

DIFERENÇAS SAZONAIS DAS FRENTES QUENTES NO SUDESTE DA AMÉRICA DO SUL

Bruno Zanetti Ribeiro^a, Marcelo Enrique Seluchi^b
bruno.ribeiro@cptec.inpe.br

^a Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), Brasil

^b Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), Brasil

RESUMO

O presente trabalho descreve as diferenças sazonais das frentes quentes no Sudeste da América do Sul. Dados da Reanálise CFSR/NCEP foram utilizados para identificar frentes quentes de 1979 a 2010. O método de identificação foi baseado na magnitude do gradiente meridional de temperatura potencial equivalente (θ_e) e nos ventos em 850 hPa. Compostos das variáveis atmosféricas mais importantes foram construídos começando um dia antes até um dia depois da ocorrência da frente quente. A maioria dos casos ocorre no inverno (36%), sendo o verão a estação com menor número de frentes quentes (12,8%). Os compostos e suas anomalias em relação à média mostram que as frentes quentes se formam associadas à borda leste da Baixa do Chaco ou da Baixa do Noroeste da Argentina, entre o Sul do Paraguai, Nordeste da Argentina e Oeste da região Sul do Brasil. O escoamento de norte/noroeste, associado à ação do Jato de Baixos Níveis da América do Sul, e o avanço de uma massa de ar frio de sul aumentam o gradiente de θ_e na região, sendo fatores frontogênicos. No verão a Baixa do Chaco é responsável pela intensificação dos ventos em baixos níveis, enquanto que no inverno a Baixa do Noroeste da Argentina tem essa função. Nos níveis superiores da troposfera ocorre o avanço de uma onda sinótica de oeste, a qual tem maior amplitude no inverno, e a formação da frente quente em superfície é acompanhada pela intensificação de uma crista de altura geopotencial em altos e médios níveis. A frente quente tem um deslocamento para sul/sudeste, precedendo, na maioria dos casos, a formação de sistemas de baixa pressão no Oceano Atlântico adjacente ao Sudeste da América do Sul. No verão as frentes quentes ocorrem em latitudes mais altas que no inverno. A rampa frontal é mais vertical no verão, o que favorece movimentos ascendentes mais intensos.

ABSTRACT

The present work describes the seasonal differences among warm fronts in the Southeastern South America. Data from the CFSR/NCEP reanalysis was used to identify warm fronts from 1979 to 2010. The identification method was based on the magnitude of the meridional gradient of 850-hPa equivalent potential temperature (θ_e) and 850-hPa wind fields. Composites of the most important atmospheric variables were constructed starting one day before until one day after the arise of the warm front. Most cases occur in winter (36%), while summer is the season less affected by warm fronts (12,8%) The composites and their anomalies relative to the average show that the warm fronts forms coupled to the eastern edge of the Chaco Low or the Northwestern Argentinean Low, near southern Paraguay, Northeast Argentina and western portion of Southern Brazil. The north/northwesterly flow, related with the South America Low-Level Jet, and the advance of a cold air mass from the south are frontogenetic factors, increasing the θ_e gradient in the region. In summer, the Chaco Low is responsible for intensifying the low-level winds, while in winter the Northwestern Argentinean Low has this function. At the upper levels, a synoptic wave, which has greater amplitude in winter, advances from the west, and the warm front formation at surface follows the intensification of an upper-tropospheric ridge. The warm front moves south/southeast, preceding, in most cases, low-pressure system formations in the Atlantic Ocean near Southeastern South America. In summer the warm fronts occur in higher latitudes relative to winter. The frontal slope in summer is more vertical, which favors more intense updrafts.

Palavras-chave: frentes quentes; climatologia sinótica; sudeste da américa do sul

1) INTRODUÇÃO

O Sudeste da América do Sul (SEAS) é frequentemente atingido por sistemas frontais, porém a maior parte dos estudos realizados tratam de frentes frias, havendo uma carência de estudos sobre frentes quentes. As frentes quentes podem estar associadas a uma grande quantidade da precipitação anual no SEAS (Catto et al., 2012), além de causar tempo severo (Metz et al., 2004). Em vista disso, este estudo tem o objetivo de avaliar as características das frentes quentes no SEAS e as diferenças entre inverno e verão.

Alguns estudos de caso de frentes quentes na América do Sul mostraram que elas podem estar associadas a tempestades (Carvalho e Fedorova, 2011) e nevoeiros (Carvalho, 2000). Norte et al. (2007) associaram uma onda de calor no norte da Argentina à ocorrência de uma frente quente no Sul do Brasil, uma vez que a frente quente é responsável por transportar ar quente para o sul do continente. Norte (1999) verificou que a atuação de frentes quentes no SEAS tem relação com a ocorrência do vento Zonda, pois ambos ocorrem quando um distúrbio ciclônico está atravessando os Andes.

