



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



CLIMATOLOGIA SINÓTICA DE EPISÓDIOS DE ONDAS DE FRIO SOBRE O SUL DO ESTADO DE MINAS GERAIS (MG)

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)

Vítor Silva Lopes (Universidade Federal de Itajubá, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: slvitor@hotmail.com

Gustavo Carlos Juan Escobar (CPTEC/INPE, Orientador)
E-mail: gustavo.escobar@cptec.inpe.br

Julho de 2014

RESUMO

Este trabalho, iniciado em agosto de 2013, tem como objetivo estudar o comportamento da circulação atmosférica associada com eventos de ondas de frio sobre o sul do estado de Minas Gerais (MG). A finalidade é fazer uma classificação sinótica em superfície com intuito de melhorar a previsibilidade destes eventos extremos. Os acentuados declínios de temperatura associados às incursões de ar frio sobre o Sudeste do Brasil têm grande impacto social, pois ocasionam prejuízos principalmente no setor agrícola. Durante o inverno, a região subtropical da América do Sul é tipicamente afetada pela passagem de sistemas frontais. A intensa massa de ar frio associada a esses sistemas em algumas ocasiões tende a persistir por vários dias consecutivos gerando conseqüentemente ondas de frio. A partir de dados diários de temperatura mínima e máxima, correspondentes à estação meteorológica de Lavras (período 1980-2013), localizada no sul do estado de MG, elaboraram-se dois critérios de detecção de ondas de frio. Para o primeiro critério estabeleceu-se como limite temperaturas mínimas iguais ou inferiores a 10°C persistidas durante três ou mais dias. Já para o segundo critério foi considerada a temperatura média igual ou inferior ao valor correspondente ao percentil de 5% ao longo de três ou mais dias consecutivos. Ressalta-se que, ambos os critérios foram baseados considerando o impacto das ondas de frio sobre o setor agrícola, mais especificamente sobre a cultura do café. A partir da utilização de cada um dos critérios elaborados, foram selecionadas as datas dos dias associados a eventos de ondas de frio. A partir destas datas foram selecionados os campos diários de pressão ao nível do mar (PNMM), correspondentes às reanálises do NCEP/NCAR. Para realizar a classificação sinótica correspondente a ondas de frio, foi aplicado o método de Análises por Componentes Principais. Para ambos os casos, foram identificadas três componentes principais (Cps) que representaram em torno de 60% a 80% da variância total dos dados. O modelo mais frequente (CP1) esteve associado com um processo ciclogênico no oceano Atlântico, na altura do Sudeste do Brasil, porém bem afastado do continente. Ao sul deste sistema, observou-se a presença do Anticilone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) bem mais intenso e localizado ao sul da sua posição climatológica. A borda norte deste sistema de alta pressão cobre o centro-sul de MG e favorece à forte perda radiativa durante a noite, contribuindo com a diminuição das temperaturas mínimas. Os outros dois padrões sinóticos (CP2 e CP3) estiveram associados com situações meteorológicas relacionadas ao ingresso de anticiclones migratórios desde o sul do continente sul-americano. Nestes casos, a queda brusca de temperatura sobre o sul de MG esteve associada com a forte advecção de temperatura.

ABSTRACT

This work started in August 2013, aims to study the behavior of atmospheric circulation associated with events of cold waves over the south of Minas Gerais (MG). The purpose is to make a surface synoptic classification aiming to improve the predictability of these extreme events. The sharp declines in temperature associated with cold air incursion over southeastern Brazil have great social impact, mainly in the agricultural sector. During the winter, the subtropical region of South America is typically affected by frontal systems. Intense cold air mass associated with these systems sometimes tends to persist for several days thereby generating cold waves. Minimum and maximum daily temperature (period 1980-2013) was obtained from Lavras meteorological station, located in the southern state of Minas Gerais. Two criteria were developed for detecting cold waves. The first criterion established as limit minimum temperatures equal or below than 10°C persisted for three or more days. The second criterion established as limit average temperatures equal or below than the percentile of 5% over three or more consecutive days. It is noteworthy that both criteria were based on the impact of cold waves on the agricultural sector, more specifically about the coffee culture. From the use of each of the developed criteria, dates of events associated with cold waves were selected. From these dates, daily fields of sea level pressure (SLP) were selected, corresponding to the NCEP / NCAR. To perform the synoptic classification, the method of Principal Component Analysis was applied. For both cases, three main components (CPs) which represented around 60% to 80% of the total variance were identified. The most common model (CP1) was associated with a cyclogenesis process in the Atlantic Ocean. At south of this system, the presence of Atlantic Subtropical High was observed much more intense and located south of its climatological position. The northern edge of this high pressure system covers the center-south of MG and favors the strong radiative loss overnight, contributing to a decrease in minimum temperatures. The other two synoptic patterns (CP2 and CP3) were associated with weather

