

Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Ciências Atmosféricas

Luana Albertani Pampuch

**Características Sinóticas e Dinâmicas de
Períodos Extremos Secos sobre o Sudeste do
Brasil e sua Relação com a TSM do Atlântico
Sul**

São Paulo

2014

Luana Albertani Pampuch

**Características Sinóticas e Dinâmicas de
Períodos Extremos Secos sobre o Sudeste do
Brasil e sua Relação com a TSM do Atlântico
Sul**

Tese apresentada ao Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Meteorologia

Orientador: Prof. Dr. Tércio Ambrizzi

Versão Corrigida. O original encontra-se disponível na Unidade.

São Paulo

2014

Aos meus pais, Valdir Pampuch e Ana Luiza Rosa Albertani, com amor, admiração e gratidão pelo incentivo, compreensão e apoio sempre.

Agradecimentos

Ao professor Dr. Tércio Ambrizzi pela orientação, confiança, incentivo e paciência para a realização deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro através dos processos 2011/08191-4 e 2012/14316-7 (BEPE), sem o qual não seria possível a realização do projeto.

Ao Dr. Luis Gimeno pela orientação durante o estágio sanduiche na Universidade de Vigo – Campus Ourense e que possibilitou o uso do modelo FLEXPART.

À professora Dra. Rosmeri Porfírio da Rocha pelo auxílio na parte de modelagem climática e pelas discussões que ajudaram na conclusão do trabalho.

Ao Dr. Brant Liebmann pela disponibilização dos dados diários de precipitação.

Ao Dr. Moncho Gesteira e Dr. Fran Santos da Universidade de Vigo pela disponibilização dos dados de temperatura da superfície do mar.

À todos os integrantes do grupo EPHYSLAB (Environmental Physics Laboratory) da Universidade de Vigo Campus Ourense pelo suporte durante o estágio sanduiche.

Ao Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) do Instituto de Controle do Espaço Aéreo - ICEA por disponibilizar dados de METAR para as cidades de São Paulo e Porto Alegre.

Aos integrantes do GrEC/ USP (Grupo de Estudos Climáticos) pelas discussões climáticas mensais que ajudaram no aprendizado de diversos tópicos de climatologia.

Aos funcionários do IAG, em especial Ana Carolina, Elisabete Flores, Sonia Alonso, Djalma, Samuel e Sebastião que sempre me atenderam e deram suporte quando precisei.

Aos amigos Cristiano Prestrelo, Fabiani Bender, Luiz Felipe Gozzo, Natália Pillar, Francisco das Chagas Vasconcelos Júnior, Ana Carolina Nóbile Tomaziello, Nadiara Pereira e Maria Custódio por todas as discussões que sempre ajudaram na realização deste trabalho, mas principalmente pelo apoio diário, incentivo, carinho e amizade que me ajudaram em sua conclusão.

À Dra. Anita Drumond pela amizade conquistada durante o doutorado sanduiche e pelo apoio na pesquisa.

À Dra. Simone Erotildes Teleginski Ferraz pela orientação desde a graduação e o incentivo em continuar meus estudos e pela ajuda sempre que necessário.

Aos meus amigos de Santa Maria – RS que mesmo de longe me incentivaram e apoiaram.

Ao meu noivo Cassiano Bortolozo por todo amor, carinho, compreensão, paciência e incentivo em todos os momentos dessa jornada e que sempre me fez acreditar que eu conseguiria.

Aos meus pais, Valdir Pampuch e Ana Luiza Albertani, ao meu irmão Erick Albertani Pampuch e a minha madrinha, Maria Cristina Rosa Albertani por estarem sempre ao meu lado em todos os momentos da minha vida, por me apoiarem, me incentivarem e fazerem de tudo para eu realizar mais este sonho.

“O mundo não é um mar de rosas, é um lugar sujo, um lugar cruel, que não quer saber o quanto você é durão. Vai botar você de joelhos e você vai ficar de joelhos para sempre se você deixar.

Você, eu, ninguém vai bater tão forte como a vida, mas não se trata de bater forte. Se trata de quanto você aguenta apanhar e seguir em frente, o quanto você é capaz de aguentar e continuar tentando. É assim que se consegue vencer.

Agora se você sabe do teu valor, então vá atrás do que você merece, mas tem que estar preparado para apanhar. E nada de apontar dedos, dizer que você não consegue por causa dele ou dela, ou de quem quer que seja. Só covardes fazem isso e você não é covarde, você é melhor que isso”.

Rocky Balboa

RESUMO

PAMPUCH, L. A., 2014: **Características Sinóticas e Dinâmicas de Períodos Extremos Secos sobre o Sudeste do Brasil e sua Relação com a TSM do Atlântico Sul.** 184f. Tese (Doutorado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

A relação de eventos extremos secos no sudeste do Brasil (SB) que ocorrem nas estações de outono, inverno e primavera e anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Atlântico Sul (OAS) ainda não é bem entendida. Neste estudo, datas de eventos extremos secos para cinco regiões homogêneas em relação à precipitação no SB foram determinadas para o período de 1982 a 2009 nas estações de inverno e de transição e as características sinóticas e dinâmicas destes períodos foram investigadas através da análise de anomalias de TSM, regiões fontes de umidade para o sudeste do Brasil, comportamento das frentes frias na América do Sul e posicionamento da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). O inverno foi a estação que registrou maior número de eventos secos, seguido do outono e da primavera. As regiões localizadas na porção norte do SB foram as que apresentaram o maior número de eventos, sendo estes também os mais longos (chegando a 117 dias). As regiões na porção sul do SB foram caracterizadas por menos eventos, sendo estes também mais curtos (máximo de 30 dias). A região localizada no centro da região SB se caracterizou por ser uma região de transição. Para o período de ocorrência destes eventos foi construído um modelo conceitual dos padrões sinóticos e dinâmicos. Quando ocorrem estes eventos um padrão tipo tripolo (negativo/positivo/negativo) é visto para as anomalias de TSM no OAS, aumento das fontes de umidade próximo do gradiente de TSM ao norte (negativo ao norte e positivo ao sul) e uma diminuição destas fontes no OAS próximo ao sul e nordeste do Brasil. A ASAS se apresenta posicionada próxima do continente, o que impede a progressão normal dos sistemas frontais para latitudes mais ao norte, sendo estes sistemas registrados em menor número sobre o sudeste do Brasil e em maior número sobre o sul do continente. Para as duas regiões homogêneas do sudeste localizadas mais ao norte, a característica do modelo conceitual se apresenta deslocado para norte e a ASAS parece não influenciar estes eventos. O padrão de TSM encontrado observacionalmente foi testado em simulações numéricas com o modelo climático regional RegCM4.3, em que a mudança na TSM representando o padrão de tripolo no OAS foi utilizado para investigar as mudanças na precipitação, padrões de circulação e no comportamento dos eventos secos e frentes frias na América do Sul. Os experimentos numéricos confirmaram o estudo observacional.

Palavras chave: eventos extremos secos de precipitação, Oceano Atlântico Sul.

ABSTRACT

PAMPUCH, L. A., 2014: **Synoptic and Dynamics Characteristics of Extreme Dry Periods over Southeast Brazil and its Relation to the South Atlantic Ocean SST**. 184pp. Tese (Doutorado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

The relationship between extreme dry events in southeastern Brazil (SB) that occur in autumn, winter and spring and Sea Surface Temperature (SST) anomalies in the South Atlantic Ocean (SAO) is still not well understood. In this study, dates of extreme dry events for five precipitation homogeneous regions in SB were determined for the period 1982-2009 in the winter and transition seasons for Southern Hemisphere and synoptic and dynamic characteristics of these periods were investigated analyzing SST anomalies, sources of moisture regions to the SB, behavior of cold fronts in South America and positioning of South Atlantic Subtropical High (SASH). The winter was the station that recorded the highest number of dry events, followed by autumn and spring. Regions located in the north portion of the SB registered the highest number of events, which are also the longest (up to 117 days). The regions in the southern portion of the SB were characterized by fewer events, being also shorter (maximum 30 days). The region located on the center of SB was characterized as a region of transition. For the period of occurrence of these events a conceptual model of the synoptic and dynamic patterns was built. When these events occur, a tripole pattern (negative/positive/negative) of SST anomalies appears in the SAO, an increase in moisture sources occurs close to the north SST gradient (negative to the north and positive to the south) and a decrease in these sources occurs in SAO closed to South and Northeast of Brazil. The SASH is located close to the continent, which prevents the normal progression of frontal systems to northern latitudes, reducing the number of these systems in SB. The cold fronts tend to be concentrated in the southern part of South America. For the two homogeneous regions in SB that are located further north, the characteristic features of the conceptual model are shifted to the north and the ASAS does not influence these events. The pattern for SST obtained observationally was tested in numerical simulations with the regional climate model RegCM4.3, in which the change in SST representing the tripole pattern in SAO was inserted as lateral boundary condition and used to investigate changes in precipitation and circulation patterns, behavior of cold fronts and dry events in South America. The numerical experiments confirmed the observational study.

Keywords: extreme dry precipitation events, South Atlantic Ocean.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Climatologia da precipitação acumulada (mm) para o sudeste do Brasil em (a) MAM; (b) JJA e (c) SON para o período de 1982 a 2009 (regiões em branco indicam dados faltantes).....	13
Figura 2.2: Estações que possuem 100% dos dados no período de 1979 a 2009 e que foram utilizadas no estudo (89 estações).....	14
Figura 2.3: (a) Dendograma da Análise Hierárquica com Método de Ward para dados de precipitação no sudeste do Brasil; (b) Distância Euclidiana nos estágios de agrupamento, com as quebras indicadas; (c) Distribuição espacial das regiões homogêneas de precipitação no sudeste do Brasil.....	18
Figura 2.4: Série média de precipitação diária (mm) de 01/01/1982 a 30/11/2009) para (a) Região R1 (b) Região R2 (c) Região R3 (d) Região R4 (e) Região R5.....	19
Figura 2.5: Método dos Percentis Variáveis para as regiões R1, R2, R3, R4 e R5 homogêneas no sudeste do Brasil em que: (a-e) Séries de precipitação média diária para a região (preto) em mm/dia e de percentis variáveis (vermelho); (f-j) Dias em que a precipitação média diária para a região ficou abaixo do limiar do percentil de 20% (secas identificadas)..	22
Figura 2.6: Método dos Dias Consecutivos Secos no ano de 1982 para as regiões (a) R1; (b) R2; (c) R3, (d) R4 e (e) R5 homogêneas no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.....	25
Figura 2.7: Histograma da duração dos eventos secos para (a) Região R1 (b) Região R2 (c) Região R3 (d) Região R4 (e) Região R5.....	29
Figura 2.8: Número de ocorrência de eventos extremos secos por ano, de 1982 a 2009 para (a) Região R1 (b) Região R2 (c) Região R3 (d) Região R4 (e) Região R5.....	30
Figura 2.9: Média das anomalias de precipitação (mm) para os eventos extremos secos no sudeste do Brasil ocorridos no outono em (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5.....	32
Figura 2.10: Média das anomalias de precipitação (mm) para os eventos extremos secos no sudeste do Brasil ocorridos no inverno em (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5.....	33
Figura 2.11: Média das anomalias de precipitação (mm) para os eventos extremos secos no sudeste do Brasil ocorridos na primavera em (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5.....	34

Figura 3.1: Estações com a série de dados acumulados de precipitação mensais completas no período de 1982 a 2009 e utilizadas para o cálculo do SVD.....	42
Figura 3.2: Composição das anomalias de TSM para os períodos dos eventos extremos secos no período de 1982 a 2009 no outono em (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5. Regiões com pontos em tom de cinza apresentam significância estatística de 90%.	45
Figura 3.3: 1° Modo do SVD para anomalia de TSM e precipitação para o outono representando 46.49% da variabilidade (a) padrão espacial da precipitação; (b) padrão espacial da TSM; (c) correlação heterogênea da precipitação; (d) correlação heterogênea da TSM; (e) coeficientes de expansão normalizados da precipitação (preto) e TSM (vermelho). Regiões com pontos (X) em cinza na correlação heterogênea da TSM (precipitação) apresentam significância estatística de 90%.....	46
Figura 3.4: Composição das anomalias de TSM para os períodos dos eventos extremos secos no período de 1982 a 2009 no inverno em (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5. Regiões com pontos em tom de cinza apresentam significância estatística de 90%.	48
Figura 3.5: 2° Modo do SVD para anomalia de TSM e precipitação para o inverno representando 9.41% da variabilidade (a) padrão espacial da precipitação; (b) padrão espacial da TSM; (c) correlação heterogênea da precipitação; (d) correlação heterogênea da TSM; (e) coeficientes de expansão normalizados da precipitação (preto) e TSM (vermelho). Regiões com pontos (X) em cinza na correlação heterogênea da TSM (precipitação) apresentam significância estatística de 90%.....	49
Figura 3.6: Composição das anomalias de TSM para os períodos dos eventos extremos secos no período de 1982 a 2009 na primavera em (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5. Regiões com pontos em tom de cinza apresentam significância estatística de 90%.	51
Figura 3.7: 1° Modo do SVD para anomalia de TSM e precipitação para a primavera representando 31.6% da variabilidade (a) padrão espacial da precipitação; (b) padrão espacial da TSM; (c) correlação heterogênea da precipitação; (d) correlação heterogênea da TSM; (e) coeficientes de expansão normalizados da precipitação (preto) e TSM (vermelho). Regiões com pontos (X) em cinza na correlação heterogênea da TSM (precipitação) apresentam significância estatística de 90%.....	52
Figura 3.8: Resumo do padrão das anomalias de TSM encontrados para os eventos extremos secos que ocorreram nas regiões (a-c)R1; (d-f) R2; (g-i)R3; (j-l)R4 e (m-o) R5 para outono (coluna da esquerda), inverno (coluna central) e primavera (coluna da direita).	54

Figura 4.1: Média sazonal (outono – primeira coluna, inverno- segunda coluna e primavera – terceira coluna) de $(E - P)$ em mm/dia para o rastreamento “backward” integrado por 10 dias para (a-c) R1; (d-f) R2; (g-i) R3; (j-l) R4; (m-o) R5. Regiões em vermelho indicam regiões fontes e em azul, sumidouros de umidade.	59
Figura 4.2: Média sazonal do fluxo de umidade integrado na vertical em $Kg/m/s$ (vetores) e divergência do fluxo de umidade em mm/dia (colorido), (a) no outono; (b) no inverno; (c) na primavera. Regiões em vermelho indicam regiões fontes e em azul, sumidouros de umidade.	61
Figura 4.3: Composição das anomalias de fontes de umidade ($E - P > 0$) em mm/dia para as datas dos eventos extremos secos ocorridos no outono (primeira coluna), inverno (segunda coluna) e primavera (terceira coluna) para o rastreamento “backward” integrado por 10 dias nas regiões (a-c) R1; (d-f) R2; (g-i) R3; (j-l) R4; (m-o) R5.	64
Figura 4.4: Composição das anomalias de fluxo de umidade integrado na vertical em $Kg/m/s$ (vetores) e divergência do fluxo de umidade em mm/dia (colorido) para as datas dos eventos extremos secos ocorridos no outono (primeira coluna), inverno (segunda coluna) e primavera (terceira coluna) em (a-c) R1; (d-f) R2; (g-i) R3; (j-l) R4; (m-o) R5.....	65
Figura 4.5: Resumo do padrão das anomalias de fonte de umidade encontrados para os eventos extremos secos que ocorreram nas regiões (a-c)R1; (d-f) R2; (g-i)R3; (j-l)R4 e (m-o) R5 para outono (coluna da esquerda), inverno (coluna central) e primavera (coluna da direita).....	68
Figura 5.1: Localização espacial das caixas 19 com resolução espacial de $3^{\circ} \times 3$, selecionadas para o rastreio de sistemas frontais.....	71
Figura 5.2: Número médio de passagem de sistemas frontais no período de 1982 a 2009 (a) anual; (b) no outono; (c) no inverno; (d) na primavera.....	73
Figura 5.3: Rastreio de frentes frias baseados na queda da temperatura em 925hPa, mudança na direção do vento meridional em 925hPa e aumento na pressão a nível médio do mar, para abril de 2005, (a) no litoral; (b) no interior; (c) no centro do continente.	75
Figura 5.4: Rastreio dos sistemas frontais realizado pelo CPTEC/INPE em abril de 2005, (a) no litoral; (b) no interior; (c) no centro do continente. Fonte: CPTEC/INPE.	76
Figura 5.5: Mudança no número de sistemas frontais ($\times 10 - 2$ frentes/dia) para as datas dos eventos extremos secos ocorridos no outono para a região (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5.	78

Figura 5.6: Mudança no número de sistemas frontais ($\times 10 - 2$ frentes/dia) para as datas dos eventos extremos secos ocorridos no inverno para a região (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5.....	79
Figura 5.7: Mudança no número de sistemas frontais ($\times 10 - 2$ frentes/dia) para as datas dos eventos extremos secos ocorridos na primavera para a região (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5.....	80
Figura 6.1: Área de rastreamento da ASAS (linhas em preto) e regiões definidas para sua localização através da Técnica do Vizinho mais Próximo (Similar ao trabalho de Degola, 2013).....	85
Figura 6.2: Climatologia (1982- 2009) de pressão ao nível médio do mar (colorido), vento em 925hPa (setas), caixa utilizada para o rastreamento da ASAS (linha preta) e posicionamento da ASAS (ponto preto) no (a) outono; (b) inverno; (c) primavera.....	89
Figura 6.3: Média da pressão ao nível médio do mar (colorido), vento em 925hPa (setas) e posicionamento da ASAS (ponto preto) para a data dos eventos extremos secos ocorridos no outono em (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5. Em (f) é mostrado o posicionamento da ASAS encontrado em (a-f) para cada região, juntamente com a posição climatológica (C). A caixa utilizada para o rastreamento da ASAS é representada na linha preta.	90
Figura 6.4: Média da pressão ao nível médio do mar (colorido), vento em 925hPa (setas) e posicionamento da ASAS (ponto preto) para a data dos eventos extremos secos ocorridos no inverno em (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5. Em (f) é mostrado o posicionamento da ASAS encontrado em (a-f) para cada região, juntamente com a posição climatológica (C). A caixa utilizada para o rastreamento da ASAS é representada na linha preta.	91
Figura 6.5: Média da pressão ao nível médio do mar (colorido), vento em 925hPa (setas) e posicionamento da ASAS (ponto preto) para a data dos eventos extremos secos ocorridos na primavera em (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5. Em (f) é mostrado o posicionamento da ASAS encontrado em (a-f) para cada região, juntamente com a posição climatológica (C). A caixa utilizada para o rastreamento da ASAS é representada na linha preta.	92
Figura 7.1: Domínio das simulações numéricas utilizadas neste estudo (linha preta) e topografia (m) da área simulada.	100

Figura 7.2: Mudança de TSM realizada para o experimento climático (valores adicionados a climatologia).....	102
Figura 7.3: BIAS para a precipitação (mm) em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento CTRL para 2003.	105
Figura 7.4: BIAS para a precipitação (mm) em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento CTRL para 1990.	106
Figura 7.5: BIAS para a precipitação (mm) em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento MODIF para 1990.	107
Figura 7.6: BIAS para o vento em 850hPa em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento CTRL para 2003.	109
Figura 7.7: BIAS para o vento em 850hPa em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento CTRL para 1990.	110
Figura 7.8: BIAS para o vento em 850hPa em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento MODIF para 1990.	111
Figura 7.9: BIAS para o vento em 500hPa em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento CTRL para 2003.	112
Figura 7.10: BIAS para o vento em 500hPa em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento CTRL para 1990.	113
Figura 7.11: BIAS para o vento em 500hPa em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento MODIF para 1990.	114
Figura 7.12: BIAS para o vento em 200hPa em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento CTRL para 2003.	115
Figura 7.13: BIAS para o vento em 200hPa em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento CTRL para 1990.	116
Figura 7.14: BIAS para o vento em 200hPa em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento MODIF para 1990.	117
Figura 7.15: Método dos Dias Consecutivos Secos para (a-b) dados observados (c-d) CTRL_03 e CTRL_90 (e) MODIF_90 na região R1. A série de precipitação média diária para a região está em preto em mm/dia, os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul (somente para observação).	119
Figura 7.16: Método dos Dias Consecutivos Secos para (a-b) dados observados (c-d) CTRL_03 e CTRL_90 (e) MODIF_90 na região R2. A série de precipitação média diária para	

a região está em preto em mm/dia, os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul (somente para observação).	120
Figura 7.17: Método dos Dias Consecutivos Secos para (a-b) dados observados (c-d) CTRL_03 e CTRL_90 (e) MODIF_90 na região R3. A série de precipitação média diária para a região está em preto em mm/dia, os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul (somente para observação).	121
Figura 7.18: Método dos Dias Consecutivos Secos para (a-b) dados observados (c-d) CTRL_03 e CTRL_90 (e) MODIF_90 na região R4. A série de precipitação média diária para a região está em preto em mm/dia, os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul (somente para observação).	122
Figura 7.19: Método dos Dias Consecutivos Secos para (a-b) dados observados (c-d) CTRL_03 e CTRL_90 (e) MODIF_90 na região R5. A série de precipitação média diária para a região está em preto em mm/dia, os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul (somente para observação).	123
Figura 7.20: BIAS (a-c) CTRL_03 (d-f) CTRL_90 e (g-i) MODIF_90; para quantidade de frentes frias em MAM, JJA e SON.	126
Figura 7.21: Anomalia de (a) precipitação (mm) e (b) TSM, observados no evento do estudo de caso ocorrido entre 01/06/2003 a 11/07/2003.	128
Figura 7.22: Mudança de TSM realizada para o experimento caso_MODIF, do estudo de caso (valores adicionados a climatologia) ocorrido entre 01/06/2003 a 11/07/2003.	129
Figura 7.23: BIAS para precipitação (mm) no estudo de caso ocorrido entre 01/06/2003 a 11/07/2003 para os experimentos (a) caso_CTRL e (b) caso_MODIF.	130
Figura 8.1: Resumo das condições sinóticas e dinâmicas para a ocorrência de eventos extremos que ocorreram nas regiões (a-c)R1; (d-f) R2; (g-i)R3; (j-l)R4 e (m-o) R5 para outono (coluna da esquerda), inverno (coluna central) e primavera (coluna da direita).	137
Figura A.1: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R1 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária (mm) para a região está em preto, os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.	157
Figura A.2: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R2 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária (mm) para a região está em preto, os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.	161

Figura A.3: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R3 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária (mm) para a região está em preto, os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.....166

Figura A.4: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R4 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária (mm) para a região está em preto, os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.....170

Figura A.5: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R5 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária (mm) para a região está em preto, os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.....174

Figura C.1: 2° do SVD para anomalia de TSM e precipitação para o outono que representa 23.1% da variabilidade (a) padrão espacial para a precipitação; (b) padrão espacial para a TSM; (c) correlação heterogênea da precipitação; (d) correlação heterogênea da TSM; (e) coeficientes de expansão da precipitação (preto) e TSM (vermelho). Regiões com pontos (X) em cinza na correlação heterogênea da TSM (precipitação) apresentam significância estatística de 90%.....189

Figura C.2: 3° do SVD para anomalia de TSM e precipitação para o outono que representa 8.83% da variabilidade (a) padrão espacial para a precipitação; (b) padrão espacial para a TSM; (c) correlação heterogênea da precipitação; (d) correlação heterogênea da TSM; (e) coeficientes de expansão da precipitação (preto) e TSM (vermelho). Regiões com pontos (X) em cinza na correlação heterogênea da TSM (precipitação) apresentam significância estatística de 90%.....190

Figura C.3: 1° do SVD para anomalia de TSM e precipitação para o inverno que representa 50.48% da variabilidade (a) padrão espacial para a precipitação; (b) padrão espacial para a TSM; (c) correlação heterogênea da precipitação; (d) correlação heterogênea da TSM; (e) coeficientes de expansão da precipitação (preto) e TSM (vermelho). Regiões com pontos (X) em cinza na correlação heterogênea da TSM (precipitação) apresentam significância estatística de 90%.....191

Figura C.4: 3° do SVD para anomalia de TSM e precipitação para o inverno que representa 8.29% da variabilidade (a) padrão espacial para a precipitação; (b) padrão espacial para a TSM; (c) correlação heterogênea da precipitação; (d) correlação heterogênea da TSM; (e) coeficientes de expansão da precipitação (preto) e TSM (vermelho). Regiões com pontos (X) em cinza na correlação heterogênea da TSM (precipitação) apresentam significância estatística de 90%.....192

Figura C.5: 2° Modo do SVD para anomalia de TSM e precipitação para a primavera que representa 27.22% da variabilidade (a) padrão espacial para a precipitação; (b) padrão espacial para a TSM; (c) correlação heterogênea da precipitação; (d) correlação heterogênea da TSM; (e) coeficientes de expansão da precipitação (preto) e TSM (vermelho). Regiões com pontos (X) em cinza na correlação heterogênea da TSM (precipitação) apresentam significância estatística de 90%.....193

Figura C.6: 3° Modo do SVD para anomalia de TSM e precipitação para a primavera que 8.65% da variabilidade (a) padrão espacial para a precipitação; (b) padrão espacial para a TSM; (c) correlação heterogênea da precipitação; (d) correlação heterogênea da TSM; (e) coeficientes de expansão da precipitação (preto) e TSM (vermelho). Regiões com pontos (X) em cinza na correlação heterogênea da TSM (precipitação) apresentam significância estatística de 90%.....194

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Estatística do número de eventos (1982-2009), duração do evento mais longo e número de evento em cada estação (outono, inverno e primavera) para cada região homogênea do sudeste do Brasil.	28
Tabela 5.1: Latitudes e longitudes das caixas selecionadas para o rastreo de sistemas frontais.	72
Tabela 6.1: Resultados da posição da ASAS neste trabalho e no de Degola (2013) no outono, inverno e primavera.	86
Tabela 7.1: Parametrizações físicas utilizadas em todas as simulações numéricas feitas com o modelo RegCM4.3 (recomendadas por Reboita et. al., 2014).	100
Tabela 7.2: Resumo do número de eventos secos e número de dias no eventos mais longo para observação, CTRL_03, CTRL_90 e MODIF_90.	124
Tabela B.1: Datas dos eventos secos de 1982 a 2009 em R1.....	181
Tabela B.2: Datas dos eventos secos de 1982 a 2009 em R1.....	182
Tabela B.3: Datas dos eventos secos de 1982 a 2009 em R3.....	183
Tabela B.4: Datas dos eventos secos de 1982 a 2009 em R4.....	185
Tabela B.5: Datas dos eventos secos de 1982 a 2009 em R5.....	186

LISTA DE SIGLAS

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul
GrEC – Grupo de Estudos Climáticos
USP – Universidade de São Paulo
ASAS – Alta Subtropical do Atlântico Sul
ASPS - Alta Subtropical do Pacífico Sul
TSM – Temperatura da Superfície do Mar
OAS – Oceano Atlântico Sul
FLEXPART - FLEXible PARTicle dispersion model
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical
ENOS – El Niño – Oscilação Sul
PNMM – Pressão ao Nível Médio do Mar
MAM – Marco/Abril/Maio
JJA- Junho/Julho/Agosto
SON – Setembro/Outubro/Novembro
MPV – Método dos Percentis Variáveis
MDCS – Método dos Dias Consecutivos Secos
SPI - Standard Precipitation Index
PDSI - Palmer Drought Index
NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration
AVHRR - Advanced Very High-Resolution Radiometer
SVD - Singular Value Decomposition
ACP – Análise de Componentes Principais
EOF - Empirical Orthogonal Functions
SCF - Quadrado da Fração da Covariância
SC - Quadrado da Covariância
SLC - Correlação Linear Simples
ECMWF - European Center for Medium-Range Weather Forecasting
CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
DNF - Diferença Normalizada das Frentes
RegCM - REGional Climate Model

NCAR - National Center for Atmospheric Research

MM4 - Mesoscale Model version 4

BATS - Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme

CLM - Community Land Model

CCM3 - Community Climate Model 3

CORDEX - Coordinated Regional Downscaling Experiment

CI - Condições Iniciais

CF - Condições de Fronteira

SUMÁRIO

CAPITULO 1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 MOTIVAÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
CAPITULO 2. EVENTOS EXTREMOS SECOS NO SUDESTE DO BRASIL	
11	
2.1 DADOS.....	11
2.2 METODOLOGIA.....	14
2.2.1 REGIÕES HOMOGÊNEAS EM RELAÇÃO À PRECIPITAÇÃO NO SUDESTE DO BRASIL.....	14
2.2.2 DETERMINAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS SECOS	20
2.3 RESULTADOS	27
2.4 CONCLUSÕES PARCIAIS	35
CAPITULO 3. ANOMALIAS DE TSM NO OCEANO ATLÂNTICO SUL ASSOCIADAS AOS EVENTOS EXTREMOS SECOS NO SUDESTE DO BRASIL....	37
3.1 DADOS.....	37
3.2 METODOLOGIA.....	37
3.2.1 MÉTODO DAS COMPOSIÇÕES.....	37
3.2.2 MÉTODO DA DECOMPOSIÇÃO DO VALOR SINGULAR (SVD)....	38
3.3 RESULTADOS	43
3.3.1 OUTONO.....	43
3.3.2 INVERNO.....	47
3.3.3 PRIMAVERA	50
3.4 CONCLUSÕES PARCIAIS	53
CAPITULO 4. ANOMALIAS DE FONTES DE UMIDADE NO OCEANO ATLÂNTICO SUL ASSOCIADAS AOS EVENTOS EXTREMOS SECOS NO SUDESTE DO BRASIL	55

4.1	DADOS.....	55
4.2	METODOLOGIA.....	55
4.2.1	MÉTODO LAGRANGEANO - FLEXPART	56
4.2.2	MÉTODO EULERIANO.....	60
4.3	RESULTADOS	62
4.4	CONCLUSÕES PARCIAIS	66
CAPITULO 5. DISTRIBUIÇÃO DAS FRENTES FRIAS NO BRASIL NO PERÍODO DOS EVENTOS EXTREMOS SECOS NO SUDESTE DO BRASIL		69
5.1	DADOS.....	70
5.2	METODOLOGIA.....	70
5.2.1	RASTREAMENTO DE SISTEMAS FRONTAIS NO BRASIL	71
5.3	RESULTADOS	76
5.4	CONCLUSÕES PARCIAIS	81
CAPITULO 6. CONFIGURAÇÃO DA ASAS NO PERÍODO DOS EVENTOS EXTREMOS SECOS NO SUDESTE DO BRASIL		83
6.1	DADOS.....	84
6.2	METODOLOGIA.....	84
6.2.1	RASTREAMENTO DA ASAS	84
6.3	RESULTADOS	87
6.4	CONCLUSÕES PARCIAIS	93
CAPITULO 7. EXPERIMENTOS NUMÉRICOS		95
7.1	MODELAGEM CLIMÁTICA REGIONAL.....	95
7.1.1	O MODELO CLIMÁTICO REGIONAL REGCM4.3.....	96
7.1.2	CONDIÇÕES INICIAIS E VARIABILIDADE INTERNA DO MODELO	
	99	
7.2	EXPERIMENTOS NUMÉRICOS	99
7.2.1	ESTUDO CLIMÁTICO.....	101
7.2.2	ESTUDO DE CASO	127
7.3	CONCLUSÕES PARCIAIS	130

CAPITULO 8. CONCLUSÃO GERAL.....	133
8.1 CONCLUSÃO GERAL.....	133
8.2 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS	139
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
ANEXOS	157
ANEXO A - GRÁFICOS DO MÉTODO DOS DIAS CONSECUTIVOS SECOS PARA TODOS OS ANOS NAS REGIÕES HOMOGÊNEAS DO SUDESTE DO BRASIL	157
A.1. REGIÃO R1	157
A.2. REGIÃO R2	161
A.3. REGIÃO R3	166
A.4. REGIÃO R4	170
A.5. REGIÃO R5	175
ANEXO B - DATAS DOS EVENTOS EXTREMOS SECOS NO PERÍODO DE 1982 A 2009 NAS REGIÕES HOMOGÊNEAS DO SUDESTE DO BRASIL	181
B.1. REGIÃO R1	181
B.2. REGIÃO R2	182
B.3. REGIÃO R3	183
B.4. REGIÃO R4	184
B.5. REGIÃO R5	185
ANEXO C - MAPAS DOS PADRÕES ESPACIAIS, CORRELAÇÕES HETEROGÊNEA E COEFICIENTE DE ESPANSÃO DAS ANÁLISES DE SVD	189
C.1. OUTONO	189
C.2. INVERNO	191
C.3. PRIMAVERA	193

CAPITULO 1. INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

Eventos extremos de precipitação podem ocorrer na forma de acumulados elevados de precipitação ou períodos extensos de seca. A ocorrência desses eventos gera grande preocupação devido à sua capacidade em influenciar atividades econômicas e agrícolas, interferir na disponibilidade de água e geração de energia elétrica e afetar diretamente a sociedade.

Alguns estudos mostram que nos últimos anos tem sido observado um aumento na frequência de eventos extremos de precipitação no Brasil. Groisman et al. (2005) mostram que eventos com acumulados elevados de precipitação vêm aumentando desde 1940 na parte subtropical brasileira. Já o trabalho de Marengo et al. (2009) salienta que em projeções de clima futuro ocorre uma grande mudança no comportamento destes eventos, apresentando uma tendência de aumento na sua ocorrência no período de 2071 a 2100. Por este motivo, estudos de eventos extremos de precipitação sobre o Brasil vêm ganhando maior enfoque (p.ex., Silva dias et al., 2013; Dufek e Ambrizzi, 2008; Alexander et al., 2005; Haylock et al. 2006).

Os eventos extremos secos não possuem a capacidade destrutiva dos eventos chuvosos no sentido de perdas materiais, porém longos períodos secos podem levar a falta de água, energia elétrica, perdas agrícolas e problemas de saúde para a população.

Os estudos de eventos secos sobre o sudeste do Brasil estão concentrados durante o verão e estão associados à persistência e deslocamento da ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) (Carvalho et al., 2002 e Carvalho et al., 2004).

O Grupo de Estudos Climáticos da Universidade de São Paulo (GrEC/USP) realiza mensalmente reuniões de discussão para monitoramento climático, sendo que uma pauta constante desses encontros é o monitoramento de anomalias negativas de precipitação sobre a região sudeste do Brasil. Estes períodos de seca que ocorreram no outono, inverno e primavera, estavam relacionados ao número (abaixo do normal) de sistemas frontais que chegavam à região. A hipótese levantada durante as discussões é de que o deslocamento destes sistemas frontais para leste do Oceano Atlântico ao atingirem a região sul do Brasil, aparentemente está associado às anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Atlântico Sul (OAS), que se apresentavam com valores positivos próximos à costa do

sul e sudeste do Brasil e negativas ao norte e ao sul desta anomalia positiva. Além disso, o posicionamento e intensidade da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) durante estes períodos de seca também parece ter sido um fator que contribuiu para a ocorrência destes eventos, sendo este sistema encontrado mais próximo do continente e mais intenso.

Portanto, observa-se uma necessidade de analisar mais detalhadamente a relação entre a variabilidade da TSM do OAS e os eventos extremos secos sobre o sudeste do Brasil, em particular, durante o inverno (Junho-Julho-Agosto - JJA) e estações de transição (Março-Abril_Maio-MAM, Setembro-Outubro-Novembro-SON). Esta relação pode gerar importantes subsídios que contribuem para uma melhor previsão de tempo e clima sobre esta região, uma vez que a mesma é caracterizada como tendo uma baixa previsibilidade climática.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é estudar do ponto de vista observacional e numérico, a relação entre a variabilidade da TSM do OAS e eventos extremos secos sobre o sudeste brasileiro durante o inverno, primavera e outono no período de 1982 a 2009.

Entre os objetivos específicos estão:

- Determinar os eventos extremos secos que ocorreram no sudeste do Brasil no período de 1982 a 2009;
- Identificar se existe uma relação entre os eventos extremos secos e a variabilidade da TSM no OAS, a posição/intensidade da ASAS, o número de sistemas frontais e, a distribuição espacial de fontes de umidade;
- Criar um modelo conceitual que resuma os tópicos anteriores;
- Realizar simulações numéricas com o Modelo Regional Climático RegCM4.3 variando a condição inicial (TSM) e analisar o impacto na variabilidade da precipitação sobre o sudeste do Brasil.

Este texto está organizado em oito capítulos. O Capítulo 1 apresenta a motivação e os objetivos deste trabalho, além de uma revisão bibliográfica dos principais estudos sobre eventos extremos que ocorreram sobre o sudeste do Brasil, a relação da TSM do Atlântico Sul com eventos extremos de precipitação, a climatologia e posicionamento da ASAS e dos sistemas frontais que ocorrem no Oceano Atlântico Sul. O Capítulo 2 apresenta como os eventos extremos secos foram determinados para regiões homogêneas de precipitação sobre o sudeste do Brasil. O Capítulo 3 mostra os padrões de anomalias de TSM característicos para os períodos secos, encontrados a partir de composições referentes a datas dos eventos

extremos secos e da técnica de Decomposição do Valor Singular. O Capítulo 4 mostra a distribuição espacial das fontes de umidade para o período dos eventos extremos secos, a fim de analisar como estas são modificadas neste tipo de evento. O Capítulo 5 mostra um rastreamento de sistemas frontais para a América do Sul e suas diferentes características durante os períodos de ocorrência de eventos extremos secos. No Capítulo 6 observamos a climatologia e a configuração da ASAS para o período estudado durante os eventos extremos secos. O Capítulo 7 apresenta os experimentos numéricos realizados com o modelo climático regional RegCM4.3, a partir das mudanças na condição inicial TSM. Todos os capítulos apresentam os dados e metodologia utilizados em cada parte do estudo, bem como uma conclusão parcial. O Capítulo 8 apresenta a conclusão final deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A região Sudeste do Brasil está localizada entre 14°S e 20°S de latitude e 54°W-38°W de longitude, ocupando 10,85% do território brasileiro (IBGE, 2007). Ela compreende os estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo, sendo uma região altamente urbanizada e abrigando três grandes metrópoles: as cidades de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte.

A agricultura e pecuária são importantes setores da economia desta região, que constitui a principal região geoeconômica do país. Alguns trabalhos como de Berlato (1992), Matzenauer et al. (1995) e Santos e Carlesso (1998) já mostraram que a ocorrência de deficiência hídrica devido a baixos acumulados de precipitação afeta o desenvolvimento, plantio e colheita de diversas culturas. Desta forma, a ocorrência de eventos extremos de precipitação nesta região pode interferir na produção agrícola e gerar perdas econômicas. Além disso, esses eventos podem ser responsáveis também por gerar crise nos setores energéticos e no abastecimento de água devido a registros de períodos longos de seca ou de chuva.

O conhecimento dos mecanismos que produzem esse tipo de evento se torna importante para compreender como eles ocorrem e é uma ferramenta útil para a melhoria das previsões, que podem ajudar a minimizar os danos por eles causados.

A precipitação no sudeste do Brasil não é regular espacialmente por ser uma região de transição tropical/subtropical, sendo a porção sul a que apresenta maiores acumulados anuais e o norte os menores (Nunes et al., 2009). Além disso, apresenta um ciclo anual bem

definido, com estação chuvosa predominante no verão e estação seca no inverno. Seu clima é influenciado pela presença do Oceano Atlântico adjacente, que interfere na disponibilidade de umidade e consequentemente influencia nos sistemas atmosféricos que atuam na região (como ZCAS, frentes frias e ASAS) (Nunes et al., 2009).

Regiões oceânicas que contribuem como regiões fontes de umidade para regiões continentais foram investigadas por alguns estudos. Drumond et al. (2008) e Gimeno et al. (2010) realizaram este tipo de análise com o uso de um modelo Lagrangeano tridimensional. O Oceano Atlântico Tropical e a costa leste do Brasil no Oceano Atlântico se destacaram como regiões fontes de umidade para o Brasil Central e Bacia do Prata durante todo o ano, principalmente no verão. Desta forma, a atmosfera é constantemente suprida pela umidade proveniente do Oceano Atlântico (Nunes et al., 2009).

Trabalhos que investigam eventos extremos no sudeste do Brasil são feitos principalmente para o verão e analisam sua relação com a ZCAS e anomalias de TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico.

A variabilidade interanual dos eventos extremos chuvosos diários de precipitação no estado de São Paulo foi analisada por Liebmann et al. (2001), encontrando que estes eventos predominam nos meses de novembro a março e que a fase ativa da ZCAS está associada a um aumento na precipitação da região analisada. Além disso, existe uma correlação positiva entre o número de eventos extremos em todo o estado e as anomalias de TSM no Pacífico Central e Oriental e também com o Atlântico Sul.

A relação do deslocamento da ZCAS e eventos extremos chuvosos no sudeste da América do Sul para a estação de verão foi investigada por Carvalho et al. (2002) e Carvalho et al. (2004). Eventos extremos de precipitação ocorrem quando a atividade convectiva na ZCAS é intensa em grande parte da América do Sul, em particular no estado de São Paulo. Além disso, o percentil diário de 95% (que caracteriza os eventos extremos chuvosos) se mostra mais elevado quando ocorre ZCAS oceânica e episódios de El Niño também se mostraram importantes para modular a ocorrência destes eventos.

A OMJ (Oscilação de Madden-Julian) também se mostra importante na ocorrência de eventos extremos chuvosos no estado de São Paulo no verão, em que sua fase caracterizada por supressão de convecção na Indonésia mostra um aumento de eventos chuvosos no sudeste do Brasil (Carvalho et al., 2004).

Mudanças nos padrões de precipitação e temperatura em todo mundo podem estar associados a anomalias de TSM (Ropelewski e Halpert, 1987; Sansigolo et al., 2004). No

Brasil, as regiões mais influenciadas por valores anômalos de TSM nos oceanos Pacífico Equatorial (OPE) e Atlântico Tropical (OAT) e Sul (OAS) são o nordeste, sul e sudeste (Diaz et al., 1998; Uvo et al., 1998; Pezzi e Cavalcanti, 2001; Coelho et al., 2002; Sansigolo et al., 2004; Marengo, 2006).

Para o nordeste do Brasil, anomalias de TSM nos OPE e OAT modificam o padrão de circulação global (Célula de Walker), interferem na intensidade e no padrão dos ventos alísios, e deslocam latitudinalmente a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), causando mudanças nos acumulados de precipitação desta região (Nobre et al., 1986; Marengo, 2006; Kayano e Andreoli, 2009).

A precipitação no sul do Brasil também sofre grande influência de anomalias de TSM no OPE, características do fenômeno ENOS (El Niño - Oscilação Sul), já que as anomalias de circulação e de TSM na região tropical do Pacífico causam diferenças no contraste de temperatura entre a região equatorial e os polos (Lutgens e Tarbuck, 2006), modificam o posicionamento dos jatos polar e subtropical e influenciam os acumulados de chuva no sul do Brasil (Grimm et al., 1998). Já a importância das anomalias de TSM no OAS para modular a precipitação e temperatura do Sul do Brasil foi estudada em alguns trabalhos (p. ex. Diaz e Studzinski, 1994; Diaz et al., 1998; Ambrizzi et al., 2004; Cardoso, 2005) e estes mostraram que a região do Atlântico também exerce influência sobre o clima desta região.

Os efeitos dos eventos ENOS sobre a precipitação do sudeste do Brasil são menos intensos, sendo mais notados na temperatura (Marengo, 2006) e a influência do OAS no clima do sudeste do Brasil ainda não é bem compreendida.

O OAS mostra grande importância para o clima da América do Sul, pois é nesta região que ocorre a confluência das correntes do Brasil (águas mais quentes e salinas) e das Malvinas (águas frias e menos salinas), caracterizando uma região de grande contraste térmico, favorecendo a formação de uma região com gradiente de calor e *momentum* entre oceano e atmosfera (Pezzi e Souza, 2009). Entretanto, os impactos do OAS no clima da América do Sul ainda são pouco conhecidos, tendo alguns estudos investigado a influencia de anomalias de TSM nesta região na temperatura e precipitação no sul e sudeste do Brasil.

A influência das anomalias de TSM no Oceano Pacífico Equatorial e Atlântico Sudoeste na precipitação do sul do Brasil e Uruguai foi analisada no trabalho de Diaz e Studzinski (1994). Neste estudo foram confirmados estudos anteriores que mostram a influencia do ENOS na precipitação destas regiões e foi salientado também que o Atlântico parece influenciar os fenômenos atmosféricos que atuam nestas regiões pela sua proximidade

com o continente. Em um trabalho seguinte, Diaz et al. (1998), verificaram que a relação do ENOS no Pacífico Equatorial com anomalias de precipitação no Uruguai e Rio Grande do Sul é mais intensa no início do verão, fim do outono, início do inverno e fim da primavera. Já a influência do Atlântico Sudoeste nas anomalias de precipitação destas regiões estudadas ocorre de outubro a dezembro e de abril a julho.

A influência da ZCAS e da TSM no Atlântico Sul na variabilidade interanual de precipitação de verão no sudeste da América do Sul foi estudada por Barros et al. (2000), encontrando que anomalias positivas (negativas) de TSM entre 20°S-40°S e a oeste de 30°W estão associadas a um deslocamento para sul (norte) da ZCAS e menos (mais) precipitação no sudeste do Brasil.

O estudo de Coelho (2001) que relacionou anomalias de TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico com anomalias de precipitação sobre a América do Sul durante as fases quente e fria do ENOS, mostrou que Pacífico Equatorial e o dipolo do Atlântico conjuntamente apresentaram maior relação no trimestre de MAM para o El Niño e DJF para La Niña. Já o dipolo do Atlântico Tropical se mostrou tão importante quanto o ENOS para modular a precipitação da América do Sul. Em outro estudo, Coelho et al. (2002) analisam quais regiões do Pacífico apresentam anomalias de TSM melhor correlacionadas com a precipitação na América do Sul, sendo que a região entre 100-150°W do Pacífico Equatorial apresentou melhores resultados para o El Niño e em torno de 180° para eventos de La Niña.

Sansigolo et al. (2004) realizando um estudo da relação entre a variabilidade sazonal e interanual da precipitação no sul do Brasil e anomalias de TSM nos Oceanos Atlântico e Pacífico, encontraram que no outono anomalias de TSM, defasadas em até 6 meses no Atlântico Sudoeste, parecem influenciar mais a precipitação do Sul do Brasil do que anomalias encontradas no Atlântico Sul. A maior influência dos eventos de TSM no Pacífico ocorre no verão, também com defasagem de 1 a 6 meses.

O estudo de Cardoso e Silva Dias (2004) identificou trimestres com eventos extremos de precipitação no sul e sudeste do Brasil e investigou sua relação com anomalias de TSM no Pacífico e Atlântico. A região de estudo foi dividida em regiões homogêneas em relação à precipitação e correlações entre a precipitação de cada região e anomalias de TSM foram realizadas para verificar a influência de cada Oceano. Foram observadas correlações significativas sobre o Oceano Pacífico em todas as estações, com exceção do verão em que o OA se mostrou mais influente nos extremos de precipitação das regiões analisadas. Para os trimestres MAM e SON os dois oceanos mostraram igual importância. Além disso, em um

trabalho seguinte, Cardoso (2005) mostra que para a previsão de vazão e precipitação no sudeste do Brasil, é importante analisar anomalias de TSM no Atlântico e Pacífico com até quatro meses de antecedência.

O impacto das anomalias de TSM nos oceanos Atlântico Sul, Índico Sul, Pacífico Equatorial e Pacífico Sul nos padrões de circulação atmosférica sobre a América do Sul no período de janeiro a março de 2001 foi investigado por Drumond e Ambrizzi (2005). Neste período ocorreu um déficit de precipitação no sudeste, nordeste e centro do Brasil que foi responsável por uma crise energética no país. Foram encontrados indícios de que anomalias no Pacífico Sul e Equatorial podem ter sido os principais responsáveis por modular a circulação atmosférica neste período, que se caracterizou por uma anomalia anticiclônica em baixos níveis no leste do Brasil contribuindo para uma redução no transporte de umidade da Amazônia para o sudeste do Brasil e consequente redução da atividade da ZCAS.

O trabalho realizado por Luz (2010) associou o comportamento do Oceano Atlântico Sul com a precipitação no estado de São Paulo no inverno e verão. No inverno, a região do Atlântico entre 26°S e 35°S mostrou correlações negativas com a precipitação no estado, indicando que anomalias positivas de TSM nesta região ocorrem associadas a anomalias negativas de precipitação em São Paulo.

O impacto das anomalias de TSM do Pacífico Equatorial, Pacífico Sul e Atlântico Sudoeste na variabilidade interanual das temperaturas máxima e mínima e da precipitação no Rio Grande do Sul foi investigado por Firpo (2012). Foi mostrado que a combinação El Niño (La Niña), anomalia positiva (negativa) de TSM no Atlântico Sudoeste e anomalia negativa (positiva) de TSM no Pacífico Sul no outono e inverno, aumentam a possibilidade de ocorrência de precipitação acima (abaixo) da climatologia na primavera e no verão.

O estudo de Bombardi et al. (2014) mostra que ocorre um acoplamento entre mudanças de TSM e de pressão no Oceano Atlântico Sul e a variação no padrão de dipolo do Atlântico Sul está associada com mudanças na precipitação diária de verão na América do Sul. Durante anos neutros de ENOS, o dipolo do Atlântico se mostrou importante para modular a ciclogênese e as características da ZCAS em que a fase negativa do dipolo (anomalias negativas de TSM nos trópicos e positivas nos extratropicos do Atlântico) está relacionada com um aumento na ciclogênese próximo ao sudeste do Brasil, migração dos ciclones para o norte, transporte ciclônico de umidade para o sudeste da AS e aumento da precipitação nesta região. A relação do dipolo do Atlântico e precipitação na América do Sul

durante o inverno foi investigada por Nnamchi (2011) e concordam com os resultados de Bombardi et al. (2014).

Utilizando a técnica de Decomposição do Valor Singular (SVD), Venegas et al. (1997) determinaram os principais modos de comportamento da TSM e Pressão ao Nível Médio do Mar (PNMM) no OAS, visando compreender como ocorre o acoplamento Oceano-Atmosfera nas escalas interanual e interdecadal. Os resultados mostraram uma associação entre o deslocamento (norte-sul e leste-oeste) e fortalecimento/enfraquecimento da ASAS e padrões de TSM no Atlântico Sul. Haarsma et al. (2003) e Haarsma et al. (2005) também sugeriram que existem fortes indícios para a existência de modos de variabilidade decadal e interanual no Atlântico Sul com acoplamento entre PNMM e TSM e através do uso de um modelo atmosférico acoplado a um modelo oceânico sugeriram que o efeito é uma combinação entre fluxos turbulentos de superfície, transporte de Ekman e mistura induzida pelo vento. Além disso, eles investigaram a resposta da atmosfera ao dipolo do Atlântico Sul, sugerindo que a parte subtropical do oceano pode influenciar na circulação atmosférica tropical.

Desta forma, a ASAS é outro mecanismo atmosférico que deve ser estudado, pois pode ser responsável pela ocorrência de extremos de precipitação na América do Sul. No inverno, climatologicamente a ASAS encontra-se próxima à costa do sudeste do Brasil (em sua posição mais a oeste) e dependendo do tempo em que ela atua pode bloquear o avanço de sistemas frontais nesta região (Ito, 1999; Degola, 2013; Reboita et al., 2010). No verão, a ASAS pode favorecer a precipitação no interior e no nordeste do Brasil quando localizada mais ao sul de sua posição climatológica e próxima do continente, pois com essa configuração os ventos alísios são intensificados pelo ramo norte da ASAS (Reboita et al., 2010; Degola, 2013).

Uma análise do comportamento da ASAS foi realizada por Machel et al. (1998), mostrando que sua sazonalidade é caracterizada por deslocamentos no sentido leste – oeste e norte-sul, em que sua posição mais a leste é registrada em outubro e abril, a posição mais a oeste de julho a agosto e de janeiro a março, as posições mais ao sul são encontradas em março (em torno de 32,5°S) e mais ao norte em agosto (em torno de 28,7°S). Além disso, eles mostraram que o fortalecimento da ASAS está acoplado com sua migração para sul, sendo que o centro atinge seu máximo de pressão em agosto (1026hPa) e mínimo de dezembro a abril (1021hPa).

No trabalho de Ito (1999) foi realizada uma climatologia da ASAS nos meses de invernos de 1982 a 1996 e sua influência na passagem de sistemas frontais foi investigada.

Julho foi o mês em que a ASAS apresentou sua posição mais a oeste e próxima do continente (em torno de 10°W) e em junho e agosto o centro ficou em média em torno de 5°W. O inverno de 1995 foi escolhido para verificar a influência da ASAS na passagem de sistemas frontais por ter se apresentado anormalmente mais seco e quente. Neste evento, a ASAS se apresentou estacionada próxima ao continente, o jato subtropical deslocado para sul de sua posição climatológica devido a uma circulação anticiclônica em altos níveis no Brasil central, os sistemas frontais não avançaram em direção ao sudeste do Brasil e anomalias positivas de TSM na costa do sul do Brasil favoreceram o estacionamento das frentes frias nesta região.

Uma análise climatológica da ASAS no Atlântico Sul foi realizada por Bastos e Ferreira (2000), mostrando que este sistema pode inibir a entrada de frentes frias, causando inversão térmica e tanto no inverno quanto no verão é um sistema importante para o clima da América do Sul.

A caracterização da ASAS e sua influência no clima da América do Sul no período presente e para projeções de clima futuro foi feita por Degola (2013). Neste trabalho foi mostrado que a ASAS apresenta sua posição mais ao norte nos meses de inverno e mais ao sul nos meses de fevereiro e março. A posição mais a oeste é registrada nos meses de março, abril e outubro e mais a leste em fevereiro e agosto. A relação do posicionamento da ASAS com os ventos alísios também foi verificada, sendo que sua posição mais a oeste (leste) foi observada conjuntamente a uma intensificação (enfraquecimento) dos ventos alísios, principalmente nos meses de primavera e verão.

Como alguns trabalhos já mostraram, parece haver uma iteração entre o avanço dos sistemas frontais sobre a América do Sul e o posicionamento da ASAS, desta forma, é importante também, verificar o comportamento do deslocamento dos sistemas frontais nesta região, associadas às condições de TSM e ao posicionamento da ASAS no Atlântico Sul.

À leste do centro-sul da América do Sul está localizada a ASAS e à oeste a Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS). A região compreendida entre estes dois centros de alta pressão é caracterizada por forte deformação horizontal e gradiente de temperatura, sendo favorável à frontogênese (Satyamurty e Mattos, 1989). Nesta região, as frentes frias se deslocam de sudoeste para nordeste sobre o continente e Oceano Atlântico adjacente (Cavalcanti e Kousky, 2009). Características das condições sinóticas associadas ao deslocamento desses sistemas sobre o continente são: subsidência em 500hPa, ventos intensos de norte na região de confluência sobre o oceano, advecção de vorticidade positiva sobre a região sul (Andrade, 2005).

Fedorova (1999) destaca características das mudanças nas condições de tempo durante e após a passagem de uma frente fria. Durante sua passagem, são registrados aumento súbito na pressão, giro do vento (do quadrante norte para o quadrante sul), queda na temperatura e na umidade, nuvens com grande desenvolvimento vertical (Cb) e precipitação. Após sua passagem permanece o aumento na pressão, a temperatura não varia muito e os ventos predominantes são de sul e sudeste.

Climatologias de sistemas frontais na América do Sul já foram realizadas por alguns estudos. Justi da Silva e Silva Dias (2002) analisando o período de 1981 a 1999 encontraram que a latitude de 35°S apresenta alta frequência de frentes sendo que o litoral apresentou maiores valores em relação ao interior. Andrade e Cavalcanti (2004) e Andrade (2005) observaram que sistemas frontais atingem latitudes mais baixas no inverno e menor frequência de frentes chega ao sul da Bahia no verão, quando analisado o período de 1980 a 2002. Cavalcanti e Kousky (2009) analisando o período de 1979 a 2005 mostraram que as frentes ocorrem em maior número entre 25°S e 30°S e são mais numerosas de maio a outubro, enquanto na região ao norte de 20°s a frequência das frentes é menor durante o verão.

O sudeste do Brasil é influenciado pela passagem de sistemas frontais, sendo que no inverno, estes eventos são os principais responsáveis pela precipitação. Durante todo o ano, cerca de 50 a 60 sistemas frontais atingem a região (Andrade, 2005).

CAPITULO 2. EVENTOS EXTREMOS SECOS NO SUDESTE DO BRASIL

2.1 DADOS

O conjunto de dados diários de precipitação sobre o sudeste do Brasil (14°S-20°S e 54°W-38°W) foi gerado a partir da série histórica de dados diários para a América do Sul desenvolvidos por Liebmann e Allured (2005) para o período de janeiro de 1979 a novembro de 2009, porém nas análises dos eventos extremos secos, será considerado apenas os trimestres de MAM (Março, Abril e Maio), JJA (Junho, Julho e Agosto) e SON (Setembro, Outubro e Novembro) no período de 1982 a 2009. Estes dados possuem resolução de 1°x 1° e são construídos a partir de observações de 7900 estações meteorológicas.

O período de estudo tem ênfase fora da estação chuvosa do sudeste do Brasil (verão), pois mesmo nestes períodos a ocorrência de eventos secos (que podem estar associados a um prolongamento de eventos secos ocorridos no verão ou a um início de períodos secos antes do verão) pode trazer prejuízos para a população, perdas na agricultura e problemas com o fornecimento de água e energia elétrica.

Através da Figura 2.1 podemos observar que o sudeste do Brasil apresenta diferentes distribuições espaciais de precipitação, que também ocorrem irregularmente nas diferentes estações consideradas, semelhante ao encontrado por Nunes et al. (2009). No trimestre MAM (Figura 2.1 a) são registrados os maiores acumulados e em JJA (Figura 2.1 b) menor volume de precipitação é verificado.

A região que compreende o litoral do estado de São Paulo e do Rio de Janeiro é a que apresenta totais trimestrais mais elevados nas três estações analisadas. Esta condição é favorecida pela proximidade com o Oceano Atlântico, que fornece umidade para o continente sendo as frentes frias importantes sistemas atuantes nesta região (Nunes et al., 2009). No outono os acumulados dessa região ultrapassam 350mm, no inverno não chegam a 125mm e na primavera valores acima de 375mm são registrados.

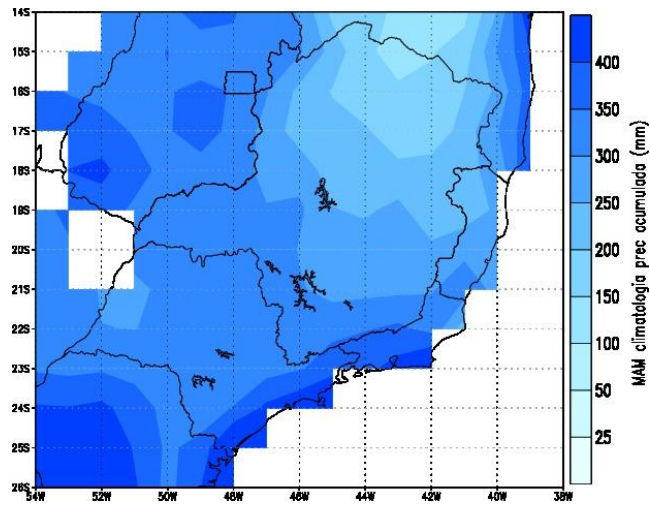
A porção norte do estado de Minas Gerais apresenta os menores acumulados em todos trimestres analisados, sendo que no outono e primavera o acumulado é de cerca de 200mm e não ultrapassa os 50mm no inverno. Esta região apresenta estas características, pois o número de sistemas frontais que chegam até estas latitudes é pequeno devido a influencia de constantes circulações anticiclônicas (Nunes et al., 2009; Ito, 1999).

A região localizada entre o norte do estado de São Paulo e Sul de Minas Gerais apresenta um setor de transição em que a Serra da Mantiqueira e a Serra da Canastra são importantes influências da topografia na precipitação (Nunes et al., 2009), sendo registrados acumulados de precipitação entre 275 e 300mm no outono, 100mm no inverno e 300mm na primavera.

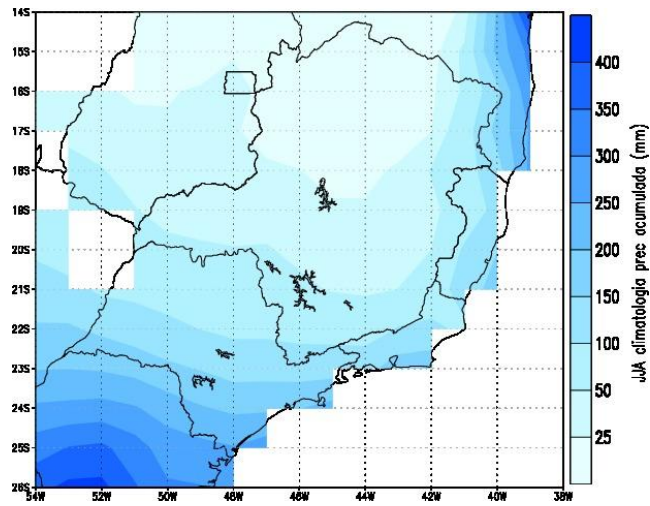
As regiões que compreendem a porção oeste do estado de São Paulo e o centro de Minas Gerais localizam-se no interior do continente e apresentam precipitação reduzida em relação ao norte de São Paulo e Sul de Minas Gerais, com valores chegando a 300mm no outono e na primavera, e não ultrapassando 125mm no inverno.

Cada ponto de grade da área de estudo foi denominado como “estação”. Foram utilizadas apenas as estações que tivessem a série completa no período de estudo, ou seja, que não apresentassem falhas. Apenas uma estação não apresentou a série completa (15°S - 45°W), desta forma optou-se por retirá-la do conjunto de séries, sendo utilizadas 89 estações (Figura 2.2).

(a)



(b)



(c)

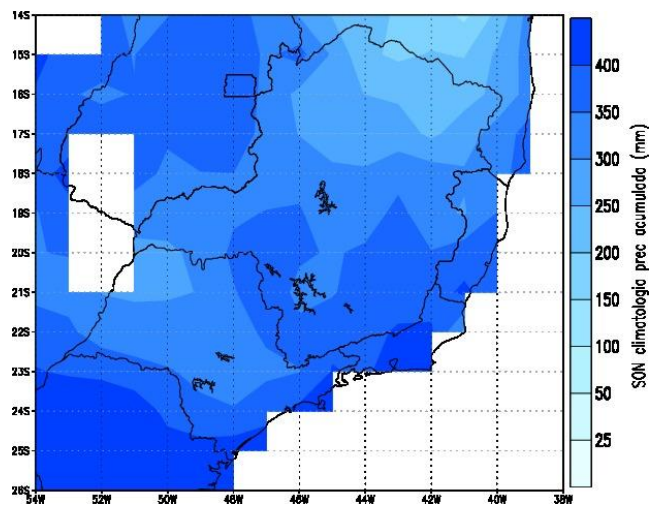


Figura 2.1: Climatologia da precipitação acumulada (mm) para o sudeste do Brasil em (a) MAM; (b) JJA e (c) SON para o período de 1982 a 2009 (regiões em branco indicam dados faltantes).

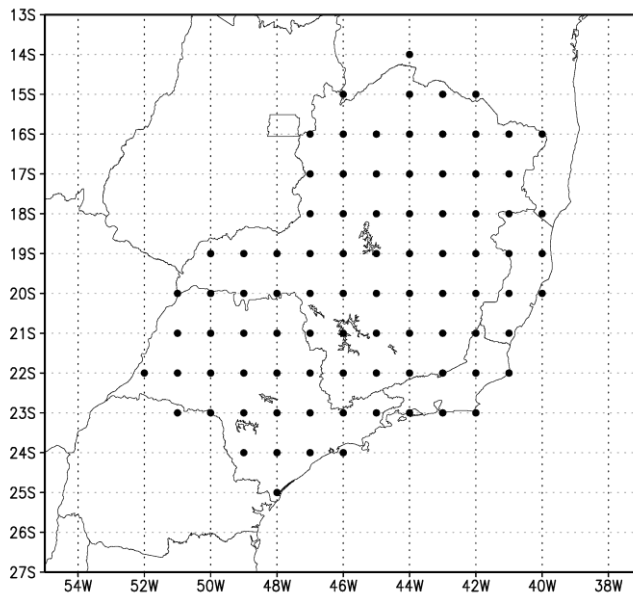


Figura 2.2: Estações que possuem 100% dos dados no período de 1979 a 2009 e que foram utilizadas no estudo (89 estações).

2.2 METODOLOGIA

Como mostrado anteriormente, o sudeste do Brasil não apresenta homogeneidade da climatologia de precipitação para toda sua área, desta forma a região de estudo foi dividida em regiões homogêneas de precipitação. Para isto, foi utilizada a técnica de análise de cluster. Após a regionalização, foi realizada a determinação dos eventos extremos secos em cada uma destas regiões no período de 1982 a 2009, utilizando dois métodos.

2.2.1 REGIÕES HOMOGÊNEAS EM RELAÇÃO À PRECIPITAÇÃO NO SUDESTE DO BRASIL

2.2.1.1 ANÁLISE DE CLUSTER

A Análise de Cluster que também é chamada de Análise de Grupamento é uma técnica utilizada para a identificação de grupos homogêneos (clusters) em relação a uma determinada variável (p. ex. precipitação, temperatura, etc.), que apresentam características semelhantes entre si e diferentes em relação aos constituintes (membros) de outros clusters (Wilks, 2006).

O procedimento da divisão dos grupos começa supondo que as n observações do conjunto de dados não estão agrupados, podendo ser considerados n grupos iniciais (cada um composto de um membro). O primeiro passo é unir dois dos n grupos que são próximos, e formar $n-1$ grupos (um grupo passará a ter 2 membros e os outros grupos 1 membro). Em

cada passo subsequente, dois grupos que são próximos serão unidos para formar um grupo maior. Esse processo continua até todas as n observações serem agregadas em um único grupo com n membros (Wilks, 2006).

Dentro dos n estágios de divisão, um estágio intermediário (entre 1 e n) é o resultado da divisão ideal que minimiza a diferença entre os membros de um dado cluster e maximiza a diferença entre os membros de diferentes clusters (Wilks, 2006).

O objetivo central da Análise de Cluster está relacionado com a ideia de distância, onde cada cluster deve ser composto por membros com distância pequena entre si em relação à distância entre os clusters (Wilks, 2006). A medida de distância mais utilizada na técnica de Análise de Cluster (Vicini, 2005) e que foi utilizada neste estudo é a Distância Euclidiana. Sejam dois pontos x_i e x_j , a Distância Euclidiana pode ser determinada por:

$$d_{ij} = \|x_i - x_j\| = \left[\sum_{k=1}^K (x_{i,k} - x_{j,k})^2 \right]^{1/2}$$

2.1

em que K é o número de observações.

Após o cálculo da distância, é preciso definir uma técnica para distinguir e separar os membros com relação às suas semelhanças/diferenças. Esta técnica pode ser hierárquica ou não hierárquica. O grupamento hierárquico produz uma árvore de cluster, em que é possível visualizar as várias escalas (níveis) da divisão. Este gráfico é utilizado para decidir o nível de grupamento mais adequado. Já no grupamento não hierárquico, o método divide os dados em N clusters, com N pré - definido, e retorna o índice do grupo ao qual um elemento pertence (Wilks, 2006).

Neste estudo será utilizado um método hierárquico para esta divisão, pois como dito anteriormente, no método não hierárquico é preciso definir previamente o número de cluster no qual se deseja fazer a divisão. Alguns estudos para a América do Sul utilizam o método hierárquico para a Análise de Cluster, entre eles destacam-se: Cardoso (2005) que determina regiões homogêneas para a precipitação no sul e sudeste do Brasil; e Santos (2012) que caracteriza regiões homogêneas no Rio Grande do Sul em relação à precipitação.

O método mais comum utilizado é o grupamento hierárquico proposto por Ward (1963), que consiste na análise da variância, sendo que os membros são unidos aos grupos quando for encontrada menor variância intragrupo (Wilks, 2006). O método consiste em

calcular o quadrado da distância euclidiana de cada membro e em seguida, somar os valores encontrados para todos os membros. Em cada estágio do grupamento, combinam-se dois grupos com menor aumento desta soma (Malhotra, 2001). Ou seja, deve-se determinar o menor valor para W (Wilks, 2006):

$$W = \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{ng} d_{ij}^2$$

2.2

que representa todas as maneiras possíveis de unir dois dos $G + 1$ grupos para fazer G grupos.

Os processos intermediários da Análise de Cluster podem ser vistos no dendograma. Um ponto crucial na Análise de Cluster é decidir o estágio intermediário que se deve parar a divisão dos grupos e assim decidir o número de clusters (Wilks, 2006).

Essa escolha geralmente é subjetiva, porém Wilks (2006) propõe que ela seja feita analisando o gráfico do número de estágios pela distância entre a união dos clusters. O número de quebras nesse gráfico representa uma boa escolha do número de clusters.

Na determinação das regiões homogêneas em relação à precipitação sobre o sudeste do Brasil foi utilizado todo o período de dados, pois durante a divisão de clusters por estação do ano os resultados apresentaram número e configurações diferentes. Esta decisão foi tomada, pois utilizar a divisão dos clusters em cada estação climática geraria problemas na determinação dos eventos extremos para cada região homogênea (um evento pode ter começado, por exemplo, no outono e terminado no inverno. Se os clusters de outono são diferentes do inverno este evento teria que ser dividido em dois eventos e seriam considerados para regiões diferentes do sudeste do Brasil).

A técnica hierárquica com o Método de Ward utilizada nessa divisão pode ser vista através do dendograma mostrado na Figura 2.3a e a distância euclidiana em cada um dos estágios de divisão na Figura 2.3b. O número de grupos foi determinado baseado no número de quebras deste gráfico, sendo identificado pelas setas pretas. Desta forma, foram determinados cinco grupos homogêneos em relação à precipitação no sudeste do Brasil, que podem ser vistos espacialmente na Figura 2.3c.

A região R1 (vermelha) é a região que compreende o centro-sul do estado de São Paulo e é composta de 18 estações. A região R2 (azul) compreende o extremo norte de São Paulo e o sul de Minas Gerais e é composta por 13 estações. A região R3 (roxa) compreende o

centro de Minas Gerais e o centro-sul do estado do Rio de Janeiro sendo composta por 19 estações. A região R4 (rosa) compreende o norte do estado de Minas Gerais e é composta por 20 estações. Por fim, a região R5 (verde) compreende o norte do Rio de Janeiro, porção centro leste de Minas Gerais e o estado do Espírito Santo e é composta por 19 estações.

Na Figura 2.4 podemos observar as séries médias diárias para cada região, calculadas através da média aritmética dos dados das estações que compõem a região:

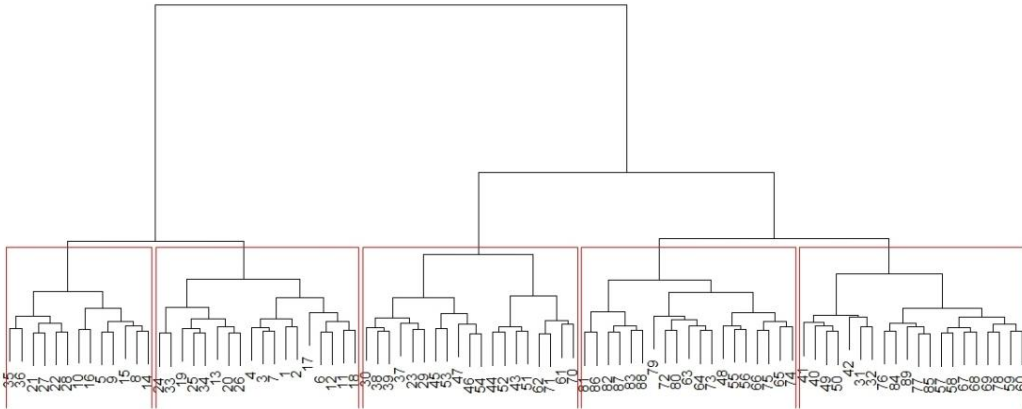
$$P_{R_j} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n}$$

2.3

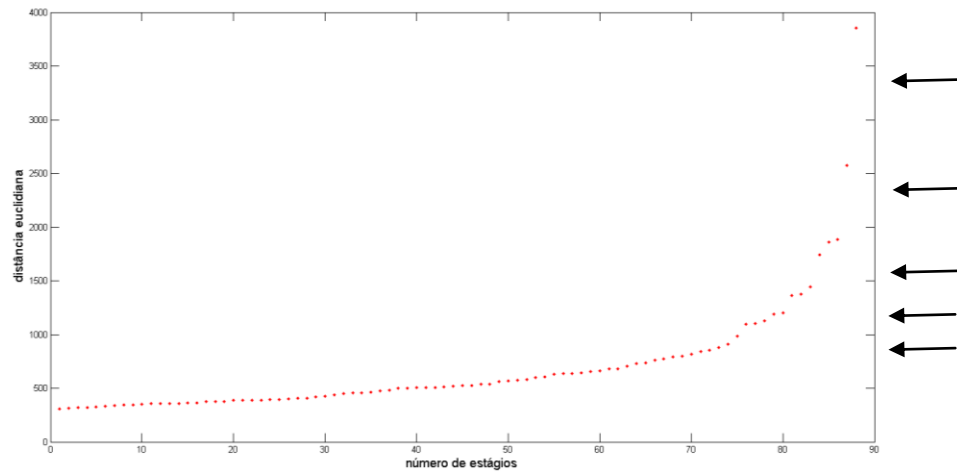
em que n é o número total de estações pertencentes a região R_j ($1 \leq j \leq 5$); p_i a precipitação diária da estação i ; P_{R_j} a precipitação média diária para a região R_j .

Na Figura 2.4 é possível observar claramente o ciclo anual da precipitação (em mm/dia), característico da região sudeste do Brasil, com valores mais elevados de precipitação no verão e valores mais baixos no inverno. Nas regiões R1 e R2 valores mais altos são observados ao longo do ano (apresentando dias com quase 70mm), enquanto que nas regiões R3, R4 e R5 os acumulados são mais baixos (não ultrapassando 50mm).

(a)



(b)



(c)

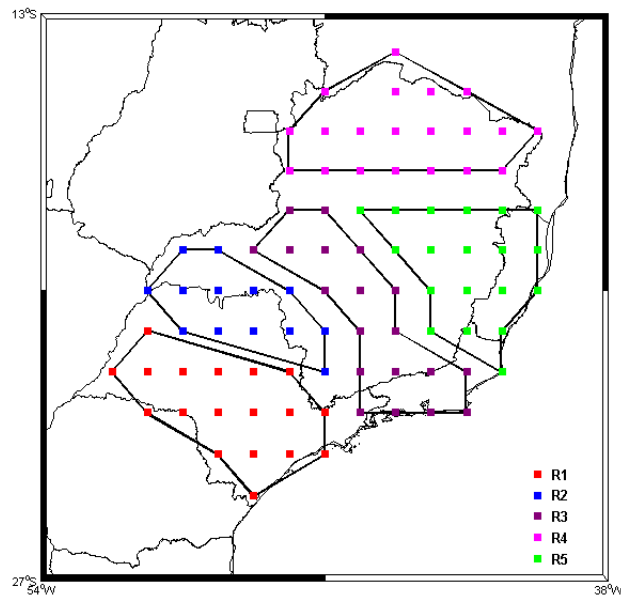


Figura 2.3: (a) Dendograma da Análise Hierárquica com Método de Ward para dados de precipitação no sudeste do Brasil; (b) Distância Euclidiana nos estágios de grupamento, com as quebras indicadas; (c) Distribuição espacial das regiões homogêneas de precipitação no sudeste do Brasil.

