomalia de Altura Geopotencial [m] em 500hPa, Anomalia de Precipitação [mm], Anomalia de TSM [°C], Anomalia de Omega [m.s<sup>-1</sup>], Anomalia de ROL [W.m-2] e Anomalia de Transporte de Umidade em 850hPa (Shaded: Anomalia de umidade específica [g.Kg-1]; vetor: Componentes do vento). A significância dos dados é mostrada na forma de pontos sobre as figuras.

A anomalia de geopotencial em 500hPa indica que a região sul de Minas não se encontra sobre uma região de anomalias, mas o sul da América do Sul mostra-se

sob a influência de uma anomalia negativa da ordem de 10 a 20 m. Nota-se a presença de um trem de ondas estendendo-se por todo o Hemisfério Sul, através do Atlântico Sul, Índico e sobre o Pacífico Sul culminando em um padrão de cavado anômalo na Argentina.

As composições de transporte de umidade mostram anomalias negativas de umidade específica na região enquanto as de ômega se mostram dentro da média. A composição da precipitação fornece a identificação de uma anomalia negativa na região. A temperatura da superfície do mar na região do Atlântico Sul, região que tem influência sobre a propagação de frentes frias na América do Sul, não mostra anomalias, ou seja, os padrões se mantiveram dentro da média climatológica. Porém, no Pacífico Tropical Leste um padrão *El Niño like* está bem configurado. Tomando-se uma análise conjunta, nota-se que há uma anomalia positiva de radiação de onda longa emergente da superfície (ROL) na região, consequência de uma menor nebulosidade no local.

Em contrapartida, a Figura 6 mostra os valores que se encontraram abaixo do primeiro quartil da composição das anomalias para o índice CDD, ou seja, é mostrado o comportamento das anomalias dos anos que possuíram menos dias secos consecutivos, o que não implica em dizer que possuíram mais dias úmidos consecutivos.



**Figura 6** - Composição das anomalias das seis variáveis meteorológicas para o índice CDD dos anos que se encontraram abaixo do primeiro quartil. São mostradas as figuras de Anomalia de Altura Geopotencial [m] em 500hPa, Anomalia de Precipitação [mm], Anomalia de TSM [°C], Anomalia de Omega [m.s<sup>-1</sup>], Anomalia de ROL [W.m<sup>-2</sup>] e Anomalia de Transporte de Umidade em 850hPa (Shaded: Anomalia de umidade específica [g.Kg<sup>-1</sup>]; vetor: Componentes do vento). A significância dos dados é mostrada na forma de pontos sobre as figuras.

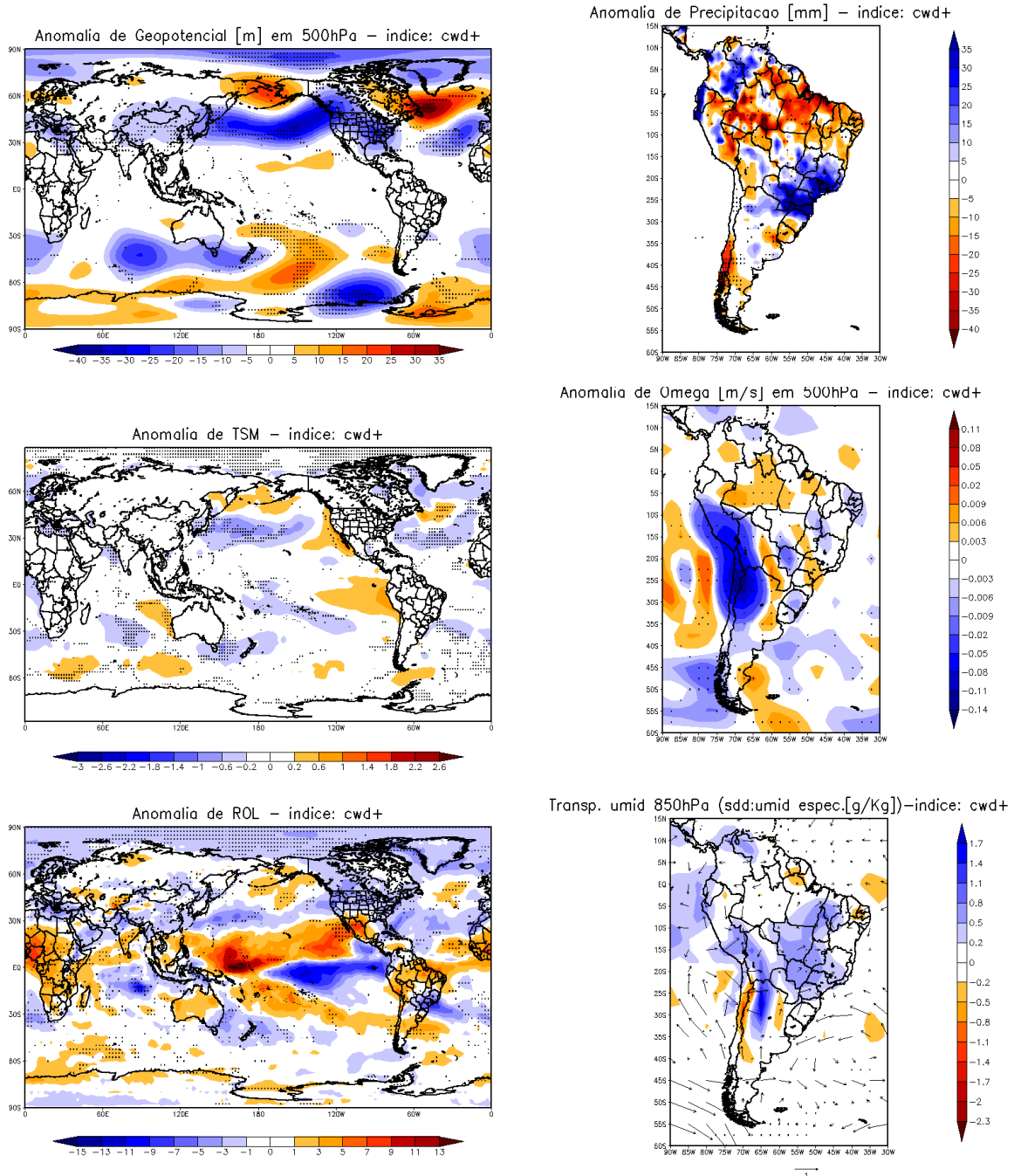
O padrão de geopotencial em 500 hPa nos oceanos mostra uma grande faixa de anomalias positivas no Pacífico Sul, contudo sobre a região continental, mais



especificamente sobre a região da Argentina, volta a notar-se valores negativos da anomalia dessa variável.

