





Onda de Frio Histórica no Brasil: um Estudo de Caso de Junho de 1985

The Historical Cold Wave in Brazil: A Case Study from June 1985

Bruno César Capucin¹ , Michelle Simões Reboita¹ , Vinícius Lucyrio¹ ,
Gustavo Carlos Juan Escobar² 

¹Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, Itajubá, MG, Brasil

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Cachoeira Paulista, SP, Brasil.

E-mails: brunocapucin23@gmail.com; reboita@unifei.edu.br; vinicius.lucyrio@gmail.com; gustavo.escobar44@gmail.com

Autor Correspondente: Bruno César Capucin; brunocapucin23@gmail.com

Resumo

Ondas de frio históricas no Brasil deixaram um legado de impactos no setor agrícola e na saúde pública ao longo do século XX. Entender a dinâmica da circulação atmosférica associada aos extremos frios é fundamental para a elaboração de medidas mitigadoras que visam a redução dos impactos na sociedade e no campo. Diante disso, o objetivo desse trabalho é realizar uma análise sinótica e de grande escala detalhada da forte e duradoura onda de frio que atuou no país no início de junho de 1985. Para tanto, utilizaram-se os dados da reanálise European Centre for Medium-Range Weather Forecast Reanalysis v.5 (ERA5) com resolução de 0,25° na construção dos campos sinóticos. Os resultados mostram que a onda de frio teve dois pulsos, o primeiro com uma incursão de ar frio mais rápido e menos intenso associado a uma onda amplificada de caráter mais estacionário na atmosfera superior, enquanto o segundo pulso ocorreu por um processo de amplificação dessa onda já existente. Esse processo levou a formação de um bloqueio no oceano Atlântico, de modo que a configuração do campo de pressão em superfície persistiu na costa leste da América do Sul e manteve dias consecutivos de ventos de sul sobre o interior do Brasil.

Palavras-chave: Bloqueio atmosférico; Sinótica; Circulação atmosférica

Abstract

Historical cold waves in Brazil left a legacy of impacts on the agricultural sector and public health throughout the 20th century. Understanding the dynamics of atmospheric circulation associated with cold extremes is fundamental to elaborate mitigating measures to reduce impacts on society and crops. Therefore, the objective of this work is to carry out a synoptic and large-scale detailed analysis of the strong and long-lasting cold wave that acted in the country in early June 1985. For this purpose, data from the European Centre for Medium-Range Weather Forecast Reanalysis v.5 (ERA5) reanalysis with a horizontal resolution of 0.25° were used to elaborate synoptic fields. The results show that the cold wave had two pulses: the first one with a faster and less intense cold air incursion associated with an amplified wave of a stationary character in the upper atmosphere. The second pulse occurred by a reamplification process of a pre-existent wave. This process led to the formation of a block over the Atlantic Ocean. The configuration of the surface pressure field persisted on the east coast of South America and maintained consecutive days of southern winds over the interior of Brazil.

Keywords: Atmospheric blocking; Synoptic; Atmospheric circulation

1 Introdução

O século XX foi marcado por ondas de frio históricas no Brasil. Registros passados mostram uma sequência de anos em que fortes incursões polares foram abrangentes e intensas no território brasileiro, como nos anos de 1955, 1957, 1965, 1975, 1979, 1981, 1984, 1985, 1988, 1991, 1994, 1996, 1999 e 2000 (Fortune & Kousky 1983; Girardi 1983; Krishnamurti et al. 1999; Lanfredi & Camargo 2018; Lucyrio, Reboita & Albiéri 2019; Marengo, Nobre & Culf 1997; Parmenter 1976; Pezza 2003). Entre julho e agosto de 1955, por exemplo, uma intensa onda de frio atingiu a América do Sul (AS) provocando neve nos três estados da Região Sul ('Nevou em vários municípios do R. Grande do Sul' 1955; 'Sensível queda de temperatura em S. Paulo e nos estados sulinos' 1955). Além da neve, as geadas foram intensas e provocaram grandes prejuízos na cafeicultura do Paraná e em parte do estado de São Paulo, sendo este menos atingido; contudo, São Paulo sofreu perdas significativas nos cultivos de frutas e hortaliças ('O efeito da onda de frio nos municípios do Interior' 1955; 'Nova e mais intensa formação de geada no Est. de S. Paulo' 1955). Esta onda de frio foi também responsável pela menor temperatura já observada na capital paulista, com $-2,1^{\circ}\text{C}$ na estação meteorológica do Mirante de Santana, pertencente ao INMET ('Começa a ser avaliado o vulto dos danos no Norte do Paraná' 1955).

Existem diversas definições na literatura para ondas de frio, algumas mais gerais e outras mais específicas. Uma definição geral de Radović & Iglesias (2019) descreve o fenômeno como sendo um período de forte resfriamento do ar, de modo que as temperaturas fiquem abaixo de limiares climatológicos da região atingida por alguns dias. Contudo, Nairn & Fawcett (2013) realizaram um estudo a fim de elaborar critérios para definir ondas de frio e calor na região da Austrália. Segundo os autores, uma onda de frio pode ser caracterizada quando a temperatura média do ar em um dado local permanece abaixo do percentil de 5% da série histórica de temperatura por pelo menos 3 dias seguidos. Vários trabalhos também utilizam definições para ondas de frio, mas com foco na AS, por exemplo: Escobar, Mancini & Reboita (2019); Fortune & Kousky (1983); Garreaud (2000); Lanfredi & Camargo (2018); Seluchi & Nery (1992); Vera & Vigliarolo (2000).

Fortes ondas de frio, como as do século XX, são de grande impacto para a agricultura e saúde pública. Em julho do ano de 1975 uma severa incursão de ar polar histórica atingiu o Brasil. Cerca de 75% da produção de café no Brasil foi perdida devido às geadas negras (geada que congela a água no interior das plantas). O estado do Paraná foi o mais atingido na época, com quase 100% da sua produção

afetada; foram colhidas 10,2 milhões de sacas no ano de 1975 (48% de toda a produção nacional de café), antes da geada, e apenas 3,8 mil sacas no ano seguinte (Girardi 1983; Marengo et al. 1997; Parmenter 1976; Pezza 2003; 'Especial - 35 anos da geada de 1975 - Entenda o que foi a Geada Negra que dizimou todas as plantações de café do Paraná' 2010). Esse evento gerou problemas econômicos e sociais à população paranaense. Décadas depois, outra onda de frio em junho de 1994 impactou a produção de café com geadas, mas dessa vez na Região Sudeste que registrou um aumento no preço de comercialização do produto (Marengo et al. 1997).

Extremos frios também estão associados a problemas de saúde pública e desigualdade social. Silveira et al. (2018) estudou o impacto das baixas temperaturas no número de internações hospitalares por doenças respiratórias e circulatórias em São Joaquim-SC. O autor verificou que o número de internações devido à pneumonia aumentou cerca de 39% durante as ondas de frio entre os anos de 1999 a 2013. Com relação aos problemas sociais, condições extremas de frio geram óbitos de moradores de rua devido à hipotermia, especialmente nas grandes metrópoles onde a desigualdade é agravada. No inverno de 2019, cinco pessoas em situação de rua morreram na cidade de São Paulo devido aos dias frios ('Frio intenso causa a morte de cinco pessoas em situação de rua em SP nos últimos 2 dias' 2019).

Outro aspecto comum das ondas de frio no Brasil é o fenômeno conhecido por friagem. A friagem se refere a diminuição da temperatura do ar e umidade no sul da Região Norte após a passagem de uma frente fria na região (Oliveira et al. 2004). Já Serra & Rastibona (1942) descrevem os eventos de friagem como uma forte incursão de ar frio vindo do sul que alcança as latitudes tropicais da AS e influencia o tempo no sul da Amazônia. As condições sinóticas que propiciam o alcance do ar frio no sul da bacia Amazônica é o posicionamento de anticiclones pós-frontais nas regiões centrais da AS. Pezza & Ambrizzi (2005) realizaram um estudo da trajetória de ciclones e anticiclones associados a eventos de frio intenso na AS que alcançaram o estado de São Paulo. No modelo conceitual de trajetórias dos sistemas sinóticos, os autores verificaram que a maioria dos anticiclones migram do extremo sul do continente para as latitudes do Paraguai e, posteriormente, se movem para leste ao longo do estado de São Paulo.

Como as ondas de frio são fenômenos de escala sinótica, muitos trabalhos focam na identificação e descrição dos padrões atmosféricos durante fortes períodos de resfriamento no Brasil. Portanto, tem sido mostrado que na atmosfera superior, a configuração mais recorrente é um padrão de onda amplificada com a crista no Pacífico Leste e o cavado no Atlântico Sudoeste. Essa estrutura

de nível superior conduz as altas pressões para o norte a leste dos Andes, enquanto no Atlântico baixas pressões se desenvolvem (Escobar 2007; Fortune & Kousky 1983; Garreaud 2000; Girardi 1983; Pezza 2003; Pezza & Ambrizzi 2005; Reboita, Escobar & Lopes 2015). Em decorrência da configuração mencionada anteriormente, o gradiente de pressão formado entre as altas pressões sobre o continente e os ciclones no Atlântico favorecem ventos de sul e o transporte de ar frio para as latitudes tropicais e subtropicais do Brasil.