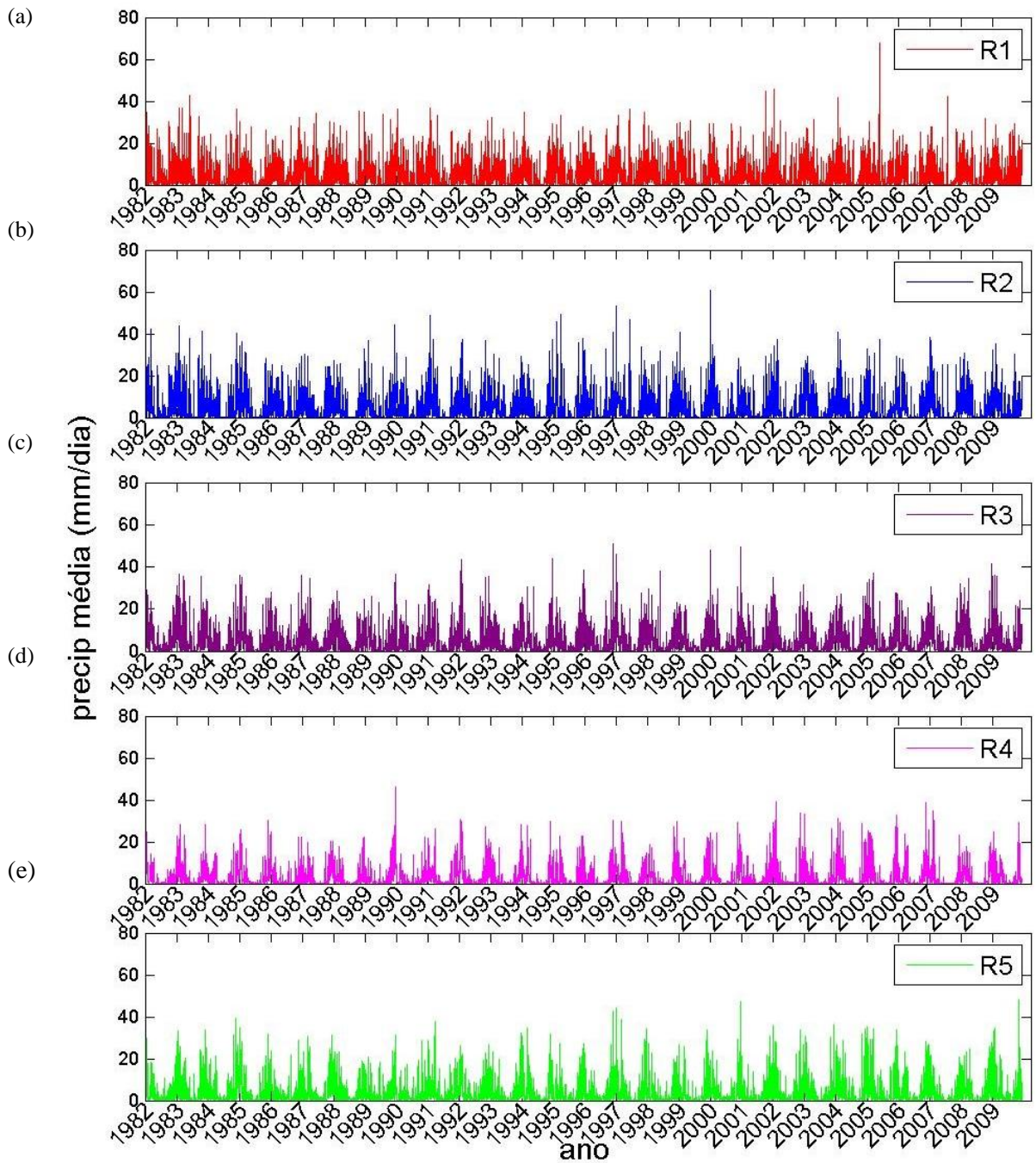


Figura 2.4: Série média de precipitação diária (mm) de 01/01/1982 a 30/11/2009 para (a) Região R1 (b) Região R2 (c) Região R3 (d) Região R4 (e) Região R5.

2.2.2 DETERMINAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS SECOS

Segundo Santos (2012), a definição de um evento extremo de precipitação é feita de modo subjetivo e pode variar quando considerados diferentes objetivos e locais. A definição de seca pode ser complexa e deve-se levar em conta a região de estudo, a época do ano e sua aplicação, não havendo uma definição universal (Mckee et al., 1993). Heim (2002) faz uma revisão dos índices de seca para os Estados Unidos e salienta que a *American Meteorological Society* classifica a seca em quatro diferentes categorias: meteorológica, agrícola, hidrológica e a socioeconômica. Apesar desta divisão, todas acontecem a partir de um déficit de precipitação. A seca meteorológica está associada às condições atmosféricas a partir da falta ou redução da precipitação e do período em que esta condição persiste. A seca agrícola acontece quando há redução na quantidade de água disponível no solo, que é essencial para as culturas agrícolas. Uma seca hidrológica é caracterizada quando ocorre redução nos reservatórios de água e nível dos rios, e pode ser estabelecida quando um longo período com déficit de precipitação ocorre, sendo observada após a seca meteorológica e agrícola. A seca socioeconômica está associada à oferta e demanda dos bens econômicos e às consequências da falta de água na vida humana.

O presente estudo está interessado em analisar primeiramente a seca meteorológica, sem levar em conta os danos causados pelo déficit de precipitação, para isso, era necessário que o método pudesse ser aplicado a dados diários de precipitação. Para determinar as datas dos eventos extremos secos em cada região foram utilizados dois métodos combinados: Método dos Percentis Variáveis (MPV) e Método dos Dias Consecutivos Secos (MDCS).

2.2.2.1 MÉTODO DOS PERCENTIS VARIÁVEIS

A partir de valores extremos de “runoff”, Van Huijgevoort et al., (2012) aplicaram o MPV para investigar secas hidrológicas. Neste estudo, eles apontam que o MPV apresenta vantagens em relação ao uso de índices como SPI (*Standard Precipitation Index*) e PDSI (*Palmer Drought Index*), pois não é necessário o conhecimento de distribuições de probabilidade no MPV e são produzidas características importantes da seca como frequência, duração e severidade.

O MPV consiste em calcular para cada dia do ano, o percentil de 20% da precipitação considerando todo período de análise. Por exemplo, para o período de 1982 a 2009 dispomos de 28 dias para 1º de março e esta série de 28 dias é utilizada para calcular o percentil de 20%

para este dia. Isto é realizado para todos os dias do ano, e assim temos uma série de 366 percentis. Para o dia 29 de fevereiro também foi calculado os percentil de 20%, porém, como são 7 anos bissextos no período estudado, a série dos dias 29 de fevereiro é composta de 7 dados.

O cálculo do percentil é feito considerando primeiramente a série de dados ordenada de forma crescente e após, calculando-se L_p , a posição do percentil desejado (neste trabalho $p = 20$):

$$L_p = (n - 1) \frac{p}{100} + 1$$

2.4

Após, deve-se determinar o L_{p_i} , que é o inteiro mais próximo de L_p tal que $L_p < L_{p_i}$. Sendo assim o percentil p_q é determinado por:

$$p_q = X_i + (X_{i+1} - X_i) \times (L_{p_i} - L_p)$$

2.5

em que X_i é o dado na posição L_{p_i} e X_{i+1} o dado na posição $L_{p_{i+1}}$.

O percentil p_q é tal que q é um número real ($0 \leq q \leq 100$) e pelo menos $q\%$ das observações são menores ou iguais a p_q e pelo menos $(100 - q)\%$ das observações são maiores ou iguais a p_q .

Um evento extremo seco é determinado quando a precipitação do dia x é inferior ao percentil de 20% determinado para este dia. O limiar de 20% foi escolhido para esta determinação, pois é o mais utilizado em estudos de eventos extremos secos (Van Huijgevoort et al., 2012). Este método foi aplicado nas séries médias de cada estação.

A Figura 2.5 a-e mostra a série de precipitação média (preto) em mm/dia e a série de percentis variáveis (vermelho) para cada região do sudeste do Brasil. É possível notar que a série dos percentis é cíclica e como era esperado para a região sudeste, o maior percentil ocorre no verão e o menor percentil ocorre no inverno. A Figura 2.5 f-j mostra os dias em que a precipitação foi abaixo do limiar do percentil de 20% e assim determinado como dia seco.

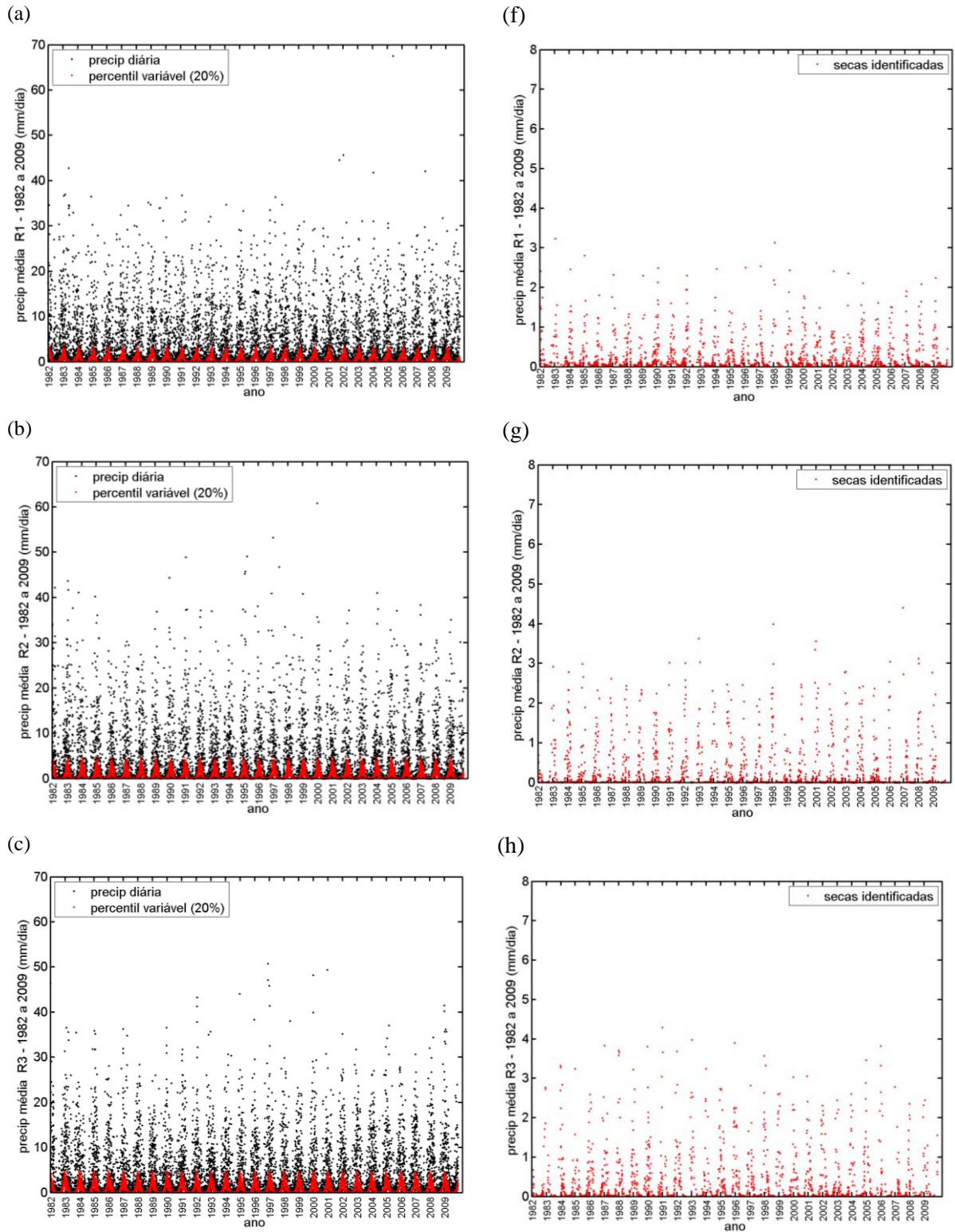
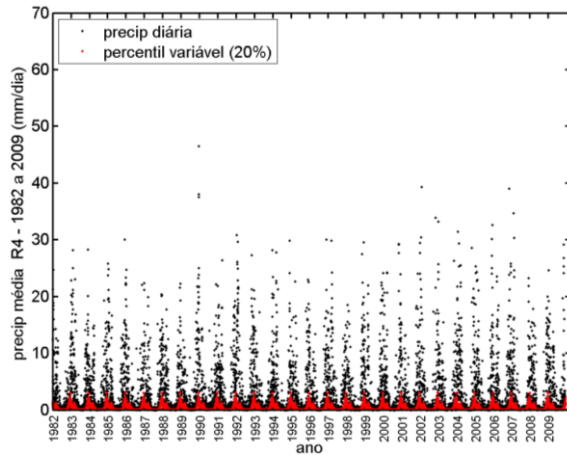
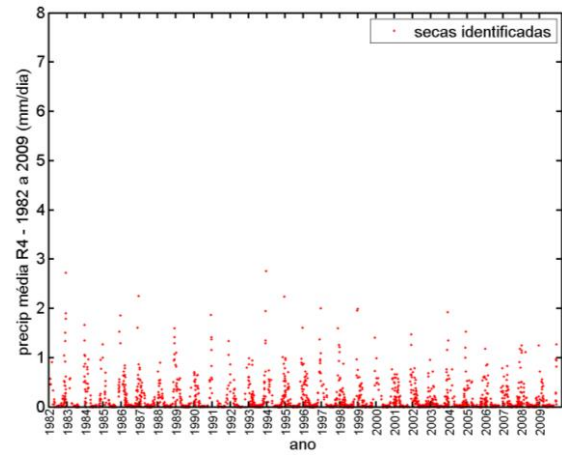


Figura 2.5: Método dos Percentis Variáveis para as regiões R1, R2, R3, R4 e R5 homogêneas no sudeste do Brasil em que: (a-e) Séries de precipitação média diária para a região (preto) em mm/dia e de percentis variáveis (vermelho); (f-j) Dias em que a precipitação média diária para a região ficou abaixo do limiar do percentil de 20% (secas identificadas).

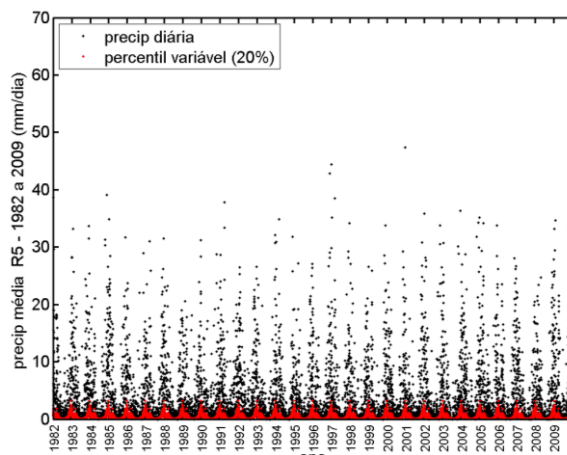
(d)



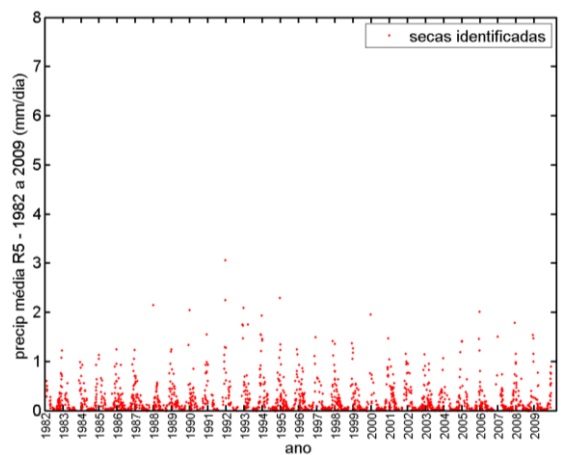
(i)



(e)



(j)



continuação da Figura 2.5: Método dos Percentis Variáveis para as regiões R1, R2, R3, R4 e R5 homogêneas no sudeste do Brasil em que: (a-e) Séries de precipitação média diária para a região (preto) em mm/dia e de percentis variáveis (vermelho); (f-j) Dias em que a precipitação média diária para a região ficou abaixo do limiar do percentil de 20% (secas identificadas).

2.2.2.2 MÉTODO DOS DIAS CONSECUTIVOS SECOS

A ideia geral deste método é que durante longos períodos sem precipitação, uma seca pode ser desencadeada e seu cálculo segue 4 passos (Van Huijgevoort et al., 2012):

1) Identificar na série de precipitação todos os períodos em que a precipitação apresenta valor menor do que $0,1mm$;

2) Para cada um desses períodos, é calculado o número de dias consecutivos secos (N_{seco}). Se houver uma quebra de no máximo 1 dia entre dois eventos este ainda é considerado como um único evento. Por exemplo, se os dias 01/03/1982, 02/03/1982 e 03/03/1982 apresentaram precipitação menor que $0,1mm$, o dia 04/03/1982 apresentou precipitação maior que $0,1mm$ e os dias 05/03/1982 e 06/03/1983 também apresentaram

precipitação inferior a $0,1mm$, então, o período de 01/03/1982 a 06/03/1982 foi considerado como um evento seco de 6 dias;

3) É construída uma série com a duração dos eventos secos e calculado o percentil de 80% da série de duração dos eventos;

4) Uma seca é identificada quando a duração do evento excede o percentil de 80% calculado no item 3.

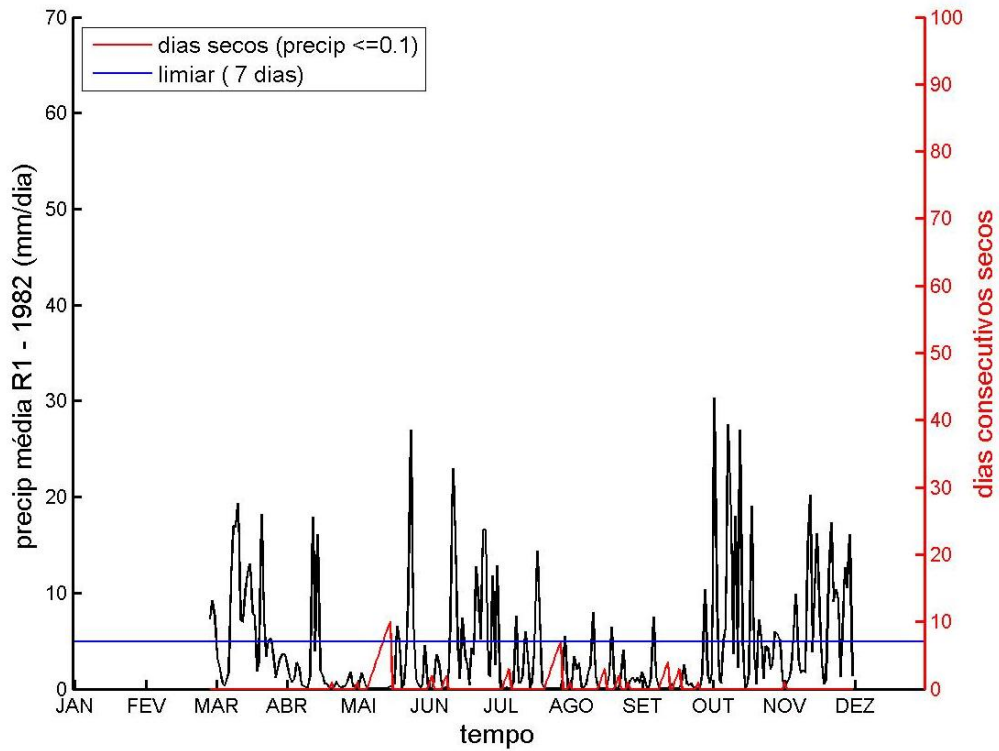
Devido à utilização das médias para cada região, é provável que ocorram poucos valores abaixo de $0,1mm$. Por exemplo, para a região R1, composta de 18 estações, se 17 estações apresentarem valores inferiores a $0,1mm$ e apenas uma apresentar registro de precipitação mais elevada, a média da região R1 para este dia seria maior que $0,1mm$. Para minimizar o fato de que pode haver precipitação isolada em uma estação ou mesmo erro de registro na série de dados, os dias foram considerados como secos em toda região, quando ou pelo menos 75% das estações da região apresentavam valores de precipitação menor ou igual $0,1mm$ ou a média daquele dia para a região fosse menor do que $0,1mm$. Müller et al. (2005) utilizaram uma metodologia semelhante na análise de geadas, considerando um evento quando mais de 75% das estações meteorológicas tivessem temperatura inferior a $0^{\circ}C$.

O método foi aplicado para cada uma das 5 regiões homogêneas do sudeste do Brasil, sendo assim, cada região apresentou um limiar diferente para a duração mínima do evento para ser considerada. No caso da região R1, o limiar encontrado para o percentil de 80% da série de duração dos eventos foi de 7 dias, para a região R2, 10 dias. Na região R3, foram selecionados eventos maiores ou iguais a 8 dias. Para a região R4, o limiar encontrado foi de 11 dias e para a região R5, eventos maiores ou iguais a 5 dias foram selecionados.

A Figura 2.6 mostra os gráficos dos dias consecutivos obtidos através deste método para o ano de 1982 (primeiro ano de análise) em todas as regiões. A linha em preto mostra a precipitação média para a região (e a escala em preto à esquerda quantifica a precipitação em mm/dia), a linha vermelha mostra a duração dos eventos em que pode ser identificado o número de dias consecutivos secos (quantificada na escala em vermelho à direita) e a linha azul é o limiar determinado para a região.

Neste ano de 1982, é possível identificar que na região R1 dois eventos foram selecionados com duração superior ao limiar de dias consecutivos secos. Em todas as outras regiões foram identificados 4 eventos baseado no limiar de cada região, com destaque para a região R4 em que foi registrado um evento de 54 dias. Os gráficos para todos os anos em cada região homogênea são mostrados no Anexo A.

(a)



(b)

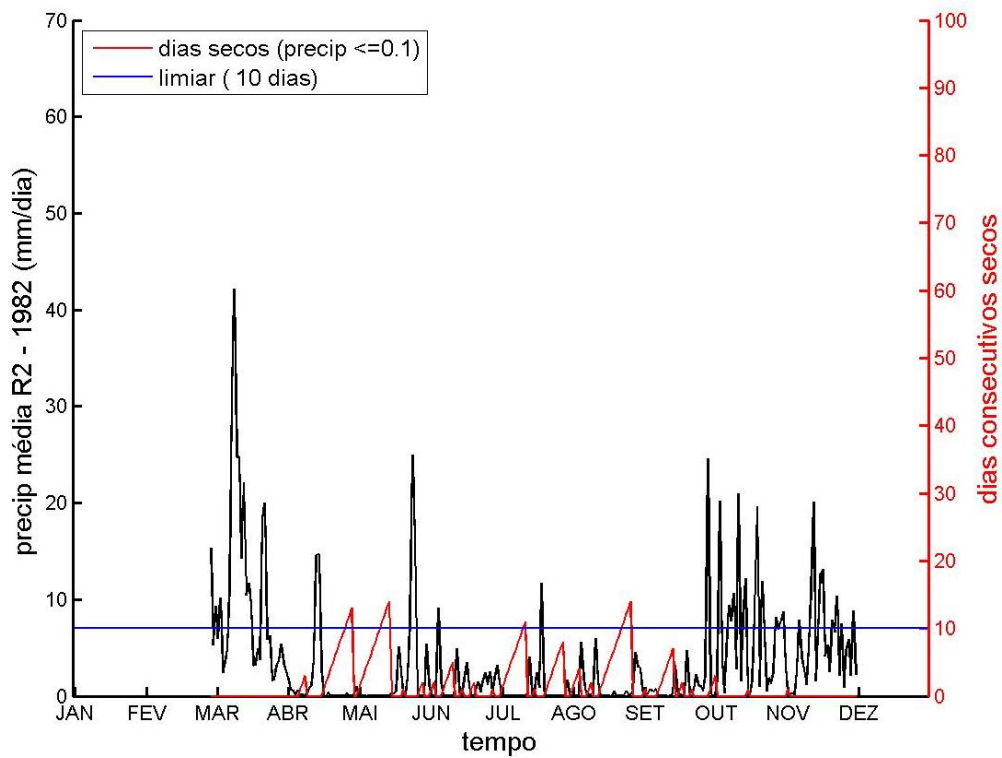
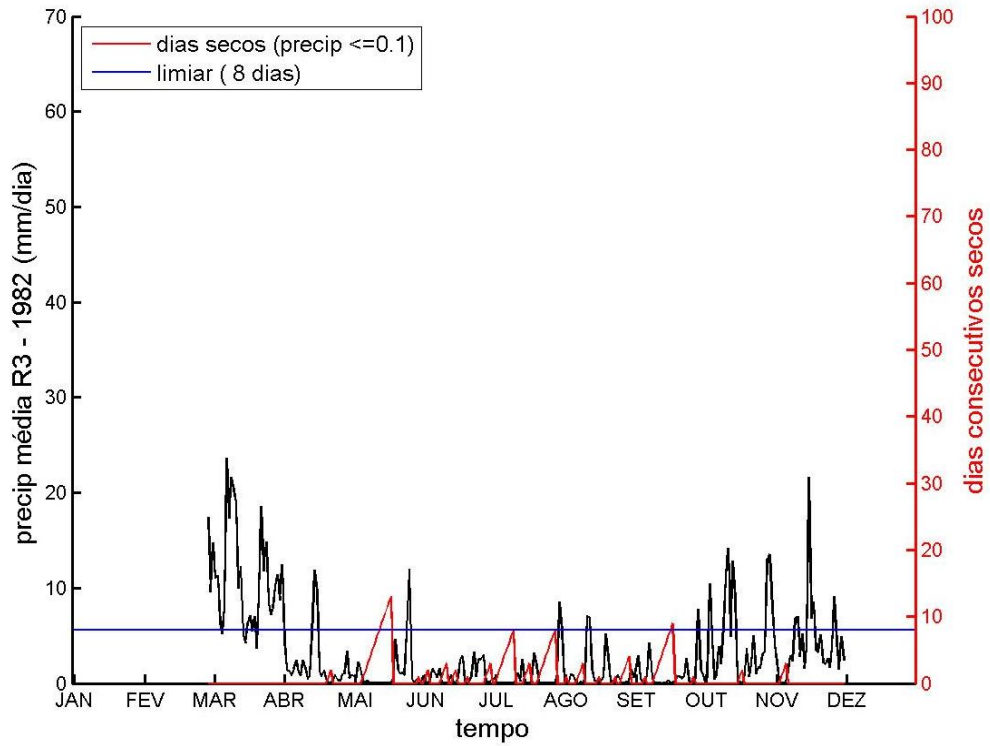
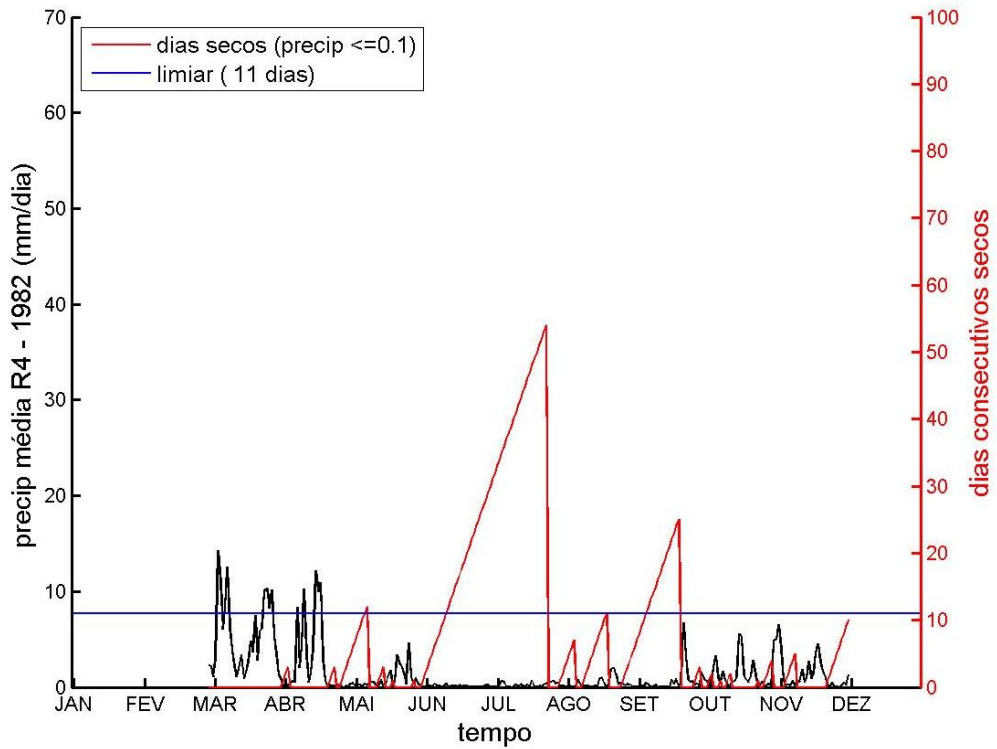


Figura 2.6: Método dos Dias Consecutivos Secos no ano de 1982 para as regiões (a) R1; (b) R2; (c) R3, (d) R4 e (e) R5 homogêneas no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.

(c)

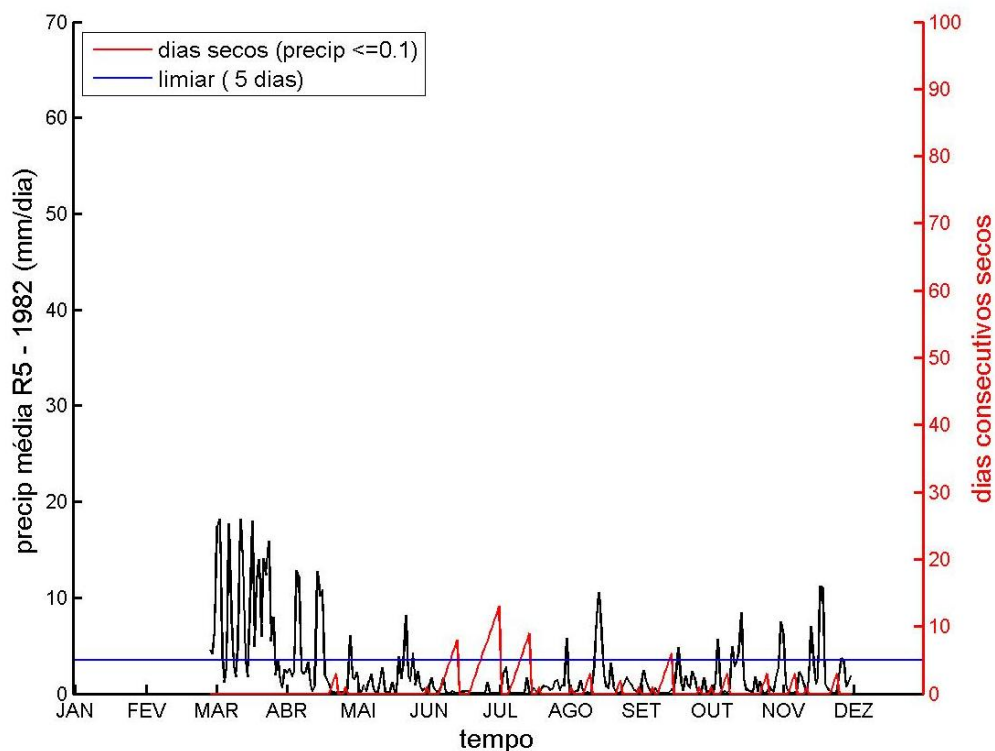


(d)



continuação da Figura 2.6: Método dos Dias Consecutivos Secos no ano de 1982 para as regiões (a) R1; (b) R2; (c) R3, (d) R4 e (e) R5 homogêneas no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.

(e)



continuação da Figura 2.6: Método dos Dias Consecutivos Secos no ano de 1982 para as regiões (a) R1; (b) R2; (c) R3, (d) R4 e (e) R5 homogêneas no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto em (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.

2.3 RESULTADOS

Para considerar que um evento foi seco em cada região homogênea, foi utilizada a combinação dos dois métodos descritos no tópico 2.2.2.2 da seguinte forma: se o evento apareceu no MDCS e as datas foram confirmadas pelo MPV em pelo menos 3 dias consecutivos. Por exemplo: se no MDCS são encontrados os dias 21/08/1993 a 31/08/1993 e no MPV os dias 24/08/1993 a 26/08/1993. Neste caso, foi considerado o evento de 21/08/1993 a 31/08/1993.

As datas dos eventos em cada região são mostradas no Anexo B e a Tabela 2.1 quantifica estes eventos. As regiões R1, R2 e R3 apresentaram menor número de eventos em relação a R4 e R5 e o inverno se caracterizou pela maior ocorrência de períodos secos, seguido pelo outono. Na primavera menor número de eventos foi registrado em todas as regiões. Na região R1 foram determinados 70 eventos secos no período de 1982 a 2009, sendo que 16 eventos ocorreram no outono, 44 no inverno e 10 na primavera. Para a região R2, 82 eventos foram encontrados, sendo 21 no outono, 51 no inverno e 10 na primavera. Já na

região R3, 12 eventos foram encontrados no outono, 55 no inverno e 11 na primavera, totalizando 78 eventos. Em R4 um total de 99 eventos foi determinado, sendo 20 no outono, 57 no inverno e 22 na primavera. E em R5, 102 eventos secos foram encontrados, com 16 ocorrendo no outono, 59 no inverno e 27 na primavera.

REGIÃO	No. EVENTOS	EVENTO MAIS LONGO	No. EVENTOS OUTONO	No. EVENTOS INVERNO	No. EVENTOS PRIMAVERA
R1	70	24 dias	16	44	10
R2	82	91 dias	21	51	10
R3	78	30 dias	12	55	11
R4	99	117 dias	20	57	22
R5	102	41 dias	16	59	27

Tabela 2.1: Estatística do número de eventos (1982-2009), duração do evento mais longo e número de evento em cada estação (outono, inverno e primavera) para cada região homogênea do sudeste do Brasil.

A Figura 2.7 mostra os histogramas para a duração dos eventos em cada uma das regiões. Em todas as regiões, os eventos mais curtos ocorreram com maior frequência que eventos mais longos, sendo que o evento mais longo foi registrado na região R4 (117 dias). Na região R1, o evento mais longo durou 24 dias; em R2, 91 dias; em R3, 30 dias e em R5, 41 dias.

O número de ocorrência dos eventos secos em cada ano pode ser visto na Figura 2.8. Em R1 os anos de 1986, 1994, 1997 e 2007 foram os que apresentaram maior número de eventos (cinco), sendo que nos anos de 1987 e 1998 nenhum evento foi registrado. Em R2, todos os anos apresentaram eventos secos, sendo que 1996 e 2006 apresentaram o maior número (5 eventos) e em 1988 e 1992 apenas um evento foi registrado, sendo os anos com menor ocorrência de eventos secos. Em R3, o ano de 1998 foi o único que não apresentou nenhum evento e 5 eventos foram registrados em 1988, 1995 e 2007, sendo os anos com maior ocorrência. Em R4, o ano com maior número de eventos foi 1993 (seis) e o menor número de eventos foi registrado em 1987, sendo que todos os anos apresentaram eventos secos. A região R5 foi a que apresentou anos com maior número de eventos (sete), sendo esta ocorrência registrada em 2007 e 2008. O ano de 1990 não apresentou eventos secos em R5.

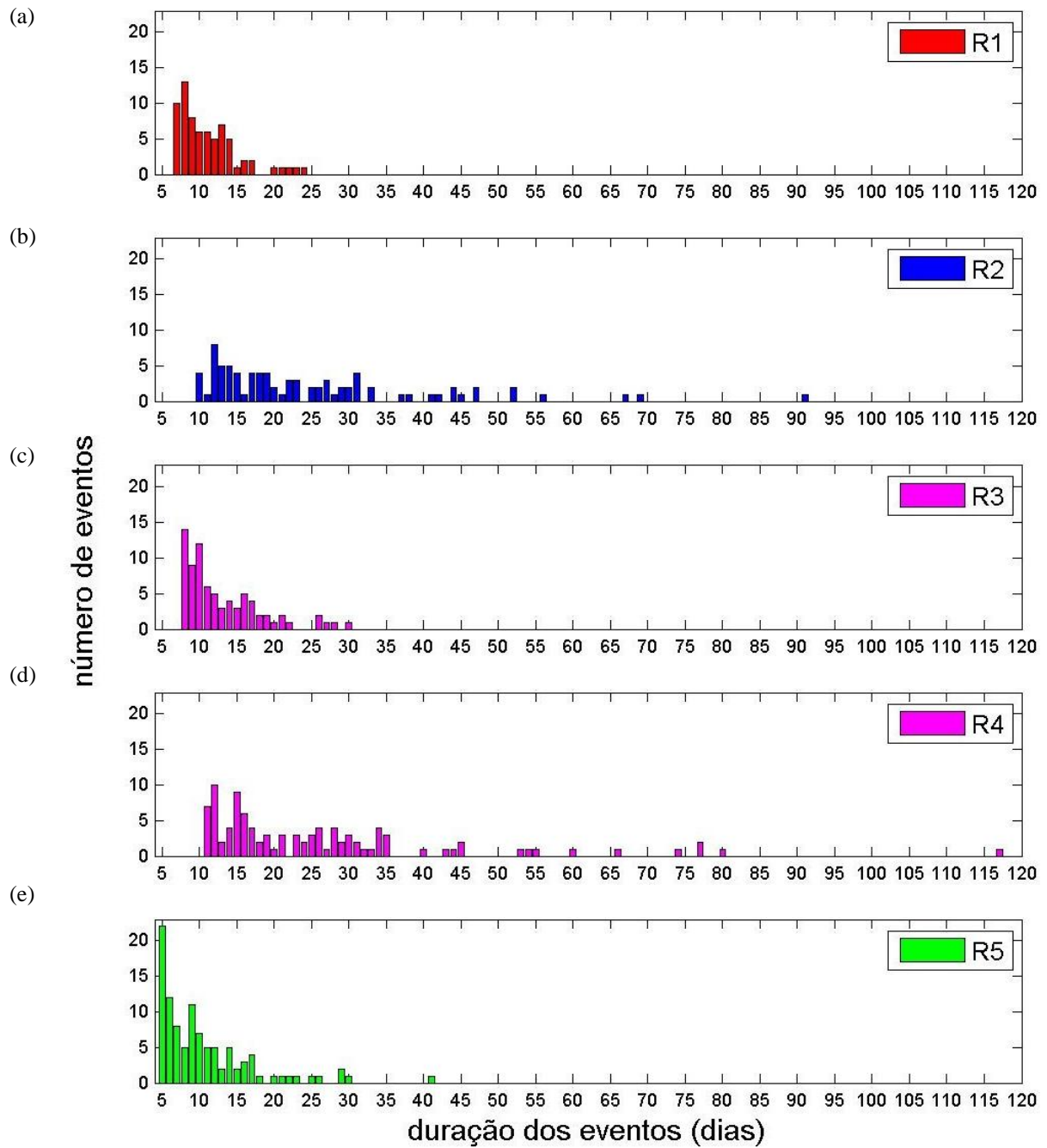


Figura 2.7: Histograma da duração dos eventos secos para (a) Região R1 (b) Região R2 (c) Região R3 (d) Região R4 (e) Região R5.

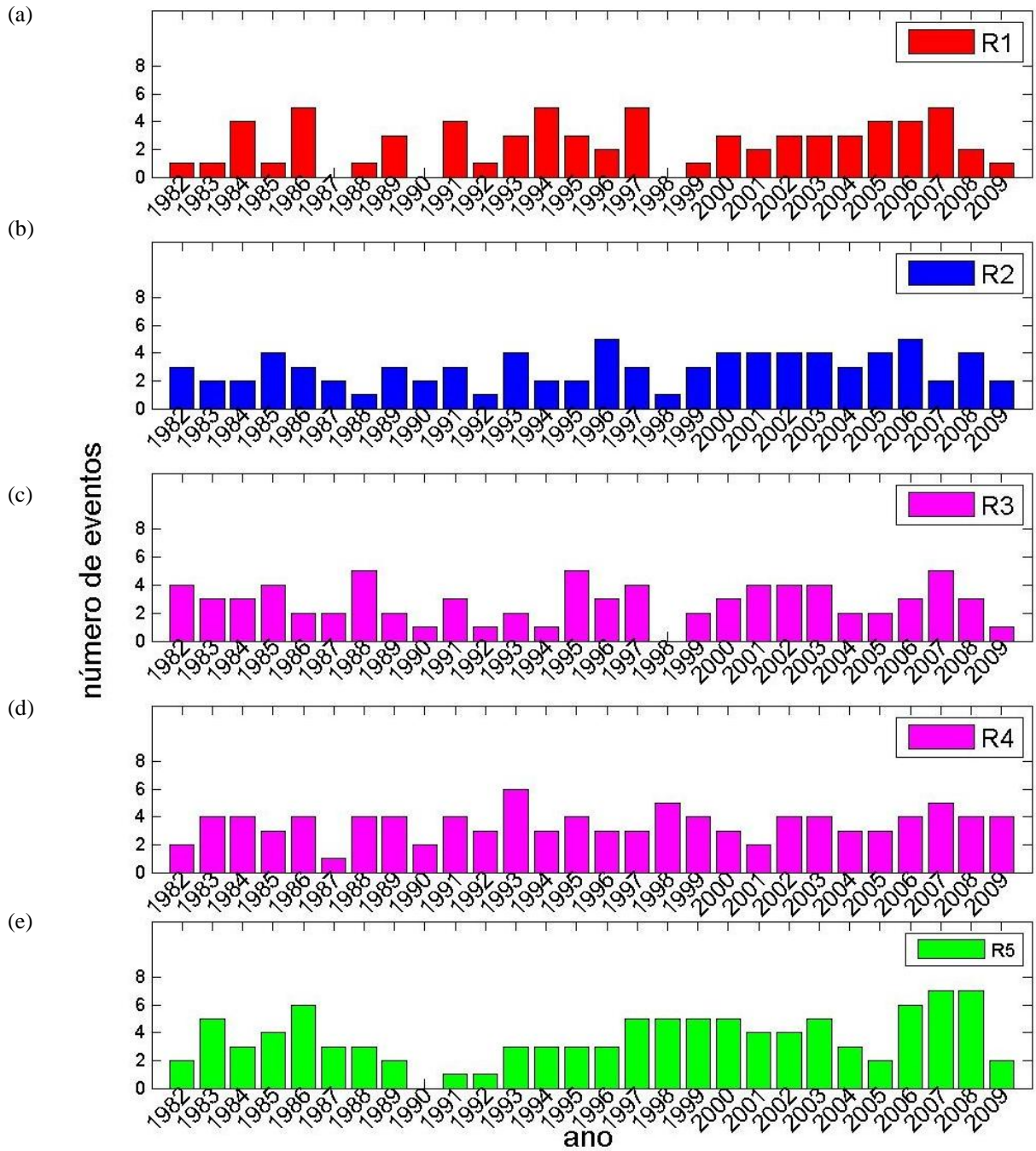


Figura 2.8: Número de ocorrência de eventos extremos secos por ano, de 1982 a 2009 para (a) Região R1 (b) Região R2 (c) Região R3 (d) Região R4 (e) Região R5.

Foram feitos mapas das médias das anomalias de precipitação para as datas de ocorrência dos eventos extremos secos ocorridos em cada uma das estações e em cada região homogênea do sudeste do Brasil. O objetivo destas análises é verificar como era a distribuição das anomalias de precipitação em todo o Brasil durante esses períodos. Por exemplo, para analisar o comportamento das anomalias de precipitação no sul do Brasil durante a ocorrência de eventos extremos secos em cada uma das regiões homogêneas do sudeste do Brasil.

Para o outono (Figura 2.9) em todas as regiões consideradas na análise, anomalias negativas de precipitação foram observadas na área de estudo, sendo estas mais intensas em R2 (Figura 2.9 b) em que anomalias inferiores a -50mm foram encontradas. Estas anomalias negativas se estenderam para a porção norte da região sul do Brasil. O sul da região sul e o litoral do norte e nordeste apresentaram anomalias positivas de precipitação. Em R4 (Figura 2.9 d) todo sul e sudeste do Brasil apresentaram anomalias negativas de precipitação.

No inverno (Figura 2.10) as anomalias tanto negativas quanto positivas de precipitação para as datas dos eventos extremos secos se configuraram nas mesmas localidades registradas nos eventos ocorridos no outono, com exceção de R4 em que não foram registradas anomalias positivas no nordeste e foram encontradas anomalias positivas no sul do Brasil. Estes valores foram mais intensos em R1 e R2.

Na primavera (Figura 2.11) foram registradas para as datas dos eventos secos no sudeste do Brasil anomalias negativas em toda região de estudo, sendo que as anomalias positivas no sul e nordeste aparecem menos intensas e concentradas sobre Santa Catarina (em R4 e R5), Sergipe e Alagoas (em R1, R2 e R3).

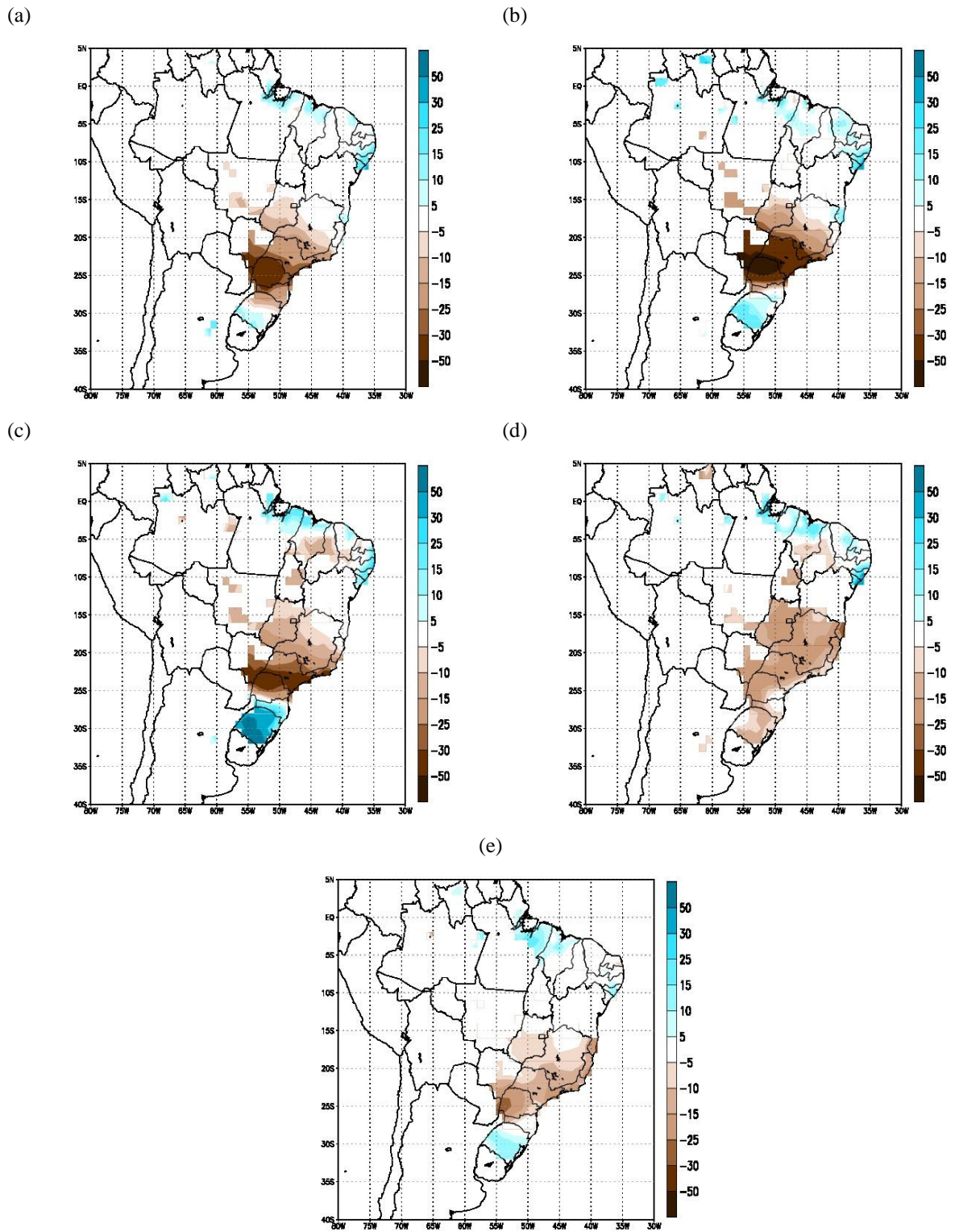


Figura 2.9: Média das anomalias de precipitação (mm) para os eventos extremos secos no sudeste do Brasil ocorridos no outono em (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5.

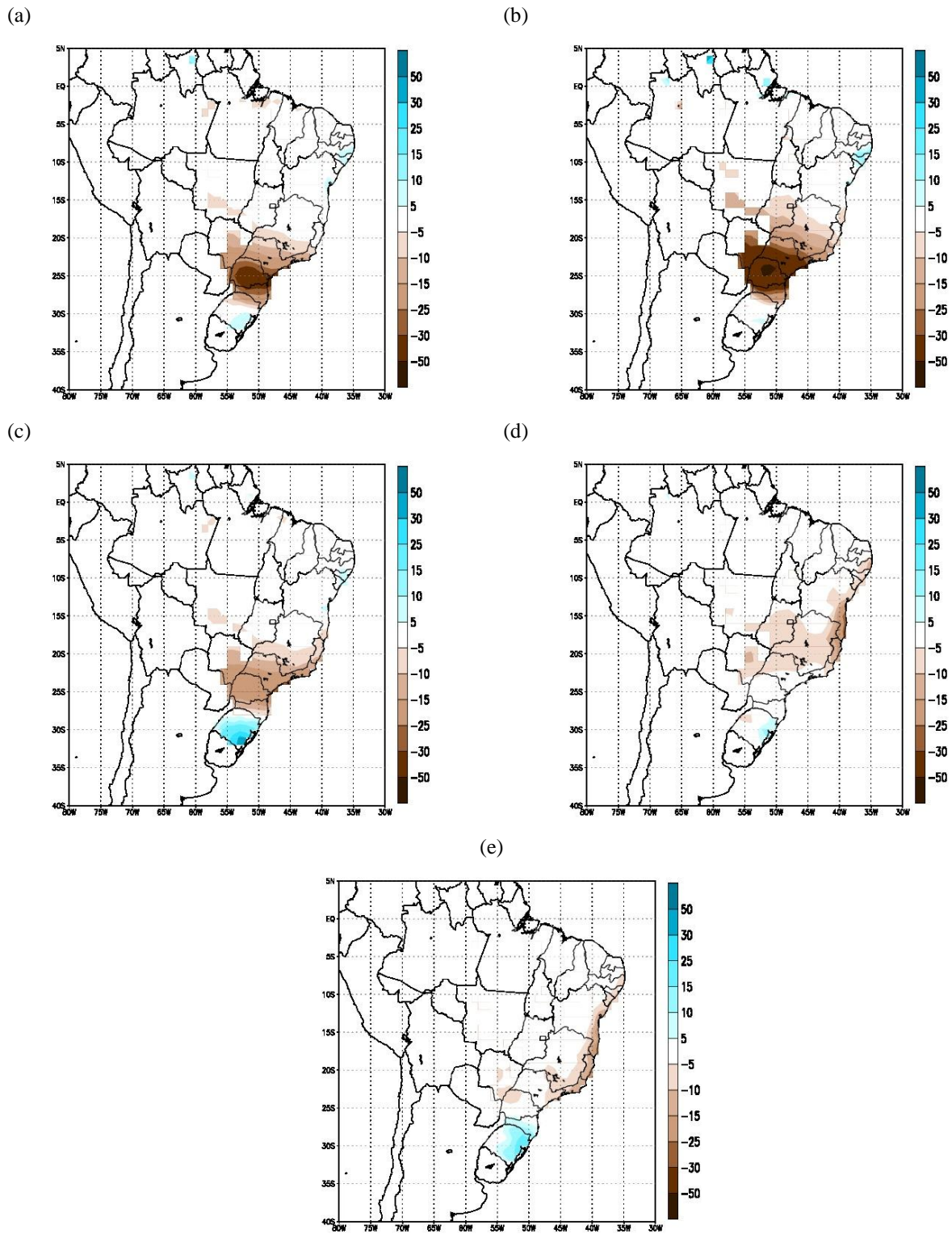


Figura 2.10: Média das anomalias de precipitação (mm) para os eventos extremos secos no sudeste do Brasil ocorridos no inverno em (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5.

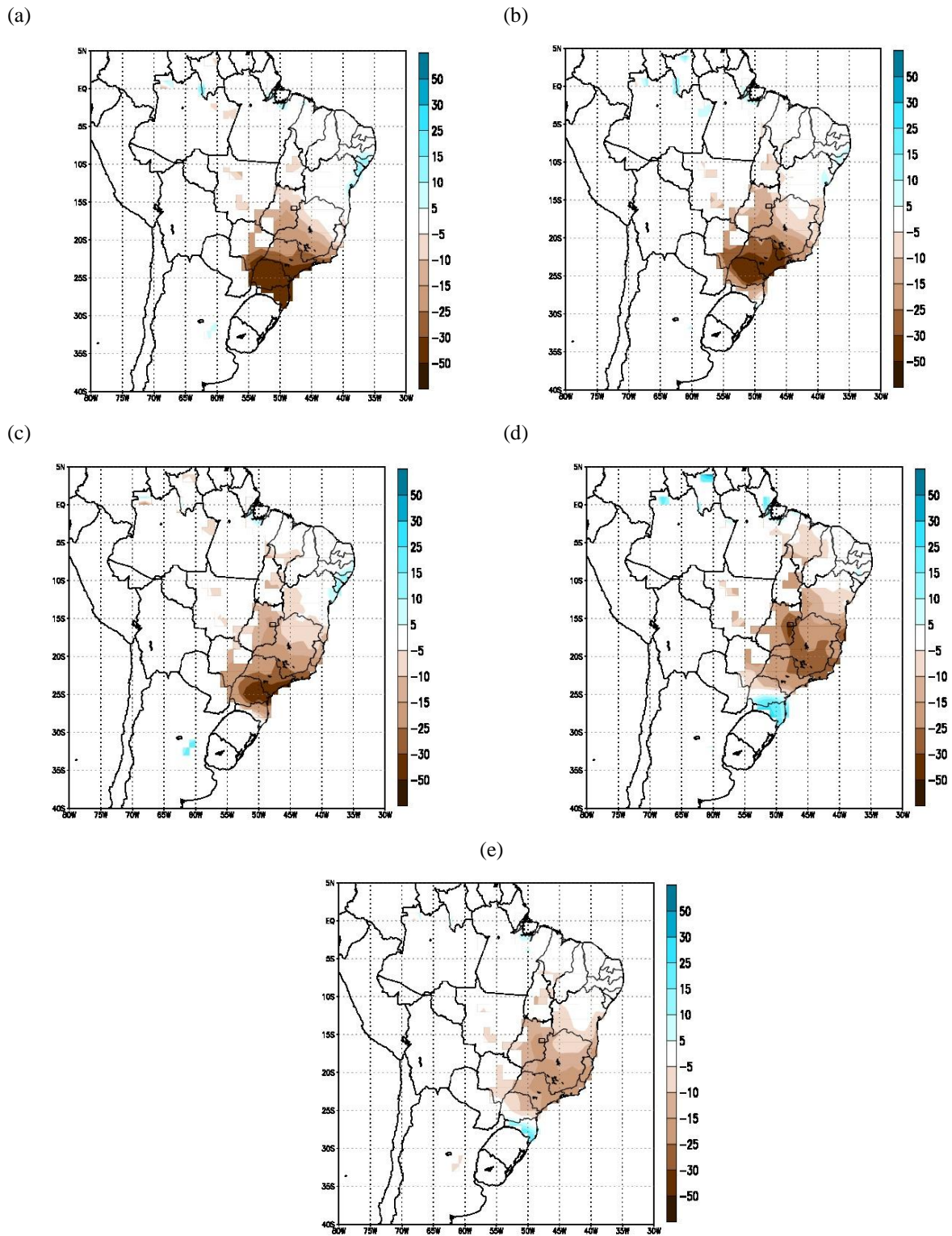


Figura 2.11: Média das anomalias de precipitação (mm) para os eventos extremos secos no sudeste do Brasil ocorridos na primavera em (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5.

2.4 CONCLUSÕES PARCIAIS

Dados diários de precipitação sobre o sudeste do Brasil (14°S-20°S e 54°W-38°W) foram utilizados para a determinação de eventos extremos secos no período de 1982 a 2009, para as estações de outono, inverno e primavera.

Primeiramente, a região de estudo foi dividida em regiões homogêneas em relação à precipitação visto que esta não apresenta homogeneidade em toda sua área. A análise de cluster com a técnica hierárquica de Ward se mostrou satisfatória para esta divisão, sendo encontradas 5 regiões, que foram nominadas: R1, R2, R3, R4 e R5. A região R1 compreende o centro-sul do estado de São Paulo, a região R2 compreende o extremo norte de São Paulo e o sul de Minas Gerais, a região R3 compreende o centro de Minas Gerais e o centro-sul do estado do Rio de Janeiro, a região R4 compreende o norte do estado de Minas Gerais e a região R5 compreende o norte do Rio de Janeiro, porção centro leste de Minas Gerais e o estado do Espírito Santo.

Dois métodos que são aplicados para dados diários de precipitação (MPV e MDCS) foram combinados para a determinação de eventos extremos secos em cada uma das 5 regiões.

As regiões R4 e R5 apresentaram o maior número de eventos (99 e 102 eventos, respectivamente). A região R4 apresentou o evento com maior duração (117 dias). As regiões R1 e R3 apresentaram o menor número de eventos (70 e 78 eventos, respectivamente), sendo que os eventos mais longos nessas regiões não ultrapassaram 24 e 30 dias, respectivamente. A região R2 apresentou 82 eventos, sendo que o evento mais longo durou 91 dias.

O inverno foi a estação que obteve registros de maior número de eventos, seguido do outono e por último a primavera. No entanto, na região R5 a segunda maior ocorrência de eventos foi na primavera.

A análise de mapas de anomalias de precipitação para todo o Brasil para as datas dos eventos extremos secos nas regiões homogêneas do sudeste do Brasil é possível verificar que toda área de estudo apresenta anomalias negativas, sendo estas mais intensas nas regiões R1 e R2. No outono e inverno as anomalias negativas de precipitação sobre o sudeste são registradas concomitantemente com anomalias positivas no sul e nordeste do Brasil.

CAPITULO 3. ANOMALIAS DE TSM NO OCEANO ATLÂNTICO SUL ASSOCIADAS AOS EVENTOS EXTREMOS SECOS NO SUDESTE DO BRASIL

3.1 DADOS

Foram utilizados dados diários de TSM, da compilação de dados contendo medidas diárias do *Advanced Very High-Resolution Radiometer* (AVHRR) do satélite da NOAA feitas pelo Dr. Moncho Gesteira e Dr. Fran Santos (Santos et al., 2012) do EPhysLab (Environmental Physics Laboratory) da Universidade de Vigo (Campus - Ourense). Estes dados são a versão 5.2 do *Pathfinder* (<ftp://ftp.nodc.noaa.gov/pub/data.nodc/pathfinder/Version5.2/>) com resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ de 1982 até o presente. Foi utilizada a área de 0° a 45°S e 0° a 80°W no período de 1982 a 2009.

3.2 METODOLOGIA

Para analisar o padrão das anomalias de TSM na ocorrência de eventos extremos secos no sudeste do Brasil foram utilizados dois métodos: mapas de composições para anomalias de TSM nas datas dos eventos extremos secos em cada região e SVD (*Singular Value Decomposition*).

3.2.1 MÉTODO DAS COMPOSIÇÕES

Segundo Souza (2003) quando se deseja identificar padrões médios que caracterizam um determinado fenômeno climático pode-se utilizar a técnica de composições.

A ideia geral deste método é formar um conjunto ψ de índices (variáveis referente ao fenômeno a ser analisado) e estimar o valor de V (composição) condicional em $z \in \psi$ (van Storch e Zwiers, 2003). A composição V_ψ é dada por:

$$V_\psi = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k v_{t_j}$$

3.1

em que v é a variável a ser analisada, t_1, t_2, \dots, t_k são os tempos das observações e k o número de observações.

Os valores de V_ψ devem ser ainda testados a fim de avaliar a significância estatística do valor encontrado e isto é feito através de um teste de hipótese. Caso o valor (não) possua significância estatística ele é aceito (rejeitado).

Segundo Wilks (2006), o teste de hipótese estatístico mais utilizado em ciências atmosféricas é o Teste-t, que examina a hipótese nula de que uma amostra observada de média V_ψ tenha sido retirada de uma população caracterizada por alguma média específica v_0 . Considerando que o número de dados que gera a média é grande e segue uma distribuição Gaussiana, então o teste estatístico (Wilks, 2006):

$$t = \frac{V_\psi - v_0}{[var(V_\psi)]^{1/2}}$$

3.2

segue uma distribuição conhecida como *T-Student* em que $var(V_\psi) = \frac{s^2}{v}$; s é o desvio padrão da amostra; v o número de graus de liberdade (eventos independentes).

Para o caso das composições de anomalias de TSM no Atlântico Sul para as datas dos eventos extremos secos no sudeste do Brasil em cada uma das estações do ano, aplica-se a equação 3.1, em que V_ψ são as anomalias de TSM nos períodos dos eventos secos. O número de graus de liberdade v é o número de eventos encontrados em cada estação. Com uma tabela de distribuição T-Student determina-se o valor de t para v e um nível de significância de 90% utilizado neste estudo. Com a equação 3.2 determina-se as anomalias que excedem o nível de significância de 90% segundo o teste-T.

3.2.2 MÉTODO DA DECOMPOSIÇÃO DO VALOR SINGULAR (SVD)

O trabalho de Lorenz (1956) foi pioneiro no uso da técnica de Análise de Componentes Principais (ACP) para análises de dados em geociências (Ferraz, 2007). Este método tem como objetivo identificar modos de variabilidade de uma variável que se deseja analisar (como por exemplo, precipitação). Esta técnica também pode ser utilizada quando se deseja analisar duas variáveis conjuntamente e neste caso é chamada de ACP combinada (Björnsson e Venegas, 1997). Entretanto, na evolução dos cálculos na técnica de ACP

combinada não é possível trabalhar com matrizes não quadradas, o que impossibilita o cálculo da ACP para duas variáveis que não são medidas nas mesmas localidades (Björnsson e Venegas, 1997).

Quando se deseja analisar dois campos combinados medidos simultaneamente, mas não necessariamente no mesmo local, utiliza-se o método SVD. Por isso, este método é geralmente referenciado como uma generalização da ACP para matrizes retangulares e serve para identificar pares de padrões espaciais acoplados dos dois campos e analisar sua variação no tempo (Björnsson e Venegas, 1997).

O método será descrito a seguir conforme o trabalho publicado por Björnsson e Venegas (1997) que explica cada passo desta análise. Sejam S (medida em t tempos e s pontos de grade, sendo uma matriz $t \times s$) e P (medida em t tempos e p pontos de grade, sendo uma matriz $t \times p$) matrizes que representam as anomalias de duas variáveis que se deseja analisar e que se tenham registros simultâneos (medidos nos mesmos tempos t). O primeiro passo é calcular a matriz de covariância C (que será uma matriz $s \times p$) entre os dois campos de dados, que é dada por:

$$C = S^t P$$

3.3

O cálculo do SVD consiste em encontrar as matrizes U (de dimensão $s \times s$) e V (de dimensão $p \times p$) e uma matriz diagonal L (de dimensão $s \times p$) tal que (Björnsson e Venegas, 1997):

$$C = ULV^t$$

3.4

Na ACP o resultado da técnica são os autovetores (padrões espaciais) com seus autovalores associados. No SVD, o resultado são dois conjuntos de vetores singulares (um para cada variável), que são espacialmente ortogonais entre si, além de um conjunto de valores singulares associados com cada par de vetores (Björnsson e Venegas, 1997).

Os vetores singulares de S são as colunas da matriz U e os vetores singulares de P são as colunas da matriz V . Estes valores representam o padrão espacial (e são vistos em um mapa) e cada par de vetores singulares é um modo de covariabilidade entre os campos S e P (Björnsson e Venegas, 1997).

Cada par de padrões espaciais descreve uma fração do quadrado da covariância (SC) entre as duas variáveis. O primeiro par de padrões descreve a maior fração do SC e cada par subsequente descreve a máxima fração do SC que não é explicado pelo par anterior (Björnsson e Venegas, 1997).

Para avaliar como os modos oscilam no tempo, são determinados os coeficientes de expansão. O k-ésimo coeficiente de expansão para cada variável é calculado pela projeção do k-ésimo vetor singular no campo do dado original correspondente (Björnsson e Venegas, 1997), por:

$$A = SU \text{ e } B = PV$$

3.5

em que colunas de A são os coeficientes de expansão de S e as colunas de B , os coeficientes de expansão de P . Desta forma, para um modo k , pares de vetores $u_k(t)$ e $v_k(t)$, são os coeficientes de expansão gerados. A partir deles podem-se construir os mapas de correlação homogênea e heterogênea (Björnsson e Venegas, 1997).

Os k-ésimos mapas de correlação homogênea são definidos como o vetor de correlação entre o coeficiente de expansão do k-ésimo modo de um campo e os valores do mesmo campo em cada ponto de grade ($r_{Hom}[S(t), u(t)]$ e $r_{Hom}[P(t), v(t)]$) e representam um bom indicativo da localização espacial da covariância entre o campo e seu k-ésimo modo (Björnsson e Venegas, 1997).

Já os k-ésimos mapas de correlação heterogênea são definidos como o vetor de correlação entre o coeficiente de expansão do k-ésimo modo de um campo e os pontos de grade do outro campo ($r_{Het}[S(t), v(t)]$ e $r_{Het}[P(t), u(t)]$) e indicam o quão bem os valores de ponto de grade do segundo campo podem ser previstos pelo conhecimento do coeficiente de expansão do primeiro campo (Björnsson e Venegas, 1997).

O valor da correlação entre os k-ésimo coeficientes de expansão das duas variáveis ($r[u(t), v(t)]$) indica quão relacionados elas estão (Björnsson e Venegas, 1997) e a interpretação dos mapas de correlação heterogênea dever ser realizada em conjunto à análise de r (Coelho, 2001).

No caso de $r > 0$ a interpretação é direta. Valores positivos (negativos) em r_{Het} para S e valores negativos (positivos) em r_{Het} para P indicam que anomalias positivas (negativas) em S estão associadas a anomalias negativas (positivas) em P . As outras duas combinações

(r_{Het} para S e P apresentam o mesmo sinal) também é direta. No caso de $r < 0$ a relação é inversa (Coelho, 2001).

As matrizes A e B determinadas são ortogonais, desta forma, os dados originais S e P podem ser reconstruídos por:

$$S = AU^t \text{ e } P = BV^t$$

3.6

A fração da covariância explicada por cada modo (SCF) pode ser determinada por:

$$SCF_i = \frac{l_i}{\sum l_i}$$

3.7

em que $l_i = L(i, i)$ o i -ésimo valor singular (localizado na diagonal da matriz L)

Uma descrição da teoria da técnica de SVD também é feita em Coelho (2001) que mostra como interpretar os resultados dos mapas de correlação homogênea e heterogênea obtidos desta técnica. O método é ainda empregado para realizar análises da influência da TSM do Pacífico Equatorial na precipitação da América do Sul.

O método SVD vem sendo utilizado desde 1992 quando Bretherton et al. (1992) analisaram vários métodos para detectar padrões de diferentes componentes do sistema climático (Björnsson e Venegas, 1997), sendo que os trabalhos de Venegas et al. (1996b e 1997) e Coelho et al. (2002) aplicam esta técnica para a região deste estudo deste trabalho.

Venegas et al. (1996b e 1997) utilizaram os métodos de EOF (*Empirical Ortogonal Functions*) e SVD em campos de TSM e PNMM para a análise do acoplamento Atmosfera-Oceano no Atlântico.

No trabalho de Coelho et al. (2002), a técnica de SVD foi utilizada juntamente com a de SLC (Correlação Linear Simples) para analisar os impactos da TSM do Oceano Pacífico Tropical nos padrões de precipitação da América do Sul durante períodos de ENOS. Com o cálculo da SVD foi possível identificar quais áreas oceânicas são mais bem correlacionadas com a precipitação na América do Sul. Porém, para determinar qual área específica possui a influencia mais significativa, foi utilizada a SLC.

Para o presente estudo foram calculadas as anomalias médias mensais de TSM para a região do Atlântico utilizando os dados descritos em 3.1 (que será a matriz S) e anomalias

mensais de precipitação dos dados descritos em 2.1, porém agora para todo o Brasil (matriz P).

O método SVD foi utilizado para determinar os padrões de anomalias de TSM associados aos padrões de anomalia de precipitação em todo Brasil e os mapas de correlação heterogênea foram utilizados para verificar a relação entre estes registros (foram determinadas também as regiões com significância estatística das correlações através do teste T -Student, com 90% de significância estatística e o número de anos deste estudo foi considerado como o número de graus de liberdade).

O SVD não permite a utilização de dados faltantes em seus cálculos (Björnsson e Venegas, 1997), por isso, foram excluídas da análise as estações no Brasil que não possuíam sua série completa no período de 1982 a 2009. A Figura 3.1 mostra as estações utilizadas para o cálculo do SVD.

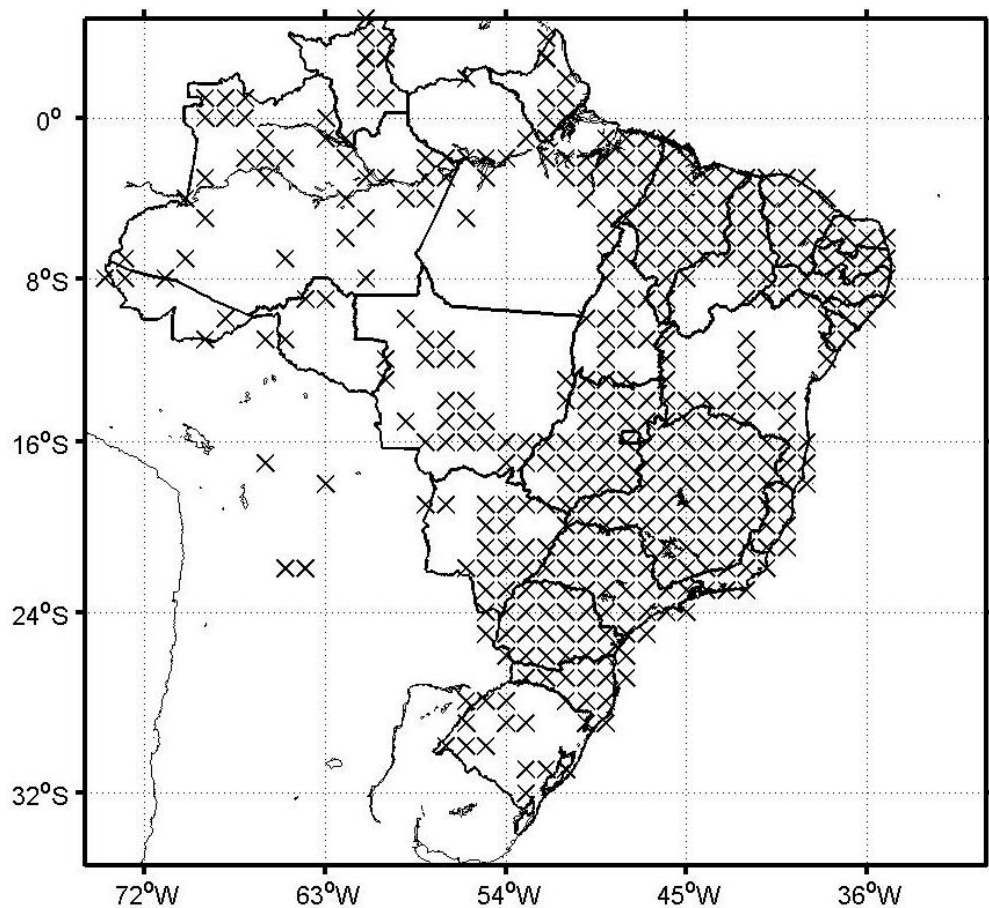


Figura 3.1: Estações com a série de dados acumulados de precipitação mensais completas no período de 1982 a 2009 e utilizadas para o cálculo do SVD.

3.3 RESULTADOS

Os dois métodos descritos em 3.2.1 e 3.2.2 foram analisados, a fim de determinar padrões de TSM semelhantes na ocorrência de eventos extremos secos no sudeste do Brasil. As análises foram separadas por estação do ano. Para a análise de SVD, este capítulo mostra apenas os gráficos que apresentaram anomalias negativas de precipitação no sudeste do Brasil, sendo os outros disponibilizados no Anexo C. As regiões com significância estatística de 90% tanto para as composições quanto para os mapas de correlação heterogêneo no cálculo do SVD para a TSM, são apresentados em pontos com tom de cinza e nos mapas de correlação heterogênea no cálculo do SVD da precipitação são marcados com “X”. Estes locais foram determinados através do *Teste-t de Student*. Nos gráficos em que são apresentados os coeficientes de expansão da precipitação e da TSM, os valores foram normalizados pelos respectivos desvios padrão.

3.3.1 OUTONO

Na análise das composições das anomalias de TSM para os eventos extremos secos (Figura 3.2), o padrão encontrado para as regiões R1, R2 e R3 é semelhante, configurando um padrão tipo tripolo. Com anomalias negativas de TSM que se estendem de 9°S até em torno de 25°S, anomalias positivas entre 25°S e 38°S, sendo estas mais intensas próximo a costa do continente e anomalias negativas ao sul de 38° S, mais concentradas à leste de 40°W.

Os valores registrados em R1 (Figura 3.2a) foram mais intensos, chegando a +1°C para as anomalias positivas e -1°C para as anomalias negativas. Na região R2 (Figura 3.2b) as anomalias positivas não ultrapassam o valor de 0,3°C e as negativas não são menores do que 0,3°C. Para a região R3 (Figura 3.2c), o padrão da anomalia negativa mais ao sul aparece mais bem configurado e a anomalia negativa ao norte com menor extensão longitudinal.

