

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - BACHARELADO

Trabalho Final de Graduação IV

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E
TEMPERATURA DO AR EM MINAS GERAIS ASSOCIADA A
EVENTOS DE EL NIÑO**

Luana Stela Arantes

Orientadora: *Profa. Dra. Camila Bertoletti Carpenedo*

Uberlândia, 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - BACHARELADO

Trabalho Final de Graduação IV

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E
TEMPERATURA DO AR EM MINAS GERAIS ASSOCIADA A
EVENTOS DE EL NIÑO**

Luana Stela Arantes

Monografia realizada como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Geografia na Universidade Federal de Uberlândia.

*Dedico este trabalho a minha família,
amigos e professores que me ajudaram
durante essa longa jornada.*

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer aos meus pais, Edilaine e Francisco, por me proporcionarem todos os meios possíveis para ter uma educação de qualidade, que me possibilitasse atingir meus sonhos, e também minha avó Possidônea e irmã Áurea por me apoiarem nas minhas decisões e me darem forças para não desistir.

Gostaria de agradecer também a minha namorada e amiga Luíza, que me proporcionou muitos momentos incríveis, me apoiando nas minhas escolhas, me incentivando a continuar mesmo com as dificuldades que apareceram, me fazendo rir nos momentos mais difíceis, me mostrando que sou capaz de tudo se acreditar em mim mesma, e principalmente por me fazer feliz.

A minha orientadora Camila Carpenedo o meu mais sincero agradecimento, por me inspirar, me ensinar, me ajudar a ser uma pessoa melhor, e por ter me dado a oportunidade de ter sua companhia durante esse trabalho, não apenas como professora e orientadora, mas como amiga e parceira. Por ter paciência comigo e me entender, me incentivar nos momentos mais difíceis e me mostrar que independente do que ocorra tudo sempre vai dar certo. Agradeço de coração por ter encontrado a UFU, pois se não fosse por ela eu continuaria perdida na graduação e com medo de enfrentar meu tema de maior interesse de estudo que é o clima. Agradeço por estar comigo nessa difícil tarefa que é alcançar a formatura, e por me ajudar a atingir meus objetivos, me incentivando a sempre continuar e nunca desistir dos meus sonhos.

Agradeço também aos meus amigos Fabrício, Maruschi, Ruan, Vítor e Matheus por me acompanharem nessa longa trajetória que foi a faculdade, por estarem sempre ao meu lado nos momentos bons e ruins, por fazerem as melhores piadas e causarem as melhores risadas. Também ao meu padrinho de curso Rafael, que foi um amigo e irmão, me indicando os melhores caminhos dentro da graduação, dando os melhores conselhos, as piadas mais divertidas, compartilhando comigo as dificuldades e as conquistas e confiando sempre no meu potencial. As minhas amigas Luiza e Laura, por terem as risadas mais gostosas, por me distraírem com os assuntos mais divertidos, me trazerem as melhores fofocas e os momentos de relaxamento e felicidade. Nada disso seria possível sem vocês meus amigos.

Deixo também meu agradecimento aos meus veteranos e colegas que dividiram comigo o ambiente do PET GEO, Tatiana Souza, Paula Queiroz, Paulo Henrique, Gabriel Palucci,

Letícia Nunes, Beatriz Bicalho, João Vitor, Deborah, Victor Dantas, Caio e todos os outros, por me aguentarem nos dias de crise e me ajudarem em todos os obstáculos da graduação.

Aos meus professores da graduação, tutores, servidores e a todos aqueles que se dispuseram a me ensinar e ajudar durante esses quatro anos a minha eterna gratidão, não apenas dentro da universidade, mas durante diversas viagens em momentos de descontração, obrigada por me ajudarem a crescer pessoalmente.

Agradeço a UFU, IG e MEC por me disporem apoio financeiro e estrutural para que esse caminho fosse trilhado e concluído.

RESUMO

O fenômeno El Niño no Pacífico equatorial é caracterizado por alterações na temperatura da superfície do mar (TSM), na pressão atmosférica, nos ventos e na convecção tropical, impactando diretamente na dinâmica climática do Brasil. Assim, o objetivo desta monografia é analisar a relação entre os eventos de El Niño e a variabilidade espacial da precipitação pluvial e da temperatura do ar em Minas Gerais, no período de 1980 a 2013. Para isso, foram utilizados dados de precipitação pluvial e temperatura do ar (mínima e máxima) do banco de dados de Xavier et al. (2017), a TSM para as regiões do Niño (1+2, 3, 3.4 e 4; CPC/NOAA) e respectivas intensidades (fraca, moderada e forte). Os eventos de El Niño foram identificados a partir da metodologia do CPCP/NOAA. Os eventos de El Niño na região do Niño 1+2 (intensidade moderada), Niño 3 (intensidade forte), Niño 3.4 (intensidade fraca e moderada) e Niño 4 (intensidade fraca e moderada) estão associados com o predomínio de trimestres mais secos em Minas Gerais, enquanto os eventos de El Niño na região do Niño 1+2 (intensidade forte) e Niño 3 (intensidade moderada e forte) estão associados com o predomínio de trimestres mais úmidos. Eventos de El Niño no Pacífico equatorial centro-oeste estão associados com início da estação chuvosa atrasada ou com condições mais secas em Minas Gerais, enquanto eventos de El Niño no Pacífico equatorial leste estão associados com condições opostas. Com relação à temperatura mínima e máxima, as anomalias positivas dominam nos trimestres em praticamente todos os eventos de El Niño nas diferentes regiões do Niño e intensidades. Eventos de El Niño atuam como intensificadores de mudanças extremas de precipitação pluvial e temperatura do ar no Brasil, o que demonstra a importância de entender estas relações para poder fornecer subsídios para previsões climáticas cada vez mais assertivas sobre o clima, principalmente para evitar e/ou minimizar os efeitos dos possíveis impactos sociais, econômicos e ambientais.

Palavras-chave: El Niño, temperatura do ar, precipitação pluvial, Minas Gerais

ABSTRACT

The El Niño phenomenon in the equatorial Pacific is characterized by changes in sea surface temperature (SST), atmospheric pressure, winds and tropical convection, directly impacting Brazil's climate dynamics. So, the objective of this monograph is to analyze the relationship between El Niño events and the spatial variability of rainfall and air temperature in Minas Gerais, from 1980 to 2013. For this purpose, rainfall and temperature (minimum and maximum) data were used of the database of Xavier et al. (2017), the TSM for the Niño regions (1 + 2, 3, 3.4 and 4; CPC/NOAA) and their intensities (weak, moderate and strong). El Niño events were identified using the CPCP/NOAA methodology. El Niño events in the Niño 1 + 2 (moderate intensity), Niño 3 (strong intensity), Niño 3.4 (weak and moderate intensity) and Niño 4 (weak and moderate intensity) regions are associated with the predominance of drier trimester in Minas Gerais, while El Niño events in the Niño 1 + 2 region (strong intensity) and Niño 3 (moderate and strong intensity) are associated with the predominance of wetter trimester. El Niño events in the midwest equatorial Pacific are associated with the onset of late rainy season or drier conditions in Minas Gerais, while El Niño events in the eastern equatorial Pacific are associated with opposite conditions. Regarding the minimum and maximum temperature, positive anomalies dominate in the trimester in virtually all El Niño events in the different Niño regions and intensities. El Niño events act as intensifiers of extreme changes in rainfall and air temperature in Brazil, which demonstrates the importance of understanding these relationships in order to provide input for increasingly assertive climate forecasts, especially to prevent and/or minimize the effects of potential social, economic and environmental impacts.

Keywords: El Niño, air temperature, rainfall, Minas Gerais

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização do estado de Minas Gerais.	5
Figura 2. Circulação de Walker durante eventos de (a) El Niño e (b) La Niña.	9
Figura 3. Regiões do Niño 1+2 (0° a 10° S, 90° W a 80° W), Niño 3 (5° N a 5° S, 150° W a 90° W), Niño 3.4 (5° N a 5° S, 170° W a 120° W) e Niño 4 (5° N a 5° S, 160° E a 150° W). 18	
Figura 4. Composições anômalas de precipitação pluvial (mm) em Minas Gerais durante os eventos de El Niño na região do Niño 1+2 de intensidade moderada para os trimestres (a) DJF (dezembro a fevereiro), (b) JFM (janeiro a março), (c) FMA (fevereiro a abril), (d) MAM (março a maio), (e) AMJ (abril a junho), (f) MJJ (maio a julho), (g) JJA (junho a agosto), (h) JAS (julho a setembro), (i) ASO (agosto a outubro), (j) SON (setembro a novembro), (k) OND (outubro a dezembro), (l) NDJ (novembro a janeiro) entre 1980 a 2015. Linhas pontilhadas indicam anomalias significativas ao nível de 10% e n indica o número de eventos.	22
Figura 5. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de temperatura mínima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 1+2 de intensidade moderada.	23
Figura 6. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de temperatura máxima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 1+2 de intensidade moderada.	24
Figura 7. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de precipitação pluvial (mm) durante os eventos de El Niño na região do Niño 1+2 de intensidade forte.....	26
Figura 8. Similar à Figura 5, mas para as composições anômalas de temperatura mínima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 1+2 de intensidade forte.	27
Figura 9. Similar à Figura 6, mas para as composições anômalas de temperatura máxima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 1+2 de intensidade forte.	28
Figura 10. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de precipitação pluvial (mm) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3 de intensidade moderada.....	30
Figura 11. Similar à Figura 5, mas para as composições anômalas de temperatura mínima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3 de intensidade moderada.	31
Figura 12. Similar à Figura 6, mas para as composições anômalas de temperatura máxima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3 de intensidade moderada.	32
Figura 13. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de precipitação pluvial (mm) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3 de intensidade forte.....	34
Figura 14. Similar à Figura 5, mas para as composições anômalas de temperatura mínima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3 de intensidade forte.	35
Figura 15. Similar à Figura 6, mas para as composições anômalas de temperatura máxima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3 de intensidade forte.	36

Figura 16. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de precipitação pluvial (mm) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade fraca.	38
Figura 17. Similar à Figura 5, mas para as composições anômalas de temperatura mínima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade fraca.	39
Figura 18. Similar à Figura 6, mas para as composições anômalas de temperatura máxima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade fraca.	40
Figura 19. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de precipitação pluvial (mm) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade moderada.	42
Figura 20. Similar à Figura 5, mas para as composições anômalas de temperatura mínima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade moderada.	43
Figura 21. Similar à Figura 6, mas para as composições anômalas de temperatura máxima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade moderada.	44
Figura 22. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de precipitação pluvial (mm) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade forte.	46
Figura 23. Similar à Figura 5, mas para as composições anômalas de temperatura mínima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade forte.	47
Figura 24. Similar à Figura 6, mas para as composições anômalas de temperatura máxima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade forte.	48
Figura 25. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de precipitação pluvial (mm) durante os eventos de El Niño na região do Niño 4 de intensidade fraca.	50
Figura 26. Similar à Figura 5, mas para as composições anômalas de temperatura mínima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 4 de intensidade fraca.	51
Figura 27. Similar à Figura 6, mas para as composições anômalas de temperatura máxima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 4 de intensidade fraca.	52
Figura 28. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de precipitação pluvial (mm) durante os eventos de El Niño na região do Niño 4 de intensidade moderada.	54
Figura 29. Similar à Figura 5, mas para as composições anômalas de temperatura mínima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 4 de intensidade moderada.	55
Figura 30. Similar à Figura 6, mas para as composições anômalas de temperatura máxima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 4 de intensidade moderada.	56

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AMJ	Abril-Maio-Junho
ANA	Agência Nacional de Águas
ASAS	Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
ASO	Agosto-Setembro-Outubro
ASPS	Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul
ATSM	Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar
CPC	<i>Climate Prediction Center</i>
DAEE	Departamento de Guias de Energia Elétrica de São Paulo
DJF	Dezembro-Janeiro-Fevereiro
EM-DAT	<i>The International Disaster Database</i>
EN	El Niño
ENOS	El Niño – Oscilação Sul
ERSST	<i>Extended Reconstructed Sea Surface Temperature</i>
FMA	Fevereiro-Março-Abril
FPA	Frente Polar Atlântica
GRADS	<i>Grid Analysis and Display System</i>
IDW	<i>Inverse distance weighting</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
JAS	Julho-Agosto-Setembro
JBN	Jatos de Baixos Níveis
JBNAS	Jatos de Baixos Níveis da América do Sul
JFM	Janeiro-Fevereiro-Março
JJA	Junho-Julho-Agosto
MAM	Março-Abril-Maio
MJJ	Maio-Junho-Julho
NDJ	Novembro-Dezembro-Janeiro
NETCDF	<i>Network Common DataForm</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OND	Outubro-Novembro-Dezembro
ONI	<i>Oceanic Niño Index</i>

SON	Setembro-Outubro-Novembro
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. APRESENTAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.2.1. Objetivo Geral	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. JUSTIFICATIVA	2
1.4. ÁREA DE ESTUDO	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL	6
2.2. CLIMATOLOGIA DE MINAS GERAIS	10
2.2.1. Circulação atmosférica.....	10
2.2.2. Temperatura do ar e precipitação.....	14
2.2.3. Influência de eventos de El Niño.....	15
3. MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1. NATUREZA DOS DADOS	17
3.2. METODOLOGIA	18
3.2.1. Identificação e intensidade dos eventos de El Niño	18
3.2.2. Composição dos campos atmosféricos	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1. REGIÃO DO NIÑO 1+2	21
4.1.1. Intensidade moderada.....	21
4.1.2. Intensidade forte.....	25
4.2. REGIÃO DO NIÑO 3	29
4.2.1. Intensidade moderada.....	29
4.3. REGIÃO DO NIÑO 3.4	37
4.3.1. Intensidade fraca.....	37
4.3.2. Intensidade moderada.....	41
4.3.3. Intensidade forte.....	45
4.4. REGIÃO DO NIÑO 4	49
4.4.1. Intensidade fraca.....	49
4.4.2. Intensidade moderada.....	53
5. CONCLUSÕES	57
6. REFERÊNCIAS	59

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

Esta monografia fará uma análise da relação entre os eventos de El Niño nas diferentes regiões do Niño e diferentes intensidades e a variabilidade espacial da precipitação pluvial e temperatura do ar em Minas Gerais, no período de 1980 a 2013.

O fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) constitui um fenômeno de interação entre dois componentes: um de natureza oceânica, no caso o El Niño e La Niña, e outro de natureza atmosférica, representado pela Oscilação Sul. O ENOS possui duas fases: uma quente (El Niño) e outra fria (La Niña). O comportamento da temperatura da superfície das águas (TSM) do oceano Pacífico equatorial (parte central e junto à costa oeste da América do Sul) associado aos campos de pressão (representados pelo Índice de Oscilação Sul) altera o padrão de circulação geral da atmosfera. Com isso, acaba influenciando no clima de diferentes regiões do mundo e sendo o responsável pelos desvios extremos em relação ao clima normal, ou seja, pelas chamadas anomalias climáticas persistentes, que duram de 6 a 18 meses (CUNHA et al., 2011).

No Brasil, o impacto da fase quente e fria do ENOS se dá principalmente sobre a precipitação pluvial das regiões Sul, Norte e Nordeste, onde em anos de El Niño a precipitação pluviométrica fica acima do normal climatológica na região Sul e abaixo do normal na região Nordeste, enquanto para anos de La Niña é o contrário (GRIMM et al., 1996; OLIVEIRA; SATYYAMURTY, 1998; MARENGO; OLIVEIRA, 1998; DIAZ et al., 1998; BERLATO; FONTANA, 2003, apud SALINI, 2012). Desta forma, a região Sudeste do país está em uma área de transição entre os efeitos de eventos de El Niño/La Niña (GRIMM; FERRAZ, 1998).

Este trabalho está organizado em cinco partes: a **primeira parte** apresenta o tema, com os objetivos, a justificativa e a área de estudo; a **segunda parte** possui a revisão bibliográfica acerca do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e a climatologia do estado de Minas Gerais; na **terceira parte** são explicados os dados e a metodologia que foram utilizados para este estudo; na **quarta parte** são discutidos os resultados, na qual é explicado os padrões espaciais de precipitação pluvial e de temperatura do ar em Minas Gerais associados aos eventos de El Niño; e a **quinta parte** possui as conclusões finais do trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

Sabe-se que o ENOS influencia fortemente muitos processos físicos e de riscos sociais. Para aqueles que tomam as decisões é essencial ter informações sobre os possíveis impactos

dessa variabilidade climática na sociedade. Essas informações podem ser particularmente úteis quando a variabilidade climática pode ser alertada antecipadamente, permitindo assim um aviso precoce e o planejamento de desastres (WARD et al., 2014).

O bem-estar da sociedade, a produção de alimentos, os desastres naturais que podem afetar a agricultura, o comércio, o turismo e a indústria dependem das condições climáticas. Apesar de existirem diversos avanços tecnológicos que permitem os estudos de fenômenos climáticos, a região Sudeste do Brasil ainda necessita de estudos mais aprofundados acerca da influência climática do ENOS. Considerando a grande importância dos episódios ENOS como intensificadores de mudanças extremas de precipitação pluvial e temperatura do ar no Brasil, é importante conhecer o passado para poder fornecer subsídios para previsões climáticas cada vez mais assertivas sobre o clima, principalmente para evitar e/ou minimizar os efeitos dos possíveis impactos associados, como alagamentos, inundações, deslizamentos de terra, secas, dentre outros.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desta monografia é analisar a relação entre os eventos de El Niño e a variabilidade espacial da precipitação pluvial e da temperatura do ar em Minas Gerais, no período de 1980 a 2013.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Classificar a intensidade dos eventos de El Niño nas diferentes regiões do Niño;
- Avaliar o padrão espacial das anomalias de precipitação pluvial e temperatura do ar em Minas Gerais durante eventos de El Niño nas diferentes regiões do Niño e de diferentes intensidades.

1.3. JUSTIFICATIVA

O estudo do clima e do tempo é importante por permitir a determinação de um padrão de comportamento, que pode ser fundamental para várias atividades cotidianas, para a agricultura e, conseqüentemente, para a economia.

Segundo Marengo et al. (2018), no Brasil vários eventos extremos foram registrados nos últimos 15 anos, como o El Niño em 1997-1998; secas na Amazônia brasileira, nas regiões semiáridas do Nordeste e no Sudeste; inundações na Amazônia, no Sul e no Nordeste. Entre 2001 e 2015 estima-se que aproximadamente 40 milhões de pessoas possam ter sido afetadas por algum evento extremo no Brasil, como secas, inundações ou temperaturas extremas (EM-DAT, 2015). Além da perda de vidas, outros problemas graves de saúde pública podem ocorrer, incluindo um aumento de doenças transmitidas pela água, problemas psicossociais pós-traumáticos, doenças cardiovasculares, perdas materiais, danos à infraestrutura local e custos sociais relacionados à educação e à habitação (COELHO; MASSAD, 2012; GRACIE; BARCELLOS; MAGALHÃES; SOUZA-SANTOS; BARROCAS, 2014; GOMES; NOBRE; CRUZ, 2012; GUIMARÃES et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2012).

No Brasil, eventos climáticos extremos têm causado historicamente um número considerável de mortes a cada ano, além de perdas expressivas de bens públicos e privados. Considerando os dados do EM-DAT, o número de eventos climáticos extremos foi maior em 1998 e 2009, quando ocorreram os fenômenos El Niño e La Niña, com 10 ocorrências e mais de 10 milhões de pessoas afetadas. Em termos econômicos os eventos relacionados às secas e inundações em 2014 resultaram em aproximadamente US \$ 5 milhões em danos (*Climate Change Risks in Brazil, 2018, p. 86*).

Conforme Marengo et al. (2009), historicamente há provas de secas extensas, e talvez muitos incêndios, relacionados a eventos como o ENOS, ocorridos na bacia Amazônica em 1500, 1000, 700 e 400 antes do presente, e tais eventos podem ter sido substancialmente mais graves do que os ocorridos em 1982-83 e 1997-98 (MEGGERS, 1994). O caso mais bem documentado de um evento de seca primitiva na Amazônia ligado ao El Niño ocorreu no período de 1925-26 (STERBERG, 1968; 1987; WILLIAMS et al., 2005). As chuvas no centro-norte da Amazônia brasileira e no sul da Venezuela em 1926 foram cerca de 50% inferiores ao normal. Durante essa seca específica, extensos incêndios ocorreram na Venezuela e na área ao norte da bacia do Rio Negro. Temperaturas do ar anormalmente altas foram registradas nas cidades da Amazônia venezuelana e no norte do Brasil em 1925 e 1926, sendo plausível que a seca na parte norte da bacia do Rio Negro em 1925 também tenha contribuído para a grande seca de 1926 devido ao esgotamento da umidade do solo. O déficit da precipitação pode afetar o nível dos reservatórios de água, o que impacta diretamente na utilização da água na irrigação da agricultura e do consumo humano, enquanto o excesso da chuva pode causar desastres naturais como enchentes e deslizamentos de terra, que são

comuns na realidade brasileira devido a falta de planejamento das cidades, que possibilitam que esses desastres aconteçam causando mortes, feridos e perda de móveis (FAPESP, 2015). O aumento da temperatura do ar pode criar ilhar de calor em grandes centros urbanos, pelo mesmo motivo da falta de planejamento, pelo crescimento rápido das cidades e prédios verticais, e pela diminuição de árvores, além de influenciar na precipitação pluvial. As mudanças bruscas de temperatura do ar podem afetar o cotidiano e a saúde da população, causando problemas sociais e econômicos.

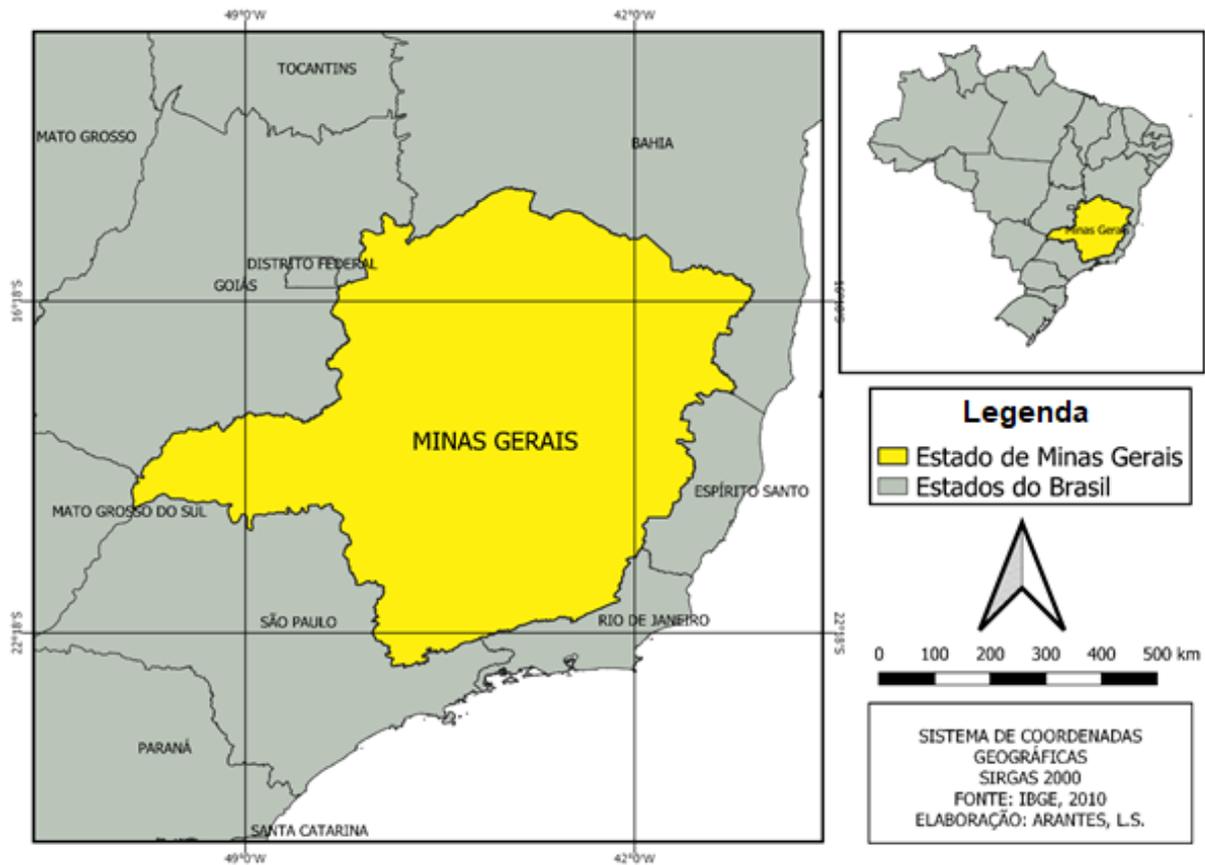
Com uma grande extensão territorial e abrangendo muitas riquezas hidrológicas, o estado de Minas Gerais, localizado na região Sudeste do Brasil, possui vegetação e relevo bem diversificados, bem como uma irregularidade sazonal na distribuição das chuvas, apresentando dois períodos marcantes, ou seja, um seco no inverno e outro chuvoso no verão, sendo que neste último, ocorre 50% do total anual de chuvas, induzindo a atividades agrícolas mais intensas, especialmente as culturas de sequeiro (PAIVA, 1997 apud MINUZZI, 2005).

1.4. ÁREA DE ESTUDO

O estado de Minas Gerais (Figura 1) está localizado na região Sudeste do Brasil, sendo ele o quarto maior em extensão territorial, com 586.522 km². O estado faz fronteira com São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Goiás, Distrito Federal e Bahia. Segundo o último censo, a população de Minas Gerais é de aproximadamente 21 milhões de habitantes, possuindo uma densidade demográfica de 33,41 hab/km² (IBGE, 2010).

As principais bacias que compõem a rede hidrográfica do estado são as dos rios Doce, Grande, Jequitinhonha, Mucuri, Paraíba do Sul, Paranaíba, Pardo e São Francisco. O relevo predominante são os planaltos, enquanto a cobertura vegetal pode ser resumida em quatro tipos principais: Mata Atlântica, Cerrado, Campos de Altitude ou Rupestres e Mata Seca, sendo o Cerrado predominante em cerca de 50% do estado. (Instituto Estadual de Florestas, 2012). A vegetação do estado é composta por Mata Atlântica, Cerrado, Campos de altitude e rupestres, possuindo gramíneas, arbustos e árvores, tendo como representantes da fauna o tamanduá, tatu, anta, jiboia, cascavel e o cachorro do mato, além de espécies ameaçadas de extinção, como o lobo-guará e o veado-campeiro (GOVERNO DE MINAS GERAIS, 2019).

