

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

MÍRIAN DE PAULA LIMA

CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA ASSOCIADA AOS EXTREMOS SECOS E CHUVOSOS
EM UBERLÂNDIA-MG

Orientadora:

Profa. Dra. Camila Bertoletti Carpenedo

Uberlândia

2019

MÍRIAN DE PAULA LIMA

CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA ASSOCIADA AOS EXTREMOS SECOS E CHUVOSOS
EM UBERLÂNDIA-MG

Trabalho Final de Graduação apresentado ao curso de Geografia da
Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a
Obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Uberlândia

2019

Aos meus pais, amigos e família. Vocês possibilitaram que eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

Dedico esse trabalho primeiramente aos meus pais, Valéria e Cláudio, pelo apoio incondicional, amor, atenção, carinho e paciência durante toda essa jornada e por terem me ensinado desde sempre o valor da resiliência, da determinação e da independência. Vocês criaram em mim desde muito cedo o alicerce necessário para que eu alcançasse tudo que conquistei até hoje. Agradeço grandemente também aos meus avós e a toda minha família, por mesmo de longe, sempre torcerem e acreditarem em mim.

Agradeço também a minha melhor amiga Renata, por sempre estar ao meu lado em todos os momentos, bons e principalmente nos ruins e por nunca ter me deixado desistir, mesmo em meio a todas as dificuldades, pelas risadas e pelas horas de desabafo, nas quais sempre me confortava. Você sempre foi e será minha irmã, mesmo que o sangue não nos una.

Ao Felipe, meu namorado, agradeço ao seu companheirismo, lealdade e sinceridade ao longo deste período. Você deixou esta caminhada mais leve e mais feliz, sempre aliviando o peso dos obstáculos, angústias e incertezas de todos os modos possíveis. Sei que minha felicidade hoje, também é a sua.

À minha diretora e amiga Lisandra, por me ensinar o significado da fé e por ter me auxiliado sempre que pude com sua compreensão, alegria e acima de tudo confiança no meu potencial.

À minha orientadora Camila, minha incondicional gratidão, por ter me oferecido seu tempo e seu enorme conhecimento e dedicação à esta pesquisa. Sua humildade e paciência foram fundamentais para que hoje este trabalho esteja aqui. Por mais que já tenha lhe agradecido incontáveis vezes, sei que nunca será suficiente para mensurar o quanto sou grata por ter sido sua aluna e orientanda.

Por fim, agradeço à minhas primas Luana e Maria Júlia, pelas conversas tão esclarecedoras e transformadoras em vários momentos decisivos, aos meus professores da graduação, por todo o aprendizado ao longo do curso e à Universidade Federal de Uberlândia, por toda a trajetória acadêmica trilhada até aqui.

À todos que, de alguma forma, me possibilitaram esta conquista, meu mais sincero muito obrigada!

"Ouça sua própria voz, sua própria alma. Muitas pessoas dão ouvidos aos ruídos do mundo, em vez de ouvirem a si mesmas" (Autor desconhecido)

RESUMO

A ocorrência de eventos extremos de precipitação pluvial impacta negativamente a sociedade em termos sociais, econômicos e ambientais. Assim, o objetivo deste estudo é identificar os padrões de circulação atmosférica associados à ocorrência de eventos extremos secos e chuvosos no município de Uberlândia-MG, no período de 1980 a 2015, nos meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e inverno (junho, julho e agosto). As séries temporais mensais dos campos atmosféricos e de superfície foram obtidas das reanálises do ERA-Interim (ECMWF *Data Server*), reanálises do NCEP/NCAR (NOAA-ESRL) e precipitação pluvial de Xavier, King e Scanlon (2017). Para a determinação dos eventos extremos secos e chuvosos foi utilizada a técnica dos percentis (10% para os extremos secos e 90% para os extremos chuvosos) e para a análise dos padrões atmosféricos foi empregada a técnica das composições, através do software *Open GrADs*. Os resultados mostram que durante os eventos extremos secos em Uberlândia-MG existe o fortalecimento do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) desempenhou papel relevante em todos os meses analisados. Nos meses de verão a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) deslocada para norte associa-se à supressão e/ou enfraquecimento da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), ao enfraquecimento do jato subtropical (janeiro e fevereiro) e ao enfraquecimento do ramo sul e fortalecimento do ramo norte do jato polar (dezembro). Nos meses de inverno o jato subtropical apresenta enfraquecimento (junho e julho), associado com um fortalecimento do jato polar (junho) ou fortalecimento do ramo norte e enfraquecimento do ramo sul (julho), padrão tripolo da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Atlântico Sul (junho), fortalecimento do ASAS (todo o sistema em junho, ramo oeste em julho e ramo noroeste em agosto), enfraquecimento do Anticiclone Subtropical do Atlântico Norte (agosto), deslocamento e/ou manutenção da ZCIT para norte (julho e agosto), consoante com aquecimento no Atlântico Norte tropical e resfriamento no Atlântico Sul tropical (julho e agosto). Em relação aos eventos extremos chuvosos em Uberlândia-MG, nos meses de verão a ZCAS apresenta intensificação (janeiro e fevereiro), associada ao fortalecimento do jato polar e ao enfraquecimento do jato subtropical, à uma crista anômala sobre o Atlântico Sul localizada no sul (janeiro) ou sudoeste (fevereiro), e à um cavado anômalo sobre a região Sul e parte das regiões Sudeste e Centro-Oeste do país (fevereiro). Nos meses de inverno o jato subtropical apresenta fortalecimento (julho e agosto), associado à um enfraquecimento do jato polar e do ASAS (agosto). Há indicações de padrões de teleconexões associados à ocorrência

dos eventos extremos chuvosos em praticamente todos os meses analisados. Espera-se que este trabalho possa contribuir para os estudos acerca dos padrões de circulação atmosférica associados aos eventos extremos de precipitação pluvial na região Sudeste do Brasil. Compreender a gênese destes eventos pode auxiliar na tomada de decisões e planejamento de ações institucionais/governamentais de modo a mitigar ou até mesmo prevenir os impactos socioeconômicos e ambientais decorrentes de sua ocorrência.

Palavras-chave: eventos extremos de precipitação pluvial, circulação atmosférica, sistemas atmosféricos, Uberlândia

ABSTRACT

The occurrence of extreme rainfall events negatively impacts society in social, economical and environmental terms. Therefore, the objective of this study is to detect the patterns of atmospheric circulation linked to the occurrence of dry and rainy extreme events in the city of Uberlandia, MG, from 1980 to 2015, in the summer (December, January and February) and winter (June, July and August) months. The monthly time series of atmospheric and surface samples were obtained from ERA-Interim (ECMWF Data Server), NCEP/NCAR (NOAA-ESRL) reanalyses and Xavier, King and Scanlon (2017) rainfall dataset. For the determination of dry and rainy extreme events, the percentile procedure was used (10% for dry extremes and 90% for rainy extremes) and for the analysis of atmospheric patterns, the compositions method was used, using the Open GrADs software. The results show that during the dry extreme events in Uberlandia-MG there is the strengthening of the South Atlantic Subtropical Anticyclone (SASA) played a relevant role in all the months analyzed. In the summer months, the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) moved northwards is associated with the suppression and/or weakening of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ), the weakening of the subtropical jet (January and February) and the weakening of the southern branch and strengthening of the northern branch of the polar jet (December). In the winter months the subtropical jet presents weakening (June and July), associated with a strengthening of the polar jet (June) or strengthening of the northern branch and weakening of the southern branch (July), tripole pattern of the Sea Surface Temperature in the South Atlantic (June), strengthening of the SASA (the whole system in June, west branch in July and northwest branch in August), a weakening of the North Atlantic Subtropical Anticyclone (August), displacement and/or maintenance of the ITCZ to the north (July and August), in agreement with heating in the tropical North Atlantic and the cooling on the tropical South Atlantic (July and August). Concerning the extreme rainy events in Uberlandia-MG, in the summer months the SACZ presents intensification (January and February), associated to the strengthening of the polar jet and the weakening of the subtropical jet, to an anomalous ridge over the South Atlantic located in the south (January) or southwest (February), and to an anomalous ridge over the South region and part of the Southeast and Center-West regions of the country (February). In the winter months, the subtropical jet is strengthened (July and August), associated with a weakening of the polar jet and the SASA (August). Teleconnection patterns associated with the occurrence of extreme rainy events are indicated in practically

every month analyzed. It is hopefully that this work could help in the studies of atmospheric circulation patterns that are associated to extreme rainfall events in the Southeast of Brazil. The comprehension about the origin of these events can help in the decision making and planning of institutional/governmental actions in order to mitigate or even to avoid the socio-economical and environmental effects resulting from their occurrence.

Keywords: extreme rainfall events, atmospheric circulation, atmospheric systems, Uberlandia

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de Uberlândia.	16
Figura 2 - Climograma de Uberlândia – MG (2009-2018)	17
Figura 3 - Composições de anomalia de precipitação pluvial (mm) para o verão: (a) muito chuvoso, (b) muito seco.....	24
Figura 4 - Similar à figura 12, mas para o inverno.....	24
Figura 5 - Gráfico dos percentis para os eventos extremos secos (p10) e chuvosos (p90) no mês de (a) dezembro, (b) janeiro e (c) fevereiro em Uberlândia-MG (1980-2015).....	31
Figura 6 - Similar à Figura 5, mas para o mês de (a) junho, (b) julho e (c) agosto.....	32
Figura 7 - Similar à Figura 6, mas destacando os eventos extremos secos (percentil de 10%) do mês de (a) junho, (b) julho e destacando os eventos extremos secos (percentil de 25%) do mês de (c) agosto.....	33
Figura 8 - Composição das anomalias de (a) precipitação pluvial (mm), (b) temperatura do ar a 2 m (°C), (c) altura geopotencial em 500 hPa (H500, m), (d) pressão ao nível médio do mar (PNNM, hPa), (e) vento zonal à 10 m (U10, m/s), (f) vento meridional à 10 m (V10, m/s), (g) vento zonal em 200 hPa (U200, m/s), (h) temperatura da superfície do mar (TSM, °C) e (i) radiação de onda longa emergente (ROLE, W/m ²) durante os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de dezembro (1980-2015).....	39
Figura 9 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de janeiro.	42
Figura 10 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de fevereiro	45
Figura 11 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de junho	48
Figura 12 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de julho	51
Figura 13 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de agosto.....	55
Figura 14 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de dezembro.	58
Figura 15 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de janeiro.....	61
Figura 16 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de fevereiro.....	64
Figura 17 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de junho.....	68
Figura 18 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de julho.....	71
Figura 19 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de agosto	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Precipitação pluvial e temperatura média de Uberlândia – MG de 2009 à 2018 ...	17
Tabela 2 - Síntese dos resultados observados para os eventos extremos secos em Uberlândia - MG (1980-2015).....	77
Tabela 3 - Síntese dos resultados observados para os eventos extremos chuvosos em Uberlândia - MG (1980-2015).....	78

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	30
Equação 2	34
Equação 3	35
Equação 4	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. APRESENTAÇÃO	13
1.2. JUSTIFICATIVA	13
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1. Objetivo geral	15
1.3.2. Objetivos específicos	15
1.4. ÁREA DE ESTUDO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. PRINCIPAIS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES EM UBERLÂNDIA.....	18
2.1.1. Zona de Convergência do Atlântico Sul	18
2.1.2. Jatos de Baixos Níveis.....	18
2.1.3. Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul	20
2.1.4. Correntes de jatos	21
2.1.5. Frentes frias	22
2.2. EXTREMOS SECOS E CHUVOSOS NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1. NATUREZA DOS DADOS	28
3.1.1. Reanálises Climáticas	28
3.1.2. Dados de precipitação pluvial.....	29
3.2. METODOLOGIA	29
3.2.1. Determinação dos eventos extremos secos e chuvosos	29
3.2.2. Composições dos campos atmosféricos.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1. EVENTOS EXTREMOS SECOS EM UBERLÂNDIA: VERÃO	36
4.2. EVENTOS EXTREMOS SECOS EM UBERLÂNDIA: INVERNO	46
4.3. EVENTOS EXTREMOS CHUVOSOS EM UBERLÂNDIA: VERÃO	55
4.4. EVENTOS EXTREMOS CHUVOSOS EM UBERLÂNDIA: INVERNO	65
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	77
REFERÊNCIAS	80

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

Este estudo buscará analisar o padrão de circulação atmosférica associado à ocorrência de eventos extremos secos e chuvosos no município de Uberlândia-MG, no período de 1980 a 2015, nos meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e inverno (junho, julho e agosto).

As definições de evento extremo são bastante variáveis, de acordo com os parâmetros analisados/escolhidos pelo pesquisador e área de estudo. Neste estudo, optou-se pela definição de Collins et al. (2019), que define evento climático extremo como:

um evento raro em um local e horário específicos de ano. As definições de "raro" variam, mas um evento extremo normalmente seria tão raro quanto ou mais raro do que o percentil 10 ou 90 de uma função de densidade de probabilidade estimada a partir de observações [...] (p.8)

O trabalho está organizado em cinco partes: a **primeira parte** aborda o tema, a justificativa, os objetivos e a caracterização da área de estudo. A **segunda parte** consiste em uma revisão bibliográfica acerca dos principais sistemas meteorológicos que atuam sobre o município de Uberlândia-MG, bem como discorre sobre os extremos de precipitação pluvial (secos e chuvosos) ocorridos na área de estudo e na região Sudeste do Brasil. A **terceira parte** apresenta os dados e a metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho. A **quarta parte** os resultados das análises são discutidos separadamente para os eventos extremos secos e chuvosos, mês a mês, objetivando a compreensão do padrão de circulação observado. A **quinta parte** apresenta a síntese dos resultados obtidos e as sugestões para trabalhos futuros.

Espera-se que este trabalho possa contribuir para os estudos acerca dos padrões de circulação atmosférica associados aos eventos extremos de precipitação pluvial na região Sudeste do Brasil. A ocorrência destes eventos impacta negativamente a sociedade em diversos aspectos: sociais, econômicos e ambientais. Compreender a gênese destes eventos pode auxiliar na tomada de decisões e planejamento de ações institucionais/governamentais de modo a mitigar ou até mesmo prevenir estes impactos.

1.2. JUSTIFICATIVA

Eventos climáticos extremos ocorrem em escalas temporais variadas, das mais curtas (dias) às mais longas (milhares de anos). Entretanto, em termos de impactos sentidos pelo

homem, eventos extremos em escalas meteorológica (curto prazo) e climática (médio prazo) apresentam prevalência (MARENGO, 2009).

Estudos que analisam a gênese/ocorrência de eventos climáticos extremos apresentam fundamental importância para a sociedade, pois, compreendê-los auxilia na tomada de medidas mitigadoras/preventivas de seus impactos socioeconômicos e ambientais. As mudanças climáticas têm sido apontadas como um fator altamente influente sobre a variabilidade/intensidade desses eventos:

Os eventos climáticos e meteorológicos extremos também são um aspecto integrante da variabilidade climática, e sua frequência e intensidade podem variar de acordo com a mudança climática [...] Historicamente, a variabilidade e os extremos causam impactos negativos sobre a população, aumentando a mortalidade e a morbidade nas áreas afetadas [...] Por isso, os custos econômicos e sociais do aumento dos eventos extremos também podem ser mais altos, e os impactos serão substanciais nas áreas e setores mais diretamente afetados, como agricultura, geração de hidreletricidade, centros urbanos e biodiversidade (MARENGO, 2009, p. 6)

Dentre estes eventos, a ocorrência de extremos secos de precipitação pluvial sobre o Brasil, em especial sobre a região Sudeste (onde se insere a área de estudo), tem sido objeto de estudo por vários pesquisadores (BIER, 2017; CARVALHO et al., 2002, 2004; COELHO et al., 2015; LIMA et al., 2010; MARENGO et al., 2015; MINUZZI et al., 2007; PAMPUCH e AMBRIZZI, 2011; VASCONCELLOS, 2008), uma vez que é a região mais urbanizada (89,3%) (IBGE, 1997) e populosa do país, concentrando cerca de 42% da população total do Brasil (IBGE, 2019a), e a mais rica, contribuindo com cerca de 53,2% do PIB nacional (IBGE, 2016). A região Sudeste também reúne boa parte das usinas hidrelétricas do país, que constituem a principal matriz elétrica nacional (65% do total de energia gerada) (ANA, 2018). Logo, em um país onde a produção de energia depende diretamente da precipitação pluvial e onde as cidades (especialmente as maiores), em sua maioria não apresentam infraestrutura capaz de suportar chuvas intensas, os impactos de eventos extremos de precipitação pluvial, secos ou chuvosos, são sentidos na sociedade e na economia como um todo, causando sérios prejuízos à população e ao meio ambiente. Portanto, estudos que buscam compreender os padrões de circulação atmosférica que contribuem para a ocorrência desses eventos são de grande relevância para a pesquisa científica.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é analisar o padrão de circulação atmosférica associado à ocorrência de eventos extremos secos e chuvosos no município de Uberlândia-MG, no período de 1980 a 2015, nos meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e inverno (junho, julho e agosto).

1.3.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- a) Analisar qual o padrão espacial anômalo de temperatura do ar e precipitação pluvial no Brasil durante os eventos extremos secos e chuvosos em Uberlândia;
- b) Investigar as diferenças observadas na circulação atmosférica na ocorrência dos eventos extremos entre verão e inverno;
- c) Identificar quais os sistemas atmosféricos apresentam maior influência na ocorrência dos eventos extremos.

1.4. ÁREA DE ESTUDO

O município de Uberlândia (Figura 1) localiza-se a 18°55'23'' Sul e 48°17'19'' Oeste, na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, no oeste do estado de Minas Gerais. Apresenta altitude média de 865 metros. Com uma área de 4.115,206 Km² e uma população estimada de 691.305 habitantes (IBGE, 2019b), a cidade apresenta o 28º maior PIB per capita do país (IBGE, 2016) e um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,789, maior que o do estado (0,731) em 2010 (IBGE, 2010). Conforme Michelotto e Sobrinho (2018), Uberlândia:

Atualmente, é a cidade mais importante da região do Triângulo Mineiro e continua apresentando um rápido e intenso desenvolvimento econômico em consequência da expansão industrial. Destaca-se na agroindústria (grãos, carne, frutas, vegetais e laticínios), assim como a biotecnologia e comunicação. No final dos anos 2000, novas frentes de expansão urbana avançam para além dos limites do perímetro urbano, especialmente nas áreas leste e sul. (MICHELOTTO E SOBRINHO, 2018, p. 61).

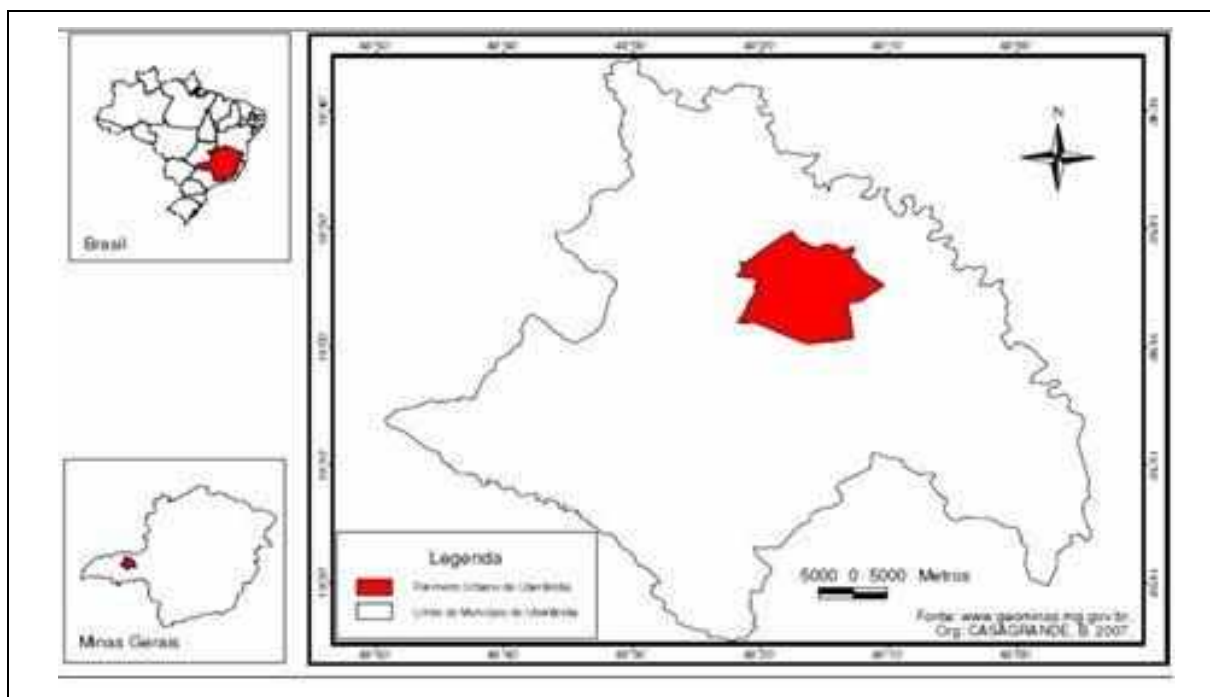


Figura 1 - Localização do município de Uberlândia. Fonte: PAVANIN et al. (2017).

Em relação ao clima, Uberlândia se insere no tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (1936): clima tropical, megatérmico (recebe muita insolação o ano todo), com verão úmido e inverno seco, devido ao Sistema de Monções da América do Sul. Conforme a Figura 2 e a Tabela 1, a estação seca em Uberlândia atinge seu auge no trimestre junho-julho-agosto, o qual apresenta os menores totais pluviométricos, abaixo de 20 mm. A temperatura média do ar também apresenta valores mais baixos nesse trimestre, oscilando entre 20,8°C e 22,5°C, entretanto a queda inicia-se no mês de maio (21,6°C). A precipitação pluvial concentra-se nos meses de novembro a março, apresentando os maiores valores nos meses de dezembro (277,4 mm), seguido por novembro (254,1 mm) e janeiro (239,9 mm). As maiores médias de temperatura são registradas nos meses de outubro (25,1°C), setembro (24,7°C) e março (24,4°C).

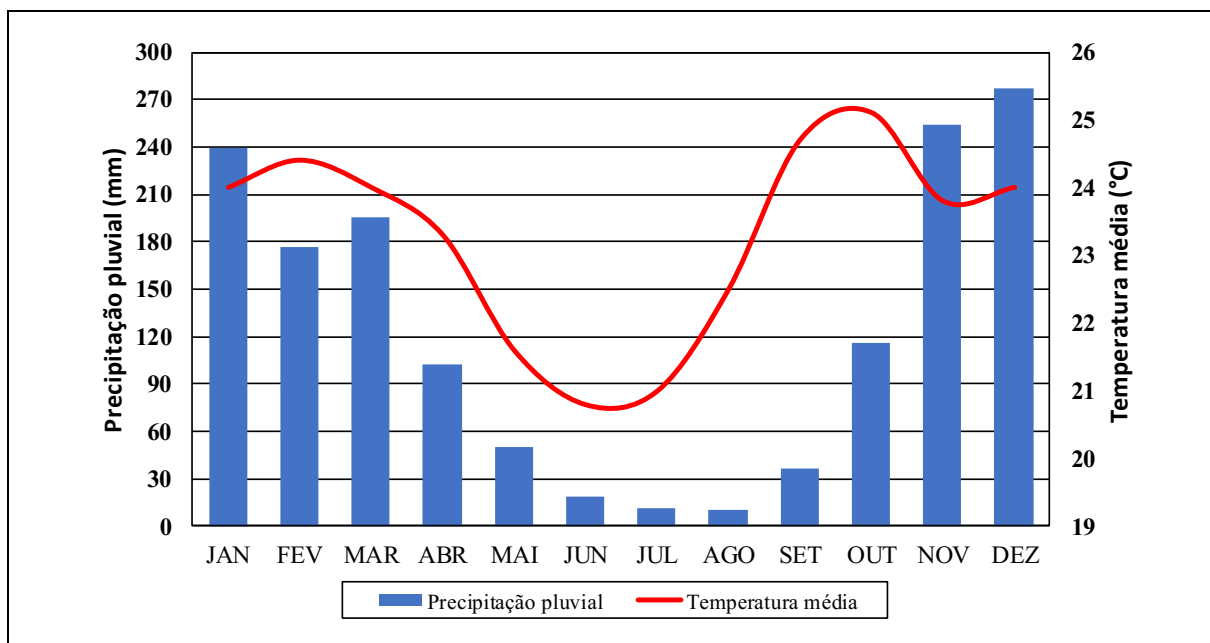


Figura 2 - Climograma de Uberlândia – MG (2009-2018). Fonte: LCRH/UFU (2019). Elaboração: Autora (2019).

Tabela 1 - Precipitação pluvial (Prec.) e temperatura média (Temp.) em Uberlândia–MG de 2009 a 2018. Fonte: LCRH/UFU (2019). Organização: Autora (2019).

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Prec. (mm)	239,9	177,1	196,1	102,1	50,5	18,8	11,4	10,10	35,9	116,3	254,1	277,4
Temp. (°C)	24	24,4	24	23,3	21,6	20,8	21	22,5	24,7	25,1	23,8	24

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PRINCIPAIS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES EM UBERLÂNDIA

Os principais sistemas atmosféricos que exercem influência sobre o clima da região Sudeste do Brasil e, conseqüentemente, de Uberlândia, serão apresentados a seguir.

2.1.1. Zona de Convergência do Atlântico Sul

Segundo Quadro (1994) a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) pode ser definida como um fenômeno climatológico, no qual os seguintes parâmetros meteorológicos devem persistir por no mínimo 4 dias:

Banda de nebulosidade convectiva, orientada com direção noroeste/sudeste, à partir da intensa convecção tropical (região amazônica e Brasil Central), estendendo-se até o Oceano Atlântico Subtropical, convergência de umidade na baixa e média troposfera, faixa de movimento ascendente de ar com orientação noroeste/sudeste, presença de cavado semiestacionário sobre a América do Sul em 500 hPa à leste dos Andes, intenso gradiente de temperatura potencial equivalente em 500 hPa (ao sul da faixa de nebulosidade convectiva) e faixa de circulação anticiclônica em altos níveis. (QUADRO, 1994, p. 83)

Ainda segundo o autor, a ZCAS também pode ser entendida como uma resposta atmosférica à interação de vários outros fenômenos, dentre os quais se destacam: interação da convecção tropical com as frentes frias advindas do sul da América do Sul, ao avançarem pelo interior do continente, organizando a banda de nebulosidade com orientação noroeste/sudeste e presença de vórtice ciclônico em altos níveis sobre a região Nordeste do Brasil e oceano próximo, principalmente em períodos de fase quente do El Niño-Oscilação Sul.

A ZCAS também está associada a um padrão “gangorra” de precipitação pluvial entre as regiões Sudeste e Sul do Brasil no verão: enquanto sobre a região Sudeste é observado aumento das chuvas, na região Sul ocorre diminuição precipitação pluvial e persistência de tempo bom. Quando a ZCAS está suprimida, o padrão se inverte, conforme Silva et al. (2019). Segundo Nogués-Paegle e Mo (1997), este padrão está diretamente ligado à qual direção os jatos de baixos níveis fluem: se é sentido à região Sudeste do Brasil, a ZCAS se intensifica e, conseqüentemente, a precipitação pluvial sobre a área aumenta; se fluem em direção ao Sudeste da América do Sul (que inclui a região Sul do Brasil), há enfraquecimento da ZCAS e diminuição da precipitação pluvial sobre o Sudeste.

Logo, é notável a grande influência da ZCAS sobre o clima da região Sudeste. Conforme Marengo et al. (2015), o regime de chuvas nesta região é influenciado pela ZCAS em consonância à atuação das frentes frias e dos jatos de baixos níveis, o que também é citado por Leite (2019) e Quadro (1994). Outros autores como Carvalho et al. (2002, 2004), Nogués-Paegle e Mo (1997), Nogués-Paegle et al. (2000) observaram que a atuação da ZCAS é determinante para modular o período chuvoso na região Sudeste do Brasil. Entretanto, também salientaram que a ZCAS sofre influência de diversos outros fatores/sistemas, os quais atuam em escalas de tempo bastante variáveis (da sinótica à intrasazonal e interanual). Consequentemente, eventos de ZCAS intensos estão diretamente relacionados à ocorrência de extremos de precipitação pluvial na região Sudeste do Brasil (ABREU, 2003; CARVALHO et al., 2002; LIMA et al., 2010; REIS, 2015; ROSEGHINI, 2007; SIQUEIRA; NERY, 2018; VASCONCELLOS, 2008).

2.1.2. Jatos de baixos níveis

Os jatos de baixos níveis podem ser definidos como um estreito fluxo de ar quente e úmido, que atinge máximo escoamento em cerca de 1 a 2 km de altitude, marcado por intensas velocidades de vento adjacentes e a leste de cordilheiras ou barreiras montanhosas (MARENGO et al., 2004). Na América do Sul, os jatos de baixos níveis ocorrem a leste da Cordilheira dos Andes, gerando um fluxo de ar quente e úmido advindo da Amazônia em direção à porção subtropical da América do Sul (bacia do Rio da Prata) (BIER, 2017), em especial à região Sul do Brasil e o norte da Argentina (MARENGO et al., 2004, p. 2262). Ainda segundo este autor, apesar de ocorrer durante todo o ano, os jatos de baixos níveis ocorrem prioritariamente no verão, sendo que no inverno geralmente estão associados à posição e intensidade do ASAS (MARENGO et al., 2004, p.2279).

A relação interdependente entre os jatos de baixos níveis e a ZCAS foi documentada e estudada por diversos autores. Por exemplo, Ferreira et al. (2003, p. 962) cita que quando há eventos de ZCAS, os jatos de baixos níveis fluem em direção à região Sudeste do Brasil, enquanto que na ausência de ZCAS, os jatos de baixos níveis localizam-se ao longo do sopé oriental da Cordilheira dos Andes, na Bolívia, em direção à bacia do Rio da Prata. Nogués-Paegle e Mo (1997) também observaram este fenômeno, ao analisarem o padrão gangorra de precipitação que a ZCAS estabelece sobre o Brasil.

A intensificação dos jatos de baixos níveis está associada a eventos mais fracos de ZCAS e a intensos acumulados de precipitação sobre o Sudeste da América do Sul (SALIO et

al., 2002; FERREIRA et al., 2003; MARENGO et al., 2004; SUGAHARA et al., 1994). A atuação dos jatos de baixos níveis também está associada a eventos extremos sobre os estados da região Sudeste do Brasil, seja extremos secos (BIER, 2017; MARENGO et al., 2015), como extremos chuvosos (SENA, 2016; VALENTE, 2015; REBOITA et al., 2017).

