ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS ASSOCIADAS COM A OCORRÊNCIA DE GEADAS NA SERRA DA MANTIQUEIRA, REGIÃO SUDESTE DO BRASIL

SAPUCCI, Camila Ribeiro – camila.sapucci@hotmail.com
Universidade Federal de Itajubá / UNIFEI

REBOITA, Michelle Simões – mireboita@gmail.com
Universidade Federal de Itajubá / UNIFEI

CARVALHO, Vanessa Silveira Barreto - vanessa.silveira@gmail.com
Universidade Federal de Itajubá / UNIFEI

MARTINS, Fabrina Bolzan – fabrinabm@gmail.com
Universidade Federal de Itajubá / UNIFEI

RESUMO: A Serra da Mantiqueira localiza-se na região Sudeste do Brasil e, devido a sua altitude, possui aptidão ao cultivo de determinadas culturas agrícolas. No entanto, a ocorrência de geadas, nessa região, pode causar perdas nas plantações o que implica em grandes prejuízos econômicos. Diante do exposto, o objetivo deste estudo é apresentar a frequência dos episódios de geadas em quatro localidades da Serra da Mantiqueira e uma análise das condições atmosféricas propícias a esse fenômeno meteorológico. Dentre os quatro locais estudados, a maior frequência média anual de geadas ocorre em Campos do Jordão (SP), com registro de 22 casos, sendo seguido de Maria da Fé (MG) com 12 casos por ano. A condição mais propícia aos eventos de geada está associada com a atuação do setor oeste do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul sobre o Sudeste do Brasil. Esse sistema causa condições de céu claro, o que facilita o resfriamento da superfície por perda radiativa noturna.

PALAVRAS-CHAVE: Geadas, Serra da Mantiqueira, Sistemas Atmosféricos

METEOROLOGICAL CONDITIONS ASSOCIATED WITH FROST EVENTS IN THE SERRA DA MANTIQUEIRA, SOUTHEAST REGION OF BRAZIL

ABSTRACT: The Serra da Mantiqueira is located in the Southeastern region of Brazil and, due to its altitude, is suitable for different agricultural crops. However, the occurrence of frosts in this region causes damages to the crops and, consequently, economic problems. In this context, the purpose of this study is to present the frequency of frost episodes in four locations in the Serra da Mantiqueira and an analysis of atmospheric conditions favorable to this meteorological phenomenon. Among the four sites studied, the highest mean annual frequency of frosts occurs in Campos do Jordão (SP), with 22 cases of frost, followed by Maria da Fé (MG) with 12 cases per year. The most favorable condition for frost events is associated with the position of the western sector of the South Atlantic Subtropical Anticyclone over Southeastern Brazil. This system causes clear sky conditions which facilitates the cooling of the surface by night radiative loss.

KEYWORDS: Frosts, Serra da Mantiqueira, Atmospheric Systems

CONDICIONES METEOROLÓGICAS ASOCIADAS CON LA OCURRENCIA DE HELADAS EN LA SIERRA DE LA MANTIQUEIRA, SUDESTE DEL BRASIL

RESUMEN: La Sierra de la Mantiqueira se ubica en la región Sudeste de Brasil y, debido a su altitud, posee clima apto para cultivos agrícolas distintos. Por lo tanto, la ocurrencia de heladas en esa región causa grandes daños económicos. Ante el expuesto, el objetivo de este estudio es presentar la frecuencia de los episodios de heladas en cuatro localidades de la Sierra de la Mantiqueira y un análisis de las condiciones atmosféricas propicias a ese fenómeno meteorológico. En los cuatro lugares estudiados, la mayor frecuencia anual de heladas ocurre en Campos do Jordão (SP), con registro de 22 casos, seguido de Maria da Fe (MG) con 12 casos por año. La condición más propicia a los

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

eventos de helada está asociada con la actuación del sector oeste del Anticiclón Subtropical del Atlántico Sur sobre el Sudeste de Brasil. Este sistema causa condiciones de cielo claro, lo que facilita el enfriamiento de la superficie por pérdida radiactiva nocturna.

PALABRAS CLAVE: Heladas, Sierra de la Mantiqueira, Sistemas Atmosféricos

1.INTRODUÇÃO

A geada é um fenômeno meteorológico que se forma quando a temperatura do ar é menor ou igual a 0 °C, permitindo que o vapor d'água sublime formando cristais de gelo sobre as superfícies de contato com o ar (BISCARO, 2007). Adicionalmente, é comum recorrer ao conceito agrometeorológico da geada, que relaciona a temperatura do ar com a temperatura letal da planta, a qual varia entre genótipos (CARAMORI et al., 2000), quando a cultura experimenta lesões por congelamento. Tais lesões podem conduzir a danos nos tecidos celulares ocasionando a morte das plantas ou parte delas (SNYDER e MELO-ABREU, 2005). Em relação ao aspecto visual, existem dois tipos de geadas: as geadas brancas, que se caracterizam pela formação de gelo sobre as superfícies, e as geadas negras, que se caracterizam pelo congelamento da água no interior das células das plantas, ocasionando a necrose dos tecidos vegetais (MELO-ABREU, 1985; SNYDER e MELO-ABREU, 2005). Snyder e Melo-Abreu (2005) destacam que as geadas também podem ser classificadas, de acordo com o processo de formação, em geadas de radiação, advecção e mistas; nesse último, os dois processos ocorrem simultaneamente. As geadas de radiação se formam devido à intensa perda noturna de energia (no comprimento de onda do infravermelho) da superfície terrestre, o que resfria o ar adjacente; já as geadas de advecção estão associadas com o resfriamento de uma determinada área pela chegada (advecção) de ar polar que acompanha as frentes frias (CAVALCANTI et al., 2009).