Figura 1. Mapa de localização do estado de Minas Gerais.



Elaboração: Arantes, L.S.

O clima predominante é o tropical, com presença do subtropical de altitude e do tropical úmido. Possui estações bem definidas, com um inverno seco e verão chuvoso, porém as temperaturas variam de acordo com o relevo e altitude, dependendo da sua proximidade com o mar e a latitude (ABREU, 1998).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL

A principal fonte de variabilidade climática interanual global é o fenômeno ENOS, uma oscilação acoplada do oceano-atmosfera, que produz alterações na TSM, na pressão atmosférica, nos ventos e na convecção tropical, principalmente no oceano Pacífico, mas com reflexos em muitos lugares do planeta, incluindo o Brasil (GRIMM, 2009).

Segundo Oliveira e Satyamurty (1998) o fenômeno El Niño é caracterizado pelo aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacífico Equatorial oriental e central. O aquecimento e o subsequente resfriamento num episódio típico de El Niño dura de 12 a 18 meses, tendo início no começo do primeiro ano, atingindo sua máxima intensidade em dezembro-janeiro e terminando na metade do segundo ano. Em seu estágio maduro, as águas quentes ocupam uma região estreita e comprida próxima do equador, que se estende desde a costa do Peru até por volta de 180° (linha de data), com anomalias de temperatura de +3° a +5°C próximo à costa da América do Sul, reduzindo gradualmente para +1° ou +2°C próximo de 160°W (OLIVEIRA; SATYAMURTY, 1998).

O aumento no calor sensível e nos fluxos de vapor de água da superfície do oceano para a atmosfera sobre as águas quentes provocam mudanças na circulação atmosférica e na precipitação pluvial em escala regional a global, as quais, por sua vez, provocam mudanças nas condições meteorológicas e climáticas em várias partes do mundo. Oscilação Sul é a componente atmosférica do ENOS, sendo a relação inversa entre a pressão atmosférica em superfície entre Tahiti (Pacífico Sul) e Darwin (Austrália). El Niño e Oscilação Sul são partes de um mesmo fenômeno de interação entre o oceano Pacífico equatorial e a atmosfera (PHILANDER, 1989, apud OLIVEIRA; SATYAMURTY, 1998).

A ocorrência de episódios de El Niño e La Niña afeta o sistema oceano-atmosfera, alterando significativamente a circulação atmosférica, a precipitação pluvial (GRIMM et al., 2000; GRIMM, 2003, 2004) e os eventos extremos hidrológicos (GRIMM e TEDESCHI, 2009) sobre a América do Sul, entre outros campos atmosféricos (CAVALCANTI e TEDESCHI, 2010). Andreoli et al. (2013) discute que há estudos com enfoque na variabilidade interanual da precipitação nas regiões norte e nordeste da América do Sul, e têm associado essa variabilidade ao fenômeno ENOS (e.g., KAYANO; MOURA, 1986; MARENGO, 1992). Anomalias positivas (negativas) da TSM no Oceano Pacífico associadas aos episódios El Niño (La Niña) produzem circulações anômalas de grande escala na

atmosfera, gerando impactos significativos no clima da região do Atlântico e da América do Sul (ACEITUNO, 1988; GRIMM et al., 2000; GRIMM, 2004).

O fenômeno ENOS tem como região de origem o oceano Pacífico equatorial, onde, em função dos ventos alísios, que sopram predominantemente de sudeste no Hemisfério Sul, há um padrão de circulação oceânica em que, na costa da América do Sul, as águas são normalmente frias, enquanto no extremo oposto, região da Indonésia e costa da Austrália, as águas em geral são quentes. Em anos de El Niño, detecta-se, previamente ao seu estabelecimento, um enfraquecimento dos ventos alísios na região do Pacífico equatorial. Esse fato altera o padrão de circulação oceânica, diminuindo a ressurgência de águas frias na costa da América do Sul e descolando as águas quentes do Pacífico oeste para uma posição a leste da linha internacional de mudança de data (180° de longitude). O Índice de Oscilação Sul é responsável por refletir as anomalias de pressão da superfície, quando ele é negativo é um episódio de El Niño, quando positivo as águas mais frias do que o normal aparece na região central e na parte leste do Oceano Pacífico equatorial. Esse episódio frio é chamado de La Niña e implica anomalias climáticas geralmente inversas às do episódio quente, de nominado El Niño (CUNHA et al., 2011).

As fontes anômalas tropicais de calor associadas a episódios ENOS perturbam as circulações de Walker (zonal) e de Hadley (meridional) sobre a América do Sul e produzem trens de ondas de Rossby (devido à divergência anômala em altos níveis), que são anomalias de circulação rotacional que se propagam para os extratropicais, com importantes efeitos sobre os subtropicais e extratropicais do continente. Em episódios de El Niño, as anomalias quentes de TSM sobre o Pacífico equatorial Central/Leste produzem mais convecção nessa região tropical com subsidência climatológica, o que resulta em maior divergência em altos níveis no Pacífico equatorial Central/Leste, e convergência sobre o norte da América do Sul, associada ao ramo descendente de uma onda estacionária de Kelvin. Há, portanto, uma perturbação da célula de Walker climatológica, cujo ramo descendente no Pacífico Leste é deslocado para o norte da América do Sul, inibindo a atividade convectiva e causando a seca (GRIMM, 2009).

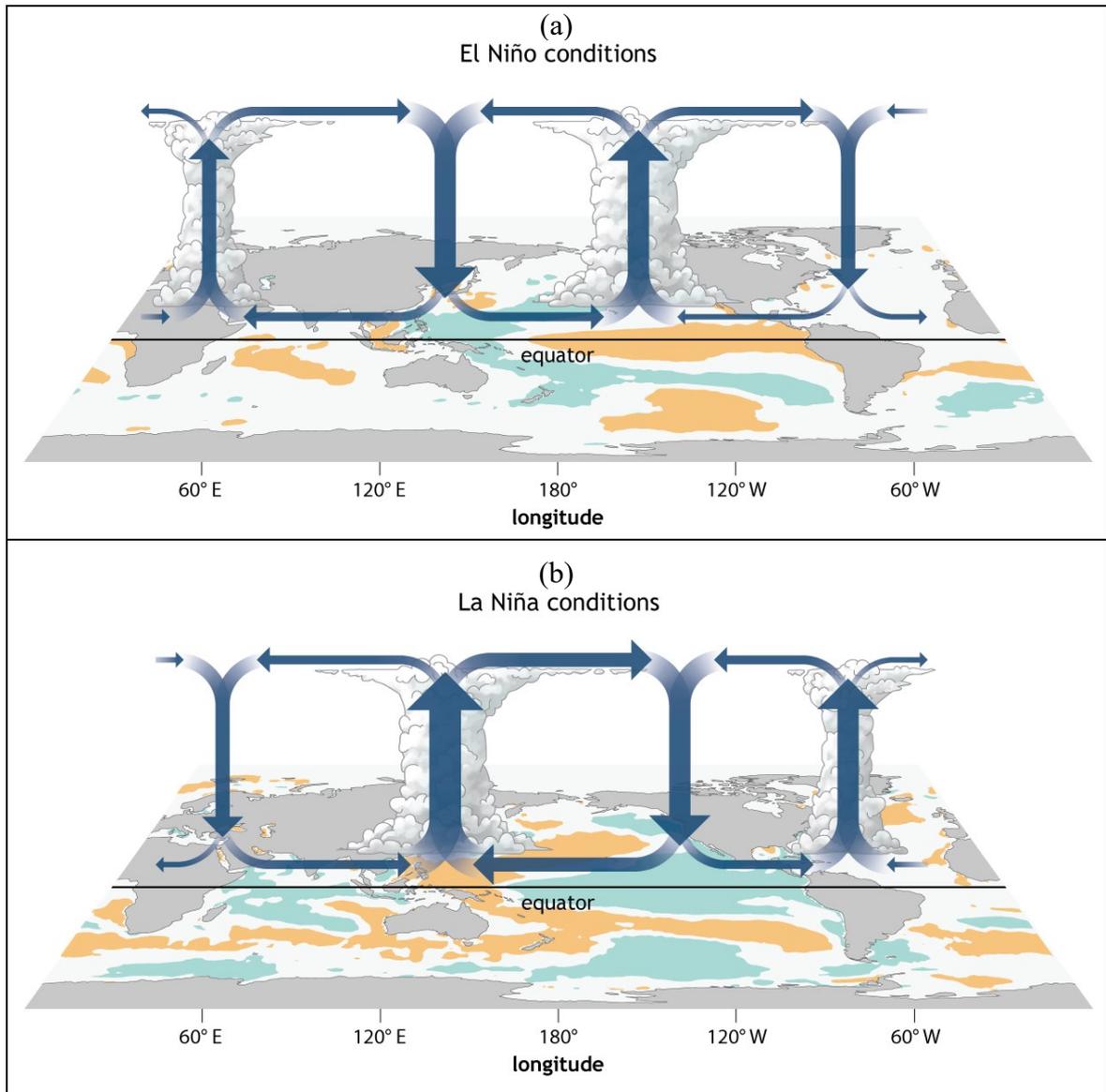
Ondas de Rossby pertencem a uma classe especial de ondas planetárias sub-inerciais de larga escala, tanto nos oceanos quanto na atmosfera, cuja força restauradora é dada pela variação do parâmetro de Coriolis com a latitude e pela conservação da vorticidade potencial (ROSSBY et al., 1939). As variações de densidade dependem intimamente da salinidade e da temperatura, sendo, na vasta maioria dos casos, a segunda dominante. Assim, a região da pycnoclina, camada da coluna de água onde ocorre uma rápida mudança no gradiente vertical de densidade, pode muitas vezes ser aproximada pela da termoclina, que é uma camada de

variação de temperatura em uma determinada profundidade do mar. Estas observações levam à criação de um modelo simplificado dos oceanos: um sistema de duas camadas com a camada superficial de água mais quente e menos densa e a camada de fundo mais fria e densa. Estas ondas planetárias também são o mecanismo dinâmico para o ajuste transiente do oceano a forçantes atmosféricas de escala global. Elas afetam as correntes e transportam momentum e energia através das principais bacias oceânicas. Também influenciam nos efeitos de grandes eventos climáticos na circulação oceânica e governam o tempo de resposta dos oceanos às forçantes atmosféricas. Juntamente com as ondas de Kelvin equatoriais, são parte importante do fenômeno El Niño (KRIEGER, 2008).

Com relação à Figura 2a, Martins (2017) explica que durante os episódios de El Niño ocorrem modificações na Circulação de Walker, em que com a elevação das temperaturas na costa oeste da América do Sul, o ramo ascendente é deslocado e a convecção fica maior no meio caminho entre a América do Sul e a Oceania, ou seja, haverá mais chuvas nessa região. Isso altera toda a configuração da Circulação de Walker, na medida em que as outras células que compõe essa circulação se deslocam. O forte movimento subsidente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil indica que em anos de El Niño, em geral registra-se chuva abaixo da média climatológica nessas regiões brasileiras.

Durante a La Niña (Figura 2b) o padrão de anomalias na superfície dos oceanos se modifica. Na costa oeste da América do Sul temos águas mais frias do que a média, e essa situação vai dificultar a convecção sobre os oceanos nessa região. Um dos ramos ascendentes da circulação ficará sobre o norte do continente sul-americano, portanto teremos chuva acima da média em parte da região Norte do Brasil. A chuva também será intensa na Indonésia e vizinhanças, pois a convecção ficará forte, uma vez que a anomalia de temperatura do oceano será positiva naquela região (MARTINS, 2017).

Figura 2. Circulação de Walker durante eventos de (a) El Niño e (b) La Niña.



Fonte: NOAA/Climate.gov

As anomalias que ocorrem sobre a América do Sul são associadas principalmente ao deslocamento da célula de Walker, do fortalecimento do jato subtropical e de um possível trem de ondas que se estende do Pacífico até o sul da América do Sul. O deslocamento da célula de Walker para leste tem influência sobre o nordeste do Brasil e parte da Amazônia, regiões que ficam sob a ação do ramo ascendente dessa célula (KOUSKY et al., 1984). O fortalecimento do jato subtropical ocorre devido ao forte aquecimento na região do Pacífico equatorial, que provoca um aumento do gradiente de temperatura norte-sul e também um transporte de momentum em altos níveis, da região de liberação de calor latente tropical, para os ventos de oeste (CAVALCANTI, 1996).

A circulação atmosférica sobre a região tropical é fortemente modulada e modificada pelos padrões termodinâmicos sobre as bacias dos oceanos Pacífico e Atlântico tropicais. Em anos nos quais se verificam anomalias positivas ou negativas da TSM nas bacias desses oceanos, a célula de Hadley, que atua no sentido meridional (ramo ascendente no equador e ramos descendentes nas latitudes tropicais), e a célula de Walker, que atua no sentido zonal (ramo ascendente no norte da América do Sul e ramo descendente no Pacífico leste) são perturbadas, causando fortes anomalias na circulação atmosférica sobre os trópicos, visto que essas células são deslocadas de suas posições climatológicas (FERREIRA e SILVA MELLO, 2005).

2.2. CLIMATOLOGIA DE MINAS GERAIS

2.2.1. Circulação atmosférica

De acordo com Ferreiro e Mello (2005), o clima de qualquer região é determinado em grande parte pela circulação geral da atmosfera. Essa resulta do aquecimento diferencial do globo devido à quantidade de radiação solar por área variando com a latitude, da distribuição assimétrica de oceanos e continentes e também das características topográficas sobre os continentes. Padrões de circulação gerados na atmosfera redistribuem energia térmica, umidade e momentum (quantidade de movimento) por todo o globo. No entanto, essa redistribuição não é homogênea, agindo algumas vezes no sentido de diminuir as variações regionais dos elementos climáticos, tais como, temperatura do ar e precipitação, as quais têm enorme influência nas atividades humanas Climanálise (1986).

O estado de Minas Gerais está inserido em um clima de monção. O Sistema de Monção indica uma reversão sazonal na circulação atmosférica devido ao aquecimento diferencial entre os continentes e os oceanos (RAMAGE, 1971; ZHOU; LAU, 1998; GRIMM; VERA; MECHOSO, 2005; VERA et al., 2006) e, com isso, pode ocorrer mudanças na precipitação pluvial. Numa região sob atuação do Sistema de Monção da América do Sul mais de 50% da precipitação ocorre na estação chuvosa (MARENGO et al., 2012 apud REBOITA et al., 2015).

Devido a sua localização geográfica, o estado de Minas Gerais sofre influência de fenômenos meteorológicos de latitudes médias e tropicais, que imprimem à região características de um clima de transição (Abreu, 1998). Duas estações bem definidas podem ser identificadas: uma seca e uma chuvosa. A exemplo do território continental brasileiro, o estado sofre a influência de frentes frias durante todo o ano.

Nas baixas latitudes, a célula de Hadley se origina pelo transporte de calor desde as zonas equatoriais até às latitudes médias, onde a quantidade de radiação solar incidente é normalmente muito maior. As células de Hadley estendem-se desde o equador até às latitudes de aproximadamente 30° em ambos os hemisférios. O ar aquecido é transportado em um movimento celular, com o ar ascendendo por convecção nas regiões equatoriais e deslocando-se até as latitudes tropicais, pelo topo da troposfera. A subida do ar quente no equador está acompanhada pela formação frequente de tempestades convectivas na chamada Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Esta circulação forma a célula convectiva que domina o clima tropical e subtropical (MARTINS, 2008).

Nas médias latitudes, células mais fracas chamadas de células de Ferrel circulam em direção oposta à célula de Hadley, denominada por Ferrel no século XIX. Nas médias latitudes ocorre o ramo ascendente com ar frio em cerca de 60° de latitude e ocorre o ramo descendente com ar quente em cerca de 30° de latitude. Essas células são, assim, termodinamicamente indiretas, visto que elas transportam energia de uma área fria para uma quente. A circulação meridional média é um componente pequeno do escoamento total em médias latitudes e as células de Ferrel são um subproduto do transporte muito forte na direção dos polos, de energia por circulação dos vórtices (MARTINS, 2008).

Vianello e Maia (1986) dizem que o escoamento médio na superfície sobre a América do Sul e oceanos circunvizinhos reflete a presença dos anticiclones quase-estacionários do Atlântico Sul (ASAS) e do Pacífico Sul (ASPS), responsáveis, em grande parte, pelas condições de tempo sobre o continente, uma vez que exercem influência destacável na penetração das massas de ar tropicais úmidas e polares. Suas posições e intensidades modificam-se ligeiramente do verão para o inverno. O ASAS destaca-se pelo papel que desempenha sobre o clima do Brasil e, em particular, sobre MG. Sistemas como o ASAS e ASPS caracterizam-se por serem o ramo descendente da célula de Ferrel (WALLACE; HOBBS, 2006; BARRY; CHORLEY, 2009; CHRISTOPHERSON, 2015 apud SILVA, 2018). Esses sistemas são formados por movimentos subsidentes em toda a troposfera, gerando zonas de altas pressões em torno de 30° de latitude, formando um cinturão ao redor do globo em ambos os hemisférios. Em sua localidade, são característicos o tempo seco e a ausência de nuvens (BASTOS; FERREIRA, 2000 apud SILVA, 2018).

O ASAS marca sua presença fortemente sobre Minas Gerais. Os ventos dominantes dos quadrantes norte e leste estão relacionados com o centro de ação que, no verão, estando localizado sobre o Atlântico, induz uma circulação norte e a conseqüente invasão do ar

tropical quente úmido, principal responsável pelas chuvas de verão, especialmente quando aquela massa se encontra com a massa fria polar oriunda do sul (VIANELLO; MAIA, 1986).

Segundo Vianello e Maia (1986) no inverno o deslocamento do ASAS para o continente acaba induzindo o fenômeno de subsidência, responsável por céu claro, ausência de chuvas e favorecimento de condições agravantes da poluição atmosférica. Frequentemente no verão, o atrito diferencial mar-continente acaba por originar um pequeno centro de alta sobre o continente, aparentemente afastado do ASAS. Estas configurações alternam ou combinam-se com a chegada das frentes frias provenientes do sul, responsáveis por instabilidades e bruscas mudanças do tempo, geralmente acompanhadas de chuvas em Minas Gerais. As frentes frias são mais frequentes e intensas no inverno. Uma situação comum, durante o verão, é o semi-estacionamento de sistemas frontais sobre a região Sudeste. Neste caso, pode haver uma condição de precipitação fraca, de origem estratiforme, na retaguarda da frente, devido a chamada "circulação marítima", ou seja, o anticiclone polar fica bloqueado, pela sua posição, mantendo uma circulação leste-sudeste, carreando umidade do oceano para o continente, podendo intensificar-se no final do período diurno devido ao aquecimento e ao acúmulo de umidade advectada entre a Serra do Mar e a Mantiqueira (Viola e Peixoto¹).

De acordo com Minuzzi et al. (2005) a literatura (QUADROS, 1993; FEDOROVA et al., 2000; GRIMM et al., 1998; SILVA, 2000) cita estudos referentes a variações no número de ocorrências e de deslocamentos de sistemas meteorológicos, tais como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a Alta da Bolívia, zonas frontais, Vórtice Ciclônico de Altos Níveis e outros, associados aos anos de ocorrência do ENOS, que é um dos principais mecanismos responsáveis pela variabilidade das precipitações pluviais durante o período chuvoso em Minas Gerais.

A estação chuvosa em Minas Gerais também tem influência das frentes frias, pois esses sistemas ao chegarem na região Sudeste do Brasil contribuem para a estacionariedade da ZCAS, que é o principal sistema atmosférico responsável pelas chuvas na região tropical do Brasil durante a estação chuvosa e compõe o Sistema de Monção da América do Sul (JONES; CARVALHO, 2002). Entretanto, de acordo com Silva, Reboita e Rocha (2014), o verão é a estação do ano com menor frequência de frentes frias em Minas Gerais (5 sistemas), enquanto nas demais estações do ano o sul do estado pode ser influenciado por cerca de 7 a 8 frentes frias.

¹ Comunicação pessoal de Vianello e Maia com Viola e Peixoto.

A ZCAS é uma banda de nebulosidade convectiva que se estende de noroeste a sudeste sobre a América do Sul e mostra uma interação entre sistemas tropicais e extratropicais. Esta banda aparece na primavera e verão algumas vezes no outono, mas nunca no inverno. A principal característica para o desenvolvimento desta banda é uma forte convecção sobre a América do Sul tropical, o que é frequente no verão e o deslocamento de sistemas frontais de latitudes médias em direção a nordeste, ao longo da costa do Brasil (CAVALCANTI; ROWNTREE, 1998).

Os Jatos de Baixos Níveis (JBN) são conhecidos como Jatos de Baixos Níveis da América do Sul (JBNAS), um componente do sistema de monção da América do Sul, que transporta umidade da bacia Amazônica para a bacia Paraná-Prata, afetando o tempo e o clima da região leste dos Andes (MARENGO; AMBRIZZI; SOARES, 2009). Eventos de JBNAS podem influenciar, por meio de variações no transporte de umidade, as condições de tempo severas associadas a grandes nuvens convectivas na região de saída do jato, que podem gerar fortes tempestades e enchentes. De acordo com os padrões de escoamento e transporte de umidade na baixa atmosfera, o JBNAS transporta umidade atmosférica oriunda do fluxo dos ventos alísios que passa sobre a Amazônia, podendo adquirir maior quantidade de umidade por causa da evapotranspiração na região da floresta, sofre mudança de direção devido ao bloqueio topográfico e flui paralelamente à cordilheira dos Andes em direção ao Sul/Sudeste do Brasil (MARENGO; AMBRIZZI; SOARES, 2009).

Pouco estudadas, porém de grande importância, as massas de ar que atuam em Minas Gerais, como a Tropical Continental (Tc) e a Tropical Marítima (Tm), contribuem para a distinção entre os períodos seco e chuvoso. Fedorova (1999) explica que a massa de ar Tm é formada na região dos anticiclones no sul dos oceanos Atlântico e Pacífico, sendo formada por duas camadas: uma inferior, fria e úmida e a outra superior, quente e seca. A umidade da parte inferior dá origem a nuvens do tipo cumulus de pequena extensão vertical, ocasionando poucas chuvas, geralmente no litoral ou devido à orografia, quando a massa se desloca sobre o continente. Durante o verão, a massa Tm formada no Pacífico Sul passa sobre a Cordilheira dos Andes, indo alimentar a depressão do Chaco sob forma de brisa de montanha. A Cordilheira dos Andes atua como um divisor entre as massas continentais a leste e as massas marítimas a oeste. Desta forma, é justamente sobre a região do Chaco que a massa Tropical Continental está associada e mesmo sendo uma massa quente, seca, instável e apresentando intensa atividade convectiva, as precipitações associadas a si são fracas. Sobre o interior do Brasil, a massa Tc atua, durante o fim do inverno, antes do início do período chuvoso (MINUZZI, 2003).

Segundo Nimer (1989, apud ABREU, 1998) a região Sudeste do Brasil, a qual se insere o estado de Minas Gerais, caracteriza-se por um clima de transição entre as latitudes tropicais quentes e as latitudes médias temperadas. Esta região é atingida por perturbações de sul, de leste e de oeste. As correntes perturbadas de sul estão associadas à atuação da FPA (Frente Polar Atlântica) e das massas de ar de origem Polar. A massa polar atlântica não transporta umidade, mas, seu deslocamento em direção aos trópicos, sim, gera condições necessárias para a ocorrência de chuvas. Boa parte da umidade que resulta em chuva, de fato, estava presente no ar do sistema tropical “invadido” pelo ar polar. Este fato pode ser verificado pouco depois da passagem da frente polar (GALVANI; AZEVEDO, 2012, p. 2 apud DA ASSUNÇÃO, 2015).

2.2.2. Temperatura do ar e precipitação

Sá Júnior (2009), com base no banco de dados do WordClim (HIJMANS et al., 2005) e na classificação climática de Köppen-Geiger, identificou três principais tipos climáticos no estado de Minas Gerais: Aw (clima tropical de savana com estação seca no inverno) em 67% da área total do estado, Cwa (clima temperado úmido com inverno seco e verão quente) em 21% da área e Cwb (clima temperado úmido com inverno seco e verão moderadamente quente) em 11% da área. No setor oeste de Minas Gerais predomina o clima Aw, enquanto no Sul e nas regiões com topografia elevada domina o Cwa e Cwb (REBOITA, 2015).

Abreu (1998) explica que no inverno, devido ao gradiente de temperatura do ar entre o equador e o polo sul ser muito intenso, as frentes apresentam um forte gradiente barométrico que gera regiões de movimento ascendente no lado equatorial do sistema frontal. Esta movimentação do ar origina precipitação tipicamente frontal, que atinge principalmente a região Sul do Brasil e o sul do Sudeste. Quando as descontinuidades de temperatura e de umidade do ar são muito intensas, a precipitação atinge também o estado de Minas Gerais (DE ABREU, 1998).

De acordo com Ávila et al. (2014), a região norte de Minas Gerais apresenta clima seco e quente, em contraste com a região sul, que é caracterizada por temperaturas mais amenas e chuvas mais bem distribuídas ao longo do ano (MELLO; VIOLA, 2013). A porção leste (Bacia do Rio Doce), que está sujeita à influência oceânica, contrasta com a continentalidade do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e do noroeste do Estado. Tamanha diversidade climática resulta em grande diversidade de paisagens, desde a caatinga, no

extremo norte, passando por vastas áreas de Cerrado com diferentes densidades, aos campos de montanhas e às formações de floresta Atlântica (TONIETTO et al., 2006).

Como descrito por Ávila et al. (2014), o regime pluvial de Minas Gerais apresenta dois períodos bem definidos, um chuvoso, no verão, e outro seco, no inverno. As chuvas concentram-se em seis meses do ano (outubro a abril), e o período entre dezembro e fevereiro é o mais chuvoso.