No entanto, padrões de teleconexão associados às variabilidades de baixa frequência podem modular a escala sinótica, resultando em condições meteorológicas extremas em áreas distantes como ondas de frio e calor. De acordo com Reboita et al. (2021) e Shimizu & Cavalcanti (2011), o termo teleconexão está relacionado com anomalias em uma região do globo que promovem a dispersão de ondas na atmosfera superior e que alteram o regime de precipitação e temperatura em locais remotos. O El Niño Oscilação Sul (ENOS) e a Oscilação Antártica (OA) são exemplos de modos de variabilidade de baixa frequência com impacto na circulação extratropical do hemisfério austral (Reboita et al. 2021)

Em junho de 1985, o Brasil foi atingido por uma intensa onda de frio, memorável tanto pela duração do fenômeno como por sua abrangência. Este evento foi responsável por geadas em quase todo o estado de São Paulo, no entanto os maiores prejuízos foram observados nas plantações de café na região de Franca, nordeste paulista, onde a temperatura mínima ficou abaixo dos 2°C por três dias seguidos (8, 9 e 10 de junho); no dia 9 a temperatura da relva chegou a -5,2°C na cidade. As pastagens foram menos atingidas devido à estiagem que já atingia todo o estado antes. A produção de leite, a fruticultura e a olivicultura foram afetadas também nas regiões de Catanduva, Pindorama, Sorocaba e Bragança Paulista. As geadas também foram registradas na região sul de Minas Gerais (São Sebastião do Paraíso, Guaxupé e Maria da Fé), também com prejuízos na cafeicultura, e o frio foi responsável por mortes de moradores de rua na cidade de São Paulo e em Curitiba-PR. Em todo o estado de São Paulo, estima-se que 10% das plantações de café foram atingidas pelas geadas, sendo a maior parte na região de Franca. Além das geadas, houve registro de neve no Pico das Agulhas Negras, dentro do Parque Nacional de Itatiaia, na divisa de Minas Gerais com o Rio de Janeiro ('Meteorologia prevê novas geadas' 1985; 'Frio diminui, ficam os prejuízos' 1985). Devido a magnitude e extensão dessa onda de frio, o presente estudo tem por objetivo realizar uma análise sinótica detalhada do evento. Também serão apresentados dados de observação da época durante a discussão dos resultados.

2 Material e Métodos

2.1 Análise Sinótica

A fim de descrever o padrão sinótico associado a onda de frio de 1985, utilizou-se o banco de dados da reanálise do ERA5 do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (Copernicus Climate Change Service 2017; Hersbach et al. 2020)*, cuja resolução horizontal é de 0,25° lat/lon. Os dados selecionados para este estudo possuem 6 níveis verticais (2 metros, superfície, 1000, 850, 500, 250 hPa) para os 4 horários sinóticos (0000, 0600, 1200 e 1800 Z). No entanto, por fins de brevidade nos resultados, apresentam-se apenas o horário das 1200 Z, horário em que há um maior registro de dados observados. As variáveis utilizadas são: temperatura do ar, geopotencial, componentes zonal e meridional do vento, pressão ao nível médio do mar (PNMM) e umidade específica. A partir destas variáveis primárias, calcularam-se as variáveis secundárias como espessura da camada e a altura geopotencial. As equações para obtenção dessas variáveis podem ser encontradas em Capucin et al. (2019) e em Wallace & Hobs (2006).

2.2 Campos de Anomalia

As anomalias foram computadas considerando a climatologia de 1979 a 2010 com dados da ERA5. Os valores de anomalia obtidos das variáveis PNMM, altura geopotencial, temperatura em 2 m e umidade específica se deram através da equação $A = -$ em que se refere ao valor da variável em um dado dia às 1200 Z e a climatologia da mesma variável também em um dado dia às 1200 Z.

2.3 Domínio da Análise

Para a análise sinótica focada na AS, a área adotada para o estudo corresponde de 60°S a 5°N de latitude e de 100°O a 10°O de longitude. Já para identificação dos padrões de grande escala, considerou-se todo o HS, cuja área corresponde de 90°S a 5°N de latitude e de 180°O a 180°L de longitude.

2.4 Registro Histórico

Por ter sido um evento de onda de frio de longa duração, o pico de temperaturas baixas ocorreu em datas distintas nas diferentes regiões do Brasil. Lucyrio, Reboita & Albieri (2019) identificaram 12 casos de ondas de frio intensas sobre o nordeste do estado de São Paulo entre 1961 e 2017, no qual a onda de frio de junho de 1985 foi a de maior duração, 9 dias, em relação à duração média encontrada que foi de 5 dias.

Devido à esta longa duração, foram utilizados dados de estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), de temperaturas mínimas e máximas, do período compreendido entre os dias 1 e 15 de junho de 1985. As estações meteorológicas utilizadas se localizam nos estados da região Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Norte do Brasil.

3 Resultados e Discussão

3.1 Análise Sinótica

A Figura 1 se refere a carta sinótica construída a partir da PNMM, corrente de jato em cores (250 hPa), espessura da camada entre os níveis de 1000 e 850 hPa e altura geopotencial em 250 hPa às 12 Z do dia 1 ao dia 12 de junho de 1985. Através dessas informações, é possível atribuir o posicionamento das frentes meteorológicas em superfície. Como a onda de frio de 1985 teve ampla penetração nas latitudes subtropicais e tropicais da AS, a espessura da camada mais apropriada para avaliar a incursão de ar frio é a definida entre 1000 e 850 hPa, uma vez que o ar frio das altas latitudes se torna mais raso à medida em que se propaga para o trópico (Weather Prediction Center International Desks 2020).

No dia 1 de junho (Figura 1A), há uma onda frontal no oceano Atlântico a leste da Argentina devido à presença de um cavado sobre o sul da AS. Enquanto a frente fria desse sistema encontra-se entre o norte da Argentina e do Uruguai com forte gradiente de espessura da camada associado, atrás do sistema frontal um pulso anticiclônico oriundo da Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) ingressa sobre os Andes. Esse tipo de configuração inicial das ondas de frio na AS é clássico, amplamente demonstrado em vários estudos como o de Escobar (2007); Girardi (1983); Marengo, Nobre & Culf (1997); Parmenter (1976); Pezza (2003) e Reboita, Escobar & Lopes (2015).

Até o dia 4 (Figura 1D), o sistema frontal avança para o norte sobre o Brasil, abrangendo as regiões Centro-Oeste e Sudeste e é acompanhado pelo deslocamento progressivo da alta pós-frontal para o norte ao longo da Argentina. O padrão de onda amplificada crista/cavado na corrente de jato entre o oceano Pacífico e Atlântico pouco se altera entre os dias 3 (Figura 1C) e 4 (Figura 1D). Contudo, do dia 5 (Figura 1E) em diante, um processo de amplificação mais forte no trem de ondas do HS visto pela orientação meridional da corrente de jato atinge as longitudes da AS, o que aumenta a amplitude da onda pré-existente e fornece suporte para que o

sistema frontal se reconfigure sobre a AS no dia 6 (Figura 1F) e atinja baixas latitudes até o dia 10 (Figura 1J). O sistema frontal recebe suporte de uma circulação ciclônica intensificada no oceano Atlântico em 45°W e 35°S (Figura 1F). A amplificação da corrente de jato para o sul, sobretudo a partir do dia 5 (Figura 1E) nas altas latitudes do oceano Pacífico, denota uma ampla crista responsável por um intenso anticiclone com características de bloqueio (Trenberth & Mo 1985) na região das Ilhas Malvinas. O gradiente de pressão formado entre o anticiclone e as baixas pressões a leste do Brasil configura fortes ventos de sul sobre o interior do país por vários dias consecutivos. A persistência dos ventos de sul se deve à estacionalidade da onda de nível superior e, conseqüentemente, do campo bórico em superfície.

Uma das características que evidencia a intensidade do ar frio e sua penetração em direção ao trópico é o deslocamento do jato polar. No dia 10 (Figura 1J), a isoipsa de 10.320 mgp atinge o leste do Paraná, sendo um indicativo da presença do jato polar entre parte da Região Sul e o sul do estado de São Paulo. Tais características sinóticas permitiram um amplo avanço do sistema frontal até a região equatorial (Figura 1J).

A onda de frio provocou também uma intensa friagem no sul da Amazônia, com intensa queda nas temperaturas entre os dias 9 e 12. O frio intenso provocou recordes de temperaturas mínimas nas Normais Climatológicas de 1961-1990 (Instituto Nacional de Meteorologia 2009) em diversas estações meteorológicas da região Norte, como 7,8°C em Cruzeiro do Sul e Rio Branco-AC e 10,2°C em Lábrea-AM. Em Porto Velho-RO a temperatura caiu para 12,4°C no dia 10. Foram quebrados diversos recordes de frio, sejam eles mensais ou absolutos, em relação às Normais Climatológicas de 1961-1990 nas regiões Sudeste, Norte e Centro-Oeste, dos quais, esses recordes permanecem até hoje.

