



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

CLASSIFICAÇÃO SINÓTICA DE EPISÓDIOS DE ZONAS DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL (ZCAS) ASSOCIADOS COM A OCORRÊNCIA DE CHUVA EXTREMA NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Juliano dos Reis Monteiro

Relatório de Iniciação Científica do programa
PIBIC, orientado pelo Dr. Gustavo Carlos Juan
Escobar e coorientado pela Dr^a. Michelle Simões
Reboita.

INPE

Cachoeira Paulista

2022



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

CLASSIFICAÇÃO SINÓTICA DE EPISÓDIOS DE ZONAS DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL (ZCAS) ASSOCIADOS COM A OCORRÊNCIA DE CHUVA EXTREMA NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Juliano dos Reis Monteiro

Relatório de Iniciação Científica do programa
PIBIC, orientado pelo Dr. Gustavo Carlos Juan
Escobar e coorientado pela Dr^a. Michelle Simões
Reboita.

INPE

Cachoeira Paulista

2022

RESUMO

A fase úmida do sistema monçônico da América do Sul é caracterizado pela presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que é caracterizada como uma persistente banda de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste que se estende desde a Amazônia até ao Oceano Atlântico. Esse fenômeno causa grandes volumes pluviométricos sobre o Sudeste do Brasil ocasionando em diversos danos socioeconômicos. O estado do Espírito Santo, localizado na região Sudeste do Brasil, é afetado por deslizamentos de terra e enchentes todos os anos. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é analisar casos de chuva extrema associados a episódios de ZCAS sobre a cidade de Vitória - ES. Para isso, foram obtidos dados de precipitação do Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP) a fim de selecionar os casos de chuva extrema. Além disso, foram usados dados de precipitação do *Climate Prediction Center* (CPC/NOAA), dados de variáveis atmosféricas provenientes do modelo numérico ERA-5 do Centro Europeu de Previsão do Tempo de Médio Prazo (da sigla em inglês, ECMWF) e cartas sinóticas de superfície, médios e altos níveis a partir do banco de imagens do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A partir da filtragem e eliminação de dados errôneos e da seleção de casos de precipitação por meio do método dos percentis, foram feitos mapas acerca das composições (média dos dias selecionados) e anomalias que mostram as principais componentes e padrões atmosféricos nos dias que houveram episódios de chuva extrema relacionados a ocorrência de ZCAS. Sendo assim, para a cidade de Vitória foi escolhido o percentil 95% (27,1 mm) como limiar de chuva extrema. As composições evidenciaram a presença de padrões de circulação, como: em altos níveis, a Alta da Bolívia e cavado do Nordeste brasileiro; em baixos níveis, sistema frontal sobre o Sudeste associado a um cavado invertido, escoamento e transporte de umidade no sentido noroeste-sudeste vindo da Amazônia Central e escoamento de leste promovido pela Alta Subtropical do Atlântico Sul. A precipitação se mostrou mais intensa sobre a área de atuação da ZCAS, principalmente sobre o leste do estado de Minas Gerais, norte do Rio de Janeiro e todo o Espírito Santo. Os campos de anomalia mostraram valores positivos de umidade e valores negativos de pressão na área de abrangência da ZCAS subsidiados por valores anômalos expressivos referentes as correntes de jato. Conclui-se que a configuração da ZCAS depende de diversos mecanismos atmosféricos que atuam desde níveis superiores até níveis inferiores, os quais promovem processos de liberação de calor latente e convecção ajudando na autoalimentação do sistema. Entender e compreender esses mecanismos podem auxiliar na atualização dos modelos de previsão numérica do tempo.

Palavras-chave: ZCAS, Espírito Santo, Precipitação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização das estações meteorológicas automáticas do INMET nas cidades de Alegre, Vitória e Linhares.	10
Figura 2: Composições dos 27 casos de ZCAS relacionados a eventos de chuva extrema em Vitória evidenciando a evolução das principais variáveis atmosféricas dois dias antes (Dia -2) e um dia antes (Dia -1) da configuração de ZCAS sobre o Espírito Santo (Dia 0), sendo: A-B-C) Divergência (sombreado) e altura geopotencial (linhas contínuas) em 250 hpa; D-E-F) Ômega (sombreado) e altura geopotencial (linhas contínuas) em 500 hpa; G-H-I) Convergência (sombreado) e linhas de corrente em 850 hpa; J-K-L) PNMM (linhas contínuas) e espessura da camada 500/1000 hPa (sombreado).	19
Figura 3: Composições dos 27 casos de ZCAS relacionados a eventos de chuva extrema em Vitória evidenciando a evolução das seguintes variáveis atmosféricas dois dias antes (Dia -2) e um dia antes (Dia -1) da configuração de ZCAS sobre o Espírito Santo (Dia 0): A-B-C) Vento acima de 20 m/s (sombreado), altura geopotencial (linha tracejada) e linhas de corrente em 250 hPa; D-E-F) Umidade específica (g/kg) (sombreado) e vento em m/s (linhas de corrente) em 850 hpa; G-H-I) Campo de precipitação (mm/dia).	22
Figura 4: Corte vertical de Ômega (sombreado e linhas contínuas) da composição dos 27 casos de ZCAS relacionado a eventos de chuva extrema em Vitória evidenciando a evolução da variável (B) um dia antes (Dia -1) e (C) dois dias antes (Dia -2) da (C) configuração de ZCAS sobre o Espírito Santo (Dia 0).	22
Figura 5: Campos de anomalia, ou seja, diferença entre a composição dos casos e a média climatológica da estação chuvosa (outubro-abril) evidenciando a evolução das variáveis atmosféricas dois dias antes (Dia -2) e um dia antes (Dia -1) da configuração de ZCAS sobre o Espírito Santo (Dia 0), sendo: A-B-C) Anomalia de ventos acima de 6 m/s (sombreado) e linhas de corrente em 250 hpa; D-E-F) Anomalia de PNMM (sombreado) e altura geopotencial em 250 hpa (linhas contínuas); G-H-I) Anomalia de umidade específica (g/kg) (sombreado) e linhas de corrente em 850 hpa; J-K-L) Anomalia de convergência (sombreado) em 850 hpa.	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variáveis atmosféricas e níveis de pressão utilizados.	11
Tabela 2: Limiares de precipitação (mm/dia) encontrados nos percentis 90, 95 e 99 para as cidades de Alegre, Linhares e Vitória.	12
Tabela 3: Casos de chuva extrema selecionados a partir do valor do percentil 95 para a cidade de Alegre (ES).	13
Tabela 4: Casos de chuva extrema selecionados a partir do valor do percentil 95 para a cidade de Linhares (ES).	14
Tabela 5: Casos de chuva extrema selecionados a partir do valor do percentil 95 para a cidade de Vitória (ES).	15

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
1.1 Objetivo geral	7
2. DESENVOLVIMENTO.....	7
2.1 Revisão da literatura	7
2.2 Material e métodos	9
2.2.1 Dados de precipitação (BDMEP)	10
2.2.2 Cartas sinóticas	10
2.2.3 Dados de precipitação (<i>Climate Prediction Center</i>).....	11
2.2.4 Dados meteorológicos	11
2.2.5 Metodologia.....	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
3.1 Percentis	12
3.2 Composições.....	16
3.3 Corte vertical de ômega.....	22
3.4 Anomalias	22
4. CONCLUSÃO.....	26
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
ANEXO A – COMPOSIÇÕES E ANOMALIAS PARA A CIDADES DE ALEGRE E LINHARES – ES.....	29

1. INTRODUÇÃO

O verão no Sudeste do Brasil é caracterizado por apresentar volumes de chuva consideráveis entre os meses de outubro a março (NETO, 2005; REBOITA; 2012). O estado do Espírito Santo (ES), com área de 46.074 km² e localizado na costa leste da região (IBGE, 2021), sofre com intempéries causadas por fenômenos meteorológicos de latitudes médias e tropicais inferindo em estações bem definidas, sendo uma delas chuvosa (verão) e outra seca (inverno) (CUPOLILLO, 2008).

A caracterização de um clima monçônico é definida como uma reversão sazonal no sentido dos ventos em baixos níveis da atmosfera em resposta ao aquecimento diferencial entre continente e oceano. No continente Sul Americano, os trabalhos de Marengo et al. (2012) e Reboita et al. (2010), os quais denominam esse fenômeno como Monção Sul-Americana (MSA), mostram que não há, de forma clara, uma inversão no sentido dos ventos. Esse padrão só é observado quando se calcula a anomalia das componentes dos ventos (ZHOU e LAU, 1998).

Durante o período de atividade do sistema monçônico na América do Sul, observa-se a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Essa é definida como uma extensa banda de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste que perdura por dias desde a Região Amazônica até o Oceano Atlântico, podendo causar grandes volumes pluviométricos em sua área de atuação (CARVALHO et al., 2004; KOUSKY, 1988). Os impactos socioeconômicos derivam, em consequência, de deslizamentos de terra, enchentes, ventos fortes e relâmpagos ocasionados pelas tempestades formadas.

O Sudeste do Brasil é a região que mais sofre influência da ZCAS devido a sua localização tropical, fato este, que está relacionado com a presença de eventos baroclínicos próximos a região que favorece a configuração da ZCAS. Além disso, outros elementos atmosféricos como: Alta da Bolívia, correntes de jato, Alta Subtropical do Atlântico Sul, Jatos de Baixos Níveis, entre outros, são responsáveis por propiciar condições favoráveis ao surgimento da ZCAS. Desse modo, compreender as características desse sistema é de suma importância para mitigar os danos à sociedade.

Tendo em vista a contextualização, nota-se que atuação da ZCAS influencia diretamente o regime pluviométrico do ES podendo acarretar em casos de chuva

extrema e, conseqüentemente, desastres naturais que impactam tanto a sociedade quanto a economia regional. Sendo assim, o objetivo desse trabalho é estudar e analisar as condições atmosféricas relacionadas a episódios de ZCAS, a fim de identificar os principais padrões sinóticos (em altos, médios e baixos níveis) responsáveis por causar casos de chuva extrema no Espírito Santo. O entendimento e compreensão desse tipo de sistema pode corroborar para atualizações nos sistemas operacionais de tempo.