events related to the entry of migratory anticyclones from southern South America. In such cases, the sharp drop in temperature on the south of MG was associated with strong advection of temperature.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 3.1 - Componentes 1, 2 e 3 geradas pelo critério 1	7
Figura 3.2 - Campos de pressão ao nível médio do mar para os eventos de maior correlação com cada componente.....	8
Figura 3.3 - Carta sinótica de superfície do dia 12/06/2010 as 12Z	8
Figura 3.4 - Componentes 1, 2 e 3 geradas pelo critério 2	9
Figura 3.5 - Campos de pressão ao nível médio do mar para os eventos de maior correlação com cada componente do critério 2.....	9

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACP	Análise de Componentes Principais
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudo Climáticos
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LISTA DE SÍMBOLOS

Tm	Temperatura média, °C
Tmin	Temperatura mínima, °C
Tmax	Temperatura máxima, °C
Tb	Temperatura base inferior, °C

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	Erro! Indicador não definido.
2.1. Dados	Erro! Indicador não definido.
2.2. Critérios para detecção de ondas de frio ...	Erro! Indicador não definido.
2.3. Determinação dos principais modos de circulação atmosférica. Análise de componentes principais (ACP)	5
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	7
4 CONCLUSÃO.....	11
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113

1 INTRODUÇÃO

Os acentuados declínios de temperatura associados às incursões de ar frio no Sudeste do Brasil têm grande impacto social, pois ocasionam prejuízos principalmente no setor agrícola. Durante o inverno, tipicamente a região subtropical da América do Sul é afetada por fortes e bruscos declínios de temperatura, provocados pela passagem de sistemas frontais vindos do extremo sul do continente. A intensa massa de ar fria associada a esses sistemas frontais em algumas ocasiões tende a persistir por vários dias consecutivos gerando conseqüentemente ondas de frio. Os intensos anticiclones que acompanham essas fortes incursões de ar frio podem se manter por alguns dias, gerando condições favoráveis para ocorrência de geadas.

Dependendo da circulação atmosférica nos médios e altos níveis, a massa fria resultante pode deslocar-se ou não para latitudes baixas. Em situações de bloqueio atmosférico de inverno na região subtropical, as massas frias tendem a ficar confinadas ao sul do continente, em geral produzindo temperaturas muito baixas e uma situação meteorológica adversa, com excesso de neve, chuva e vento ao sul do bloqueio. Entretanto, em situações favoráveis, a massa fria pode deslocar-se meridionalmente com muita rapidez, chegando, em alguns casos, a cruzar a linha do Equador e atingir, por exemplo, o sul da Venezuela (Myers, 1964 e Dapozzo e Silva Dias, 1994). Este fenômeno é conhecido regionalmente como friagem, e tem importantes conseqüências econômicas especialmente devido à ocorrência de geada em vastas áreas agrícolas (Pezza e Ambrizzi, 2003).

Esses fenômenos são muito freqüentes durante os meses de maio a setembro no centro-sul do Brasil, incluindo o sul de Minas Gerais (Parmenter 1976, Satyamurty et al 1990, Seluchi e Nery 1992, Marengo et al 1997, Vera e Vigliarolo 2000, Lupo et al 2001, Satyamurty et al., 2002, Escobar, 2007) , onde produzem vários impactos na sociedade e também no setor produtivo do país.

Por exemplo, as geadas ou os declínios acentuados de temperatura podem afetar as plantações de café no sul de MG, provocando considerável aumento no preço deste produto no Mercado Internacional (Marengo et al 1997).