O presente estudo trata das diferenças entre as frentes quentes de inverno e verão no SEAS com base em uma técnica de compostos. A seção 2 trata da metodologia empregada para identificar as frentes quentes e o método utilizado para gerar os compostos. A seção 3 mostra e discute os resultados, ressaltando as diferenças sazonais das frentes quentes. E a seção 4 apresenta as conclusões.

2) DADOS E METODOLOGIA

Neste estudo foi utilizado um método objetivo para identificação das frentes quentes, através dos campos de gradiente meridional de temperatura potencial equivalente (θ_e) e vento em 850 hPa. Estes campos foram gerados com dados da reanálise CFSR (Saha et al. 2010), a qual tem resolução horizontal de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Os campos foram analisados em todos os horários sinóticos (00, 06, 12 e 18 UTC) da série de dados de 1979 a 2010. O método possui 3 requisitos:

- a) A magnitude do gradiente meridional de θ_e em 850 hPa deve ser maior que 2 K/100 km em uma área com alta excentricidade e comprimento maior que 400 km;
- b) Os ventos precisam ter uma variação ciclônica da retaguarda para a dianteira da frente quente;
- c) A área que atende aos critérios dos tópicos a e b deve se deslocar para latitudes mais elevadas e permanecer atendendo aos critérios por pelo menos 24 horas.

A área de estudo é mostrada na Figura 2. O Sudeste da América do Sul (SEAS) foi definido como a área continental a leste dos Andes entre 20°S e 35°S .

A aplicação deste método é exemplificada na Figura 1. Às 00UTC do dia 11 de Agosto de 2010 [Figura 1(a)], o gradiente meridional de θ_e é maior que $2.0 \text{ K (100 km)}^{-1}$ entre 27°S e 28°S , associado a uma variação ciclônica dos ventos. A zona frontal progrediu para latitudes mais altas preservando suas características até 12 de Agosto de 2010 06UTC [Figura 1(f)]. Porém, o episódio acaba às 00UTC de 12 de Agosto de 2010 porque a frente quente avança para o Oceano Atlântico.

A partir da escolha dos casos, foi realizada uma distinção entre os casos que ocorreram no inverno (junho-julho-agosto) e os que ocorreram no verão (dezembro-janeiro-fevereiro). Os compostos foram calculados do mesmo modo que Garreaud (2000), desde um dia antes da formação da frente quente (dia -1) até um dia depois (dia +1). Também foram feitas seções verticais na longitude de 57°W , por onde a maior parte das frentes quentes passaram no período estudado.