A altura geopotencial se mostra com anomalias positivas no pacífico sul e anomalias negativas sobre o sul da América do Sul. Ômega se encontra dentro da média, enquanto o transporte de umidade se mostra favorável a ocorrência de precipitação, bem como a radiação de onda longa sugere uma maior nebulosidade no local nestes anos. A TSM apresenta-se dentro da média climatológica sem influencias além da normalidade na precipitação na América do Sul. No pacífico leste, um padrão *El Niño like* pode ser observado. Uma anomalia positiva de precipitação foi identificada durante esses anos, em toda a região Sudeste do Brasil, confirmando mais uma vez que estes anos possuíram menos dias secos consecutivos.

A Figura 7 apresenta a composição das anomalias para os anos que apresentaram valores de dias úmidos consecutivos acima do terceiro quartil de toda a série.



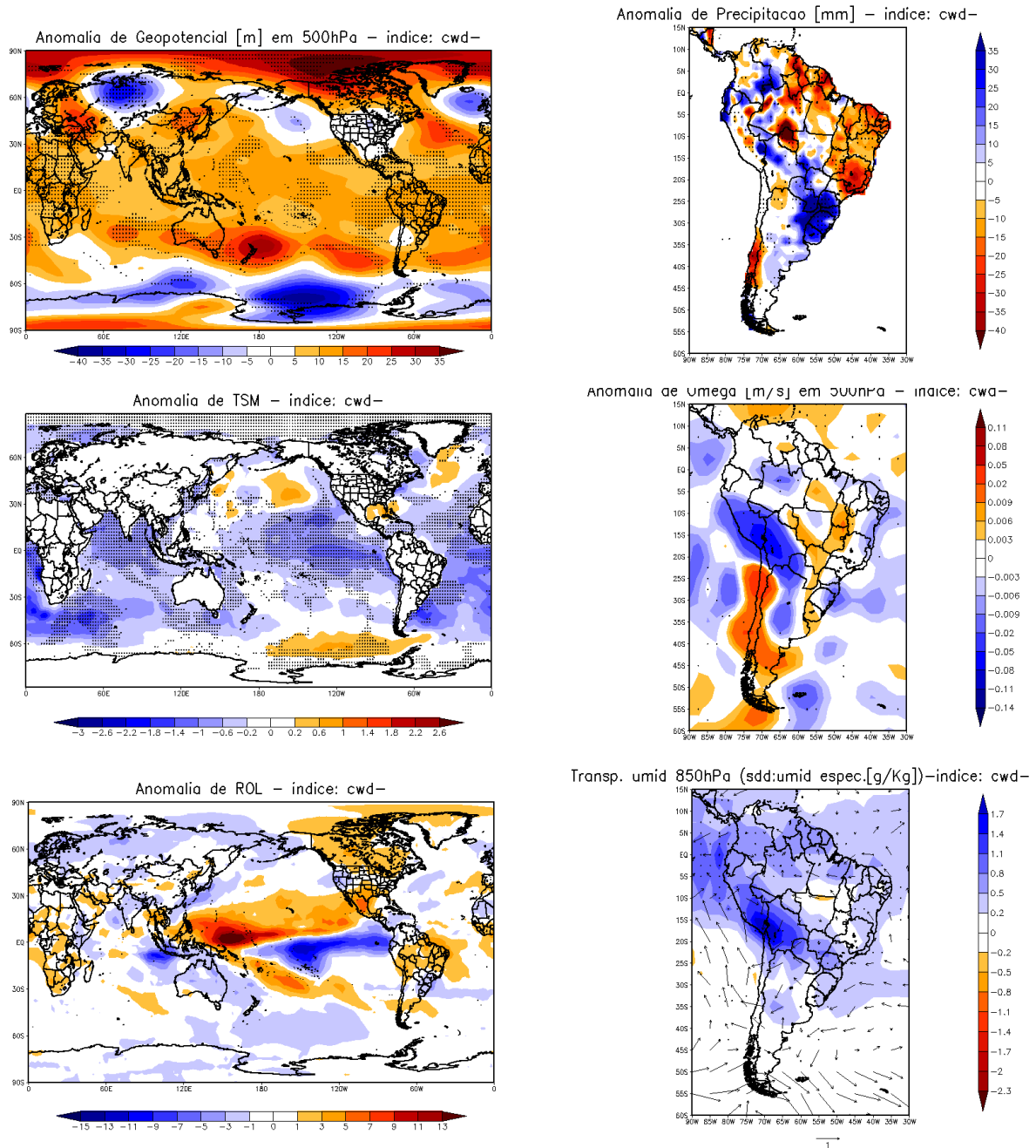
**Figura 7** - Composição das anomalias das seis variáveis meteorológicas para o índice CWD que se encontraram acima do terceiro quartil. São mostradas as figuras de Anomalia de Altura Geopotencial [m] em 500hPa, Anomalia de Precipitação [mm], Anomalia de TSM [°C], Anomalia de Omega [m.s<sup>-1</sup>], Anomalia de ROL [W.m<sup>-2</sup>] e Anomalia de Transporte de Umidade em 850hPa (Shaded: Anomalia de umidade específica [g.Kg<sup>-1</sup>]; vetor: Componentes do vento). A significância dos dados é mostrada na forma de pontos sobre as figuras.

O padrão de anomalias de geopotencial mostra um trem de ondas bem caracterizado sobre o Pacífico Sul com a significância estatística em seus pontos mais

intensos. De modo geral a América do Sul, bem como o Sul de Minas Gerais não se mostra sob a influência de anomalias negativas nem positivas no período, contudo nota-se anomalias negativas de altura geopotencial no Sul do Brasil.

Ômega se mostra dentro da média climatológica enquanto o transporte de umidade se mostra favorável a ocorrência de precipitação no Sul de Minas, e isso também é refletido pela anomalia radiação de onda longa, que indica ser um período de grande nebulosidade no local. Por fim, as anomalias de precipitação se mostram positivamente muito intensas em todo o sudeste e sul brasileiro (excetuando-se o sul do estado do Rio grande do Sul), indicando períodos com precipitação acima da média.

As composições das anomalias para os anos que apresentaram valores de dias úmidos consecutivos abaixo do primeiro quartil são apresentadas pela Figura 8.



