

# ESTUDO DA PARTIÇÃO DE ENERGIA EM MODOS VERTICAIS E HORIZONTAIS DURANTE EPISÓDIOS DE ZCAS: INFLUÊNCIA DA RESOLUÇÃO ESPACIAL DOS MODELOS E DA PARAMETRIZAÇÃO DE CONVECÇÃO PROFUNDA

*Renata Weissmann Borges Mendonça<sup>1</sup>*

*José Paulo Bonatti<sup>1</sup>*

**RESUMO.** As trocas horizontais e verticais de energia para um composto de sete episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) foram estudadas utilizando-se a teoria de decomposição em modos normais tridimensionais (Kasahara e Puri, 1981). O estudo foi dividido em duas partes: uma observacional, em que foi realizada uma análise energética do composto de ZCAS, considerando-se a partição vertical de energia entre os modos externo e internos, e as interações de energia entre os modos horizontais de oscilação, tais como Rossby, Kelvin, Mistó Rossby-Gravidade, Gravidade Este e Oeste; e uma parte de modelagem, em que se avaliou o desempenho do Modelo de Circulação Geral Atmosférico do CPTEC (MCGA-CPTEC) em simular a energética modal para o composto de ZCAS, enfatizando-se a influência da resolução espacial do modelo e de diferentes parametrizações de convecção profunda: Kuo, Relaxed Arakawa-Schubert (RAS) and Grell.

**ABSTRACT.** In this work, the horizontal and vertical energy exchanges for a composite of seven SACZ episodes were studied by expansion into three-dimensional normal mode functions (Kasahara and Puri, 1981). In the first part of this study (observational part) energetics analyses for the SACZ composite were performed with an emphasis on the vertical energy partition between external and internal modes and on the energy interactions within and between various horizontal oscillation modes, such as Rossby, Kelvin, Mixed Rossby-Gravity and West and East Gravity modes. In the second part (modelling experiments), the performance of the CPTEC Global Model in simulating the modal energetics for the SACZ composite was evaluated, emphasizing the influence of the model resolution and the three different deep convection parameterizations: Kuo, Relaxed Arakawa-Schubert (RAS) and Grell.

**Palavras-Chave:** modos normais, energética, parametrização de convecção

## INTRODUÇÃO

Durante o verão da América do Sul, mais de 50% da precipitação anual tanto na região tropical como subtropical é convectiva, com forte variação diurna (Silva Dias et al., 1987). A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é uma das características da circulação de verão regional da América do Sul, sendo responsável por grande parte da precipitação anual no Sul e Sudeste do

---

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE / Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC  
Rodovia Presidente Dutra, km 40 - Cep:12630-000 -Cachoeira Paulista-SP, Brasil  
Fone/Fax: 3101-2835; e-mail: [renataw@cptec.inpe.br](mailto:renataw@cptec.inpe.br) ; [bonatti@cptec.inpe.br](mailto:bonatti@cptec.inpe.br)

Brasil. Os episódios de ZCAS exemplificam as interações existentes entre a convecção tropical e os sistemas de grande escala.

A interação entre a convecção tropical e os sistemas de grande escala são caracterizados por processos de conversão de energias, sendo a liberação de calor latente e a energia potencial disponíveis fontes principais de energias nos trópicos e extratropicais, respectivamente. O ajuste à forçante convectiva ocorre através da propagação de ondas que interagem entre si, com a finalidade de restaurar o equilíbrio atmosférico. Desta forma, uma avaliação conveniente das escalas das forçantes e das ondas geradas fornece uma melhor compreensão do comportamento atmosférico.

Neste sentido, a análise da energética e suas transformações em termos de funções modos normais tridimensionais (FMN 3-D) constituem uma nova aproximação para um diagnóstico do comportamento da circulação atmosférica, em que os modos normais permitem uma partição da energia global entre os modos verticais externos e internos, e os modos horizontais de oscilação, tais como Rossby, Kelvin, Misto Rossby-Gravidade, Gravidade Este e Oeste.