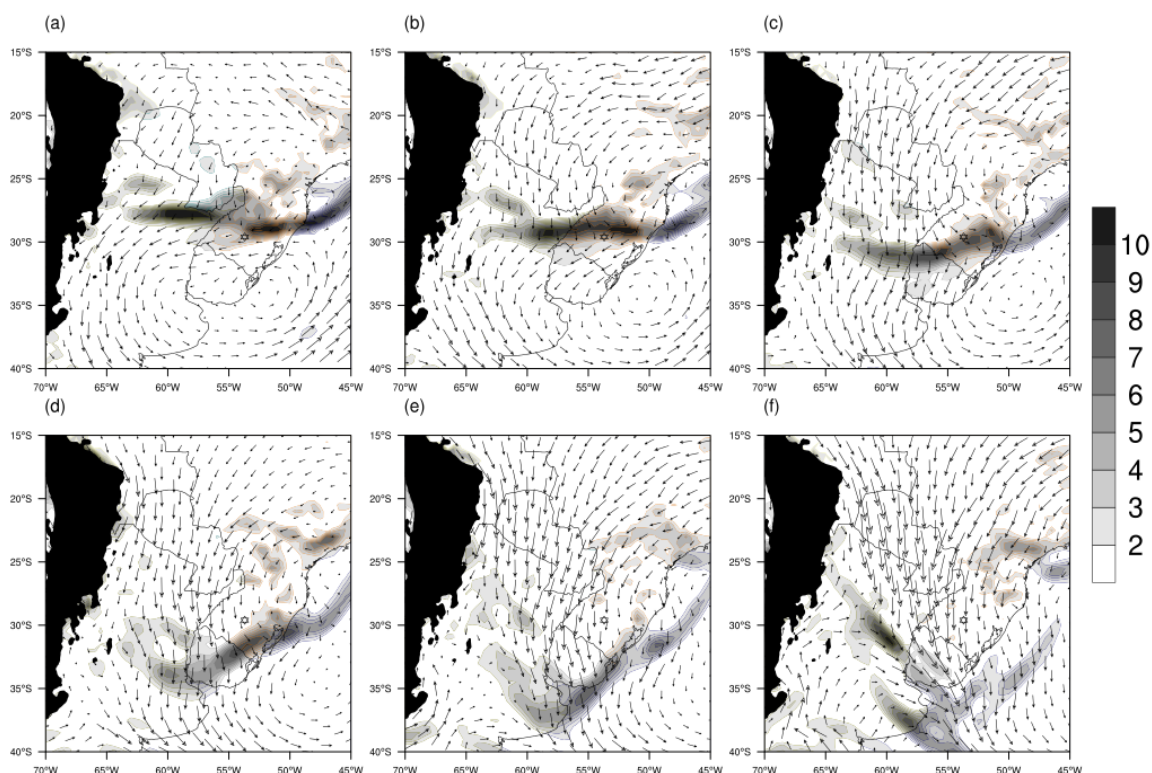


Figura 1: Aplicação do método de identificação de frentes quentes. Gradiente meridional de θ_e [$\text{K} (100\text{km})^{-1}$, sombreado] e ventos (m s^{-1} , vetores) em 850 hPa nos horários sinóticos: 11 de Agosto de 2010 (a) 00, (b) 06, (c) 12, (d) 18 UTC e 12 de Agosto de 2010 (e) 00 e (f) 06 UTC. Elevações maiores que 1500m estão sombreadas em preto.

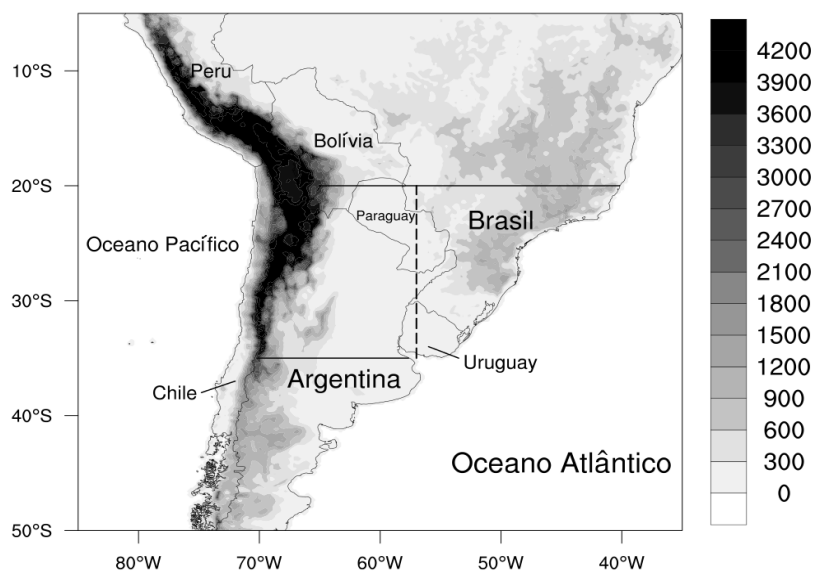


Figura 2: Mapa geográfico da área de estudo, a parte continental a leste dos Andes entre 20°S e 35°S (linhas contínuas). A localização das seções verticais é mostrada em linhas tracejadas. Áreas sombreadas indicam a orografia de acordo com a escala à esquerda (m).

3) RESULTADOS E DISCUSSÃO

No inverno ocorre a maior parte das frentes quentes, com uma frequência média de uma frente quente a cada 10 dias, enquanto que no verão a ocorre uma frente quente a cada 28 dias. O número de frentes quentes no inverno apresenta um desvio padrão maior que no verão, o que reflete a maior

variabilidade interanual nesta época do ano.

As anomalias de temperatura e vento em 850 hPa e pressão ao nível médio do mar (PNMM) (Figura 3) mostram que o padrão de verão e inverno é semelhante. No dia -1 [Figuras 3(a) e (d)] há uma massa de ar frio (anomalia negativa de temperatura) sobre a Argentina e predominância de ventos anômalos de sul, e uma anomalia negativa de PNMM sobre o oceano Atlântico. No verão esta anomalia encontra-se mais a leste em relação ao inverno, sinal da passagem dos sistemas ciclônicos mais afastados do continente nesta época do ano. O mínimo anômalo de temperatura é mais intenso no verão no dia -1.

