

A CLIMATOLOGIA DOS COMPLEXOS CONVECTIVOS DE MESOESCALA NA REGIÃO DE CAMPO MOURÃO – PR

Victor da Assunção BORSATO¹

Nair Gloria MASSOQUIM²

RESUMO

Na latitude da faixa tropical, de -20° a -40°, ocorrem desertos em várias regiões do planeta, exceto no leste do continente sul-americano. Para essa faixa o clima é o subtropical ou “zona de transição”, na qual ocorrem interações entre elementos meteorológicos e geográficos que contribuem para a gênese dos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM). Eles se manifestam em partes do continente sul-americano, territórios do Paraguai, Uruguai, região central e nordeste da Argentina e Sul do Brasil. Os CCM são aglomerados de nuvens convectivas, em forma circular com áreas de precipitações contínuas, às vezes intensas e com queda de granizo, descargas atmosféricas e vendavais. O período de maior ocorrência dos CCM é nas estações primavera e verão. O objetivo da pesquisa foi quantificar a participação dos CCM nos estados do tempo meteorológico para a região de Campo Mourão – PR, associando-os às massas de ar, a fim de verificar em quais delas os CCM são mais frequentes. A identificação dos CCM se deu pela leitura das imagens de satélite *goes-10*, e das massas de ar, pela leitura e interpretação das cartas sinóticas. O recorte temporal considerou as estações primavera e verão para os anos de 2013/14, ano neutro, 2015/16 de El Niño e 2016/17 de La Niña. Os resultados indicam que os CCM no sul do continente são mais frequentes em anos de manifestação do El Niño, nos quais as chuvas também se ampliaram.

Palavras chave: Tempo meteorológico. Massas de ar. Gênese da chuva.

¹ Professor Adjunto do Colegiado de Geografia da Universidade Estadual do Paraná (Unespar) – Campus de Campo Mourão. Associado da ABCLima. Pós-doutor em Geografia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

² Professora do Colegiado de Geografia da Universidade Estadual do Paraná (Unespar) – Campus de Campo Mourão. Doutora em Geografia pela Universidade de São Paulo (USP).

THE CLIMATOLOGY OF MESOSCALE CONVECTIVE COMPLEXES IN THE CAMPO MOURÃO REGION - PR

ABSTRACT

In the tropical range, from -20° to -40° , there are deserts in various regions of the planet, except for the east of the South American continent. For this band the climate is subtropical or "transition zone", in which interactions occur between meteorological and geographic elements that contribute to the genesis of Meso-Scalar Convective Complexes (MCC). They manifest in parts of the South American continent, territories of Paraguay, Uruguay, central and northeast Argentina and southern Brazil. MCC are convective cloud clusters, circular in shape with areas of continuous precipitation, sometimes intense and with hailstorms, atmospheric and windy discharges. The period of greatest occurrence of MCC is in the spring and summer seasons. The objective of the research was to quantify the participation of MCC in the states of the meteorological time for the region of Campo Mourão – PR, associating them to the air masses, in order to verify in which of them the MCC are more frequent. The identification of the MCC occurred by reading the satellite images goes-10, and the identification of masses of air, by reading and interpreting the synoptic charts. The temporal cut considered the seasons of spring and summer in the years of 2013/14, neutral year, 2015/16 of El Niño, and 2016/17 of La Niña. The results indicate that MCC in the South of the continent are more frequent in El Niño years, in which rainfall has also increased.

Keywords: Meteorological time. Air masses. Rain genesis.

1 INTRODUÇÃO

O Estado do Paraná, no Sul do Brasil, se destaca pelas atividades agrícolas, fundamentadas nas características do clima e na fertilidade dos solos, atributos que atraíram desbravadores para o estado. A partir da década de 1970, a economia da Mesorregião Centro-ocidental Paranaense se dinamizou com a mecanização das atividades agrícolas, baseadas principalmente no cultivo de soja, milho e trigo.

Os solos dessa mesorregião são derivados da meteorização das rochas basálticas da formação Serra Geral e dos arenitos Caiuá, da formação de mesmo nome. O basalto e os arenitos são estratos da bacia sedimentar do Paraná. As rochas magmáticas basálticas se estendem sobre a bacia sedimentar do Paraná por uma área de aproximadamente 1.000.000 Km², denominada pela geologia de basaltos do “derrame do Trapp” (POOP, 2010). Sendo assim, os solos resultantes são naturalmente férteis e apresentam horizontes bem desenvolvidos e com alto potencial agrícola (MASSOQUIM, 2010). Associados ao clima subtropical com chuvas regulares, propiciam condições favoráveis ao desenvolvimento da agricultura.

Sabe-se que para a região, a gênese das chuvas são as convectivas e também as frontais, sendo as primeiras típicas do verão, embora a passagem de frentes frias seja comum nessa estação, podendo causar episódios de chuvas frontais. Essas, por sua vez, são o único tipo a ocorrer durante o inverno, enquanto nas estações intermediárias, outono e primavera, podem ocorrer ambos.

A dinâmica dos sistemas atmosféricos no Sul do Brasil é dominada, basicamente, por quatro massas de ar; duas de baixa pressão atmosférica, a massa Tropical continental (mTc) e a massa Equatorial continental (mEc); duas de alta pressão, a massa Tropical atlântica (mTa) e a massa Polar atlântica (mPa), e pelos Sistemas Frontais (SF). Na dinâmica da circulação sinótica as massas de ar se alternam, sendo que nos meses mais frios prevalecem aquelas de alta pressão atmosférica. Por outro lado, no verão, os estados do tempo são dominados por massas de baixa pressão.

Para a primavera e o outono, estações consideradas de transição, a região é sucedida por sistemas de alta e de baixa pressão. Avançam pelo Sul do Brasil os Sistemas Frontais, seguidos pela massa Polar atlântica e, com o envelhecimento dela, a região volta a ser dominada pela massa Tropical continental, um sistema de baixa pressão.

A região Sul é também palco da atuação dos Sistemas Convectivos de Mesoescalas, que Maddox (1980) classificou como Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), e não raro ocorrem episódios de chuva, granizo e vendavais. Nas gêneses das chuvas, sejam convectivas ou frontais, há a participação dos CCM, que desempenham amplo papel no Sul do Brasil, embora pouco estudado pela Climatologia Geográfica.

Elegeu-se Campo Mourão, cidade paranaense e próxima ao Trópico de Capricórnio, para contabilizar a participação dos CCM, averiguar em quais massas de ar eles se manifestam e qual seu papel na gênese das chuvas. Borsato e Massoquim (2016) estudaram a gênese das chuvas em Campo Mourão para a primavera de 2015 e constataram que mais de 30% ocorreram nos dias em que os CCM atuaram na região.

A bibliografia meteorológica aponta que episódios de chuvas acompanhadas de vendavais, quedas de granizo e descargas atmosféricas são comuns para os episódios dos CCM (ABDOULAEV *et al.*, 1996; FIGUEIREDO e SCOLAR, 1996; MADDOX, 1980; SALIO *et al.*, 2002; STAROSTIN *et al.*, 2000).

A região de Campo Mourão tem como características climáticas as irregularidades na distribuição e na altura das chuvas; quanto à temperatura, também se verifica a ocorrência de dias quentes alternados com dias de temperaturas amenas, consequência da sucessão de massas de ar com características de temperatura e pressão contrastantes. Por isso, essa região é de transição climática.

Essas irregularidades ou oscilações podem ser verificadas na escala semanal, mensal, estacional e interanual, considerando que além dos controles geográficos do clima, essa região também está exposta a consequências climáticas dos fenômenos El Niño e La Niña, os quais exercem forte influência na altura da chuva e na participação dos CCM. Também há alterações na dinâmica das massas de ar, principalmente no tempo cronológico de atuação.

O objetivo desta pesquisa foi quantificar a participação dos CCM nos estados do tempo e associá-los com as massas de ar, identificando em quais eles são mais frequentes, e contabilizar as chuvas, consequência de suas atuações.

O recorte temporal abordou duas estações, a primavera e o verão, para três períodos, considerando-se duas estações em sequência, a iniciar em setembro e findar em março, extrapolando, dessa forma, o ano civil. Para Segalin, (2012), os meses com maior frequência de Sistema Convectivo de Mesoescala (SCM) são novembro, janeiro e fevereiro, em ordem

decrecente e, quanto à área de gênese, as regiões mais afetadas são o centro-norte da Argentina e sul-sudeste e sul do Peru, com trajetória típica para leste.