2.1.3. Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

Os anticiclones originam-se por meio de massas de ar subsidente, que têm como característica principal o ar seco (devido à rápida descida do ar pela atmosfera, o ar perde umidade devido ao aquecimento adiabático), o que impede a convecção, favorecendo, portanto, tempo estável e sem nuvens (DEGOLA, 2013). Ainda segundo este autor, há três tipos de anticiclones no planeta: os polares, os migratórios e os semipermanentes. Estes últimos localizam-se à aproximadamente 30° de latitude sobre os oceanos, associados ao ramo descendente da célula de Hadley, apresentando grande extensão, ar seco e quente (DEGOLA, 2013).

O Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) localiza-se em cerca de 30°S e conforme Nimer (1989):

Este anticiclone [...] possui geralmente temperaturas elevadas, ou amenas, fornecidas pela intensa radiação solar e telúrica das latitudes tropicais e forte umidade específica, fornecida pela intensa evaporação marítima. Entretanto, em virtude de sua constante subsidência superior e consequente inversão de temperatura, sua umidade é limitada à camada superficial, o que lhe dá um caráter de homogeneidade e estabilidade [...](p. 207).

O ASAS exerce grande influência sobre o clima no Brasil, notadamente sobre a região Sudeste. Degola (2013), ao analisar a variabilidade do ASAS na série histórica de 1989-2010, observou que quando este sistema atmosférico se encontra a oeste de sua posição climatológica, causa diminuição da temperatura do ar sobre a região Nordeste do Brasil e aumento nas regiões Sul e parte do Sudeste. Quando se encontra à leste, o padrão é oposto. Reboita et al. (2010), ao analisar os regimes de precipitação pluvial na América do Sul, citou que o ASAS é responsável pela precipitação pluvial diminuída no inverno, na região Sudeste do Brasil, devido à sua posição mais a oeste, estendendo-se para o interior da mesma. Já no verão, quando tipicamente se encontra mais a leste e zonalmente comprimido, favorece a precipitação pluvial sobre a região Sudeste, trazendo a umidade do Atlântico Sul para o interior do continente, além de favorecer a ocorrência da ZCAS associado ao escoamento de noroeste dos jatos de baixos níveis (REBOITA et al., 2010; 2019).

Carpenedo e Lima (2019) analisaram o evento seco histórico ocorrido em julho de 2017 na região extratropical do Brasil, identificando a circulação atmosférica e os sistemas atmosféricos associados. As autoras mostram que este evento esteve associado com a atuação de dois sistemas atmosféricos de alta pressão: um bloqueio atmosférico e o ASAS. A primeira quinzena de julho de 2017, associado ao bloqueio atmosférico, apresentou anomalias mais intensas dos campos atmosféricos em relação à segunda quinzena, associada ao ASAS, resultando em impactos climáticos mais intensos. (CARPENEDO; LIMA, 2019).

O ASAS é frequentemente associado à ocorrência de extremos secos sobre a região Sudeste do Brasil. Bier (2017), Coelho et al. (2015a, 2015b), Marengo et al. (2015), Pampuch (2014) e Reboita et al. (2015) observaram em seus estudos que o deslocamento anômalo do ASAS para oeste (adentrando o continente), associado à sua atuação intensificada, atua como um bloqueio atmosférico (que são sistemas atmosféricos de alta pressão anômala quente posicionados em latitudes maiores às latitudes dos anticiclones subtropicais), impedindo o avanço de sistemas transientes em direção ao interior do Brasil, além de impedir a convecção e formação de nuvens de chuva sobre a região.

2.1.4. Correntes de jatos

Conforme Pezzi et al. (1996) as correntes de jato correspondem “a região em altos níveis da atmosfera, próximo à tropopausa, onde a componente do vento zonal, de oeste, atinge valores máximos. Esta componente aumenta com a altura devido à existência de gradientes meridionais de temperatura”.

Ainda, conforme Escobar (2009):

Existem dois tipos de correntes de jato: o Jato Subtropical (JST) e o Jato Polar (JP) ou frente polar. O JST é relativamente constante em sua posição em determinada estação do ano. Por outro lado, o JP é altamente variável em sua posição dia a dia sobre uma ampla faixa de latitudes médias e subtropicais. No Hemisfério Sul, o JST aparece geralmente acima dos 13000 metros, na faixa de latitude que vai de 20° a 40°S e, o JP encontra-se entre 8000 e 10000 metros de altitude, oscilando entre 30° e 70°S (p. 128)

Segundo o autor, a alta variabilidade do jato polar ocorre devido à sua associação com os sistemas frontais. Logo, seu deslocamento e fortalecimento/enfraquecimento estão diretamente associados à trajetória dos sistemas transientes sobre o Brasil. Já o jato subtropical está associado à célula de Hadley, geralmente com a circulação subsidente da mesma (BIER, 2017; CRUZ, 2003; VALENTE, 2015). Ambos atingem suas posições

extremas no verão (ao sul) e no inverno (ao norte). A variabilidade média do jato subtropical é entre 30° e 35°S e a do jato polar entre 35° e 55°S (ESCOBAR, 2009).

Quando o jato polar encontra-se fortalecido, o ar frio fica confinado nas altas latitudes, enquanto o ar quente fica confinado nas latitudes médias/tropicais, reduzindo assim as trocas de calor entre polo-trópico (NOAA, 2019), dificultando, portanto, o avanço dos sistemas transientes em direção ao interior do Brasil.

Paralelamente, o enfraquecimento do jato subtropical está associado à uma diminuição (na frequência e/ou intensidade) de instabilidades baroclínicas sobre as regiões Sul e Sudeste do Brasil, favorecendo um aumento acima da média na temperatura do ar (BEZERRA, 2016). Além disso, Valente (2015, p.28) afirma que o jato subtropical atua como um agente de transporte de massas de ar. A autora também cita que, quando ocorre o acoplamento entre os jatos de altos níveis (jatos subtropical e polar) e os jatos de baixos níveis, formam-se os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), sistemas de intensa convecção caracterizados pelo agrupamento de nuvens do tipo Cumulonimbus, gerando intensos acumulados de precipitação pluvial em curto período de tempo (horas). Os CCMs são, portanto, também associados a extremos de precipitação pluvial, inclusive na região Sudeste do Brasil (SEGALIN, 2012; REBOITA et al, 2010).

2.1.5. Frentes frias

Conforme Wallace e Hobbs (2006) e Borsato (2016), as frentes ou zonas frontais podem ser definidas como a faixa de confluência de ar que marca o limite entre o encontro de duas massas de ar de diferentes temperaturas e pressões. Ainda segundo Wallace e Hobbs (2006), as circulações de mesoescala associadas às zonas frontais (como os ciclones extratropicais) contribuem significativamente para reforçar o gradiente de temperatura do ar entre as massas de ar e, por conseguinte, na organização e distribuição da precipitação pluvial nas áreas adjacentes à frente. A frente fria ocorre quando a massa de ar frio avança em direção à massa de ar quente, substituindo-o (WALLACE; HOBBS, 2006) e causando redução da temperatura do ar sobre as áreas em seu percurso.

As frentes frias ocorrem o ano todo no Brasil (SENA, 2016) e são um dos principais sistemas que governam o regime de chuvas na região Sudeste do país (MARENGO et al., 2015), além de sua interação com a convecção amazônica e os jatos de baixos níveis (LEITE, 2019; QUADRO, 1994; REBOITA et al., 2010) ser fundamental para a organização da ZCAS, outro sistema cuja atuação é determinante para a distribuição e intensidade das chuvas

nesta região. Deste modo, a atuação das frentes frias é diretamente relacionada à ocorrência de extremos chuvosos nos estados da região Sudeste (CAVALCANTI, 2016; LEITE, 2019; PENNA; NETO, 2014; SELUCHHI et al., 2016; SENA, 2016; SILVA, 2013; VASCONCELLOS, 2008), bem como sua ausência e/ou diminuição no número de passagens contribui para a ocorrência de extremos secos também sobre a mesma região (BIER, 2017; CARPENEDO; LIMA, 2019; COELHO et al., 2015a, 2015b; MARENGO et al., 2015; PAMPUCH, 2014; REBOITA et al., 2015).

2.2. EXTREMOS SECOS E CHUVOSOS NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL

Vasconcellos (2008), ao analisar anos muito secos e muito chuvosos nas estações de verão e inverno na região Sudeste do Brasil (no período de dezembro de 1919 a novembro de 2006), observou que nos verões ocorre um aparente padrão tripolo (déficit-aumento-déficit) de precipitação pluvial na América do Sul nos anos com maior precipitação pluvial (Figura 3a), que se inverte (aumento-déficit-aumento) nos anos muito secos (Figura 3b). Observa-se que sobre o interior do Brasil há uma faixa com orientação noroeste-sudeste, área que corresponde a de atuação da ZCAS, o que indicou, portanto, que este sistema é o maior responsável pelo volume de chuvas nesta estação, na região Sudeste (VASCONCELLOS, 2008). Os estudos da autora também indicaram a influência de um trem de ondas entre o Pacífico Oeste tropical e o sul da América do Sul (verões mais chuvosos), e bloqueios atmosféricos na América do Sul (verões mais secos), além de uma possível ocorrência da Oscilação de Madden-Julian. Já para os anos mais chuvosos no inverno nota-se que a área com maior precipitação pluvial no Brasil corresponde a atuação dos sistemas frontais, se invertendo nos anos muito secos, o que indica que, para esta estação, a atuação das frentes frias é a que mais impacta a precipitação pluvial na região Sudeste, conforme a Figura 4 (VASCONCELLOS, 2008). Os outros fatores que apresentaram influência são os mesmos observados para o verão: trem de ondas entre o Pacífico Oeste tropical e ao sul da América do Sul (invernos mais chuvosos) e bloqueios atmosféricos na América do Sul.

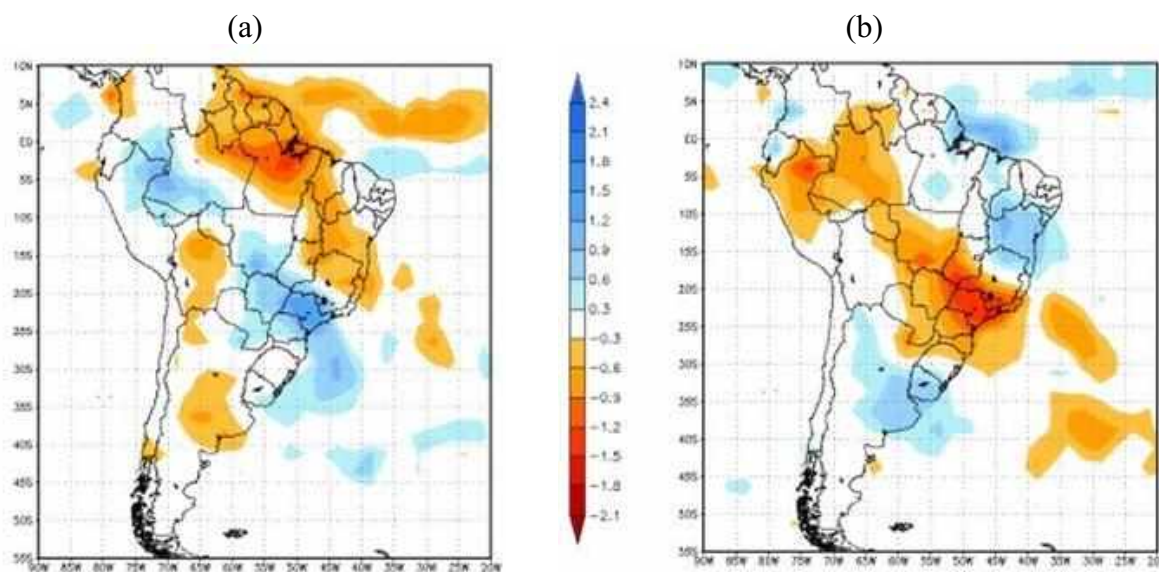


Figura 3 - Composições de anomalia de precipitação pluvial (mm) para o verão: (a) muito chuvoso e (b) muito seco. Fonte: Vasconcellos (2008).

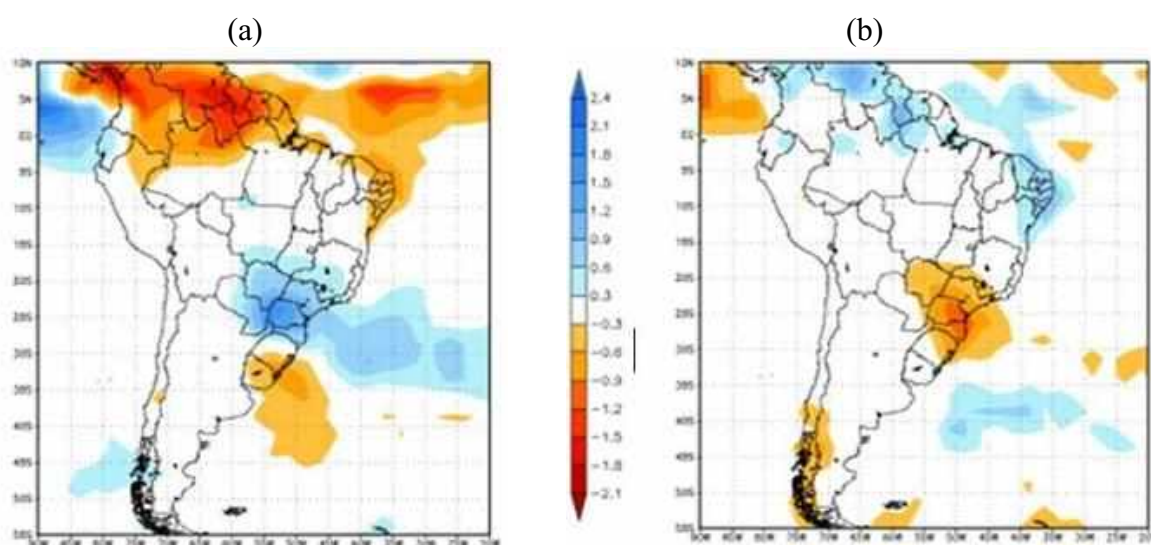


Figura 4 - Similar à Figura 3, mas para o inverno. Fonte: Vasconcellos (2008).

Carvalho et al. (2002, 2004), ao estudarem a influência da ZCAS sobre a precipitação pluvial na região Sudeste do Brasil, observaram que a maioria dos extremos chuvosos nos períodos analisados (1979-1996 e 1979-2000, respectivamente) relacionaram-se a eventos intensos de ZCAS, associados também à Oscilação de Madden-Julian, Sistema de Monções da América do Sul e a fase quente do El Niño-Oscilação Sul. Lima et al. (2010), ao investigarem as condições atmosféricas de grande escala associadas à extremos de precipitação pluvial sobre a região Sudeste, concluíram que, apesar de um número maior destes eventos associarem-se à ação de frentes frias (pois estas atuam com maior frequência),

proporcionalmente a ocorrência de extremos devido à influência da ZCAS é maior, pois, apesar do menor número de eventos de ZCAS, certamente resultarão em precipitação pluvial extrema. Isso se deve ao fato de que frentes frias são sistemas com progressão rápida, enquanto que a ZCAS produz bandas de nebulosidade semi-estacionárias, que permanecem por dias sobre a região Sudeste (LIMA et al., 2010). Os autores também observaram que perturbações sinóticas de maior amplitude favorecem a ocorrência de eventos extremos de precipitação pluvial. Outros autores, como Reis (2015), Siqueira e Nery (2018), Roseghini (2007) e Abreu (2003), também relacionaram a atuação da ZCAS com a ocorrência de eventos de precipitação pluvial extremos nos estados da região Sudeste.

Minuzzi et al. (2006) analisou a influência da La Niña na estação chuvosa da região Sudeste do Brasil e observou que durante tais eventos, de maneira geral, não há alteração no início da estação chuvosa. Entretanto, para o estado de São Paulo notou-se uma tendência a aumento da precipitação pluvial no trimestre novembro-dezembro-janeiro, que perdurou até o trimestre janeiro-fevereiro-março (MINUZZI et al., 2006). Para o mesmo período, os autores observaram uma tendência de diminuição intensa da precipitação pluvial para os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Houve pouca influência da temperatura da superfície do mar (TSM) do Pacífico equatorial ou do Índice de Oscilação Sul durante os eventos de La Niña no que tange ao volume da precipitação pluvial (MINUZZI et al., 2006).

Bier (2017) estudou os eventos extremos secos na região Sudeste durante a estação do verão, dividindo essa região em três áreas, de acordo com a homogeneidade de precipitação pluvial: R1 - abrange o estado de São Paulo e pequenas adjacências de outros estados (abrange o Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba); R2 - abrange a porção central da região, numa transversal entre Goiás e Rio de Janeiro; e R3 - abrange o norte de Minas Gerais, todo o Espírito Santo e sul da Bahia. O autor observou que, os eventos extremos secos intrasazonais (com duração superior a 10 dias) em R1 ocorreram nos verões de 2013/14 e 2014/15, sendo o déficit observado em 2013/14 o maior da série histórica (1980-2015) para a região Sudeste. Estes extremos secos também foram objeto de estudo de Marengo et al. (2015), pois foram os principais responsáveis pela crise hídrica histórica no estado de São Paulo, em 2013/2014. Os autores de ambos os trabalhos citaram a atuação intensificada do ASAS e seu deslocamento em direção ao continente e o estabelecimento de um bloqueio como fatores determinantes para a ocorrência dos eventos analisados. Marengo et al. (2015) salientaram o quão atípico foi a duração deste bloqueio, já que estes sistemas apresentam duração média de 7-8 dias e, em casos muito raros, de 15 dias, entretanto esse bloqueio teve duração de aproximadamente 45

dias. Neste caso, a ocorrência simultânea de altas pressões e temperaturas elevadas no solo e oceano foram fundamentais para a duração prolongada do sistema.

Coelho et al. (2015) também estudaram o evento de seca extrema no verão de 2014 na região Sudeste do país e concluíram que a formação de um “padrão em U” de teleconexão (dois centros de alta pressão anômalos: um no Pacífico Sul e outro no Atlântico Sul, próximos à América do Sul, e um centro de baixa pressão anômalo no extremo sul do continente supracitado), por sua vez, originado devido à atuação de duas outras teleconexões (teleconexão tropical, por meio da célula de Walker, e teleconexão tropical-extratropical, por meio da circulação meridional da célula de Hadley associado à uma onda de Rossby), propiciaram a formação do cenário ideal para a ocorrência deste evento extremo: bloqueio atmosférico, escoamento do fluxo de umidade da Amazônia em direção à região Sul do Brasil, menor atuação e enfraquecimento de eventos de ZCAS.

Pampuch e Ambrizzi (2011) analisaram a influência da TSM nos extremos secos ocorridos na região Sudeste no inverno, entre 1978 e 2007. O mês de junho destacou-se, apresentando maiores correlações entre a precipitação pluvial e a TSM, de forma que as regiões do Atlântico Sul que aparentam exercer essa influência localizam-se entre: 22,5°-15°S/37,5°-30°W e 25°-20°S/30°-20°W. Os autores não encontraram influência da TSM para as anomalias de precipitação pluvial no mês de agosto, o que sugere que outros fatores podem ter contribuído para os eventos extremos secos deste mês.

Reboita et al. (2017) analisou dois eventos extremos de precipitação pluvial na região Sul do estado de Minas Gerais (um em 16 de janeiro de 1991 e outro em 02 de janeiro de 2000) e constatou que ambos decorreram da atuação da ZCAS simultaneamente a de outros sistemas atmosféricos:

Os sistemas em baixos níveis da atmosfera são: JBN¹ se dirigindo da Amazônia para o sudeste do Brasil, escoamento do setor oeste do ASAS em direção ao sudeste do país, convecção local e centro de baixa pressão entre a costa sul-sudeste do Brasil. Já os sistemas em altos níveis da atmosfera são: a AB², o cavado em altos níveis nas cercanias do nordeste do Brasil com ou sem VCAN³, uma crista entre o sudeste do Brasil e o oceano Atlântico e um cavado com eixo próximo ao sul do Brasil (p. 32).

Silva (2013), ao estudar os impactos das chuvas concentradas sobre Uberlândia–MG, identificou que apenas cerca de 30% dos casos entre os anos de 1996 e 2011 sofreram influência direta da ZCAS, apresentando uma maior influência da atuação de sistemas frontais e de Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis. Leite (2019) observou que dentre os eventos de

¹ Jatos de baixos níveis.

² Alta da Bolívia

³ Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

intensa precipitação pluvial acumulada em Uberlândia, ocorridos entre 2012-2016, apenas 26% teve a atuação da ZCAS como responsável, sendo os demais 74% oriundos da atuação de sistemas frontais. Lima et al. (2018), ao investigarem o evento extremo seco de precipitação pluvial ocorrido em Uberlândia–MG em dezembro de 2014, encontraram o mesmo padrão de circulação atmosférica associado observado por Coelho et al. (2015).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. NATUREZA DOS DADOS

3.1.1. Reanálises Climáticas

As séries temporais mensais dos campos atmosféricos e de superfície foram obtidas das reanálises do ERA-Interim, disponibilizadas pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF) *Data Server* (<http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-fullmode/levtype=sfc>), abrangendo o período de 1979 até outubro de 2019. O espaçamento horizontal das reanálises do ERA-Interim utilizado neste estudo foi de 1,5° de latitude x 1,5° de longitude. Os seguintes campos atmosféricos foram selecionados para a análise:

- Altura geopotencial em 500 hPa: metros (m)
- Vento zonal em 200 hPa: metros por segundo (m/s)
- Componente zonal do vento a 10 metros: metros por segundo (m/s)
- Componente meridional do vento a 10 metros: metros por segundo (m/s)
- Temperatura do ar a 2 metros: graus Celsius (°C)
- Temperatura da superfície do mar (TSM): graus Celsius (°C)

As séries temporais mensais referentes ao campo Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE) foram extraídas das reanálises do *National Centers For Environmental Prediction's/National Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR), disponíveis pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration – Earth System Research Laboratory* (NOAA-ESRL), disponíveis de junho de 1974 a dezembro de 2018. Os valores do campo são expressos em watt por metro quadrado (W/m^2). O espaçamento horizontal é de 2,5° de latitude x 2,5° de longitude.

As reanálises apresentam bastante relevância para pesquisas da atmosfera, pois, ao considerar a atuação de diversas variáveis simultaneamente, apresentam uma visão crível e completa da circulação atmosférica (DEE et al., 2011). Os dados de reanálises de institutos como a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NASA), NOAA-ESRL, ECMWF, dentre outros, apresentam alta confiabilidade, sendo utilizados inclusive para previsão de condições futuras (DEE et al., 2011). Sua aplicabilidade para áreas remotas, que não apresentam estações meteorológicas, ou áreas que apresentam dados com muitas falhas, conforme Silva (2018), também justifica sua importância para os estudos atmosféricos e meteorológicos.

3.1.2. Dados de precipitação pluvial

Os dados de precipitação pluvial foram extraídos do conjunto de dados de autoria de Xavier, King e Scanlon (2017), que utilizaram como fonte dados fornecidos pelas seguintes instituições: Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE-SP), Superintendência do desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Os dados são interpolados pelo método de interpolação *Angular Distance Weighting* (ADW), em uma grade de $0,25^\circ$ de latitude X $0,25^\circ$ de longitude, conforme Xavier et al. (2016).

Optou-se pela utilização deste conjunto de dados para este trabalho pelo mesmo motivo que Xavier et al. (2016) os criaram: obter uma base de dados pluviométricos regular e sem falhas, dentro do período analisado. Isso facilitou pesquisas em áreas como hidrologia, meteorologia e agronomia, já que, conforme os autores (2017, p.1), até o ano de 2015, o Brasil ainda não dispunha de tal ferramenta.

3.2. METODOLOGIA

3.2.1. Determinação dos eventos extremos secos e chuvosos

Conforme Wilhite e Glantz (1985) há quatro tipos básicos de seca: meteorológica, agrícola, hidrológica e socioeconômica. Segundo os autores, a seca meteorológica é definida basicamente por meio do grau de secura e duração do período seco, parâmetros que variam conforme a área de estudo e metodologia utilizada pelo pesquisador. A seca agrícola leva em consideração vários dos mesmos fatores utilizados para caracterizar a seca meteorológica, porém focando nos impactos que estes causam às culturas agrícolas. Água disponível no solo e demanda de água da planta também são fatores relevantes para a seca agrícola. A seca hidrológica:

[...] preocupa-se com os efeitos de períodos de seca na hidrologia de superfície ou subsuperfície, e não com a explicação meteorológica do evento [...] A frequência e a severidade da seca hidrológica são frequentemente definidas com base em sua influência nas bacias hidrográficas. As secas hidrológicas estão frequentemente fora de fase com a seca meteorológica e agrícola (WILHITE; GLANTZ, 1985, p.7)

Por fim, os impactos na sociedade e economia gerados pela seca (hidrológica, agrícola ou meteorológica) são analisados na seca socioeconômica. São comumente associadas à oferta e demanda de algum produto ou insumo (WILHITE; GLANTZ, 1985).

Neste trabalho serão analisadas somente as secas meteorológicas. O método escolhido para a determinação dos eventos extremos secos e chuvosos foi o dos percentis. Optou-se pela escolha do método dos percentis devido ao fato de o mesmo ser robusto e resistente, isto é, poder ser aplicado à maioria dos conjuntos de dados sem que seja necessário supor sua natureza (Gaussiana ou não) e oferecer resultados consistentes, que não sofrem uma influência equivocada de “*outliers*” (WILKS, 2006).

O primeiro passo para calcular os percentis é ordenar os dados sequencialmente (crescente) e, em seguida, indexá-los, permitindo obter a quantidade e a posição dos percentis (L_p) desejados (PAMPUCH, 2014):

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

na qual, p é o percentil desejado (%) e n o total de dados da série ordenada. Se o resultado (L_p) não for um valor inteiro, o mesmo será aproximado para o maior inteiro mais próximo. Com a posição do percentil, p será o valor contido na mesma.

Neste trabalho foram utilizados os percentis de 10% (p10) e 90% (p90) para definir os eventos extremos secos e chuvosos, respectivamente, durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, correspondente ao verão, e junho, julho e agosto, correspondente ao inverno. O cálculo de cada percentil foi realizado mensalmente. Assim, para todos os valores iguais ou menores ao p10 e todos os valores iguais ou maiores ao p90 foram obtidas as datas (mês/ano) dos eventos extremos secos e chuvosos, respectivamente. Devido a um resultado inesperado nos dados (a precipitação pluvial para todos os p10 durante os meses de agosto apresentou valor de 0 mm, impossibilitando, portanto, a determinação correta do percentil), para o cálculo dos eventos extremos secos em agosto utilizou-se o percentil de 25% (p25). É importante salientar que mesmo para este percentil, a precipitação pluvial em todos os casos foi de 0 mm, apresentando valor superior apenas na posição correspondente ao p25, permitindo assim sua determinação. Os percentis para cada mês são apresentados na Figura 5, 6 e 7.

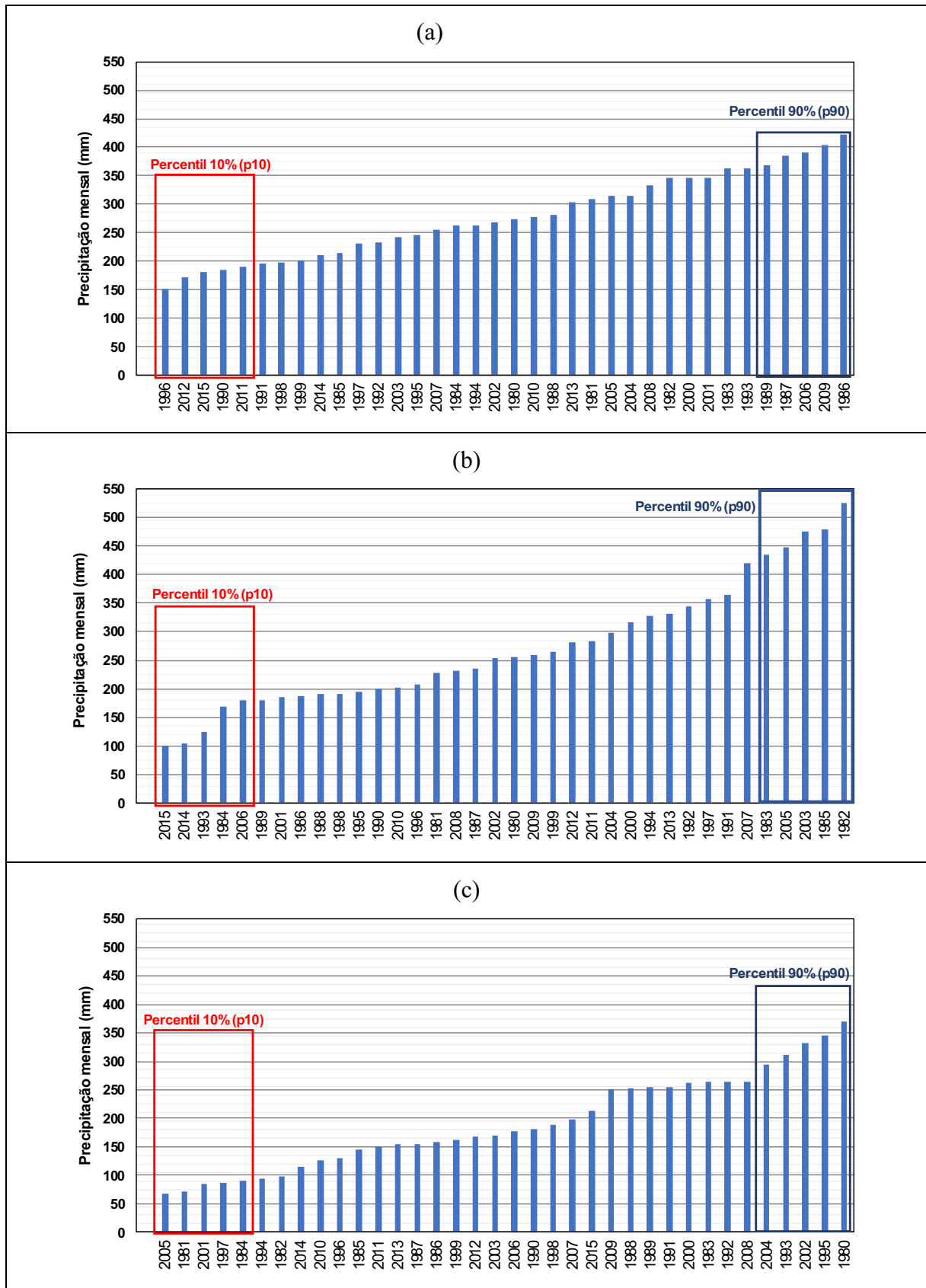


Figura 5 - Gráfico dos percentis para os eventos extremos secos (p10) e chuvosos (p90) no mês de (a) dezembro, (b) janeiro e (c) fevereiro em Uberlândia-MG (1980-2015). Elaboração: autora (2019).