Para as regiões R4 (Figura 3.2d) e R5 (Figura 3.2e) o padrão que se configurou também foi um tripolo com mesmos sinais (negativo, positivo, negativo), porém deslocados para norte, sendo que o gradiente negativo/positivo fica localizado em torno de 9°S e o gradiente positivo/negativo em torno de 27°S. O padrão de TSM também se apresenta mais espalhado em relação às outras três regiões, sendo a anomalia negativa ao norte bem menos intensa. A anomalia positiva de TSM em R4 se apresenta bastante enfraquecida em relação às outras regiões.

Na análise de SVD, os padrões espaciais do 1° modo de covariância entre anomalias de precipitação e TSM (Figura 3.3) mostra no sul e sudeste do Brasil um padrão de dipolo,

indicando que enquanto anomalias positivas de precipitação são registradas no sul, anomalias negativas aparecem no sudeste. O padrão para o mapa espacial da TSM mostra um padrão semelhante de tripolo encontrado na análise de composições. Este modo apresentou 29% da covariância do sistema, com coeficiente de correlação entre os coeficientes de expansão no valor de 0.68829. As figuras (Figura 3.3 c-d) indicam que os padrões encontrados para as anomalias de TSM (tipo tripolo negativo/positivo/negativo) estão associados a estas configurações de anomalias de precipitação no Brasil (positivas no sul e negativas no sudeste).

O 2º modo do SVD (Figura C.1) representa 23,1% da covariância do sistema e para o Atlântico mostrou um padrão de dipolo, com anomalias positivas entre 0° e 35°S e anomalias negativas ao sul de 35°S. O padrão espacial para a precipitação mostrou anomalias negativas com significância estatística apenas na porção norte do sudeste do Brasil e os coeficientes de expansão destes modos tem correlação de 0.58676.

O 3º modo do SVD (Figura C.2) explica 8,83% da covariabilidade representada por esses campos e mostra um padrão de anomalias positivas de TSM em praticamente toda a costa do Brasil associadas a anomalias negativas de precipitação no sudeste e nordeste do Brasil, porém sem significância estatística. O coeficiente de correlação entre os coeficientes de expansão deste modo foi de 0.53069.

Desta forma, o padrão de tripolo (negativo, positivo e negativo) apareceu nas duas análises, sendo característico dos períodos secos no sudeste do Brasil no outono sendo mais deslocado para norte nas regiões R4 e R5.

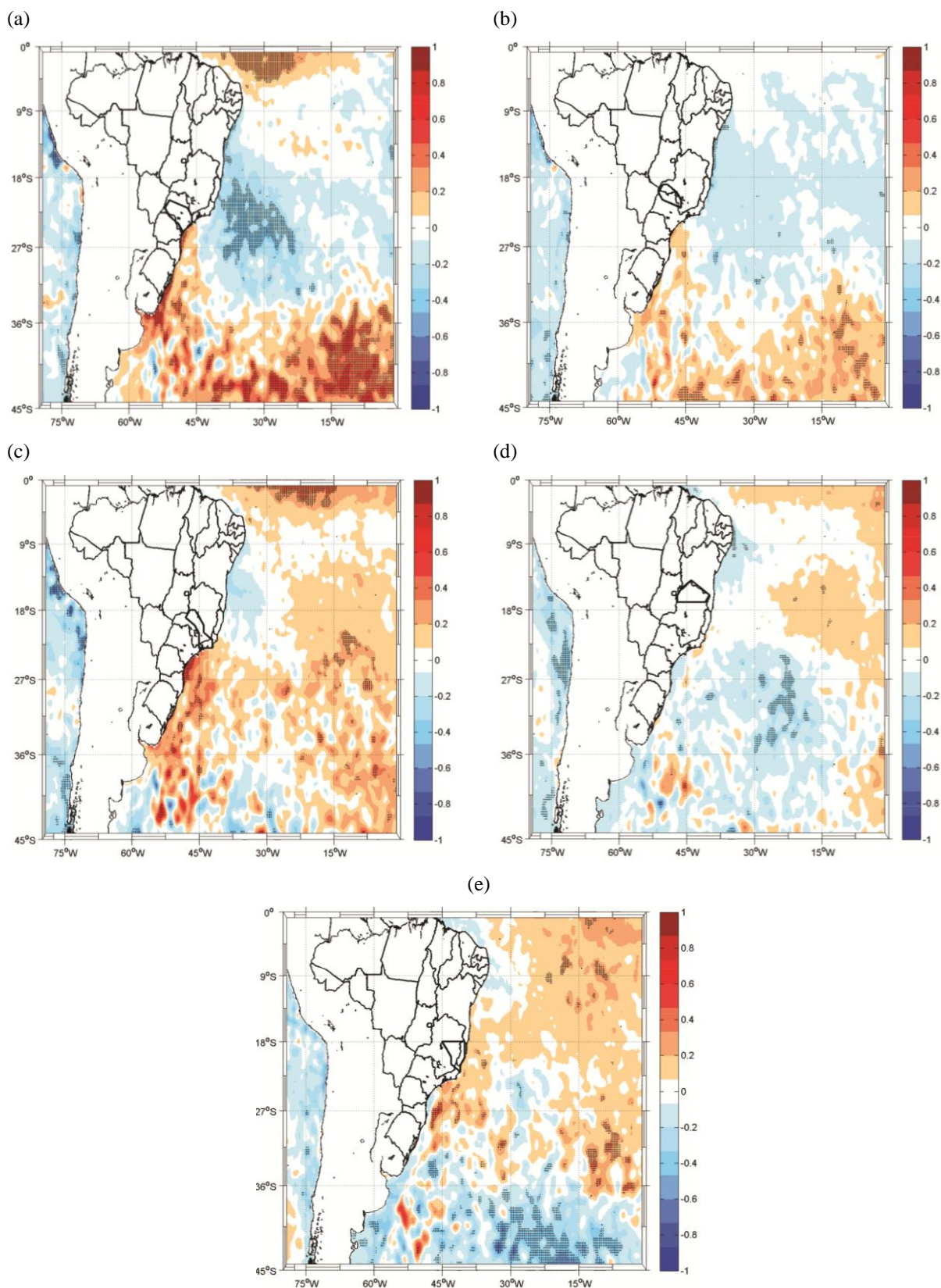


Figura 3.2: Composição das anomalias de TSM para os períodos dos eventos extremos secos no período de 1982 a 2009 no outono em (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5. Regiões com pontos em tom de cinza apresentam significância estatística de 90%.

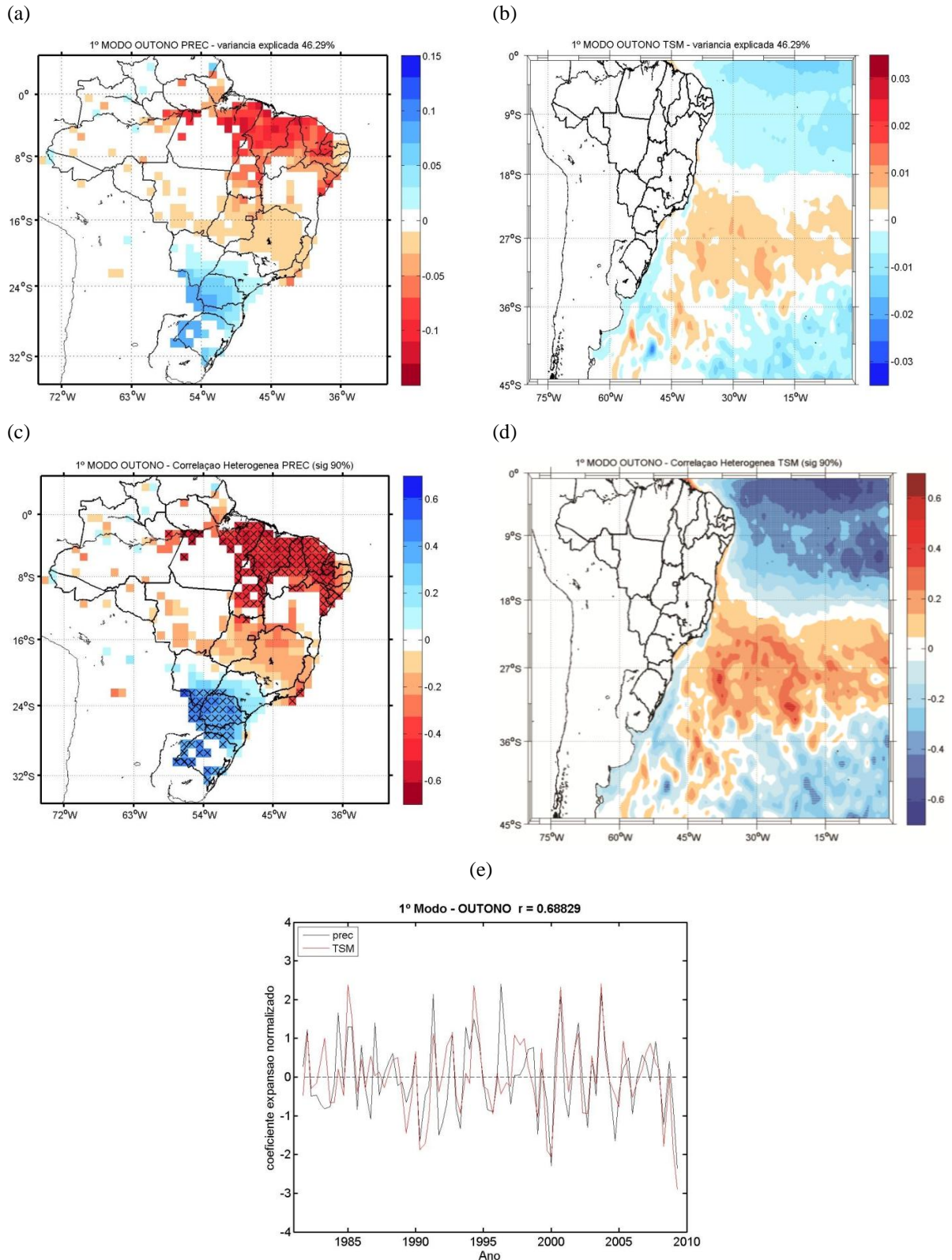


Figura 3.3: 1° Modo do SVD para anomalia de TSM e precipitação para o outono representando 46.49% da variabilidade (a) padrão espacial da precipitação; (b) padrão espacial da TSM; (c) correlação heterogênea da precipitação; (d) correlação heterogênea da TSM; (e) coeficientes de expansão normalizados da precipitação (preto) e TSM (vermelho). Regiões com pontos (X) em cinza na correlação heterogênea da TSM (precipitação) apresentam significância estatística de 90%.

3.3.2 INVERNO

Na análise das composições das anomalias de TSM para os eventos extremos secos ocorridos no inverno nas regiões R1 e R3 (Figura 3.4 (a) e (c)) apresentaram padrão semelhante ao encontrado para o outono (Figura 3.2), um padrão tipo tripolo de mesma configuração das anomalias positivas e negativas, sendo mais intensas em R1.

Nas regiões R2 e R4 (Figura 3.4 (b) e (d)) a anomalia negativa na região do Atlântico Tropical não se apresenta configurada, sendo vistas apenas a anomalia positiva próxima da costa do sul e sudeste do Brasil e a anomalia negativa ao sul desta. Nestas regiões as anomalias de TSM se encontram bem menos intensas e concentradas na costa do continente. Na região R5 (Figura 3.4 (e)) essa configuração se encontra deslocada para norte em relação às outras duas regiões, predominando a anomalia negativa.

O 2º modo do SVD para o inverno (Figura 3.5) explica 9.41% da covariância do sistema no inverno, com um coeficiente de correlação de 0.52257 entre os coeficientes de expansão. Pode-se notar que os resultados das Figura 3.5 c-d estão indicando que o mesmo padrão de tripolo encontrado na análise de composições para R1 (Figura 3.4 (a)) está associado a anomalias negativas de precipitação nesta região no sudeste do Brasil, sendo significativa apenas a anomalia positiva de TSM do Atlântico.

Na análise de SVD, os padrões espaciais do 1º modo do SVD (Figura C.3) representam 50.48% da covariância do sistema entre anomalias de precipitação e TSM. Os mapas de correlação heterogênea estão indicando que no sul e sudeste do Brasil anomalias positivas de precipitação estão associadas a um padrão inverso de TSM no Atlântico Sul encontrado para o outono e $r = 0.59766$.

Com uma covariância total do sistema explicada por 8.29% e $r = 0.59407$, o sinal do impacto das anomalias de TSM no Atlântico nas anomalias negativas de precipitação, apresentam valores significativos apenas nas duas regiões das anomalias negativas de TSM do OAS, não sendo significativa para a anomalia positiva próxima à costa do sudeste do Brasil no 3º Modo de SVD (Figura C.4).

Desta forma, para o inverno, apenas a anomalia positiva de TSM localizada entre 18°S e 37°S no Atlântico se mostrou significativa para a ocorrência de eventos secos no sudeste do Brasil.

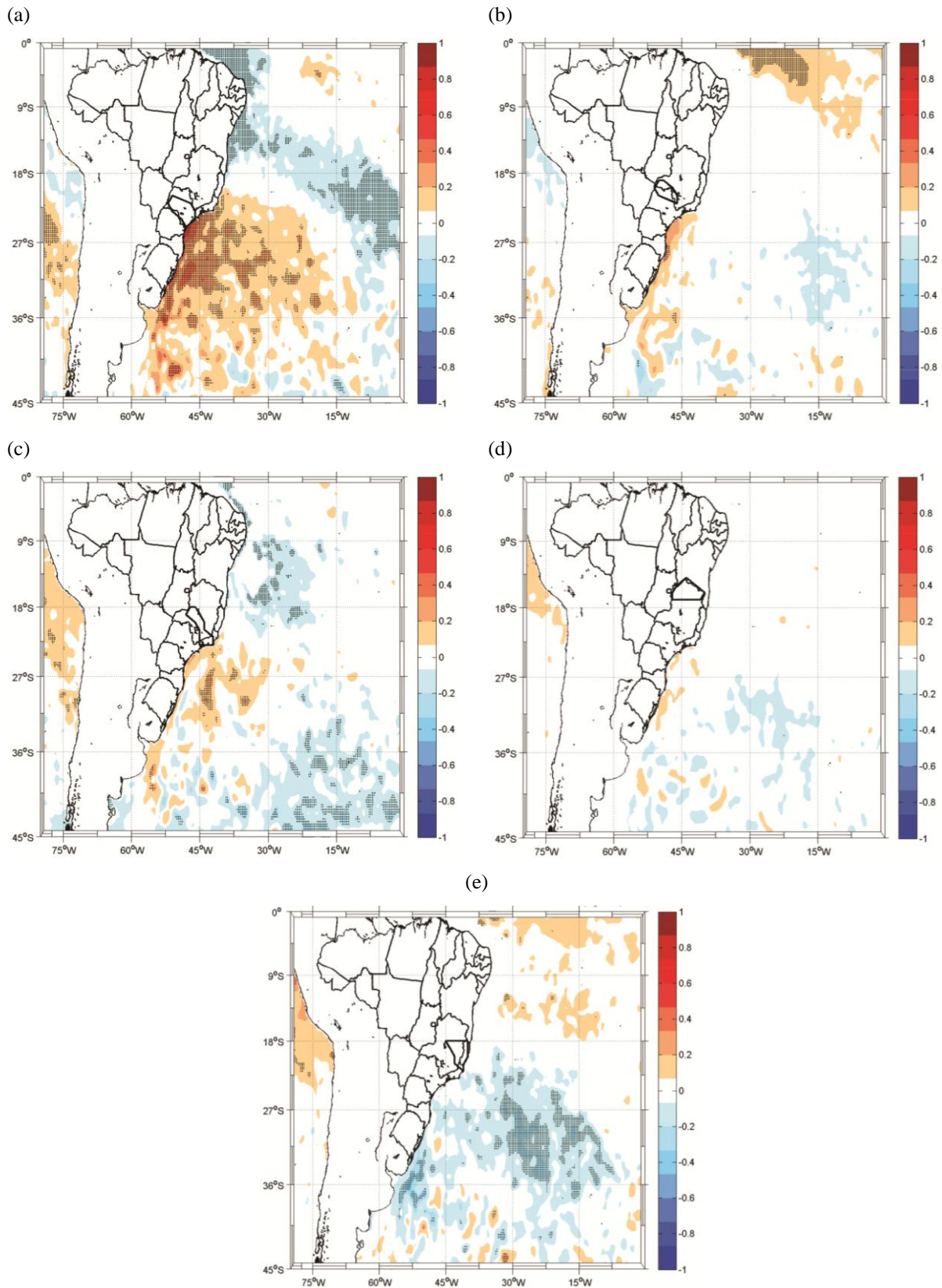


Figura 3.4: Composição das anomalias de TSM para os períodos dos eventos extremos secos no período de 1982 a 2009 no inverno em (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5. Regiões com pontos em tom de cinza apresentam significância estatística de 90%.

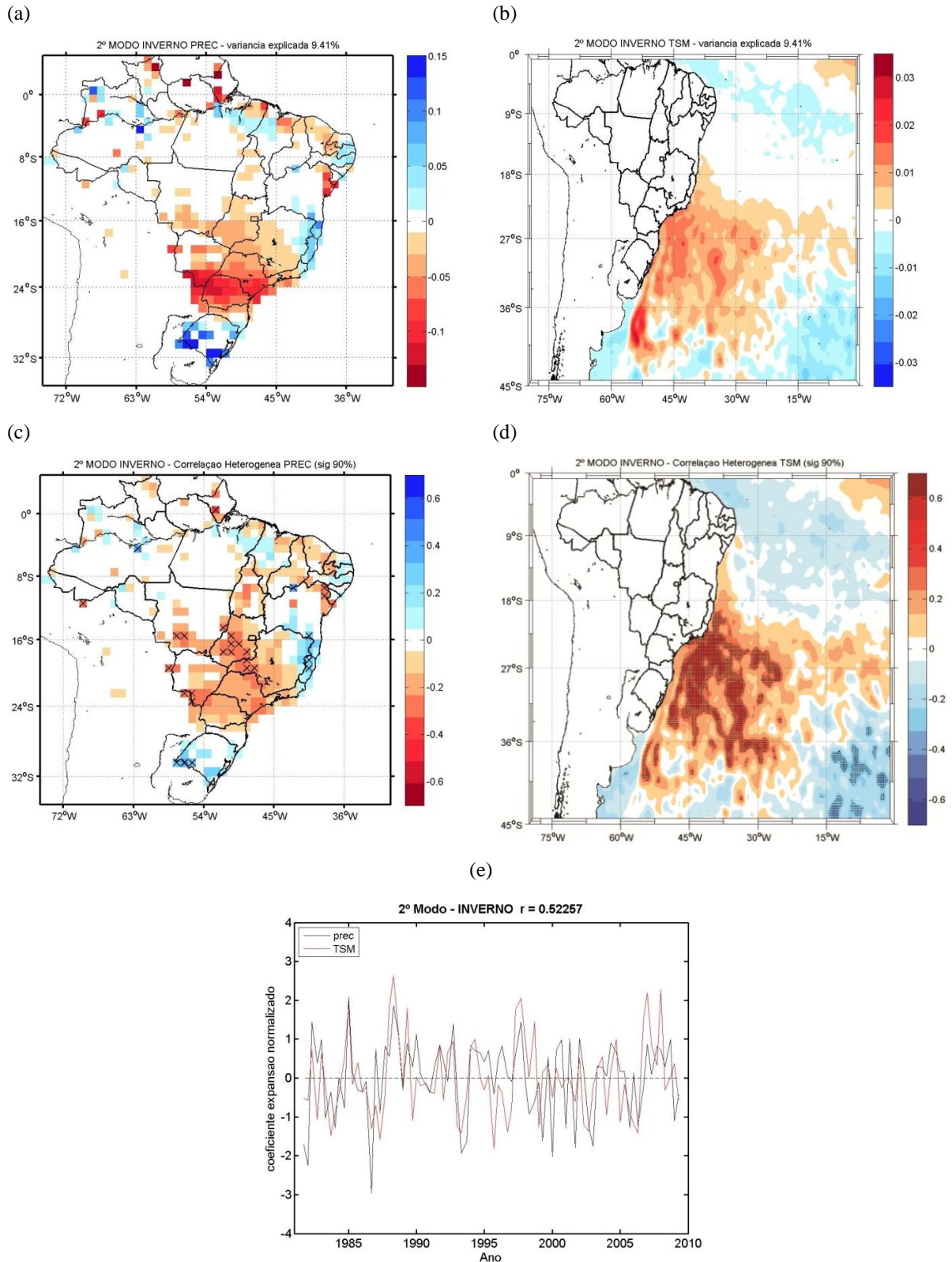


Figura 3.5: 2º Modo do SVD para anomalia de TSM e precipitação para o inverno representando 9.41% da variabilidade (a) padrão espacial da precipitação; (b) padrão espacial da TSM; (c) correlação heterogênea da precipitação; (d) correlação heterogênea da TSM; (e) coeficientes de expansão normalizados da precipitação (preto) e TSM (vermelho). Regiões com pontos (X) em cinza na correlação heterogênea da TSM (precipitação) apresentam significância estatística de 90%.

3.3.3 PRIMAVERA

As figuras de composições das anomalias de TSM para os eventos extremos secos ocorridos na primavera (Figura 3.6) apresentam configuração semelhante para todas as regiões, porém mais intensas em R1, R2 e R3 (Figura 3.6 (a-c)). O padrão de tripolo (negativo, positivo, negativo) que foi visto nas outras estações (Figura 3.2 e Figura 3.4) se apresenta um pouco diferente, a anomalia negativa mais ao norte que era observada nas primeiras estações analisadas, se encontra deslocada para sul na primavera, chegando até 27°S. Ao norte desta anomalia negativa, aparece uma fraca anomalia positiva e afastada do continente sul americano acima de 9°S e à leste de 30°W. A anomalia positiva que é vista em todas as estações se apresenta bem configurada próximo ao continente e mais intensa do que nas outras estações se estendendo até cerca de 45°S. Em torno de 50°W esta anomalia positiva fica mais espalhada, sendo que em algumas regiões, anomalias negativas de TSM são registradas.

Com uma covariância total do sistema explicada por 31.6% e $r = 0.55358$, o sinal do impacto das anomalias de TSM do Atlântico sobre as anomalias negativas de precipitação são vistos através dos mapas de correlação heterogênea (Figura 3.7 c-d). É possível notar que valores significativos de correlação aparecem apenas na região das anomalias positivas de TSM, próximas da costa do sudeste do Brasil.

O 2° e o 3° modos do SVD (Figura C.5 e Figura C.6) para a primavera explicam, 27.22% e 8.85% da covariabilidade entre os campos de anomalias de TSM no Atlântico Sul e precipitação para o Brasil e com coeficientes $r = 0.57853$ e $r = 0.63863$, respectivamente. Os mapas de correlação heterogênea mostram que anomalias positivas de precipitação no sudeste do Brasil estão associadas a um padrão inverso nas anomalias encontradas no 1° modo.

Portanto, durante a primavera o padrão de tripolo encontrado no outono e inverno se apresenta deslocado para sul, sendo as anomalias de TSM negativas (tanto a do norte, quanto a do sul) no OAS pouco configuradas, espalhadas e afastadas com continente e a anomalia positiva próxima da costa do sudeste bem intensa.

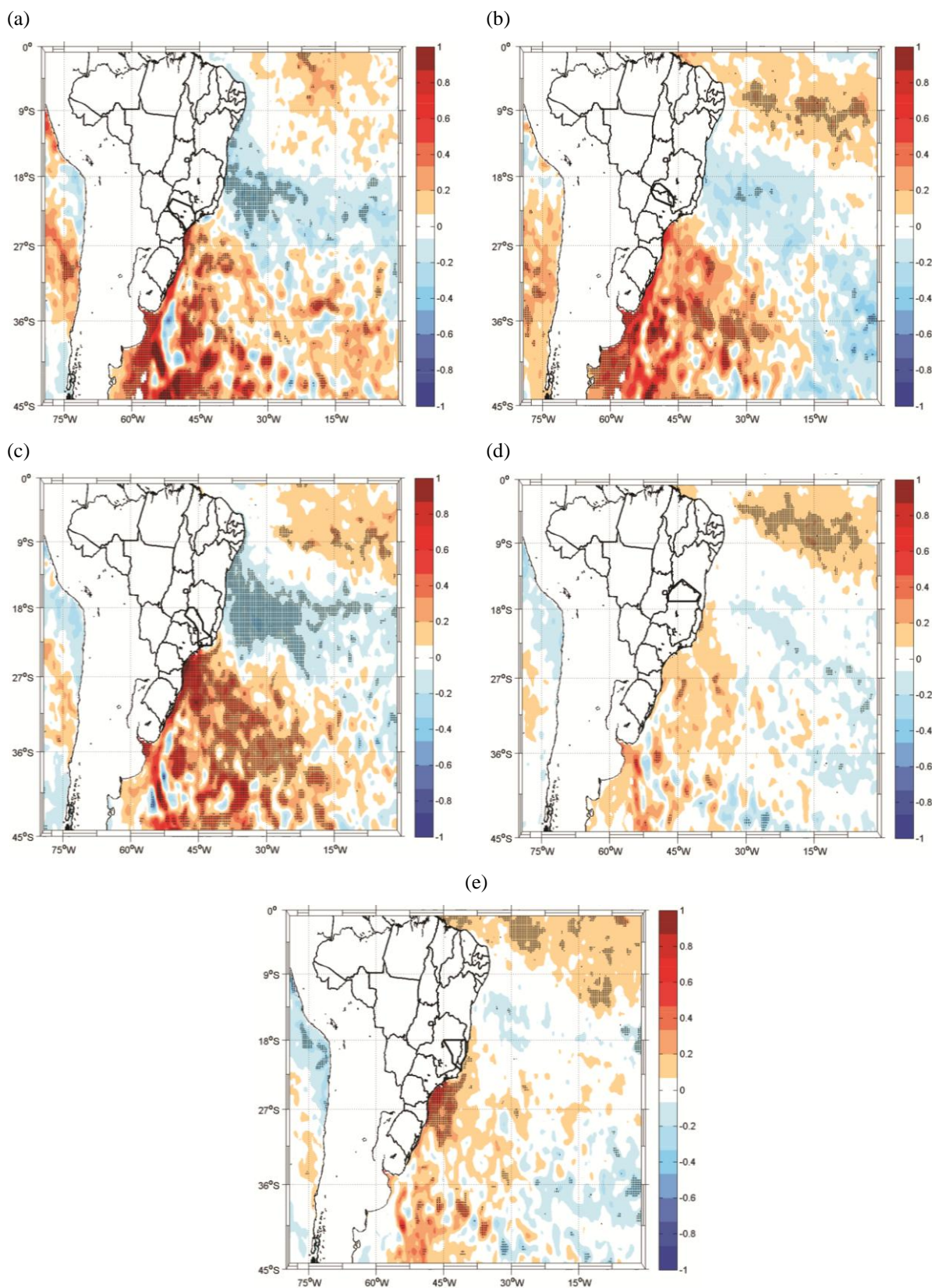


Figura 3.6: Composição das anomalias de TSM para os períodos dos eventos extremos secos no período de 1982 a 2009 na primavera em (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5. Regiões com pontos em tom de cinza apresentam significância estatística de 90%.

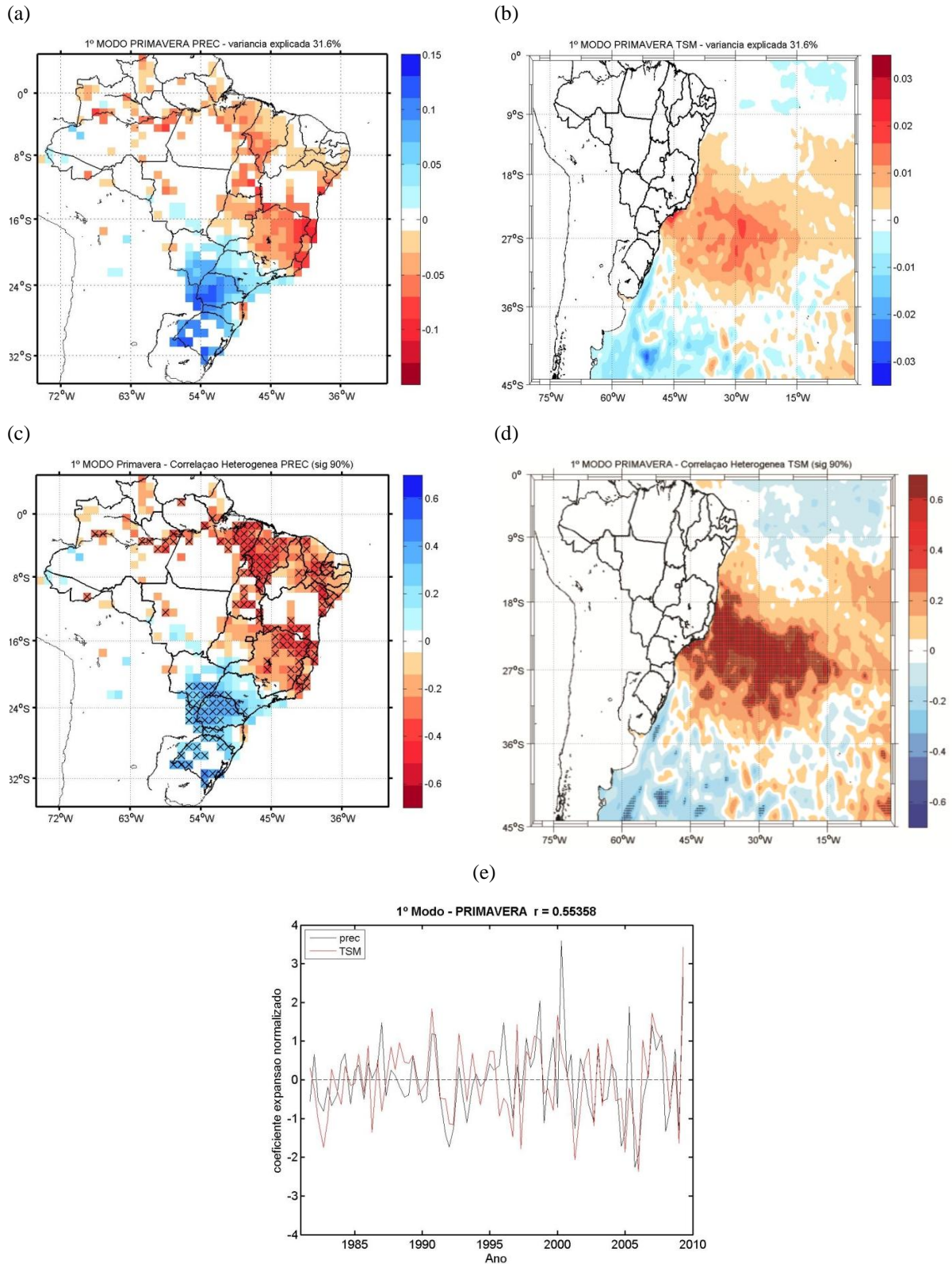


Figura 3.7: 1º Modo do SVD para anomalia de TSM e precipitação para a primavera representando 31.6% da variabilidade (a) padrão espacial da precipitação; (b) padrão espacial da TSM; (c) correlação heterogênea da precipitação; (d) correlação heterogênea da TSM; (e) coeficientes de expansão normalizados da precipitação (preto) e TSM (vermelho). Regiões com pontos (X) em cinza na correlação heterogênea da TSM (precipitação) apresentam significância estatística de 90%.

3.4 CONCLUSÕES PARCIAIS

O padrão das anomalias de TSM em períodos secos no sudeste do Brasil considerando as estações de outono, inverno e primavera foram investigados através de dois métodos: Composições e Decomposição do Valor Singular. A análise das composições foi aplicada para as datas dos eventos ocorridos em cada estação do ano e para cada uma das cinco regiões homogêneas do sudeste do Brasil. Através do SVD os padrões de covariância entre anomalias precipitação para todo o Brasil e anomalias de TSM no Atlântico foram investigados. Os mapas das correlações heterogêneas foram utilizados para localizar as regiões de maior influência. Padrões semelhantes para as duas análises foram consideradas neste estudo.

A Figura 3.8 mostra o resumo do padrão de anomalias de TSM no OAS encontrado para cada região homogênea do sudeste do Brasil e em cada estação do ano analisada.

O padrão encontrado para as três estações é semelhante: um padrão de tripolo (negativo, positivo, negativo). Porém cada estação apresentou características específicas que devem ser salientadas: no outono, o padrão de tripolo se apresentou bem configurado, sendo a anomalia positiva mais intensa que as anomalias negativas; no inverno, apenas a anomalia positiva se mostrou significativa para os eventos secos, porém as anomalias negativas também apareceram na análise; na primavera, o padrão de tripolo apareceu deslocado para sul e mais intenso do que nas outras estações analisadas, sendo que a anomalia positiva se apresentou bem concentrada próximo do continente e a anomalia negativa ao sul se apresentou mais espalhada e afastada da América do Sul.

O padrão para a TSM no OAS mostrou diferenças também quando analisadas separadamente cada região homogênea do sudeste do Brasil. As regiões localizadas mais ao norte (R4 e R5) apresentaram o padrão das anomalias de TSM no OAS mais deslocado para norte em relação às regiões no sul do sudeste do Brasil (R1, R2 e R3).

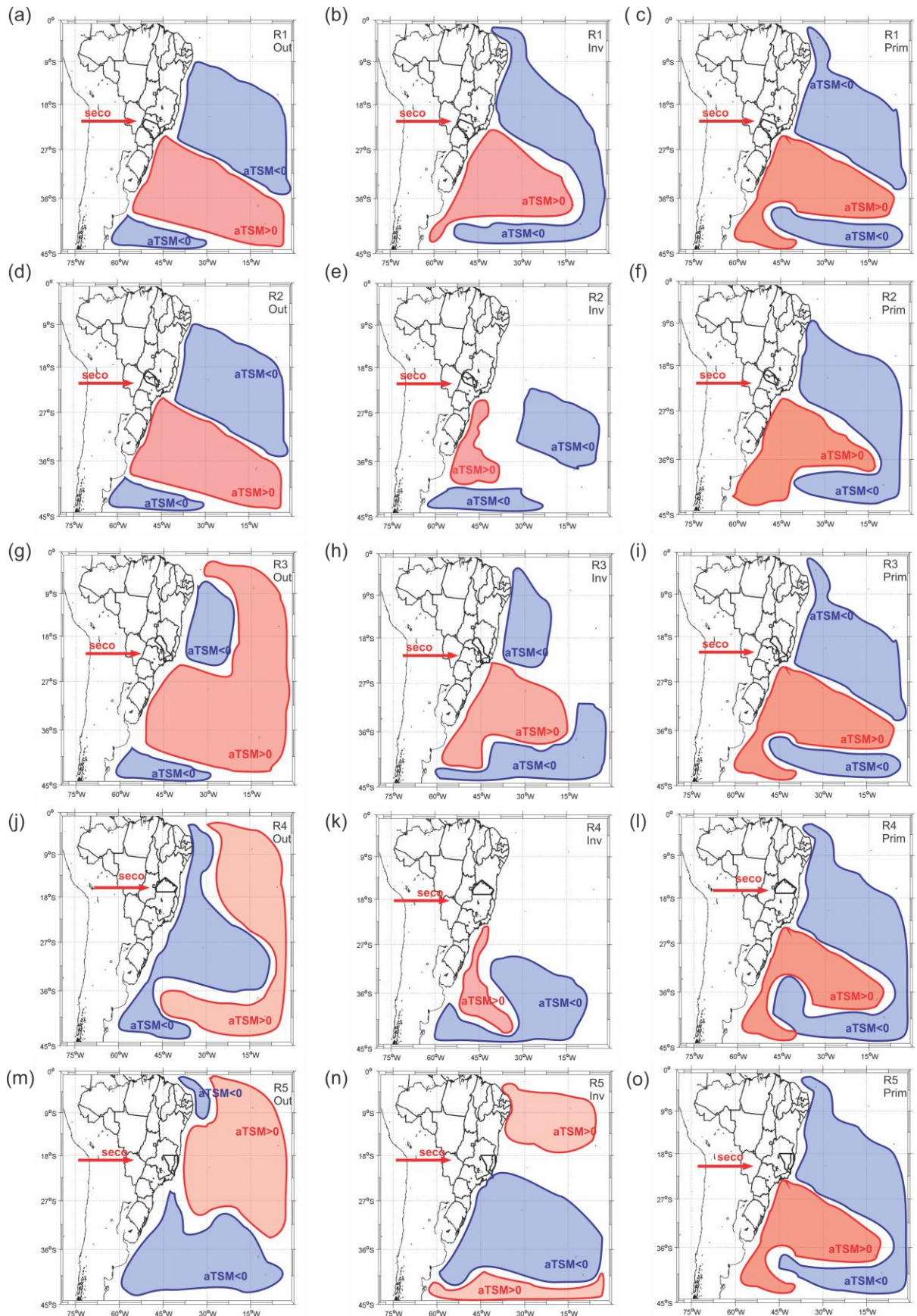


Figura 3.8: Resumo do padrão das anomalias de TSM encontrados para os eventos extremos secos que ocorreram nas regiões (a-c)R1; (d-f) R2; (g-i)R3; (j-l)R4 e (m-o) R5 para outono (coluna da esquerda), inverno (coluna central) e primavera (coluna da direita).

CAPITULO 4. ANOMALIAS DE FONTES DE UMIDADE NO OCEANO ATLÂNTICO SUL ASSOCIADAS AOS EVENTOS EXTREMOS SECOS NO SUDESTE DO BRASIL

Os oceanos são importantes regiões fontes de umidade para a precipitação nos continentes, além do mais é destas regiões que provém a maior parte da água disponível para os ecossistemas terrestres e para as atividades humanas (Gimeno et al., 2010).

Um modelo de dispersão de partículas Lagrangeano foi utilizado por Drumond et al. (2008) para investigar regiões nos oceanos que contribuem para fontes de umidade nos continentes sendo encontrado que para o Brasil Central e Bacia do Prata a maior contribuição é do Oceano Atlântico Tropical e da costa leste do Brasil no Oceano Atlântico, principalmente no verão.

O objetivo desta parte do estudo é aplicar a metodologia de Drumond et al. (2008) e verificar como o Oceano Atlântico Sul contribui como fonte de umidade para as cinco regiões homogêneas em relação à precipitação no sudeste do Brasil no período de 1982 a 2009. Além disso, verificar como esta configuração é modificada no período dos eventos extremos secos em cada região para as estações de outono inverno e primavera.

4.1 DADOS

Foram utilizados dados diários de fluxo de vapor d'água integrados na vertical do ERA Interim (Dee et al., 2011) do ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecasting*), disponíveis a cada 6h com resolução de $1,5^{\circ} \times 1,5^{\circ}$ para o período de 1982 a 2009.

4.2 METODOLOGIA

Gimeno et al. (2012) realizam uma comparação de diferentes metodologias para analisar transporte de umidade em uma determinada região e verificar a relação entre fontes e sumidouros de umidade. Entre estas metodologias estão as Eulerianas e Lagrangeanas.

Sob uma perspectiva Euleriana, as regiões fontes de umidade são analisadas em uma posição fixa em relação à latitude e longitude. Na visão Lagrangeana, estas regiões deixam de ser fixas e a análise consiste em seguir a trajetória das partículas de ar que seguem o seu movimento na corrente do fluido (atmosfera).

É importante realizar as duas análises, pois a tradicional análise Euleriana pode ser complementada pelo uso de técnicas Lagrangeanas (Durán-Quesada et al., 2012), que apresentam uma informação adicional dos traços de massa de ar, permitindo analisar sua trajetória e determinar a relação entre a fonte e o receptor da umidade (Gimeno et al., 2010).

4.2.1 MÉTODO LAGRANGEANO - FLEXPART

Dentre as metodologias Lagrangeanas usadas para estabelecer a relação fonte-sumidouro de umidade na atmosfera está o modelo tridimensional de dispersão de partículas FLEXPART (*FLEXible PARTicle dispersion model*) (Gimeno et al., 2012).

O FLEXPART foi adaptado por Stohl et al. (1998) e Stohl e Thomson (1999) a partir do FLEXTRA (*FLEXible TRAjectory model*), um modelo de transporte e dispersão Lagrangeano, que é usado para simulação de dispersão de poluentes e processos de transporte que ocorrem na atmosfera, como climatologias de fluxo e análise do ciclo da água na Terra (Stohl et al., 2005).

Este modelo considera que a atmosfera é dividida homogeneamente em um grande número de partículas com massa constante (Drumond et al., 2008) e utiliza como condição inicial dados de vento horizontal e vertical, temperatura do ar e umidade específica de uma fonte como reanálise (ERA Interim, ERA 40). Um esquema de advecção tridimensional realiza o transporte das partículas no tempo e registra suas posições e mudanças (aumentos e diminuições) na sua umidade (q) a cada 6h por meio de (Drumond et al., 2008):

$$e - p = m \frac{dq}{dt} \tag{4.1}$$

em que (e) representa aumentos e (p) diminuições em (q) e m é a massa da partícula.

Analisando uma coluna atmosférica de área A , é possível calcular ($E - P$) através da soma dos valores de ($e - p$) de todas as partículas presentes nesta coluna (Gimeno et al., 2012):

$$E - P \approx \frac{\sum_{k=1}^K (e - p)}{A} \tag{4.2}$$

Este valor representa o fluxo de água (integrado nesta coluna), onde E é a evaporação e P a precipitação por unidade de área e K o número de partículas presentes na coluna de área A (Drumond et al., 2008; Gimeno et al., 2012).

Esta análise fornece uma informação das áreas em que as partículas ganham (fontes) ou perdem (sumidouros) umidade ao longo da trajetória (Gimeno et al., 2012). Regiões fontes de umidade (partículas ganham umidade do ambiente) são encontradas nos locais em que $(E - P) > 0$, pois a evaporação é maior do que a precipitação. Já as regiões de sumidouro de umidade (perdem umidade do ambiente), o valor de $(E - P) < 0$, pois a precipitação é maior do que a evaporação (Drumond et al., 2008).

O rastreamento pode ser realizado atrasado (*backward*) ou adiantado (*forward*) no tempo. No primeiro tipo de análise é possível verificar para uma região específica de análise aonde as partículas presentes nesta área ganhavam ou perdiam umidade em um tempo anterior ao analisado. Já no segundo tipo de análise é possível verificar qual o destino final da umidade, ou seja, em um tempo posterior ao analisado onde as partículas que estavam presentes na região analisada ganham ou perdem umidade (Drumond et al., 2014).

Este método possui a desvantagem de não ser possível calcular separadamente os valores de E e P , além disso, devido aos cálculos serem feitos com a derivada temporal de q , o dado utilizado como condição inicial deve representar bem o ciclo da água (Gimeno et al., 2012).

Neste trabalho, foi utilizada uma rodada global realizada com o FLEXPART V9.0 pelo EPhyslab da Universidade de Vigo. Neste experimento, foram rastreadas 2 milhões de partículas e os dados que servem como condição inicial foram provenientes do ERA Interim (Dee et al., 2011). O tempo de transporte foi limitado em 10 dias por ter sido encontrado por Numagutti (1999) como o tempo médio que o vapor d'água fica presente na atmosfera.

As saídas do FLEXPART foram primeiramente utilizadas para traçar a climatologia de $(E - P)$ nas estações de outono, inverno e primavera, para cada região homogênea do sudeste do Brasil para o período de 1982 a 2009. Foram analisados somente os rastreamentos atrasados no tempo (*backward*), com o objetivo de produzir informações da distribuição espacial das regiões na América do Sul e OAS que contribuem como fontes e sumidouros de umidade para as regiões homogêneas de precipitação no sudeste do Brasil.

Desta forma, considerando a integração de 10 dias anteriores ao período analisado (tempo de transporte fixado), as partículas existentes sobre o sudeste do Brasil ganhavam

umidade nas regiões fontes (representadas nos mapas de $(E - P)$ em tons de vermelho) e perdiam nas regiões de sumidouro (representadas nos mapas de $(E - P)$ em tons de azul).

A Figura 4.1 mostra a média sazonal de $(E - P)$ para todas as regiões homogêneas em relação à precipitação no sudeste do Brasil e nas três estações consideradas neste estudo. Em todas as estações do ano, o Oceano Atlântico sudoeste aparece como região fonte de umidade (tons de vermelho) para todas as áreas do sudeste analisadas, resultados semelhantes aos encontrados por Gimeno et al. (2010) e Drumond et al. (2008). Neste caso, os valores positivos indicam uma região de maior evaporação e é nesta região que atua a ASAS (Degola, 2013; Ito e Ambrizzi, 2000).

No sudeste do Brasil, em todas as regiões analisadas, valores positivos de $(E - P)$ são encontrados. Drumond et al. (2008) também encontram este resultado e sugerem que isto ocorre devido à importância da contribuição para umidade da água precipitável que evapotranspira nesta mesma região (reciclagem).

As regiões continentais e o Atlântico Tropical, tanto de sumidouro quanto de fontes de umidade, se mostraram um pouco diferentes em cada estação do ano, e podem indicar a contribuição sazonal dos sistemas meteorológicos que atuam na América do Sul.

No outono (Figura 4.1 a, d, g, j, m), o norte (em todas as regiões homogêneas do sudeste do Brasil) e nordeste do Brasil (em R4) valores negativos de $(E - P)$ são encontrados indicando que a precipitação supera a evaporação, e é nesta região que atua a ZCIT que atinge posições mais ao sul nesta estação (de Melo et al., 2009). No sul e centro do Brasil $(E - P)$ também é negativo e em parte do nordeste o valor é positivo.

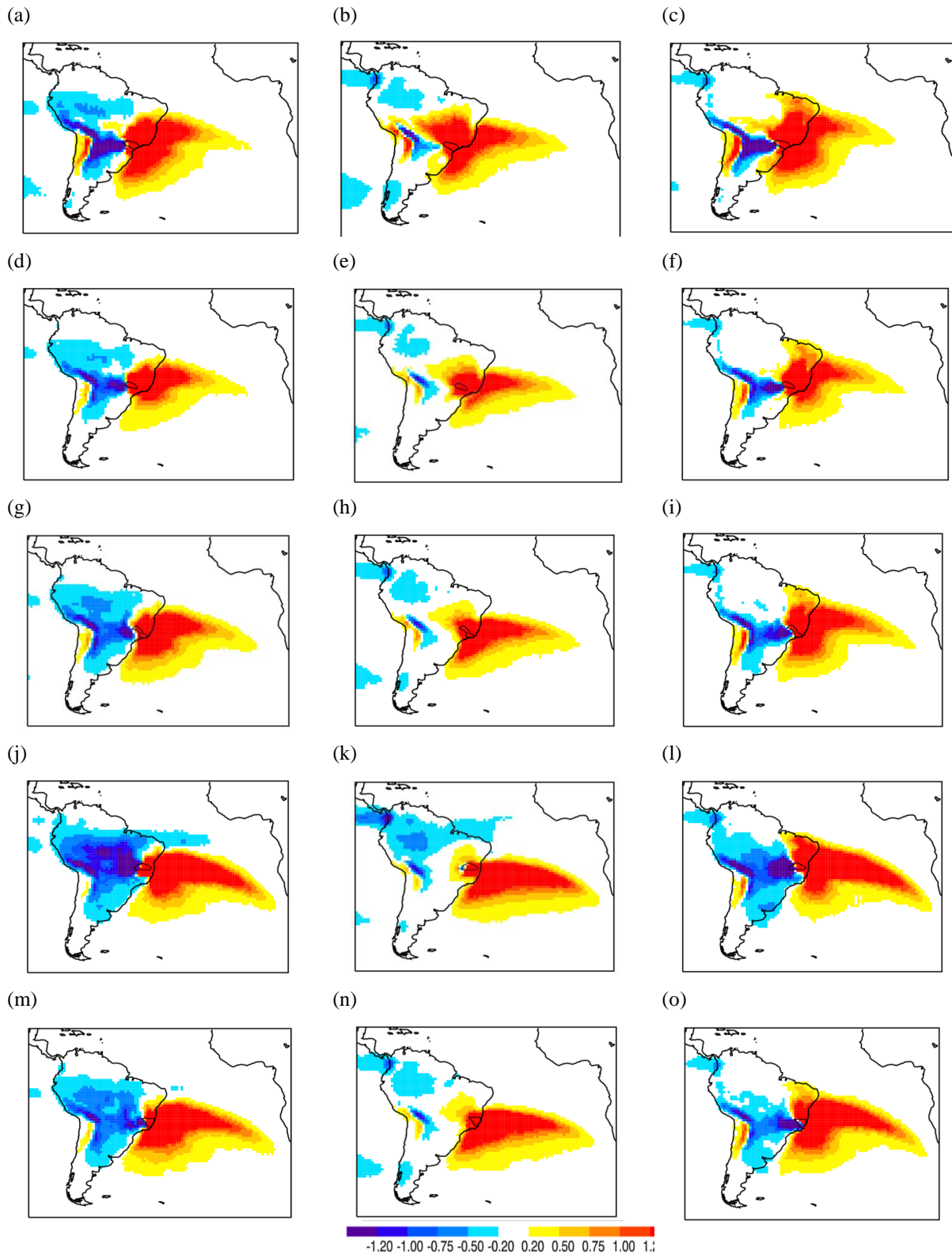


Figura 4.1: Média sazonal (outono – primeira coluna, inverno- segunda coluna e primavera – terceira coluna) de $(E - P)$ em mm/dia para o rastreamento “backward” integrado por 10 dias para (a-c) R1; (d-f) R2; (g-i) R3; (j-l) R4; (m-o) R5. Regiões em vermelho indicam regiões fontes e em azul, sumidouros de umidade.

No inverno (Figura 4.1 b, e, h, k, n), o centro-oeste do Brasil também aparece como região fonte de umidade e as regiões de sumidouro são encontradas no norte do Brasil. Na primavera (Figura 4.1 c, f, i, l, o), todo o nordeste do Brasil aparece como região fonte de umidade e não se nota mais valores negativos como nas outras estações. Nesta estação, a ZCIT atinge posições mais ao norte (de Melo et al., 2009) o que pode sugerir este resultado. No centro-oeste e sul do Brasil a precipitação supera a evaporação.

4.2.2 MÉTODO EULERIANO

No método Euleriano o fluxo de umidade integrado na vertical e a divergência deste fluxo são usados para representar o transporte de vapor d'água na atmosfera (Gimeno et al., 2012) e estes valores podem ser visto espacialmente em um mapa.

O fluxo de vapor d'água integrado na vertical (F_w) em um ponto pode ser calculado por (Satyamurty et al., 2013):

$$F_w = \int \frac{qVdp}{g}$$

4.3

onde q é a umidade específica, V o vetor vento, p a pressão e g a aceleração devido à gravidade.

A divergência do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente (D_w) é dada por (Satyamurty et al., 2013):

$$D_w = \nabla \cdot F_w$$

4.4

A informação vetorial (F_w) pode ser interpretada da mesma maneira que se interpreta um fluxo em um único nível, como por exemplo, vento em algum nível da atmosfera. A diferença é que o campo será um balanço vertical (toda troposfera) das regiões de onde vem e para onde vai a umidade. Os vetores podem ser uteis para mostrar características de larga escala no transporte de umidade e indicar por onde segue esse transporte, o que não pode ser visto nas figuras de ($E - P$).

Os campos de divergência (D_w) indicam regiões que se comportam como fontes (divergência positiva) ou sumidouro (divergência negativa) de umidade (Trenberth e Guillemot, 1998).

Médias diárias dos dados descritos em 4.1 foram utilizadas para analisar o fluxo de umidade integrado na vertical ($Kg/m/s$) e a divergência deste fluxo (mm/dia) e os resultados para o outono, inverno e primavera são mostrados na Figura 4.2.

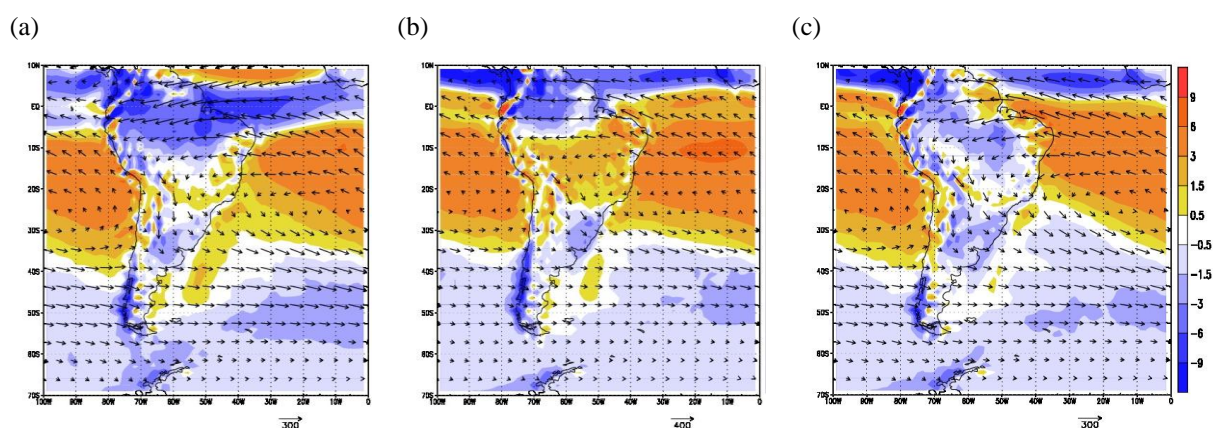


Figura 4.2: Média sazonal do fluxo de umidade integrado na vertical em $Kg/m/s$ (vetores) e divergência do fluxo de umidade em mm/dia (colorido), (a) no outono; (b) no inverno; (c) na primavera. Regiões em vermelho indicam regiões fontes e em azul, sumidouros de umidade.

No outono (Figura 4.2 a), toda a região do Atlântico estendendo-se desde $10^{\circ}S$ até $35^{\circ}S$ aparece com valores positivos (fontes) indicando divergência do fluxo de umidade que pode estar associada à circulação da ASAS e no norte/nordeste do Brasil os valores negativos (sumidouros) indicam convergência de umidade, que pode estar associado ao posicionamento da ZCIT (resultados já encontrados na análise Lagrangeana). Satyamurty et al. (2013) também encontraram estas regiões de fonte e sumidouro de umidade associados a ASAS e ZCIT, quando analisadas as estações chuvosa (outubro a abril) e seca (maio a setembro) para a região da Amazônia.

No inverno (Figura 4.2 b), na região do Atlântico a divergência de umidade atinge latitudes entre o equador e $30^{\circ}S$ indicando que a ASAS pode se apresentar mais deslocada para norte e próxima do continente, característica desta estação (Degola, 2013). Toda porção central do continente sul americano também aparece como fonte de umidade, sendo que o sul do continente é sumidouro de umidade nesta estação. A região do Atlântico tropical, que no outono aparecia como sumidouro de umidade, também é vista nesta estação, porém mais deslocada para norte e este fato pode ocorrer devido à ZCIT atingir posições mais ao norte nesta estação (De Melo et al., 2009). Na primavera (Figura 4.2 c) a região do Atlântico que

atua como fonte de umidade é semelhante a do inverno e praticamente todo o continente atua como sumidouro de umidade.

Analisando os vetores que representam a direção do transporte de umidade é possível verificar que em todas as estações o fluxo é direcionado da região fonte do Atlântico para o continente, indicando as regiões em que a umidade oceânica é transportada para o continente. As regiões de sumidouro continentais apresentam transporte em direção ao oceano e predomina uma circulação anticiclônica no OAS.

4.3 RESULTADOS

Os dois métodos descritos acima foram aplicados para as datas dos eventos extremos secos em cada uma das regiões homogêneas do sudeste do Brasil, sendo realizadas médias das anomalias de $(E - P) > 0$, F_w e D_w para as datas dos eventos nas três estações do ano analisadas.

Para o cálculo das anomalias no método Lagrangeano foram utilizadas apenas as regiões fontes de umidade, não sendo consideradas as regiões de sumidouro. Desta forma, anomalias positivas (negativas) indicam aumento (redução) nas fontes de umidade e consequente aumento (diminuição) na evaporação. A interpretação das anomalias de divergência de fluxo de umidade integrado na vertical é realizada da mesma forma que as anomalias de $(E - P) > 0$, no caso de valores positivos a divergência é intensificada e no caso de valores negativos a divergência é reduzida (ambiente mais convergente). O vetor indica a mudança na direção deste fluxo.

Como encontrado nos tópicos 4.2.1 e 4.2.2 o fenômeno de circulação atmosférica que pode estar associado às fontes de umidade no OAS é a ASAS, pois a circulação anticiclônica localiza-se em regiões de divergência intensificada e alta evaporação. Desta forma, a análise das médias das anomalias de fontes de umidade no OAS para as datas dos eventos extremos secos no sudeste do Brasil pode sugerir anomalias no posicionamento e intensidade da ASAS nestes períodos.

A análise Lagrangeana para as médias das fontes de umidade, para as datas dos eventos secos em cada região do sudeste do Brasil, é mostrada na Figura 4.3 e a análise Euleriana na Figura 4.4. Em cada uma das estações, as anomalias ocorrem de maneira diferente.

No outono, a região do Atlântico Sul na costa do norte do sudeste do Brasil (próximo aos estados de Minas Gerais e Espírito Santo) aparece com valores positivos para as

anomalias das fontes (Figura 4.3 a, d, g, j, m) além de anomalias positivas de divergência de fluxo de umidade (Figura 4.4 a, d, g, j, m). Entre o Equador e 20°S são observadas anomalias negativas de fontes (Figura 4.3 a, d, g, j, m), além de anomalia de divergência de mesmo sinal (Figura 4.4 a, d, g, j, m). Nas regiões R1 e R3 outra anomalia negativa de fonte e divergência (Figura 4.3/Figura 4.4 a, g) é vista entre 20°S e 40°S. Além disso, uma anomalia anticiclônica é vista no OAS para as figuras das regiões R1, R2 e R3 (Figura 4.4 a, d, g). Estes resultados sugerem que durante os eventos secos ocorridos no outono, a ASAS pode estar mais intensa ao sul (local da anomalia positiva) e menos intensa ao norte (local da anomalia negativa), sugerindo seu deslocamento para sul em R2, R4 e R5. Já em R1 e R3 as duas anomalias negativas podem indicar menor atividade da ASAS nestas regiões, sendo que esta pareceu estar mais concentrada entre 20°S e 30°S (local da anomalia positiva) para R1 e R3.

No inverno (Figura 4.3/Figura 4.4 b, e, h, k, n) e primavera (Figura 4.3/Figura 4.4 c, f, i, l, o), as anomalias positivas de fonte e divergência configuram-se na mesma região encontrada para o outono. Anomalias negativas de fonte e divergência de umidade também são vistas no OAS nestas estações. No inverno configura-se apenas a anomalia negativa ao sul (semelhante a R1 e R3 no outono) e na primavera as duas anomalias negativas são vistas nas 5 regiões analisadas do sudeste. A anomalia anticiclônica no OAS também é vista em R1, R2 e R3 (Figura 4.4 b, e, h) no inverno e em todas as regiões do sudeste na primavera (Figura 4.4 c, f, i, l, o). Estes resultados indicam que nos eventos ocorridos no inverno a ASAS pode estar deslocada para norte (anomalia negativa ao sul e positiva ao norte). Degola (2013), Ito (1999) e Reboita et al. (2010) salientam que este sistema tem importante atuação no inverno, estação no qual o centro atinge porções mais ao norte, podendo inibir o avanço de sistemas frontais. Na primavera as anomalias analisadas indicam comportamento da ASAS semelhante ao encontrado no outono durante a ocorrência de eventos secos no sudeste do Brasil (indicando um tripolo negativo/positivo/negativo de fontes de umidade e divergência).

Além do deslocamento norte-sul da ASAS encontrado devido as anomalias de fonte e divergência de fluxo de umidade tipo dipolo/tripolo na direção vertical, é possível verificar que a anomalia positiva encontrada no OAS se estende até o interior do continente, indicando que a ASAS pode ter se configurado mais à oeste nos períodos secos analisados em todas as estações e regiões do sudeste do Brasil.

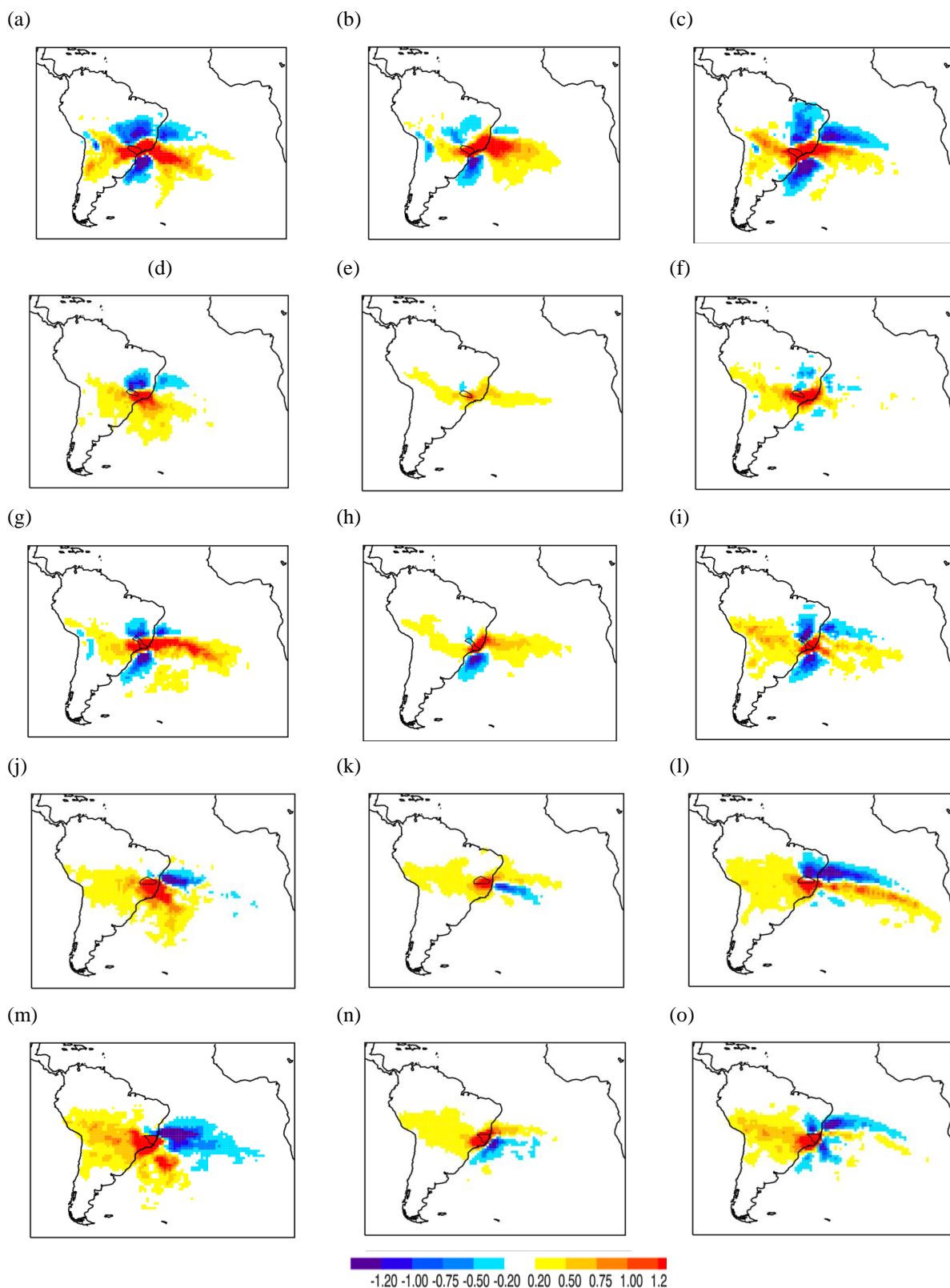


Figura 4.3: Composição das anomalias de fontes de umidade ($(E - P) > 0$) em mm/dia para as datas dos eventos extremos secos ocorridos no outono (primeira coluna), inverno (segunda coluna) e primavera (terceira coluna) para o rastreamento “backward” integrado por 10 dias nas regiões (a-c) R1; (d-f) R2; (g-i) R3; (j-l) R4; (m-o) R5.

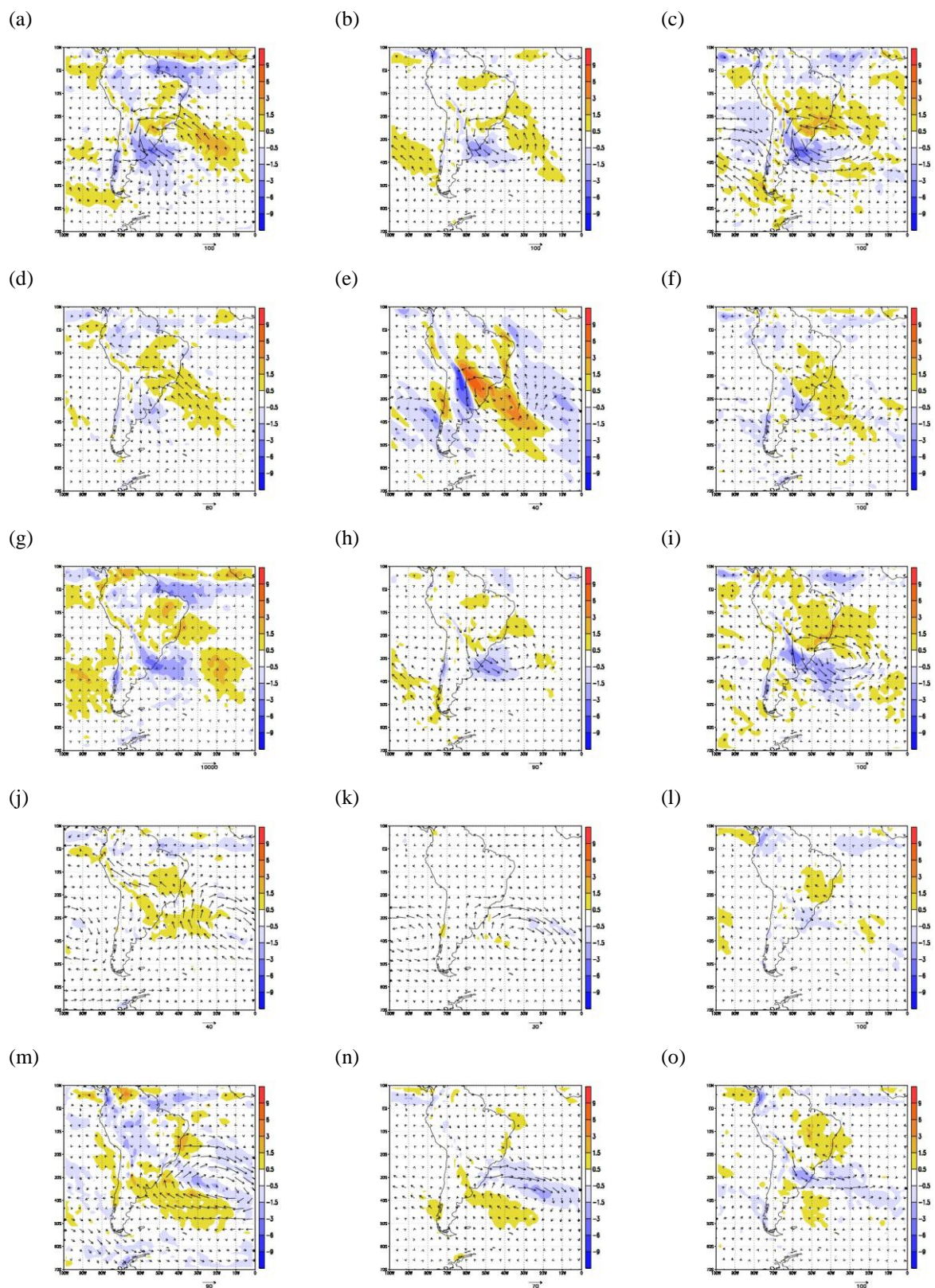


Figura 4.4: Composição das anomalias de fluxo de umidade integrado na vertical em $Kg/m/s$ (vetores) e divergência do fluxo de umidade em mm/dia (colorido) para as datas dos eventos extremos secos ocorridos no outono (primeira coluna), inverno (segunda coluna) e primavera (terceira coluna) em (a-c) R1; (d-f) R2; (g-i) R3; (j-l) R4; (m-o) R5.

4.4 CONCLUSÕES PARCIAIS

A análise das fontes de umidade foi realizada através de dois métodos: um Lagrangeano e outro Euleriano. O método Lagrangeano foi realizado através do uso de um modelo tridimensional (FLEXPART) que rastreia partículas de ar e umidade na atmosfera atrasado no tempo para produzir informações na distribuição espacial das fontes e sumidouros de umidade. O método Euleriano utiliza informações do fluxo de umidade integrado na vertical e sua divergência. Os dois métodos são complementares e visam determinar regiões fontes e sumidouros de umidade.

Primeiramente, foi realizada uma análise climatológica, visando determinar as principais regiões que atuam como fontes e sumidouros de umidade para as regiões homogêneas do sudeste do Brasil. O Oceano Atlântico Sul apareceu como uma importante região de fonte de umidade, sendo confirmada pelos trabalhos de Drumond et al. (2008) e Gimeno et al. (2010) e o sistema atmosférico atuante nesta região é a ASAS. A reciclagem no sudeste do Brasil também apareceu como um importante resultado, mostrando que a umidade desta região, em parte, provém da água precipitável que evapotranspira nesta região.

Para avaliar as mudanças que ocorrem nas regiões fontes de umidade para o sudeste do Brasil em períodos secos foram calculadas composições das anomalias somente das regiões fontes de umidade e anomalias do fluxo de umidade integrado na vertical e da sua divergência para as datas dos eventos extremos secos do sudeste do Brasil em cada região homogênea e para as três estações analisadas. Como a ASAS foi encontrada na climatologia associada às fontes de umidade no OAS, anomalias nas fontes de umidade e divergência podem sugerir anomalias na posição e intensidade deste sistema.

A Figura 4.5 resume os resultados encontrados para cada uma das regiões homogêneas do sudeste do Brasil e em cada estação analisada, em que anomalias positivas (negativas) das fontes de umidade/divergência do fluxo de umidade são representadas por círculos alaranjados (verdes) e foram referenciados apenas como anomalias de fontes.

Um aumento nas fontes de foi verificado na região do OAS próximo ao sudeste do Brasil (entre 15°S-30°S) que se estendeu até o interior do continente. Anomalias negativas foram encontradas ao norte e ao sul desta anomalia positiva no outono (com exceção de R5) e primavera e somente ao sul no inverno (com exceção de R2 que não foram encontradas anomalias negativas e de R1 que além desta anomalia negativa ao sul, também apresentou a anomalia negativa ao norte). Esta configuração indica fortalecimento do balanço de saldo evaporativo nas regiões em laranja e enfraquecimento nas regiões em verde, que pode sugerir

um deslocamento da ASAS. Um rastreamento da ASAS na região de estudo será apresentada no capítulo 6.

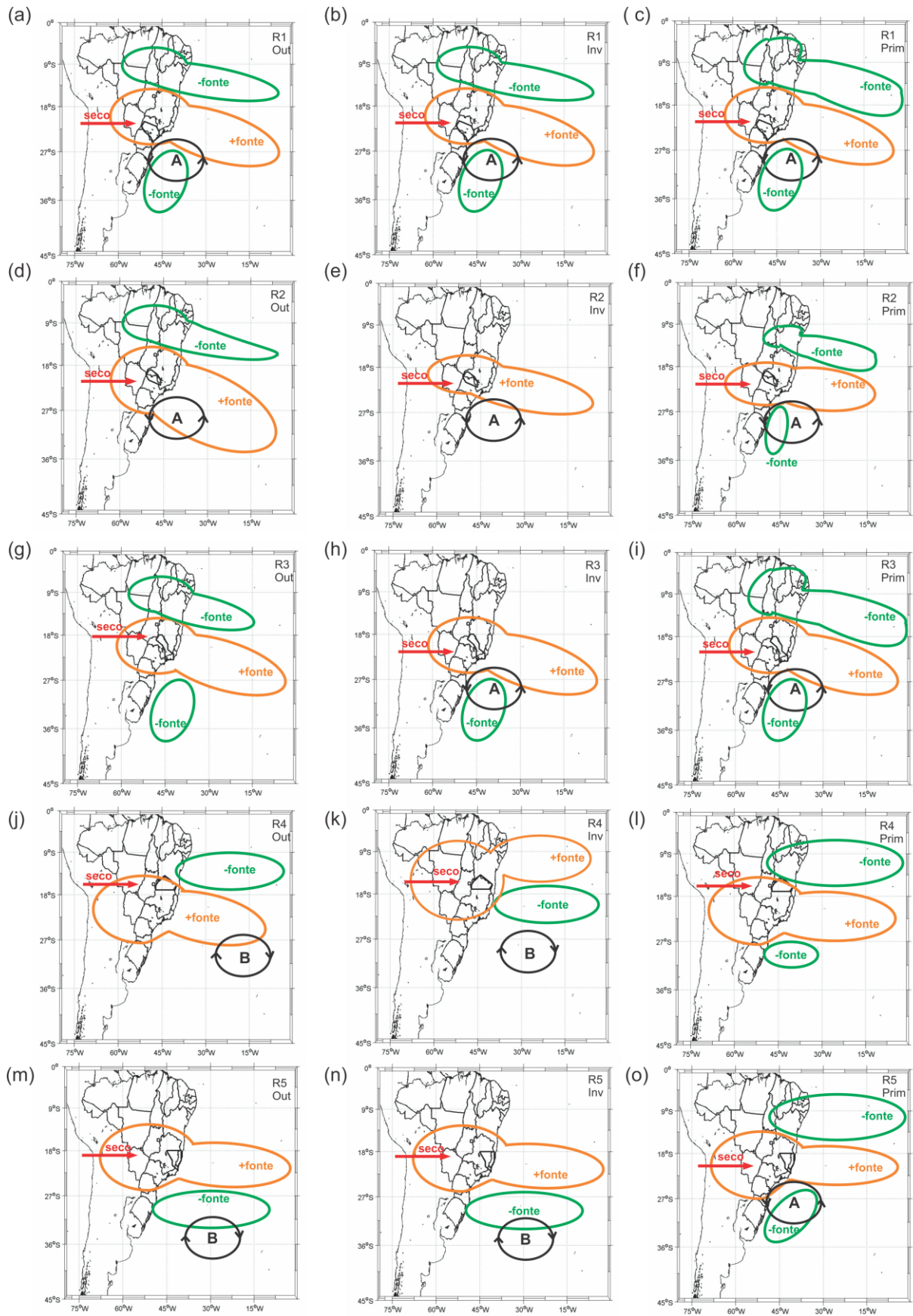


Figura 4.5: Resumo do padrão das anomalias de fonte de umidade encontrados para os eventos extremos secos que ocorreram nas regiões (a-c)R1; (d-f) R2; (g-i)R3; (j-l)R4 e (m-o) R5 para outono (coluna da esquerda), inverno (coluna central) e primavera (coluna da direita).