O ano de 2013 foi climatologicamente neutro, 2015/16 de El Niño e 2016/17 de La Niña. Dessa forma, estabeleceram-se comparações para se verificar em quais anos/estações os Complexos Convectivos de Mesoescalas ocorreram com maior frequência e contabilizar a participação deles nos estados do tempo e nos episódios de tempestades para a região.

2 METODOLOGIA

As massas de ar foram quantificadas a partir da leitura e interpretação das cartas sinóticas da Marinha do Brasil e das imagens do satélite *Goes 10* (CPTEC-INPE, 2017). O estudo seguiu a metodologia proposta por Pédelaborde (1970). Para os registros foram elaboradas tabelas em planilhas do Excel® e atribuídos valores numéricos, correspondentes ao tempo de participação dos sistemas atmosféricos em horas e convertidos em porcentagens para posterior aferição ou comparação com as condições sinóticas, gênese dos CCM.

Os sistemas atmosféricos considerados foram aqueles que atuaram na região: Sistema Frontal, massa Tropical continental, massa Tropical atlântica, massa Polar atlântica, massa Equatorial continental (VIANELLO, 2000; VAREJÃO-SILVA, 2000; FERREIRA, 1989; BISCARO, 2007).

As chuvas registradas no período de estudo foram classificadas em frontal, para os dias em que atuaram os sistemas frontais ou a mPa, enquanto que para os dias em que atuaram a mTc, a mEc ou a mTa, as chuvas foram classificadas como convectivas. Por fim, para os dias em que o CCM se estendeu sobre o estado do Paraná, visualizados nas imagens de satélite, a gênese da chuva foi considerada como resultante da atuação dos CCM e contabilizada na participação.

Os CCM foram identificados por meio da leitura das imagens de satélite no canal infravermelho das 8h (TMG). Para os dias em que os CCM foram identificados nas imagens e na região de origem foram analisadas também a sequência das imagens “goes16-canal -16 (10.30 microns)” das 12h, das 16h e das 20h TMG. Para os dias em que os CCM avançaram sobre o estado do Paraná, identificou-se a massa de ar que atuava na região, a qual foi contabilizada como a massa de ar gênese dos CCM.

Os anos/estações escolhidos foram fundamentados nos dados disponibilizados pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), por meio do Oceanic Niño Index (ONI). Esse Instituto monitoram as temperaturas das águas equatoriais do Pacífico e classificam os anos e a intensidade de *El Niño* e *La Niña* baseando-se no ONI (NOAA, 2017).

A Figura 1 é uma imagem do satélite *Goes* – CH 16 – 13.3 μ do dia 09 de outubro de 2017 para as 8h *Greenwich Mean Time* (GMT). Ela é uma ilustração da configuração de um CCM visualizado nas imagens de satélite meteorológicos.

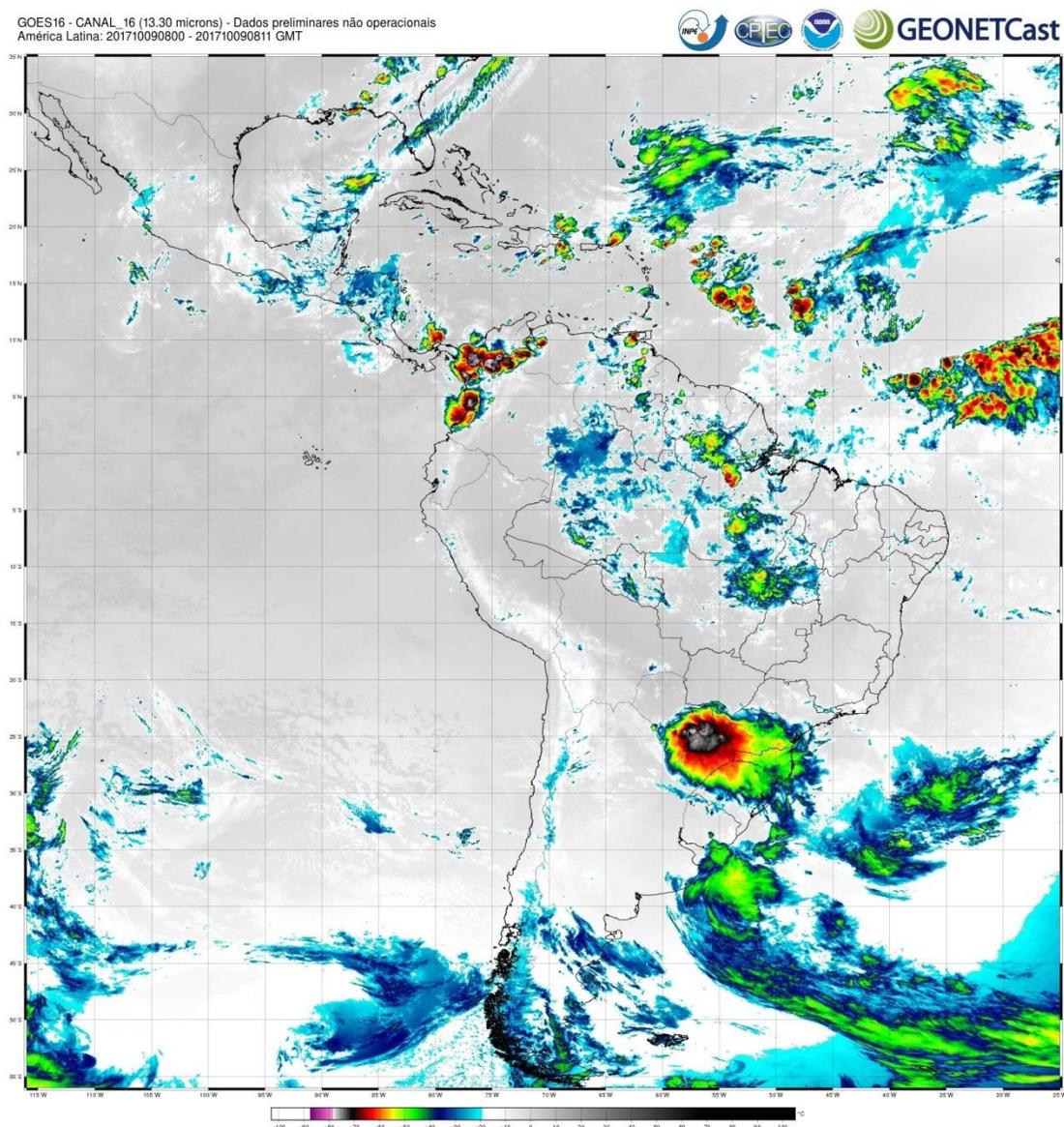


Figura 1 – Imagem de satélite – Goes16 – Canal_16 (13.30 microns)

Dados preliminares não operacionais. América latina: 20171090800 – 201710090811 GMT, do dia 09 de outubro de 2017. Fonte: CPTEC, 2017

A Figura 2 é a Carta Sinótica da Marinha do Brasil para o mesmo dia, mostrando que a região Sul do Brasil estava tomada pela massa Tropical continental, porém uma Frente Fria avançava o território do país pelo extremo sul.