Considerando-se que a ocorrência de ondas de frio na região Sudeste do Brasil está estreitamente relacionada com a variabilidade dos sistemas sinóticos que afetam o continente sul-americano, este trabalho tem, portanto, o objetivo de estudar o comportamento da circulação atmosférica associada com eventos de ondas de frio sobre o sul do Estado de Minas Gerais. A finalidade é fazer uma classificação sinótica com o intuito de melhorar a previsibilidade destes eventos extremos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Dados

Para o estudo foram utilizados dados diários de temperatura mínima e máxima da estação meteorológica de Lavras (21,75°S/45°O). O período correspondente se estende desde 01/01/1980 à 31/12/2013. A escolha da estação foi feita tanto pelo seu posicionamento (sul de Minas Gerais) quanto pela qualidade e disponibilidade dos dados.

Para a análise dos campos de circulação em superfície associados a eventos de ondas de frio no sul de Minas Gerais foram usados os dados de pressão ao nível médio do mar, provenientes da reanálise do NCEP/NCAR (National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) para o período 1980 a 2013 (Kalnay et al., 1996), disponíveis no endereço: www.cdc.noaa.gov.

2.2. Critérios para detecção de ondas de frio

Diversos critérios para identificação de ondas de frio podem ser encontrados na literatura e, em grande parte deles, o uso das temperaturas máximas e mínimas é o mais comum (Gonçalves et al., 2002). Em pesquisas envolvendo a agrometeorologia, critérios baseados na susceptibilidade da cultura são também empregados. Por exemplo, em São Paulo, a temperatura crítica (no abrigo meteorológico) para o café varia entre 0 e 2°C (Sentelhas et al., 1995), logo ondas de frio prejudiciais a essa cultura devem ser identificadas considerando este aspecto.

Neste estudo, o primeiro critério é baseado na metodologia proposta por Nairn e Fawcett (2013), onde a onda de frio é identificada quando em pelo menos três dias consecutivos a temperatura média, calculada pela equação 1.1, é abaixo do percentil de 5% de toda a série histórica que, neste caso, foi de 16,35°C.

$$T_m = (T_{max} + T_{min}) / 2 \quad (1.1)$$

O segundo critério foi feito considerando limiares prejudiciais à cultura do café, que é de fundamental importância para a economia da região. Em Minas Gerais o café tem sua relevância traduzida pela receita proporcionada via Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e pela contribuição do FUNRURAL. A sua importância pode ser avaliada também pelo seu papel no mercado de trabalho, como gerador de emprego e como fator de fixação de mão-de-obra no meio rural. Em 1994, Minas Gerais produziu 10,2 milhões de sacas de café beneficiado, detendo 892 mil hectares em cafeeiros, com uma produtividade média de 11,5 sacas de café beneficiado por hectare. Neste mesmo ano, as regiões Sul, Mata e Triângulo e Alto Paranaíba detinham respectivamente 48,5 %, 20,3% e 10,7% da área cafeeira e 48,6%, 18% e 13,6% da produção de café do Estado, segundo a Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (1995). A região Sul de Minas Gerais é, além de maior produtora de café do Estado, produtora tradicional de cafés de fina qualidade (CHALFOUN, 1996). O limiar de temperatura definido para o segundo critério é baseado na temperatura basal inferior (T_b) do café, que pode ser entendida como a temperatura a partir da qual a planta deixa de apresentar atividade enzimática, em outras palavras, sob o efeito de temperaturas inferiores à T_b a planta não se desenvolve. As temperaturas base inferior do cafeeiro tipo arábica, *Coffea arábica*, podem ser encontradas na literatura, contudo, variam tanto nas espécies como de estudo para estudo. Segundo PEZZOPANE et al (2008) o café arábica cv. Mundo Novo possui T_b de 10,2°C enquanto IAFFE et al (2001) indica T_b de 11°C. Os cafeeiros das espécies Acaiá Cerrado e Rubi apresentam T_b de 12,9°C (LIMA et al, 2007). Com base nessas informações, de que a temperatura basal inferior varia de 10 a 12°C, optou-se por definir, para este estudo, o valor de T_b igual a 10°C. Desta forma, a identificação de ondas de frio, neste caso, é feito quando a série

de temperaturas mínimas apresenta valores menores ou iguais a 10°C ao longo de três ou mais dias consecutivos.