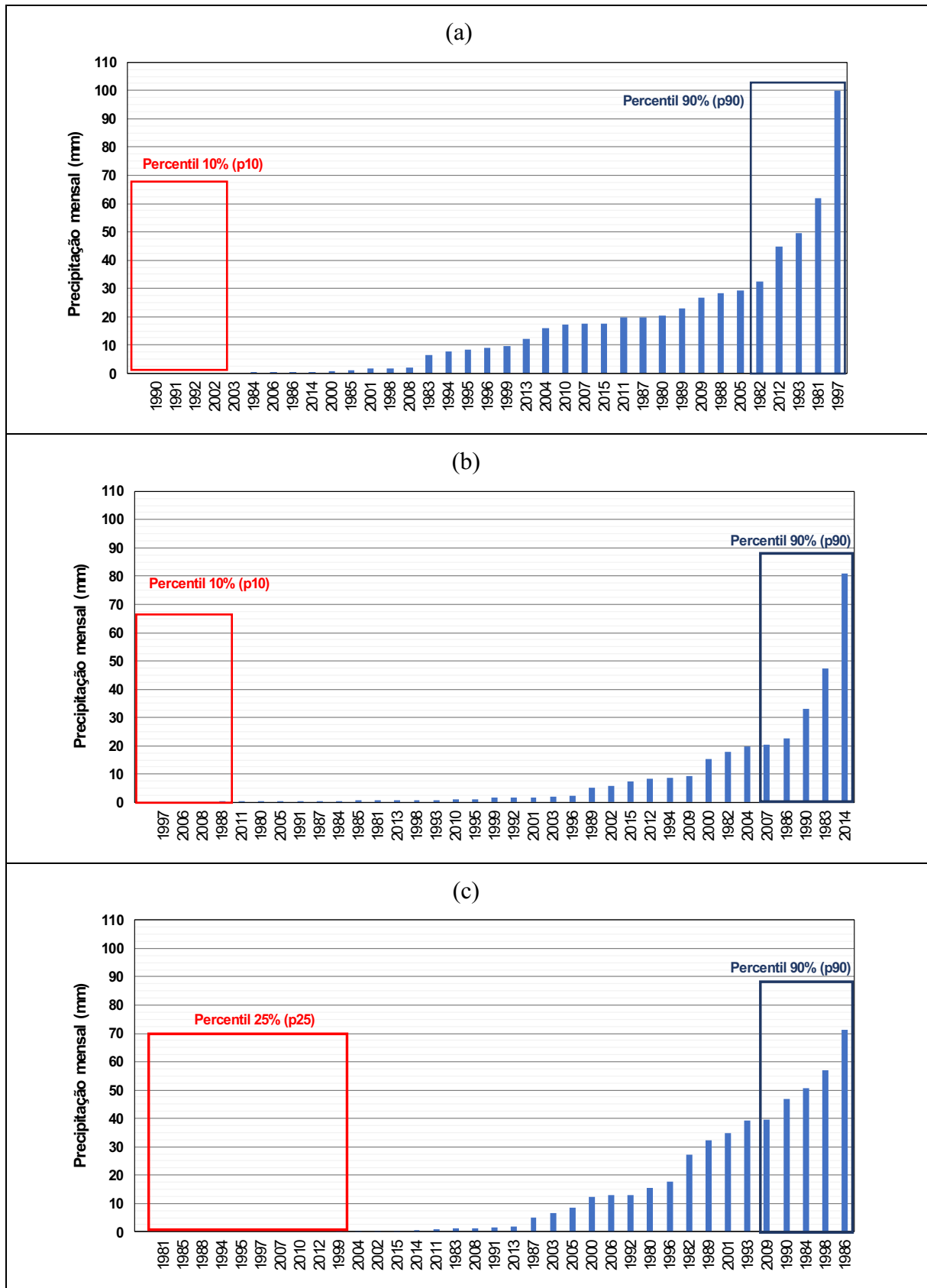


Figura 6 – Similar à Figura 5, mas para o mês de (a) junho, (b) julho e (c) agosto. Elaboração: autora (2019).

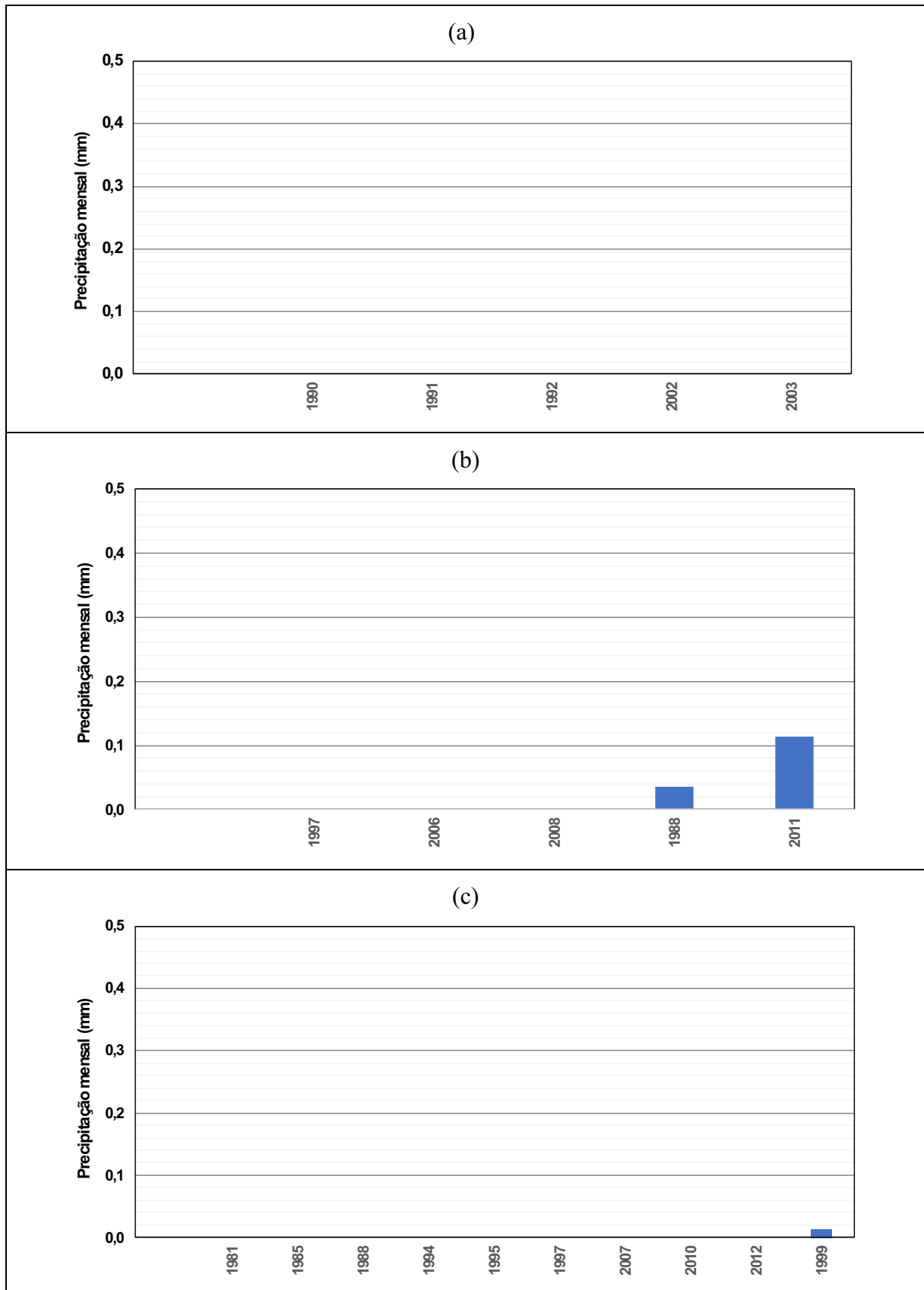


Figura 7 – Similar à Figura 6, mas destacando os eventos extremos secos (percentil de 10%) do mês de (a) junho, (b) julho e destacando os eventos extremos secos (percentil de 25%) do mês de (c) agosto. Elaboração: autora (2019).

3.2.2. Composições dos campos atmosféricos

Conforme Pampuch (2014, p. 37), a ideia geral da técnica das composições pode ser entendida como:

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

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

em que v é a variável a ser analisada, $t_1, t_2, \dots, t_k$ são os tempos das observações e k o número de observações. Os valores de V_ψ devem ser ainda testados a fim de avaliar a significância estatística do valor encontrado e isto é feito através de um teste de hipótese. Caso o valor (não) possua significância estatística ele é aceito (rejeitado) (PAMPUCH, 2014, p. 37-38)

As composições dos dados foram realizadas através do software Open GrADS (*Grid Analysis and Display System*), uma ferramenta interativa que permite um fácil acesso, manipulação e visualização de dados para as ciências da Terra (OPEN GrADS, 2019). Segundo Chiquetto (2008), a ferramenta permite a modelagem de dados em até quatro dimensões: latitude, longitude, altitude e tempo, sendo utilizada com frequência devido à sobreposição facilitada de camadas (overlays) de dados distintos. O *software* permite que o usuário, através de um arquivo de texto simples (com a extensão .gs), insira as rotinas necessárias para a composição dos dados, nas quais as coordenadas geográficas, nível atmosférico e anos de análise devem ser informadas (SILVA, 2018). O arquivo de saída da plotagem é uma figura, com a extensão .gif.

Para a análise dos campos atmosféricos e de superfície durante os eventos extremos secos e chuvosos em Uberlândia, foram feitas as composições das anomalias (A) destes campos, obtidas pela Equação 2:

$$A = x - \bar{x} \quad (2)$$

onde x é igual a média mensal e $\bar{x}$ é igual a média climatológica de 1981-2010.

Para determinar a significância estatística das composições foi utilizado o teste t-Student. O teste apresenta diversas variações e aplicabilidades, mas essencialmente seu objetivo é a comparação de dois eventos e suas variações sob hipóteses previamente estabelecidas (WILKS, 2006). A distribuição t muito se aproxima da distribuição Gaussiana, exceto que apresenta “caudas” mais pesadas, isto é, com mais probabilidades associadas

(WILKS, 2006). O único parâmetro que a controla são os chamados graus de liberdade (n), conforme as Equações 3 e 4:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{[\hat{\text{Var}}(\bar{x})]^{1/2}} \quad (3)$$

$$\hat{\text{Var}}[\bar{x}] = s^2/n, \quad (4)$$

onde a variância (Var) da distribuição é regida por t , s corresponde ao desvio padrão da amostra e n aos graus de liberdade que ela pode assumir em eventos distintos. Neste estudo foi utilizado o nível de significância de 10%.

As figuras dos campos atmosféricos de temperatura do ar e precipitação pluvial foram geradas para a área delimitada entre 5°N-35°S de latitude e 75°W-35°W, abrangendo todo o território nacional (incluindo seu litoral) e parte da América do Sul. Para os demais campos atmosféricos, a área delimitada foi de 20°N-60°S de latitude a 100°W-20°E de longitude, abrangendo toda a América do Sul, costa oeste da África, leste do oceano Pacífico Sul, sudeste do oceano Pacífico Norte, todo o oceano Atlântico Sul e sul do oceano Atlântico Norte

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. EVENTOS EXTREMOS SECOS EM UBERLÂNDIA: VERÃO

Durante os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de dezembro domina anomalias negativas de precipitação pluvial sobre o Brasil (Figura 8a), variando entre -50 à -150 mm, abrangendo a mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e norte de Minas Gerais, norte de São Paulo e todo o restante das regiões Sudeste, Centro-Oeste (Mato Grosso do Sul, apenas a porção oeste), Nordeste (exceto a porção leste litorânea e alguns pontos dos estados da Bahia, Piauí e Maranhão). Áreas com anomalias mais intensas são observadas no norte de Minas Gerais, Tocantins (exceto norte), norte de Goiás e oeste da Bahia. Diminuição anômala da precipitação pluvial também é observada no interior do Amazonas (noroeste e extremo sul) e no nordeste do Acre (máximo de -75 mm em ambos).

Anomalias positivas de temperatura do ar (Figura 8b) são observadas sobre o extremo norte do Brasil, entre o extremo norte do Pará e o oeste do Amapá (até + 0,9°C), interior da região Nordeste (abrangendo o nordeste do estado do Maranhão, norte do Piauí, leste e sul do Ceará, oeste e interior do Pernambuco, oeste de Alagoas e extremo nordeste do Sergipe, além do extremo norte da Bahia) e do Centro-Oeste (abrangendo o norte do Goiás, leste do Mato Grosso, o estado do Tocantins - exceto o norte, extremo sudoeste do Pará, noroeste da Bahia, sul do Maranhão e sudoeste do Piauí,) ambas com intensidade máxima de até +1,2°C; entre cerca de 15°25'S/62°-47°W, abrangendo o Pontal do Triângulo Mineiro, noroeste e interior do estado de São Paulo e oeste/leste do Mato Grosso do Sul, apresentando intensidade máxima de +0,9°C sobre o Brasil e +1,2° entre a Bolívia e o Paraguai. Aquecimento anômalo mais intenso ocorre entre o norte de Goiás, sudoeste do Piauí e noroeste da Bahia (+0,9°C à +1,2°C).

Observa-se uma crista anômala em 500 hPa sobre o sudeste do Pacífico Sul, entre 50°-60°S/95°-70°W, com intensidade de até +30 m (Figura 8c), também observada em baixos níveis, com anomalia positiva de PNMM superior a +3 hPa (Figura 8d). Sobre o Atlântico Sul, entre cerca de 35°-42°S/5°W-5°E, existe um cavado anômalo com intensidade de até -15 m, também observado em baixos níveis, apresentando intensidade anômala inferior à -3 hPa. Esse padrão anômalo pode indicar um padrão de teleconexão, ou seja, uma conexão à distância associadas a anomalias de regiões remotas (CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009). Ainda, uma baixa pressão anômala é observada sobre o leste do Pacífico Sul, entre 15°-40°S/80°-70°W, de até -1 hPa.

A componente zonal do vento a 10 m (Figura 8d) apresenta anomalias positivas sobre o Atlântico Sul, entre 30°-40°S/40°W-10°E (até +1,8 m/s), o que sugere um fortalecimento do ramo sul do ASAS. Anomalias positivas também são observadas entre 25°-30°S/55°-45°W (até +0,6 m/s), abrangendo os estados do Paraná (exceto o norte), Santa Catarina e extremo norte do Rio Grande do Sul. Anomalias negativas são observadas sobre o Pacífico Sul, entre 15°-25°S/100°-80°W (até -0,6 m/s) e entre cerca de 43°-48°S/90°-75°W (até -1,4 m/s); sobre o extremo sul da Argentina, entre cerca de 45°-52°S (até -1,4 m/s); sobre o Atlântico Sul, entre 20°-25°S/35°-30°W (até de -1 m/s); e sobre o interior do Brasil, entre 5°-20°S/65°-40°W (até +0,6 m/s), abrangendo os estados de Rondônia (exceto o norte), sudoeste do Amazonas, sul e parte do leste do Pará, Tocantins (exceto uma pequena área no sul), extremo sudoeste do Maranhão, sul do Piauí, Bahia (exceto o leste), norte/oeste de Goiás, Mato Grosso e noroeste do Mato Grosso do Sul.

Na componente meridional do vento a 10 metros (Figura 8e) são observadas anomalias positivas: sobre o interior do continente, entre 5°N-20°S/75°-35°W, abrangendo o noroeste, interior, sul e parte do leste do Amazonas, norte de Rondônia, sudoeste/sul do Pará, norte/nordeste do Mato Grosso, interior e sul do Tocantins, sudeste do Piauí, oeste dos estados de Pernambuco e Alagoas, norte de Goiás, o estado da Bahia (exceto sul) e parte do norte de Minas Gerais (máximo de +0,6 m/s); sobre o Pacífico Sul, entre cerca de 10°-27°S/100°-75°W, também com intensidade máxima de +0,6 m/s; sobre o sudoeste do Atlântico Sul, entre 45°-50°S/50°-25°W (até +1 m/s) e entre 50°-60°S/55°-40°W (até +1,4 m/s). Anomalias negativas foram encontradas em três áreas sobre o Atlântico Sul: entre 35°-40°S/20°-10°W (até -0,8 m/s); ao sul, entre 50°-60°S/5°W-10°E (até +1 m/s); e entre cerca de 25°-32°S/35°-40°W (até -1,2 m/s), o que indica um fortalecimento do ramo oeste do ASAS. Estudos mostram que um fortalecimento do ASAS pode contribuir para a redução de passagem de frentes frias sobre o Brasil, conforme Marengo et al. (2015), Coelho et al. (2015), Seth, Fernandes e Camargo (2015).

Em altos níveis observa-se no vento zonal em 200 hPa (Figura 8g) uma anomalia de ventos de oeste sobre o Atlântico Sul extratropical, entre 45°-50°S/25°-10°W, com intensidade máxima de +4 m/s, o que indica um fortalecimento do ramo norte do jato polar. Sobre o sudeste do Pacífico Sul, entre 40°-50°S/100°-70°W, há anomalias de ventos de leste, com intensidade máxima de até -4 m/s, o que indica um enfraquecimento do ramo sul do jato polar.

A TSM (Figura 8h) apresenta resfriamento anômalo no sudeste do Pacífico Sul, entre 40°-60°S/90°-70°W (até -0,6°C) e também em três áreas entre cerca de 15°-22°S/100°-75°W

(duas com intensidade entre 0 e $-0,2^{\circ}\text{C}$ e uma com intensidade entre $-0,2^{\circ}\text{C}$ e $-0,4^{\circ}\text{C}$), além de três áreas entre cerca de 5°N - 5°S / 5°W - 10°E (uma com intensidade máxima até $-0,4^{\circ}\text{C}$, outra entre $-0,2^{\circ}$ e $-0,4^{\circ}\text{C}$ e a última com máximo de $-0,6^{\circ}\text{C}$) e outras quatro no Atlântico Sul, entre 25° - 45°S / 25° - 10°W (duas com intensidade $-0,2$ e $-0,4^{\circ}\text{C}$, uma com máximo de $-0,6^{\circ}\text{C}$ e a última com máximo $-0,8^{\circ}\text{C}$). Aquecimento anômalo é observado no Atlântico Sul: sudoeste, entre cerca de 40° - 47°S / 65° - 60°W (até $+0,8^{\circ}\text{C}$); sudeste, quatro áreas esparsas entre 40° - 55°S / 5° - 20°E (três com intensidade $+0,4^{\circ}\text{C}$ e $+0,6^{\circ}\text{C}$ e outra com máximo superior à $+1,2^{\circ}\text{C}$).

Convecção anômala com intensidade inferior à -10 W/m^2 é observada entre o sul do Peru, norte do Chile e oeste da Bolívia (entre 10° - 25°S / 75° - 65°W), além de duas áreas sobre o Atlântico Sul extratropical, entre 35° - 45°S / 30° - 20°W (até -6 W/m^2) e entre 30° - 40°S / 5°W - 5°E , com intensidade máxima de -4 W/m^2 (Figura 8i). Supressão de convecção anômala é observada entre o Pacífico Sul equatorial e o Pacífico Norte tropical, entre 5°N - 10°S / 90° - 75°W (até $+8\text{ W/m}^2$). Ainda, supressão de convecção anômala com orientação noroeste-sudeste é observada sobre o Brasil (entre 5°N - 25°S / 60° - 15°W), entre os estados de Mato Grosso (máximo superior à $+10\text{ W/m}^2$), além de áreas de supressão no extremo norte do Brasil (até $+8\text{ W/m}^2$), entre cerca de 7° - 3°N / 55° - 45°W , no interior do estado do Amazonas (máximo de $+10\text{ W/m}^2$). Esse padrão espacial de anomalias de ROLE é semelhante ao padrão ZCAS, descrito por Quadro (1994) e Kousky (1988), indicando supressão da atividade da ZCAS, assim como da ZCIT.

Desta forma, os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de dezembro estão associados com diminuição de precipitação pluvial bastante significativa em grande parte do país, acompanhada pelo aumento anômalo da temperatura do ar sobre a área de estudo. O deslocamento anômalo da ZCIT para norte de sua posição climatológica e o fortalecimento do ASAS em seus ramos sul e oeste são determinantes para a formação de um padrão de circulação propício para a ocorrência de eventos extremos secos: manutenção de tempo estável, diminuição da atividade convectiva, supressão da ZCAS e menor penetração das frentes frias e sistemas transientes no interior do Brasil. O enfraquecimento do ramo sul e fortalecimento do ramo norte do jato polar sobre o sul do Atlântico Sul indica a posição dos ciclones extratropicais, anticiclones migratórios e frentes (ESCOBAR, 2009), o que indica a menor atuação desses sistemas atmosféricos na região Sudeste do país e, assim, contribuindo com os eventos extremos secos em Uberlândia. A crista anômala observada no Pacífico Sudeste pode estar associada a eventos de bloqueios atmosféricos, com impactos na precipitação pluvial nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do Brasil através de condições secas (MENDES et al., 2005; MENDES et al., 2008). O possível padrão de

teleconexão observado nas latitudes médias e altas do Hemisfério Sul também pode ter influenciado a ocorrência dos eventos extremos secos em Uberlândia. Entretanto, é necessária maior investigação sobre sua atuação sobre a área de estudo.

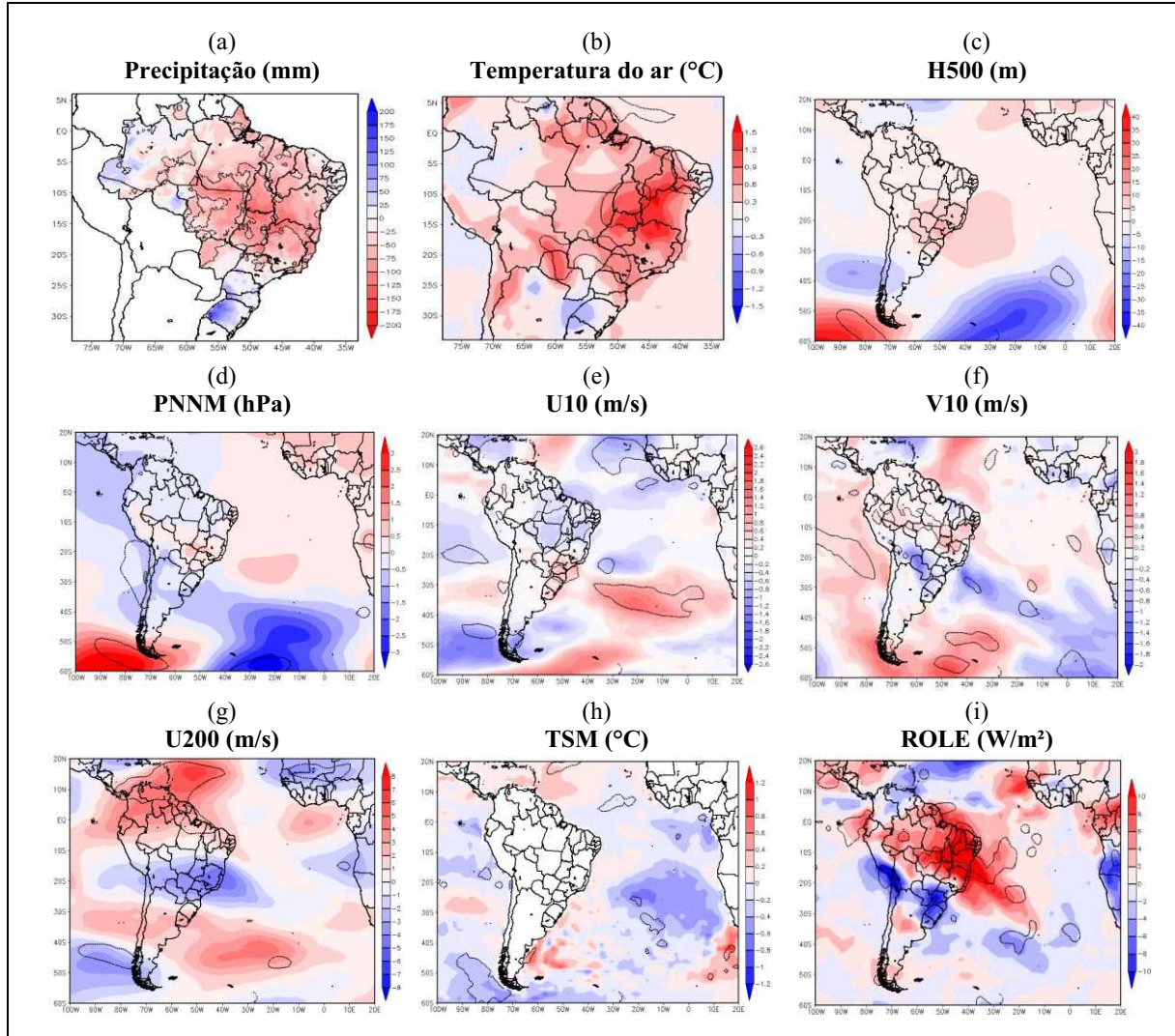


Figura 8 - Composição das anomalias de (a) precipitação pluvial (mm), (b) temperatura do ar a 2 m ($^{\circ}\text{C}$), (c) altura geopotencial em 500 hPa (H500, m), (d) pressão ao nível médio do mar (PNNM, hPa), (e) vento zonal à 10 m (U10, m/s), (f) vento meridional à 10 m (V10, m/s), (g) vento zonal em 200 hPa (U200, m/s), (h) temperatura da superfície do mar (TSM, $^{\circ}\text{C}$) e (i) radiação de onda longa emergente (ROLE, W/m^2) durante os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de dezembro (1980-2015). Elaboração: autora (2019).

Durante os eventos extremos secos no mês de janeiro em Uberlândia há predomínio de déficit de precipitação pluvial sobre o Brasil (Figura 9a), com diminuição entre $5\text{-}25^{\circ}\text{S}$, mais intensa em Goiás e Minas Gerais (-150 à -200 mm). Aumento é observado em áreas no norte e sudoeste do Amazonas e no Sul do Brasil, de até $+75$ mm.

A temperatura do ar (Figura 9b) acompanhou esse déficit, com aquecimento entre 15° - 35° S/ 5° E- 35° W, abrangendo todo o Triângulo Mineiro e sul de Minas Gerais, todo o estado de São Paulo, grande parte do Paraná (exceto porção oeste/sudoeste) e de Santa Catarina, leste do Rio Grande do Sul e do Mato Grosso do Sul e sudeste de Goiás, sendo mais intenso sobre São Paulo (acima de $+1,5^{\circ}$ C) e sudoeste de Minas Gerais (entre $+1,2^{\circ}$ C e $+1,5^{\circ}$ C) e também sobre o interior da região Nordeste, entre 5° - 10° S (até $+1,2^{\circ}$ C). Áreas de resfriamento são encontradas entre 5° N- 5° S, abrangendo o norte e oeste de Roraima, parte do norte do Amazonas (até $-1,2^{\circ}$ C), entre o sudoeste do Amazonas e norte do Acre e sobre extremo sudoeste do Mato Grosso (entre $-0,3^{\circ}$ C e $-0,6^{\circ}$ C).

Uma crista anômala em 500 hPa de até +25 m é observada entre 20° - 40° S/ 80° - 30° W, abrangendo toda a região Sul do país, grande parte do estado de São Paulo, sul de Minas Gerais, sul do Espírito Santo, sul do Mato Grosso do Sul e todo o estado do Rio de Janeiro, sugerindo fortalecimento e deslocamento anômalo do ASAS em direção à costa leste do Brasil. Um intenso cavado anômalo com padrão zonal (inferior à -40 m) é observado sobre o sul do Atlântico Sul, entre cerca de 40° - 53° S/ 75° W- 10° E (Figura 9c).

Em baixos níveis há uma anomalia positiva de PNNM de até +2 hPa entre 10° - 30° S/ 70° - 35° W, abrangendo toda a parte sul dos estados de Goiás e Mato Grosso, toda a área dos estados do Mato Grosso do Sul, São Paulo, Espírito Santo, Rio de Janeiro, grande parte do estado de Minas Gerais e do Paraná, sudeste da Bahia, oeste de Santa Catarina e norte do Rio Grande do Sul (corroborando a hipótese de fortalecimento e deslocamento anômalo do ASAS), além de uma baixa pressão anômala intensa (inferior a -3 hPa) sobre o sul do Atlântico Sul, entre aproximadamente 30° - 55° S/ 55° W- 10° E (Figura 9d),

No vento zonal a 10 metros (Figura 9e) há anomalias de ventos de leste entre o Equador- 20° S/ 70° - 45° W, abrangendo desde o oeste do estado do Amazonas e o Acre até o norte e interior do estado de Minas Gerais, incluindo também boa parte da região Nordeste do país (até -1 m/s), e também sobre o sul do Atlântico Sul, entre 50° - 60° S, com intensidade máxima de -2,6 m/s. Anomalias de ventos de oeste são observadas sobre o Atlântico Sul extratropical, até cerca de 50° S, incluindo o sudeste do estado de São Paulo, grande parte da região Sul do país e Uruguai, com máxima anomalia de +2,4 m/s em cerca de 40° S/ 30° W no Atlântico Sul.

Já na componente meridional do vento a 10 metros (Figura 9f) observam-se anomalias de ventos de sul: sobre o Atlântico Norte tropical, entre 10° N-Equador abrangendo todo o estado do Amapá, grande parte do Pará, sudeste de Roraima, com máxima anomalia de +1,2 m/s, mais intensa sobre o oceano; sobre o oeste do Atlântico Sul tropical e extratropical

abrangendo grande parte da região Nordeste e Centro-Oeste, sudeste do estado do Amazonas, grande parte de Minas Gerais e nordeste de São Paulo, com máxima anomalia +1,2 m/s, também com maior intensidade sobre o oceano. Anomalias de ventos de norte são observadas entre 18°-35°S/70°-40°W, abrangendo boa parte da região Sul e costa leste da região Sudeste, parte oeste e sul do Mato Grosso do Sul, com máxima anomalia de -1,6 m/s (maior intensidade sobre o oceano e entre o Paraguai e norte da Argentina), e também sobre o sudeste do Atlântico Sul extratropical, entre 35°-50°S/20°W-20°E, com máxima anomalia de -1,4 m/s.