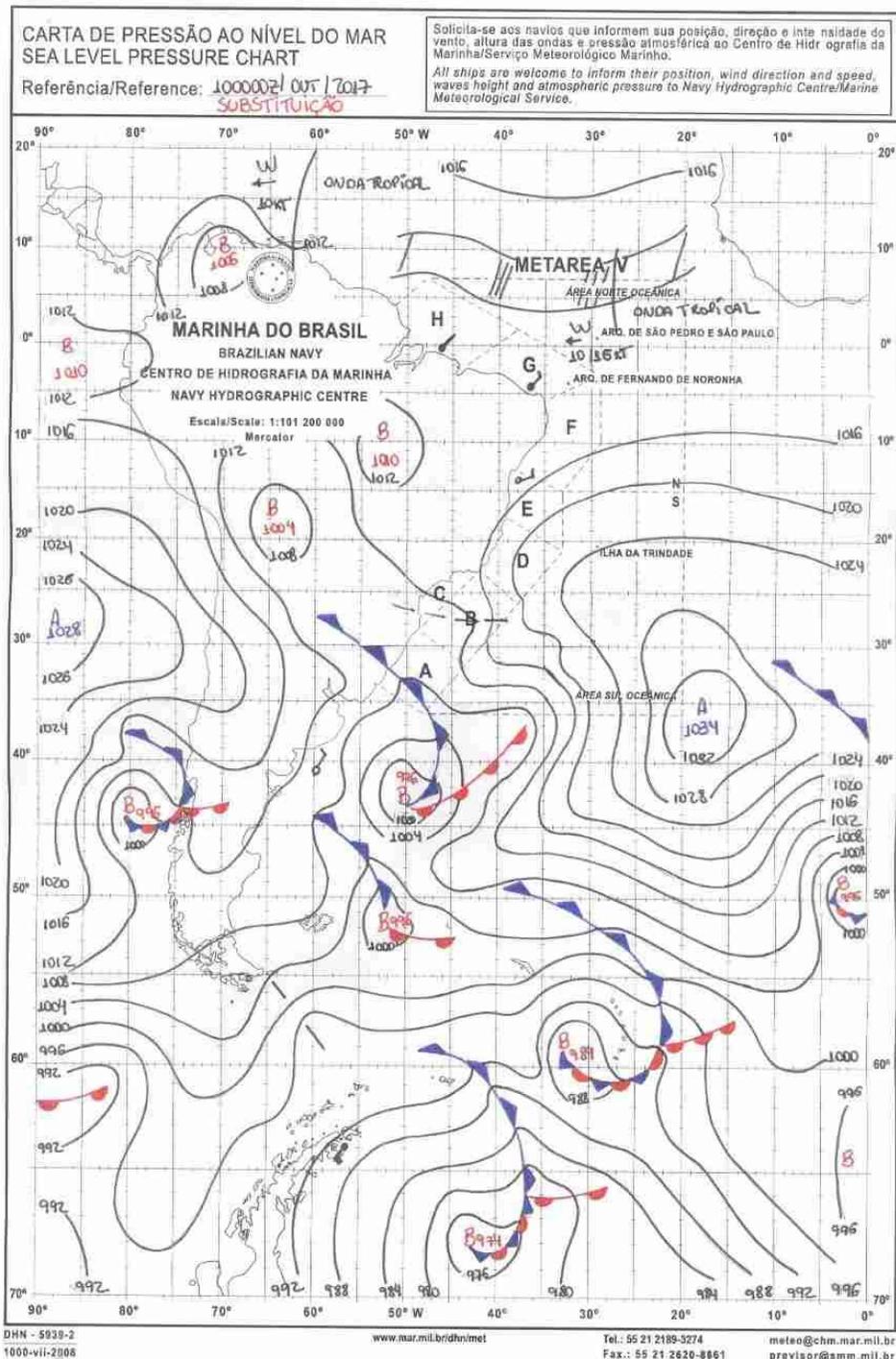


Figura 2 – Carta sinótica da Marinha do Brasil do dia 10 de outubro de 2017 00h (TMG).
Fonte: Marinha do Brasil, 2017

Para Maddox (1983), os SCMs estão associados aos eventos de precipitação intensa, rajadas de vento, inundações, tempestades elétricas, granizo e até tornados, motivos de preocupação à população, principalmente a mais vulnerável.

A meteorologia alerta que os CCM podem desencadear episódios tempestuosos, e para averiguar a frequência das tempestades com os CCM fez-se um breve levantamento no jornal “Gazeta do Povo” e comparou-se com os dias de atuação dos CCM.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Paraná é um estado da Federação localizado na região Sul, e atravessado, ao norte pelo trópico de Capricórnio. Devido a essa localização no globo, as características climatológicas são de transição climática, condicionada por um conjunto de fatores, alguns de ordem “estática”, como orografia, outros de ordem “dinâmica”, como a circulação geral e os sistemas atmosféricos, os quais se alternam de forma constante e com maior intensidade considerando a dinâmica para a estação do verão e do inverno. Os sistemas atmosféricos interagem entre si e geram estados do tempo que caracterizam a zona de transição (NIMER, 1989).

Para maior detalhamento sobre a localização da região de Campo Mourão no globo terrestre, as coordenadas da cidade são -24° de latitude e -52° de longitude. Essa proximidade do trópico de Capricórnio propicia condições meteorológicas e climatológicas influenciadas pelo clima tropical continental ao norte desse paralelo e também do clima temperado, ao Sul. Simões (1954) caracterizou o clima do estado do Paraná como sendo uma região de transição entre dois diferentes regimes: o clima tropical e o mesotérmico sempre úmido. O primeiro domina o planalto paulista para o norte e o segundo caracteriza, de modo geral, a região Sul do Brasil, o qual é denominado também de subtropical.

A região também recebe as influências de um importante controle climático; há no oeste do continente a elevação andina (Cordilheira dos Andes), que se constitui numa barreira à circulação de baixo nível. Para completar os elementos estáticos, a leste dos Andes e incrustada no interior do continente há uma grande depressão, a região do Grande Chaco, onde a vegetação é complexa e de excepcional diversidade ambiental, abarcando terras da Argentina, do Paraguai, da Bolívia e do Brasil, que somam juntas mais de 1.000.000 de quilômetros quadrados. O clima

dessa região também apresenta uma grande diversidade, iniciando pelo forte gradiente térmico latitudinal; a umidade do ar não é homogênea e as precipitações seguem esse gradiente (MALDONADO, 2006).

Considerando a climatologia dinâmica, a faixa latitudinal de $-60/70^{\circ}$ possui circulação geral com escoamento de oeste para leste. Essa faixa é denominada pela meteorologia como zona frontogênica e se configura na convergência de duas correntes de ventos, uma impulsionada pela célula Polar e a outra pela célula de Ferrel. É nessa faixa que se desencadeiam as frontogêneses que atuam no sul do continente e do Brasil.

Dependendo das condições da célula de baixa pressão que se configura na região do Grande Chaco (FERREIRA, 2008; SELUCHI e SAULO, 2012), as ciclogêneses desencadeiam-se sobre o Sul do Brasil, para na sequência se deslocarem para o interior do Atlântico e se dissiparem alguns dias depois. Por isso, ao sul do Trópico de Capricórnio, os principais episódios de chuvas são frontais, mesmo na estação do verão. A contribuição frontal nas chuvas da região pode somar mais de 50% (BORSATO, 2006).

A Cordilheira dos Andes, na borda oeste do continente, o relevo depressionário na porção central e o limite das células da circulação geral condicionam a região às interações atmosféricas, as quais propiciam condições gêneses para diversos fenômenos: sistemas frontais, ciclogêneses, os frequentes Complexos Convectivos de Mesoescala (tema deste estudo) e ainda as linhas de instabilidade. Todos eles se ampliam e também podem se manifestar em território brasileiro, seguindo o escoamento zonal, que para o Sul do Brasil é de oeste para leste.

Os Complexos Convectivos de Mesoescala são pouco estudados pela Climatologia Geográfica, considerando que estão mais alinhados com a Meteorologia. Por outro lado, a Climatologia preocupa-se basicamente com a espacialização dos fenômenos meteorológico e, sobretudo, com suas consequências no espaço ocupado. Por isso, estabeleceu-se como base a contribuição dos CCM nos estados do tempo, nas gêneses das chuvas e também em qual massa de ar eles mais se manifestam para a região de Campo Mourão.

Conhecer a participação dos sistemas atmosféricos nos estados do tempo nos permite caracterizar a gênese desses fenômenos, que às vezes são intensos. Por se tratar de um fenômeno que tem duração de horas, a investigação também deve ser nessa escala temporal, ou seja, diária, considerando que a bibliografia a respeito dos CCM afirma que eles têm duração média, para o sul do continente, de 12h (SILVA DIAS, 1987; SALIO *et al.*, 2007; SAULO *et al.*, 2007).

Na estação do verão as correntes de baixo nível se configuram para a sua região habitual, ou seja, na borda leste dos Andes (MARENGO e SOARES, 2002). Elas transportam a umidade da Amazônia, que, na mesma latitude do Sul do Brasil, ainda em território do Paraguai e/ou da Argentina, propicia condições para o surgimento dos CCM (MARENGO e SOARES, 2002).