2.3. Determinação dos principais modos de circulação atmosférica em superfície. Análise de Componentes Principais (ACP)

A partir da série de datas geradas pelos dois critérios foram identificados os dias iniciais das ondas de frio e, posteriormente, selecionados os campos de pressão ao nível médio do mar provenientes do NCEP. A continuação, esses campos de pressão foram submetidas à Análise de Componentes Principais. Existem dois tipos de ACP utilizados para analisar a variável observada tanto no espaço quanto no tempo. O primeiro chamado Modo-S está relacionado com a análise de séries temporais correspondentes a pontos no espaço. Isto significa que a variável estatística analisada corresponde a séries temporais de uma variável meteorológica que pode ser considerada contínua no espaço e no tempo. Por outro lado, o Modo-T pode ser aplicado para classificar campos atmosféricos espaciais (Compagnucci e Salles, 1997, Escobar, 2004). Segundo Richman (1983) o Modo-T é uma ferramenta muito útil para sintetizar e reproduzir padrões de circulações, quantificando sua frequência e mostrando os períodos de tempo neles dominantes. A seguir foi feita a rotação Varimax com o principal objetivo de redistribuir a variância total dos dados utilizados e de facilitar o significado físico das componentes obtidas (Richman, 1986). Para a determinação do número de componentes rotacionadas utilizou-se a regra do autovalor 1.0 (Richman et al., 1992).

Para a determinação das situações meteorológicas altamente correlacionadas com as componentes principais foram utilizadas as series temporais de “factor loadings” que representam as correlações entre cada variável (situação meteorológica real) e cada componente principal (Richman, 1986). A análise da série de “factor loadings” permite determinar a representatividade das componentes principais como situações sinóticas reais, valores próximos a 1

representam situações meteorológicas similares às componentes principais obtidas (Harman, 1976; Cattel, 1978).

Após a aplicação da ACP, casos de maior correlação com cada componente foram selecionados e comparados a cartas sinóticas de superfície do CPTEC (quando disponíveis) e campos médios obtidos no NCEP.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do primeiro critério 67 casos foram encontrados em toda série histórica. As três primeiras componentes geradas por esse critério são apresentadas na Figura 3.1.

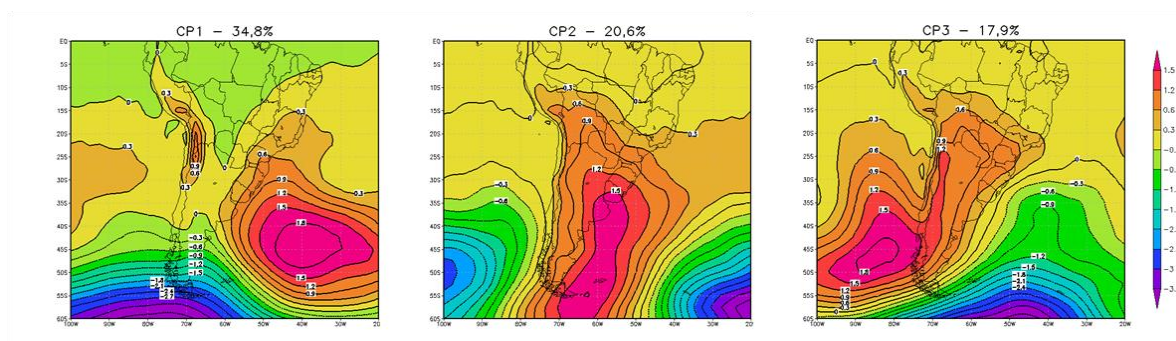


Figura 3.1 - Componentes 1, 2 e 3 geradas pelo critério 1.

Essas componentes explicam cerca de 73% da variância total. A componente 1 (CP1) é um caso clássico de um sistema frontal que passa por grande parte da faixa leste do Brasil e se desloca para o Oceano Atlântico na altura de 15°S. Esse sistema gera uma alta pressão pós-frontal que atua desde o extremo sul do Brasil até o nordeste de Minas Gerais. O sistema de alta pressão está diretamente relacionado à forte perda radiativa, o que explica a queda brusca de temperatura. Na segunda componente nota-se a atuação de um anticiclone migratório que parte desde o extremo sul da América do Sul até o centro-leste de Minas Gerais. Já a terceira componente apresenta um padrão semelhante ao chamado “Poço dos Andes”, onde a formação de um ciclone extratropical no sul da América do Sul transporta ar frio para latitudes mais baixas. Neste caso, um anticiclone formado próximo a costa do Chile aumenta ainda mais o transporte de ar mais frio em direção ao norte. Tanto na componente 1 como na 2, a advecção de ar frio de latitudes mais altas para latitudes mais baixas é responsável pelo queda brusca na temperatura.