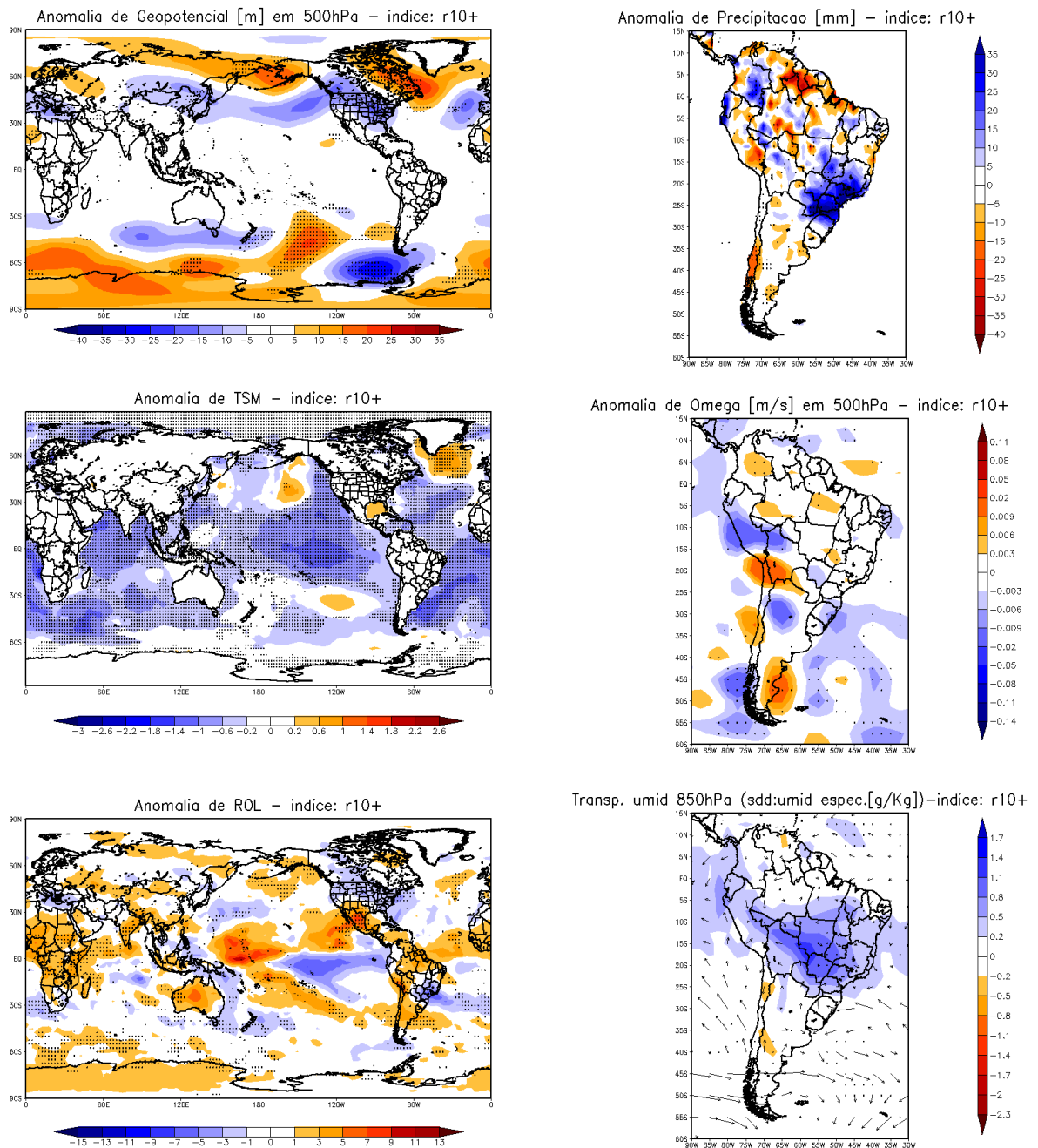
**Figura 8** - Composição das anomalias das seis variáveis meteorológicas para o índice CWD que se encontraram abaixo do primeiro quartil. São mostradas as figuras de Anomalia de Altura Geopotencial [m] em 500hPa, Anomalia de Precipitação [mm], Anomalia de TSM [°C], Anomalia de Omega [m.s<sup>-1</sup>], Anomalia de ROL [W.m-2] e Anomalia de Transporte de Umidade em 850hPa (Shaded: Anomalia de umidade específica [g.Kg-1]; vetor: Componentes do vento). A significância dos dados é mostrada na forma de pontos sobre as figuras.

A composição das anomalias de geopotencial mostra que toda a América do Sul se encontra sob regiões de anomalias intensas da ordem de 15 m para os anos

que apresentaram valores de dias úmidos consecutivos abaixo do primeiro quartil, com níveis de significância estatística presentes em toda a área tropical do continente.

Ômega se manteve dentro da climatologia, contudo observa-se favorecimento da precipitação através do transporte de umidade, o qual mostra que a anomalia de ventos está direcionada do Atlântico para o sul de Minas, e há umidade disponível. As anomalias de ROL mostram que a região está bem na interseção entre anomalias positivas e negativas, com uma leve tendência de anomalias negativas, indicando a possibilidade de haver uma certa nebulosidade no local. As composições de TSM mostram um resfriamento anômalo em todo o Atlântico Sul o que não favorece a propagação de ciclones sobre o local, podendo, portanto, fazer com que o continente não sofra a influência de frentes frias. Assim, as análises de precipitação mostram que sobre a região de estudo, as anomalias de precipitação foram realmente negativas nos anos que possuíram menos dias consecutivos úmidos.

Na Figura 9 são apresentadas as composições das anomalias para os anos que apresentaram valores de dias com precipitação acima de 10 mm acima do terceiro quartil.