A corrente de baixo nível é denominada pela meteorologia de Jato de Baixo Nível. Essa corrente de ar acompanha os contornos leste da cordilheira dos Andes e abastece o Sul do Brasil e o nordeste da Argentina de umidade, ela atua frequentemente nos meses de verão (MARENGO e SOARES, 2002). Para Silveira e Teixeira (2011), o Jato de Baixo Nível abastece de umidade os sistemas convectivos de mesoescala, ou Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), segundo a nomenclatura de Maddox (1980).

Na América do Sul, os CCM se manifestam na área entre as latitudes de -20° a -40° , compreendendo boa parte do continente sul-americano (Paraguai, Uruguai, região nordeste da Argentina e Sul do Brasil). Para Figueiredo e Scola (1996), a área onde eles surgem e se ampliam com mais frequência é na região do Grande Chaco. Para Velasco e Fritsch (1987), ocorrem em áreas onde os processos dinâmicos e termodinâmicos são fortemente influenciados pela cadeia de montanhas dos Andes.

As células convectivas iniciam as atividades a leste dos Andes na latitude de -20 a -40° e deslocam-se, na maioria dos episódios, para leste e nordeste. No Brasil, avançam em territórios do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (SCOLAR, 1996).

Os CCM se desenvolvem a sota-vento das grandes cadeias montanhosas e o período de maior ocorrência é durante as estações da primavera e do verão (ANABOR, 2004). Para o continente sul-americano, a grande cadeia de montanhas é os Andes e a região com maior ocorrência é o Grande Chaco, gênese da depressão térmica, denominada pela meteorologia como “Depressão do Chaco” (SELUCHI e SAULO, 2011). Essa depressão dá origem à massa Tropical continental, importante sistema atmosférico, o qual atua e influencia nos estados do tempo, principalmente no oeste de todo o centro-sul do Brasil (BORSATO e MENDONÇA, 2014).

A área de estudo é palco da atuação de quatro massas de ar e do sistema frontal. Durante a estação mais quente, prevalecem os sistemas de baixa pressão, representados pela massa Tropical continental e pela Equatorial continental. No inverno, a performance dessas duas massas

de ar tem sua atuação limitada a eventos isolados. Por outro lado, a massa Polar atlântica e a Tropical atlântica, ambas de alta pressão e geradoras de estabilidade atmosférica, são as que mais atuam. Por isso, os sistemas frontais atuam o ano todo. A passagem das frentes pelo Sul do Brasil gera, para a maioria dos episódios, as chuvas frontais (BORSATO, 2006).

Ramos *et al.* (2017) estudaram a participação dos sistemas atmosféricos e eventos climáticos extremos na região de Campo Mourão. Os resultados mostraram que foi na estação da primavera que mais eventos intensos foram registrados e também que ocorreram na evolução das ciclogêneses sobre o Sul do Brasil. Borsato e Massoquim (2016) também estudaram a participação dos Complexos Convectivos de Mesoescala nas chuvas registradas na primavera de 2015 para essa região e os resultados apontaram que, do total registrado nessa estação, 30% foram durante a manifestação dos CCM.

Durkee *et al.* (2009) mostram que o extremo oeste do estado do Paraná encontra-se na região de maior incidência dos CCM, especialmente de outubro a maio, com frequência de 63 a 81 eventos (Figura 3). Essa figura mostra que a cidade de Campo Mourão se encontra na área com frequência entre 50 e 62 eventos.

O *National Oceanic-and Atmospheric Administration* (NOAA) monitora o clima em nível global e disponibiliza os dados coletados na atmosfera e também nos oceanos. O NOAA, por meio do Oceanic Niño Index (ONI), monitora a temperatura das águas equatoriais do Pacífico, zona de anomalias da temperatura das águas superficiais, as quais indicam águas mais aquecidas para o fenômeno El Niño e abaixo da média para La Niña (Quadro 1).

É considerado anomalia de Temperatura da Superfície do Mar (*Sea Surface Temperatures – SST*) quando, para a região do El Niño 3 e 4 (ou seja, 5° N – 5° S, 120° – 170° W) a temperatura em cinco períodos consecutivos de três meses oscilar para +0,5° El Niño e -0,5 La Niña. São classificados como evento fraco de 0,5 a 0,0 SST, moderado de 1,0 a 1,4 SST, forte de 1,5 a 1,9 SST, e muito forte $\geq 2,0$ SST (NOAA, 2017).

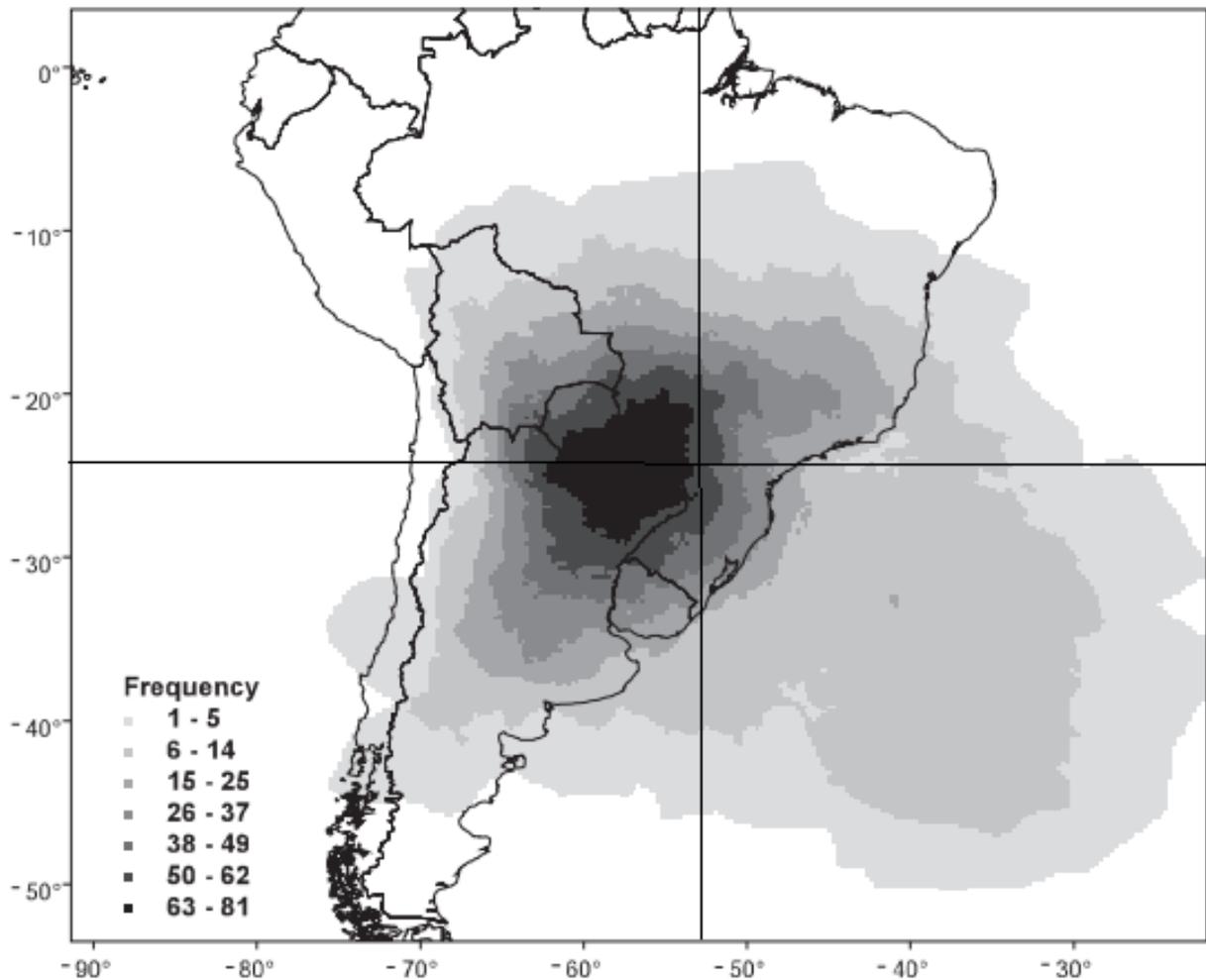


Figura 3 – Frequência de CCM para o centro-sul do Continente sul-americano de outubro a maio –
 O município de Campo Mourão encontra-se no cruzamento das linhas vertical e horizontal.
 Fonte: Durkee et al. (2009), modificado: autores

Estação	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ
2012/13	0,3	0,3	0,3	0,2	0,0	-0,2	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3
2013/14	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,2	0,1	0,3	0,2
2014/15	0,1	0,0	0,2	0,4	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	1,0	1,2
2015/16	1,5	1,8	2,1	2,4	2,5	2,6	2,5	2,2	1,7	1,0	0,5	1,2
2016/17	-0,3	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,3	-0,1	0,1	0,3	0,4	0,4

Quadro 1 – Temperatura média trimestral para o Pacífico Tropical, região do El Niño 3-4.
 Fonte: NOAA, (2017). Org. e modificação – Autores

3.1 ANÁLISE DA PRIMAVERA/VERÃO DE 2013/14

As estações primavera e verão correspondem ao período em que o Sol, em seu caminho aparente, circula sobre o hemisfério sul da Terra. Entre o dia 23 de setembro de 2013 e 21 de março de 2014, o Sol transitou sobre o hemisfério sul e o NOAA (2017) considerou esse período como climatologicamente neutro (como mostrado no Quadro 1).