Quanto à temperatura média, o estado apresenta influência marcante da latitude e, principalmente, da altitude, em razão da presença de cadeias de montanhas em grande parte de seu território. Assim, os valores médios mensais de temperaturas do ar variam entre 13°C (nas regiões mais elevadas, como as das Serras da Mantiqueira e do Espinhaço) e 27°C (no norte e leste), com médias mensais das temperaturas extremas de 4 a 33°C. Assim, Minas Gerais apresenta expressiva variabilidade de tipos climáticos (TONNIETTO et al., 2006).

Com relação à temperatura do ar próxima à superfície em Minas Gerais, tem-se que essa variável é influenciada pelas estações do ano: o verão é a estação com maiores temperaturas médias do ar e o inverno a com as menores temperaturas, devido a duração do dia ser maior do que a noite no verão e o contrário no inverno. No verão as amplitudes térmicas diminuem devido à nebulosidade, enquanto no inverno as amplitudes são mais elevadas. Além disso, as regiões com altitudes elevadas são mais frias do que as menos elevadas (REBOITA et al., 2015).

2.2.3. Influência de eventos de El Niño

Grimm e Ferraz (1998, apud MINUZZI et al. 2005) explicam que na região Sudeste do Brasil, a resposta ao fenômeno ENOS não é tão linear quanto no Cone Sul da América do Sul, talvez porque o Atlântico influencie mais a região Sudeste, e a resposta no Atlântico não seja tão simétrica quanto no Pacífico. A pouca consistência das anomalias no Sudeste é devida justamente ao caráter de transição da região, pois as anomalias podem deslocar-se para norte ou para sul de um evento para outro, podendo, assim, alterar o seu sinal em relação a eventos anteriores.

Sabe-se que as estiagens e as chuvas em excesso por períodos seguidos, em várias partes do mundo, incluindo o estado de Minas Gerais, estão associadas aos fenômenos de escala global, como o El Niño e La Niña, que afetam a circulação geral da atmosfera. A intensidade e a fase dessa oscilação são observadas pela TSM do Pacífico equatorial e pelo Índice de Oscilação Sul (IOS).

Temos conhecimento de que há impactos significativos sobre a precipitação pluvial mensal e sazonal em várias regiões da América do Sul durante a ocorrência de episódios ENOS (KOUSKY et al., 1984; ROPELEWSKI; HALPERT, 1987, 1989; ACEITUNO, 1988; GRIMM, 2003, 2004). Esses episódios também influenciam na frequência de eventos extremos de precipitação pluvial em várias regiões da América do Sul (CARVALHO et al., 2002; GRIMM; TEDESCHI, 2009; ROBLEDO et al., 2013, apud TEDESCHI, 2013).

Camilloni e Barros (2000) e Berri et al. (2002) mostraram que os episódios ENOS podem causar enchentes em rios sobre a América do Sul. O Sul do Brasil sofre uma grande influência de eventos ENOS (GRIMM et al., 1998; GRIMM, 2003, 2004), com anomalias positivas de precipitação pluvial em eventos de El Niño e anomalias negativas em eventos de La Niña, na primavera. A anomalia positiva durante El Niño também é encontrada no outono e inverno do ano seguinte. Grimm et al. (2000) verificaram que, além do Sul do Brasil, esse sinal se estende por todo o Cone Sul da América do Sul. Kayano e Andreoli (2006) mostraram que os episódios ENOS afetam significativamente a precipitação pluvial sobre o Nordeste do Brasil, porém as chuvas nessa região são também muito afetadas pelas anomalias de TSM sobre o Atlântico tropical. Grimm (2003, 2004) mostrou que os eventos ENOS também têm impacto em outras regiões do Brasil. Há impactos sobre as anomalias de precipitação pluvial no Centro-Leste do Brasil durante a estação chuvosa, afetando regiões populosas e de grande importância para a agricultura e hidroeletricidade (COLLISCHONN et al., 2001; BERBERY; BARROS, 2002; TUCCI et al., 2003, apud TEDESCHI, 2013).

Durante o verão austral de El Niño, em algumas regiões tropicais das Américas, a precipitação pluvial aumenta substancialmente, assim como no Equador e no Peru (ACEITUANO, 1998). A atividade convectiva também leva a uma intensa subsidência no Nordeste do Brasil e na América Central, que suprime a convecção tropical profunda e resulta em déficits de precipitação pluvial ou até secas (MAGAÑA; QUINTANAR, 1997; KOUSKY et al., 1984; UVO et al., 1998). Na América do Sul subtropical e de latitude média, a primavera e o verão de El Niño austral resultam em uma precipitação pluvial aumentada, especialmente no Sul do Brasil, norte da Argentina e Uruguai (RAO; HADA, 1990; PRISCIOTTANO et al., 1994; GRIMM et al., 1998, entre outros, apud COELHO et al. 2002).

Minuzzi et al. (2006) estudaram a relação do El Niño com a precipitação na região Sudeste do Brasil durante o verão e não obtiveram influência desse fenômeno na precipitação pluvial. Coelho et al. (1999) avaliaram a influência do ENOS em todo o Brasil com dados de 206 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), entre 1963 e 1998. Os autores verificaram que só no verão durante a fase fria do ENOS (La Niña) há

anomalias negativas de precipitação pluvial significativas em Minas Gerais (SILVA; REBOITA, 2013).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

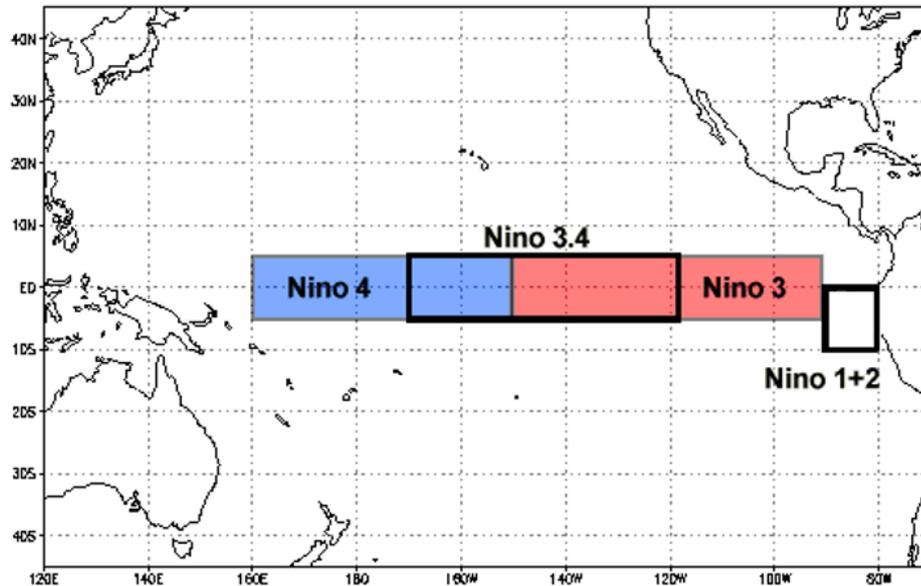
3.1. NATUREZA DOS DADOS

Os campos atmosféricos de precipitação pluvial, temperatura mínima e máxima do ar foram obtidos do banco de dados de Xavier et al. (2016), disponíveis para download em: <https://utexas.app.box.com/v/xavier-et-al-ijoc-data>. Os arquivos estão no formato *Network Common DataForm* (NetCDF), no qual se incluem coordenadas, datas e outras informações relevantes. Os dados são disponibilizados no período de 01/01/1980 a 12/12/2015.

O conjunto de dados de Xavier et al. (2015) inclui dados diários, com resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, na qual utilizaram o método de interpolação *Inverse distance weighting* - IDW (Ponderação de Distância Inversa), coletados de estações meteorológicas convencionais e automáticas do período de 1 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2015. As fontes dos dados são o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a Agência Nacional de Águas (ANA), o Departamento de Guias de Energia Elétrica de São Paulo (DAEE), SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste). O número de pluviômetros utilizados para coletar os dados de precipitação pluvial foram 9.259.

As séries temporais mensais de TSM são da versão ERSST.v3b (SMITH et al., 2008) e foram obtidas do *Climate Prediction Center/National Oceanic and Atmospheric Administration* (CPC/NOAA) para as regiões do Niño (Figura 3).

Figura 3. Regiões do Niño 1+2 (0° a 10° S, 90° W a 80° W), Niño 3 (5° N a 5° S, 150° W a 90° W), Niño 3.4 (5° N a 5° S, 170° W a 120° W) e Niño 4 (5° N a 5° S, 160° E a 150° W).



Fonte: NCEP/NOAA.

3.2. METODOLOGIA

3.2.1. Identificação e intensidade dos eventos de El Niño

Inicialmente o ciclo anual de 1979 a 2013 foi removido das séries temporais de TSM, gerando séries de anomalias mensais para cada região do Niño. Os eventos de El Niño foram determinados de acordo com a metodologia utilizada para calcular o Índice de Niño Oceânico (*Oceanic Niño Index - ONI*) do CPC/NOAA (*Climate Prediction Center/National Oceanic and Atmospheric Administration*). Os episódios quentes do ENOS foram baseados no limiar de $+0,5^{\circ}\text{C}$ das anomalias trimestrais (média móvel de três meses) de TSM, os quais devem persistir por no mínimo 5 trimestres consecutivos. Os eventos de El Niño foram classificados de acordo com sua intensidade, em que o limiar foi observado em pelo menos um trimestre de acordo com as anomalias de TSM (ATSM) (Tabela 1): El Niño fraco ($+0,5 \leq \text{ATSM} < +1,0^{\circ}\text{C}$), moderado ($+1,0^{\circ}\text{C} \leq \text{ATSM} < +1,5^{\circ}\text{C}$) e forte ($\text{ATSM} \geq +1,5^{\circ}\text{C}$).

Tabela 1 – Classificação de intensidade dos eventos de El Niño por região do Niño, entre 1980 e 2013.

Intensidade	Niño 1+2	Niño 3	Niño 3.4	Niño 4
Fraco			1994 2004	1987 1991-92 1997 2004-05 2006
Moderado	1987 1993 2006 2009 2012	1987 1991-92 2002-03 2006 2009	2002-03	1994-95 2002-03 2009-10
Forte	1982-83 1992 1997-98	1982-83 1997-98	1982-83 1986-87 1991-92 1997-98 2009-10	

Fonte: Carpenedo (2017).

3.2.2. Composição dos campos atmosféricos

Para caracterizar a precipitação pluvial e a temperatura do ar (mínima e máxima) em Minas Gerais durante os eventos de El Niño nas diferentes regiões do Niño e de diferentes intensidades, primeiramente calculou-se a média climatológica destes campos (1981-2010). Em seguida foi feito o cálculo da média dos campos durante os eventos de El Niño nas regiões do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4. e Niño 4, na qual foram utilizados os trimestres em que foram identificados eventos de diferentes intensidades (fraco, moderado ou forte) (*cf.* Tabela 01). Posteriormente, calculou-se a diferença entre os campos atmosféricos durante os eventos de El Niño e a climatologia do referido campo. Por fim, para o cálculo da significância estatísticas dos campos de anomalias, foi utilizado o teste t-Student, ao nível de significância de 10%.

Alves (2017) explica que o teste t-Student tem diversas variações de aplicação, mas sempre há a limitação do mesmo ser usado na comparação de duas (e somente duas) médias e as variações dizem respeito às hipóteses que são testadas. O teste t-Student foi desenvolvido para diversas finalidades, entre elas a comparação de dois eventos e suas variações, sendo comprovadas pelas hipóteses determinadas. A distribuição t é uma distribuição simétrica, que é muito similar à distribuição Gaussiana, porém com mais probabilidades designadas para as

“caudas” (WILKS, 2006). Nesta distribuição, t é controlado pelo parâmetro v , os chamados graus de liberdade. A seguir as equações de desvio padrão do teste:

Equação 1: Fórmulas para o cálculo de Desvio Padrão.

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

$$var(V_{\psi}) = \frac{s^2}{v} \quad (2)$$

Fonte: Wilks (2016).

O teste t (Equação 1) segue uma distribuição em que na Equação 2 corresponde à variância, sendo s o desvio padrão da amostra e v o número de graus de liberdade para eventos independentes.

Os campos anômalos de precipitação pluvial e temperatura mínima e máxima durante os eventos de El Niño nas diferentes regiões do Niño e de diferentes intensidades foram espacializados através do software GrADS (*Grid Analysis and Display System*), que permite gerar composições atmosféricas utilizando quatro dimensões, sendo elas a latitude, longitude, altitude e tempo. O software gera figuras no formato *png*, após serem utilizados *scripts* com as coordenadas geográficas definidas e os anos dos eventos. Segundo Doty (1995), o GrADS é uma ferramenta de trabalho interativa que atualmente está em uso no mundo todo para a análise e visualização de dados das Ciências da Terra. Depois que os dados forem acessados e manipulados, eles podem ser exibidos usando uma variedade de técnicas de saída gráfica, incluindo linhas, barras e gráficos de dispersão, bem como contorno, contorno sombreado, racionalizar, vetor de vento, caixa de grade, caixa de grade sombreada e gráficos de modelo de estação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. REGIÃO DO NIÑO 1+2

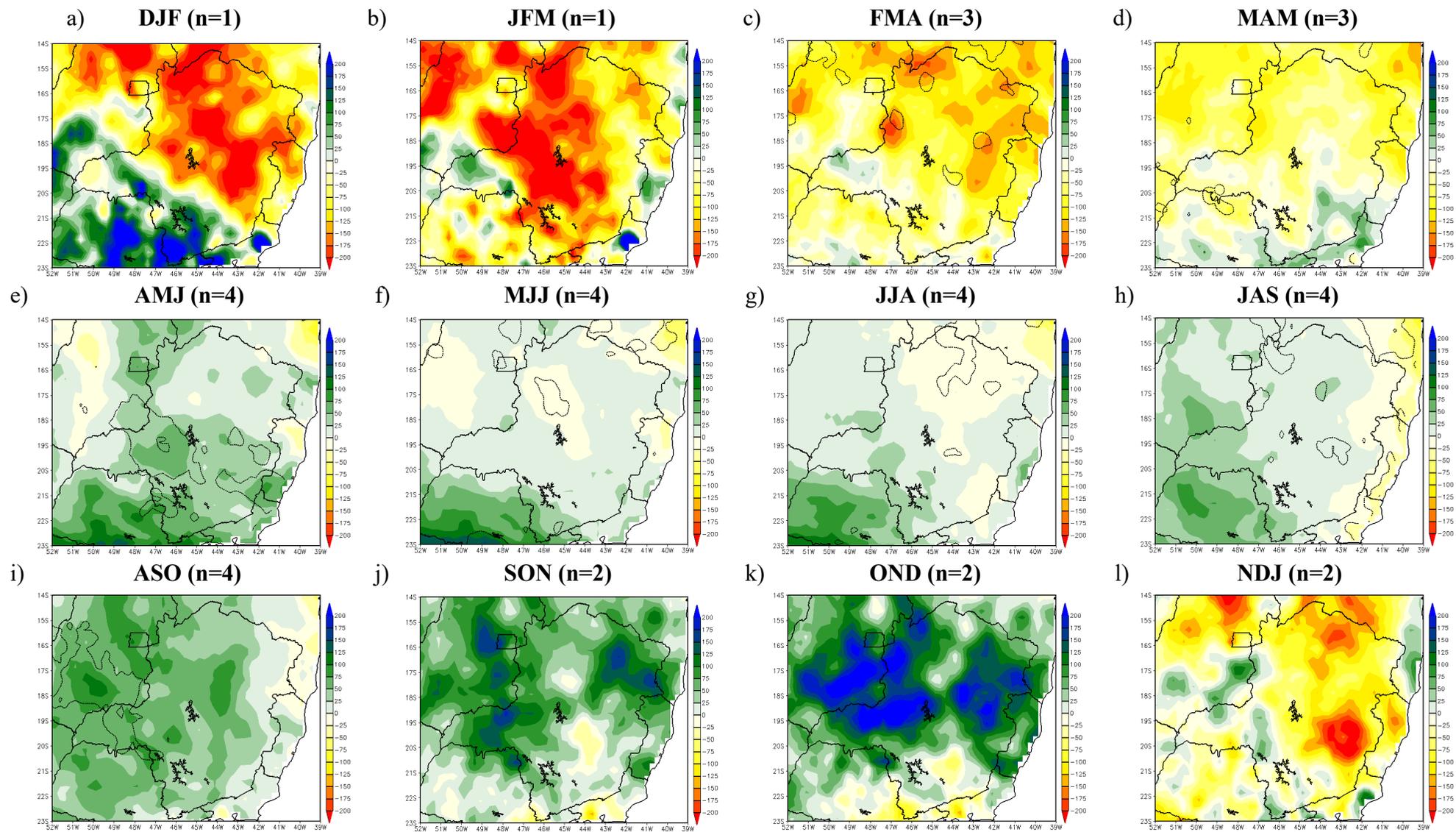
4.1.1. Intensidade moderada

Através da Figura 4 é possível observar as anomalias de precipitação pluvial em Minas Gerais durante os trimestres com eventos de El Niño de intensidade moderada na região do Niño 1+2. O padrão espacial das anomalias de precipitação pluvial nos trimestres de NDJ a MAM é de predomínio de anomalias negativas em grande parte de Minas Gerais, com diminuição inferior a -200 mm (Figuras 4a, 4b, 4c, 4d, 4l). A redução observada no trimestre JFM sugere um fim adiantado da estação chuvosa ou mais seco em Minas Gerais. Nos trimestres de AMJ a OND há o predomínio de anomalias positivas de precipitação pluvial no estado, indicando um aumento superior a +200 mm (Figuras 4e-4k). O aumento observado na precipitação pluvial nos trimestres SON e OND pode indicar um início adiantado da estação chuvosa ou mais úmida em Minas Gerais. Porém, no trimestre MAM no sul do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba há uma anomalia negativa de precipitação pluvial variando de -25 a -75 mm, enquanto nos trimestres MJJ e JJA há anomalias negativas no centro-norte do estado.

Na Figura 5 é possível observar as anomalias de temperatura mínima em Minas Gerais durante os trimestres com eventos de El Niño de intensidade moderada na região do Niño 1+2. Dominam anomalias positivas nos trimestres de AMJ a OND, com destaque para o trimestre JJA, com anomalias de até +1,5°C nas mesorregiões do Vale do Rio Doce, Oeste e Central Mineira (Figuras 5e-5k). Porém, anomalias negativas de temperatura mínima dominam nos trimestres de NDJ a MAM, com desvios inferiores a -1,5°C (Figuras 5a, 5b, 5c, 5d, 5l).

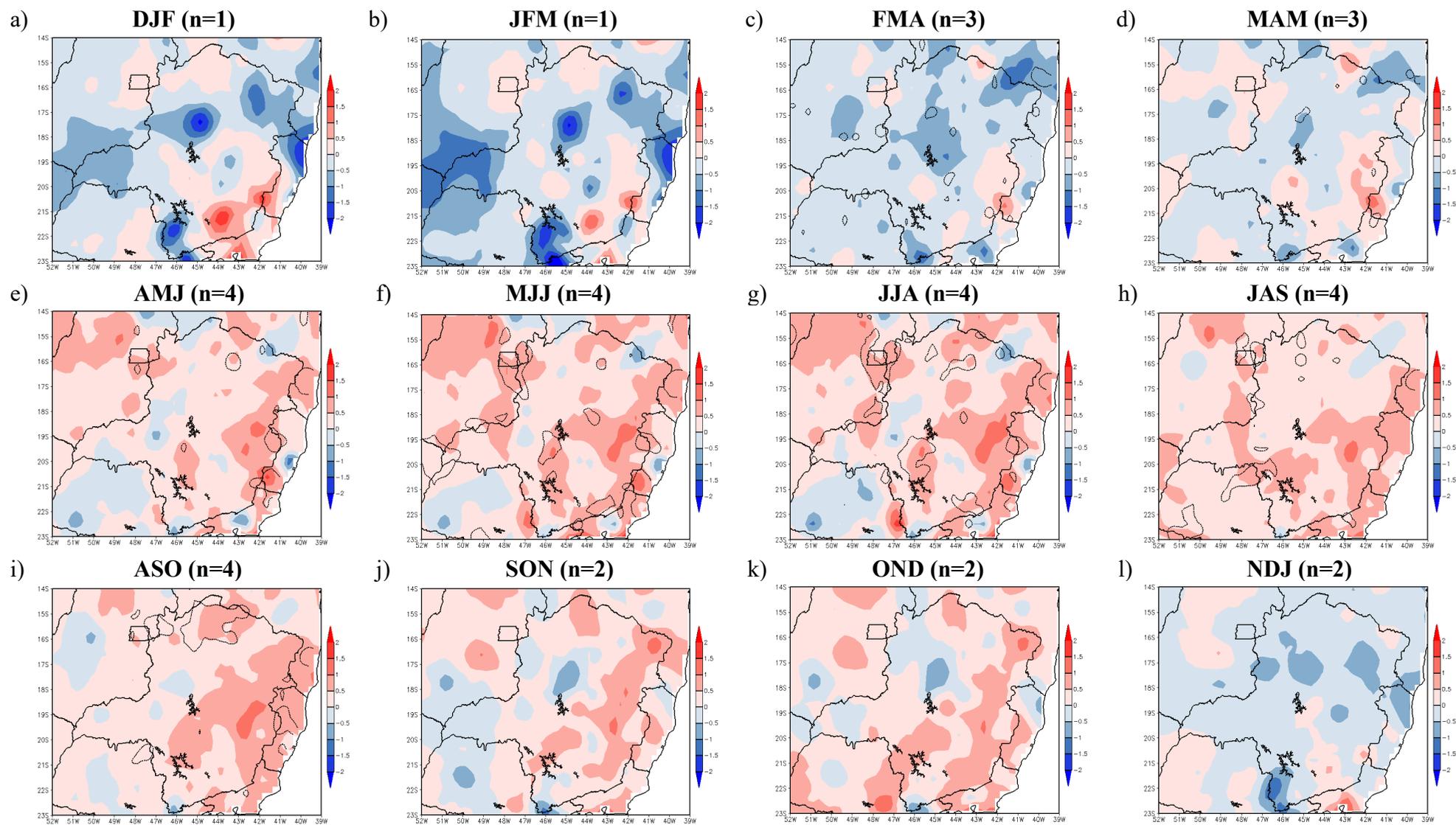
Na Figura 6 observam-se as anomalias de temperatura máxima em Minas Gerais durante os trimestres com eventos de El Niño de intensidade moderada na região do Niño 1+2. As anomalias de temperatura máxima demonstram aquecimento no centro-norte de Minas Gerais, com anomalias superiores a +2°C, e resfriamento no centro-sul, com anomalias inferiores a +2°C, as quais são observadas nos trimestres de verão, outono e inverno (Figuras 6a-6g). No trimestre AMJ há o predomínio de anomalias negativas de temperatura máxima no centro-sul do estado (Figura 6e), enquanto no trimestre JAS há o predomínio de anomalias positivas (Figura 6h). Em DJF e JFM as anomalias positivas predominam no Norte, em parte de Jequitinhonha e Belo Horizonte, com +2°C de aumento na temperatura máxima, enquanto no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Oeste e parte do Sul as anomalias negativas são inferiores a -2°C.

Figura 4. Composições anômalas de precipitação pluvial (mm) em Minas Gerais durante os eventos de El Niño na região do Niño 1+2 de intensidade moderada para os trimestres (a) DJF (dezembro a fevereiro), (b) JFM (janeiro a março), (c) FMA (fevereiro a abril), (d) MAM (março a maio), (e) AMJ (abril a junho), (f) MJJ (maio a julho), (g) JJA (junho a agosto), (h) JAS (julho a setembro), (i) ASO (agosto a outubro), (j) SON (setembro a novembro), (k) OND (outubro a dezembro), (l) NDJ (novembro a janeiro) entre 1980 a 2015. Linhas pontilhadas indicam anomalias significativas ao nível de 10% e n indica o número de eventos.



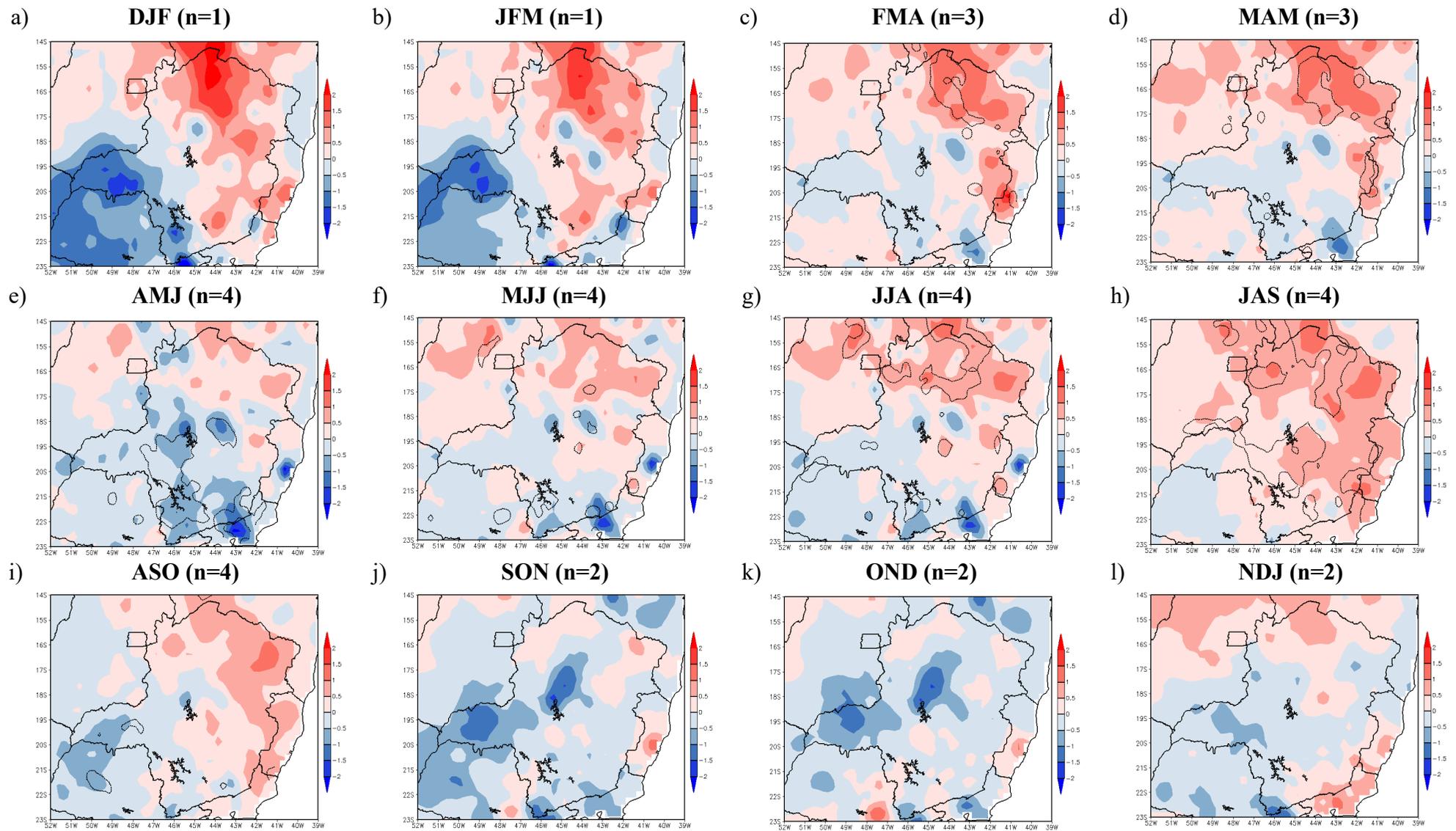
Elaboração: Arantes (2019).