Para o estudo das condições sinóticas associadas a uma onda de frio, avaliar a altura geopotencial é fundamental, pois essa variável permite identificar o padrão de onda crista/cavado na atmosfera superior. Extremos de temperatura surgem no contexto de amplificação dessas ondas, onde as massas de ar frio (quente) são forçadas para o norte (sul) através de cavados (cristas) de ar superior no HS. A Figura 2 mostra os campos da anomalia da altura geopotencial (em cores) e a altura geopotencial em isolinhas para às 1200 Z do dia 1 ao dia 12 de junho. A análise da anomalia da altura geopotencial permite identificar o quanto essa variável desviou da sua média climatológica (1979 a 2010) durante a intensa onda de frio do início de junho de 1985.

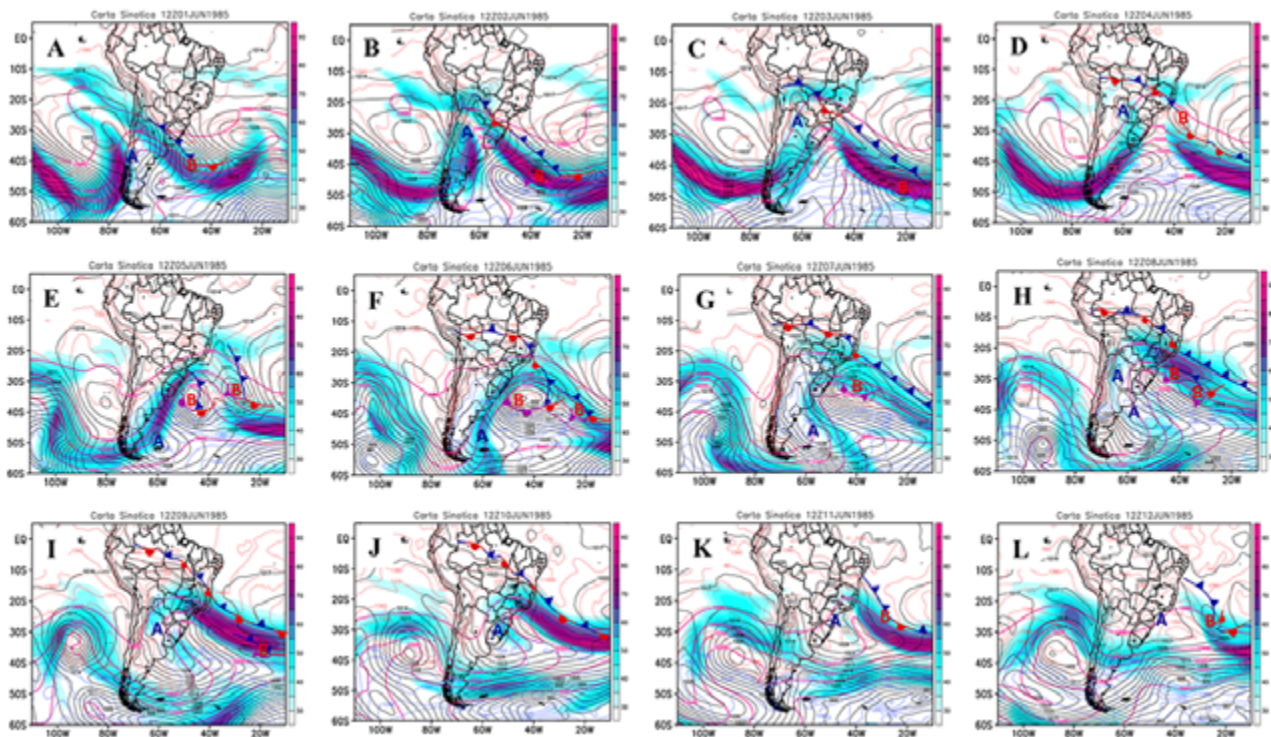


Figura 1 Corrente de jato em cores (m/s) e altura geopotencial no nível de 250 hPa em linhas contínuas em roxo (mgs), pressão ao nível médio do mar em linhas contínuas em preto (hPa), espessura da camada 850/1000 hPa em linhas tracejadas (m), sistemas de alta (A) e baixa (B) pressão e sistemas frontais, onde as linhas com triângulos azuis indicam as frentes frias, linhas com semicírculos vermelhos as frentes quentes, linhas com triângulos e semicírculos roxos as frentes oclusas e linhas com triângulos azuis e semicírculos vermelhos as frentes estacionárias às 1200 Z para os dias: A. 01/06/1985; B. 02/06/1985; C. 03/06/1985; D. 04/06/1985; E. 05/06/1985; F. 06/06/1985; G. 07/06/1985; H. 08/06/1985; I. 09/06/1985; J. 10/06/1985; K. 11/06/1985; L. 12/06/1985.

No dia 1 (Figura 2A) há um trem de ondas amplificado com uma crista no oceano Pacífico Sul, um cavado sobre o continente sul-americano e outra crista sobre o oceano Atlântico Sul. A amplificação dessa onda pode ser identificada pelas anomalias de altura geopotencial, que em geral estão são mais fortes nas regiões de cristas. Embora esse trem de ondas apresente um caráter mais estacionário, há um ligeiro deslocamento para leste até o dia 4 (Figura 2D) enquanto se amplifica. Entre os dias 3 (Figura 2C) e 4 (Figura 2D), o cavado orientado meridionalmente atinge o Sudeste do Brasil. Salienta-se que o padrão de crista amplificada no Pacífico Leste e cavado amplificado no Atlântico Sudoeste é a principal assinatura de nível superior no contexto de ondas de frio na AS e Brasil durante o inverno austral (Escobar 2007; Marengo, Nobre & Culf 1997; Müller & Berri 2007; Müller & Berri 2012; Reboita, Escobar & Lopes 2015).

Uma amplificação mais forte do trem de ondas nas longitudes da AS é verificado a partir do dia 5 (Figura 2E). Nesse dia, o ganho de amplitude no cavado que está no

oceano Pacífico em aproximadamente 120°W conduz à amplificação corrente abaixo da crista posicionada no sul da AS e, conseqüentemente, do cavado no Atlântico Sudoeste. No entanto, as anomalias de altura geopotencial se tornam mais intensas do dia 6 (Figura 2F) em diante. Ainda no dia 6, a crista altamente amplificada sobre a Patagônia se desloca ao sul do cavado sobre o Atlântico com anomalias positivas de até 300 mgs. Em decorrência dessa configuração, ocorre um aprofundamento do cavado a leste do Brasil e do fechamento da isoipsa de 5460 mgs. A literatura mostra que esse processo é conhecido por quebra da onda de Rossby ou *cutoff-low* do termo em inglês (Postel & Hitchman 1999; Sprenger, Wernli & Bourqui 2007). No caso analisado, uma estrutura de bloqueio do tipo ômega com tendência para uma estrutura dipolo configurou-se entre o oceano Pacífico Leste e Atlântico Sudoeste e apresentou um processo ciclogênico a leste do Brasil em resposta ao *cutoff-low* na média troposfera. Ondas que apresentam esse comportamento se tornam ancoradas na troposfera superior devido à redução da advecção de vorticidade

relativa, tornando os sistemas de tempo em superfície mais persistentes numa mesma região (Iwabe & Rocha 2009). Ressalta-se que a advecção de vorticidade relativa em 500 hPa é o termo responsável pelo deslocamento para leste das ondas de escala sinótica, conforme mostra a teoria de desenvolvimento de Sutcliffe revisitada em Marrafon & Reboita (2019).

Até o dia 8 (Figura 2H) a magnitude da anomalia de altura geopotencial permanece intensa na crista (300 mgp) sobre as Malvinas. No cavado sobre o sul brasileiro, as anomalias negativas também são fortes, mas concentradas numa área menor. O trem de ondas nesse dia exibe crista e cavados com orientação NO-SE, uma particularidade também encontrada em uma das análises de componentes principais obtidas no estudo de Reboita, Escobar & Lopes (2015). Essa orientação NO-SE da onda em 500 hPa no contexto de ondas de frio, em alguns casos, está associada à eventos de bloqueio nas longitudes da AS (Sprenger, Wernli & Bourqui 2007)

De modo geral, o processo de dissipação do trem de ondas é identificado a partir do dia 9 (Figura 2I), podendo ser observado pela diminuição da amplitude dos cavados e da crista, com redução também das anomalias de altura

geopotencial. O cavado sobre a Região Sudeste persiste até o dia 10 (Figura 2J) e posteriormente, se dissipa no oceano Atlântico (Figura 2L). Com relação à crista, apesar da mesma persistir ao norte das Malvinas entre os dias 9 (Figura 2I) e 11 (Figura 2K), sua amplitude diminui entre esses dias.