CAPITULO 5. DISTRIBUIÇÃO DAS FRENTES FRIAS NO BRASIL NO PERÍODO DOS EVENTOS EXTREMOS SECOS NO SUDESTE DO BRASIL

Uma frente ou zona frontal é uma região em que ocorre a transição entre duas massas de ar de diferentes características (umidade, densidade, temperatura) e que são provenientes de diferentes regiões (Fedorova, 1999).

Esta zona de transição é caracterizada por intensos gradientes horizontais de temperatura, alta umidade, vortacidade e movimento vertical, sendo ainda uma região de baixa pressão e forte cisalhamento vertical e horizontal em que ocorrem rápidas mudanças na cobertura de nuvens e precipitação (Pettersen, 1956; Carlson, 1991; Fedorova, 1999).

O movimento relativo das massas de ar envolvidas determina a classificação dos sistemas frontais (frente fria, frente quente, frente oclusa), sendo que as frentes frias são assim chamadas devido ao ar frio deslocar o ar quente na superfície, que ascende (Andrade, 2005).

Na ocorrência das frentes frias podem ser originadas nuvens com grande desenvolvimento vertical e precipitação (Fedorova, 1999), desta forma, o regime climático de várias regiões do Brasil (como sul e sudeste) é influenciado por estes sistemas que, em escala sinótica, são uns dos mais importantes que atuam na América do Sul (Andrade, 2005). Nesta região, as frentes frias apresentam propagação de sudoeste para nordeste (Cavalcanti e Kousky, 2009) e sua ocorrência é observada em todos os meses do ano. As frentes frias podem chegar em latitudes próximas dos trópicos, podendo avançar até o sul da Bahia (Kousky, 1979; Nobre et al., 1986; Lemos e Calbete, 1996; Andrade, 2005). O centro-sul da América do Sul é uma região frontogenética (Satyamurty e Mattos, 1989) e o sudeste do Brasil também é influenciado pela passagem de sistemas frontais ao longo de todo ano (Andrade, 2005).

O objetivo neste capítulo é utilizar um método objetivo para realizar uma climatologia de frentes frias para o Brasil no período de 1982 a 2009, nas estações de outono, inverno e primavera e avaliar se o número de passagens de frentes frias é modificado na ocorrência de eventos extremos secos no sudeste do Brasil.

5.1 DADOS

Foram utilizados dados médios diários de temperatura em 925 hPa, pressão ao nível médio do mar e vento meridional em 925hPa da reanálise ERA Interim (Dee et al., 2011) do ECMWF, com resolução de $1,5^{\circ} \times 1,5^{\circ}$ para o período de 1982 a 2009.

5.2 METODOLOGIA

Alguns estudos já foram realizados com o objetivo de criar um rastreamento de sistemas frontais.

Justi da Silva e Silva Dias (2002) realizaram o rastreamento para sistemas frontais em ponto de grade utilizando como critério apenas a mudança no sinal da componente meridional do vento.

A climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul foi estudada por Andrade (2005). O critério utilizado para a identificação automática dos sistemas frontais foi que no intervalo de um dia para o outro houvesse queda de temperatura em 925hPa, aumento de pressão ao nível médio do mar e mudança na componente meridional do vento em 925 hPa, aplicado em uma média de 5 pontos de grade em cada área analisada para dados de reanálise do NCEP.

Uma análise semelhante à de Andrade (2005) foi realizada por Cavalcanti e Kousky (2009), porém considerando todos os pontos de grade sobre a América do Sul e adicionando limiares à diminuição de temperatura (2°C), aumento da pressão (2hPa) e vento de sul (pelo menos 2m/s).

Dametto e Da Rocha (2006) analisaram as características climáticas dos sistemas frontais que atingem a cidade de São Paulo através de um critério objetivo que consiste no registro da ocorrência simultânea de giro da componente meridional do vento do quadrante norte para o sul com permanência desta condição por pelo menos 24 horas e queda da temperatura até dois dias após o giro do vento, em dados médios diários para a estação meteorológica do IAG-USP no período de 1981 a 2002. Foram encontrados que vento horizontal de noroeste dois dias antes da passagem da frente, aquecimento pré-frontal e precipitação são características dos sistemas que atingem a região de estudo.

Uma aproximação objetiva para caracterizar e rastrear as frentes no Hemisfério Sul utilizando dados de reanálises foi realizado por Simmonds et al. (2012). Foi utilizado o critério de decréscimo de 1° , 2° e 3°C na temperatura em 2m, mudança na direção do vento em

10m (do quadrante norte para o quadrante sul) e a aumento da magnitude da componente meridional do vento em 2, 4, e 6 m/s .

5.2.1 RASTREAMENTO DE SISTEMAS FRONTAIS NO BRASIL

O método utilizado neste trabalho é semelhante ao de Andrade (2005). Para que fosse identificado um sistema frontal, deveriam ser satisfeitas três condições de mudança de um dia para o outro:

- Diminuição na temperatura em 925hPa;
- Mudança na direção do vento meridional (do quadrante norte para o quadrante sul) em 925hPa;
- Aumento na pressão no nível médio do mar.

Este método foi aplicado para a média da temperatura em 925hPa, vento meridional em 925hPa e PNMM em 9 pontos de grade de 19 caixas, com resolução espacial de $3^\circ \times 3^\circ$, localizadas na América do Sul (Figura 5.1).

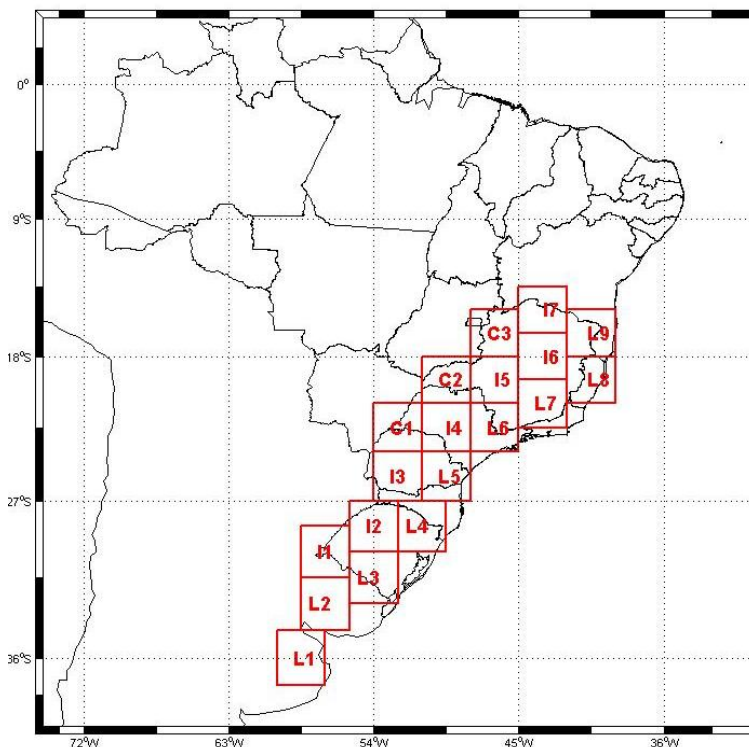


Figura 5.1: Localização espacial das caixas 19 com resolução espacial de $3^\circ \times 3^\circ$, selecionadas para o rastreamento de sistemas frontais.

O critério de escolha destas caixas foi tentar cobrir toda a região de análise (desde o Uruguai até o sul da Bahia) com o maior número possível de caixas, começando pelo litoral do continente (tentando não cobrir as áreas continentais junto com porções do Oceano Atlântico) e seguindo para o interior e porção central da América do Sul. Foram determinadas 9 regiões no litoral (e indicadas pela letra L), 7 regiões no interior (identificadas pela letra I) e 3 regiões na porção central do continente (indicadas com C), em que sua latitude e longitude podem ser vistas na Tabela 5.1.

LITORAL			INTERIOR			CENTRAL		
L1	34,5° -37,5° S	303° -300°	I1	28,5° -31,5° S	304,5° -301,5°	C1	21° -24° S	309° -306°
L2	31,5° -34,5° S	304,5° -301,5°	I2	27° -30° S	307,5° -304,5°	C2	18° -21° S	312° -309°
L3	30° -33° S	307,5° -304,5°	I3	24° -27° S	309° -306°	C3	15° -18° S	315° -312°
L4	27-30° S	310,5° -307,5°	I4	21° -24° S	312° -309°			
L5	24° -27° S	312° -309°	I5	18° -21° S	315° -312°			
L6	21° -24° S	315° -312°	I6	16,5° -19,5° S	318° -315°			
L7	19,5° -22,5° S	318° -315°	I7	13,5° -16,5° S	318° -315°			
L8	18° -21° S	321° -318°						
L9	15° -18° S	321° -318°						

Tabela 5.1: Latitudes e longitudes das caixas selecionadas para o rastreamento de sistemas frontais.

O número médio de frentes frias por ano é visto na Figura 5.2a. A média anual de frente no período de 1982 a 2009 mostra que maiores valores são encontrados nas caixas localizadas no norte da Argentina (L1), no Uruguai (L2) e no Rio Grande do Sul (L3, L4, I1 e I2), ficando entre 35 e 40 frentes/ano. No litoral de Santa Catarina (L5), de São Paulo (L6) e do Rio de Janeiro (L7) este valor cai para 30 a 35 frentes anuais. No interior desses estados (I3, I4 e C1) este valor é ainda menor (entre 25 e 30 frentes/ano). Os menores valores são registrados no centro-norte de Minas Gerais (I5, I6, I7 e C3), não sendo registrados mais do que 15 frentes por ano.

A passagem das frentes frias apresenta uma sazonalidade que pode ser vista na Figura 5.2 b,c,d. As frentes ocorrem em maior número durante todo o ano entre 27°S e 37°S, sendo mais numerosas no inverno (11 a 12 frentes no inverno no sul do Brasil). No sudeste, as frentes ocorrem em maior número no inverno e primavera para o sul de São Paulo e na primavera para o Espírito Santo, Minas Gerais e interior de São Paulo.

Os valores encontrados para as climatologias, bem como a diferença na sazonalidade concordam com o trabalho de Cavalcanti e Kousky (2009).

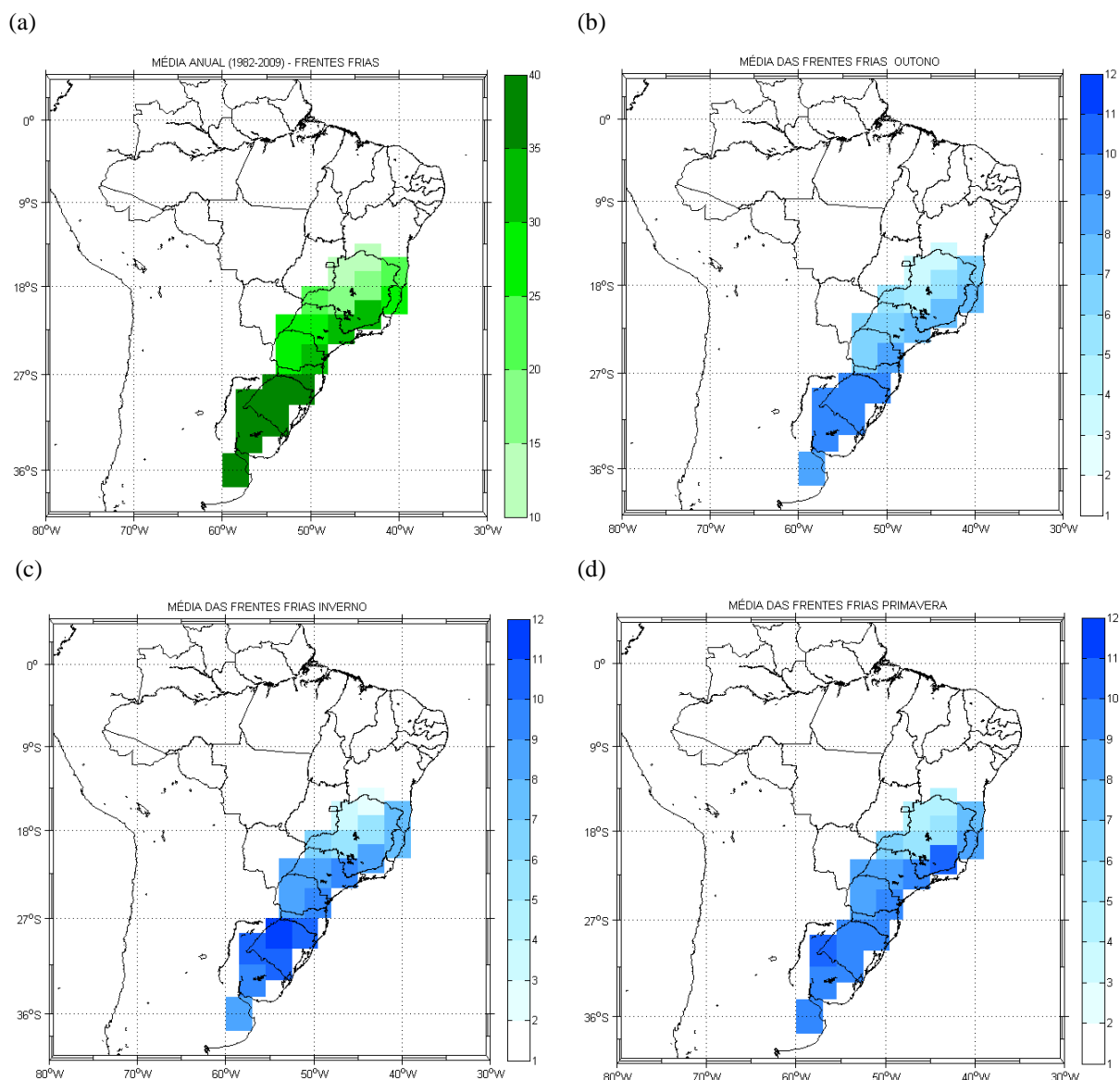


Figura 5.2: Número médio de passagem de sistemas frontais no período de 1982 a 2009 (a) anual; (b) no outono; (c) no inverno; (d) na primavera.

O CPTEC/INPE disponibiliza mensalmente em seu boletim Climanálise (<http://climanalise.cptec.inpe.br>) o número de sistemas frontais para latitudes entre 25°S e 35°S. Para isto são utilizadas análises diárias das cartas sinóticas de superfície, níveis médios (500 hPa) e altitude (250 hPa), nos horários das 00:00 e 12:00 TMG.; análise do posicionamento e deslocamento dos sistemas frontais é feita pelo Grupo de Previsão do Tempo do CPTEC/INPE e também são analisados alguns campos derivados, como: convergência de umidade na camada limite, temperatura potencial equivalente em 850 hPa e advecção de temperatura potencial equivalente em 850 hPa.

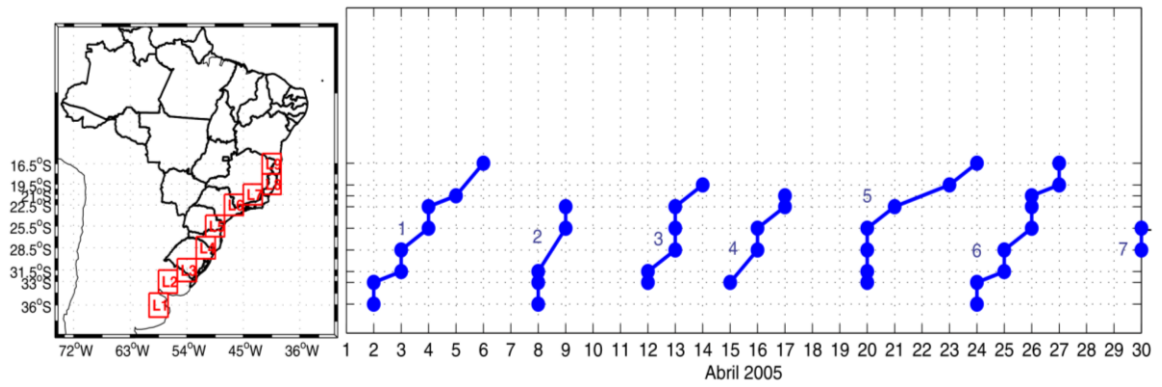
O mês de abril de 2005 foi escolhido aleatoriamente para mostrar a eficácia do método utilizado na localização dos sistemas frontais.

A Figura 5.3 mostra o rastreamento dos sistemas frontais realizado em abril de 2005 pelo método utilizado neste trabalho, e na Figura 5.4, o rastreamento realizado pelo CPTEC/INPE, no litoral (a), interior (b) e centro do continente (c). Ao todo foram contabilizados 7 sistemas que atuaram no Brasil neste mês nos dois métodos.

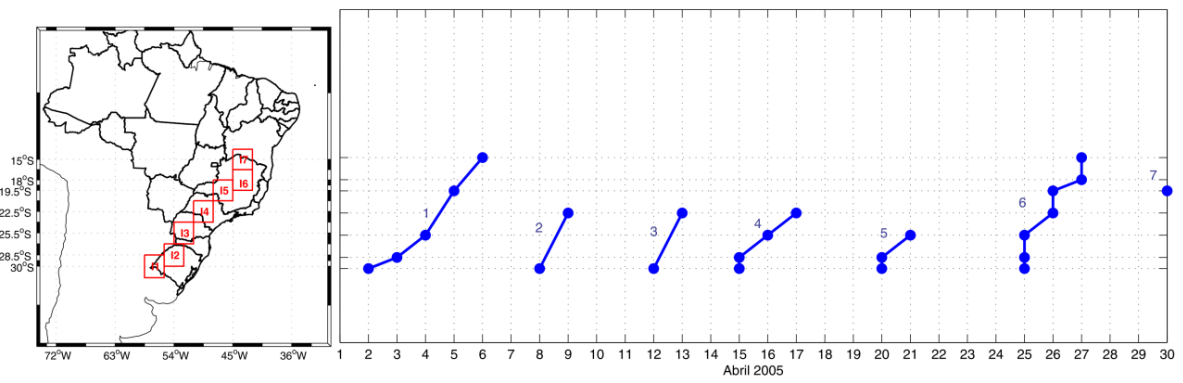
Na metodologia aqui empregada, o primeiro sistema foi identificado em L1 no dia 2, passou por todas as regiões analisadas e chegou a L9 no dia 6. O CPTEC também identifica este sistema nos dias encontrados e este também avança desde o Rio Grande do Sul até o Rio de Janeiro. O segundo sistema frontal foi detectado em L1 no dia 8 e passou também por L2, L3, L5 e L6, chegando até o litoral norte de São Paulo. Para o CPTEC/INPE, este sistema foi detectado até Santa Catarina. O terceiro sistema frontal foi identificado a partir de L2 e avançou até L8. Este sistema também foi identificado mais ao norte pelo CPTEC/INPE que o detectou até o estado de São Paulo. A quarta frente fria foi muito semelhante nos dois métodos, chegando até o Rio de Janeiro. O quinto e sexto sistemas frontais foram os que permaneceram por mais tempo na costa da América do Sul e chegaram até a Bahia, estas características foram vistas nos dois métodos. A sétima e última frente fria começou no último dia do mês e iniciou já na costa de São Paulo, sendo identificada em ambos os métodos.

A metodologia empregada se mostrou satisfatória para a determinação de sistemas frontais nas regiões analisadas e fornecem uma boa base de dados de climatologia de sistemas frontais.

(a)



(b)



(c)

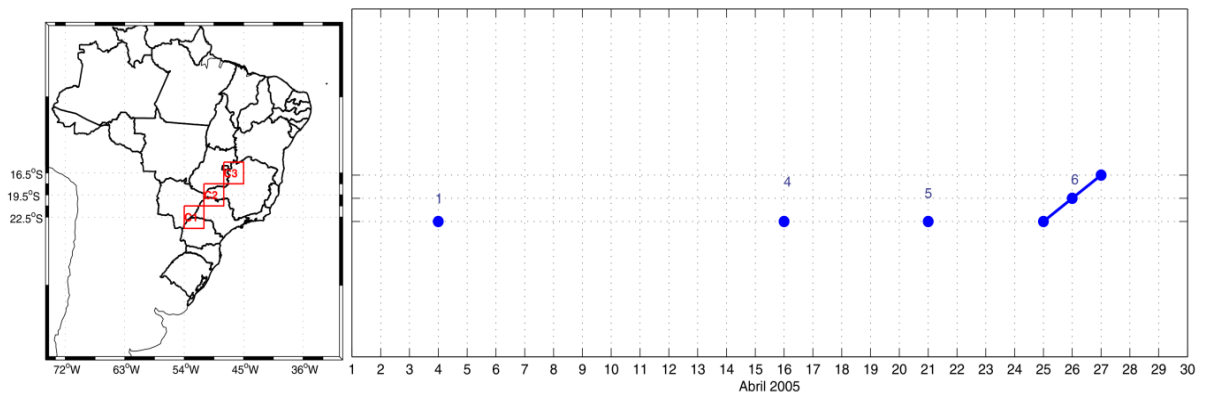


Figura 5.3: Rastreo de frentes frias baseados na queda da temperatura em 925hPa, mudança na direção do vento meridional em 925hPa e aumento na pressão a nível médio do mar, para abril de 2005, (a) no litoral; (b) no interior; (c) no centro do continente.

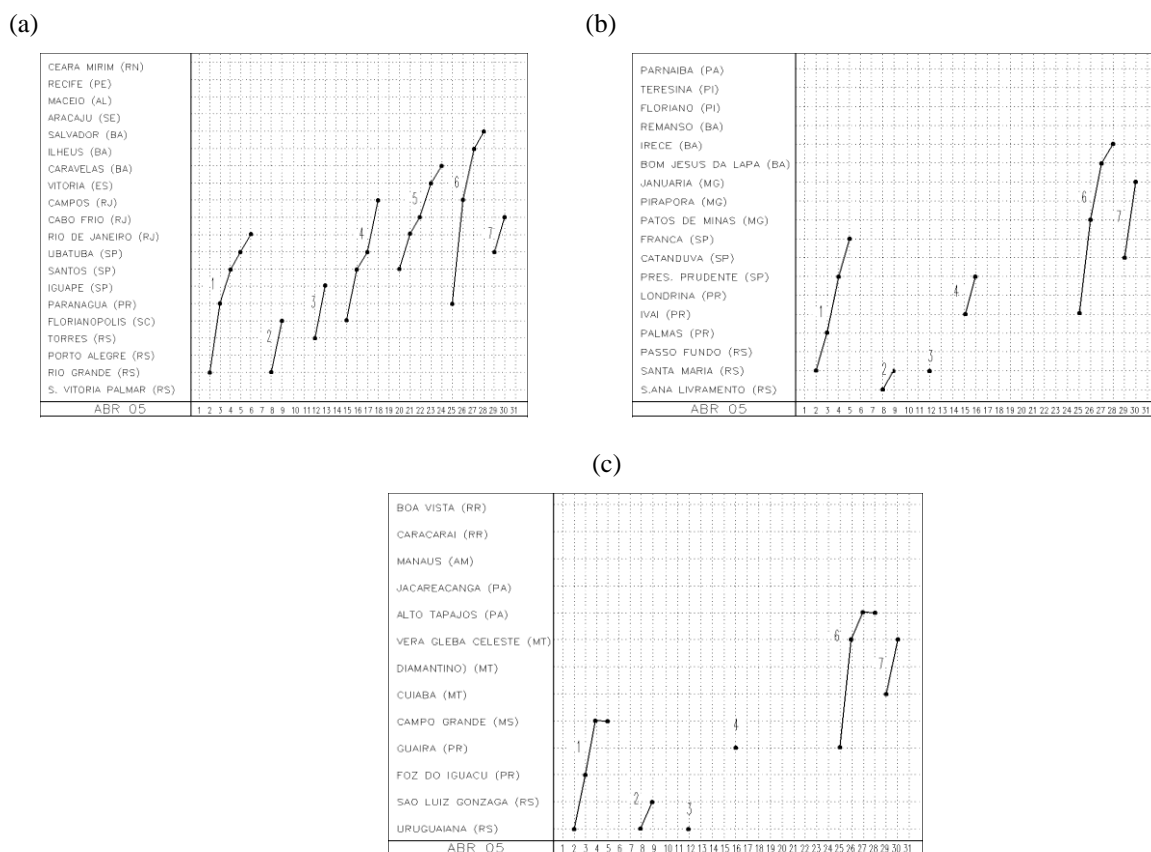


Figura 5.4: Rastreamento dos sistemas frontais realizado pelo CPTEC/INPE em abril de 2005, (a) no litoral; (b) no interior; (c) no centro do continente. Fonte: CPTEC/INPE.

5.3 RESULTADOS

Para avaliar a mudança no número de sistemas frontais no período dos eventos secos em cada região homogênea do sudeste do Brasil em cada estação do ano, foi calculado o valor chamado de “diferença normalizada das frentes” (DNF).

Foi calculado o número médio de frentes frias por dia em cada estação do ano. Por exemplo, em L1 no outono este valor é de $9,28 \times 10^{-2}$ frentes por dia. O número médio de frentes frias também foi calculado para as datas dos eventos secos. Por exemplo, no período dos eventos secos em R1, a região L1 apresenta valor de $10,81 \times 10^{-2}$ frentes por dia.

A DNF foi definida como a diferença entre o valor encontrado para o período seco e o valor esperado para a climatologia da estação. Este valor dá uma ideia de anomalia de número de frentes por dia no período dos eventos considerados. No exemplo comentado acima, a região L1 apresentou um aumento de $1,5329 \times 10^{-2}$ frentes por dia ou 1,5329 em 100 dias.

Desta forma, considerar um período de 100 dias (quase a duração de uma estação) é mais fácil para analisar a amplitude dos valores de DNF. Para os valores descritos acima, significa dizer que considerando um período de 100 dias secos (no outono), ocorre um aumento de 1,53 no número de frentes em L1 neste período.

No outono (Figura 5.5) todas as regiões homogêneas no sudeste do Brasil apresentaram diminuição no número de frentes no período dos eventos secos.

Para as datas dos eventos secos de R1 (Figura 5.5a) essa diminuição foi entre 3 e 5×10^{-2} frentes/dia, apresentando ainda diminuição no restante do sudeste e parte do sul do Brasil. No extremo sul do Rio Grande do Sul, houve um aumento entre 1 e 4×10^{-2} frentes/dia.

Durante os eventos secos em R2 (Figura 5.5b) a diminuição apresentada não foi abaixo de -2×10^{-2} frentes/dia, sendo este valor encontrado também no restante do sudeste e sul do Brasil, com exceção do Uruguai, norte da Argentina e Espírito Santo, que apresentou aumento de 1×10^{-2} frentes/dia.

Nos períodos secos de R3 (Figura 5.5c) a diminuição mais expressiva foi encontrada no sudeste e Nordeste de Minas e nordeste de São Paulo (com valores de -5×10^{-2} frentes/dia). Nos casos analisados para R3, todo Rio Grande do Sul apresentou aumento no número de passagem de sistemas frontais, chegando a $+4 \times 10^{-2}$ frentes/dia.

Para as datas dos eventos secos encontrados em R4 (Figura 5.5c) somente a própria região e o Uruguai apresentaram redução no número de frentes (-2×10^{-2} frentes/dia), sendo que no restante das caixas analisadas houve um aumento no número de sistemas frontais (cerca de 2×10^{-2} frentes/dia).

O comportamento para os sistemas frontais nos períodos secos de outono da região R5 (Figura 5.5e) foi muito semelhante ao de R4, somente a própria região e o Uruguai apresentaram redução no número de frentes e o restante do continente mostrou um aumento neste número. Porém nos casos analisados para R5, o valor encontrado tanto para redução quanto para o aumento foi mais elevado (-5×10^{-2} e $+5 \times 10^{-2}$ frentes/dia, respectivamente).

O comportamento encontrado para o número de frentes frias nas datas dos eventos secos no inverno e primavera foi bastante similar ao do outono (Figura 5.7 e Figura 5.7), apresentando diferenças nos valores para as regiões analisadas. Em R1 e R3 a diminuição foi mais acentuada tanto no inverno quanto na primavera (-5×10^{-2} frentes/dia), em relação ao outono. Em R3, o inverno apresentou menor redução do que no outono. Em R5, maior redução foi encontrada na primavera em relação ao outono.

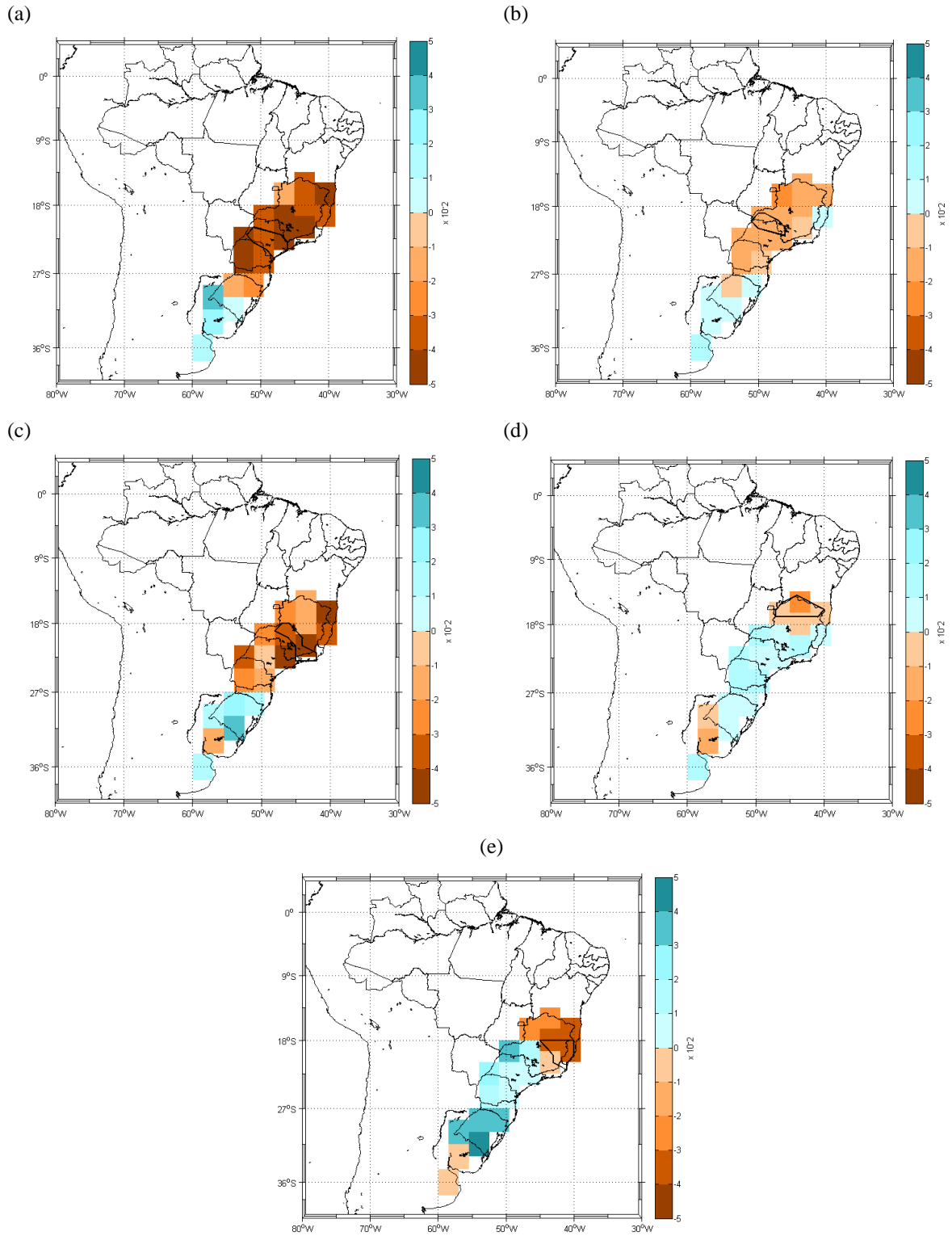


Figura 5.5: Mudança no número de sistemas frontais ($\times 10^{-2}$ frentes/dia) para as datas dos eventos extremos secos ocorridos no outono para a região (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5.

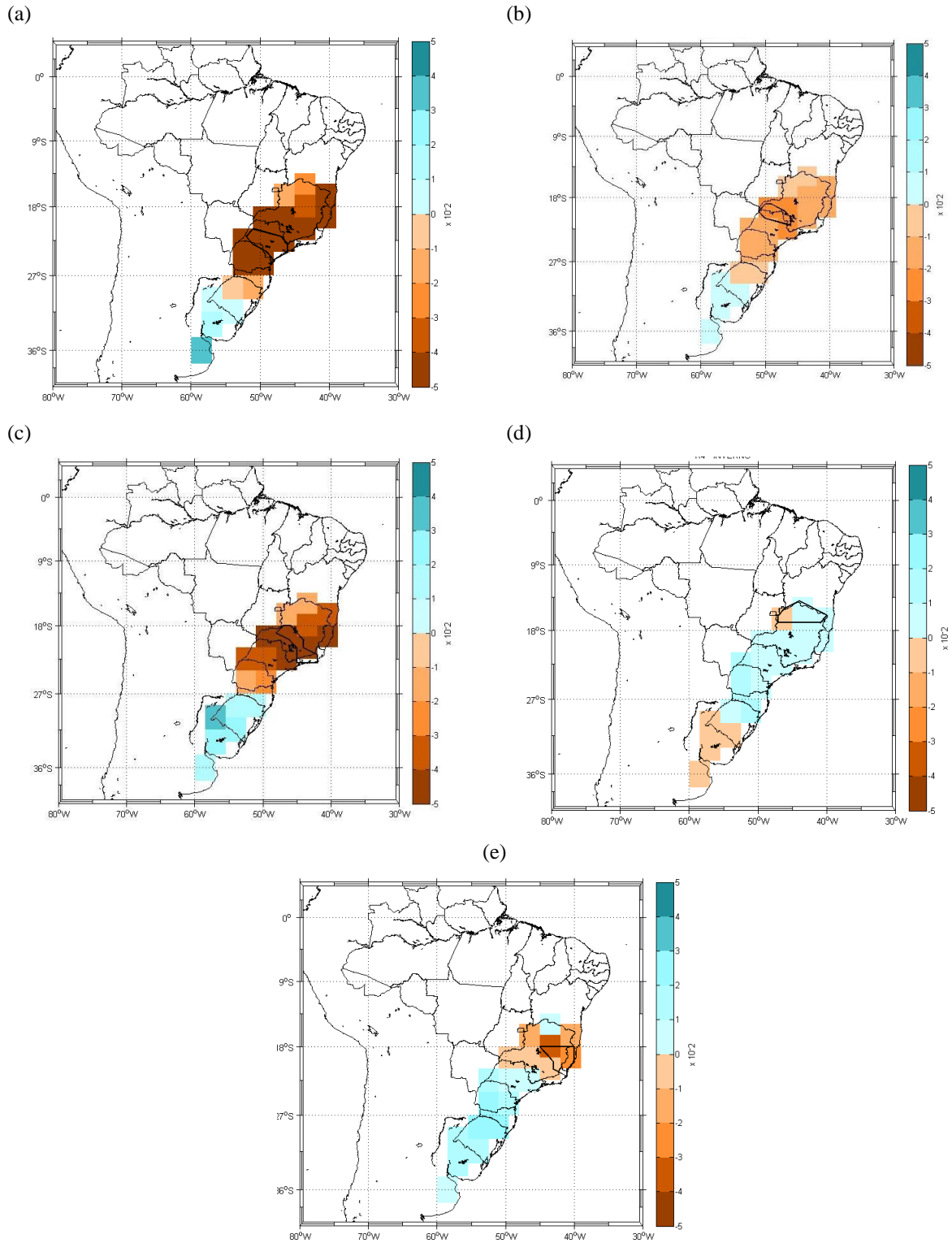


Figura 5.6: Mudança no número de sistemas frontais ($\times 10^{-2}$ frentes/dia) para as datas dos eventos extremos secos ocorridos no inverno para a região (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5.

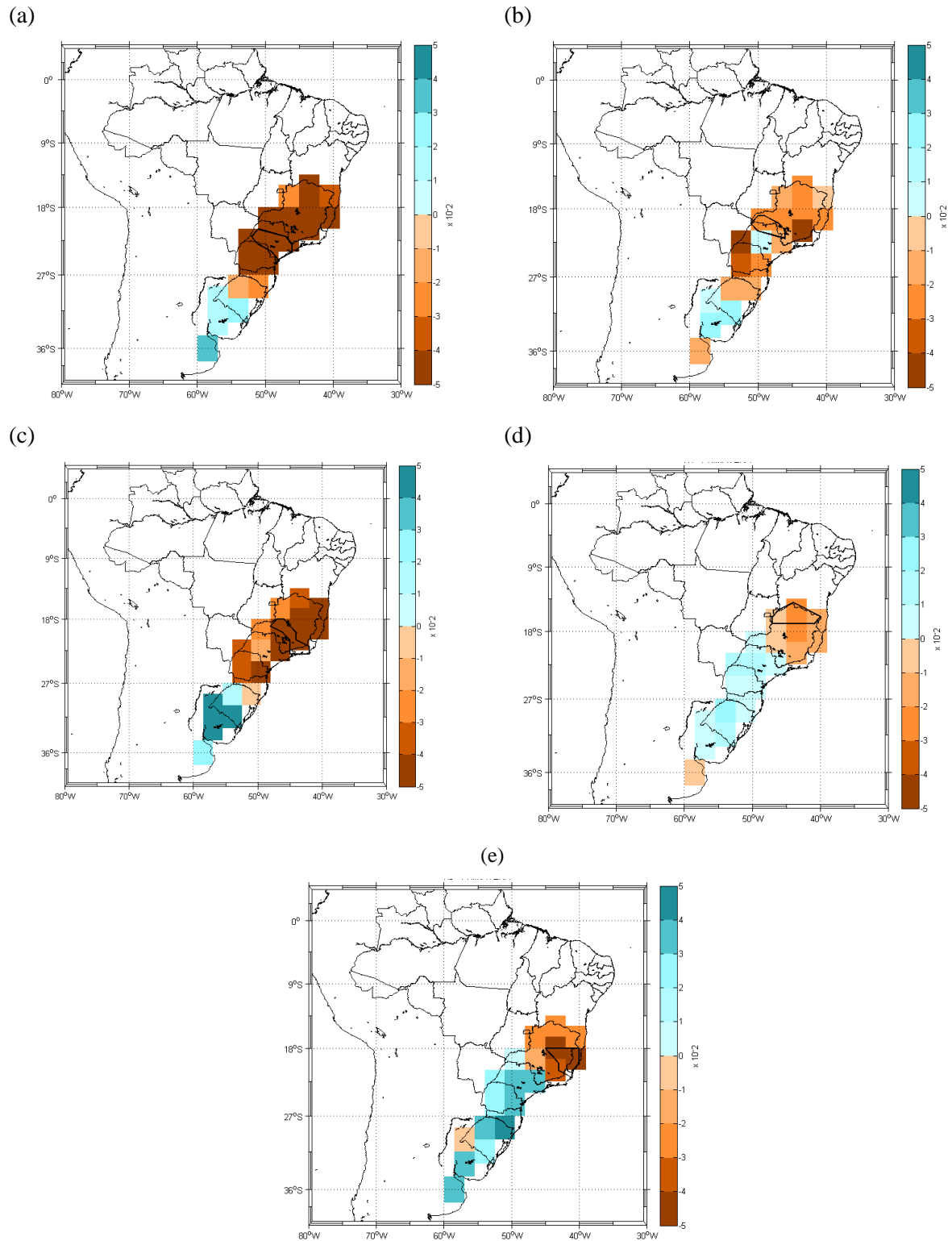


Figura 5.7: Mudança no número de sistemas frontais ($\times 10^{-2}$ frentes/dia) para as datas dos eventos extremos secos ocorridos na primavera para a região (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5.

5.4 CONCLUSÕES PARCIAIS

Um método subjetivo para rastreamento de sistemas frontais foi utilizado para realizar uma climatologia de sistemas frontais em 19 caixas de 3°X 3° na América do Sul. Este método levou em consideração que de um dia para o outro houvesse queda na temperatura em 925hPa; mudança na direção do vento meridional em 925hPa (do quadrante norte para o quadrante sul) e aumento na pressão ao nível médio do mar.

O método mostrou que as estações de outono, inverno e primavera apresentam diferentes números de passagens de sistemas frontais nas regiões analisadas, ocorrendo em maior número durante todo o ano entre 27°S e 37°S, e sendo mais numerosas no inverno. No sudeste, as frentes ocorrem em maior número no inverno e primavera para o sul de São Paulo e na primavera para o Espírito Santo, Minas Gerais e interior de São Paulo.

A validação do método foi realizada através da comparação com as análises feitas pelo CPTEC/INPE para o mês de abril de 2005, que mostrou boa concordância nos resultados.

Mostrada a eficiência do método no rastreamento dos sistemas frontais para a América do Sul, este foi aplicado para as datas dos eventos secos ocorridos em cada estação e para cada uma das regiões homogêneas no sudeste do Brasil. O objetivo desta análise era verificar qual o comportamento dos sistemas frontais (aumento ou diminuição) na própria região de estudo e no restante da América do Sul.

Todas as estações mostraram diminuição no número de sistemas frontais na própria região de análise, sendo as maiores reduções encontradas para R1 e R3 (chegando a -5×10^{-2} frentes/dia). Na maior parte das regiões (R1, R2 e R3) e o restante do sudeste também apresentou diminuição no número de sistemas frontais, enquanto que nas caixas localizadas ao sul apresentaram aumento no número de sistemas frontais (cerca de 2×10^{-2} frentes/dia). Para as regiões R4 e R5 apenas a própria região analisada apresentou diminuição, sendo observado um aumento no restante do sudeste. Este resultado confirma a hipótese mostrada no início deste trabalho, de que no período dos eventos secos no sudeste do Brasil, as frentes frias parecem não conseguir avançar sobre o sudeste, sendo sua passagem mais concentrada próximo ao sul do Brasil. Este fato, associado ao padrão encontrado para as anomalias de TSM no capítulo 3, sugerem que as frentes tendem a ficar mais estacionadas próximo ao gradiente de TSM, com valores positivos na costa do sul e sudeste do Brasil.

CAPITULO 6. CONFIGURAÇÃO DA ASAS NO PERÍODO DOS EVENTOS EXTREMOS SECOS NO SUDESTE DO BRASIL

O contraste de temperatura em função do aquecimento desigual do planeta gera células de circulação global na direção meridional. Uma destas células (Célula de Hadley) é formada entre a região equatorial e 30° de latitude (norte e sul) sendo caracterizada por ventos superficiais dirigidos de latitudes maiores em direção ao equador, que quando chegam nesta região ascendem. Em altos níveis, os ventos se dirigem do equador para os polos, que em torno de 20°-35° de latitude, subsidem. Esta região de subsidência caracteriza uma zona de alta pressão subtropical (Lutgens e Tarbuck, 2006). No cinturão subtropical de alta pressão localizado no Hemisfério Sul, uma célula semipermanente se desenvolve sobre o Oceano Atlântico, que pode ser identificada no campo de pressão ao nível médio do mar: a Alta Subtropical do Atlântico Sul (Hastenrath, 1985).

O estudo do comportamento da ASAS é importante, pois ela influencia nas condições de tempo das regiões próximas em que atua e quando persistente por vários dias pode ser considerado como um “bloqueio anticiclônico” pois pode impedir o avanço de sistemas frontais (Ito, 1999). Desta forma, a persistência da ASAS próxima ao sudeste do Brasil pode ocasionar tempo estável e seca nesta região (Musk, 1988 e Ito, 1999) e instabilidade em regiões vizinhas, já que distúrbios ciclônicos são desviados de sua trajetória normal (Ito, 1999).

O trabalho de Reboita et al. (2010) mostra que a ASAS influencia o clima nas regiões Sudeste e Nordeste do Brasil. No inverno, parte da ASAS encontra-se próximo a região Sudeste, inibindo a influência e formação de outros sistemas como os sistemas frontais e ciclones. No verão, o sistema está mais afastado da costa brasileira e a sua circulação contribui para o transporte de umidade para o interior do continente.

O objetivo neste capítulo é realizar uma climatologia do posicionamento da ASAS no período de 1982 a 2009 para as estações de outono, inverno e primavera e verificar como sua posição é modificada no período dos eventos extremos secos nas regiões homogêneas do sudeste do Brasil.

6.1 DADOS

Dados diários de pressão ao nível médio do mar provenientes das análises do ERA Interim (Dee et al., 2011) disponibilizados pelo ECMWF com uma resolução espacial de $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ no período de 1982 a 2009 serão utilizados para a realização do rastreamento da ASAS.

Dados diários de vento em 925hPa da mesma fonte também serão utilizados para compor os mapas de composição de circulação juntamente com pressão ao nível médio do mar e posicionamento da ASAS.

6.2 METODOLOGIA

No estudo de Lambert (1988) mostra-se que dois métodos podem ser utilizados para o rastreamento de ciclones: o primeiro conta o número de ciclones que passam em uma área unitária e o segundo registra o número de centros de baixa pressão encontrados em uma área unitária em um dado período de tempo, sendo a segunda opção mais fácil de ser empregada em programas computacionais e é a metodologia utilizada por ele para realizar uma climatologia de ciclones utilizando dados de um modelo global.

Outros trabalhos como de Murray e Simmonds (1991a), Sinclair (1994) e Sugahara (2000) também realizam o rastreamento de ciclones baseado na determinação do centro de baixa pressão comparando os valores encontrados para um ponto de grade com pontos vizinhos (técnica do vizinho mais próximo).

O rastreamento de anticiclones pode ser realizado com a mesma metodologia para determinar centros de baixa pressão. Um estudo climatológico da ASAS e sua relação com a passagem de sistemas frontais no inverno foi realizado por Ito (1999) que utilizou o mesmo algoritmo de Murray e Simmonds (1991a).

Para realizar uma climatologia da ASAS de 1989 a 2010, Degola (2013), realizou um rastreamento da ASAS utilizando a técnica do vizinho mais próximo na área entre $38^\circ\text{S} - 20^\circ\text{S}$ e $38^\circ\text{W} - 10^\circ\text{E}$. Também foi analisado seu impacto no clima da América do Sul.

6.2.1 RASTREAMENTO DA ASAS

A técnica do vizinho mais próximo também será utilizada neste trabalho e o rastreamento será realizado na região entre $39^\circ\text{S}-19,5^\circ\text{S}/40,5^\circ\text{W}-10,5^\circ\text{E}$.

O rastreamento consiste em analisar um ponto de latitude j e longitude i (definido como Região 1 e candidato ao centro da ASAS) e compará-lo com seus 24 vizinhos, localizados nas latitudes $j-1$, $j-2$, $j+1$, $j+2$ e nas longitudes $i-1$, $i-2$, $i+1$, $i+2$ (definidos como regiões 2 e 3), conforme mostra a Figura 6.1.

Assim como no trabalho de Degola (2013), o ponto (i, j) é deslocado dentro da região de análise até que toda caixa em análise seja verificada.

O centro da ASAS é a Região 1 quando são satisfeitas as seguintes condições:

- A PNMM na Região 1 é maior ou igual a PNMM na Região 2;
- A PNMM na Região 1 é maior do que a PNMM na Região 3.

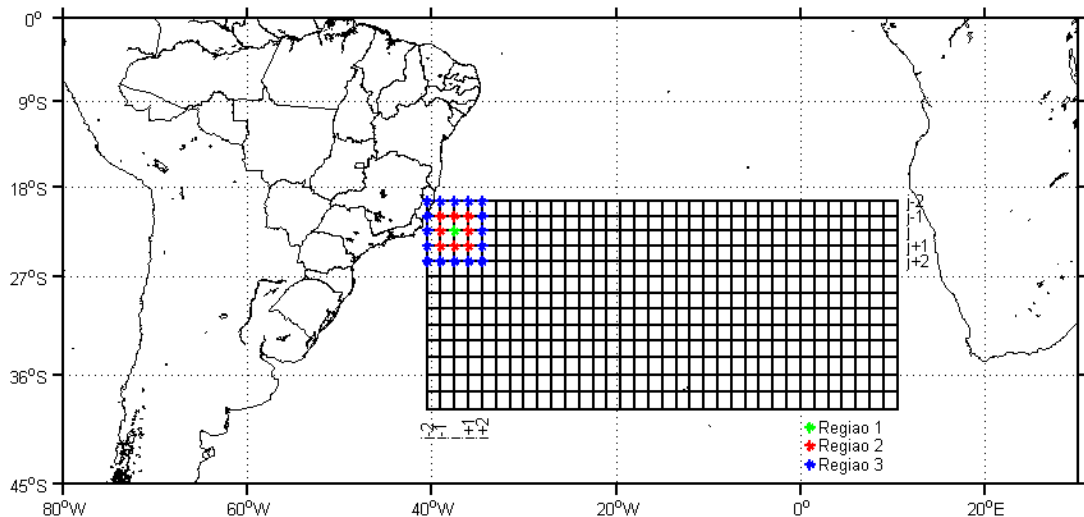


Figura 6.1: Área de rastreamento da ASAS (linhas em preto) e regiões definidas para sua localização através da Técnica do Vizinho mais Próximo (Similar ao trabalho de Degola, 2013).

Primeiramente, esta técnica de rastreamento da ASAS foi aplicada à médias de PNMM nas estações de outono, inverno e primavera de 1982 a 2009 a fim de determinar a climatologia da ASAS neste período.

A Tabela 6.1 mostra o posicionamento da ASAS encontrado neste trabalho e no trabalho de Degola (2013), os resultados não serão comparados ao de Ito e Ambrizzi (2000), pois este avalia a posição da ASAS somente para os meses de inverno.

Os resultados aqui encontrados apresentam-se um pouco deslocados para leste em relação ao de Degola (2013), sendo a posição latitudinal concordante. A diferença encontrada pode ser devido aos períodos analisados (1989 a 2010 no trabalho de Degola, 2013) e a grade de rastreamento ser diferente para os dois estudos.

ESTAÇÃO	ESTE TRABALHO	DEGOLA (2013)
OUTONO	31,5°S - 0°W	31°S - 2,5°W
INVERNO	28,5°S - 4,5°W	28°S - 11°W
PRIMAVERA	30°S - 3°W	30°S - 6°W

Tabela 6.1: Resultados da posição da ASAS neste trabalho e no de Degola (2013) no outono, inverno e primavera.

Os mapas na Figura 6.2 mostram em colorido a média da pressão no nível do mar, a circulação em 925hPa e o posicionamento encontrado para a ASAS no (a) outono, (b) inverno e (c) na primavera para o período de 1982 a 2009, onde a caixa preta indica a área utilizada para o rastreamento.

O inverno foi a estação em que a ASAS apresentou sua posição mais ao norte (28,5°S) e à oeste (4,5°W), se configurando mais próxima do continente sul americano. O centro da alta pressão atinge valor de 1024hPa. No outono e primavera, a ASAS migra para sudeste no oceano Atlântico e valores mais baixos são encontrados para a PNMM (até 1020hPa para o outono e 1022hPa para a primavera) concordando com os trabalhos de Degola (2013) e Machel et al. (1998).

Além disso, a região de mais alta pressão se estende até parte do interior do continente no inverno. Degola (2013) explica que este fato ocorre devido ao aquecimento desigual entre o continente sul americano e o OAS. No verão, o continente se aquece mais do que o oceano, gerando movimentos ascendentes e criando baixas pressões (baixas térmicas) que combinadas a valores elevados de umidade favorecem a formação nuvens e precipitação (Degola, 2013). No inverno, o padrão descrito anteriormente é invertido (o continente resfria mais rapidamente que o oceano) e altas pressões são induzidas no interior do continente (Degola, 2013).

Os ventos em 925hPa na região da ASAS possuem circulação anticiclônica e são mais intensos em seu centro e tem direção leste próximo á costa do nordeste do Brasil, contribuindo para umidade desta região. No sudeste, os ventos também apresentam direção leste, e mostram a influência da umidade do Atlântico para a região de estudo. No sul do Brasil é possível notar que os ventos possuem direção nordeste, mostrando a contribuição da umidade do centro do continente para esta região.

6.3 RESULTADOS

Após a análise climatológica do posicionamento da ASAS, médias de PNMM foram calculadas para as datas dos períodos dos eventos secos em cada região do sudeste do Brasil para cada estação analisada neste estudo. O posicionamento da ASAS foi calculada utilizando estas médias e estas informações foram colocadas em um mapa juntamente com a média do vento em 925hPa.

O posicionamento da ASAS para os eventos secos em cada região é vista na Figura 6.3 para os eventos ocorridos no outono, na Figura 6.4 para os eventos ocorridos no inverno e Figura 6.5 para os eventos que aconteceram na primavera, nas regiões R1 (a), R2 (b), R3 (c), R4 (d) e R5 (e). Na parte (f) de cada figura, o posicionamento encontrado para cada região é colocado no mesmo mapa que a posição climatológica para a estação (identificada com a letra C).

O inverno foi a estação que mostrou as maiores variações no posicionamento da ASAS. As regiões R1, R2 e R3 apresentaram o posicionamento da ASAS deslocado para noroeste no período dos eventos secos em relação à climatologia esperada para esta estação. Em R4, a ASAS se manteve na mesma posição climatológica e em R5 a mudança ocorreu apenas na variação longitudinal, ficando a leste da posição climatológica de inverno (em 3°W). O maior deslocamento longitudinal em relação à climatologia foi observado na região R1 para a data dos eventos secos ocorridos nessa região, aonde a ASAS chegou a 27°W, ficando 22,5°deslocada para oeste.

Ito (1999) destaca que nos meses de inverno a variação na posição do ASAS está intimamente ligada à passagem de frentes frias pois quando uma frente fria se desloca para latitudes mais baixas, ela desloca a ASAS para leste. Já nos períodos em que não ocorre passagem de frentes, a alta pressão atinge longitudes mais a oeste. No capítulo anterior, foi encontrada uma diminuição dos sistemas frontais no período dos eventos secos e o posicionamento da ASAS determinada neste estudo para as mesmas parece ser o fator que influencia neste fato.

Com relação à intensidade da PNMM no centro da alta, registrada em cada estação, todas as regiões no sudeste do Brasil apresentaram valores semelhantes, chegando a 1024hPa.

Nesta estação, a análise sugere que a ASAS parece ter influenciado os eventos secos em R1, R2 e R3 no inverno, impedindo a passagem normal dos sistemas frontais no sul da América do Sul e impedindo que eles avançassem até a região sudeste.

No outono, em todas as regiões analisadas no período dos eventos secos, a ASAS se posicionou mais ao norte em relação à sua posição climatológica (em 28,5°S para R1 e R4, em 27°S para R3 e R5 e em 30°S para R2).

Já a posição longitudinal apresentou características diferentes em R1 e R3, onde o posicionamento da ASAS foi mais à oeste em relação a climatologia (em 1,5°W e em 6°W, respectivamente). Para R2 e R4 a longitude encontrada para a posição da ASAS foi o mesmo determinado para a climatologia e na região R5 a ASAS se encontrou em 1,5°E, ficando mais a leste da posição climatológica.

Os valores encontrados para a média da PNMM no centro da alta pressão foi mais elevado para as análises de R1 e R2 (1023hPa) e menos intensos em R5 (não ultrapassando 1020hPa), porém em todos os casos foram menos intensos do que no inverno, concordando com os resultados de Degola (2013).

Esta análise sugere que no outono a ASAS parece ter influenciado os eventos secos em R1, R2, porém não em R3, R4 e R5, já que sua configuração não variou muito em relação à climatologia.

Na primavera, todas as regiões apresentaram a ASAS deslocada para norte, em relação à climatologia nas datas dos eventos considerados, estando posicionada em 28,5°S para R1, R3, R4 e R5 e em 27°S para R2.

O deslocamento na direção leste-oeste da ASAS mostrou que o anticlone esteve ou na mesma posição (R5) ou para oeste (R1, R2, R3 e R4) em relação a climatologia, sendo que a posição mais próxima do continente foi observada para R1 (em 13,5°W).

A intensidade da PNMM, similarmente ao inverno, não variou muito na comparação de todas as regiões, apesar de que na região R5 o centro da alta pressão apresenta menor extensão.

Na primavera, o posicionamento do centro de alta pressão do Atlântico sul aparece modificado nas datas dos eventos secos em relação ao esperado para esta estação, sendo que essa modificação parece ter influenciado na ocorrência de eventos extremos nas regiões analisadas.

Assim como no inverno, durante o outono e primavera o posicionamento da ASAS parece ter influenciado na passagem dos sistemas frontais sobre o sudeste do Brasil. As frentes frias também foram encontradas em menor número nestas duas estações e a ASAS parece ter sido um fator decisivo para esta ocorrência.

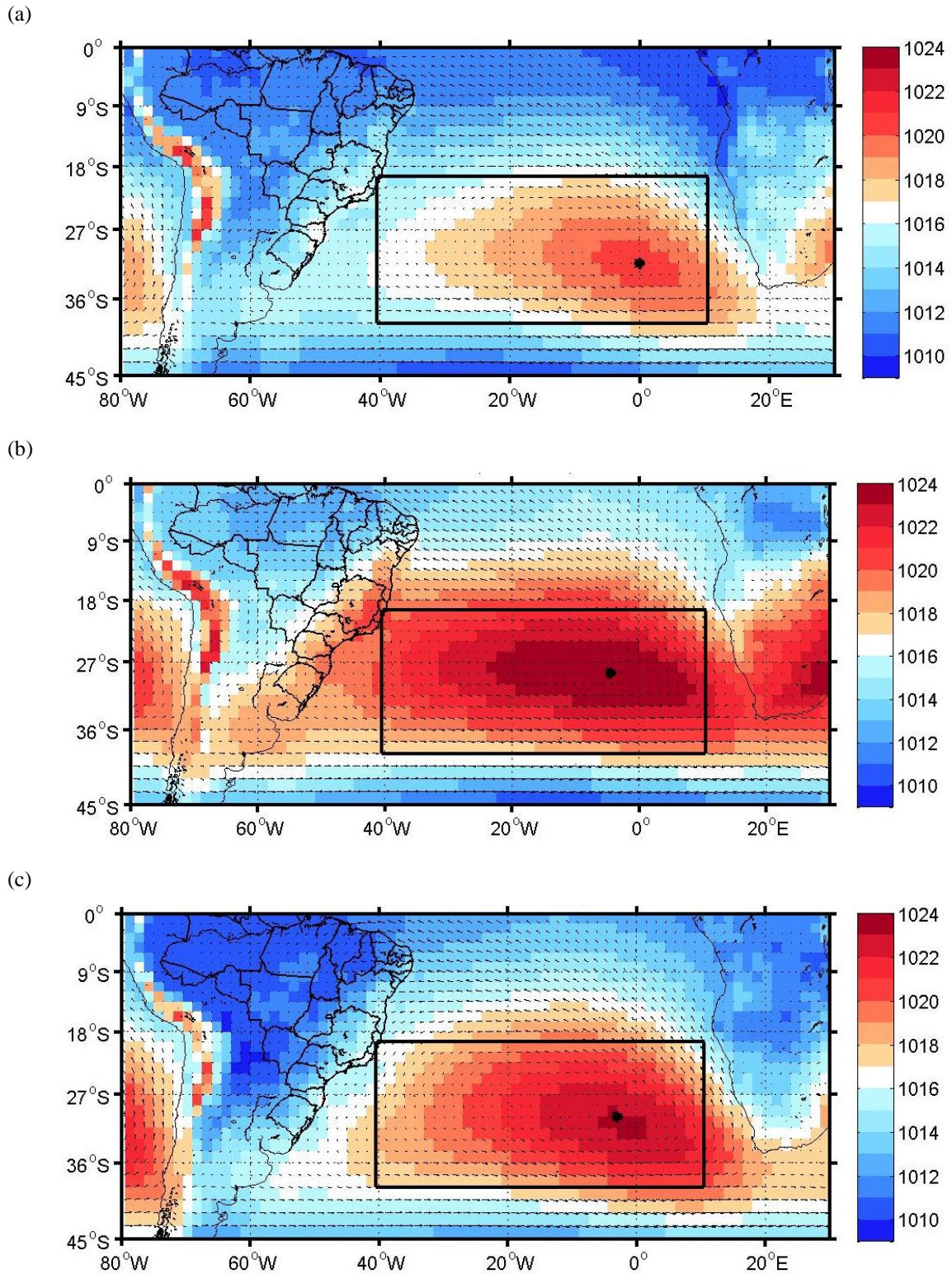


Figura 6.2: Climatologia (1982- 2009) de pressão ao nível médio do mar (colorido), vento em 925hPa (setas), caixa utilizada para o rastreamento da ASAS (linha preta) e posicionamento da ASAS (ponto preto) no (a) outono; (b) inverno; (c) primavera.

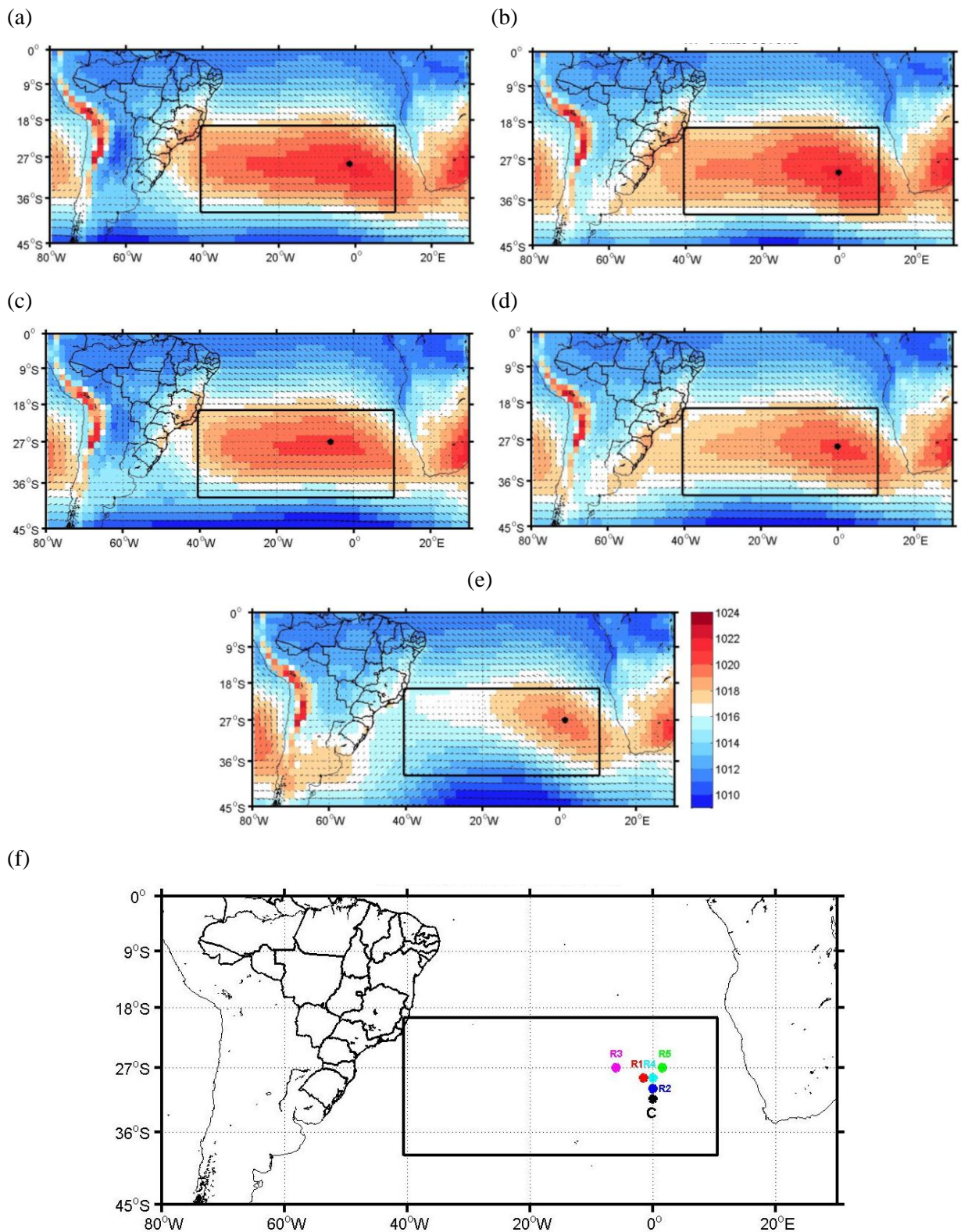


Figura 6.3: Média da pressão ao nível médio do mar (colorido), vento em 925hPa (setas) e posicionamento da ASAS (ponto preto) para a data dos eventos extremos secos ocorridos no outono em (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5. Em (f) é mostrado o posicionamento da ASAS encontrado em (a-f) para cada região, juntamente com a posição climatológica (C). A caixa utilizada para o rastreamento da ASAS é representada na linha preta.

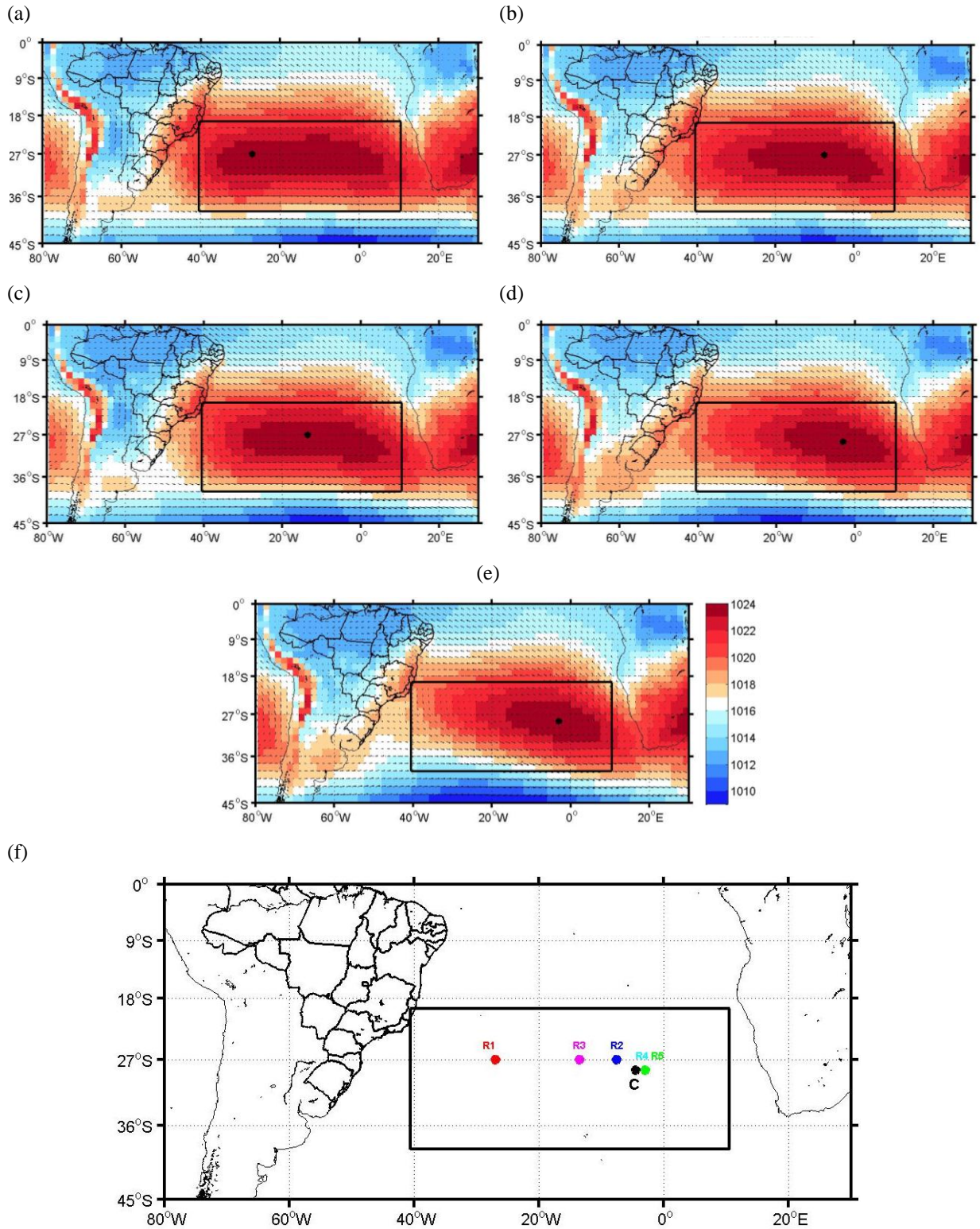


Figura 6.4: Média da pressão ao nível médio do mar (colorido), vento em 925hPa (setas) e posicionamento da ASAS (ponto preto) para a data dos eventos extremos secos ocorridos no inverno em (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5. Em (f) é mostrado o posicionamento da ASAS encontrado em (a-f) para cada região, juntamente com a posição climatológica (C). A caixa utilizada para o rastreamento da ASAS é representada na linha preta.

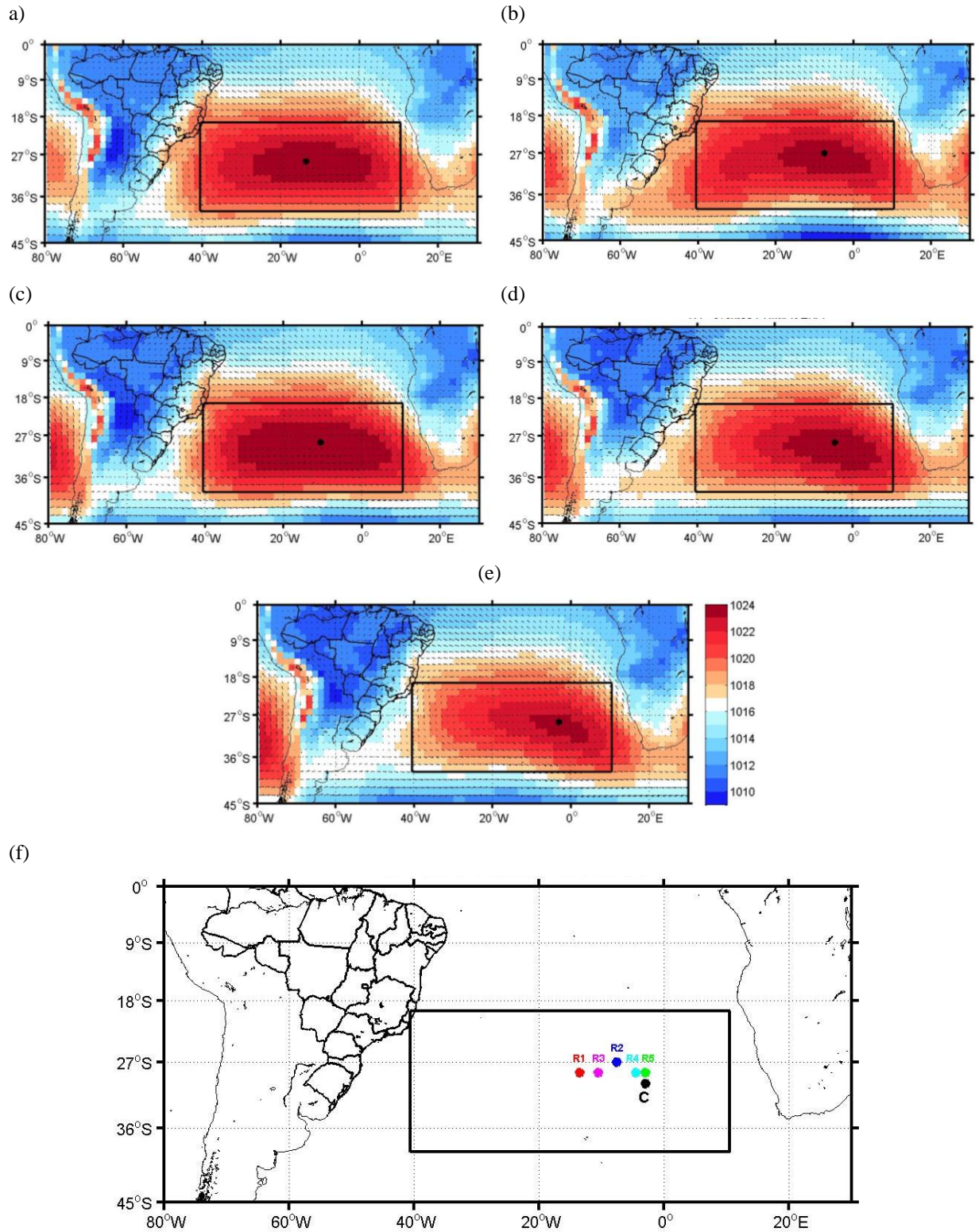


Figura 6.5: Média da pressão ao nível médio do mar (colorido), vento em 925hPa (setas) e posicionamento da ASAS (ponto preto) para a data dos eventos extremos secos ocorridos na primavera em (a) R1; (b) R2; (c) R3; (d) R4; (e) R5. Em (f) é mostrado o posicionamento da ASAS encontrado em (a-f) para cada região, juntamente com a posição climatológica (C). A caixa utilizada para o rastreamento da ASAS é representada na linha preta.

6.4 CONCLUSÕES PARCIAIS

A técnica do vizinho mais próximo foi utilizada em médias de pressão ao nível médio do mar para o outono, inverno e primavera no período de 1982 a 2009, na área entre 39°S-19,5°S e 40,5°W-10,5°E, para o rastreamento da ASAS.

Primeiramente foi realizada uma climatologia da ASAS por estação. O inverno foi a estação em que a ASAS apresentou sua posição mais ao norte (28,5°S) e à oeste (4,5°W), se configurando mais próxima do continente sul americano. No outono e primavera, a ASAS migra para sudeste no oceano Atlântico, concordando com o trabalho de Degola (2013).

Depois de verificada a eficácia do método de rastreamento da ASAS, a mesma metodologia foi aplicada às médias da PNMM para as datas dos eventos secos ocorridos em cada região e em cada estação. A localização da ASAS foi analisada juntamente com a média da PNMM e do vento em 925hPa.

Para as regiões R1 e R3, em todas as estações e em R2 no inverno e primavera, o posicionamento médio da ASAS para as datas dos eventos extremos se mostrou a noroeste da posição climatológica, ficando mais próxima do continente. Em R1 no inverno foi encontrado o maior deslocamento longitudinal, sendo o centro da ASAS localizado em 27°W.

Este fato adicionado aos resultados encontrados no capítulo anterior que verificaram uma menor ocorrência de sistemas frontais no período dos eventos secos sugere que a ASAS por estar posicionada mais a oeste impediu o avanço destes sistemas nas áreas de estudo, estando também associadas às anomalias positivas de TSM próximos à costa do sul e sudeste do Brasil, mostradas no capítulo 3.

Ito (1999) ao realizar um estudo de caso para o inverno de 1995, caracterizado como seco e quente, encontraram que os sistemas frontais permaneceram semi estacionários sobre o sul do Brasil durante alguns dias, até que se enfraqueceram e se deslocaram para o oceano. Neste período a circulação da ASAS se manteve estruturada, atuando sobre o sudeste e impedindo a penetração das frentes nesta região. Neste período foram encontradas também anomalias positivas de TSM, que atuam como fonte de calor na costa da Região Sul, favorecendo o estacionamento das frentes nesta região.

