



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/>



Friagens no Pantanal, Brasil: Ocorrência de Casos Gerais, Intensos e Análise Sinótica do Evento mais Intenso

Müller Júnior Martins dos Santos¹, Luciana Barros Pinto²

¹Mestrando em Meteorologia, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Av. Engenheiro Ildefonso Simões Lopes, 2751, Pelotas, Rio Grande do Sul. (53) 8115-6009. e-mail: mllersantos@hotmail.com. ²Dr. em Meteorologia Agrícola, Professora Adjunta I, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Av. Engenheiro Ildefonso Simões Lopes, 2751, Pelotas, Rio Grande do Sul. (53) 81279944. e-mail: luciana.pinto@ufpel.edu.br

Artigo recebido em 28/08/2019 e aceito em 05/03/2020

RESUMO

No Pantanal, a ocorrência de friagem muitas vezes causa prejuízos econômicos e sociais, mas pouco são os estudos que investigaram o fenômeno na região. Portanto, o objetivo deste estudo foi caracterizar os casos gerais e intensos de eventos de friagens na região do Pantanal ocorridos entre 2007 e 2014, e caracterizar o ambiente sinótico do evento mais intenso de friagem. Para tal, utilizou-se dados de boletins do Climanálise, temperatura do ar da cidade de Coxim-MS e reanálises do MERRA-2. Verificou-se 72 eventos de friagens dos casos gerais e 27 casos intensos, sendo a maior frequência o ano de 2010 e os meses de agosto para casos gerais; e 2010 e 2013 e julho e agosto para casos intensos. Ocorreram 9 friagens.ano⁻¹ para casos gerais e 3,4 friagens.ano⁻¹ nos casos intensos. O estudo sinótico mostrou a configuração de um ciclone no oceano Atlântico a leste do sul do continente da América do Sul, relacionado à ampliação da onda baroclínica em altos níveis, com um anticiclone pós-frontal migratório em superfície acompanhado de ômega negativo e gradiente de espessura da camada (camada fria).

Palavras-chave: sistema frontal, temperatura do ar, ar polar, climatologia.

Pantanal colds, Brazil: Occurrence of general, intense cases and synoptic analysis of the event

ABSTRACT

In the Pantanal, the occurrence of friagem often causes economic and social damages, but few studies have investigated the phenomenon in the region. Therefore, the objective of this study was to characterize the general and intense cases of friary events in the Pantanal region between 2007 and 2014, and to characterize the synoptic environment of the most intense cold event. For that, data of Climanálise bulletins, air temperature of the city of Coxim-MS and reanalysis of MERRA-2 were used. There were 72 friar events of the general cases and 27 intense cases, the highest frequency being the year of 2010 and the months of August for the gerous cases; and 2010 and 2013 and July and August for intense cases. There were 9 friagens.ano⁻¹ for general chaos and 3,3 friagens.ano⁻¹ in intense cases. The synoptic studys howed the configuration of a cyclone in th e Atlantic Oceaneastof the South American continent, related tothe amplification of the baroclinic waveat high levels, with a migratory post-frontal anticyclone on the surface accompanied by omega negative and thickness gradient of the layer (cold layer).

Keywords: frontal system, air temperature, air polar, climatology.

Introdução

Apesar do aumento do número de estudos realizados por universidades e centros de pesquisas e dos esforços institucionais para o avanço do conhecimento sobre o bioma Pantanal, pouco se sabe sobre as características gerais meteorológicas que ocorrem quando há incursão de ar frio na região, ocasionando a friagem. O fenômeno conhecido como friagem, caracteriza-se pela

incursão de ar frio oriundo do sul da América do Sul para as regiões tropicais (Serra e Ratisbona, 1960), ao longo do ano, sendo objeto de várias pesquisas, principalmente na região amazônica (Myers, 1964; Parmenter, 1976; Fortune, 1982; Longo e Dias, 2004; Satyamurthy et al., 2002; Ricarte, 2012; Amorim Neto, 2013; Ricarte et al., 2014; Amorim Neto et al., 2015; Gomes, 2015;

Viana e Herdies, 2018). Embora a região amazônica apresente bastante abordagem do fenômeno na literatura, ainda se torna necessária a compreensão das mudanças atmosféricas que ocorrem nas demais regiões tropicais, como a região do Pantanal, estando geograficamente mais ao sul dos trópicos comparado a região amazônica.

Recentemente, estudos como Santos et al. (2016), Pinto et al. (2018) e Escobar et al. (2019) buscaram preencher esta lacuna. Pinto et al. (2018), por exemplo, identificaram 60 episódios de friagem no Pantanal entre 2007 a 2012, resultando numa média de 10 eventos por ano e maior frequência desses de abril a setembro. Já Escobar et al. (2019), a partir de 217 eventos de friagem identificados entre 1961 a 2012 na cidade Cuiabá, Mato Grosso (MT), verificaram que os episódios estão associados com declínios diários da temperatura máxima superiores a 10°C e que podem ocorrer no dia da chegada da frente fria em Cuiabá ou um dia após.

Esse fenômeno, muitas vezes, causa prejuízos econômicos e sociais, onde se destacam principalmente os setores da saúde pública e a agropecuária, com a ocorrência de perdas humanas e de cabeças de gados por hipotermia.

Sendo assim, torna-se importante uma melhor compreensão das condições de tempo esperadas na região do Pantanal sob friagem, aperfeiçoando as previsões do fenômeno e amenizando possíveis perdas e transtornos causados pelos mesmos. Portanto, o objetivo do estudo foi caracterizar os casos gerais e intensos de eventos de friagens na região do Pantanal entre 2007 a 2014 em relação à Normal Climatológica, e caracterizar o ambiente sinótico do evento mais intenso.

Material e métodos

Para a identificação dos eventos de friagem que ocorreram na região do Pantanal, no período de 2007 à 2014, foi utilizado, como primeiro critério, o boletim mensal Climanálise, disponível no site do Centro de Previsão do Tempo e Pesquisas Climáticas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). A seção utilizada foi referente a Sistemas Frontais e Frontogênese, considerando os casos de Sistema Frontal (SF) que atingiram a cidade de Cuiabá, Mato Grosso. Esta localidade foi tomada como base por estar localizada no norte do Pantanal, e, uma vez que as frentes frias no Hemisfério Sul avançam no sentido Sudoeste-Nordeste (Cavalcanti e Kousky, 2009), o sistema que chega até Cuiabá, passa antes por toda a região do Pantanal. Com isso, impediu que fosse contabilizado como friagem ingressos de ar frio

que não influenciasse as temperaturas em toda extensão do Pantanal.

Posteriormente, a partir do SF, foram analisadas as temperaturas mínimas (T_{min} , °C) e temperaturas máximas (T_{max} , °C) diárias da cidade de Coxim-MS (Figura 1), como segundo critério, com base na estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), disponíveis no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do INMET. Essa localidade foi a única da região do Pantanal que apresentou uniformidade nos dados disponíveis e, portanto, foi tomada como base para representar a região.

Foi considerado caso de friagem eventos que apresentaram desvios negativos em relação à Normal Climatológica (NC) do período de 1961 a 1990 (INMET), das T_{min} e/ou T_{max} (DT_{min} e DT_{max}) no dia posterior a passagem do SF. Critérios semelhantes, levando em consideração as temperaturas para identificação de friagem, foram utilizadas por Mattos (2010) e Ribeiro (2012).

Para definir a duração de cada evento de friagem, foi considerado o dia da passagem do SF em Cuiabá como o primeiro dia do evento, e, o último dia, sendo aquele anterior ao dia em que ambas as temperaturas (T_{min} e T_{max}) não apresentarem desvio negativo (DT_{min} , DT_{max}) ou o dia anterior ao segundo dia consecutivo sem apresentar desvio negativo de temperatura (DT_{min} , DT_{max}), em relação à NC. Critério semelhante foi utilizado por Pinto et al. (2018) em seu trabalho de friagens na região, porém o autor considerou DT_{min} e DT_{max} em relação a média das T_{min} e T_{max} do período do estudo.