Em altos níveis (Figura 9g), observa-se áreas de anomalias positivas de vento zonal em 200 hPa entre 40°-50°S/90°-15°W, com maior intensidade entre 60°-20°W (superior a +8 m/s). Áreas de anomalias negativas são observadas entre 20°-35°S/90°-20°W, sendo mais intensa entre 60°-30°W sobre a região Sul do Brasil (sugerindo enfraquecimento do jato subtropical), parte da região Sudeste e o estado do Mato Grosso do Sul (inferior a -8 m/s), e sobre o Atlântico Sul, entre 50°-60°S/50°W-15°E, com fraca intensidade (até -4 m/s).

A TSM (Figura 9h) apresentou um padrão espacial de tripolo de anomalias no Atlântico Sul, com resfriamento entre o Equador e 10°S (até -0,6°C), aquecimento entre 5°-40°S (duas áreas: uma com máximo de +0,6°C e outra que atinge o litoral da região Sul, com máximo de +1°C) e resfriamento entre 40°-50°S (máximo de -0,8°C). Pampuch (2014) e Bombardi et al. (2013) observaram padrão semelhante associado às condições secas na região Sudeste do Brasil.

A ROLE (Figura 9i) apresentou supressão de convecção anômala abrangendo grande parte da região Nordeste, toda a região Sudeste, parte da região Centro-Oeste e sul do estado do Tocantins, sendo mais intensa entre 60°-10°W (superior a +10 W/m²), ou seja, sobre o continente e o noroeste do Atlântico Sul. Também há três áreas de convecção anômala abrangendo os estados do Rio Grande do Sul, oeste de Santa Catarina, sul de Rondônia e noroeste do Amazonas, além da área sobre o Atlântico Norte tropical, entre o Equador-20°N/55°-20°W, todas apresentando intensidade inferior à -10 W/m². Esse padrão espacial de gangorra, com anomalias negativas de ROLE em grande parte da região Sul do país e anomalias positivas nas regiões Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte do Norte pode indicar uma supressão da atividade da ZCAS (CASARIN; KOUSSKY, 1986; MUZA et al., 2009), bem como deslocamento anômalo da ZCIT para o norte de sua posição climatológica.

Assim, os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de janeiro estão associados ao fortalecimento e deslocamento anômalo do ASAS em direção à costa leste do Brasil, a qual, em associação à um enfraquecimento do jato subtropical entre 20°-35°S sobre o país,

posicionamento anômalo da ZCIT para o norte e supressão da atividade da ZCAS, o que favorece um cenário de permanência de tempo bom que se retroalimenta, isto é, cada um desses sistemas fortalece a permanência da condição do outro, tornando o padrão de circulação atmosférico anômalo mais propício para tempo estável, persistente por mais dias, e menos propício para convecção e precipitação pluvial. Outros fatores, tais como a possível menor frequência de sistemas sinóticos (cyclones extratropicais, anticiclones migratórios e frentes frias) nas latitudes tropicais bloqueadas pelo ASAS deslocado anormalmente em direção à costa leste do Brasil, além do padrão espacial de tripolo de anomalias de TSM no Atlântico Sul, também devem ter apresentado influência sobre os eventos extremos secos em Uberlândia.

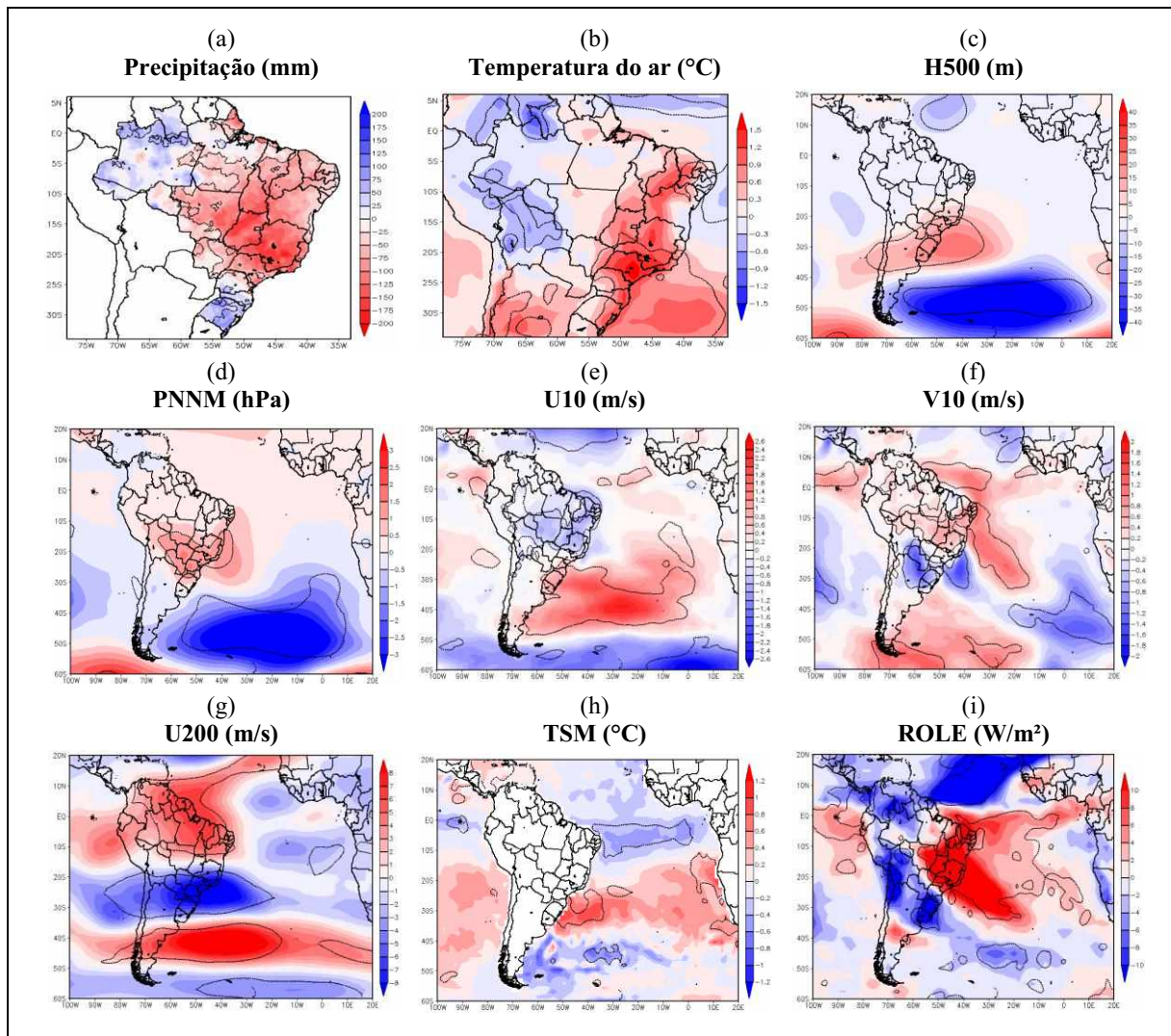


Figura 9 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de janeiro. Elaboração: autora (2019).

Durante os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de fevereiro há predomínio de déficit de precipitação pluvial sobre o Brasil (Figura 10a). Diminuição de precipitação

pluvial é observada com orientação noroeste-sudeste entre o extremo sudeste do Amazonas e a região Sudeste do Brasil, abrangendo Mato Grosso, Goiás, São Paulo, Oeste e Sul de Minas Gerais, parte do Tocantins, Rondônia e Mato Grosso do Sul, e em quase toda a região Nordeste, com máximo de -150 mm na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Áreas de aumento de precipitação pluvial ocorrem nos estados do Amazonas, norte do Pará e Acre, com máximos variando entre +50 até +125 mm, este último sendo observado no nordeste do Amazonas.

A temperatura do ar (Figura 10b) apresenta aquecimento sobre o oeste de Minas Gerais, centro-sul do estado de Goiás e norte do estado de São Paulo (até +0,9°C), além da região Sul do Brasil (sudoeste do Paraná, oeste de Santa Catarina e norte/oeste do Rio Grande do Sul) e do interior da parte norte do Nordeste (leste do Ceará e oeste dos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco), com máximo de +1,2°C. Áreas de resfriamento são observadas no norte do Amazonas e do Pará e no sul do Acre (até -1,2°C).

Através das anomalias de altura geopotencial em 500 hPa (Figura 10c) é possível observar uma crista anômala entre 20°-40°S/70°-40°W, com intensidade de até +30 m, abrangendo grande parte da região Sul do Brasil, sul e centro do Mato Grosso do Sul e extremo oeste de São Paulo, sugerindo fortalecimento do ramo oeste do ASAS. Cavados anômalos também foram observados: entre 15°-20°S/50°-20°W, abrangendo o norte de Minas Gerais, sul da Bahia e grande parte de Goiás (máximo de -5 m); sobre o Pacífico Norte e Sul, entre 10°N-22°S/100°-70°W e sobre o Atlântico Norte tropical, entre 20°-10°N/70°-30°W (ambas de até -30 m).

Em baixos níveis são observadas áreas de anomalia negativa de PNNM (Figura 10d): sobre o Pacífico Norte e Sul, entre 20°N-40°S/100°-70°W (até -2 hPa); no sul do Atlântico Norte tropical, entre cerca de 20°-5°N/35°-20°W, e sobre parte da região Nordeste do Brasil, abrangendo o estado do Piauí, partes do Maranhão e do Ceará (ambas de até -1 hPa).

Na componente zonal do vento a 10 m (Figura 10e) observam-se áreas de anomalias negativas sobre o Atlântico Sul subtropical e leste do Atlântico Sul tropical: na faixa entre 25°-35°S, entre 45°-25°W (até -2 m/s); entre 10°W-20°E (até -1,6 m/s), sugerindo fortalecimento dos ramos leste e norte do ASAS; entre 10°-20°S/10°W-10°E (até -1 m/s), além de áreas de anomalia com intensidade máxima de -0,6 m/s, entre o sul de Goiás, extremo oeste de Minas Gerais, nordeste do Mato Grosso do Sul e sudeste do Mato Grosso. São observadas anomalias positivas sobre o sul do Atlântico Sul, aproximadamente em 50°S, entre 35°-25°W, com intensidade entre +0,8 m/s e +1 m/s.

Em relação à componente meridional do vento a 10 m (Figura 10f), anomalias positivas (até +0,6 m/s) são observadas: no interior do Brasil, entre 10°-20°S/60°-40°W, abrangendo o oeste do Mato Grosso, sudoeste do Pará, Sul da Bahia, todo o estado de Goiás, norte de Minas Gerais e do Espírito Santo; no Atlântico Sul tropical, entre o Equador-5°S/35°-30°W - na costa norte do Rio Grande do Norte (até +1 m/s) e entre 18°-38°S/5°-20°E, aproximadamente (até -1,2 m/s). Anomalias negativas são encontradas sobre o sudoeste do Atlântico Sul, entre 35°-60°S/65°-12°W, com máxima intensidade variando entre -0,8 m/s e -1 m/s. As anomalias de negativas de vento zonal a 10 metros (entre 10°-20°S) associadas à anomalia positiva observada em vento meridional a 10 metros (entre 18°-38°S) corroboram a hipótese de fortalecimento dos ramos leste e norte do ASAS.

Nos campos de vento zonal em 200 hPa (Figura 10g) são observadas anomalias de ventos de leste entre o Pacífico Sul e o Atlântico Sul extratropical (entre 20°-40°S), sendo a maior intensidade de -8 m/s, indicando enfraquecimento do jato subtropical e anomalias de ventos de oeste entre cerca de 35°-40°S/70°-50°W, com maior intensidade de -6 m/s

A TSM (Figura 10h) apresenta aquecimento anômalo no leste do Pacífico Sul, entre 20°-40°S (até +0,8°C), e resfriamento anômalo no Pacífico equatorial, entre 10°N-10°S (até -1°C), o que pode indicar eventos de La Niña na região do Niño 1+2 (0°-10°S/90°W-80°W). A ROLE (Figura 10i) apresenta supressão da convecção anômala no interior do Brasil, entre 10°-25°S/50°-40°W, abrangendo a parte oeste (exceto extremo oeste) e sudeste de Minas Gerais, boa parte de Goiás, sudoeste da Bahia, grande parte do Rio de Janeiro e leste de São Paulo; no Atlântico Sul, entre o Equador-15°S, abrangendo o nordeste do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, ambas com intensidade atingindo máximo superior à +10 W/m². Convecção anômala foi observada no norte do Amazonas e Roraima, com intensidade máxima de -8 W/m² e -10 W/m², respectivamente; no Atlântico Norte tropical, além de uma área entre o sul do Peru e o leste da Argentina, com orientação noroeste-sudeste, todas com intensidade máxima inferior à -10 W/m², sugerindo deslocamento anômalo da ZCIT para o norte.

Desse modo, observa-se que os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de fevereiro estão associados com anomalias positivas de temperatura do ar de (+0,9°C) sobre o oeste de Minas Gerais, norte de São Paulo e centro-sul de Goiás, além do oeste da região Sul e parte do interior da região Nordeste. Em relação ao padrão de circulação atmosférica anômalo, um enfraquecimento e deslocamento anômalo da ZCIT é observado no campo ROLE, associado a um fortalecimento dos ramos leste e norte do ASAS (observados no vento zonal e meridional a 10 m) O enfraquecimento e deslocamento anômalo da ZCIT para norte,

por si só, gera supressão da ZCAS e manutenção de tempo bom sobre o interior do país. Além disso, soma-se ao fato do jato subtropical estar enfraquecido, o que contribui para a menor atividade convectiva sobre a região onde atua, do ramo oeste do ASAS estar fortalecido (observado em H500), contribuindo com a supressão da atividade da ZCAS e, possivelmente, dificultando a passagem de frentes frias e outros sistemas transientes sobre o interior do Brasil. Portanto, todos estes fatores contribuem com os eventos extremos secos em Uberlândia. Anomalias negativas de TSM no Pacífico equatorial são observadas durante os extremos secos em Uberlândia, o que pode indicar a ocorrência de eventos de La Niña na região do Niño 1+2. Entretanto, estudos mais aprofundados são necessários para investigar tal relação.

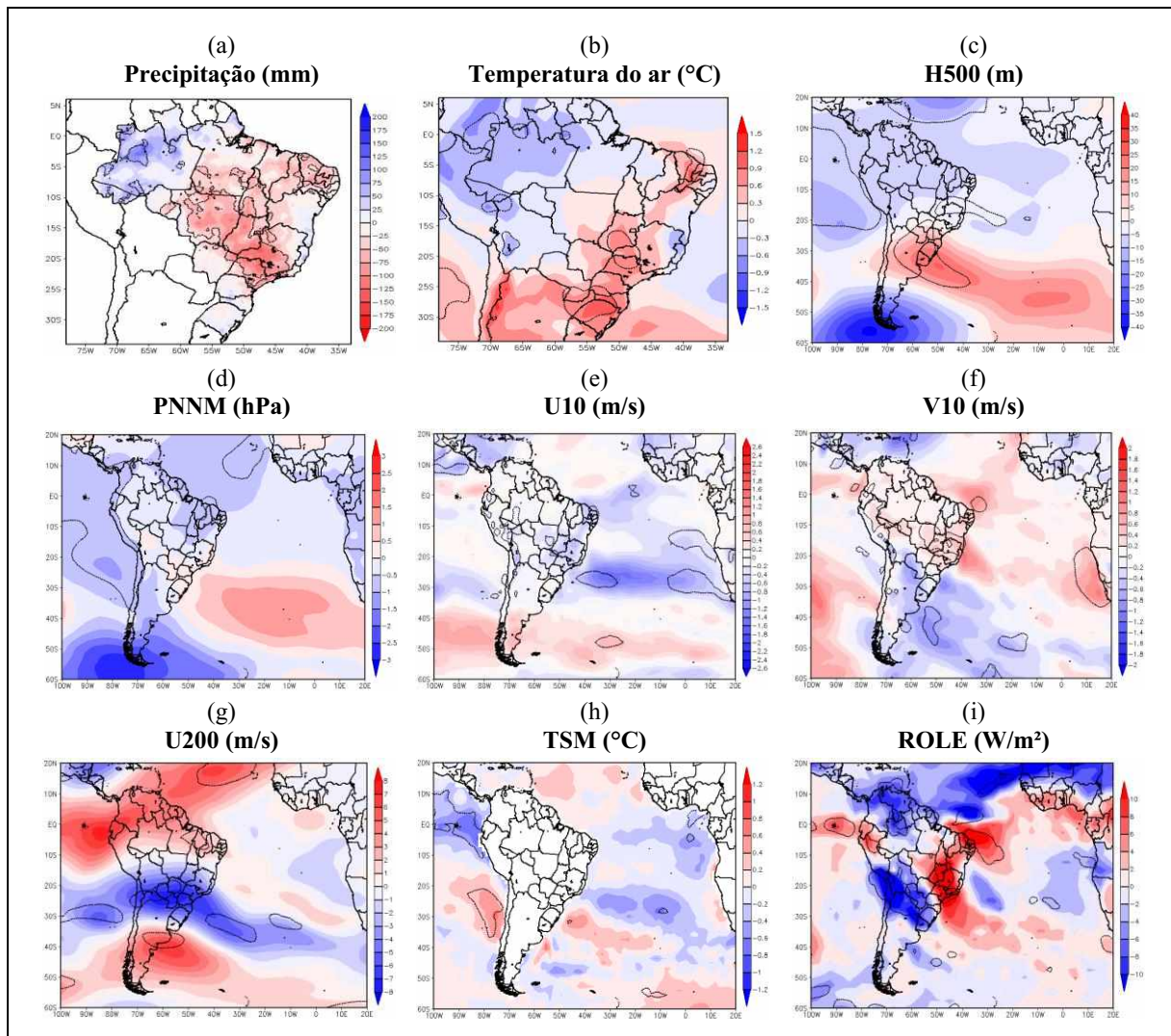


Figura 10 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de fevereiro. Elaboração: autora (2019).

4.2. EVENTOS EXTREMOS SECOS EM UBERLÂNDIA: INVERNO

Durante os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de junho há diminuição da precipitação pluvial (até -25 mm), concentrada nos estados de Mato Grosso, Goiás, Tocantins, Piauí, Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, abrangendo também parte oeste do estado da Bahia, interior da região Nordeste (sudeste do Maranhão, centro sul do Piauí, norte, sul e leste do Ceará, oeste e sul do Rio Grande do Norte, oeste da Paraíba, interior de Pernambuco, oeste de Alagoas, norte de Sergipe), nordeste do Mato Grosso do Sul e sul do Maranhão (Figura 11a).

A temperatura do ar (Figura 11b) apresentou aquecimento anômalo entre 15°-35°S/55°-35°W, mais intenso sobre o estado de São Paulo (até +1,5°C), abrangendo também grande parte de Minas Gerais (exceto norte), todo o estado do Rio de Janeiro e grande parte do Espírito Santo (exceto norte), com intensidade máxima de +1,2°C. Aquecimento também é observado sobre: o interior da região Nordeste (até +0,9°C); o interior do Amazonas e sul do Pará (até +0,3°C); e entre o noroeste do Mato Grosso e sudeste de Rondônia (entre +0,3°C e +0,6°C).

Intensas cristas anômalas em 500 hPa são observadas sobre o Atlântico Sul (Figura 11c): entre 20°-37°S, abrangendo extremo sudeste de Minas Gerais, Rio de Janeiro, sudeste de São Paulo e leste do Paraná, Santa Catarina e extremo nordeste do Rio Grande do Sul (limiar superior acima de +40 m), sugerindo fortalecimento anômalo do ASAS (ramos oeste e sul). Cavado anômalo intenso foi observado sobre o sudoeste do Atlântico Sul (entre 70°-45°W), com intensidade máxima superior à +40 m.

Em baixos níveis, através da PNMM (Figura 11d) observa-se uma alta pressão anômala sobre o Atlântico Sul extratropical, entre 30°-45°S/40W°-5°E (máximo superior à +3 hPa), enquanto uma baixa pressão anômala é encontrada sobre o sudoeste do Atlântico Sul (entre 40°-45°S/55°-45°W), com intensidade de até -1,5 hPa. A anomalia de alta pressão observada corrobora a hipótese de fortalecimento do ASAS.

No vento zonal a 10 m (Figura 11e) são observadas áreas de anomalias negativas (até -0,6 m/s) entre o leste de Minas Gerais e oeste do Espírito Santo; no interior do Brasil, abrangendo o Triângulo Mineiro e noroeste de Minas Gerais, os estados de Goiás (exceto nordeste) e Tocantins (exceto norte e sudeste), nordeste do estado do Mato Grosso e extremo sul do Pará; entre o leste (e também no interior) do Amazonas e oeste do Pará. Também são observadas anomalias negativas entre o sudoeste de Pernambuco, sudeste do Piauí e norte da

Bahia (até -0,2 m/s) e sobre o Atlântico Sul tropical e extratropical, entre 20°-35°S, com intensidade máxima de -2 m/s.

Na componente meridional do vento a 10 m (Figura 11f) são observadas anomalias positivas (até +1,4 m/s) no leste do Atlântico Sul e Atlântico Sul tropical, entre 5°-35°S/15°W-10°E, e sobre o sudeste do Pacífico Sul, entre 50°-60°S/95°-75°W, com intensidade máxima superior a +2 m/s. Anomalias negativas ocorrem sobre o Atlântico Sul: na costa dos estados da Bahia e Espírito Santo, entre 10°-25°S/40°-30°W (até -1 m/s), e entre cerca de 38°-50°S/45°-25°W (até -1,6 m/s).

Em altos níveis, através das anomalias de vento zonal em 200 hPa (Figura 11g), são observadas anomalias de ventos de leste sobre o Atlântico Sul, entre 20°-35°S/50°W-20°E (até -7 m/s), abrangendo o estado do Rio de Janeiro, sudeste do estado de São Paulo e leste do Paraná, indicando enfraquecimento do jato subtropical. Anomalias de ventos de oeste são encontradas sobre o sul do Atlântico Sul, na faixa de 45°-55°S: entre 55°-45°W e entre 20°-5°W (ambas de até +4 m/s), sugerindo fortalecimento do jato polar.

É observado aquecimento anômalo na TSM sobre o Atlântico Sul, entre 20°-40°S/45°-10°W (Figura 11h), atingindo diretamente as águas do litoral da região Sudeste do Brasil, bem como resfriamento: sobre o sul do Atlântico Sul, na faixa entre 35°-55°S (até -0,8°C); no Atlântico Norte tropical, na faixa entre 20°-5°N: entre 80°-30°W (até -0,6°C), e mais a leste, entre 30°-10°W (até -0,8°C); no Pacífico Sul, entre cerca de 10°-35°S (até -0,8°C). A distribuição espacial das anomalias observado sugere um padrão tripolo (negativo/positivo/negativo), a qual favorece a ocorrência de eventos extremos secos, conforme Pampuch (2014).

A ROLE (Figura 11i) apresenta supressão anômala da convecção no interior e sul do estado de Minas Gerais (entre +4 e +6 W/m²), no interior do estado do Rio de Janeiro (entre +6 e +8 W/m²) e entre o leste do Mato Grosso e noroeste de Goiás (entre +4 e +6 W/m²). Supressão anômala também ocorre sobre o Atlântico Sul, entre cerca de 20°-30°S/35°-7°W (até +6 W/m²) e sobre o Atlântico Sul tropical, entre o Equador-10°S/35°-22°S (até +6 W/m²), além do Pacífico Sul tropical, entre 0°-10°S/100°-80°W (até +4 W/m²). Por outro lado, convecção anômala ocorre sobre o sudoeste do Atlântico Sul, na faixa entre 45°-60°S (até -6 W/m²).

Portanto, os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de junho estão associados com um fortalecimento do ASAS, juntamente com um enfraquecimento do jato subtropical sobre o leste da região Sudeste, o que reduz a atividade convectiva, fortalecimento do jato polar, o que mantém o ar frio confinado nas altas latitudes austrais e o ar quente confinado

sobre as latitudes tropicais, impedindo assim o avanço de frentes frias e sistemas transientes em direção ao continente, bem como um padrão espacial tipo tripolo (negativo/positivo/negativo) das anomalias de TSM no Atlântico Sul, conforme também observado por Pampuch (2014). Junho é o mês de início do inverno, período tipicamente com baixos totais de precipitação pluvial. Mesmo assim, é observada uma diminuição significativa, de até -25 mm, o que corresponde a uma redução de no mínimo 50% em relação à climatologia em grande parte da região tropical do Brasil, com consequente aquecimento anômalo da temperatura do ar próximo à superfície superior à +1,5°C.

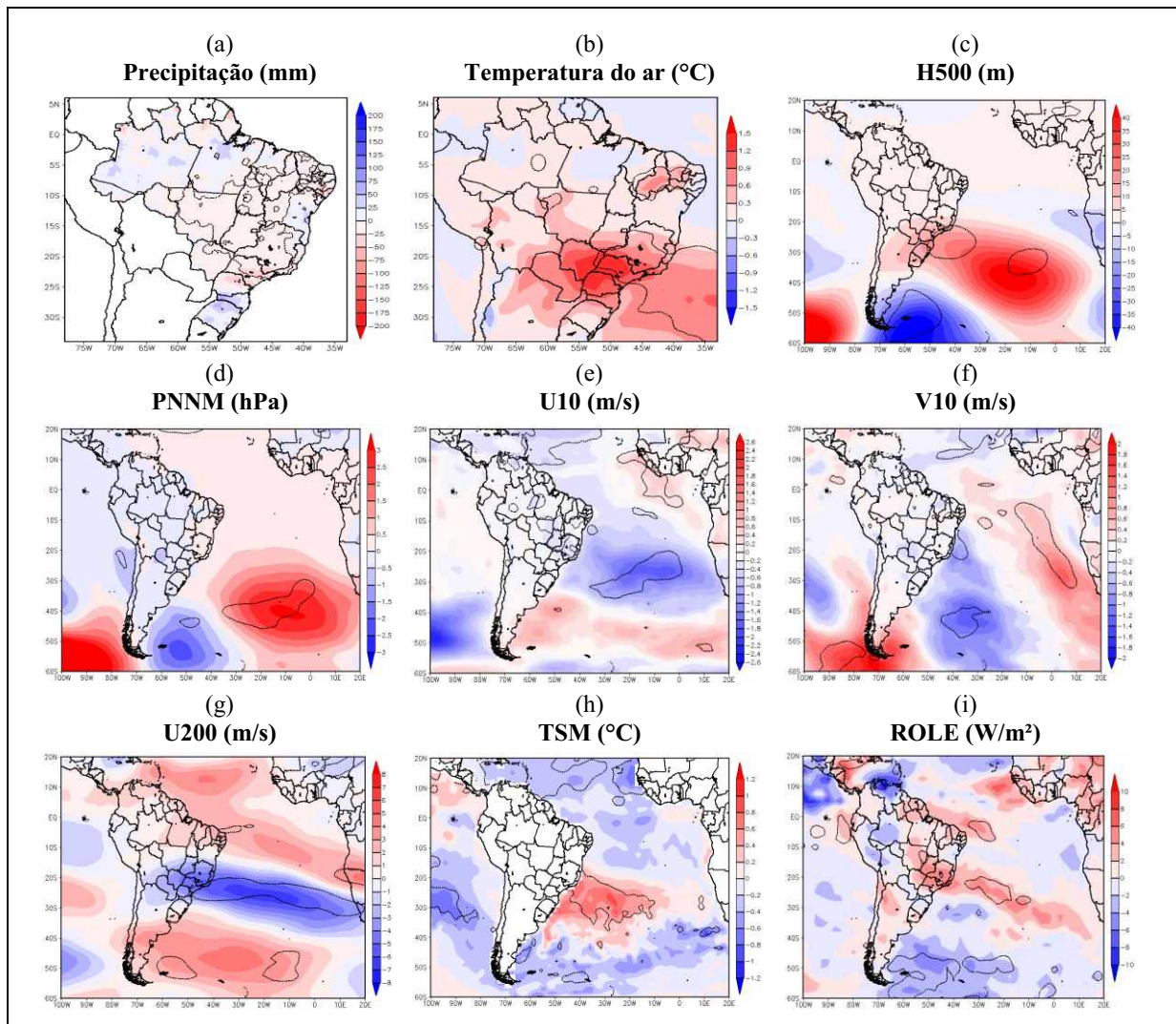


Figura 11 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de junho. Elaboração: autora (2019).

Durante os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de julho, a precipitação pluvial (Figura 12a) apresenta diminuição (até -25 mm, com áreas de até -50 mm) em praticamente todo o território nacional, exceto em duas áreas: no centro-leste de Roraima e

entre o sul de Pernambuco e o interior de Alagoas, em que há aumento entre +50 e +100 mm. Áreas com déficit mais intenso são observadas: no noroeste e interior do Amazonas, oeste e norte do Tocantins, sul do estado de São Paulo (exceto em uma área no centro-sul), leste do Paraná e oeste e sul do Rio Grande do Sul (máximo de -50 mm).

Apesar do déficit de precipitação pluvial ocorrer em grande parte do Brasil, aquecimento anômalo é observado somente sobre a região Norte (de até +1,5°C), abrangendo o sul do estado do Amazonas, norte de Rondônia, noroeste do Mato Grosso, interior do Pará e noroeste do Piauí (Figura 12b). Diminuição na temperatura do ar é observada sobre o norte de Minas Gerais, entre cerca de 15°-17°S/47°W, com intensidade entre -0,6°C e -0,9°C. Resfriamento também foi encontrado em área entre aproximadamente 5°-15°S/47°-35°W (máximo de -0,9°C), abrangendo o interior da região Nordeste (sul do estado do Maranhão, Piauí exceto o norte, sul do Ceará, oeste e sul da Paraíba, quase todo o estado de Pernambuco, Alagoas, o extremo norte de Sergipe e oeste e parte do extremo norte da Bahia) e leste do Tocantins.