Figura 5. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de temperatura mínima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 1+2 de intensidade moderada.



Elaboração: Arantes (2019).

Figura 6. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de temperatura máxima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 1+2 de intensidade moderada.



Elaboração: Arantes (2019).

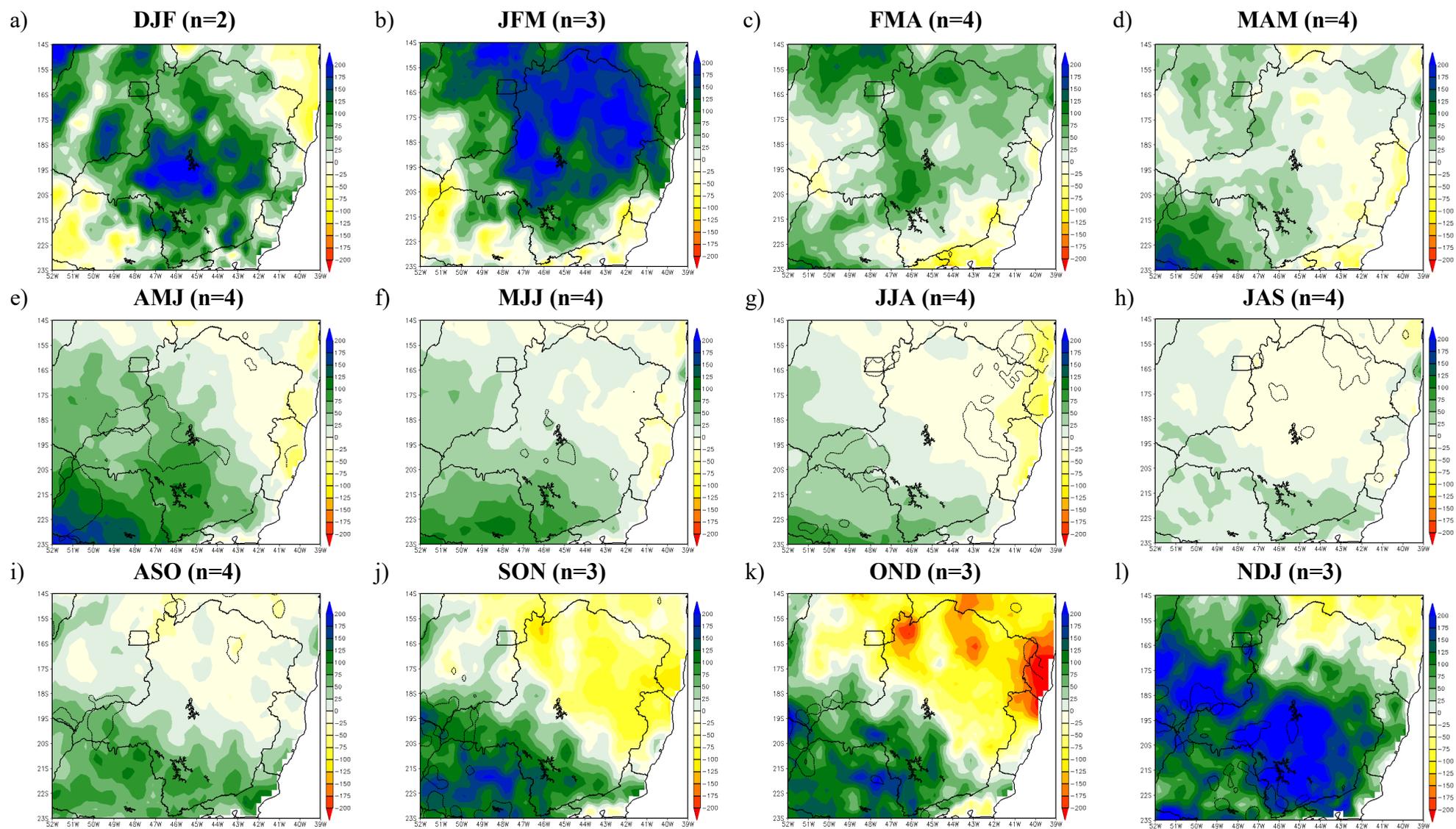
4.1.2. Intensidade forte

A Figura 7 apresenta as anomalias de precipitação pluvial em Minas Gerais durante os trimestres com eventos de El Niño de intensidade forte na região do Niño 1+2. Os trimestres NDJ, DJF, JFM, FMA, MAM, JJA, ASO e SON possuem predominância de anomalias positivas de precipitação pluvial no centro-sul de Minas Gerais, enquanto os trimestres AMJ, JAS, ASO e OND possuem anomalias negativas no centro-norte do estado. O trimestre MAM apresenta uma área de anomalia positiva de até +100 mm no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e em parte de São Paulo. Nos trimestres AMJ, MJJ e ASO (Figuras 7e, 7f, 7i) as anomalias ocorrem com um aumento de até +100 mm, enquanto nos trimestres JJA e JAS o aumento foi menor, apresentando anomalias de apenas +25 mm, enquanto nas mesorregiões de Jequitinhonha e Vale do Mucuri houve uma diminuição de -25 mm. Os trimestres que apresentaram maiores anomalias de precipitação pluvial foram SON e NDJ (Figuras 7j, 7l), caracterizados pelo começo da primavera, elas apresentam um aumento de +100 a +200 mm, principalmente no Sul, Centro Oeste e Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, o que pode indicar um início de estação chuvosa adiantada ou mais úmida neste último.

Com relação à temperatura mínima, marcadas por anomalias positivas em Minas Gerais, o centro-sul do estado apresentou anomalias de até +1,5°C, identificadas no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e, principalmente, em Diamantina, como é possível observar nos trimestres MAM a DJF (Figuras 8a, 8d-8l).

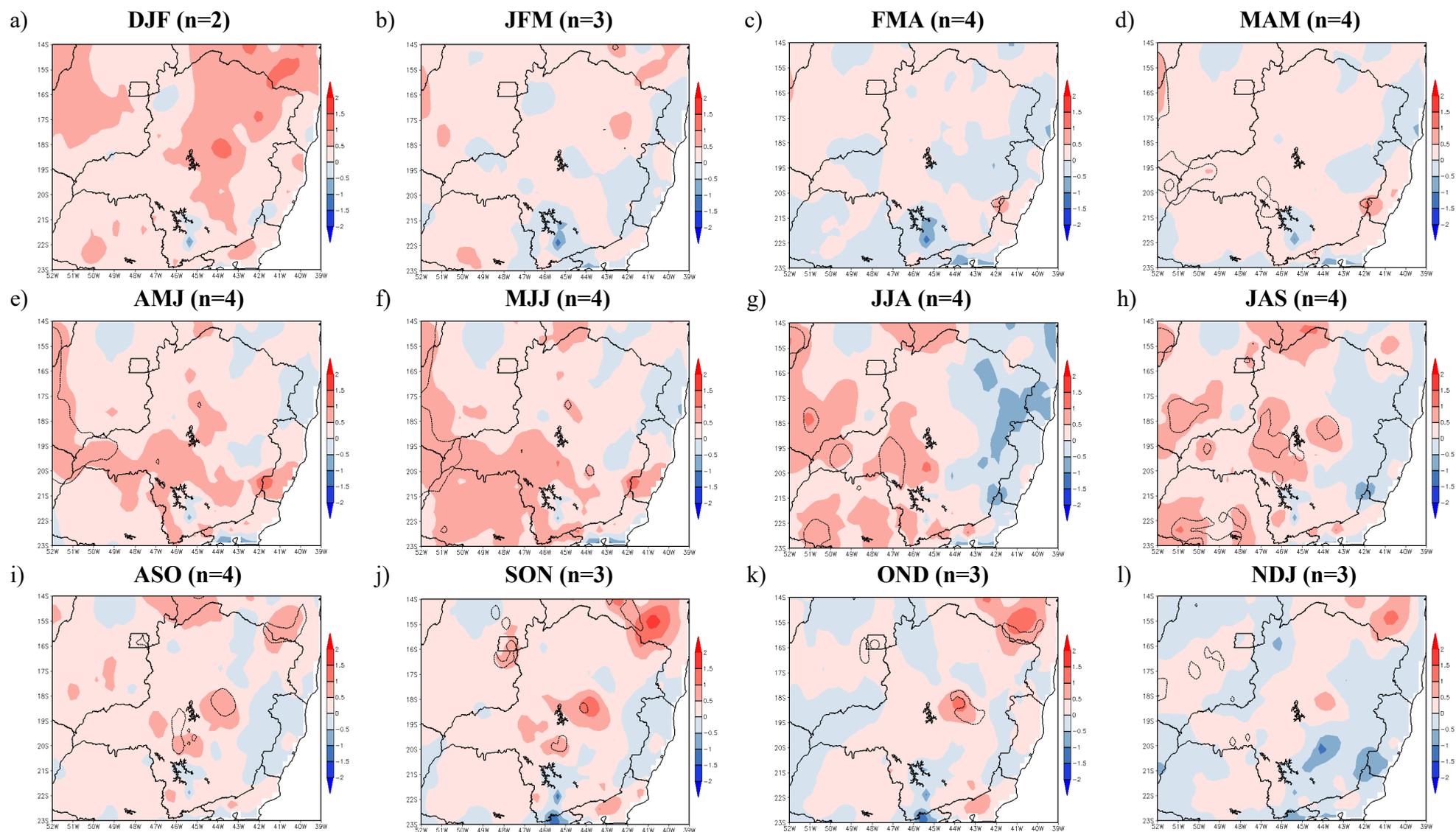
Na Figura 9 é possível observar poucas áreas com anomalias de temperatura máxima com significância estatística. Nos trimestres AMJ e MJJ (Figuras 9e, 9f) há anomalias positivas na divisa entre os estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Bahia de +0,5°C, enquanto nos trimestres JJA, JAS e ASO há anomalias positivas de até +2°C na mesorregião de Jequitinhonha, mais precisamente em Diamantina (Figuras 9g-9i). O trimestre SON (Figura 9j) apresenta anomalia positiva de +1°C na divisa de Minas Gerais com a Bahia. Os trimestres que apresentam diminuição na temperatura máxima são os trimestres NDJ e JFM em praticamente todo o estado, com um resfriamento de até -1,5°C (Figuras 9a, 9l).

Figura 7. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de precipitação pluvial (mm) durante os eventos de El Niño na região do Niño 1+2 de intensidade forte.



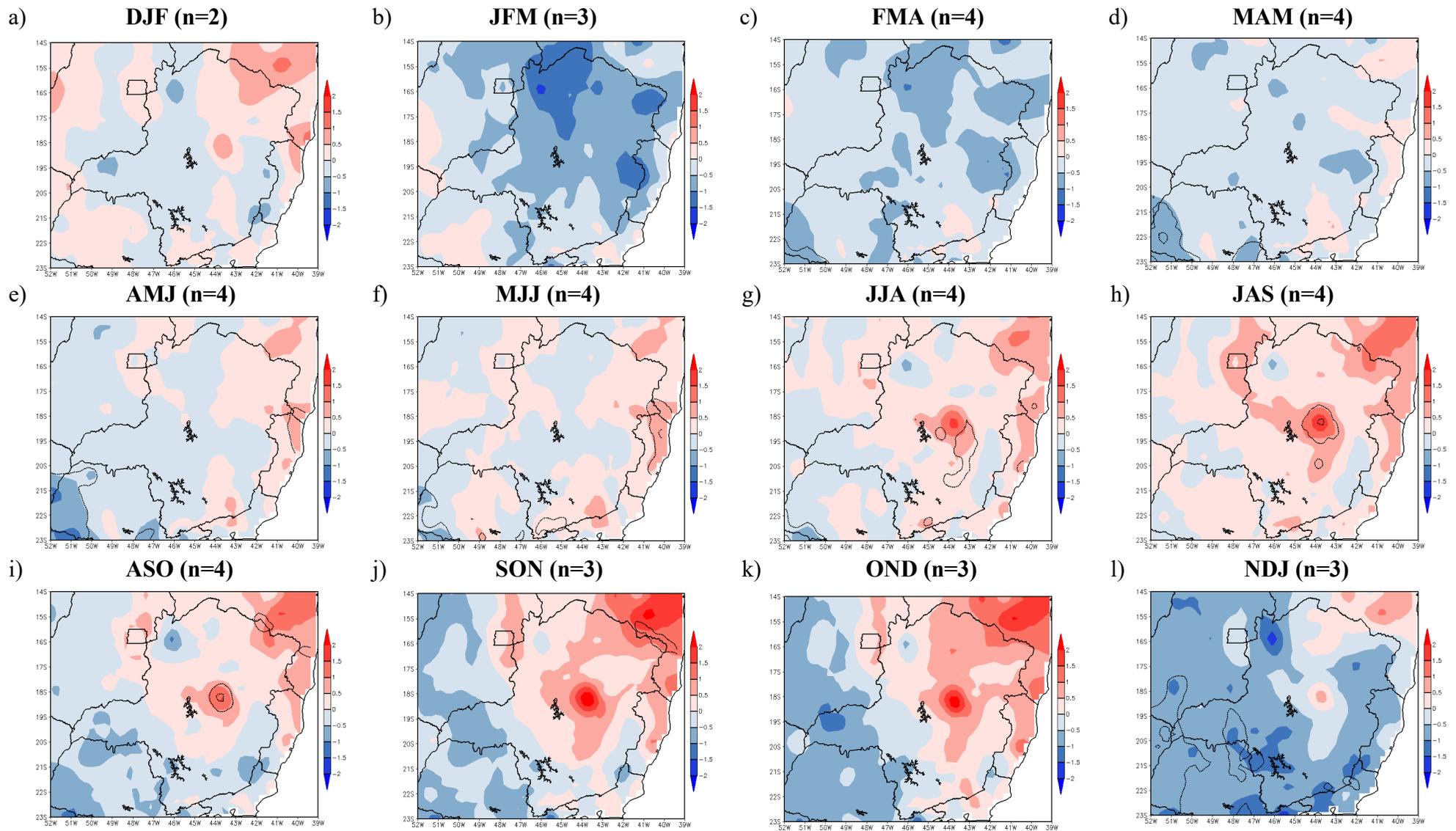
Elaboração: Arantes (2019).

Figura 8. Similar à Figura 5, mas para as composições anômalas de temperatura mínima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 1+2 de intensidade forte.



Elaboração: Arantes (2019).

Figura 9. Similar à Figura 6, mas para as composições anômalas de temperatura máxima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 1+2 de intensidade forte.



Elaboração: Arantes (2019).

4.2. REGIÃO DO NIÑO 3

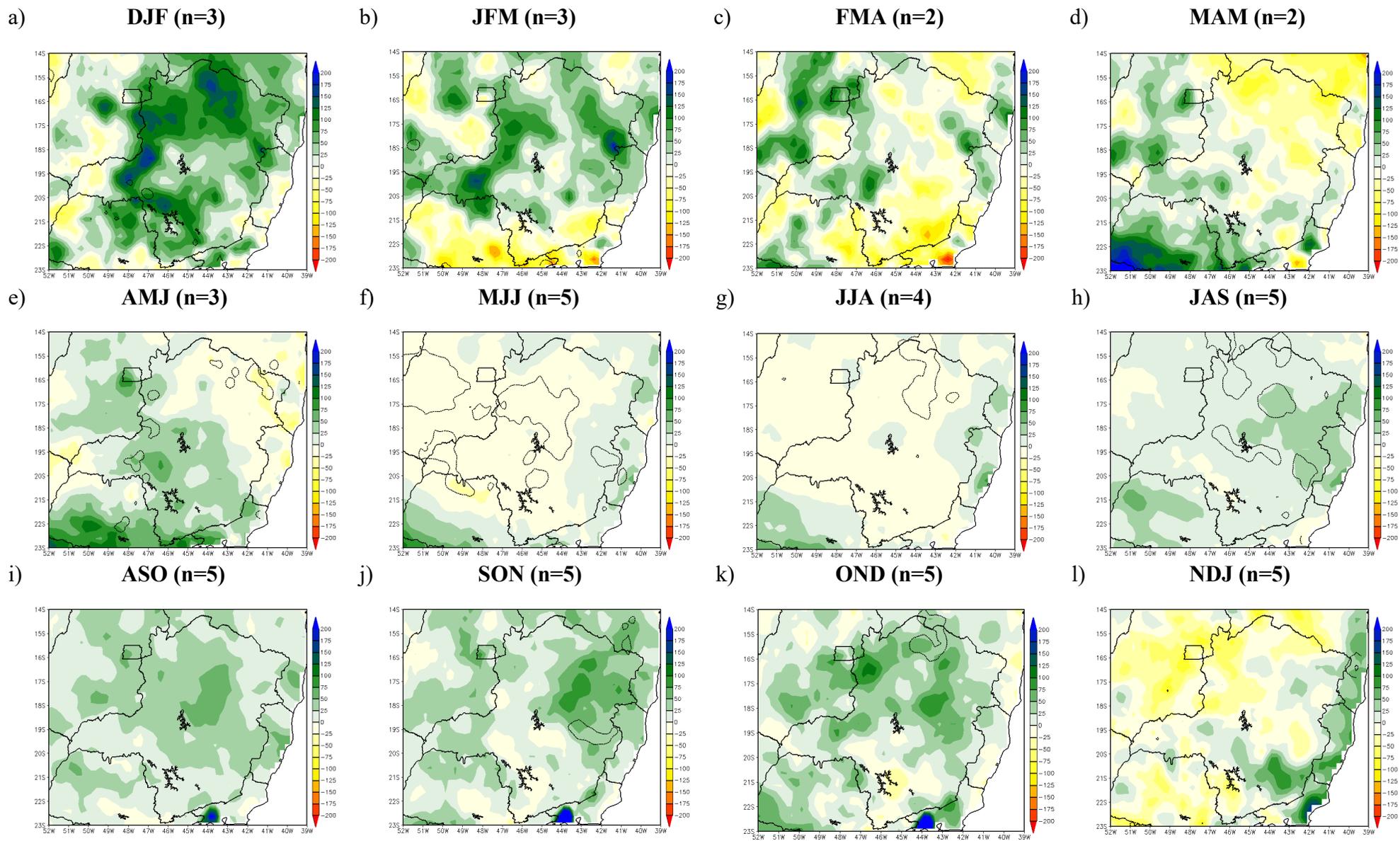
4.2.1. Intensidade moderada

A Figura 10 apresenta as anomalias de precipitação pluvial em Minas Gerais durante os trimestres com eventos de El Niño de intensidade moderada na região do Niño 3. O trimestre DJF e JFM (Figuras 10a, 10b) apresentam anomalias positivas de +75 mm a +125 mm no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, porém há dominância de anomalias positivas em todo o estado. Os trimestres FMA e MAM (Figuras 10c, 10d) apresentam anomalias positivas de +100 mm no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, e Norte de Minas Gerais, enquanto no trimestre MAM as anomalias se concentram no Sul do estado. Nos trimestres MJJ e JJA há anomalias negativas de até -25 mm, enquanto os trimestres AMJ, ASO, SON e OND possuem anomalias positivas de +75 mm, e o trimestre MJJ, apesar das anomalias negativas, também possui anomalias positivas no extremo sul de Minas Gerais de até +25 mm. O aumento observado na precipitação pluvial nos trimestres SON (mesorregião Vale do Rio Doce) e OND (mesorregião Norte de Minas) pode indicar um início adiantado da estação chuvosa ou mais úmida. No trimestre NDJ as anomalias negativas aparecem no Norte e Noroeste de Minas Gerais, com -50 mm de precipitação pluvial.

Em relação à temperatura mínima, o trimestre DJF (Figura 11a) demonstra apenas uma anomalia no Norte de Minas Gerais, com um aquecimento de +0,5°C. No trimestre FMA (Figura 11c) as anomalias negativas de até -1,5°C concentram-se no Sul, Triângulo Mineiro e Central Mineira, enquanto no trimestre MAM (Figura 11d) as anomalias positivas de até +2°C aparecem na Zona da Mata, Vale do Rio Doce e Oeste de Minas. Os trimestres AMJ, MJJ, JJA e OND (Figuras 11e, 11f, 11g, 11k) possuem um aquecimento de +0,5°C a +1,5°C no centro e Sul de Minas Gerais. Os outros trimestres, JAS, ASO e SON (Figuras 11h, 11i, 11j), possuem anomalias em áreas isoladas do estado, variando predominantemente entre +0,5°C a +1,5°C.

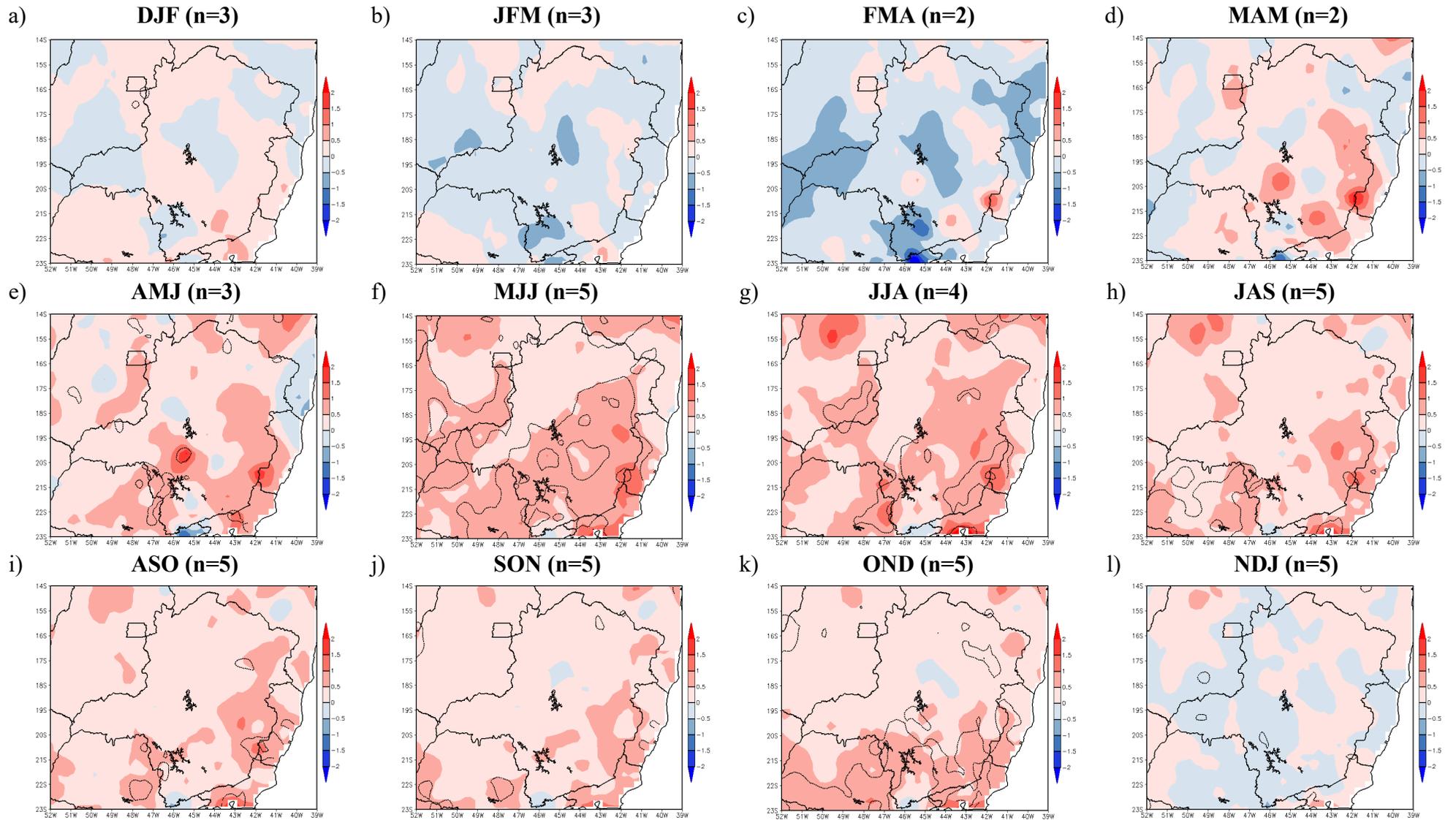
A Figura 12 apresenta as anomalias na temperatura máxima em Minas Gerais, em que se observa que durante os trimestres de DJF até FMA há a diminuição da temperatura máxima, sendo ela inferior a -2°C no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, enquanto no trimestre MAM há anomalias negativas de -1°C e positivas de +1°C. No trimestre MJJ (Figura 12f) há uma anomalia negativa no Centro do estado de até -1,5°C. Os demais trimestres, MJJ até OND (Figuras 12f, 12g, 12h, 12i, 12j, 12k) apresentam anomalias positivas de até +0,5°C.

Figura 10. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de precipitação pluvial (mm) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3 de intensidade moderada.