A fim de complementar a análise do acoplamento entre os sistemas de altos e baixos níveis da troposfera, apresenta-se o campo de anomalia da PNMM (em cores) juntamente com o valor da PNMM às 1200 Z do dia 1 ao dia 12 de junho. A Figura 3 complementa a análise realizada para a Figura 2, facilitando o entendimento da dinâmica dos sistemas. As características mais marcantes da PNMM no dia 1 (Figura 3A) são a presença de um pulso anticiclônico sobre a Argentina a partir da ASPs e um ciclone extratropical em desenvolvimento no Atlântico Sudoeste, que está identificado por “B” na Figura 1A. Altas pressões pós-frontais que adentram o continente sul-americano a partir do oceano Pacífico ao mesmo tempo que baixas pressões evoluem nas altas latitudes do oceano Atlântico são fatores clássicos que antecedem um evento de frio no Brasil, conforme mostrado em vários estudos (Pezza & Ambrizzi 2005; Reboita, Escobar & Lopes 2015).

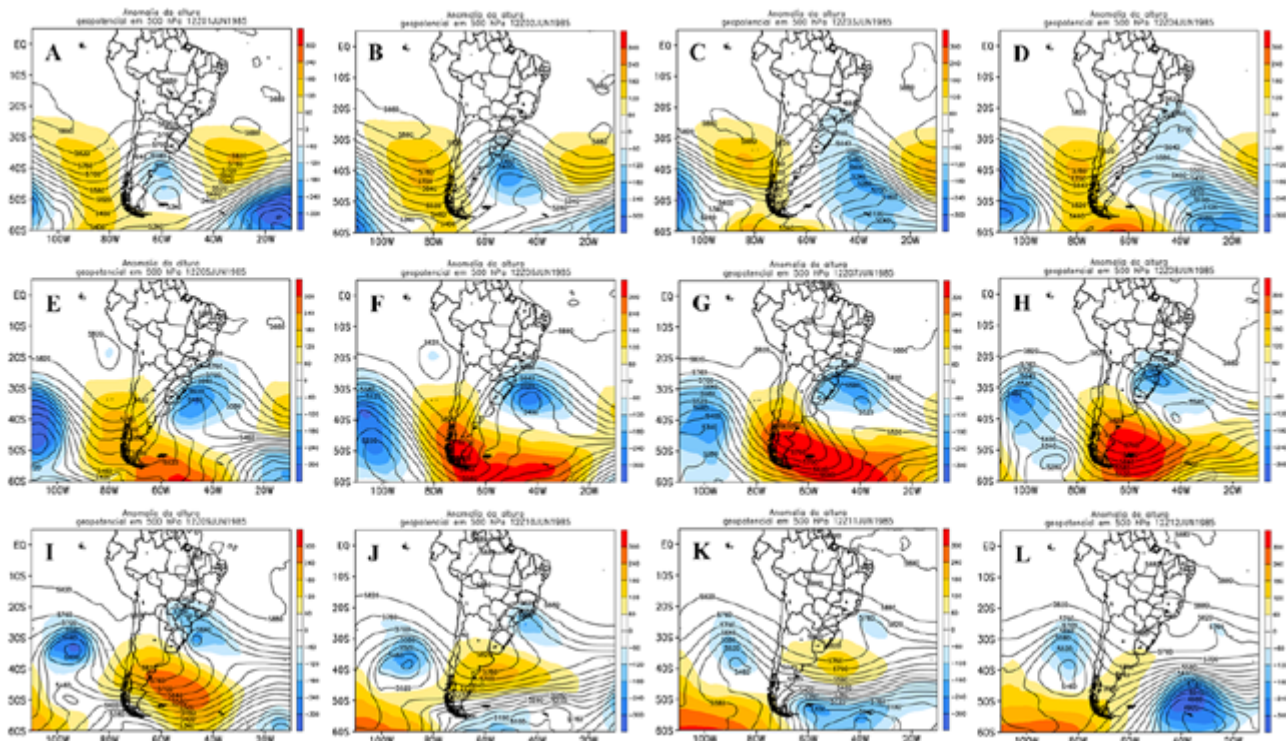


Figura 2 Anomalia de altura geopotencial em cores (mgp) e altura geopotencial em linhas contínuas em mgp ao nível de 500 hPa para o mesmo horário sinótico e datas apresentadas na Figura 1.

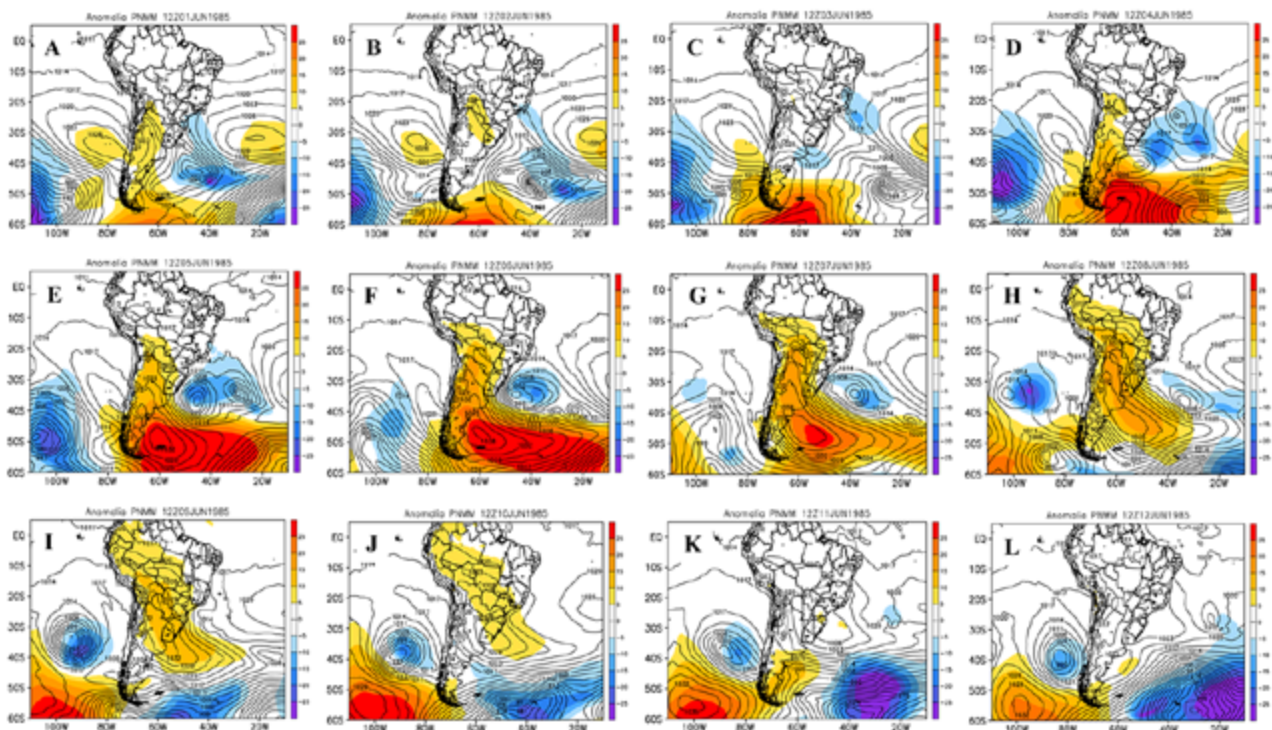


Figura 3 Anomalia da pressão ao nível médio do mar em cores (hPa) e pressão ao nível médio do mar em linhas contínuas em hPa para o mesmo horário sinótico e datas apresentadas na Figura 1

A Figura 3 indica que não há fortes anomalias de PNMM sobre o Brasil pelo menos até o dia 4 de junho (Figura 3D). No entanto, após essa data, a intensificação de um anticiclone sobre as Malvinas se associa com a expansão de sua crista sobre o interior da AS, principalmente no norte da Argentina (Figura 3E). Anomalias positivas de 5 hPa são vistas no oeste da Região Sul e no oeste do Mato Grosso do Sul nessa data. Posteriormente, no dia 6 (Figura 3F), o gradiente de pressão se intensifica entre o ciclone e o anticiclone no Atlântico Sudoeste, o que favorece a maior penetração de ar frio e o aumento da pressão atmosférica sobre o continente. Isso pode ser visto pelas anomalias positivas de PNMM abrangendo parte do Centro-Sul.

Com a incursão de ar frio ganhando força sobre o Brasil entre os dias 7 (Figura 3G) e dia 10 (Figura 3J), as anomalias de PNMM abrangem grande parte do país, especialmente sobre a Região Sul, parte do Sudeste, Centro-Oeste e o centro-sul da Região Norte. Algumas áreas como o Rio Grande do Sul, oeste de Santa Catarina e do Paraná, Mato Grosso do Sul, sul do Mato Grosso e sul de Rondônia mostram anomalias positivas na ordem de 15 hPa neste evento (Figuras 3H). Para os dias 11 (Figura 3K) e 12 (Figura 3L), o enfraquecimento do ar frio sobre o continente reduz a pressão atmosférica, que por sua vez neutraliza os valores de anomalia da PNMM.

É possível verificar que a intensificação da crista em 500 hPa descrita anteriormente na Figura 2 foi a forçante dinâmica para o aumento da pressão atmosférica em superfície identificada na Figura 3 no Atlântico Sudoeste. Por outro lado, o cavado, também discutido na Figura 2, a leste da Região Sul forneceu suporte dinâmico para as regiões de baixa pressão em superfície observadas na Figura 3, especialmente a partir do dia 5 (Figura 3E). A estrutura de bloqueio do tipo ômega com tendência de estrutura dipolo citada anteriormente é refletida também em superfície entre os dias 5 (Figura 3E) e 7 (Figura 3G), onde o ciclone extratropical se desenvolve ao norte de uma zona de alta pressão, enquanto ambos os sistemas pouco se deslocam para leste.