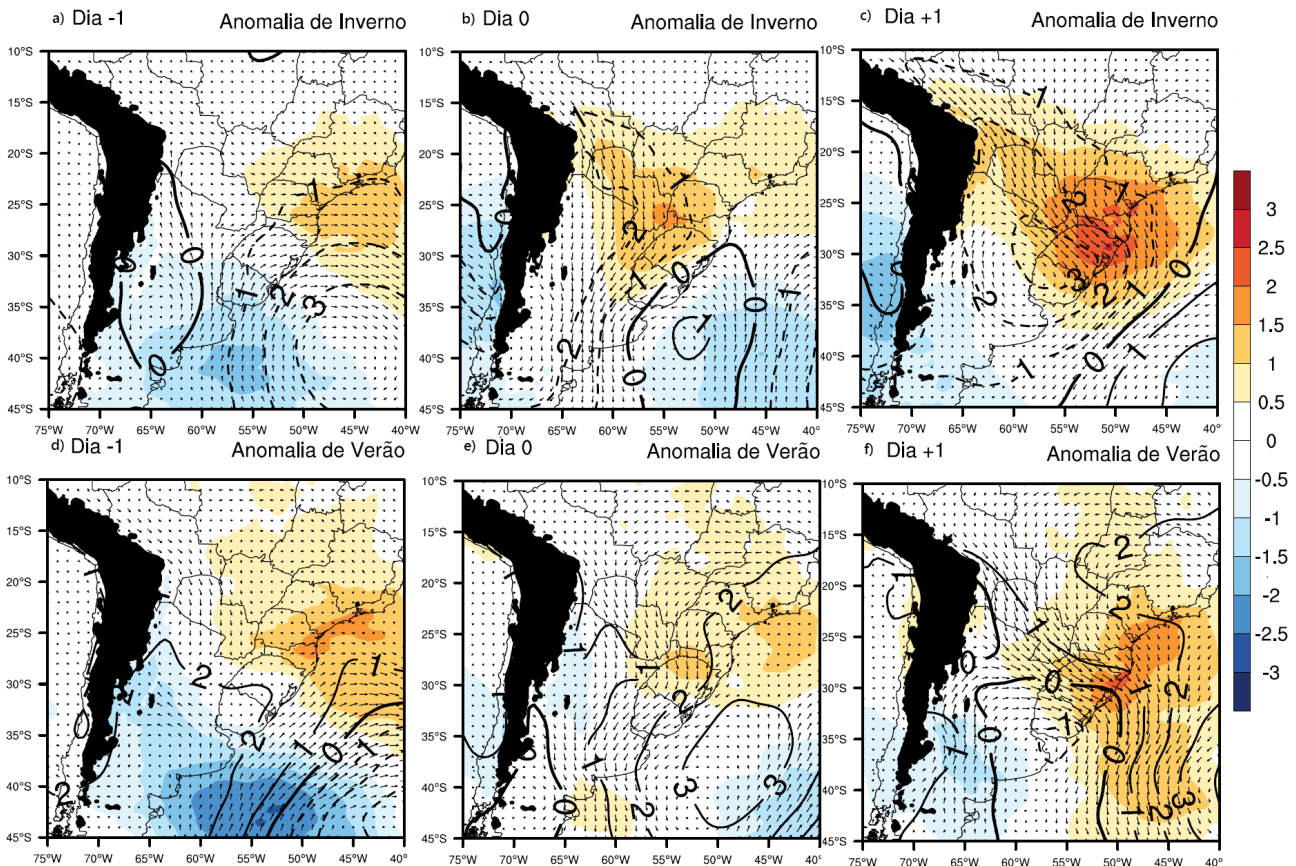


Figura 3: Anomalias de inverno da temperatura (sombreado, em °C) e do vento (vetores, em m/s) em 850 hPa, e da pressão ao nível médio do mar (contornos, em hPa) para os dias (a) -1, (b) 0 e (c) +1, e anomalias de verão das mesmas variáveis nos dias (d) -1, (e) 0 e (f) +1.

No dia 0 [Figuras 3(b) e (e)], quando ocorre a formação da frente quente, há um cavado anômalo de PNMM na região entre nordeste da Argentina, sul do Brasil e Paraguay. No inverno este cavado é mais profundo, e está associado a um máximo anômalo de temperatura mais intenso que no verão. Isto é um sinal da Baixa do Chaco (Saulo, 2004) e da Baixa do Noroeste da Argentina (Seluchi et al., 2003). O mínimo anômalo de PNMM causa uma aceleração dos ventos em baixos níveis, o que pode estar associado ao jato de baixos níveis da América do Sul (JBNAS) em algumas ocasiões. Neste dia está ocorrendo a frente quente, pois há um gradiente de temperatura e uma variação ciclônica dos ventos associados a um cavado de PNMM.

No dia +1 [Figuras 3(c) e (f)], em ambas as estações do ano ocorre a formação de um mínimo anômalo de PNMM e um giro ciclônico do vento em torno deste mínimo. Este padrão indica a formação de um ciclone extratropical na região, estando a frente quente no setor leste do ciclone. No verão a formação do ciclone ocorre mais ao sul, e o mínimo anômalo não é tão intenso quanto no inverno. O máximo de anomalia de temperatura é maior no inverno.

Ao passo que no inverno a BC e a BNOA aprofundam-se e auxiliam a formação de um ciclone

extratropical com grande frequência, no verão este processo é menos recorrente e as baixas são mais estacionárias. Os ventos anômalos em baixos níveis também são mais intensos no inverno, o que pode ser associado ao maior número de frentes quentes nesta época do ano.

