



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

**APRIMORAMENTO DA TÉCNICA DE DETECÇÃO
DAS DATAS DE INÍCIO E FIM DA ESTAÇÃO
CHUVOSA NA REGIÃO DA MONÇÃO DA
AMÉRICA DO SUL COM DADOS DE RADIAÇÃO
DE ONDA LONGA**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Maria Alice Machado Rodrigues

**Itajubá, MG, Brasil
2018**

**APRIMORAMENTO DA TÉCNICA DE DETECÇÃO DAS
DATAS DE INÍCIO E FIM DA ESTAÇÃO CHUVOSA NA
REGIÃO DA MONÇÃO DA AMÉRICA DO SUL COM DADOS
DE RADIAÇÃO DE ONDA LONGA**

por

Maria Alice Machado Rodrigues

Monografia apresentada à comissão examinadora 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: Sâmia Regina Garcia Calheiros

Coorientador: Luiz Fernando dos Santos

**Itajubá, MG, Brasil
2018**

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

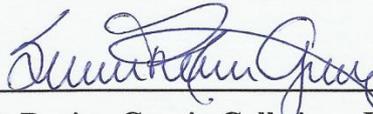
**APRIMORAMENTO DA TÉCNICA DE DETECÇÃO DAS DATAS DE
INÍCIO E FIM DA ESTAÇÃO CHUVOSA NA REGIÃO DA MONÇÃO
DA AMÉRICA DO SUL COM DADOS DE ROL**

elaborada por

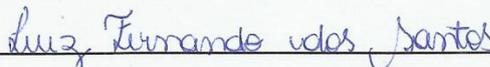
Maria Alice Machado Rodrigues

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

Comissão Examinadora:



Sâmia Regina Garcia Calheiros, Dr^a. (UNIFEI)
(Presidente/Orientadora)



Luiz Fernando dos Santos, MSc. (UNIFEI)
(coorientador)



Vanessa Silveira Barreto Carvalho, Dr^a. (UNIFEI)

Itajubá, 08 de novembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter-me concedido coragem e sabedoria para encarar os desafios ao longo dos últimos quatro anos. Agradeço também aos meus familiares pelas palavras de incentivo nos momentos de desânimo.

A minha mãe por sua dedicação e empenho para que eu chegasse até aqui, pois sempre estive ao meu lado.

Agradeço a minha orientadora Sâmia Garcia, pelos conselhos, apoio e confiança especialmente nestes dois últimos anos. Ao meu coorientador Luiz Fernando pelas instruções passadas para execução deste trabalho.

Aos meus amigos que fiz durante esta jornada, e os levarei para toda vida, foram tantos momentos juntos de parceria impossíveis de esquecer. Sou grata aos meus professores por todos os ensinamentos.

Agradeço a FAPEMIG por ter possibilitado a oportunidade de Iniciação Científica, a qual contribuiu para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus pais Benedita Dinéa e Sérgio Agostinho

RESUMO

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

APRIMORAMENTO DA TÉCNICA DE DETECÇÃO DAS DATAS DE INÍCIO E FIM DA ESTAÇÃO CHUVOSA NA REGIÃO DA MONÇÃO DA AMÉRICA DO SUL COM DADOS DE ROL

AUTORA: MARIA ALICE MACHADO RODRIGUES
ORIENTADORA: SÂMIA REGINA GARCIA CALHEIROS
Local e Data da Defesa: Itajubá, 08 de novembro de 2018.

O regime de precipitação na América do Sul é caracterizado pelo Sistema de Monção da América do Sul (SMAS), a qual apresenta verões chuvosos e invernos secos. Esta sazonalidade interfere no desenvolvimento social, econômico e político da sociedade. Em virtude de tal importância da sazonalidade na precipitação, alguns estudos desenvolveram uma técnica de determinação das datas de início e fim da estação chuvosa (IEC e FEC respectivamente), em que o IEC (FEC) é identificado pela mudança de sinal de positivo (negativo) para negativo (positivo) da diferença de radiação de onda longa (ROL) entre o Hemisfério Sul e sua área antissimétrica localizada no Hemisfério Norte. Porém, para algumas regiões do SMAS, tem-se que a escolha da área antissimétrica não é trivial, tendo em vista que tais regiões podem estar localizadas onde não há sistema monçônico. Sendo assim, este estudo teve como objetivo aprimorar o referido método quanto à escolha da área antissimétrica, utilizando regiões similares no que se refere à convecção. Foram utilizadas análises estatísticas de agrupamento de Ward e correlação de Pearson para determinar as regiões do SMAS e do Sistema de Monção da América do Norte (SMAN) com similaridade na convecção. Com estas técnicas foram obtidos seis grupos similares para o SMAS e para o SMAN. Assim, aplicando o método definido anteriormente, mas com a alteração espacial, tem-se que as datas de IEC e FEC se mostraram próximas às datas encontradas em outras metodologias. Portanto, espera-se que os resultados desse trabalho sejam utilizados para fins de monitoramento climático no que se refere às datas de IEC e FEC na região do SMAS, cooperando com os centros que façam previsão climática.

Palavras-chave: Análise de *cluster*. Monção. Monitoramento. Radiação de onda longa. Método de Ward.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Data média do início da estação chuvosa para: (a) SMAS e (b) SMAN.	3
Figura 2- Esquema dos sistemas atuantes durante os (a) SMAS e (b) SMAN. Sombreado indica precipitação e linhas tracejadas indicam zonas de convergência. Setas pequenas são ventos de baixos níveis (900 hPa) e as setas grandes representam jatos de baixos níveis. Um "A" indica anticiclone e "H" alta pressão em superfície.	3
Figura 3- Anomalia acumulada de precipitação (mm) sobre MG. Barras verticais indicam o IEC e FEC, respectivamente. Fonte: Santos e Garcia (2016).	6
Figura 4- ROL antissimétrico sobre MG. Barras verticais indicam o IEC e FEC, respectivamente.	7
Figura 5- Região do SMAS e do SMAN com suas respectivas áreas selecionadas para o agrupamento (retângulos em vermelho).	10
Figura 6- Climatologia mensal (1979-2013) de ROL sobre a região tropical da América do Sul.	15
Figura 7- Pontos de grade (indicados pelos números) utilizados na análise de cluster da região para: (a) América do Sul e (b) América do Norte.	16
Figura 8- Dendrograma referente ao SMAS. Os valores indicam os pontos agrupados na análise de <i>cluster</i> , e os retângulos vermelhos mostram os grupos selecionados.	17
Figura 9- Dendrograma referente ao SMAN. Os valores indicam os pontos agrupados na análise de <i>cluster</i> , e os retângulos vermelhos mostram os grupos selecionados.	18
Figura 10- Grupos selecionados para o SMAS.	19
Figura 11- Grupos selecionados para o SMAN.	19
Figura 12- Domínios do sistema de monção definidos pela sazonalidade da precipitação, através da diferença de verão e inverno (cm mês^{-1}). Fonte: Mohtadi et al. (2016).	20

Figura 13- Pêntadas climatológicas de FEC (linha vertical à esquerda) e IEC (linha vertical à direita) para cada região da América do Sul identificada através do método de GCK (2016).22

Figura 14- Estações chuvosas do período de 2001-2013 para a região da BAC representadas pelas regiões R2 (linha preta contínua) e R3 (linha cinza pontilhada), e para o COB (linha vermelha contínua). As linhas verticais contínuas e pontilhadas e as setas verticais indicam o IEC e FEC das regiões R2, R3 e R4 respectivamente.25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Correlações entre grupos para determinação de áreas antissimétricas.	20
Tabela 2- Pêntadas médias de IEC e FEC para todas as regiões selecionadas.....	21
Tabela 3- Pêntadas de IEC e FEC na BAC (R2-G3 e R3-G2) e no COB (R4-G2).....	23

LISTA DE ABREVIATURAS

- AROL – ROL antissimétrico adaptado
- ASAS – Anticiclone Subtropical do Atlântico do Sul
- BAC– Bacia Amazônica
- BAC – Bacia Amazônica Central
- COB – Centro-Oeste do Brasil
- EUA – Estados Unidos da América
- FEC – Fim da estação chuvosa
- GCK – Garcia, Calheiros e Kayano (2016)
- HN – Hemisfério Norte
- HS – Hemisfério Sul
- IEC – Início da estação chuvosa
- ROL – Radiação de onda longa
- SMA – Sistema de monção da Ásia
- SMAN – Sistema de Monção da América do Norte
- SMAS – Sistema de Monção da América do Sul
- TRMM – *Tropical Rainfall Measuring Mission*
- ZCAS – Zona de convergência do Atlântico Sul
- ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE ABREVIATURAS	viii
1. INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	1
1.1. Objetivos.....	9
2. MATERIAL E MÉTODOS	10
2.1. Dados utilizados	10
2.2. Metodologia	10
2.2.1. <i>Descrição da área de estudo</i>	10
2.2.2. <i>Técnicas estatísticas utilizadas e o método de GCK (2016)</i>	11
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
3.1. Climatologia.....	14
3.2. Análise de cluster e correlação	16
3.3. Início e fim da estação chuvosa	21
4. CONCLUSÃO	26
5. REFERÊNCIAS	28

1. INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Sempre se sabe que a precipitação é um dos elementos climáticos que propiciam o desenvolvimento dos sistemas humano e ambiental no planeta, sendo responsável pela manutenção de rios e lagos, remoção de poluentes da atmosfera e para fornecer água para as plantas. Apesar de trazer inúmeros benefícios, se o regime anual e a distribuição espacial das chuvas ocorrerem de maneira desigual podem provocar danos sociais e ambientais, como inundações e alagamentos em áreas urbanas e rurais, atrasos em linhas de produção industrial e prejuízos em lavouras devido ao excesso ou falta de água disponível para as plantas. Portanto, a precipitação é uma variável meteorológica amplamente estudada, pois com base no conhecimento de sua distribuição temporal e espacial podem ser elaboradas estratégias mais eficientes quanto à gestão dos recursos, a fim de minimizar os danos causados.

As variações temporais da chuva são perceptíveis em algumas regiões do planeta, como no sul/sudeste da Ásia e na região tropical da América do Norte, onde os verões são chuvosos e os invernos secos, sendo tais condições características do sistema denominado de Monção, termo o qual foi descrito inicialmente por Halley (1686) (apud ZHOU; LAU, 1998, p.1020), como sendo uma perturbação no vento gerando a inversão da direção dos mesmos entre as estações de verão e inverno, devido ao aquecimento diferencial continente-oceano. Assim, durante a estação de verão a região continental sofre um maior aquecimento em relação ao oceano, com isso os ventos sopram predominantemente em direção ao continente transportando umidade do oceano favorecendo a formação de nuvens de chuva, enquanto que no período de inverno este padrão se inverte tornando a região continental mais seca.