Na Figura 3.2 são apresentados os campos de pressão ao nível médio do mar para os casos de maior correlação com cada componente 1.

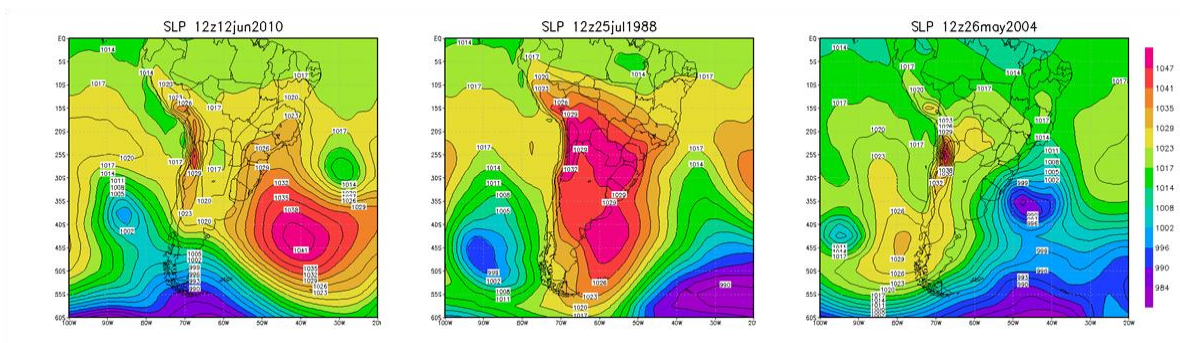


Figura 3.2 - Campos de pressão ao nível médio do mar para os eventos de maior correlação com cada componente

Nota-se que, de fato, trata-se de um ciclone sobre o Oceano Atlântico que, neste caso, encontra-se posicionado em torno de 28°O/30°S e valor de 1014hPa. A Figura 3.3 mostra a carta sinótica de superfície gerada pelo CPTEC para o mesmo dia e horário.

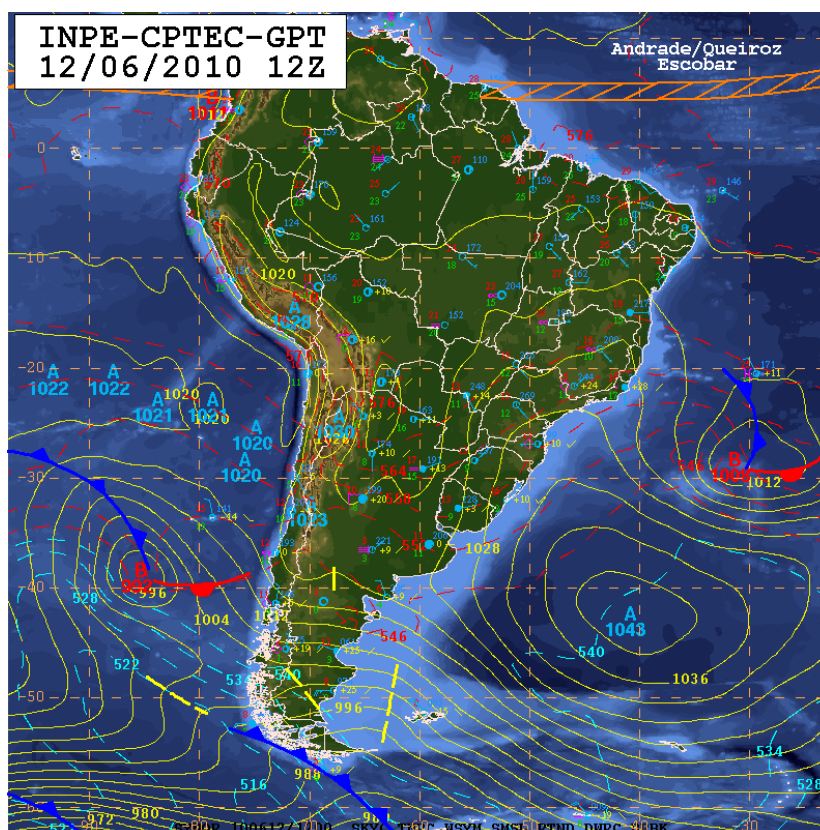


Figura 3.3 - Carta sinótica de superfície do dia 12/06/2010 as 12Z.

