

Análise de um Sistema Convectivo no Sul do Brasil Utilizando Índices de Instabilidade

*Analysis of a Convective System in Southern Brazil
Using Indices of Instability*

Luciana Cardoso Neta¹, Morgana Vaz da Silva²

¹Universidade Federal de Santa Maria - Santa Maria, RS, Brasil
lcneta@gmail.com

²Universidade Federal do Paraná – Paraná, PR, Brasil
morgana@gmail.com

Resumo

O objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento de um Sistema Convectivo de Mesoescala que ocorreu no Sul da América do Sul nos dias 20 e 21 de outubro de 2007. Observou-se que este sistema ocorreu devido à combinação do Jato Subtropical, advecção de calor e umidade em baixos níveis. Tal sistema causou queda de granizo no dia 20 de outubro de 2007 nas seguintes cidades do Estado do Rio Grande do Sul: Cândido Godoi, Ijuí, Santo Cristo, Passo Fundo, Itaqui, Santa Rosa, São Sebastião Missões e 3 Maio. Foram utilizadas imagens de satélite, o modelo WRF e alguns índices de instabilidade atmosférica como K, TT e Lapse Rate. O Índice K obteve valores entre 10°C e 30°C, não indicando intensa convecção, de acordo com valores críticos existentes na literatura. O Índice TT, com valores entre 45 °C e 51 °C, indicou condições favoráveis à convecção, com valores também pouco diferentes nas fases de formação e de maturação. O Índice Lapse Rate apresentaram valores entre 16 e 20 °C/km tanto na formação quanto na maturação dos sistemas, devido a grande instabilidade.

Palavras-chave: Sistema convectivo mesoescala. Índice de instabilidade.

Abstract

The aim this study was to analyze the behavior a Mesoscale Convective System that occurred in southern South America on 20 and 21 October 2007. Observed that this system was due to the combined Subtropical Jet, advection heat and moisture at low levels. Such a system caused hail damage on October 20, 2007 in the following cities of Rio Grande do Sul State: Cândido Godoi, Ijuí, Santo Cristo, Passo Fundo, Itaqui, Santa Rosa, São Sebastião Missões and 3 Maio. Were used Satellite images, WRF model and some indices atmospheric instability as K, TT and Lapse Rate. The index K values obtained between 10°C and 30°C, indicating no intense convection, according critical values in the existing literature. The TT index, with values between 45 and 51 °C indicated favorable conditions for convection, with also slightly different values in the stages of formation and maturation. The Lapse Rate Index showed values between 16 and 20 °C / km in both the formation and maturation of systems due to instability.

Keywords: Mesoscale convective system. Indices of instability.

1. Introdução

O Sul da América do Sul (SAS) é frequentemente atingido por diversos fenômenos atmosféricos que provocam elevada precipitação em superfície, muitas vezes acompanhados por rajadas de vento, queda de granizo e outros fenômenos severos que causam grandes prejuízos à sociedade (CARDOSO NETA & GOMES, 2010). Dentre estes sistemas destacam-se os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), que ocorrem principalmente nos meses mais quentes (primavera e verão) (FRITSCH et al., 1986; HEIDEMAN & FRITSCH, 1988; MACHADO & ROSSOW, 1993; MACHADO et al., 1998). Os SCM são constituídos por aglomerados de nuvens *Cumulonimbus* (Cb), também chamadas nuvens de tempestade, e podem apresentar diversos formatos, tempo de vida e dimensões espaciais, (COTTON & ANTHES, 1989) podendo ocorrer isoladamente ou sofrer processos de fusão e divisão (VILA et al., 2008). Estes sistemas têm grande influência no regime de precipitação em latitudes médias (MACEDO et al., 2002). De acordo com Campos & Silva (2010) os SCM são mais frequentes na metade norte do RS, quando comparados com a metade sul, gerando maiores volumes de precipitação influenciando no regime hídrico da região. Salio et al. (2007) afirmam que em algumas partes do globo os SCM são responsáveis por mais de 50% do total anual de precipitação.

Identificar, com antecedência de várias horas, as condições favoráveis à formação de SCM é essencial para a veiculação adequada de alertas e antecipar a adoção de estratégias que eliminem ou minimizem o impacto negativo destes fenômenos meteorológicos (NASCIMENTO et al., 2005). Uma ferramenta importante para sintetizar algumas características termodinâmicas da atmosfera são os índices de instabilidade atmosférica.