1.1 Objetivo geral

A atuação da ZCAS atua diretamente no regime pluviométrico do ES podendo acarretar em casos de chuva extrema e, conseqüentemente, desastres naturais que impactam tanto a sociedade quanto a economia regional. Sendo assim, o objetivo desse trabalho é estudar e analisar as condições atmosféricas relacionadas a episódios de ZCAS, a fim de identificar os principais padrões sinóticos (em altos, médios e baixos níveis) responsáveis por causar casos de chuva extrema nas cidades de Alegre, Vitória e Linhares no Espírito Santo. O entendimento e compreensão desse tipo de sistema pode corroborar para atualizações nos sistemas operacionais de tempo.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão da literatura

O estado do Espírito Santo (ES), com área de 46.074 km² (IBGE, 2022), está localizado na costa leste da região Sudeste do Brasil e possui um papel importante em questões econômicas, uma vez que, é segundo maior produtor de petróleo do Brasil e um grande centro de exportação de minérios (GOVERNO DO ESTADO DO ES, 2022). No entanto, anualmente, o estado sofre muitos impactos socioeconômicos durante o período chuvoso (outubro-abril) que promove altos regimes pluviométricos, principalmente, entre dezembro e janeiro (CAVALCANTI et al., 2009; REBOITA et al., 2010). Nesse meio, é habitual observar eventos extremos de precipitação que são responsáveis por inúmeros desastres associados a deslizamentos de terra, enchentes e inundações que causam danos tanto a população quanto aos principais setores da economia (energia, industrial e de telecomunicação).

Os grandes volumes de precipitação observados na estação chuvosa no Sudeste brasileiro são modulados por diversos sistemas e fenômenos meteorológicos: frentes frias, frentes subtropicais, cavados baroclínicos, ciclone extratropicais e subtropicais,

anticiclones semi-estacionários, vórtices ciclônicos de altos níveis, Perturbações Ondulatórias nos Ventos Alísios (POA), sistemas convectivos de mesoescala, brisas marítimas e terrestre, Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), entre outros (ESCOBAR et al., 2019; KOUSKY, 1979; REBOITA et al., 2010). Segundo Escobar e Reboita (2019), as zonas de baroclinia em superfície, presentes nas faixas extratropicais e subtropicais do planeta, são de vital importância para a formação de frentes clássicas, frentes subtropicais e cavados baroclínicos. As frentes clássicas são estabelecidas a partir de intensos gradientes horizontal de temperatura em superfície em razão da diferença entre as características termodinâmicas entre as massas de ar frio (polar) e quente (equatorial) (BJERKNES e SOLBERG, 1922). No entanto, Kousky (1979) observou que alguns sistemas frontais que avançavam para latitudes menores permaneciam configurados sobre baixo gradiente horizontal de temperatura. Sendo assim, esses sistemas, que diferiam termodinamicamente das frentes clássicas, passaram a ser chamados de: frentes subtropicais. Além desses dois sistemas citados anteriormente e que também está relacionado à ocorrência de chuva forte ao longo da zona costeira do Centro-Sul do Brasil, é denominado de vale baroclínico ou cavados invertidos. De acordo com Escobar e Reboita (2019), a distinção entre os sistemas supracitados está na localização da zona mais ativa de nebulosidade e precipitação. Enquanto nas frentes essas zonas estão localizadas na porção mais fria da mudança dos ventos, nos cavados baroclínicos essa região se encontra à frente do sistema.

Os principais casos associados a eventos de chuva extrema no Espírito Santo estão associados com a atuação da ZCAS em decorrência da vasta cobertura de nuvens convectivas que acarretam em contingentes pluviométricos consideráveis, principalmente, entre dezembro e janeiro, período este, em que o fenômeno se encontra mais ao norte de sua posição média (CAVALCANTI et al., 2009). Em dezembro de 2013, por exemplo, o estado sofreu com a configuração de um intenso evento de ZCAS associado a presença de um ciclone subtropical. A ocorrência desses eventos foi responsável pelo decreto de emergência por parte do Governo do Espírito Santo devido aos impactos gerados por enchentes, inundações e risco de deslizamentos de terra, fazendo com que mais de 60 mil pessoas abandonassem suas casas. Além disso, várias cidades registraram recordes de precipitação, como a cidade de Vitória, a qual registrou, somente entre os dias 12 a 26 de dezembro (dias de ocorrência da ZCAS), 697,4 mm de

precipitação e tendo alguns acumulados horário, como às 0300 UTC do dia 12, chegando a 42,2 mm (INMET,2022). De acordo com da Silva et al. (2014), as Regiões Sul e Serrana foram as mais atingidas pelas chuvas, com valores superiores a 100 mm em 24 horas.

Esse fenômeno é caracterizado como uma banda de nebulosidade orientada na direção noroeste-sudeste que persiste entre 4 a 10 dias podendo abranger desde o Norte do Paraná, região Sudeste e Centro-Oeste, centro sul da Bahia e centro sul da Amazônia (DO NASCIMENTO SILVA et al., 2020; ESCOBAR, 2019; FERREIRA et al., 2004; SANTOS e FIALHO, 2016; SARAIVA et. al, 2015; SILVA et. al, 2019; QUADRO, 1999). Sua ocorrência é observada durante a estação chuvosa do Brasil (outubro a abril), período esse que apresenta condições meteorológicas favoráveis a configuração do sistema. De forma geral, a ocorrência de ZCAS, em altos níveis, é associada à divergência de massa provocada pela Alta da Bolívia (AB) e desvio meridional do Jato Subtropical (JS), o qual pode fomentar a formação do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis do Nordeste Brasileiro (VCAN-NEB). Ao mesmo tempo, em baixos níveis, o avanço de sul de eventos sinóticos, como as frentes, fornece condições para a convergência de ventos e umidade contribuindo, dessa forma, para movimentos ascendentes de ar e formação de nebulosidade. Sendo assim, com a atuação de sistemas atmosféricos na alta e baixa troposfera, a liberação de calor latente subsidiada pela forte convecção fomenta a autoalimentação do complexo, assegurando sua continuidade por vários dias. Os impactos socioeconômicos associados derivam, em consequência, de deslizamentos de terra, enchentes, ventos fortes e relâmpagos ocasionados pelas tempestades formadas. Além disso, outros padrões atmosféricos participam do complexo que auxilia a circulação monçônica sul-americana, tais como: Baixa do Chaco, Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASPS), escoamento de oeste em latitudes médias, Alta da Bolívia, sistemas frontais, entre outros (GAN, RODRIGUES e RAO, 2009; MECHOSO et al., 2004).

2.2 Material e métodos

Nesta seção serão apresentados os métodos e os dados utilizados nesse trabalho a fim de classificar e analisar eventos de precipitação extrema associados a ocorrência de ZCAS no estado do Espírito Santo entre o período de 2006 à 2020.



Figura 1: Localização das estações meteorológicas automáticas do INMET nas cidades de Alegre, Vitória e Linhares.

2.2.1 Dados de precipitação (BDMEP)

Em primeiro lugar, verificou-se a existência de dados históricos de precipitação provenientes de estações automáticas do estado do ES a partir do Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Dessa forma, foi constatado séries horárias completas (de 2006 à 2020) das estações localizadas na cidade de Alegre, Vitória e Linhares no ES. Após essa verificação, foi realizada a filtragem dos dados a fim de eliminar dados faltantes ou aqueles que foram medidos erroneamente. Em seguida, com os dados de precipitação já organizados, esses foram transformados em escala diária.

2.2.2 Cartas sinóticas

De forma semelhante, a fim de identificar os dias que houveram a ocorrência de ZCAS no estado do ES, foram obtidas as cartas sinóticas de superfície, médios e altos níveis referentes aos horários das 00Z, 06Z, 12Z e 18Z a partir do banco de imagens do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de

Pesquisas Espaciais (INPE). Dessa maneira, foi realizada uma análise manual e identificou-se os principais sistemas meteorológicos que podem ter contribuído para os casos de chuva extrema identificados.

2.2.3 Dados de precipitação (*Climate Prediction Center*)

Os dados de precipitação utilizados nos mapas da seção 3.2 foram obtidos da plataforma do *Climate Prediction Center* (da sigla, CPC), a qual fornece dados diários de precipitação a partir de uma análise global pertencente ao Projeto de Precipitação Unificada da agência americana *National Oceanic and Atmospheric Administration* (da sigla, NOAA). Os dados podem ser obtidos no site: <<https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.cpc.globalprecip.html>>.

2.2.4 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados nessa pesquisa foram obtidos através da plataforma *Climate Data Store* (CDS) do Centro Europeu de Previsão do Tempo de Médio Prazo (da sigla em inglês, ECMWF) o qual fornece dados de reanálise do ERA-5 com resolução de 0,25° x 0,25° de latitude/longitude e 37 níveis de pressão. Neste trabalho, as variáveis atmosféricas e os níveis de pressão utilizados se encontram na Tabela 1.

Tabela 1: Variáveis atmosféricas e níveis de pressão utilizados.

Variáveis atmosféricas	Unidades	Níveis de Pressão
Altura geopotencial	m ² /s ²	1000, 500 e 250 hPa
Componente zonal e meridional do vento	m/s	850 e 250 hPa
Pressão a nível médio do mar (PNMM)	Pa	-
Velocidade vertical (Ômega)	Pa/s	500 hPa
Umidade específica	kg/kg	850 hPa

*As unidades mostradas na tabela são referentes aos dados iniciais e não aos plotados nos mapas encontrados na seção 3.