O propósito deste trabalho é apresentar um estudo da partição vertical e horizontal de energia durante episódios de ZCAS, a fim de identificar quais modos são dominantes na formação, manutenção e dissipação destes eventos, bem como avaliar o impacto da resolução das análises e dos modelos e da parametrização de convecção profunda.

## **DADOS E METODOLOGIA**

Os dados utilizados para a análise observacional e de modelagem deste estudo consistem, basicamente, das análises do National Centers for Environmental Predictions (NCEP), com resoluções T126L28 e T170L42 e horário das 12Z, e o Modelo Global do CPTEC.

De acordo com a disponibilidade das análises, foram selecionados 7 episódios de ZCAS para a realização deste estudo, ocorridos nos períodos de janeiro, novembro e dezembro de 2001, e fevereiro de 2002.

A área definida para este estudo e o procedimento para a decomposição em modos normais são apresentados nas Figuras 1 e 2, respectivamente. O estudo é realizado para a América do Sul, enfatizando-se a região de atuação da ZCAS.

A equação da estrutura vertical, juntamente com as condições de contorno formam um problema de Sturm-Liouville, cujos modos verticais são os autovetores, e os autovalores associados são proporcionais à velocidade de fase da onda de gravidade pura (altura equivalente). Estes autovalores fornecem a estrutura horizontal para cada modo vertical  $n$ .

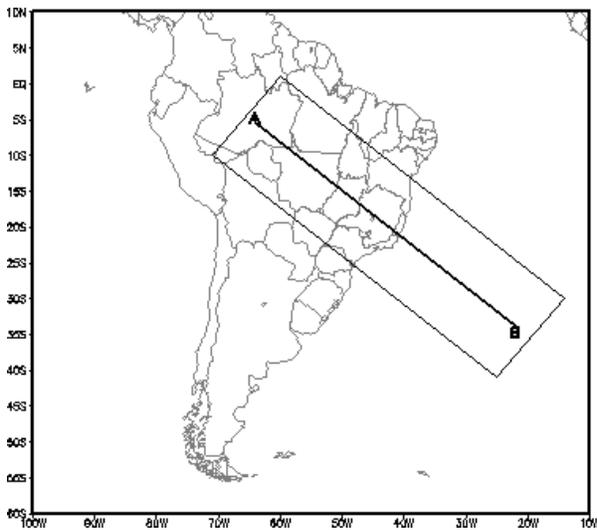


Figura 1 - Região definida para a partição de energia sobre a América do Sul.

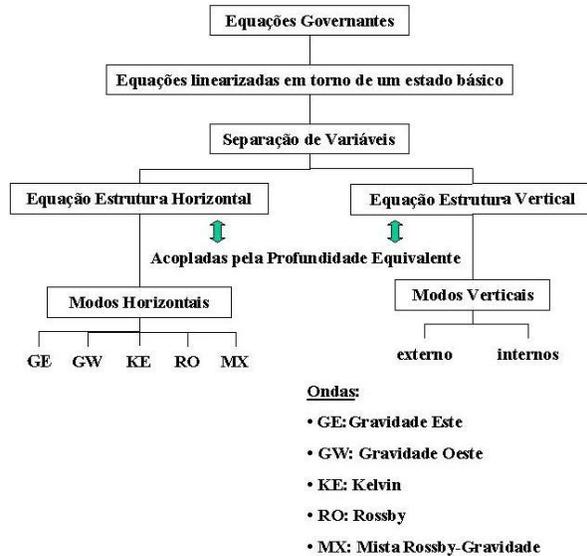


Figura 2 – Procedimento para a decomposição em modos verticais e horizontais. (Adaptada de Ko et al., 1989).