Após a seleção destes episódios, foi avaliada a distribuição anual, mensal e diária dos mesmos. Para avaliação diária de T_{min} e T_{max} , foi considerado D-1 ao dia anterior da friagem, D0 o primeiro dia, D+1 o segundo do evento, e assim sucessivamente.

A definição dos casos intensos de friagem foi feita com base no desvio padrão médio (DP) dos valores DT_{min} e DT_{max} , para todos os casos de friagem. Ou seja, foram calculados dos DT_{min} e DT_{max} para cada um dos casos gerais e então, calculado o Desvio Padrão dos casos de friagem (DT_f). Assim, foi considerado caso intenso de friagem, os eventos onde tanto o DT_{min} como o DT_{max} apresentaram valores iguais ou superiores a DT_f , sendo este de 4°C.

Para a análise sinótica do caso de friagem mais intenso, foi utilizado dados de reanálises do Modern Era Retrospective Analysis for Research and Applications2 (MERRA-2) desenvolvido no Goddard Space Flight Center da National Aeronautics and Space Administration

(GSFC/NASA) (Gelarot et al., 2011), com resolução de 0,66° de longitude e 0,5° de latitude com intervalo de tempo de 6 horas. Foi utilizado: campos de pressão ao nível médio do mar (hPa), temperatura em 850hPa, componente zonal (u) e componente meridional (v) do vento em 250 hPa e 850 hPa, altura geopotencial em 1000 hPa e 500 hPa. Foi utilizado o Grid Analysis and Display System (GrADS) para visualização dos dados.

foi feita com base no desvio padrão médio (DP) dos valores DTmin e DTmax, para todos os casos de friagem. Ou seja, foram calculados dos DTmin e DTmax para cada um dos casos gerais e então, calculado o Desvio Padrão dos casos de friagem (DTf). Assim, foi considerado caso intenso de friagem, os eventos onde tanto o DTmin como o DTmax apresentaram valores iguais ou superiores a DTf, sendo este de 4°C.

A definição dos casos intensos de friagem

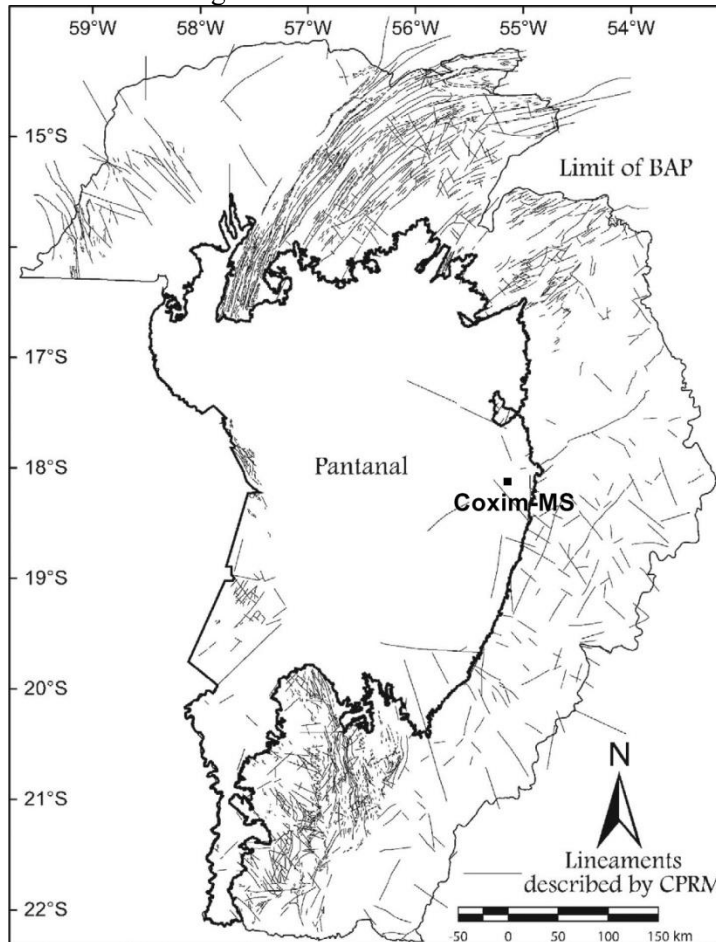


Figura 1. Localização do Pantanal, com destaque a cidade de Coxim, Mato Grosso do Sul. Fonte: Adaptado de Paranhos Filho et al. (2013).

Resultados e discussão

Distribuição anual, mensal e avaliação das temperaturas dos casos gerais e intensos

Durante o período de 2007 a 2014, foram identificados 72 eventos de friagens atuando sobre a região do Pantanal, baseado nos critérios de identificação do fenômeno. Pinto et al. (2018) identificaram 60 casos de friagens entre 2007 e 2012 (mesmo valor encontrado neste estudo para o período de 2007 a 2012). A maior frequência de ocorrência de friagem ocorreu no ano de 2010, com

um total de 12 eventos (Figura 2), seguido pelos anos de 2007, 2008 e 2009 com 11 eventos cada, enquanto que o ano de 2014 apresentou-se com a menor frequência (5). Entre os anos de 2007 a 2010, a variabilidade interanual correspondeu ao maior número de casos ou aproximadamente 63% de todos os eventos, havendo uma diminuição da ocorrência do fenômeno nos últimos anos do período.

Considerando o total dos eventos nos oito anos de estudo ou 314 dias sob o efeito de friagens, obteve-se uma média de 9 friagens.ano⁻¹ em Coxim. Este valor ficou acima do encontrado na literatura para a região amazônica, onde,

Brinkman et al. (1971) e Brinkman e Ribeiro (1972) identificaram na Amazônia Central, ocorrência de 2 a 3 friagens.ano⁻¹, enquanto Fisch (1996) obteve 7 friagens.ano⁻¹ no sul do Pará (Amazônia) e Ricarte et al. (2014) encontraram variabilidade interanual média de 5 friagens.ano⁻¹ no sul de Rondônia (Amazônia). Comparando com estudo para a mesma região, o Pantanal, o valor encontrado foi inferior ao de Pinto et al. (2018) com 10 friagens.ano⁻¹.

Considerando o número de dias sob efeito de friagens, foi verificada média de 42,6 dias.ano⁻¹ em Coxim, valor inferior ao encontrado por Pinto et al. (2018), de 44,8 dias.ano⁻¹ (Figura 2). O ano de maior frequência foi 2010 (60 dias.ano⁻¹). Apesar de 2013 ter apresentado menor número de SF no período em relação a 2007, 2008, 2009 e 2012, o total de 44 dias.ano⁻¹ foi maior que os anos mencionados (43 dias.ano⁻¹, 38 dias.ano⁻¹, 36 dias.ano⁻¹ e 37 dias.ano⁻¹, respectivamente) (Figura 2), mostrando que não necessariamente um maior

número de SF anual resultará em períodos de dias frios mais duradouros.

A maior frequência mensal dos eventos de friagem ocorreu em agosto, totalizando 16 eventos, seguido por maio (12), junho e setembro (11, em cada mês) e julho (10) (Figura 2). Entre maio e setembro, período climatologicamente mais frio na região, ocorreu a maior frequência dos eventos (60), correspondendo a aproximadamente 84% de todos os casos. Nenhum evento de friagem ocorreu nos meses de janeiro e fevereiro.

Os resultados aqui encontrados concordam com o apresentado por Gan e Rao (1991), ao identificarem o inverno com maior frequência de friagens para a região Amazônia; assemelha-se com Garreaud (2000), ao contabilizar também na Amazônica o período de abril a setembro com maior frequência de eventos; a Ricarte et al. (2014), com o maior número de casos ocorrendo entre maio e setembro; e coincide com Pinto et al. (2018), ao identificar em maio e agosto com maior frequência de eventos.