Para facilitar a identificação do sistema monçônico, Khromov (1957, apud GAN et al., 2004, p. 1) sugeriu um índice baseado na frequência e mudança da direção do fluxo, em que mais tarde Ramage (1971, apud GAN et al., 2004, p. 2) aprimorou o método definindo os seguintes parâmetros: 1) para o período de janeiro a julho os ventos devem mudar de direção no mínimo 120° com uma frequência média da direção predominante superior a 40%; 2) em pelo menos um dos meses a velocidade média deve ser superior a 3 m.s^{-1} ; e 3) no período de janeiro a julho em pelo menos dois anos em uma região de 5° de latitude e longitude deve haver ao menos uma mudança ciclone-anticiclone. Logo, os padrões observados no sul/sudeste da Ásia e América do Norte foram classificados como Sistema de monção da Ásia (SMA) e Sistema de Monção da América do Norte (SMAN), respectivamente.

Embora a América do Sul apresente sazonalidade na precipitação, o índice de Ramage (1971) não permite classificar a região com o clima monçônico, pois através dos campos de vento não é possível notar a mudança de direção entre as estações. Sendo assim Zhou e Lau (1998) na tentativa de justificar que o continente apresenta padrões de um sistema de monção, mostraram que há reversão no campo da anomalia do vento em baixos níveis, ou seja, determinaram a diferença entre a média sazonal e a média anual e, desde então classificou a sazonalidade da precipitação com o Sistema de Monção da América do Sul (SMAS). Algumas características dos SMAS e SMAN, como o ciclo de vida, se assemelham ao SMA (VERA et al., 2006), portando ambos os sistemas podem ser classificados em três fases: início, maturidade e decaimento.

O SMAS se inicia em meados de setembro com um aumento da convecção sobre a Amazônia equatorial, estendendo-se para o sudeste do continente até o início de novembro (VERA et al. 2006; Figura 1a); neste mesmo período intensifica-se o fluxo na direção noroeste-sudeste em baixos níveis da atmosfera transportando umidade da Amazônia (WANG; FU, 2002). Quando este se encontra com o fluxo de nordeste proveniente do Anticiclone Subtropical do Atlântico do Sul (ASAS), favorece a formação de uma intensa precipitação sobre o centro-oeste e sudeste brasileiro denominada de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS; KOUSKY, 1988; KODAMA, 1992; LENTERS; COOK, 1995). Em resposta à intensa convecção da Amazônia brasileira, uma circulação de alta pressão forma-se em altos níveis da troposfera sobre a região da Bolívia, denominada de “Alta da Bolívia” (Figura 2a). A fase de máxima convecção ocorre entre o final de novembro e fevereiro, em que a atividade convectiva mais intensa é localizada sobre o sul da Amazônia e região central do Brasil se estendendo por uma faixa até o sudeste brasileiro. A convecção começa a decair e migrar em direção ao equador para noroeste, entre os meses de março a maio (VERA et al. 2006).

Após o início do decaimento do SMAS, o SMAN passa a se desenvolver entre maio e junho na região sul do México, de maneira semelhante ao SMAS, formando-se também um sistema de alta pressão em altos níveis, juntamente com a intensificação dos jatos de baixos níveis (Figura 2b), porém no sentido oposto ao da América do Sul, transportando grandes quantidades de umidade do Golfo da Califórnia (em superfície) e do Golfo do México (níveis médios; HIGGINS et al., 1997; ADAMS; COMRIE, 1997). Estes padrões favorecem a evolução da convecção para noroeste ao longo da encosta da Sierra Madre Ocidental (Figura 1b). Ao atingir seu estágio maduro (Julho-Setembro) a convecção cobre grande parte do México chegando até o sudoeste dos EUA (HIGGINS et al., 1997; VERA et al. 2006). Neste

mesmo período, o máximo de precipitação concentra-se sobre o México, enquanto que sobre os EUA acumulam-se quantidades menores (HIGGINS et al., 1999; STENSRUD et al., 1995). O período de enfraquecimento do SMAN ocorre entre setembro e outubro, a convecção recua inicialmente sobre o oeste dos EUA em direção a América Central, posteriormente se intensifica sobre o norte da América do Sul dando início ao desenvolvimento do SMAS (e.g., ARIAS et al. 2015; VERA et al. 2006).

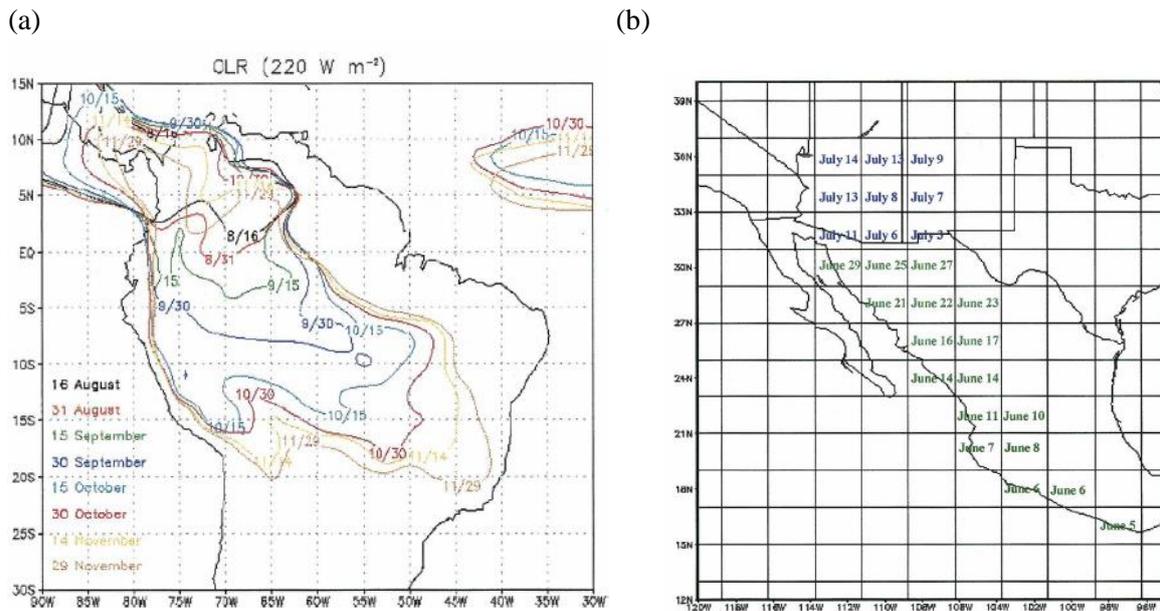


Figura 1- Data média do início da estação chuvosa para: (a) SMAS e (b) SMAN.
Fonte: (a) V. Kousky cedido para Vera et al. (2006); (b) Higgins et al. 1999.

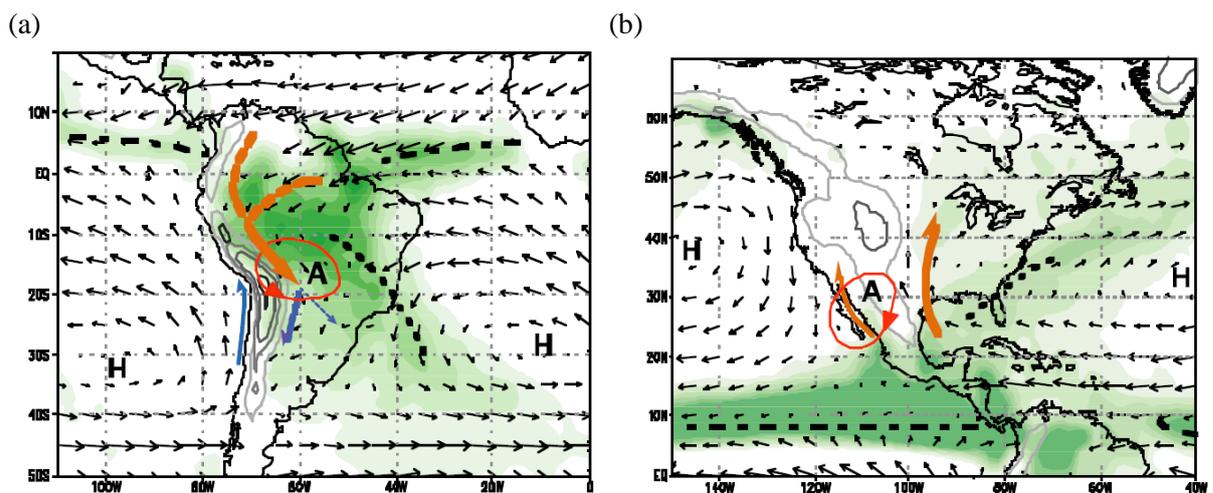


Figura 2- Esquema dos sistemas atuantes durante os (a) SMAS e (b) SMAN. Sombreado indica precipitação e linhas tracejadas indicam zonas de convergência. Setas pequenas são ventos de baixos níveis (900 hPa) e as setas grandes representam jatos de baixos níveis. Um "A" indica anticiclone e "H" alta pressão em superfície.

Fonte: Mechoso et al. (2005).

Para Horel et al. (1989), os sistemas de monção das Américas tropicais apresentam um ciclo anual de convecção com uma sazonalidade definida e grau de simetria, sendo assim podem ser considerados como dois extremos de um mesmo ciclo. Como consequência principal mais da metade da precipitação ocorre durante o verão do hemisfério, entretanto os acumulados são maiores no Hemisfério Sul (HS) do que no Hemisfério Norte (HN) (VERA et al., 2006).

Sabendo da ocorrência da monção sobre a América do Sul e suas importâncias, principalmente sobre o Brasil, alguns autores perceberam a necessidade de desenvolver técnicas para estimar as datas de início e fim da estação chuvosa (IEC e FEC, respectivamente). Alguns desenvolveram seus métodos utilizando dados de Radiação de Onda Longa (ROL; MURAKAMI; NAKAZAWA, 1985; KOUSKY, 1988; MATSUMOTO; MURAKAMI, 2002; GARCIA; KAYANO, 2009, 2013; GARCIA; CALHEIROS; KAYANO, 2016) - visto que pode ser empregado como indicador interanual e intrasazonal de convecção profunda (HEDDINGHAUS; KRUEGER, 1981; LIEBMANN; HARTMANN, 1982) - enquanto outros se basearam em obter seus métodos por meio de dados de precipitação (MARENGO et al., 2001; LIEBMANN; MARENGO, 2001; LIEBMANN et al., 2007) ou mesmo combinando estas informações com dados de vento (GAN et al., 2004).

Murakami e Nakazawa (1985) desenvolveram uma metodologia para verificar a transição entre os sistemas de monção do HS para o HN, baseado em dados de ROL e vento. Para simplificar as análises, os dados de ROL foram separados em duas componentes, sendo elas uma componente simétrica e outra antissimétrica em relação ao equador, obtidas pelas equações:

$$ROL^+ = \frac{ROL(x,y) + ROL(x,-y)}{2} \quad (1)$$

$$ROL^- = \frac{ROL(x,y) - ROL(x,-y)}{2} \quad (2)$$

Onde x é a longitude, y é a latitude (positiva no HN); ROL^+ (ROL^-) é a componente simétrica (antissimétrica) de ROL.