As equações (1) and (2) representam as contribuições para a energia total em cada modo vertical e horizontal, respectivamente:

$$P_n = \frac{E_{C_n} + E_{P_n}}{\sum_{n=0}^N (E_{C_n} + E_{P_n})} \times 100\% \quad (1)$$

$$PE_w = \frac{\sum_{n=n_1}^{n_2} E_{w_n}}{\sum_{n=1}^M E_{T_n}} \times 100\% \quad (2)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A estrutura vertical da atmosfera em termos de modos normais é dependente da resolução do modelo (Silva Dias e Bonatti, 1985). De acordo com Silva Dias and Bonatti (1986), destaca-se o modo interno  $n=5$ , com alturas equivalentes de 284m e 342m, respectivamente para 28 e 42 níveis, que apresentam máximos em torno de 800 e 200 hPa, e um zero em torno de 400 hPa. Este modo concentra a maior parte da energia nos trópicos, principalmente próximo às regiões de intensa atividade convectiva. O modo externo ( $H_1=9805m$  e  $H_1=9820m$ ) é dominante em latitudes mais altas, na região do cinturão de altas pressões.

Para simplificar a análise dos resultados, foram consideradas três categorias de modos verticais: (I)  $n=1$  a 3, com  $H_n$  acima de 600m; (II)  $n=4$  a 7, com  $H_n$  entre 100 e 600m; e (III)  $n=8$  a 12 (14, para 42 níveis), com  $H_n$  entre 10 e 100m.

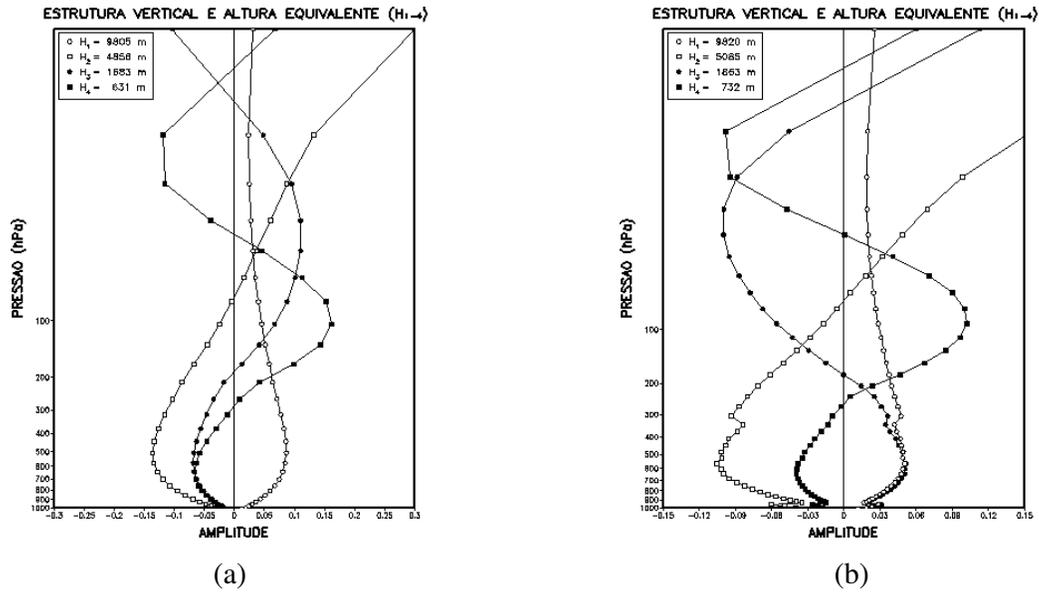


Figura 3 – Estruturas verticais, correspondente à altura equivalente  $H_n$  para o modelo Global: (a) 28 e (b) 42 níveis.

Um máximo de porcentagem de energia total (em torno de 60%) para os modos internos 4 a 7, especialmente sobre grande parte da América do Sul central e próximo ao equador, incluindo a região da ZCAS; e um máximo secundário para a categoria de modos externos ( $n=1$  a 3), dominante em latitudes mais altas (Figura 4).