Para R4 e R5, a ASAS se mostrou muito próxima de sua posição climatológica, parecendo não influenciar na passagem dos sistemas frontais sobre estas regiões.

CAPITULO 7. EXPERIMENTOS NUMÉRICOS

7.1 MODELAGEM CLIMÁTICA REGIONAL

Os Modelos de Circulação Geral (MCGs) foram desenvolvidos para simular a circulação geral da atmosfera e são uma importante ferramenta para compreensão do comportamento climático de determinadas regiões e dos sistemas atmosféricos que nelas atuam (quando utilizados com dados de clima presente), sendo também importantes e fundamentais para previsões de clima futuro (utilizando projeções climáticas de cenários futuros) (Zorita e Von Storch, 1999; Ambrizzi et al., 2007; Alves, 2007).

A resolução espacial de um modelo determina o tamanho do espaçamento da grade em que os processos atmosféricos (como representação de nuvens, camada limite, transferência radiativa) e as características da região estudada (como topografia e cobertura vegetal) são representados (Alves, 2007; Ambrizzi et al., 2007). Como nos MCGs, a resolução espacial é geralmente baixa (da ordem de centenas de quilômetros), processos que ocorrem em escala inferior a este valor muitas vezes não são bem representados e o resultado final da simulação pode apresentar um desvio muito grande do resultado esperado (Alves, 2007; Ambrizzi et al., 2007).

A melhoria das análises em menor escala poderia ser feita com um refinamento da grade dos MCGs, ou seja, um aumento na sua resolução espacial (Ambrizzi et al., 2007). Entretanto, este recurso requer um grande custo computacional, além de maior espaço para armazenamento dos dados gerados (Ambrizzi et al., 2007). Outra maneira de melhorar a análise em menor escala, é a utilização de uma melhor resolução espacial somente na área que se deseja analisar e isto pode ser feito com o uso de Modelos Climáticos Regionais (MCR). A técnica de *downscaling* é utilizada para a transferência de informações de um MCG em larga escala, que serve como condição de fronteira para o modelo de menor escala (Giorgi, 1990).

Elguindi et al. (2007) destacam que os MCR, também chamados de modelos de área limitada (MALs), começaram a ser utilizados em estudos de clima nos trabalhos de Dickinson et al. (1989) e Giorgi (1990), que mostraram sua melhoria em relação aos MCGs.

No Brasil, os MALs vêm sendo utilizados para estudos e previsões sazonais de clima em diversos centros e com diferentes modelos (Ambrizzi et al., 2007): no CPTEC, com o Modelo Eta/CPTEC, na FUNCEME com o modelo RSM e na USP e UFMS com o RegCM.

7.1.1 O MODELO CLIMÁTICO REGIONAL REGCM4.3

O RegCM (*REGional Climate Model*) é um modelo desenvolvido no NCAR (*National Center for Atmospheric Research*) a partir de uma adaptação para simulações climáticas do modelo de mesoescala MM4 (*Mesoscale Model version 4*). Sendo assim, suas características dinâmicas são herdadas do MM4, que é compressível, hidrostático, com coordenada vertical *sigma*, e de área limitada em diferenças finitas (Elguindi et al., 2007; Giorgi et al. 1993 a,b).

A versão mais atual é a 4.3 e difere das versões anteriores em melhorias e maior variedade nas parametrizações físicas disponíveis para uso.

Os processos de superfície podem ser representados através de dois esquemas diferente: BATS (*Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme*; Dickinson et al., 1993) e CLM (*Community Land Model*; Tawfik e Steiner, 2011). Estas parametrizações representam a interação entre solo, planta e atmosfera. No esquema BATS, pode ser escolhida a classe da vegetação entre 20 opções (Elguindi et al., 2007), em que arquivos globais fornecem estas informações para cada ponto de grade, podendo ser consideradas a presença de vegetação e a interação com o solo nas trocas turbulentas de momento, energia e vapor d'água entre a superfície e atmosfera (Ambrizzi et al., 2007). O esquema CLM, que está em sua versão 3.5, inclui um tratamento mais detalhado dos processos de interação de superfície na descrição da temperatura do solo, transferência de umidade, vegetação e processos hidrológicos (Llopart, et al., 2014).

O cálculo das taxas de aquecimento e fluxos de radiação solar na superfície em condições de céu claro e nublado é representado no esquema de transferência radiativa sendo que esta parametrização do RegCM4.3 é a mesma do CCM3 (*Community Climate Model 3*; Kiehl et al., 1996) (Ambrizzi et al., 2007).

Para a camada limite existem duas possibilidades de parametrização: Hostlag e UW-PBL. O esquema de camada limite planetária, desenvolvido por Holtslag et al. (1990) é baseado em um conceito de não difusão local de umidade e calor, que leva em consideração fluxos gradientes resultantes de vórtices de larga escala (Giorgi et al., 2012). Já o esquema UW-PBL (O'Brien et al., 2012) apresenta uma melhoria em relação a representação de nuvens stratocumulus em comparação ao esquema Hostlag, que não era bem representado devido ao excesso de transporte vertical (Giorgi et al., 2012) e é baseado no esquema de fechamento geral de parametrização de turbulência de Grenier e Bretherton (2001) e Bretherton et al. (2004).

Para parametrizar convecção em cumulus profundos, o RegCM4.3 possibilita a opção entre os esquemas convectivos de Kuo (Anthes, 1977 e Anthes et al., 1987), Grell (Grell, 1993), MIT (Emanuel, 1991 e Emanuel e Zivkovic-Rothman, 1999), Tiedtke (Tiedtke, 1989), Mixed1 (Grell no continente e MIT no oceano) e Mixed2 (Grell no oceano e MIT no continente). No esquema Kuo, a convecção é acionada em uma baixa troposfera convectivamente instável quando a convergência de umidade da coluna excede um valor limite (Giorgi et al., 2012). No esquema Grell, as nuvens possuem uma corrente ascendente e uma corrente descendente e convecção é ativada após uma parcela levantada na corrente ascendente atingir o nível de convecção úmida (Giorgi et al., 2012). Neste esquema deve ser escolhido um tipo de fechamento: Arakawa-Schubert ou Fritsch-Chappell (Giorgi et al., 2012). O esquema MIT considera que a convecção é ativada quando o nível de flutuação é superior ao nível de base da nuvem (Giorgi et al., 2012). O esquema Tiedtke considera uma população de nuvens, onde o conjunto de nuvem é descrita por um modelo de massa unidimensional (Reboita et al., 2014). Nos esquemas Mixed1 e Mixed2 é possível utilizar diferentes esquemas de convecção sobre oceano e continente (Reboita et al., 2014).

Diversos estudos utilizam o modelo RegCM em análises climáticas na América do Sul e com diferentes objetivos, como: avaliação de melhor parametrização para representação de precipitação e temperatura; simulação de eventos de alta frequência, como ciclones; representação do ciclo diurno; projeção de clima utilizando cenários futuros; variabilidade interanual entre outros.

O impacto da TSM no OAS na variabilidade interanual da precipitação e temperatura, no verão no sudeste da América do Sul utilizando o modelo RegCM3 foi feito por Cuadra e da Rocha (2007). As análises foram realizadas comparando as simulações utilizando duas condições de TSM (mensal e persistida), sendo mostrado que o uso da TSM persistida apresenta pouco impacto na precipitação e temperatura sazonal.

O estudo de da Rocha et al. (2009) mostrou que o modelo RegCM3 simula os principais padrões de temperatura e precipitação de verão da AS (principalmente associado a ZCAS), apesar de superestimar a precipitação sob os Andes. As características do ciclo diurno de precipitação, como diferença entre as regiões tropicais e extratropicais, também são bem reproduzidas, sendo que na região da ZCAS, a intensidade e a fase da precipitação são muito próximas das observações.

O estudo de da Rocha et al. (2012) avaliou os efeitos de mudanças nas parametrizações de cumulus e de superfície no RegCM3 para simular a precipitação de verão

na AS, mostrando a importância do acoplamento entre fluxos de superfície, estabilidade atmosférica e precipitação para as previsões de clima na AS. O esquema Grell apresentou os melhores resultados em simular o início e fim das monções da AS de acordo com os dados observados.

Em Krüger et al. (2012) foram avaliadas as mudanças no comportamento dos ciclones extratropicais, temperatura e precipitação na AS e OAS utilizando o RegCM3 acoplado ao modelo global HadAM3 em cenários de clima futuro. Foi encontrada redução de precipitação no nordeste e aumento no sul da AS para o verão nos dois cenários de clima futuro analisados. O modelo foi capaz de representar bem a ciclogênese na região de estudo no período do presente quando comparado ao modelo global e foi encontrada redução de sua ocorrência em cenários de clima futuro.

A versão 4 do ReGCM foi utilizada por Llopart et al. (2014) para avaliar impactos remotos e locais de mudanças climáticas no clima e hidrologia da Amazônia e da Bacia do Rio da Prata em cenários de projeções de clima futuro. Comparados aos modelos globais, utilizados como condição de fronteira, o RegCM4 se mostrou melhor em simular o ciclo anual de precipitação, quando testados dois esquemas de parametrização de superfície (BATS e CLM) e de convecção (Grell e Emanuel). Além disso, o RegCM4 também se mostrou mais eficaz na análise da influência remota de anomalias de TSM na região do Niño 3.4 na umidade do solo das regiões analisadas.

Um estudo para avaliar diferentes esquemas de parametrização para simular precipitação e temperatura com o RegCM4.3 no domínio do CORDEX (*Coordinated Regional Downscaling Experiment*) para a América do Sul foi recentemente feito por Reboita et al. (2014). Os esquemas que melhor representaram a temperatura foram MIT para parametrização de cumulus juntamente com CLM para camada limite. Já para a precipitação a melhor representação foi obtida quando utilizados os esquemas BATS para superfície, Hostlag para camada limite e convecção do tipo Mixed1.

A influência dos eventos ENOS na precipitação de primavera na AS foi investigada por da Rocha et al. (2014) utilizando o RegCM4 com condições de fronteira proveniente de três modelos globais no período presente e futuro. No período presente, apesar de o *bias* encontrado para a precipitação ser inferior ao dos modelos globais e da relação ENOS-Precipitação na AS ser bem representada pelo modelo regional, este não foi capaz de simular bem a frequência dos ENOS. Já nos cenários futuros analisados, as projeções indicaram um

aumento (diminuição) de precipitação no sudeste (nordeste) da AS, e uma diminuição no sinal do ENOS em relação ao presente.

7.1.2 CONDIÇÕES INICIAIS E VARIABILIDADE INTERNA DO MODELO

Diversos estudos climáticos regionais, como os realizados por Giorgi e Mearns (1999) e McGregor (1997) utilizam MALs, em que as condições iniciais (CI) e condições de fronteira (CF) podem ser provenientes de observações ou de experimentos de um MCG.

Os processos atmosféricos são não lineares, desta forma, perturbações nas CF e CI geram diferenças nos resultados das simulações. Além disso, espera-se que MALs apresentem variabilidade interna devido as não linearidades na sua parte física e dinâmica (Giorgi e Bi, 2000).

A importância de avaliar a variabilidade interna dos MALs é destacada no trabalho de Giorgi e Bi (2000), que salientam que em certos casos ela pode modular ou até mesmo mascarar forçantes físicas do modelo.

No trabalho de Cuadra e da Rocha (2007) foram avaliados impactos da TSM média e persistida no OAS na variabilidade interanual da precipitação e temperatura no sul da América do Sul, realizando simulações com o modelo climático RegCM3. A variabilidade interna do modelo foi minimizada realizando *ensembles* de cinco simulações inicializadas em cinco dias consecutivos.

7.2 EXPERIMENTOS NUMÉRICOS

As simulações numéricas foram realizadas utilizando o modelo regional RegCM4.3 utilizando como condição inicial e de fronteira as variáveis atmosféricas de vento, temperatura, umidade, geopotencial e a TSM de 6 em 6 horas provenientes do ERA Interim (Dee et al., 2011).

O domínio utilizado nos experimentos segue o domínio para a América do Sul recomendada pelo CORDEX (Giorgi et al., 2009) e é mostrado na Figura 7.1, em que a linha preta mostra o domínio (65°S-25°N e 120°W-0°W) e em tons de verde a topografia (m) da área de estudo. Este domínio possui uma grade com 192 pontos na direção norte-sul e 202 pontos na direção oeste-leste, espaçamento de grade de 50 km, 18 níveis *sigma* na vertical e projeção *Rotated Mercator* (Reboita et. al., 2014).

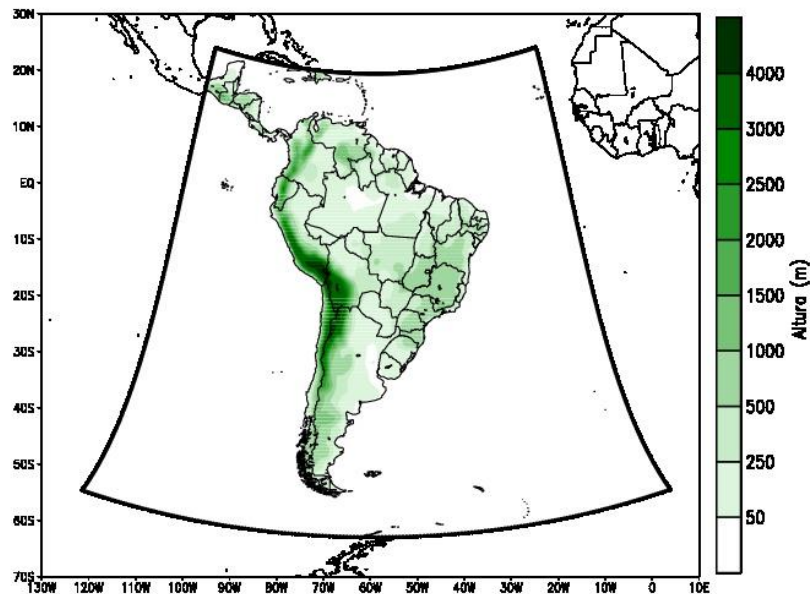


Figura 7.1: Domínio das simulações numéricas utilizadas neste estudo (linha preta) e topografia (m) da área simulada.

Com relação às parametrizações físicas do modelo, para os processos de superfície foi utilizado o esquema BATS, Hotslag para a camada limite e o esquema Mixed1 para convecção cumulus. Em Reboita et al. (2014) é mostrado que esta configuração representa bem o padrão de precipitação sobre a América do Sul.

A Tabela 7.1 mostra estes esquemas de parametrizações físicas com as configurações utilizadas no modelo RegCM4.3 para todas as simulações realizadas.

PARAMETRIZAÇÕES FÍSICAS		
SUPERFÍCIE	CAMADA LIMITE	CONVECÇÃO CUMULUS
BATS	HOLTSLAG (ibltyp=1)	MIXED1 (icup=99)

Tabela 7.1: Parametrizações físicas utilizadas em todas as simulações numéricas feitas com o modelo RegCM4.3 (recomendadas por Reboita et. al., 2014).

Foram realizados dois estudos com o modelo RegCM4.3:

- Estudo climático: foram comparadas as simulações de dois anos (um que apresentou maior número de eventos secos e outro com menor quantidade de eventos secos) e analisada a influência da mudança da TSM (representando o padrão encontrado para os eventos secos nas análises observacionais) para o ano menos seco, nos padrões de

precipitação, circulação, quantidade de eventos secos e quantidade de frentes frias na América do Sul.

- Estudo de caso: foi simulado um evento seco registrado em todas as regiões homogêneas do sudeste do Brasil e analisada a influência da mudança da TSM (representando o padrão contrário ao encontrado para os eventos secos) na precipitação.

7.2.1 ESTUDO CLIMÁTICO

Para o estudo climático foram selecionados dois anos para a análise, um ano com maior quantidade de eventos secos e outro com menor número de ocorrência destes eventos.

Verificando o número de eventos secos em cada região homogênea do sudeste do Brasil, o ano de 2003 foi o que apresentou o maior número de eventos, ou o evento mais longo na maior parte das regiões analisadas (em R1, R3 e R5), desta forma este ano foi classificado como “mais seco”. O ano de 1990 apresentou menor número de eventos ou eventos mais curtos na maioria das regiões do sudeste do Brasil (em R1, R4 e R5), e este ano foi classificado como “menos seco”.

Primeiramente foram realizadas simulações controle (em que foram utilizados os dados observados como CI e CF) para os anos de 1990 e 2003, e estas foram chamadas de CTRL_90 e CTRL_03, respectivamente. Essas simulações foram iniciadas às 00Z do dia 1º de dezembro do ano anterior da análise (em 1º de dezembro de 1989 para CTRL_90 e em 1º de dezembro de 2002 para a CTRL_03) e finalizadas em dezembro do ano estudado. Como este trabalho investiga as estações de outono, inverno e primavera, os três primeiros meses de simulação foram utilizados como tempo de *spin-up* do modelo e foram desconsiderados.

O experimento para a mudança de TSM foi realizada para o ano de 1990 (MODIF_90). O objetivo desta mudança é investigar se o padrão de TSM encontrado nas análises observacionais do capítulo 3, para os eventos secos no sudeste do Brasil se inserido neste ano (menos seco), diminuiu a precipitação na região de estudo nas estações de outono, inverno e primavera, qual a característica dos eventos secos (mais longos, mais eventos, etc) e como muda a configuração do número de frentes frias.

Para isto, foi calculada a climatologia de TSM em cada tempo e adicionadas anomalias de -2°C na região $0^{\circ}\text{S}-18^{\circ}\text{S}/55^{\circ}\text{W}-0^{\circ}$, $+2^{\circ}\text{C}$ na região $18^{\circ}\text{S}-36^{\circ}\text{S}/65^{\circ}\text{W}-0$ e -2°C na região $36^{\circ}\text{S}-45^{\circ}\text{S}/70^{\circ}\text{W}-0^{\circ}$ (Figura 7.2), para reproduzir o padrão de tripolo

negativo/positivo/negativo, encontrado na análise observacional do capítulo 3. Este novo dado diário de TSM foi utilizado como condição de fronteira para as simulações do experimento MODIF_90.

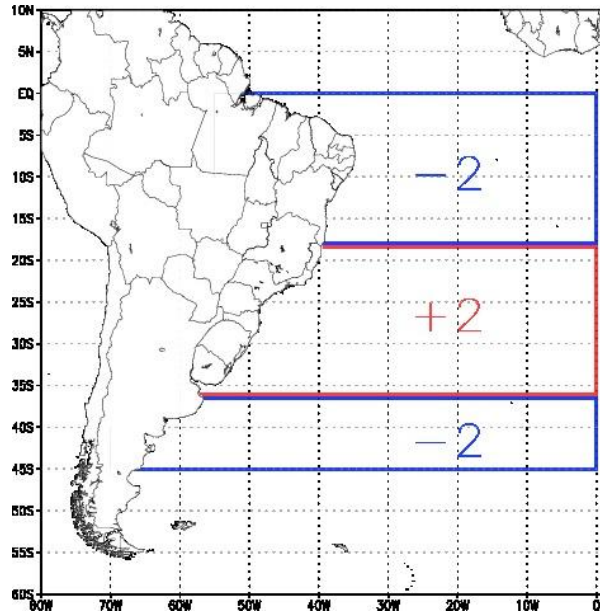


Figura 7.2: Mudança de TSM realizada para o experimento climático (valores adicionados a climatologia).

Com o objetivo de reduzir a variabilidade interna do modelo, foi realizado um *ensemble* de cinco experimentos (iniciados as 00Z nos dias 1, 2, 3, 4 e 5 de dezembro de 1989 e finalizados em dezembro de 1990). O *ensemble* para os experimentos com a TSM modificada em 1990 será chamado de MODIF_90, sendo considerados apenas os trimestres do outono, primavera e inverno para análise, onde os três primeiros meses de simulação também foram considerados como tempo de *spin-up*.

Os dados de precipitação do modelo foram interpolados para a mesma grade dos dados de observação. A precipitação simulada pelo RegCM4.3 nos experimentos CTRL_03 e CTRL_90 foi comparada com os dados observados para os trimestres MAM, JJA e SON. A precipitação simulada para o experimento MODIF_90 foi comparada com a do experimento CTRL_90. Para estas comparações foram calculados os bias:

$$BIAS_{CTRL} = X_{CTRL} - X_{OBS}$$

7.1

$$BIAS_{MODIF} = X_{MODIF} - X_{CTRL}$$

7.2

em que X representa a variável analisada.

O $BIAS_{CTRL}$ representa a diferença entre a variável simulada pelo modelo e a observação e dá uma ideia da habilidade do modelo. Valores positivos de $BIAS_{CTRL}$ indicam que o modelo superestima a variável X e valores negativos mostram que o modelo subestima a variável X . Já o $BIAS_{MODIF}$ indicará a influência da mudança na TSM na variável X . Caso $BIAS_{MODIF}$ seja positivo, a mudança da TSM causará aumentos em X e caso $BIAS_{MODIF}$ seja negativo a variável X é diminuída.

Foram analisados também os campos de vento em 200hPa, 500hPa e 850hPa e calculados os $BIAS_{CTRL}$ e $BIAS_{MODIF}$.

O método dos dias consecutivos secos também foi calculado para os experimentos CTRL_03, CTRL_90 e MODIF_90 com o objetivo de analisar se o modelo representou bem os eventos encontrados nos anos analisados e se a mudança da TSM realizada no experimento MODIF_90 alterou a quantidade e duração dos eventos.

A quantidade de frentes frias foi calculada para cada estação e os $BIAS_{CTRL}$ e $BIAS_{MODIF}$ foram calculados para os três experimentos para analisar se o modelo representou bem a quantidade de frentes frias nos anos analisados e se a mudança a TSM alterou esta configuração.

As Figura 7.3 (a-c) e Figura 7.4 (a-c) mostram o $BIAS_{CTRL}$ para os experimentos de 2003 e 1990, respectivamente. O objetivo desta análise é verificar primeiramente a habilidade do RegCM4.3 em simular a sazonalidade da precipitação nos anos investigados. Nos dois anos e nas três estações analisadas, o centro e sul do Brasil apresentam *bias* negativo, indicando que o modelo subestima a precipitação nestas regiões. No outono, todo litoral do continente apresenta *bias* positivo, condição que também ocorre no inverno e primavera com exceção do litoral leste do nordeste. O interior do nordeste apresenta *bias* positivo no outono e negativo no inverno e primavera. O sudeste do Brasil apresenta *bias* negativo no outono nos dois anos analisados, no inverno em 1990 e na primavera em 2003. Reboita et al. (2014) encontraram características semelhantes para o *bias* no inverno com as mesmas parametrizações utilizadas neste estudo.

Após a mudança da TSM no ano de 1990, o impacto na precipitação pode ser vista na Figura 7.5 (a-c). O $BIAS_{MODIF_90}$ indica que no outono a precipitação é reduzida em parte do sudeste do Brasil (no sul do estado de São Paulo, norte de Minas Gerais e no Espírito Santo), bem como no Paraná, Santa Catarina, norte do Rio Grande do Sul, norte da região norte e todo nordeste do Brasil, chegando a -200mm na região de interesse deste estudo. Por outro

lado, mais precipitação é vista em parte do sudeste (norte de São Paulo e Sul de Minas Gerais), no Rio Grande do Sul e na região do Oceano Atlântico Sul, aonde se encontra a anomalia positiva de TSM.

No inverno, menor precipitação é registrada no estado de São Paulo, oeste de Minas Gerais, Paraná, litoral leste do nordeste e região norte do Brasil. A redução na região de estudo não foi tão expressiva quanto no outono e chegou a -100mm. Bias positivo é registrado no Rio Grande do Sul e também no Oceano Atlântico Sul adjacente às regiões sul e sudeste do Brasil

Na primavera, todo sudeste do Brasil, com exceção do sul do estado de São Paulo apresenta redução na precipitação quando realizada a mudança no padrão de TSM. A redução nesta estação foi mais intensa e valores abaixo de -200mm foram encontrados para o $BIAS_{MODIF_{90}}$ na área de estudo. O sul do Brasil apresenta *bias* positivo.

Desta forma, quando inserido o padrão de TSM característico do evento seco, em um ano que não se apresentou muito seco, como o descrito no capítulo 3, a precipitação foi diminuída em parte da região de estudo (norte de São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro), sendo mais intensa na primavera. Por outro lado, ocorre aumento de precipitação em parte do sul do Brasil e norte da Argentina (com exceção de JJA). Este fato confirma os resultados encontrados nas análises observacionais.

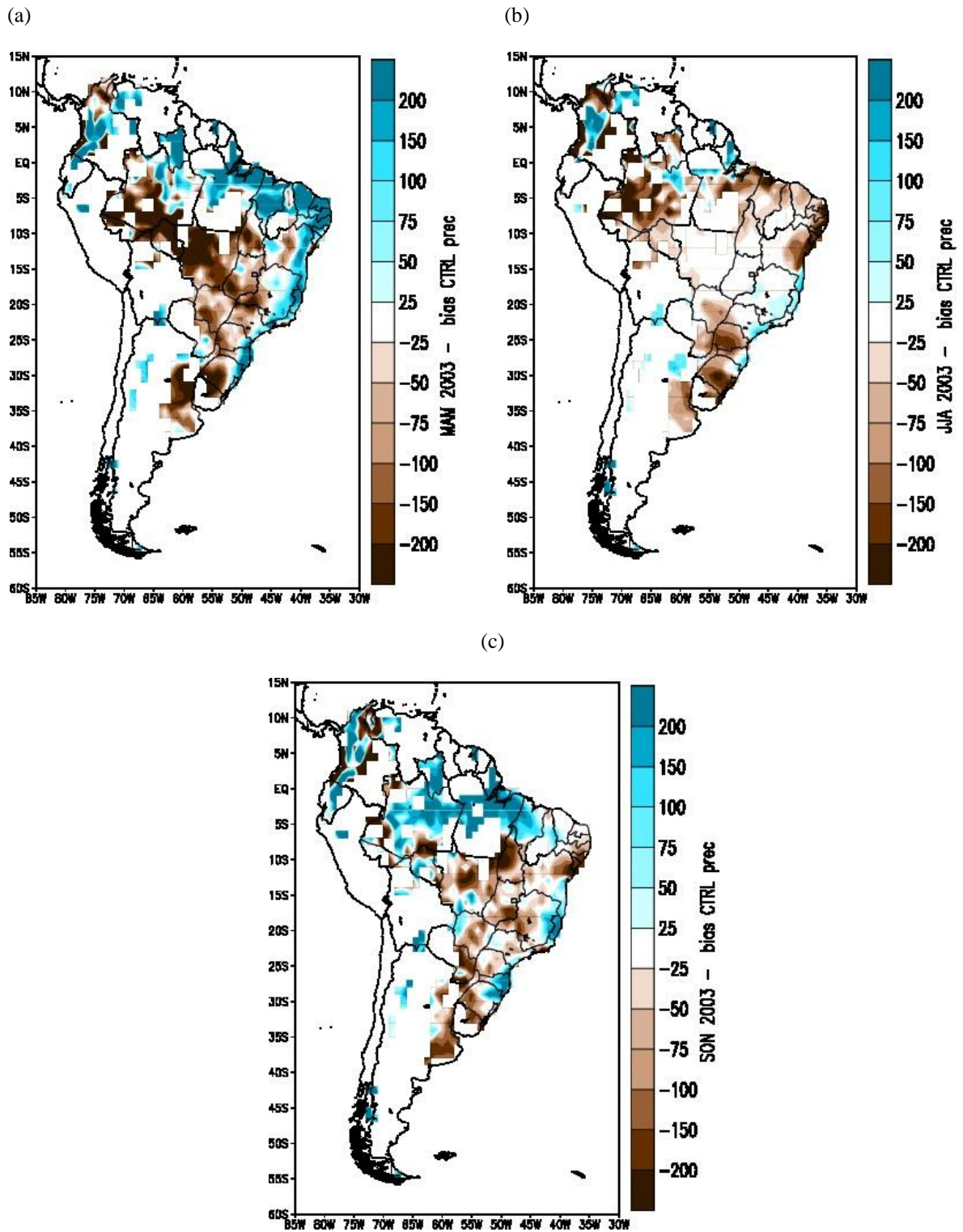


Figura 7.3: BIAS para a precipitação (mm) em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento CTRL para 2003.

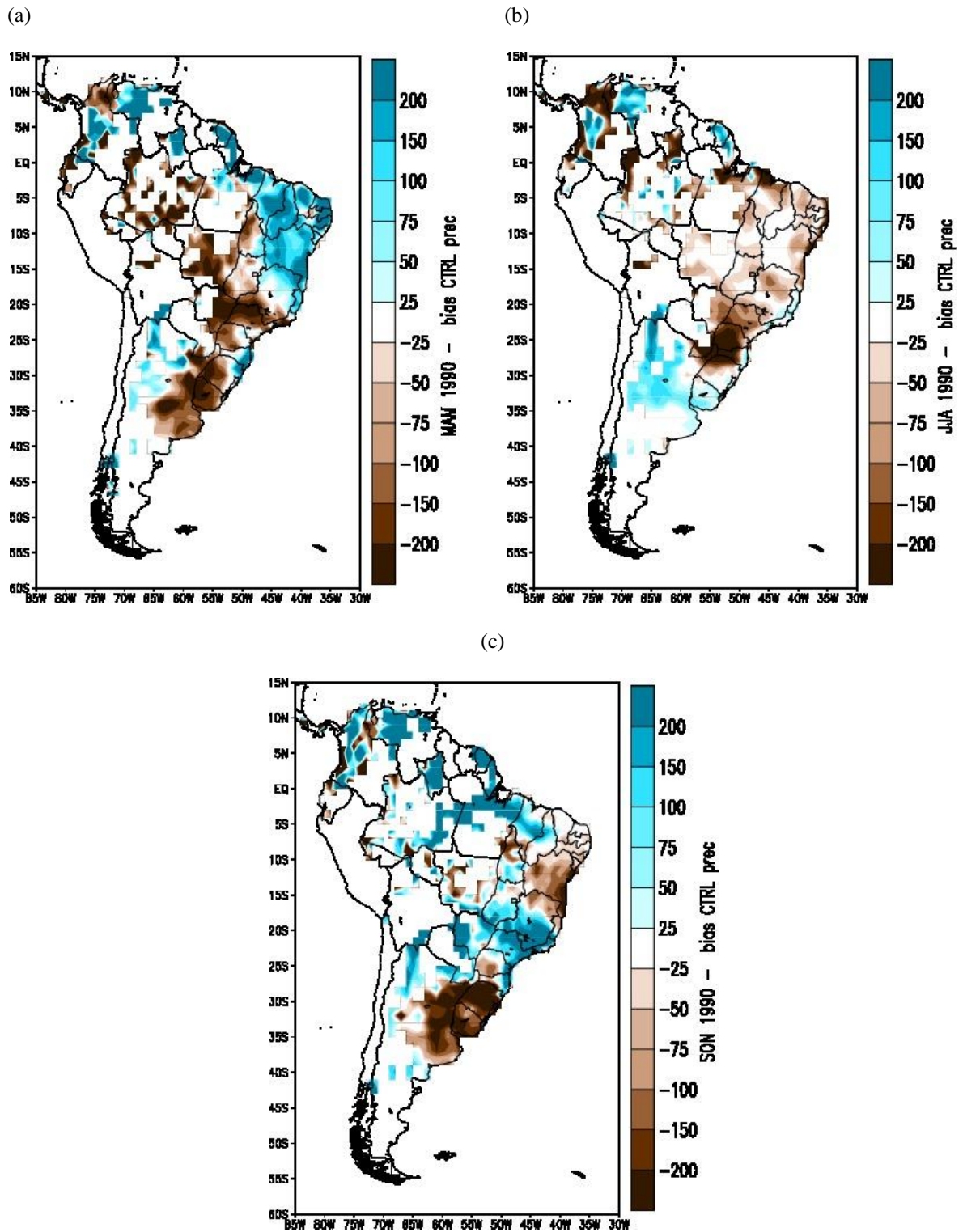


Figura 7.4: BIAS para a precipitação (mm) em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento CTRL para 1990.

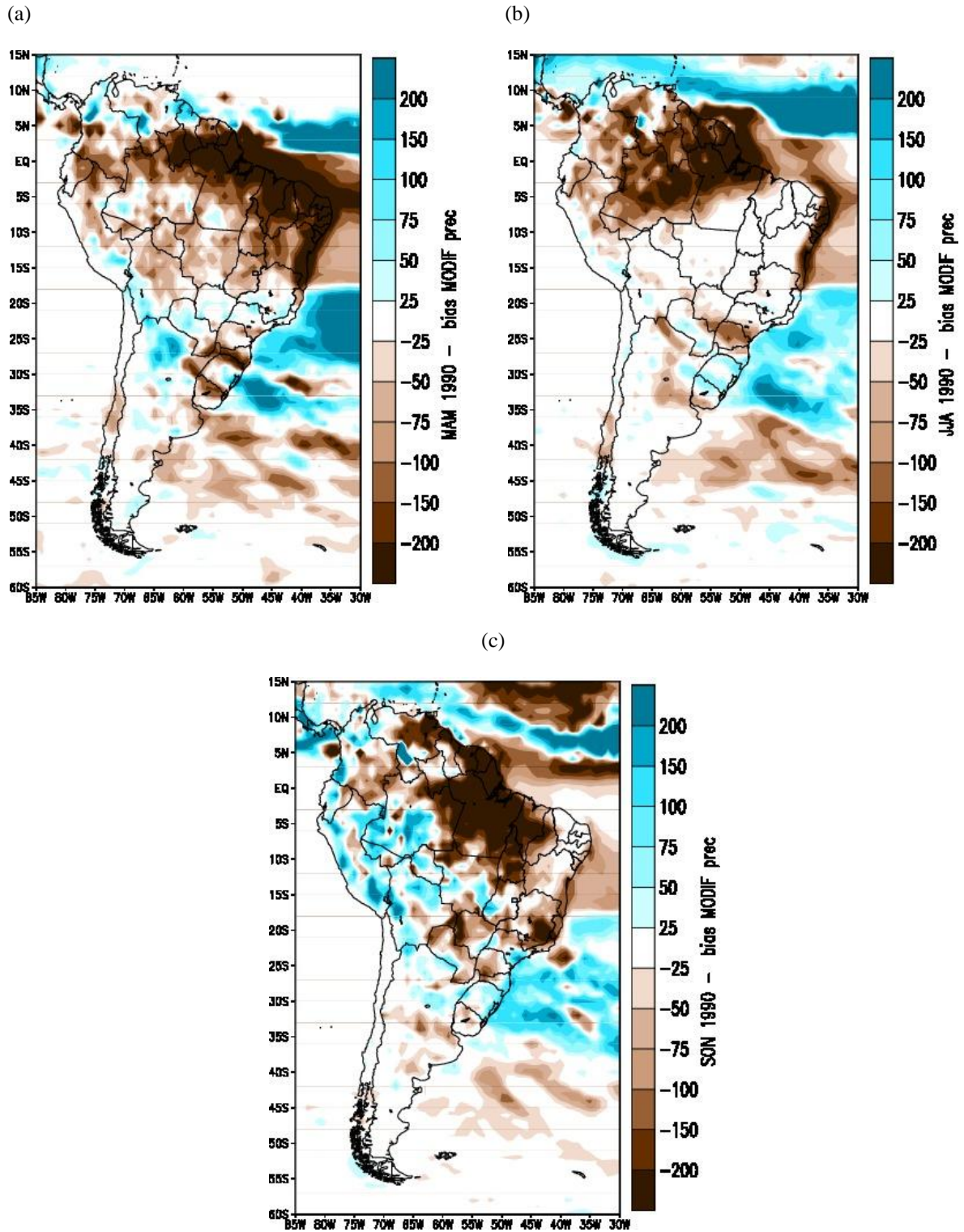


Figura 7.5: BIAS para a precipitação (mm) em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento MODIF para 1990.

As análises para a circulação também são úteis para verificar as características do modelo e como as mudanças na TSM afetaram estes padrões.

O $BIAS_{CTRL}$ para o vento em 850hPa é visto nas Figura 7.6 (a-c) e Figura 7.7 (a-c), para 2003 e 1990, respectivamente. Em todas as estações, um desvio ciclônico é visto no OAS próximo ao sul do continente, o que explica o *bias* positivo de precipitação no norte da Argentina. Também no OAS, porém afastado do continente e em torno de 40°S é observado um desvio anticiclônico, que pode ter favorecido *bias* negativo de precipitação no centro, sul e sudeste do Brasil. Em todo litoral, o desvio do vento é de leste e perpendicular ao continente, caracterizando um transporte de umidade do oceano, o que explica o *bias* positivo na precipitação no litoral do Brasil. No interior do continente o vento tem desvio para noroeste, diminuindo o transporte da Amazônia para o sul e sudeste do Brasil, explicando o *bias* negativo de precipitação nestas regiões. O $BIAS_{MODIF_90}$ (

Figura 7.8 (a-c)) mostra um desvio anticiclônico no OAS próximo à costa do Rio Grande do Sul, sendo localizado mais próximo ao sudeste do Brasil na primavera. Este fato favorece o *bias* negativo de precipitação no experimento MODIF_90 em parte do sul e sudeste do Brasil. No nordeste, os alísios apresentam-se enfraquecidos em relação ao experimento CTRL_90, o que explica o *bias* negativo de precipitação no nordeste do Brasil. Desta forma, a mudança na TSM gera um desvio anticiclônico próximo à costa do sul do Brasil em baixos níveis, que pode estar associado a uma intensificação da ASAS.

O $BIAS_{CTRL}$ para o vento em 500hPa é mostrado nas Figura 7.9 (a-c) e Figura 7.10 (a-c) em 2003 e 1990, respectivamente. Além dos desvios ciclônicos e anticiclônicos que eram observados em 850hPa, configura-se também mais um desvio anticiclônico, localizado sobre o norte da Argentina. O $BIAS_{MODIF_90}$ para vento em 500hPa (Figura 7.11 (a-c)) mostra um desvio anticiclônico, que também foi encontrado em 850hPa, porém localizado mais ao norte, bem próximo ao sudeste do Brasil.

A análise para o $BIAS_{CTRL}$ do vento em 200hPa nos experimentos CTRL_03 e CTRL_90 é vista nas Figura 7.12 (a-c) e Figura 7.13 (a-c), respectivamente. Os desvios ciclônico e anticiclônico vistos nos outros dois níveis também aparece em altos níveis e parece contribuir para o $BIAS_{CTRL}$ negativo de precipitação no sul do continente. Em todas as estações analisadas, o $BIAS_{MODIF_90}$ (Figura 7.14 (a-c)) mostra sobre o sul e sudeste do Brasil, o jato subtropical enfraquecido, sendo menos intenso no outono. Este fato também explica o $BIAS_{MODIF_90}$ negativo em parte do sul e no sudeste do Brasil.

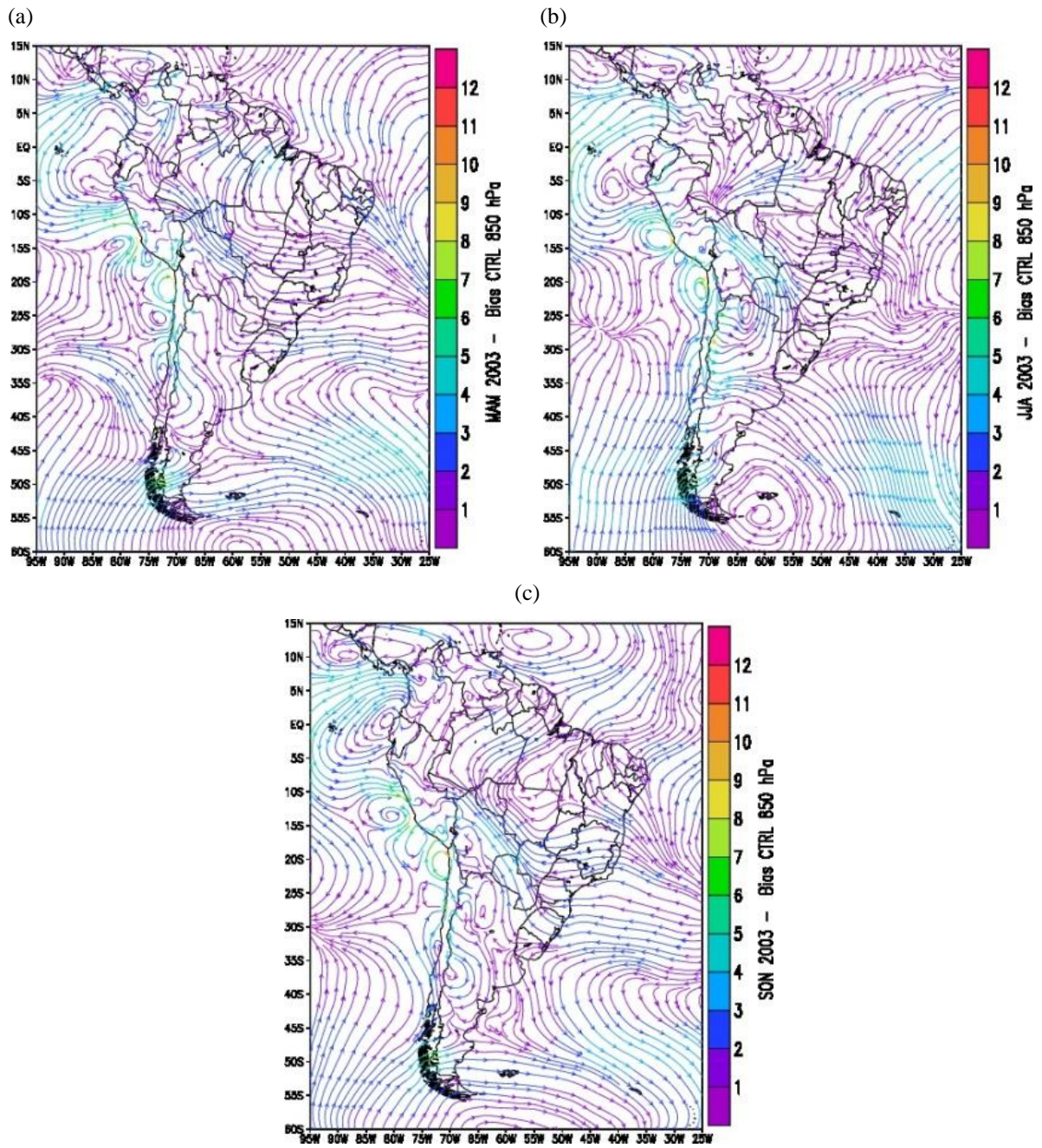


Figura 7.6: BIAS para o vento em 850hPa em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento CTRL para 2003.

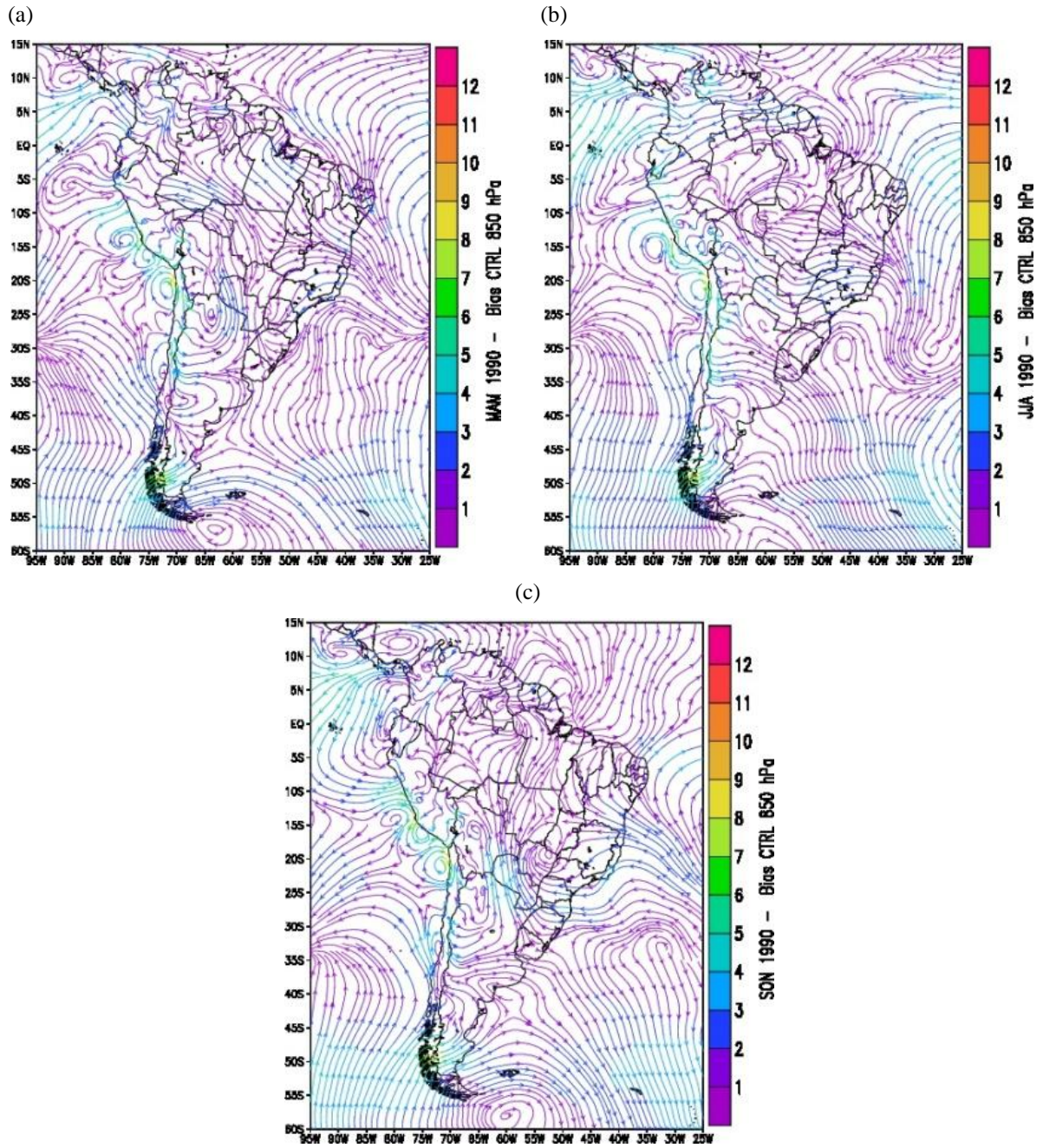


Figura 7.7: BIAS para o vento em 850hPa em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento CTRL para 1990.

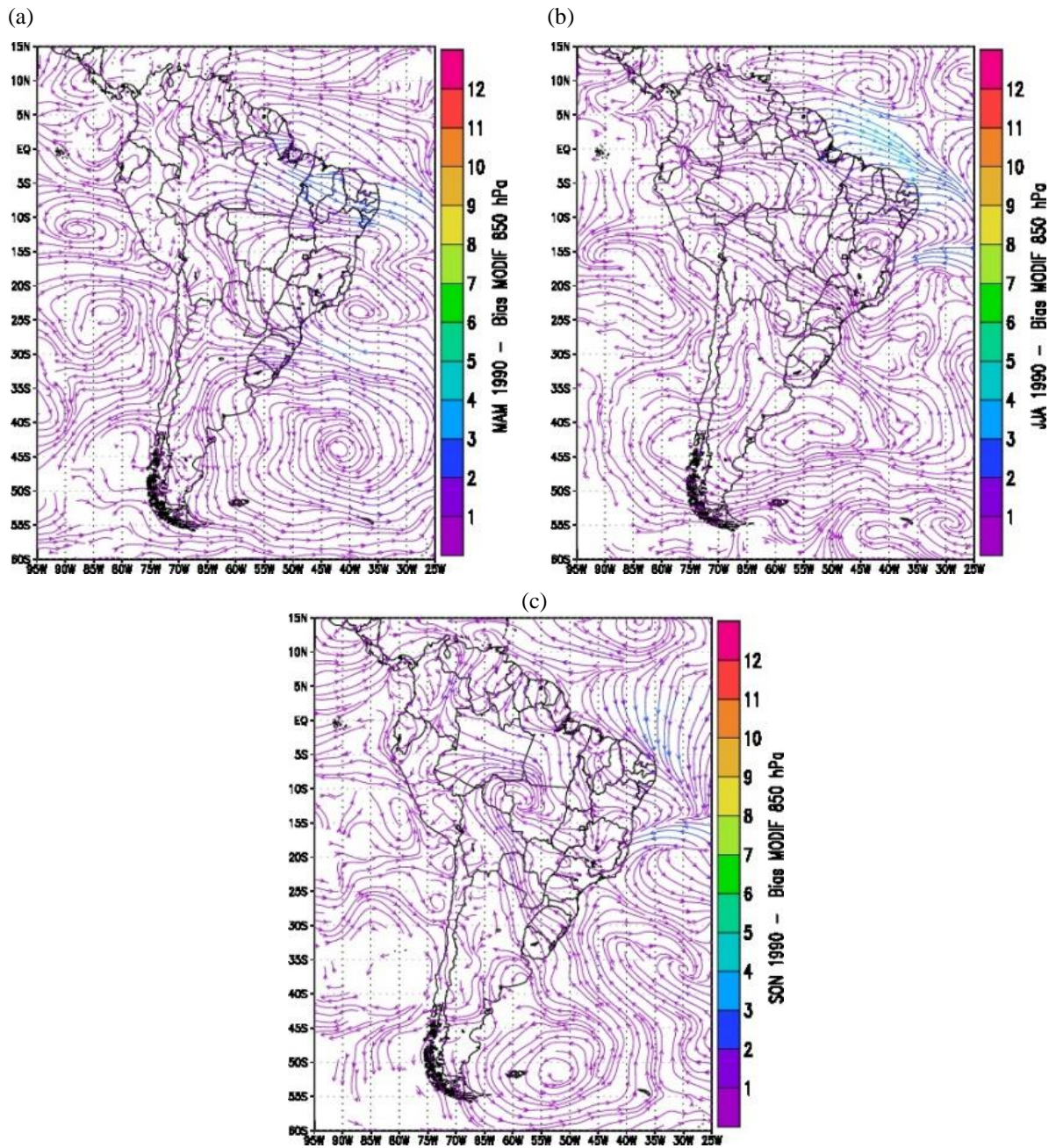
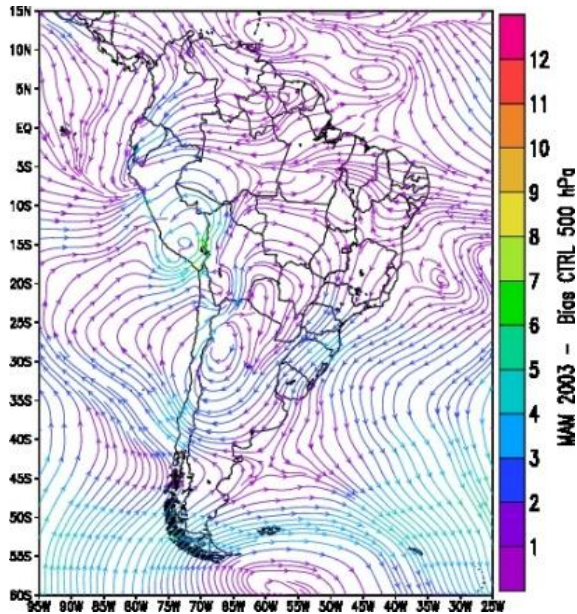
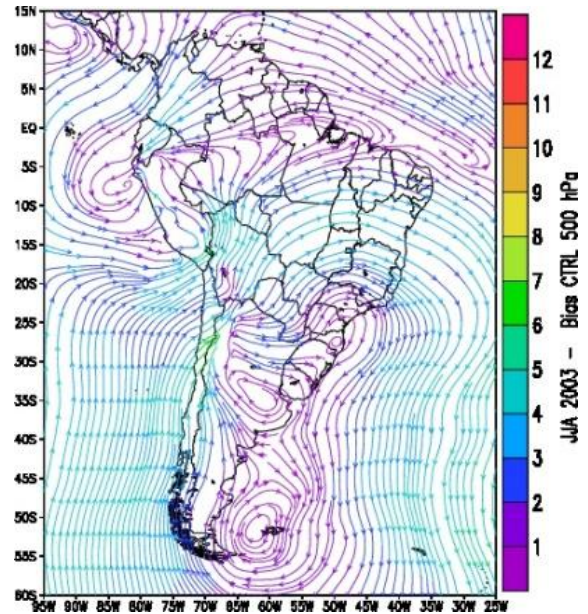


Figura 7.8: BIAS para o vento em 850hPa em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento MODIF para 1990.

(a)



(b)



(c)

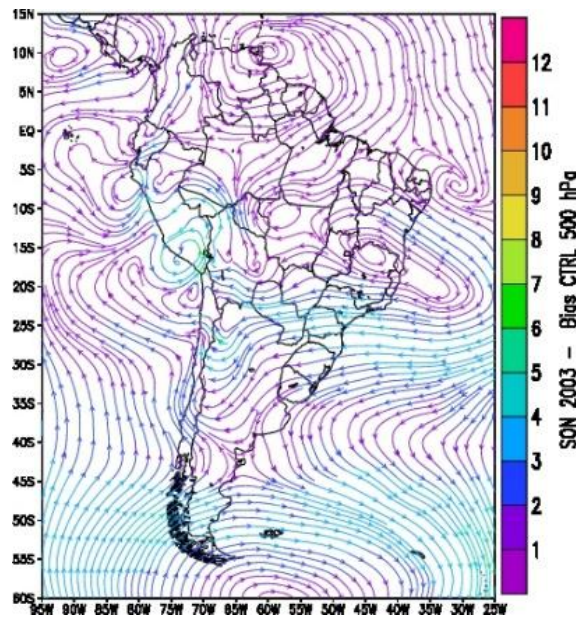
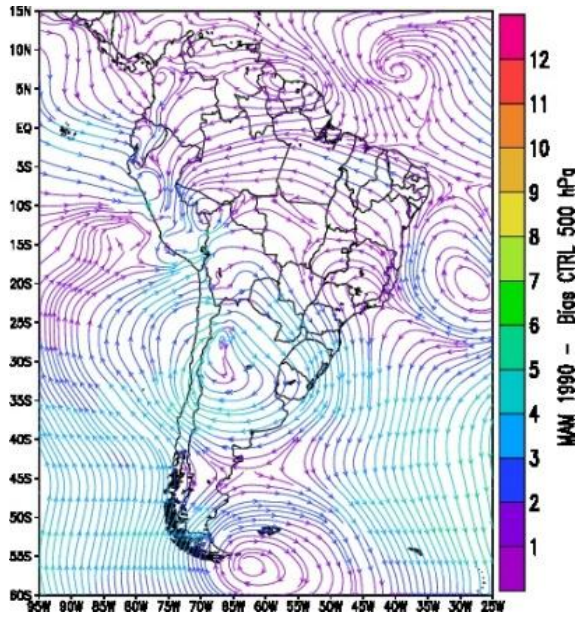
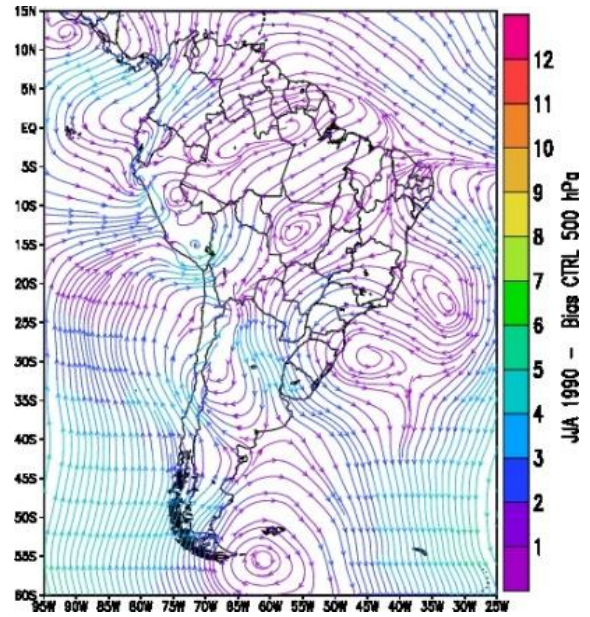


Figura 7.9: BIAS para o vento em 500hPa em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento CTRL para 2003.

(a)



(b)



(c)

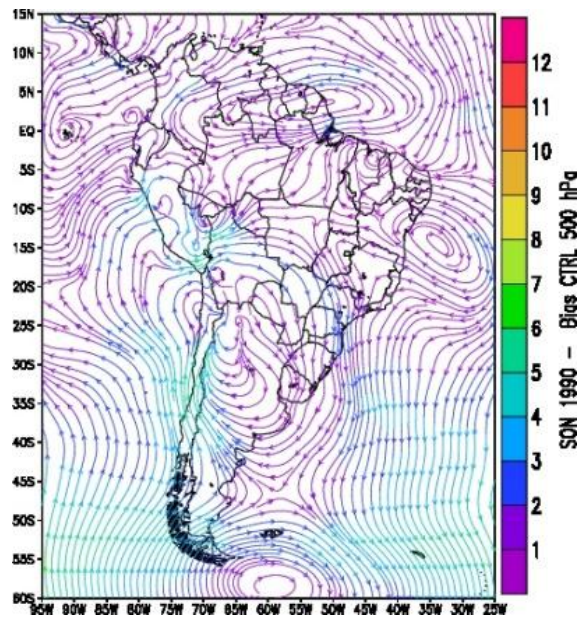
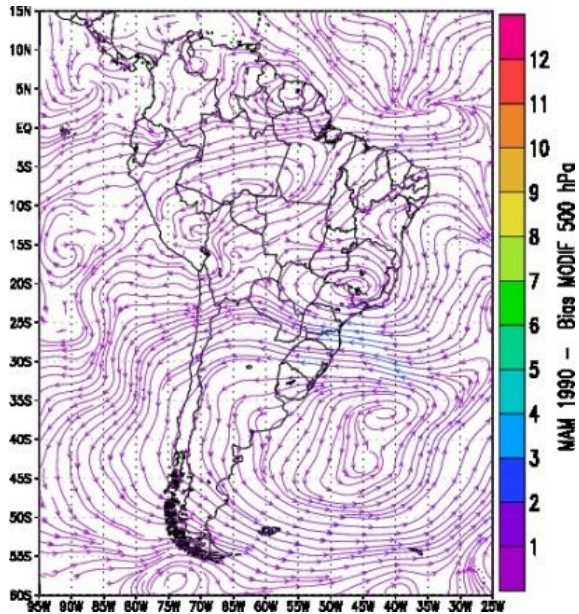
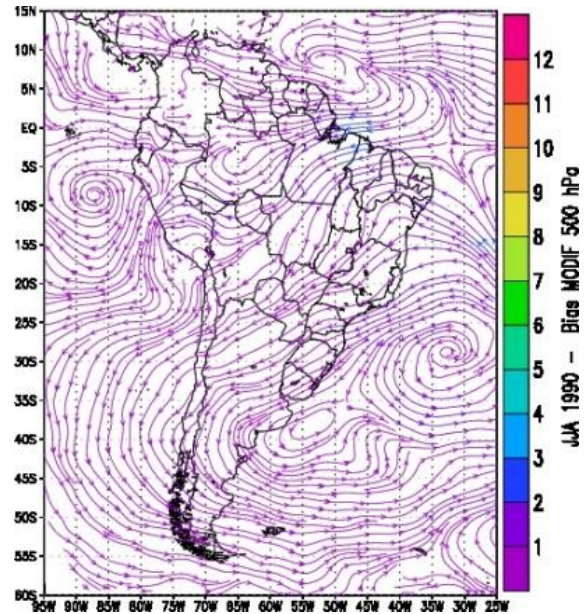


Figura 7.10: BIAS para o vento em 500hPa em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento CTRL para 1990.

(a)



(b)



(c)

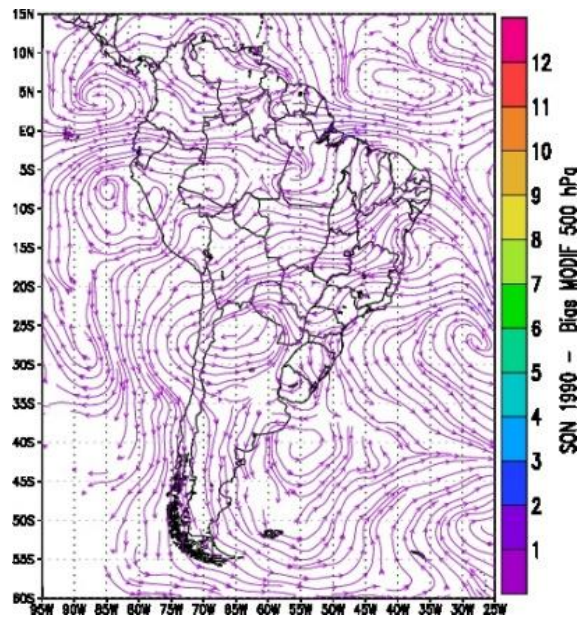


Figura 7.11: BIAS para o vento em 500hPa em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento MODIF para 1990.

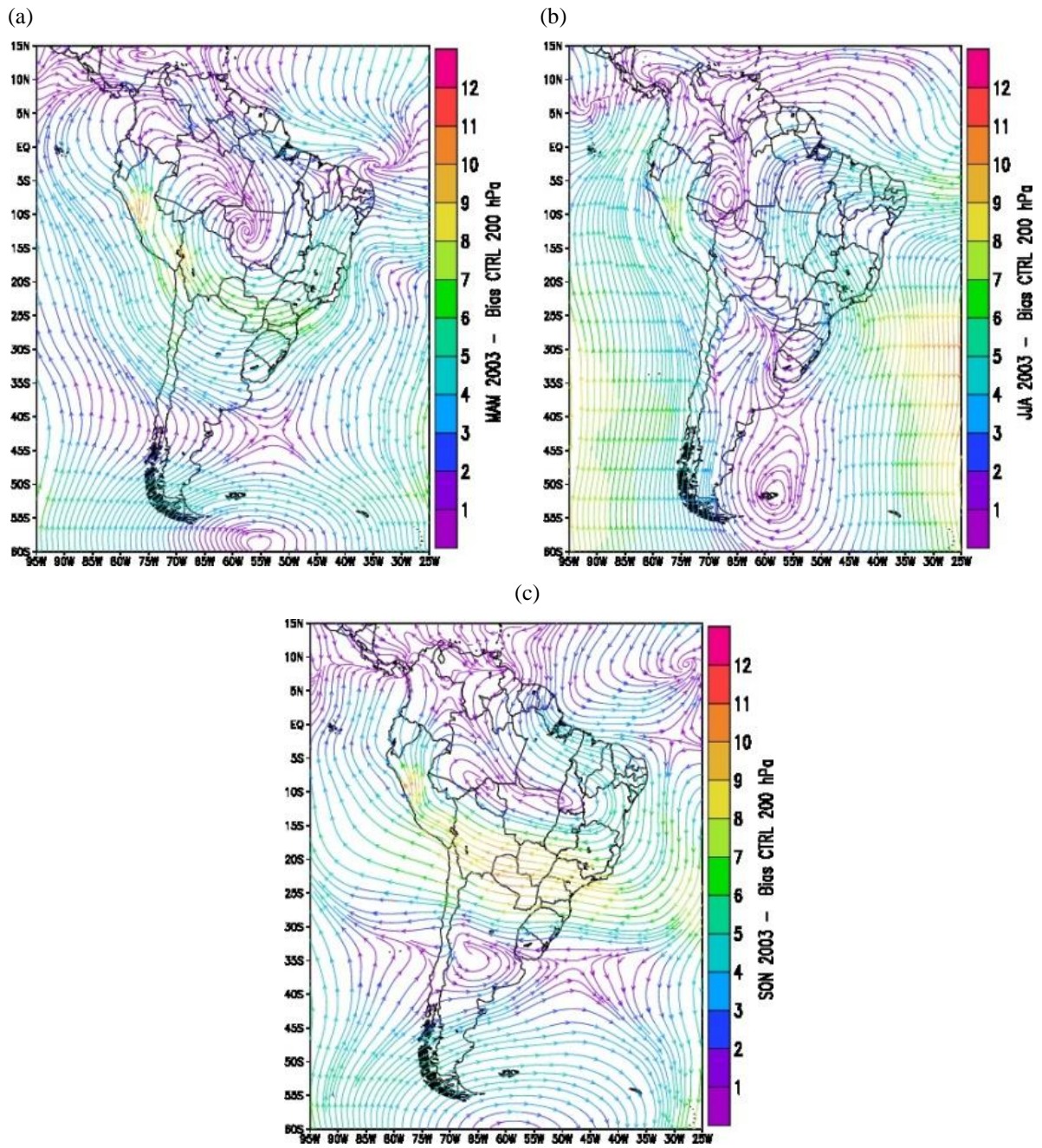


Figura 7.12: BIAS para o vento em 200hPa em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento CTRL para 2003.

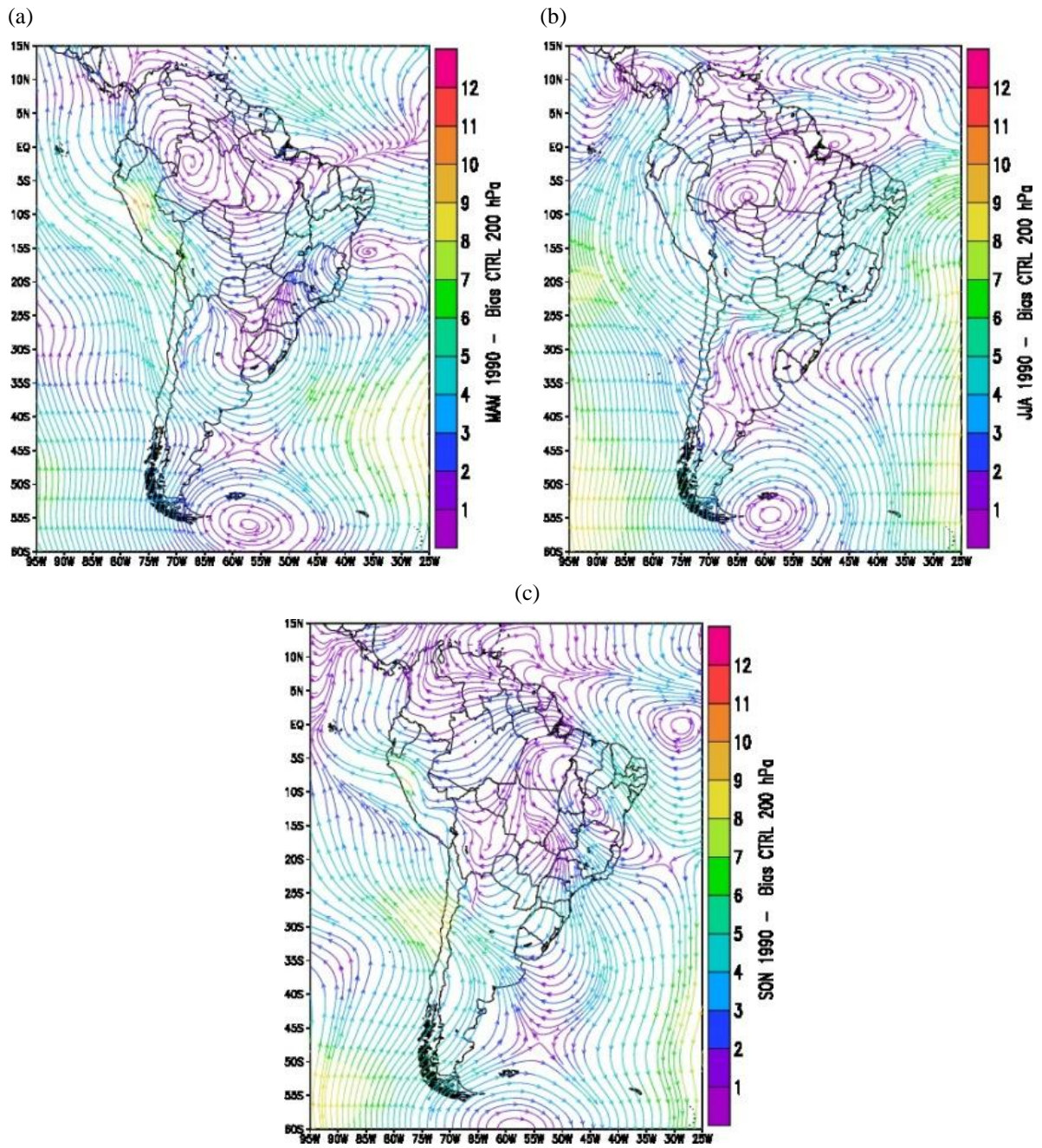


Figura 7.13: BIAS para o vento em 200hPa em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento CTRL para 1990.

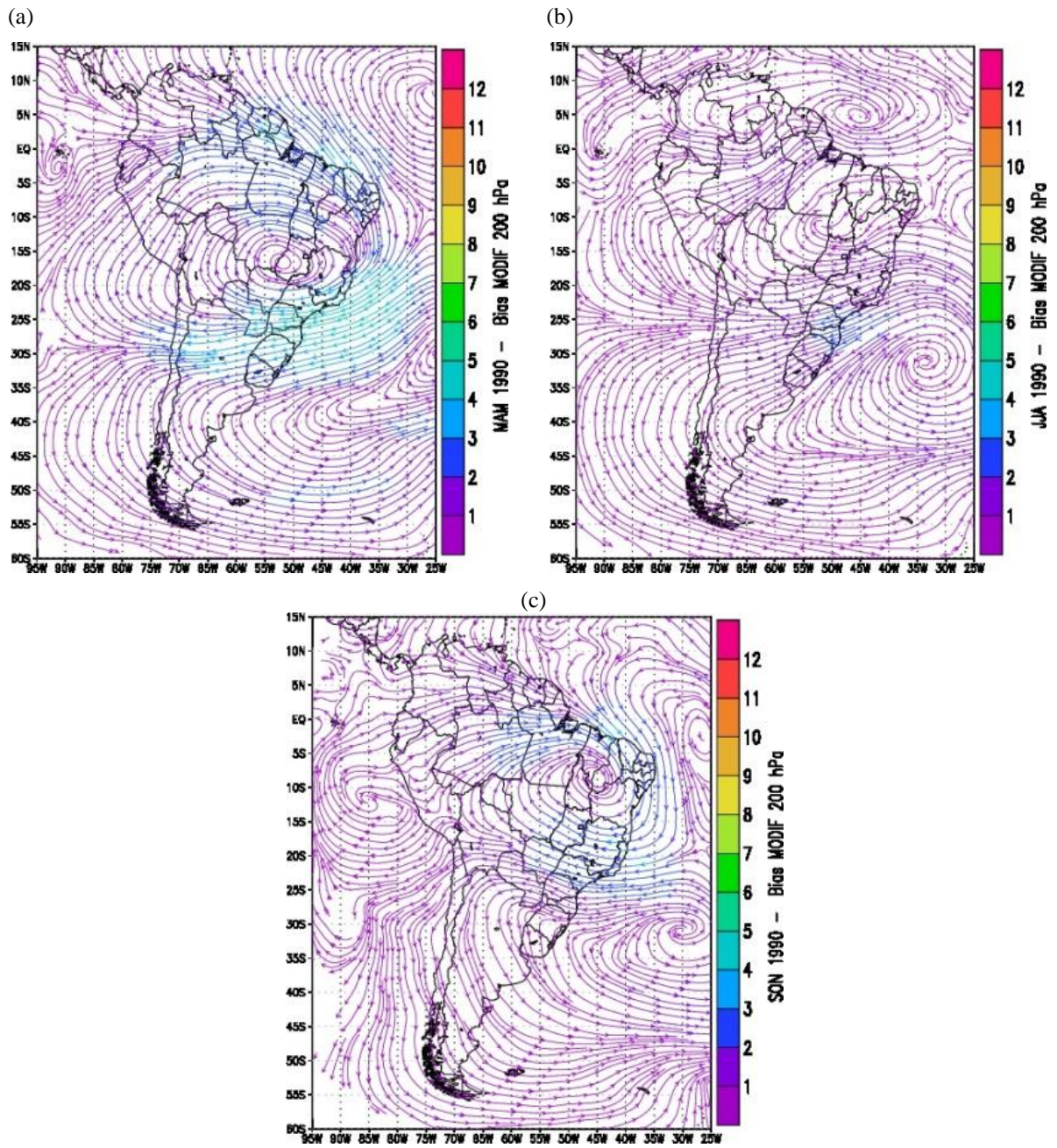


Figura 7.14: BIAS para o vento em 200hPa em (a) MAM, (b) JJA e (c) SON no experimento MODIF para 1990.

Para analisar a duração e quantidade de eventos secos nas regiões homogêneas do sudeste do Brasil e nos dois anos simulados pelo modelo foi utilizado apenas o MDCS.

O MPV não foi aplicado, pois seria necessário o mesmo período (1982 a 2009) para calcular os limiares diários.

O limiar do MDCS não foi determinado para a precipitação do modelo, pois também seria necessária a série completa. Desta forma, o objetivo desta análise é verificar nos experimentos CTRL_03 e CTRL_90 como o modelo caracteriza os eventos secos e no experimento MODIF_90 como a mudança no padrão de TSM modifica essa característica.

A Figura 7.15, Figura 7.16, Figura 7.17, Figura 7.18 e Figura 7.19 mostra a série de precipitação (em preto) e a série dos dias consecutivos secos (em vermelho) para R1, R2, R3, R4 e R5, respectivamente. Em (a) e (b) os resultados observacionais para 2003 e 1990, respectivamente são mostrados e a linha em azul foi o limiar utilizado. Em (c) e (d) são mostrados os experimentos CTRL_03 e CTRL_90, respectivamente e em (e) o experimento MODIF_90.

A análise destas figuras fica mais fácil com a construção da Tabela 7.2 que mostra a quantificação dos eventos em cada ano e para cada experimento, bem como a duração do evento mais longo.

Foram contados todos os eventos no ano nas estações de outono, inverno e primavera sem considerar o limiar utilizado nas análises observacionais.