Murakami e Nakazawa (1985) observaram que a componente simétrica não apresenta característica monçônica, enquanto que a antissimétrica reflete os padrões de sazonalidade, sendo esta a mais eficiente para identificar o sistema de monção. Com isso, Matsumoto e Nakazawa (2002) aprimoraram a técnica de Murakami e Nakazawa (1985) estabelecendo tais critérios para verificar a transição sazonal do sistema do HN para o HS: ao calcular a

componente simétrica a estação seca (úmida) na região equatorial configura-se quando ROL^+ está acima (abaixo) de 240 Wm^{-2} ; enquanto que ao calcular a componente antissimétrica a estação seca (úmida) na região monçônica configura-se quando ROL^- está acima (abaixo) de 0 Wm^{-2} .

Kousky (1988) também utilizou dados de ROL, porém seu método estima as datas de IEC e FEC através de um valor limítrofe de ROL para as 73 pântadas do ano. Assim, a data de IEC é observada quando $ROL < 240 \text{ Wm}^{-2}$, sendo que, das 12 pântadas anteriores, pelo menos 10 devem ter $ROL > 240 \text{ Wm}^{-2}$, e das 12 pântadas posteriores pelo menos 10 devem ter $ROL < 240 \text{ Wm}^{-2}$. Quanto à data de FEC, tem-se que o valor de ROL deve ser maior que 240 Wm^{-2} e, das 12 pântadas anteriores (posteriores), pelo menos 10 devem ter $ROL < 240 \text{ Wm}^{-2}$ ($ROL > 240 \text{ Wm}^{-2}$). Com seus resultados, Kousky (1988) notou que em meados de setembro a convecção se intensifica sobre a Amazônia (diminuição da magnitude de ROL) estendendo-se até o sudeste do Brasil, e começa a enfraquecer (aumento da magnitude de ROL) nos meses de março e abril na direção noroeste, o que mostra que a atividade convectiva na região do SMAS possui uma orientação de Noroeste-Sudeste.

Complementando os trabalhos citados, Marengo et al. (2001) elaboraram critérios para determinar as datas de IEC e FEC, através de dados de precipitação para a América do Sul pois, segundo eles, os métodos baseados em ROL adiantam as datas de início e atrasam as datas de fim. O método desenvolvido, então, foi: o IEC (FEC) da época chuvosa é definido pela pântada com precipitação média diária maior (menor) que 4 mm dia^{-1} , desde que pelo menos 6 das 8 pântadas anteriores (posteriores) tenham precipitação menor que $3,5 \text{ mm dia}^{-1}$ e pelo menos 6 das 8 pântadas posteriores (anteriores) tenham precipitação maior que $4,5 \text{ mm dia}^{-1}$. Gan et al. (2004) também determinaram o IEC e FEC com base nos campos de precipitação e vento. A técnica estabelece que o IEC (FEC) é marcado pela primeira ocorrência dos ventos de oeste (leste), cerca de 60° W entre as latitudes 10° S e 20° S no nível de 850 hPa e a taxa de precipitação seja maior (menor) que 4 mm dia^{-1} em pelo menos 75% das 8 pântadas subsequentes. Gan et al. (2004) e Marengo et al. (2001) verificaram em seus resultados uma orientação Noroeste-Sudeste assim como Kousky (1988).

Santos e Garcia (2016) aplicaram e compararam metodologias de Garcia e Kayano (2009; 2013) e Liebmann et al. (2007), as quais se baseiam em dados de ROL e precipitação, respectivamente, para o período de janeiro de 1998 a dezembro de 2012. O método de Liebmann et al. (2007) refere-se a uma análise das anomalias de precipitação para determinarem o IEC e FEC, obtida através da equação 3:

$$A(\text{dia}) = \sum_{n=1}^{\text{dia}} [R(n) - \bar{R}] \quad (3)$$

Onde $A(\text{dia})$ é a anomalia acumulada diária para cada ponto de grade, $R(n)$ é o acumulado diário e \bar{R} é a média climatológica diária anual.

Assim, a data de IEC é o primeiro dia antes do maior período em que o acumulado anômalo é positivo, enquanto que a data de FEC é o dia neste período que o acumulado anômalo é máximo, como pode ser observado na Figura 3 de Santos e Garcia (2016) para alguns anos.

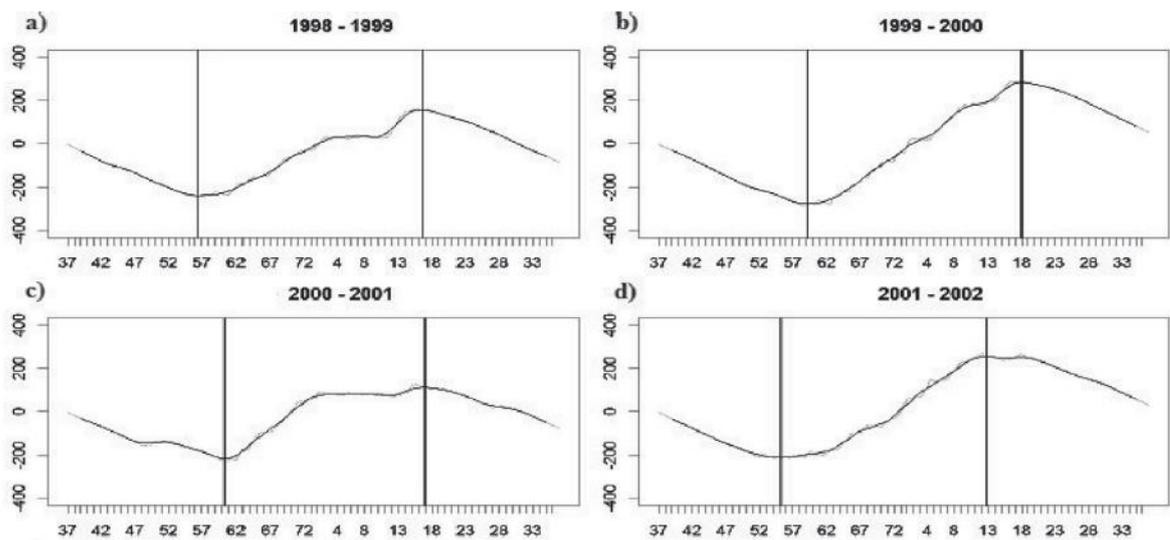


Figura 3- Anomalia acumulada de precipitação (mm) sobre MG. Barras verticais indicam o IEC e FEC, respectivamente. Fonte: Santos e Garcia (2016).

O segundo método analisado por Santos e Garcia (2016) foi o de Garcia e Kayano (2009; 2013), em que Garcia e Kayano (2009) utilizaram dados de ROL para empregar a técnica de Murakami e Nakazawa (1985) para a região da Bacia Amazônica Central (BAC), fazendo a diferença entre os valores de ROL do HS e do HN. Estabeleceram então que o IEC é marcado pela mudança de sinal positivo para negativo da componente antissimétrica (ROL^-), evidenciando que este método é útil para o monitoramento de áreas monçônicas. Garcia e Kayano (2013) aprimoraram a técnica adaptando a equação para a orientação do SMAS (Noroeste-Sudeste; Equação 4):

$$AROL = \frac{ROL(x,y) - ROL(x+47,5^\circ,-y)}{2} \quad (4)$$

Onde x é a longitude, y positivo (negativo) refere-se a latitude do HS (HN) e AROL é ROL antissimétrico adaptado. Essa adaptação foi necessária tendo em vista que a área antissimétrica ao Centro-Oeste do Brasil (COB) localiza-se no Atlântico Tropical Norte, onde não há sinal do SMAN.

Deste modo, o IEC ficou definido por Garcia e Kayano (2013) como a primeira pântada negativa após uma série de AROL positivo ou quando passam a ser uma sequência negativa, isto é, o IEC é marcado quando há um aumento da convecção (AROL <0) no HS e uma redução (AROL >0) no HN, como pode ser observado na Figura 4 de Santos e Garcia (2016).

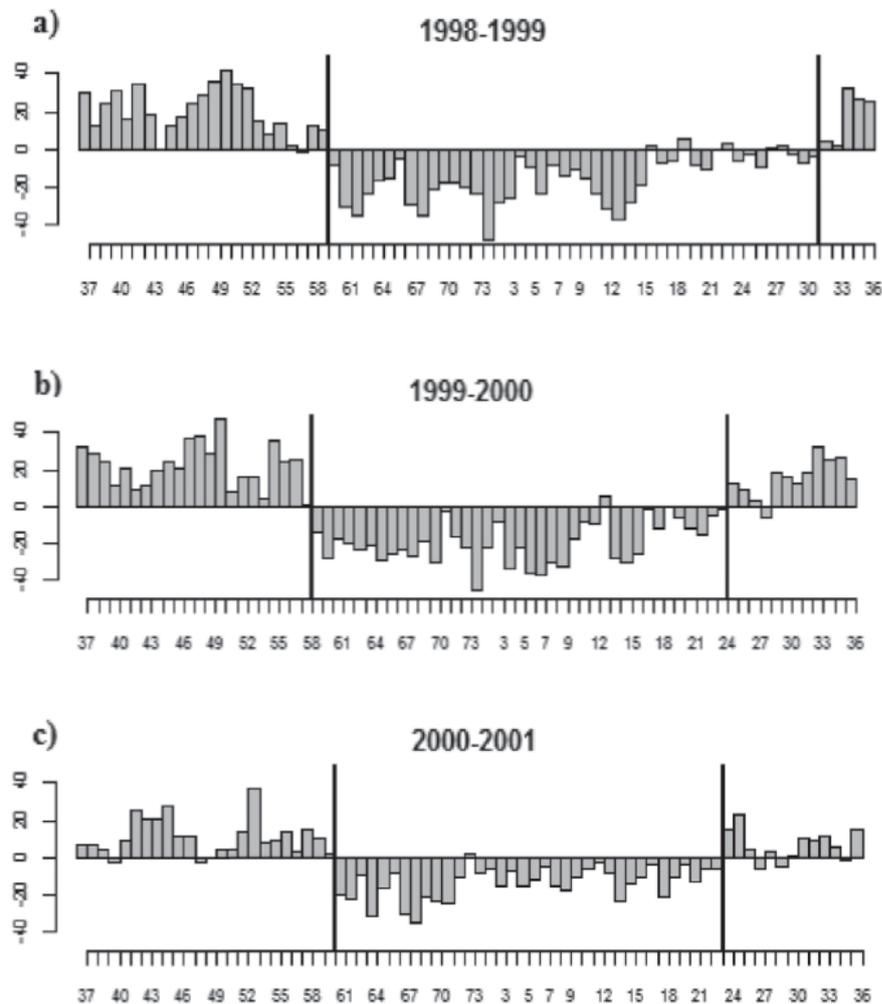


Figura 4- ROL antissimétrico sobre MG. Barras verticais indicam o IEC e FEC, respectivamente.
Fonte: Santos e Garcia (2016).