Segundo o Glossário de Meteorologia da Sociedade Americana de Meteorologia, os índices de instabilidade podem ser considerados como qualquer quantidade que possa estimar o potencial da atmosfera para atividade convectiva e que possam ser avaliados a partir dos dados de sondagens operacionais. Desta forma, os valores numéricos assumidos pelos índices de instabilidade atmosférica fornecem uma avaliação da situação termodinâmica e do

cisalhamento vertical do vento com relação às condições convectivas no momento em que os dados usados para os cálculos são adquiridos (BENETTI & DIAS, 1986; FOGACCIA & PEREIRA FILHO, 2002; HALLAK & PEREIRA FILHO, 2012).

Com estes valores numéricos é possível estimar o potencial da atmosfera em relação à atividade convectiva, sendo útil na previsão do tempo de curto prazo (3 a 6 horas de antecedência). Estudos observacionais realizados na cidade de São Paulo (TOMAZIELLO e GANDU, 2009) e em Porto Alegre (CARDOSO et al., 2006), indicaram que esses índices são ferramentas de auxílio na ocorrência de tempestades, bem como na determinação de sazonalidade da precipitação pluviométrica.

Dentro deste contexto o objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento dos SCM observados nos dias 20 e 21 de outubro de 2007 no SAS, através dos índices de estabilidade k, Total Totals e Lapse Rate durante as etapas de formação, maturação e dissipação do SCM.

2. Materiais e Métodos

Foram utilizadas imagens de satélite geoestacionário da série GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*), realçadas no canal infravermelho, obtidas no banco de dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudo Climáticos (CPTEC/INPE), das 12:00 UTC do dia 20 e até às 03:00 UTC do dia 21 de outubro de 2007.

O intervalo de tempo entre as imagens consecutivas foi de aproximadamente 15 minutos. Estas imagens serviram para identificar o sistema convectivo, a partir do valor de temperatura de brilho (T_{IR}) do topo das nuvens. Na literatura não há um valor específico a ser utilizado, mas precisa ser escolhido de maneira a assegurar que a parcela de ar encontra-se, pelo menos, na média troposfera (em torno de 5 km de altura), pois esta condição indica a existência de correntes ascendentes fortes que, por sua vez, são indispensáveis para a formação das tempestades (CARDOSO NETA et al., 2014).

Neste trabalho, para identificar o sistema convectivo foi utilizado o limiar $T_{IR} < -30^{\circ}\text{C}$, que indica topo das nuvens em torno de 8 a 9 km de altura (MACHADO et al., 1998). Para identificar as áreas com convecção profunda, foi

utilizado o limiar $T_{IR} < -50^{\circ}\text{C}$ que indica topo das nuvens em torno de 12 a 13 km de altura.

As condições ambientais associadas à ocorrência dos SCM foram obtidas utilizando o modelo *Weather Research and Forecasting* (WRF-ARW), versão 2.2, com duas grades aninhadas (com 90km e 30km de resolução horizontal). Os dados iniciais e de contorno, com 1° de resolução em latitude e longitude, foram atualizados a cada 6 horas em simulações que iniciaram 12 horas antes do horário de formação do primeiro sistema de cada sequência, com saídas horárias.

Os campos analisados neste trabalho foram àqueles obtidos com as grades de 90km e 30km de espaçamento horizontal entre os pontos.

Os índices de instabilidade atmosférica e seus limiares, calculados para este trabalho foram:

a) Índice K

O índice K ($^{\circ}\text{C}$) é uma medida potencial de desenvolvimento de tempestades, baseada na taxa vertical de variação de temperatura, no conteúdo de umidade na baixa troposfera e na extensão vertical da camada úmida. Segundo George (1960), o índice K é definido como:

$$K=(T_{850\text{hPa}}-T_{500\text{hPa}})+T_{d850\text{hPa}}-(T_{700\text{hPa}}-T_{d700\text{hPa}}) \quad (1)$$

onde, $T_{850\text{hPa}}$ é a temperatura do ar em 850hPa, $^{\circ}\text{C}$; $T_{500\text{hPa}}$ é a temperatura do ar em 500hPa, $^{\circ}\text{C}$; $T_{d850\text{hPa}}$ é a temperatura do ponto de orvalho em 850hPa, $^{\circ}\text{C}$; $T_{700\text{hPa}}$ é a temperatura do ponto de orvalho em 700hPa, $^{\circ}\text{C}$.