Em nosso estudo analisamos, por meio da leitura, as cartas sinóticas do período e quantificamos a participação das massas de ar nos estados do tempo para a região de Campo Mourão (Tabela 1). Verificamos que o tempo cronológico de atuação de cada sistema atmosférico foi próximo ao visto nas primaveras/verões de 2015/16 e 2016/17.

Tabela 1 – Porcentagem de participações dos sistemas frontais e das massas de ar que atuaram na região de Campo Mourão na primavera/verão de 2013/14, 2015/16 e 2016/17

Período	SF (%)	mPa (%)	mTa (%)	mTc (%)	mEc (%)	Anomalia
23/10/213 a 21/03/2014	11,5	18,5	5,2	41,5	23,3	neutro
23/10/215 a 21/03/2016	12,7	17,7	2,2	44,4	23,1	El Niño
23/10/216 a 21/03/2017	10,8	20,9	5,5	39,6	23,2	La Niña

Para ampliar as considerações, disponibilizamos duas figuras (Figura 4 “A, B, C e D” e 5 “A e B”), a primeira com a sequência das imagens de satélite para o dia 21 de outubro de 2013 e a segunda com as duas cartas sinóticas desse dia. A Figura 4 “A, B, C e D” exibe uma sequência de imagens de satélite *Goes*, que mostram a evolução de um CCM, o qual atuou até a região estudada.

A Figura 5 mostra as duas cartas sinóticas da Marinha do Brasil do mesmo dia. Na carta “A” visualiza-se uma área de baixa pressão sobre a região do Grande Chaco, cujo centro de baixa oscila em 996 hPa. Toda essa área tomada pela baixa pressão é considerada a área de domínio da mTc. Ela mostra também uma frente fria avançando pelo oceano, na altura de -40° e -60° . A Carta “B”, por sua vez, mostra que a frente avançou e às 12h (TMG) encontrava-se sobre o extremo Sul do Brasil e conectada à baixa do Chaco. Dessa forma, o CCM nesse dia teve sua gênese no Sistema Frontal.

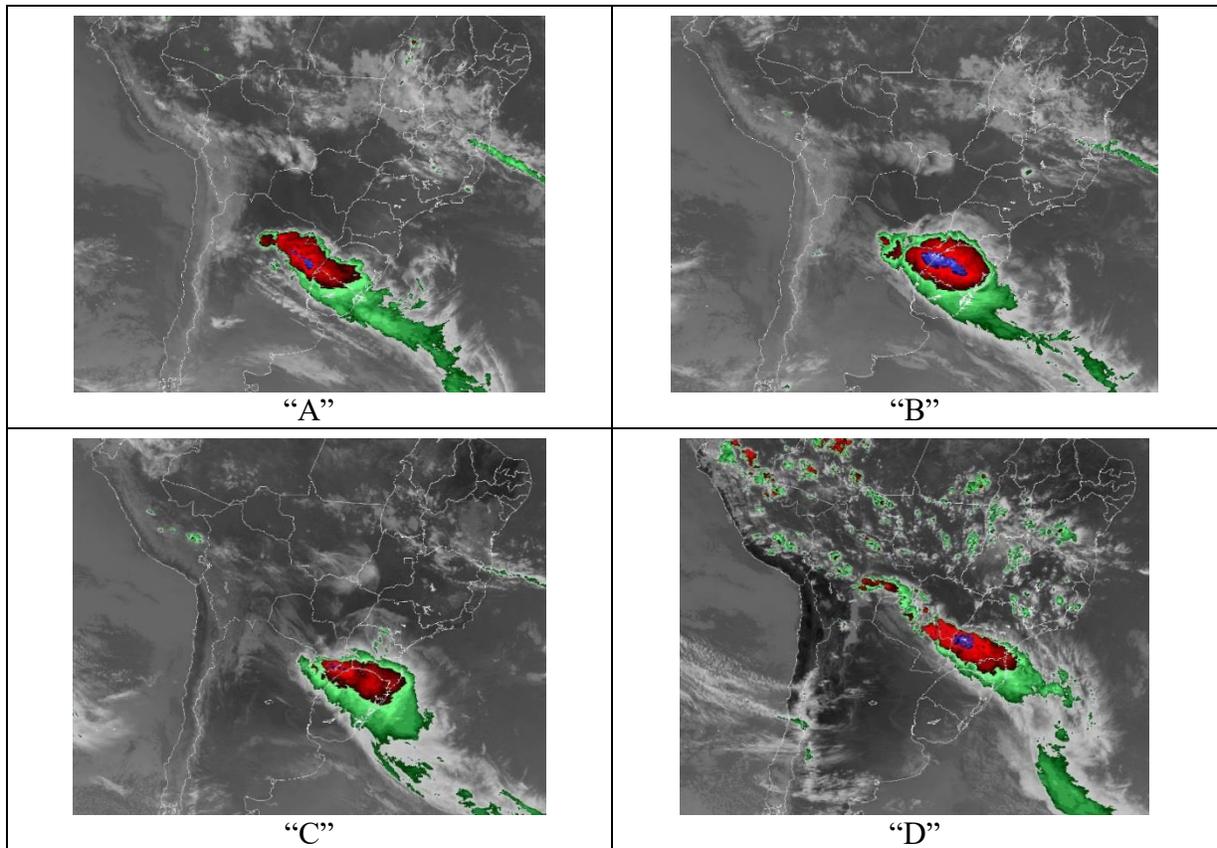


Figura 4 – Mosaico de imagens – Imagem realçada – Topo de Nuvens – Goes-10 (21/10/2013 -A = 04,00h; B = 08,00h; C = 12,00h e D = 20,00h (TMG).

Fonte: (CPTEC, 2013). Modificadas – Autores

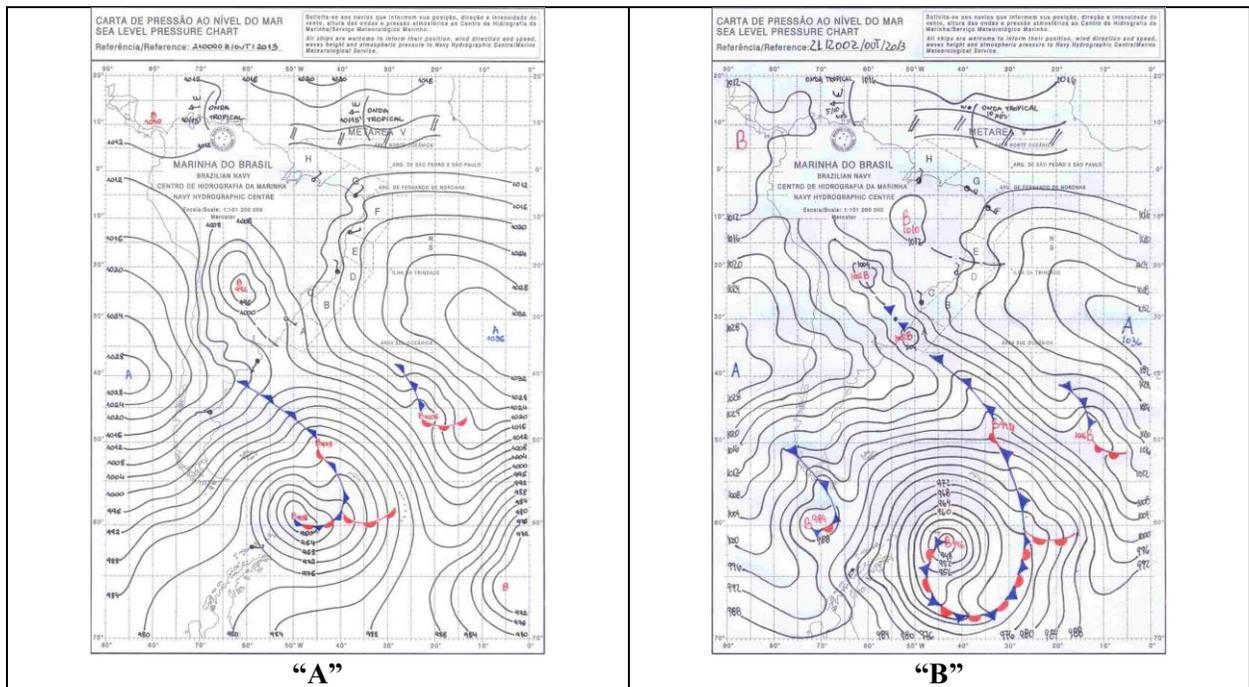


Figura 5 – Cartas Sinótica da Marinha do Brasil “A” = 00 h e “B” = 12 h (TMG).