De modo geral, o método de Garcia e Kayano (2009; 2013) mostrou-se mais eficaz quando comparado ao de Liebmann et al. (2007), já que depende apenas de dados de ROL, os quais são obtidos por medidas de satélite, disponíveis quase em tempo real (SANTOS; GARCIA, 2016) diferente dos dados de precipitação, sendo esta uma das vantagens de se utilizar este método.

Posto isto Garcia, Calheiros e Kayano (2016), a partir de agora referenciado como GCK (2016), aplicaram duas modificações ao método de Garcia e Kayano (2009; 2013) para detecção de IEC e FEC a fim de torná-lo operacional. Na verificação da eficiência das técnicas, os autores utilizaram dados de estimativa de precipitação do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), tomando estes como dados observados. Assim, GCK (2016) aplicaram as modificações às mesmas áreas utilizadas por Garcia e Kayano (2009; 2013), sendo que a primeira foi o cálculo da média móvel com cinco pêntadas na série de ROL antissimétrico, para remover da série temporal influências das oscilações inferiores a 25 dias. Essa adaptação removeu com eficiência o caráter oscilatório, no entanto não se mostrou útil para encontrar com precisão as datas de IEC e FEC. Sendo assim, GCK (2016) aplicaram uma segunda modificação denominada de NEW_CLI: ao invés de utilizar a média móvel com cinco pêntadas reduziram para três, em que a pêntada mais recente foi substituída pelo valor climatológico de AROL. As datas de IEC e FEC para os três métodos foram identificadas verificando a mudança de sinal da série, ou seja, o IEC (FEC) é estabelecido pela primeira pêntada com sinal negativo (positivo) indicando uma alta (baixa) atividade convectiva sobre a região.

Logo, GCK (2016) determinaram o método NEW_CLI como o mais eficiente para o monitoramento, pois é capaz de remover o caráter oscilatório mantendo sua aplicabilidade. Entretanto o método aprimorado ainda apresenta uma desvantagem com relação à escolha da área antissimétrica, pois a escolha da mesma ocorre de maneira empírica. Portanto, este trabalho tem como objetivo principal modificar o método de GCK (2016) com relação à escolha da melhor área antissimétrica a ser utilizada na aplicação da técnica. Para isto, serão utilizadas técnicas estatísticas de análise de agrupamento descritas na próxima seção.

1.1. Objetivos

Assim, o objetivo geral desse estudo é adaptar o método de GCK (2016) com relação à escolha da melhor área antissimétrica a ser utilizada na aplicação da técnica, sendo os objetivos específicos:

- i) Analisar a climatologia de ROL para a região tropical do continente americano;
- ii) Definir a quantidade de grupos do HS e HN encontrados na análise de *cluster*;
- iii) Selecionar as áreas para aplicação do método de GCK (2016);
- iv) Identificar datas de IEC e FEC por tal método.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Dados utilizados

Para a execução deste estudo foram utilizados dados diários de ROL (Wm^{-2}) para o período de 1979 a 2013 em uma área limitada por 40°N , 40°S , 140°W e 20°W (Figura 5) com resolução espacial de $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$. Os mesmos foram medidos por satélite de órbita polar e obtidos da *National Oceanic and Atmospheric Administration/Cooperative Institute for Research in Environment Science* (NOAA-CIRES) *Climate Diagnostics Center* (CDC), Boulder, Colorado, EUA.

2.2. Metodologia

2.2.1. Descrição da área de estudo

A primeira etapa consistiu em obter a climatologia mensal de ROL para toda área tropical do continente americano (40°N , 40°S , 130°W , 30°W), possibilitando a análise do comportamento da atividade convectiva, visto que sobre esta região a variável ROL está associada à convecção. Essa área pode ser vista na Figura 5. Cabe ressaltar que as regiões selecionadas em vermelha são as utilizadas na etapa descrita em 2.2.2.

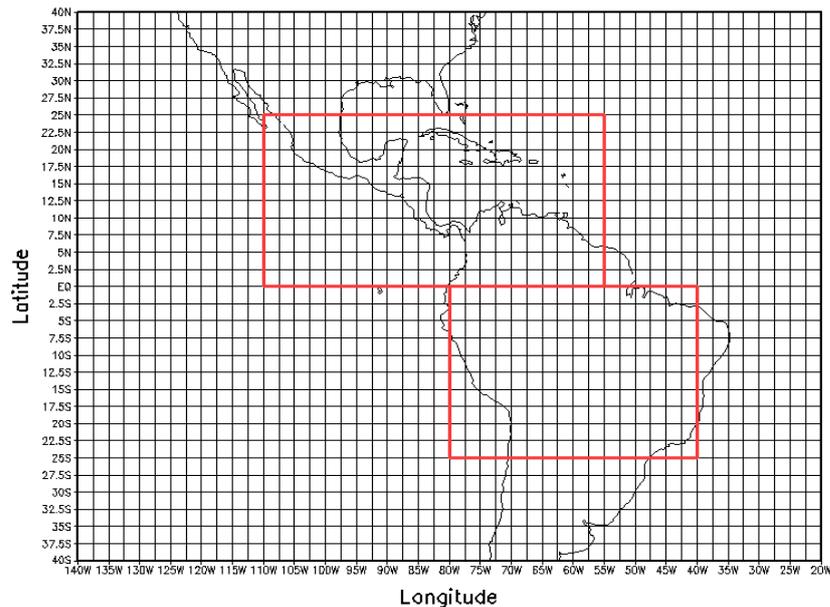


Figura 5- Região do SMAS e do SMAN com suas respectivas áreas selecionadas para o agrupamento (retângulos em vermelho).

2.2.2. Técnicas estatísticas utilizadas e o método de GCK (2016)

Para as áreas monçônicas da América do Sul (equador, 25°S, 40°W, 80°W) e América do Norte (equador, 25°N, 110°W, 55°W) mostradas na Figura 5 (regiões marcadas em vermelho) aplicou-se a técnica estatística de Análise de Agrupamento (ou *Cluster*) separadamente pelo método de agrupamento hierárquico aglomerativo de Ward, com o objetivo de separar em grupos os elementos similares entre si, com relação a uma mesma variável medida (MINGOTI, 2013). Ou seja, foram agrupados apenas os pontos de grade localizados sobre o continente em cada região estabelecida (como será mostrado na Figura 7 no capítulo de Resultados e Discussão) que apresentaram semelhanças na atividade convectiva, totalizando 143 pontos no HS e 74 no HN, e ainda, os grupos encontrados devem ser diferentes entre si com relação às mesmas variáveis.

A quantidade de grupos formados foi determinada a partir das medidas de dissimilaridade, onde quanto menor a dissimilaridade, mais homogêneos são os elementos. Como medida de dissimilaridade, tem-se que a distância euclidiana é uma das mais utilizadas, pois é feita a comparação de cada elemento através do vetor de medidas $X_{ij} = [X_{1j} \ X_{2j} \ \dots \ X_{pj}]'$ de dois elementos X_l e X_k distintos, em que i é a variável medida e j o elemento amostral. Esta comparação resulta na matriz de distâncias calculada de acordo com a equação 5:

$$d(X_l, X_k) = [(X_l - X_k)' (X_l, X_k)]^{1/2} = [\sum_{i=1}^p (X_{il} - X_{ik})^2]^{1/2} \quad (5)$$

As técnicas de conglomerados ou clusters são frequentemente classificadas em dois tipos: técnicas hierárquicas e não hierárquicas, sendo que as hierárquicas são classificadas em aglomerativas e divisivas (MINGOTI, 2013). Cabe ressaltar que a mais utilizada em análises exploratórias de dados são as hierárquicas aglomerativas, pois inicialmente cada elemento é considerado como um único grupo e, em seguida, vão sendo agrupados aqueles mais similares, até o estágio final onde todos os elementos estão agrupados em um só cluster. Entre as técnicas mais comuns para realizar o agrupamento estão o método de ligação simples e o método de Ward (1963), também chamado de método de mínima variância. O primeiro método faz a ligação entre os elementos mais similares entre si ou entre grupos e, assim, as diferenças entre os elementos dentro de um grupo aumentam e entre os grupos diminui, enquanto que, o método de Ward (1963) se inicia com n grupos de único elemento e mescla

dois grupos em cada etapa unindo os elementos com menor variância, minimizando (maximizando) as diferenças intragrupo (entre grupos), até que todos os dados estejam em um único grupo após $n - 1$ etapas (WILKS, 2006). Para isso, calcula-se em cada passo o quadrado da distância euclidiana (SS_i) de cada elemento amostral pertencente ao conglomerado C_i em relação ao correspondente vetor de médias do conglomerado (MINGOTI, 2013; equação 6). A soma de todos SS_i também é feita no mesmo passo (equação 7).

$$SS_i = \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)' (X_{ij} - \bar{X}_i) \quad (6)$$

onde n_i é o número de elementos no grupo; X_{ij} é o vetor de observações do elemento j e \bar{X}_i é o centroide do conglomerado.

$$SSR = \sum_{i=1}^{g_k} SS_i \quad (7)$$

Para unir os conglomerados calcula-se a relação da distância (equação 8) entre a quantidade de grupos (g_k) no passo k . Assim, essas distâncias podem ser representadas pela diferença dos valores de SSR antes e depois de unir os grupos C_l e C_i :

$$d(C_l, C_i) = \left[\frac{n_l n_i}{n_l + n_i} \right] (\bar{X}_l - \bar{X}_i)' (\bar{X}_l - \bar{X}_i) \quad (8)$$

em que $\frac{n_l n_i}{n_l + n_i}$ é o fator de ponderação devido ao tamanho diferente entre os grupos unidos.

Em todas as técnicas hierárquicas aglomerativas os elementos ou grupos uma vez unidos não podem ser separados. Na decisão final sobre quantos grupos serão obtidos, dois critérios podem ser utilizados:

- 1) A construção de um gráfico do número de grupos pela distância entre eles, possibilitando visualizar os “pontos de salto”, delimitando assim a quantidade final de grupos, caso o número de elementos seja pequeno pode-se utilizar o dendrograma para identificá-los.
- 2) A identificação do “ponto de salto” pode ser feita pelo cálculo da similaridade, verificando o estágio com um decréscimo acentuado da similaridade, logo o número

final de grupos obtido é aquele pertencente ao passo em que se obteve o maior decréscimo.