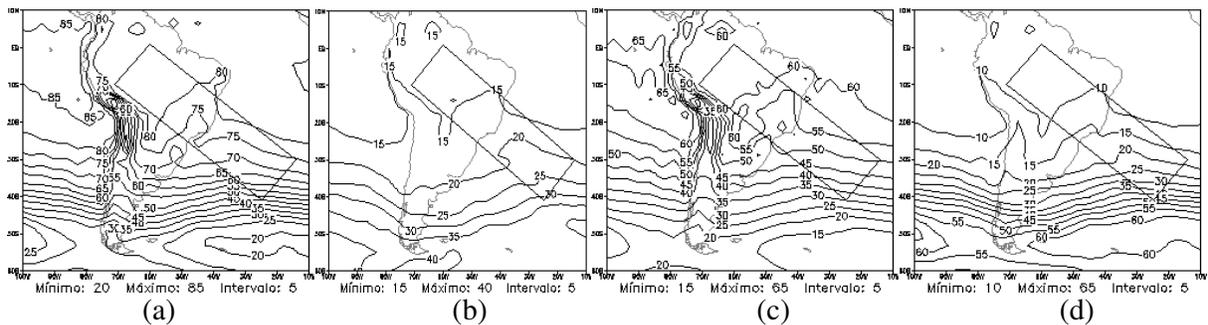


Figura 4 – Energia Total (%), Análise NCEP T126L28: (a) e (b); e T170L42: (c) e (d), para os modos verticais 1 a 3 e 4 a 7, respectivamente.

Para a partição horizontal de energia, as maiores contribuições foram obtidas para as auto-interações dos modos Rossby e Kelvin (Figura 5a,b,d,e) e interações (produto cruzado) Rossby-Kelvin (Figura 5c,f), em todas as categorias de modos verticais, sendo estas últimas responsáveis pelas interferências construtivas de energia na região da ZCAS.

As interações de energia entre os modos verticais indicaram um aumento da porcentagem de energia dos baixos níveis para a estratosfera, com máxima interferência positiva (negativa) de energia em altos níveis (estratosfera), para os modos internos 4 a 7, conforme as Figuras 6 e 7.

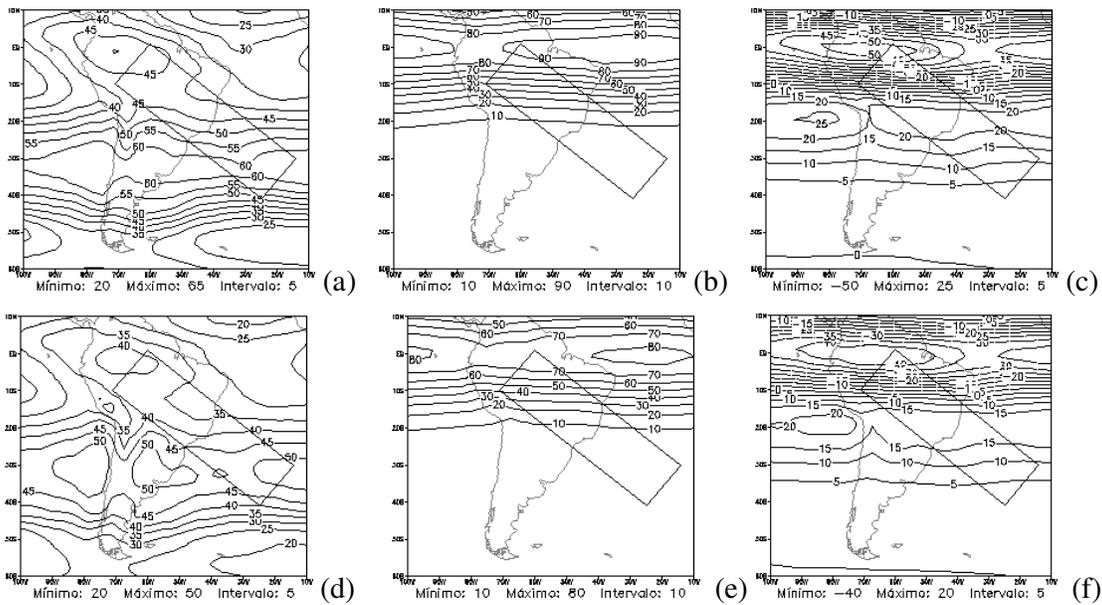


Figura 5 – Energia Total (%) correspondente aos modos verticais 4 a 7, Análise NCEP T126L28 (topo) e Análise NCEP T170L42 (base), para os modos: (a) e (d) Rossby; (b) e (e) Kelvin; (c) e (f) interações Rossby-Kelvin.