Fonte: Marinha do Brasil (2017).

Para os anos de El Niño é mais frequente que os sistemas frontais nas proximidades do Trópico de Capricórnio evoluam para o estágio de frontólise sobre o Norte do Paraná ou se desloquem para o interior do Atlântico Sul (BORSATO, 2006). A principal consequência nos estados do tempo para a região de estudo é chuva acima do esperado. Por outro lado, para os anos de La Niña, os sistemas frontais avançam mais rapidamente e atingem latitudes aquém do Trópico de Capricórnio. A passagem mais rápida que o habitual pelo norte do Paraná resulta em menos chuva (BERLATO e FONTANA, 1997 e 2003) e, geralmente, abaixo do esperado.

A altura da chuva esperada para Campo Mourão não se restringe à passagem dos sistemas frontais, principalmente nas estações da primavera e do verão. Borsato (2006) estudou a dinâmica dos sistemas atmosféricos para o Alto da Bacia do Rio Paraná e verificou que mesmo na estação do verão, dominada pelas chuvas convectivas, as frontais são verificadas nessa região.

Os episódios de chuvas convectivas ocorrem, principalmente, durante a atuação da massa Equatorial continental, que com frequência se expande a partir da Amazônia e pode atuar até o Sul do Brasil, e também durante a atuação da massa Tropical continental, embora nesse caso as chuvas sejam menos frequentes.

As observações diárias para as estações primavera e verão evidenciaram que durante a atuação da mTc é comum o desenvolvimento dos CCM e, não raro, o desenvolvimento de células convectivas locais (supercélulas).

Para a primavera/verão de 2013/14, as participações dos sistemas atmosféricos se mantiveram próximas ao verificado para as duas outras estações estudadas (conforme mostrado na Tabela 1). Como previsto, por se tratar de um período climatologicamente neutro, o tempo cronológico de atuação dos sistemas frontais ficou entre o contabilizado para ano de El Niño e o de La Niña. Nessas duas estações, foram observadas as participações de CCM em 49 dias, sendo que para a área de estudo eles atuaram em 13 dias (Tabela 2), dos quais, em 11 foram registradas chuvas.

Tabela 2 – Participação dos CCM para a primavera/verão dos anos de 2013/14; 2015/16 e 2016/17, observados nas imagens de satélite *goes*.

Fenômeno/ano	Ano Neutro	El Niño forte	La Niña
ano/estação	2013/214	2015/16	2016/2017
Total (CCM) – dias	49	72	37
Em Campo Mourão – dias	13	29	9

Org. Autores

O volume de chuva registrado nas duas estações do ano em Campo Mourão somou 978,0 mm, com 425,1mm classificada como frontal e 552,9 mm, convectiva.

A chuva acumulada, somente para os dias em que os CCM avançaram sobre a região, totalizaram 212,0 mm. Desse total, 138,8 mm foram chuvas frontais e 73,2 mm, convectivas. Ademais, considerando o volume total de chuva, os CCM contribuíram com 21,7% do total registrado.

3.2 ANÁLISE DA PRIMAVERA/VERÃO 2015/16

As duas estações (primavera/verão), segundo o NOAA (2017), foram um período de El Niño de forte intensidade (como mostrado no Quadro 1). Segundo Berlato e Fontana (1997), nos anos de El Niño espera-se chuva acima da média para o sul do Brasil. Não encontramos referências que apontam a participação dos CCM em anos de El Niño.

Nas duas estações consideradas, em 72 dias observou-se nas imagens de satélite Goes-10 a presença de CCM em algum ponto ao sul do paralelo de -20° sobre o continente sul americano, e apenas 29 deles atuaram na região de Campo Mourão. Na zona frontal foi contabilizada a participação de 31, e os 41 restantes evoluíram sob o domínio de sistemas de baixa pressão atmosférica, principalmente em períodos de atuação da mTc, observados em 34 dias com apenas 7 sob a atuação da mEc.

A estação climatológica de Campo Mourão registrou nessas duas estações 1.533,8 mm de chuva; desse total, 695,8 mm foram de chuvas frontais e 838,0 mm de convectivas. Apurou-se também que 594,6 mm foram registrados nos 29 dias em que os CCM atuaram até essa região, sendo 209,2 mm classificados como chuvas frontais e 385,4 mm convectivas.

Os CCM que evoluíram durante a atuação da mTc contribuíram com 313,7 mm, e a mEc com 71,7 mm.

Para essas duas estações, primavera/verão, o El Niño contribuiu com o aumento dos CCM e da chuva. Do total registrado, os CCM contribuíram com 38,8% do volume de chuva registrado em Campo Mourão.

3.3 ANÁLISE DA PRIMAVERA/VERÃO 2016/17

Essas duas estações (primavera/verão) foram de manifestação do fenômeno La Niña e de fraca intensidade (NOOA, 2017). O Quadro 1 mostra que a temperatura média trimestral para a região El Niño 3-4 oscilou em mais de $-0,5$ °C abaixo da média para os trimestres que se estenderam de julho a dezembro de 2016. Essa oscilação mostra que o período foi de manifestação da La Niña.

Embora o número de dias com a manifestação dos CCM tenha sido próximo ao ano neutro (2013/14), o número de dias em que os CCM se manifestaram na região de Campo Mourão foi menor. Do total de 37 dias com a evolução dos CCM observados nas imagens, em apenas 9 a região foi tomada pela área de atuação dos CCM. Em quatro dias eles se manifestaram sob sistemas frontais, em dois sob a mTc e em três sob a mEc.

A Figura 6 “A” e “B” mostra, por meio das imagens de satélite goes-16, a evolução verificada no dia 12 de outubro de 2016. As Figuras 7 “A” e “B” são das Cartas Sinóticas da Marinha do Brasil para as 00h e 12h (TMG). Elas mostram que nesse dia a região de manifestação dos CCM estava sob o domínio da mTc.

A Figura 6 “A”, atinente à imagem das 04h (TMG), mostra a presença de dois CCM; um sobre o Rio Grande do Sul e o outro no Paraguai. Às 10h (TMG) haviam deslocado, principalmente aquele que estava no Paraguai, de modo que formaram uma única massa de nebulosidade e um novo núcleo convectivo se manifestava no estuário Platino.

Na Figura seguinte, “C”, imagem das 14h, dois núcleos se evidenciavam: o remanescente, a oeste de Santa Catarina e Paraguai, e o segundo no nordeste da Argentina. Para finalizar, a imagem “D”, das 22h (TMG), mostra o momento em que o primeiro núcleo (CCM) avançou a partir do oeste paranaense e alcançou a região de Campo Mourão, já em estágio de dissipação, 18 horas depois da evolução inicial em território do Paraguai.

As chuvas registradas durante os dias em que os CCM atuaram totalizaram apenas 67,1 mm, sendo 42,7 mm sob o domínio da mTc e 24,4 mm sob a mEc. Portanto, apenas 7,3% das chuvas registradas nessas duas estações foram em dias nos quais se observou a presença dos CCM em Campo Mourão.