Uma crista anômala em 500 hPa (Figura 12c) é observada sobre a região Sul, parte das regiões Sudeste e Centro-Oeste do país, entre 15°-35°S/70°-45°W (até +25 m), indicando fortalecimento do ramo oeste do ASAS enquanto um cavado anômalo ocorre sobre o Atlântico Sul, entre 25°-35°S/30°-15°W (até -25 m), sugerindo enfraquecimento do centro do ASAS, e também sobre o Pacífico Sul, entre 25°-40°S/100°-75°W (até -30 m). Observa-se um padrão de alternância entre anomalias baixa e alta pressão nos Oceanos Pacífico e Atlântico, que pode indicar um padrão de teleconexão, apesar de não apresentar significância em PNNM. A PNNM (Figura 12d) não apresenta anomalias com significância estatística.

Em baixos níveis, a componente zonal do vento a 10 m (Figura 12e) apresenta anomalia de ventos de leste (até -0,4 m/s) sobre o Triângulo Mineiro, sul de Goiás e sobre o interior do país, abrangendo o oeste de Rondônia, parte do sul do Amazonas, Pará (exceto o oeste e norte), Piauí (exceto o norte), Tocantins (exceto o sudeste), Mato Grosso do Sul (exceto o sul/sudoeste) e sobre o oeste da região Sul do Brasil (até -0,6 m/s). Anomalias de ventos de leste também são observadas sobre o Atlântico Sul: entre 25°-35°S/50°-40°W (até -0,6 m/s), entre 12°-20°S/0°-10°E (até -0,4 m/s) e entre 40°-45°S/25°-10°W (até -1,6 m/s). Observam-se anomalias de ventos de oeste sobre: o Atlântico Sul tropical, entre o Equador-25°S/40°-15°W (até +1,2 m/s); sudoeste do Atlântico Sul, área zonal entre 40°-45°S/65°-55°W (até +0,6 m/s) e na mesma faixa latitudinal, entre 55°-50°W (entre +0,4 e +0,6 m/s).

A componente meridional do vento a 10 m (Figura 12f) apresenta anomalia de ventos de sul sobre o Atlântico Norte e Sul tropical e subtropical, entre 5°N-20°S/45°-25°W (até

+1,2 m/s), abrangendo o leste do estado do Pará e norte do Tocantins, e também o interior e leste da região Nordeste (o estado do Maranhão exceto extremo norte e sul, norte do Piauí, centro sul do Ceará, os estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Alagoas e Sergipe e o leste de Pernambuco). Anomalias de ventos de sul também são observadas sobre o Atlântico Sul, entre 20°-30°S/35°-25°W e sobre o sul do Pacífico Sul, entre aproximadamente 55°-60°S/85°-79°W (até +1,6 m/s). Anomalia de ventos de norte são observadas sobre o Atlântico Sul, entre cerca de 15°-35°S/20°-5°W (até -1,2 m/s).

Através do vento zonal em 200 hPa (Figura 12g) são observadas anomalias negativas: sobre o continente, entre 15°-25°S/75°-50°W (até -8 m/s), abrangendo o sudoeste do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul (exceto sul) e noroeste de São Paulo; sobre o Atlântico Sul, entre 35°-45°S/35°-20°W (até -6 m/s); sobre o Pacífico Sul, entre 50°-60°W/100°-35°W (até -5 m/s). As anomalias negativas observadas entre 40°-60°S sugerem enfraquecimento do ramo sul do jato polar e enfraquecimento do jato subtropical. Anomalias positivas são observadas: sobre o Pacífico Sul, entre 25°-30°S/95°-85°W (entre +5 e +6 m/s) e entre 25°-35°S/85°-55°W (até +6 m/s); sobre o Atlântico Sul, entre 40°-45°S/55°-45°W (até +5 m/s) e entre 25°-35°S/0°-20°E (até +7 m/s) indicando fortalecimento do ramo norte do jato polar.

A TSM (Figura 12h) apresenta aquecimento anômalo no Atlântico Sul extratropical, entre 40°-60°S/55°W-0° (até +1°C), e no Atlântico Norte tropical: entre 20°-15°N/50°-20°W (até +0,6°C) e entre 15°-5°N/40°-25°W (até +0,4°C). Resfriamento anômalo é observado no Atlântico Sul, na faixa entre 20°-35°S: entre 45°-35°W (entre -0,2°C e -0,4°C), entre 40°-20°W (até -0,8°C), entre 10°W-10°E e em área zonal à cerca de 10°E (ambas entre -0,2°C e -0,4°C) e entre 10°-15°E (até -0,4°C).

Supressão anômala da convecção (Figura 12i) ocorre entre o Equador-25°S/80°-30°W (até +10 W/m²), com orientação noroeste-sudeste entre o sudoeste do estado do Amazonas e a região Sudeste do país. Supressão anômala também é observada sobre o Atlântico Sul: no sudoeste, entre 55°-60°S/60°-45°W (até +4 W/m²) e na mesma faixa latitudinal, entre 5°W-5°E (entre +2 e +4 W/m²); entre aproximadamente 25°-30°S/30°W (até +6 W/m²), entre 40°-50°S/35°-30°W (até +4 W/m²) e na mesma faixa latitudinal entre 20°-15°W (entre +2 e +4 W/m²); entre 35°-45°S/10°W-20°E (até +6 W/m²). Convecção anômala ocorre ao norte do equador, indicando um fortalecimento e/ou deslocamento anômalo da ZCIT para norte em direção às águas aquecidas do Atlântico Norte tropical. Carpenedo (2018) observa que eventos de anomalias positivas de TSM no Atlântico Norte tropical durante o inverno há anomalias de supressão de convecção em grande parte do Brasil entre as latitudes de 2°S e 23°S.

Portanto, os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de julho estão associados com déficit de precipitação pluvial em grande parte do país. A atuação do jato polar e do jato subtropical apresentam destaque importante: o jato polar apresenta-se enfraquecido no seu ramo sul e fortalecido em seu ramo norte, impedindo assim o avanço de frentes frias e sistemas transientes em direção ao continente, enquanto o jato subtropical está enfraquecido, o que indica menor atividade convectiva sobre a região em que atua. O ASAS aparece fortalecido no ramo oeste/noroeste e enfraquecido no centro. Anomalias positivas de TSM no Atlântico Norte tropical favorecem o deslocamento e/ou fortalecimento da ZCIT nesta região. Por fim, é observado um padrão de alternância entre anomalias de baixa e alta pressão em níveis médios da troposfera no Pacífico e Atlântico Sul, o que pode indicar um padrão de teleconexão, o qual também pode influenciar a ocorrência dos eventos extremos secos em Uberlândia.

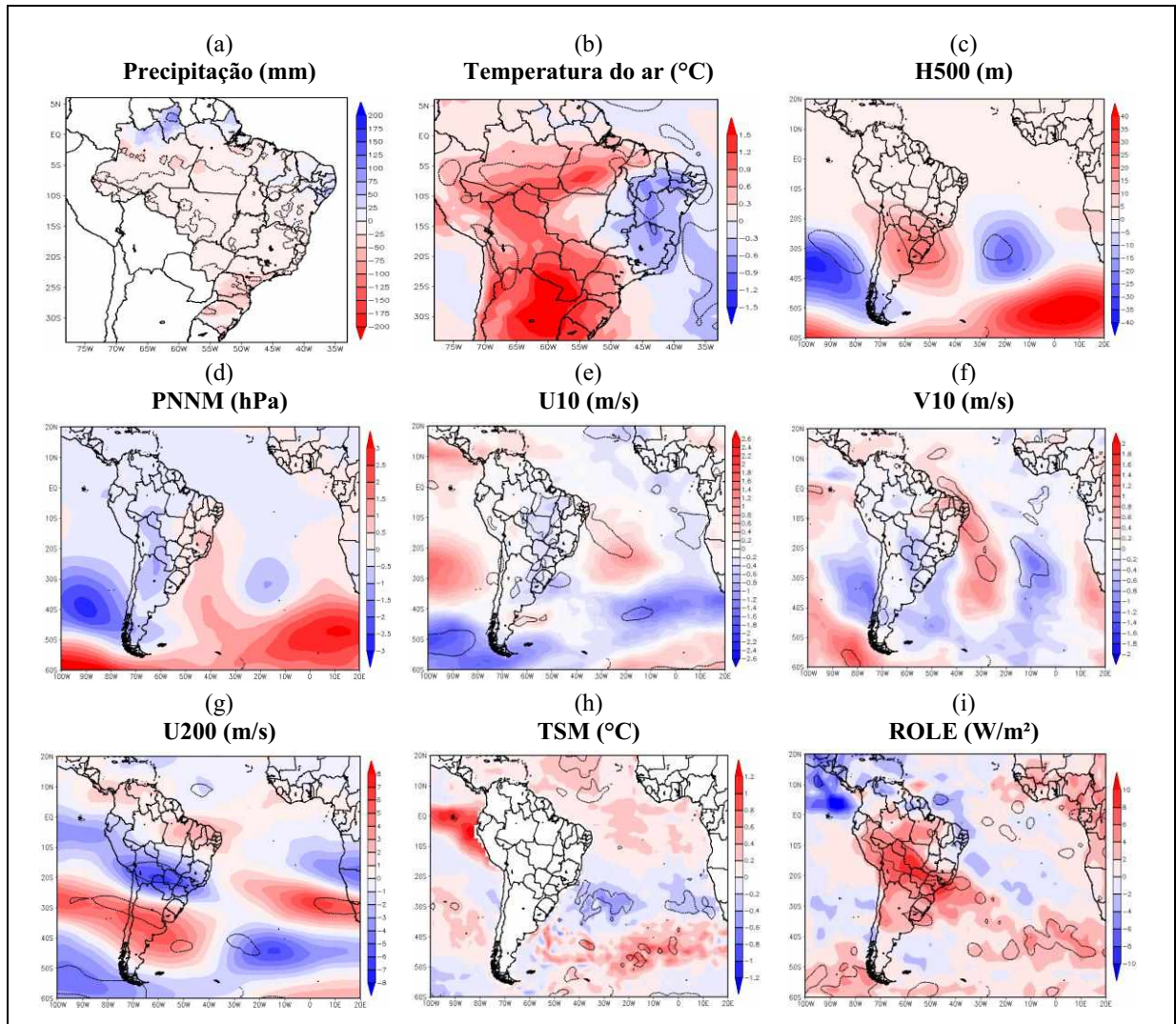


Figura 12 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de julho. Elaboração: autora (2019).

Durante os eventos extremos secos em Uberlândia ocorridos no mês de agosto a precipitação pluvial (Figura 13a) apresentou diminuição em grande parte do Brasil, abrangendo o sudeste do estado do Amazonas, sul do Pará, Rondônia (exceto oeste), toda a região Centro-Oeste, Tocantins (exceto algumas áreas no norte, centro e sul), centro sul do Maranhão, norte e sul do Piauí, norte e leste de boa parte da região Nordeste (exceto Alagoas e Sergipe), oeste da Bahia (exceto algumas áreas), Minas Gerais (exceto leste e algumas áreas no noroeste), sul do Rio de Janeiro, São Paulo (exceto extremo sul), Paraná, Santa Catarina (exceto parte do oeste e extremo sul). Diminuição também ocorre em áreas no interior do Amazonas e no oeste do Rio Grande do Sul. Anomalias de -25 mm, chegando a -50 mm, são observadas no interior do Amazonas e no leste da região Nordeste, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Santa Catarina, enquanto que uma anomalia de até -75 mm ocorre no interior do Paraná. Aumento na precipitação pluvial é observado entre o leste de Roraima e o extremo norte do Pará (até +75 mm) e no noroeste e interior do Amapá (até +25 mm).

A temperatura do ar (Figura 13b) apresenta aquecimento anômalo em área entre o sudoeste do estado do Amazonas, sudoeste e sul do Pará (exceto extremo sul) e noroeste do Mato Grosso (+0,9°C, até +1,2°C em área no centro-sul do Pará), no interior do Maranhão (até +0,6°C) e em área entre o extremo oeste de Minas Gerais, sul de Goiás, leste do Mato Grosso do Sul, oeste de São Paulo e do Paraná (até +0,9°C). Resfriamento é observado no noroeste do Pará (até -0,6°C) e em área abrangendo boa parte da região Nordeste (exceto norte), oeste do Piauí, nordeste de Goiás, Distrito Federal, norte de Minas Gerais e do Espírito Santo (máximo -0,6°C, atingindo -0,9°C em área entre o sul do Piauí e o extremo norte da Bahia, além de uma área no interior da Bahia).

No campo de altura geopotencial em 500 hPa (Figura 13c) é possível observar uma crista anômala entre 13°-30°S/65°-40°W (até +20 m), abrangendo praticamente toda a região Sudeste (exceto nordeste de Minas Gerais e Espírito Santo, o qual só a parte sul está dentro da área anômala) e Sul (exceto o extremo sul do Rio Grande do Sul), além de grande parte do sul da região Centro-Oeste (exceto o norte do Mato Grosso).

Em baixos níveis observam-se anomalias positivas de PNNM (Figura 13d): sobre o Pacífico Sul, entre aproximadamente 7°- 25°S/100°-90°W e entre cerca de 32°-42°S/78°-68°W, abrangendo o sul do Chile e da Argentina, ambas com intensidade máxima de +1,5 hPa; noroeste de Minas Gerais, com intensidade entre +0,5 e +1 hPa. Anomalia negativa é observada sobre o leste do Atlântico Sul em aproximadamente 23°-33°S/5°W-20°E, com intensidade máxima de -1 hPa, sugerindo enfraquecimento dos ramos sul e sudeste do ASAS.

No vento zonal a 10 m (Figura 13e) são observadas anomalias positivas: entre 9°N-equador/78°-28°W (até +1,2 m/s), entre o leste do Amazonas e oeste do Pará (até +0,4 m/s) e em área no interior do Amazonas (entre 0 e 0,2 m/s); sobre o sudoeste do Atlântico Sul, entre aproximadamente 43°-52°S/67°-57°W (até +0,8 m/s) e entre 45°-57°S/52°-20°W (até +1,2 m/s); e à leste, entre aproximadamente 21°-27°S/8°W- 2°E (até +0,6 m/s) e entre 19°-22°S/10°E (até +0,4 m/s). As anomalias de vento zonal no leste do Atlântico Sul sugerem um enfraquecimento do ramo nordeste do ASAS. Anomalia negativa de vento zonal é observada: sobre o interior do Maranhão (até -0,4 m/s) e entre 5°-20°S/60°-48°W, abrangendo o sul/sudeste do Pará, Tocantins (exceto extremo norte e leste), Mato Grosso (exceto noroeste e sul/sudoeste), Goiás (exceto nordeste e sudoeste), parte do oeste de Minas Gerais, com intensidade de até -0,4 m/s, atingindo -0,6 m/s em área sobre o norte do Mato Grosso e sobre o sudeste do Pará.

Na componente meridional do vento a 10 m (Figura 13f) são observadas anomalias de ventos de sul: entre aproximadamente 8°N-18°S/78°-20°W (até +0,8 m/s, atingindo +1 m/s em área próxima ao litoral do Rio Grande do Norte), abrangendo o leste e sul do Pará, norte do Amapá, grande parte da região Nordeste (exceto noroeste do Maranhão, sudoeste do Piauí e centro sul da Bahia), nordeste de Goiás, parte do norte do Mato Grosso e de Minas Gerais, o que pode indicar um enfraquecimento dos alísios de nordeste (porção da anomalia sobre o Atlântico Norte tropical) e um fortalecimento dos alísios de sudeste (porção da anomalia sobre o Atlântico Sul tropical); entre 8°-18°S/78°-60°W (até +0,4 m/s), abrangendo Rondônia (exceto extremo norte) e Acre (exceto noroeste) e sobre o Pacífico Sul tropical, entre 15°-25°S/100°-80°W (até +0,8 m/s). Anomalia de ventos de norte é observada em área entre o leste do estado do Amazonas e oeste do Pará, com intensidade entre 0 e -0,2 m/s.

Em altos níveis observa-se anomalias positivas de vento zonal em 200 hPa (Figura 13g) sobre o Atlântico Sul, entre aproximadamente 22°-32°S/19°W-11°E, com intensidade máxima de +5 m/s, sugerindo fortalecimento do jato subtropical. Anomalia negativa com área extensa é observada entre 20°N-15°S (até -7 m/s), abrangendo boa parte do Brasil (exceto apenas extremo norte do Amazonas e do Amapá e noroeste de Roraima).

A TSM (Figura 13h) apresenta aquecimento anômalo: no Pacífico Sul - áreas entre 35°-52°S/100°-82°W, com intensidade entre 0 e +0,2°C; Atlântico Sul - duas áreas entre 30°-40°S, uma em aproximadamente 15°W e outra entre 5°W-0°, duas áreas entre 5°N-2°S/18°W-0°; leste do Atlântico Norte tropical - duas áreas, entre cerca de 2°N-2°S/15°-2°W. Todas apresentam intensidade máxima de +0,4°C. Resfriamento anômalo é observado no Atlântico Sul: tropical (próximo à costa leste da região Nordeste), entre 5°-25°S/40°-18°W;

extratropical, entre 32°-37°S/50°-48°W, próximo à costa leste do Rio Grande do Sul, Uruguai e Argentina, todas com intensidade máxima de -0,4°C, entre 38°-40°S/58°-53°W (até de -1°C), e mais à sudeste, entre 55°-60°S/10°W-20°E (entre 0 e -0,2°C). A localização das anomalias positivas de TSM no Atlântico Norte, bem como da anomalia negativa na costa leste da região Nordeste do Brasil, pode ter contribuído para um deslocamento anômalo e/ou fortalecimento da ZCIT para o norte, corroborado pelo enfraquecimento dos alísios de nordeste e fortalecimento dos alísios de sudeste no Atlântico tropical (Figura 13f).

Supressão anômala intensa da convecção (Figura 13i) (máximo superior à +10 W/m² sobre o oeste do estado de Minas Gerais, norte de São Paulo, sudoeste de Goiás e leste do Mato Grosso do Sul) é observada entre 5°-30°S/70°-25°W, com orientação noroeste/sudeste, abrangendo desde o sul do Amazonas e Pará até o extremo norte de Santa Catarina. Convecção anômala é observada sobre o Pacífico equatorial, entre o equador-5°S/100°-78°W (até -4 W/m²), sul do Atlântico Norte tropical, entre 5°N-Equador/58°-38°W (até -6 W/m²), abrangendo o leste, centro e oeste do Amapá. As anomalias podem indicar um posicionamento anômalo da ZCIT, acima de 14°N, que seria o esperado para o mês de agosto (MELO et al., 2009).

Portanto, os eventos extremos secos em Uberlândia do mês de agosto estão associados a um deslocamento anômalo da ZCIT para o norte de sua posição climatológica no inverno, que pode ser observado através das anomalias negativas de ROLE entre o equador e 20°N e das anomalias positivas sobre o Brasil. Além disso, um enfraquecimento dos alísios de nordeste e um fortalecimento dos alísios de sudeste podem indicar um fortalecimento do ASAS e uma possível retração do Anticiclone Subtropical do Atlântico Norte (ASAN), o que conforme Hastenrath e Heller (1977 apud MELO et al., 2009, p. 36) e Tomaziello (2014, p.44), estão associados à um deslocamento da ZCIT mais ao norte de sua posição climatológica. O aquecimento anômalo da TSM no Atlântico Norte tropical, bem o resfriamento anômalo na costa leste da região Nordeste, pode ter contribuído para esse deslocamento, já que a variabilidade da ZCIT está intimamente ligada às variações na TSM (MELO et al., 2009). Como consequência, déficit de precipitação pluvial foi observado na maior parte do país, entretanto a temperatura do ar não acompanhou essa diminuição, apresentando anomalias positivas apenas em parte da região Norte, extremo oeste de Minas Gerais, noroeste de São Paulo e oeste do Paraná, e resfriamento em parte do leste do Brasil.

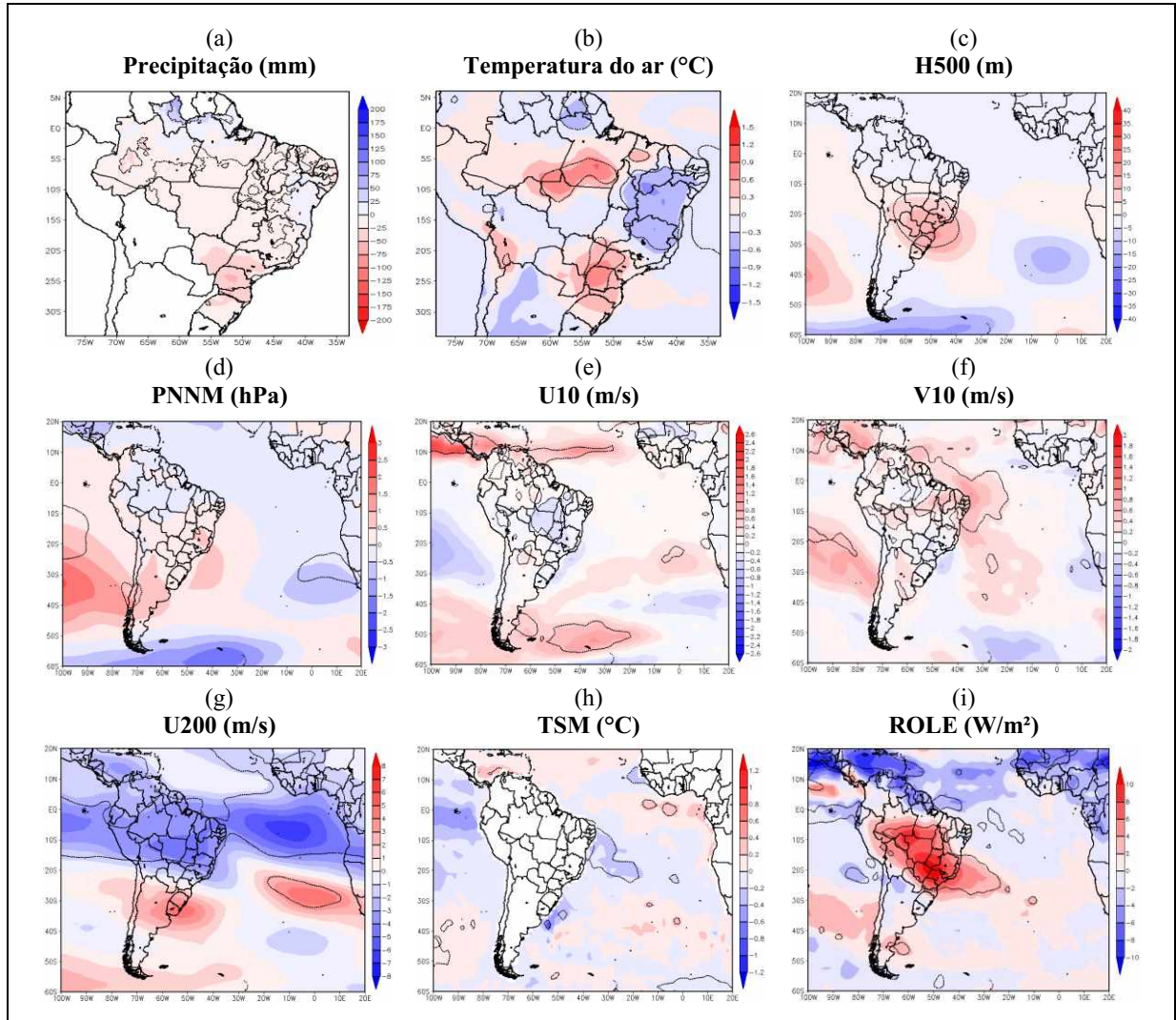


Figura 13 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos secos em Uberlândia no mês de agosto. Elaboração: autora (2019).

4.3. EVENTOS EXTREMOS CHUVOSOS EM UBERLÂNDIA: VERÃO

Durante os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de dezembro a precipitação pluvial (Figura 14a) apresentou aumento no interior e sudeste do estado de Goiás (até +150 mm), parte do oeste de Minas Gerais, (até +125 mm), sudeste do Mato Grosso, norte do Mato Grosso do Sul (até +100 mm) e em áreas no noroeste de São Paulo e centro sul de Minas Gerais (até +100 mm). Áreas de anomalias mais intensas são observadas nos estados de Goiás e Minas Gerais. Diminuição é observada entre o norte do estado do Amazonas, Amapá (exceto área ao norte e nordeste) e o noroeste do Pará (até -75 mm), além de áreas no interior e sul do Amazonas e norte do Rio Grande do Sul (até -50 mm).

A temperatura do ar (Figura 14b) apresenta resfriamento anômalo entre o sul do estado do Mato Grosso e norte/oeste do estado do Mato Grosso do Sul (entre $-0,3^{\circ}\text{C}$ e $-0,6^{\circ}\text{C}$), atingindo $-0,9^{\circ}\text{C}$ em uma área sobre o Mato Grosso do Sul. Aquecimento anômalo é observado no interior do leste do estado do Amazonas (até $+0,6^{\circ}\text{C}$) e no sudoeste do estado de Rondônia (entre 0°C e $+0,3^{\circ}\text{C}$).

No campo de altura geopotencial em 500 hPa (Figura 14c) é possível observar uma crista anômala em grande parte do Atlântico Sul tropical, parte do Atlântico Norte tropical (entre $+5$ e $+10$ m) e também sobre o Atlântico Sul extratropical, entre 25° - $50^{\circ}\text{S}/50^{\circ}$ - 10°W (máximo superior à $+40$ m). Também foi observado um padrão de alternância entre as anomalias de alta e baixa pressão (estas não apresentaram significância estatística), na faixa entre 30° - 60°S , que pode indicar um padrão de teleconexão.

Em baixos níveis observa-se anomalias positivas de PNNM (Figura 14d), com área extensa entre cerca de 20°N - $10^{\circ}\text{S}/65^{\circ}$ - 10°W (até $+1,5$ hPa), abrangendo o Atlântico Norte tropical, Atlântico Sul tropical, os estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba. Anomalia positiva também ocorre sobre o interior do Brasil, abrangendo o norte dos estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso, os estados da Tocantins (exceto extremo norte), Pará, Maranhão, sul do Piauí, Alagoas e Bahia (até $+1$ hPa) e em uma área zonal sobre o Atlântico Sul extratropical, entre 35° - $50^{\circ}\text{S}/55^{\circ}$ - 15°W (até $+2,5$ hPa). Observa-se que tanto em PNNM quanto em H500, as áreas anômalas de alta pressão apresentam localização semelhante no Atlântico Sul (estrutura barotrópica equivalente entre a superfície e níveis médios da troposfera), sugerindo fortalecimento do ASAS.

No vento zonal a 10 m (Figura 14e) são observadas anomalias de ventos de oeste sobre: o sul do Atlântico Sul, entre cerca de 45° - $55^{\circ}\text{S}/62^{\circ}$ - 5°W (até $+1,2$ m/s); e sobre o interior do continente, entre cerca de 8° - $20^{\circ}\text{S}/75^{\circ}$ - 50°W (até $+0,4$ m/s), abrangendo o sudeste do estado de Rondônia, sul do Mato Grosso, sudoeste de Goiás e norte do Mato Grosso do Sul. Anomalias de ventos de leste ocorrem sobre o Atlântico Norte tropical, entre 15° - $2^{\circ}\text{N}/70^{\circ}$ - 30°W (até -1 m/s) e sobre o Atlântico Sul, em área próxima ao litoral sul do Brasil, entre cerca de 35° - $40^{\circ}\text{S}/55^{\circ}$ - 48°W (até $-1,2$ m/s).

Na componente meridional do vento a 10 m (Figura 14f) são observadas anomalias de ventos de norte sobre: norte da América do Sul, entre 8° - $15^{\circ}\text{S}/72^{\circ}$ - 60°W (até $-0,6$ m/s), parte do oeste de Minas Gerais (até $-0,4$ m/s), sudeste da Argentina, entre 38° - $48^{\circ}\text{S}/70^{\circ}$ - 58°S (até -1 m/s) e Atlântico Sul extratropical, entre 45° - $60^{\circ}\text{S}/50^{\circ}$ - 20°W (até $-1,2$ m/s). Anomalias de ventos de norte também ocorrem sobre o Atlântico Norte tropical, entre 20°N - $2^{\circ}\text{S}/62^{\circ}$ - 30°W (até $-0,8$ m/s). Anomalias de ventos de sul são observadas sobre o Atlântico Sul extratropical:

entre 30°-50°S/22°W-10°E (até +1 m/s) e entre 52°-60°S/5°-20°E (até +1,2 m/s). Observou-se que as anomalias de ventos leste e de norte no Atlântico Norte tropical apresentam localização similar, indicando fortalecimento dos alísios de nordeste. Além disso, nota-se que os ventos anômalos de norte e oeste estão em área compatível com a de atuação dos jatos de baixos níveis, fortalecendo-os.

Em altos níveis observa-se anomalias positivas de vento zonal em 200 hPa (Figura 14g) sobre o Pacífico Sul/sul da América do Sul, entre 30°-45°S/95°-65°W (até +7 m/s). Anomalia negativa é encontrada sobre o Atlântico Sul tropical, próxima ao litoral da região Sudeste do Brasil, entre cerca de 25°-28°S/38°-42°W (até +3 m/s). As anomalias observadas sugerem fortalecimento do ramo norte do jato polar e indicação de enfraquecimento do jato subtropical.

A TSM (Figura 14h) apresenta aquecimento anômalo no Atlântico Sul entre 30°-40°S/5°W-15°E e junto à costa da região Sul do país, ambas com intensidade máxima de +0,6°C. Aquecimento anômalo também é observado no Pacífico Sul, em aproximadamente 20°S/90°W (até +0,6°C) e em áreas esparsas sobre o Pacífico Norte 10°N-Equador (duas com máximo de até +0,6°C e uma com intensidade máxima de +0,9°C).

Convecção anômala (Figura 14i) é observada sobre o interior do Brasil, entre 15°-25°S/65°-45°W (até -10 W/m²), abrangendo partes do oeste e do noroeste do estado de Minas Gerais, centro-sul de Goiás e praticamente todo o norte do estado do Mato Grosso do Sul. Supressão anômala de convecção é observada sobre: Atlântico Norte tropical, entre 20°-5°N/85°-62°W e entre 20°-8°N/50°-30°W; sobre o norte da América do Sul em 12°N-5°S/70°-55°W, abrangendo o estado de Roraima, norte do Amazonas e noroeste do Pará (indicando supressão anômala da ZCIT), todas apresentam máximo superior à +10 W/m². Supressão anômala também ocorre sobre: o Pacífico Sul tropical, entre cerca de 2°N-12°S/90°-75°W (até +8 W/m²) e entre cerca de 12°-27°S/100°-79°W (até +4 W/m²); o Atlântico Sul tropical, entre cerca de 2°N-10°S/20°W-5°E (até +8 W/m²); o Atlântico Sul extratropical, entre 20°-35°S/5°W-20°E (máximo superior à +10 W/m²), entre 25°-35°S/30°-23°W (até +8 W/m²) e em áreas esparsas entre 40°-60°S/60°-5°W (máximos variando entre +2 e +4 W/m²).