Após obter os grupos da América do Sul e América do Norte, médias espaciais de ROL foram calculadas em cada grupo do HS e do HN e, em seguida, as médias dos grupos do HS foram correlacionadas com as médias dos grupos do HN, para identificar as áreas com maior relação linear entre os hemisférios, ou seja, com variabilidade semelhante no que se refere à convecção. Assim, utiliza-se o coeficiente de correlação linear de Pearson, que é dado pela razão entre a covariância da amostra das duas variáveis (x e y) e o produto dos dois desvios-padrão (equação 9).

$$r = \frac{\text{Cov}(x,y)}{s_x s_y} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2} \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2}} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i' y_i')]}{\left[\sum_{i=1}^n (x_i')^2 \right]^{1/2} \left[\sum_{i=1}^n (y_i')^2 \right]^{1/2}} \quad (9)$$

As áreas com maiores correlações entre si identificadas no passo anterior foram consideradas como áreas antissimétricas para a aplicação do método de GCK (2016), sendo esta a última etapa do desenvolvimento desta pesquisa. Neste método fez-se inicialmente o cálculo da diferença das séries de médias espaciais de ROL entre as pêntadas do HS e sua respectiva região antissimétrica localizada no HN (equação 4). Feito isto, foram identificadas as pêntadas climatológicas de IEC e FEC para cada região da América do Sul e as datas de IEC e FEC foram encontradas para as regiões da BAC e do COB no período de 2001 a 2013 empregando a técnica de média móvel com três pêntadas, onde a terceira pêntada foi substituída pelo valor climatológico. O IEC (FEC) foi determinado pela primeira pêntada negativa (positiva) após uma sequência de pêntadas positivas (negativa).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Climatologia

A climatologia mensal dos dados de ROL para o período 1979-2013 é mostrada na Figura 6, na qual é possível observar o comportamento médio da convecção tanto na região tropical da América do Sul quanto na região tropical da América do Norte ao longo dos meses durante o ano. Os tons mais escuros indicam menores valores de ROL representando os topos frios das nuvens, característico de nuvens com grande desenvolvimento vertical (maior possibilidade de chuva).

Durante os meses de setembro a novembro é possível notar o início do desenvolvimento da convecção permanecendo com a máxima intensidade até fevereiro. Esses períodos da evolução são coerentes aos identificados por Vera et al. (2006). A direção noroeste-sudeste da evolução da atividade convectiva também pode ser notada na climatologia, assim como foi observada por Kousky (1988), Marengo et al. (2001), Gan et al. (2004) e Garcia e Kayano (2009; 2013). Do mesmo modo como foi observado por Vera et al. (2006), o enfraquecimento da convecção inicia-se no mês de março com o retraimento da convecção em direção à Amazônia no período entre outono e inverno. A evolução observada é característica do SMAS, onde o inverno é seco (convecção reduzida) e o verão é chuvoso (convecção intensificada).

No período de maio e junho, a convecção está concentrada principalmente na região de 10°N, devido à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e ao deslocamento para a América do Norte dando início ao SMAN, por isso sua posição nesta época está mais ao norte do equador, enquanto que as regiões Nordeste, Sudeste e COB não apresentam atividade convectiva estabelecendo a estação seca na América do Sul. A climatologia também mostra o máximo da convecção sobre a América do Norte durante os meses de julho a setembro, e a partir de outubro tem início o enfraquecimento e a migração em direção ao equador e à América do Sul. Todos estes padrões foram observados por Higgins et al. (1997) e relatados por Arias et al. (2015) e Vera et al. (2006).

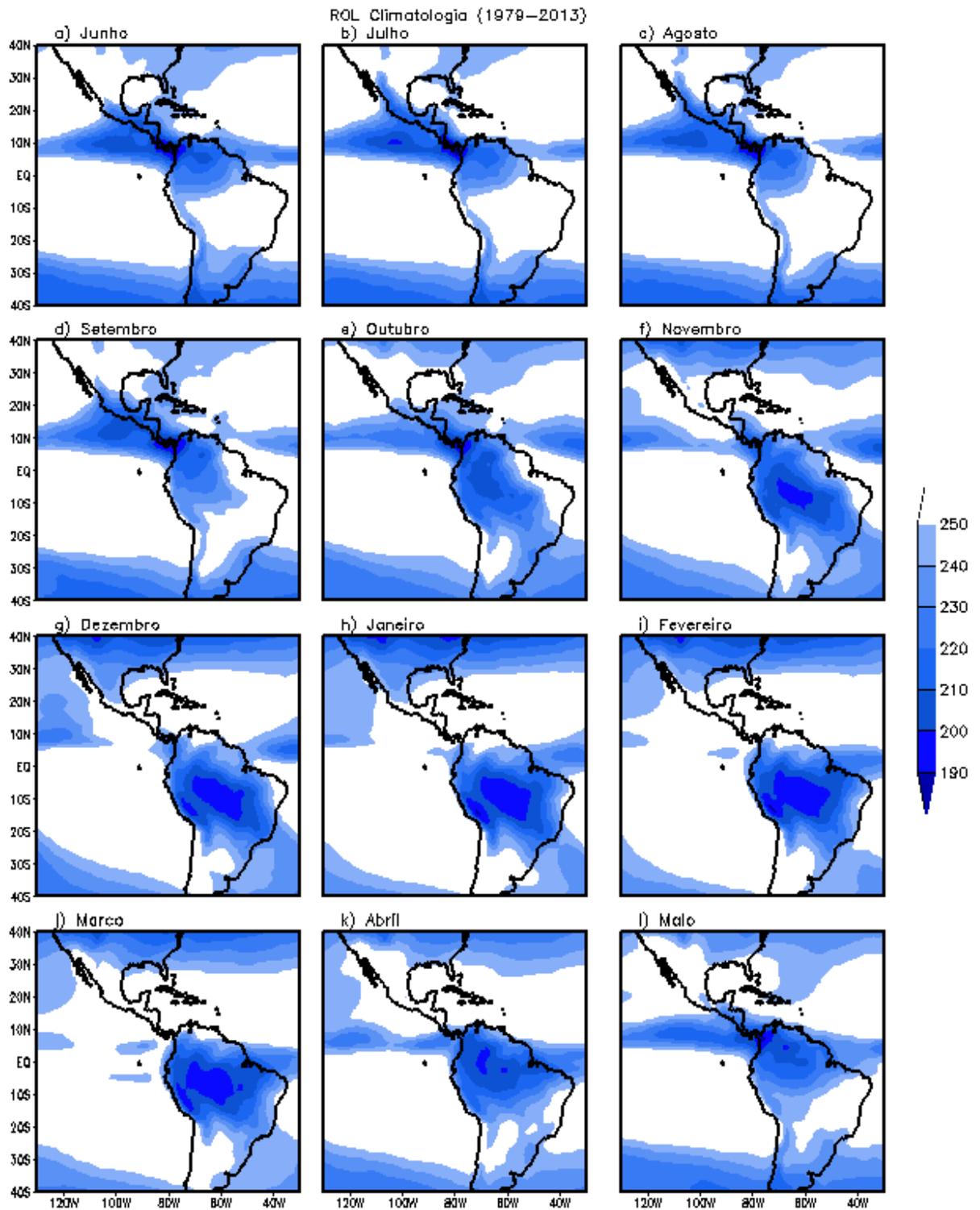
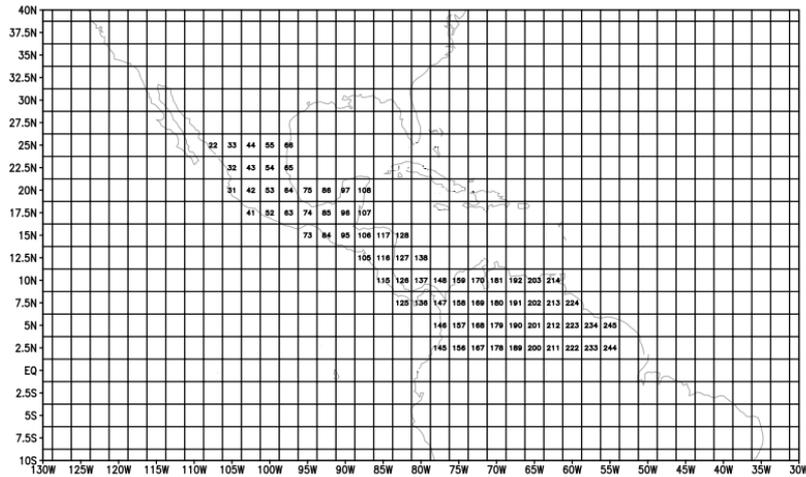


Figura 6- Climatologia mensal (1979-2013) de ROL sobre a região tropical da América do Sul.

3.2. Análise de cluster e correlação

A análise de agrupamento pelo método de Ward (1963) foi aplicada nas regiões selecionadas para a América do Sul e América do Norte como mostrado na Figura 7.

(a)



(b)

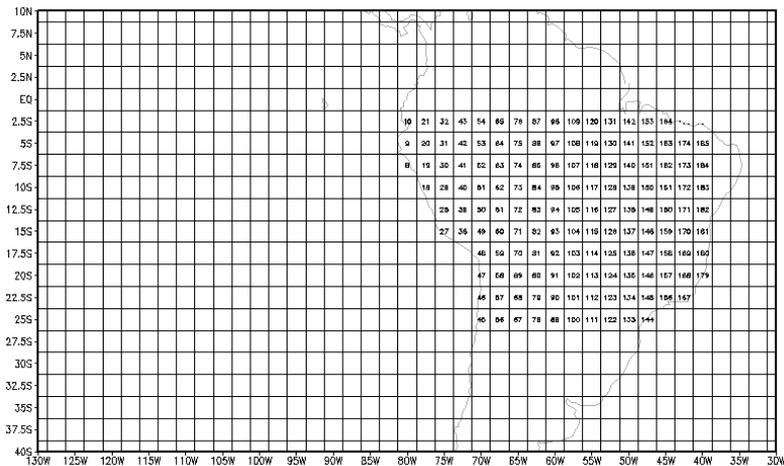


Figura 7- Pontos de grade (indicados pelos números) utilizados na análise de cluster da região para: (a) América do Sul e (b) América do Norte.

Os dendrogramas podem ser vistos nas Figuras 8 e 9, respectivamente, sendo possível observar todos os estágios e pontos agrupados. Para decidir quantos grupos seriam escolhidos, os “saltos” entre as etapas do agrupamento foram analisados e, assim, 6 *clusters* foram selecionados em cada dendrograma (indicados com retângulos vermelhos). Através da análise espacial, pode-se notar que a diminuição desses grupos faria com que a variabilidade aumentasse muito dentro dos grupos. Os grupos selecionados podem ser visualizados nas Figuras 10 e 11.