2.2.5 Metodologia

O método utilizado neste trabalho para selecionar os casos extremos de chuva no ES associados a eventos de ZCAS foi o critério de percentis. Esse critério divide a amostra de dados em porcentagens de ocorrência que permite identificar seus valores extremos evidenciando, dessa forma, os limiares a serem utilizados. No presente estudo, foram calculados os percentis 90, 95 e 99 (Tabela 2), no entanto, na análise final foram aplicados somente os percentis 95 e 99. Por fim, foram gerados mapas espaciais acerca das propriedades atmosféricas observadas nos dias de ocorrência de ZCAS e chuva extrema nas cidades estudadas. Além disso, com o propósito de observar as condições atmosféricas nos eventos de ZCAS, foram gerados campos de anomalia utilizando-se a média climatológica da estação chuvosa (outubro-abril) entre os anos de 2006 à 2020.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos no presente estudo. Desse modo, serão mostradas tabelas com os limiares dos percentis (90, 95 e 99), com as datas selecionadas (dias de chuva extrema com a presença de ZCAS nas cidades de Alegre, Vitória e Linhares - ES, e também, mapas espaciais evidenciando a evolução dos principais campos e sistemas meteorológicos quando houveram episódios de ZCAS relacionados à eventos de chuva extrema no ES.

3.1 Percentis

Após os cálculos dos percentis como mencionado na seção 2.5 encontrou-se os limiares de precipitação (mm/dia) observados na Tabela 2. Para este estudo optou-se por utilizar o percentil 95 (5% dos casos mais extremos do total de eventos de ZCAS identificados) como limiar de interesse.

Tabela 2: Limiares de precipitação (mm/dia) encontrados nos percentis 90, 95 e 99 para as cidades de Alegre, Linhares e Vitória.

Cidade	Percentil 90	Percentil 95	Percentil 99
Alegre	17,6	32,1	59,6
Linhares	12,8	24,7	59,3
Vitória	13,7	27,1	83

Neste trabalho, foi utilizado o limiar encontrado no percentil 95 e a partir desses valores, foram selecionados os casos de chuva extrema, ou seja, os casos de precipitação que apresentaram valores iguais ou maiores que esse valor. Para a cidade de Alegre, o valor do percentil 95 encontrado foi de 32,1 mm (Tabela 2) e, em vista disso, foram selecionados 32 casos de precipitação extrema. É possível notar eventos bastante severos, como o do dia 29/12/2010, o qual chegou a registrar 168,2 mm.

Tabela 3: Casos de chuva extrema selecionados a partir do valor do percentil 95 para a cidade de Alegre (ES).

CASOS PARA A CIDADE DE ALEGRE - ES			
Datas	Precipitação (mm)	Datas	Precipitação (mm)
29/12/2006	50,2	29/12/2011	64,4
05/11/2007	77,2	29/01/2013	53
14/12/2007	61,2	01/03/2013	84,4
21/12/2007	39	28/03/2013	45,6
04/02/2008	49	12/12/2013	45,2
03/12/2008	42,8	18/02/2014	36,4
16/12/2008	69,4	07/03/2014	38,4
05/01/2009	37	28/11/2014	58,8
09/10/2009	34,2	05/12/2016	34,8
05/12/2009	43,2	15/12/2016	107
14/12/2009	42,8	09/02/2017	87,2
05/03/2010	38,8	12/11/2017	32,2
02/11/2010	46,2	09/03/2018	57,4
29/12/2010	168,2	07/02/2019	38,8
08/03/2011	104,4	19/02/2019	40
17/10/2011	75,6	23/01/2020	33,6

Para a cidade de Linhares, o limiar encontrado no percentil 95 foi de 24,7 mm e, dessa forma, foram identificados 25 casos de precipitação extrema. Na data 28/10/2009, observou-se o maior acumulado de chuva (191,2) entre as 3 cidades para eventos de chuva extrema associados a ZCAS.

Tabela 4: Casos de chuva extrema selecionados a partir do valor do percentil 95 para a cidade de Linhares (ES).

CASOS PARA A CIDADE DE LINHARES - ES			
Datas	Precipitação (mm)	Datas	Precipitação (mm)
29/12/2006	49,8	02/11/2010	59,2
04/02/2007	94,8	29/12/2010	44,2

12/02/2007	30,8	08/03/2011	52,8
09/01/2008	62,8	04/10/2011	26,2
21/01/2008	32,2	12/12/2013	72,4
26/02/2008	59,4	29/10/2014	76,6
22/11/2008	41,6	20/01/2016	34
03/12/2008	77,2	19/11/2016	38,8
05/01/2009	92,8	14/12/2017	39,4
25/03/2009	47	01/01/2018	35,4
08/04/2009	49,4	01/02/2018	29,2
28/10/2009	191,2	09/11/2018	68,8
05/03/2010	41		

Para a cidade de Vitória, o limiar encontrado para o percentil 95 foi de 27,1 mm (Tabela 2) e, com isso, foram selecionados 27 casos de precipitação extrema. A Tabela 3 apresenta os dias de chuva extrema com a presença de ZCAS em Vitória (ES), notando-se que o valor máximo de precipitação registrado (126,4 mm) foi no dia 28/10/2009.

Tabela 5: Casos de chuva extrema selecionados a partir do valor do percentil 95 para a cidade de Vitória (ES).

CASOS PARA A CIDADE DE VITÓRIA - ES			
Datas	Precipitação (mm)	Datas	Precipitação (mm)
09/01/2008	99,2	23/03/2014	31,4
22/11/2008	86,4	18/01/2016	40,4
05/01/2009	49,8	20/01/2016	47,8
23/01/2009	61,8	05/12/2016	27,8
09/10/2009	36,2	01/12/2017	92,8
28/10/2009	126,4	09/11/2018	90
05/12/2009	89,6	02/12/2018	57
05/03/2010	124,2	28/12/2018	33,8
02/11/2010	51,4	07/02/2019	49

29/12/2010	112,2	07/12/2019	40,2
29/12/2011	51,6	24/12/2019	35,2
05/01/2012	110,2	03/01/2020	67,6
12/12/2013	132	23/01/2020	51,2
18/01/2014	35		

Vale a pena ressaltar que devido ao Estado do Espírito Santo não possuir vasta extensão latitudinal e longitudinal e, conseqüentemente, as três cidades estudadas serem próximas (do ponto de vista sinótico), não houve diferenças notáveis nas características meteorológicas analisadas. Dessa maneira, os resultados mostrados a seguir são referentes apenas a cidade de Vitória. Os campos meteorológicos referentes as cidades de Alegre e Linhares se encontram na seção de anexo.

3.2 Composições

A partir das datas e conseqüente seleção de casos de precipitação extrema associados a eventos de ZCAS foram geradas compostos médios e campos anomalias de algumas variáveis meteorológicas com base nos dados descritos a fim de identificar os principais padrões sinóticos configurados.

A Figura 2 mostra os compostos médios realizados considerando as datas dos 27 casos identificados para a cidade de Vitória. A Figura 2A exibe os campos de espessura da camada 500/1000 hPa (metros geopotencial; sombreado) e a Pressão a Nível Médio do Mar (PNMM; hPa; linhas contínuas). O campo bórico revela a presença de um cavado invertido sobre o Oceano Atlântico, próximo a costa da Região Sudeste do Brasil, com isóbara com valor de 1014 hPa. A presença desse sistema infere a localização média do sistema baroclínico em superfície (frentes, baixas ou cavados) que, por sua vez, é um dos fatores responsáveis pela intensificação de processos de convergência próximo a superfície que fomentam a produção nuvens convectivas. Além disso, é possível observar na figura a presença da ASPS (Alta Subtropical do Pacífico Sul) com núcleo de 1020 hPa. Já o campo de espessura da camada 500/1000 hPa mostra um gradiente expressivo entre -35° S e -22° S associado a uma ondulação no campo que denota um cavado baroclínico devido a forte advecção de temperatura na região. Sendo

assim, é possível notar que, em eventos de ZCAS, pode-se observar o estabelecimento de zonas com forte gradiente de temperatura próximo a costa sudeste do território brasileiro.

A Figura 2B apresenta os campos de umidade específica (kg.kg^{-1} ; sombreado) e vento (m.s^{-1} ; linhas de corrente) em 850 hPa. Dessa forma, nota-se valores significativos de umidade orientados no sentido noroeste-sudeste, que abrangem desde o Estado do Amazonas, Mato Grosso, Goiás, norte de Minas Gerais e centro-norte do Estado do Espírito Santo. Por outro lado, o principal fator contribuinte para o transporte dessa umidade amazônica até as latitudes maiores do continente sul-americano, são os jatos de baixos níveis que surgem a partir dos ventos de padrão leste observados sobre o Oceano Atlântico Equatorial, passam sobre a região Nordeste e Norte do Brasil, onde captam e transportam a umidade provinda da evapotranspiração da floresta amazônica, e a partir da deflexão devido a topografia da Cordilheira dos Andes, é canalizado até a Região Sudeste do Brasil. Jones e Carvalho (2002) e Drumond et. al. (2008), mostram que há uma forte convergência de umidade amazônica sobre a costa leste do Sudeste brasileiro e que as variações intrasazonais nos Jato de Baixos Níveis estão intimamente associados a severidade ou não dos casos de ZCAS. Por fim, é possível notar também a presença de um escoamento anticiclônico na retaguarda da região de convergência de ventos sobre o oceano, indicando a posição média dos anticlones pós-frontais.

A divergência de massa (s^{-1} ; sombreado) e a altura geopotencial (metros; linhas contínuas) em 250 hPa são mostradas na Figura 2C. Desse modo, nota-se valores expressivos de divergência na região de abrangência de ZCAS, com valores mais acentuados entre o centro-norte do Espírito Santo até a região amazônica, indicando uma atmosfera instável sobre tais localidades em função, também, da convergência de massa em baixos níveis. Outro ponto notável, é a presença de um cavado no campo de altura geopotencial em 250 hPa permitindo apontar a localização média dos sistemas baroclínicos em superfície, ao passo que, a leste dos cavados se encontram os máximos processos de divergência em altos níveis da atmosfera, como pode ser constatado na Figura 2C.

A Figura 2D permite relacionar o escoamento do vento (m.s^{-1} ; linhas de corrente) e a divergência de massa (s^{-1} ; sombreado), ambos no nível de 250 hPa. Com base nisso,

nota-se a Alta da Bolívia bem configurada sobre o altiplano boliviano e associado a esse sistema, observa-se certos valores de divergência sobre o Mato Grosso, sudoeste do Pará e praticamente toda a Amazônia. Além disso, sua influência também é notada na deflexão do escoamento de oeste ($\sim -22^\circ$ S) promovendo a configuração de: um cavado não profundo sobre a região Sul e Sudeste do Brasil, outro mais amplificado na costa da Região Nordeste, o qual, muitas vezes, pode originar em um vórtice ciclônico de altos níveis e, além disso, a formação de um padrão de crista próximo ao litoral da Bahia. A conjunção desses sistemas atmosféricos é descrita por Escobar (2019) como padrões clássicos de eventos de ZCAS.