O padrão na troposfera média (Figura 4) mostra o avanço de uma onda sinótica do Oceano Pacífico para o SEAS. No dia -1 (Figura 4(a) e (d)) há um cavado anômalo associado a uma circulação ciclônica no Oceano Pacífico, o qual no verão é menos intenso e aparece mais ao sul. Sobre o SEAS o fluxo é basicamente zonal, com anomalias positivas de magnitude do vento de oeste, o que denota a baroclinia presente na região já neste dia.

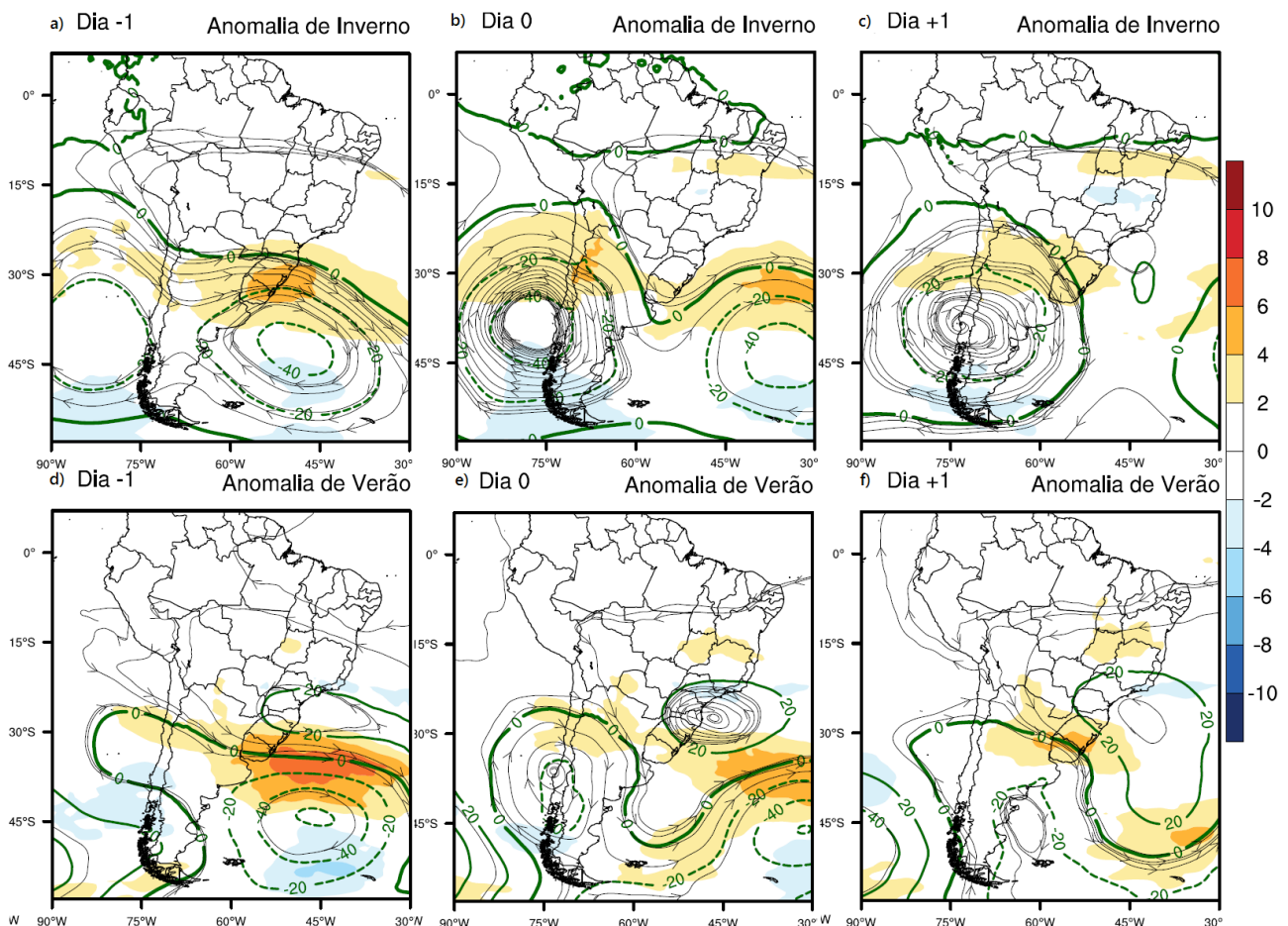


Figura 4: Anomalias de inverno do vento (linhas de corrente) e sua magnitude (sombreado, em m/s) em 500 hPa, e da altura geopotencial (contornos, em mgp) para os dias (a) -1, (b) 0 e (c) +1, e anomalias de verão das mesmas variáveis nos dias (d) -1, (e) 0 e (f) +1.