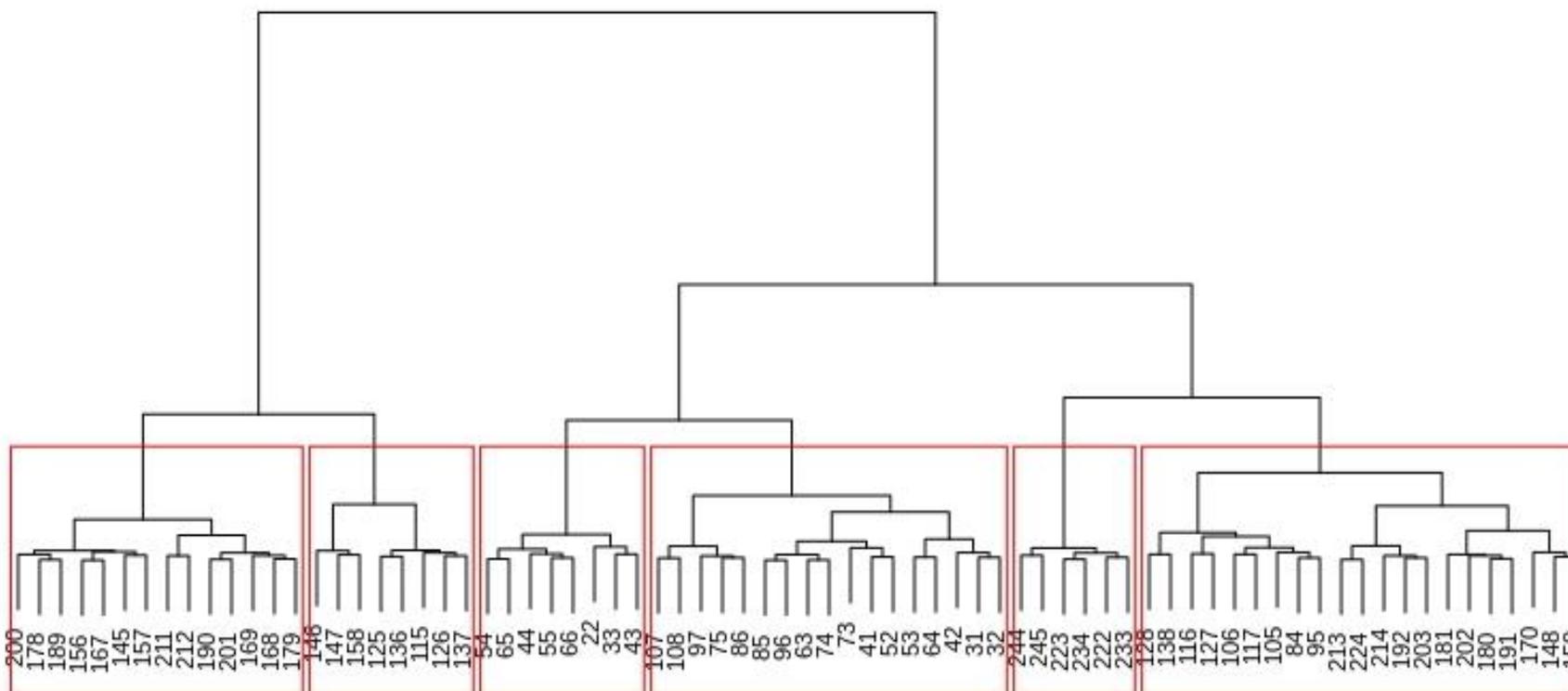


Figura 9- Dendrograma referente ao SMAN. Os valores indicam os pontos agrupados na análise de *cluster*, e os retângulos vermelhos mostram os grupos selecionados.

A seleção das áreas em ambos os hemisférios (Figuras 10 e 11) para o cálculo da correlação, seguida da aplicação do método de GCK (2016) foi baseada nos domínios de sistemas monçônicos definidos por Mohtadi et al. (2016) (Figura 12), em que tanto para a América do Norte como América do Sul todas as regiões selecionadas na análise de agrupamento, coincidem com as áreas de monção definidas por Mohtadi et al. (2016) exceto o *cluster* R6, sendo este excluído das análises. Os *clusters* pertencentes ao Hemisfério Norte assim como as áreas R1, R2 e R6 estão localizados em regiões mais estreitas do continente, o que contribui para uma característica zonal da convecção, em comparação aos grupos R3, R4 e R5 as quais apresentam uma distribuição meridional dos pontos.

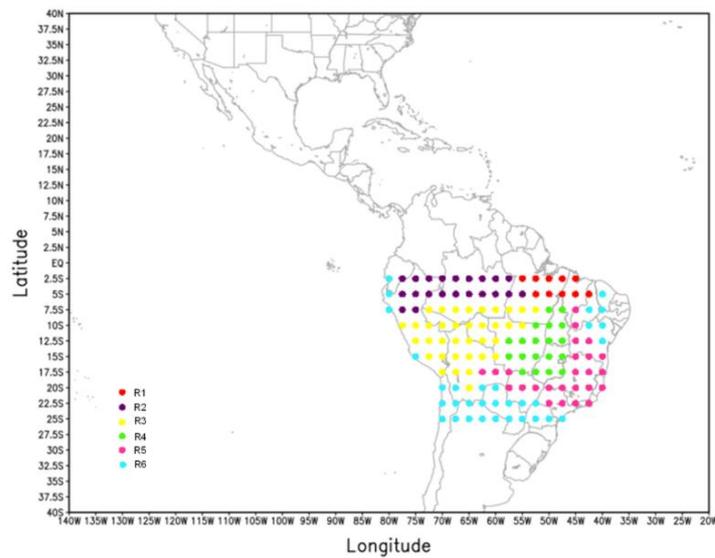


Figura 10- Grupos selecionados para o SMAS.

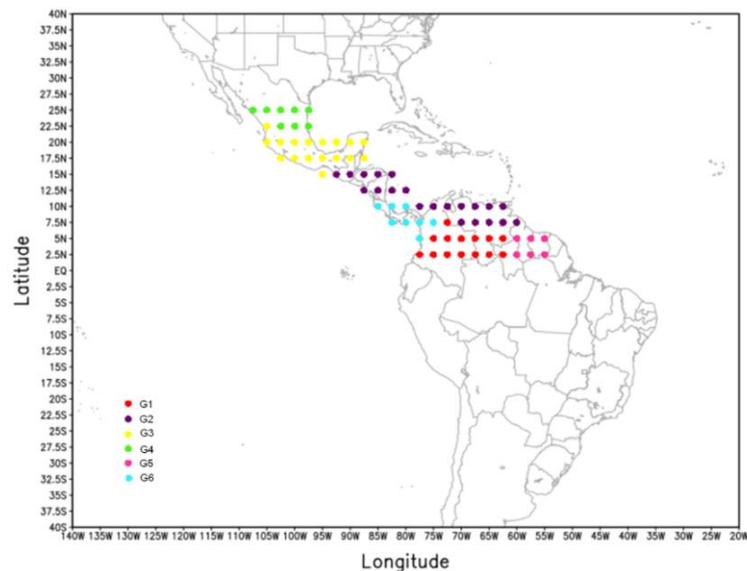


Figura 11- Grupos selecionados para o SMAN.

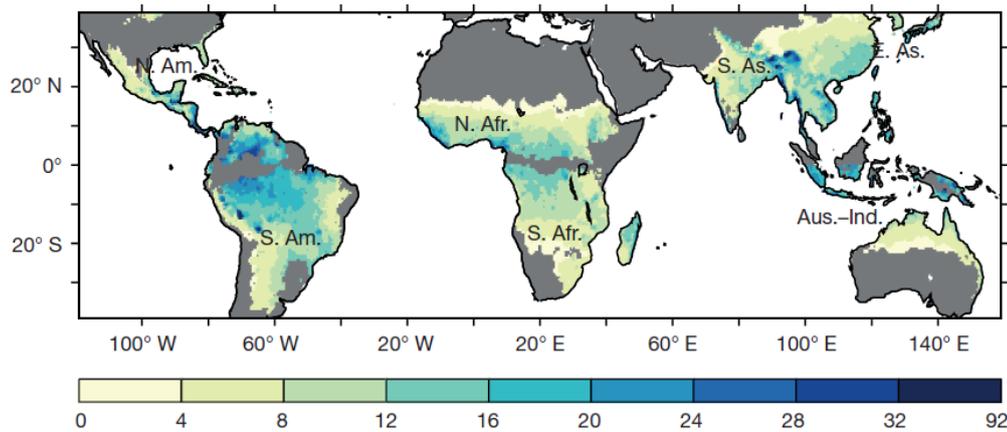


Figura 12- Domínios do sistema de monção definidos pela sazonalidade da precipitação, através da diferença de verão e inverno (cm mês^{-1}). Fonte: Mohtadi et al. (2016).

Assim, os grupos do HS foram correlacionados com os grupos do HN e tais valores podem ser vistos na Tabela 1. Em seguida, os maiores valores negativos foram escolhidos para considerar como regiões antissimétricas no método de GCK (2016). As correlações encontradas apresentaram predominantemente valores negativos indicando o ciclo anual da atividade convectiva associado ao SMAS e ao SMAN já encontrado anteriormente.

Tabela 1- Correlações entre grupos para determinação de áreas antissimétricas.

	G1	G2	G3	G4	G5	G6
R1	-0,23	-0,79	-0,82	-0,14	0,27	-0,80
R2	-0,09	-0,71	-0,79	-0,16	0,11	-0,71
R3	-0,39	-0,81	-0,75	0,00	-0,12	-0,81
R4	-0,45	-0,79	-0,70	0,03	-0,19	-0,78
R5	-0,50	-0,73	-0,60	0,09	-0,20	-0,72

Os valores positivos encontrados nas correlações de R4 e R5 com G4 são valores muito pequenos e podem ser considerados zero, ou seja, ausência de relação linear entre os grupos. De qualquer maneira, os valores de correlação de G4 com as regiões R1 e R2 são negativos, mas muito pequenos, o que faz com que tal região não seja inserida na análise como área no HN antissimétrica a nenhuma do HS. A região G4 é a de cor verde na Figura 11 e, observando a Figura 12, pode-se notar que a sazonalidade da precipitação realmente é menor nessa área, justificando assim as baixas correlações encontradas.

Já as correlações positivas das regiões R1 e R2 com o grupo G5 são devido à proximidade entre as áreas, ou seja, ambas estão situadas sobre a Amazônia, um pouco ao sul e um pouco ao norte do equador, respectivamente, indicando, assim, que tais regiões

apresentam similar variabilidade da atividade convectiva. A região G3 apresentou os maiores valores de correlação negativa com as áreas R1 e R2, do mesmo modo os grupos G2 e G6 correlacionaram melhor com os grupos R3, R4 e R5, sendo que, com G2, o valor da correlação foi um pouco maior. Assim, estabeleceu-se que G3 é área antissimétrica de R1 e de R2, enquanto que as áreas R3, R4 e R5 precisam ser testadas tanto com a área G2 quando com a área G6.

3.3. Início e fim da estação chuvosa

A Tabela 2 mostra a duração média das estações chuvosas e suas respectivas pântadas médias de IEC e FEC identificadas para cada *cluster* da América do Sul. Nota-se que as áreas R3, R4 e R5, nas quais o método de GCK (2016) foi aplicado, considerando G2 e G6 como áreas antissimétricas, apresentaram uma diferença de duração de 7 a 9 pântadas, ou seja, quando utilizou G2 como área antissimétrica de R3, R4 e R5 o IEC era antecipado e o FEC atrasava em comparação com G6 (Figura 13). Além disso, a correlação de G2 com tais áreas foram maiores do que quando G6 foi usada.