Deste modo, o padrão de onda ancorada na atmosfera superior forçou um estacionamento dos sistemas de pressão em superfície próximos da costa leste da AS. Além disso, um forte gradiente de pressão configurou-se ao longo da bacia do rio da Prata e manteve os ventos de sul sobre o interior do Brasil por dias consecutivos.

Na Figura 4 tem-se o campo de anomalia da temperatura em 2 metros (em cores) juntamente com a PNMM. Essa variável permite avaliar o quão anômalo foi o ar frio que atingiu o Brasil durante a onda de frio do início de junho de 1985. Salienta-se que valores negativos

(positivos) de anomalia equivalem aos desvios abaixo (acima) da média climatológica da temperatura.

A onda de frio de junho de 1985 pode ser dividida em dois momentos. O primeiro seria entre os dias 1 (Figura 4A) e 4 (Figura 4D), quando um sistema frontal atinge o Centro-Sul do Brasil (vide Figura 1) e o segundo entre os dias 5 (Figura 4E) e 10 (Figura 4J). No primeiro pulso de ar frio, as anomalias de temperatura não são tão fortes e abrangentes como no segundo. Observa-se que nos dias 3 (Figura 4C) e 4 (Figura 4D) as anomalias mais intensas são da ordem de -6°C e apenas em parte da Região Sul e de Mato Grosso do Sul. Anomalias mais fracas e com menor abrangência são identificadas no estado de São Paulo, sul de Minas Gerais, sul de Goiás e Mato Grosso nesse período.

Já o segundo pulso frio foi o mais importante, visto que além de abranger grande parte do Brasil durou cerca de uma semana. Dinamicamente, o processo de amplificação da onda na média troposfera sucedido por uma estrutura de bloqueio foi a razão pelo segundo pulso de ar frio ser tão forte e duradouro. Com o fortalecimento do gradiente de pressão e, conseqüentemente, dos ventos de sul nos dias 6, 7 e 8 (Figuras 4F, 4G e 4H), a massa de ar frio é transportada para as baixas latitudes da AS. A penetração do ar frio no subtropical e trópico do Brasil é vista através das anomalias negativas que dominam o interior da AS e parte do Brasil (Figuras 4F, 4G e 4H). Valores de anomalia de temperatura na ordem de -10°C são verificados em parte do Sul e Centro-Oeste no dia 6 (Figura 4F), entre o Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso no dia 7 (Figura 4G) e numa ampla área do Centro-Oeste, parte do Sudeste e Norte no dia 8 (Figura 4H).

Do dia 8 (Figura 4H) ao dia 10 (Figura 4J), as anomalias negativas mais intensas atingem gradativamente o sul da Região Norte, caracterizando um episódio de friagem. Após o dia 10 (Figura 4J), as anomalias negativas se enfraquecem sobre o país, indicando que o ar frio começa a perder intensidade.

Com relação aos extremos de temperatura mínima, foram observados dois picos na região Sul, sendo um entre os dias 6 e 8 e outro entre os dias 10 e 11. O primeiro esteve associado a um amplo e intenso cavado que permaneceu sobre o sul do Brasil, favorecendo o ingresso de ar muito frio em níveis médios e altos, com suporte aos sistemas em superfície; em Santa Catarina e o Rio Grande do Sul destacam-se os valores de temperaturas máximas observadas durante este pico, em que no dia 6 as máximas foram de $3,8^{\circ}\text{C}$ em São Joaquim-SC, $6,7^{\circ}\text{C}$ em Vacaria-RS e $7,1^{\circ}\text{C}$ em Campos Novos-SC, e no dia 7 com $2,0^{\circ}\text{C}$ em São Joaquim-SC, $3,4^{\circ}\text{C}$ em Campos Novos-SC, $4,5^{\circ}\text{C}$ em

Vacaria-RS, $5,3^{\circ}\text{C}$ em Chapecó-SC e $7,2^{\circ}\text{C}$ em Ibirubá-RS. As mínimas não foram tão baixas devido à nebulosidade que foi propiciada pelo cavado nos médios e altos níveis; as menores temperaturas mínimas nestes dois estados foram em São Joaquim-SC, com $-2,8^{\circ}\text{C}$ no dia 6, $-2,0^{\circ}\text{C}$ no dia 7 e $-1,0^{\circ}\text{C}$ no dia 8. Entretanto, o Paraná se manteve em condições atmosféricas mais estáveis, e por isso foram observadas mínimas mais baixas no dia 7 com $-0,8^{\circ}\text{C}$ em Castro e $0,5^{\circ}\text{C}$ em Curitiba. Este mesmo cavado se manteve sobre o sul do país até o dia 8, quando houve a amplificação de seu eixo e maior avanço sobre a região Sudeste. Com essa progressão do cavado e conseqüente estabilidade trazida pela alta migratória um novo pico mais intenso de temperaturas mínimas ocorreu na região Sul nos dias 10 e 11, sobretudo no Paraná, com mínimas de $-1,2^{\circ}\text{C}$ e $-0,8^{\circ}\text{C}$ em Castro nos dias 10 e 11 respectivamente, $1,1^{\circ}\text{C}$ em Campo Mourão e $1,3^{\circ}\text{C}$ em Curitiba no dia 10; fez ainda $0,0^{\circ}\text{C}$ em Campos Novos e $0,4^{\circ}\text{C}$ em Lages-SC no dia 11. Na região Sul houve, também, precipitação de neve em Bom Jesus-RS (dias 7 e 8), São José dos Ausentes-RS (dias 7 e 8), São Joaquim-SC (dias 6 e 8) ('Frio chega mais cedo e traz ameaça de geadas' 1985; 'Paisagens brancas, um fenômeno em SC e RS' 1985).

A grande amplificação do cavado associada ao avanço mais intenso da alta migratória sobre a Região Sudeste favoreceu a ocorrência de temperaturas mais baixas de forma consistente devido ao forte suporte de ar frio em todos os níveis da troposfera. As temperaturas mais baixas foram observadas na metade norte do estado, com maior destaque para Ribeirão Preto, com mínimas de $0,2^{\circ}\text{C}$, $0,3^{\circ}\text{C}$ e $0,8^{\circ}\text{C}$, e Franca com $1,8^{\circ}\text{C}$, $1,3^{\circ}\text{C}$ e $1,4^{\circ}\text{C}$ respectivamente nos dias 8, 9 e 10. Em Campinas a menor temperatura ocorreu no dia 8 com $1,4^{\circ}\text{C}$; também foi observada máxima de apenas $10,7^{\circ}\text{C}$ na cidade no dia 9. Em Minas Gerais as menores temperaturas ocorreram no dia 9 em Lambari e Machado, com $-2,2^{\circ}\text{C}$ e $-1,8^{\circ}\text{C}$ respectivamente. Em Belo Horizonte fez $5,3^{\circ}\text{C}$ no dia 9 e $4,7^{\circ}\text{C}$ nos dias 10 e 11. Mesmo no norte do estado de Minas Gerais a temperatura caiu muito, com mínimas de $4,7^{\circ}\text{C}$ em Itamarandiba e $6,2^{\circ}\text{C}$ em Pirapora no dia 11. Segundo informações do jornal O Estado de São Paulo ('Meteorologia prevê novas geadas' 1985; 'Frio diminui, ficam os prejuízos' 1985) ocorreram geadas em todo o estado paulista e no sul de Minas Gerais. Houve danos às pastagens, o que prejudicou a produção de leite nas regiões de Bragança Paulista e Sorocaba, além de danos à fruticultura, olivicultura e hortaliças nas regiões de Catanduva e São José do Rio Preto. Os danos aos cafezais foram mais relevantes na região de Franca, onde 30 a 40% das plantações foram afetadas, com danos irreversíveis.