Em 500 hPa, a Figura 2E mostra a disposição da variável ômega ($\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$; sombreado) e a altura geopotencial (metros; linhas contínuas). Desse modo, nota-se valores negativos significativos de ômega na região associada ao sistema baroclínico em superfície e próximo ao Estado do Espírito Santo abrangendo, também, a porção leste de Minas Gerais e parte de Goiás e Mato Grosso. Esses resultados denotam as características de uma atmosfera instável sobre a região sugerindo fortes processos convectivos associados a formação da ZCAS.

A Figura 2F mostra, em 250 hPa, a velocidade do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; sombreado), altura geopotencial (metros, linhas tracejadas) e escoamento do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; linhas de corrente). No entanto, essa figura diferencia-se da figura 2E, ao passo que, observa-se com mais detalhes a influência direta da AB nos jatos (ventos com intensidade maior que $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). O Jato Subtropical, presente entre a faixa de latitude de -25° S, aproximadamente e valores de altura geopotencial entre 10440 e 10680 metros, é mais intenso a sul da AB. Já o Jato Polar, que pode ser observado próximo a latitude de -45° S e entre 9960 e 10200 metros de altura, não participa diretamente da formação da ZCAS.

As análises mostraram que há um núcleo de atividade convectiva, nos dias de eventos extremos de precipitação associada a ZCAS, que ocorre próximo costa capixada, indicando a posição média dos sistemas e fenômenos que afetam o continente de forma intensiva e corroboram para a ocorrência de desastres naturais.

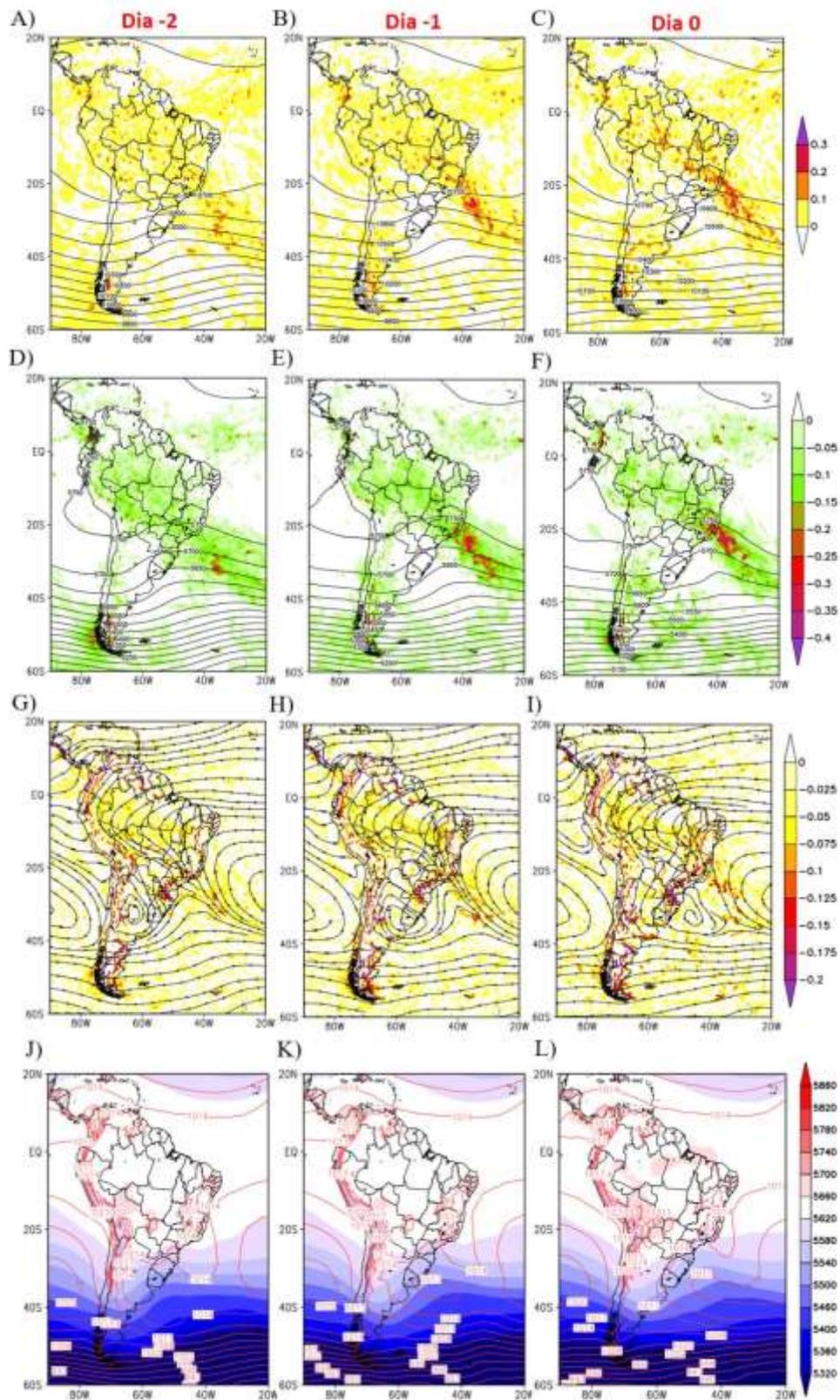


Figura 2: Composições dos 27 casos de ZCAS relacionados a eventos de chuva extrema em Vitória evidenciando a evolução das principais variáveis atmosféricas dois dias antes (Dia -2) e

um dia antes (Dia -1) da configuração de ZCAS sobre o Espírito Santo (Dia 0), sendo: A-B-C) Divergência (sombreado) e altura geopotencial (linhas contínuas) em 250 hpa; D-E-F) Ômega (sombreado) e altura geopotencial (linhas contínuas) em 500 hpa; G-H-I) Convergência (sombreado) e linhas de corrente em 850 hpa; J-K-L) PNMM (linhas contínuas) e espessura da camada 500/1000 hPa (sombreado).

A figura 3 mostra a evolução de algumas variáveis atmosféricas na composição realizada com os 27 casos de chuva extrema relacionadas aos episódios de ZCAS encontrados. As primeiras figuras (3A, 3B e 3C) mostram o escoamento do vento em 250 hPa, a altura geopotencial em 250 hPa e a intensidade do vento superior a 20 m.s^{-1} , denotando assim, os fluxos dos jatos de altos níveis. Em primeiro lugar, observa-se que, em dias de ZCAS, a Alta da Bolívia está bem configurada sobre a Bolívia e parte do Peru. Esse escoamento anticiclônico deflete meridionalmente o Jato Subtropical (zona mais intensa de ventos próxima a latitude de 25° S) e gera a formação do cavado do nordeste brasileiro, o qual está presente à leste da costa da região Nordeste. Além disso, pode-se notar a presença de um cavado em altos níveis próximo a costa sul e sudeste do Brasil indicando o posicionamento médio dos sistemas baroclínicos. O Jato Subtropical pode ser identificado na faixa de latitude de 25° S , aproximadamente, onde são encontrados valores de velocidade do vento acima de 25 m.s^{-1} e valores de altura geopotencial entre 10440 e 10680 mgp. De forma semelhante, o Jato Polar pode ser identificado próximo a latitude de 45° S , onde a velocidade do vento se encontra mais significativa (maior que 25 m.s^{-1}) e valores de altura geopotencial entre 9960 e 10200 mgp. As figuras 3D, 3E e 3F apresentam os campos de umidade específica (g/kg) e o escoamento do vento (m.s^{-1}) em 850 hPa. Ao observar as figuras, nota-se um fluxo de umidade orientado no sentido noroeste-sudeste, com valores mais altos sobre o estado do Amazonas e noroeste do Mato Grosso, ao mesmo tempo que, também há valores expressivos sobre o noroeste de Goiás, Minas Gerais e o centro-norte do Espírito Santo. Já o campo de escoamento do vento mostra os ventos de leste carregados de umidade provinda do Oceano Atlântico associados aos ventos de noroeste saturados pela umidade amazônica convergindo sobre a região Sudeste e parte da região Centro-Oeste do Brasil. Por último, o campo de precipitação (mm/dia) é mostrado nas figuras G, H e I. Primeiramente, a evolução temporal mostra o aumento da precipitação à medida que o dia do evento de chuva extrema no estado do Espírito Santo se aproxima. Além disso, é

possível notar que, na área de abrangência da ZCAS geralmente há valores mais relevantes de precipitação, compreendendo desde o estado do Amazonas até a região Sudeste, onde os valores máximos são observados sobre o leste de Minas Gerais, norte do Rio de Janeiro e praticamente todo o Espírito Santo.