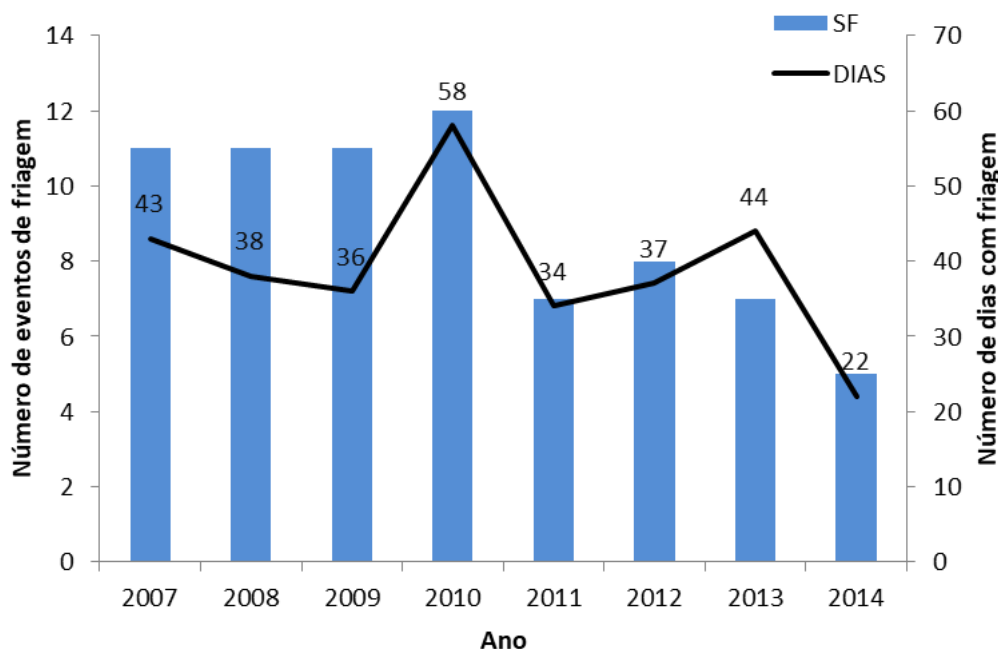


Figura 2. Distribuição anual (barras, eixo primário) e número de dias (linha/valores, eixo secundário) de friagens entre os anos de 2007 e 2014 no Pantanal, com dados da cidade de Coxim-MS.

O número de dias sob efeito de friagem a partir da análise mensal, mostrou o mês de agosto com o maior número de dias sob efeito de friagem (66 dias.ano⁻¹) (Figura 3), coincidindo como o mês de maior número de SF, visto anteriormente.

Os meses de maio e julho apresentaram a sequência mensal (63 e 61 dias.ano⁻¹, respectivamente). Sendo o encontrado de julho com 45 dias.ano⁻¹ e setembro com 30 dias.ano⁻¹, a distribuição do número de dias entre maio a agosto correspondeu a 75% dos casos gerais.

A duração média encontrada para cada evento de friagem foi de 4,3 dias, o que está de acordo com do estimado na literatura entre 2 a 5 dias para a Amazônia (Nimer, 1989; Pinto Jr. e Silva, 2012). Pinto et al. (2018) contabilizaram 4,5 dias para Coxim.

Em dias de friagens a média da Tmin (MedTmin) foi de 14,3°C, enquanto que esse mesmo cálculo para a média da Tmax (MedTmax) resultou em 27,4°C. Esses valores, comparados com a NC anual, apontaram decréscimo de 5°C

para a Tmin e 4,6°C para Tmax. A partir da Figura 4, nota-se em D-1 MedTmax elevada que proporcionou a maior queda de temperatura de um dia para o outro na média, sob atuação da friagem, com decaimento de 5,1°C em D0. Em D0 e D+1, tanto a MedTmin como a MedTmax diminuíram. A

partir de D+2 nota-se que a MedTmax começa a aumentar, até 31,5°C em D+8, enquanto que MedTmin continua decaindo, até os 11,7°C em D+6 e voltando a subir nos dias posteriores.

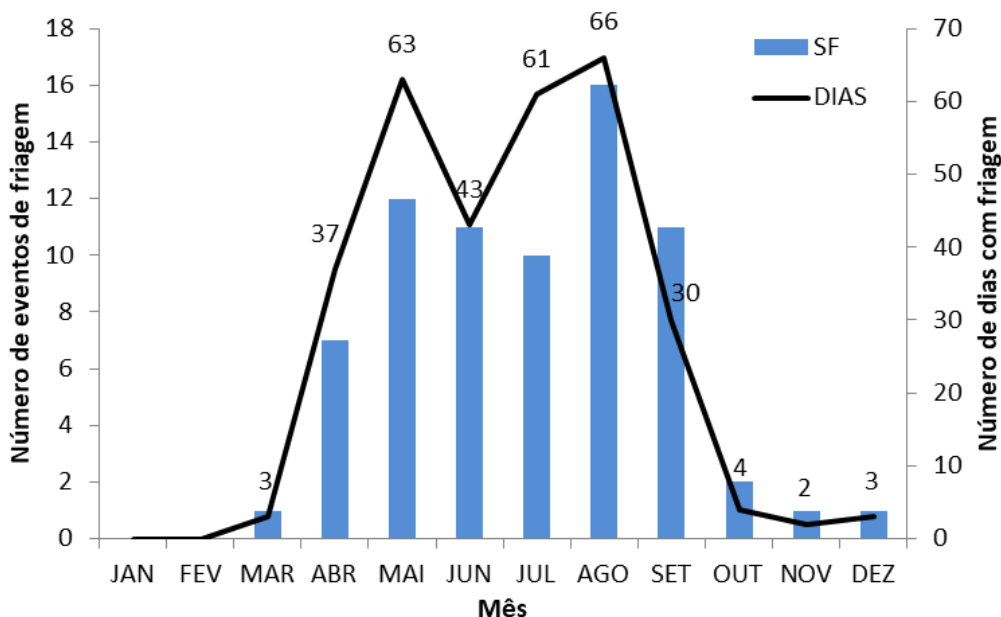


Figura 3. Distribuição mensal (barras, eixo primário) e número de dias (linha/valores, eixo secundário) de friagens entre os anos de 2007 e 2014 no Pantanal, com dados da cidade de Coxim-MS.

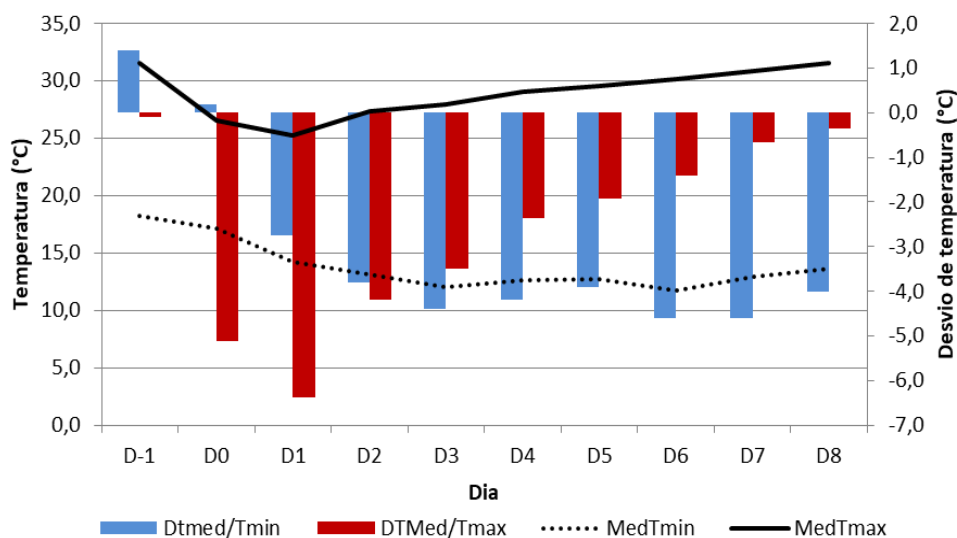


Figura 4. Evolução diária (D-1 a D+8) das médias de temperaturas mínimas e máximas do ar (MedTmin e MedTmax, °C) (linhas, eixo primário) e desvio de temperatura do ar (DTmed/Tmin e DTmed/Tmax, °C) (barras, eixo secundário) em relação à normal climatológica (1961-1990) em eventos de friagem no Pantanal, com base na cidade de Coxim (MS), para o período de 2007 a 2014.