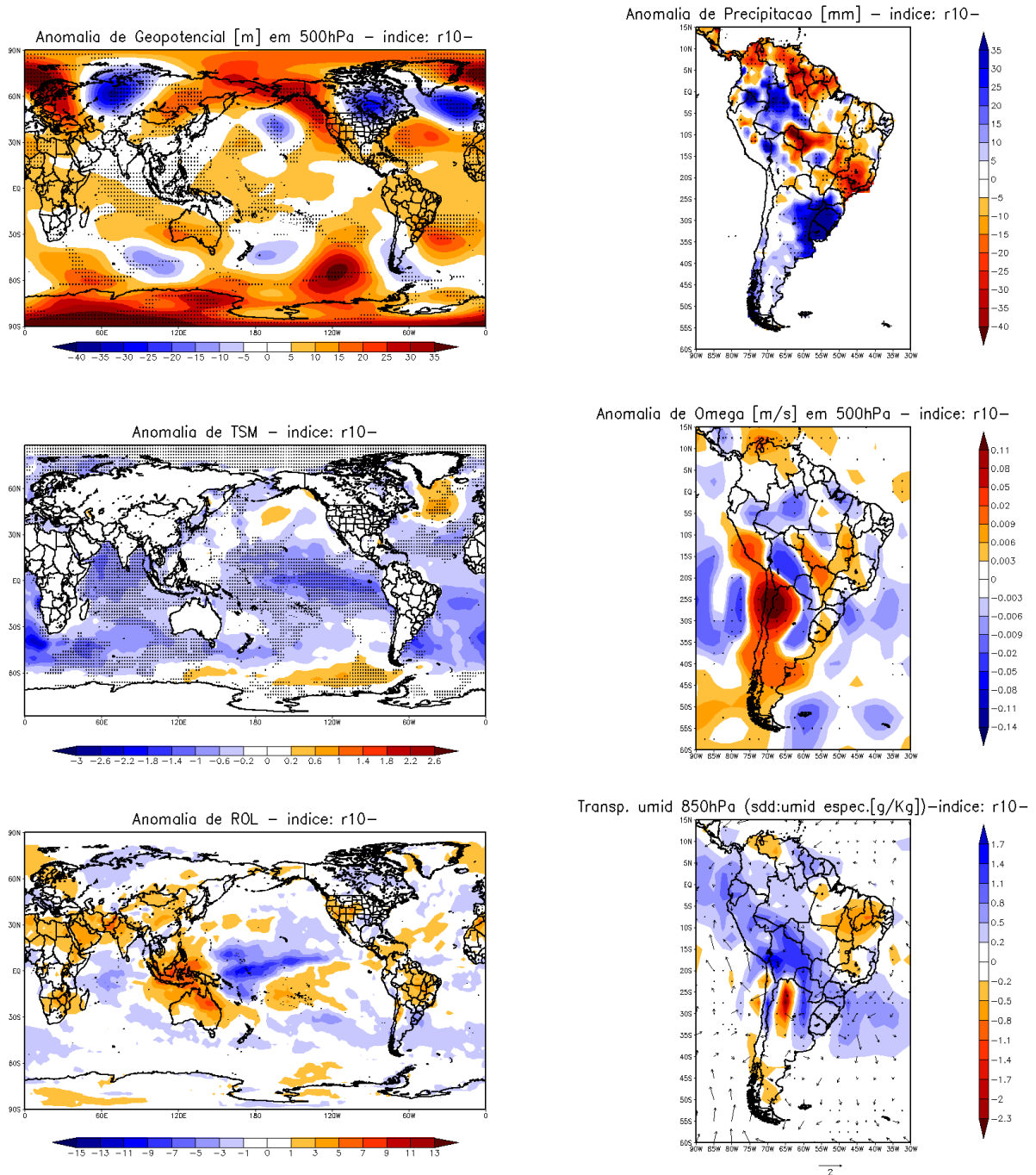


**Figura 9-** Composição das anomalias das seis variáveis meteorológicas para o índice R10p que se encontraram acima do terceiro quartil. São mostradas as figuras de Anomalia de Altura Geopotencial [m] em 500hPa, Anomalia de Precipitação [mm], Anomalia de TSM [°C], Anomalia de Omega [m.s-1], Anomalia de ROL [W.m-2] e Anomalia de Transporte de Umidade em 850hPa (Shaded: Anomalia de umidade específica [g.Kg-1]; vetor: Componentes do vento). A significância dos dados é mostrada na forma de pontos sobre as figuras.

Novamente nota-se no Pacífico Sul a presença de um trem de ondas representado na anomalia de altura geopotencial em 500 hPa, contudo ele não se estende até o continente.

Não há anomalias de ômega sobre região, porém o transporte de umidade mostra uma anomalia positiva umidade. O campo de anomalias de TSM indica o resfriamento do Atlântico Sul adjacente ao Brasil o que não favorece o deslocamento de ciclones sobre o local não induzindo a entrada de frentes frias. Contudo, a composição de ROL mostra a região do sul de Minas como tendo condições de nebulosidade e as anomalias de precipitação mostram que os valores foram realmente bem intensos em toda região Sul e Sudeste, excetuando-se apenas o norte de Minas Gerais e o sul do Rio Grande do Sul.

A Figura 10 apresenta as composições das anomalias para os anos que apresentaram valores de dias com precipitação acima de 10 mm abaixo do primeiro quartil.



**Figura 10** - Composição das anomalias das seis variáveis meteorológicas para o índice R10p que se encontraram abaixo do primeiro quartil. São mostradas as figuras de Anomalia de Altura Geopotencial [m] em 500hPa, Anomalia de Precipitação [mm], Anomalia de TSM [°C], Anomalia de Omega [m.s-1], Anomalia de ROL [W.m-2] e Anomalia de Transporte de Umidade em 850hPa (Shaded: Anomalia de umidade específica [g.Kg-1]; vetor: Componentes do vento). A significância dos dados é mostrada na forma de pontos sobre as figuras.

Nota-se uma anomalia de geopotencial positiva intensa sobre a América do Sul, excetuando-se apenas o Sul da Argentina e Chile. O padrão do trem de ondas



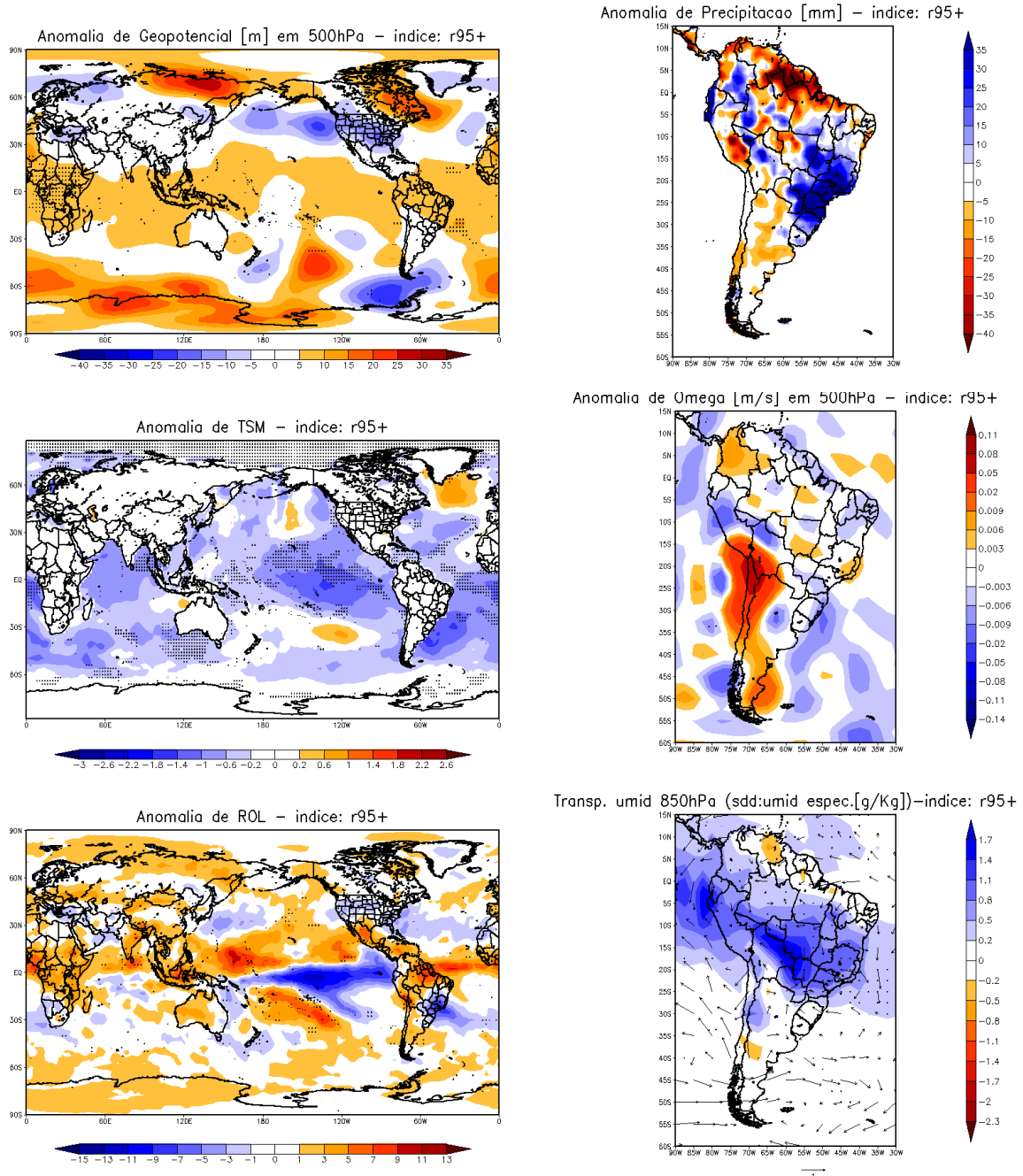
novamente é notado possuindo seus núcleos positivos bem intensos se comparados aos núcleos negativos.