Tabela 2- Pântadas médias de IEC e FEC para todas as regiões selecionadas.

APLICAÇÃO	IEC	FEC	DURAÇÃO
R1-G3	61	30	42
R2-G3	55	33	51
R3-G2	58	25	40
R3-G6	64	23	32
R4-G2	59	23	37
R4-G6	65	20	28
R5-G2	62	21	32
R5-G6	67	19	25

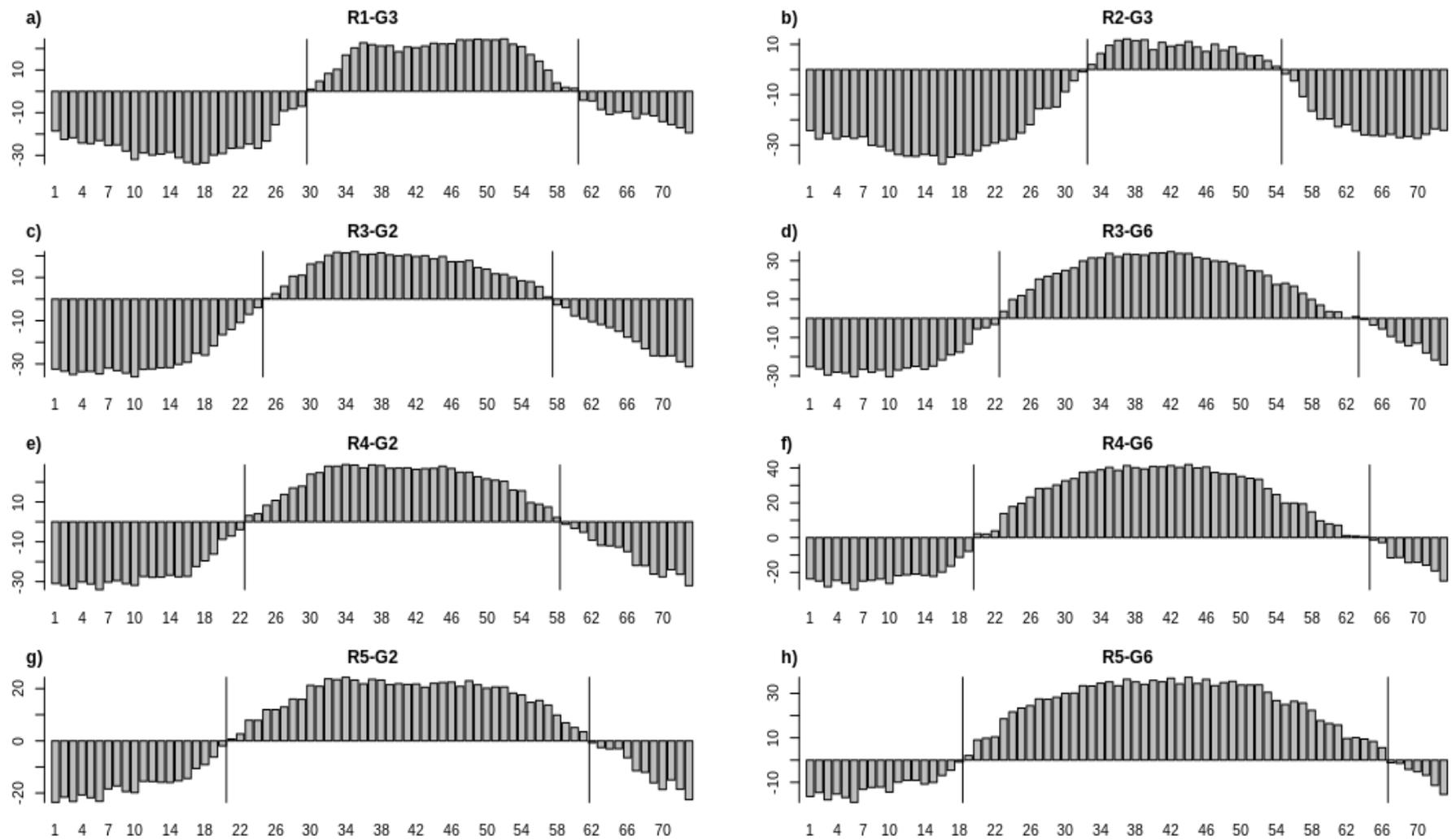


Figura 13- Pêntadas climatológicas de FEC (linha vertical à esquerda) e IEC (linha vertical à direita) para cada região da América do Sul identificada através do método de GCK (2016).

Através das pântadas climatológicas foi possível identificar a direção do fortalecimento e enfraquecimento da convecção de Noroeste-Sudeste, sendo esta característica do SMAS (KOUSKY, 1988; MARENGO et al., 2001; GAN et al., 2004). As datas de IEC marcam o aumento da convecção partindo das regiões R2 e R3 localizadas sobre a Bacia Amazônica, e se estendem para R4 situada no COB, por fim alcançam R5 a qual está sobre o a região Sudeste. Já o processo de enfraquecimento da convecção ocorre na mesma direção, porém no sentido oposto ao desenvolvimento do SMAS.

Para efeitos de comparação, as estações chuvosas do período de 2001 a 2013 foram encontradas (Tabela 3) e plotadas (Figura 14) para a região da BA e do COB, tendo em vista que em trabalhos anteriores Marengo et al. (2001) identificaram o IEC e FEC para a BA brasileira, Garcia e Kayano (2009) e GCK (2016) para BAC, enquanto que Gan et al. (2004), Garcia e Kayano (2013) e GCK (2016) determinaram as estações chuvosas para o COB. As séries temporais iniciam-se na pântada 37 do primeiro ano e se estendem até a pântada 36 do ano seguinte.

Tabela 3- Pântadas de IEC e FEC na BAC (R2-G3 e R3-G2) e no COB (R4-G2).

Estação	R2-G3		R3-G2		R4-G2	
	IEC	FEC	IEC	FEC	IEC	FEC
2001-2002	56	32	57	27	57	23
2002-2003	56	32	58	24	61	23
2003-2004	57	32	60	25	60	23
2004-2005	54	34	58	26	58	20
2005-2006	57	31	59	25	61	24
2006-2007	55	32	54	26	54	19
2007-2008	53	32	58	28	60	24
2008-2009	56	35	60	25	62	25
2009-2010	55	34	58	21	57	21
2010-2011	56	34	58	24	60	22
2011-2012	53	32	57	25	58	20
2012-2013	55	31	57	23	61	24
MÉDIA	55	33	58	25	59	22
DURAÇÃO	50		40		36	

Assim, nota-se em todas as estações chuvosas o mesmo padrão de evolução da convecção (Noroeste-Sudeste) que foi observado nas pântadas climatológicas. Ou seja, em média a convecção se inicia na região R2 na pântada 55 e se propaga na direção de R3 marcando seu início na pântada 58, por fim alcança o COB na pântada seguinte (59). Esta característica é facilmente perceptível nos gráficos de cada estação chuvosa (Figura 14). Verifica-se que em geral o FEC nas áreas R3 e R4 ocorrem em média de 8 a 11 pântadas antes da região R2. Mostrando que o período chuvoso na BA é mais persistente do que no COB, devido principalmente a uma maior disponibilidade de energia e umidade suficiente para favorecer a convecção em virtude de sua localização mais próxima ao equador (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998).

A data média de início do período chuvoso determinada nesse estudo para a BA (pântada 55 para R2 e 58 para R3) mostrou-se atrasada em relação aos trabalhos de Garcia e Kayano (2009), onde foi encontrada a pântada 53, GCK (2016), com a pântada 50 e ao de Marengo et al. (2001), sendo a pântada 54. Cabe ressaltar que essas pântadas encontradas aqui estão mais próximas da pântada 54 de Marengo et al. (2001), o qual usou dados de precipitação para encontrar tal pântada. Por outro lado, a pântada 33 que marca o FEC médio da região R2 se aproximou do método de Marengo et al. (2001) (pântada 31), já para R3 a pântada final média (pântada 25) foi coerente com a data de GCK (2016) (pântada 27).

Nota-se também que a estação chuvosa no COB possui, em média, duração de 36 pântadas, com início na pântada 59 e fim, em média, na pântada 22. Ambas as datas foram concordantes com o método de Gan et al. (2004), principalmente, tendo em vista que, no trabalho deles, as pântadas 58 e 22 foram encontradas para IEC e FEC, respectivamente. Em comparação aos trabalhos de Garcia e Kayano (2013) e GCK (2016) a data de início apresentou um atraso de duas pântadas, e a data final mostrou um atraso de 4 pântadas com relação ao trabalho mais atual, que identificou o FEC na pântada 26. Sendo assim, tem-se que, para esta região, o método aplicado nesse trabalho mostrou datas de IEC e FEC mais próximas aos trabalhos anteriores do que para a região Amazônica, pois a região do COB utilizada neste estudo apresentou uma área similar à utilizada nos estudos anteriores, mas com um leve deslocamento para leste, enquanto que a região da BA utilizada neste estudo possui uma área maior que a da BAC.