Em R1 e R3 os experimentos CTRL_03 e CTRL_90 mostraram maior número de eventos secos comparados à observação, em R2 e R4 o contrário aconteceu e em R3 o experimento CTRL_90 mostrou mais eventos secos enquanto que CTRL_03 menos eventos secos foram observados. Em CTRL_03 para R1, R3 e R5 o evento mais longo foi maior na observação, enquanto que em CTRL_90 mostrou o evento mais longo em todas as regiões comparado a observação. Para a região R4 (Figura 7.18 c-d) a precipitação simulada para a região foi bem inferior à observação, caracterizando grandes picos (linha vermelha) nos dias consecutivos secos e caracterizando eventos mais longos. Este resultado salienta o $BIAS_{CTRL}$ negativo encontrado para a precipitação no sudeste do Brasil. A simulação para a precipitação com o modelo RegCM4.3 mostrou eventos secos ou mais longos ou um maior número de eventos

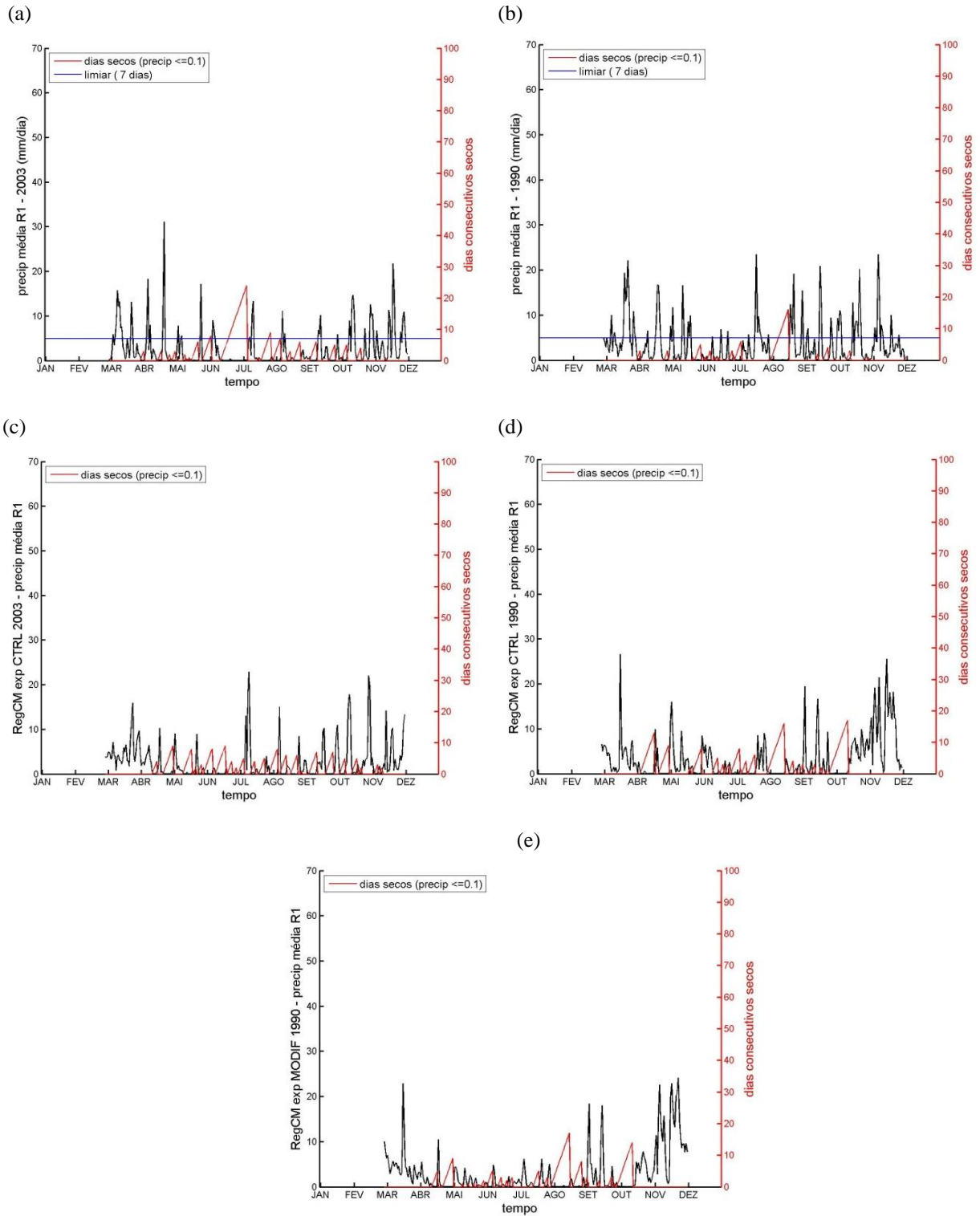


Figura 7.15: Método dos Dias Consecutivos Secos para (a-b) dados observados (c-d) CTRL_03 e CTRL_90 (e) MODIF_90 na região R1. A série de precipitação média diária para a região está em preto em mm/dia, os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul (somente para observação).

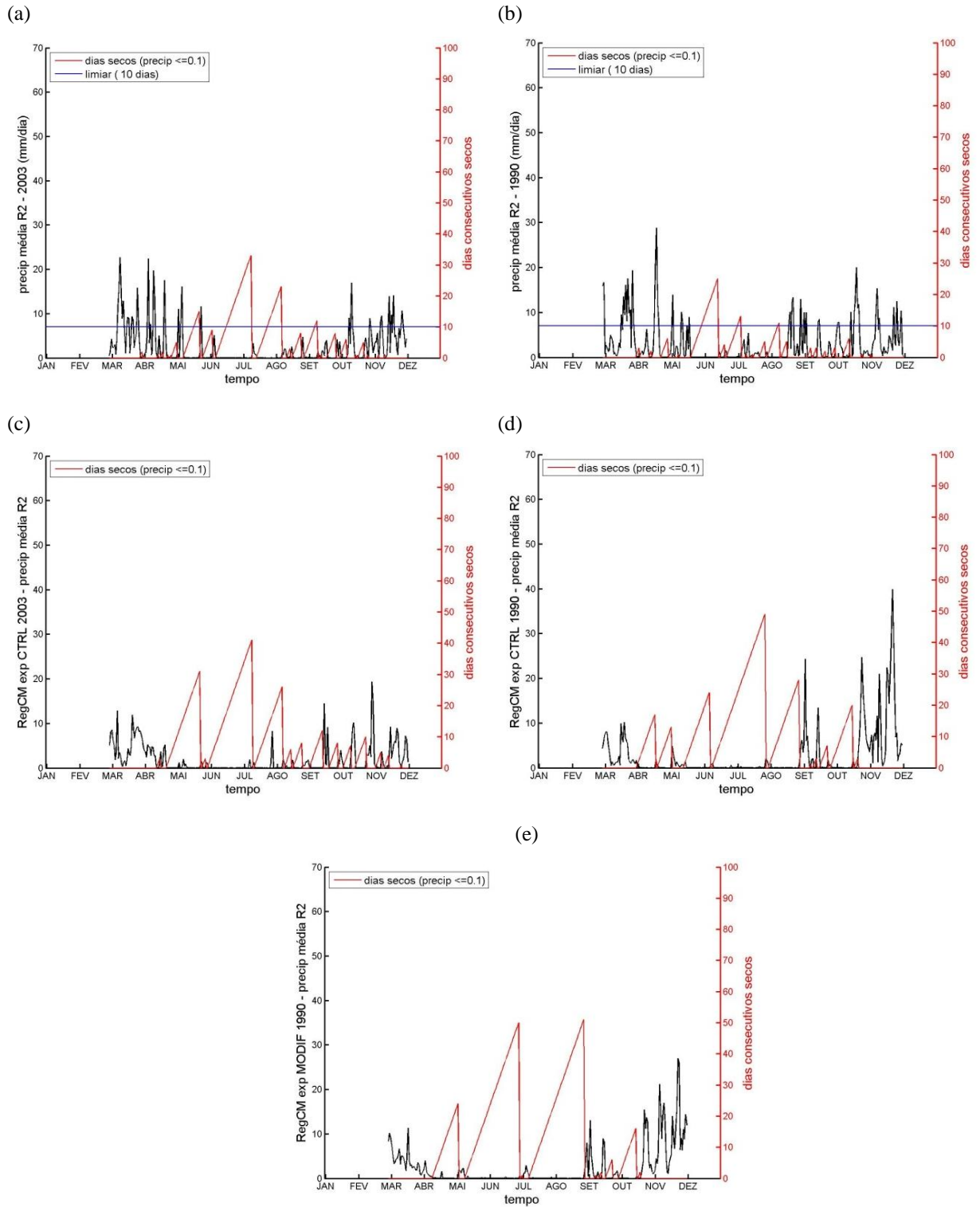


Figura 7.16: Método dos Dias Consecutivos Secos para (a-b) dados observados (c-d) CTRL_03 e CTRL_90 (e) MODIF_90 na região R2. A série de precipitação média diária para a região está em preto em mm/dia, os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul (somente para observação).

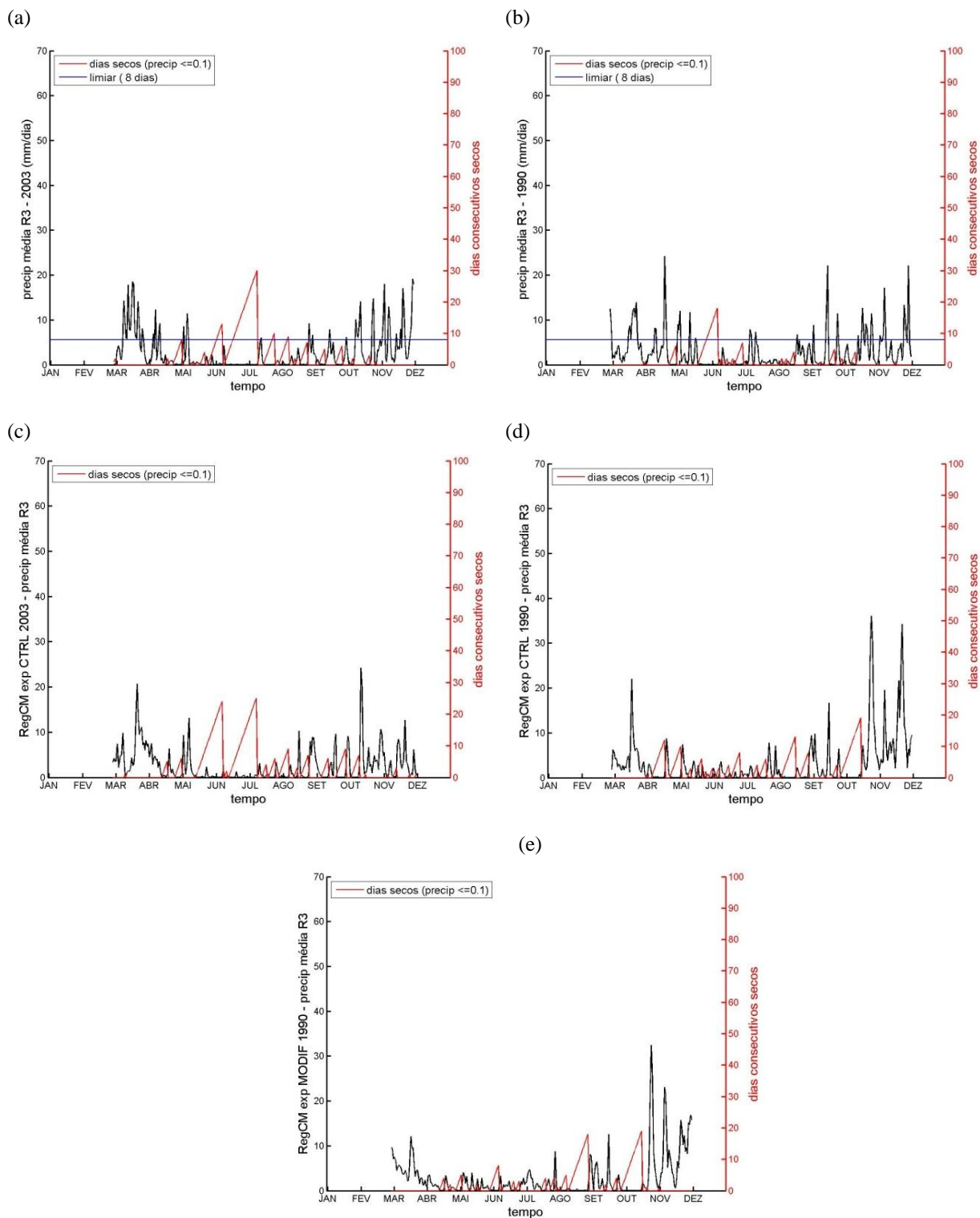


Figura 7.17: Método dos Dias Consecutivos Secos para (a-b) dados observados (c-d) CTRL_03 e CTRL_90 (e) MODIF_90 na região R3. A série de precipitação média diária para a região está em preto em mm/dia, os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul (somente para observação).

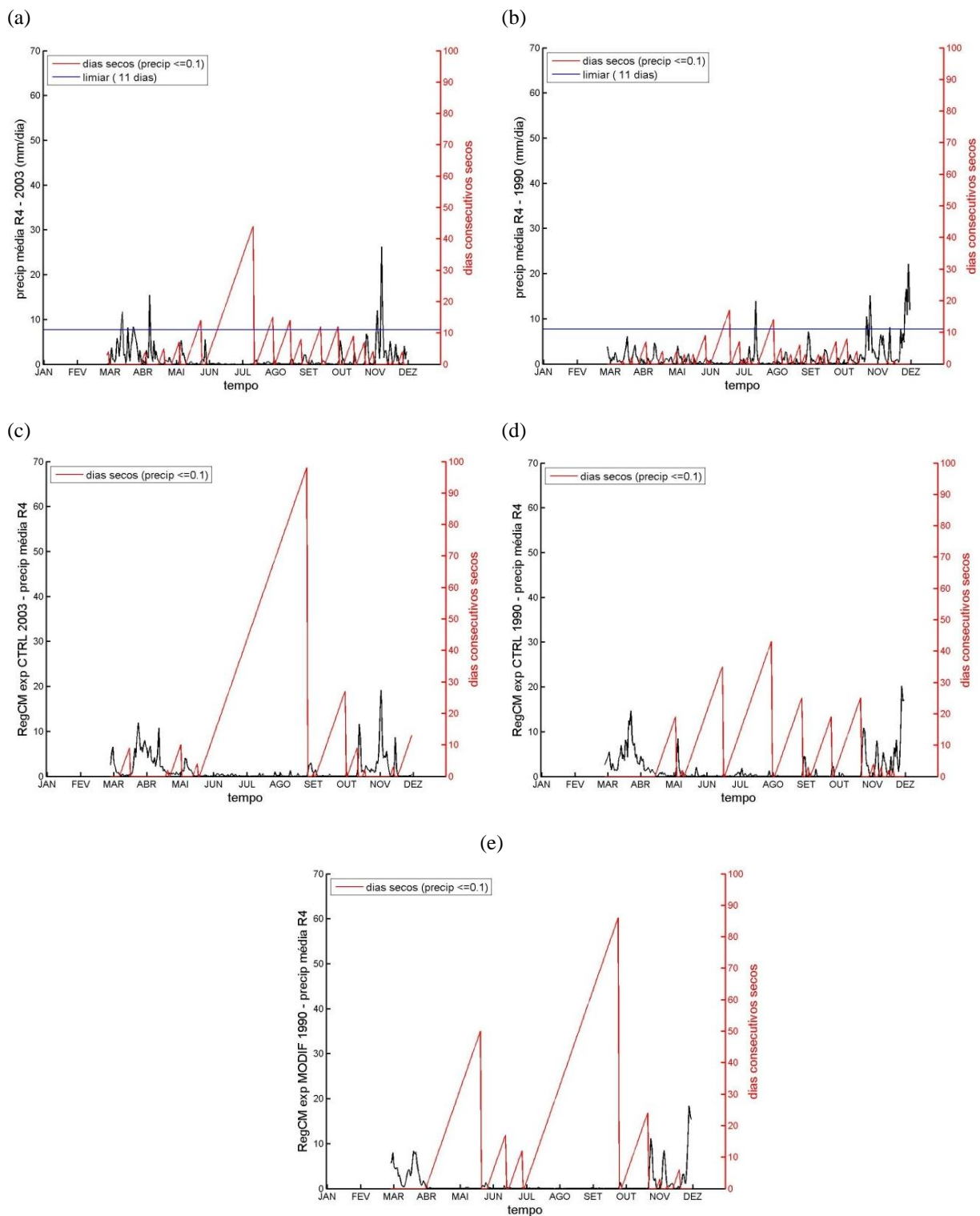


Figura 7.18: Método dos Dias Consecutivos Secos para (a-b) dados observados (c-d) CTRL_03 e CTRL_90 (e) MODIF_90 na região R4. A série de precipitação média diária para a região está em preto em mm/dia, os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul (somente para observação).

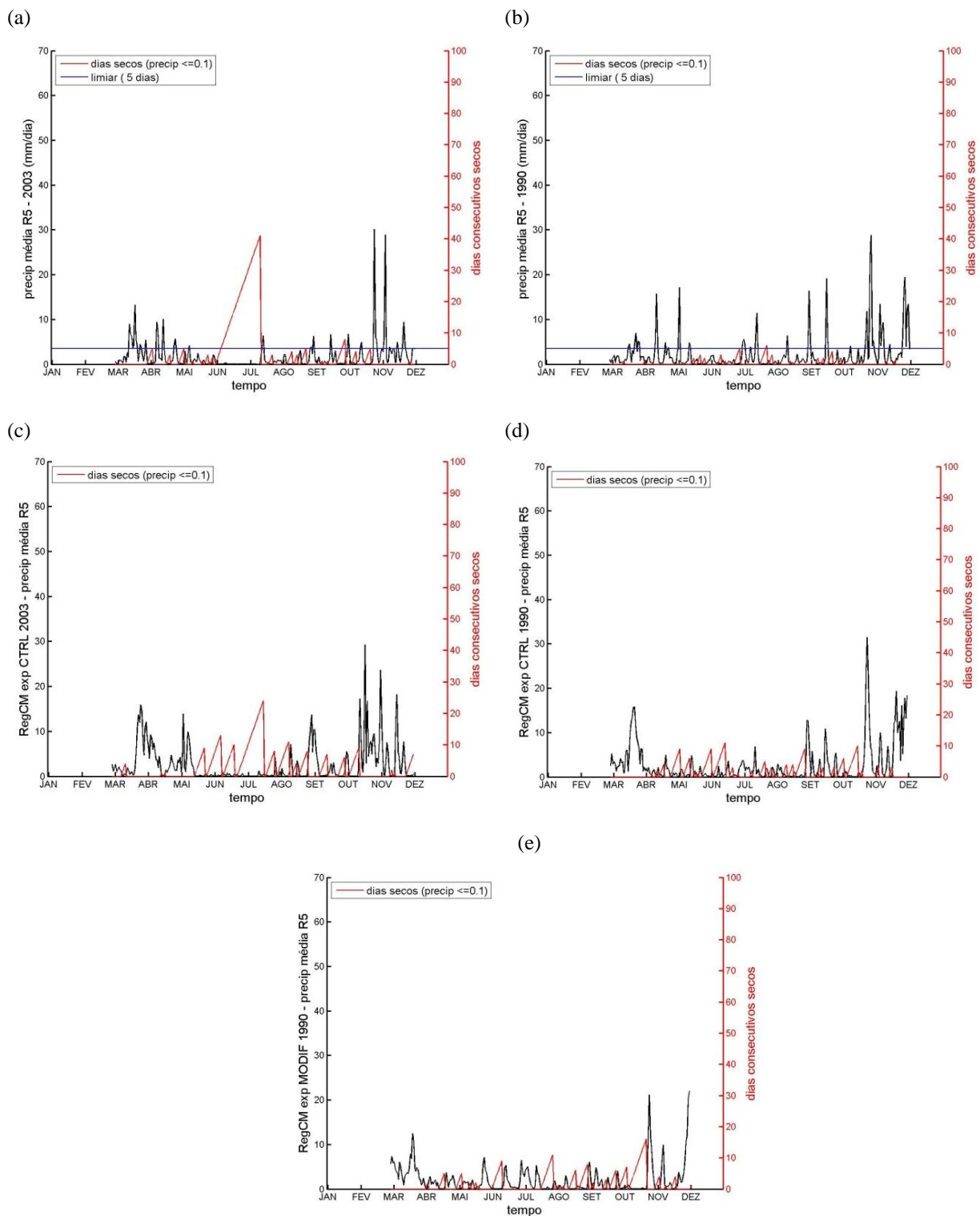


Figura 7.19: Método dos Dias Consecutivos Secos para (a-b) dados observados (c-d) CTRL_03 e CTRL_90 (e) MODIF_90 na região R5. A série de precipitação média diária para a região está em preto em mm/dia, os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul (somente para observação).

O resultado dos dias consecutivos secos no experimento CTRL_90 foi comparado ao MODIF_90 e é mostrado na terceira e quinta coluna, sendo o resultado da modificação da TSM no OAS na configuração dos eventos secos mostrada entre parênteses.

Nas regiões R1 e R3 o experimento modificado produziu maior número de eventos secos no ano de 1990, entretanto o evento mais longo foi registrado sempre no experimento MODIF_90. Este resultado mostra que a modificação na TSM não necessariamente produziu maior número de eventos secos, porém sempre eventos mais longos. A região R4 foi a que apresentou o evento mais longo no experimento modificado, durando 86 dias.

REGIÃO/ANO	NÚMERO DE EVENTOS OBS	NÚMERO DE EVENTOS MODELO CTRL (MODIF)	EVENTO MAIS LONGO OBS	EVENTO MAIS LONGO CTRL (MODIF)
R1 /2003	18	23	24	9
R2 /2003	20	14	33	41
R3 /2003	16	19	30	25
R4 /2003	17	11	44	98
R5 /2003	18	17	41	24
R1 /1990	16	19 (20)	16	17 (17)
R2/1990	19	10 (8)	25	49 (51)
R3/1990	17	17 (20)	18	19 (19)
R4 /1990	27	12 (8)	17	43 (86)
R5 /1990	17	27 (20)	6	11 (16)

Tabela 7.2: Resumo do número de eventos secos e número de dias no eventos mais longo para observação, CTRL_03, CTRL_90 e MODIF_90.

O número de frentes frias simuladas pelos experimentos CTRL_03 e CTRL_90 foi comparado ao número encontrado para as observações, onde foi utilizando o mesmo método objetivo de rastreamento descrito no capítulo 5, como pode ser observado na Figura 7.20.

No outono e inverno, no ano de 2003 são simuladas em geral mais frentes nas caixas analisadas, com exceção do norte do Rio Grande do Sul e sul de Santa Catarina e Espírito Santo e norte de Minas Gerais. Em 1990 o resultado encontrado é inverso. Na primavera, nos dois anos, em geral são simuladas mais frentes no norte de Minas Gerais e no sul do Rio Grande do Sul, as outras regiões apresentando menor número de frentes frias simuladas pelo RegCM4.3.

Desta forma, o $BIAS_{CTRL}$ para o número de frentes frias não tem uma característica igual para os dois anos analisados no outono e inverno, sendo na primavera o modelo menos eficaz em capturar as características dos sistemas frontais na América do Sul.

O $BIAS_{MODIF_{90}}$ para o número de frentes frias é visto na Figura 7.20 (g-i). No outono, um aumento no número de frentes ocorre em São Paulo e sul de Minas Gerais, sendo as outras regiões caracterizadas por diminuição no número de frentes. Esta característica pode ter favorecido o *bias* positivo para precipitação em parte do sudeste do Brasil e negativo em parte do Sul do Brasil e norte de Minas Gerais.

No inverno, menor número de frentes é registrado em todo interior e centro do continente, sendo maior o número registrado nas caixas localizadas no litoral. Esta configuração na mudança das frentes frias parece ter favorecido o aumento da precipitação no sul do Brasil e a diminuição em parte do sudeste.

Na primavera, são registradas menos frentes no norte de São Paulo e sul de Minas Gerais e no litoral do Sul do Brasil, sendo que nas outras caixas analisadas mais frentes foram observadas quando realizada a mudança da TSM. As regiões com diminuição do número de frentes também apresentaram *bias* negativo na precipitação, parecendo este ser o fator responsável por este fato.

Em geral, nas três estações observadas não houve uma diminuição significativa no número de sistemas frontais quando realizada a mudança na TSM, porém, nos locais onde ocorreu uma diminuição também foi registrada diminuição na precipitação.

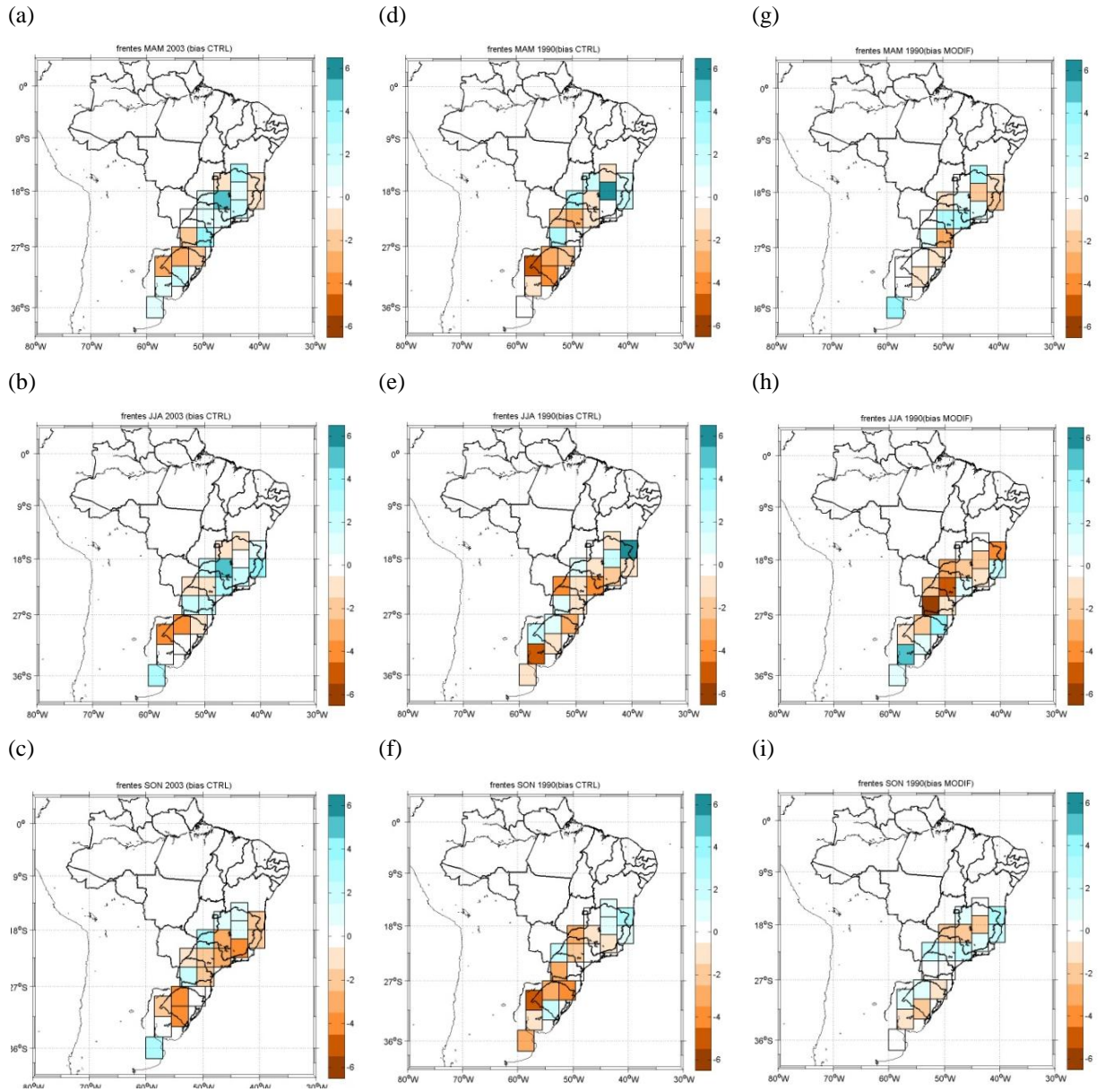


Figura 7.20: BIAS (a-c) CTRL_03 (d-f) CTRL_90 e (g-i) MODIF_90; para quantidade de frentes frias em MAM, JJA e SON.

7.2.2 ESTUDO DE CASO

O modelo RegCM4.3 também foi utilizado para realizar um estudo de caso. Diferente da análise feita para as simulações climatológicas, em que o objetivo era analisar uma estação inteira, com tempo de *spin-up* de três meses, possibilitando um melhor equilíbrio da climatologia do modelo e ciclo hidrológico e permitindo que o modelo desenvolva livremente as circulações induzidas pelas forçantes (Giorgi e Mearns, 1999), quando o objetivo é estudar um caso o modelo deve ser inicializado um ou dois dias antes do início do evento. da Silva (2011) avaliou a habilidade do RegCM em modo de simulação de tempo para identificar distúrbios ondulatórios de leste e concluiu que as simulações apresentaram resultados compatíveis com a reanálise do ERA Interim.

O evento escolhido ocorreu no inverno de 2003 e como mostrado anteriormente, este ano apresentou o maior número de eventos nas regiões estudadas. Quatro regiões no sudeste do Brasil apresentaram eventos secos neste período: R1 (de 12/06/2003 a 05/07/2003, durando 24 dias), R2 (de 07/06/2003 a 09/07/2003, durando 33 dias), R3 (de 10/06/2003 a 09/07/2003, durando 30 dias) e R5 (de 01/06/2003 a 11/07/2003, durando 41 dias).

Como a região R5 foi a que apresentou o evento de maior duração em relação às outras regiões, este será o período de análise considerado, ou seja, de 01/06/2003 a 11/07/2003.

A Figura 7.21 mostra a anomalia de precipitação (a) e anomalia de TSM (b) para o período do evento. Praticamente todo o sudeste do Brasil apresentou anomalias negativas de precipitação neste período, sendo estas mais intensas no litoral, chegando a -60 mm (Figura 7.17 a). Somente no extremo sul de São Paulo foram registradas anomalias positivas, que também foram vistas no Rio Grande do Sul. Este padrão encontrado para as anomalias de precipitação é semelhante à média determinada no capítulo 2, em que anomalias positivas são vistas em parte do sul e anomalias negativas no sudeste do Brasil.

O padrão das anomalias de TSM (Figura 7.21 b) é similar ao encontrado nas análises observacionais, e caracteriza o padrão de anomalias de TSM encontrado para os eventos extremos secos no sudeste do Brasil.

Desta forma, este evento seco se mostrou bastante típico ao padrão determinado observacionalmente.

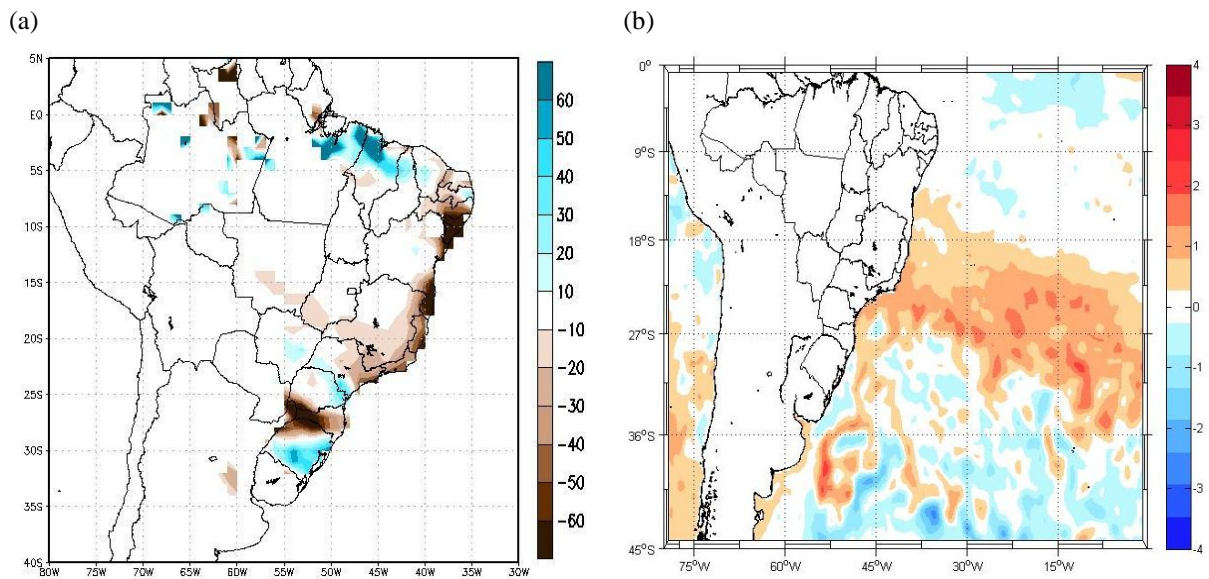


Figura 7.21: Anomalia de (a) precipitação (mm) e (b) TSM, observados no evento do estudo de caso ocorrido entre 01/06/2003 a 11/07/2003.

Primeiramente, foi realizada uma simulação controle, chamada caso_CTRL, com início em 00Z30MAI2003 e final em 00Z12JUL2003 com o objetivo de avaliar a eficácia do modelo RegCM4.3 no modo de tempo (através do $BIAS_{CTRL}$).

Para avaliar a influencia do padrão de TSM no Oceano Atlântico Sul foi realizado mais um experimento chamado de caso_MODIF, em que foram adicionadas à climatologia de TSM as anomalias de $+2^{\circ}\text{C}$ na região $0^{\circ}\text{-}18^{\circ}\text{S}/55^{\circ}\text{W-}0^{\circ}$, -2°C na região $18^{\circ}\text{S-}36^{\circ}\text{S}/65^{\circ}\text{W-}0$ e $+2^{\circ}\text{C}$ na região $36^{\circ}\text{S-}45^{\circ}\text{S}/70^{\circ}\text{W-}0^{\circ}$, para reproduzir o padrão mostrado na Figura 7.22.

O padrão simulado é contrário do utilizado no estudo climatológico e visa verificar se esta modificação aumenta o acumulado de precipitação neste evento seco.

Assim como no estudo climatológico foram realizadas cinco simulações (inicializadas no dia 30 de maio de 2003 as 00Z, 06Z, 12Z, 18Z e dia 31 de maio de 2003 as 00Z) com o objetivo de reduzir a variabilidade interna do modelo. A TSM modificada foi utilizada como CF e o experimento caso_MODIF é o *ensemble* dessas cinco simulações.

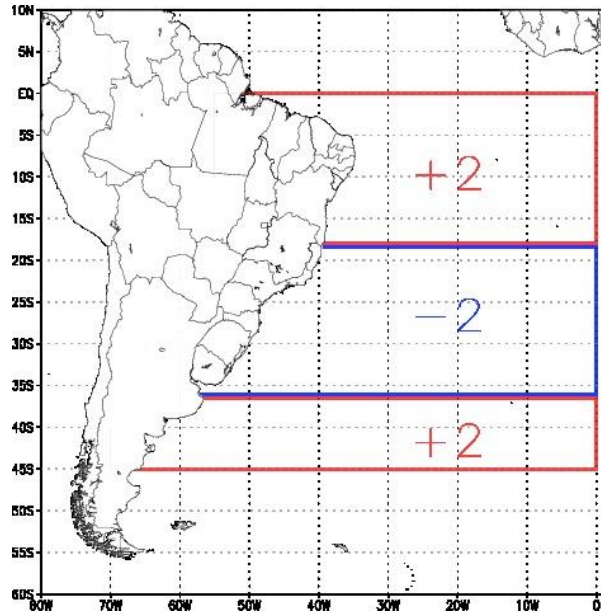


Figura 7.22: Mudança de TSM realizada para o experimento caso_MODIF, do estudo de caso (valores adicionados a climatologia) ocorrido entre 01/06/2003 a 11/07/2003.

Foi calculado o $BIAS_{MODIF}$ para a precipitação para avaliar a mudança no acumulado de precipitação quando realizada a mudança no padrão de TSM

A Figura 7.23a mostra o $BIAS_{CTRL}$ para o experimento caso_CTRL. É possível notar que o modelo foi muito bom em simular este evento ocorrido entre 01/06/2003 a 11/07/2003, apresentando apenas bias positivo no sul de São Paulo (entre 50 e 100 mm) sendo que nas outras regiões os valores ficaram entre -25mm e 25mm.

O $BIAS_{MODIF}$ é visto na Figura 7.23b e mostra a diferença da precipitação simulada pelo RegCM4.3 nos experimentos caso_MODIF e caso_CTRL. Como era esperado, sendo o objetivo deste experimento, bias positivo foi encontrado para todo sudeste do Brasil, salientando que a utilização do padrão inverso de TSM encontrado para os eventos secos no sudeste do Brasil, gera mais chuva nas regiões analisadas. Além disso, menos chuva é vista no sul e mais chuva no nordeste do Brasil.

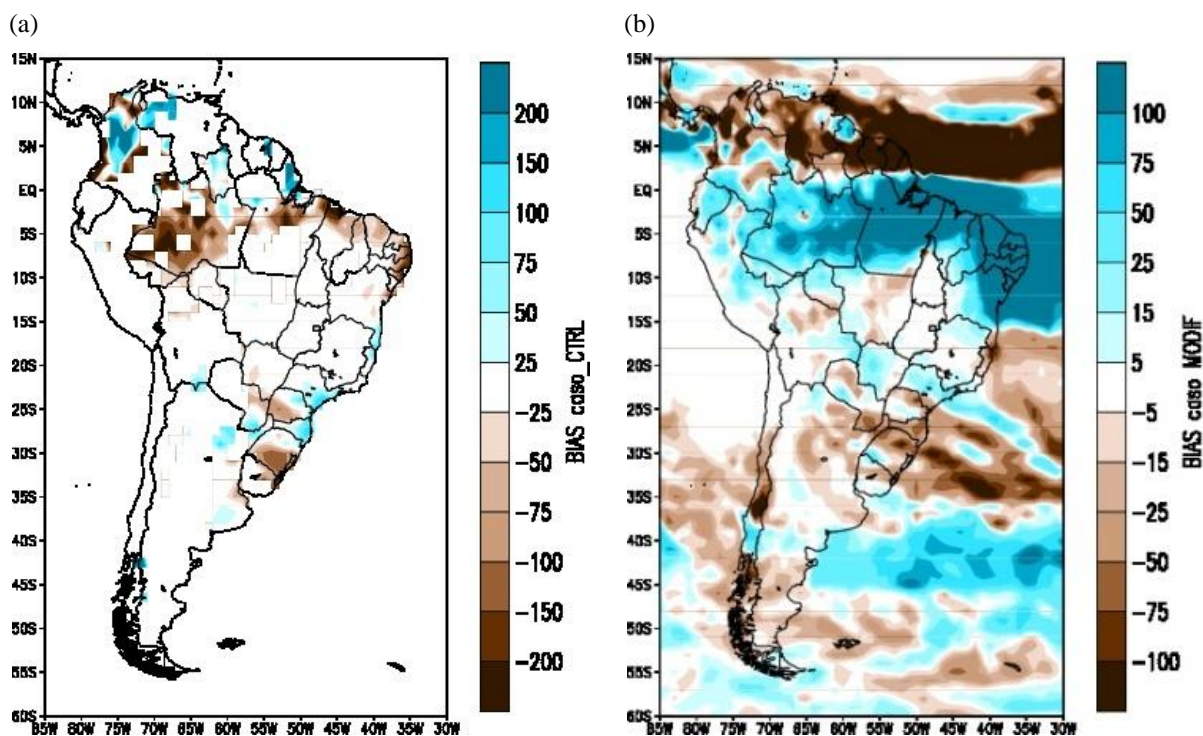


Figura 7.23: BIAS para precipitação (mm) no estudo de caso ocorrido entre 01/06/2003 a 11/07/2003 para os experimentos (a) caso_CTRL e (b) caso_MODIF.

7.3 CONCLUSÕES PARCIAIS

O modelo climático regional RegCM4.3 foi utilizado para testar o padrão de TSM encontrado para o período dos eventos extremos secos no sudeste do Brasil. Para isso foram realizados dois estudos: um estudo climático e um estudo de caso.

O estudo climático teve o objetivo de analisar primeiramente a eficácia do modelo em simular a precipitação, padrão de circulação em 850, 500 e 200hPa, número e duração dos eventos secos e quantidade de frentes frias na América do Sul para dois anos: 2003 (considerado como um ano mais seco) e 1990 (considerado como um ano menos seco) no outono, inverno e primavera e foram chamadas de simulação controle.

O modelo utilizado se apresentou mais seco no interior do continente e mais úmido no litoral, comparado aos dados observacionais utilizados neste estudo, onde as maiores intensidades das diferenças ocorreram no outono. Os eventos extremos secos encontrados com o MDCS foram em geral ou em maior número ou com maior duração, salientando o *bias* seco do modelo.

Estas características refletiram o padrão de circulação simulado pelo modelo e foram diferentes das observações: em 850hPa dois desvio no OAS, um ciclônico e outro anticiclônico. O primeiro se localizou próximo ao sul do continente e o segundo em torno de

40°S e afastado do continente. Em todo litoral o vento apresentou desvio de leste, ficando perpendicular ao continente. No centro do Brasil o vento teve desvio para noroeste, diminuindo o transporte da Amazônia para o sul e sudeste. Nos níveis de 500hPa e 200hPa estes dois desvios também foram identificados. Além disso, em altos níveis o jato subtropical se apresentou menos intenso.

O número de frentes frias simuladas pelo modelo nestes dois anos não tem uma característica comum no outono e inverno, onde na primavera o modelo teve um baixo desempenho em capturar a características dos sistemas frontais na América do Sul.

Depois de detectadas as deficiências do modelo, foi realizada uma simulação para o ano de 1990 em que o padrão característico de TSM no OAS (tripolo negativo/positivo/negativo) para a ocorrência de eventos secos foi reproduzida e inserida como condição de fronteira no RegCM4.3, com o objetivo de verificar se haveria uma diminuição na precipitação. O resultado desta simulação foi comparada à simulação controle de 1990 e avaliadas as mudanças na precipitação, padrão de circulação em 850, 500 e 200hPa, número e duração dos eventos secos e quantidade de frentes frias na América do Sul por estação.

De maneira geral, a precipitação encontrada com a mudança na TSM foi menor em parte do sudeste do Brasil, sendo esta diminuição mais intensa na primavera. Maior acumulado de precipitação foi encontrado no sul do Brasil. Este resultado concorda com aqueles encontrados observacionalmente, onde o padrão de anomalias de TSM tipo tripolo negativo/positivo/negativo gera anomalias negativas de precipitação no sudeste do Brasil e positivas no sul. A modificação na TSM não necessariamente produziu maior número de eventos secos, porém sempre eventos mais longos. Diferente do que foi observado no capítulo 5, não houve uma diminuição significativa no número de sistemas frontais quando realizada a mudança na TSM, embora nos locais onde ocorreu uma diminuição, também foi registrada queda no volume de precipitação.

A influência da mudança nos padrões de TSM também gerou mudança nos padrões de circulação: nos três níveis isobáricos analisados, um desvio anticiclônico, no OAS próximo à costa do Rio Grande do Sul, é observado. Em 200hPa o jato subtropical aparece enfraquecido, principalmente no outono. Estas configurações parecem ter favorecido o *bias* negativo de precipitação na região de estudo.

Uma análise de caso específico também foi realizado a fim de verificar uma situação contrária ao estudo climático e para um período diferente de tempo. O evento ocorreu entre

01/06/2003 a 11/07/2003 sendo caracterizado como seco em praticamente todas as regiões homogêneas do sudeste do Brasil e o padrão de TSM para o OAS é semelhante ao padrão dos eventos secos.

O modelo RegCM4.3 foi utilizado para simular este caso e reproduziu bem o padrão de precipitação comparado à observação.

Como no estudo de caso o evento considerado foi seco, o objetivo dessa nova simulação era introduzir nas condições laterais do modelo um padrão inverso de anomalias de TSM (tripolo positivo, negativo, positivo) do encontrado para os eventos secos e verificar se haveria aumento na precipitação, que de fato ocorreu.

Os resultados dos experimentos modificados confirmaram as hipóteses iniciais do trabalho.

CAPITULO 8. CONCLUSÃO GERAL

8.1 CONCLUSÃO GERAL

Este trabalho teve como objetivo estudar do ponto de vista observacional e numérico, a relação entre a variabilidade da TSM do OAS com eventos extremos secos sobre o sudeste do Brasil nas estações de inverno e de transição no período de 1982 a 2009.

A primeira parte consistiu das análises observacionais em que eventos extremos secos foram determinados para o sudeste do Brasil. A região de estudo não mostrou homogeneidade em relação á precipitação, por isso foi dividida em regiões que apresentassem as mesmas características, sendo utilizada a técnica de análise de Cluster. Foram determinadas 5 regiões: o centro-sul do estado de São Paulo, que foi chamado de R1; o extremo norte de São Paulo e o sul de Minas Gerais, nomeado como R2, o centro de Minas Gerais e o centro-sul do estado do Rio de Janeiro, a região R3; o norte do estado de Minas Gerais, compreendendo R4 e a região que abrange o norte do Rio de Janeiro, porção centro leste de Minas Gerais e o estado do Espírito Santo, chamada de R5.

Foram realizadas médias diárias de precipitação em cada região e dois métodos foram aplicados para a determinação de eventos extremos secos em cada região: o MPV e o MDCS.

As regiões R4 e R5 registraram o maior número de eventos secos (99 e 102 eventos, respectivamente) e a região R4 o evento com maior duração (117 dias). Nas regiões R1 e R3 menor número de eventos foi observado (70 e 78 eventos, respectivamente), sendo estes também mais curtos (duração de 24 e 30 dias para os eventos mais longos, respectivamente). A região R2 apresentou 82 eventos, sendo que o evento mais longo durou 91 dias.

Em todas as regiões do sudeste do Brasil, o maior número de eventos foi registrado no inverno, seguido do outono e pela primavera, com exceção da região R5 em que primavera apresentou a segunda maior ocorrência de eventos.

Os eventos foram separados por estação de ocorrência e a média das anomalias de precipitação foi realizada a fim de verificar o padrão da precipitação ocorrido em todo Brasil nestes períodos. Todo sudeste do Brasil apresentou anomalias negativas de precipitação, sendo estas mais intensas nas regiões R1 e R2. No outono e primavera o sul e nordeste do Brasil apresentaram anomalias positivas de precipitação nestes períodos.

A fim de verificar o padrão das anomalias de TSM e caracterizar o comportamento da TSM no OAS registradas no período dos eventos secos, foram utilizadas as técnicas de

composições de anomalias de TSM para as datas dos eventos secos e SVD entre anomalias mensais de TSM para o OAS e de precipitação para todo Brasil.

O padrão encontrado para anomalias de TSM no OAS para as três estações é semelhante: um padrão de tripolo (negativo na região tropical/ positivo na costa do sudeste e parte do sul do Brasil/ negativo no sul da América do Sul), sendo que no outono, o padrão de tripolo se apresentou mais bem configurado em relação às outras estações, e a anomalia positiva mais intensa que as anomalias negativas. No inverno, apenas a anomalia positiva se mostrou significativa para os eventos secos, apesar de as anomalias negativas também aparecerem na análise. Já na primavera, o padrão de tripolo apareceu deslocado para sul e mais intenso do que nas outras estações analisadas, sendo que a anomalia positiva se apresentou bem concentrada próximo do continente e a anomalia negativa ao sul se apresentou mais espalhada e afastada da América do Sul. No período dos eventos extremos secos das regiões localizadas mais ao norte (R4 e R5) o padrão das anomalias de TSM no OAS está mais deslocado para norte em relação às regiões no sul do sudeste do Brasil (R1, R2 e R3).

As regiões de fonte e sumidouro de umidade para as regiões homogêneas do sudeste do Brasil foram estudadas através de uma análise Lagrangeana, utilizando o modelo de dispersão de partículas FLEXPART e outra análise Euleriana utilizando informações do fluxo de umidade integrado na vertical e sua divergência. Primeiramente, foi realizada uma climatologia para o período do estudo e o Oceano Atlântico Sul apareceu como uma importante região de fonte de umidade onde ocorre maior evaporação e elevados valores de divergência, sendo a ASAS um importante fenômeno que atua nesta região. A reciclagem no sudeste do Brasil também aparece como um importante resultado, mostrando que a umidade desta região, em parte, provém da água precipitável que evapotranspira sobre ela. Estes resultados concordam com aqueles encontrados por Drumond et al. (2008) e Gimeno et al. (2010).

Utilizando o período dos eventos secos em cada estação e em cada região foram feitos mapas das anomalias apenas das fontes a fim avaliar as mudanças que ocorrem nas regiões que contribuem como fontes de umidade para as 5 regiões do sudeste do Brasil em períodos secos além de mapas das anomalias do fluxo de umidade integrado na vertical e sua divergência. Para os eventos ocorridos em todas as estações analisadas, foi verificado aumento nas fontes de umidade na região do Atlântico Sul próximo ao norte do sudeste do Brasil (entre 15°S-30°S). Ao norte e ao sul desta anomalia positiva no outono (com exceção

de R5) e primavera e somente ao sul no inverno (com exceção de R2 que não foram encontradas anomalias negativas e de R1 que além desta anomalia negativa ao sul, também apresentou a anomalia negativa ao norte). As anomalias das fontes de umidade e divergência do fluxo de umidade integrados da vertical mostram uma mudança no balanço do saldo evaporativo desta região, podendo indicar mudanças no deslocamento e intensidade da ASAS, já que este sistema foi encontrado como importante fonte de umidade. Assim, para as datas dos eventos secos ocorridos no inverno a ASAS aparece deslocada em direção ao continente e mais ao norte e para os eventos secos ocorridos no outono e primavera a ASAS se configurou confinada entre 15°S-30°S.

O comportamento dos sistemas frontais também foi avaliado para o período dos eventos extremos secos. Foi utilizado um método subjetivo para rastreamento de sistemas frontais em 19 caixas de 3°X 3° estabelecidas na América do Sul, que leva em consideração que de um dia para o outro ocorra queda na temperatura em 925hPa; mudança na direção do vento meridional em 925hPa (do quadrante norte para o quadrante sul) e aumento na pressão ao nível médio do mar. O método foi eficiente no rastreamento de frentes para a América do Sul sendo estas mais frequentes entre 27°S e 37°S, e mais numerosas na estação de inverno. Para o sudeste, as frentes ocorrem em maior número no inverno e primavera para no sul de São Paulo e na primavera no espírito Santo, Minas Gerais e interior de São Paulo.

A avaliação de aumento ou diminuição no número de sistemas frontais nos períodos secos foi realizada através da DNF, que representa esta mudança em número de frentes por dia. A diminuição no número de frentes nas datas dos eventos secos ocorreu em todas as regiões homogêneas do sudeste analisadas, sendo que as maiores reduções foram encontradas para R1 e R3 (-5×10^{-2} frentes/dia). Nas regiões R1, R2 e R3 houve diminuição no número de sistemas frontais nos períodos secos, enquanto que nas caixas localizadas ao sul apresentaram aumento no número de sistemas frontais (2×10^{-2} frentes/dia). As regiões R4 e R5 apresentaram diminuição nas frentes durante os períodos secos, sendo que o restante do sudeste apresentou aumento no número de sistemas frontais.

O comportamento da ASAS foi investigado através da técnica do vizinho mais próximo verificando no campo de PNMM a ocorrência de um centro de mais alta pressão em relação aos seus 24 vizinhos na área entre 39°S-19,5°S e 40,5°W-10,5°E. Na análise climatológica do período de 1982 a 2009, no inverno a ASAS foi encontrada mais ao norte e mais próxima do continente (28,5°S/4,5°W); no outono e primavera, a ASAS migra para

sudeste no oceano Atlântico (posicionando-se em 31,5°S/0°W no outono e em 30°S/3°W na primavera), resultados também encontrados por Degola (2013).

Durante os períodos secos nas regiões R1 e R3 ocorridos em todas estações do ano e para R2 nas ocorrências de inverno, a ASAS se configurou mais a noroeste da posição climatológica (mais próxima do continente). Em R1, para os eventos secos ocorridos no inverno, foi encontrado o maior deslocamento longitudinal da ASAS, com seu centro localizado em 27°W.

Os resultados observacionais de anomalias de TSM, anomalias de fontes de umidade/divergência do fluxo de umidade integrado na vertical, comportamento da ASAS e do avanço dos sistemas frontais sobre a América do Sul são resumidos na Figura 8.1 para cada uma das regiões homogêneas do sudeste do Brasil e em cada estação do ano. Esta figura mostra um modelo conceitual dos padrões sinóticos e dinâmicos analisados para as datas dos eventos extremos secos no sudeste do Brasil no período de 1982 a 2009.

Quando ocorrem estes eventos um padrão tipo tripolo (negativo/positivo/negativo) é visto para as anomalias de TSM no OAS. Associado a este padrão ocorre um aumento das fontes de umidade próximo ao gradiente de temperatura que ocorre entre a anomalia de TSM negativa (ao norte) e positiva. Diminuição nas regiões fontes de umidade é observada próxima do sul (com exceção de R4 outono e R2 no inverno) e nordeste do Brasil (com exceção de R5 no inverno e R2, R3, R4 e R5 no inverno) no OAS. A ASAS se apresentou posicionada próxima do continente em R1, R2 e R3 e o inverno foi a estação que registrou sua latitude mais ao norte. Este fato parece impedir a progressão normal dos sistemas frontais para latitudes mais ao norte, sendo estes sistemas registrados em menor número sobre o sudeste do Brasil. As frentes frias tendem a ficar concentradas no sul da América do Sul. Resultado semelhante para anomalias de TSM no OAS e fluxo de umidade foi encontrado por Bombardi et al. (2014) quando analisado somente a estação de verão.

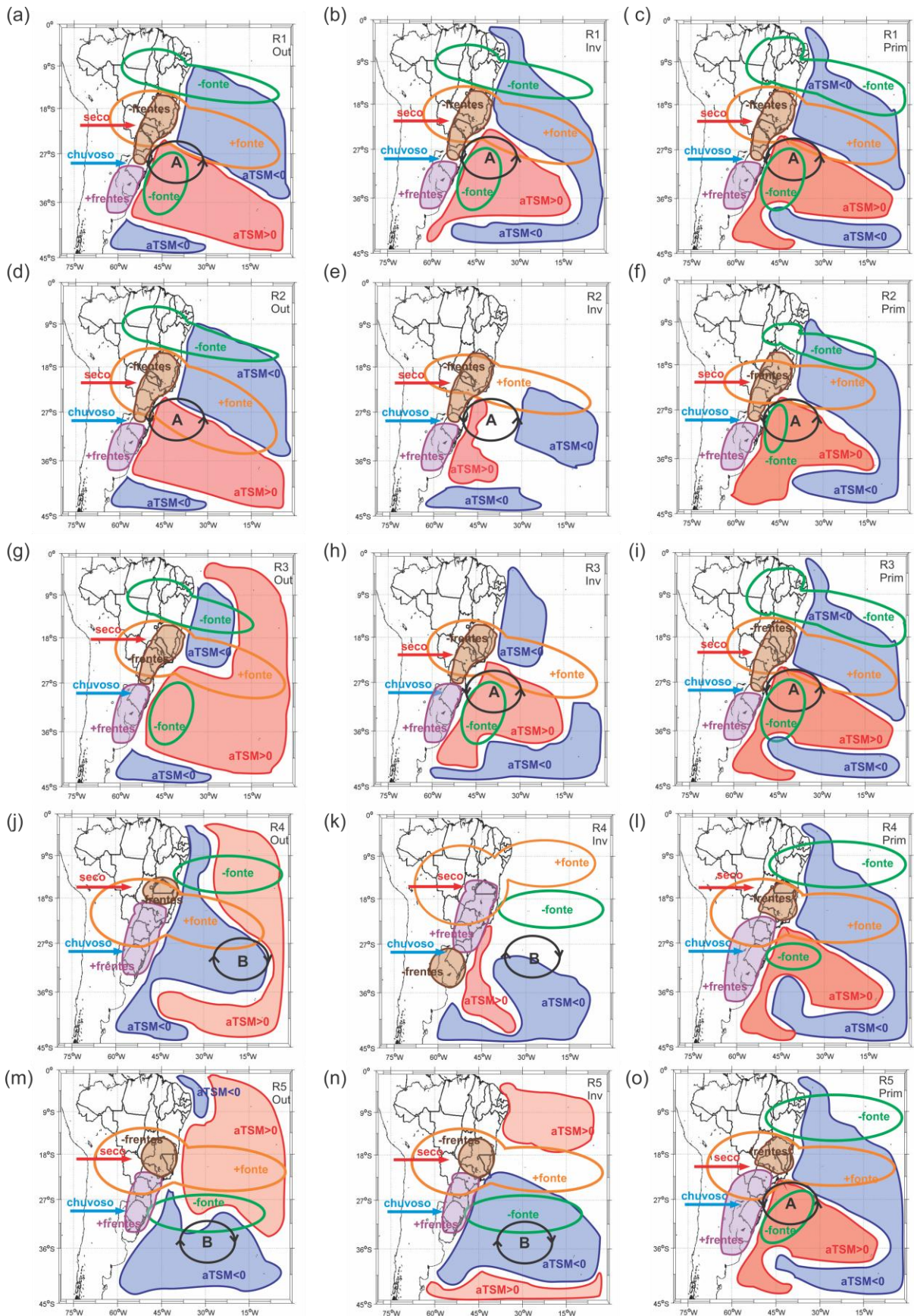


Figura 8.1: Resumo das condições sinóticas e dinâmicas para a ocorrência de eventos extremos que ocorreram nas regiões (a-c)R1; (d-f) R2; (g-i)R3; (j-l)R4 e (m-o) R5 para outono (coluna da esquerda), inverno (coluna central) e primavera (coluna da direita).

O estudo numérico foi realizado a fim de simular com um modelo climático regional, o padrão de TSM encontrado observacionalmente para os eventos secos e verificar nas saídas de precipitação e circulação como esta mudança interfere em suas anomalias. O modelo RegCM4.3 foi utilizado em um estudo climático e em um caso específico.

O estudo climático teve como objetivo estudar dois anos: 2003 (considerado como um ano mais seco) e 1990 (considerado como um ano menos seco) no outono, inverno e primavera. O modelo utilizado se apresentou mais seco no interior do continente e mais úmido no litoral, comparado aos dados observacionais. Os eventos extremos secos também foram calculados através do MDCS e os resultados mostraram que estes ocorreram em geral ou em maior número ou com maior duração, salientando o *bias* seco do modelo, concordando com Reboita et al. (2014). Para a circulação simulada pelo modelo, no nível de 850hPa foram observados dois desvios no OAS, um ciclônico (próximo ao sul do continente) e outro anticiclônico (em torno de 40°S e afastado do continente), além disso, todo litoral apresentou desvio de leste (perpendicular ao continente) e no centro do Brasil o desvio do vento foi para noroeste (diminuindo o transporte de umidade para o sul e sudeste do continente). Nos níveis de 500hPa e 200hPa os dois desvios também foram identificados. Em altos níveis, o jato subtropical se apresentou menos intenso. O número de frentes frias simuladas pelo modelo nestes dois anos não apresentou uma característica comum no outono e inverno, sendo que cada caixa analisada apresentou diminuição ou aumento. Na primavera o modelo teve um desempenho fraco em capturar as características dos sistemas frontais na América do Sul.

Para o ano de 1990, o padrão de tripolo de TSM (encontrado como padrão comum para as anomalias de TSM nos eventos secos) foi reproduzido nos dados de entrada que servem como condição de fronteira da TSM. Isto foi feito, somando à climatologia diária da TSM, uma anomalia de -2°C na região 0°-18°S/55°W-0°, +2°C na região 18°S-36°S/65°W-0° e -2°C na região 36°S-45°S/70°W-0°, e a influência desta mudança foi analisada. A precipitação encontrada com a mudança na TSM foi menor em parte do sudeste do Brasil, sendo esta diminuição mais intensa na primavera. Maior acumulado de precipitação foi encontrado no sul do Brasil. A modificação na TSM não necessariamente produziu maior número de eventos secos, mas eventos mais longos. Na análise do número de sistemas frontais em cada região, não foi apresentada uma redução significativa em seu número, como encontrado nas análises observacionais. A influência da mudança nos padrões de TSM também gerou mudança nos padrões de circulação: em 850hPa um desvio anticiclônico no OAS próximo à costa do Rio Grande do Sul foi observado e em 200hPa o jato subtropical

aparece enfraquecido, principalmente no outono. Estas configurações parecem ter favorecido o *bias* negativo de precipitação na região de estudo. Estes resultados concordam com os encontrados observacionalmente, onde o padrão de anomalias de TSM tipo tripolo negativo/positivo/negativo gera anomalias negativas de precipitação no sudeste do Brasil e positivas no sul e a ASAS se apresenta configurada mais próxima do continente.

No estudo de caso, selecionou-se um evento seco que ocorreu entre 01/06/2003 a 11/07/2003 nas regiões R1, R2, R3 e R5, e que mostrou padrão de anomalias de TSM para o OAS semelhante ao padrão de tripolo da análise observacional. O objetivo desta análise era utilizar o modelo RegCM4.3 e introduzir nas condições laterais de TSM do modelo um padrão inverso de anomalias de TSM do que foi encontrado para os eventos secos no OAS (ou seja, representar um padrão de tripolo tipo positivo/negativo/ positivo) e verificar se haveria aumento na precipitação. Os resultados do experimento modificado no estudo de caso confirmaram as análises observacionais.

8.2 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

- Aplicar esta metodologia para todo o Brasil, pois existem evidências observacionais que a precipitação do sul e nordeste do país também são influenciadas por anomalias de TSM no OAS;
- Verificar a influência das anomalias de TSM no OAS nos eventos extremos chuvosos, para avaliar se ela ocorre de maneira oposta ao dos eventos extremos secos;
- Analisar a influência da TSM no Atlântico Sul em eventos extremos de precipitação em todas as estações do ano;
- Realizar as simulações com o modelo RegCM 4.3 para todo o período de estudo (1982 a 2009) e aplicar a mesma metodologia realizada nos dados observados afim de avaliar a habilidade do modelo na determinação dos eventos extremos;
- Realizar as simulações para cenários futuros do clima, utilizando projeções dos modelos do CMIP5 utilizados no IPCC (HadCM3 e ECHAM5), afim de avaliar a característica dos eventos secos neste período;
- Repetir as simulações com o modelo RegESM (RegCM acoplado ao modelo oceânico ROMS3), para avaliar se o acoplamento produz melhores resultados;
- Buscar explicações físicas da ocorrência dos eventos extremos secos através de padrões de teleconexões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, L.V.; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN TANK, A.M. G.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; RUPA KUMAR, K.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D. B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **J Geophys Res** 111: D05109, 2005.

ALVES, L. M. **Simulações da Variabilidade do Clima Presente sobre a América do Sul Utilizando um Modelo Climático Regional**. 93págs. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Meteorologia) – INPE, São José dos Campos, 2007.

AMBRIZZI, T.; SOUZA, E. B.; PULWARTY, R. S. The Hadley and Walker regional circulations and associated ENSO impacts on the South American Seasonal Rainfall. In: Henry F. Diaz; Raymond S. Bradley. (Org.). **The Hadley Circulation: Present, Past and Future**. 1ed. Netherlands: Kluwer Academic Publishersv. 21, p. 203-235, 2004.

AMBRIZZI, T.; DA ROCHA, R. P.; MARENGO, J. A.; PISNITCHENKO, I.; ALVES, L. M.; FERNANDEZ, J. P. R. **Cenários Regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Sub- projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Relatório nº3. Ministério do meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio), 2007.

ANDRADE, K. M.; CAVALCANTI, I. F. A. Climatologia dos sistemas frontais e padrões de comportamento para o verão na América do Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, Fortaleza- CE. **Anais SBMET**, 2004.

ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. 185págs. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Meteorologia) – INPE, São José dos Campos, 2005.

ANTHES, R. A. A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model. **Mon Weather Rev** 105: 270–286, 1977.

ANTHES, R. A.; HSIE, E. Y.; KUO, Y. H. Description of the Penn State/NCAR mesoscale model version 4 (MM4). **Tech Note TN-282+STR**, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 1987.

BARROS, V. R.; GONZALEZ, M.; LIEBMANN, B.; CAMILLONI, I. Influence of the South Atlantic convergence zone and South Atlantic sea surface temperature on interannual Summer rainfall variability in Southeastern South America. **Theor. Appl. Climatology**, v.67, p.123-133,2000.

BASTOS, C. C. FERREIRA, N, J, Análise Climatológica da Alta Subtropical do Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2000.

BERLATO, M. The Climate forecasting applications in the decision- making process for the Southern Region of Brail. In: Workshop Report on ENSO and seasonal to interannual climate variability, sócio-economic impacts, forecasting and applications to the decision-making process. Florianópolis **EPAGRI V.1**, p.14-16, ,1992.

BJÖRNSSON, H.; VENEGAS, S.A. **A Manual of EOF and SVD Analysis of Climatic Data**. McGill University, 1997.

BOMBARDI, R. J.; CARVALHO, L. M. V., JONES, C.; REBOITA, M. S. Precipitation over eastern South America and the South Atlantic Sea surface temperature during neutral ENSO periods. **Climate Dynamics** 42 (5-6), 1553-1568, 2014.

BRETHERTON, C. S.; MCCA A J. R.; GRENIER, H. A new parameterization for shallow cumulus convection and its application to marine subtropical cloud-topped boundary layers. I. Description and 1D Results. **Mon Weather Rev** 132: 864–882, 2004.

CARDOSO, A. O.; SILVA DIAS, P. L. Identificação de trimestres extremos no regime Pluviométrico do Sul e Sudeste do Brasil e relação com anomalias de TSM. **Rev. Bras.Meteorol.**, v. 19, n. 1, p. 149-162, 2004.

CARDOSO, A. O. **Relações entre a TSM nos oceanos Atlântico e Pacífico e as condições climáticas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.** Tese de Doutorado. ACA/IAG / USP. São Paulo – SP, 158 pp, 2005.

CARLSON, T.N. **Mid-latitude weather systems.** London: Harper Collins Academic, 1991. 50p

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme Precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v.15, p.2377-2394, 2002.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v.17, p.88- 108, 2004.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Frentes Frias sobre o Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. **Tempo e clima no Brasil.** São Paulo: Oficina de textos, 2009. Cap. 9, p. 133-147.

COELHO,C. **Anomalias de precipitação sobre a América do Sul e sua relação com a temperatura da superfície do mar dos oceanos Pacífico e Atlântico durante períodos de extremos de El Nino Oscilação Sul.** 254 págs. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

COELHO, C.; UVO, C. B.; AMBRIZZI, T. Exploring the Impacts of the Topical Pacific SST on the precipitation patterns over South America during ENSO periods. **Theor. And Appl. Climat.**, 71, 185-197, 2002.

CUADRA, S. V.; DA ROCHA, R. P. Sensitivity of regional climatic simulation over Southeastern South America to SST specification during austral summer. **International Journal of Climatology**, v. 27, p. 793-804, 2007.

DAMETTO, G. S.; DA ROCHA, R. P., Características Climáticas dos Sistemas Frontais na cidade de São Paulo. Congresso Nacional de Meteorologia. **Anais**. 2006.

DA ROCHA, R.P.; MORALES, CA; CUADRA S. V.; AMBRIZZI, T. Precipitation diurnal cycle and summer climatology assessment over South America: An evaluation of Regional Climate Model Version 3 simulations. **J Geophys Res** 114, 2009.

DA ROCHA, R. P.; CUADRA, S. V.; REBOITA, M. S.; KRUGER, L. F.; AMBRIZZI, T.; KRUSCHE, N. Effects of RegCM3 parameterizations on simulated rainy season over South America. **Clim Res** 52: 253–265, 2012.

DA ROCHA, R. P.; REBOITA, M. S.; DUTRA, L. M. M.; LLOPART, M. P.; COPPOLA, E. Interannual variability associated with ENSO: present and future climate projections of RegCM4 for South America-CORDEX domain. **Climatic Change**. Volume 125, Issue 1, pp 95-109, 2014.

DA SILVA, B. F. P. **Contribuição dos Distúrbios Ondulatórios de Leste para a chuva no Leste do Nordeste do Brasil: evolução sinótica média e simulações numéricas**. 123 págs. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

DEE D. P.; UPPALA, S. M.; SIMMONS, A. J.; BERRISFORD, P. ; POLI, P.; KOBAYASHI, S. ; ANDRAE, U. ; BALMASEDA, M. A.; BALSAMO, G.; BAUER, P.; BECHTOLD, P.; BELJAARS, A. C. M.; van de BERG, L.; BIDLOT, J.; BORMANN, N.; DELSON, C.; DRAGANI, R.; FUENTES, M.; GEER, A. J.; HAIMBERG, L.; HEALY, S. B.; HERSBACH, H.; HÓLM, E.V. L. ; ISAKSEN; KÅLLBERG, P.; KÖHLER, M.; MATRICARDI, M.; McNALLY, A. P.; MONGE-SANZ, B. M.; MORCRETTE, J-J.; PARK, B-K.; PEUBEY, C.; de ROSNAY, P.; TAVOLATO, C.; THÉPAUT, J-N; VITART,F. The

ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. **Quart. J. Roy. Meteor. Soc.**, 137, 553–597, 2011.

DEGOLA, T. S. D. **Impactos e Variabilidade do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul sobre o Brasil no Clima Presente e em Cenários Futuros**. 91 págs. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

DE MELO, A. B. C.; CAVALCANTI, I. F. A., SOUZA, P. P. Zona de convergência intertropical do Atlântico. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J., SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. Cap. 2, p.25-41. ISBN 978-85-86238-92-5.

DIAZ, A., STUDZINSKI, C. D. S. Rainfall anomalies in the Uruguay-Southern Brazil region related to SST in the Pacific and Atlantic Oceans using canonical correlation analysis. VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais ...SBMET**, Belo Horizonte, p. 42-45.1994.

DIAZ, A. F.; STUDZINSKI, C.A.; MECHOSO, C.R. Relationships between Precipitation Anomalies in Uruguay and Southern Brazil and Sea Surface Temperature in the Pacific Atlantic Oceans. **Journal of Climate**, v.11, n. 2, p. 251- 271, 1998.

DICKINSON, R. E.; ERRICO, R. M.; GIORGI, F.; BATES, G. T. A regional climate model for the western United States. **Clim Change** 15: 383–422, 1989.

DICKINSON, R. E.; HENDERSON-SELLERS, A.; KENNEDY, P.J. Biosphere – Atmosphere Transfer Scheme (BATS) version 1E as coupled to the NCAR community climate model. **Tech. Note NCAR/TN-3871STR**. National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 1993.

DRUMOND, A. R. M.; AMBRIZZI, T. The role of SST on the South American atmospheric circulation during January, February and March 2001. **Climate Dynamics**, 24, 781-791, 2005.

DRUMOND, A.; NIETO, R.; GIMENO, L.; AMBRIZZI, T. A Lagrangian identification of major sources of moisture over Central Brazil and La Plata Basin. **Journal of Geophysical Research**, volume 113, D14128, 2008.

DRUMOND, A.; MARENGO, J.; AMBRIZZI, T.; NIETO, R.; MOREIRA, L.; GIMENO, L. The role of Amazon Basin moisture on the atmospheric branch of the hydrological cycle: a Lagrangian analysis, **Hydrology and Earth System Sciences**, vol. 18, pages 2577-2598.doi:10.5194/hessd-18-2577-2598. 2014.

DUFEK, A. S.; AMBRIZZI, T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. **Theor Appl Climatol**. 93:167–178, 2008.

DURÁN-QUESADA, A.M. ; REBOITA, M. S. ; GIMENO, L . Precipitation in tropical America and the associated sources of moisture: a short review. **Hydrological Sciences Journal**, v. 57, p. 1-13, 2012.

ELGUINDI, N.; BI, X; GIORGI, F.; NAGARAJAN, B. PAL, J.; SOLMON, F.; RAUSCHER, S.; ZAKAY, A. **RegCM Version 3.1 User's Guide**, Trieste, Itália. julho 2007.

EMANUEL, K. A. A scheme for representing cumulus convection in large-scale models. **J Atmos Sci** 48: 2313–2335, 1991.

EMANUEL, K. A.; ZIVKOVIC-ROTHMAN, M. Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models. **J Atmos Sci** 56: 1766–1782, 1999.

FEDOROVA, N. **Meteorologia sinótica**, Pelotas: UFPEL, 1999, v.1.

FERRAZ, S. E. T.. Variabilidade Climática. **Ciência e Natura**, v. 1, p. 105-113, 2007.

FIRPO, M. F. **Influencia remota da TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico e da Oscilação Antártica na variabilidade climática interanual no Rio Grande do Sul e suas inter-relações**. 91 págs. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Meteorologia) – INPE, São José dos Campos- SP, 2012.

GIMENO, L.; DRUMOND, A.; NIETO, R., TRIGO, R.M.; STOHL, A.: On the origin of continental precipitation. **Geophysical Research Letters**, volume 37. L13804, 2010.

GIMENO, L.; STOHL, A.; TRIGO, R.M.; DOMÍNGUEZ, F.; YOSHIMURA, K.; YU, L.; DRUMOND, A.; DURÁN-QUESADA, A.M.; NIETO, R. Oceanic and Terrestrial Sources of Continental Precipitation, **Reviews of Geophysics**, 50, RG4003. doi:10.1029/2012RG000389. 2012.

GIORGI, F. Simulation of Regional Climate Using a Limited Area Model Nested in a General Circulation Model. **J. Climate**, 3, 941–963, 1990.

GIORGI, F.; MARINUCCI, M. R.; BATES, G. Development of a second generation regional climate model (RegCM2). I. Boundary layer and radiative transfer processes. **Mon Weather Rev** 121: 2794–2813, 1993a.

GIORGI, F.; MARINUCCI, M. R.; BATES, G.; DE CANIO, G. Development of a second generation regional climate model (RegCM2). II. Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. **Mon Weather Rev** 121: 2814–2832, 1993b.

GIORGI, F.; MEARNS, L. O. Regional Climate Modelling revisited. An Introduction to the special issue. **J. Geophys. Res.**, 104, 6335-6352, 1999.

GIORGI, F.; BI, X. A study of internal variability of a regional climate model. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres** . Volume 105, Issue D24, pages 29503–29521, 27, 2000.

GIORGI, F.; JONES, C; ASRAR, G. Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. **World Meteorol Organ Bull** 58: 175–183, 2009.

GIORGI, F.; COPPOLA, E.; SOLMON, F.; MARIOITTI, L.; SYLLA, M. B.; BI, X.; ELGUINDI, N.; DIRO, G. T.; NAIR, V.; GIULIANI, G.; COZZINI, S.; GUETTLER, I.; O'BRIEN T. A.; TAWFIK, A. B.; SHALAPY, A.; ZAKEY, A. S.; STEINER, A. L.;

STORDAL, F.; SLOAN, L. C.; BRANKOVIC, C. RegCM4: Model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains, **Climate Research**, 52, 7-29, 2012.

GRELL, G.A. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. **Mon Weather Rev** 121: 764–787, 1993.

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

GRENIER, H.; BRETHERTON, C.S. A moist PBL parameterization for large scale models and its application to subtropical cloud-topped marine boundary layers. **Mon Weather Rev** 129: 357–377, 2001.

GROISMAN, P. Y.; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D. R.; KARL, T. R.; HEGERL, G. C.; RAZUVAEV, V. N. Trends in Intense Precipitation in the Climate Record. **Journal of Climate**. vol 18. 1326-1350, 2005.

HAARSMA, R. J.; CAMPOS, E. J. D.; MOLTENI, F. Atmospheric response to South Atlantic SST dipole. **Geophys Res Lett** 30:1864, 2003.