Tubelis e Nascimento (1988) elaboraram um mapa da frequência de geadas no Brasil. Nesse, as áreas da região Sudeste do Brasil apresentam frequência média de a 1,5 a 5 casos de geadas por ano. No Sudeste, uma das áreas que apresenta o maior registro de geadas é a Serra da Mantiqueira. Num estudo mais recente, Silva et al. (2014) computaram a média anual de geadas em Maria da Fé (MG), que é uma cidade localizada a cerca de 1276 metros de altura nessa serra, e obtiveram 18 casos por ano no período de 2004 a 2010. Esses autores também mencionaram que no sul de Minas Gerais, as geadas são mais favorecidas pela perda radiativa noturna, em virtude das condições de céu claro propiciadas pela atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), do que pela passagem de anticiclones pós-frontais (invasão de ar polar). Outro fator que favorece a ocorrência de geadas na Serra da Mantiqueira é a sua topografia elevada (Figura 1), já que o decréscimo de temperatura está relacionado com o aumento da altitude (REBOITA et al., 2012; YNOUE et al., 2017).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

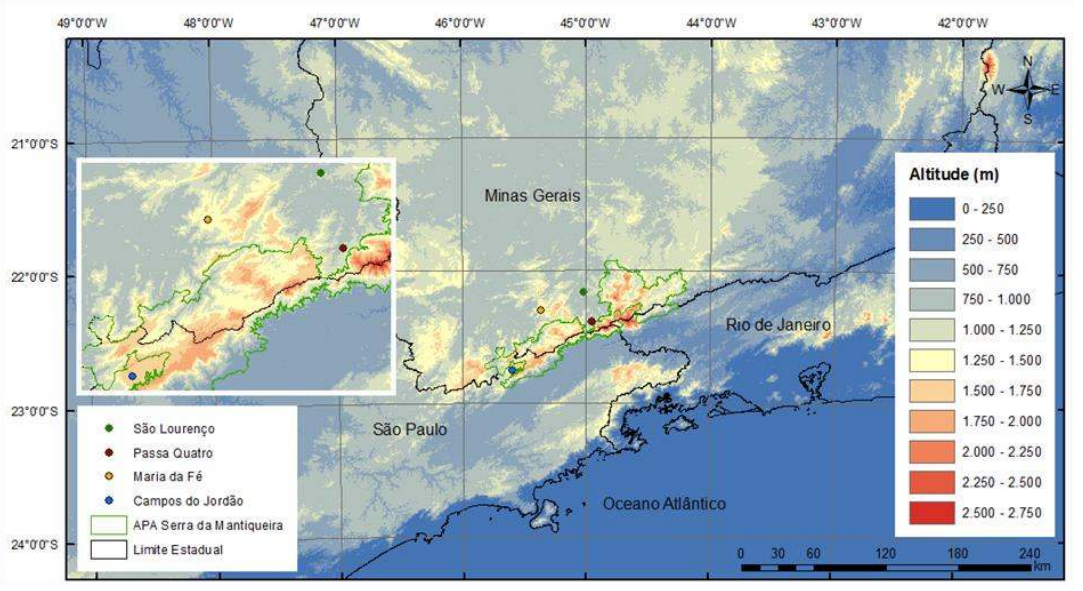


Figura 1 - Topografia (metros) da Serra da Mantiqueira, com destaque para a localização das cidades usadas no estudo.

A literatura que descreve as condições sinóticas propícias à ocorrência de geadas no Brasil é um tanto escassa e antiga. A maioria dos estudos que têm como objetivo a análise de ondas de frio é que descrevem alguns episódios de geada. Por exemplo, Girardi (1983), através da análise de cartas sinóticas e imagens de satélite, propôs a configuração sinótica denominada de Poço dos Andes. Nessa, um anticiclone formado próximo à costa do Chile e um ciclone sobre o Atlântico Sul, nas latitudes da Argentina, promovem uma forte advecção de ar frio sobre o continente sul americano, ocasionando queda da temperatura do ar, o que leva à formação de geadas no Sul e Sudeste do Brasil. Já Fortune e Kousky (1983) analisaram dois eventos severos de geada que devastaram as plantações de café no estado do Paraná, um ocorrido em maio de 1979 e outro em julho de 1981. No caso de 1979, havia uma crista em 500 hPa próxima à costa do Chile, associada a um anticiclone em superfície sobre os Andes, e um cavado sobre o Brasil em 500 hPa, associado a um ciclone em superfície no sul do continente. Esses sistemas promoveram uma intensa incursão de ar frio sobre o Brasil e, à medida que a frente fria avançava sobre o país, as temperaturas diminuíam consideravelmente, ocasionando geadas de advecção na região Sul do Brasil. No caso de 1981, a amplificação das cristas e cavados ocorreu mais a oeste da costa do Chile quando comparada ao caso de 1979. Dessa forma, a incursão de ar frio também ocorreu mais para oeste e de maneira mais lenta, de modo que o maior resfriamento da superfície foi devido à perda radiativa, o que ocasionou geadas de radiação. As condições sinóticas que levaram à formação dos eventos de geada estudados por Fortune e Kousky (1983) foram semelhantes ao padrão atmosférico descrito em estudos sobre incursão de ar frio no Brasil (GIRARDI, 1983; GARREAUD, 2000; ESCOBAR, 2007; REBOITA et al., 2015). Escobar (2007) e Reboita et al. (2015) ressaltam que os anticiclones acompanham as frentes frias promovendo uma forte perda radiativa durante à noite e, consequentemente, favorecendo a ocorrência de baixas temperaturas durante vários dias, como foi observado no caso de geada de julho 1981 por Fortune e Kousky (1983).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Quando a incursão de ar frio atinge latitudes baixas, como a bacia amazônica, a queda acentuada da temperatura do ar caracteriza o evento denominado de friagem. Viana e Herdies (2018) avaliaram as condições sinóticas e locais associadas a uma intensa incursão de ar frio ocorrida em julho de 2013, que ocasionou geadas e neve na região Sul do Brasil. O ar frio atingiu a região amazônica provocando queda significativa nas temperaturas máxima e mínima, além de ter favorecido a instabilidade atmosférica local, ocasionando precipitação.

Como a Serra da Mantiqueira tem sua economia voltada principalmente para a agricultura, com destaque para os cultivos do café, batata, milho, hortaliças e frutíferas de clima temperado (ISMAEL e PINTO, 2015), episódios de geada podem causar grandes perdas econômicas. Portanto, conhecer o padrão sinótico da atmosfera associado a esses eventos pode ajudar a produzir informações úteis, como modelos conceituais, para auxiliar os previsores de tempo. Diante desse contexto, o estudo tem por objetivo mostrar a frequência e as condições sinóticas associadas à ocorrência de geadas na região da Serra da Mantiqueira no período de 2009 a 2014.

2. METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo consistiu no levantamento dos casos de geada ocorridos em quatro localidades na Serra da Mantiqueira (Figura 1), entre 2009 e 2014, através do Mapa de Geadas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/geada). Campos do Jordão/SP (22º45’ S, 45º36’ W, altitude de 1642 m), Maria da Fé/MG (22º18’ S, 45º22’ W, altitude de 1276 m), Passa Quatro/MG (22º23’ S, 44º57’ W, altitude de 1040 m) e São Lourenço/MG (22º10’ S, 45º01’ W, altitude de 953,2 m) são as únicas localidades que apresentam registro de geadas na região em estudo de acordo com o mapa. O Mapa de Geadas é construído com dados de estações meteorológicas convencionais, que operam com o auxílio de um observador. Esse faz o registro manual tanto das variáveis atmosféricas quanto dos eventos meteorológicos ocorridos, através da detecção visual. O Mapa de Geadas, além de informar a data de ocorrência, indica a intensidade da geada (fraca, moderada ou forte) e a temperatura mínima registrada no termômetro de mínima instalado no interior do abrigo meteorológico. O período de estudo foi limitado aos anos de 2009 a 2014, pois 2009 é o primeiro ano seguinte ao início da disponibilização do Mapa de Geadas pelo INMET e 2014 é quando a estação meteorológica convencional de Maria da Fé foi substituída por uma automática, não possuindo mais registros de geada.