O índice K considera a taxa de variação vertical de temperatura (TVVT) de níveis médios, a umidade em 850hPa, e o nível de secura atmosférica em 700hPa (NASCIMENTO, 2005).

Segundo Henry (1987) valores de K acima de 30°C são considerados altos (alto potencial para ocorrência de tempestades), e acima de 40°C são extremamente altos (potencial extremo para tempestade). Bluestein (1993) comenta que o índice K é mais útil na previsão de tempestades na ausência de forçantes sinóticas intensas.

b) Índice Total Totals (TT)

O índice TT ($^{\circ}\text{C}$) foi desenvolvido por Miller (1972) e é dado pela soma de outros dois índices convectivos, o vertical Totals (VT) e o Cross Totals (CT):

$$TT=CT+VT \quad (2)$$

onde, CT expressa à combinação do teor de umidade em baixos níveis com as temperaturas superiores e VT expressa à variação vertical da temperatura entre os níveis 850 e 500hPa, dados por:

$$CT=T_{d850\text{hPa}} - T_{500\text{hPa}} \quad (3)$$

$$VT=T_{850\text{hPa}}-T_{500\text{hPa}} \quad (4)$$

Substituindo as equações (3) e (4) na equação (2), resulta:

$$TT = T_{850\text{hPa}} + T_{d850\text{hPa}} - 2 (T_{500\text{hPa}}) \quad (5)$$

Para Benetti e Silva Dias (1986), a maior limitação tanto do índice TT quanto do índice K é a dependência da umidade em 850hPa, pois maiores valores de umidade em baixos níveis podem estar localizados abaixo deste nível. Quando a massa de ar é quente e úmida, estes dois índices fornecem interpretações semelhantes. Entretanto, quando o ar é mais frio e seco o índice TT fornece melhores resultados por considerar a temperatura do ar em níveis médios.

c) Índice Lapse Rate (TVVT – Taxa Vertical Variação Temperatura)

Segundo alguns autores, TVVT é definida como a taxa de decréscimo com a altura de uma variável atmosférica. A variável envolvida é a temperatura a menos que especificado em contrário. A terminologia surge da palavra *lapso*, no sentido de uma diminuição ou queda, portanto, a taxa de lapso é a taxa de decréscimo com a altura e não simplesmente a taxa de mudança. Segundo Nascimento (2005) e Mourão et al. (2006) quanto maior for a TVVT para uma dada camada (mais profunda a camada), maior será a instabilidade atmosférica para convecção profunda. Valores de TVVT são: a) menor que 6°Ckm^{-1} indicam condição estável; b) entre 6°Ckm^{-1} e $9.5^{\circ}\text{Ckm}^{-1}$ ambiente é condicionalmente instável e

c) a partir de $9.5^{\circ}\text{Ckm}^{-1}$ torna-se instável (situação de instabilidade extrema).

$$\text{TVVT} = T_{700\text{hPa}} - T_{500\text{hPa}} \quad (9)$$

onde, $T_{700\text{hPa}}$ é a temperatura do ar em 700hPa, $^{\circ}\text{C}$; $T_{500\text{hPa}}$ é a temperatura do ar em 500hPa, $^{\circ}\text{C}$.

3. Resultados e Discussão

A Figura 1 mostra uma sequência de imagens de satélite, do sistema convectivo de mesoescala que iniciou aproximadamente às 12:00 UTC do dia 20 e dissipou às 03:00UTC do dia 21 de outubro de 2007. Na Figura 1a, relativa às 12:15 UTC notam-se três SCM indicados pelos números 1, 2, 3, sobre a Argentina e o Uruguai. Posteriormente, (Fig. 1b) é observada a fusão entre estes três SCM, resultando no SCM 4. Na tarde do dia 20 de outubro de 2007 o sistema convectivo atingiu a cidade de Uruguaiana, parte oeste do estado. Na Figura 1c, pode-se observar um novo sistema (SCM 5) localizado na fronteira oeste do Rio Grande do Sul (RS) com a Argentina. Da fusão dos sistemas convectivos 4 e 5 resultou no sistema 6 (Fig. 1d). De acordo com as imagens de satélite disponíveis, foi próximo a este horário, 20:00 UTC do dia 20 de outubro de 2007, que o SCM 6 atingiu a área máxima. A Figura 1e mostra, além do SCM 6, dois novos sistemas SCM 7 e SCM 8. Ainda na Figura 1e (22:30UTC) percebe-se que a convecção atingiu o estado de Santa Catarina (SC). Na Figura 1f é observada a fusão entre estes sistemas que resultou o SCM 9. Posteriormente, o SCM 9 entra em dissipação no dia 21 de outubro de 2007 de acordo com as imagens de satélite disponíveis (Fig.1g).