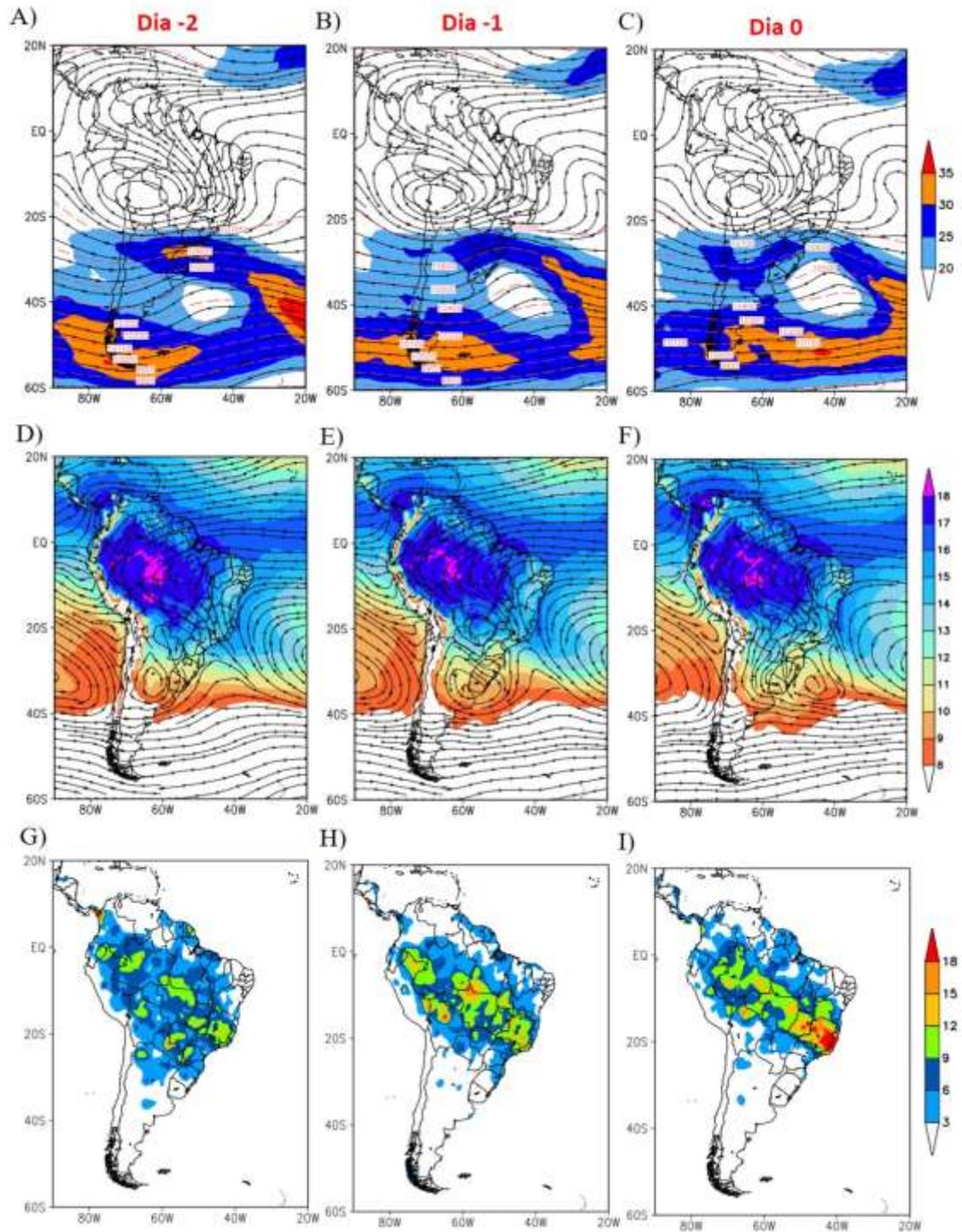


Figura 3: Composições dos 27 casos de ZCAS relacionados a eventos de chuva extrema em Vitória evidenciando a evolução das seguintes variáveis atmosféricas dois dias antes (Dia -2) e um dia antes (Dia -1) da configuração de ZCAS sobre o Espírito Santo (Dia 0): A-B-C) Vento acima de 20 m/s (sombreado), altura geopotencial (linha tracejada) e linhas de corrente em 250 hPa; D-E-F) Umidade específica (g/kg) (sombreado) e vento em m/s (linhas de corrente) em 850 hPa; G-H-I) Campo de precipitação (mm/dia).

3.3 Corte vertical de ômega

A figura 4 mostra o comportamento da variável ômega (velocidade vertical) nos níveis que compreende desde 250 hPa até à superfície (~1000 hPa). Ao analisar as imagens, é possível perceber a evolução e intensificação do sistema até chegar o dia do evento (dia 0), os quais os valores de ômega são mais significativos (em torno de -0.3 Pa.s^{-1}) e representam a movimentação ascendente das parcelas de ar em razão da convecção de massa e liberação de calor latente;

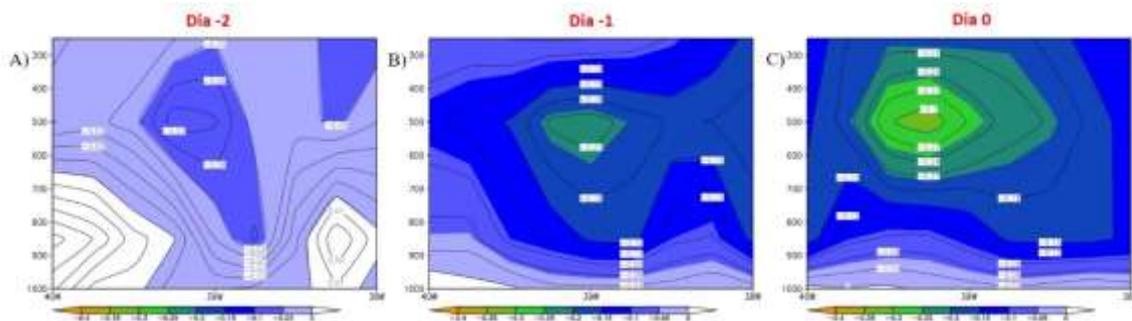


Figura 4: Corte vertical de Ômega (sombreado e linhas contínuas) da composição dos 27 casos de ZCAS relacionado a eventos de chuva extrema em Vitória evidenciando a evolução da variável (B) um dia antes (Dia -1) e (C) dois dias antes (Dia -2) da (C) configuração de ZCAS sobre o Espírito Santo (Dia 0).

3.4 Anomalias

A fim de visualizar a evolução das anomalias médias referentes as variáveis meteorológicas em eventos de ZCAS responsáveis pela chuva extrema na cidade de Vitória foram plotados mapas até dois dias (definidos como “Dia -2” e “Dia -1”) antes ao dia de ocorrência evento (definido como “Dia 0”).

A Figura 5A, 5B e 5C mostra o campo de anomalia umidade específica (kg/kg) em sombreado e anomalia da direção do vento (linhas de corrente) em 850 hPa para os dias -2, -1 e 0, respectivamente. Ao analisar as imagens, percebe-se a existência de uma

faixa anômala positiva de umidade específica marcando o domínio de influência da ZCAS. Associado a direção desse fluxo de umidade está o escoamento anômalo do vento em 850 hpa indicando a sua contribuição no transporte de umidade para a Região Sudeste do Brasil. Na figura 5A (DIA -2), nota-se a entrada de ventos anômalos de quadrante sul promovidos pelo sistema frontal em superfície ligado ao movimento ciclônico observado sobre o Oceano Atlântico (próximo a latitude 30° S). Com a evolução dos dias, percebe-se que o conteúdo de umidade aumenta e se concentra sobre parte do Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do país, ao passo que, há a cobertura completa de valores positivos sobre o Estado do Espírito Santo. Por outro lado, com o adentro da massa de ar frio e seca sobre o continente anomalias negativas de umidade são observadas principalmente sobre a Região Sul do Brasil, observadas nas figuras 5B e 5C. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Do Nascimento Silva et al. (2020), a qual partindo da mesma metodologia, porém aplicando para o Estado de MG, observou que os padrões anômalos de umidade específica e direção do vento em dias de chuva extrema associadas com ZCAS tendem a apresentar uma faixa no sentido noroeste-sudeste que abrange diversos estados brasileiros que têm como suporte ventos de quadrante sul, associados ao sistema frontal em superfície, e ventos de quadrante noroeste, relacionados ao transporte de umidade amazônica até a Região Sudeste do Brasil.

As evoluções temporais das anomalias da PNMM e altura geopotencial em 500 hPa são mostradas nas Figuras 5D, 5E e 5F, referido – se aos dias -2, -1 e 0, respectivamente. Os centros positivos (vermelho) e negativos (azul) de PNMM formam um dipolo de pressão, o qual é caracterizado por pressões anômalas negativas na área de atuação da ZCAS, principalmente sobre o Espírito Santo onde observa-se valores de entre -20 e -30, e pressões anômalas positivas mais ao sul caracterizando a climatológica passagem da alta migratória pós-frontal em superfície. Além disso, nota-se que o predomínio de anomalias negativas de PNMM abrange desde o litoral até toda a Região Sudeste do país ao decorrer dos dias, com valores mais brandos (-10 hPa) sobre parte das regiões Centro-Oeste e Nordeste. Associado a isso, observa-se centros anomalias negativas de altura geopotencial à oeste das anomalias positivas de pressão, com núcleo no dia -1 com o valor de -4 metros geopotencial. A união desses fatores revela a dinâmica envolvida em episódios de ZCAS, a qual está associada a cavados

baroclínicos na média troposfera que subsidiam a convergência de massa em superfície promovendo a formação de um sistema de baixa pressão que influencia a atmosfera sobre o Estado do Espírito Santo que está relacionada a formação de nuvens profundas capazes de produzir eventos de precipitação extrema sobre a região. Outro ponto que vale a pena destacar é a presença de dipolos de pressão anômalos associados a formação de sistemas de baixas e altas pressões quando há a ocorrência desses eventos. Esses resultados conferem com Escobar et al. (2020), o qual avaliou as condições meteorológicas em eventos de chuva extrema associados com a presença de ZCAS sobre a cidade do Rio de Janeiro, também observou núcleos de altura geopotencial em 500 hPa associados a um dipolo anômalo de pressão em superfície.

As Figuras 5G, 5H e 5I mostram a anomalia de PNMM e altura geopotencial em 250 hPa para os dias -2, -1 e 0, respectivamente. O campo de anomalia em relação a PNMM é similar aos observados na Figura 5D, 5E e 5F. Já o campo de anomalia de altura geopotencial em 250 hPa revela núcleos anômalos negativos em altos níveis mais intensos, com valores chegando a -8 metros geopotencial no dia -1, quando comparados aos observados em médios níveis. Esse fato sugere que eventos de ZCAS relacionados a chuva extrema no ES estão associados a fortes processos de divergência de massa em altitude que propiciam a manutenção e intensificação das condições de instabilidade. Em contra partida, os núcleos positivos observados próximo a -40 e -45 °S revelam a configuração de bloqueios atmosféricos que podem favorecer a atuação da ZCAS por vários dias. Dessa forma, percebe-se que a configuração desses padrões anômalos na média e alta troposfera são climatologicamente bem configurados quando há a atuação da ZCAS.