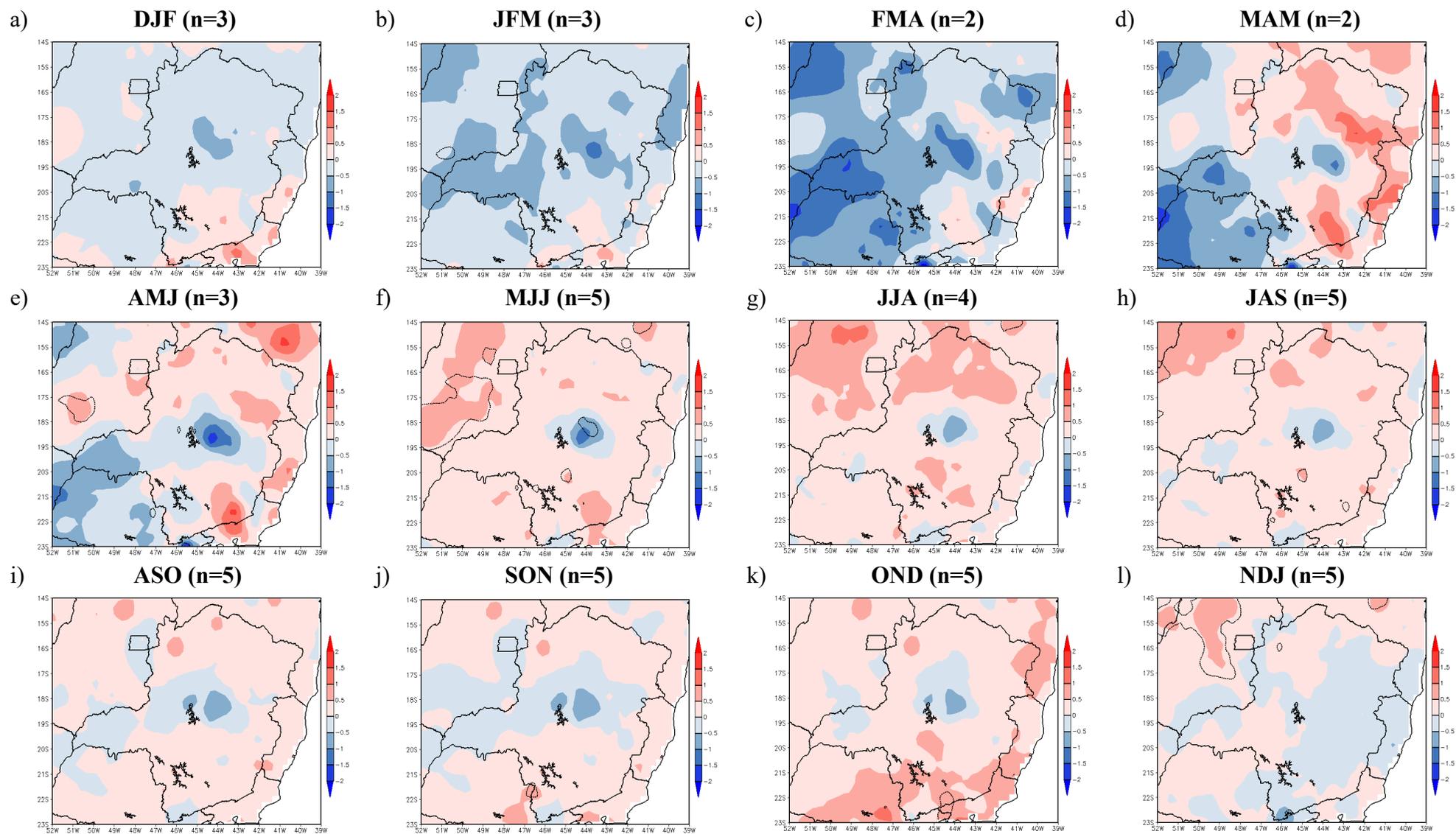
Elaboração: Arantes (2019).

Figura 11. Similar à Figura 5, mas para as composições anômalas de temperatura mínima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3 de intensidade moderada.



Elaboração: Arantes (2019).

Figura 12. Similar à Figura 6, mas para as composições anômalas de temperatura máxima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3 de intensidade moderada.



Elaboração: Arantes (2019).

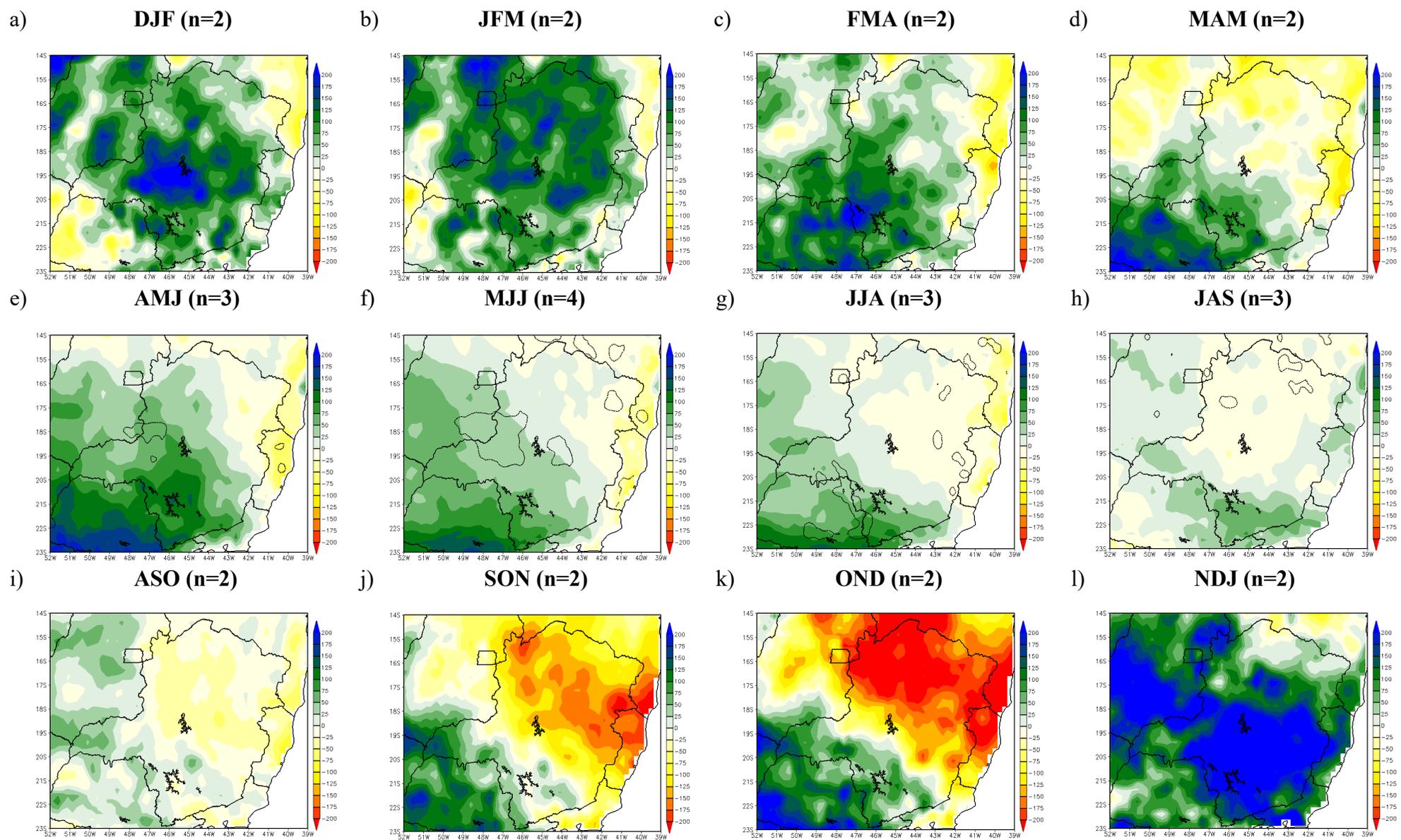
4.2.2. Eventos de intensidade forte

Durante os eventos de El Niño de intensidade forte na região do Niño 3 domina anomalias positivas de precipitação pluvial em Minas Gerais, com desvios superiores à +200 mm nos trimestres NDJ, DJF e JFM (Figuras 13l, 13a, 13b). O aumento observado na precipitação pluvial nos trimestres JFM e FMA sugere um fim atrasado da estação chuvosa ou mais úmida em Minas Gerais. Os trimestres de MJJ a OND (Figuras 13f-13k) apresentam anomalias negativas no centro-norte de Minas Gerais, inferiores à -200 mm. A redução observada nos trimestres SON e OND pode indicar um início atrasado da estação chuvosa ou mais seca em grande parte de Minas Gerais, com exceção do sul.

Relativo à temperatura mínima, observa-se que há o predomínio de anomalias positivas nos trimestres de DJF até MAM (Figuras 14a-14d), com um aumento de até +1,5°C no centro-norte de Minas Gerais. Os trimestres AMJ e MJJ apresentam anomalias positivas de +0,5°C na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Nos trimestres de JJA até ASO (Figuras 14g, 14h, 14i) pode-se ver anomalias negativas no leste de Minas de até -1,5°C e anomalias positivas no oeste de até +2°C. Nos trimestres de SON e OND (Figuras 14j, 14k) há o aumento da temperatura mínima, com anomalias de até +1,5°C. Em NDJ (Figura 14l) há predomínio de diminuição, com desvios de até -1,5°C, enquanto no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba há anomalias positivas de até +0,5°C.

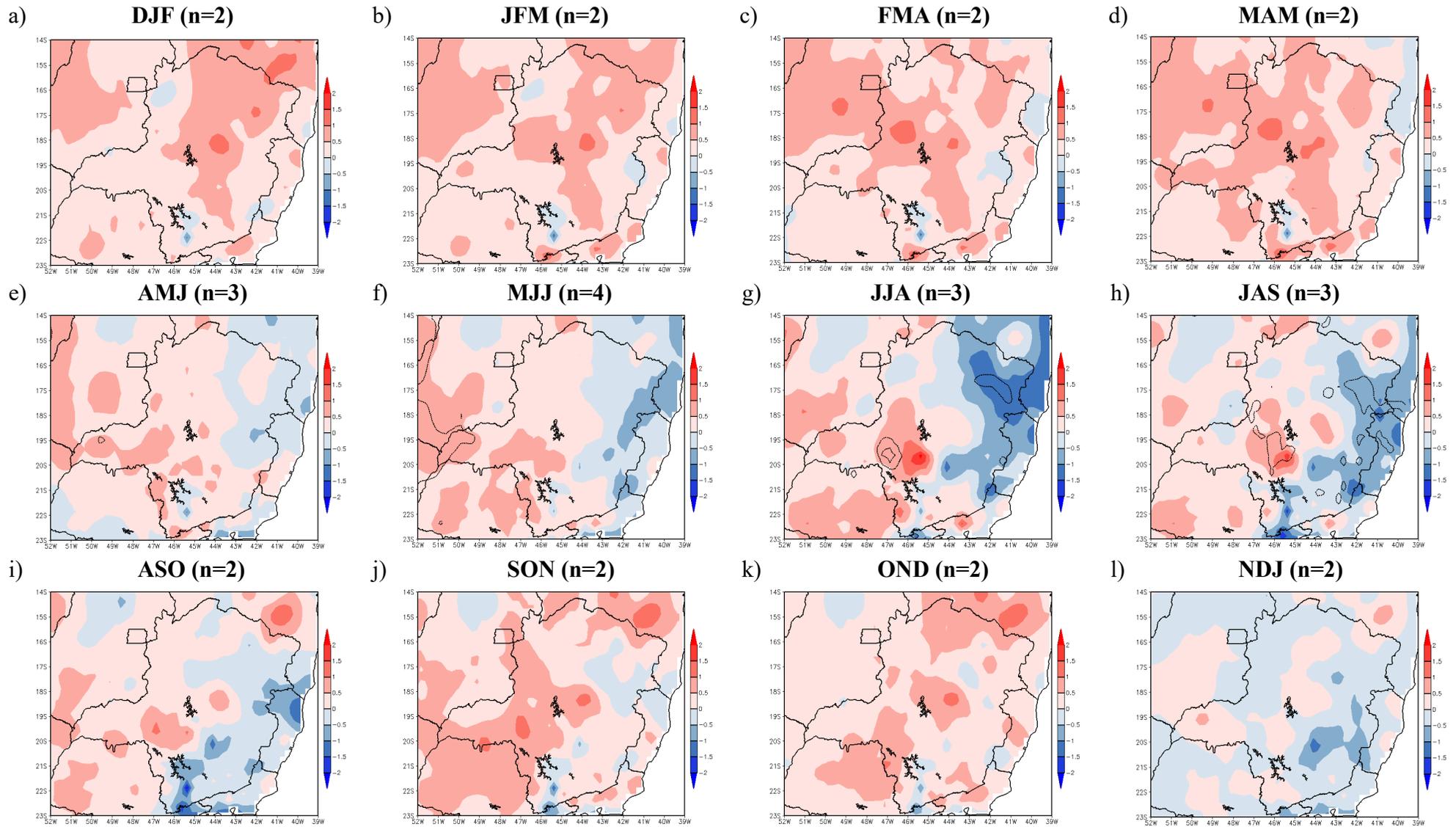
Nos trimestres de NDJ até JFM (Figuras 15l, 15a, 15b) predomina diminuição da temperatura máxima, com anomalias de até -2°C. Os trimestres FMA, MAM, ASO, SON e OND (Figuras 15c, 15d, 15i, 15j, 15k) apresentam predomínio de aumento da temperatura máxima, com desvios superiores a +2°C. Os trimestres JJA e JAS possuem anomalias negativas ao redor de Minas Gerais, enquanto o centro possui anomalias positivas, com um aumento de até +2°C.

Figura 13. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de precipitação pluvial (mm) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3 de intensidade forte.



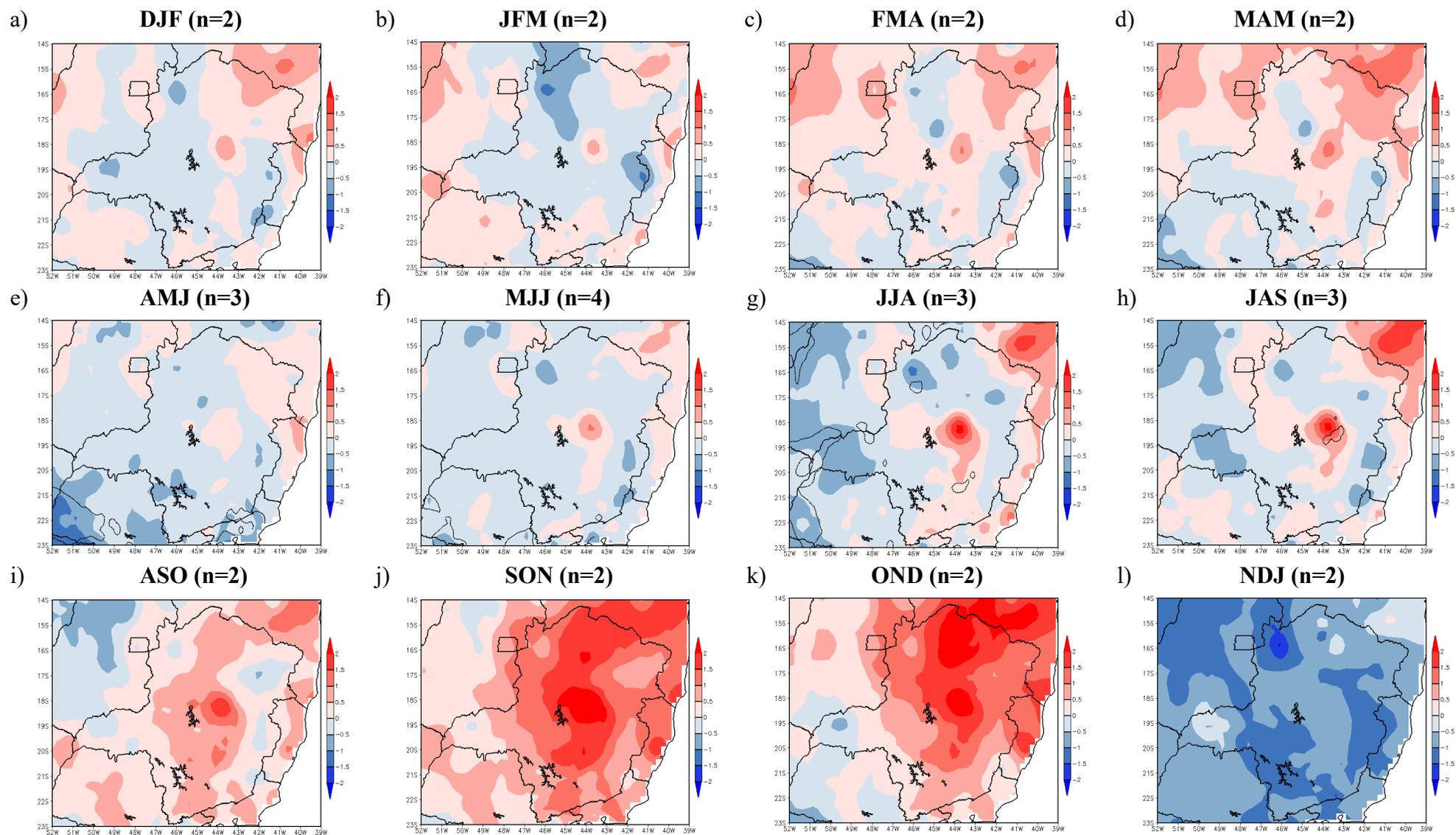
Elaboração: Arantes (2019).

Figura 14. Similar à Figura 5, mas para as composições anômalas de temperatura mínima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3 de intensidade forte.



Elaboração: Arantes (2019).

Figura 15. Similar à Figura 6, mas para as composições anômalas de temperatura máxima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3 de intensidade forte.



Elaboração: Arantes (2019).

4.3. REGIÃO DO NIÑO 3.4

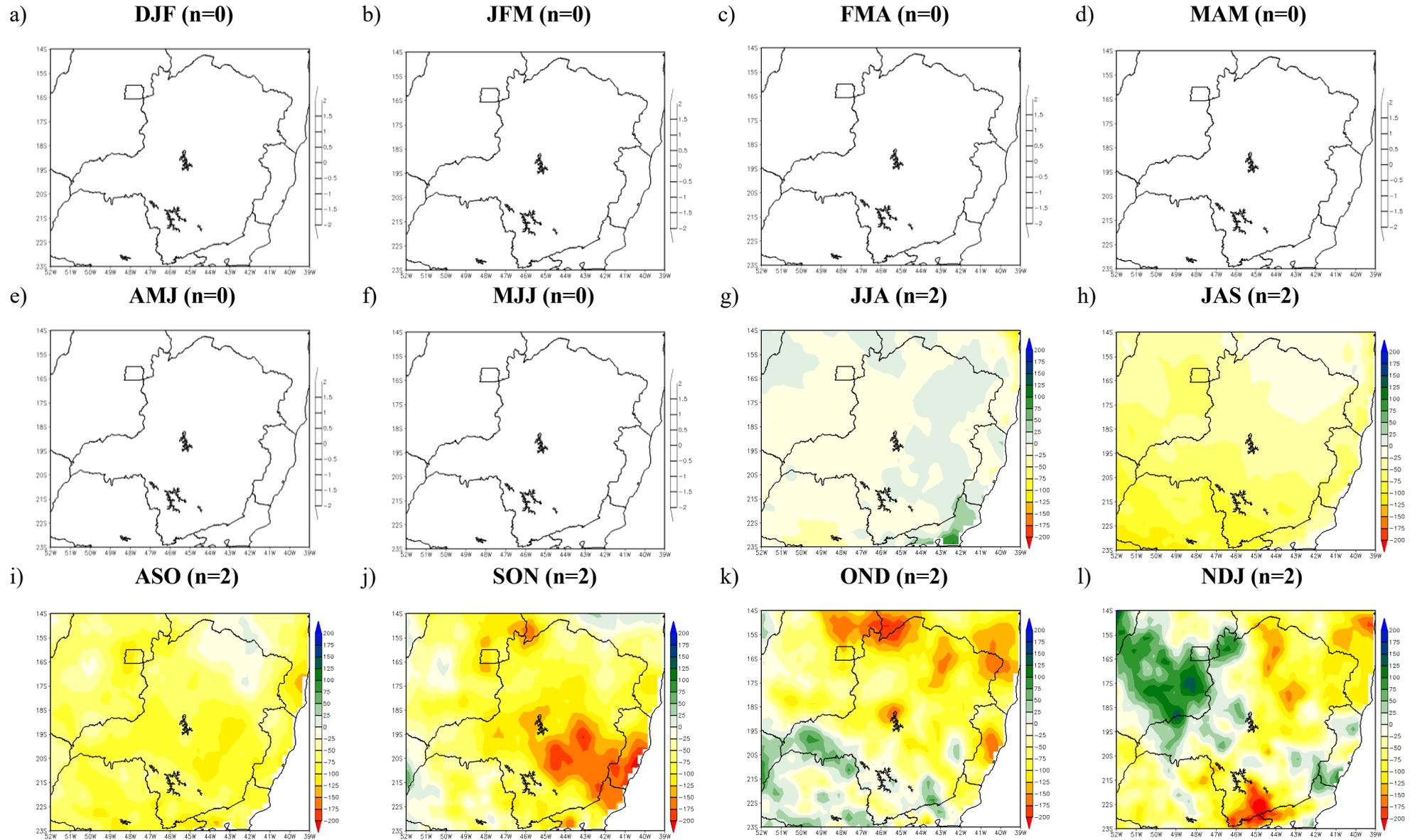
4.3.1. Intensidade fraca

Na Figura 16 é possível observar as anomalias trimestrais de precipitação pluvial durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade fraca. Domina anomalias negativas em Minas Gerais nos trimestres de JJA a NDJ (Figuras 16g, 16h, 16i, 16j, 16k, 16l), com uma diminuição de até -175 mm no trimestre SON, enquanto no trimestre OND e NDJ (Figuras 16k e 16l) é possível observar algumas áreas com anomalias positivas, havendo um aumento na precipitação pluvial no trimestre OND de até +75 mm no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, e no trimestre JJA uma diminuição de -25 mm em grande parte do estado. Silva (2013) também analisou nas regiões Central e Sul de Minas Gerais anomalias negativas de precipitação pluvial (-25 a -50 mm), e nos setores noroeste (-10 a -25 mm) e leste (-25 a -50 mm), durante a primavera (SON). A redução observada na precipitação pluvial nos trimestres SON e OND pode indicar um início atrasado da estação chuvosa ou mais seca em Minas Gerais.

Na Figura 17 há anomalias negativas de temperatura mínima de até -2°C nos trimestres de JJA até ASO (Figuras 17g, 17h, 17i), enquanto nos trimestres SON até NDJ (Figuras 17j, 17k, 17l), apesar de possuírem algumas anomalias negativas, há a predominância de anomalias positivas, com aumento de até +1,5°C no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e Norte de Minas.

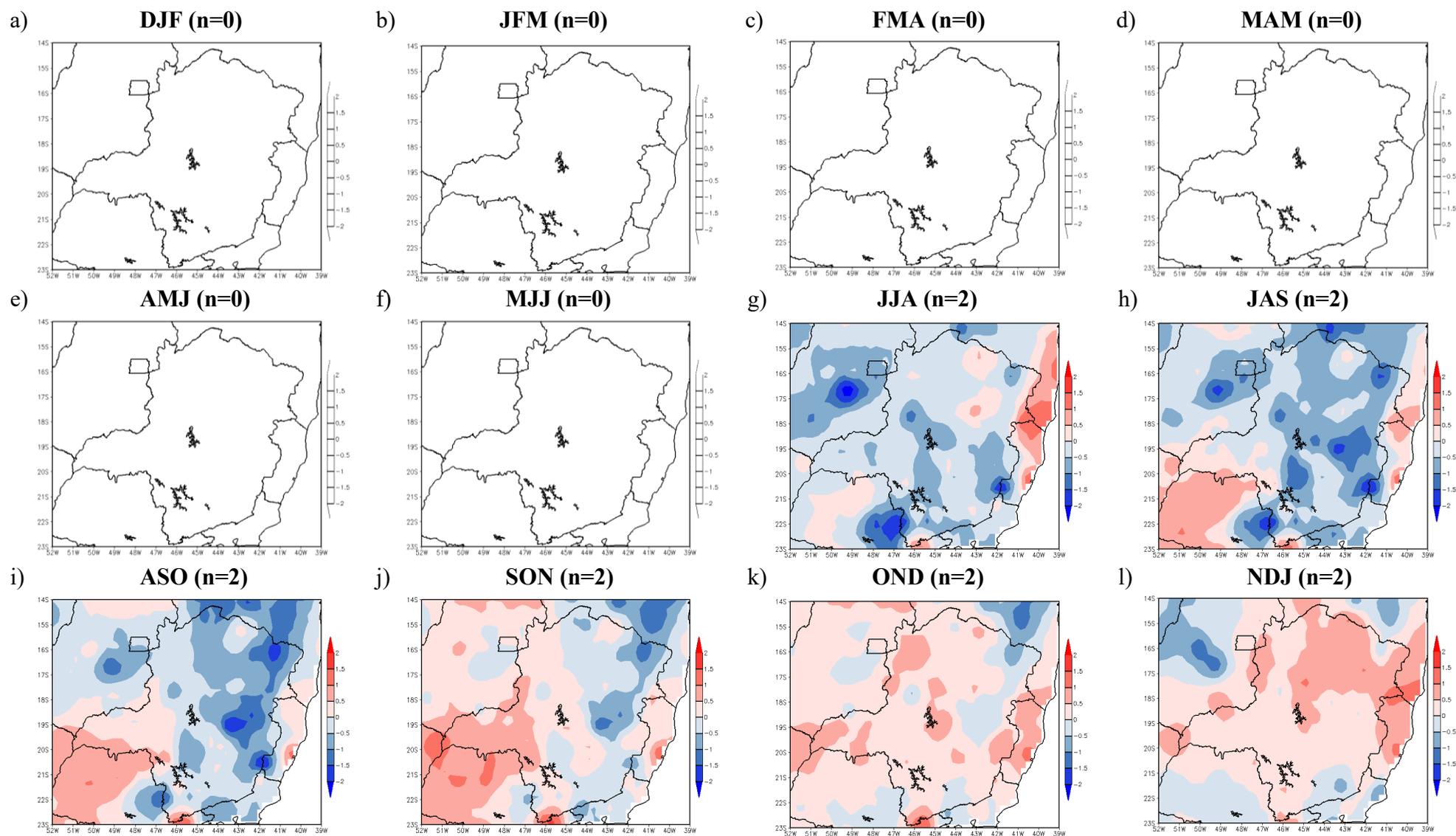
Nos trimestres de ASO até NDJ (Figuras 18i, 18j, 18k, 18l) dominaram anomalias positivas de temperatura máxima em Minas Gerais superiores à +2°C na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, enquanto é observado anomalias negativas dominando no trimestre de inverno (JJA), e no trimestre JAS não há dominância, mas também persiste anomalias negativas.