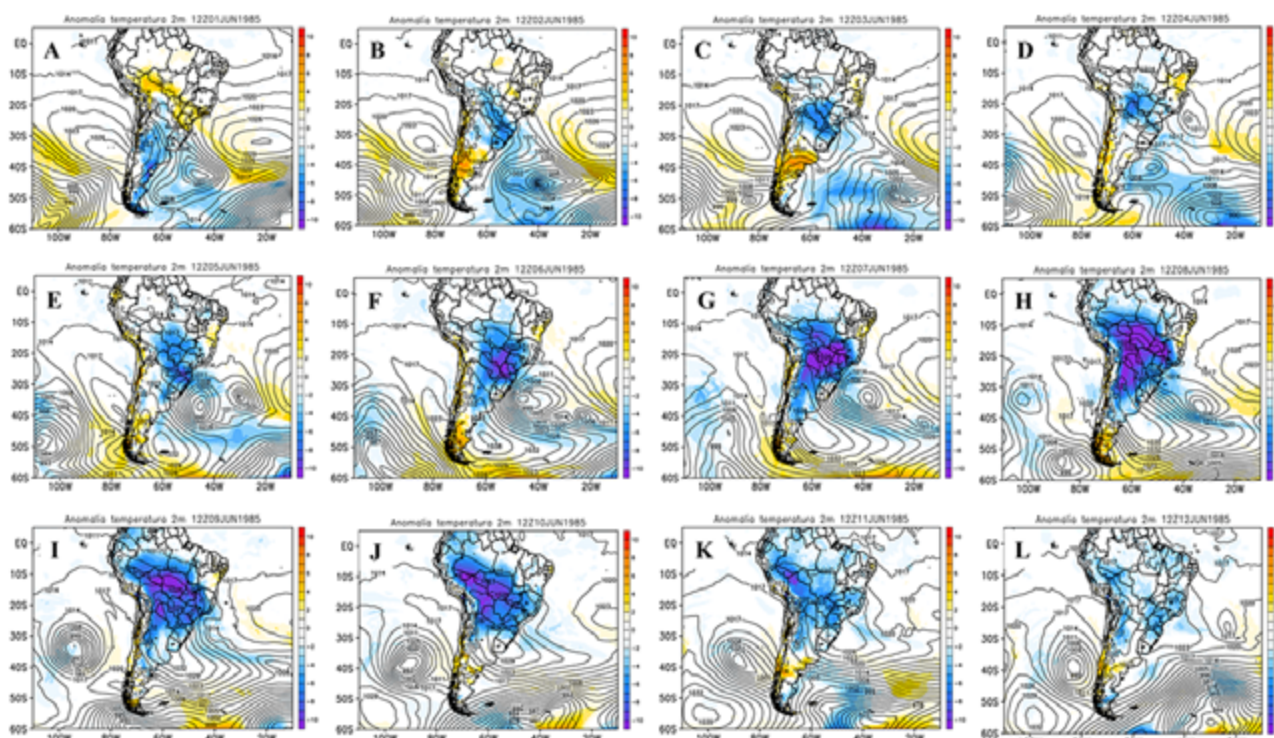


Figura 4 Anomalia da temperatura em 2 metros em cores ($^{\circ}\text{C}$) e pressão ao nível médio do mar em linhas contínuas em hPa para o mesmo horário sinótico e datas apresentadas na Figura 1.

O Centro-Oeste também foi muito afetado por esta onda de frio, devido à forte amplificação do cavado nos médios e altos níveis, o que favoreceu a entrada de ar frio para latitudes mais baixas do que ocorre normalmente. Na região o pico ocorreu no dia 10, com mínimas de $1,0^{\circ}\text{C}$ na Fazenda Sucupira (Brasília), $3,3^{\circ}\text{C}$ em Brasília e $3,5^{\circ}\text{C}$ em Goiânia, a menor temperatura mínima entre todos os meses nas Normais Climatológicas de 1961-1990 (Instituto Nacional de Meteorologia 2009). Entretanto, o sul de Goiás observou um pico no dia 11, quando fez $-0,4^{\circ}\text{C}$ em Jataí e $3,8^{\circ}\text{C}$ em Catalão. No Mato Grosso fez $7,4^{\circ}\text{C}$ em Cuiabá, $4,1^{\circ}\text{C}$ em Meruri e $2,0^{\circ}\text{C}$ em Poxoréu no dia 10, e $3,1^{\circ}\text{C}$ em Meruri e $1,8^{\circ}\text{C}$ em Poxoréu no dia 11.

3.2 Padrões de Grande Escala

A fim de identificar os padrões atmosféricos de grande escala responsáveis pela onda de frio de junho de 1985, são apresentados na Figura 5 os campos de altura geopotencial e magnitude do vento em 250 hPa superior a 30 m/s a fim de mostrar os máximos de velocidade do vento associados às correntes de jato. As datas utilizadas nesta etapa da análise no HS são do dia 3 a 8 de junho às

1200 Z, visto que nesse intervalo de dias houve processos importantes na circulação extratropical do HS.

Para o dia 3 (Figura 5A), verifica-se uma onda longa nas longitudes do Pacífico Leste e da AS. O eixo da crista dessa onda está identificado pela linha em forma de serra na cor verde ao longo da costa do Chile, enquanto o eixo do cavado está identificado pela linha tracejada amarela entre o Sudeste do Brasil e o oceano Atlântico Sudoeste. A proximidades das isoipsas de altura geopotencial em 250 hPa (10.200, 10.320, 10.440 mgp), especialmente na região da crista e do cavado mencionados, evidencia a baroclinia intensificada e o acoplamento entre o jato subtropical e polar.

Durante o dia 4 (Figura 5B), a onda permanece ancorada nas longitudes do continente sul-americano e sem grandes alterações em relação ao dia anterior (Figura 5A). Entretanto, observa-se que nessa data há uma forte amplificação da onda (cavado-crista) entre o oceano Índico e o sul da Austrália, área identificada por um círculo vermelho tracejado. Do dia 5 (Figura 5C) ao dia 6 (Figura 5D) esse pulso de energia gerado entre 90°E e 150°E de longitude se propaga pelo jato de altos níveis em direção à AS, ao mesmo tempo em que a onda longa ainda se mostra estacionária sobre o continente.

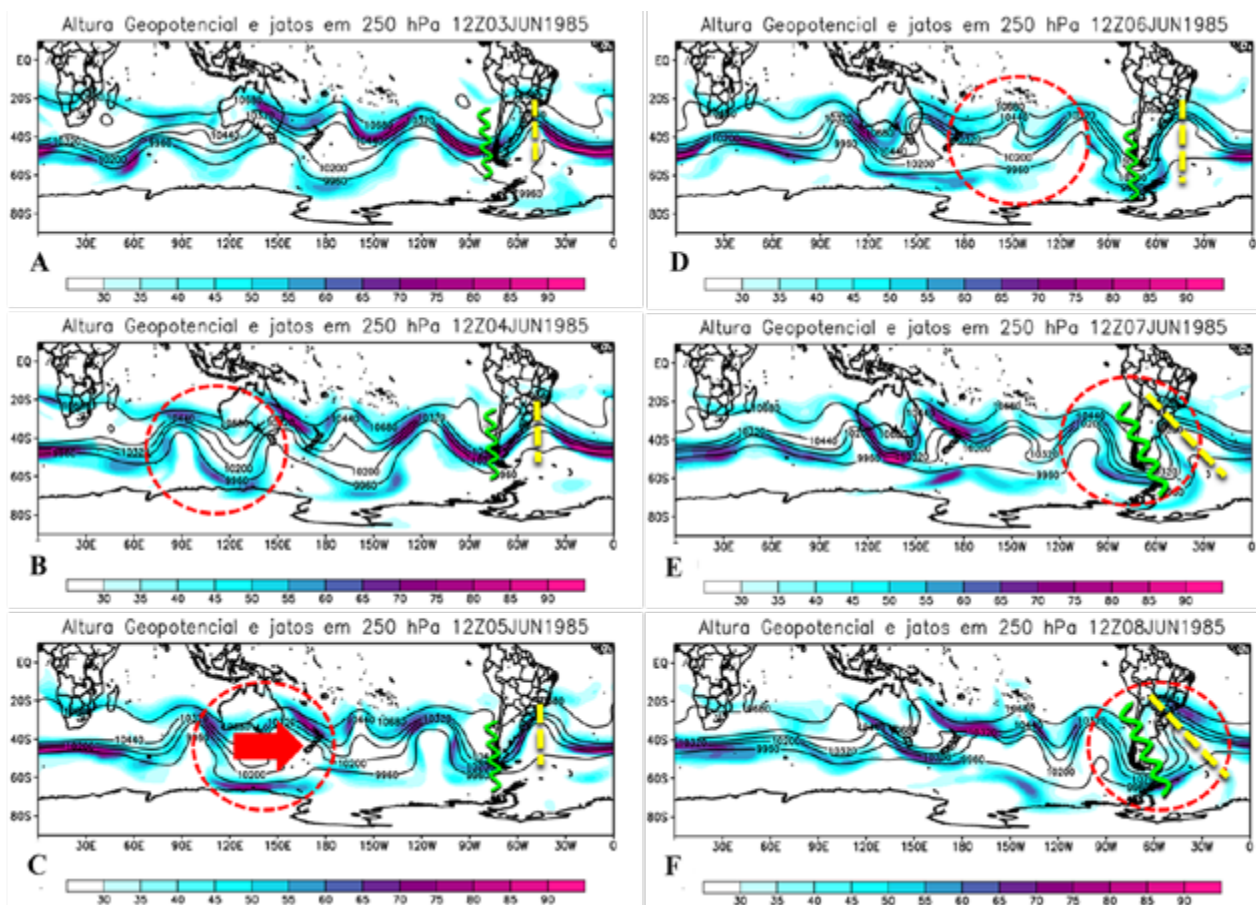


Figura 5 Corrente de jato em cores (m/s) e altura geopotencial em 250 hPa (mgp). As linhas tracejadas em amarelo se referem ao eixo dos cavados, enquanto as linhas serradas em verde ao eixo das cristas. O círculo tracejado em vermelho com a seta mostra o pulso de energia propagado para leste ao longo da corrente de jato. A. 03/06/1985; B. 04/06/1985; C. 05/06/1985; D. 06/06/1985; E. 07/06/1985; F. 08/06/1985 às 12Z.