É importante destacar que o Mapa de Geadas informa apenas a temperatura medida no abrigo meteorológico instalado a 1,5 m acima da superfície. A temperatura nessa altura pode diferir em mais de +3 oC em relação à da superfície (SILVA e SENTELHAS, 2001; WREGE et al., 2018), que é denominada temperatura de relva (medição feita por um termômetro depositado no gramado). Por brevidade, convenciona-se utilizar o limiar de 4 ºC como o gradiente entre a temperatura mínima do abrigo e a de relva (SENTELHAS et al., 1995). Por esse motivo, é comum que haja relato de geadas, mesmo com a temperatura no abrigo meteorológico sendo superior a 0 oC. Outro fato a ser destacado é que o gelo sobre as superfícies pode ser

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

decorrente da geada (mudança de fase do estado de vapor diretamente para o estado sólido) ou de orvalho congelado (quando a água líquida se torna gelo). O aspecto visual de ambos é diferente, mas imperceptível aos olhos. Portanto, os observadores, nas estações meteorológicas, classificam ambos os fenômenos como geadas.

2.2 FREQUÊNCIA DE GEADAS E COMPOSIÇÕES

Com base no levantamento dos casos de geada ocorridos na Serra da Mantiqueira, foram determinadas as frequências mensais e anual desse fenômeno em cada cidade de estudo. As cartas sinóticas de superfície e os boletins técnicos do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE - http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt) foram utilizados para uma avaliação prévia das condições atmosféricas nos dias com ocorrência de geada na Serra da Mantiqueira. Na sequência, para uma avaliação dos campos meteorológicos médios, durante a ocorrência das geadas, utilizou-se a técnica de composições, que é a média das variáveis atmosféricas nas datas dos eventos estudados. Como na análise da frequência de geadas (Tabela 2) só foram registrados casos de maio a setembro, as composições restringiram-se a esse período. Para tanto, foram utilizados dados diários das 12:00 Z da reanálise ERA-Interim do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), com resolução de 0,75º x 0,75º (DEE et al., 2011). Os dados utilizados foram de pressão ao nível médio do mar; temperatura do ar, componentes zonal e meridional do vento em 925 hPa e altura geopotencial em 500 hPa. O nível de 925 hPa foi utilizado para representar a baixa atmosfera de forma que já tivesse menos impacto da topografia. Calculou-se a média das variáveis atmosféricas para os dias de ocorrência de geadas e, a fim de comparar essa média com a do padrão climatológico, foi computada a climatologia das variáveis atmosféricas previamente citadas considerando todos os dias entre os meses de maio a setembro do período de 1980 a 2016. Como as composições mostraram o mesmo padrão espacial das variáveis atmosféricas para a ocorrência de geadas independente da estação meteorológica analisada, por brevidade, só serão apresentados os mapas de Campos do Jordão e Maria da Fé.

2.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Como as composições indicam o campo atmosférico médio quando da ocorrência de geadas, elas podem mascarar algumas configurações da atmosfera. Para conhecer esses possíveis padrões que podem causar geadas na Serra da Mantiqueira, também foi empregada a análise de componentes principais (ACP). O objetivo aqui é classificar (separar) os padrões sinóticos da atmosfera (caso ocorram).

A ideia básica da ACP é reduzir as informações de forma a facilitar a interpretação dos dados. Essa técnica é baseada no cálculo de autovalores e autovetores. A descrição detalhada da ACP pode ser encontrada em Green (1978) e Compagnucci e Richman (2008). De acordo com Yarnal (1993; COMPAGNUCCI e RICHMAN, 2008), há diferentes tipos de organização dos dados para realizar a ACP, dois deles são o Modo-S e o Modo-T. O Modo-S está associado à correlação entre as séries temporais distribuídas no espaço (dispostas em pontos de grade). Já no Modo-T, a correlação é computada entre

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

os campos atmosféricos (os dados de um determinado tempo dispostos no espaço produzem um determinado campo atmosférico). O Modo-S é útil para estudar a variabilidade temporal de uma variável, sendo bastante empregado em estudos de teleconexões (COMPAGNUCCI e RICHMAN, 2008; BARREIRA, 2010). Por outro lado, o Modo-T é empregado para o estudo da variabilidade espacial de uma variável atmosférica, sendo apropriado para a análise de padrões sinóticos e quando eles ocorrem no tempo (COMPAGNUCCI e RICHMAN, 2008). Diante do exposto, no presente estudo é utilizado o Modo-T.

Com base nas datas de geadas da cidade Campos do Jordão foi realizada a classificação sinótica dos padrões atmosféricos nos campos de pressão atmosférica ao nível médio do mar (PNMM) obtidos da reanálise ERA-Interim (DEE et al., 2011), no período de 2009 a 2014. A metodologia da aplicação da ACP segue a descrita em Escobar (2014) e Reboita et al. (2015). Inicialmente foi computada a matriz de correlação, os autovalores e autovetores. Na sequência, foi computada a rotação Varimax, que tem por objetivo redistribuir a variância total dos dados utilizados com o intuito de facilitar o significado físico das componentes obtidas (RICHMAN, 1986).

3. RESULTADOS

3.1 OCORRÊNCIA DAS GEADAS

Durante o período de 2009 a 2014, considerando-se todas as cidades analisadas, obteve-se um total de 234 casos de geada (Tabela 1), sendo a maioria referente aos anos de 2010 e 2011, com 54 casos registrados em cada ano. Ao se comparar o total anual de geadas em 2009 e 2010 (Tabela 1), obtido com o Mapa das Geadas do INMET, com o de Silva et al. (2014), obtido pela documentação da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), ambos para Maria da Fé, nota-se que esse autor apresenta maior número de eventos em 2010 (30 casos). Esse fato pode estar relacionado aos critérios utilizados pelos observadores para detectar a ocorrência da geada. Lembra-se aqui que a geada é uma informação obtida exclusivamente por observação visual, portanto, pode estar sujeita a variações subjetivas, além de ser passível de erros por parte do observador.