Por fim, as figuras 5J 5K e 5L revelam a anomalia de ventos acima de 6 m.s^{-1} e linhas de corrente em 250 hPa. Dessa forma, observa-se um escoamento ciclônico anômalo sobre as regiões Sul e Sudeste, o qual é contornado, por uma região de ventos anômalos intensos indicando, assim, a presença do Jato Subtropical em dias de ZCAS. Semelhantemente, é possível notar um escoamento ciclônico anormal e com ventos relativamente intensos próximo ao nordeste brasileiro. Tal fato está associado à configuração do VCAN-NEB promovido pela deflexão do Jato Subtropical. Outro sistema anômalo existente nas figuras é a alta migratória pós-frontal à sul da região de máxima advecção ciclônica próxima ao Sul do Brasil.

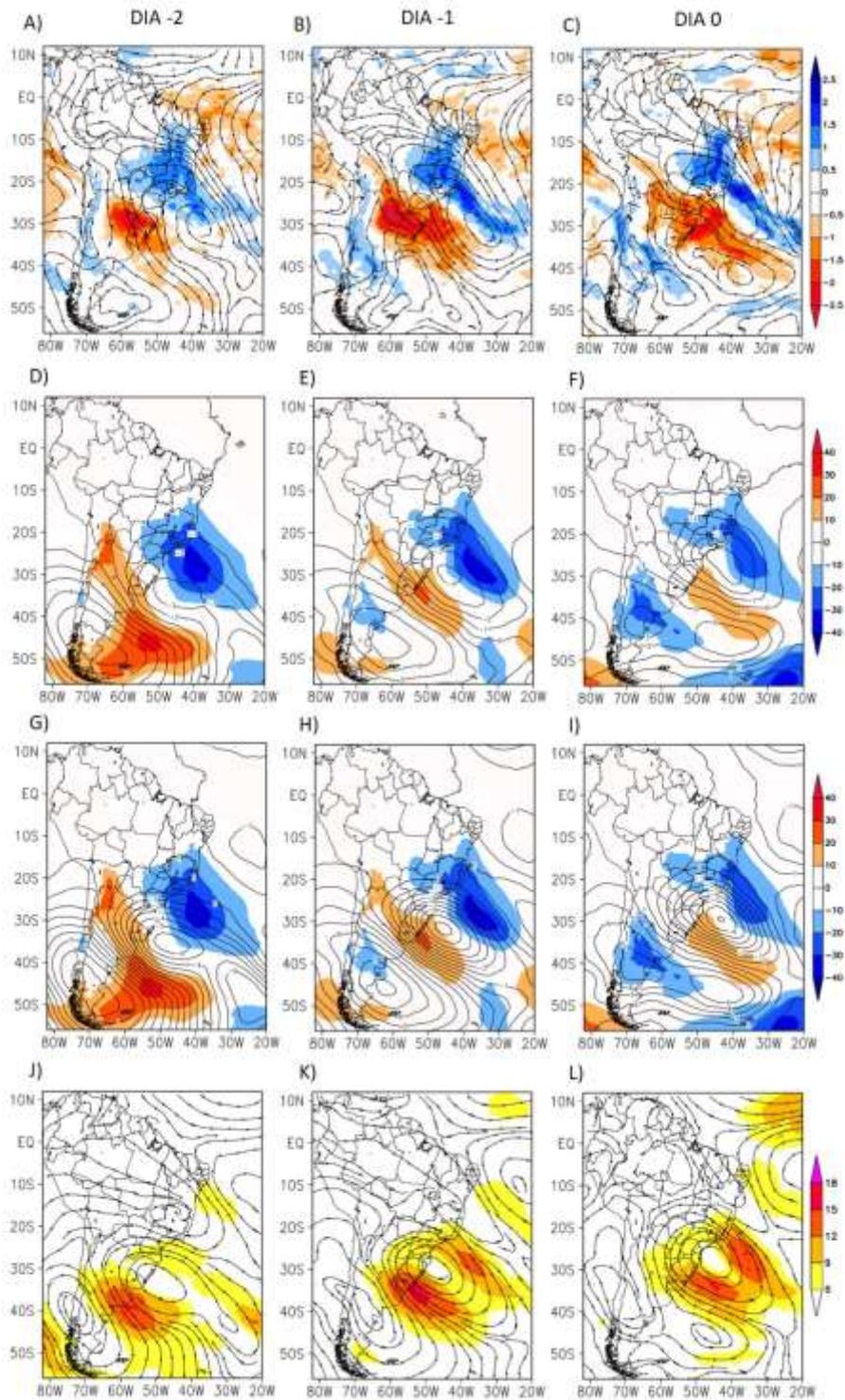


Figura 5: Campos de anomalia, ou seja, diferença entre a composição dos casos e a média climatológica da estação chuvosa (outubro-abril) evidenciando a evolução das variáveis atmosféricas dois dias antes (Dia -2) e um dia antes (Dia -1) da configuração de ZCAS sobre o Espírito Santo (Dia 0), sendo: A-B-C) Anomalia de ventos acima de 6 m/s (sombreado) e linhas de corrente em 250 hpa; D-E-F) Anomalia de PNMM (sombreado) e altura geopotencial em 250

hpa (linhas contínuas); G-H-I) Anomalia de umidade específica (g/kg) (sombreado) e linhas de corrente em 850 hpa; J-K-L) Anomalia de convergência (sombreado) em 850 hpa.

4. CONCLUSÃO

Este estudo analisou e classificou as principais características sinóticas dos eventos de ZCAS relacionados a casos de chuva extrema na cidade de Vitória (ES) entre o período de 2006 à 2020. Foram constatados 27 episódios, ou seja, aqueles que excederam o limiar de precipitação encontrado através do método dos percentis ao mesmo tempo que se observou a configuração da ZCAS sobre o estado do Espírito Santo.

A partir das análises dos resultados acerca das variáveis atmosféricas, foram notados alguns padrões atmosféricos associados a eventos de ZCAS, os quais ocorrem em diversos níveis da atmosfera, tais como: Em 250 hPa foi observado a presença da Alta da Bolívia e do Jato Subtropical bem configurados, fortes processos de divergência sobre o Sudeste, sugerindo mecanismos de convergência em baixos níveis, e a existência do cavado na costa do Nordeste brasileiro; em 500 hPa, nota-se fortes movimentos ascendentes de ar (ω negativo) na região de abrangência da ZCAS; em 850 hPa, percebe-se o escoamento do vento no sentido noroeste-sudeste associado ao fluxo de umidade provindo da Amazônia, o escoamento de leste associado ao transporte de umidade oceânica promovido pela ASAS e a convergência de massa sobre a região de ZCAS; por fim, em superfície, constatou-se no campo de pressão, a configuração de um cavado invertido no Oceano Atlântico à leste do cavado observado no campo de espessura da camada 500/1000 hPa, sugerindo a presença de uma região de baixa pressão.

Os campos de anomalia, por sua vez, mostraram as características predominantes quando houve a configuração de ZCAS associada à chuva extrema, sendo as mais notáveis: escoamento ciclônico em altos níveis sobre o Oceano Atlântico com intensos valores de velocidade do vento em suas bordas; valores anômalos negativos de pressão na área de atuação da ZCAS associado há a presença de um núcleo anômalo de geopotencial à oeste; valores positivos de umidade e prevalência do sentido

noroeste-sudeste (leste) dos ventos provindos da Amazônia (Oceano Atlântico); e, por último, valores anômalos de convergência em 850 hPa sobre a região da ZCAS.

A partir dos resultados encontrados no presente estudo, é possível concluir que a gênese e estabelecimento da ZCAS é em consequência do encadeamento de mecanismos atmosféricos presentes em diversos níveis atmosféricos (desde 250 hPa até à superfície) que fomentam processos de formação de nuvens de chuva e a autoalimentação do sistema, fator esse, que promove a longa duração dos processos convectivos e a permanência do fenômeno por vários dias. A melhor compreensão do comportamento deste tipo de sistema meteorológico poderá contribuir na melhoria na previsão de eventos extremos de chuva.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

CAVALCANTI, F. A. et al. **Tempo e Clima no Brasil**, São Paulo: Oficina de Textos, v. 1. ISBN 978-85-86238-92-5, 2009.

CUPOLILLO, F.; DE ABREU, M. L.; VIANELLO, R. L. Climatologia da bacia do rio Doce e sua relação com a topografia local. **Revista Geografias**, p. 45-60, 2008.

DO NASCIMENTO SILVA¹, P.; ESCOBAR, G.C.J; REBOITA, M.S. Eventos extremos de precipitação no Estado de Minas Gerais associados com a ocorrência de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p. 1013-1023, 2020.

ESCOBAR, Gustavo Carlos Juan; REBOITA, Michelle Simões; SOUZA, Amanda. Climatology of surface baroclinic zones in the coast of Brazil. **Atmosfera**, v. 32, n. 2, p. 129-141, 2019.

ESCOBAR, Gustavo Carlos Juan. Classificação Sinótica Durante a Estação Chuvosa do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 2, p. 421-436, 2019.

ESCOBAR, G.C.J. Zona de convergência do atlântico sul (ZCAS): critério de detecção para uso em centros operacionais de previsão de tempo. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, 2019.

FERREIRA, N.J.; SANCHES, M.; SILVA DIAS, M.A.F. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em Períodos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.1, 89-98, 2004.

GADGIL, S. 2003. The Indian monsoon and its variability. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 31, n. 1, p. 429-467, 2003.

GAN, M. A.; RODRIGUES, L. R.; RAO, V. B. Monção na américa do sul. **Chapter**, v. 19, p. 297-312, 2009.

GARCIA, S. R. Variabilidade do sistema de monção da América do Sul: relações com a oscilação decadal do Pacífico. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais–INPE**, 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, acessado em 28 de Maio de 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/es/>>.

Instituto Nacional de Meteorologia. **Mapa de estações Meteorológicas no Brasil**. Acessado em 02 de fevereiro de 2022. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br/>>.

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

MARENGO, J. A.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V.; FILIZOLA, N. WAINER, I. On the onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v.14, p. 833-853, 2001.