Este comportamento está de acordo com a literatura, como discutido por Nimer (1989) e Escobar (2007). Primeiramente, a presença de nebulosidade associada ao sistema frontal favorece a relativa queda de Tmin e brusca queda da Tmax.

Posteriormente, a continuidade da queda da Tmin deve-se ao anticiclone polar em contínuo avanço, onde diminui as turbulências convectivas dos dias anteriores até o céu tornar-se limpo, favorecendo então a maior perda da radiação noturna e, assim, a

Tmin seguidamente menores. O aumento da Tmax deve-se ao efeito contrário em dias sem nuvens, onde a maior incidência de radiação direta na superfície favorece Tmax mais altas.

A Tabela 1 apresenta o menor valor de Tmin e Tmax registrada em cada mês e o desvio em relação à NC com o ano de ocorrência de cada valor extremo. O maior valor de Desvio de Tmin (DTmin) foi de -12,5°C no dia 25/07/2013, que correspondeu ao menor Tmin dos dados (2,4°C). Já o maior Desvio de Tmax (DTmax, -16,4°C) ocorreu em julho de 2013 e 2014, com Tmax de 15,2°C. Além disso, observou-se que não necessariamente maiores desvios de temperatura

apresentaram menores Tmin e Tmax, como o ocorrido em abril (DTmin -10,0°C, Tmin 10,3°C) e junho (DTmin -9,1°C, Tmin 5,8°C); e abril (DTmax -9,8°C, Tmax 22,2°C) e outubro (DTmax -11,1°C, Tmax 22,6°C). Ou seja, apesar do mês de abril ter apresentado maior valor de DTmin comparado a junho, o menor valor de Tmin foi observado em junho em relação a abril. Da mesma forma, o maior valor de DTmax em outubro resultou em Tmax maior do que o Tmax de abril, mesmo apresentando menor valor de DTmax.

Tabela 1. Desvio negativo da Tmin e Tmax (DTmin, DTmax) dos eventos de friagem em Coxim-MS no período de 2007 a 2014, em relação a Normal Climatológica (NC Tmin, NC Tmax).

Mês	Tmin (°C)	Tmax (°C)	NCTmin (°C)	NCTmax (°C)	DTmin (°C)	DTmax (°C)
Março	15	26,7	21,7	32,3	-6,7 (2012)	-5,6 (2012)
Abril	10,3	22,2	20,3	32	-10(2012)	-9,8 (2008)
Maió	5,5	18,2	17,4	30,7	-11,9 (2010)	-12,5 (2008)
Junho	5,8	17,5	14,9	29,5	-9,1 (2009)	-12 (2011)
Julho	2,4	15,2	14,9	31,6	-12,5(2013)	-16,4(2013/14)
Agosto	5,4	18	15,5	32,5	-10,1 (2013)	-14,5 (2013)
Setembro	7,6	23,3	18,7	32,7	-11,1 (2008)	-9,4 (2009)
Outubro	18,9	22,6	20,8	33,7	-1,9 (2010)	-11,1 (2008)
Novembro	19,7	27,9	21,6	33	-1,9 (2010)	-5,1 (2010)
Dezembro	19,8	27,1	22,1	32	-2,3 (2010)	-4,9 (2010)

Com base no DP dos DTmin e DTmax, definiu-se o valor de -4 °C como sendo o limiar para os casos intensos de friagens. Ou seja, eventos que apresentaram valores negativos de DTmax e DTmin iguais ou superiores à 4 °C no mesmo dia, foram considerados Caso Intenso de Friagem (CIF). Desta maneira, dos 72 eventos de friagem na região do Pantanal, 27 eventos foram definidos como CIF, resultando em variabilidade interanual de 1 a 5 casos e uma média de 3,4 friagens.ano⁻¹ (Figura 5a).

Verificou-se a maior frequência de CIF nos anos de 2010 e 2013, com um total de 5 eventos cada (Figura 5a), seguido pelos anos de 2007 e 2011 com 4 eventos cada, enquanto 2014

apresentou-se com a menor frequência (1). Nota-se, tanto pela distribuição anual dos casos gerais, quanto aos CIF's, que o ano de 2010 destacou-se pelo maior número de eventos. No entanto, apesar de 2013 ter apresentado menores ocorrências de casos gerais, também registrou o maior número de CIF. Enquanto que no ano de 2010 os CIF's corresponderam a aproximadamente 42% dos casos gerais, em 2013 este valor representou 70%. Pela distribuição mensal dos CIF (Figura 5b), as maiores frequências ocorreram em julho e agosto (8, cada), seguido por maio (5), setembro (3), junho (2) e abril (1). Apenas nos meses de julho e agosto, os CIF corresponderam a 60% do total, sendo julho 80% e agosto (50%) como CIF.

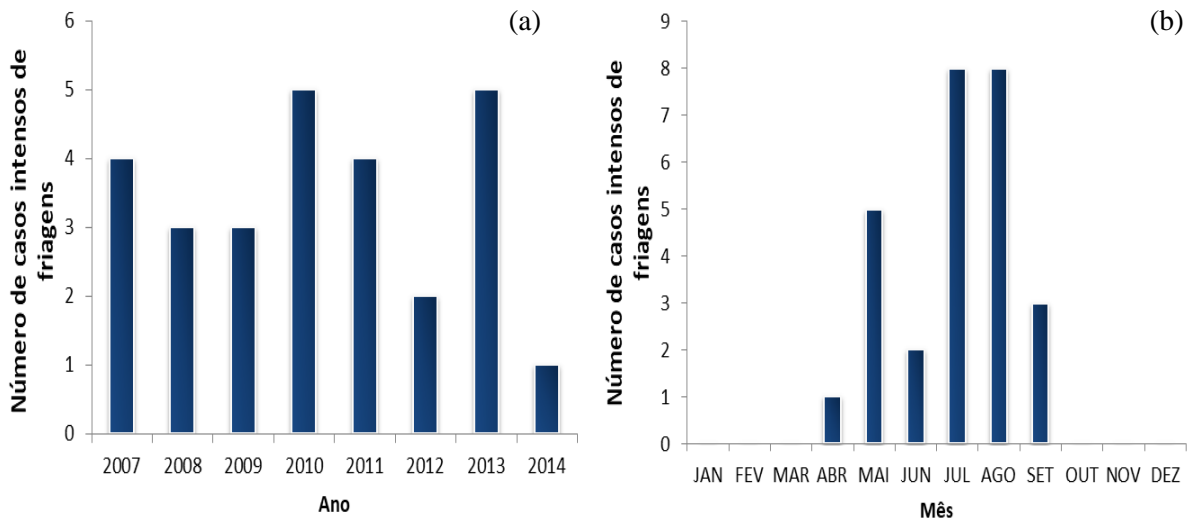


Figura 5. Distribuição anual (a) e mensal (b) dos eventos intensos de friagens para a região do Pantanal entre os anos de 2007 e 2014 com dados da cidade de Coxim-MS.

Análise Sinótica do Caso Mais Intenso

Uma vez identificado o caso mais intenso, como o ocorrido entre os dias 22 a 27 de julho de 2013, onde a T_{min} registrada foi de $2,4^{\circ}C$ (D+3), a análise sinótica concentrou-se nos padrões observados para três dias anteriores (D-3, D-2 e D-1) ao primeiro dia do evento (D0 ou dia 22) e, na sequência, a descrição de até três após D0 (D+1, D+2 e D+3).