a) Índice K e TT

A Figura 2 mostra a combinação entre os valores dos índices K ($^{\circ}\text{C}$, hachurado) com o TT ($^{\circ}\text{C}$, linhas sólidas), durante o ciclo de vida do sistema. Observa-se que na formação dos sistemas convectivos os valores do índice K estavam entre 10°C e 20°C (Fig. 2a, 2b e 2c). Para regiões de latitudes médias dos Estados Unidos, o índice k inferior a 20°C indica uma probabilidade de ocorrência de 20%.

Na fase de formação do SCM os valores do índice TT estavam entre 45°C e 48°C , que de acordo com Miller (1972) indicam tempestades diversas.

Na fase de maturação do sistema convectivo (Fig. 2d e 2e), os valores dos índices K estavam entre 20°C e 30°C , ou seja, aumentando o potencial de tempestade em relação aos horários anteriores. E o TT manteve-se em 48°C , valor idêntico á fase de formação. No dia 21 de outubro de 2007 (Fig. 2f e 2g), observa-se a formação de novos sistemas convectivos (SCM 7, SCM 8 e SCM 9), e os valores do índice K ultrapassaram 30°C e os do índice TT eram de 51°C , que indicam tempestades dispersas numerosas e tornados isolados, de acordo com Miller (1972).

O índice TT obteve valores entre 45°C e 51°C , indicando condições favoráveis à convecção, com valores também pouco diferentes nas fases de formação e de maturação do sistema convectivo. Silva Dias (2000) comenta que a combinação dos índices $k > 24$ com $\text{TT} > 45$ indica tendência de alta precipitação acumulada, enquanto que a combinação de $k < 24$ com $\text{TT} > 45$ indica tendência de desenvolvimento de tempestade severa.

b) Índice Lapse-Rates (TVVT)

Os campos de Lapse Rate (TVVT) mostrados na Figura 3 apresentaram valores entre 16°C/km e 20°C/km tanto na formação (Fig. 3a, 3b e 3c) quanto na maturação dos sistemas (Fig. 3d e 3e), que indica uma situação de instabilidade extrema.

Nas Figuras 3f e 3g, os valores críticos estavam entre 16°C/km e 20°C/km . Segundo Nascimento (2005) os valores de TVVT menores que 6°C/Km indicam condição estável; entre 6°C/Km e 9.5°C/Km o ambiente é condicionalmente instável, tornando-se absolutamente instável a partir de cerca de 9.5°C/km .