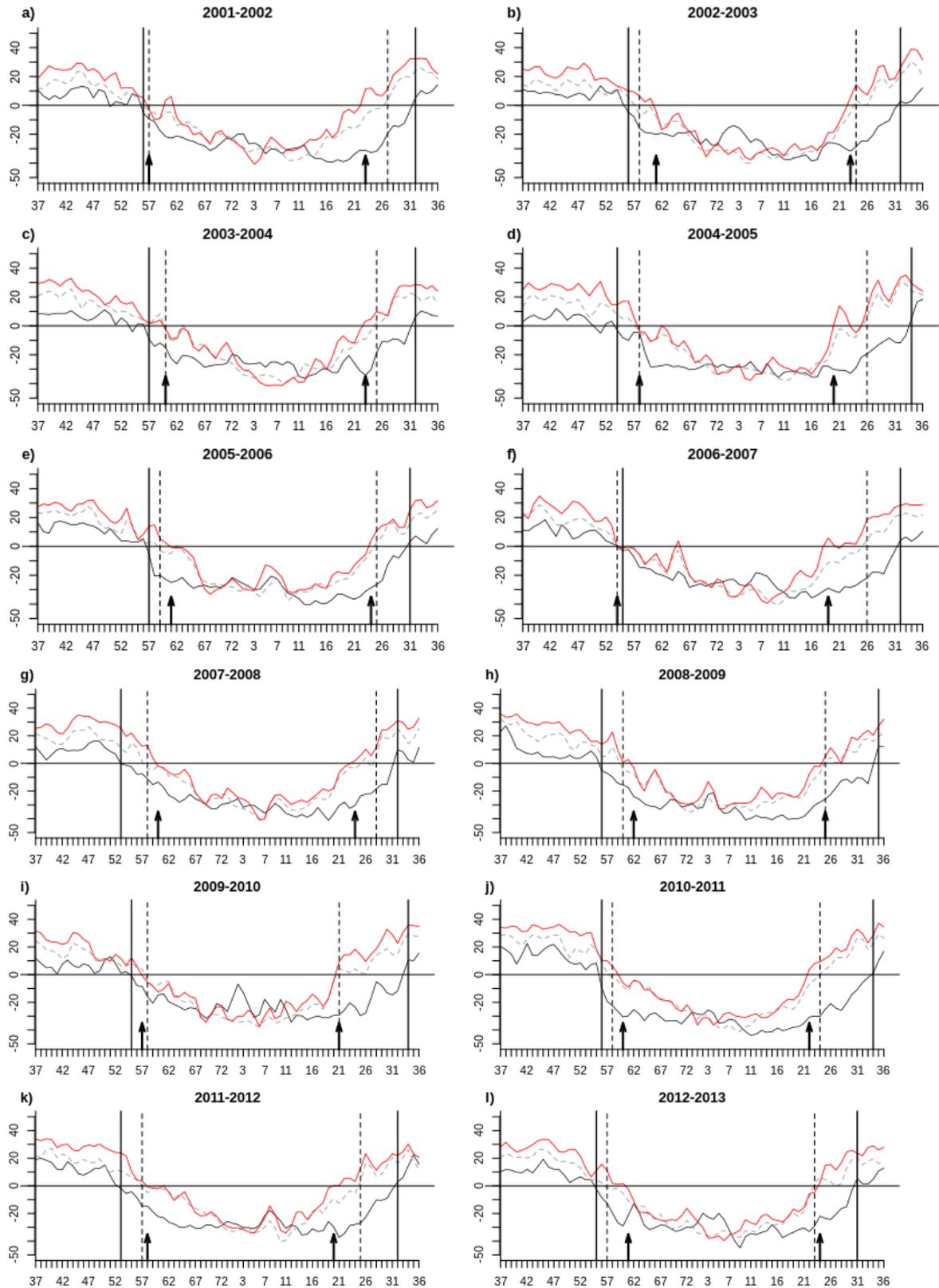


Figura 14- Estações chuvosas do período de 2001-2013 para a região da BAC representadas pelas regiões R2 (linha preta contínua) e R3 (linha cinza pontilhada), e para o COB (linha vermelha contínua). As linhas verticais contínuas e pontilhadas e as setas verticais indicam o IEC e FEC das regiões R2, R3 e R4 respectivamente.

4. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi aprimorar o método de Garcia, Calheiros e Kayano (2016), referenciado por GCK (2016) com relação à escolha da melhor área antissimétrica para determinar com mais eficiências e qualidade as datas de IEC e FEC. Para isto foram feitas análises climatológicas e de agrupamento dos dados de ROL nas regiões da América do Sul e da América do Norte, com o intuito de analisar o comportamento temporal e espacial da convecção. Observou-se que a evolução da atividade convectiva na América do Sul inicia-se sobre a região Amazônica no mês de setembro, atingindo seu máximo em janeiro e fevereiro abrangendo toda região Norte, Centro-Oeste e Sudeste, caracterizando o SMAS. De maneira análoga foi observado o ciclo do SMAN, a qual apresentou a mesma direção de propagação da América do Sul, mas em sentido oposto. Seu estágio inicial ocorre nos meses de abril e maio, com máxima atividade convectiva no período de julho a setembro.

Com a análise de agrupamento, seis grupos similares no que se refere à convecção foram encontrados para ambos os hemisférios. Através dos cálculos de correlação linear de Pearson, foram selecionadas áreas com maiores valores negativos de correlação entre os hemisférios. Logo, a região G3 do SMAN foi associada às regiões R1 e R2 do SMAS, assim como as regiões G2 e G6 foram associadas às regiões R3, R4 e R5, em virtude também dos altos valores de correlação entre si. Sendo assim, o método de GCK (2016) foi aplicado para todas essas regiões, sendo que uma ênfase foi dada às estações chuvosas da BAC e COB, tendo em vista que tais regiões já foram utilizadas em vários trabalhos anteriores.

Em geral, as datas de IEC e FEC determinadas neste trabalho para o COB se aproximaram muito das datas determinadas por Garcia e Kayano (2013), GCK (2016) e Gan et al. (2004). Enquanto que para a BAC as datas médias de início do período chuvoso (pêntadas médias de R2 e R3) concordaram com os métodos de Garcia e Kayano (2009) e Marengo et al. (2001), já o FEC de R2 se aproximou do método de Marengo et al. (2001), e, para R3, foi diferente do método de GCK (2016) em uma pêntada.

Portanto a utilização da técnica de agrupamento mostrou-se eficiente para a aplicação do método de GCK (2016), pois as datas identificadas foram coerentes com datas determinadas em trabalhos anteriores, visto que os métodos de Garcia e Kayano (2009, 2013) e GCK (2016) se basearam em dados de ROL, e Marengo et al. (2001) e Gan et al. (2004) aplicaram suas respectivas técnicas com dados de precipitação. Ou seja, as datas determinadas

neste trabalho quando comparadas com técnicas fundamentadas com dados de precipitação apresentaram alta proximidade, evidenciando a relação entre ROL e precipitação. Logo, o objetivo deste trabalho foi atingido, ao aprimorar o método em relação à escolha da área antissimétrica, não sendo mais de maneira empírica como em Garcia e Kayano (2009; 2013), GCK (2016) e Santos e Garcia (2016). Assim, com a realização deste estudo espera-se ter contribuído frente à sociedade científica e aos centros de previsão de tempo e clima no que se refere a um maior conhecimento sobre a detecção das datas de IEC e FEC na região do SMAS.

5. REFERÊNCIAS

- ADAMS, D. K.; COMRIE, A. C. The North American Monsoon. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 70, p. 2197-2214, Oct. 1997.
- ARIAS, P. A.; FU, R.; VERA, C.; ROJAS, M. A correlated shortening of the North and South American monsoon seasons in the past few decades. **Climate Dynamics**, v. 45, p. 3183–3203, Dec. 2015.
- FISCHI, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma Revisão Geral sobre o Clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n.2, p. 101-126, 1998.
- 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, p. 47-66, Jan. 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, p. 361-372, Aug. 2009;
- GARCIA, S. R.; KAYANO, M. T. Some considerations on onset dates of the rainy season in Western- Central Brazil with antisymmetric outgoing longwave radiation relative to the equator. **International Journal of Climatology**, v. 33, p. 188-198, Jan. 2013.
- GARCIA, S. R.; CALHEIROS, A. J. P.; KAYANO, M. T. Revised method to detect the onset and demise dates of the rainy season in the South American Monsoon areas. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 126, p. 481–491, Nov. 2016.
- HEDDINGHAUS, T. R.; KRUEGER, A. F. Annual and interannual variations in outgoing longwave radiation over the tropics. **Monthly Weather Review**, v. 109, p. 1208-1218, Feb. 1981.
- HIGGINS, R. W.; CHEN, Y.; DOUGLAS, A. V. Interannual Variability of the North American Warm Season Precipitation Regime. **Journal of Climate**, v. 12, p. 653-680, Mar. 1999.
- HIGGINS, R. W.; YAO, Y.; WANG, X. L. Influence of the North American Monsoon System on the U.S. Summer Precipitation Regime. **Journal of Climate**, v. 10, p. 2600-2622, Oct. 1997.
- HOREL, J. D.; HAHMANN, A. N.; GEISLERL, J. E. An investigation of the Annual Cycle of Convective Activity over the Tropical Americas. **Journal of Climate**, v. 2, p. 1388-1403, Nov. 1989.
- KODAMA, Y. Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of Subtropical Frontal Zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 70, n. 4, p. 813-835, Aug. 1992;

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, p. 217-231, June 1988.

LENTERS, J. D.; COOK, K. H. Simulation and diagnosis of the regional summertime precipitation climatology of South America. **Journal of Climate**, v. 8, p. 2988-3005, Dec. 1995.

LIEBMANN, B.; CAMARGO, S. J.; SETH, A.; MARENGO, J. A.; CARVALHO, L. M. A.; ALLURED, D.; FU, R.; VERA, C. S. Onset and end of the rainy season in South America in observations and the ECHAM 4.5 atmospheric general circulation model. **Journal of Climate**, v. 20, n. 10, p. 2037-2050, May 2007.

LIEBMANN, B.; HARTMANN, D. L. Interannual variations of outgoing IR associated with tropical circulation changes during 1974–78. **American Meteorological Society**, v. 39, p. 1153-1162, May 1982.

LIEBMANN, B.; MARENGO, J. A. Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, n. 22, p. 4308-4318, Nov. 2001.

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

MATSUMOTO, J.; MURAKAMI, T. Seasonal migration of monsoons between the Northern and Southern hemisphere as revealed from equatorially symmetric and asymmetric OLR data. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 80, n. 3, p. 419-437, 2002.

MECHOSO, C. R.; ROBERTSON, A. W.; ROPELEWSKI, C. F.; GRIMM, A. M. The American Monsoon Systems: an Introduction. **World Meteorological Organization**, n. 70, p. 197-206, 2005.

MINGOTI, SUELI APARECIDA. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada, uma abordagem aplicada**. 2 impr. Belo Horizonte: Editora UFMG,2013.

MOHTADI, M.; PRANGE, M.; STEINKE, S. Palaeoclimatic insights into forcing and response of monsoon Rainfall. **Nature**, v. 533, p. 191-199, May 2016.

MURAKAMI, T.; NAKAZAWA, T. Transition from the southern to northern hemisphere summer monsoon. **Monthly Weather Review**, v. 113, p. 1470–1486, Sep. 1985.

SANTOS, L.F.; GARCIA, S.R. Início e Fim da Estação Chuvosa no estado de Minas Gerais: comparação de duas metodologias diferentes. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 92-104, Mar. 2016

STENSRUD, D. J.; GALL, R. L.; MULLEN, S. L.; HOWARD, K. W. Model Climatology of the Mexican Monsoon. **Journal of Climate**, v. 8, n. 7, p. 1775-1794, July 1995.

VERA, C.; HIGGINS, W.; AMADOR, J.; AMBRIZZI, T.; GARREAUD, R.; GOCHIS, D.; GUTZLER, D.; LETTENMAIER, D.; MARENGO, J.; MECHOSO, C. R.; NOGUES-

PAEGLE, J.; DIAS, P. L. S.; ZHANG, C. Toward a Unified View of the American Monsoon Systems. **Journal of Climate**, special section, V.19, P. 4977-5000, Oct. 2006.

WANG, H.; FU, R. Cross-Equatorial Flow and Seasonal Cycle of Precipitation over South America. **Journal of Climate**, V.15, P. 1591-1608, July 2002.

WILKS, DANIEL S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. San Diego: Elsevier, 2006.

ZHOU, J. Y.; LAU, K. M. Does a monsoon climate exist over South America? **Journal of Climate**, v. 11, n. 05, p. 1020-1040, May 1998.