Figura 16. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de precipitação pluvial (mm) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade fraca.



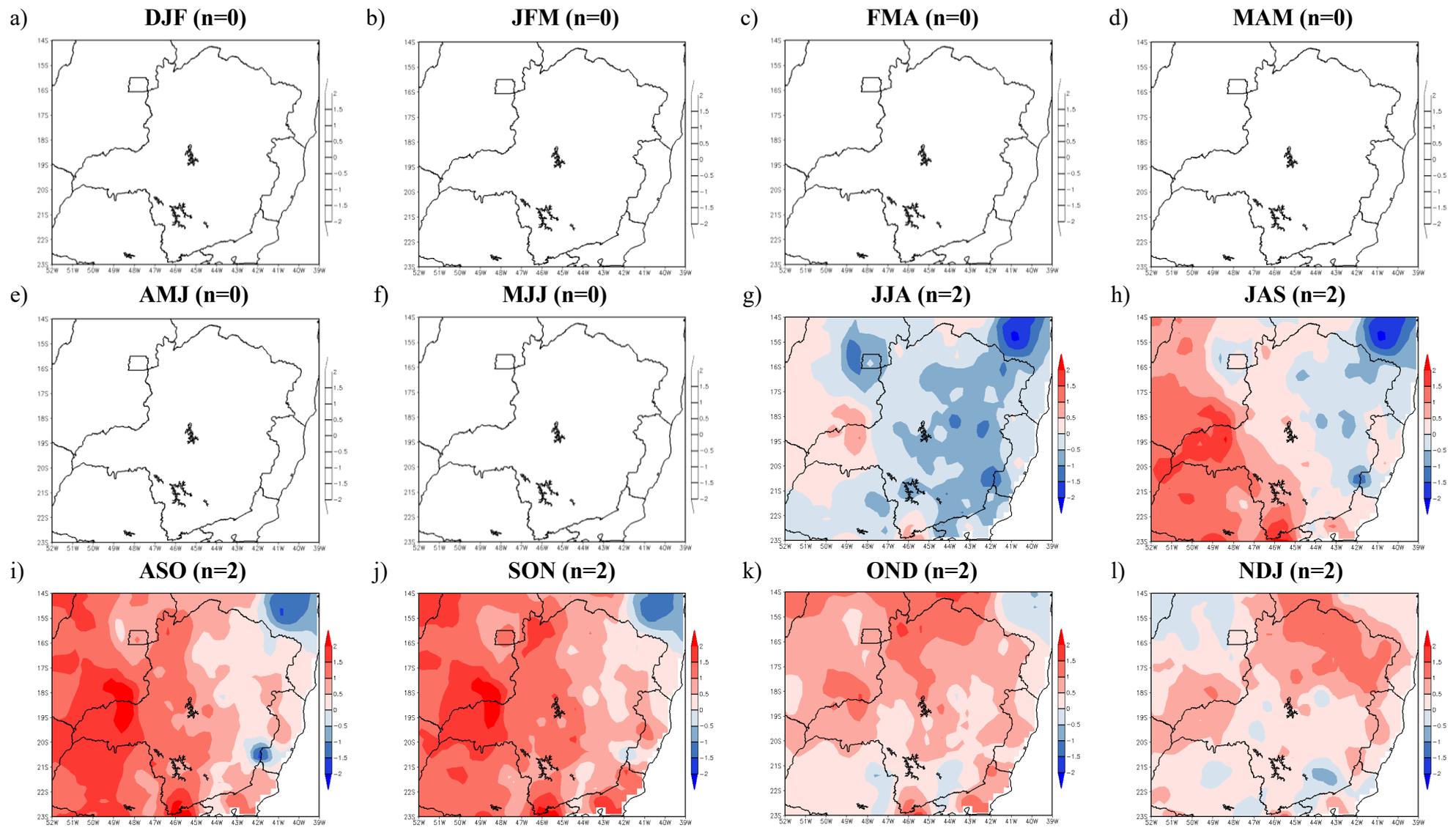
Elaboração: Arantes (2019).

Figura 17. Similar à Figura 5, mas para as composições anômalas de temperatura mínima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade fraca.



Elaboração: Arantes (2019).

Figura 18. Similar à Figura 6, mas para as composições anômalas de temperatura máxima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade fraca.



Elaboração: Arantes (2019).

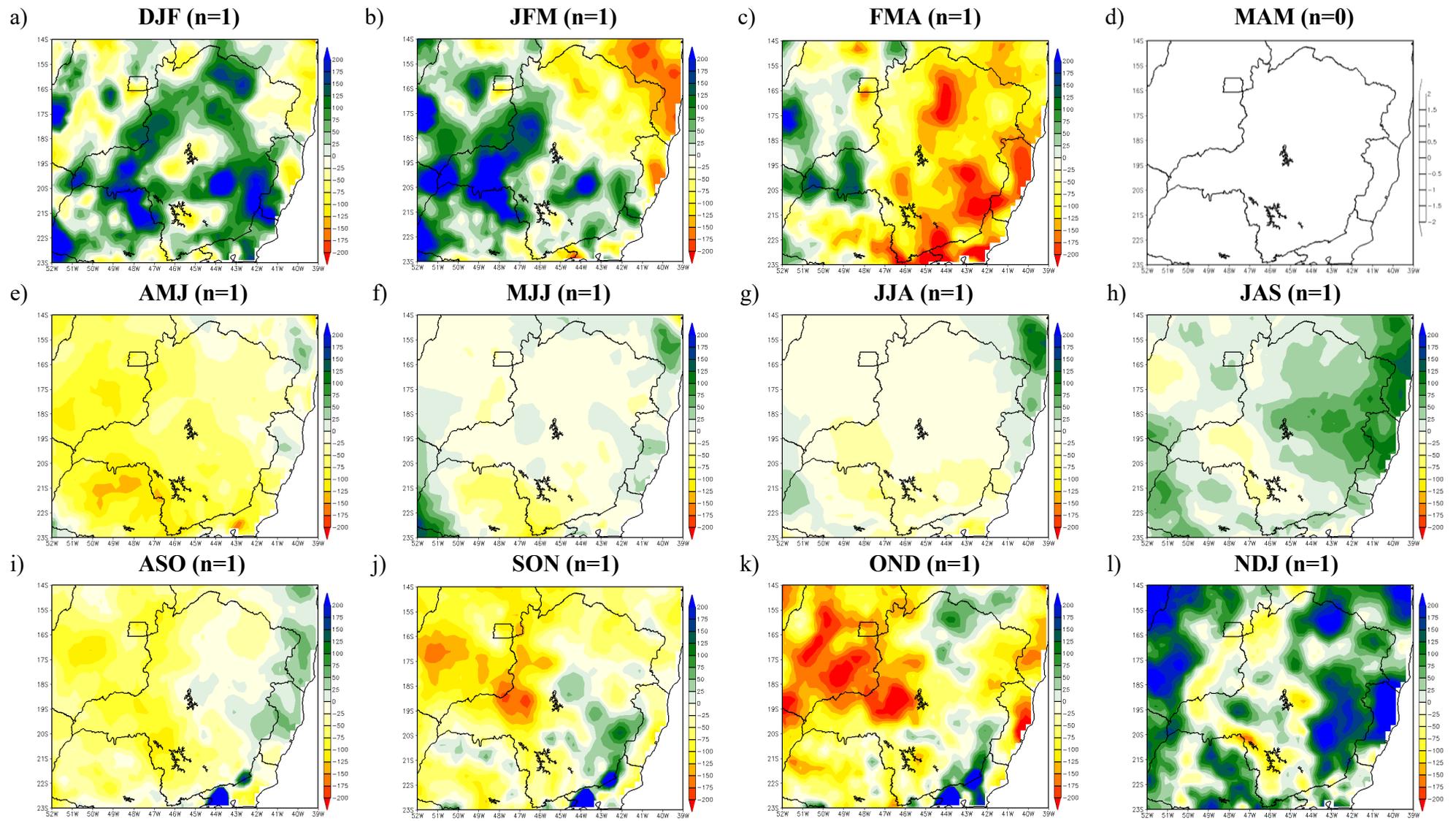
4.3.2. Intensidade moderada

Durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade moderada a precipitação pluvial nos trimestres NDJ, DJF, JFM e JAS (Figuras 19l, 19a, 19b, 19h) apresentam predomínio de anomalias positivas, com um aumento de até +200 mm, além de algumas anomalias negativas de até -125 mm. A redução observada no trimestre FMA sugere um fim adiantado da estação chuvosa ou mais seca em grande parte de Minas Gerais. Nos trimestres de AMJ a JJA e ASO a OND (Figuras 19e, 19f, 19g, 19i, 19j, 19k) observa-se diminuição da precipitação pluvial, com anomalias até -200 mm. O predomínio de redução na precipitação pluvial observada nos trimestres SON e OND pode indicar um início atrasado da estação chuvosa ou mais seca em grande parte de Minas Gerais. No trabalho de Minuzzi et al. (2005), que estudaram o estado de Minas Gerais, há uma discussão sobre áreas atingidas pela seca, como no norte do estado, centro e sul do Jequitinhonha, noroeste e sudoeste do Vale do Rio Doce, centro da Zona da Mata e Região Metropolitana de Belo Horizonte e de áreas com tendência de chuvas acima da média, como no leste do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

Em relação à temperatura mínima (Figura 20), observa-se que em todos os trimestres, com exceção de MAM sem eventos, predomina o aumento da temperatura mínima em Minas Gerais de até +2°C. Porém há algumas áreas com anomalias negativas de até -1°C, presentes nos trimestres de AMJ-OND e JFM-FMA (Figuras 20e, 20f, 20g, 20h, 20i, 20j, 20k, 20b, 20c) no Oeste de Minas, em NDJ (Figura 20l) no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, enquanto as mesorregiões Nordeste e Norte de Minas possuem anomalias de +1,5°C.

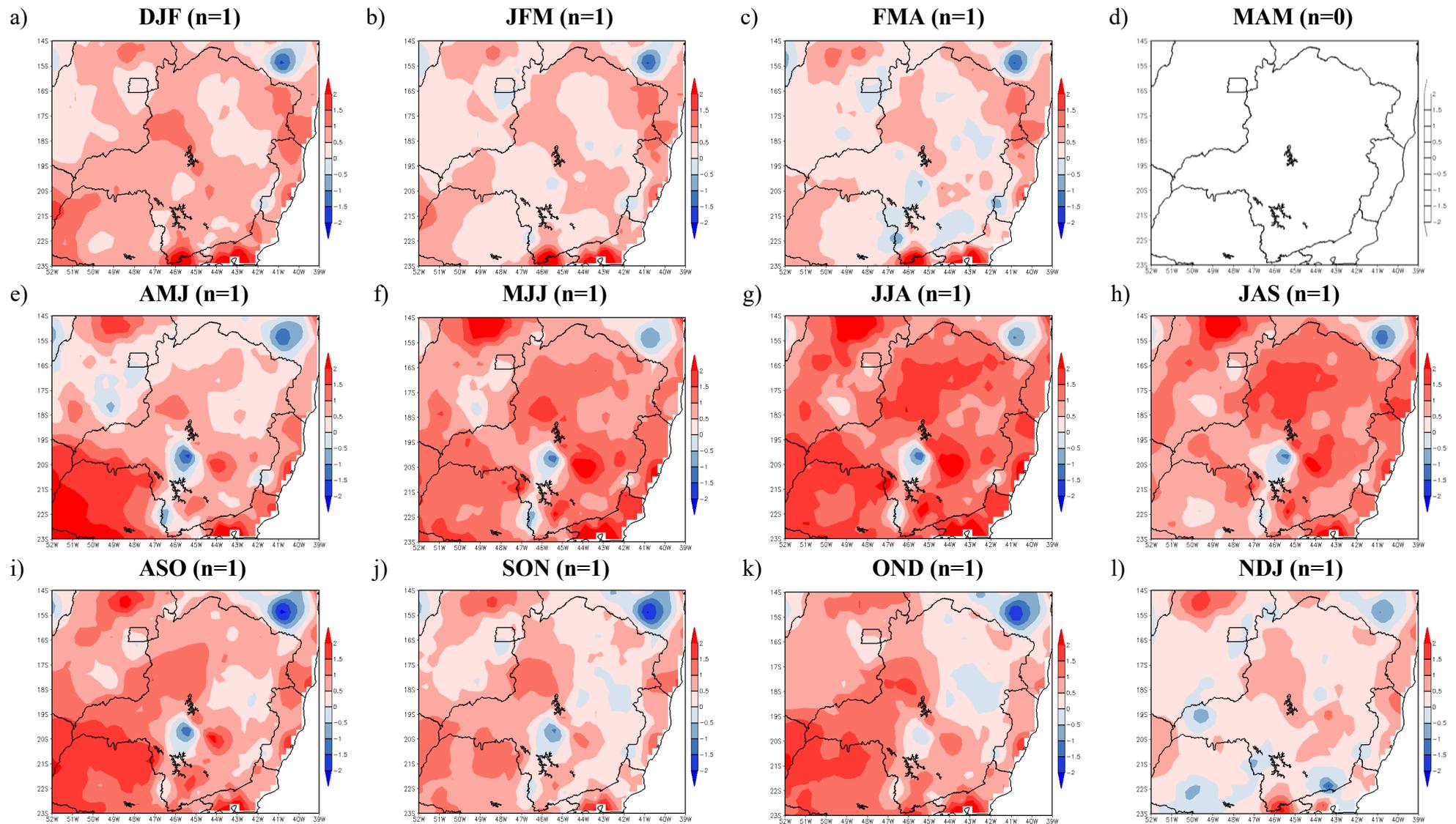
Em relação à temperatura máxima (Figura 21) observa-se predomínio de aquecimento anômalo, com aumento superior a +2°C nos trimestres de DJF-OND (Figuras 21a, 21b, 21c, 21d, 21e, 21f, 21g, 21h, 21i, 21j, 21k); com exceção de MAM e JAS, além de anomalias negativas na Central Mineira de até -1°C, e anomalias dispersas no trimestre NDJ (Figura 21l), com diminuição de -1°C no Norte de Minas e aumento de +1°C nas mesorregiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e Sul de Minas.

Figura 19. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de precipitação pluvial (mm) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade moderada.



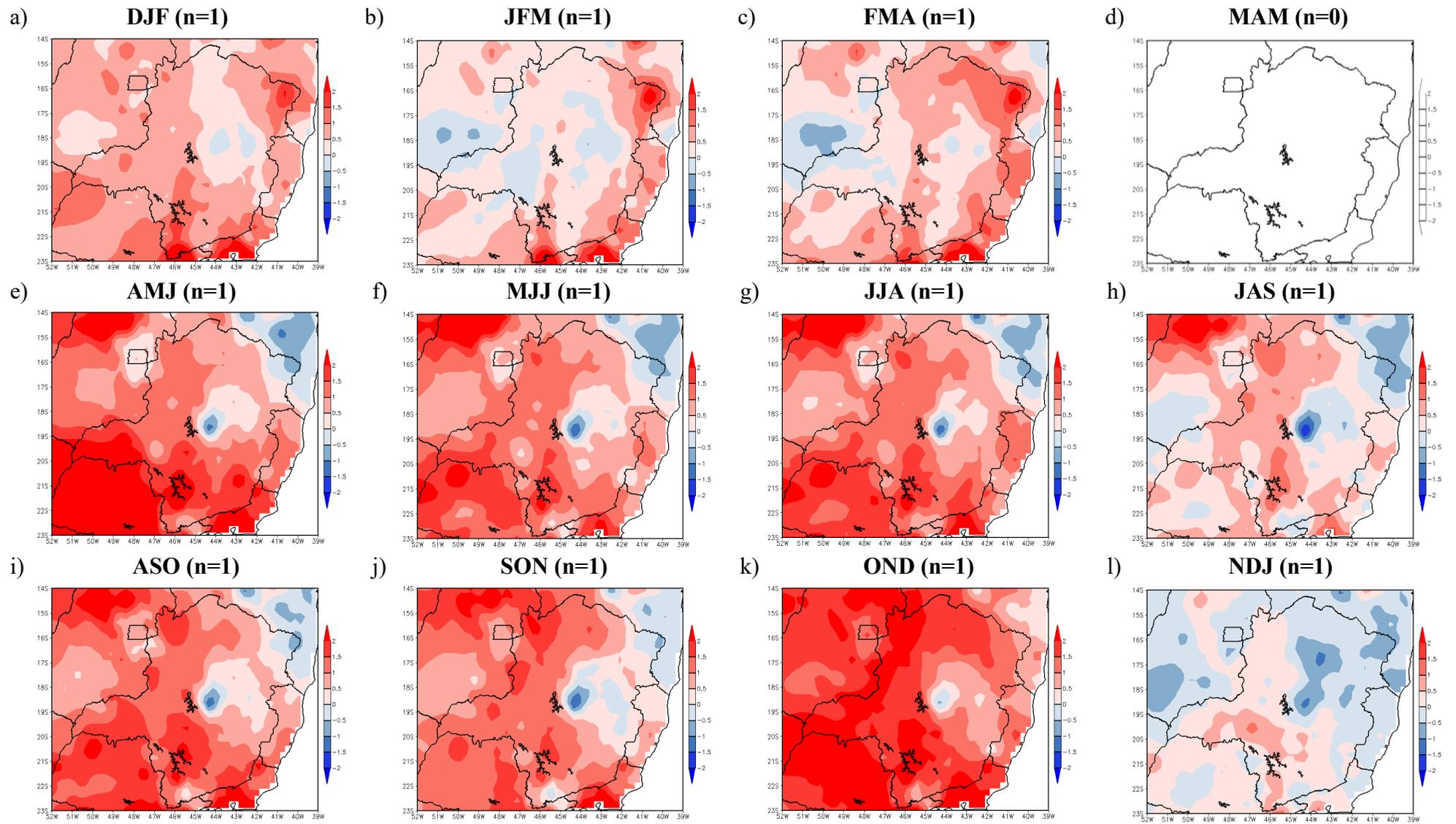
Elaboração: Arantes (2019).

Figura 20. Similar à Figura 5, mas para as composições anômalas de temperatura mínima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade moderada.



Elaboração: Arantes (2019).

Figura 21. Similar à Figura 6, mas para as composições anômalas de temperatura máxima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade moderada.



Elaboração: Arantes (2019).

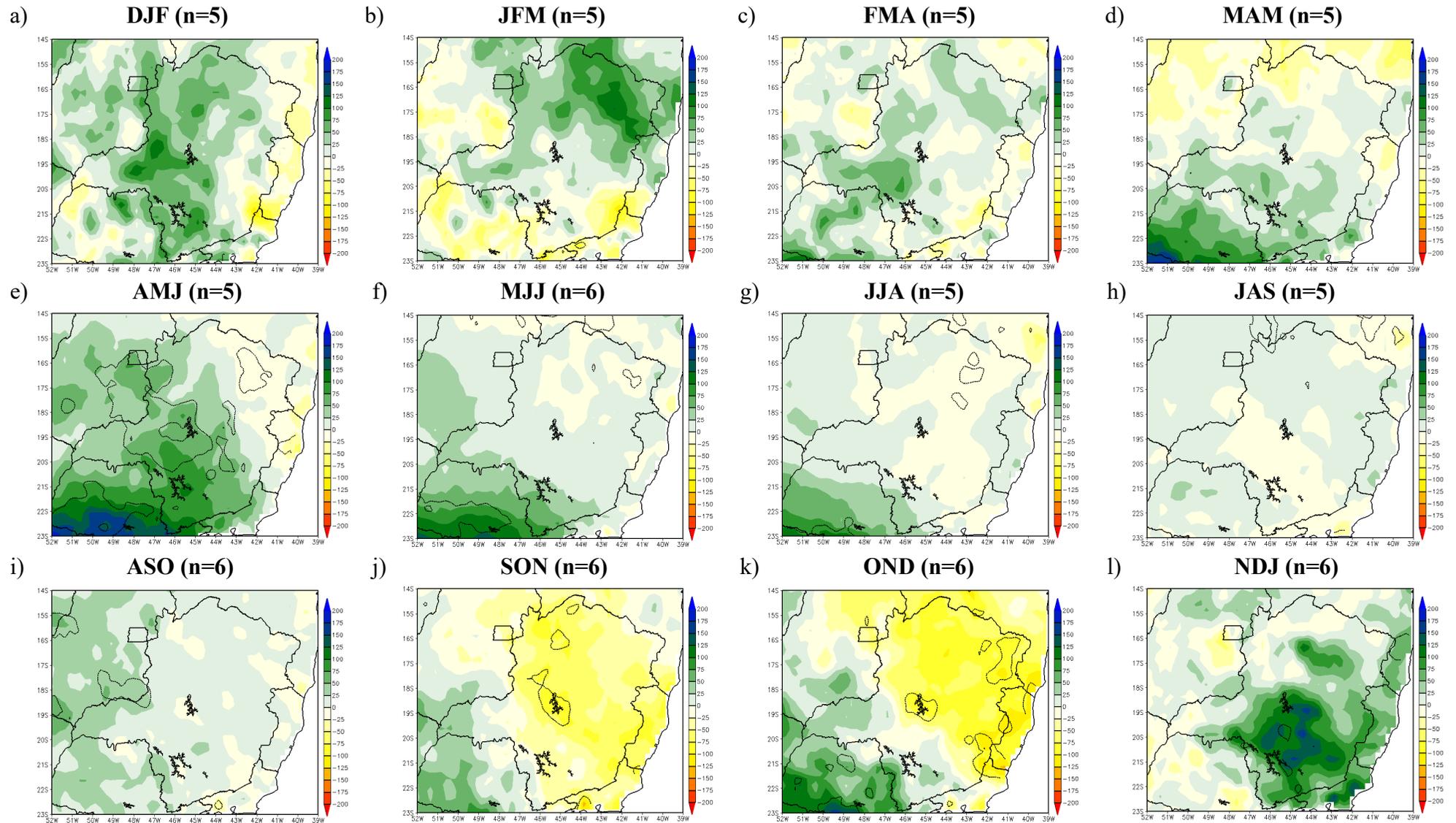
4.3.3. Intensidade forte

Durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade forte (Figura 22) é possível observar que nos trimestres de AMJ e NDJ (Figuras 22e, 22i) há predominância de anomalias positivas de precipitação pluvial, com aumento de até +150 mm. O trimestre AMJ (Figura 22e) apresenta uma anomalia de até +75 mm nas mesorregiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Central Mineira e Oeste de Minas, enquanto no Norte de Minas há uma diminuição na precipitação pluvial. Por outro lado, os trimestres SON e OND (Figuras 22j, 22k) apresentam anomalias negativas de precipitação pluvial de até -100 mm no centro e leste de Minas Gerais. Essa redução pode indicar um início atrasado da estação chuvosa ou mais seca no centro, noroeste e leste de Minas Gerais.

Com relação à temperatura mínima (Figura 23) observa-se predomínio de aquecimento, com anomalias de até +2°C. No trimestre MAM (Figura 23d) o aumento de até +1°C se localiza no Leste e Sul de Minas Gerais, enquanto nos trimestres AMJ e MJJ (Figuras 23e, 23f) as anomalias que atingem +2°C localizam-se no Oeste de Minas, e nos trimestres de JJA até OND (Figuras 23g, 23h, 23i, 23j, 23k) as anomalias são predominantemente de +0,5°C, porém com anomalias de +1°C também no Oeste de Minas. Já o trimestre NDJ (Figura 23l) demonstra apenas anomalias negativas de até -0,5°C.

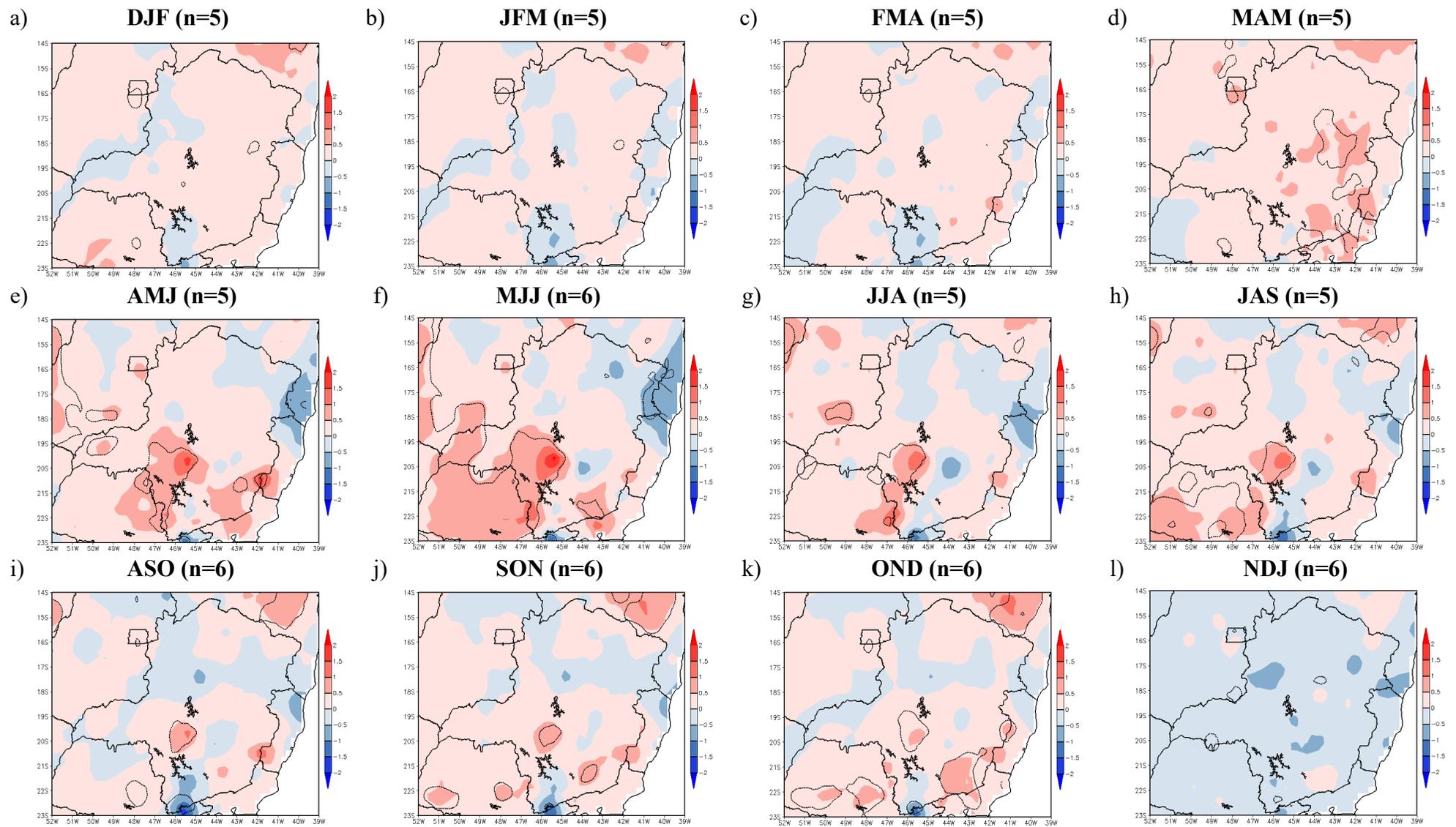
O aumento da temperatura máxima (Figura 24) pode ser observado nos trimestres de JJA, SON e OND (Figuras 24g, 24j, 24k), em que no Leste e Sul de Minas as anomalias positivas são de até +1°C. Por outro lado, os trimestres JJA e OND (Figuras 24g, 24k) apresentam anomalias negativas concentradas no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba de até -1°C. Nos trimestres AMJ, MJJ e NDJ (Figuras 24e, 24f, 24l) há anomalias negativas de até -1,0°C no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e Norte de Minas.