Ômega mantêm-se com anomalias positivas, porém no sul de Minas os valores de ômega não ultrapassam  $0,03\text{ms}^{-1}$ . O transporte de umidade mostra uma anomalia negativa de umidade na região de estudo, bem como a ausência de ventos adjacentes favorecendo esse transporte para a região, atuando basicamente no litoral.

A composição de ROL mostra que a região do Sul de Minas possui anomalias positivas, indicando a possível ausência de nebulosidade no local, e a composição de TSM mostra um resfriamento majoritário de todo o Atlântico Sul, contudo não é significativo segundo as estatísticas.

As anomalias de precipitação também se mostraram negativas, indicando precipitação abaixo da média nos anos tais quais a precipitação acima de 10 mm se encontrava abaixo do primeiro quartil.

As composições das anomalias para os anos que apresentaram valores de dias muito úmidos (acima do 95º percentil) maiores que o terceiro quartil, ou seja, valores nos quais a precipitação total anual de dias é maior que o 95º percentil é mostrada pela Figura 11.



**Figura 11** - Composição das anomalias das seis variáveis meteorológicas para o índice R95p que se encontraram acima do terceiro quartil. São mostradas as figuras de Anomalia de Altura Geopotencial [m] em 500hPa, Anomalia de Precipitação [mm], Anomalia de TSM [°C], Anomalia de Omega [m.s-1], Anomalia de ROL [W.m-2] e Anomalia de Transporte de Umidade em 850hPa (Shaded: Anomalia de umidade específica [g.Kg-1]; vetor: Componentes do vento). A significância dos dados é mostrada na forma de pontos sobre as figuras.

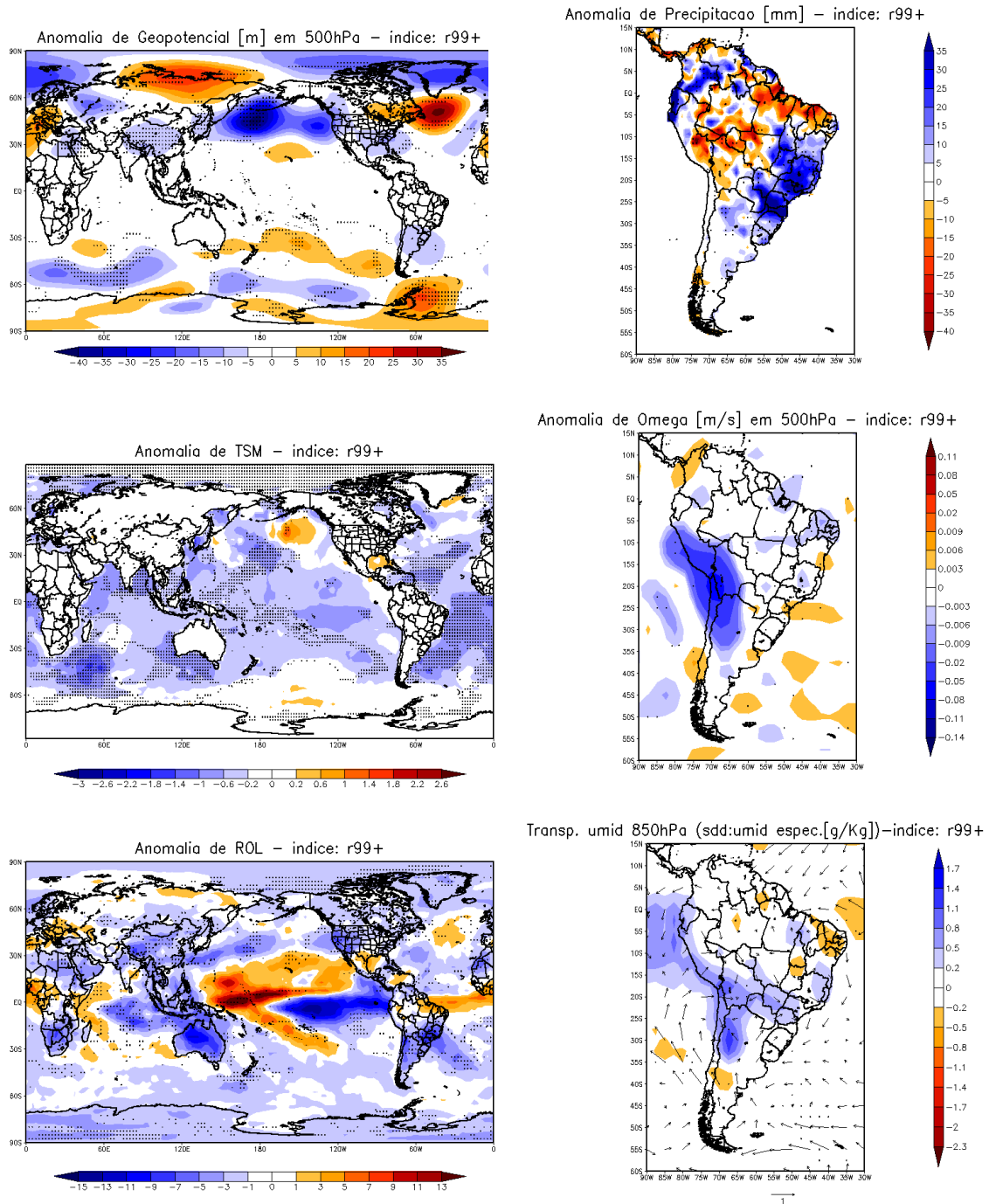
A composição de anomalias de geopotencial mostra que toda a região tropical da América do Sul está sob influência de uma anomalia positiva embora a significância estatística encontre-se somente onde os valores de anomalias são mais intensos.