A partir do dia 7 (Figura 5E) a energia gerada na região da Austrália alcança a AS, amplificando a onda estacionária já existente. Esse processo pode ser evidenciado pelo ganho de amplitude da crista e do cavado a jusante, além da inclinação do eixo de ambos os sistemas com orientação noroeste-sudeste. Essa inclinação de cristas e cavados altamente amplificados que afetam o continente sul-americano no contexto de ondas de frio é descrito na literatura em alguns estudos, como os de (Marengo et al. 2002; Müller & Berri 2012; Reboita, Escobar & Lopes 2015). O processo de amplificação e inclinação da onda foi importante para reforçar o ancoramento da mesma, visto que nesta condição, a crista penetrou o sul do cavado e configurou uma estrutura parcial de dipolo no campo de pressão. Com esse padrão de nível superior configurado, o campo bórico em superfície manteve ventos de sul por dias consecutivos no interior do Brasil, explicando a longevidade da onda de frio de junho de 1985.

4 Conclusão

Este artigo propôs estudar os padrões sinóticos e de grande escala que resultaram na forte e duradoura onda de frio de junho de 1985 que atingiu o Brasil, sendo uma das mais intensas do século XX. A análise sinótica mostra dois momentos da onda de frio.

O primeiro pulso sendo uma incursão de ar polar em parte do centro-sul brasileiro entre os dias 1 e 4 de junho. A entrada desse ar frio foi facilitada pelo padrão de uma onda longa e razoavelmente amplificada na atmosfera superior, que auxiliou o deslocamento de um sistema de alta pressão do Pacífico para o norte da Argentina ao mesmo tempo que um ciclone extratropical se desenvolvia no oceano Atlântico. As atuações de ambos os sistemas favoreceram a entrada de ventos de sul sobre o interior do país. Além disso, a rota desses sistemas exibiu similaridade com o modelo conceitual proposto por Pezza & Ambrizzi

(2005) para trajetões de ciclones e anticiclones em ondas de frio na AS, assim como outros estudos (Escobar 2007; Fortune & Kousky 1983; Garreaud 2000; Girardi 1983; Pezza 2003; Reboita, Escobar & Lopes 2015).

O segundo pulso de ar frio foi mais forte, amplo e persistente. Nos campos sinóticos ele é identificado a partir do dia 5 de junho através de uma amplificação do trem de ondas já amplificado sobre as longitudes do continente sul-americano. O ganho de amplitude da crista (cavado) sobre o Pacífico Leste (Atlântico Sudoeste) foi importante para formar um intenso anticiclone na região das Ilhas Malvinas e uma baixa pressão a leste da Região Sul do Brasil. No entanto, essa estrutura de circulação apresentou uma tendência de bloqueio dipolo no Atlântico na medida em que a crista penetrou o sul do cavado e favoreceu uma baixa desprendida, que também foi refletida em superfície na costa brasileira. A maioria dos estudos mostram essa relação das ondas de frio na AS com bloqueio atmosféricos, por exemplo, Sprenger, Wernli & Bourqui (2007).

Em decorrência da estrutura de bloqueio, um forte gradiente de pressão foi configurado e persistiu na costa leste da AS, de modo que houve intensos ventos de sul por dias consecutivos sobre o interior brasileiro. Neste evento, o sistema frontal associado conseguiu atingir as latitudes subtropicais e tropicais, com forte friagem no sul da Região Norte e queda acentuada da temperatura nos estados do centro-sul. Registros históricos de geadas mostram uma ampla área coberta pelo fenômeno nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Paraná, embora os dados sejam coerentes com a ocorrência de geadas de moderada a forte intensidade também no centro-sul de Goiás, Distrito Federal e sul do Mato Grosso, com prejuízos na agricultura e pecuária de leite em São Paulo e sul de Minas Gerais. Houve quebra de recordes mensais e absolutos de temperatura mínima em diversas estações meteorológicas nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Norte. Além da geada, foi observada precipitação de neve em alguns municípios da Serra Geral, como em São Joaquim-SC, Bom Jesus e São José dos Ausentes-RS, e no Pico das Agulhas Negras, no estado do Rio de Janeiro.

A análise de grande escala permitiu identificar que uma forte amplificação no trem de ondas do HS na região da Austrália no dia 4 de junho explica o processo de amplificação da onda longa que já se encontrava ancorada sobre a AS. O pulso de energia propagado através da corrente de jato chegou nas longitudes do continente sul-americano no dia 7 de junho, e é observado pelo ganho de amplitude da onda e pela inclinação noroeste-sudeste da mesma.

Estudos desse tipo possuem inúmeras utilidades como, por exemplo, revelam os padrões sinóticos de

períodos frios anômalos sendo de grande utilidade para os profissionais da área de previsão de tempo e chamam a atenção dos tomadores de decisão para a elaboração de políticas públicas que visem reduzir os problemas associados com doenças e perda de culturas agrícolas.

5 Agradecimentos

Agradecemos ao *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), *Climate Forecast System Reanalysis* pela disponibilização dos dados e ao auxílio financeiro do CNPq, FAPEMIG e CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil - Código de Financiamento 001). Agradecemos também ao INMET, IAC e EPAGRI pela disponibilização de dados meteorológicos.

6 Referências

- Capucin, B.C., Llopart, M., Reboita, M.S. & Iwabe, C.M.N. 2019, 'Análise sinótica de um período frio em Bauru-SP em julho de 2015', *Anuário do Instituto de Geociências*, vol. 42, no. 1, pp. 53-65. http://dx.doi.org/10.11137/2019_1_53_65
- 'Começa a ser avaliado o vulto dos danos no Norte do Paraná' 1955, *O Estado de São Paulo*, 3 de Agosto de 1955, p. 28.
- Copernicus Climate Change Service 2017, *ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate*, Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), acessado 10 Outubro 2020, <<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>>.
- Escobar, G.C.J. 2007, 'Padrões sinóticos associados a ondas de frio na cidade de São Paulo', *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol. 22, no. 2, pp. 241-54.
- Escobar, G.C.J., Mancini, V.J.C. & Reboita, M.S. 2019, 'Surface Atmospheric Circulation Associated With "Friagens" in Central-West Brazil', *Anuário do Instituto de Geociências*, vol. 42, no. 1, pp. 241-54. https://doi.org/10.11137/2019_1_241_254
- 'Especial - 35 anos da geada de 1975 - Entenda o que foi a Geada Negra que dizimou todas as plantações de café do Paraná' 2010, *Revista Cafeicultura*, acessado 24 Dezembro 2020 <<https://revistacafeicultura.com.br/?mat=34022>>.
- Fortune, M.A. & Kousky, V.E. 1983, 'Two severe freezes in Brazil: precursors and synoptic Evolution', *Monthly weather review*, vol. 111, no. 1, pp. 181-96. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1983\)111%3C0181:TSEFIBP%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1983)111%3C0181:TSEFIBP%3E2.0.CO;2)
- 'Frio chega mais cedo e traz ameaça de geadas' 1985, *O Estado de São Paulo*, 08 de Junho de 1985, p. 13.
- 'Frio diminui, ficam os prejuízos' 1985, *O Estado de São Paulo*, 13 de Junho de 1985, p. 13.
- 'Frio intenso causa a morte de cinco pessoas em situação de rua em SP nos últimos 2 dias' 2019, *Brasil de Fato*, acesso em 15 de dezembro de 2020, <<<https://www.brasildefato.com.br/2020/08/22/frio-intenso-causa-morte-de-cinco-moradores-de-rua-em-sp-nos-ultimos-2-dias>>>