Os eventos de geada ocorrem com maior frequência nos meses de junho (média de 10 casos) e julho (média de 14 casos) de acordo com a Tabela 2. Ressalta-se que essa tabela não inclui os meses de outubro a abril, uma vez que não há registro de episódios de geada conforme o Mapa de Geadas. A cidade de Campos do Jordão foi a que apresentou maior número de casos de geada no período em estudo (131 casos). Isso pode estar associado com a influência da altitude, 1642 m, que é maior do que a das demais cidades e cerca de 400 m mais elevada do que a cidade de Maria da Fé. Portanto, em Campos do Jordão a topografia pode contribuir para a ocorrência de menores temperaturas e essas podem ser ainda mais baixas quando há ocorrência de determinados sistemas atmosféricos como será mostrado na próxima seção.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 1 – Ocorrência de geadas, entre 2009 a 2014, nas quatro cidades em estudo na Serra da Mantiqueira.

Ano	Campos do Jordão	Maria da Fé	Passa Quatro	São Lourenço	TOTAL
2009	23	10	9	3	45
2010	28	13	2	11	54
2011	33	12	5	4	54
2012	12	15	1	5	33
2013	20	8	1	3	32
2014	15	–	0	1	16
TOTAL	**131**	**58**	**18**	**27**	**234**
MÉDIA	**22**	**12**	**3**	**5**	**-**

Tabela 2 – Total mensal da ocorrência de geada considerando as quatro cidades em estudo da Serra da Mantiqueira no período de 2009 a 2014.

Ano	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	TOTAL
2009	2	23	10	10	0	45
2010	2	21	12	19	0	54
2011	5	23	15	5	6	54
2012	2	0	20	9	2	33
2013	2	2	17	10	1	32
2014	0	2	9	5	0	16
TOTAL	**13**	**71**	**83**	**58**	**9**	**234**
MÉDIA	**2**	**12**	**14**	**10**	**2**	**-**

3.2 ANÁLISE SINÓTICA

Segundo Reboita et al. (2010), o ASAS se expande para oeste durante o inverno adentrando a região Sudeste do Brasil. Como o ASAS é um sistema de alta pressão em superfície, esse promove tempo estável sobre a região de atuação contribuindo para condições de céu claro. Assim, no período noturno, há um rápido resfriamento da superfície, pela perda de radiação de onda longa, o que favorece a ocorrência de temperaturas baixas e leva à formação de geadas ou nevoeiros. Além do ASAS, os anticiclones pós-frontais, isto é, aqueles que ocorrem na retaguarda das frentes frias também contribuem para a queda da temperatura do ar e condições de céu limpo, favorecendo a ocorrência de geadas (AHRENS, 2013; GALVANI e AZEVEDO, 2012; SILVA et al., 2014; REBOITA et al., 2015; YNOUE et al., 2017).

A análise dos boletins técnicos e das cartas de superfície do CPTEC mostrou que há mais casos de geada na Serra da Mantiqueira (entre 2009-2014) durante a atuação do ASAS do que pela influência de altas pós-frontais. A Figura 2 exemplifica a atuação de um centro de alta pressão sobre a região de estudo em 09/07/2011.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

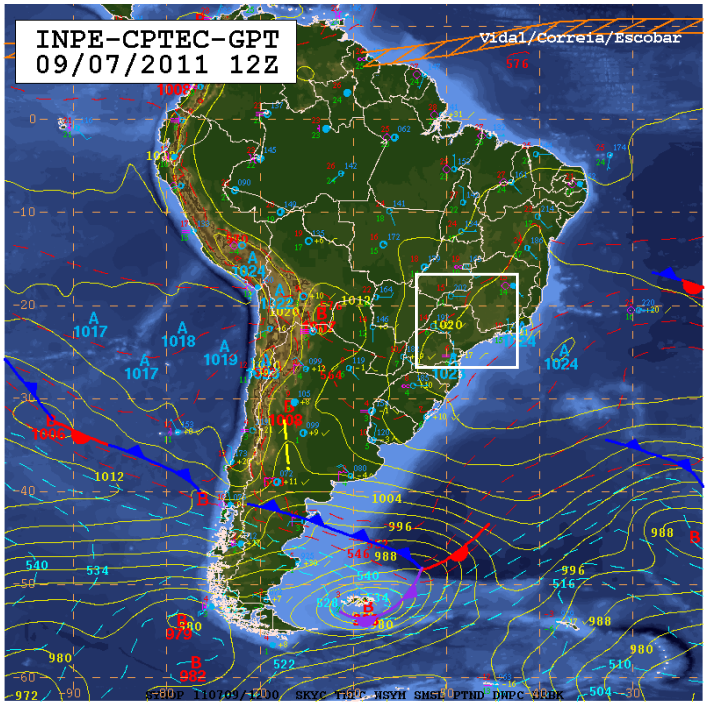


Figura 2 – Carta sinótica de superfície com centro de alta pressão atuando sobre a Serra da

Mantiqueira em 09/07/2011. A caixa branca destaca a posição do ASAS sobre o continente. Na figura, as linhas amarelas correspondem à pressão ao nível médio do mar, as linhas pontilhadas à espessura da camada entre 500 e 1000 hPa, as linhas azuis com triângulos às frentes frias e as linhas vermelhas com semicírculos às frentes quentes. Fonte: INPE-CPTEC-GPT (2018).

Embora as composições tenham sido computadas para as quatro cidades, como essas mostraram padrão sinótico similar, e por brevidade, aqui só serão apresentadas as de Campos do Jordão e Maria da Fé. Em ambas as composições, para 925 hPa, há predominância do setor oeste do ASAS sobre a Serra da Mantiqueira em dias com ocorrência de geada (Figura 3a, 3b). Outro fator que indica a influência do ASAS é a direção dos ventos que é de quadrante norte sobre o Sudeste do Brasil (Figura 3a, 3b). No caso de atuação de anticiclones pós-frontais o vento teria direção de quadrante sul. Essa característica é mostrada na figura 7 de Silva et al. (2014).