Ômega se mostra novamente dentro da climatologia e o transporte de umidade mostra uma anomalia de umidade específica bem intensa sobre o Sul de Minas.

As composições de ROL mostram que sobre a região do Sul de Minas houve a ocorrência de nebulosidade indicada pelas anomalias negativas. A TSM em todo o território do Atlântico Sul se mostra anormalmente mais fria não favorecendo a influência ciclogênica sobre o continente.

Como esperado, a precipitação apresentou-se com anomalias positivas bem intensas em toda a região Sul, Sudeste e parte do Centro Oeste.

São mostradas na Figura 12, as composições das anomalias para os anos que apresentaram valores de dias extremamente úmidos acima do terceiro percentil, ou seja, valores nos quais a precipitação total anual de dias é maior que o 99º percentil.



**Figura 12** - Composição das anomalias das seis variáveis meteorológicas para o índice R99p que se encontraram acima do terceiro quartil. São mostradas as figuras de Anomalia de Altura Geopotencial [m] em 500hPa, Anomalia de Precipitação [mm], Anomalia de TSM [°C], Anomalia de Omega [m.s-1], Anomalia de ROL [W.m-2] e Anomalia de Transporte de Umidade em 850hPa (Shaded: Anomalia de umidade específica [g.Kg-1]; vetor: Componentes do vento). A significância dos dados é mostrada na forma de pontos sobre as figuras.

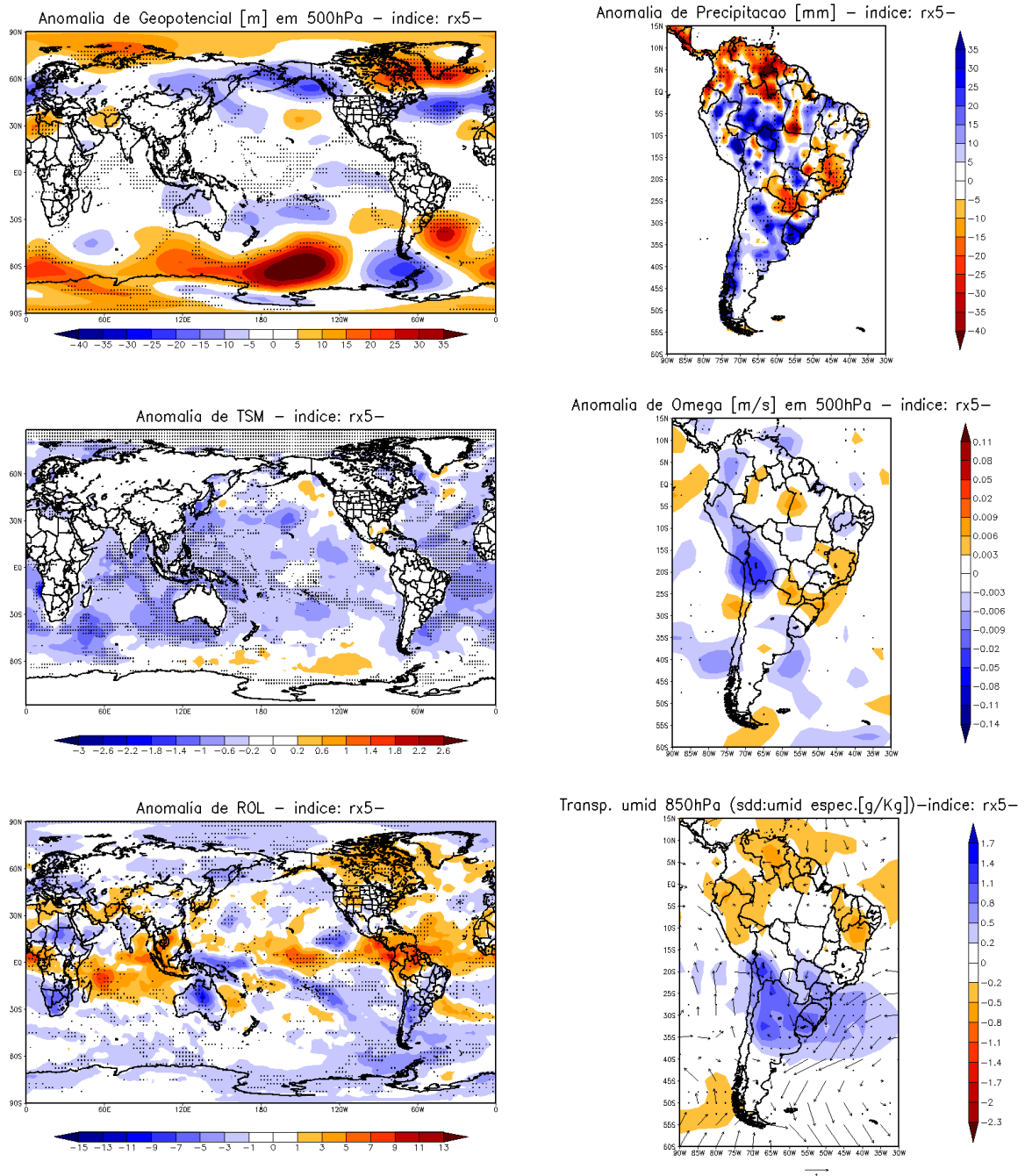
Nota-se pela composição de geopotencial sobre o estado de Minas Gerais não há anomalias, contudo, na região Sul da América do Sul há a presença de anomalias negativas.

No sul de Minas, ômega se mantém dentro da climatologia, bem como o transporte de umidade mostra que apesar do vento poder trazer umidade do oceano, esta umidade fica restrita a costa da Bahia e ao Espírito Santo, fazendo com que a região do Sul de Minas não apresente anomalias positivas de umidade nos anos de estudo.

As anomalias de TSM mostram o resfriamento das águas em todo o Atlântico Sul com valores consideravelmente mais negativos, o que não favorece a influência ciclogênica sobre o continente. Contudo, as anomalias de ROL mostraram-se intensas e negativas e sobre toda a região sudeste, podendo-se inferir a presença de nebulosidade no local.

Os níveis de precipitação se mostraram anormalmente positivos em toda região sudeste e sul, havendo picos mais intensos em Santa Catarina, oeste do Paraná e no Sul de Minas Gerais.