No dia 0 [Figura 4(b) e (e)] forma-se uma crista anômala de altura geopotencial sobre o SEAS, a qual é mais intensa no verão. Esta crista está vinculada ao ar quente em superfície, que avança na retaguarda da frente quente. No dia +1 a crista se desloca para sul e o cavado avança sobre o SEAS ocorre a formação do ciclone extratropical em superfície. O cavado em médios níveis causa advecção de vorticidade ciclônica na média troposfera e divergência em altos níveis. Além disso, na baixa troposfera há transporte de ar quente e úmido para o SEAS, favorecendo a ciclogênese.

A onda na troposfera média responsável pelo processo descrito no parágrafo anterior (Figura 4) tem cerca de 45° de comprimento (número de onda 8), tanto no inverno quanto no verão. Contudo, a amplitude da onda (máximos e mínimos de anomalia de altura geopotencial) é maior no inverno.

As seções transversais de temperatura potencial (θ) e temperatura potencial equivalente (θ_e)

mostram anomalias positivas destas variáveis em direção ao norte nos níveis mais baixos da troposfera (Figura 5). No dia 0 [Figura 5(b) e (e)] é notável o aumento das anomalias positivas na baixa troposfera devido ao escoamento de norte/noroeste. No verão as anomalias positivas se estendem até a alta troposfera, enquanto que no inverno ficam mais restritas à baixa troposfera.

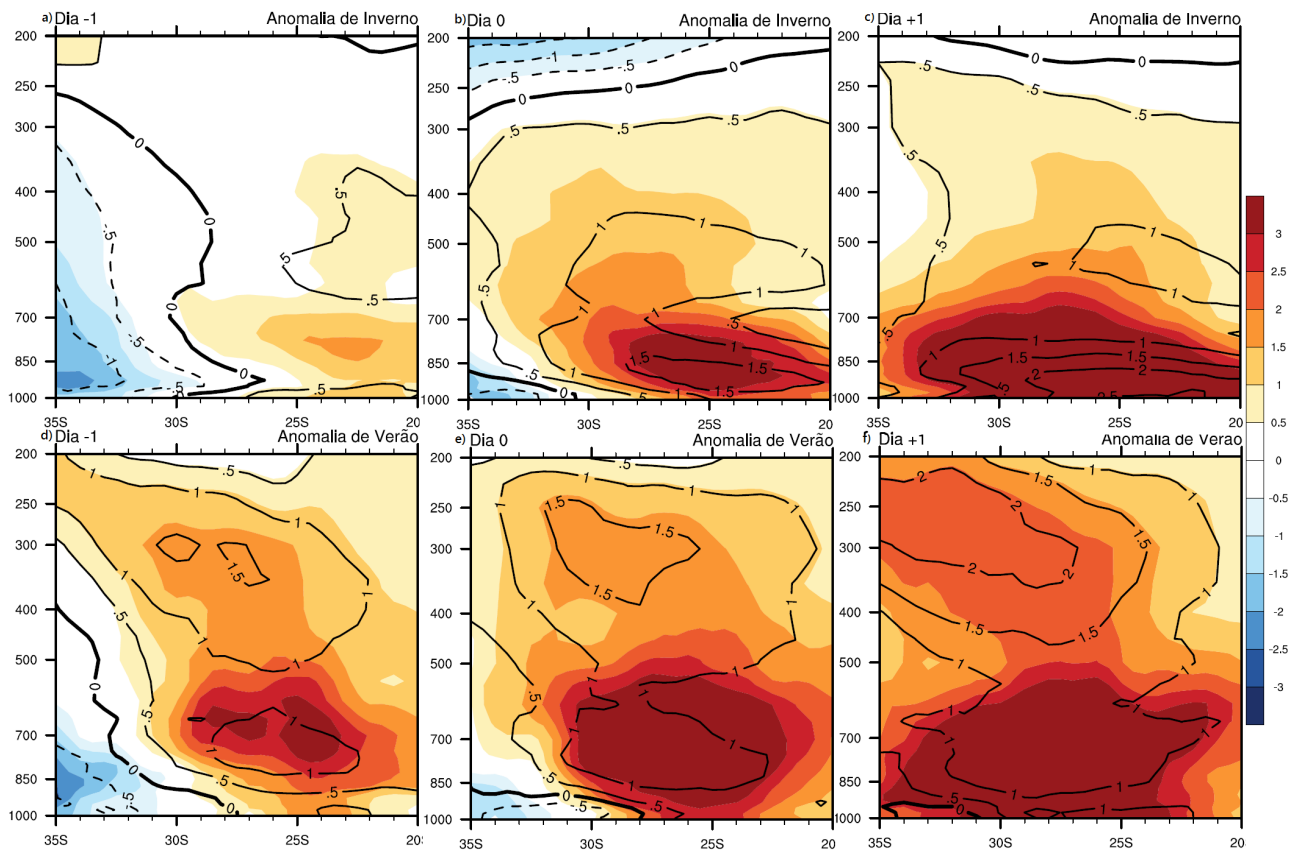


Figura 5: Seção vertical em 57°W das anomalias de inverno de θ_e (sombreado, em K) e de θ_d (contornos, em K) para os dias (a) -1, (b) 0 e (c) +1, e anomalias de verão das mesmas variáveis nos dias (d) -1, (e) 0 e (f) +1.