A composição sinótica de Campos do Jordão mostra a pressão atmosférica mais elevada do que a climatologia (Figura 3c) em cerca de 2 hPa (Figura 3d) sobre a região Sudeste do Brasil, enquanto a composição de Maria da Fé mostra um aumento de 1,5 hPa (Figura 3e). Essa diferença deve-se ao fato de que foram considerados dias diferentes para a construção das composições das duas cidades, sendo que para Campos do Jordão foram considerados 131 casos de geada e para Maria da Fé apenas 58. A velocidade do vento também é menor em dias com registro de geada na região Serra da Mantiqueira, o que favorece ainda mais a ocorrência do fenômeno. Em termos de temperatura do ar, essa é cerca de 2,0 °C mais baixa (Figura 3d, 3e) do que a média climatológica (Figura 3c) em episódios de geada.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

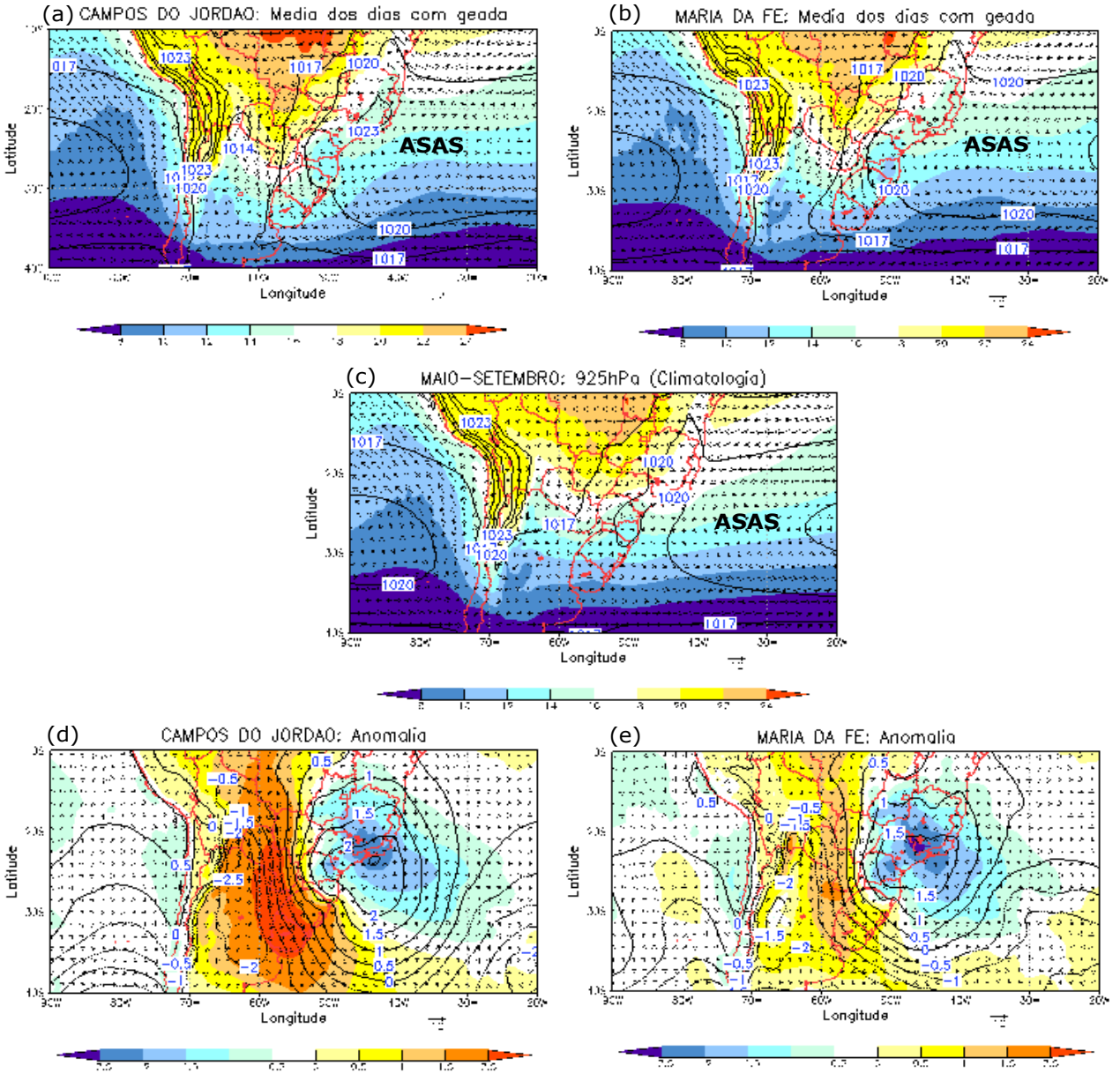


Figura 3 – Composições calculadas para os casos de geada ocorridos na Serra da Mantiqueira entre maio e setembro de 2009 a 2014: (a) Campos do Jordão, (b) Maria da Fé, (c) climatologia de maio a setembro considerando o período de 1980 a 2016 e (d) e (e) anomalias em relação à climatologia. A temperatura do ar (ºC) em 925 hPa é representada em colorido, a direção do vento (m/s) em 925 hPa por vetores e a pressão ao nível médio do mar (em hPa) por linhas pretas contínuas.

A Figura 4 é similar a Figura 3, porém para o nível de 500 hPa. Enquanto a média climatológica (Figura 4c) mostra linhas de altura geopotencial mais retilíneas, há predomínio de uma crista sobre o continente nos dias de geada (Figura 4a, 4b). Isso está associado com a atuação do ASAS em superfície sobre o continente, uma vez que sua circulação anticiclônica ajuda a canalizar ar quente de baixas para mais altas latitudes no seu lado oeste (Figura 3) de forma que a termodinâmica da atmosfera atua contribuindo para a formação de uma

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

crista em níveis médios (500 hPa). Em outras palavras, em uma atmosfera mais quente as superfícies de pressão constante estão mais afastadas da superfície (solo), implicando em maior pressão com a altitude (WALLACE e HOBBS, 2006), o que gera uma crista. A posição da crista também corrobora para a afirmação de que é o predomínio do ASAS que exerce a principal influência nos eventos de geada na Serra da Mantiqueira, pois se os declínios de temperatura mostrados na Figura 3 estivessem associados com a incursão de ar polar (frentes frias), seria observado um cavado sobre o continente (Sul/Sudeste do Brasil) e não uma crista (ver Fortune e Kousky, 1983, por exemplo). Em termos de diferença em relação à climatologia (Figura 4c), a presença da crista é mostrada através de valores positivos de 40 m na altura geopotencial no Sul do Brasil e de 15 a 20 m no Sudeste (Figura 4d, 4e). Isso significa, que a superfície de pressão de 500 hPa está mais afastada da superfície.