A Figura 13 mostra as composições das anomalias para os anos que apresentaram valores de máximo acumulado de precipitação em 5 dias, abaixo do primeiro quartil.



**Figura 13** - Composição das anomalias das seis variáveis meteorológicas para o índice Rx5day que se encontraram abaixo do primeiro quartil. São mostradas as figuras de Anomalia de Altura Geopotencial [m] em 500hPa, Anomalia de Precipitação [mm], Anomalia de TSM [°C], Anomalia de Omega [m.s-1], Anomalia de ROL [W.m-2] e Anomalia de Transporte de Umidade em 850hPa (Shaded: Anomalia de umidade específica [g.Kg-1]; vetor: Componentes do vento). A significância dos dados é mostrada na forma de pontos sobre as figuras.

O padrão de altura geopotencial mostra uma anomalia positiva sobre o Atlântico Sul estendendo-se sobre a região sul do Brasil.

A anomalia de ômega mantém-se positiva sobre a região de estudo e o transporte de umidade mostra fatores favoráveis a ocorrência de precipitação nos anos de estudo.

A TSM se apresenta anormalmente negativa, inibindo a influência da atividade ciclogênica no continente e as anomalias de ROL indicam uma nebulosidade abaixo da média na região do Sul de Minas nesse período.

A anomalia de precipitação é estatisticamente significativa, porém negativa na região, mostrando chuvas abaixo da média na região no período estudado.

### **3.4. Discussão**

É possível identificar alguns padrões comuns nos índices que indicam anos chuvosos na região do Sul de Minas.

Nota-se através da análise dos índices que indicam basicamente a quantidade de dias úmidos, ou seja, CWD (+) e R10 (+), que o padrão de anomalia de geopotencial é o mesmo no Pacífico Sul apenas com diferentes intensidades, isto devido primeiramente à ocorrência dos extremos destes índices terem ocorrido quase que exclusivamente nos mesmos anos. O padrão é representado por um trem de ondas passando pelo Oceano Índico Sul com uma anomalia negativa que se estende pelo sul da Austrália, tendo sua crista bem intensificada sobre o Pacífico em torno de 60°S culminando em um intenso cavado bem ao sul da América do Sul, contudo sem adentrar o continente. Os padrões de precipitação sobre a região do Sul de Minas também são semelhantes, com anomalias positivas que ultrapassam os 25 mm.

A TSM possui com anomalias negativas sobre o Atlântico Sul com um núcleo mais intenso em 30°S, enquanto anomalias de ômega não são encontradas sobre a região Sul de Minas Gerais.

As anomalias de ROL encontradas também possuem o mesmo padrão, possuindo valores negativos na região equatorial do Pacífico, valores positivos na região equatorial do Atlântico, uma região de anomalias positivas estendendo-se do

Pacífico oeste sentido sudeste culminando sobre a região da Argentina e valores consideravelmente altos de anomalias negativas de ROL sobre a região Sul de Minas Gerais orientados no sentido Noroeste Sudeste. O transporte de umidade também se mantém semelhante, uma vez que em ambos os índices, são notadas anomalias positivas de umidade específica seguindo o mesmo padrão intenso de ventos provenientes da Alta Subtropical do Atlântico Sul.

Com relação aos percentis, que indicam uma magnitude alta de precipitação (precipitações acima do 95º e 99º percentil) nota-se também um padrão semelhante nas variáveis meteorológicas, exceto para anomalias de geopotencial. As anomalias de precipitação encontram-se positivas e bem intensas sobre o Sul de Minas Gerais, a TSM se mantém majoritariamente com anomalias negativas tanto no Atlântico Sul quanto no Pacífico Sul, não há anomalias significativas sobre a região, as anomalias de ROL e de transporte de umidade se mostram semelhantes dos índices chuvosos já citados.

Para os índices que representam os anos secos, ou seja, CDD (+), CWD (-), R10 (-) e Rx5day (-), padrões semelhantes também foram encontrados. Se compararmos os anos com mais dias secos consecutivos com anos com precipitação acima de 10 mm abaixo do primeiro quartil, nota-se na anomalia de geopotencial a presença de um trem de ondas, contudo com um padrão invertido na região da Austrália (quando comparado aos índices relacionados as anomalias positivas de precipitação discutido anteriormente) e com suas anomalias negativas adentrando o continente. Este trem de ondas pode ter determinado a posição do ASAS deslocando-o para oeste, como discutido por COELHO et al. (2015), CARDOZO et al. (2014) e OLIVEIRA et al. (2015), contribuindo para a redução da convecção e enfraquecimento da ZCAS, que pode ter reduzido a chuva no continente.

Os padrões observados nos índices R10 e Rx5day mostram uma anomalia de geopotencial negativa no oceano Índico sul, uma anomalia positiva se estendendo desde o sul da Austrália até o Pacífico Sul com sua maior anomalia na região central do Pacífico e por fim anomalias negativas sobre a região Sul da América do Sul. A precipitação, como esperado mostra-se com anomalias negativas intensas, e a TSM apresenta em sua grande maioria com anomalias negativas na região tropical. Anomalias de ROL positivas são encontradas sobre a região equatorial do Pacífico e sobre a região Sul de Minas, bem como os padrões de ômega sobre a região. Por fim,



o transporte de umidade mostra ventos intensos vindos da Alta Subtropical, contudo sem a presença de anomalias de umidade.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta monografia objetivou-se identificar os padrões de grande escala relacionados a eventos extremos climáticos de precipitação na região do Sul de Minas Gerais, uma vez que as respostas médias de precipitação são bem compreendidas no território brasileiro, contudo as respostas de eventos extremos à variabilidade climática continuam a ser muito limitados.

Dada a heterogeneidade das condições de tempo e clima sobre a região de Minas Gerais, realizou-se uma análise de *cluster* para selecionar algumas estações que fossem representativas do Sul de Minas Gerais, objeto desse estudo. A partir dessa análise de *cluster*, o estado de Minas Gerais pôde ser subdividido em seis regiões com relação ao seu regime de precipitação: região Sul, Central, Triângulo Mineiro, Centro-leste, Nordeste e Noroeste, das quais, a região Sul é representada pelas cidades de Barbacena, Juiz de Fora, Lambari, Lavras, Machado, Poços de Caldas e São Lourenço.

Em seguida, computou-se seis índices extremos de precipitação, seguindo a metodologia proposta pelo ETCCDI, e após os cálculos dos referidos índices, foram determinados as séries temporais dos mesmos para todas as estações pertencentes ao Sul de Minas Gerais. Há uma grande variabilidade interanual da precipitação na região do Sul de Minas, se levados em consideração os índices climáticos calculados, e os valores dessa variabilidade forneceram subsídios para a definição dos anos com eventos mais extremos de precipitação.