- Garreaud, R. 2000, 'Cold air incursions over subtropical South America: Mean structure and dynamics', *Monthly Weather Review*, vol. 128, no. 7, pp. 2544-59. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/125987>
- Girardi, C. 1983, *O Poço dos Andes*, Relatório Técnico ECA 01/83, Centro Técnico Aeroespacial.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., De Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R.J., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S. & Thépaut, J.-N. 2020, 'The ERA5 global reanalysis', *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 146, no. 730, pp. 1999-2049.
- Instituto Nacional de Meteorologia 2009, *Normais Climatológicas do Brasil, 1961-1990*, Brasília, DF, acessado 25 Dezembro 2020 <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>.
- Iwabe, C.M.N. & Rocha, R.P. 2009. 'An event of stratospheric air intrusion and its associated secondary surface cyclogenesis over the South Atlantic Ocean', *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 114, pp. 1-15. <https://doi.org/10.1029/2008JD011119>
- Krishnamurti, T.N., Tewari, M., Chakraborty, D.R., Marengo, J.A. & Dias, P.L.S. & Satyamurty, P. 1999, 'Downstream amplification: a possible precursor to major freeze events over Southeastern Brazil', *Weather and Forecasting*, vol. 14, no. 2, pp. 242-70. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1999\)014%3C0242:DAAPPT%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1999)014%3C0242:DAAPPT%3E2.0.CO;2)
- Lanfredi, I.S. & Camargo, R. 2018, 'Classification of Extreme Cold Incursions over South America', *Weather and Forecasting*, vol. 33, no. 5, pp. 1183-203.
- Lucyrio, V., Reboita, M.S. & Albieri, M.D.C.G. 2019, 'Ondas de frio intensas sobre o centro-norte do estado de São Paulo de 1961 a 2017', *Revista Brasileira de Climatologia*, vol. 25, pp. 571-93. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v25i0.68125>
- Marengo, J.A., Cornejo, A., Satyamurty, P., Nobre, C.A. & Sea, W. 1997, 'The strong event in June 1994', *Monthly Weather Review*, vol. 125, no. 11, pp. 2759-86. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1997\)125%3C2759:CSITAE%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1997)125%3C2759:CSITAE%3E2.0.CO;2)
- Marengo, J.A., Nobre, C.A. & Culf, A.D. 1997, 'Climatic impacts of "friagens" in forested and deforested areas of the Amazon basin', *Journal of Applied Meteorology*, vol. 36, no. 11, pp. 1553-66. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1997\)036<1553:CIOFIF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1997)036<1553:CIOFIF>2.0.CO;2)
- Marengo, J.A., Ambrizzi, T., Kiladis, G. & Liebmann, B. 2002, 'Upper-air wave trains over the Pacific Ocean and wintertime cold surges in tropical-subtropical South America leading to Freezes in Southern and Southeastern Brazil', *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 73, no. 3-4, pp. 223-42. <https://doi.org/10.1007/s00704-001-0669-x>
- Marrafon, V.H.D.A. & Reboita, M.S. 2019, 'Revisitando a Equação do Desenvolvimento de Sutcliffe', *Anuário do Instituto de Geociências*, vol. 41, no. 3, pp. 614-29. http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_614_629
- 'Meteorologia prevê novas geadas' 1985, *O Estado de São Paulo*, 11 de Junho de 1985, p. 14.
- Müller, G.V. & Berri, G.J. 2007, 'Atmospheric circulation associated with persistent generalized frosts in central-southern South America', *Monthly Weather Review*, vol. 135, no. 4, pp. 1268-89. <https://doi.org/10.1175/MWR3344.1>
- Müller, G.V. & Berri, G.J. 2012, 'Atmospheric circulation associated with extreme generalized frosts persistence in central-southern South America', *Climate Dynamics*, vol. 38, no. 5-6, pp. 837-57. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1113-2>
- Nairn, J.R. & Fawcett, R.G. 2013, *Defining heatwaves: heatwaves defined as a heat-impact event servicing all community and business sectors in Australia*, CAWCR Technical Report No. 060, The Centre for Australian Weather and Climate Research - A partnership between the Bureau of Meteorology and CSIRO, South Australian Regional Office, South Australian, Australia.
- 'Nevou em vários municípios do R. Grande do Sul' 1955, *O Estado de São Paulo*, 30 de Julho de 1955, p. 22.
- 'Nova e mais intensa formação de geada no Est. de S. Paulo' 1955, *O Estado de São Paulo*, 3 de Agosto de 1955, p. 28.
- 'O efeito da onda de frio nos municípios do Interior' 1955, *O Estado de São Paulo*, 2 de Agosto de 1955, p. 40.
- Oliveira, P.J., Rocha, E.J.P.D., Fisch, G., Kruijt, B. & Ribeiro, J.B.M. 2004, 'Efeitos de um evento de friagem nas condições meteorológicas na Amazônia: um estudo de caso', *Acta amazônica*, vol. 34, no. 4, pp. 613-619.
- 'Paisagens brancas, um fenômeno em SC e RS' 1985, *O Estado de São Paulo*, 9 de Junho de 1985, p. 18.
- Parmenter, F.C.A. 1976, 'A Southern Hemisphere cold front passage at the equator', *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 57, no. 12, pp. 1435-40. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1976\)057<1435:ASHCFP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1976)057<1435:ASHCFP>2.0.CO;2)
- Pezza, A.B. 2003, 'Ondas de frio na América do Sul e as trajetórias dos ciclones e anticiclones extratropicais: climatologia sinótica', Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Pezza, A.B. & Ambrizzi, T. 2005, 'Dynamical conditions and synoptic tracks associated with different types of cold surge over tropical South America', *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 25, no. 2, pp. 215-41. <https://doi.org/10.1002/joc.1080>
- Postel, G.A. & Hitchman, M.H. 1999, 'A climatology of Rossby wave breaking along the subtropical tropopause', *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 56, no. 3, pp. 359-73. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1999\)056<0359:ACORWB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1999)056<0359:ACORWB>2.0.CO;2)
- Radović V. & Iglesias I. 2019, 'Extreme Weather Events: Definition, Classification and Guidelines towards Vulnerability Reduction and Adaptation Management', *Climate Action*, vol. 46, no. 2.
- Reboita, M.S., Escobar, G.C.J. & Lopes, V.S. 2015, 'Climatologia sinótica de eventos de ondas de frio sobre a região sul de Minas Gerais', *Revista Brasileira de Climatologia*, vol. 16, pp. 249-66. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.57776>

- Reboita, M.S., Ambrizzi, T., Crespo, N.M., Dutra, L.M.M., Ferreira, G.W.S., Rehbein, A., Drumond, A., Rocha, R.P. & Souza, C.A. 2021, 'Impacts of Teleconnection Patterns on South America Climate: a Review', *Annals of the New York Academy of Sciences*, pp. 1-38. <https://doi.org/10.1111/nyas.14592>
- Seluchi, M.E. & Nery, J.T. 1992, 'Condições meteorológicas associadas a la ocorrência de heladas en la region de Maringa', *Revista Brasileira Meteorológica*, vol. 7, pp. 523-34. 'Sensível queda de temperatura em S. Paulo e nos estados sulinos' 1955, *O Estado de São Paulo*, 31 de Julho de 1955, p. 44.
- Serra, A.B. & Rastibona, L. 1942, *As massas de ar da América do Sul*, Ministério da Agricultura, Serviço de Meteorologia do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Shimizu, M.H. & Cavalcanti, I.F.A. 2011, 'Variability patterns of Rossby wave source'. *Climate Dynamics*, vol. 37, pp. 441-54. <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0841-z>
- Silveira, R.B., Mendonça, M., Franke, A.E. & Bitencourt, D.P. 2018, 'Impactos das ondas de frio sobre a saúde pública no município de São Joaquim-Santa Catarina-Brasil', *Revista Brasileira de Climatologia*, vol. 22, pp. 249-66. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.57776>
- Sprenger, M., Wernli, H. & Bourqui, M. 2007, 'Stratosphere-troposphere exchange and its relation to potential vorticity streamers and cutoffs near the extratropical tropopause', *Journal of the atmospheric sciences*, vol. 64, no. 5, pp. 1587-602. <https://doi.org/10.1175/JAS3911.1>
- Trenberth, K.F. & Mo, K.C. 1985, 'Blocking in the southern hemisphere', *Monthly Weather Review*, vol. 113, no. 01, pp. 3-21. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1985\)113%3C0003:BITSH%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1985)113%3C0003:BITSH%3E2.0.CO;2)
- Vera, C.S. & Vigliarolo, P.K. 2000, 'A Diagnostic Study of Cold-Air Outbreaks over South America', *Monthly Weather Review*, vol. 128, no. 1, pp. 3-24. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2000\)128<0003:ADSOCA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2000)128<0003:ADSOCA>2.0.CO;2)
- Wallace, J.M. & Hobbs, P.V. 2006, *Atmospheric science: an introductory survey*, Elsevier Academic Press, Amsterdam.
- Weather Prediction Center International Desks 2020, *Weather Prediction Center*, acessado 6 Janeiro 2021 <https://www.wpc.ncep.noaa.gov/international/wng/09_CSA/index.shtml>.

Contribuições dos Autores

Bruno César Capucin: conceituação; análise formal; metodologia; validação; redação - rascunho original; redação – revisão e edição; aquisição de financiamento; visualização. **Michelle Simões Reboita:** conceituação; análise formal; metodologia; validação; redação - rascunho original; redação – revisão e edição; supervisão de visualização. **Vinicius Lucyrio:** conceituação; análise formal; metodologia; validação; redação – revisão e edição; supervisão de visualização. **Gustavo Carlos Juan Escobar:** conceituação; análise formal; metodologia; validação; redação – revisão e edição; supervisão de visualização.

Conflito de interesse

Os autores não possuem potenciais conflitos de interesse.

Como citar:

Capucin, B.C., Reboita, M.S., Lucyrio, V. & Escobar, G.C.J. 2022, 'Onda de Frio Histórica no Brasil: um Estudo de Caso de Junho de 1985' *Anuário do Instituto de Geociências*, 45:40761. https://doi.org/10.11137/1982-3908_45_40761

Declaração de disponibilidade de dados

O conjunto de dados de reanálise utilizado na metodologia desta pesquisa está disponível no link: <<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/search?type=dataset>>.

Financiamento

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

Editora chefe

Dra. Claudine Dereczynski

Editora Associada

Dra. Fernanda Cerqueira Vasconcellos.