Assim, através do campo de linha de corrente e magnitude do vento em 250 hPa, entre D-3 a D+2 (Figura 6 a-f), observa-se o desenvolvimento e dissipação das configurações sinóticas que ocasionou a friagem. Em D-3, o escoamento era quase zonal da circulação anticiclônica sobre o Pantanal, enquanto que o Jato Subtropical (JST) localizava-se mais ao sul, sobre centro do Chile (CHI) e Argentina (ARG), Uruguai (URU) e Rio Grande do Sul (RS). A presença de uma circulação anticiclônica sobre o Pantanal contribuiu para intensificar os movimentos ascendentes do ar nesta área, devido o aquecimento da camada, e intensificar o aquecimento diurno.

Em D-2, o escoamento do JST dividiu-se em dois ramos, onde o ramo norte apresentou curvatura anticiclônica sobre o Pantanal (Figura 6b). No sul do continente, observou-se uma onda curta baroclínica de oeste, típica de sistemas transientes (Bluestein e Speheger, 1995), sendo o cavado frontal associado bem amplificado e com eixo se estendendo desde o Atlântico ($\sim 55^{\circ}S-55^{\circ}W$) até o Pacífico ($\sim 30^{\circ}S-75^{\circ}W$). Notou-se que o cavado estava circundado pela corrente de jato,

situação típica para este sistema baroclínico (Fedorova, 2001), e promovia a leste Advecção de Vorticidade Ciclônica (AVC) na região próxima onde a ciclogênese em superfície ocorreu (não apresentado).

No dia seguinte (D-1), houve leve deslocamento para norte do cavado frontal e a configuração de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) no centro da ARG, no qual refletiu no sistema frontal em superfície.

Em D0, o escoamento permaneceu anticiclônico no norte e leste do Pantanal, cujo centro posicionava-se sobre o MT, enquanto que ao sul da região, Paraguai (PAR), norte da ARG e Região Sul do país, notava-se o jato associado ao cavado frontal intensificado (Figura 5d). Nos dias seguintes (D+1 a D+2), o cavado frontal com o escoamento meridional favorecia a advecção fria desde o sul do continente até latitudes mais baixas, como ao norte do PAR, sul da Bolívia (BOL) e norte do Pantanal (Figura 6 e-f), configurando o episódio de friagem no Pantanal. A trajetória das configurações sinóticas foi similar ao estudo de Seluchi (2009), com um cavado sobre o Oceano Atlântico intensificando a onda de frio. A intensidade das cristas e cavados em altos níveis é fundamental no deslocamento dos sistemas frontais para latitudes mais baixas do continente (Andrade, 2005). Além disso, em todos os dias, observa-se o papel importante da Cordilheira dos Andes ao canalizar o escoamento dos ventos neste nível das altas latitudes em direção ao Equador (Hamilton e Tarifa, 1978; Garreaud, 2000; dentre outros).

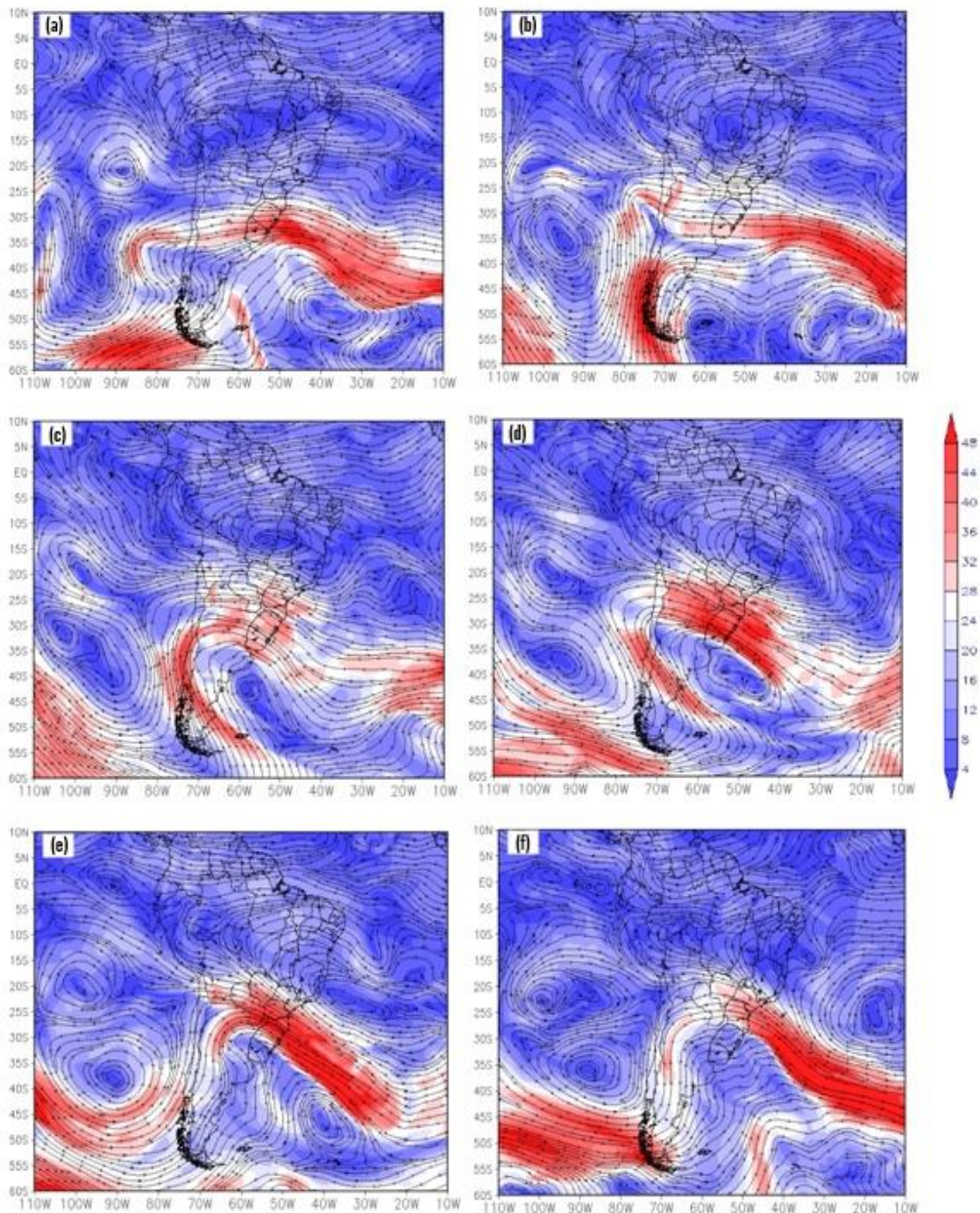


Figura 6. Campo de linha de corrente (contorno) e magnitude do vento (sombreado) em $m.s^{-1}$ em 250 hPa às 00 Z para o dia 19 (a), 20 (b), 21 (c), 22 (d), 23 (e) e 24 e (f) de julho de 2013.

Foi possível observar através da altura do geopotencial o reflexo do padrão descrito em altos níveis, ou seja, sob a configuração do cavado frontal no sul do continente o gradiente de geopotencial (D-2, D-1 e D0), uma vez que altura geopotencial é relacionada à temperatura do ar (Figura 7 a-c). Sistemas atmosféricos em níveis médios da atmosfera, em geral, conduzem os sistemas meteorológicos em superfície (Reboita et al., 2015). Entre D+1 a D+3 observava-se um leve gradiente do geopotencial sobre o Pantanal (Figura

7 d-f), devido à intrusão do ar frio mais acentuado. Com relação ao campo ômega, notam-se movimentos ascendentes (valores negativos de ômega) nas regiões na área de AVC a leste do cavado frontal, no qual favorecia a formação de sistema de baixa pressão em superfície, como observado em D-2 (Figura 7a). Conforme o ciclone deslocava-se nos dias seguintes (D-1, D0 e D+1) (Figura 7 b-d), essa característica acompanhou o ramo frontal, como bem configurado em D+1 (Figura 7d). Já nas regiões da retaguarda do SF

notavam-se movimentos subsidentes (valores positivos de ômega) devido o anticiclone pós-frontal. De acordo com Pinto Jr. e Silva (2012),

após a passagem do SF, a ação do anticiclone pós-frontal inibe os processos de convecção, favorecendo bom tempo e céu limpo.