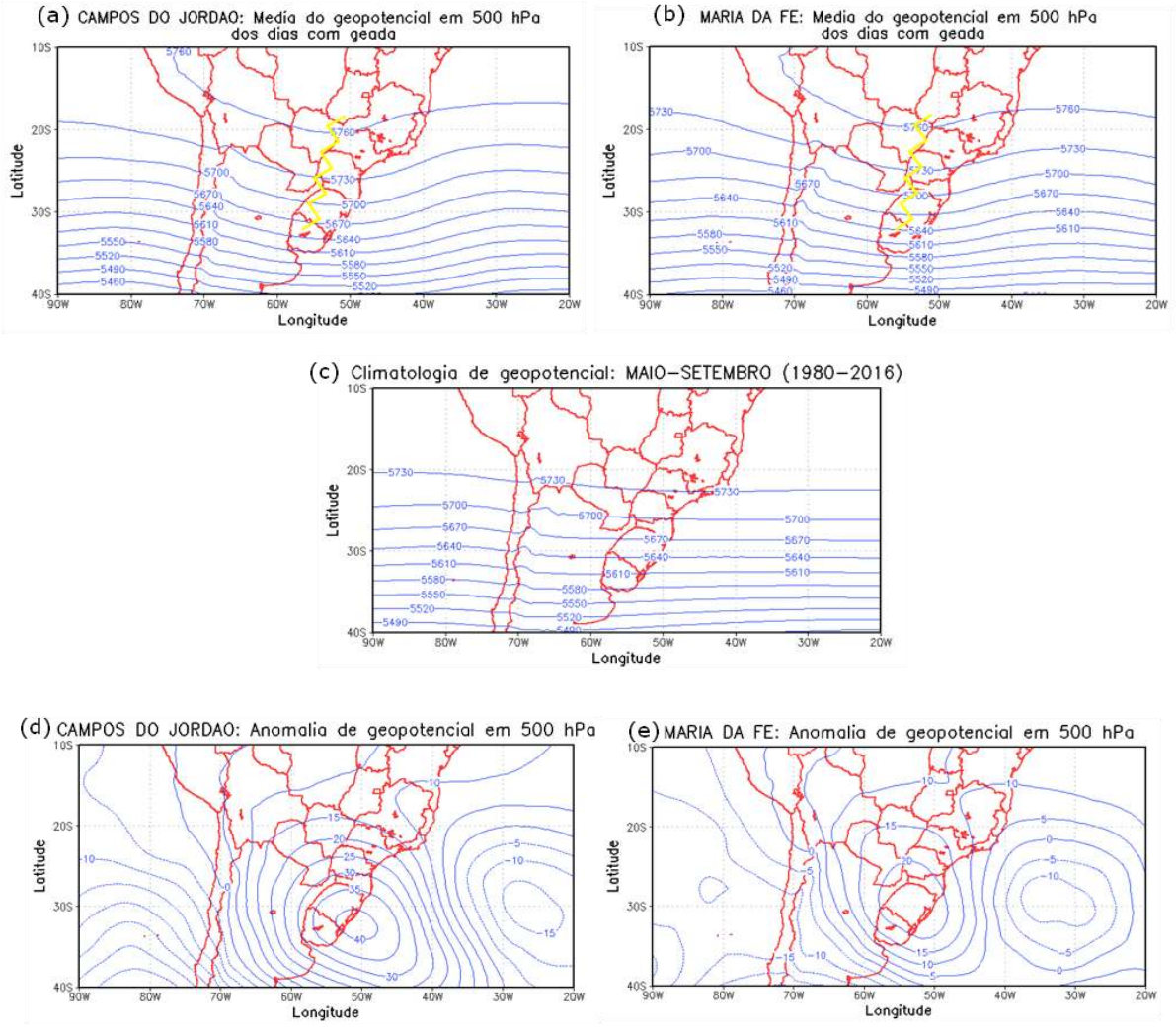


Figura 4 – Composições de altura geopotencial em 500 hPa (metros) calculadas para os casos de geada ocorridos na Serra da Mantiqueira entre maio e setembro de 2009 a 2014: (a) Campos do Jordão, (b) Maria da Fé, (c) climatologia de maio a setembro considerando o período de 1980 a 2016 e (d) e (e) anomalias em relação à climatologia.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

3.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A Figura 5 mostra as seis componentes principais associadas com os eventos de geada em Campos do Jordão, no período 2009 a 2014. Em outras palavras, a figura mostra a configuração dos campos atmosféricos que propiciam a geada. Na figura, os tons de vermelho (azul) indicam a posição dos sistemas de alta (baixa) pressão. A CP1 (Figura 5a) indica o padrão atmosférico mais frequente associado à ocorrência das geadas, que é o setor oeste do ASAS atuando no Sudeste do Brasil, enquanto grande parte do sistema localiza-se sobre o oceano Atlântico. Essa situação é muito similar à da composição mostrada na Figura 3. As CPs 3, 4 e 6 (Figura 5c, 5d, 5f, respectivamente) também indicam a influência do ASAS, porém a localização desse sistema é diferente ao da CP1. Sugere-se que nessas três configurações, sistemas transientes de alta pressão em latitudes extratropicais se conectam ao ASAS fazendo com que seu centro de maior pressão apareça deslocado para latitudes mais a sul do que a sua posição climatológica. As CPs 2 e 5 (Figura 5b, 5e, respectivamente) indicam casos de ciclones extratropicais sobre o oceano Atlântico com frente fria associada e, na retaguarda dessas, o anticiclone pós-frontal, que é o precursor das geadas. Esses dois padrões são típicos de incursão de ar frio no Brasil e registrados, por exemplo, em Escobar (2007) e Reboita et al. (2015). Em síntese, como descrito na seção anterior, as geadas na Serra da Mantiqueira estão mais associadas com a influência do ASAS do que com a passagem de anticiclones pós-frontais. O interessante da ACP é que ela mostra as posições que o ASAS pode ter em virtude da influência de outros sistemas.