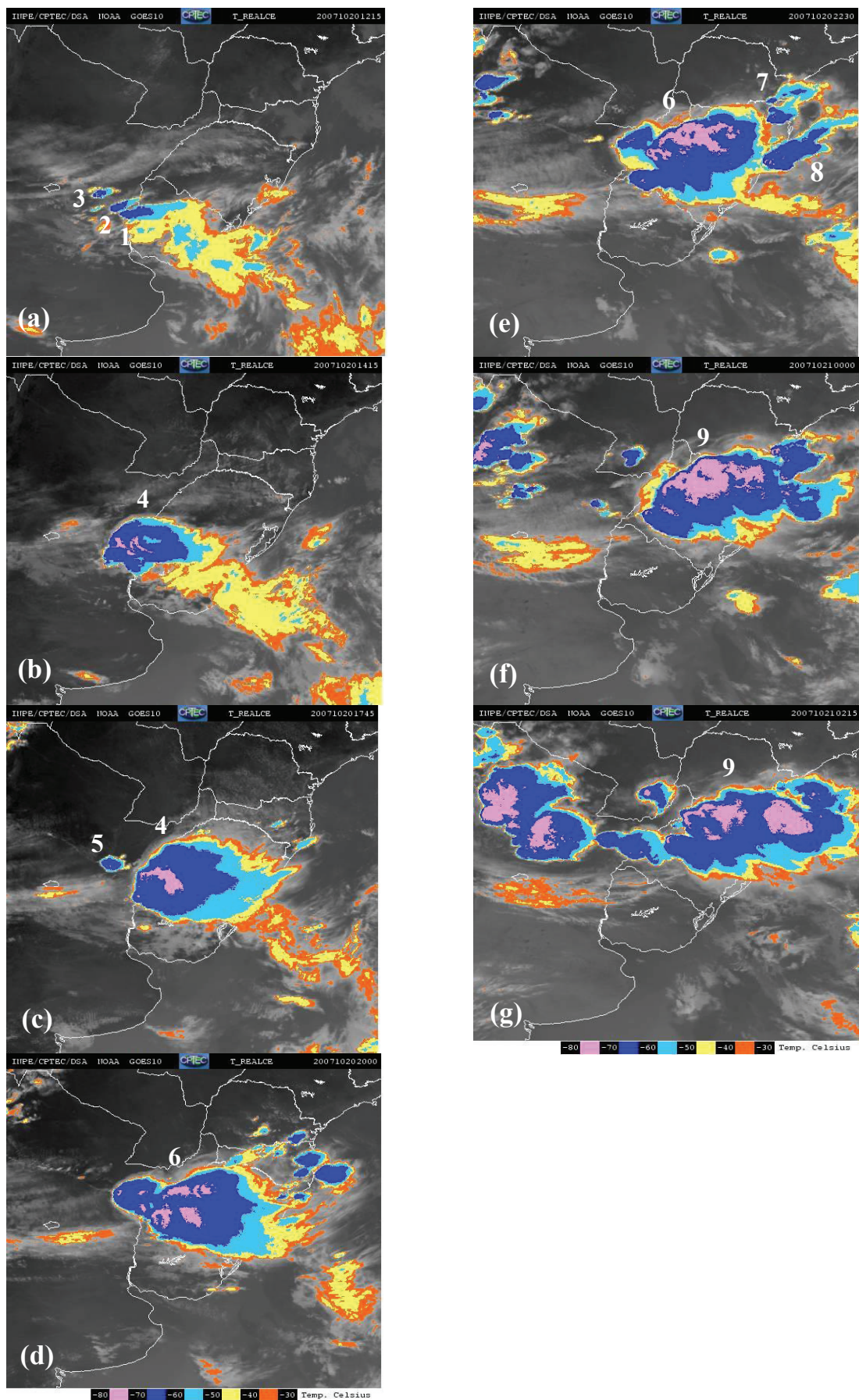


Figura 1 - Imagens de satélite geostacionário da série GOES, dos dias 20 e 21 de outubro de 2007. Dia 20/10/2007: (a) 12:15UTC, (b) 14:15UTC, (c) 17:45UTC, (d) 20:00UTC (e) 22:30UTC e do dia 21/10/2007 (f) 00:00UTC e (g) 02:15UTC.