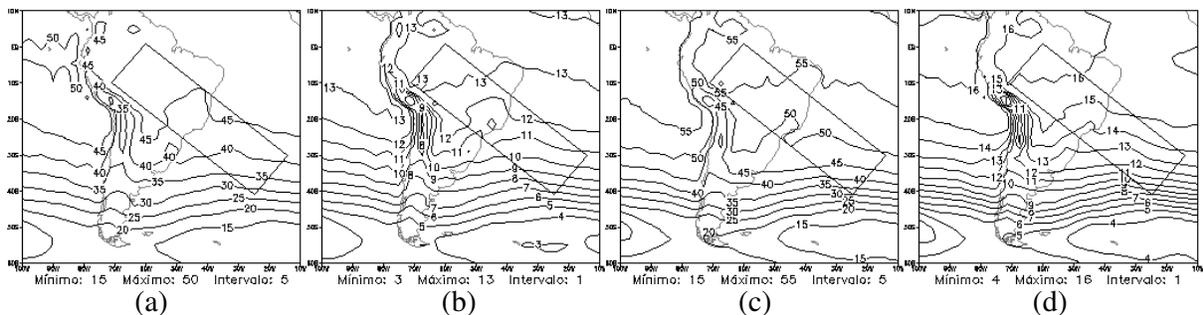


Figura 6- Energia Total (%) correspondente aos modos verticais 4 a 7, para altos níveis e estratosfera, respectivamente: (a) e (b) Análise NCEP T126L28; (c) e (d) Análise NCEP T170L42.

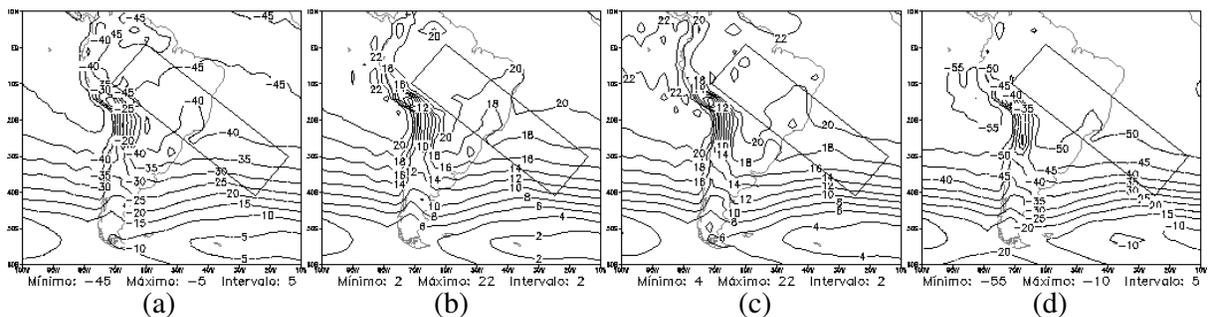


Figura 7- Energia Total (%) correspondente às interações dos modos verticais 4 a 7, para altos níveis e estratosfera, respectivamente: (a) e (b) Análise NCEP T126L28; (c) e (d) Análise T170L42.

Os resultados dos experimentos de modelagem mostraram que as previsões do modelo usando os esquemas de convecção profunda Kuo, RAS e Grell foram similares entre si e apresentam boa concordância em relação aos padrões obtidos na parte observacional (Figura 8).