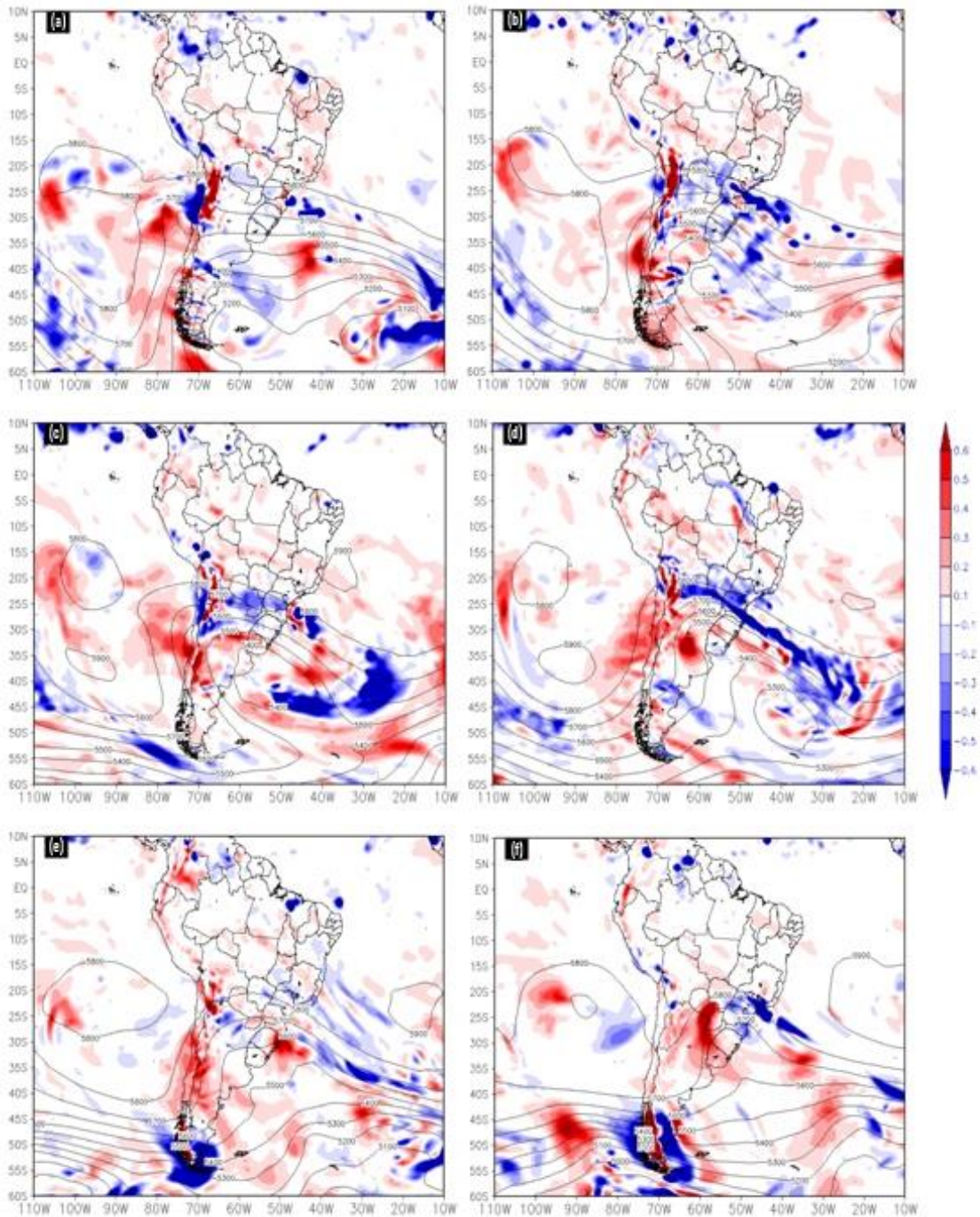


Figura 7. Campo de geopotencial (contorno, em mgp) e ômega em 500 hPa (sombreado, em ms⁻¹) às 00 Z para o dia 20 (a), 21 (b), 22 (c), 23 (d), 24 (e) e 25 (f) de julho de 2013.

Analisando as linhas de corrente e temperatura em 850 hPa, além da pressão atmosférica em superfície (Figura 8 a-f), foi possível observar, ao passar dos dias, o avanço de sul para norte sobre o oceano Atlântico o sistema de baixa pressão atmosférica, o que contribuiu para o ramo frontal que configurou no episódio de friagem no Pantanal. Pelo campo de temperatura em 850 hPa, foi possível notar o acompanhamento

do ingresso do ar mais frio no sul do continente para as latitudes baixas (advecção fria), a medida que o cavado nos níveis superiores deslocou-se sobre o continente e oceano adjacente, favorecendo o escoamento do vento bastante meridional e o deslocamento do SF em superfície.

Conforme Viana e Hergies (2018), esses ventos de sul carregam e transportam o ar frio e

seco das latitudes altas para as latitudes baixas sobre a superfície, modificando desta maneira, a

vida da população acostumada com temperatura e umidade elevadas.