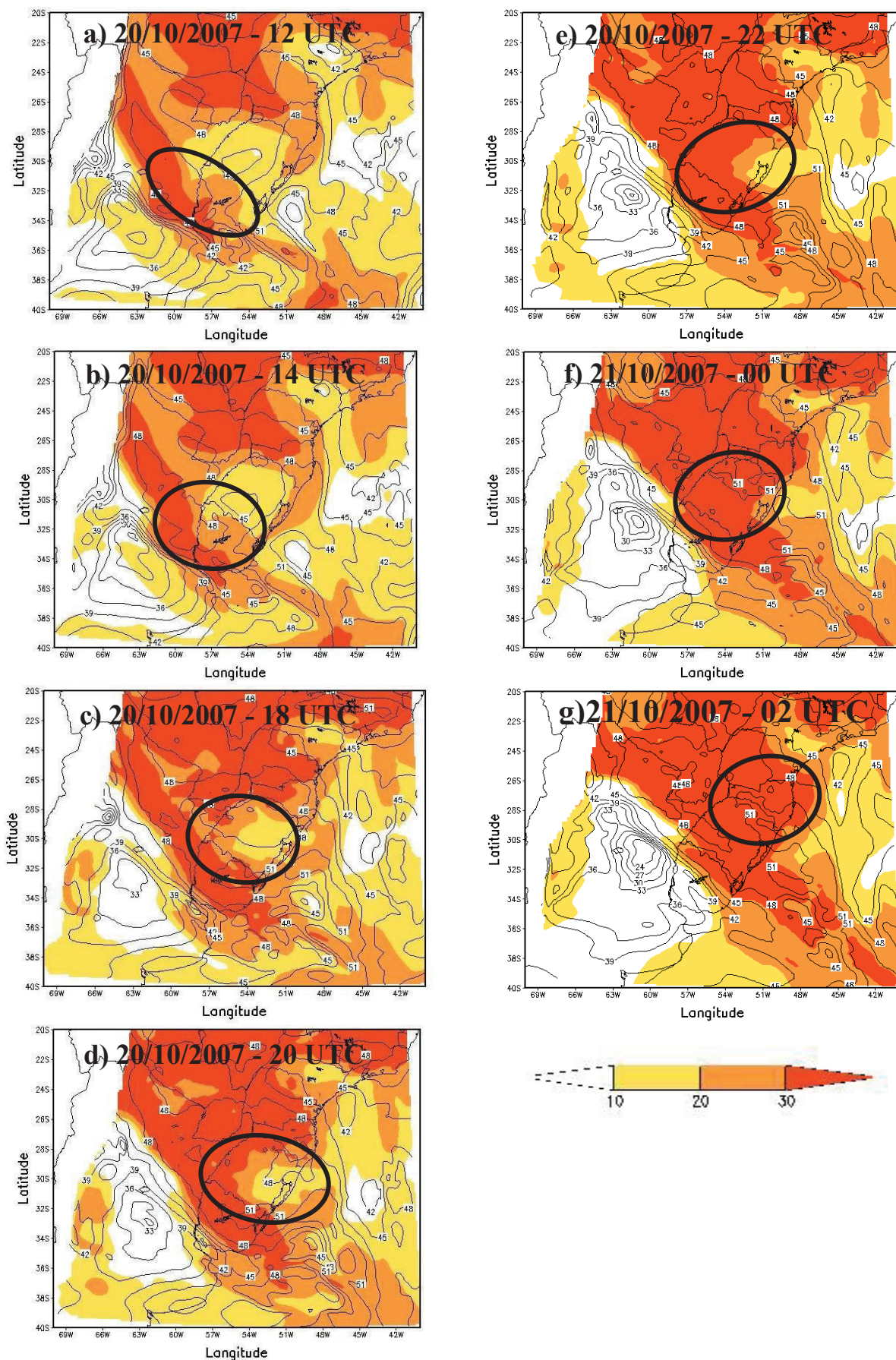


Figura 2 – Comportamento da combinação dos índices K (hachurado, °C) e TT (linhas sólidas, °C), para os dias 20 e 21/10/2007. Os círculos traçados nas figuras indicam as regiões de formação, dissipação e maturação dos sistemas, nos respectivos horários.