Portanto, os eventos extremos chuvosos em Uberlândia do mês de dezembro estão associados com um fortalecimento dos ventos alísios de nordeste, assim como dos ventos de norte e oeste na região de atuação dos jatos de baixos níveis, sugerindo um fortalecimento dessa circulação em direção à região Sudeste do Brasil, os quais contribuem com o aumento no aporte de umidade em direção ao interior do Brasil, favorecendo a convecção e a

precipitação pluvial. Mesmo assim, não se observa um padrão de fortalecimento da atividade da ZCAS. Não há contribuição dos seguintes sistemas atmosféricos: ZCIT, a qual apresenta supressão anômala sobre o norte da América do Sul; jato polar fortalecido e jato subtropical enfraquecido, fatores geralmente associados a déficit de precipitação pluvial na região Sudeste do país. Apesar do padrão de convecção anômalo sobre a área de estudo, a temperatura do ar não apresenta anomalias com significância estatística. Existe um padrão de teleconexão (indicado pela alternância de anomalias no campo altura geopotencial em 500 hPa) nas latitudes extratropicais do Hemisfério Sul, fator esse que pode contribuir para os eventos extremos chuvosos em Uberlândia em dezembro, necessitando, entretanto, de maiores análises.

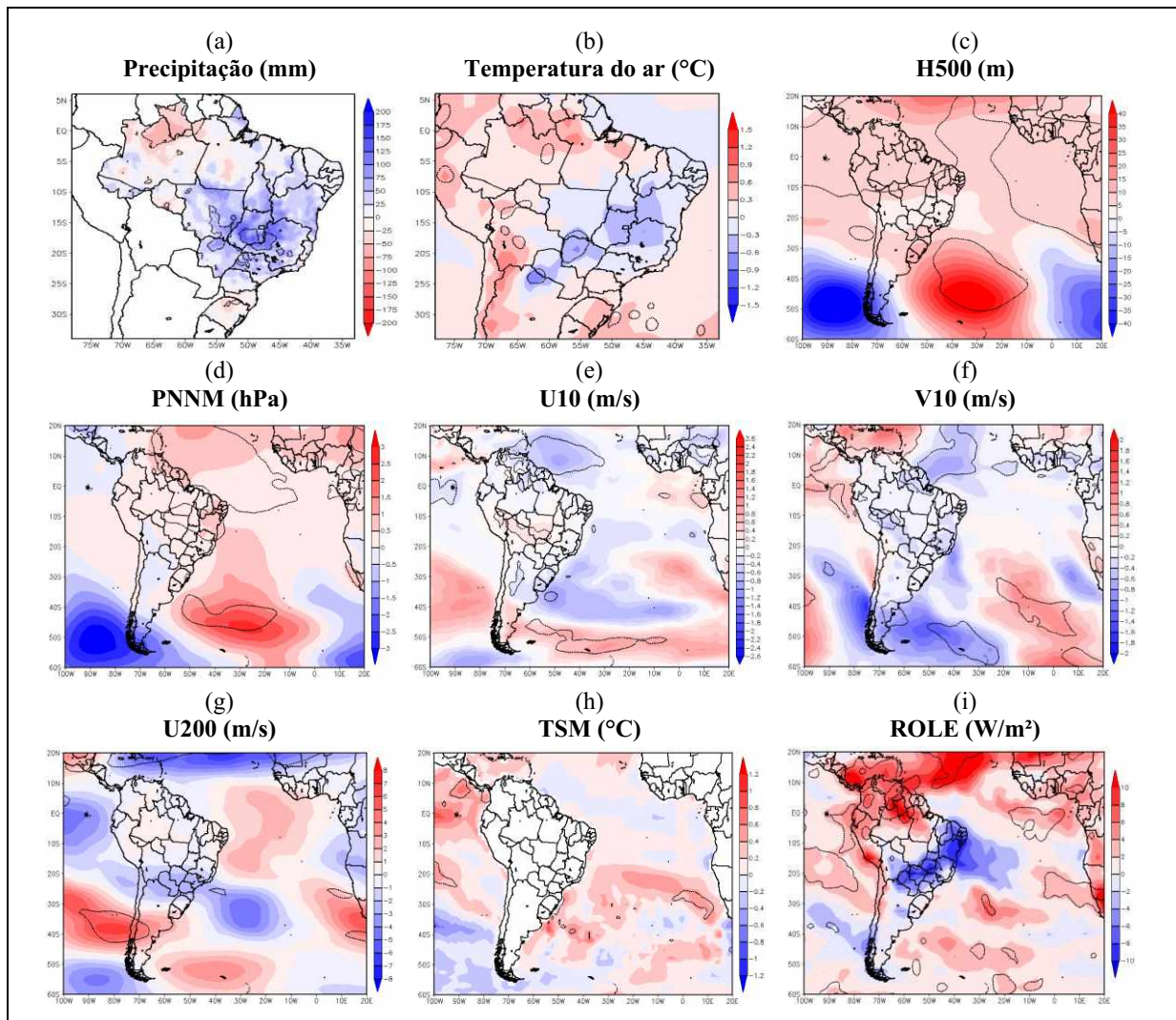


Figura 14 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de dezembro. Elaboração: autora (2019).

Durante os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de janeiro, há aumento da precipitação pluvial (Figura 15a) entre 10°-25°S/60°-40°W (até +175 mm), abrangendo o

oeste do Mato Grosso (com áreas no interior do estado), sul do Tocantins, oeste da Bahia, grande parte de Minas Gerais, Goiás (exceto o noroeste e parte do nordeste), norte dos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Espírito Santo, além de uma área no interior do Rio de Janeiro. Áreas de anomalias mais intensas são observadas em Minas Gerais, Goiás e Espírito Santo. Diminuição anômala da precipitação pluvial é observada no interior do Amazonas (até -100 mm), sudoeste e nordeste do Acre, leste da região Nordeste (ambas de até -50 mm), sul do estado do Paraná (até -100 mm), norte de Santa Catarina e em área com orientação sudoeste-nordeste no interior do Rio Grande do Sul (ambas com intensidade máxima de -75 mm).

A temperatura do ar (Figura 15b) apresenta resfriamento anômalo sobre o estado de Minas Gerais (sul, parte do oeste e interior do norte do estado, incluindo a região de Uberlândia), norte e oeste de São Paulo, sul do Rio de Janeiro, sudoeste de Goiás, área sobre o sudeste do Mato Grosso e leste do Mato Grosso do Sul (até $-1,2^{\circ}\text{C}$), sendo as áreas de anomalias negativas mais intensas são observadas no centro norte de Minas Gerais. Aquecimento anômalo é observado sobre o Sergipe, oeste de Alagoas e em áreas entre o leste do Rio Grande do Sul e extremo sul do Paraguai, ambas com intensidade entre $+0,3^{\circ}\text{C}$ e $+0,6^{\circ}\text{C}$.

Uma crista anômala com estrutura barotrópica equivalente entre a superfície e 500 hPa (Figura 15c) é observada sobre o Atlântico Sul extratropical, entre $55^{\circ}\text{-}60^{\circ}\text{S}/40^{\circ}\text{-}20^{\circ}\text{W}$, enquanto uma baixa PNMM anômala é encontrada sobre o interior do estado do Mato Grosso do Sul (até -1 hPa) (Figura 15d).

A componente zonal do vento a 10 m (Figura 15e) apresenta anomalias de ventos de oeste (até +1 m/s) sobre a América do Sul: entre cerca de $10^{\circ}\text{-}17^{\circ}\text{S}/70^{\circ}\text{-}50^{\circ}\text{W}$, abrangendo o sul do estado do Mato Grosso, área sobre o interior (centro) de Goiás e o Distrito Federal. Ventos de oeste anômalos também ocorrem em área entre o interior do estado do Piauí, extremo norte da Bahia e sudeste do Maranhão (até +0,8 m/s). Anomalia de ventos de leste ocorre sobre: o sul do Brasil, abrangendo também o litoral dos estados de Santa Catarina, Paraná e sul/litoral sul de São Paulo (até -1 m/s); o Pacífico Sul extratropical, entre $55^{\circ}\text{-}60^{\circ}\text{S}/100^{\circ}\text{-}70^{\circ}\text{W}$ (até -1,6 m/s); o Atlântico Sul extratropical, entre cerca de $52^{\circ}\text{-}58^{\circ}\text{S}/58^{\circ}\text{-}48^{\circ}\text{W}$ (até -1 m/s), entre $50^{\circ}\text{-}55^{\circ}\text{S}/15^{\circ}\text{W}\text{-}5^{\circ}\text{E}$ (até -1,6 m/s) e em duas áreas entre $50^{\circ}\text{-}55^{\circ}\text{S}/40^{\circ}\text{-}30^{\circ}\text{W}$ (intensidade entre -0,2 e -0,4 m/s)

Anomalias de ventos de sul são observadas sobre (Figura 15f): o Pacífico Sul tropical, entre cerca de $5^{\circ}\text{S}\text{-}18^{\circ}\text{S}/100^{\circ}\text{-}70^{\circ}\text{W}$ (até +0,6 m/s); o Pacífico Sul extratropical, entre $55^{\circ}\text{-}60^{\circ}\text{S}/100^{\circ}\text{-}90^{\circ}\text{W}$ (até +1,2 m/s); o interior do continente, entre cerca de $20^{\circ}\text{-}30^{\circ}\text{S}/60^{\circ}\text{-}52^{\circ}\text{W}$,

abrangendo o sudoeste/sul do estado do Mato Grosso do Sul e oeste de São Paulo (até +1 m/s); o Atlântico Sul extratropical, entre 20°-32°S/45°-35°W (até +1,6 m/s) e entre 50°-55°S/0°-15°E (até +1,2 m/s). Anomalias de ventos de norte são observadas sobre: o interior do estado de Goiás, no centro do estado (até -0,6 m/s); o Atlântico Sul tropical, entre cerca de 10°-18°S/40°-30°W (até -1,2 m/s) e entre 18°-25°S/35°-25°W (até -1 m/s); o nordeste do Ceará (entre -0,2 e -0,4 m/s); e o noroeste do Mato Grosso (até -0,2 m/s).

Em altos níveis, anomalias negativas de vento zonal em 200 hPa (Figura 15g) são observadas sobre: o Atlântico Sul extratropical, entre 45°-60°S/30°W-20°E (indicando enfraquecimento do jato polar) e entre o Equador-10°S/50°-32°W, abrangendo praticamente toda a região Nordeste e o nordeste do estado do Pará (ambas de até -4 m/s). Anomalias positivas são observadas sobre: o Pacífico Sul, entre 20°-25°S/95°-90°W (entre +2 e +3 m/s) e na mesma faixa latitudinal, entre 80°-70°W (até +4 m/s); o Atlântico Sul, entre 15°-30°S/60°-20°W (até +7 m/s), abrangendo os estados de Mato Grosso do Sul, sul de Goiás, Minas Gerais (exceto o norte), Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná (exceto o oeste/sudoeste); e o Atlântico Sul extratropical, entre 25°-35°S/5°W-20°E (até +3 m/s), sugerindo fortalecimento do jato subtropical.

Resfriamento anômalo no Atlântico Sul extratropical entre 20°-45°S é observado na TSM (Figura 15h): entre 40°-20°W (até -1°C), entre 10°W-0° (entre -0,4°C e -0,6°C) e entre 5°-20°E (até -1°C). Aquecimento anômalo da TSM é observado no Atlântico Sul tropical, entre o Equador-10°S/10°W-0° (até +0,4°C) e no Atlântico Sul extratropical, em áreas esparsas entre 45°-60°S/65°-50°W (até +0,6°C).

A ROLE (Figura 15i) apresenta convecção anômala muito intensa (inferior à -10 W/m²) entre 10°-40°S/60°-20°W, com orientação noroeste-sudeste entre o estado do Mato Grosso e a região Sudeste do país, o que sugere evento intenso de ZCAS. Supressão anômala da convecção ocorre sobre: o oeste da América do Sul, entre cerca de 15°-25°S/75°-70°W (até -1,2 W/m²); o interior do Rio Grande do Sul; o Atlântico Sul extratropical, entre cerca de 25°-38°S/50°-40°W, abrangendo o leste do Paraná (intensidade máxima superior à +10 W/m²); o Atlântico Norte tropical, entre 5°N-Equador/40°-35°W e entre 20°-10°N/40°-20°W (ambas com máximo superior à +10 W/m²).

Os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de janeiro estão associados com uma intensificação dos eventos de ZCAS, o qual foi determinante para os elevados totais de precipitação pluvial e também redução anômala da temperatura do ar sobre a área de estudo. Além disso, o aumento da nebulosidade pode ter sido responsável pelas anomalias negativas de TSM observadas sobre parte do Atlântico Sul tropical, já que impede que parte

da radiação solar chegue à superfície, conforme Chaves e Nobre (2004). O fortalecimento do jato subtropical e o enfraquecimento do jato polar permitiram o deslocamento do ar frio das altas latitudes em direção às latitudes tropicais, facilitando então o avanço das frentes e sistemas transientes em direção ao Brasil, contribuindo também para a ocorrência dos eventos extremos chuvosos. A crista anômala sobre o sul do Atlântico Sul e o enfraquecimento dos ventos de oeste climatológicos também podem ter apresentado influência sobre os eventos extremos, pois este padrão espacial é compatível com a fase negativa do Modo Anular Sul (SAM), conforme Rosso et al. (2018), Vasconcellos e Cavalcanti (2010) e Vasconcellos et al. (2019). Entretanto, nesta fase do SAM observa-se o fortalecimento do jato subtropical e enfraquecimento do jato polar, associado à supressão da ZCAS, o oposto do que observamos neste estudo. Portanto maiores estudos são necessários para compreensão deste padrão.

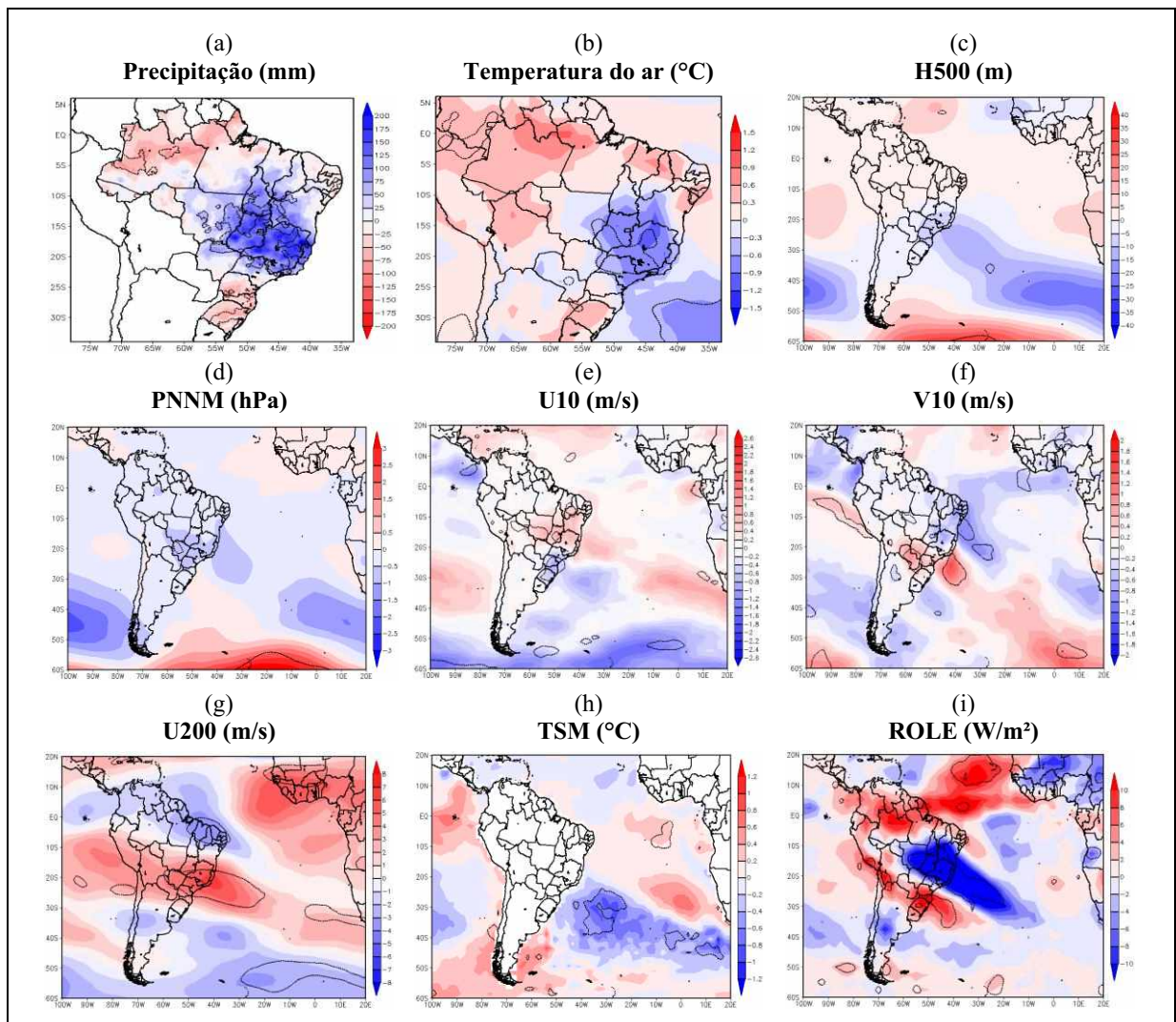


Figura 15 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de janeiro. Elaboração: autora (2019)

Durante os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de fevereiro, a precipitação pluvial (Figura 16a) apresenta aumento (máximo superior à +200 mm) entre cerca de 5°N-22°S/65°-45°W, abrangendo o oeste do estado de Minas Gerais, parte do noroeste e nordeste de São Paulo, sul e noroeste de Goiás, interior do Mato Grosso, sul do Pará, norte dos estados do Tocantins e do Mato Grosso do Sul e sul e nordeste do Acre. Diminuição anômala da precipitação pluvial de até -100 mm é observada na região Sul do Brasil (oeste do Paraná, oeste-sul de Santa Catarina e norte/centro/sudeste do Rio Grande do Sul) e em pequenas áreas no sul, interior e extremo do Amazonas, além de boa parte de Roraima (até -75 mm).

A temperatura do ar (Figura 16b) apresenta anomalias negativas entre 15°-30°S/55°-40°W (até -0,9°C em Minas Gerais, São Paulo e Goiás), abrangendo praticamente todo o estado de Minas Gerais (exceto o nordeste, extremo norte e extremo sudeste), São Paulo, Goiás (exceto o norte), sudeste do Mato Grosso, leste do Mato Grosso do Sul, norte e leste do Paraná, Santa Catarina (exceto o oeste), nordeste e sul/sudoeste do Rio Grande do Sul.

Um cavado anômalo é observado em 500 hPa (Figura 16c) entre 20°-35°S/65°-40°W (até -25 m), abrangendo o leste/sul do estado do Mato Grosso do Sul, São Paulo, sudoeste de Minas Gerais e toda a região Sul do Brasil. Por outro lado, uma crista anômala é observada sobre o sudoeste do Atlântico Sul extratropical, entre 45°-60°S/60°-40°W (máxima superior à +40 m).

Em baixos níveis, extensa área de anomalia positiva de PNNM (Figura 16d) é observada entre o Pacífico Norte e Sul tropical, entre 15°N-35°S/100°-70°W (até +1 hPa). Uma alta pressão anômala também é observada sobre o Atlântico Sul tropical, entre o Equador-20°S/25°W-15°E (até +1 hPa) e sobre o Atlântico Sul extratropical, entre 40°-50°S/40°-15°W (até +2,5 hPa). Uma baixa pressão anômala é encontrada sobre o Pacífico Sul extratropical, entre cerca de 30°-40°S/100°-95°W (até -2,5 hPa).

A componente zonal do vento a 10 m (Figura 16e) apresenta anomalias positivas sobre: o interior do Brasil, entre 10°-20°S/55°-40°W, abrangendo o interior e o oeste de Minas Gerais, sudoeste da Bahia, Goiás (exceto o oeste/noroeste) e extremo sudeste do Mato Grosso (máximo de +1 m/s); entre o noroeste do Mato Grosso e leste de Rondônia (até +0,6 m/s); Pacífico Sul, entre aproximadamente 22°-26°S/87°-77°S (até +0,6 m/s) e entre 20°-35°S/100°-85°W (até +1,6 m/s). Anomalias negativas são observadas sobre: o Atlântico Sul extratropical, entre 30°-45°S/55°-25°W e mais à sudeste, área entre 45°-50°S/10°-20°E (até -0,8 m/s); o Pacífico Sul extratropical, em cerca de 45°-51°S/100°-95°W (até -1 m/s).

A componente meridional do vento a 10 m (Figura 16f) apresenta anomalias de ventos de norte sobre: o Atlântico Sul tropical, entre cerca de 9° - 25° S/ 50° - 30° W (até -1 m/s), abrangendo o nordeste do estado de Minas Gerais, Bahia (exceto o nordeste e extremo sul), sul do Piauí e extremo sudeste do Tocantins; o interior do Brasil, entre aproximadamente 15° - 22° S/ 55° - 45° W (até -0,8 m/s), abrangendo parte do oeste de Minas Gerais, Goiás (exceto o norte), extremo sudeste do Mato Grosso e nordeste do Mato Grosso do Sul; o Pacífico Sul, entre aproximadamente 20° - 47° S/ 100° - 70° W (até -1,4 m/s). Anomalia de ventos de sul é observada entre 15° - 35° S/ 70° - 55° W (até +1,4 m/s), abrangendo o oeste do estado do Rio Grande do Sul. As anomalias de ventos de oeste e de norte sobre o Pacífico Sul e sobre o interior do Brasil sugerem enfraquecimento do Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul. Em conjunto com PNNM, foi observado neste campo, anomalia de baixa pressão em localização semelhante às anomalias de ventos de oeste e norte, no Pacífico Sul, o que corrobora a hipótese de enfraquecimento do Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul (ASPS).

Em altos níveis da troposfera, anomalias negativas de vento zonal em 200 hPa (Figura 16g) são observadas sobre: o Pacífico Sul extratropical, em área zonal entre 50° - 55° S/ 90° - 80° W (até -3 m/s); o Atlântico Sul extratropical entre 35° - 45° S/ 75° - 48° W (até -8 m/s), e entre cerca de 50° - 55° S/ 15° - 8° W (entre -1 e -2 m/s), sugerindo enfraquecimento do jato polar. Anomalias positivas são observadas: entre 10° - 30° S/ 80° - 40° W, abrangendo boa parte da região Sudeste do Brasil (exceto o norte/nordeste de Minas Gerais e maior parte do Espírito Santo), Goiás (exceto o norte), sul do Mato Grosso, os estados de Mato Grosso do Sul, Paraná e norte de Santa Catarina (máximo superior à +8 m/s), indicando fortalecimento do jato subtropical, e sobre o Atlântico Sul extratropical, entre cerca de 25° - 30° S/ 10° - 3° W (entre +1 e +2 m/s).

A TSM (Figura 16h) apresenta resfriamento anômalo sobre o Atlântico Sul tropical: entre o Equador- 5° S/ 10° - 5° W (até -0,6°C); entre 5° - 20° S/ 35° - 15° W (até -0,4°C); entre cerca de 15° - 23° S/ 40° - 35° W e em área meridional abrangendo o litoral do Espírito Santo e o extremo sul do litoral da Bahia (entre -0,2°C e -0,4°C). Aquecimento anômalo é observado no Atlântico Sul extratropical, na faixa entre 40° - 60° S, concentradas em: sudoeste do Atlântico Sul, entre 70° - 30° W, com máximos variando entre +0,4°C e +0,6°C, chegando a +0,8°C; em área próxima ao extremo sul da Argentina (entre 70° - 60° W); sudeste do Atlântico Sul, entre 10° - 20° E (três das quatro áreas com intensidade até +0,4°C e uma com intensidade até +0,8°C). Aquecimento é observado também no Pacífico Sul extratropical, entre 25° - 30° S/ 100° - 90° W (máximo entre +0,2°C e +0,4°C).

Convecção anômala (Figura 16i) é observada em área com orientação noroeste-sudeste, entre 10° - 25° S/ 60° - 40° W, abrangendo os estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e parte da região Centro-Oeste (máximo inferior à -10 W/m^2), compatível com eventos intensos de ZCAS. Supressão anômala da convecção é encontrada entre 20° - 35° S/ 65° - 50° W, abrangendo o estado do Rio Grande do Sul (exceto nordeste) e oeste dos estados de Santa Catarina e Paraná e sobre o Atlântico Norte tropical entre 20° - 5° N/ 85° - 30° W (máximo superior à $+10 \text{ W/m}^2$).

Deste modo, os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de fevereiro, assim como em janeiro, estão associados com eventos intensos de ZCAS, o que é fundamental para o aumento expressivo da precipitação pluvial e diminuição da temperatura sobre a área de estudo, bem como pode ter influenciado nas anomalias negativas de TSM sobre o Atlântico Sul Tropical (CHAVES; NOBRE, 2004). O enfraquecimento do jato polar e fortalecimento do jato subtropical estão associados à crista anômala no sudoeste do Atlântico Sul e ao cavado anômalo sobre a região Sul do país/sul do Sudeste e do Centro-Oeste, respectivamente, contribuindo para a penetração dos sistemas transientes em direção ao interior do Brasil. Também é observado um enfraquecimento do ASPS, cuja influência sobre os eventos extremos necessita de maiores investigações.

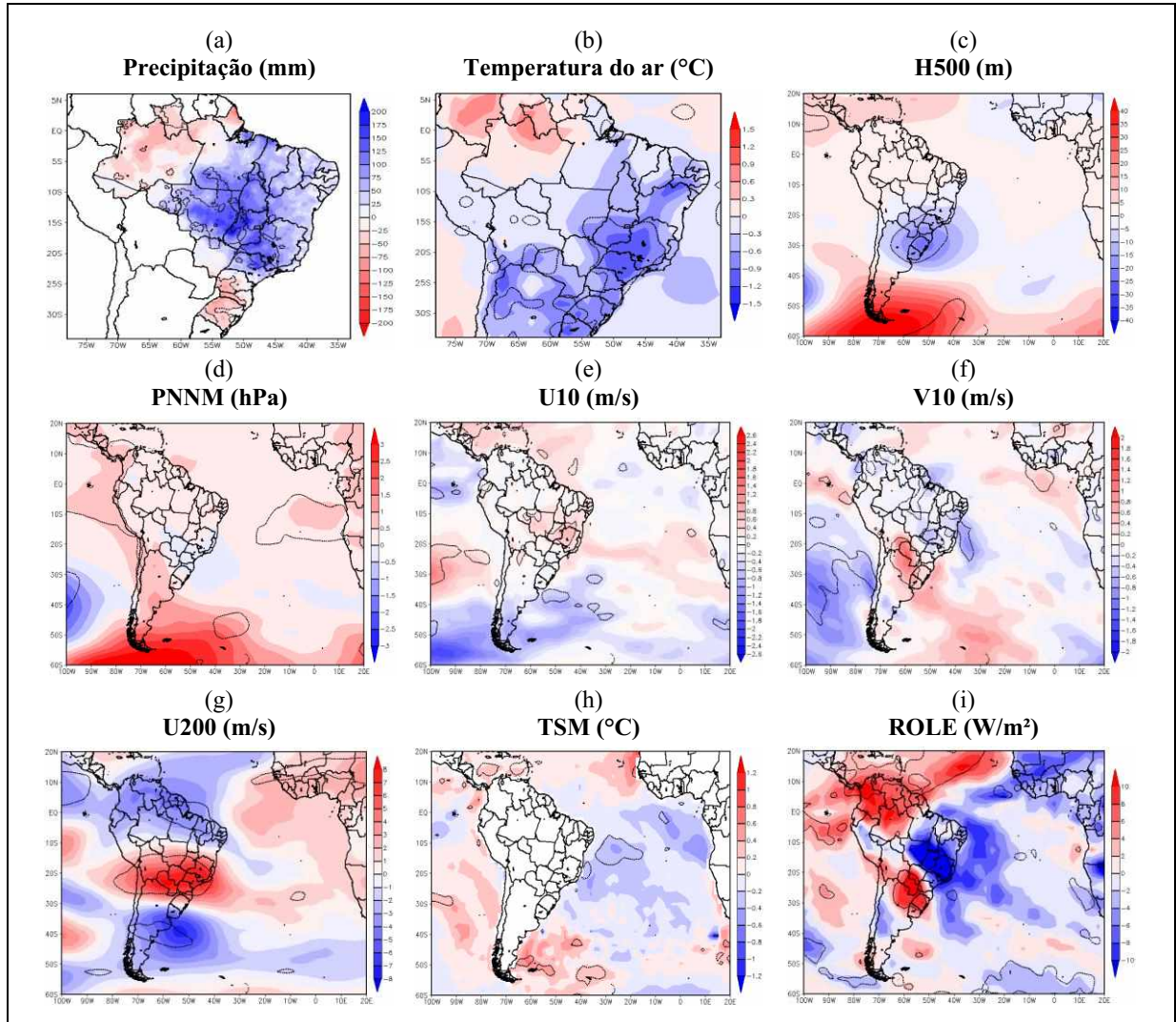


Figura 16 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de fevereiro. Elaboração: autora (2019).

4.4. EVENTOS EXTREMOS CHUVOSOS EM UBERLÂNDIA: INVERNO

Nos eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de junho, há um aumento da precipitação pluvial majoritariamente entre +50 e +125 mm, com áreas entre +125 e +150 mm sobre o sudeste do Mato Grosso do Sul e norte do Paraná, sobre parte do oeste e sul de Minas Gerais, São Paulo (exceto o sudeste), norte do Paraná, Mato Grosso do Sul (exceto o norte/noroeste) e sul de Goiás (Figura 17a). Áreas de aumento de até +25 mm também são observadas no interior, sul e sudoeste do Mato Grosso. Diminuição de precipitação pluvial (majoritariamente até -125 mm, com área entre -125 e -150 mm sobre o noroeste do Pará) é observada entre 5°N-10°S, abrangendo o extremo norte do Brasil e a região Nordeste (norte e sul do Maranhão, Piauí - exceto o sul e parte do oeste, Rio Grande do Norte - exceto o

sudoeste, oeste da Paraíba, interior de Pernambuco, Alagoas e oeste de Sergipe). Áreas de anomalias negativas mais intensas são observadas no Pará (até -150 mm), Roraima, Amapá e Alagoas (entre -100 e 125 mm).