No dia 0, a rampa frontal quente é estimada pela isolinha de anomalia de θ_e igual a 0. No verão a rampa é mais vertical e difusa, com inclinação média estimada de 1:40, enquanto que no inverno tem inclinação de 1:150 e é facilmente identificada. Isto pode ter relação com os movimentos verticais, uma vez que a rampa mais vertical possibilita que as parcelas de ar alcancem a troposfera superior. Alguns autores também atribuíram as discontinuidades na rampa frontal quente a movimentos convectivos (Kempii e Sinclair, 2011; Metz et al., 2004). Outra característica notável é que considerando a umidade do ar no cálculo da temperatura potencial equivalente a caracterização das massas de ar é mais clara.

As seções verticais demonstram que no verão as anomalias de vento zonal são maiores (Figura 6), o que se deve ao fato de haver pouca ação de sistemas transientes nesta época do ano no SEAS. As anomalias de vento meridional apresentam mais diferenças na alta troposfera, notando-se um padrão semelhante ao do vento zonal, com ventos mais anômalos no verão. Na baixa troposfera, os ventos são de norte (anomalias negativas) no dia 0 [Figura 6(b) e (e)], o que pode ser um sinal do JBNAS. No dia +1 [Figura 6(c) e (f)] há um aumento das anomalias de vento de norte nos baixos níveis, o que sugere a intensificação do JBNAS.

Entre os dias 0 e +1 há transporte vertical de momentum zonal da alta para a baixa troposfera. As anomalias de vento zonal diminuem na alta troposfera e aumentam nos níveis inferiores, principalmente no verão. Isto corrobora o fato de no verão as frentes quentes causarem movimentos

verticais mais vigorosos.