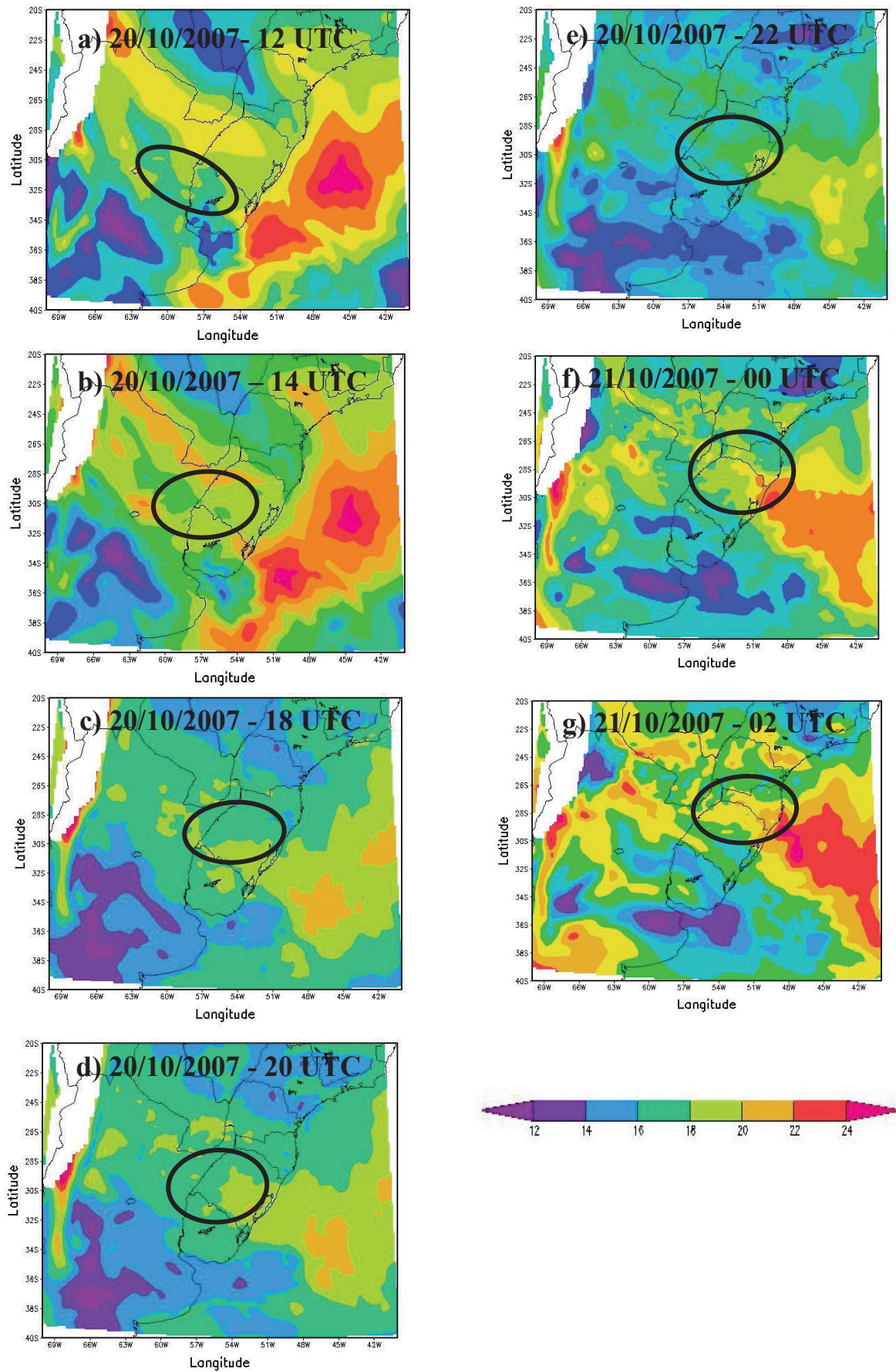


Figura 3 – Comportamento da Lapse Rate (TVVT), para os dias 20 e 21/10/2007. Os círculos traçados nas figuras indicam as regiões de formação, dissipação e maturação dos sistemas, nos respectivos horários

4. Conclusão

A análise das imagens de satélite e dos campos de meteorológicos mostrou a formação e evolução do SCM identificado nos dias 20 e 21 de outubro de 2007, que passaram por vários processos de fusão resultando em uma extensa uma atividade convectiva sobre o Sul do Brasil. Os SCM se deram devido à combinação do Jato Subtropical, advecção de calor e umidade em baixos níveis. Os resultados sugerem que para esse caso os índices K e TT apresentaram resultados muito bons, apresentando seus valores críticos sobre as regiões de atuação do sistema. No índice do Lapse Rate, observa-se que há uma concordância razoável, porem resultados não foram tão bons quanto os outros dois descritos (K e TT). O índice K obteve valores entre 10°C e 20°C no período de formação do sistema, e acima de 30°C na maturação e dissipação do sistema. O índice TT obteve valores entre 45 °C e 51 °C, indicando condições favoráveis à convecção, com valores também pouco diferentes nas fases de formação e de maturação do sistema convectivo. O índice de Lapse Rates (TVVT) variou entre 16 °C/km e 20 °C/km, tornando-se absolutamente instável.