A temperatura do ar (Figura 17b) apresenta aumento (até +0,9°C) sobre o nordeste do Amazonas, entre o nordeste do Maranhão, o extremo norte do Piauí e noroeste e sul do Ceará, extremo norte do Pará (até +0,6°C) e noroeste do Amazonas (até +0,3°C).

É observado um cavado anômalo em 500 hPa (Figura 17c) entre cerca de 12°-20°S/55°-35°W (até -10 m), abrangendo o sul do estado da Bahia, Goiás, sudeste do Mato Grosso e o Minas Gerais (exceto o sul/sudeste), além do Atlântico Sul extratropical, entre 35°-45°S/65°-42°W (até -40 m), sugerindo fortalecimento de área ciclogênica. Uma crista anômala é encontrada sobre o Atlântico Sul extratropical, entre 45°-55°S/35°-15°W (até +40 m).

Em baixos níveis, observa-se uma baixa PNNM anômala (Figura 17d) sobre o Atlântico Sul extratropical, próximo ao extremo sul do Brasil, entre 30°-45°S/60°-35°W (até -3 hPa), e também sobre o Pacífico Sul tropical, entre 10°-25°S/100°-70°W (até -1 hPa). Uma alta pressão anômala é observada entre o Atlântico Norte e Sul tropical, entre 5°N-15°S/40°W-10°E (até +1 hPa). As áreas de anomalia de baixa pressão sobre o sudoeste do Atlântico Sul apresentam localização semelhante em PNNM e H500 (estrutura barotrópica equivalente), que coincide com a área ciclogênica na América do Sul, sugerindo, portanto, fortalecimento desta área.

Anomalias de ventos de leste a 10 m (Figura 17e) são observadas entre o nordeste do Atlântico Sul tropical e sul do Atlântico Norte tropical, entre cerca de 13°N-8°S/70°-30°W (até -0,8 m/s), abrangendo o oeste do estado do Amazonas, oeste/noroeste do Pará, Amapá, extremo norte do Piauí e norte da região Nordeste (norte do Ceará, Rio Grande do Norte e leste dos estados da Paraíba e Pernambuco). Anomalias de ventos de oeste são observadas sobre: o Pacífico Norte e Sul tropical, entre 5°N-15°S/100°-80°W (até +0,6 m/s); o interior do Brasil, entre cerca de 10°-25°S/65°-48°S (até +0,8 m/s), abrangendo os estados de Roraima (exceto norte), Mato Grosso (exceto noroeste/nordeste e sul), oeste de Goiás, extremo oeste de Minas Gerais, leste do Mato Grosso do Sul e noroeste de São Paulo; entre cerca de 27°-33°S/62°-45°S (até +1 m/s), área zonal abrangendo o Rio Grande do Sul (exceto o norte); interior do Maranhão (até +0,4 m/s); e sobre Atlântico Sul extratropical, entre cerca de 57°-60°S/38°-15°W (até +1,4 m/s).

A componente meridional do vento a 10 m (Figura 17f) apresenta anomalias de ventos de norte sobre: o Pacífico Sul tropical, entre cerca de 8°-17°S/100°-82°W (até -0,6 m/s); o

Pacífico Norte tropical, entre cerca de 10° - 3° N/ 90° - 80° W (até -1,2 m/s); entre cerca de 8° - 33° S/ 52° - 20° W, abrangendo o leste da Bahia, os estados de Sergipe e Espírito Santo, leste e sul de Minas Gerais e o Rio de Janeiro e São Paulo (exceto o extremo sul) (até -1,8 m/s), apresentando maior intensidade sobre o Atlântico Sul (entre o litoral do Espírito Santo e da Bahia); Amapá (exceto o noroeste/nordeste e sudeste) e norte do Amazonas (até -0,4 m/s), entre o norte do Pará e do Maranhão e sobre o sul de Goiás (ambas de até -0,6 m/s). Anomalias de ventos de sul são observadas sobre o Pacífico Norte e Sul tropicais, entre 2° N- 5° S/ 100° - 90° W (até +1 m/s) e entre cerca de 10° N- 3° S/ 45° - 20° W (até +0,8 m/s). As anomalias de ventos de oeste e de norte sobre o Pacífico Sul com área em localização semelhante indicam enfraquecimento dos alísios de sudeste, sugerem enfraquecimento do ASPS, corroborado por anomalias de baixa PNMM nesta área. Anomalias de ventos de norte sobre o Atlântico Sul também podem indicar enfraquecimento dos alísios de sudeste.

Em altos níveis, anomalias negativas de vento zonal em 200 hPa (Figura 17g) são observadas sobre o Atlântico Sul extratropical, entre cerca de 38° - 48° S/ 55° - 40° W (até -6 m/s). Esta anomalia indica um cavado com estrutura barotrópica, corroborado pelas anomalias de baixa pressão em área semelhante em PNNM e U200. Anomalia positiva é observada sobre o Atlântico Norte tropical e Atlântico Sul tropical, entre cerca de 8° N- 15° S/ 60° W- 8° E (até +5 m/s), abrangendo o sudeste do estado de Roraima, leste do Amazonas, norte do Pará (exceto extremo norte), extremo norte do Tocantins, Maranhão (exceto os extremos norte e sul), Piauí (exceto o sul), Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e norte da Bahia.

A TSM (Figura 17h) apresenta uma área extensa de resfriamento anômalo (majoritariamente até $-0,6^{\circ}$ C, com máximos de $-0,8^{\circ}$ C no litoral da Bahia e próximo ao litoral da região Sudeste do Brasil e -1° C próximo à costa oeste da África) no Atlântico Sul tropical e subtropical, entre 15° N- 35° S/ 45° - 10° E, abrangendo todo o litoral da região Nordeste do Brasil e o litoral do Espírito Santo. Aquecimento anômalo é observado no Atlântico Sul extratropical, entre 35° - 60° S/ 55° W- 0° (majoritariamente até $+0,6^{\circ}$ C, com áreas esparsas com máximo de $+0,8^{\circ}$ C), no Pacífico Sul, entre cerca de 15° - 32° S/ 95° - 75° W (até $+1^{\circ}$ C) e entre o Pacífico Norte e Pacífico Sul tropicais, na faixa entre 2° N- 5° S/ 100° - 90° W e entre 80° - 90° W (ambas com máximo superior à $+1,2^{\circ}$ C), o que pode indicar a atuação de eventos de El Niño na região do Niño 1+2.

A ROLE (Figura 17i) apresenta convecção anômala intensa (máximo inferior à -10 W/m²) entre 10° - 30° S/ 60° - 30° W, abrangendo o leste e sul de Minas Gerais, Goiás (exceto o nordeste), centro e sudeste do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul (exceto o extremo

sudoeste), São Paulo, Rio de Janeiro e Paraná (exceto o sudoeste), e também sobre o Atlântico Sul extratropical, entre cerca de 32° - 42° S/ 32° - 12° W (majoritariamente entre -6 e -8 W/m², atingindo -10 W/m² mais ao norte na área da anomalia). Convecção anômala também é observada na mesma faixa latitudinal (entre 30° - 40° S) sobre o interior da Argentina, entre 70° - 55° W (até -10 W/m²) e com menor intensidade sobre o Atlântico Sul tropical: entre o Equador- 20° S/ 15° W- 15° E e entre 15° - 20° S/ 30° - 15° W (até -4 W/m²), e entre cerca de 22° - 27° S/ 2° - 10° E (até -6 W/m²). Supressão anômala da convecção é encontrada sobre: o norte e litoral norte/nordeste do Brasil, entre cerca de 5° N- 10° S/ 58° - 32° W (máximo superior à +10 W/m²); entre o Atlântico Norte e Atlântico Sul tropicais, entre 5° N- 5° S/ 35° - 20° W (até +8 W/m²); e entre cerca de 10° N- 3° S/ 22° - 7° W (até +10 W/m²), sugerindo deslocamento anômalo da ZCIT para o norte; sobre o Atlântico Sul extratropical, entre 50° - 60° S/ 50° - 25° W, e na mesma faixa latitudinal, entre cerca de 22° - 12° W (até +6 W/m²) .

Portanto, os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de junho estão associados com déficit de precipitação pluvial no norte e nordeste do Brasil e aumento de precipitação pluvial no Sul do Brasil, além de ausência de anomalias com significância de temperatura do ar sobre a área de estudo. As anomalias observadas sugerem um evento negativo de Dipolo do Atlântico Sul, conforme Bombardi et al. (2013): anomalias negativas de TSM sobre o Atlântico Sul Tropical que se estendem até a costa oeste da África e anomalias positivas de TSM sobre o Atlântico Sul extratropical, associada também à anomalias positivas de PNNM sobre todo o Atlântico Sul (estas, no nosso caso, apareceram com significância apenas sobre o norte do Atlântico Sul tropical). Os autores relacionaram o aumento da precipitação pluvial observado na fase negativa do Dipolo do Atlântico Sul à organização da ZCAS e aos ciclones extratropicais anômalos sobre o sudeste do Brasil. A ZCIT está localizada mais para norte, entretanto, no inverno esse deslocamento é típico, portanto não apresentando contribuição relevante para os extremos. O fortalecimento de área ciclogénica (entre 30° - 50° S) (corroborado pelas anomalias de baixa PNMM e pelo cavado com estrutura barotrópica, todos sobre o sudoeste do Atlântico Sul) e o enfraquecimento do ASPS também podem ter influência sobre os eventos extremos chuvosos em Uberlândia.

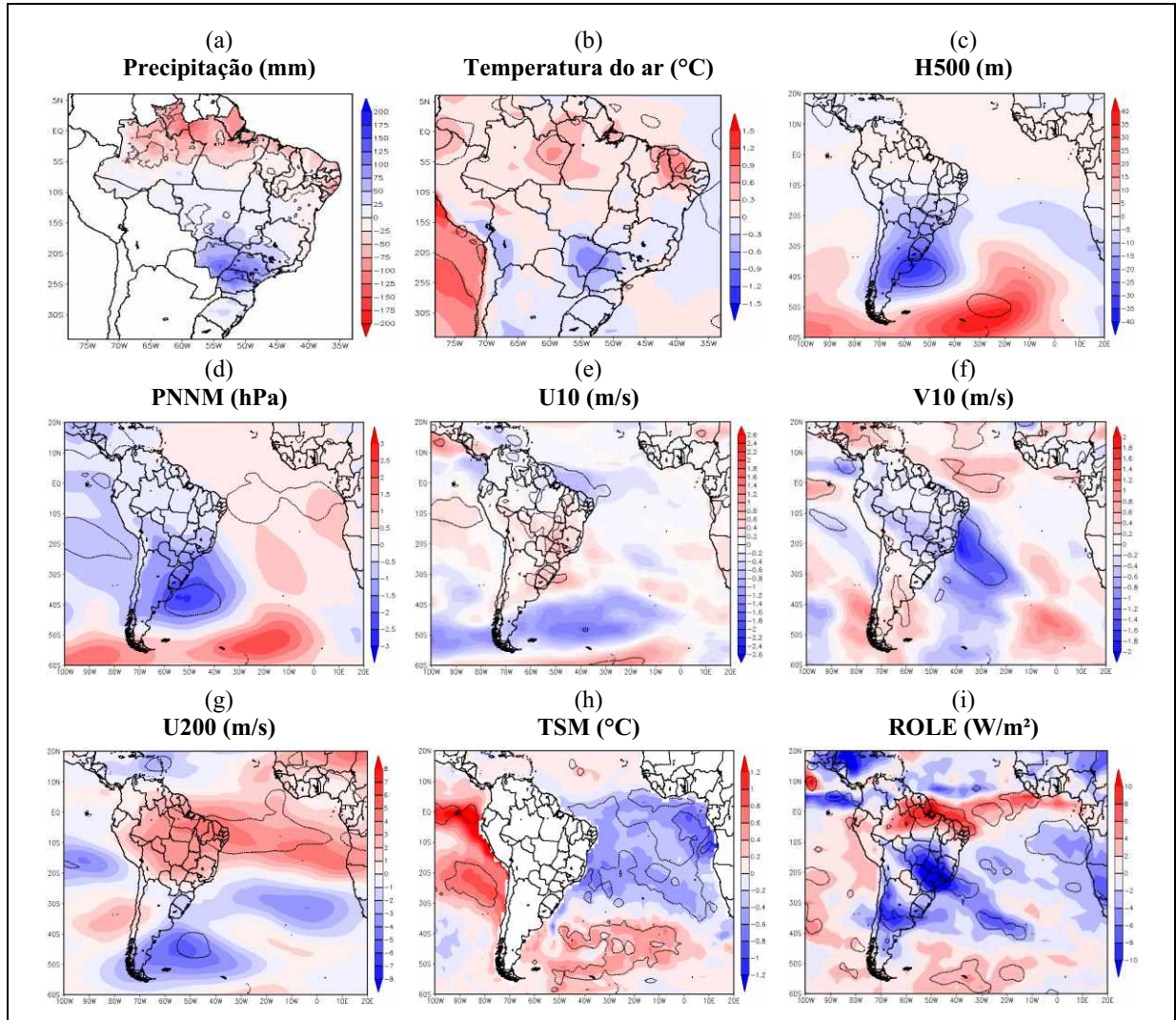


Figura 17 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de junho. Elaboração: autora (2019).

Durante os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de julho, a precipitação pluvial (Figura 18a) apresenta anomalias positivas (até +50 mm) em parte do oeste e no sul de Minas Gerais, norte de São Paulo, sul/sudeste de Goiás e em pequenas áreas no interior do Mato Grosso e Amazonas, sendo as áreas de anomalias positivas mais intensas no Triângulo Mineiro e sudoeste de Minas Gerais, sul de Goiás, norte de São Paulo e interior do Amazonas. Diminuição de precipitação pluvial (até -50 mm) é observada no extremo norte do Pará, oeste do Amapá e em áreas no sudoeste do Mato Grosso, leste do Tocantins, sul do Piauí, extremo norte da região Nordeste (até -75 mm no litoral do Rio Grande do Norte) e interior da Bahia, sendo as áreas de anomalias negativas mais intensas no Pará, Amapá e Rio Grande do Norte.

Aquecimento anômalo da temperatura do ar (majoritariamente entre +0,6°C e +0,9°C, atingindo +1,2°C no sul do Piauí) é observado entre cerca de 7°-15°S/50°-37°W, abrangendo

o norte e interior da Bahia, sul do Piauí e do Maranhão, leste do Tocantins e oeste de Alagoas e Sergipe (Figura 18b).

É observada uma crista anômala em 500 hPa (Figura 18c) sobre o Pacífico Sul tropical, entre cerca de 2°N - 5°S / 100° - 80°W (até +5 m), e entre cerca de 25° - 40°S / 78° - 88°W (até +35 m), esta última sugerindo fortalecimento do ASPS. Novamente, observa-se um padrão de alternância entre as anomalias de alta e baixa pressão (estas não apresentam significância estatística), entre 20° - 60°S , que pode sugerir um padrão de teleconexão. Em baixos níveis, uma anomalia positiva de PNNM (Figura 18d) é observada sobre o Pacífico Sul extratropical, localizada aproximadamente em 40°S / 80°W (até +2 hPa), corroborando a hipótese de fortalecimento do ASPS.

A componente zonal do vento a 10 m (Figura 18e) apresenta anomalias positivas (até +0,6 m/s) sobre o interior do Brasil: entre 15° - 20°S / 52° - 42°W , abrangendo o noroeste, parte do oeste e o centro do estado de Minas Gerais, centro/sudeste de Goiás e entre cerca de 17° - 22°S / 42° - 37°W , abrangendo o Espírito Santo (exceto o sudoeste (até +0,8 m/s). Anomalias negativas são encontradas sobre o Pacífico Sul extratropical, entre cerca de 25° - 32°S / 88° - 75°W (até -1,4 m/s) e sobre o nordeste do Atlântico Sul tropical, entre cerca de 5° - 20°S / 2° - 12°E (até -0,6 m/s).

Anomalias negativas de vento meridional a 10 m (Figura 18f) são observadas: sobre o Atlântico Norte tropical e norte do Brasil, entre cerca de 8°N - 12°S / 58° - 40°W , abrangendo o Amapá (exceto o sul), leste do Pará, Maranhão (exceto o nordeste e sudeste), norte e sul do Piauí, norte do Tocantins, e o nordeste da Bahia (até -0,8 m/s); em uma área zonal sobre o noroeste do Atlântico Sul tropical, entre cerca de 7° - 15°S / 40° - 18°W (até -1 m/s), abrangendo os estados do Alagoas, Sergipe e o nordeste da Bahia. Anomalia positiva é encontrada sobre o Pacífico Sul extratropical e parte do Chile, entre cerca de 30° - 40°S / 82° - 70°W (até +1,6 m/s).

Em altos níveis da troposfera, anomalia positiva de vento zonal em 200 hPa (Figura 18g) é observada entre cerca de 15° - 23°S / 70° - 32°W , abrangendo o leste da Bolívia, sul dos estados de Mato Grosso e Goiás, norte do Mato Grosso do Sul, Minas Gerais (exceto o norte e o sudoeste), sul do Espírito Santo, extremo norte de São Paulo e norte do Rio de Janeiro (majoritariamente entre +3 e +5 m/s), sugerindo fortalecimento do jato subtropical.

Aquecimento anômalo no Atlântico Sul é observado na TSM (Figura 18h), entre 20° - 30°S / 40° - 20°W e na faixa de 50° - 60°S / 20°W - 10°E , com anomalias máximas de até +0,4° C. Resfriamento anômalo é observado: no Atlântico Norte tropical, na faixa de 20°N -Equador (até -0,4 °C) e no leste do Atlântico Sul tropical, entre 10° - 20°S / 0° - 10°E (até -0,6°C); no leste

do Pacífico Sul, entre 20°-35°S (até -0,8°C) e entre 40°-60°S (até -0,4°C); e no sudoeste do Atlântico Sul extratropical, entre aproximadamente 42°-55°S/60°W (até -0,4°C).

A ROLE (Figura 18i) apresenta convecção anômala: entre 18°-30°S/55°-28°W (máximo inferior à -10 W/m²), abrangendo parte do oeste e o sul de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo (exceto o sul do estado), leste do Mato Grosso do Sul e extremo sul de Goiás; Atlântico Sul extratropical, entre cerca de 48°-52°S/67°-60°W e entre cerca de 52°-58°S/58°-48°W; Atlântico Sul tropical, em área meridional entre cerca de 5°-22°S/0°-10°E (todas de até -4 W/m²) e entre cerca de 19°-27°S/25°-8°W (entre -2 e -6 W/m²). Supressão anômala da convecção é encontrada: sobre o Atlântico Norte e Atlântico Sul tropicais (entre 15°N-12°S /80°-20°W), abrangendo o extremo norte do Brasil (extremo noroeste do Amazonas, norte de Roraima, extremo norte do Pará, Amapá e nordeste do Rio Grande do Norte), o que sugere supressão anômala da ZCIT; Atlântico Sul extratropical, entre cerca de 35°-42°S/68°-50°W (até +10 W/m²), e na mesma faixa latitudinal, entre 42°-50°W (até +8 W/m²), além de três áreas esparsas, entre 40°-50°S/60°-20°W e em área entre cerca de 52°-60°S/20°W-10°E, todas com intensidade máxima de -4 W/m².

Os eventos extremos chuvoso em Uberlândia no mês de julho são associados com um fortalecimento do jato subtropical facilitando o avanço das frentes e demais sistemas transientes em direção ao interior do Brasil. O fortalecimento do ASPS pode contribuir com aumento da ressurgência na costa oeste do Atlântico Sul, resultando em anomalias negativas de TSM próximo ao Sul na América do Sul. A influência do fortalecimento do ASPS nos eventos extremos chuvosos necessita de maiores investigações. A ZCIT aparece novamente enfraquecida e também há a possibilidade de um possível padrão de teleconexão atuando neste mês, conforme padrão de alternância de anomalias observado no campo altura geopotencial em 500 hPa. Não houve alteração de temperatura do ar sobre a área de estudo.

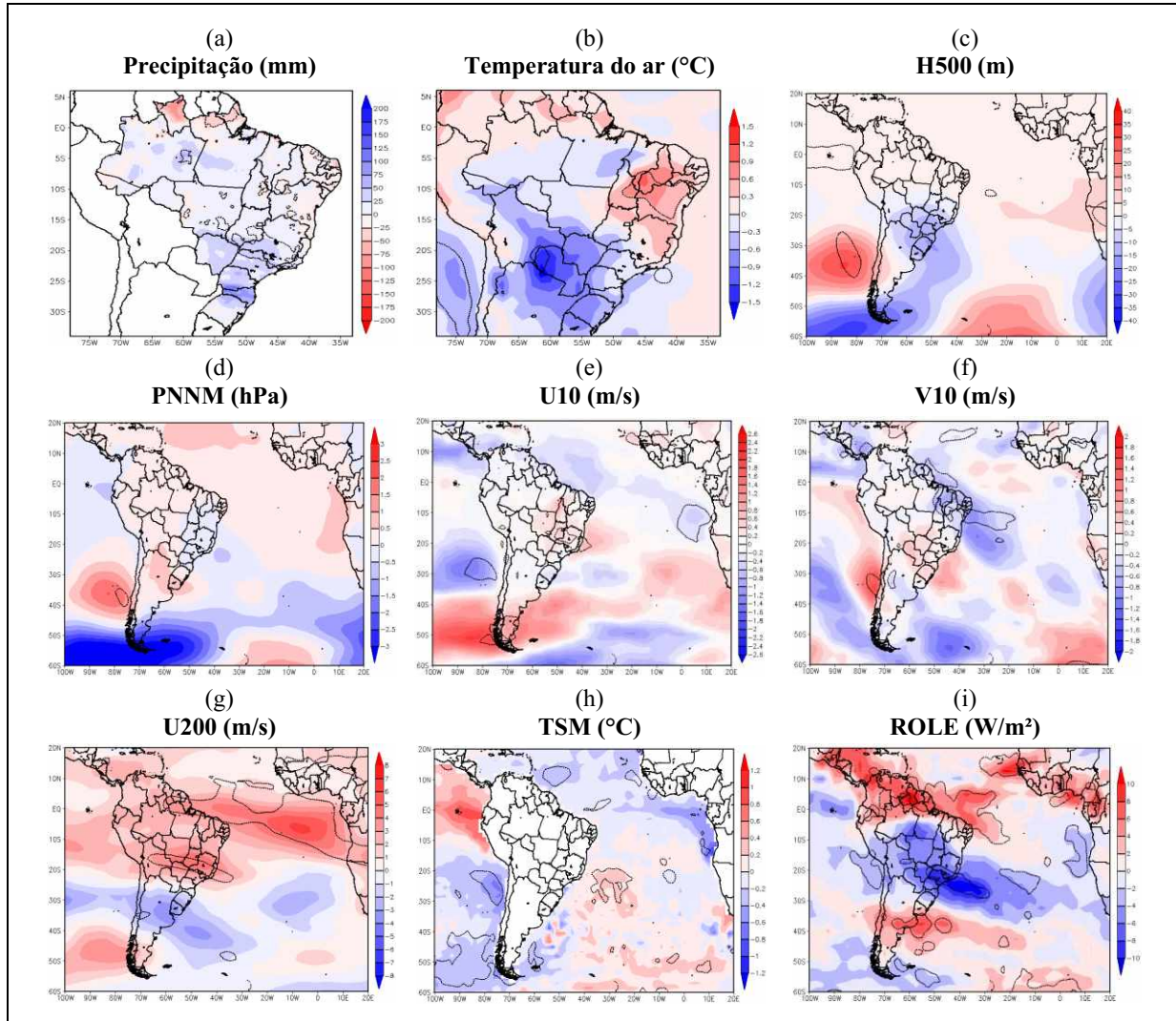


Figura 18 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de julho. Elaboração: autora (2019).

Durante os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de agosto, há aumento na precipitação pluvial (Figura 19a) entre cerca de 7°-27°S/60°-40°W (até +100 mm, com áreas entre +125 e +150 mm sobre o sudoeste do Paraná, oeste e nordeste de Santa Catarina), que vai desde o oeste e sul do Mato Grosso, até o norte de Santa Catarina, abrangendo também Minas Gerais (exceto o norte/nordeste), sul do Espírito Santo, São Paulo (exceto o sudeste), Mato Grosso do Sul (exceto o oeste e o sul) e Paraná. Áreas de aumento anômalo de precipitação pluvial também ocorrem sobre o litoral leste da região Nordeste (até +75 mm), em áreas no norte e sul de Rondônia e no extremo sudoeste do Amazonas (entre 0 e +25 mm). Diminuição anômala de precipitação pluvial é observada em Roraima (até -75 mm) e em áreas no interior e extremo norte do Amazonas (até -50 mm), norte da Bahia e interior do Piauí (entre 0 e +25 mm).

A temperatura do ar (Figura 19b) apresenta aquecimento anômalo entre cerca de 7°-25°S/45°-35°W (até +0,6°C), abrangendo o sudeste do Piauí, norte da Bahia, extremo sul da Paraíba, Pernambuco (exceto o norte), Alagoas e Sergipe. Resfriamento anômalo é observado entre o sudeste do Mato Grosso do Sul, oeste de São Paulo e noroeste do Paraná (até -1,2°C).

Um cavado anômalo em 500 hPa (Figura 19c) é observado entre cerca de 15°-28°S/62°-45°W (até -20 m), abrangendo parte do extremo oeste do estado de Minas Gerais, São Paulo (exceto o extremo leste), extremo sul de Goiás e do Mato Grosso, os estados de Mato Grosso do Sul e Paraná e extremo norte do estado de Santa Catarina. Uma crista anômala (máximo superior à +40 m) ocorre sobre o Atlântico Sul extratropical, entre 55°-60°S/25°W-15°E. Observa-se um padrão de alternância entre as anomalias de alta e baixa pressão, entre 20°-60°S, que pode indicar um possível padrão de teleconexão, mesmo que não haja significância estatística em todas as anomalias. Em baixos níveis, uma alta PNMM anômala é encontrada (Figura 19d) sobre o Atlântico Sul extratropical, entre 55°-60°S/15°W e 20°E (máximo superior à +3 hPa).

A componente meridional do vento a 10 m (Figura 19f) apresenta anomalia de ventos de norte sobre o oeste do Atlântico Sul tropical, entre o Equador-20°S/42°-23°W (até -1 m/s), sugerindo enfraquecimento dos alísios de sudeste. A componente zonal do vento a 10 m não apresenta anomalias com significância estatística para a área de estudo (Figura 19e).

Em altos níveis, anomalias de ventos de oeste em 200 hPa (Figura 19g) são observadas entre 15°-25°S/65°-30°W (até +6 m/s), abrangendo o sul dos estados de Mato Grosso e Goiás, Minas Gerais e Espírito Santo (exceto o norte de ambos), Rio de Janeiro, norte de São Paulo e Mato Grosso do Sul, sugerindo fortalecimento do jato subtropical. Anomalias de ventos de leste (até -4 m/s) são observadas entre cerca de 32°-38°S/65°-50°W, próximo ao extremo sul do Brasil e sobre Atlântico Sul: entre cerca de 20°-30°S/8°W-10°E (indicando enfraquecimento do jato polar) e entre cerca de 47°-52°S/8°W-2°E.

A TSM (Figura 19h) apresenta aquecimento anômalo no Atlântico Sul tropical, entre 5°-25°S/40°-15°W (majoritariamente até +0,4°C, com áreas entre +0,4°C e +0,6°C); Atlântico Sul extratropical, em área zonal entre cerca de 55°-58°S/25°W-5°E (até +0,6°C). Resfriamento anômalo é observado no Atlântico Sul extratropical, entre cerca de 30°-38°S/48°-32°W (até -0,6°C).

Convecção anômala (Figura 19i) em área com orientação noroeste-sudeste é observada entre cerca de 8°-32°S/65°-20°W, entre o sudeste do Amazonas e litoral da região Sudeste (máxima superior à +10 W/m²), seguida de outra área de convecção anômala sobre o Atlântico Sul, entre 15°-35°S/10°W-10°E (até +6 W/m²).

Desta forma, durante os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de agosto o jato subtropical está fortalecido, associado ao cavado anômalo entre 15°-28°S/ 62°-45°W e o jato polar está enfraquecido, facilitando a penetração das frentes frias e sistemas transientes para o interior do Brasil. O enfraquecimento dos alísios de sudeste, indica um enfraquecimento do ASAS. O aumento na precipitação pluvial não ocasiona alterações na temperatura do ar com significância estatística sobre a área de estudo. A supressão de convecção anômala no norte da América do Sul pode estar associada a um possível padrão de teleconexão (conforme padrão espacial de alternância entre as anomalias observadas de altura geopotencial em 500 hPa).