É possível encontrar padrões de grande escala que podem vir a favorecer os padrões de precipitação mais extrema sobre a região do Sul de Minas Gerais como as anomalias de geopotencial não atingindo o continente, anomalias negativas de TSM sobre o Atlântico e anomalias de ROL sobre a região do Sul de Minas direcionadas de noroeste para Sudeste, sugerindo possível influência de perturbações na ZCAS.

Também se nota padrões que contribuem para eventos de ausência de precipitação, como o padrão de anomalias de geopotencial sugerindo um trem de ondas atingindo o continente com valores negativos, que também pode ter vindo a deslocar para oeste a ASAS, enfraquecendo a ZCAS diminuindo portando os regimes de precipitação sobre o Sul de Minas.

Grande parte do trabalho foi limitada pela qualidade dos dados utilizados, uma vez que os dados iniciais eram de estações meteorológicas do INMET e não possuíam uma sequência ininterrupta, o que na metodologia de cálculo dos índices, limita todo o processo. Isso reflete nos resultados como um todo e na utilização dos testes de significância, os quais poderiam se apresentar muito mais abrangentes com uma melhor qualidade de dados.

O trabalho permite o estudo em qualquer região brasileira, uma vez que a metodologia aplicada pode ser estendida para outras regiões. Para futuros estudos, visa-se utilizar também os índices climáticos de temperatura a fim de se apurar ainda mais os resultados sobre extremos climáticos sobre Minas Gerais.

## 5. REFERÊNCIAS

ABREU, M. L. Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) à Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Geonomos**, v.6, n.1, p. 17-22, 1998.

CARDOZO, A. B.; SANTOS, D. F.; CUSTÓDIO, I. S.; BORGES, M. V. V.; REBOITA, M. S.; SANTOS, I. A. Padrão sinótico da atmosfera na América do Sul e adjacências nos verões de 2013 e 2014. In: I SEMINÁRIO DE RECURSOS NATURAIS. **Anais...** Itajubá, 2014.

COELHO, C. A. S.; OLIVEIRA, C. P.; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S.; CARPENEDO, C. B.; CAMPOS, J. L. P. S.; TOMAZIELLO, A. C. N.; PAMPUCH L. A.; CUSTÓDIO, M. S.; DUTRA, L. M. M.; ROCHA, R. P.; REHBEIN, A. Droughts in southeast Brazil and associated teleconnection patterns. **Climate Dynamics**. 2015.

FERREIRA, D. F. **Estatística Multivariada**. 1. ed. – Lavras: Ed. UFLA, 2008. 662 p.

GAN, M.A.; KOUSKY, V.E.; ROPELEWSKI, C.F. The South America monsoon circulation and its relationship to rainfall over West-Central Brazil. **Journal of Climate**, v.17, n.1, p.47-66, 2004.

GARCIA, S.R.; KAYANO, M.T. Determination of the onset dates of the rainy season in Central Amazon with equatorially antisymmetric outgoing longwave radiation. **Theoretical and Applied Climatology**, v.97, n.1, p.361-372, 2009.

GRIMM, A. M.; VERA, C. S.; MECHOSO, C. R. The South American Monsoon System. In: Chang, C.-P.; Wang, B. and Lau, N.-C. G. **The Global Monsoon System: research and forecast**, p. 219-238, 2005.

HAYLOCK, M. R.; GOODESS, C. M. Interannual variability of european extreme winter rainfall and links with mean large-scale circulation. **International Journal of Climatology**, v. 24, n.1, p.759-776, 2004.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divisão Regional do Brasil**. Citation on computers documents. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/default\\_div\\_int.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/default_div_int.shtm)> Acesso em: 06 de junho de 2014.

KENYON, J.; HEGERL, G. C. Influence of modes of climate variability on global precipitation extremes. **Journal of Climate**, v. 23, n.1, p. 6248-6262, 2010.

KING, A. D.; KLINGAMAN, N. P.; ALEXANDER, L. V.; DONAT, M. G.; JOURDAIN, N. C.; MAHERM P. Extreme rainfall variability in Australia: Patterns, drivers and predictability. **Journal of Climate**, v.27, n.15, p.6035-6050, 2014.

LIMA, C. K.; SATYAMURTY, P. FERNÁNDEZ, J. P. R. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in Southeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.1, n.1, p.121–135, 2010.

NOGUÉS-PAEGLE, J.; MO, K. C. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. **Monthly Weather Review**, v.1, n.125, p. 279–291, 1997.

OLIVEIRA, P. T. Estudo estatístico sobre eventos de precipitação intensa no nordeste do Brasil. 2014. **Tese de doutorado do programa de doutorado em ciências Climáticas**, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

OLIVEIRA, G. M.; OLIVEIRA, D. M.; FREITAS, C. H.; PEREIRA, R. A. A.; REBOITA, M. S. Anomalias dos padrões sinóticos da atmosfera na América do Sul nos janeiros de 2014 e 2015. In: I SEMINÁRIO DE RECURSOS NATURAIS. **Anais...** Itajubá, 2015.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. da. Entendendo o Tempo e o Clima da América do Sul. **Terra E Didática**, v.8, n.1, p.34-50, 2012.

SELUCHI, E.M.; CHOU, S.C. Synoptic patterns associated with landslide events in the Serra do Mar, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.101, n.1, p.1–11, 2009.

SILLMANN, J.; KHARIN, V. V.; ZHANG, X.; ZWIERS, F. W.; BRONAUGH, D. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate. **Journal of Geophysical Research**, v. 118, p. 1-18, 2013a.

SILVA, L. J.; REBOITA, M, S. ROCHA, R. P. Relação da passagem de frentes frias na região sul de Minas Gerais (rsmg) com a precipitação e eventos de geada. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.14, n.1, p. 229-246, 2014.

TEIXEIRA M.S.; SATYAMURTY, P. Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in Southern Brazil. **Montly Weather Review**, v.135, n.1, p.598–617, 2007.

VALVERDE, M. C.; MARENGO, J. A. Extreme Rainfall Indices in the Hydrographic Basins of Brazil. **Open Journal of Modern Hydrology**, v.4, n.1, p.10-26, 2014.

WAGNER, M. V.; JADOSKI, S. O.; LIMA, A. S.; MAGGI, M. F.; POTT, C. A.; SUCHORONCZEK, C. Avaliação do ciclo fenológico da cultura do milho em função da soma térmica em Guarapuava, Sul do Brasil. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.4, n.1, p.135–149.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2006. 627 p.

ZHANG, X.; ALEXANDER, L.; HEGERL, G. C. JONES, P.; TANK, A. K.; PETERSON, T. C.; TREWIN, B. ZWIERS, F. W. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v.2, n.1, p. 851–870, 2011.

ZHOU, J. Y.; LAU, K. M. Does a monsoon climate exist over South America? **Journal of Climate**, v.11, n.5, p.1020-1040, 1998.