Fonte: CPTEC

Nota-se que o sistema frontal associado à alta pressão pós-frontal já se encontra em estágio de dissipação e o sistema de alta pressão se estende desde o Uruguai até o centro da Bahia.

Para o segundo critério foram encontrados 96 casos na série histórica. As três primeiras componentes são apresentadas na Figura 3.4.

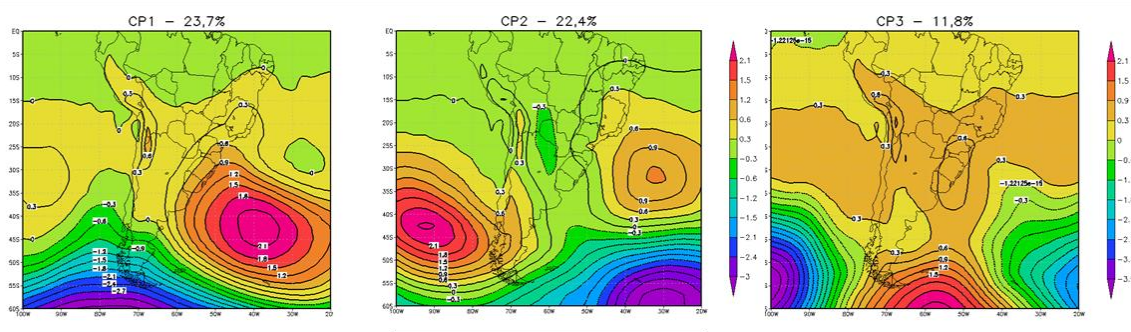


Figura 3.4 - Componentes 1, 2 e 3 geradas pelo critério 2.

Juntas as três primeiras componentes do critério 2 explicam cerca de 57% da variância total. Nota-se que os padrões encontrados são semelhantes aos apresentados no critério 1, com apenas uma inversão na ordem das componentes. Comparando-as visualmente, percebe-se semelhanças entre as componentes 1 e 1, 2 e 3 e 3 e 2, para os critérios 1 e 2, respectivamente. A Figura 3.5 mostra os campos de pressão ao nível médio do mar com maior correlação com cada componente do critério 2.

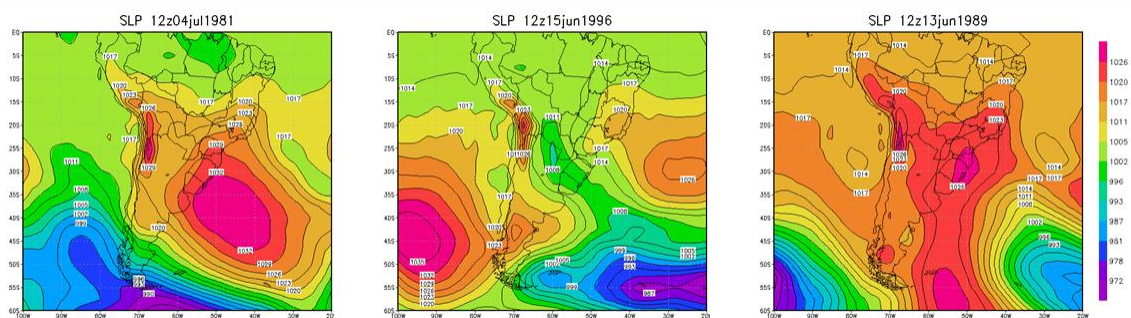


Figura 3.5 - Campos de pressão ao nível médio do mar para os eventos de maior correlação com cada componente do critério 2