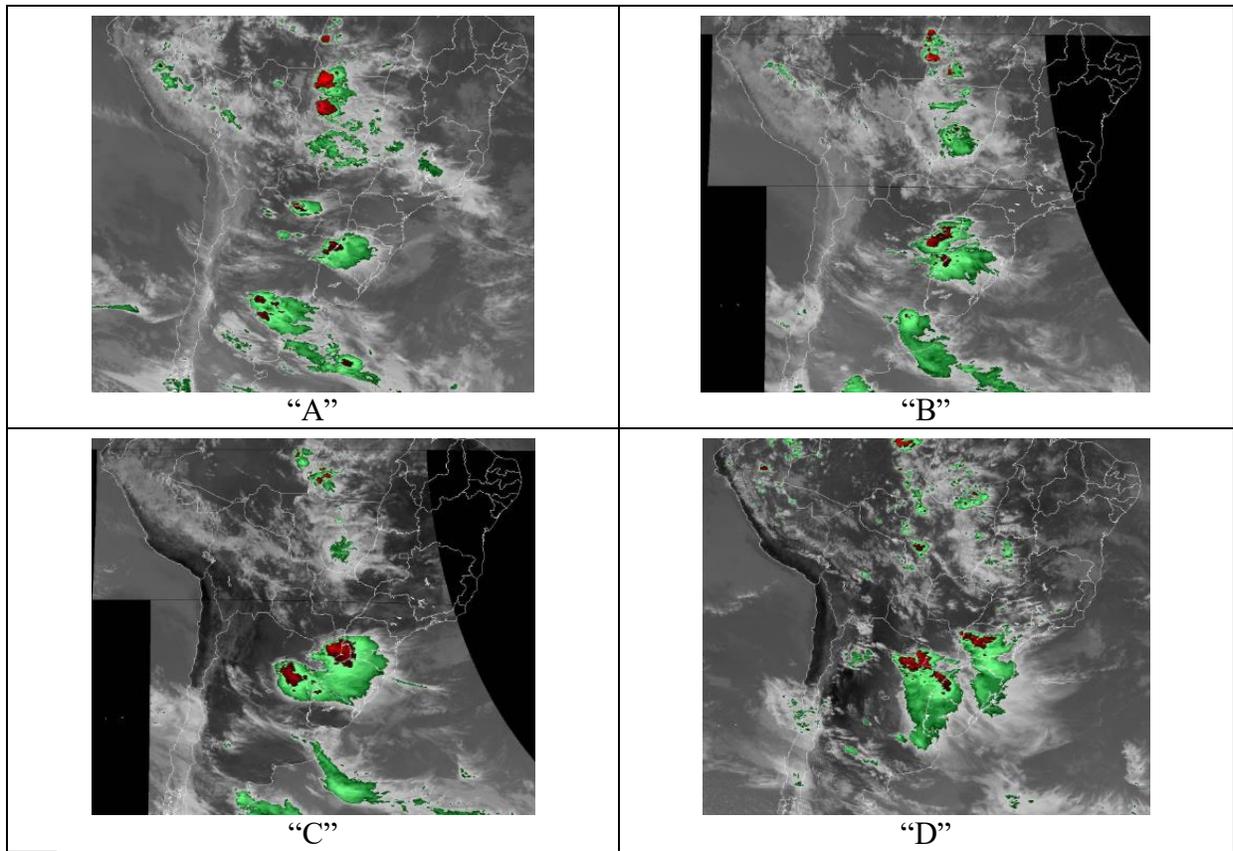


Figura 6 – Mosaico de imagens – Imagem realçada – Topo de Nuvens – Goes-10 (12/10/2016 -A = 04,00h; B = 10,00h; C = 14,00h e D = 22,00h (TMG).

Fonte: (CPTEC, 2016). Modificadas – Autores

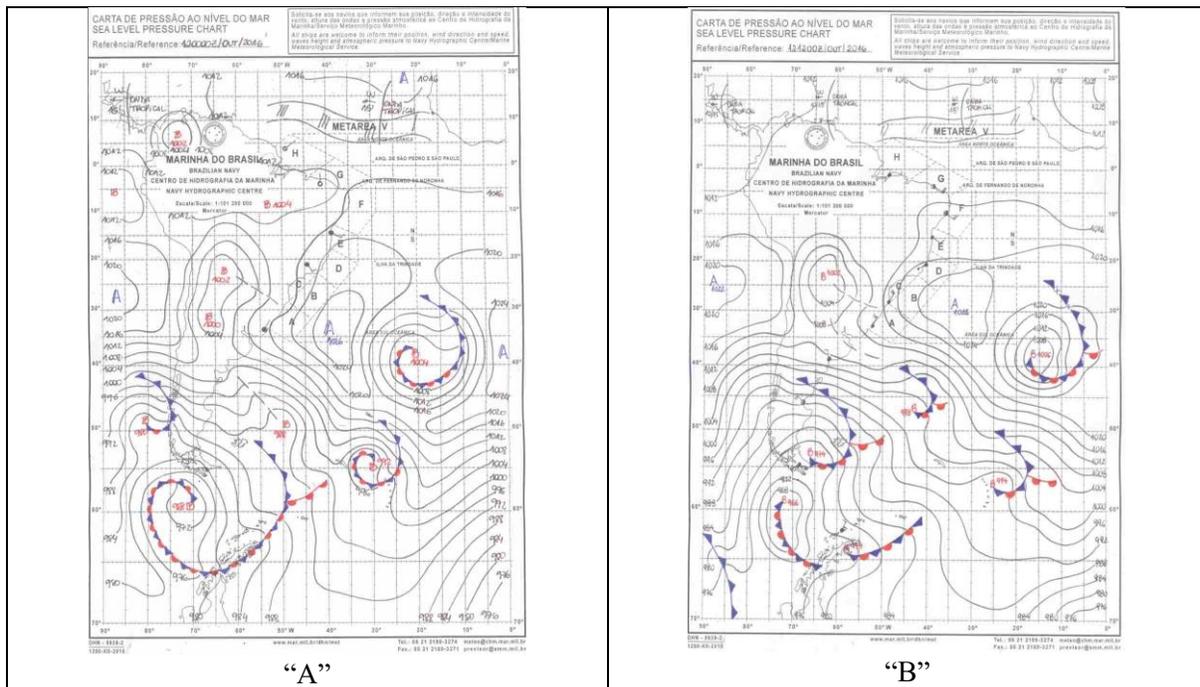


Figura 7 – Cartas Sinóticas da Marinha do Brasil “A” = 00 h e “B” = 12 h (TMG).

Fonte: Marinha do Brasil (2017).

As referências meteorológicas alertam sobre as eventuais tempestades que se desencadeiam nos eventos dos CCM (ABDOULAEV *et al.*, 1998; FIGUEIREDO e SCOLAR, 1996; MADDOX, 1980; SALIO *et al.*, 2002; STAROSTIN *et al.*, 2000). No entanto, para 2013/14, estudou-se 8 eventos tempestuosos no estado do Paraná, sendo que quatro ocorreram durante a atuação dos CCM. Para 2014/15 foram 10 casos, e em seis atuavam os CCM. Para 2016/17 foram comparados quatro dias tempestuosos, e em apenas um a tempestade evoluiu sob o CCM.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O período de análise não permite assegurar conclusões gerais, considerando o limitado tempo analisado e também o fato de ter sido selecionado apenas um ano como neutro, um com El Niño e outro com La Niña. Os resultados apontam que, para o ano de El Niño, o número de dias com a presença dos CCM superou em mais de 50% os verificados para o ano neutro e também o de La Niña. Diante dessas considerações, os resultados apontam que para o ano de El Niño o número de dias com a manifestação dos CCM é amplo, seguido pelo ano neutro e, por fim, o ano de La Niña.

Com relação a gêneses da chuva, os resultados seguiram a mesma tendência. Para o ano de manifestação do El Niño, os CCM contribuíram com 38,8% do volume, registrados nas duas estações. Para o ano neutro, a porcentagem foi de 21,7% e, no ano de La Niña, de apenas 7,3%.

Os CCM abrangem uma área de milhares de quilômetros quadrados, e as chuvas mais intensas são registradas nas primeiras horas de sua evolução. Observou-se que para Campo Mourão a maioria dos episódios que avançaram até ou além dessa região atingem-na no seu estágio final, ou seja, quando em dissipação. Essa é a principal razão do baixo volume de chuva registrado para os dias de atuação dos mesmos. Para 2016/17, ano de La Niña, a passagem mais rápida dos sistemas frontais também contribuiu para o baixo volume de chuva registrado.