Figura 22. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de precipitação pluvial (mm) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade forte.



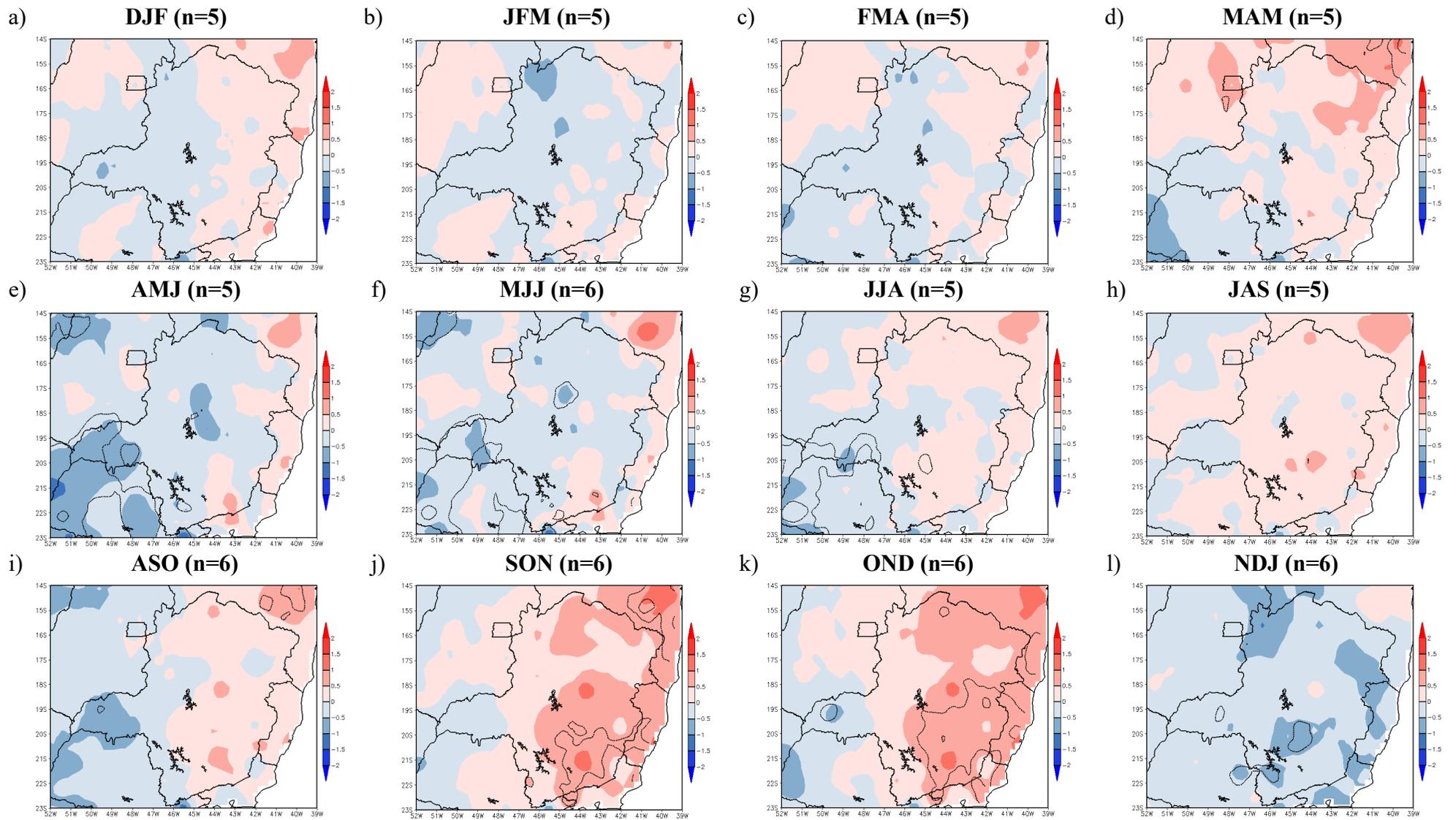
Elaboração: Arantes (2019).

Figura 23. Similar à Figura 5, mas para as composições anômalas de temperatura mínima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade forte.



Elaboração: Arantes (2019).

Figura 24. Similar à Figura 6, mas para as composições anômalas de temperatura máxima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 3.4 de intensidade forte.



Elaboração: Arantes (2019).

4.4. REGIÃO DO NIÑO 4

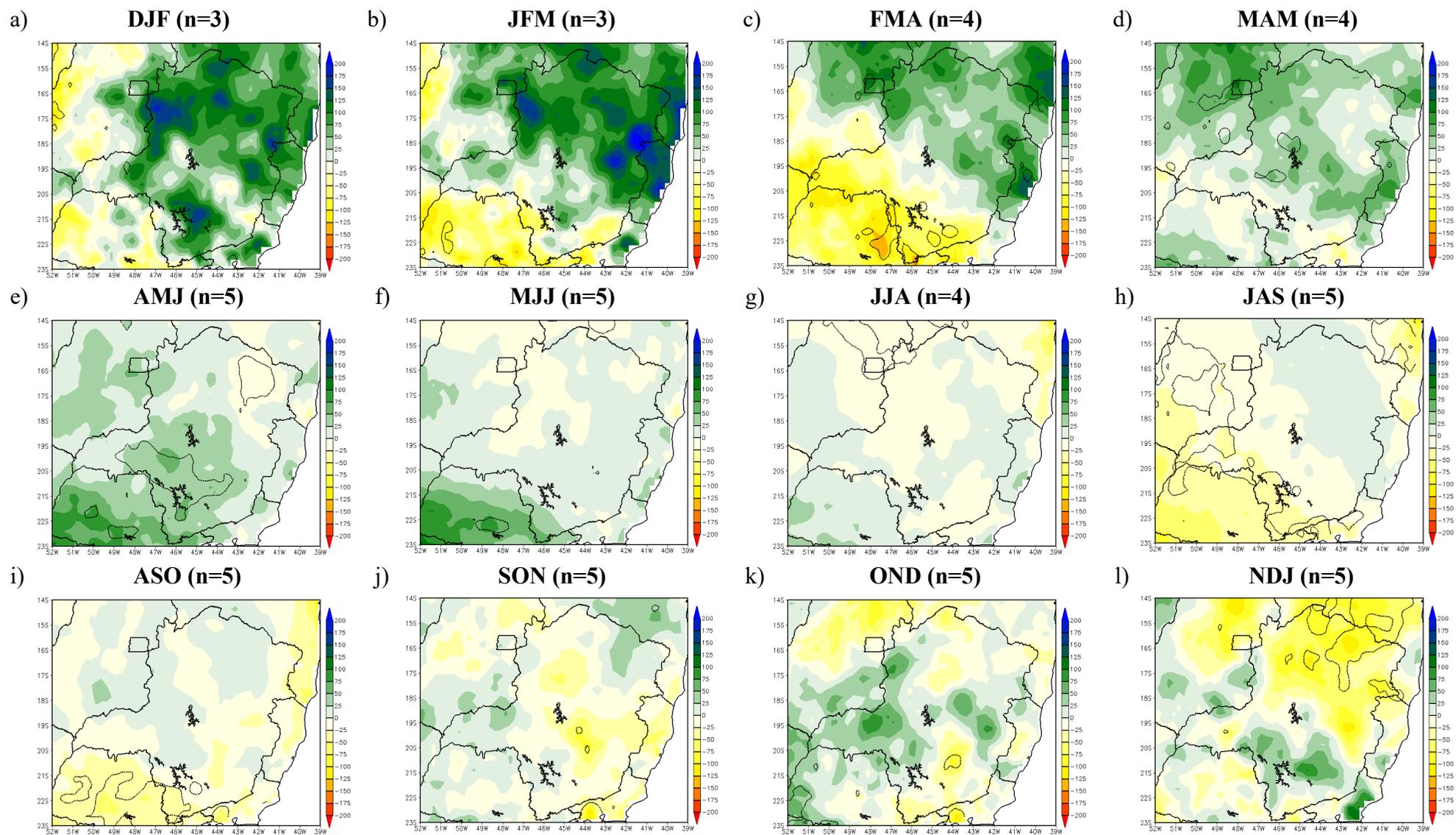
4.4.1. Intensidade fraca

Durante os eventos de El Niño na região do Niño 4 de intensidade fraca (Figura 25) observa-se predominância de anomalias positivas de precipitação pluvial nos trimestres DJF, MAM e AMJ (Figuras 25d e 25e), com um aumento de até +125 mm no trimestre de DJF. O trimestre FMA (Figura 25c) apresenta anomalias positivas no Norte e Leste de Minas Gerais e anomalias negativas no Sul e Oeste, de até -100 mm. Nos trimestres de JAS até NDJ (Figuras 25h, 25i, 25j, 25k, 25l) há predominância de anomalias negativas de precipitação pluvial, até -100 mm no Norte de Minas.

Com relação à temperatura mínima (Figura 26), as anomalias negativas são observadas nos trimestres de DJF até FMA, JJA e JAS (Figuras 26a, 26b, 26c, 26g, 26h) de até -1,5°C no Sul de Minas. Os trimestres MAM até NDJ (Figuras 26d, 26e, 26f, 26g, 26h, 26i, 26j, 26k, 26l) apresentam anomalias positivas, com aquecimento anômalo de até +2,0°C na Zona da Mata nos trimestres MAM e AMJ.

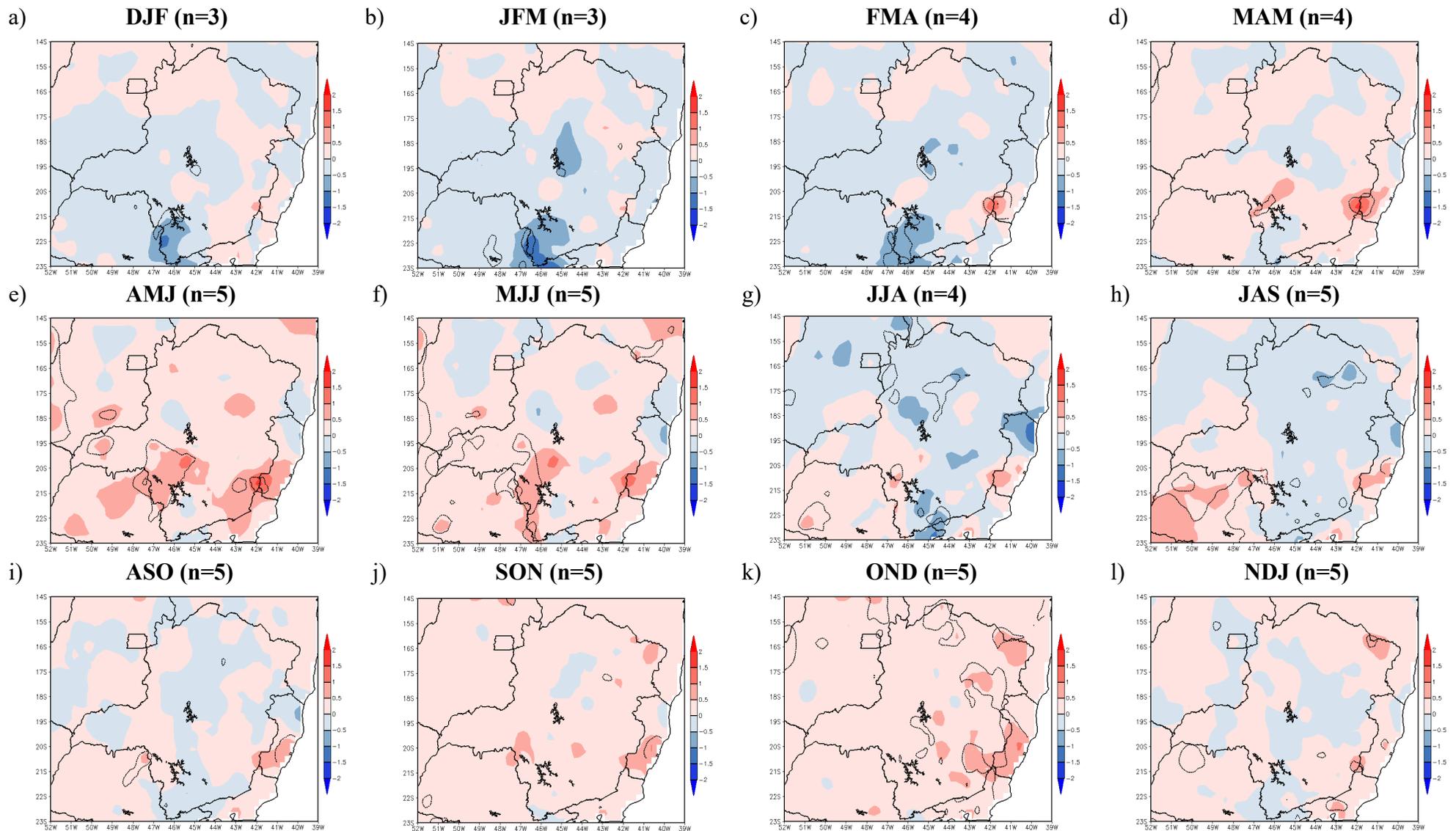
A temperatura máxima (Figura 27) demonstra anomalias negativas concentradas principalmente no Centro e Norte de Minas Gerais, apresentando desvios de até -1,5°C nos trimestres de FMA, AMJ, MJJ e JJA (Figuras 27c, 27e, 27f, 27g). Por outro lado, nos trimestres de JAS a NDJ (Figuras 27h, 27i, 27j, 27k, 27l) as anomalias são predominantemente positivas, com desvios de até +1,0°C.

Figura 25. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de precipitação pluvial (mm) durante os eventos de El Niño na região do Niño 4 de intensidade fraca.



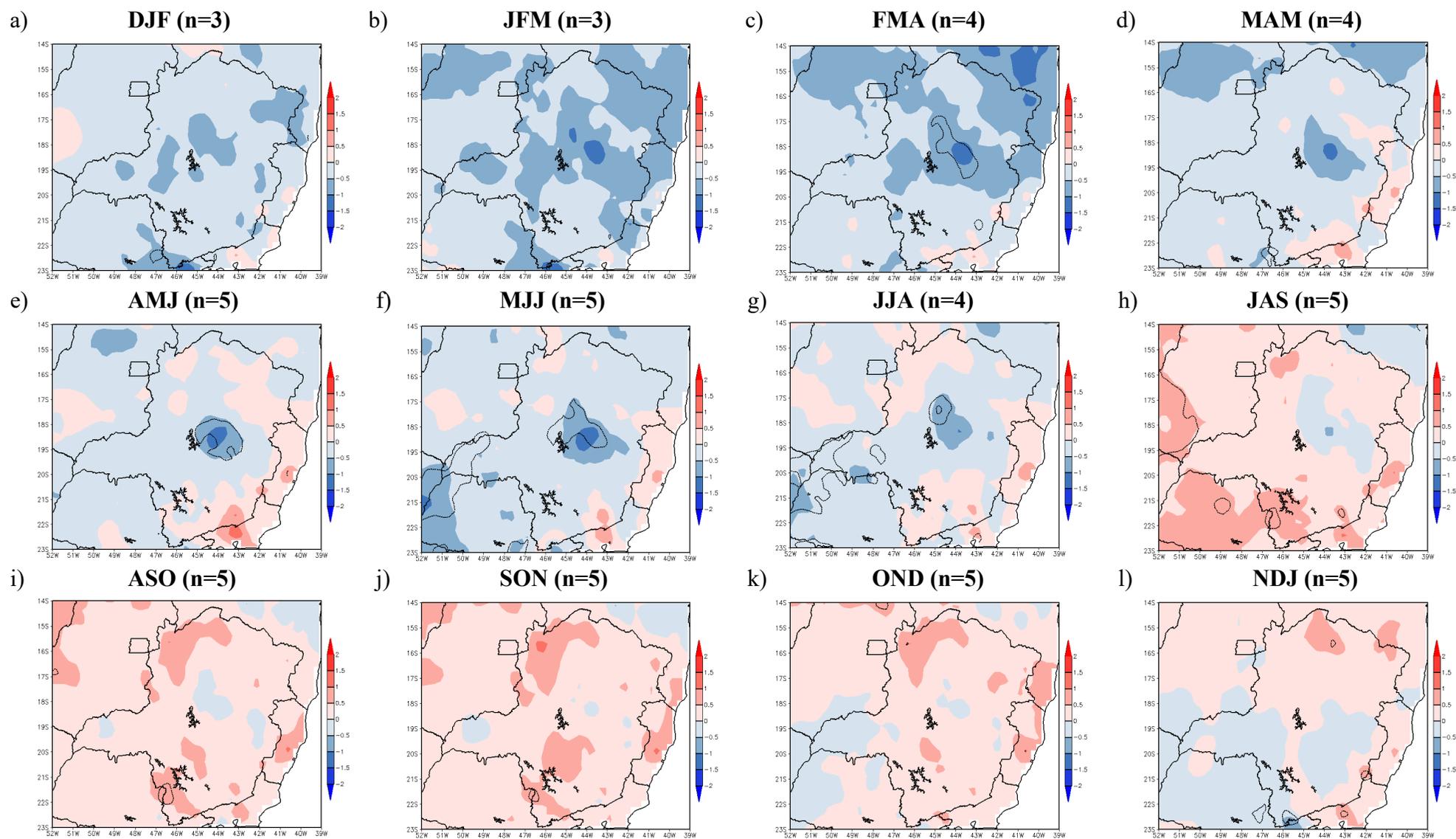
Elaboração: Arantes (2019).

Figura 26. Similar à Figura 5, mas para as composições anômalas de temperatura mínima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 4 de intensidade fraca.



Elaboração: Arantes (2019).

Figura 27. Similar à Figura 6, mas para as composições anômalas de temperatura máxima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 4 de intensidade fraca.



Elaboração: Arantes (2019).

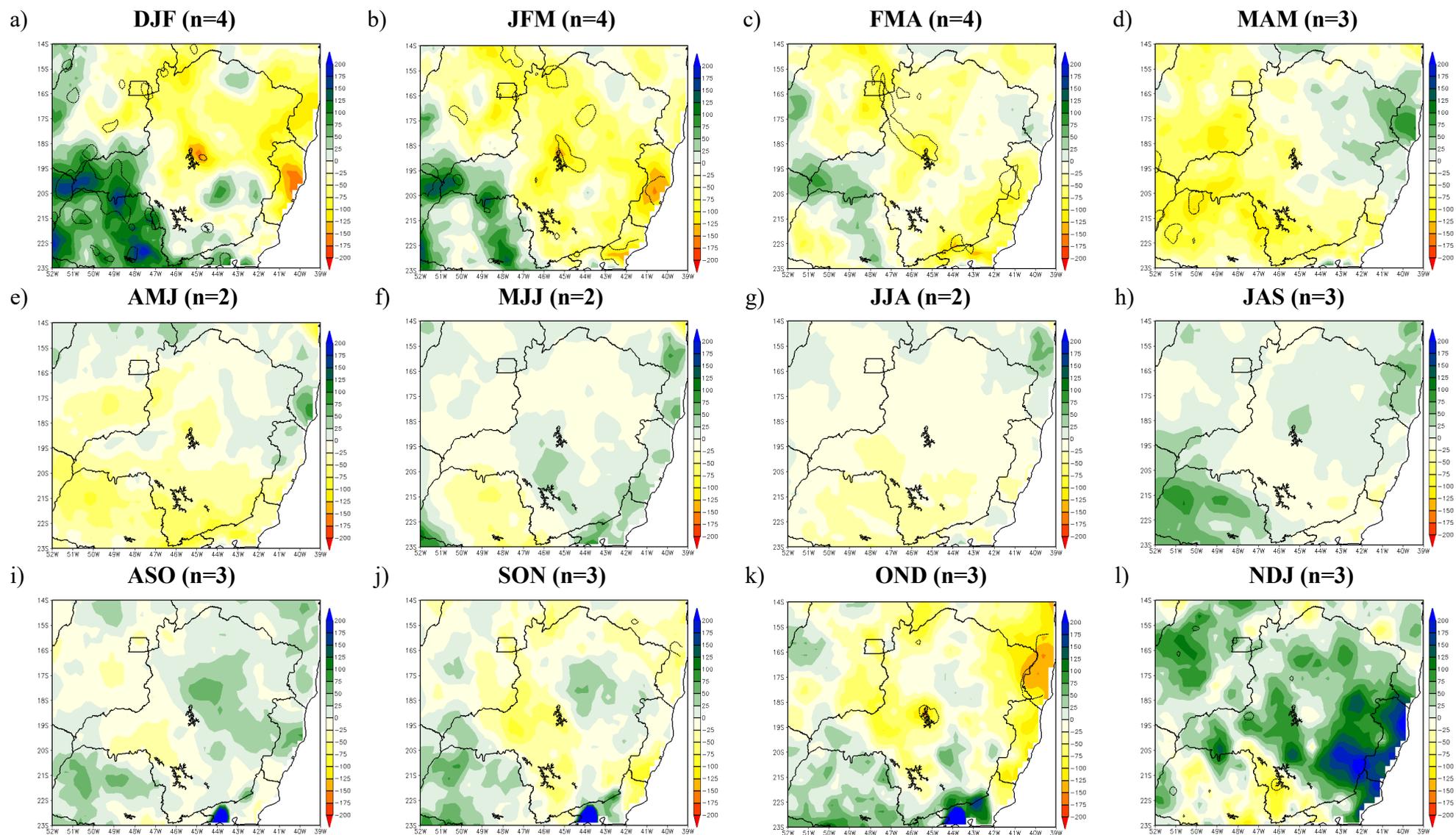
4.4.2. Intensidade moderada

Na Figura 28 são apresentadas as anomalias de precipitação pluvial durante os eventos de El Niño na região do Niño 4 de intensidade moderada. Nos trimestres OND-FMA (Figuras 28k, 28l, 28a, 28b, 28c) as anomalias apresentam-se positivas no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e Leste de Minas, com aumento de até +200 mm, e anomalias negativas com valor até -75 mm no Centro, Norte e Sul de Minas Gerais. A redução observada na precipitação pluvial nos trimestres JFM e FMA sugere um fim adiantado da estação chuvosa ou mais seca no centro, noroeste, leste e sudeste de Minas Gerais. Os trimestres de AMJ-SON (Figuras 28e, 28f, 28g, 28h, 28i, 28j) demonstram anomalias negativas dispersas de -50 mm no Sul de Minas Gerais, Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, e positivas de até +50 mm no Norte e Leste de Minas Gerais. porém nos trimestres ASO e SON (Figuras 28i, 28j) a mesorregião Central de Minas apresenta aumento na precipitação pluvial de até +75 mm.

Na Figura 29 as anomalias de temperatura mínima são de predominância positiva, demonstrando desvios de até +1°C nos trimestres DJF e JFM (Figuras 29a, 29b), porém em todos os outros trimestres as anomalias positivas são de até +1,5°C com foco no Oeste e Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba nos trimestres MJJ, JAS, ASO, SON e OND (Figuras 29f, 29h, 29i, 29j, 29k). O trimestre NDJ (Figura 29l) também apresenta anomalias positivas, porém em uma área no Sul de Minas Gerais, de anomalia negativa de até -0,5°C.