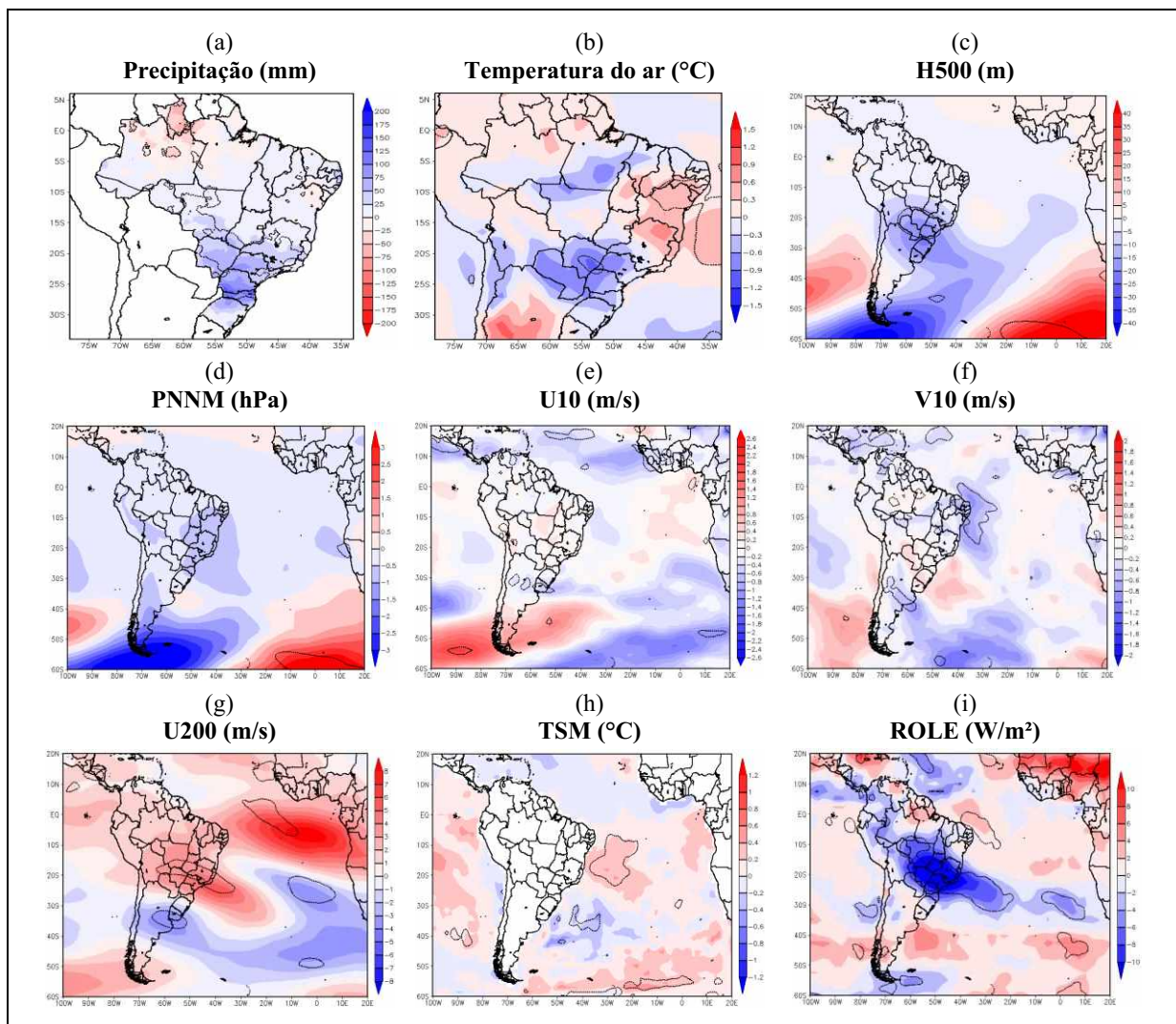


Figura 19 - Similar à Figura 8, mas durante os eventos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de agosto. Elaboração: autora (2019).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou compreender quais os padrões de circulação atmosférica associados aos eventos extremos secos e chuvosos em Uberlândia durante os meses de verão e inverno, no período de 1980 a 2015, através de dados de reanálises climáticas do ERA-Interim/NOAA-ESRL e do conjunto de dados de Xavier et al. (2017).

A síntese dos resultados pode ser observada através das Tabelas 2 e 3. Durante os eventos extremos secos, o déficit de precipitação pluvial ocorre em grande parte do Brasil em quatro (dezembro, janeiro, julho e agosto) dos seis meses analisados (apenas em fevereiro e junho a redução concentra-se na região tropical do país). A temperatura do ar apresenta aquecimento em boa parte do país nos meses de dezembro e janeiro, e em parte das regiões Sudeste e Nordeste (fevereiro e junho), além de parte da região Sul (fevereiro). Em relação ao padrão anômalo de circulação atmosférica, o fortalecimento do ASAS desempenhou papel relevante em todos os meses analisados.

Nos meses de verão, a ZCIT apresenta deslocamento anômalo para norte, associando-se à supressão/enfraquecimento da ZCAS, ao enfraquecimento do jato subtropical (janeiro e fevereiro) e ao enfraquecimento do ramo sul e fortalecimento do ramo norte do jato polar (dezembro). Esses fatores favorecem a manutenção de tempo estável, diminuição da atividade convectiva e desfavorecem o avanço dos sistemas transientes em direção à região Sudeste do Brasil. Adicionalmente, o padrão tripolo de anomalias de TSM no Atlântico Sul (janeiro) também favorece condições secas na região. Por fim, há indicativos de que um padrão de teleconexão (dezembro) e um evento de La Niña na região do Niño 1+2 (fevereiro) também possam ter contribuído para a ocorrência destes eventos extremos secos.

Nos meses de inverno, o jato subtropical apresenta enfraquecimento (junho e julho), associado com fortalecimento do jato polar (junho) ou fortalecimento do ramo norte e enfraquecimento do ramo sul (julho), TSM (padrão tripolo no Atlântico Sul em junho), fortalecimento do ASAS (todo o sistema em junho, ramo oeste em julho e ramo noroeste em agosto), enfraquecimento do Anticiclone Subtropical do Atlântico Norte (agosto), deslocamento e manutenção da ZCIT ainda mais ao norte do que o normal (julho e agosto), consoante com aquecimento no Atlântico Norte tropical e resfriamento no Atlântico Sul tropical (julho e agosto). Adicionalmente, um padrão de teleconexão pode ter contribuído para a ocorrência dos eventos extremos secos (julho).

Em relação aos eventos extremos chuvosos, o aumento da precipitação pluvial concentra-se sobre as regiões Sudeste e Centro-Oeste do país, abrangendo também parte da

região Sul nos meses de junho e julho. No mês de junho também é observado déficit significativo sobre as regiões Norte e Nordeste. A temperatura do ar apresenta alterações significativas (resfriamento) sobre a área de estudo apenas nos meses de janeiro e fevereiro. É interessante observar que, relativo ao padrão anômalo de circulação atmosférica, há indicações de padrões de teleconexões associados à ocorrência dos eventos extremos chuvosos em praticamente todos os meses analisados (exceto fevereiro): padrões que necessitam de investigações (dezembro, julho e agosto), fase negativa do SAM (janeiro) e evento negativo do Dipolo do Atlântico Sul (junho).

Na estação do verão, a ZCAS apresenta intensificação de sua atividade (janeiro e fevereiro), associada ao fortalecimento do jato polar e ao enfraquecimento do jato subtropical, à uma crista anômala sobre o Atlântico Sul: sul (janeiro) e sudoeste (fevereiro) e à um cavado anômalo sobre as região Sul e parte das regiões Sudeste e Centro-Oeste do país (fevereiro). Este padrão de circulação permite o deslocamento do ar frio das altas latitudes em direção ao interior do Brasil, facilitando assim a penetração dos sistemas transientes e favorecendo a convecção na zona de atuação da ZCAS. O aumento da nebulosidade sobre a parte oceânica da ZCAS pode ter sido o responsável pelas anomalias negativas de TSM observadas sobre o Atlântico Sul tropical (fevereiro), bem como o enfraquecimento do ASPS pode ter exercido influência sobre os eventos extremos deste mês. No mês de dezembro outro padrão atua: o fortalecimento dos alísios de nordeste associados aos ventos de norte e de oeste sobre a região de atuação dos jatos de baixos níveis, os quais favorecem o aporte de umidade sobre o interior do Brasil e, por sua vez, a convecção e precipitação pluvial sobre a região Sudeste. Entretanto, não há a atuação de eventos de ZCAS.

Na estação do inverno, o jato subtropical apresenta fortalecimento (julho e agosto), associado à um enfraquecimento do jato polar e do ASAS (agosto). Esse cenário favorece a penetração dos sistemas transientes durante a estação seca, contribuindo para os acumulados de precipitação pluvial acima da média para o período sobre a área de estudo. O ASPS apresenta fortalecimento (julho), fato que pode contribuir para o aumento da ressurgência na costa oeste do Atlântico Sul e, portanto, favorecer o resfriamento da TSM próximo ao sul da América do Sul. O enfraquecimento do ASPS (junho) também pode ter favorecido a ocorrência dos eventos extremos deste mês, bem como as anomalias de TSM no Atlântico Sul (indicativas de fase negativa do Dipolo do Atlântico Sul).

Dado o exposto, é notável que os eventos extremos secos apresentam um padrão de circulação atmosférico associado mais claro e definido do que os eventos extremos chuvosos, nos quais vários meses analisados apresentam fatores específicos individualmente e poucos

fatores comuns entre si. Os indicativos parecem apontar para a atuação de padrões de teleconexão (possivelmente distintos) como fator preponderante para a ocorrência dos extremos chuvosos.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Investigar a influência dos padrões de teleconexão na ocorrência dos eventos extremos secos e chuvosos em Uberlândia;
- Analisar os eventos extremos com diferentes persistências (*e.g.*, 3 meses, 6 meses, 1 ano) e para todos os meses do ano;
- Analisar a relação entre o ASPS e a ressurgência na costa leste do Pacífico Sul extratropical e como a atuação de ambos pode contribuir para a ocorrência de eventos extremos de precipitação pluvial na região Sudeste do Brasil;
- Analisar a relação entre a posição anômala do ASAS e os bloqueios atmosféricos, bem como ambos podem contribuir para a ocorrência de eventos extremos de precipitação pluvial na região Sudeste do Brasil.

Tabela 2 - Síntese dos resultados observados para os eventos extremos secos em Uberlândia - MG (1980-2015). Fonte: autora (2019).

Parâmetros	DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO	JUNHO	JULHO	AGOSTO
Precipitação pluvial	Redução em grande parte do país	Redução em grande parte do país	Redução em grande parte da região tropical do país	Redução em grande parte da região tropical do país	Redução em grande parte do país	Redução em grande parte do país
Temperatura do ar	Acompanha aquecimento	Acompanha aquecimento	Aquecimento sobre parte das regiões Sudeste, Sul e Nordeste	Aquecimento sobre a região Sudeste e parte do Nordeste	–	–
Bloqueio	Crista no Pacífico Sudeste (pode ser bloqueio)	–	–	–	–	–
Teleconexão	Possível teleconexão	–	Possível La Niña na região do Niño 1+2	–	Possível teleconexão	–
Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul	Fortalecido nos ramos sul e oeste	Fortalecido e deslocado para a costa leste do Brasil	Fortalecido nos ramos oeste, leste e norte	Fortalecido nos ramos sul e oeste	Fortalecido nos ramos oeste e noroeste/ enfraquecido no centro	Fortalecido e Anticiclone Subtropical do Atlântico Norte enfraquecido
Jato polar	Enfraquecido no ramo sul e fortalecido no ramo norte (indica sistemas transientes no sul do Atlântico Sul)	–	–	Fortalecido	Enfraquecido no ramo sul e fortalecido no ramo norte (indica sistemas transientes no sul do Atlântico Sul)	–
Jato subtropical	–	Enfraquecido	Enfraquecido	Enfraquecido	Enfraquecido	Fortalecido
Temperatura da superfície do mar	–	Padrão tripolo (frio/quente/frio)	Resfriamento no Pacífico equatorial (pode indicar evento de La Niña na região do Niño 1+2)	Possível padrão tripolo (frio/quente/frio)	–	Aquecimento no Atlântico Norte tropical e resfriamento no Atlântico Sul tropical (litoral do Nordeste)
Zona de Convergência Intertropical	Deslocamento para o norte	Deslocamento para o norte	Deslocamento para o norte	–	Fortalecimento e/ou deslocamento para o norte	Fortalecimento e/ou deslocamento para o norte
Zona de Convergência do Atlântico Sul	Enfraquecida	Enfraquecida	Enfraquecida	(Não se aplica)	(Não se aplica)	(Não se aplica)

Tabela 3 - Síntese dos resultados observados para os eventos extremos chuvosos em Uberlândia - MG (1980-2015). Fonte: autora (2019).

Parâmetros	DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO	JUNHO	JULHO	AGOSTO
Precipitação pluvial	Aumento sobre o interior das regiões Sudeste e Centro-Oeste	Aumento sobre o interior das regiões Sudeste e Centro-Oeste	Aumento sobre o interior do Brasil (partes das regiões Sudeste e Centro-Oeste)	Déficit sobre as regiões Norte e Nordeste. Aumento em parte das regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul	Aumento concentrado entre o interior da região Sudeste e sul/sudeste do estado de Goiás	Aumento sobre parte das regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul
Temperatura do ar	–	Resfriamento sobre o interior da região Sudeste e parte do Centro-Oeste	Resfriamento sobre grande parte da região Sudeste e partes do Centro-Oeste e Sul	–	–	–
Crista/cavado	–	Crista anômala sobre o sul do Atlântico Sul	Crista anômala sobre o sudoeste do Atlântico Sul e cavado sobre a região Sul e parte das regiões Sudeste e Centro-Oeste	Cavado sobre o sudoeste do Atlântico Sul (fortalecimento de área ciclogênica)	–	–
Teleconexão	Possível teleconexão	Possível fase negativa do SAM	–	Possível evento negativo de Dipolo do Atlântico Sul El Niño no Niño 1+2	Possível teleconexão	Possível teleconexão
Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul	–	–	–	–	–	Enfraquecido
Ventos alísios	Alísios de nordeste fortalecidos					
Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul	–	–	Enfraquecido	Enfraquecido	Fortalecido (pode contribuir com a ressurgência na costa oeste do Atlântico Sul)	–
Jato polar	–	Enfraquecido (facilita avanço dos sistemas transientes)	Enfraquecido	–	–	Enfraquecido (facilita avanço dos sistemas transientes)
Jato subtropical	–	Fortalecido	Fortalecido	–	Fortalecido (facilita avanço dos sistemas transientes)	Fortalecido (facilita avanço dos sistemas transientes)
Temperatura da superfície do mar	–	–	Resfriamento no Atlântico Sul tropical (possivelmente consequência da ROLR negativa)	Resfriamento no Atlântico Sul tropical e aquecimento no Atlântico Sul extratropical	Resfriamento sobre o Sul da América do Sul (pode ser consequência do Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul fortalecido - aumento da ressurgência)	–
Jatos de baixos níveis	Fortalecidos em direção à região Sudeste	–	–	–	–	–
Zona de Convergência do Atlântico Sul	–	Fortalecida	Fortalecida	(Não se aplica)	(Não se aplica)	(Não se aplica)

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. L. de; BARROSO, T. P. Caracterização climática dos ventos associados a eventos de precipitação extrema em Belo Horizonte-MG. X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Anais... Rio de Janeiro: 2003 Disponível em: <http://www.cibergeo.org/XSBGFA/eixo3/3.4/019/019.htm>>. Acesso em: 12. set. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2018: informe anual. Brasília: ANA, 2018.
- BERRISFORD, P. et al. The ERA-interim archive. ERA report series, n. 1, p. 1-16, 2009.
- BEZERRA, J. M. Configuração meteorológica do verão (2013-2014) anormalmente quente das regiões Sul e Sudeste do Brasil. 2016. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/3694>. Acesso em: 01. out. 2019
- BIER, A. A. Eventos extremos secos sobre a região sudeste do Brasil durante a estação de verão. 2017. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/13243/DIS_PPGMETEOROLOGIA_2017_BIER_ANDERSON.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 06. set. 2019
- BOLETIM DE MONITORAMENTO CLIMÁTICO MENSAL PARA UBERLÂNDIA-MG. Uberlândia: UFU, 2018. Disponível em: <https://lcrhufu.wixsite.com/lcrh/boletim-do-clima>. Acesso em: 29. out. 2019.
- BOMBARDI, R. J. et al. Precipitation over eastern South America and the South Atlantic Sea surface temperature during neutral ENSO periods. *Climate Dynamics*, v. 42, p.1553-1568, 2013.
- BORSATO, V. A. A dinâmica climática do Brasil e as massas de ares. 1 ed. Curitiba: CRV, 2016.
- CARPENEDO, C. B. Atividade convectiva associada às anomalias de temperatura da superfície do mar no Atlântico tropical e impactos climáticos no estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. Esp., p. 64-86, 2018.
- CARPENEDO, C. B.; LIMA, M. P. O evento extremo seco em julho de 2017 na região extratropical do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 18., 2019, Fortaleza.

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

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

CASARIN, D. P.; KOUSKY, V. E. Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 1, p. 83-90, 1986

CAVALCANTI, I. F. A. Variabilidade interanual da precipitação no Sudeste do Brasil no período 1985-2014 e configurações de extremos. *Revista Climanálise - edição especial de 30 anos*, São Paulo, ano 4, p. 13-18, nov. 2016. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/cavalcanti.pdf>. Acesso em: 09 out. 2019

CAVALCANTI, I. F. A.; AMBRIZZI, T. Teleconexões e suas influências no Brasil. In: *Tempo e clima no Brasil* [S.l: s.n.], 2009.

CHAVES, R. R.; NOBRE, P. Interactions between sea surface temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone. *Geophysical Research Letters*, v. 31, L03204, p.1-4. 2004.

CHIQUETTO, J. B. Padrões atmosféricos associados a concentrações de ozônio troposférico na região metropolitana de São Paulo. Tese (Doutorado em Geografia Física) – São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008.

COELHO, A. S; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F, A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil. *Revista Climanálise - edição especial de 30 anos*, São Paulo, ano 4, p. 55-61, nov. 2016. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/Coelhoetal.pdf>. Acesso em: 05 set. 2019

COELHO, C. A. S. et al. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. *Climate Dynamics*, v.46, n.11-12, p.3737-3752, 15 ago. 2015.

COLLINS, M. et al. Chapter 6: Extremes, Abrupt Changes and Managing Risks. In: ABRAM, N. et al. *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. Genebra: IPCC, 2019. Disponível em: https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_FinalDraft_Chapter6.pdf. Acesso em: 01. nov. 2019

CRUZ, G. S. Manutenção da corrente de jato sobre a América do Sul. 1998. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003. Disponível em:

<http://marte3.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2003/05.05.13.22/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 27. set. 2019

DEE, Dick P. et al. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the royal meteorological society*, v. 137, n. 656, p. 553-597, 2011

DEGOLA, T. S. D. Impactos e variabilidade do anticiclone subtropical do atlântico sul sobre o brasil no clima presente e em cenários futuros. São Paulo, 2013. 112 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: http://www.iag.usp.br/pos/sites/default/files/d_thiago_s_d_degola_corrigida.pdf. Acesso em: 06 set. 2019

ESCOBAR, G. Tempo e clima no brasil. Jatos de altos níveis. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 463p., 2009.

FERREIRA, R. N. et al. Variability of South American convective cloud systems and tropospheric circulation during January–March 1998 and 1999. *Monthly Weather Review*, v. 131, n. 5, p. 961–973, mai. 2003. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/1520-0493%282003%29131%3C0961%3AVOSACC%3E2.0.CO%3B2>. Acesso em: 11. out. 2019.

IBGE. Censo Demográfico. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. v. 15, 2010

IBGE. Cidades: Minas Gerais - Uberlândia. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2019b. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/uberlandia/panorama>. Acesso em: 12 Set. 2019.

IBGE. Contagem da População, 1996: Resultados relativos a Sexo da População e Situação da Unidade Domiciliar. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 1997. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/17374-indicadores-sociais-minimos.html?=&t=resultados>. Acesso em: 4 out. 2019.

IBGE. Indicadores Sociais Mínimos - ISM: Aspectos demográficos. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2019a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/17374-indicadores-sociais-minimos.html?=&t=resultados>. Acesso em: 4 out. 2019.

IBGE. Sistema de Contas Regionais - SCR: Especiais 2010_2016. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9054-contas-regionais-do-brasil.html?=&t=downloads>. Acesso em: 4 out. 2019

KÖPPEN, W. Das geographischa System der Klimate. Gebr, Borntraeger, 1936, p. 1-44.

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.3, n.1, p. 217-231, junho 1988

LEITE, E. S. Sistemas atmosféricos, precipitações intensas e impactos na cidade de Uberlândia - MG. 2019. 185 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.608>

LIMA, K. C.; SATYAMURTY, P.; FERNÁNDEZ, J. P. R. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in southeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 101, n. 1-2, p. 121-135, 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-009-0207-9>

LIMA, M. L. et al. Padrão de circulação atmosférica associado à ocorrência do evento extremo seco em Uberlândia – MG durante dezembro de 2014. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 13., 2018, Juiz de Fora.

MARENGO, J. A. et al. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. *Revista USP*, São Paulo, n. 106, p.31-44, julho/agosto/setembro 2015.

MARENGO, J. A. et al. Climatology of the low-Level jet east of the Andes as derived from the NCEP–NCAR Reanalyses: characteristics and temporal variability. *Journal of Climate*, v. 17, n. 12, p.2261-2280, 2004. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/1520-0442%282004%29017%3C2261%3ACOTLJE%3E2.0.CO%3B2>. Acesso em: 11 out. 2019

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. In: UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE CONFERENCE, 15, 2009, Copenhagen. *Mudanças Climáticas e Eventos Extremos no Brasil*, Rio de Janeiro: FBDS, 2009. p. 4-19.

MELO, A. B. C.; Cavalcanti, I. F. A; SOUZA, P. P. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: *Tempo e clima no Brasil*[S.l: s.n.], 2009.

MENDES, M. C. D. et al. Blocking Episodes in the Southern Hemisphere: Impact on the Climate of Adjacent Continental Areas. *Pure Appl. Geophys. (Printed ed.)*, v.165, p.1941-1962, 2008.

MENDES, M. C. D. et al. Climatologia de bloqueios sobre o Oceano Pacífico Sul: período de 1960 a 2000. *Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso)*, v.20, p.175-190, 2005.

MICHELOTTO, L. D. G.; ARAUJO SOBRINHO, F. L. A urbanização dispersa da cidade de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. *Para Onde!?*, [S.l.], v. 9, n. 2, p. 61-67, abr. 2018. ISSN 1982-0003. Disponível em: <https://seer.ufgrs.br/paraonde/article/view/82789>. Acesso em: 14 out. 2019. doi:<https://doi.org/10.22456/1982-0003.82789>.

MINUZZI, R.B. et al. . Influência da La Niña na estação chuvosa da região sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 345-353, dez. 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862007000300008&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 06 set. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862007000300008>

MUZA, M. N. et al. Intraseasonal and Interannual Variability of Extreme Dry and Wet Events over Southeastern South America and the Subtropical Atlantic during Austral Summer. Journal of Climate, v. 22, p. 1682-1699, 2009.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 1989

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. The science behind the polar vortex. Disponível em: <https://www.noaa.gov/multimedia/infographic/science-behind-polar-vortex>. Acesso em: 05 abr. 2019.

NOGUÉS-PAEGLE, J.; BYERLE, L. A; MO, K. C. Intraseasonal modulation of South American summer precipitation. Monthly Weather Review, v. 128, p. 837-850, mar. 2000.

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

OPEN GrADS: opening GrADS to a Wolds of Extensions. Disponível em: <http://opengrads.org/>. Acesso em: 19 jul. 2019.

PAMPUCH, L. A. Características Sinóticas e Dinâmicas de Períodos Extremos Secos sobre o Sudeste do Brasil e sua Relação com a TSM do Atlântico Sul. São Paulo, 2014. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: https://www.iag.usp.br/pos/sites/default/files/t_luana_a_pampuch_corrigida.pdf. Acesso em: 18 out. 2019

PAMPUCH, L. A.; AMBRIZZI, T. Relação entre eventos extremos secos sobre o Sudeste do Brasil e a TSM do Atlântico Sul. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 4., 2011, João Pessoa. Anais [...]. João Pessoa, SBMET, 2011, ref. 86.

PAVANIN, E. V.; CHUERUBIM, M. L.; LÁZARO, B. O. Geoprocessamento aplicado ao estudo de vulnerabilidade do solo da bacia hidrográfica do Córrego Guaribas em Uberlândia-MG. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 13, n. 2, p. 17-31, jul/dez 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/316348545_GEOPROCESSAMENTO_APLICADO_AO_ESTUDO_DE_VULNERABILIDADE_DO_SOLO_DA_BACIA_HIDROGRAFICA_DO_CORREGO_GUARIBAS_EM_UBERLANDIA-MG. Acesso em: 14 out. 2019

PENNA, A. C.; NETO, G. D. Extremos de chuva na cidade de São Paulo: padrões atmosféricos. 2014. Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo, 2014. Disponível em: <http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/08.22.13.40.32/doc/Ana%20Caroline%20Penna.pdf>. Acesso em: 09. out. 2019

PEZZI, L. P.; ROSA, M.B.; BATISTA, N. N. M. A corrente de jato subtropical sobre a América do Sul. Climanálise Edição Especial Outubro. Edição especial comemorativa de 10 anos. 1996. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~reclimanl/boletim/cliesp10a/jatclim.html>. Acesso em: 14 set. 2019

QUADRO, M. d. L. Estudo de Episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul, 1994. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 1994. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Mario_Quadro/publication/250986842_Estudo_de_episodios_de_zonas_de_convergencia_do_Atlantico_Sul_ZCAS_sobre_a_America_do_Sul/links/582a014908aef19cb80513cd/Estudo-de-episodios-de-zonas-de-convergencia-do-Atlantico-Sul-ZCAS-sobre-a-America-do-Sul.pdf. Acesso em: 16 set. 2019

REBOITA, M. S. et al. Anomalias dos Padrões Sinóticos da Atmosfera na América do Sul nos meses de janeiro de 2014 e 2015. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.4, n. 4, 2015

REBOITA, M. S. et al. Caracterização atmosférica quando da ocorrência de eventos extremos de chuva na Região Sul de Minas Gerais. Revista Brasileira de Climatologia, [S.l.], v. 21, ago. 2017. ISSN 2237-8642. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/47577>. Acesso em: 24 ago. 2019.

REBOITA, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 25, n. 2, p.185-204, 2010.

REBOITA, M. S. et al. The South Atlantic Subtropical Anticyclone: Present and Future Climate. Frontiers in the Earth Science. v. 7. artigo 8, fev. 2019. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2019.00008/full>. Acesso em: 16 out. 2019.

REIS, R. V. Desastres naturais na região sudeste, associados a eventos climáticos extremos. 2015. 65 f. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Campus Experimental de Ourinhos, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/156095>. Acesso em: 14 set. 2019

ROSEGHINI, W. F. F. Ocorrência de eventos climáticos extremos e sua repercussão sócio-ambiental no litoral norte paulista. 2007. 135 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2007. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/89786>. Acesso em: 14 set. 2019

ROSSO, F. V. et al. Influence of the Antarctic oscillation on the South Atlantic convergence zone. *Atmosphere*, v.9, n. 431, p.1-19, 2018.

SALIO, P.; NICOLINI, M; SAULO, A. C. Chaco low-level jet events characterization during the austral summer season. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. v. 107, n. D24, 2002. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2001JD001315>. Acesso em: 11. out. 2019

SEGALIN, B. Características dos Sistemas Convectivos de Mesoescala nas simulações climáticas do RegCM4. 2012. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/14/14133/tde-19122012-154326/publico/DissertacaoCorrigida_BrunaSegalin.pdf. Acesso em 01. out. 2019

SELUCHI, M. E.; BEU, C. M. L.; ANDRADE, K. M. Características das frentes frias com potencial para provocar chuvas intensas na região serrana de Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Climatologia*, São Paulo, ano 12, v.18, p. 361-376, jan./jun. 2016.

SENA, A. C. T. Padrões de larga escala associados à eventos extremos de precipitação em São Paulo. 2016. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2016.

SETH, A.; FERNANDES, K; CAMARGO, S. J. Two summers of São Paulo drought: Origins in the western tropical Pacific. *Geophysical Research Letters*. Wiley Online Library, v. 42, n. 24, 2015.

SILVA, E. M. A cidade e o clima: impactos das precipitações concentradas e as tendências climáticas em Uberlândia-MG. 2013. 349 f. Tese (Doutorado em Ciências Humanas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

SILVA, J. P. R. et al. Caracterização da Zona de Convergência do Atlântico Sul em campos atmosféricos recentes. *Revista Brasileira de Climatologia*, ano 15, v. 25, jul/dez 2019.

SILVA, R. C. Eventos extremos de gelo marinho no mar de Weddell e sua relação com o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul. 2018. 70 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2018.

SIQUEIRA, B; NERY, J. T. A dinâmica climática e a variabilidade da precipitação no estado de São Paulo: o Índice de Precipitação e o Índice de Precipitação Concentrada. *Revista Caminhos da Geografia*. Uberlândia, v. 19, n. 67, p. 99–108, Set/2018.

Southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic Convergence Zone. *Journal of Climate*, v. 15, p. 2377-2394, 2002.

SUGAHARA, S.; DA ROCHA, R. P.; RODRIGUES, M. L. Condições atmosféricas de grande escala associadas a jato de baixos níveis na América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8, 1994, Anais [...]. Belo Horizonte: SBMET, 1994, p.573-577. Disponível em: <http://www.cbmet.org.br/cbm-files/20-ce18d424e36ae772508b4e93628ee64a.doc>. Acesso em: 11 out. 2019.

TOMAZIELLO, A. C. N. Variabilidade da Zona de Convergência Intertropical do Atlântico durante as estações seca e chuvosa da América do Sul tropical. São Paulo, 2014. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <https://www.iag.usp.br/pos/meteorologia/portugues/dissertacoestestes/variabilidade-da-zona-de-converg%C3%Aancia-intertropical-do-atl>. Acesso em: 29 out. 2019.

VALENTE, P. T. Identificação das áreas mais sujeitas a eventos extremos de temperatura e precipitação no Sudeste da América do Sul. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 55p. 2015. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/141340>. Acesso em 27. set. 2019

VASCONCELLOS, F. C. Variabilidade atmosférica associada a casos extremos de precipitação na Região Sudeste do Brasil. 2008. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/01.15.16.05>. Acesso em: 26. ago. 2019

VASCONCELLOS, F. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Extreme precipitation over Southeastern Brazil in the austral summer and relations with the Southern Hemisphere Annular mode. *Atmospheric Science Letters*, v. 11, p. 21-26, 2010.

VASCONCELLOS, F.C.; PIZZOCHERO, R.M; CAVALCANTI, I. F. A. Month-to-Month Impacts of Southern Annular Mode Over South America Climate. *Anuário do Instituto de Geociências- UFRJ*, Rio de Janeiro, v. 42. p.783-792. 2019. Disponível em: http://www.anuario.igeo.ufrj.br/2019_01/2019_1_783_792.pdf. Acesso em: 16. set. 2019

WALLACE, J. M; HOBBS, P.V. *Atmospheric science: an introductory survey*. [S.I.]: Academic press, 2006

WILHITE, D. A; GLANTZ, M. H. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Londres, Water International*, v. 10, n.3, p. 111-120, 1985. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02508068508686328>. Acesso em: 01 nov. 2019

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

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

XAVIER, A. C; KING, C. W; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). *International Journal of Climatology*, n. 36, p. 2644–2659, 2016.