Apesar do estudo examinar um recorte temporal breve, os resultados apontaram para o ano de El Niño como sendo o diferencial, com maior número de dias com a manifestação dos CCM, assim como dias com tempestades para essa região.

Para os episódios tempestuosos, não é possível afirmar que os CCM sejam responsáveis. Para os vinte e dois dias com tempestades pesquisados no Paraná, em apenas onze atuavam os CCM, ou seja, 50%; ademais, não se analisou a abrangência desses episódios.

5 AGRADECIMENTOS

A execução deste trabalho foi financiada pela Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná. EDITAL 03/2016 – PRPPG/Unespar Apoio à Pesquisa Básica e Aplicada

6 REFERÊNCIAS

ABDOULAEV, S.; STAROSTIN A.; CASARIN, D. P., **Sistemas de mesoescala de precipitações no Rio Grande do Sul**. Parte 1: Descrição Geral. IX. Congresso Brasileiro de meteorologia, SBMET. Campos de Jordão. Anais. 2, p. 936-940. 1996.

ANABOR, V.; STENSRUD, D. J.; MORAES, O. L. L. **Simulation of a Serial Upstream-propagating Mesoscale Convective System Event over Southeastern South America using Composite Initial Conditions**. Monthly Weather Review, v.137, p. 2144-2163. 2008.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na Agricultura do Rio Grande do Sul**; aplicações e previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre; Ed Alegre; Ed. Da UFRGS. 2003. 110 p.

BORSATO, V. A. A participação dos sistemas atmosféricos atuantes na bacia do Auto Rio Paraná no período de 1980 a 2003. **Tese** (Doutorado em Ciências Ambientais) – Nupélia, UEM: Maringá. 2006.

BORSATO, V. A. e MASSOQUIM, N. G. A participação dos Complexos Convectivos de Mesoescala nas chuvas da primavera de 2015 no norte do Paraná. **Anais do XII SBCGA** – Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica Aplicada. Goiânia (GO): UFG, 2016, Disponível em: <[http://www.abclima.ggf.br/sbcg2016/anais/arquivos/eixo_1/trabalho%20\(3\).pdf](http://www.abclima.ggf.br/sbcg2016/anais/arquivos/eixo_1/trabalho%20(3).pdf)>. Acesso: 24 de fev. 2017.

BORSATO, V. A. e MENDONÇA, F. A. 2014. Time participation of the continental tropical mass in the west part of Brazil's south center, **Acta Scientiarum** [online], v. 36, n. 3 (2014) disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/index/search/search>>. Acesso: fev. 2016.

CALDERON, G.; BORSATO, V. A. Disponibilidade Hídrica em Campo Mourão-PR e as influências do El Niño. **Anais do II Simpósio de Estudos Urbanos** [online]. A Dinâmica das Cidades e a Produção do Espaço de 19 a 21 de agosto de 2013. Disponível em: <http://www.fecilcam.br/anais/ii_seurb/documentos/questao-ambiental-urbana/calderon-gabriela.pdf>. Acesso: 20 de mar. 2016.

CPTEC/INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. De olho no tempo Meteorologia – **Boletim técnico e previsão de tempo para os próximos dias** [online] – Cptec/Inpe. Avenida dos Astronautas, 1.758 – Jd. Granja – CEP 12227-010, São José dos Campos, 2017. Disponível em: <<http://www.deolhonotempo.com.br/index.php>> Acesso: 28 nov. 2017.

DURKEE, J.; MOTE, T.; SHEPHERD, J. The contribution of mesoscale convective complexes to rainfall across subtropical South America. **Journal of Climate**, v. 22, n. 17, p. 4590-4605. 2009.

FERREIRA, C.C. **Ciclogêneses e ciclones extratropicais na Região Sul-Sudeste do Brasil e suas influências no tempo**, INPE-4812-TDL/359, 93 p. 1989.

FIGUEIREDO, J. C.; SCOLAR, J. Estudo das trajetórias dos sistemas convectivos de mesoescala na América do Sul. In **VII Congresso Argentino de Meteorologia e VII Congresso Latino americano e Ibérico de Meteorologia, Buenos Aires**. Resumo expandido, p.165-166. 1996.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Influência do El Niño oscilação sul sobre a precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.127-132. 1997.

MADDOX, R.A. Large-Scale Meteorological Conditions Associated with Midlatitude, Mesoscale Convective Complexes. **Mon. Wea. Rev.**, v.111, p.1475-1493. 1983.

MADDOX, R.A., Mesoscale convective complexes. **Bul. Amer. Meteorol. Soc.**, v. 61, p.1374-1387. 1980.

MALDONADO, P. **Atlas del Gran Chaco americano**; ilustrado por Martin Neumann – 2ª. Edición – Marzo 2006. – Buenos Aires: Agencia Alemana de Cooperacion Tecnica, 2006 96 p.

MARENCO, J. A; SOARES W.R. Episódios de Jatos de Baixos Níveis ao Leste dos Andes durante 13-19 de abril de 1999. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 17(1): 35-52. 2002.

MARINHA DO BRASIL, Mar Mil. Serviço Meteorológico da Marinha. **Cartas sinóticas**. Acesso 25 de out. 2018. Disponível: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/>

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979 422p.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration – **El Niño and La Niña Years and Intensities** – Based on Oceanic Niño Index (ONI). Disponível em: <<http://ggweather.com/enso/oni.htm>>. Acesso: 01 out. 2017.

PÉDELABORDE, P. **Introduction à l'étude scientifique du climat**. Paris: Sedes. 1970 352 p.
POPP, J. H. Geologia geral. Rio de Janeiro: LCT, 6º ed. 2010 p.324.

RAMOS, D. de F.; LIMA, K. N. A.; BORSATO, V. da A. Vulnerabilidade de Campo Mourão – PR aos Eventos Climáticos Extremos em anos de El Niño e La Niña Oscilação Sul, **Boletim Paulista de Geografia** v. 97, 2017, p.112-121. 2017. Disponível em <<https://www.agb.org.br/publicacoes/index.php/boletim-paulista/article/view/1023/1282>>. Acesso: 10 out. 2017. Acesso: 05 de ago. 2019.

SALIO, P., NICOLINI, M., ZIPSE, R. J. Mesoscale convective systems over southeastern South American low-level jet. **Monthly Weather Review**, 135:1290-1309. 2007.

SALIO, P.; NICOLINI M.; SAULO, C. Chaco Low-Level Jet Events characterization During the Austral Warm Season by ERA Reanalysis, VAMOS/CLIVAR/WCRP. **Conference on South American low-level jet**. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, 2002 5-7 February.

SAULO, C., RUIZ, J., SKABAR, Y.G. Synergism between the Low-Level Jet and Organized Convection at Its Exit Region. **Monthly Weather Review**, 135:1310-1326. 2007.

SELUCHI, M. E.; SAULO, A. C. Baixa do Noroeste argentino e Baixa do Chaco: características, diferenças e semelhanças. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.1, p.49-60. 2012.

SEGALIN, B. Características dos Sistemas Convectivos de Mesoescalas nas simulações climáticas do RegCM4 – **Dissertação de Mestrado** – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. 119p 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/14/14133/tde-19122012-154326/publico/DissertacaoCorrigida_BrunaSegalin.pdf>. Acesso 25 de out. 2017.

SILVA DIAS, M. A. F. Complexos Convectivos de Mesoescala sobre a Região Sul do Brasil. **Climanálise**. Especial. 1: 173-179. 1996.

SIMÕES, R. M. A. Notas sobre o clima do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, v.16, n.1, p.126-132. 1954.

STAROSTIN, A.; ABDOULAEV, S.; NUNES, A. B. Evolução das tempestades em sistemas convectivos de mesoescala não lineares. **XI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 16 a 20 de outubro de 2000, Rio de Janeiro, Brasil, Preprint, CD-ROM, 1990-1995. 2000.

VAREJÃO-SILVA M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Instituto Nacional de Meteorologia Brasília, DF, p 515. 2000.

VELASCO, I. & FRITSCH, J. M. Mesoscale convective complexes in the Americas. **Journal of Geophysical Research**, 92: 9591- 9613. 1997.

VIANELLO, R. L. **Meteorologia básica e aplicações**. Universidade Federal de Viçosa. Editora UFV. 449 p. 2000.

Data de recebimento: 05 de julho de 2019.

Data de aceite: 03 de setembro de 2019.