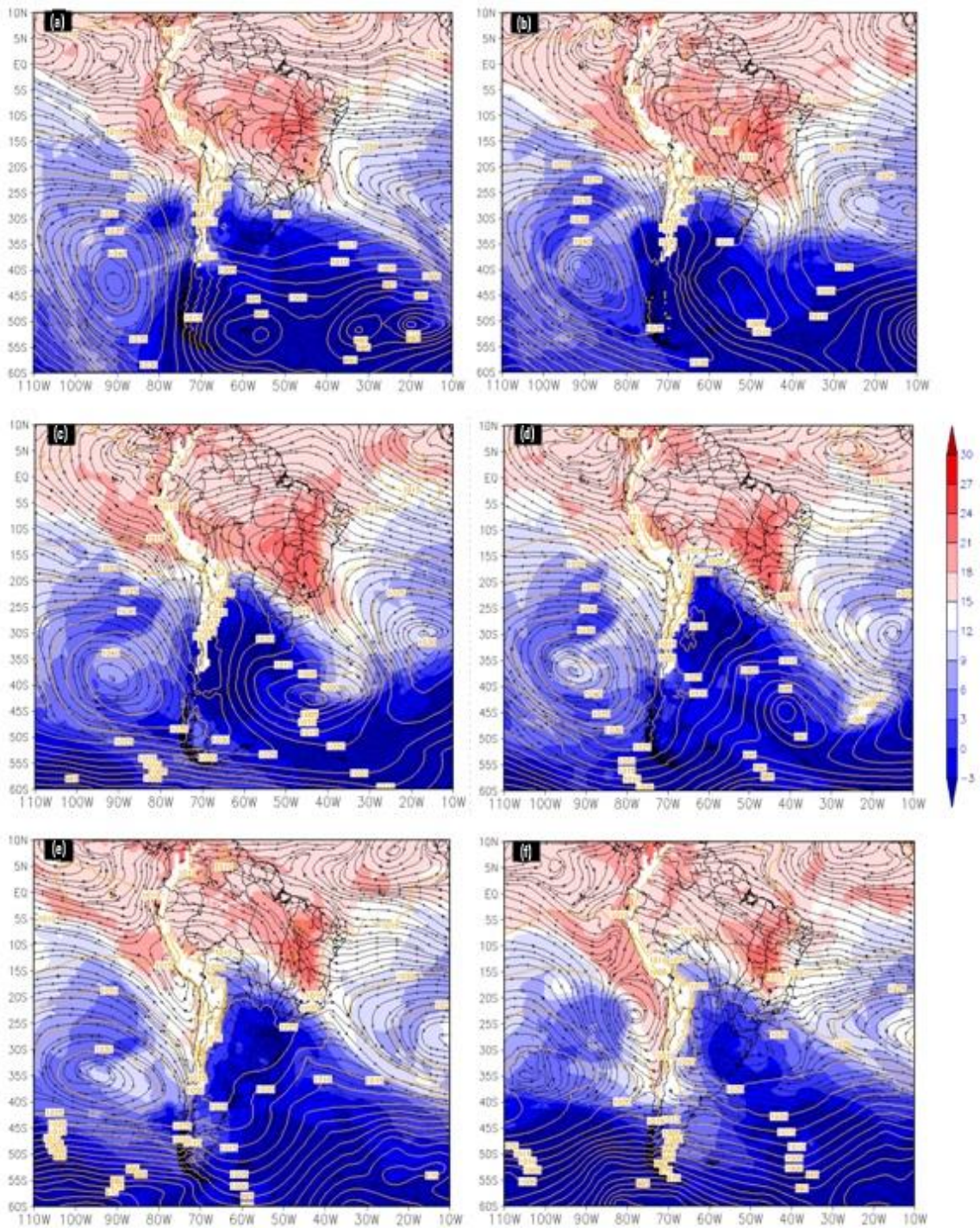


Figura 8. Campo de linha de corrente (contorno preto, em $m.s^{-1}$) e temperatura (sombreado em, $^{\circ}C$) em 850 hPa, e pressão atmosférica ao nível médio do mar (contorno amarelo, em hPa) às 00 Z em 20 (a), 21 (b), 22 (c), 23 (d), 24 (e) e 25 (f) de julho de 2013.

A partir da espessura da camada entre os níveis de 500 e 1000 hPa, nota-se na região do Pantanal em D-2 e D-1, valores mais altos de espessuras (camada mais quente) comparado as áreas de pós-frontal no sul do continente (camada mais fria) (Figura 9 a-b). No entanto, com a configuração da friagem no Pantanal, verifica-se o estreitamento da camada, chegando a 5500 m em

D+1 (Figura 9d). Posteriormente, em D+2 e D+3, a espessura da camada na região pantaneira voltava às configurações similares antes da passagem do SF (Figura 9 e-f). Os resultados corroboraram com Escobar (2008), onde a frente fria delimitou o gradiente de temperatura e/ou espessura observados em 500/1000 hPa.

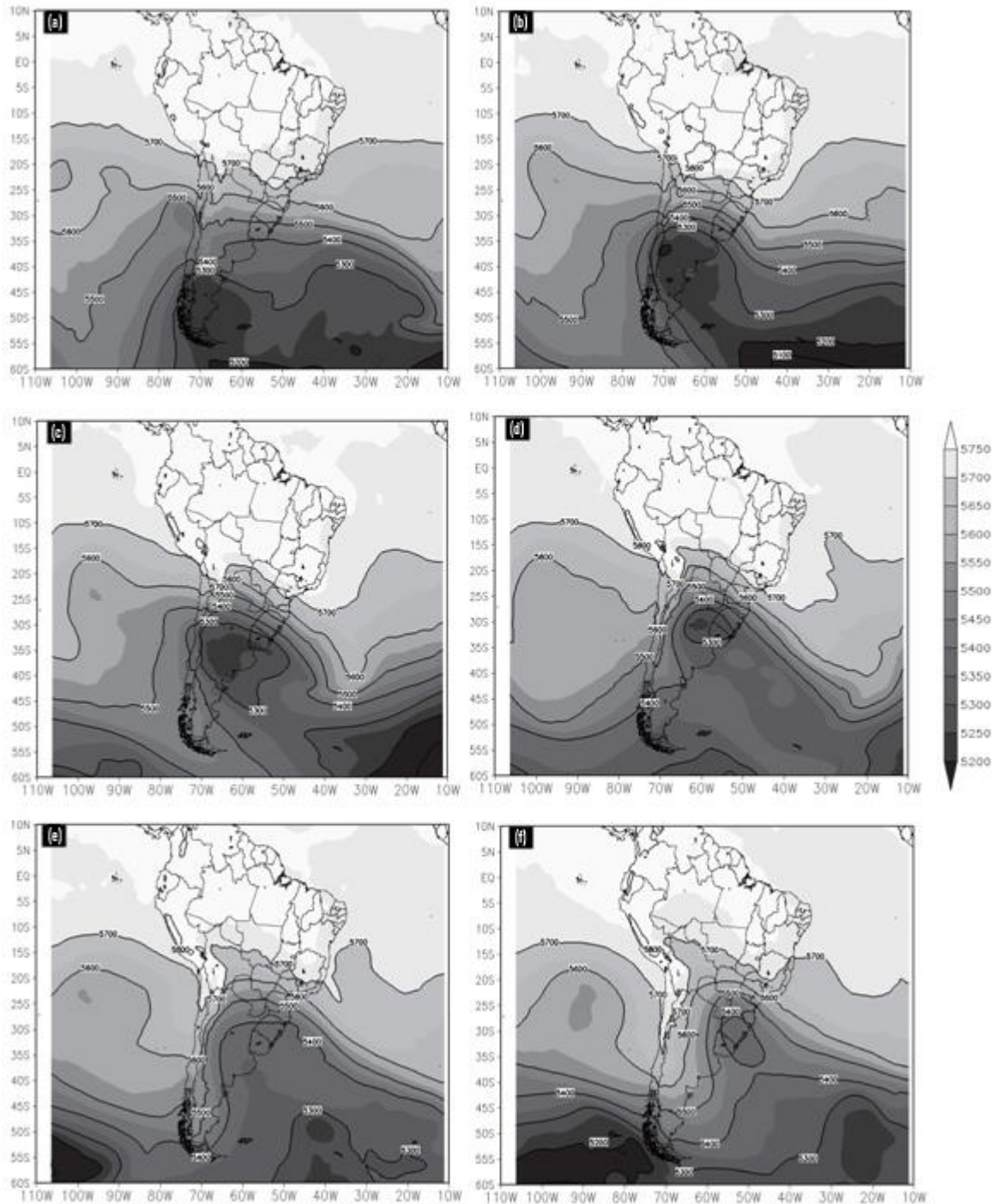


Figura 9. Campo de espessura da camada entre 500 e 1000 hPa (sombreado, em m) às 00 Z em 20 (a), 21 (b), 22 (c), 23 (d), 24 (e) e 25 (f) de julho de 2013.

Conclusões

Foram identificados 72 eventos de friagens dos casos gerais no Pantanal entre 2007 a 2014, com base nos dados de Coxim. Os eventos ocorreram com maior frequência no ano de 2010 e nos meses de agosto, com variabilidade interanual de 9 friagens.ano⁻¹ e 42,6 dias.ano⁻¹. A duração

média encontrada para cada evento foi de 4,3 dias. Os eventos mais duradouros ocorreram em agosto e, em alguns casos, os resultados implicaram que não necessariamente um maior número de SF anual resultará em períodos de dias frios mais duradouros. Valores com reduções significativas de temperatura, não necessariamente, apresentaram menores Tmin e Tmax. As análises dos casos intensos apontaram 27 eventos, ocorrendo com

maior frequência nos anos de 2010 e 2013 e os nos meses de julho e agosto, com duração média de 3,4 friagens.ano⁻¹.

O estudo sinótico do caso mais intenso mostrou a configuração de um ciclone no Oceano Atlântico a leste do sul do continente da América do Sul, relacionado à ampliação da onda baroclínica associada ao cavado frontal observado em altos níveis, com um anticiclone pós-frontal migratório frio em superfície sendo acompanhado de ômega negativos e gradiente de espessura da camada (camada fria).