Referência

- BENETI, C. A.; SILVA DIAS, M. A. F. Análise da performance de índices de instabilidade como previsores de tempestades na região de São Paulo. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Brasília, DF, v.2, pp. 65-70, **Anais do...** Brasília, 1986.
- BLUESTEIN, H. B.; JAIN, M. Formation of mesoscale lines of precipitation: severe squall line in Oklahoma during the spring. **Journal of the Atmospheric Science**, v. 42, p. 1711-32, 1985.
- CAMPOS, C. R. J.; SILVA, M. V. IMPACTO DE SISTEMAS METEOROLÓGICOS NO REGIME HÍDRICO DO RIO GRANDE DO SUL EM 2006. **Revista Brasileira de Geofísica** (Impresso), v. 28, p. 121-136, 2010.
- CARDOSO NETA, L.; GOMES, R.G. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE SCM QUE AFETARAM O SUL DA AMÉRICA DO SUL EM JANEIRO DE 2003. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 9, Fortaleza, Ceará, **Anais do...** Fortaleza, 2010, CDROM.
- CARDOSO NETA, L.; REINKE, C. K. P.; FIGUEIREDO, E. L.; GOMES, R.G. Análise das variações de descargas atmosféricas e de precipitação geradas por um sistema convectivo no Sudeste Brasileiro, **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ** (impresso), v.37-2, p. 89-99, 2014.
- CARDOSO, N. K .R.; DINIZ, G .B.; MARQUES, J. L.; PRESTERS, S.D. Relações entre índices de instabilidade e as chuvas em Porto Alegre-RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16, Florianópolis, SC, **Anais do...**, Florianópolis, 2006.
- COTTON, W.R.; ANTHES, R.A. **Storm and Cloud Dynamics**, Academic Press, 1993, 883p.
- FOGACCIA, C. V. C.; PEREIRA FILHO, A. J. Turbulência e cisalhamento do vento na área do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002, Foz do Iguaçu, (PR). **Anais do...**, 2002.1 CDROM.
- FRITSCH, J. M.; KANE, R. J.; CHELIUS, C. R., The contribution of mesoscale convective weather systems to the warmseason precipitation in the United States. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, 25, p.1333–1345, 1986.
- GEORGE, J. J. **Weather Forecasting for Aeronautics**. Academic Press, 1960, 673 p.
- HALLAK, R.; PEREIRA FILHO, J. A. Análise de desempenho de índices de instabilidade atmosférica na previsão de fenômenos convectivos de mesoescala na região metropolitana de São Paulo entre 28 de janeiro e 04 de fevereiro de 2004. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.2, p. 173-206, 2012.

- HEIDEMAN, K. F.; FRITSCH, J. M. Forcing mechanisms and other characteristics of significant summertime precipitation. **Weather Forecasting**, v.3, p.115–130, 1988.
- HENRY, W. **The Skew-T, Log P Diagram**. National Weather Service Training Center, EUA, 1987, 68 p.
- MACEDO, S.R.; MACHADO, L.A.T.; VILA, D.A.; MORALES, C.A.; LAURENT, H. Monitoramento de Sistemas Convectivos de Mesoescala atuantes no Brasil utilizando o FORTRACC (Forecast and Tracking of Active and Convective Cells). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002, Foz do Iguaçu, PR. **Anais do...**, 2002.1CDROM.
- MACHADO, L.A.T., ROSSOW, W. B. Structural characteristics and radiative properties of tropical cloud clusters. **Monthly Weather Review**, v.121, 12, p. 3234-3260, 1993.
- MACHADO, L.A.T.; ROSSOW, W.B.; GUEDES, R.L.; WALKER, A.W. Life Cycle Variations of Mesoscale Convective Systems over the Americas. **Monthly Weather Review**, v.126, p.1630-1654, 1998.
- MOURÃO, C. E. F., et al., Estudo do Comportamento de indicadores de tempo severo em casos de tempestade sobre o Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16, Florianópolis, SC, **Anais do...**, Florianópolis 2006.
- MILLER, R. C. **Notes on analysis and severe storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central. Technical Report 200**, Air Weather Service, United States Air Force, 190 pp., 1972.
- NASCIMENTO, E. L. Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: uma estratégia operacional adotável no Brasil? *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.20, n.1, p. 121-140, 2005.
- SALIO, P.; NICOLINI, M.; ZIPSER, E. Mesoscale Convective Systems over Southeastern South America and their relationship with the South American Low-Level Jet. **Monthly Weather Review**, v.135, p. 1290-1309, 2007.
- TOMAZIELLO, A.C.N.; GANDU, A.W. **Severe weather indices: adaptation of thresholds to metropolitan region of Sao Paulo, Brazil**. In: WMO Symposium on Nowcasting and Very Short Term Forecasting, Whistler - British Columbia. Proceedings, 2009.
- VILA, D.A.; MACHADO, L.A.T.; LAURENT, H.; VELASCO, I. Forecast and tracking the evolution of cloud clusters (ForTraCC) using satellite infrared imagery: methodology and validation. **Weather and Forecasting**, v.23, p.233-245, 2008.