4 CONCLUSÃO

Após a Análise de Componentes Principais três principais padrões de circulação atmosférica foram identificados através de ambos os critérios. A diferença entre os resultados dos critérios pode ser percebida apenas pela porção da variância explicada por cada componente. O primeiro padrão encontrado refere-se a um sistema de alta pressão pós-frontal associado a um processo ciclogênico sobre o Oceano Atlântico distante do continente. O segundo apresenta um anticiclone extratropical migratório que parte desde o extremo sul da América do Sul e chega até o sudeste brasileiro. Já o terceiro se assemelha ao denominado “Poço dos Andes”, onde um ciclone extratropical transporta ar frio dos pólos em direção a latitudes médias impulsionado por um anticiclone formado próximo a costa do Chile. No primeiro padrão a queda brusca de temperatura está associada à forte perda radiativa, já nos outros dois padrões a queda na temperatura é associada à forte advecção de temperatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHALFOUN, S. M. S. **O café na região Sul de Minas Gerais – Relação da qualidade com fatores ambientais, estruturais e tecnológicos.** Tese de Doutorado apresentada a Universidade Federal de Lavras, 1996.

ESCOBAR, G. C. J. **Padrões sinóticos associados a ondas de frio na cidade de São Paulo.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 22, p. 241-254, 2007.

ESCOBAR, G. C. J.; COMPAGNUCCI, R. H.; BISCHOFF, S. A. **Sequence Patterns of 1000 hPa and 500 hPa geopotential height fields associated with cold surges in Buenos Aires.** Atmosfera, v 12, n. 2, p. 69-89, 2004.

ESCOBAR, G. C. J.; COMPAGNUCCI, R. H.; BISCHOFF, S. A. **Sequence Patterns of 1000 hPa and 500 hPa geopotential height fields associated with cold surges in Buenos Aires.** Atmosfera, v 12, n. 2, p. 69-89, 2004.

ESCOBAR, G.; BISCHOFF, S. **Meteorological situations associated with significant temperature falls in Buenos Aires: an application to the daily consumption of residential natural gas.** Meteorol. Appl., v. 6, n. 3, p. 253-260, 1999.

IAFFE, A.; PINTO, H.; ARRUDA, F.B.; QUAGLIA, L.; SAKAI, E.; PIRES, R.C.M.; ASSAD, E. - **Estimativa de temperatura-base e graus-dia com correção pelo fotoperíodo do florescimento à colheita de café em campinas, SP - II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2001.**

LIMA, P. E.; DA SILVA, L. E. – **Temperatura base, coeficientes de cultura e graus-dia para cafeeiro arábica em fase de implantação –** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.12, n.3, p.266–273, 2008.

LUPO, A. R.; NOCERA, J. J.; BOSART, L. F. **South American cold surges: types, composites, and cases studies.** Mon. Wea Rev, v. 129, n. 5, p. 1021-1041, 2001.

MARENGO, J.; CORNEJO, A.; Satyamurty, P.; Nobre, C. **Cold surges in tropical and extratropical South America: The Strong Event in June 1994.** Mon. Wea Rev, v. 125, n. 11, p. 2759-2786, 1997.

PARMENTER, F. C. **A Southern Hemisphere cold front passage at the equator.** Bull. Amer. Meteor. Soc., v. 57, p. 1435-1444, 1976.

PEZZA, A.B.; AMBRIZZI, T. **Ondas de frio na América do Sul e temperaturas geladas em São Paulo: análise histórica (1888 - 2003) e estudos de casos e trajetórias de ciclones e anticiclones.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 20, n. 1, p. 141- 158, 2005.

PEZZOPANE, M. R. J. ; JÚNIOR, P. J. M.; DE CAMARGO, P. B. M.; FAZUOLI, C. L. – **Exigência térmica do café arábica cv. Mundo Novo no subperíodo de florescimento-colheita** - Ciênc. agrotec., Lavras, v. 32, n. 6, p. 1781-1786, nov./dez., 2008.

REBOITA S. M. IWABE. N. M. C.; ROCHA, P.R.; AMBRIZZI, T. **Análise de um ciclone semi-estacionário na costa sul do Brasil associado a bloqueio atmosférico.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.24, n.4, 407 - 422, 2009.

SENTELHAS, D.C.; FAZUOLI, L.C.; PEZZOPANE, J.R.M. **Temperatura letal de diferentes espécies e derivados de híbrido interespecífico de café.** In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFECIRAS, 1995. Anais: p. 21.