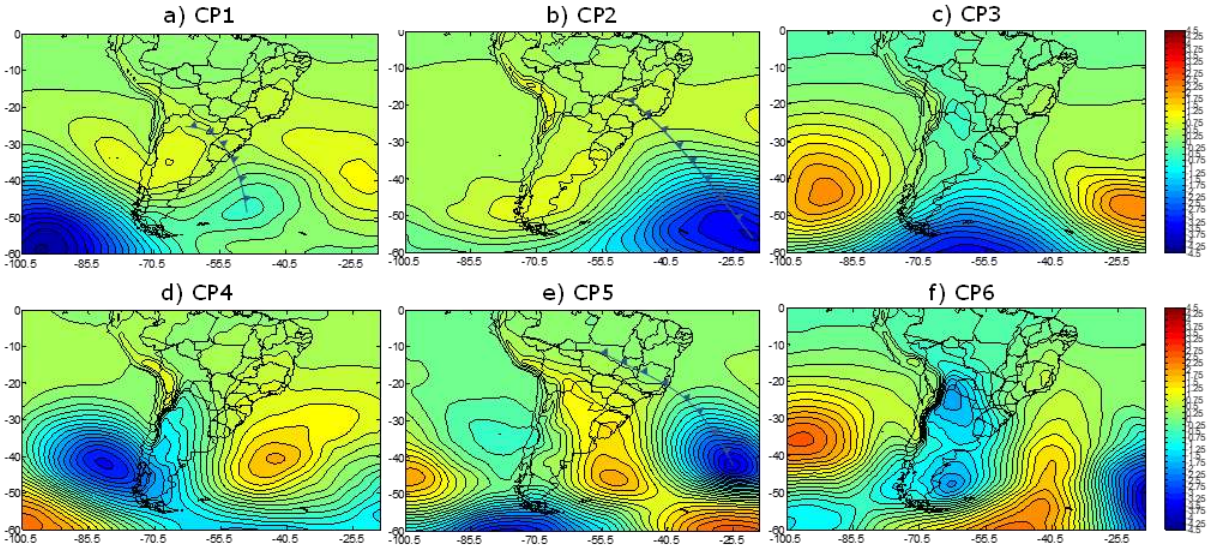


Figura 5 – Seis componentes principais associadas à ocorrência de geadas em Campos do Jordão no período de 2009 a 2014. Tons de vermelho indicam alta pressão e tons de azul baixa pressão.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

3.4 MODELO CONCEITUAL DA OCORRÊNCIA DE GEADAS NA SERRA DA MANTIQUEIRA

As seções anteriores mostraram as condições meteorológicas mais favoráveis à ocorrência de geadas na Serra da Mantiqueira. Assim, foi possível elaborar um modelo conceitual da ocorrência de geadas (Figura 6) associadas à atuação do ASAS. Isso auxiliará as práticas de previsão de tempo, pois se uma previsão numérica prognosticar para a manhã do dia seguinte (horário das 12:00 Z) na Serra da Mantiqueira: (a) presença de uma crista em 500 hPa sobre centro-sul do Brasil (indicada pela forma em amarelo na Figura 6), (b) queda de mais de 2 °C na temperatura do ar em 925 hPa em relação ao horário das 12:00 Z dia anterior e (c) aumento em mais de 1,5 hPa na PNMM em relação ao horário das 12:00 Z do dia anterior, pode-se ter um ambiente propício à ocorrência de geadas.

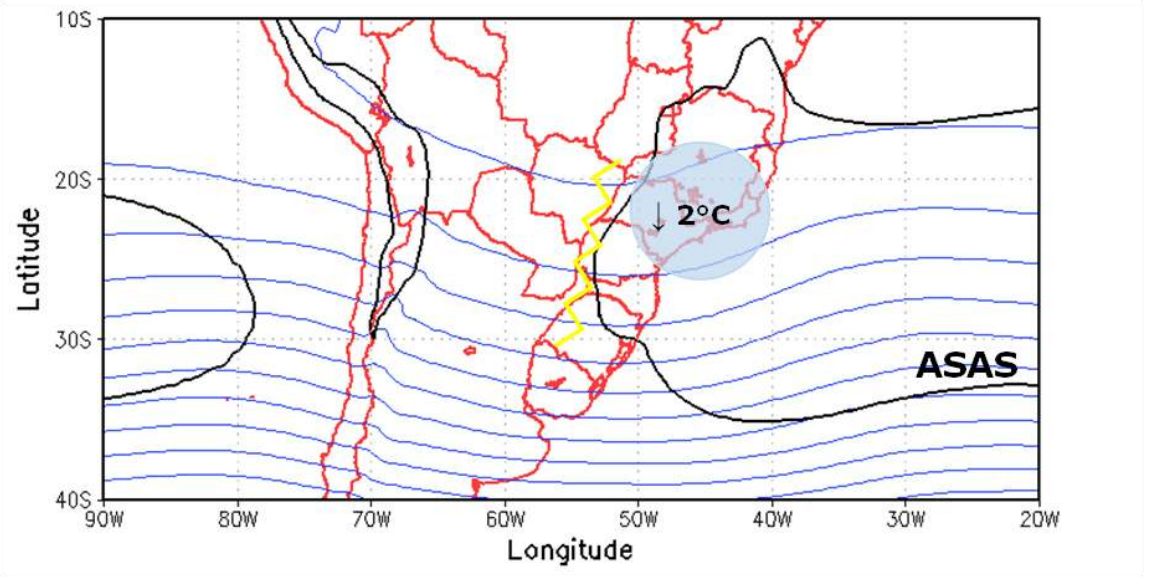


Figura 6 – Modelo conceitual para a ocorrência de geadas na Serra da Mantiqueira associadas à atuação do ASAS. As linhas em azul indicam a altura geopotencial em 500 hPa com a crista destacada em amarelo e a linha preta mostra a pressão ao nível médio do mar. A região destacada num círculo azul é onde há queda na temperatura do ar em 925 hPa bem como de pressão atmosférica entre os horários das 12:00 Z.

4. CONCLUSÃO

Esse estudo teve como objetivo mostrar o número de casos de geadas, no período de 2009 a 2014, em quatro cidades na serra da Mantiqueira, bem como identificar o padrão sinótico da atmosfera que mais contribui para a ocorrência de geadas no local de estudo.

Das quatro cidades, Campos de Jordão foi a que mostrou maior número de registros de geadas entre 2009 e 2014 (131 casos). A análise de cartas sinóticas, as composições e a ACP indicaram que o ambiente mais propício à formação das geadas é o resfriamento por perda radiativa noturna devido à presença do ASAS. Com as informações obtidas foi possível elaborar um modelo conceitual para a ocorrência de geadas na Serra da Mantiqueira associadas ao ASAS. Considerando o horário sinótico das 12:00 Z, se uma previsão numérica

prognosticar para o dia seguinte: (a) presença de uma crista em 500 hPa sobre centro-sul do Brasil, (b) queda de mais de 2 °C na temperatura do ar em 925 hPa e (c) aumento em mais de 1,5 hPa na PNMM, pode-se ter um ambiente propício à ocorrência de geadas.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CPTEC, ECMWF e INMET pelo fornecimento dos dados utilizados no presente estudo e a CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

6. REFERÊNCIAS

AHRENS, C. D. Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment. 10 ed. Belmont, USA: Brooks/Cole, 2013. 569 p.

BARREIRA, S. Differences between temporal (S-Mode) and spatial (T-Mode) principal component analysis of Antarctic sea ice monthly concentration anomalies: relationship with climate variables. Geophysical Research Abstracts, v. 13, 2010.

BISCARO, G. A. Meteorologia Agrícola Básica. 1 ed. Cassilândia: Ed UNIGRAF – Gráfica e Editora União Ltda, 2007. 87 p.