MARENGO, J. A.; LIEBMANN, B.; GRIMM, A. M.; MISRA, V. SILVA DIAS, P. L.; CALVALCANTI, I. F. A.; CARVALHO, L. M. V.; BERBERY, E. H.; AMBRIZZI, T.; VERA, C. S.; SAULO, A. C.; NOGUES-PAEGLE, J.; ZIPSER, E.; SETH, A.; ALVES, L. M. Review recente developments on the South American monsoon system. **International journal of Climatology**, v. 32, n. 1, p. 1-21, 2012.

MECHOSO, C. R., ROBERTSON, A. W., ROPELEWSKI, C. F., GRIMM, A. M. The American monsoon systems. In: **Proceeding of the 3rd international workshop on monsoons. Hangzhou, China, November. 2004.** p. 2-6.

NETO, J. L. S. Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

QUADRO, M. F. L. Estudo de episódios de zonas de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 17, n. 2-3, p. 210-210, 1999.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. 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.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. da. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terrae Didatica**, Campinas, SP, v. 8, n. 1, p. 34–50, 2015.

SANTOS, V. J.; FIALHO, E. S. Zona de convergência do atlântico sul (zcas) e impactos pluviiais intensos: o caso da cidade de Ubá/MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, 2016.

SARAIVA, G. D. S. Z., DOS SANTOS, E. V., COELHO, J. O. M., EGAS, H. M., & CASAGRANDE, L. A. Atuação da ZCAS no Desastre de Dezembro de 2013 no Sudeste do Brasil. **In Workshop ZCAS/Monçao. July. 2015**

SILVA, J. P. R; REBOITA, M. S; ESCOBAR, G. C. J. Caracterização da Zona de Convergência do Atlântico Sul em campos atmosféricos recentes. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019.

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

ANEXO A – COMPOSIÇÕES E ANOMALIAS PARA A CIDADES DE ALEGRE E LINHARES – ES.

A.1 Composições de variáveis meteorológicas referentes aos dias de evento extremo de precipitação com a presença de ZCAS ocorridos na cidade de Alegre – ES.

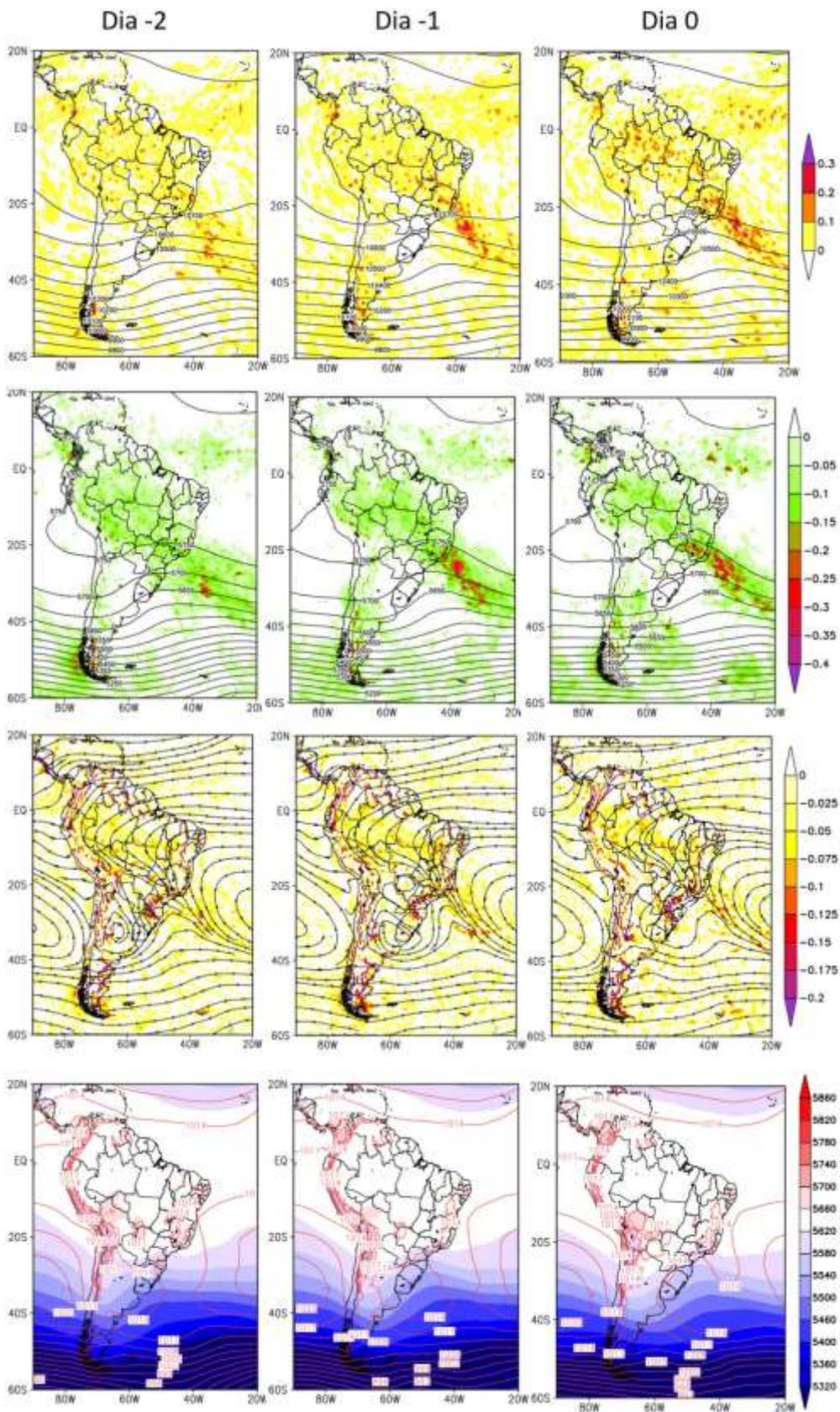


Figura A1: Compostos de ZCAS relacionados com eventos de chuva extrema em Alegre evidenciando a evolução das principais variáveis atmosféricas dois dias antes (Dia -2) e um dia antes (Dia -1) da configuração de ZCAS sobre o Espírito Santo (Dia 0), sendo: A-B-C) Divergência (sombreado) e altura geopotencial (linhas contínuas) em 250 hpa; D-E-F) Ômega (sombreado) e altura geopotencial (linhas contínuas) em 500 hpa; G-H-I) Convergência (sombreado) e linhas de corrente em 850 hpa; J-K-L) PNMM (linhas contínuas) e espessura da camada 500/1000 hPa (sombreado).

A.2 Anomalias de variáveis meteorológicas referentes aos dias de evento extremo de precipitação com a presença de ZCAS ocorridos na cidade de Alegre – ES.

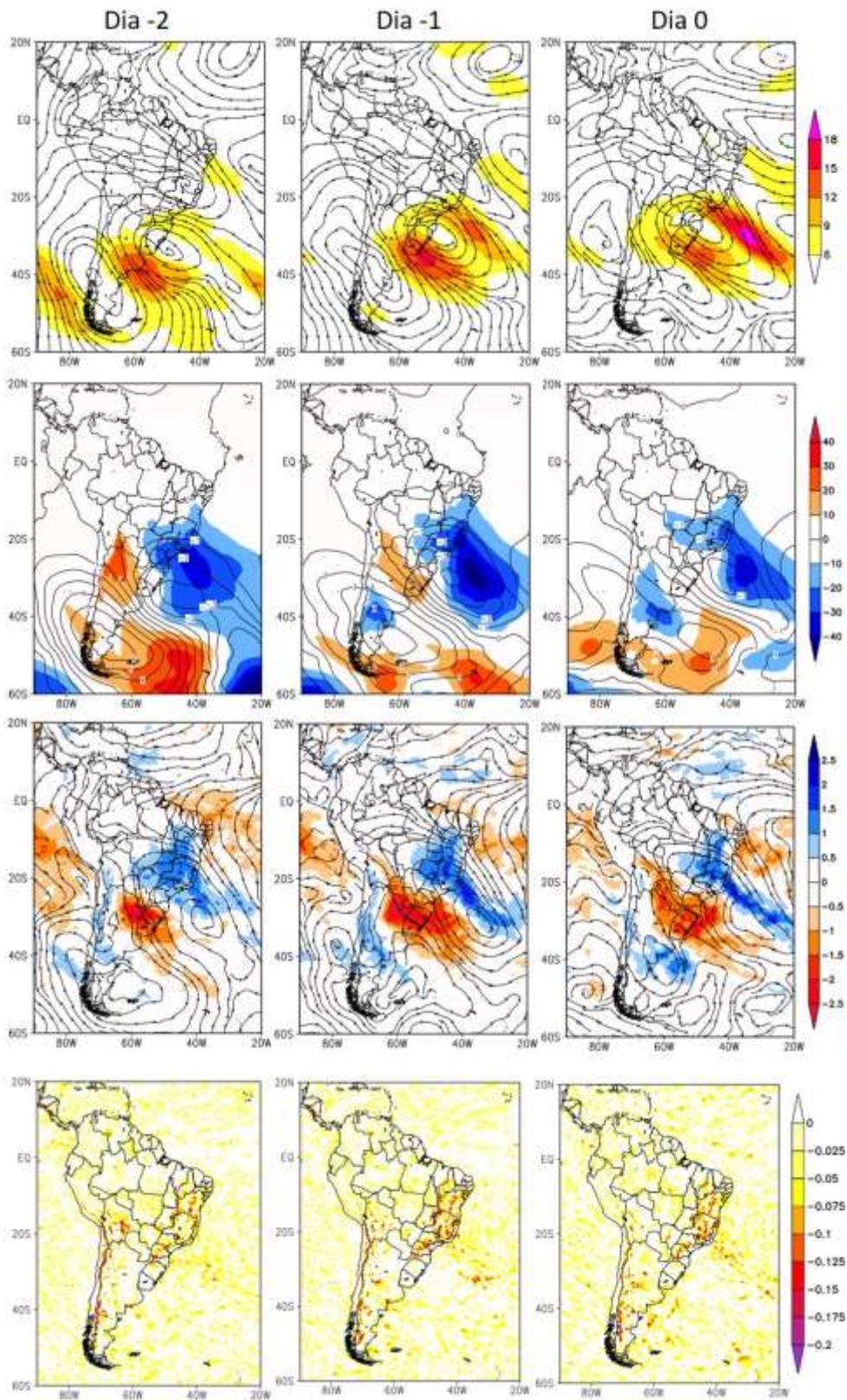


Figura A2: Campos de anomalia, ou seja, diferença entre a composição dos casos e a média climatológica da estação chuvosa (outubro-abril) evidenciando a evolução das variáveis

atmosféricas dois dias antes (Dia -2) e um dia antes (Dia -1) da configuração de ZCAS sobre a cidade de Alegre (Dia 0), sendo: A-B-C) Anomalia de ventos acima de 6 m/s (sombreado) e linhas de corrente em 250 hpa; D-E-F) Anomalia de PNMM (sombreado) e altura geopotencial em 250 hpa (linhas contínuas); G-H-I) Anomalia de umidade específica (g/kg) (sombreado) e linhas de corrente em 850 hpa; J-K-L) Anomalia de convergência (sombreado) em 850 hpa.