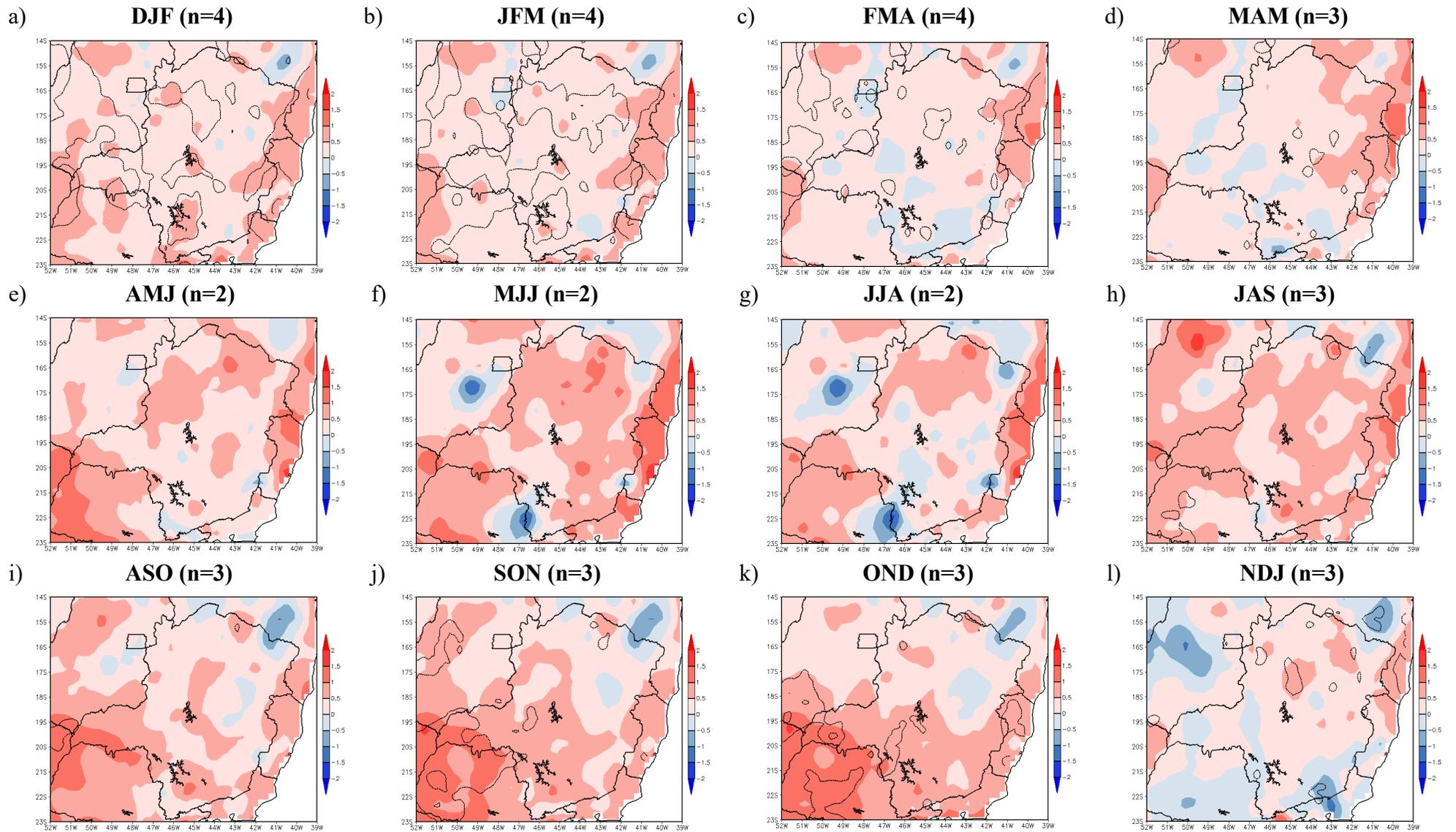
A Figura 30 demonstra a predominância das anomalias positivas de temperatura máxima, porém com anomalias negativas na mesorregião Central de Minas Gerais de até -0,5°C nos trimestres de FMA-JJA, além do trimestre NDJ (Figura 30l). Os demais trimestres têm predominância de anomalias positiva, de até +1,5°C, presentes nos trimestres AMJ-OND (Figuras 30e, 30f, 30g, 30h, 30i, 30j, 30k), além de uma anomalia negativa no Centro de Minas Gerais. O Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba apresenta as maiores anomalias positivas, de até +1,5°C, podendo ser observada nos trimestres MAM, AMJ, JJA, ASO, SON e OND (Figuras 30d, 30e, 30g, 30i, 30j, 30k).

Figura 28. Similar à Figura 4, mas para as composições anômalas de precipitação pluvial (mm) durante os eventos de El Niño na região do Niño 4 de intensidade moderada.



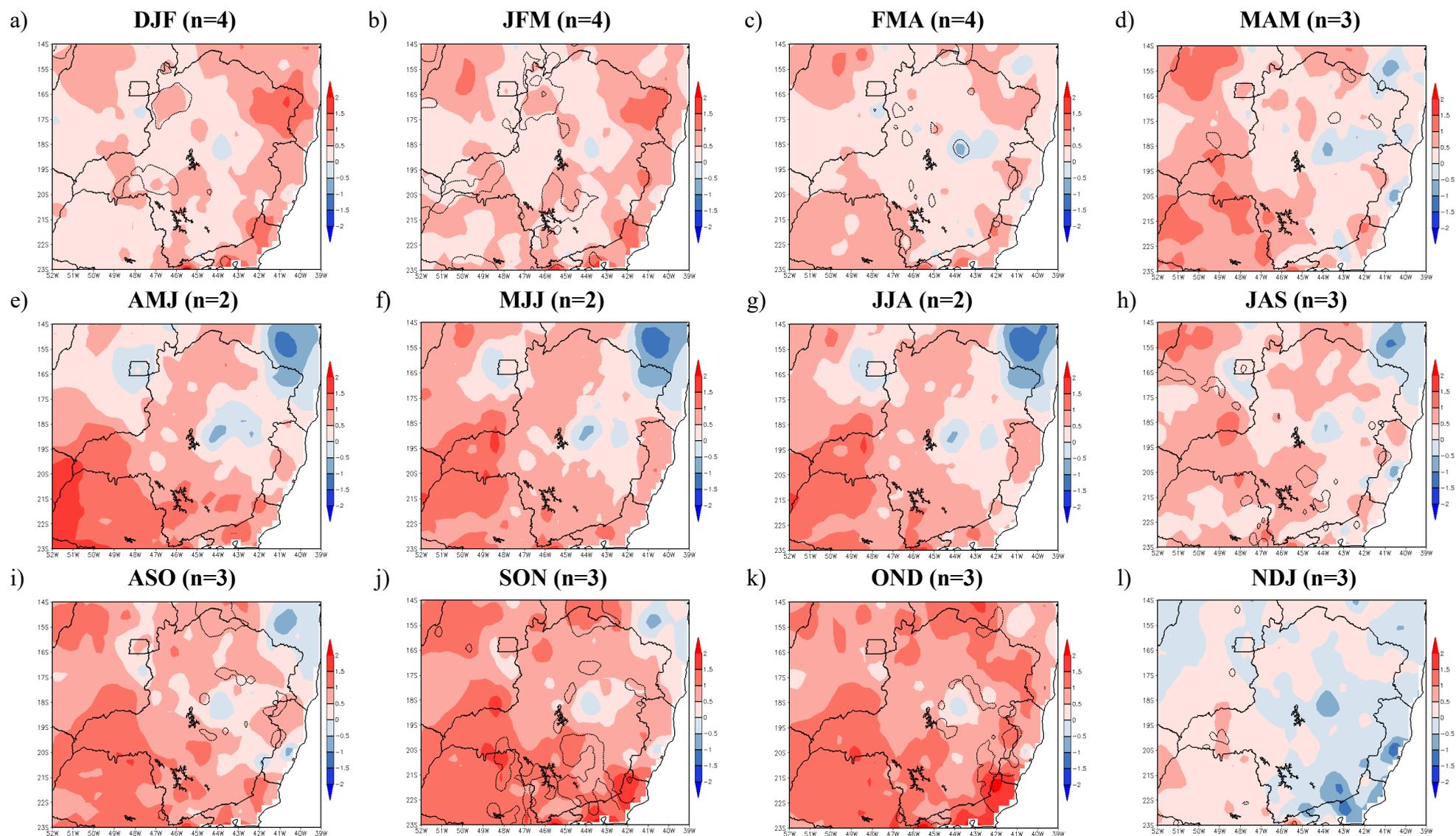
Elaboração: Arantes (2019).

Figura 29. Similar à Figura 5, mas para as composições anômalas de temperatura mínima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 4 de intensidade moderada.



Elaboração: Arantes (2019).

Figura 30. Similar à Figura 6, mas para as composições anômalas de temperatura máxima (°C) durante os eventos de El Niño na região do Niño 4 de intensidade moderada.



Elaboração: Arantes (2019).

5. CONCLUSÕES

Neste estudo foram analisados os eventos El Niño nas regiões do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4 nas intensidades fraco, moderado e forte, utilizando análises trimestrais entre 1980 e 2013, observando como as diferentes regiões e intensidades dos eventos de El Niño podem se relacionar com as anomalias de temperatura do ar (mínima e máxima) e precipitação pluvial no estado de Minas Gerais.

Os eventos de El Niño na região do Niño 1+2 (intensidade moderada), Niño 3 (intensidade forte), Niño 3.4 (intensidade fraca e moderada) e Niño 4 (intensidade fraca e moderada) estão associados com o predomínio de trimestres mais secos em Minas Gerais, enquanto os eventos de El Niño na região do Niño 1+2 (intensidade forte) e Niño 3 (intensidade moderada e forte) estão associados com o predomínio de trimestres mais úmidos.

Durante os eventos de El Niño na região do Niño 1+2, Niño 3.4 e Niño 4 (todos de intensidade moderada) as anomalias negativas de precipitação pluvial nos trimestre de JFM e FMA indicam um fim de estação chuvosa adiantada ou mais seca no estado, enquanto nos eventos de El Niño na região do Niño 3 (intensidade forte) as anomalias positivas de precipitação pluvial indicam um fim de estação chuvosa atrasada ou mais úmida. Por outro lado, os eventos de El Niño na região do Niño 1+2 (intensidade moderada) estão associados com anomalias positivas de precipitação pluvial em Minas Gerais nos trimestre de SON e OND, indicando um início de estação chuvosa adiantada ou úmida. Já nos eventos de El Niño na região do Niño 3 (intensidade forte), Niño 3.4 (intensidade fraca, moderada e forte) e Niño 4 (intensidade moderada) as anomalias negativas de precipitação pluvial no estado indicam um início de estação chuvosa atrasada ou seca. Assim, eventos de El Niño no Pacífico equatorial centro-oeste estão associados com início da estação chuvosa atrasada ou com condições mais secas em Minas Gerais, enquanto eventos de El Niño no Pacífico equatorial leste estão associados com condições opostas. Desde a década de 1970 houve uma mudança na localização da origem dos eventos de El Niño, passando do Pacífico leste para o Pacífico Oeste, além de eventos extremos de El Niño serem mais frequentes (WANG et al., 2019). Assim, é possível que o início da estação chuvosa em Minas Gerais seja afetado, sendo cada vez mais seco ou atrasado.

A precipitação pluvial é muito influenciada pelo El Niño, contradizendo Silva (2013), que mostra que os eventos de El Niño apenas influenciam nas variações de

temperatura mínima e máxima, causando principalmente casos aumento. Vários estudos , não apenas de Silva (2013), indicam que somente a temperatura do ar é influenciada por eventos de El Niño. Porém, com o presente estudo podemos observar que a precipitação pluvial também apresenta grande influência.

Com relação à temperatura mínima, as anomalias positivas dominam nos trimestres em praticamente todos os eventos de El Niño nas diferentes regiões do Niño e intensidades, com exceção de eventos de El Niño na região do Niño 3.4 (intensidade fraca), em que apresenta dois trimestres quentes e três trimestres frios. Da mesma forma, as anomalias de temperatura máxima são predominantemente positivas em Minas Gerais durante os eventos de El Niño nas diferentes regiões do Niño e intensidades, com exceção de eventos na região do Niño 3.4 (intensidade forte) e Niño 4 (intensidade fraca), com domínio de trimestres frios no estado.

Eventos de El Niño atuam como intensificadores de mudanças extremas de precipitação pluvial e temperatura do ar no Brasil, o que demonstra a importância de entender estas relações para poder fornecer subsídios para previsões climáticas cada vez mais assertivas sobre o clima, principalmente para evitar e/ou minimizar os efeitos dos possíveis impactos sociais, econômicos e ambientais.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas questões relevantes surgem a partir deste estudo, que podem servir de tema para trabalhos futuros:

- Qual o comportamento espacial da temperatura do ar e precipitação pluvial em Minas Gerais durante eventos de La Niña nas diferentes regiões do Niño e de diferentes intensidades? E em anos Neutros?
- Qual a circulação atmosférica anômala e sistemas atmosféricos associados aos eventos de El Niño e impactos em Minas Gerais?
- Há extremos de precipitação pluvial e temperatura do ar trimestrais associados aos eventos de El Niño (nas diferentes regiões do Niño e de diferentes intensidades) em Minas Gerais?

6. REFERÊNCIAS

ABREU, Magda Luzimar. Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) à Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Geonomos**, v. 6, n. 2, 1998.

Aceituno P (1988) On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: surface climate. *Mon Weather Rev* 116: 505–524

Agência FAPESP. Déficit de chuvas no Brasil vem aumentando nas últimas décadas. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/deficit-de-chuvas-no-brasil-vem-aumentando-nas-ultimas-decadas/21532/>. Acesso em novembro de 2019.

Alves, Marcelo C. Teste t student. Seção técnica de informática. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2017.

Andreoli, R.V.; Kayano, M.T. 2006. Tropical Pacific and South Atlantic effects on rainfall variability over northeastern Brazil. *International Journal of Climatology*, 26: 1895 - 1912.

ANDREOLI, RITA VALÉRIA et al. A influência do evento El Niño-Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. 2013.

ARAUJO, Rosimeire Gonzalez et al. **A influência do evento El Niño - Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul.** *Acta Amaz.* [online]. 2013, vol.43, n.4, pp.469-480.

ASSUNÇÃO BORSATO, Victor; DE ASSIS MENDONÇA, Francisco. Participação da massa polar atlântica na dinâmica dos sistemas atmosféricos no Centro Sul do Brasil. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 14, n. 1, p. 113-130, 2015.

Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012 / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.

ÁVILA, Léo Fernandes et al. Tendências de temperaturas mínimas e máximas do ar no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 49, n. 4, p. 247-256, 2014.

BASTOS, CAMILLA C.; FERREIRA, NELSON J. Análise climatológica da alta subtropical do Atlântico Sul. **CEP**, v. 12220, n. 110, p. 973-990, 2000.

BERRI, Guillermo J.; GHIETTO, Marcela A.; GARCÍA, Norberto O. The influence of ENSO in the flows of the upper Paraná River of South America over the past 100 years. **Journal of Hydrometeorology**, v. 3, n. 1, p. 57-65, 2002.

Boletim de Monitoramento e Análise Climática – Climanálise - Número Especial, 1986. INPE. São José dos Campos, SP. 125 págs.

CAMILLONI, Inés; BARROS, Vicente. The Parana river response to El Nino 1982–83 and 1997–98 events. **Journal of Hydrometeorology**, v. 1, n. 5, p. 412-430, 2000.

CAVALCANTI, Iracema F.A. [et al.] organizadores. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

CAVALCANTI, Iracema FA. **Episódios El Niño/Oscilação Sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influências sobre o Brasil**. *Climanálise. Especial: edição comemorativa de 10 anos*, p. 52-64, 1996.

CAVALCANTI, Iracema FA. Episódios El Niño/Oscilação Sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influências sobre o Brasil. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática-Climanálise. Edição especial comemorativa de**, v. 10, 1996.

CAVALCANTI, Iracema FA; ROWNTREE, Peter. A zona de convergência do Atlântico Sul no modelo climático do Hadley Centre. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**. 1998.

CAVALCANTI, Iracema FA; TEDESCHI, Renata G. Influência dos ENOS Canônico e Modoki na precipitação da América do Sul. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**. 2010.

CLIMA. **Publicação: Conjunto de dados de acesso aberto de variáveis meteorológicas diárias no Brasil (1980-2013) (update)**. Disponível em: <<http://clima.org.br/archives/460>>. Acesso em: 18 dez. 2018.

COELHO, C. A. S.; UVO, C. B.; AMBRIZZI, T. Exploring the impacts of the tropical Pacific SST on the precipitation patterns over South America during ENSO periods. **Theoretical and applied climatology**, v. 71, n. 3-4, p. 185-197, 2002.

Coelho, M. S., & Massad, E. (2012). The impact of climate on Leptospirosis in São Paulo, Brazil. *International Journal of Biometeorology*, 56(2), 233–241.

CUNHA, Gilberto Rocca et al. El Niño/La Niña-oscilação sul e seus impactos na agricultura brasileira: fatos, especulações e aplicações. **Embrapa Trigo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2011.

DIAZ, A.; STUDZINSKI, C.; MECHOSO, C. Relationship between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. **J. Climate**, v. 11, p. 251-271, 1998.

DOTY, Brian E.; KINTER III, James L. Geophysical data analysis and visualization using the grid analysis and display system. 1995.

DOTY, Brian. The grid analysis and display system. **GRADS Manual**, v. 10, p. 148, 1995.

ECMWF – *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*. **ERA-Interim**. Disponível em: <<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/archive-datasets/reanalysis-datasets/era-interim>>. Acesso em: 18 dez. 2018.

FERREIRA, Antonio Geraldo; DA SILVA MELLO, Namir Giovanni. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista brasileira de climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

FONTANA, Denise Cybis; BERLATO, Moacir Antonio. **Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 127-132, 1997.

GERAIS, Minas. Panorama da biodiversidade em Minas Gerais. **Belo Horizonte: Instituto Estadual de Florestas. 286p**, 2012.

Gomes, A. F., Nobre, A. A., & Cruz, O. G. (2012 Nov). Temporal analysis of the relationship between dengue and meteorological variables in the city of Rio de Janeiro, Brazil, 2001-2009. *Cadernos de Saúde Pública*, 28(11), 2189–2197.

Governo do estado de Minas Gerais. Bacias Hidrográficas. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/conteudo/conheca-minas/geografia/bacias-hidrograficas>. Acesso em novembro de 2019.

Gracie, R., Barcellos, C., Magalhães, M., Souza-Santos, R., & Barrocas, P. R. (2014). Geographical scale effects on the analysis of leptospirosis determinants. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(10), 10366–10383.

Grimm AM, Barros VR, Doyle ME (2000) Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *J Clim* 13: 35–58

GRIMM, A. M. The El Niño Impact on Summer Monsoon in Brazil: Regional Processes versus Remote Influences. **Journal of Climate**, v. 16, p. 263-280, 2003.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.. Sudeste do Brasil: uma região de transição no impacto de eventos extremos da Oscilação Sul. Parte I: El Niño. In: X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da FLISMET, 1998, Brasília. Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da FLISMET. Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998. v. em CD.

GRIMM, A. M.; VERA, C.; MECHOSO, R. The South American Monsoon System. In: The Global Monsoon System: Research and Forecast. CHANG, C.-P.; WANG, B.; LAU, N. C.-G. (eds) WMO/TD 266–TMRP: pp. 542, 2005. Disponível em: <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/tmrp/documents/global_monsoon_system_IWM3.pdf> Acesso em 17 de maio de 2015.

GRIMM, Alice M. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil?. **Climate Dynamics**, v. 22, n. 2-3, p. 123-138, 2004.

GRIMM, Alice M. Variabilidade Interanual do Clima no Brasil. In: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque, et al. (org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.P. 356-459.

Guimarães, R. M., Cruz, O. G., Parreira, V. G., Mazoto, M. L., Vieira, J. D., & Asmus, C. I. (2014). Temporal analysis of the relationship between leptospirosis and the occurrence of flooding due to rainfall in the city of Rio de Janeiro, Brazil, 2007-2012. *Ciência & Saúde Coletiva*, 19(9), 3683–3692.

GUTZLER, D.; LETTENMAIER, D.; MARENGO, J.; MECHOSO, C. R.; NOGUES-PAEGLE, J.; SILVA DIAS, P. L.; ZHANG, C. Toward a unified view of the American monsoon systems. *Journal of Climate*, v.19, n. 20, p. 4977-5000, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2010. Cidades. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>. Acesso em novembro de 2019.

IPCC, 2013: Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. **Active and break phases in the South American Monsoon System**. *J Climate*, v. 15, p. 905-914, 2002.

KINTER III, James L. *The Grid Analysis and Display System (GRADS): A practical tool for Earth science visualization*. 1993.

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

Kousky, V. E; I. F. A.Cavalcanti, 1984. Eventos Oscilação Sul / El Nino. Características, evolução e anomalias de precipitação. *Ciência e Cultura*, Vol.36(11):1888-1899.

KRIEGER, Sebastian. **Estudo da variabilidade na distribuição espectral das ondas de Rossby baroclínicas no Atlântico e em particular na região do arquipélago de Abrolhos**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LIEBMANN, Brant et al. An observed trend in central South American precipitation. *Journal of Climate*, v. 17, n. 22, p. 4357-4367, 2004.

MARENGO, J. A. et al. Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. **Rio de Janeiro: FBDS**, 2009.

MARENGO, José A.; AMBRIZZI, Tércio; SOARES, Wagner R. Jato de Baixos Níveis ao Longo dos Andes. In: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque, et al. (org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.P. 169-459.

MARENGO, José A.; VALVERDE, María C. **Mudanças na circulação atmosférica sobre a América do Sul para cenários futuros de clima projetados pelos modelos globais do IPCC AR4**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 1, p. 125-145, 2010.

MARTINS, Andreza Carla da Silva et al. Relação das anomalias de TSM do pacífico e atlântico tropicais com anomalias de temperatura, umidade e vento para a América do Sul. 2008.

MARTINS, Samantha. A célula de Walker e o El Niño. Disponível em: <http://meteoropole.com.br/2017/05/a-celula-de-walker-e-o-el-nino/>. Acesso em novembro de 2019.

MELLO, Carlos Rogério et al. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 537-545, 2007.

MINUZZI, Rosandro B. et al. El Niño: ocorrência e duração dos veranicos do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 364-371, 2005.

MINUZZI, Rosandro Boligon et al. Influência do fenômeno climático El Niño no período chuvoso da região sudeste do Brasil. **Geografia**, v. 15, n. 2, p. 5-19, 2006.

MINUZZI, Rosandro Boligon. **Influência dos fenômenos El Niño e La Niña nos veranicos do estado de Minas Gerais. 2003. 96f.** 2003. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) –Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

NOBRE, Carlos A.; MARENGO, Jose A.; SOARES, Wagner R. (org.). *Climate Change Risks in Brazil*. São Paulo: Springer, 2018.

NOBRE, Carlos A.; SAMPAIO, Gilvan; SALAZAR, Luis. **Mudanças climáticas e Amazônia**. *Ciência e Cultura*, v. 59, n. 3, p. 22-27, 2007.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the Tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate*, v. 9, p. 2464-2479, 1996.

Oliveira, G., Araújo, M. B., Rangel, T. F., Alagador, D., & Diniz-Filho, J. A. F. (2012). Conserving the Brazilian semiarid (Caatinga) biome under climate change. *Biodiversity and Conservation*, 21(11), 2913–2916.

OLIVEIRA, Gilvan Sampaio de. **O El Niño e Você - o fenômeno climático**. São José dos Campos (SP): Transtec, 2001. 116 p.

OLIVEIRA, Gilvan Sampaio; SATYAMURTY, Prakki. *O El Niño de 1997/98: evolução e impactos no Brasil*. 1998.

Paiva, C.M. Determinação das datas de início e fim da estação chuvosa e da ocorrência de veranicos na Bacia do Rio Doce. Viçosa: UFV, 1997. 65p. Dissertação Mestrado.

QUADRO, Mario FL et al. **ANÁLISE CLIMATOLÓGICA DA PRECIPITAÇÃO E DO TRANSPORTE DE UMIDADE NA REGIÃO DA ZCAS**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 27, n. 2, 2011.

QUADRO, Mário Francisco Leal de. **ESTUDO DE EPISÓDIOS DE ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL (ZCAS) SOBRE A AMÉRICA DO SUL**. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

RAMAGE, C. S. *Monsoon Meteorology*. Academic Press, New York and London, 296 p., 1971.

REBOITA, Michelle Simões et al. Aspectos climáticos do estado de minas gerais (climate aspects in minas gerais state). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, 2015.

REBOITA, Michelle Simões et al. **Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul**. 2012.

SÁ JÚNIOR, A. Aplicação da Classificação de Köppen para o Zoneamento Climático do Estado de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, 2009.

SALINI, Micheline Finatto. **A influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul-ENOS (La Niña e El Niño) na ocorrência de inundações no Vale do Taquari-RS**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso.

SETUR, Secretaria de Estado de Turismo de Minas Gerais. Quais são os principais segmentos turísticos de Minas Gerais? Disponível em: <http://www.turismo.mg.gov.br/duvidas-frequentes/210-quais-sao-os-principais-segmentos-turisticos-de-minas-gerais>. Acesso em novembro de 2019.

SILVA DIAS, Maria Assunção Faus. Eventos climáticos extremos. **Revista USP**, n. 103, p. 33-40, 2014.

SILVA, Esmeraldo David da. Estudo da Precipitação no Estado de Minas Gerais-MG. 2013.

SILVA, Juarez Viegas. **El Niño e seus impactos na América do Sul: clima atual e cenários futuros**. 2015. Dissertação (Clima e Ambiente (CLIAMB)) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

Silva, L. J., Reboita, M. S., Rocha, R. P., 2014. **Relação da Passagem de Frentes Frias na Região Sul de Minas Gerais (RSMG) com a Precipitação e Eventos de Geadas**. *Revista Brasileira de Climatologia* 14, 229-246.

TEDESCHI, R. G. **As influências de tipos diferentes de ENOS na precipitação e nos seus eventos extremos sobre a América do Sul observações, simulações e projeções**. 2013. 224 f. 2013. Tese de Doutorado. Tese de doutorado do curso de Meteorologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

VERA, C.; HIGGINS, W.; J. AMADOR, J.; AMBRIZZI, T.; GARREAUD, R.; GOCHIS, D.; VIANELLO, Rubens Leite; MAIA, Luiz Francisco Pires Guimarães. ESTUDO PRELIMINAR DA CLIMATOLOGIA DINÂMICA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. 1986.

WANG, Bin et al. Historical change of El Niño properties sheds light on future changes of extreme El Niño. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 116, n. 45, p. 22512-22517, 2019.

WARD, Philip J. et al. Strong influence of El Niño Southern Oscillation on flood risk around the world. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 44, p. 15659-15664, 2014.

WILKS, Daniel S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences (International Geophysics Series; V. 91)**. Academic Press, 2006.

Williams. E., Dall'Antonia. A., Dall'Antonia V., de Almeida J., Suarez. F., Liebmann. B., Malhado. A.. (2005) The Drought of the Century in the Amazon Basin: An Analysis of the Regional Variation of Rainfall in South America in 1926. *Acta Amazônica*. 35(2): 231 – 238

XAVIER, A. C. An update of Xavier, King and Scanlon (2016) daily precipitation gridded data set for the Brazil. In: **Proceedings of the 18th Brazilian Symposium on Remote Sensing, Santos, São Paulo, Brazil**. 2017. p. 28-31.

XAVIER, Alexandre C.; KING, Carey W.; SCANLON, Bridget R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016.

ZHOU, J.; LAU, K. M. Does a monsoon climate exists over South America? *Journal of Climate*, v.11, p.1020–1040, 1998.