HAARSMA, R.J.; CAMPOS, E. J. D.; HAZELEGER, W.; SEVERIJNS, C.; PIOLA, A.R.; MOLTENI, F. Dominant modes of variability in the South Atlantic: a study with a hierarchy of ocean–atmosphere models. **J Climate** 18:1719–1735. doi:10.1175/JCLI3370.1, 2005.

HASTENRATH, S. Climate and Circulation of the Tropics. **D. Reidel Publish. Co.**, 455 pp., 1985.

HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T. C.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIACÃO, Y. M. T.; BAEZ, J.; BARROS, V. R.; BERLATO, M. A.; BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GARCIA, V. J.; GRIMM, A. M.; KAROLY, D.; MARENGO, J. A.; MARINO, M. B.; MONCUNILL, D. F.; NECHET, D.; QUINTANA, J.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J. L.; TREBEJO, I.; VINCENT, L. A. Trends

in total and extreme South American Rainfall in 1960–2000 and links with Sea Surface Temperature. **J Clim** 19:1490–1512, 2006.

HEIM, R.R. A review of twentieth: century drought indices used in the United States. **Bulletin of the American Meteorology Society**. 83, 1149-1163, 2002.

HOLTSLAG, A.; DE BRUIJN, E.; PAN, H. L. A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting. **Mon Weather Rev** 118: 1561–1575, 1990.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Estudos sociodemográficos e análises espaciais referentes aos municípios com a existência de comunidades remanescentes de quilombos. **Relatório Técnico Preliminar**, 2007.

ITO, E. R. K. **Um estudo climatológico do anticiclone subtropical do Atlântico Sul e sua possível influência em sistemas frontais**. São Paulo, 1999. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ITO, E. R. K.; AMBRIZZI, T. Climatologia da posição da alta subtropical do atlântico sul para os meses de inverno. In: XI CONGRESSO LATINOAMERICANO E IBERICO DE METEOROLOGIA, 2000, Rio de Janeiro. A Meteorologia Brasileira além do ano 2000. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia. **Anais**, p. 860-865, 2000.

JUSTI DA SILVA, M.G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. A frequência de fenômenos meteorológicos na América do Sul: uma climatologia. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11., 2002, Foz do Iguaçu-PR. **Anais**.Foz do Iguaçu: SBMET, 2002.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Clima da Região Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F.(org). **Tempo e clima no Brasil**, p.135-147, São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

KIEHL, J. T.; HACK, J. J.; BONAN, G. B.; BOVILLE, B. A.; BREIGLEB, B. P.; WILLIAMSON, D.; RASCH, P. Description of the NCAR community climate model (ccm3), **Tech. Rep. NCAR/TN-420+STR**, National Center for Atmospheric Research, 1996.

KOUSKY, V. E. Frontal Influences on Northeast Brazil. **Mon. Weath. Rev.**, v. 107, p. 1140-1153, 1979.

KRÜGER, L. F.; DA ROCHA, R. P.; REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T. RegCM3 nested in HadAM3 scenarios A2 and B2: projected changes in extratropical cyclogenesis, temperature and precipitation over the South Atlantic Ocean. **Clim Change** 113: 599–621, 2012.

LAMBERT, S. J. A cyclone climatology of the Canadian Climate Centre General Circulation Model. **J. Climate**, 1, 109-115, 1988.

LEMOS, C.F.; CALBETE, N. O. Sistemas frontais que atuaram no litoral de 1987-1995. **Climanálise Edição comemorativa 10 anos**, 1996. (INPE-10717-PRE/6178).

LIEBMANN, B., ALLURED, D. Daily Precipitation Grids for South America. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 86, 1567-1570, 2005.

LIEBMANN, B.; JONES, C.; CARVALHO L. M. V. Interannual variability of extreme precipitation events in the State of São Paulo, Brazil. **J. Climate**, 14, 208-218, 2001.

LLOPART, M.; COPPOLA, E.; GIORGI, F. ; DA ROCHA, R. P. ; CUADRA, S. V. Climate change impact on precipitation for the Amazon and La Plata basins. **Climatic Change**, v. 124, p. 1573-1480, 2014.

LORENZ, E. N. **Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction**. Sci. Rep. No. 1, Statistical Forecasting Project, M.I.T., Cambridge, MA, 48 pp, 1956.

LUTGENS, F. K.; TARBUK, E. J. **The Atmosphere: An Introduction to meteorology**. 10th ed. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, 2006.

LUZ, G. **Oceano Atlântico Sul e a precipitação no Estado de São Paulo**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia (Geografia Física) - Universidade de São Paulo, 2010.

MACHEL, H.; KAPALA, A.; FLOHN, H. Behaviour of the Centres of Action above the Atlantic since 1881. Part I: Characteristics of seasonal and interannual variability. **Int.J.Climatology**, 18, 1-22, 1998.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade. Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao longo do Século XXI. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. 212 p. MMA, 2006.

MARENGO, J. A.; JONES, R.; ALVES, L. M.; VALVERDE, M. C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**. Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com), 2009.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; RIBOLDI, J. Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 225-241, 1995.

MCGREGOR, J. L. Regional climate modeling. **Meteorology and Atmospheric Physics**, Volume 63, Issue 1-2, pp 105-117, 1997.

MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to the time scales. CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8, 1993, Anaheim. **Anais**. Boston: Preprints. 179-184, 1993.

MÜLLER, G. V.; AMBRIZZI, T.; NÚÑEZ, M. N. Mean atmospheric circulation leading to generalized frosts in central southern South America. **Theoretical and Applied Climatology**, Volume 82, Issue 1-2, pp. 95-112, 2005.

MURRAY, R. J.; SIMMONDS, I. A numerical scheme for tracking cyclone centres from digital data. Part I: development and operation of scheme. **Aust. Met. Mag.**, 39, 155-166, 1991a.

MUSK, L. **Weather Systems**. Cambridge University Press, 1988.

MUZA, M. N.; CARVALHO, L. M.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Intraseasonal and Interannual variability of extreme dry and wet events over Southeastern South America and the Subtropical Atlantic during Austral Summer. **J. Climate** 22: 1982-1699, 2009.

NOBRE, C. A.; CAVALCANTI, I. F. A.; GAN, M. A.; NOBRE, P.; KAYANO, M. T.; RAO, V.B.; BONATTI, J. P.; SATYAMURTY, P.; UVO, C. B.; COHEN, J. C. **Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. Número Especial. Aspectos da Climatologia Dinâmica do Brasil. Instituto Nacional de Meteorologia- INMET. Brasília- DF, outubro 1986.

NUMAGUTI, A. Origin and recycling processes of precipitating water over the Eurasian continent: Experiments using an atmospheric general circulation model. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**. Volume 104, Issue D2, pages 1957–1972, 27 January 1999.

NUNES, L. H.; VICENTE, A. K.; CANDIDO, D. H. Clima da região sudeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009. Cap. 16, p. 243-256.

NNAMCHI, H. C.; LI, J.; ANYADIKE, R. N. C. Does a dipole mode really exist in the South Atlantic Ocean? **J Geophys Res** 116: D15104, 2011.

O'BRIEN, T.A.O.; Chuang, P. Y.; Sloan, L. C.; Faloon, I. C.; Rossiter, D. L. Coupling a new turbulence parametrization to RegCM adds realistic stratocumulus clouds. **Geosci Model Dev** 5: 989–1008, 2012.

PETTERSEN, S. **Weather analysis and forecasting**. New York: Mc-Graw-Hill, 1956.

PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. The relative importance of ENSO and Tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. **Climate Dynamics**, v.17, p. 205- 212, 2001.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B. Variabilidade de Mesoescala e interação oceano-atmosfera no Atlântico Sudoeste. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F.(org). **Tempo e clima no Brasil**, p.135-147, São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; DA ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, 185-20, 2010.

REBOITA, M. S.; FERNANDEZ, J. P. R.; LLOPART, M. P.; DA ROCHA, R. P.; PAMPUCH, L. A.; CRUZ, F. T. Assessment of RegCM4.3 over the CORDEX South America domain: sensitivity analysis for physical parameterization schemes. **Climate Research**, 60: 215–234, 2014.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Nino/ Southern Oscillation. **Mon. Wea. Rev.**, 115, 1606-1626,1987.

SANSIGOLO, C. A; PEREIRA, C. S; SILVA, I. R. Relações entre as precipitações regionais no sul do Brasil e as temperaturas da superfície dos Oceanos Atlântico e Pacífico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.1, p.5-11, 2004.

SANTOS, D.C. **Padrões Atmosféricos Associados a Extremos de Precipitação na Primavera no Estado do Rio Grande do Sul**. 254 págs. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SANTOS, F.; DE CASTRO, M.; GÓMEZ-GESTEIRA, M.; ÁLVAREZ, I. Differences in coastal and oceanic SST warming rates along the Canary upwelling ecosystem from 1982 to 2010. **Continental Shelf Research**. 15 September 2012, Pages 1–6.

SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SATYAMURTY, P.; MATTOS, L. F. Climatological lower tropospheric frontogenesis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. **Monthly Weather Review**, v.117, n. 6, p. 1355-1364, June 1989.

SATYAMURTY, P.; COSTA, C.P.; MANZI, A.O. Moisture source for the Amazon Basin: a study of contrasting years. **Theoretical and Applied Climatology**, 111:195-209, 2013.

SILVA DIAS, M. A. F. ; Dias, J. ; Silva Dias, P. L. ; Freitas, E. D. ; Carvalho, L. M. V. . Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. **Climatic Change**, v. 116, p. 3, 2013.

SIMMONDS, I.; KEAY, K.; BYE, J. A. T. Identification and Climatology of Southern Hemisphere Mobile Fronts in a Modern Reanalysis. **Journal of Climate**. Volume 25, 1945-1962, 2012.

SINCLAIR, M. R. An objective cyclone climatology of Southern Hemisphere. **M.W.R.**, 122, 2239-2256, 1994.

SOUZA, E. B., **Variabilidade Pluviométrica Intrazonal sobre a Amazônia Oriental e Nordeste Brasileiro durante o Outono Austral: Mecanismos Atmosféricos de Baixa e Alta Frequência.** São Paulo, 2003. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

STOHL, A.; HITTENBERGER, M.; WOTAWA, G. Validation of the Lagrangian particle dispersion model FLEXPART against large scale tracer experiments. **Atmos. Environ.** 32, 4245-4264, 1998.

STOHL, A.; THOMSON, D. J. A density correction for Lagrangian particle dispersion models. **Bound.-Layer Met.** 90, 155-167, 1999.

STOHL, A.; FORSTER, C.; FRANK, A.; SEIBERT, P.; WOTAWA, G. Technical Note : The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART version 6.2. **Atmos. Chem. Phys.** 5, 2461-2474, 2005.

SUGAHARA, S. Variação Anual da Frequência de Ciclones no Atlântico Sul. In: 11º Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais.** Rio de Janeiro, 2000.

TAWFIK, A. B.; STEINER, A. L. The role of soil ice in land-atmosphere coupling over the United States: a soil moisture precipitation winter feedback mechanism. **J Geophys Res** 116: D02113, doi: 10.1029/2010JD014333, 2011.

TIEDTKE, M. A comprehensive mass-flux scheme for cumulus parameterization in large-scale models. **Mon Weather Rev** 117: 1779–1800, 1989.

TRENBERTH, K. E.; GUILLEMOT, C. J. Evaluation of the atmospheric moisture and hydrological cycle in the NCEP/NCAR reanalyses. **Climate Dyn.**, 14, 213-231, 1998.

UVO, C. B., REPELLI, C. A., ZEBIAK, S. E., KUSHNIR, Y.; The Relationship between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil Monthly Precipitation. **American Meteorological Society**, 1998.

VAN HUIJGEVOORT, M. H. J.; HAZENBERG, P.; VAN LANEN, H. A. J.; UIJLENHOET, R. A generic method for hydrological drought identification across different climate regions, **Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.**, 9, 2033-2070, 2012.

VAN STORCH, H.; ZWIERS, F. W. **Statistical Analysis in Climate Research**. Cambridge university Press, UK, 1999.

VENEGAS, S. A.; MYSAK, L.A.; STRAUB, D. N. Atmosphere-ocean coupled variability in the South Atlantic. **Journal of Climate**. v.10, pag 2904-2920, 1997.

VENEGAS, S. A.; MYSAK, L.A.; STRAUB, D. N. Evidence for interannual and interdecadal climate variability in the South Atlantic. **Geophys. Res. Lett.**, 23(19):2673-2676, 1996b.

VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. Monografia de Especialização em Estatística. Santa Maria : UFSM, CCNE, , 2005. 215 p. : il.

WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v. 58, n. 301, p. 236–244, 1963.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences** . Second. [S.l.: s.n.], 2006.

ZORITA, E; VON STORCH, H. The Analog Method as a Simple Statistical Downscaling Technique: Comparison with More Complicated Methods. **J. Climate**, 12, 2474–2489, 1999.

ANEXOS

ANEXO A - GRÁFICOS DO MÉTODO DOS DIAS CONSECUTIVOS SECOS PARA TODOS OS ANOS NAS REGIÕES HOMOGÊNEAS DO SUDESTE DO BRASIL

A.1. REGIÃO R1

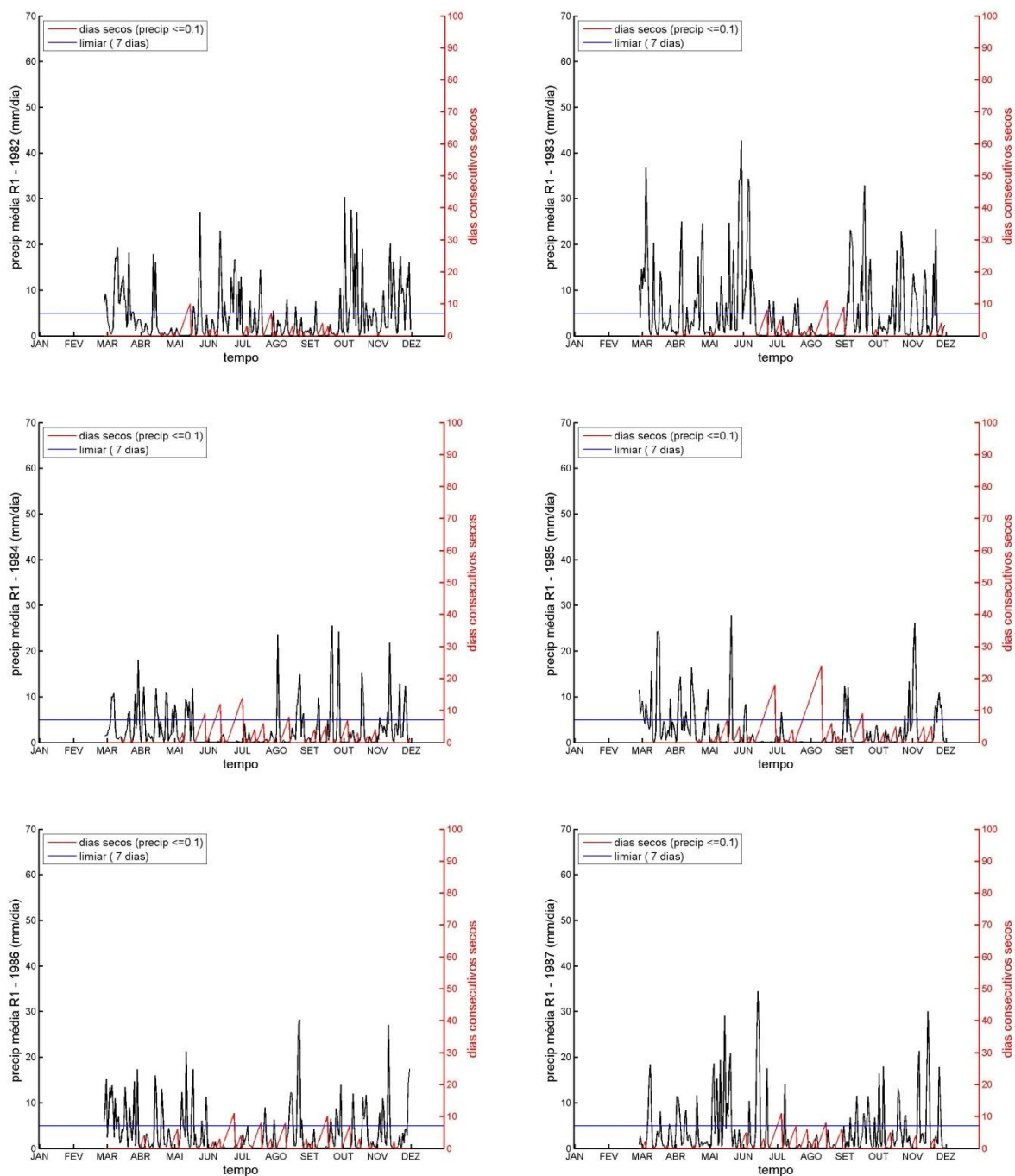
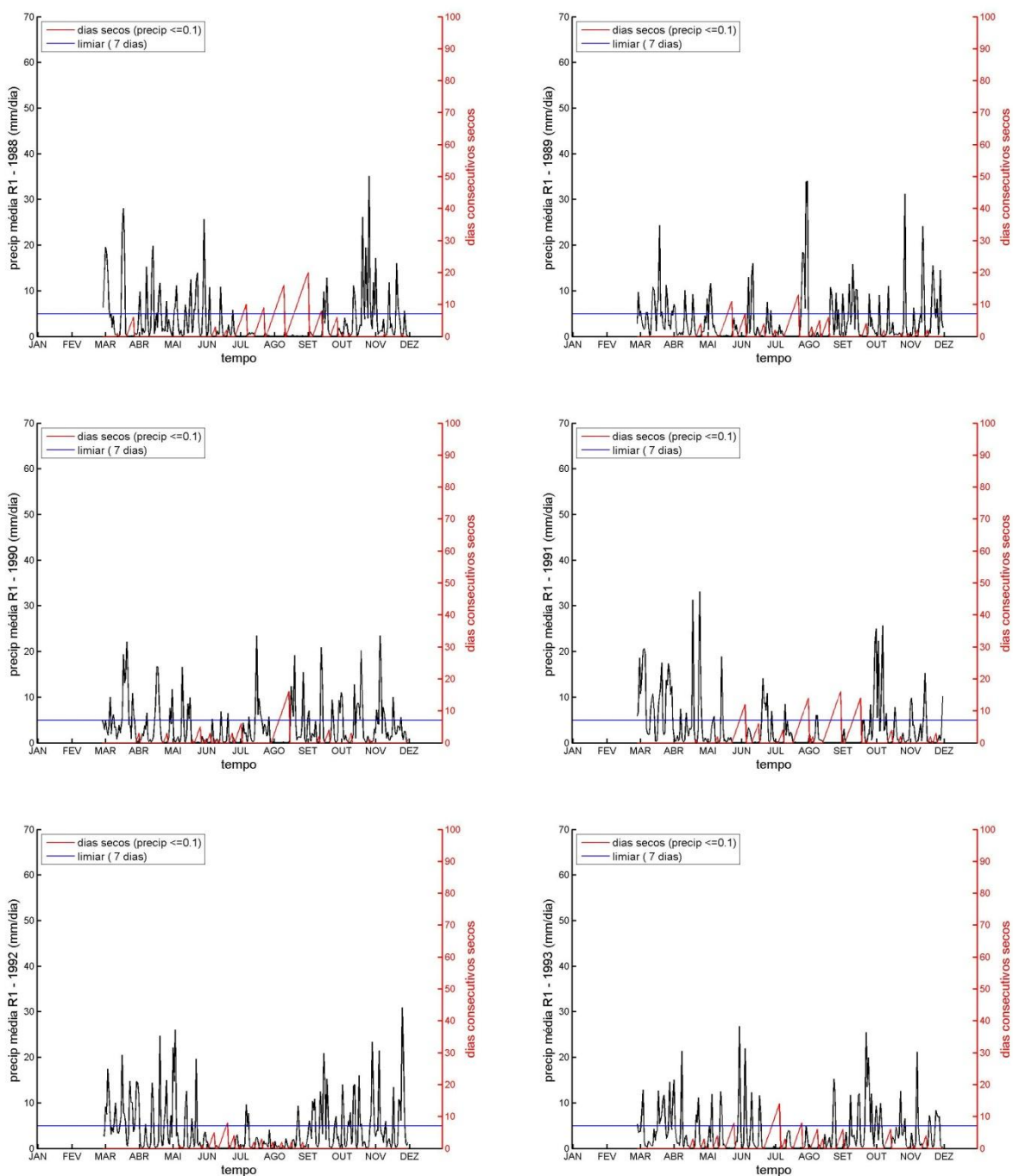
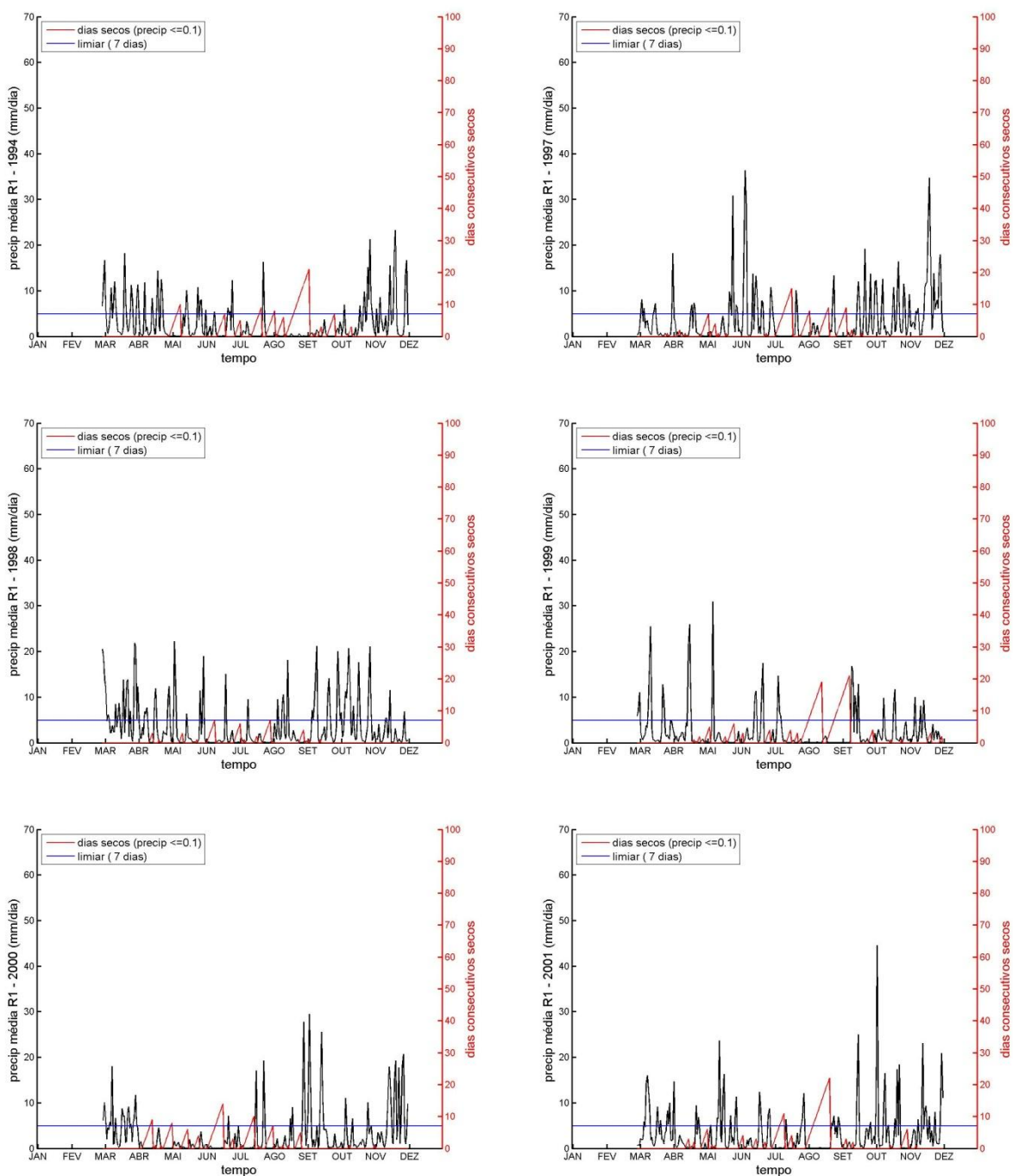


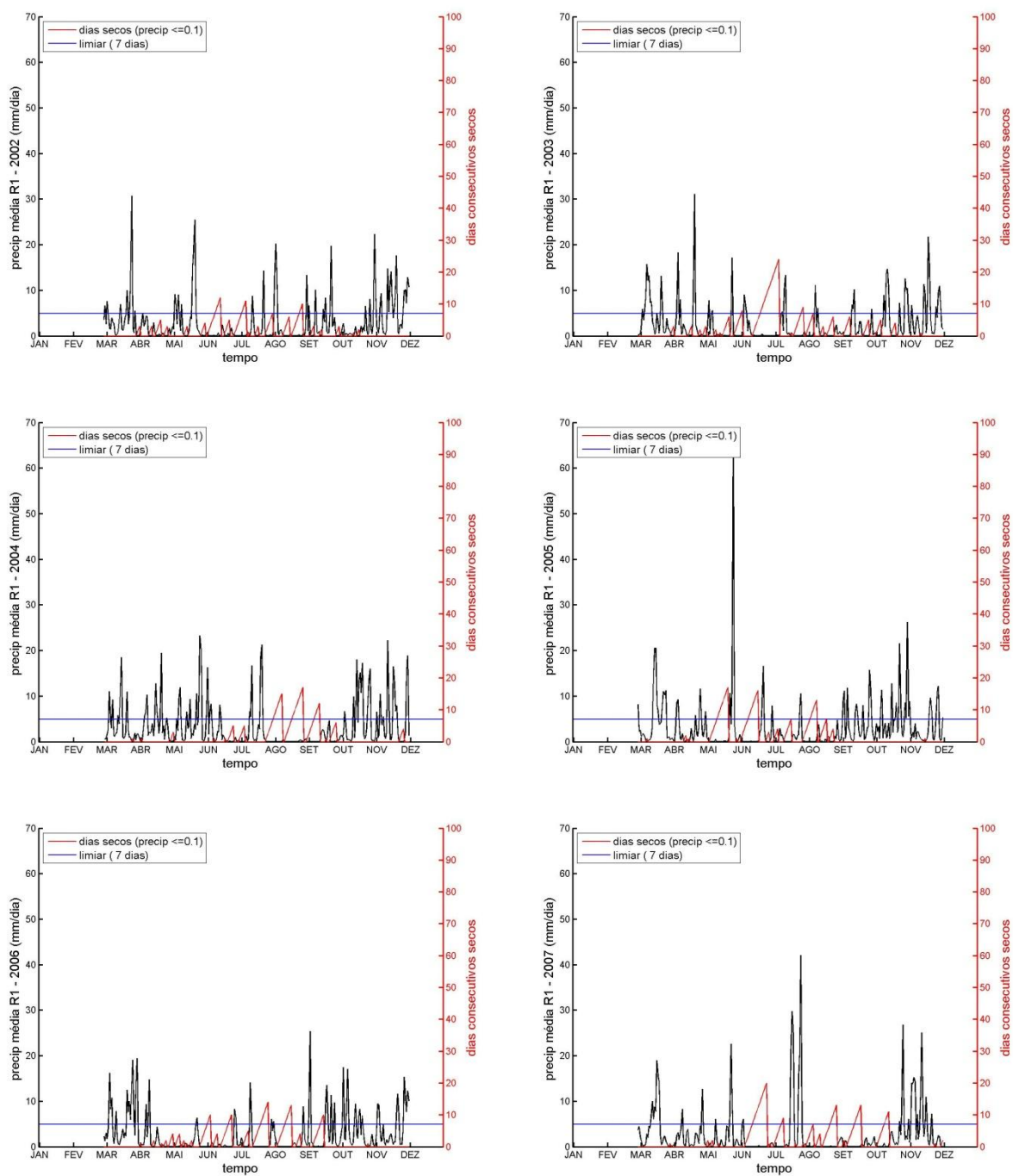
Figura A.1: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R1 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



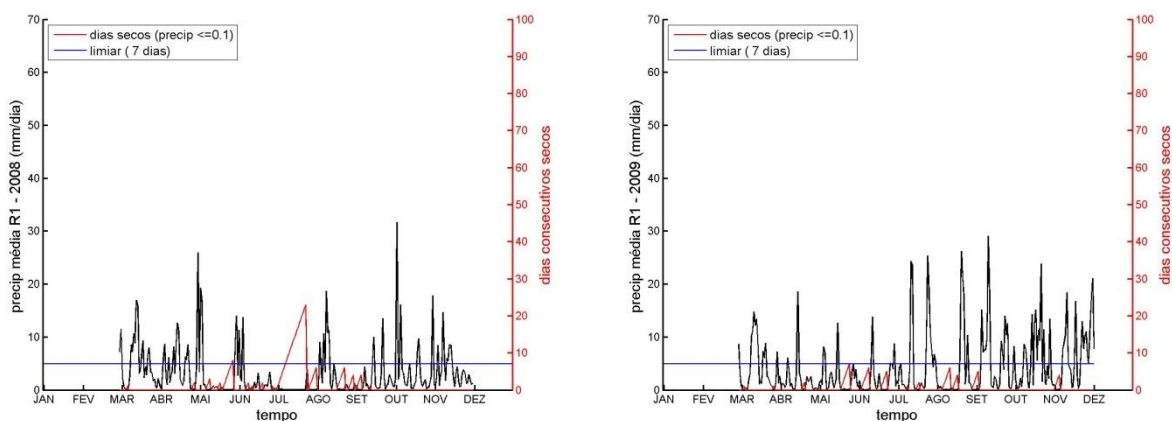
Continuação da Figura A.1: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R1 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



Continuação da Figura A.1: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R1 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



Continuação da Figura A.1: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R1 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



Continuação da Figura A.1: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R1 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.

A.2. REGIÃO R2

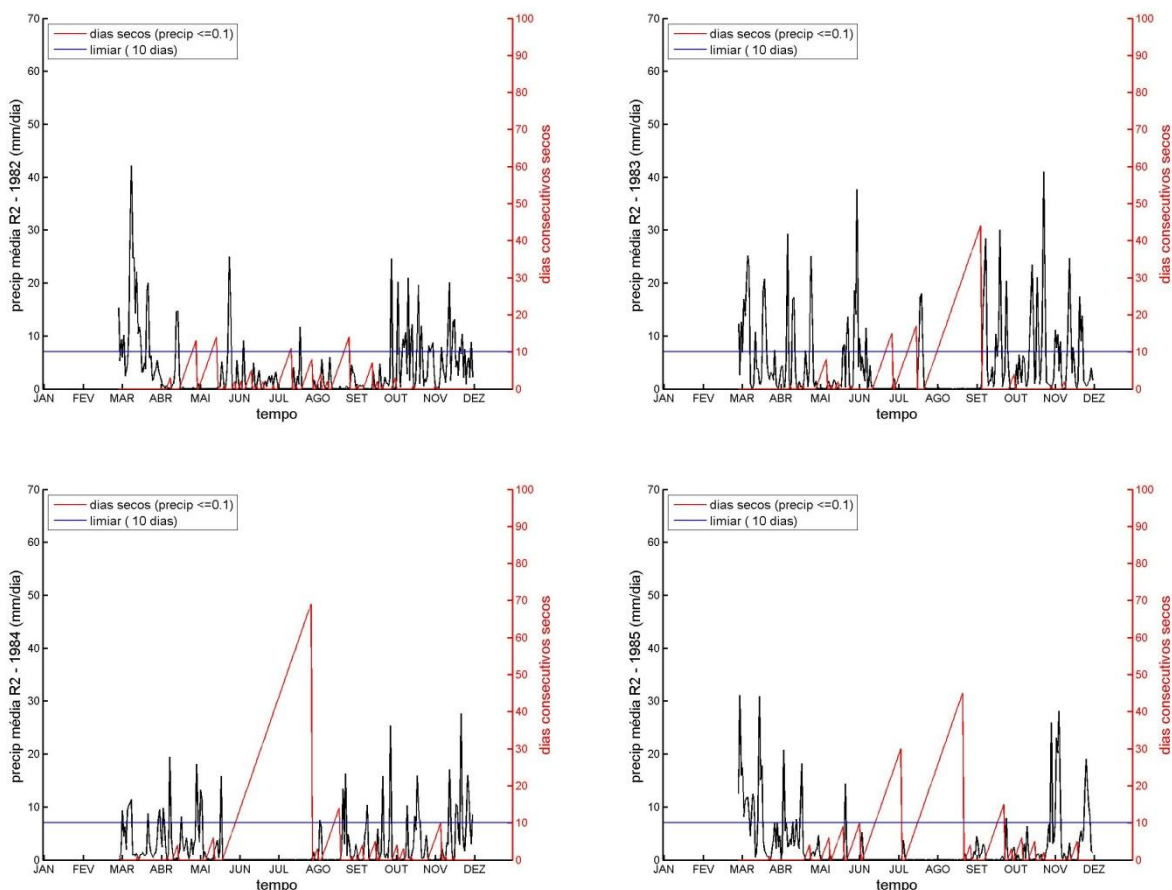
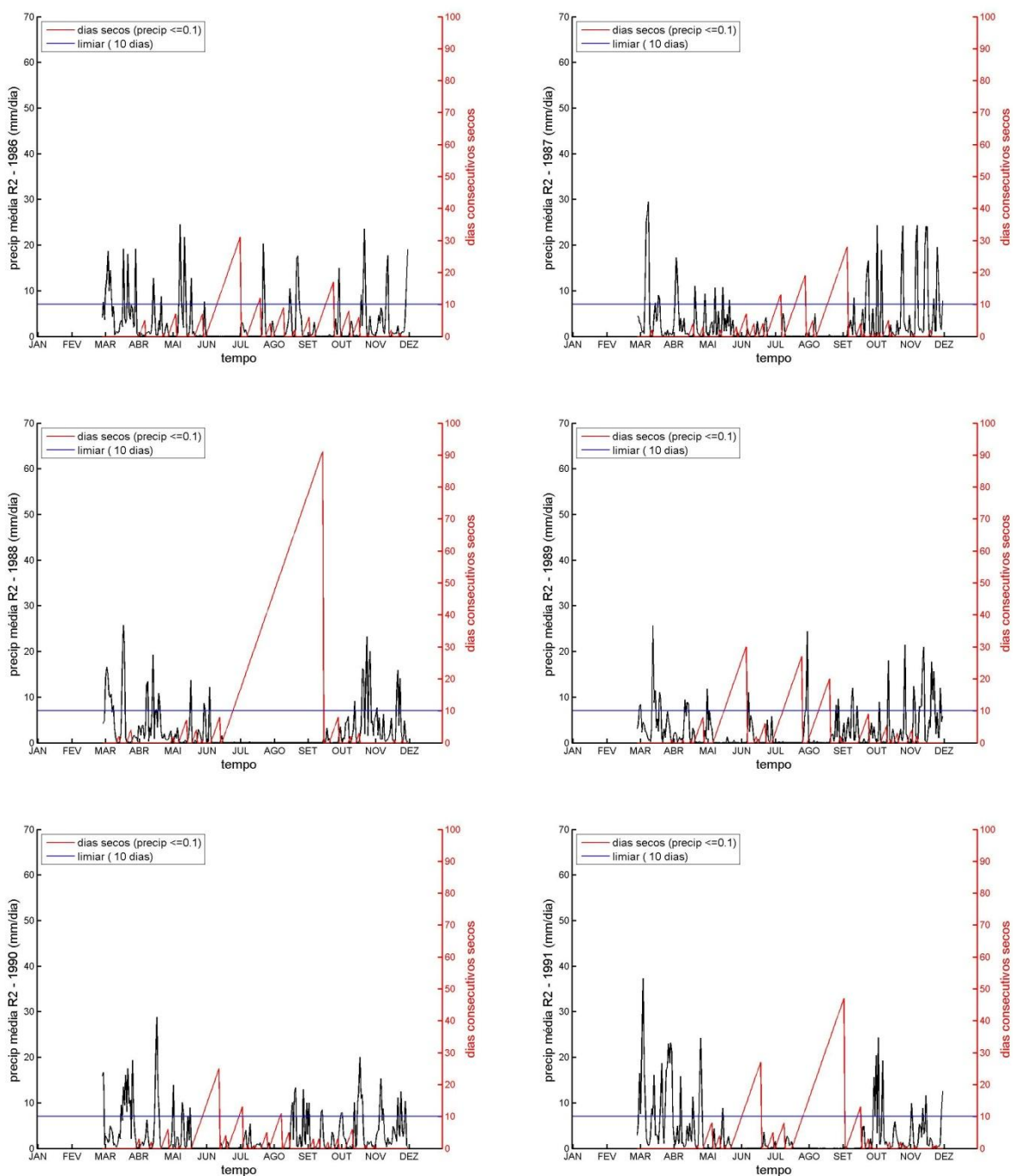
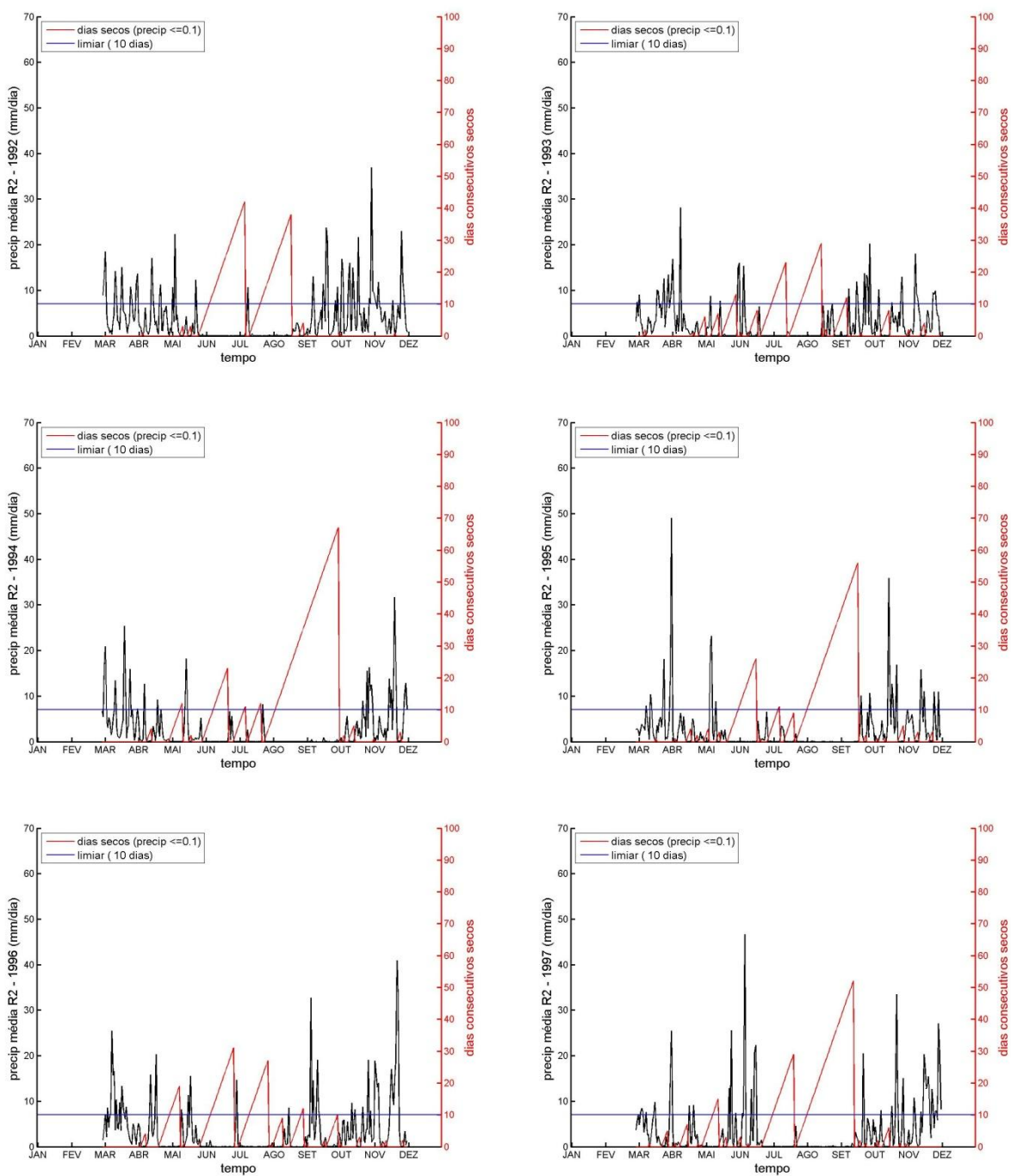


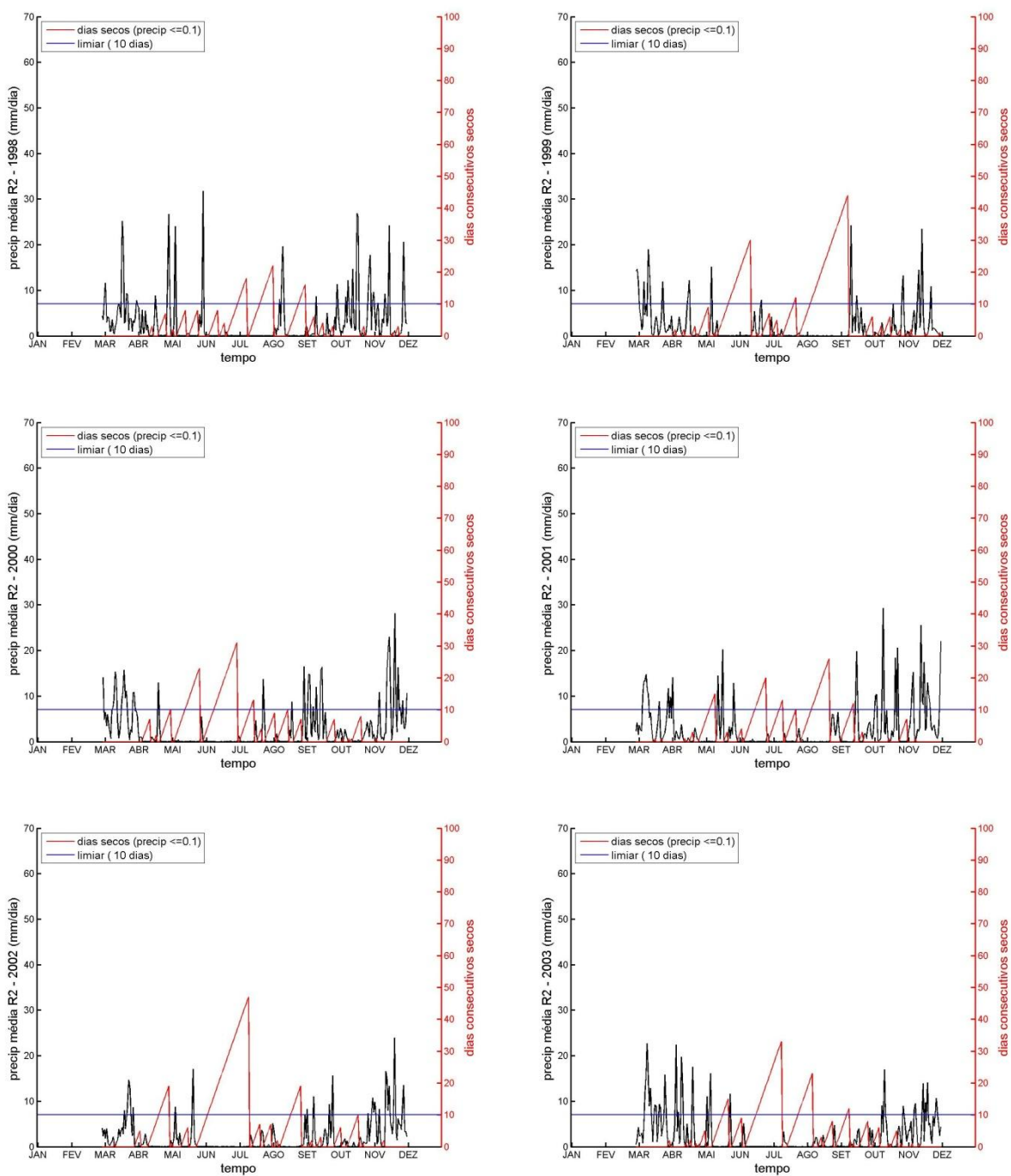
Figura A.2: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R2 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



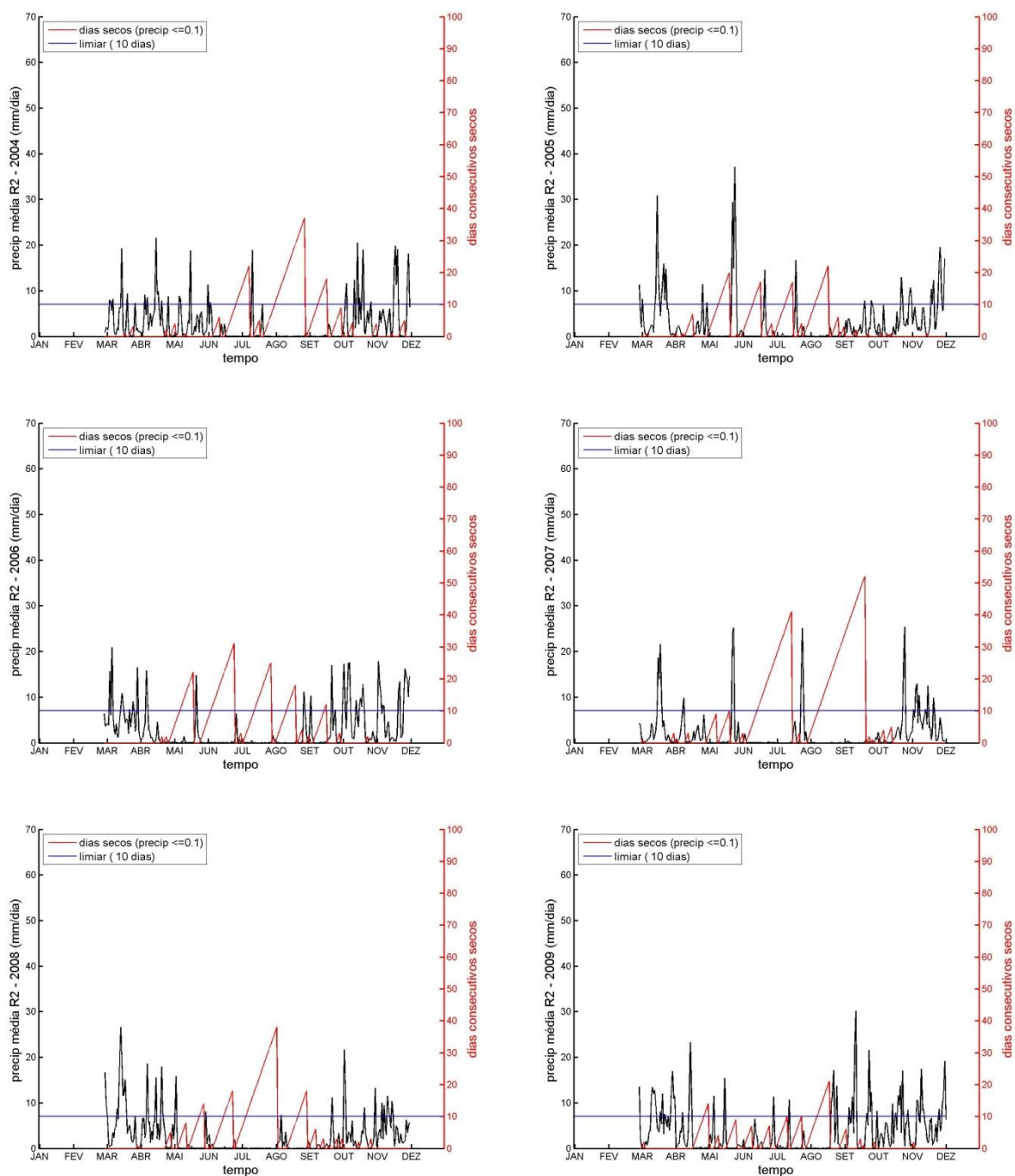
Continuação da Figura A.2: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R2 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



Continuação da Figura A.2: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R2 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



Continuação da Figura A.2: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R2 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



Continuação da Figura A.2: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R2 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.

A.3. REGIÃO R3

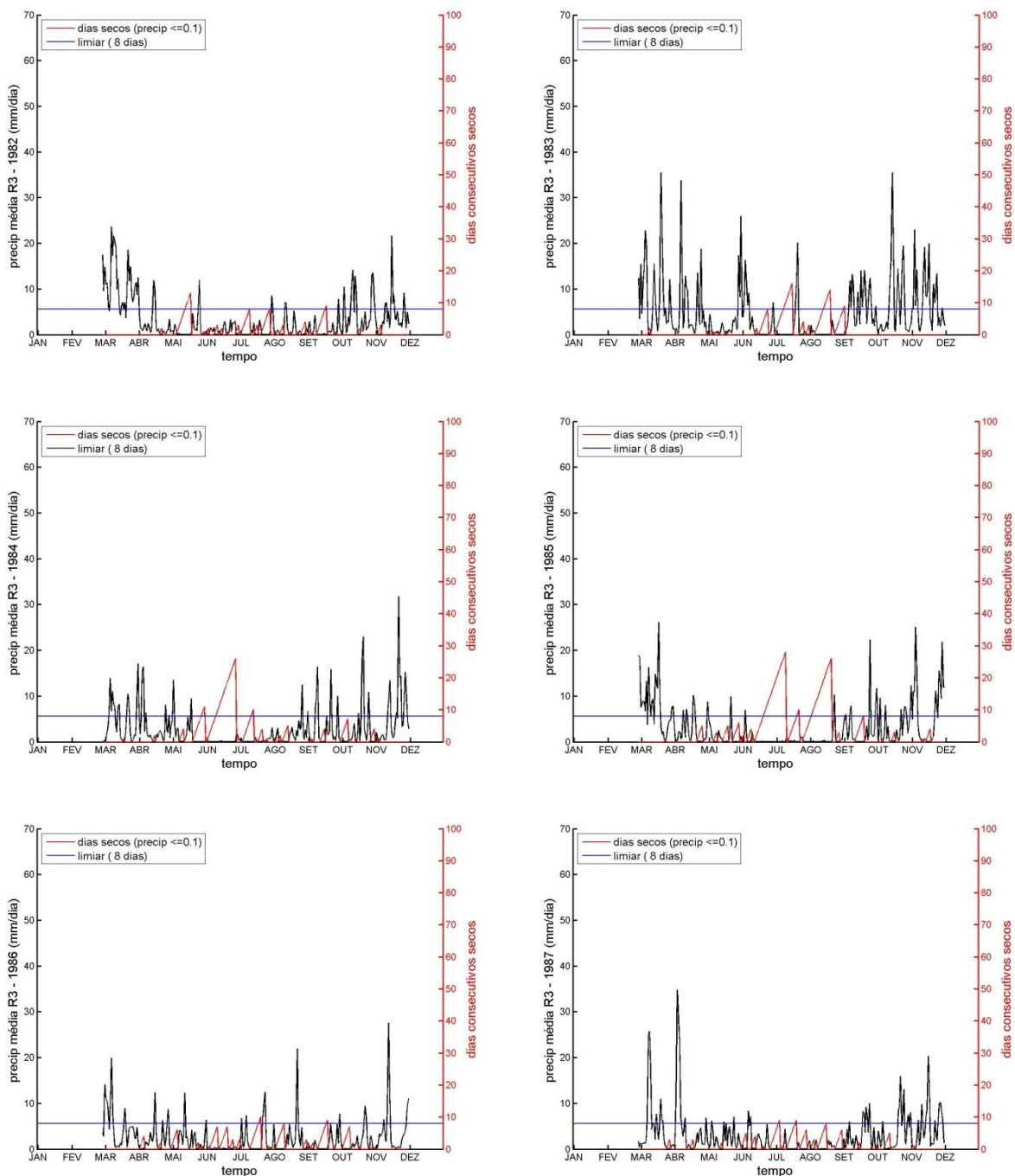
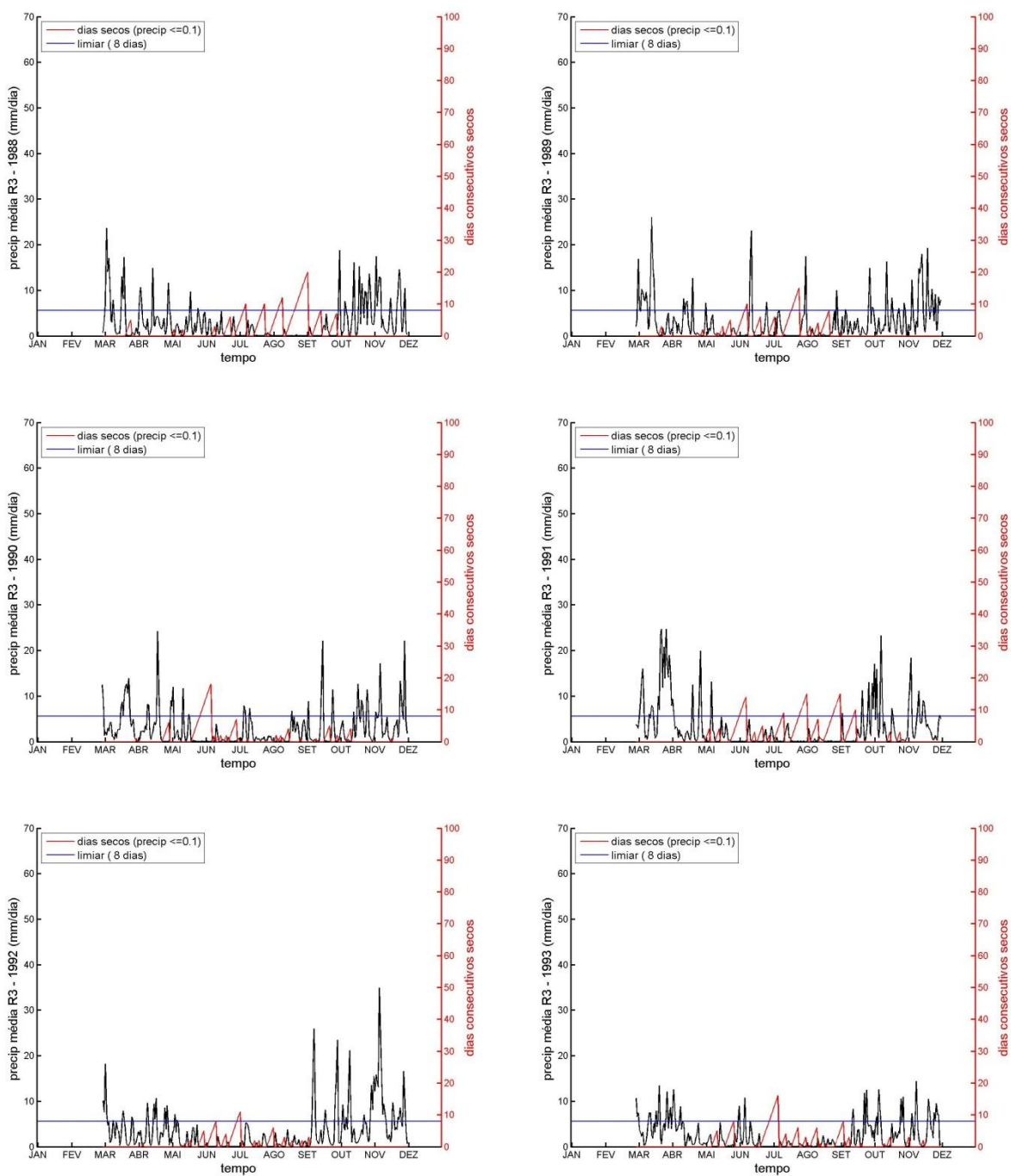
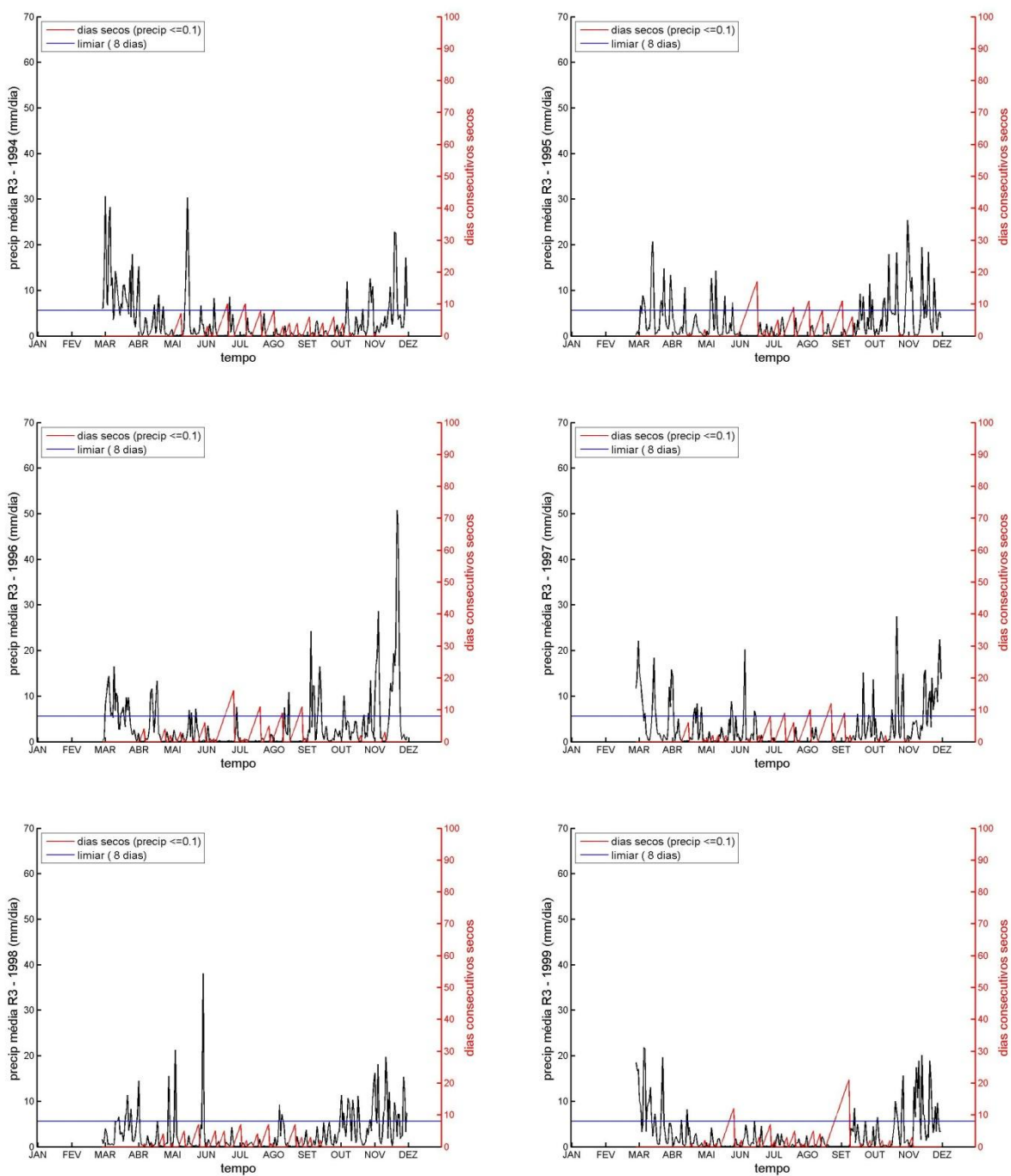


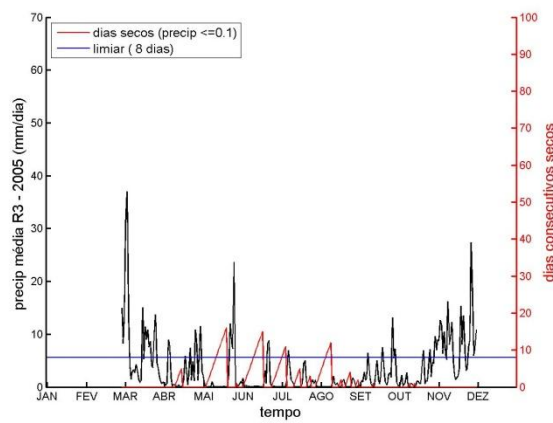
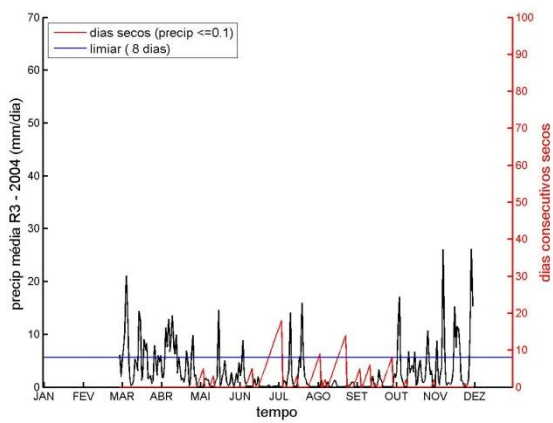
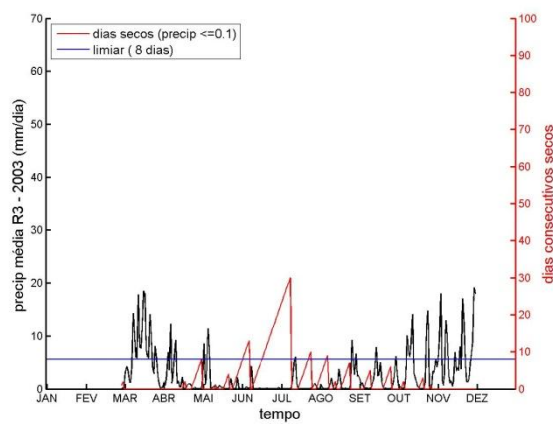
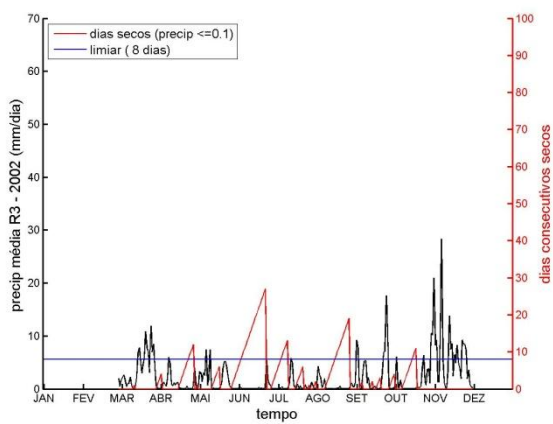
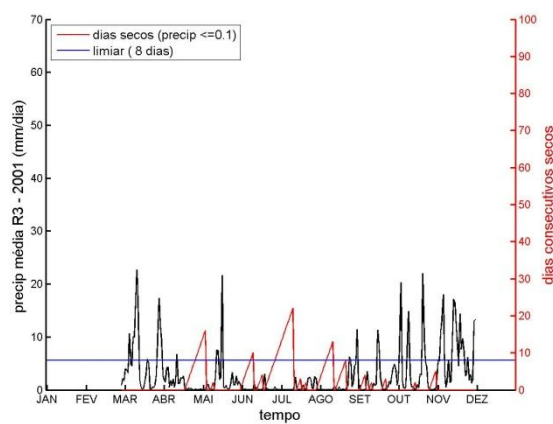
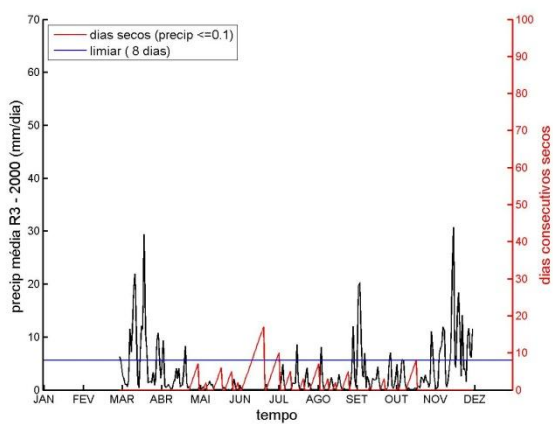
Figura A.3: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R3 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



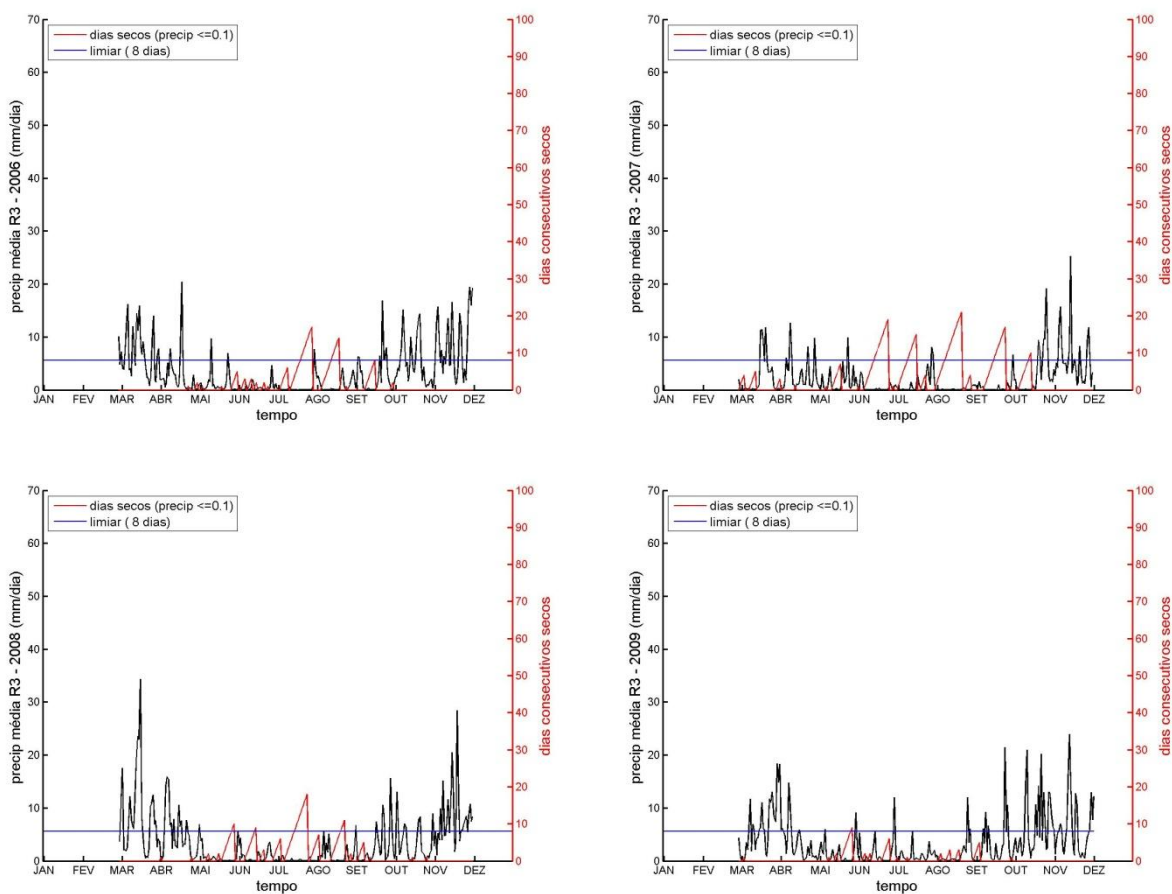
Continuação da Figura A.3: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R3 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



Continuação da Figura A.3: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R3 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



Continuação da Figura A.3: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R3 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



Continuação da Figura A.3: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R3 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.