Considera-se importante que pesquisas sobre friagens na região do Pantanal sejam incentivadas, possibilitando novos conhecimentos referentes ao tema que não são amplamente abordados na literatura. Sugere-se investigar os motivos que levaram a diferença considerável da frequência de eventos de friagens entre os quatro primeiros e últimos anos; a conjectura do maior número de casos de friagem em 2010; avaliar a relação de doenças respiratórias durante os episódios frios; e avaliação do ambiente sinótico através da utilização de campos compostos.

Referências

- Amorim Neto, A.C., 2013. Estrutura e evolução de frentes frias intensas na região amazônica brasileira. Tese (Doutorado). São José dos Campos, INPE.
- Amorim Neto, A.C.; Satyamurty, P.; Correia, F.W., 2015. Some observed characteristics of frontal systems in the Amazon Basin. *Meteorological Applications*, 617-635.
- Andrade, K.M., 2005. Climatologia e Comportamento dos Sistemas Frontais sobre a América do Sul. Dissertação (Mestrado). São José dos Campos, INPE.
- Bluestein, H.B. e Speheger, D.A., 1995. The dynamics of an upper-level trough in the baroclinic westerlies: Analysis based upon data from a wind profiler network. *Monthly Weather Review*, 2369-2383.
- Brinkmann, W.L.; Weinman, J.A.; Goes Ribeiro, M.N., 1971. Air temperature in central Amazonia I. *Acta Amazonica*, 51-56.
- Brinkmann, W.L. e Goes Ribeiro, M.N., 1972. Air temperature in central Amazonia III. *Acta Amazonica*, 27-32.
- Cavalcanti, I.F.A. e Kousky, V.E., 2009. Frentes frias sobre o Brasil, in: Cavalcanti, I.F.A.; Ferreira, N.J.; Silva, M.G.A.J. e Dias, M.A.F. (Org.), *Tempo e Clima no Brasil*. Oficina de Textos, São Paulo, pp. 133-147.
- CLIMANÁLISE. Boletim Climanálise, 2015. Boletim Climanálise. Disponível: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim>. Acesso: 10 mai. 2015.
- Escobar, G.C.J., 2007. Padrões sinóticos associados a ondas de frio na cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 241-254.
- Escobar, G.C.J., 2008. *Meteorologia Sinótica Prática Aplicada à Previsão de Tempo*. Apostila de Meteorologia Sinótica – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, Cachoeira Paulista, São Paulo, 2008.
- Escobar, G.C.J.; Vaz, J.C.M.; Reboita, M.S., 2019. Circulação Atmosférica em Superfície Associada às Friagens no Centro-Oeste do Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 241-254.
- Fedorova, N., 2001. *Meteorologia sinótica*. UFPEL, Pelotas.
- Fisch, G., 1996. Camada limite amazônica: aspectos observacionais e de modelagem. Tese (Doutorado). São José dos Campos, INPE.
- Fortune, M.A., 1981. A severidade das geadas de 1981, vista pelo satélite GOES. Disponível: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte@80/2008/09.30.14.14/doc/469-476.pdf>. Acesso: 20 jan. 2015.
- Gan, M.A. e Rao, V.B., 1994. The influence of the Andes cordillera on transient disturbances. *Monthly Weather Review*, 1141-1157.
- Garreaud, R.D., 2000. Cold air incursions over subtropical South America: mean structure and dynamics. *Monthly Weather Review*, 2544-2559.
- Gelaro, R.; Mccarty, W.; Suárez, M.J.; Todling, R.; Molod, A.; Takacs, L.; Randles, C.A.; Darmenov, A.; Bosilovich, M.G.; Reichle, R.; Wargan, K.; Coy, L.; Cullather, R.; Draper, C.; Akella, S.; Buchard, V.; Conaty, A.; Silva, A.M.; Gu, W.; Kim, G.; Koster, R.; Lucchesi, R.; Merkova, D.; Nielsen, J.E.; Partyka, G.; Pawson, P.; Putman, W.; Rienecker, M.; Schubert, S.D.; Sienkiewicz, M. e Zhao, B., 2011. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2). *Journal of Climate*, 5419-5454.
- Gomes, M.S., 2015. Efeito dos Eventos de Friagem nas Condições meteorológicas do Sudoeste da Amazônia. Trabalho de Conclusão de Curso. Pelotas, UFPel.
- Hamilton, M.G. e Tarifa, J.R., 1978. Synoptic aspects of a polar outbreak leading to frost in tropical Brazil, July, 1972. *Monthly Weather Review*, 1545-1556.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia, 2014. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. Disponível:

- <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisas>. Acesso: 12 jul. 2014.
- Longo, R.C.M. e Dias, M.A.F.S., 2004. Análise das características dinâmicas e sinóticas de um evento de friagem durante a estação chuvosa no sudoeste da Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 59-72.
- Mattos, L.F., 2010. Os dezoito casos mais intensos de friagem na Amazônia no período 1975-2009, in: XVI Congresso Brasileiro De Meteorologia, Belém.
- Myers, V.A., 1964. A cold front invasion of Southern Venezuela. *Monthly Weather Review*, 513-521.
- NASA, 2001. National Aeronautics and Space Administration. Disponível: www2.jpl.nasa.gov/srtm/. Acesso: 30 de jul. de 2017.
- Nimer, E., 1989. Geografia do Brasil – Região Centro-Oeste. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro.
- Paranhos Filhos, A.C.; Nummer, A.R.; Albrez, E. A.; Ribeiro, A.A. e Machado, R., 2013. A study of structural lineaments in Pantanal (Brazil) using remote sensing data. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 913-922.
- Parmenter, F.C., 1976. A Southern Hemisphere cold front passage at the Equator. *Bulletin American Meteorological Society*, 1435-1440.
- Pinto Jr., S.C. e Silva, C.A. 2012. A dinâmica climática do Mato Grosso do Sul e as queimadas do ano de 2009: uma análise tempo-espacial a partir das Imagens do NOAA-15. *Acta Geográfica*, 223-237.
- Pinto, L.B; Fernandes, B.M; Santos, M.J.M. e Campos, C.R.J., 2018. Eventos de Friagem na Região do Pantanal, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 223-232.
- Reboita, M.S.; Escobar, G.C.J. e Lopes, V., 2015. Climatologia sinótica de eventos de ondas de frio sobre a região sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia*, 72-92.
- Ricarte, R.M.D., 2012. Climatologia de eventos de friagem no sul da região Amazônica. Tese (Doutorado). São José dos Campos, INPE.
- Ricarte, R.M.D.; Herdies, D.L. e Barbosa, T.F., 2014. Patterns of atmospheric circulation associated with cold outbreaks in southern Amazonia. *Meteorological Applications*, 129-140.
- Ribeiro, I.L., 2012. As incursões de ar frio no estado do Amazonas. Dissertação (Mestrado). Manaus, UFAM.
- Santos, M.J.M.; Conceição, L.F.C; Monteiro, C.A; Pinto, L.B., 2016. Fenômeno intenso de friagem em julho de 2013 em Coxim-MS, norte do Pantanal: análise do ambiente sinótico, in: XXV Congresso De Iniciação Científica, Pelotas.
- Satyamurty, P.; Fonseca, J.F.B.; Botino, M.J.; Seluchi, M.E.; Lourenço, M.C.M.; Gonçalves, L.G., 2002. A nearly freeze in southern Brazil in April 1999 and its NWP guidance. *Meteorological Applications*, 113-128.
- Seluchi, M.E., 2009. Geadas e Friagens, in: Cavalcanti, I.F.A.; Ferreira, N.J.; Silva, M.G.A.J. e Dias, M.A.F. (Org.), *Tempo e Clima no Brasil*. Oficina de Textos, São Paulo, pp. 149-167.
- Serra, A. e Ratisbonna, L., 1960. As massas de ar da América do Sul: 1ª e 2ª partes. *Revista Geográfica*, 1959-1960.
- Viana, L.P. e Herdies, D.L., 2018. Estudo de caso de um evento extremo de incursão de ar frio em julho de 2013 sobre a bacia amazônica brasileira. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27-39.