CARAMORI, P.H.; MANETTI FILHO, J. LEAL, A. C.; MORAIS, H. Geada: técnicas para proteção dos cafezais. Londrina: IAPAR, 2000. 35 p.

CAVALCANTI, I. F. A. et al. (Org). Tempo e clima no Brasil. 1ed. São Paulo: Oficina dos Textos, 2009. 458 p.

CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). Boletim Técnico. Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt>. Acesso em: 20 abr. 2018.

COMPAGNUCCI, R. H.; RICHMAN, M. B. Can principal component analysis provide atmospheric circulation or teleconnection patterns? International Journal of Climatology, 2008, v. 28, p. 703-726, 2007. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/joc.1574>. Acesso em: 17 jun. 2018.

DEE, D. P; UPPALA, S. M.; SIMMONS, A. J.; BERRISFORD, P.; POLI, P.; KOBAYASHI, S.; ANDRAE, U.; BALMASEDA, M. A.; BALSAMO, G.; BAUER, P.; BECHTOLD, P.; BELJAARS, A. C. M. ; VAN DE BERG, L.; BIDLOT, J.; BORMANN, N.; DELSOL, C.; DRAGANI, R.; FUENTES, M. ; GEER, A. J.; HAIMBERGER, L. ; HEALY, S. B.; HERSBACH, H. ; HÓLM, E. V.; ISAKSEN, L. ; KÅLLBERG, P.; KÖHLER, M.; MATRICARDI, M.; MCNALLY, A. P.; MONGE-SANZ, B. M.; MORCRETTE, J.; PARK, B.; PEUBEY, C. ; DE ROSNAY, P.; TAVOLATO, C.; THÉPAUT, J.; VITART, F. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 137, p. 555-597, 2011. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/qj.828>. Acesso em: 17 jun. 2018.

ESCOBAR, G. C. J. Padrões de circulação em superfície e em 500 hPa na América do Sul e eventos de anomalias positivas de precipitação no estado de Minas Gerais durante o mês de dezembro de 2011. Revista Brasileira de

Meteorologia, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 105-124, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid =S0102-77862014000100011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 17 jun. 2018.

ESCOBAR, G. C. J. Padrões sinóticos associados a ondas de frio na cidade de São Paulo. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 241-254, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v22n2/a09v22 n2.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2018.

FORTUNE, M. A.; KOUSKY, V. E. Two Severe Freezes in Brazil: Precursors and Synoptic Evolution. Monthly Weather Review, v. 111, p. 181-196, 1983. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0493%281983%29111%3C0181%3ATS FIBP%3E2.0.CO%3B2>. Acesso em: 07 abr. 2018.

GALVANI, E.; AZEVEDO, T. R. A frente polar atlântica e as características de tempo associadas: estudo de caso. In: GALVANI, E.; LIMA, N. G. B. (Org.). Climatologia Aplicada: Resgate aos estudos de caso. 1 ed. Curitiba: Editora CRV, 2012, v. 1, p. 7-18.

GARREAUD, R. D. Cold Air Incursions over Subtropical South America: Mean Structure and Dynamics. Monthly Weather Review, v. 128, p. 2544-2559, 2000. Disponível em: <http://www.dgf.uchile.cl/rene/PUBS/OTHERS/cusrges_clima_MW R.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2018.

GIRARDI, C. O Poço dos Andes. Relatório Técnico ECA 01/83, Centro Técnico Aeroespacial, 1983.

GREEN, P. Analysing Multivariate Data. The Dryden Press: Illinois, U.S.A, 1978. 519 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Mapa de Geadas. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/geada>. Acesso em: 02 abr. 2018.

ISMAEL, R. V.; PINTO, L. A. S. Agroturismo na Serra da Mantiqueira. Contextos da Alimentação – Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade, São Paulo, v. 4, n. 1, 2015. Disponível em: <http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/revistacontextos/wp-content/uploads/2015/10/42_CA_dossie_Vol_4_n_1_2015.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2018.

MELO-ABREU, J. P. M. As Geadas. Conceitos, Génese, Danos e Métodos de Protecção. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, Portugal: 1985.

REBOITA, M. S.; ESCOBAR, G.; LOPES, V. CLIMATOLOGIA SINÓTICA DE EVENTOS DE ONDAS DE FRIO SOBRE A REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS. Revista Brasileira de Climatologia, v. 16, p. 72-92, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/40327>. Acesso em: 03 abr. 2018.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_ arttext&pid=S0102-77862010000200004&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 06 abr. 2018.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. Entendendo o Tempo e Clima na América do Sul. TERRAE DIDÁTICA, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

RICHMAN, M. Rotation of Principal Components. Journal of Climatology, v. 6, n. 3, p. 293 -335, 1986.

SENTELHAS, P. C.; ORTOLANDI, A.A.; PEZZOPANE, J.R.M. Estimativa da temperatura mínima de relva e da diferença de temperatura entre o abrigo e a relva em noites de geada. Bragantia, v.54, n.2, p. 437-445, 1995.

SILVA, J. G.; SENTELHAS, P. C. Diferença de temperatura mínima do ar medida no abrigo e na relva e probabilidade de sua ocorrência em eventos de geada no Estado de Santa Catarina. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 9, n.1, p. 9-15, 2001.

SILVA, L. J.; REBOITA, M. S.; ROCHA, R. P. Relação da passagem de frentes frias na Região Sul de Minas Gerais (RSMG) com a precipitação e eventos de geada. Revista Brasileira de Climatologia, v. 14, p. 234-238, 2014. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/36314>. Acesso em: 15 abr. 2018.

SNYDER, R.L.; MELO-ABREU, J.P de. Frost protection: fundamentals, practive and economics. Rome: FAO. Environment and Natural Resources Series, n. 10, v. 1, 2005. 240 p.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. Meteorologia Descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras. São Paulo: Nobel, 1988. 374 p.

VIANA, L. P.; HERDIES, D. L. 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, v. 33, n. 1, p. 27-39, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v33n1/0102-7786-rbmet-33-01-0027.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2018.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. Atmospheric Science: an introduction survey. 2ed. Academic Press, 2006. 483p.

WREGE, M.S.; FRITZONS, E.; SOARES, M.T.S.; PRELA-PANTANO, A.; STEINMETZ, S.; CARAMORI, P.H.; RADIN, B.; PANDOLFO, C. Risco de ocorrência de geada na região Centro-Sul do Brasil. Revista Brasileira de Climatologia, v. 22, p. 524-553, 2018.

YARNAL, B. Synoptic Climatology in Environmental Analysis. Belhaven Press. London, 1993.

YNOUE, R. Y.; REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; SILVA, G. A. M. Meteorologia: noções básicas. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 184 p.