A.4. REGIÃO R4

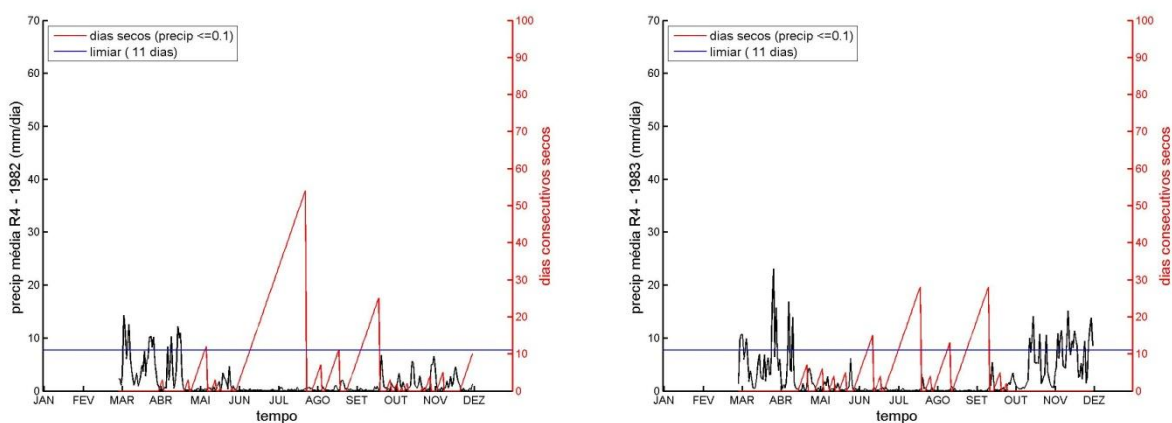
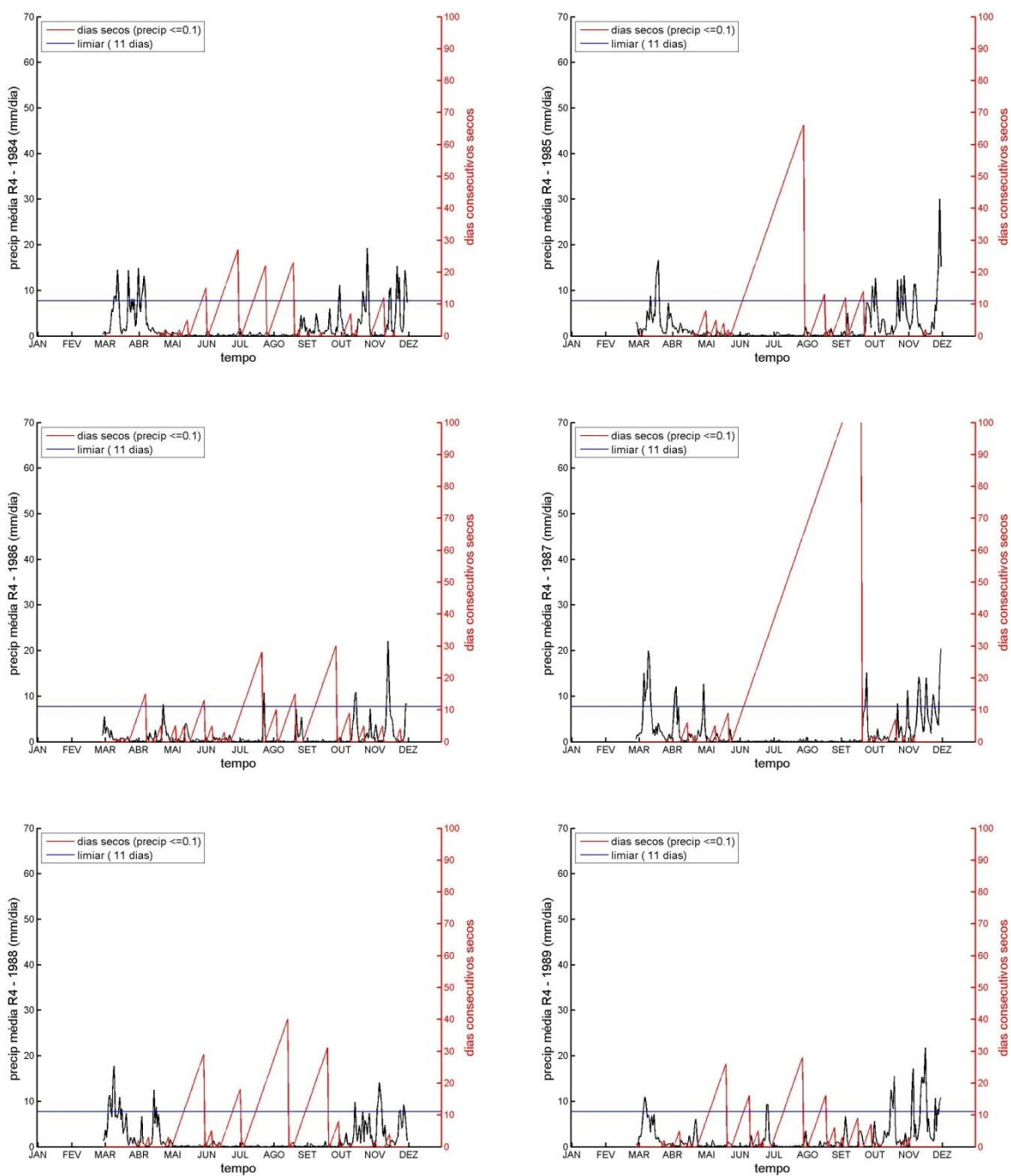
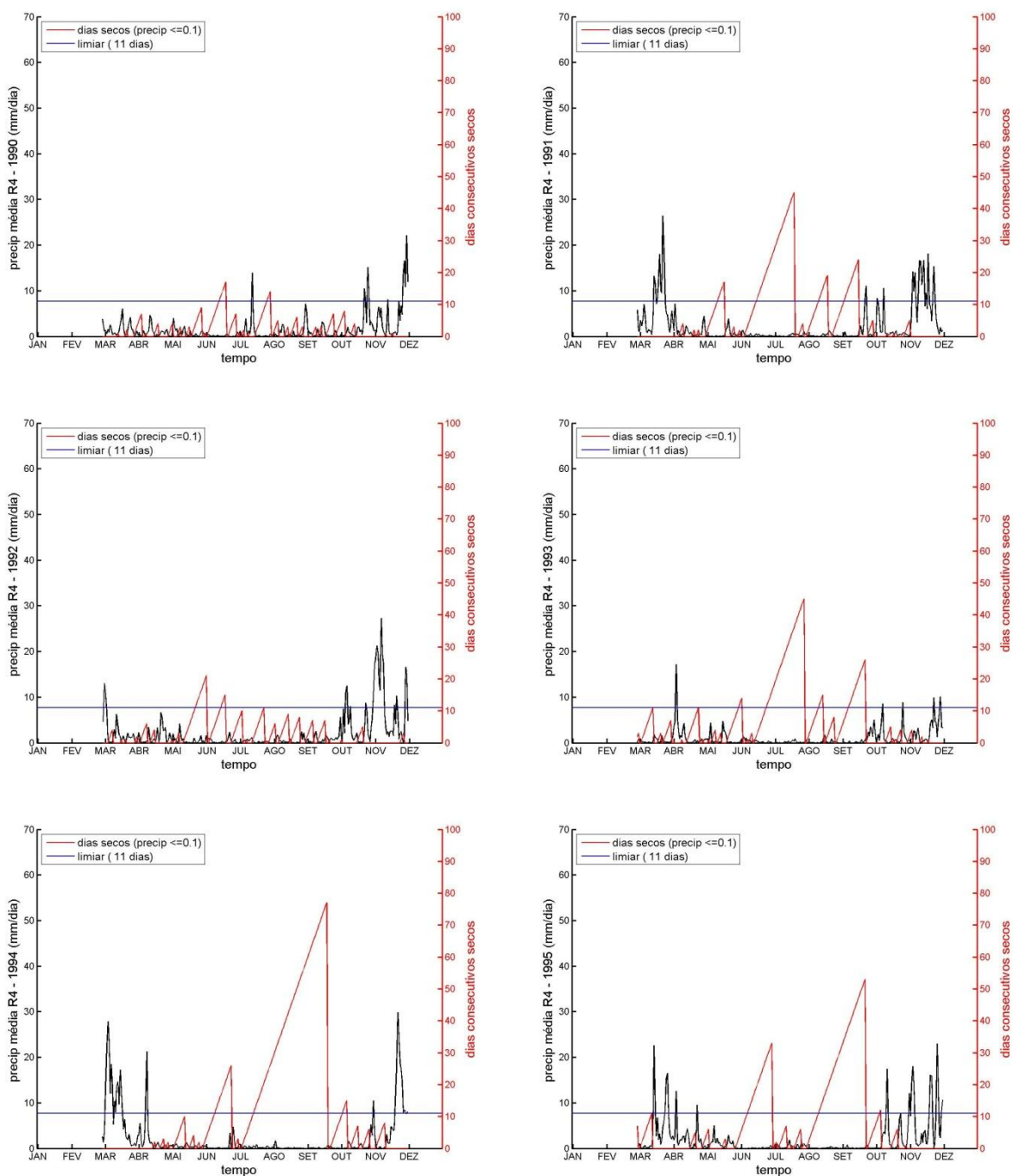


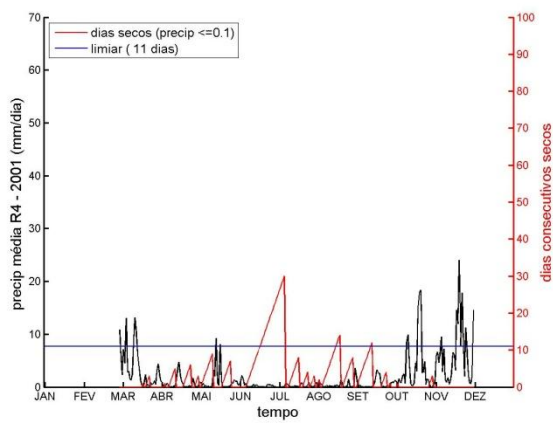
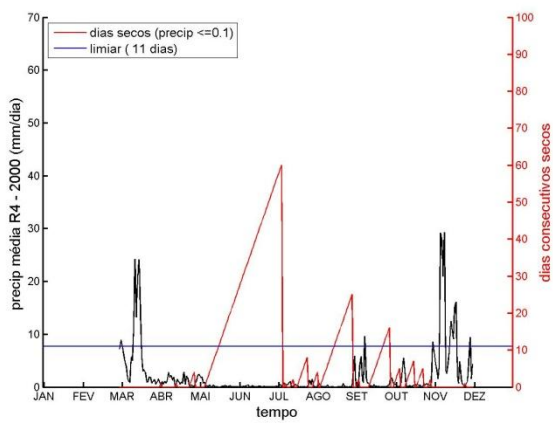
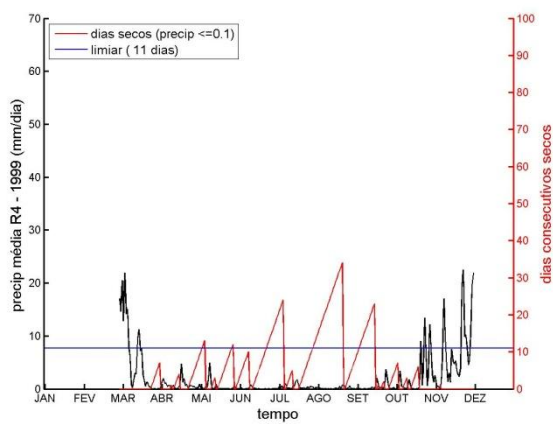
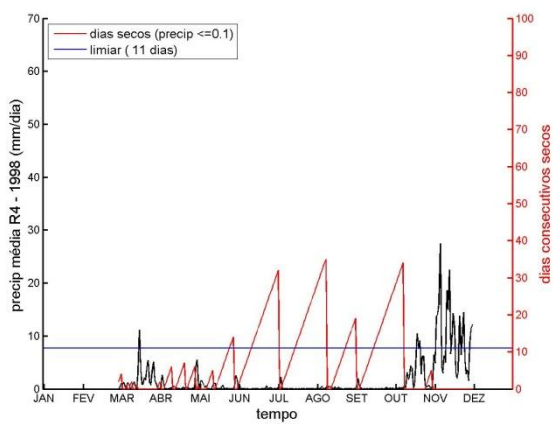
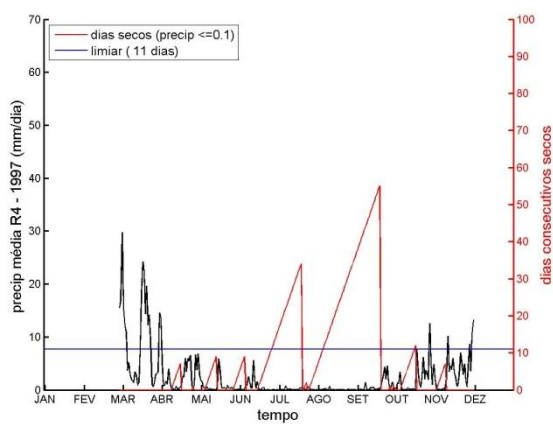
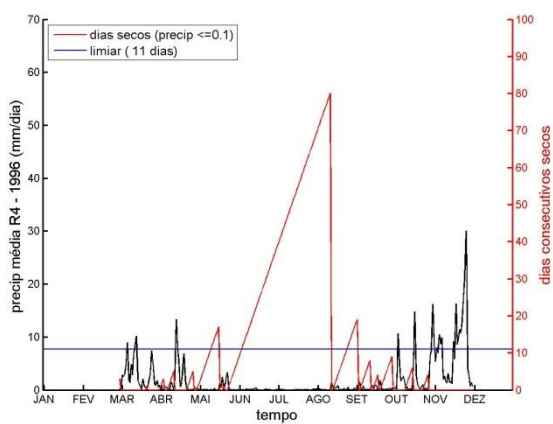
Figura A.4: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R4 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



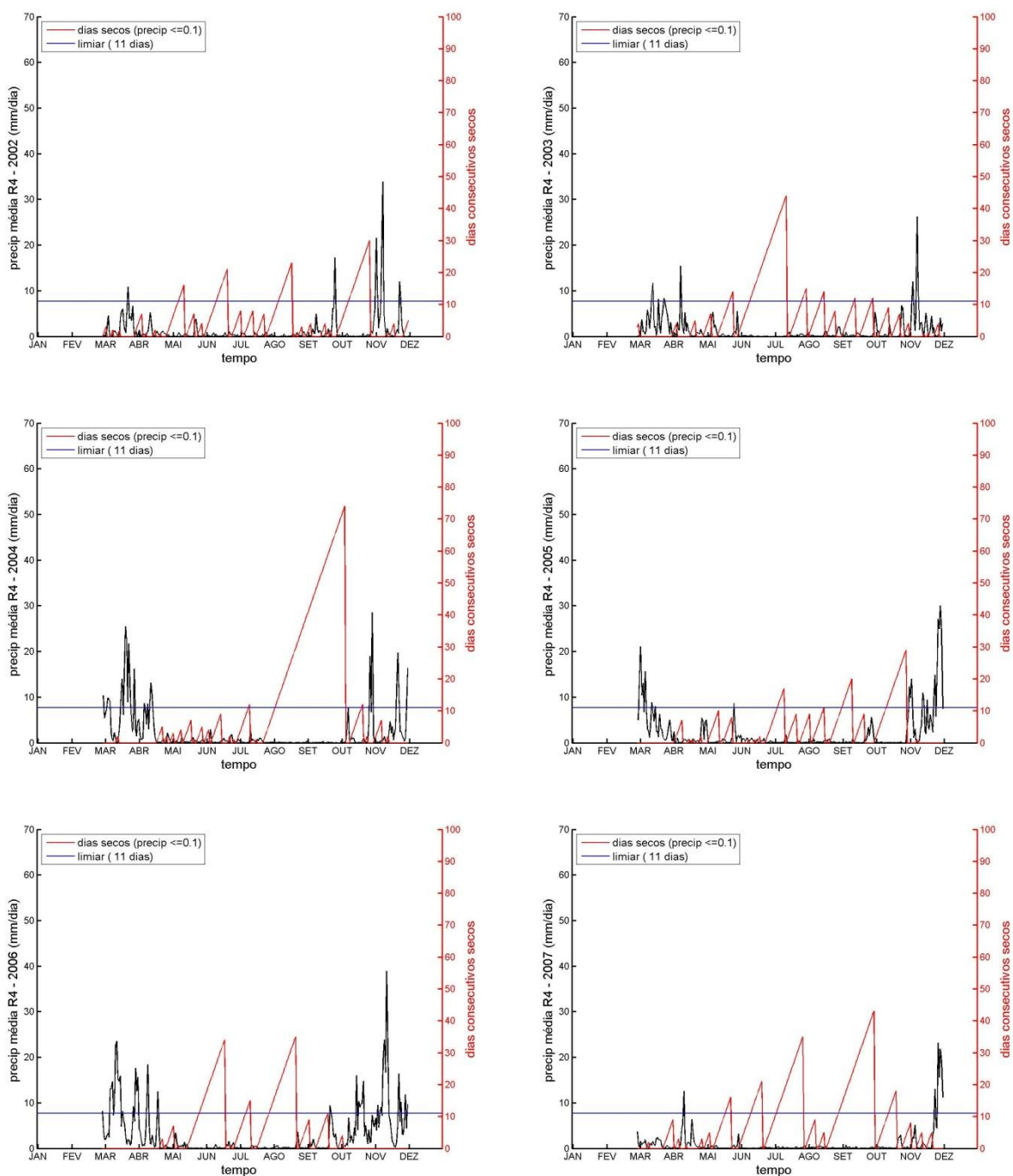
Continuação da Figura A.4: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R4 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



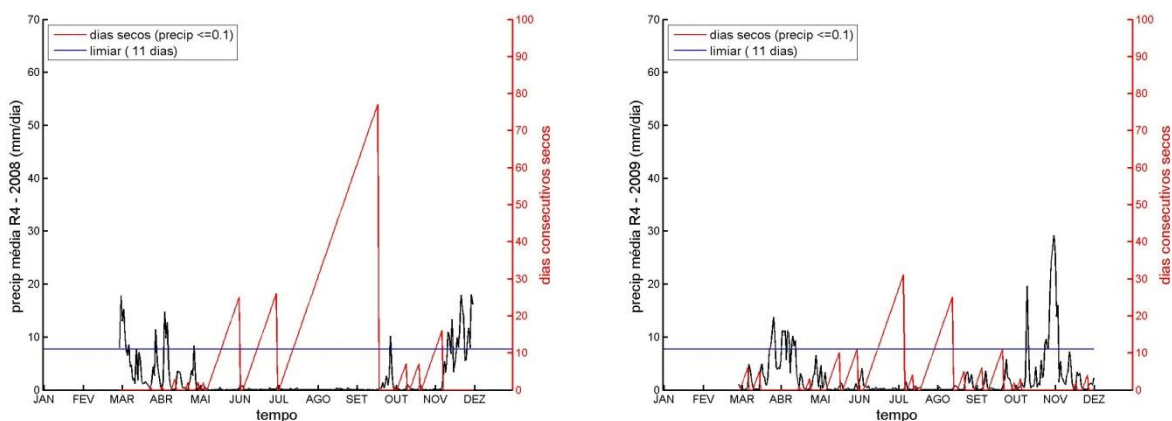
Continuação da Figura A.4: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R4 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



Continuação da Figura A.4: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R4 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



Continuação da Figura A.4: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R4 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



Continuação da Figura A.4: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R4 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.

A.5. REGIÃO R5

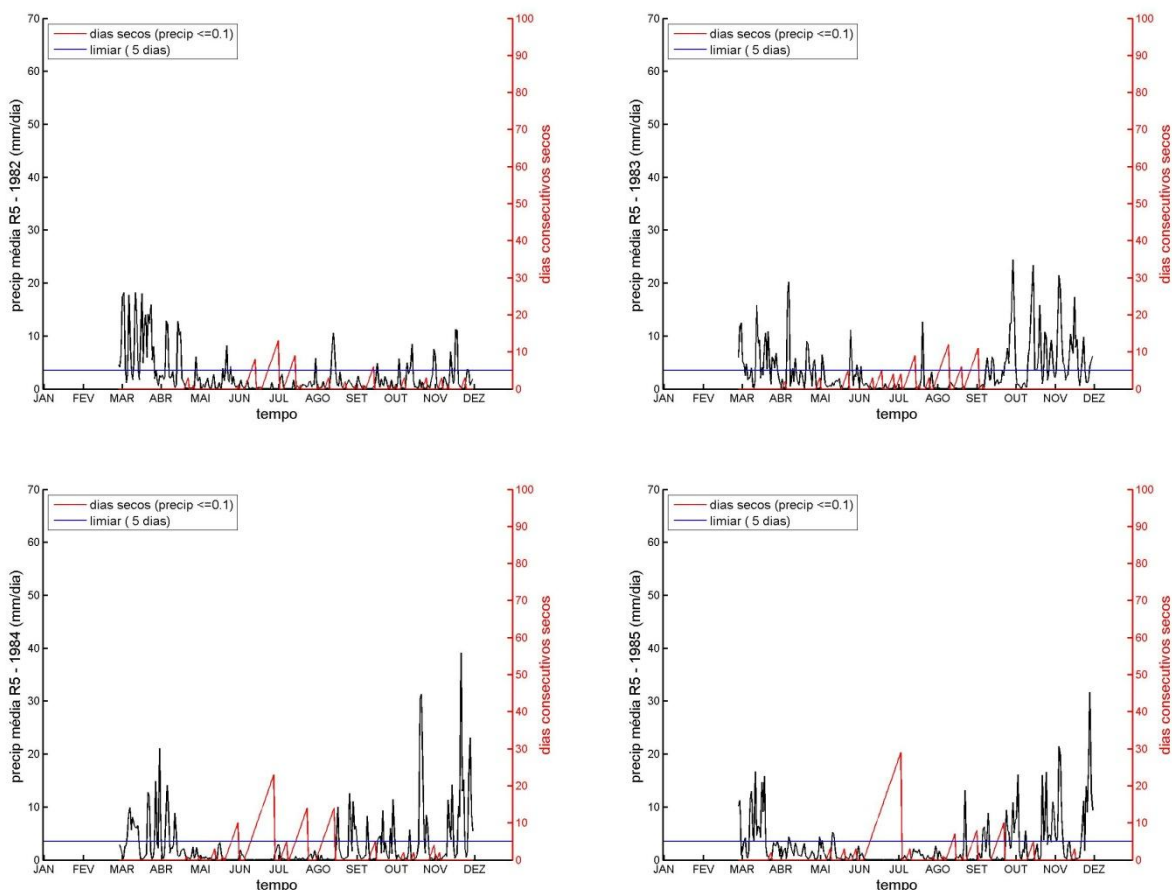
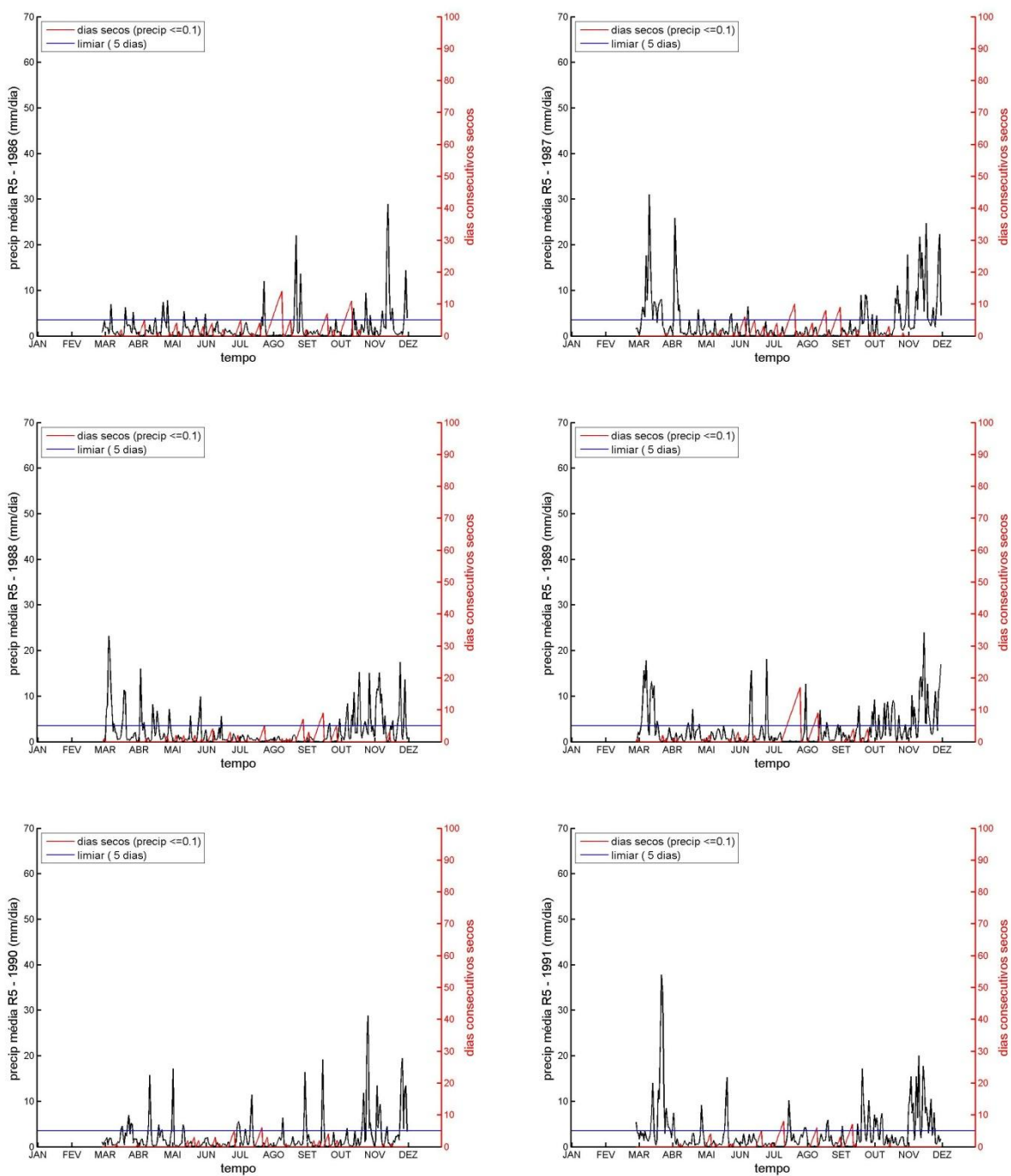
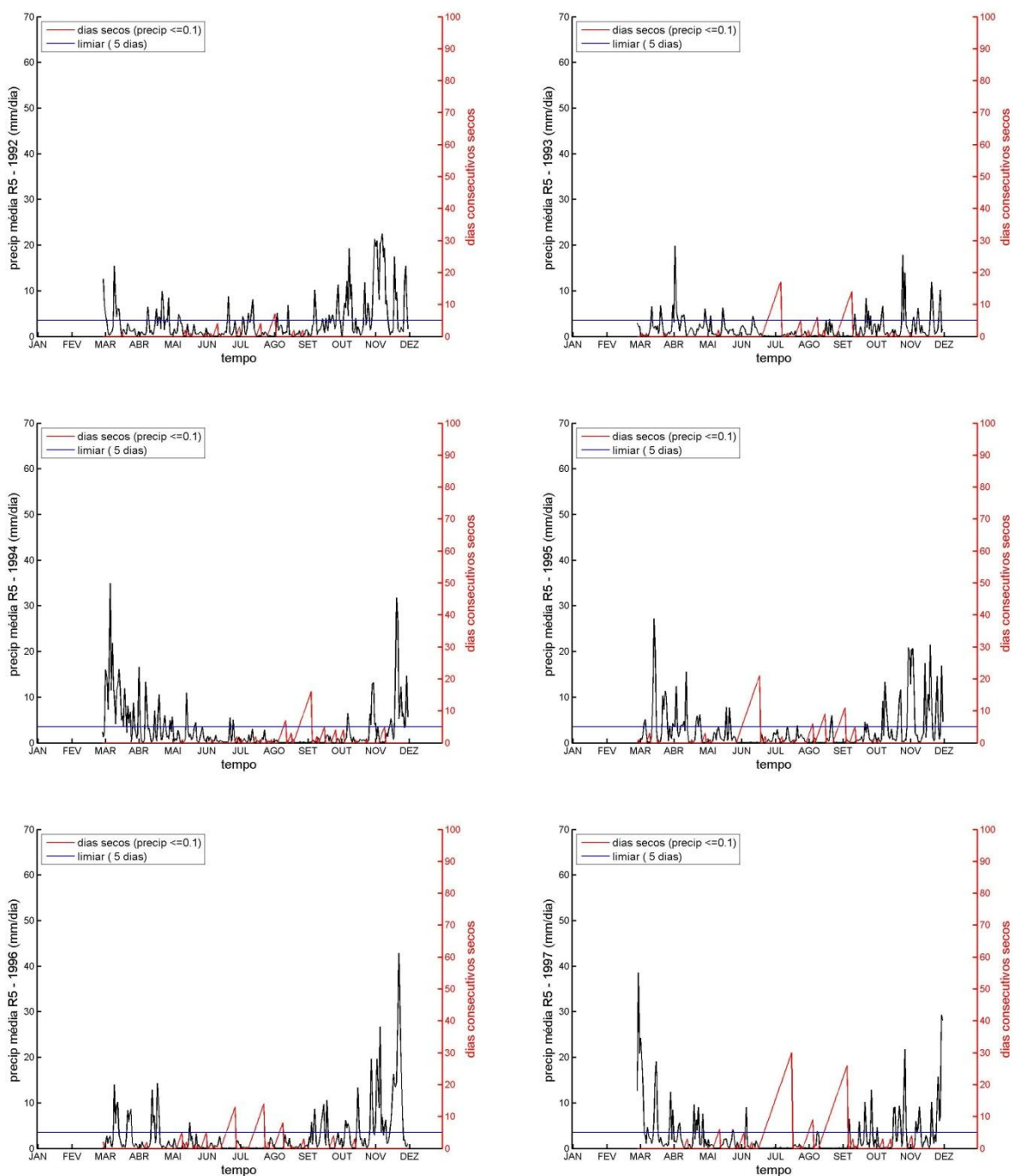


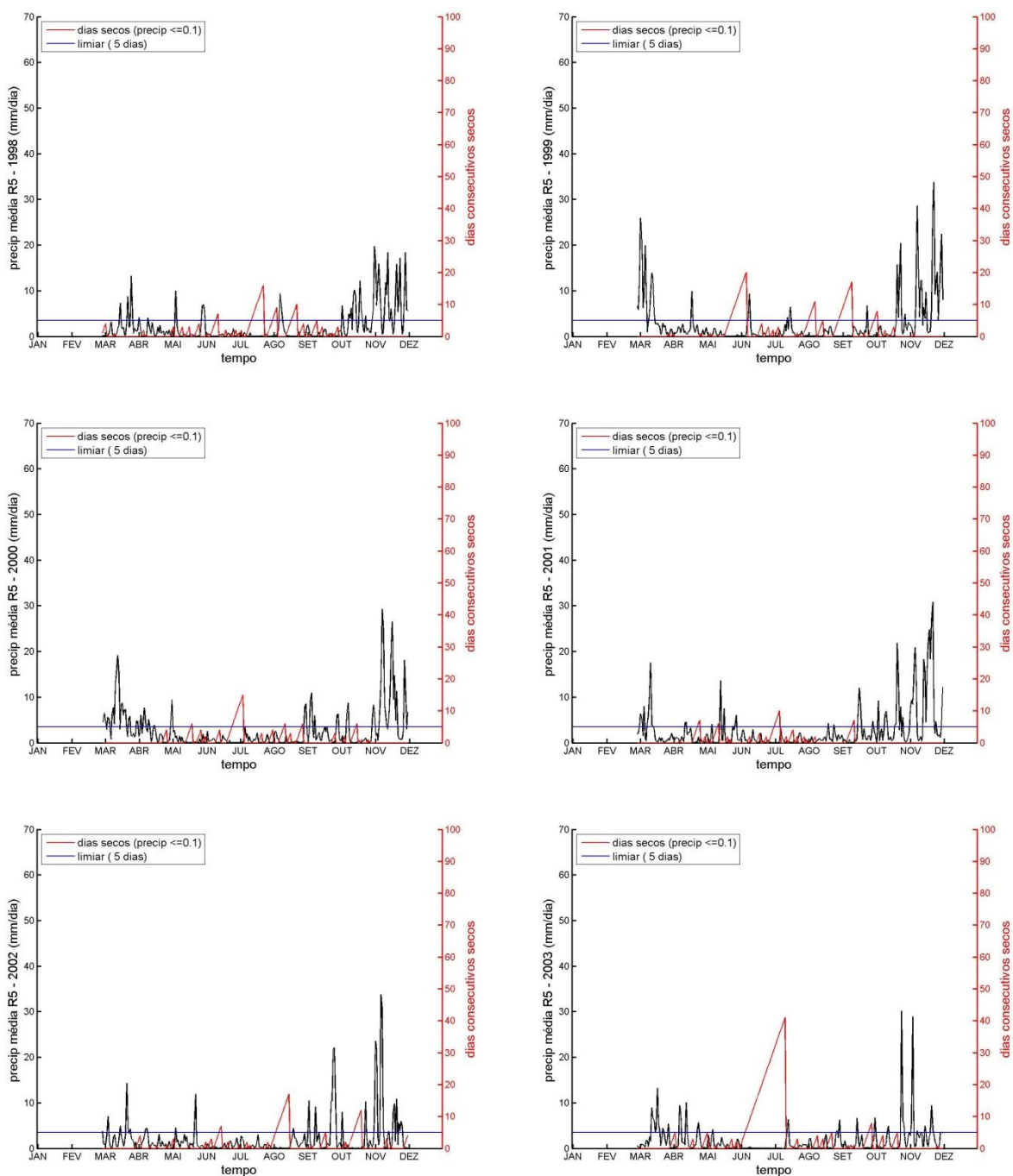
Figura A.5: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R5 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



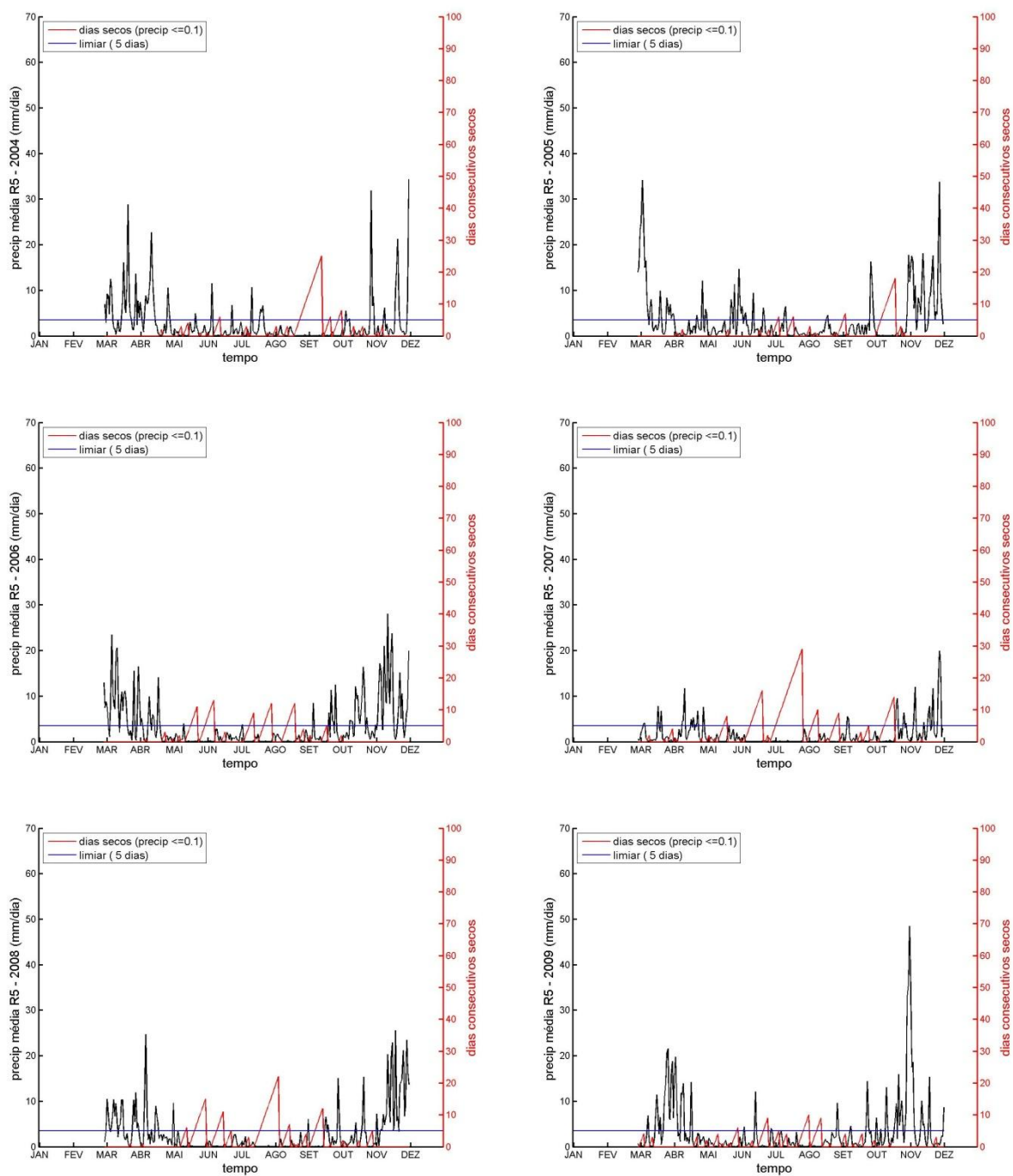
Continuação da Figura A.5: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R5 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



Continuação da Figura A.5: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R5 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



Continuação da Figura A.5: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R5 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.



Continuação da Figura A.5: Método dos Dias Consecutivos Secos para a região R5 no sudeste do Brasil em que a série de precipitação média diária para a região está em preto (mm), os dias consecutivos secos em vermelho e o limiar para a escolha dos eventos em azul.

ANEXO B - DATAS DOS EVENTOS EXTREMOS SECOS NO PERÍODO DE 1982 A 2009 NAS REGIÕES HOMOGÊNEAS DO SUDESTE DO BRASIL

B.1. REGIÃO R1

INICIO	FIM	DURAÇÃO (dias)	INICIO	FIM	DURAÇÃO (dias)
07/05/1982	16/05/1982	10	19/09/1994	25/09/1994	7
23/08/1983	31/08/1983	9	28/05/1995	08/06/1995	2
21/05/1984	29/05/1984	9	24/07/1995	03/08/1995	1
01/06/1984	12/06/1984	12	22/08/1995	02/09/1995	2
19/06/1984	02/07/1984	14	11/06/1996	18/06/1996	8
29/09/1984	05/10/1984	7	31/07/1996	07/08/1996	8
12/05/1985	18/05/1985	7	27/04/1997	03/05/1997	7
15/06/1986	25/06/1986	11	03/07/1997	17/07/1997	13
12/07/1986	19/07/1986	8	26/07/1997	02/08/1997	8
03/08/1986	10/08/1986	8	11/08/1997	19/08/1997	9
08/09/1986	17/09/1986	10	28/08/1997	04/09/1997	8
01/10/1986	07/10/1986	7	18/08/1999	07/09/1999	21
16/07/1988	23/07/1988	9	05/04/2000	13/04/2000	9
14/05/1989	24/05/1989	11	24/04/2000	01/05/2000	8
30/05/1989	05/06/1989	7	05/07/2000	14/07/2000	10
11/07/1989	23/07/1989	13	30/06/2001	10/07/2001	11
25/05/1991	05/06/1991	12	30/07/2001	20/08/2001	22
19/07/1991	01/08/1991	14	02/06/2002	13/06/2002	12
15/08/1991	30/08/1991	16	26/06/2002	06/07/2002	11
04/09/1991	17/09/1991	14	24/07/2002	30/07/2002	7
13/06/1992	20/06/1992	8	26/05/2003	02/06/2003	8
19/05/1993	26/05/1993	8	12/06/2003	05/07/2003	24
23/06/1993	06/07/1993	14	19/07/2003	27/07/2003	9
20/07/1993	26/07/1993	8	24/07/2004	07/08/2004	15
30/04/1994	09/05/1994	10	10/08/2004	26/08/2004	17
12/06/1994	18/06/1994	7	30/08/2004	10/09/2004	12
13/07/1994	21/07/1994	9	04/05/2005	20/05/2005	17
26/07/1994	02/08/1994	8	01/06/2005	16/06/2005	16

Tabela B.1: Datas dos eventos secos de 1982 a 2009 em R1.

INÍCIO	FIM	DURAÇÃO (dias)	INÍCIO	FIM	DURAÇÃO (dias)
10/07/2005	16/07/2005	7	01/07/2007	09/07/2007	9
27/07/2005	08/08/2005	13	14/08/2007	26/08/2007	13
26/05/2006	04/06/2006	10	05/09/2007	17/09/2007	13
13/07/2006	26/07/2006	14	02/10/2007	12/10/2007	11
04/08/2006	16/08/2006	13	20/05/2008	27/05/2008	8
05/09/2006	14/09/2006	10	01/07/2008	23/07/2008	23
05/06/2007	24/06/2007	20	18/05/2009	24/05/2009	7

Continuação da Tabela B.1: Datas dos eventos secos de 1982 a 2009 em R1.

B.2. REGIÃO R2

INÍCIO	FIM	DURAÇÃO (dias)	INÍCIO	FIM	DURAÇÃO (dias)
17/04/1982	29/04/1982	13	24/05/1991	19/06/1991	27
02/05/1982	15/05/1982	14	18/07/1991	02/09/1991	47
13/08/1982	26/08/1982	14	05/09/1991	17/09/1991	13
30/06/1983	16/07/1983	17	26/05/1992	06/07/1992	42
23/07/1983	04/09/1983	44	17/05/1993	29/05/1993	13
20/05/1984	27/07/1984	69	21/06/1993	13/07/1993	23
30/07/1984	18/08/1984	14	17/07/1993	14/08/1993	29
24/05/1985	02/06/1985	10	26/08/1993	06/09/1993	12
05/06/1985	04/07/1985	30	10/07/1994	21/07/1994	12
08/07/1985	21/08/1985	45	25/07/1994	29/09/1994	67
08/09/1985	22/09/1985	15	22/05/1995	16/06/1995	26
02/06/1986	02/07/1986	31	23/07/1995	16/09/1995	56
09/07/1986	20/07/1986	12	20/04/1996	08/05/1996	19
08/09/1986	24/09/1986	17	27/05/1996	26/06/1996	31
11/07/1987	29/07/1987	19	01/07/1996	27/07/1996	27
09/08/1987	05/09/1987	28	17/08/1996	28/08/1996	12
06/06/1988	14/09/1988	91	15/09/1996	28/09/1996	10
08/05/1989	06/06/1989	30	29/04/1997	13/05/1997	15
30/06/1989	26/07/1989	27	22/06/1997	20/07/1997	29
01/08/1989	20/08/1989	20	23/07/1997	12/09/1997	52
20/05/1990	13/06/1990	25	15/08/1998	30/08/1998	16
29/07/1990	08/08/1990	11	10/05/1999	11/06/1999	33

Tabela B.2: Datas dos eventos secos de 1982 a 2009 em R1.

INICIO	FIM	DURAÇÃO (dias)	INICIO	FIM	DURAÇÃO (dias)
11/07/1999	22/07/1999	12	22/07/2004	27/08/2004	37
26/07/1999	07/09/1999	44	30/08/2004	16/09/2004	18
21/04/2000	30/04/2000	10	01/05/2005	20/05/2005	20
04/05/2000	26/05/2000	23	01/06/2005	17/06/2005	17
30/05/2000	29/06/2000	31	30/06/2005	16/07/2005	17
02/07/2000	14/07/2000	13	27/07/2005	17/08/2005	22
26/04/2001	10/05/2001	15	28/04/2006	19/05/2006	22
28/06/2001	10/07/2001	13	26/05/2006	25/06/2006	31
27/07/2001	21/08/2001	26	04/07/2006	28/07/2006	25
01/09/2001	12/09/2001	12	02/08/2006	19/08/2006	18
11/04/2002	29/04/2002	19	05/09/2006	16/09/2006	12
25/05/2002	10/07/2002	47	05/06/2007	15/07/2007	41
04/08/2002	26/08/2002	19	30/07/2007	19/09/2007	52
08/10/2002	17/10/2002	10	15/05/2008	28/05/2008	14
08/05/2003	22/05/2003	15	06/06/2008	23/06/2008	18
07/06/2003	09/07/2003	33	26/06/2008	02/08/2008	38
15/07/2003	06/08/2003	23	12/08/2008	29/08/2008	18
28/08/2003	08/09/2003	12	17/04/2009	30/04/2009	14
17/06/2004	08/07/2004	22	28/07/2009	17/08/2009	21

Continuação da Tabela B.2: Datas dos eventos secos de 1982 a 2009 em R1.

B.3. REGIÃO R3

INÍCIO	FIM	DURAÇÃO (dias)	INÍCIO	FIM	DURAÇÃO (dias)
06/05/1982	18/05/1982	13	04/07/1984	13/07/1984	10
03/07/1982	10/07/1982	8	13/06/1985	10/07/1985	28
21/07/1982	28/07/1982	8	13/07/1985	22/07/1985	10
09/09/1982	17/09/1982	9	26/07/1985	20/08/1985	26
01/07/1983	16/07/1983	16	11/09/1985	18/09/1985	8
06/08/1983	19/08/1983	14	03/08/1986	10/08/1986	8
24/08/1983	01/09/1983	9	10/09/1986	18/09/1986	9
20/05/1984	30/05/1984	11	12/07/1987	20/07/1987	9
02/06/1984	27/06/1984	26	03/08/1987	16/08/1987	8

Tabela B.3: Datas dos eventos secos de 1982 a 2009 em R3.

INÍCIO	FIM	DURAÇÃO (dias)
28/06/1988	07/07/1988	10
15/07/1988	24/07/1988	10
29/07/1988	09/08/1988	12
13/08/1988	01/09/1988	20
06/09/1988	13/09/1988	8
30/05/1989	08/06/1989	10
11/07/1989	25/07/1989	15
20/05/1990	06/06/1990	18
25/05/1991	07/06/1991	14
17/08/1991	31/08/1991	15
05/09/1991	14/09/1991	10
03/06/1992	10/06/1992	8
21/06/1993	06/07/1993	16
27/08/1993	03/09/1993	8
26/07/1994	02/08/1994	8
01/06/1995	17/06/1995	17
12/07/1995	20/07/1995	9
24/07/1995	03/08/1995	11
08/08/1995	15/08/1995	8
23/08/1995	02/09/1995	11
08/06/1996	26/06/1996	16
01/08/1996	09/08/1996	9
17/08/1996	27/08/1996	11
04/07/1997	12/07/1997	9
26/07/1997	04/08/1997	10
12/08/1997	23/08/1997	12
27/08/1997	04/09/1997	9
16/05/1999	27/05/1999	12
19/08/1999	08/09/1999	21
04/06/2000	20/06/2000	17

INÍCIO	FIM	DURAÇÃO (dias)
23/06/2000	02/07/2000	10
10/10/2000	17/10/2000	8
19/04/2001	04/05/2001	16
01/06/2001	10/06/2001	10
20/06/2001	11/07/2001	22
30/07/2001	11/08/2001	13
16/04/2002	27/04/2002	12
27/05/2002	22/06/2002	27
08/08/2002	26/08/2002	19
07/10/2002	17/10/2002	11
24/04/2003	01/05/2003	8
26/05/2003	07/06/2003	13
10/06/2003	09/07/2003	30
16/07/2003	25/07/2003	10
10/08/2004	23/08/2004	14
21/09/2004	28/09/2004	8
05/05/2005	20/05/2005	16
22/07/2005	09/08/2005	12
12/07/2006	28/07/2006	17
05/08/2006	18/08/2006	14
08/09/2006	15/09/2006	8
06/06/2007	24/06/2007	19
02/07/2007	16/07/2007	15
31/07/2007	20/08/2007	21
07/09/2007	23/09/2007	17
04/10/2007	13/10/2007	10
15/05/2008	28/05/2008	10
07/07/2008	24/07/2008	18
12/08/2008	22/08/2008	11
18/05/2009	26/05/2009	9

Continuação da Tabela B.3: Datas dos eventos secos de 1982 a 2009 em R3.

B.4. REGIÃO R4

INÍCIO	FIM	DURAÇÃO (dias)	INÍCIO	FIM	DURAÇÃO (dias)
26/04/1982	07/05/1982	12	13/07/1992	23/07/1992	11
31/05/1982	23/07/1982	54	04/03/1993	14/03/1993	11
29/05/1983	12/06/1983	15	14/04/1993	24/04/1993	11
22/06/1983	19/07/1983	28	20/05/1993	02/06/1993	14
30/07/1983	11/08/1983	13	14/06/1993	28/07/1993	45
14/08/1983	10/09/1983	28	31/07/1993	14/08/1993	15
18/05/1984	01/06/1984	15	27/08/1993	21/09/1993	26
04/06/1984	30/06/1984	27	30/05/1994	24/06/1994	26
28/07/1984	19/08/1984	23	04/07/1994	18/09/1994	77
29/10/1984	09/11/1984	12	22/09/1994	06/10/1994	15
25/05/1985	29/07/1985	66	03/03/1995	13/03/1995	11
05/08/1985	17/08/1985	13	28/05/1995	29/06/1995	33
25/08/1985	05/09/1985	12	31/07/1995	21/09/1995	53
25/03/1986	08/04/1986	15	24/09/1995	05/10/1995	12
25/06/1986	22/07/1986	28	30/04/1996	16/05/1996	17
07/08/1986	21/08/1986	15	24/05/1996	11/08/1996	80
29/08/1986	27/09/1986	30	14/08/1996	01/09/1996	19
26/05/1987	19/09/1987	117	16/06/1997	19/07/1997	34
02/05/1988	30/05/1988	29	26/07/1997	18/09/1997	55
15/06/1988	02/07/1988	18	05/10/1997	16/10/1997	12
06/07/1988	14/08/1988	40	15/05/1998	28/05/1998	14
20/08/1988	19/09/1988	31	01/06/1998	02/07/1998	32
25/04/1989	20/05/1989	26	05/07/1998	08/08/1998	35
26/05/1989	10/06/1989	16	13/08/1998	31/08/1998	19
01/07/1989	28/07/1989	28	04/09/1998	07/10/1998	34
03/08/1989	18/08/1989	16	16/05/1999	27/05/1999	12
03/06/1990	19/06/1990	17	12/06/1999	05/07/1999	24
16/07/1990	29/07/1990	14	18/07/1999	20/08/1999	34
01/05/1991	17/05/1991	17	23/08/1999	14/08/1999	23
05/06/1991	19/07/1991	45	06/05/2000	04/07/2000	60
31/07/1991	18/08/1991	19	04/08/2000	28/08/2000	25
23/08/1991	15/09/1991	24	11/09/2000	26/09/2000	16
12/05/1992	01/06/1992	21	07/06/2001	06/07/2001	30
04/06/1992	18/06/1992	15	01/09/2001	12/09/2001	12

Tabela B.4: Datas dos eventos secos de 1982 a 2009 em R4.

INÍCIO	FIM	DURAÇÃO (dias)
27/04/2002	12/05/2002	16
31/05/2002	20/06/2002	21
26/07/2002	17/08/2002	23
27/09/2002	26/10/2002	30
30/05/2003	12/07/2003	44
16/07/2003	30/07/2003	15
02/08/2003	15/08/2003	14
18/09/2003	28/09/2003	12
29/06/2004	10/07/2004	12
23/07/2004	04/10/2004	74
09/10/2004	20/10/2004	12
24/06/2005	10/07/2005	17
21/08/2005	09/09/2005	20
30/09/2005	28/10/2005	29
16/05/2006	18/06/2006	34
27/06/2006	11/07/2006	15

INÍCIO	FIM	DURAÇÃO (dias)
18/07/2006	21/08/2006	35
09/09/2006	19/09/2006	11
08/05/2007	23/05/2007	16
31/05/2007	20/06/2007	21
23/06/2007	27/07/2007	35
18/08/2007	29/09/2007	43
02/10/2007	19/10/2007	18
08/05/2008	01/06/2008	25
05/06/2008	30/06/2008	26
03/07/2008	17/09/2008	77
22/10/2008	06/11/2008	16
20/05/2009	30/05/2009	11
05/06/2009	05/07/2009	31
19/07/2009	12/08/2009	25
10/09/2009	20/09/2009	11

Continuação da Tabela B.4: Datas dos eventos secos de 1982 a 2009 em R4.

B.5. REGIÃO R5

INICIO	FIM	DURAÇÃO (dias)
07/07/1982	15/07/1982	9
09/09/1982	14/09/1982	6
20/05/1983	24/05/1983	5
07/07/1983	15/07/1983	9
30/07/1983	10/08/1983	12
15/08/1983	20/08/1983	6
23/08/1983	02/09/1983	11
22/05/1984	31/05/1984	10
06/06/1984	28/06/1984	23
01/08/1984	14/08/1984	14
06/06/1985	04/07/1985	29
09/08/1985	15/08/1985	7
13/09/1985	22/09/1985	10
11/10/1985	15/10/1985	5
03/04/1986	07/04/1986	5

INICIO	FIM	DURAÇÃO (dias)
29/06/1986	03/07/1986	5
27/07/1986	09/08/1986	14
13/08/1986	17/08/1986	5
13/09/1986	19/09/1986	7
01/10/1986	11/10/1986	11
01/06/1987	06/06/1987	6
12/07/1987	21/07/1987	10
23/08/1987	31/08/1987	9
22/08/1988	28/08/1988	7
07/09/1988	15/09/1988	9
23/09/1988	27/09/1988	5
10/07/1989	26/07/1989	17
03/08/1989	11/08/1989	9
04/07/1991	11/07/1991	8
27/07/1992	02/08/1992	7

Tabela B.5: Datas dos eventos secos de 1982 a 2009 em R5.

INICIO	FIM	DURAÇÃO (dias)
21/06/1993	07/07/1993	17
21/07/1993	25/07/1993	5
27/08/1993	09/09/1993	14
20/08/1994	04/09/1994	16
12/09/1994	16/09/1994	5
05/11/1994	09/11/1994	5
29/05/1995	18/06/1995	21
08/08/1995	16/08/1995	9
08/09/1995	12/09/1995	5
06/05/1996	10/05/1996	5
15/06/1996	27/06/1996	13
10/07/1996	23/07/1996	14
08/05/1997	13/05/1997	6
31/05/1997	04/06/1997	5
18/06/1997	17/07/1997	30
28/07/1997	05/08/1997	9
11/08/1997	05/09/1997	26
06/06/1998	12/06/1998	7
08/07/1998	23/07/1998	16
27/07/1998	04/08/1998	9
13/08/1998	22/08/1998	10
05/09/1998	09/09/1998	5
18/05/1999	06/06/1999	20
28/07/1999	07/08/1999	11
10/08/1999	14/08/1999	5
24/08/1999	09/09/1999	17
25/09/1999	02/10/1999	8
14/05/2000	19/05/2000	6
20/06/2000	04/07/2000	15
06/08/2000	11/08/2000	6
22/08/2000	27/08/2000	6
10/10/2000	15/10/2000	6
19/04/2001	25/04/2001	7
07/05/2001	12/05/2001	6
27/06/2001	06/07/2001	10
05/09/2001	11/09/2001	7

INICIO	FIM	DURAÇÃO (dias)
09/06/2002	15/06/2002	7
30/07/2002	15/08/2002	17
13/09/2002	17/09/2002	5
08/10/2002	19/10/2002	12
30/03/2003	03/04/2003	5
28/04/2003	02/05/2003	5
01/06/2003	11/07/2003	41
20/09/2003	27/09/2003	8
16/10/2003	20/10/2003	5
19/08/2004	12/09/2004	25
15/09/2004	20/09/2004	6
23/09/2004	30/09/2004	8
30/06/2005	05/07/2005	6
01/10/2005	18/10/2005	18
13/05/2006	23/05/2006	11
26/05/2006	07/06/2006	13
05/07/2006	13/07/2006	9
18/07/2006	29/07/2006	12
08/08/2006	19/08/2006	12
13/09/2006	17/09/2006	5
12/05/2007	19/05/2007	8
05/06/2007	20/06/2007	16
28/06/2007	26/07/2007	29
31/07/2007	09/08/2007	10
20/08/2007	28/08/2007	9
20/09/2007	24/09/2007	5
04/10/2007	17/10/2007	14
08/05/2008	13/05/2008	6
16/05/2008	30/05/2008	15
05/06/2008	15/06/2008	11
18/06/2008	22/06/2008	5
14/07/2008	04/08/2008	22
02/09/2008	13/09/2008	12
24/10/2008	28/10/2008	5
22/07/2009	31/07/2009	10
03/08/2009	11/08/2009	9

Continuação da Tabela B.5: Datas dos eventos secos de 1982 a 2009 em R5.

ANEXO C - MAPAS DOS PADRÕES ESPACIAIS, CORRELAÇÕES HETEROGÊNEA E COEFICIENTE DE ESPANSÃO DAS ANÁLISES DE SVD

C.1. OUTONO

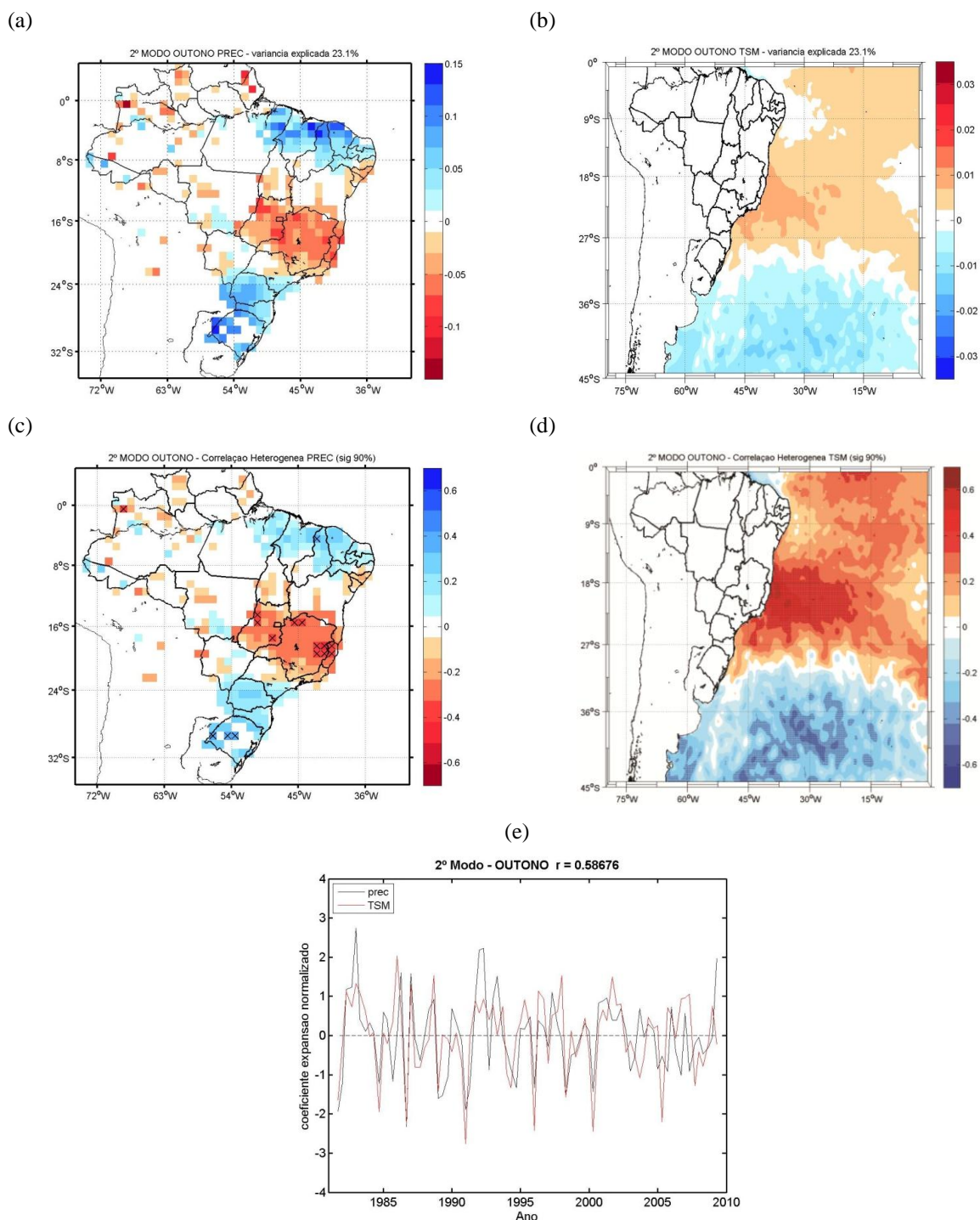


Figura C.1: 2º Modo do SVD para anomalia de TSM e precipitação para o outono representando 23.1% da variabilidade (a) padrão espacial da precipitação; (b) padrão espacial da TSM; (c) correlação heterogênea da precipitação; (d) correlação heterogênea da TSM; (e) coeficientes de expansão normalizados da precipitação (preto) e TSM (vermelho). Regiões com pontos (X) em cinza na correlação heterogênea da TSM (precipitação) apresentam significância estatística de 90%.

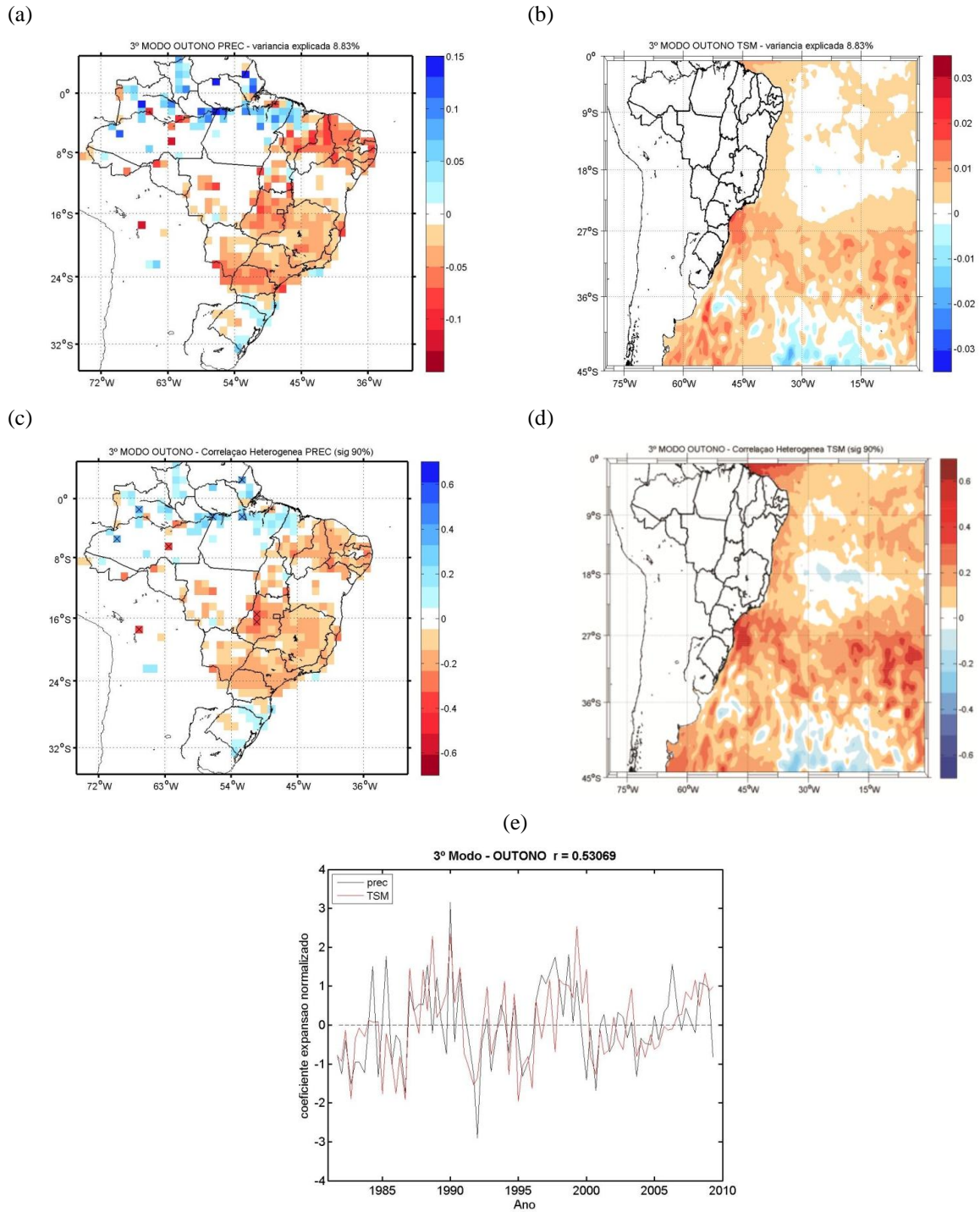


Figura C.2: 3º Modo do SVD para anomalia de TSM e precipitação para o outono representando 8.83% da variabilidade (a) padrão espacial da precipitação; (b) padrão espacial da TSM; (c) correlação heterogênea da precipitação; (d) correlação heterogênea da TSM; (e) coeficientes de expansão normalizados da precipitação (preto) e TSM (vermelho). Regiões com pontos (X) em cinza na correlação heterogênea da TSM (precipitação) apresentam significância estatística de 90%.

C.2. INVERNO

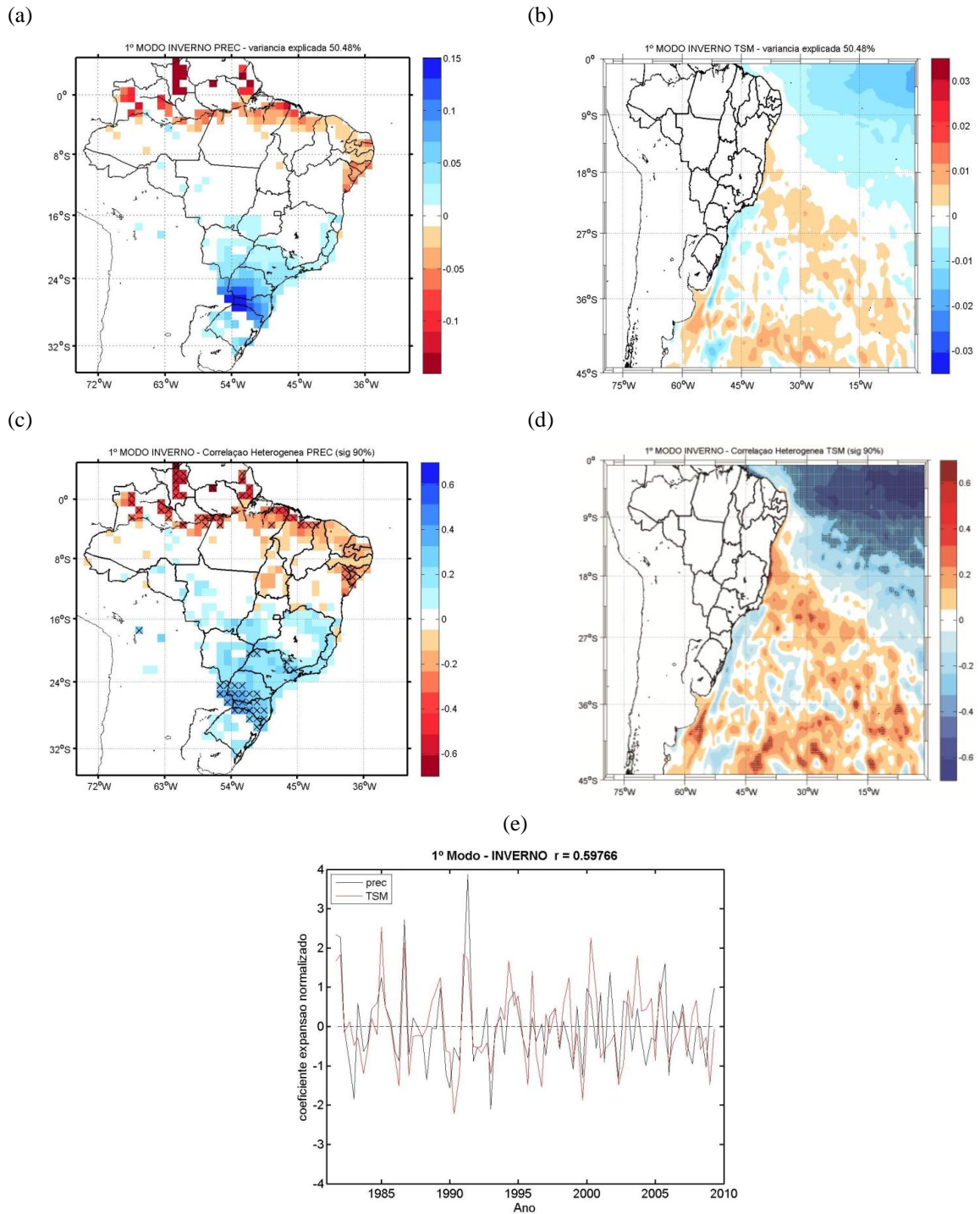


Figura C.3: 1º Modo do SVD para anomalia de TSM e precipitação para o inverno representando 50.48% da variabilidade (a) padrão espacial da precipitação; (b) padrão espacial da TSM; (c) correlação heterogênea da precipitação; (d) correlação heterogênea da TSM; (e) coeficientes de expansão normalizados da precipitação (preto) e TSM (vermelho). Regiões com pontos (X) em cinza na correlação heterogênea da TSM (precipitação) apresentam significância estatística de 90%.

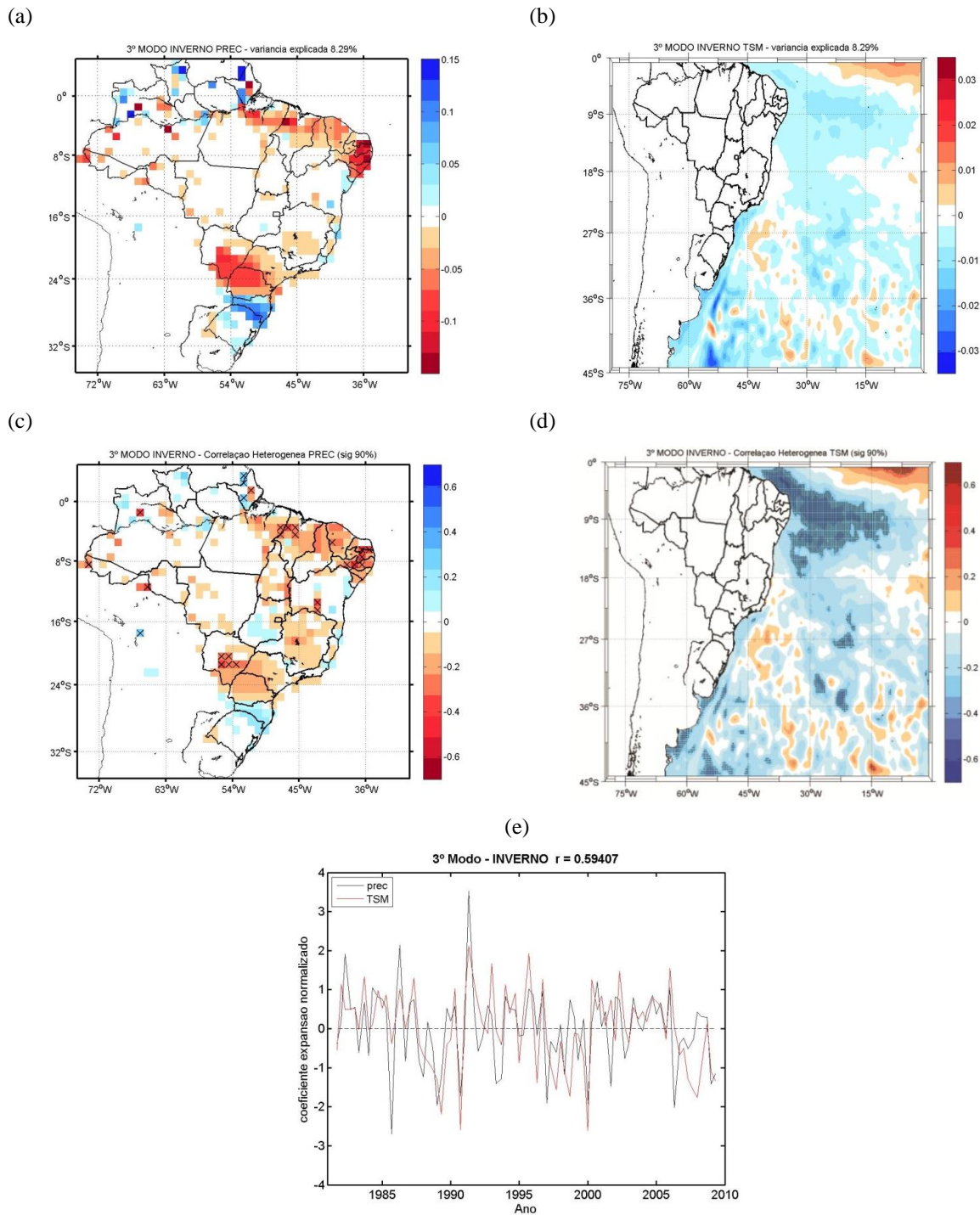


Figura C.4: 3º Modo do SVD para anomalia de TSM e precipitação para o inverno representando 8.29% da variabilidade (a) padrão espacial da precipitação; (b) padrão espacial da TSM; (c) correlação heterogênea da precipitação; (d) correlação heterogênea da TSM; (e) coeficientes de expansão normalizados da precipitação (preto) e TSM (vermelho). Regiões com pontos (X) em cinza na correlação heterogênea da TSM (precipitação) apresentam significância estatística de 90%.

C.3. PRIMAVERA

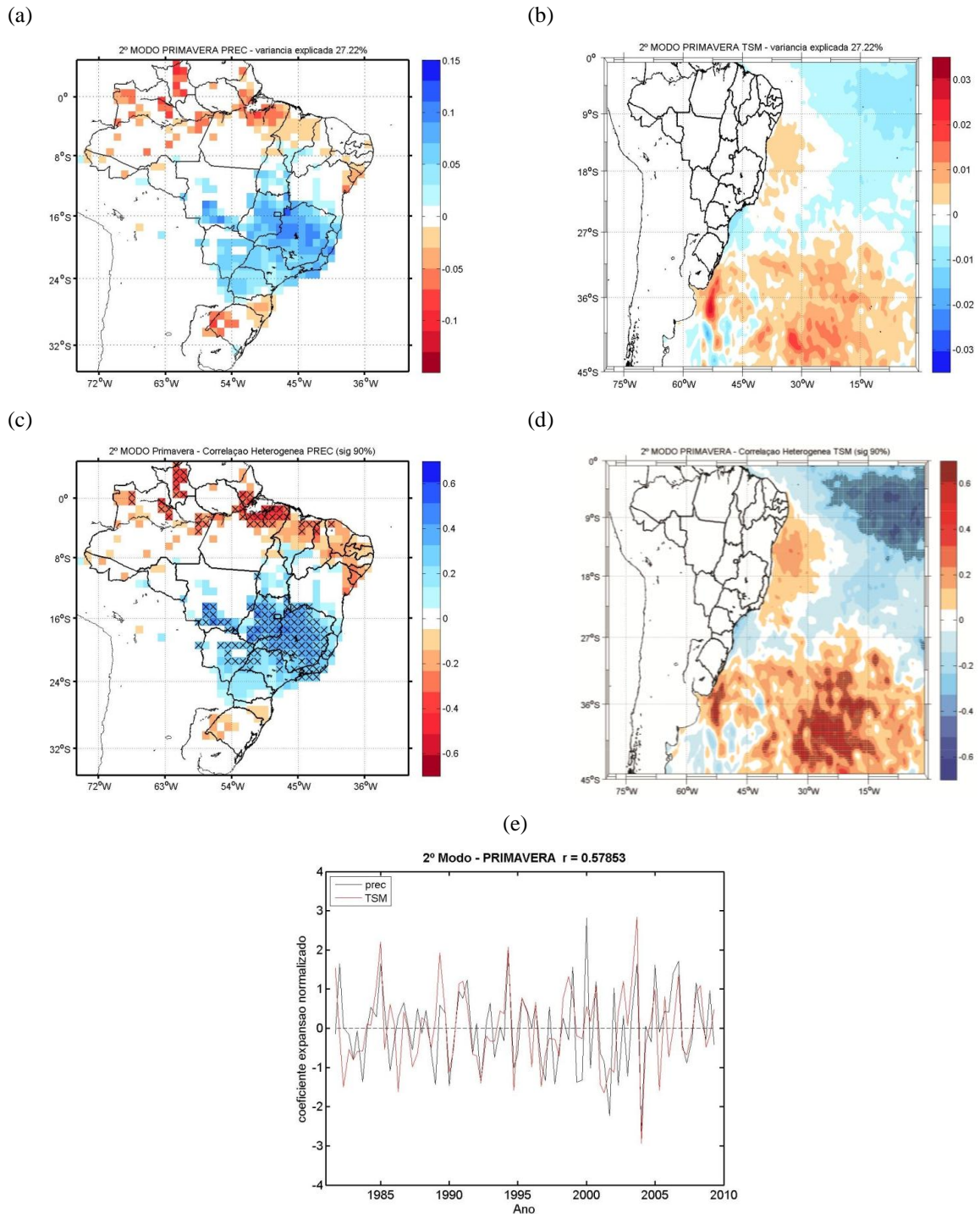


Figura C.5: 2° Modo do SVD para anomalia de TSM e precipitação para a primavera representando 27.22% da variabilidade (a) padrão espacial da precipitação; (b) padrão espacial da TSM; (c) correlação heterogênea da precipitação; (d) correlação heterogênea da TSM; (e) coeficientes de expansão normalizados da precipitação (preto) e TSM (vermelho). Regiões com pontos (X) em cinza na correlação heterogênea da TSM (precipitação) apresentam significância estatística de 90%.

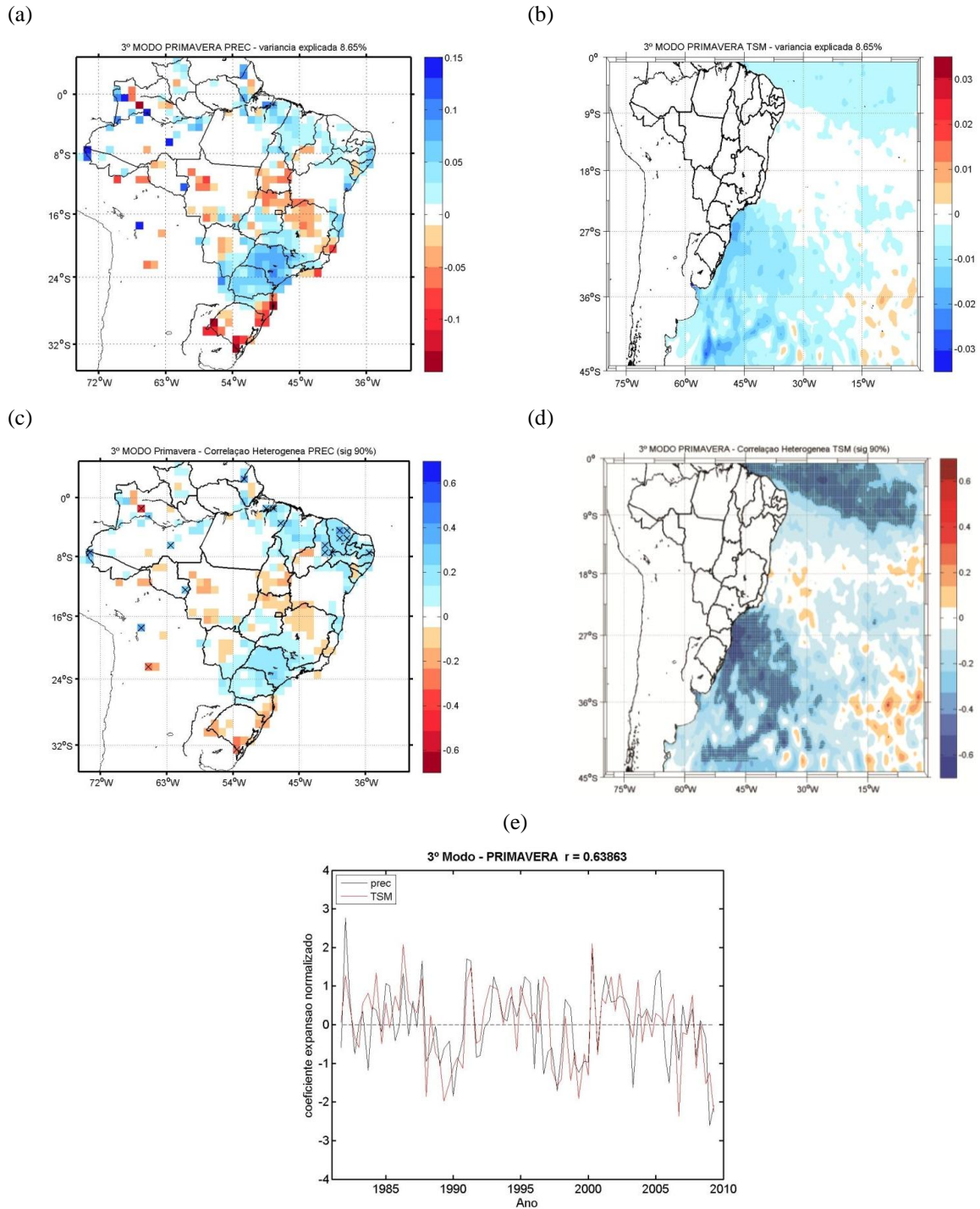


Figura C.6: 3º Modo do SVD para anomalia de TSM e precipitação para a primavera representando 8.65% da variabilidade (a) padrão espacial da precipitação; (b) padrão espacial da TSM; (c) correlação heterogênea da precipitação; (d) correlação heterogênea da TSM; (e) coeficientes de expansão normalizados da precipitação (preto) e TSM (vermelho). Regiões com pontos (X) em cinza na correlação heterogênea da TSM (precipitação) apresentam significância estatística de 90%.