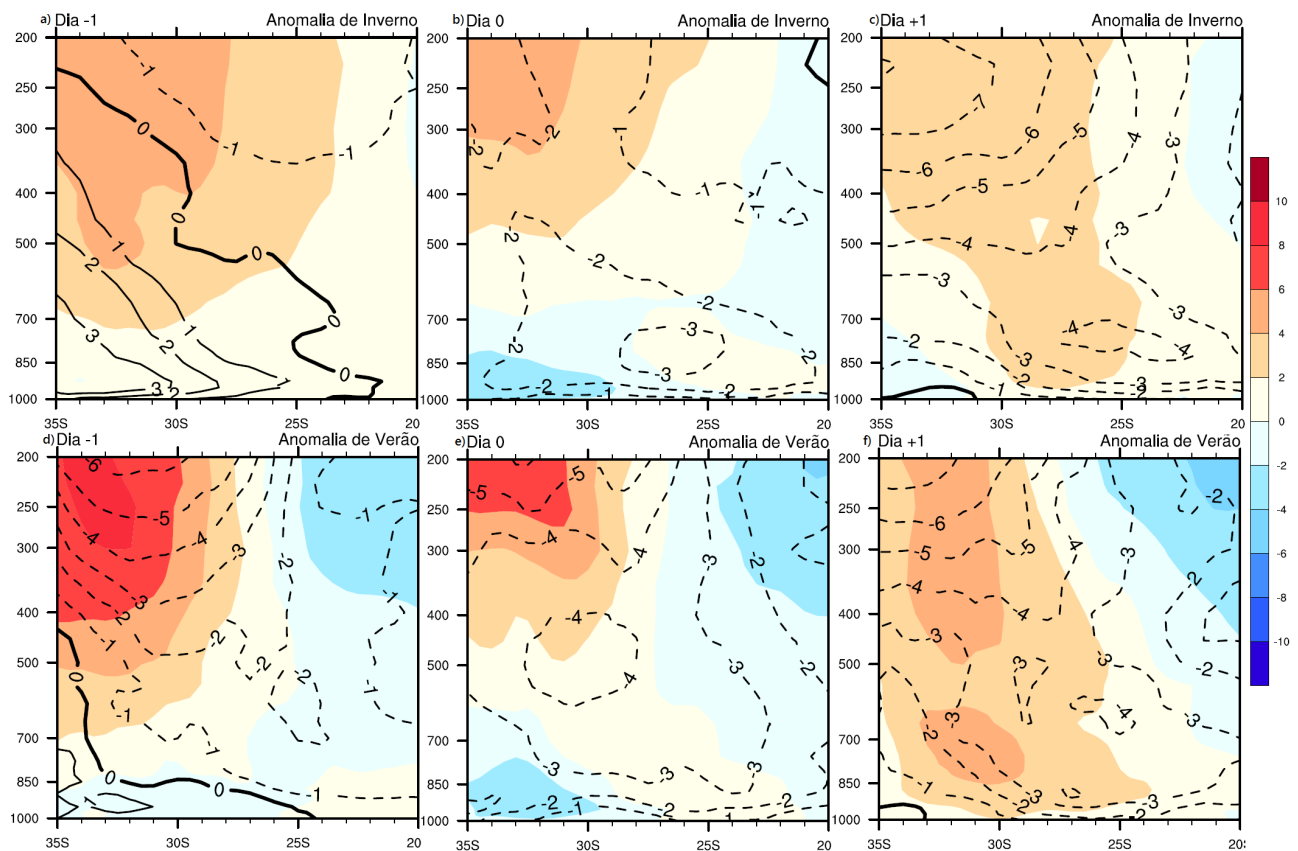


Figura 6: Seção vertical em 57°W das anomalias de inverno do vento zonal (sombreado, em m/s) e do vento meridional (contornos, em m/s) para os dias (a) -1, (b) 0 e (c) +1, e anomalias de verão das mesmas variáveis nos dias (d) -1, (e) 0 e (f) +1.

4) CONCLUSÕES

As frentes quentes são muito comuns no Sudeste da América do Sul. Ocorrem com maior frequência no inverno e nas estações de transição, quando a maior baroclinia na região facilita a criação do gradiente de temperatura potencial equivalente. A época mais fria do ano também favorece a atuação das ondas sinóticas na alta troposfera, as quais têm um papel importante na formação e desenvolvimento das frentes quentes.

A formação das frentes quentes é altamente dependente dos sistemas de baixa pressão à leste dos Andes. Estes sistemas são responsáveis por acelerar o vento de norte em baixos níveis, causando advecção quente, o que é um fator frontogenético. No verão a Baixa do Chaco é mais intensa, sendo a mais atuante na formação do sistema de baixa pressão, enquanto que no inverno a Baixa do Noroeste da Argentina tem uma influência maior. A aceleração dos ventos em baixos níveis em algumas situações forma o Jato de Baixos Níveis da América do Sul, estando a frente quente vinculada à saída do Jato.

A rampa frontal no verão é mais vertical que no inverno, o que favorece movimentos ascendentes mais intensos e possibilita as trocas de momentum na vertical. No verão, tanto a massa de ar na retaguarda quanto na dianteira da frente quente são quentes, portanto a rampa frontal não é muito inclinada.

REFERÊNCIAS

- Carvalho, M. H., 2000:** Estudo observacional de uma frente quente ocorrida na região Sul do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11, Rio de Janeiro, Brazil. Anais... Rio de Janeiro, Brasil: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 3218-3225.
- Carvalho, M. H. e Fedorova, N., 2011:** Estudo sobre frentes quentes que ocorrem no Sul do Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia 26 (2): 257–272.
- Catto, J., Jakob, C., Berry, G. e Nichols, N., 2012:** Relating global precipitation to atmospheric fronts. Geophysical Research Letters 39 (10): 1–6.
- Garreaud, R., 2000:** Cold air incursions over subtropical South America: Mean structure and dynamics. Monthly Weather Review, 128 (7): 2544-2559.
- Kemppi, M. L., Sinclair, V. A., 2011:** Structure of a warm front: Helsinki testbed observations and model simulation. Monthly Weather Review, 139 (9): 2876-2900.
- Metz, N. D., Schultz, D. M., e Johns, R. H., 2004:** Extratropical cyclones with multiple warm-front-like baroclinic zones and their relationship to severe convective storms. Weather and Forecasting, 19 (5): 907-916.
- Norte, F. A., 1999:** Características del viento Zonda en la Región de Cuyo. Dissertación doctoral, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 220 pp.
- Norte, F.A., Seluchi, M. E., Gomes, J. L. e Simonelli, S. C., 2007:** Análisis de una Ola de Calor Extrema en la Región Subtropical de América del Sur. Revista Brasileira de Meteorologia, 22 (3): 373-386.
- Saha, S, et al., 2010:** The NCEP climate forecast system reanalysis. Bulletin of the American Meteorological Society, 91 (8): 1015-1057.
- Saulo, A. C., Seluchi, M. E. e Nicolini, M., 2004:** A case study of a Chaco low-level jet event. Monthly Weather Review, 132 (11): 2669-2683.
- Seluchi, M. E., Saulo, A. C., Nicolini, M. e Satyamurty, P., 2003:** The northwestern Argentinean low: A study of two typical events. Monthly Weather Review, 131 (10): 2361-2378.