A.3 Composições de variáveis meteorológicas referentes aos dias de evento extremo de precipitação com a presença de ZCAS ocorridos na cidade de Linhares – ES.

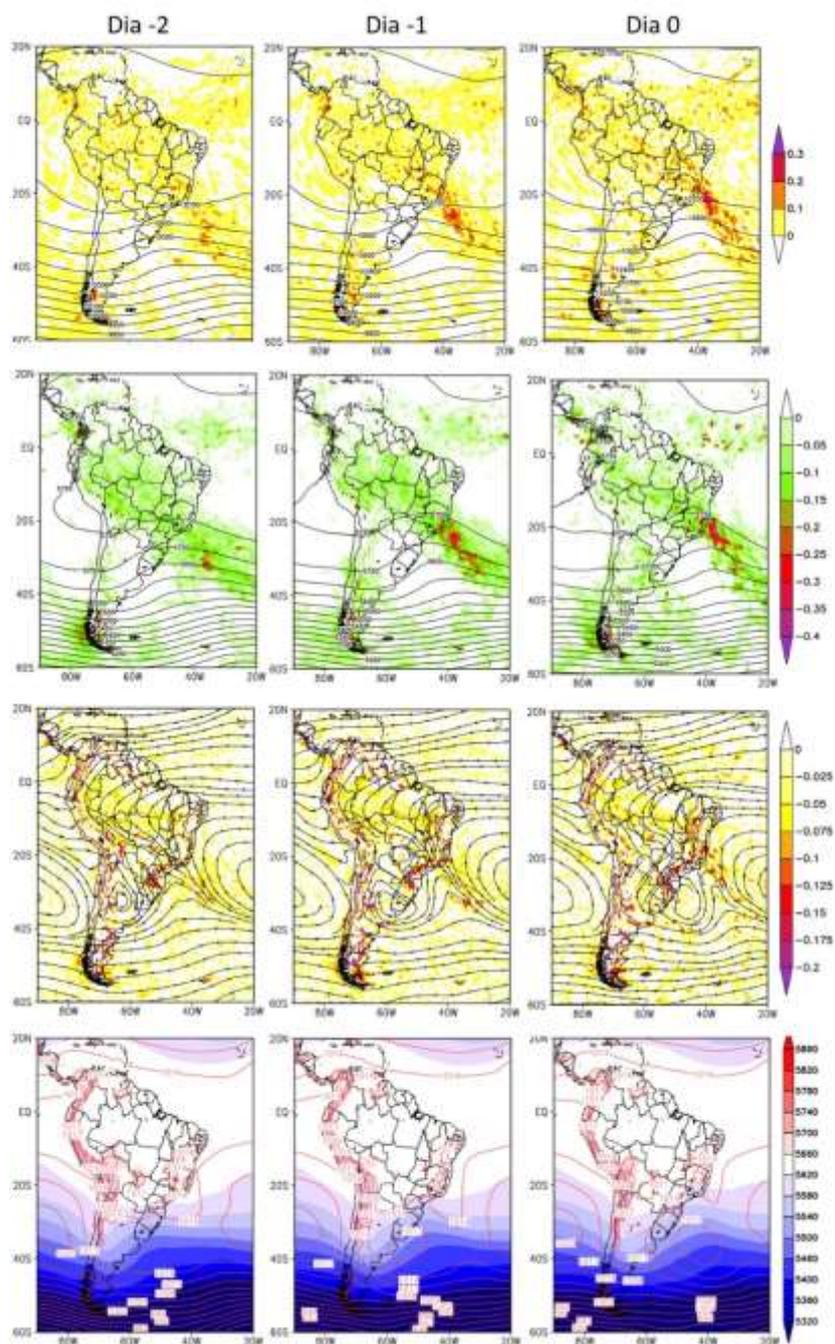


Figura A3: Compostos de ZCAS relacionados com eventos de chuva extrema em Linhares evidenciando a evolução das principais variáveis atmosféricas dois dias antes (Dia -2) e um dia antes (Dia -1) da configuração de ZCAS sobre o Espírito Santo (Dia 0), sendo: A-B-C) Divergência (sombreado) e altura geopotencial (linhas contínuas) em 250 hpa; D-E-F) Ômega (sombreado) e altura geopotencial (linhas contínuas) em 500 hpa; G-H-I) Convergência (sombreado) e linhas de corrente em 850 hpa; J-K-L) PNMM (linhas contínuas) e espessura da camada 500/1000 hPa (sombreado).

A.4 Anomalias de variáveis meteorológicas referentes aos dias de evento extremo de precipitação com a presença de ZCAS ocorridos na cidade de Linhares – ES.

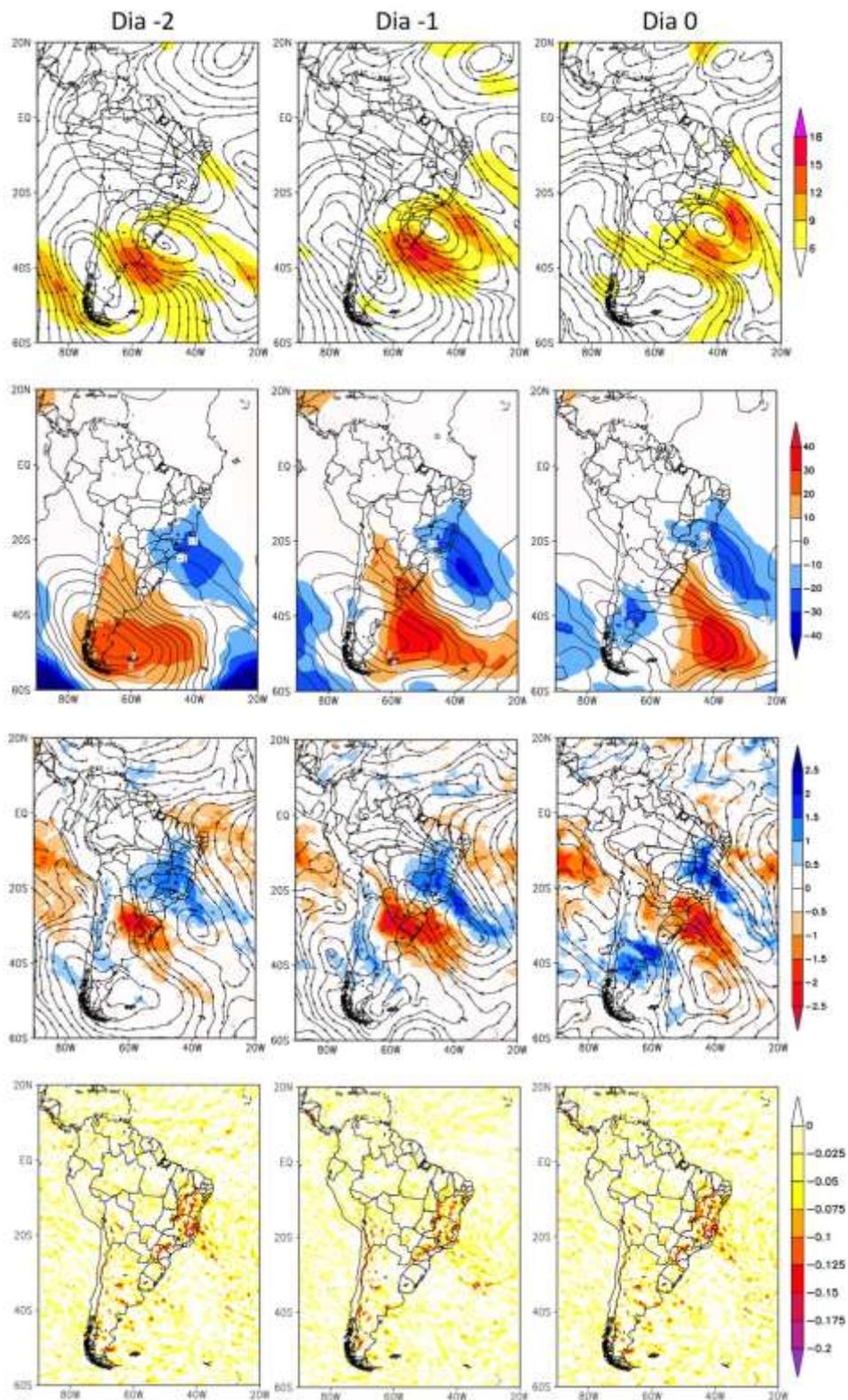


Figura A4: Campos de anomalia, ou seja, diferença entre a composição dos casos e a média climatológica da estação chuvosa (outubro-abril) evidenciando a evolução das variáveis atmosféricas dois dias antes (Dia -2) e um dia antes (Dia -1) da configuração de ZCAS sobre a

cidade de Linhares (Dia 0), sendo: A-B-C) Anomalia de ventos acima de 6 m/s (sombreado) e linhas de corrente em 250 hpa; D-E-F) Anomalia de PNMM (sombreado) e altura geopotencial em 250 hpa (linhas contínuas); G-H-I) Anomalia de umidade específica (g/kg) (sombreado) e linhas de corrente em 850 hpa; J-K-L) Anomalia de convergência (sombreado) em 850 hpa.