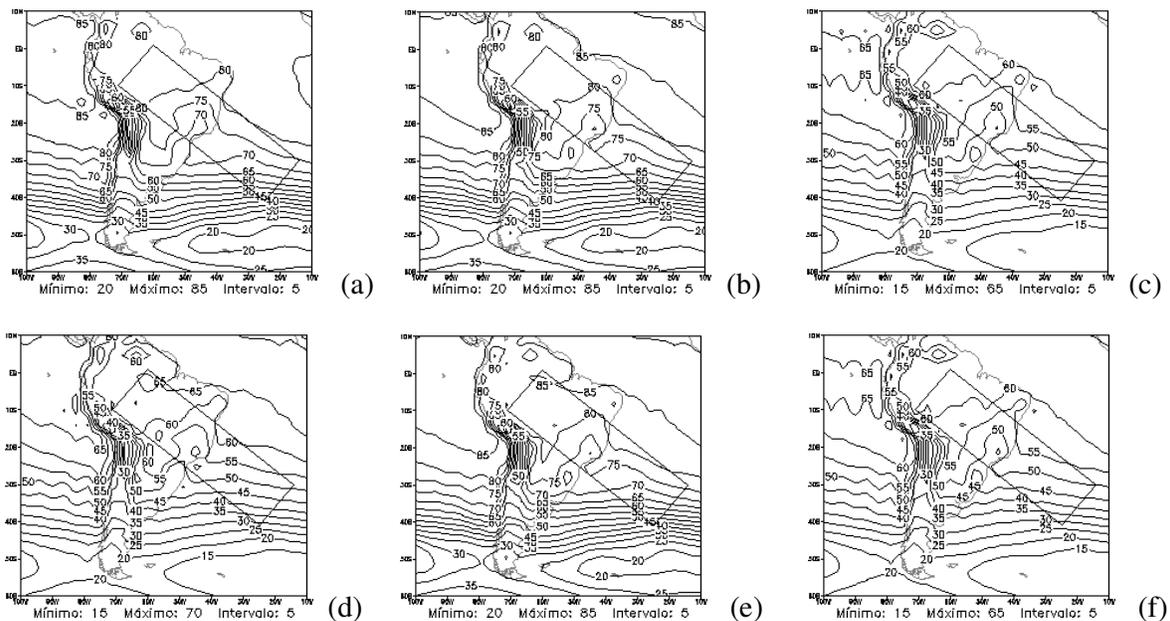


Figura 8- Energia Total (%) dos modos verticais, MCGA-CPTEC T126L28 (topo) e T170L42 (base), para os esquemas de convecção profunda: (a) e (d) Kuo; (b) and (e) RAS; (c) e (f) Grell.

## CONCLUSÕES

O emprego de diferentes esquemas de convecção profunda não apresentou impactos significativos na partição e interação de energia entre os modos verticais e horizontais. Um impacto maior foi obtido com o aumento da resolução vertical das Análises e do Modelo, de 28 para 42 níveis, em que um maior número de modos internos apresentam um papel relevante nas trocas horizontais e verticais de energia. Desta forma, nota-se que o aumento da resolução vertical do modelo é importante para a representação das características de grande escala dos fenômenos de ZCAS, independentemente do esquema de convecção profunda utilizado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Kasahara, A.; Puri, K. Spectral representation of three-dimensional global data by expansion in normal mode functions. **Monthly Weather Review**, v. 109, n. 1, p. 37-51, 1981.
- Ko, S. D.; Tribbia, J.J.; Boyd, J.P. Energetics analysis of a multilevel global spectral model. Part I: balanced energy and transient energy. **Monthly Weather Review**, v. 117, n. 9, p. 1941-1953, 1989.
- Silva Dias, P.L.; Bonatti, J.P. A preliminary study of the observed vertical mode structure of the summer circulation over tropical South America. **Tellus**, v. 37A, n. 2, p. 185-195, 1985.
- Silva Dias, P.L.; Bonatti, J.P. Vertical mode decomposition and model resolution. **Tellus**, v. 38A, n. 3, p. 205-214, 1986.