

Estudo do vento e turbulência entre 29 e 31 km de altura na região do Centro de Lançamento de Alcântara

Antonio Paulo de Queiroz¹, Rogério Cordeiro dos Santos¹ e Cleber Souza Corrêa¹
 Instituto de Aeronáutica e Espaço¹ (IAE), São José dos Campos/SP – Brasil

Resumo — A Força Aérea Brasileira (FAB) está desenvolvendo um veículo hipersônico denominado 14-X que poderá alcançar velocidades correspondente a Mach número 7 em altitude de 30 km na estratosfera acima do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). Portanto é importante estimar a velocidade do vento e turbulência para essa região. Esse trabalho objetiva estimar os valores médios da direção e velocidade do vento e calcular a turbulência causada pelo cisalhamento do vento a fim de auxiliar as operações aeroespaciais realizadas nessa região do espaço a partir do lançamento no CLA [1],[2]. Desse modo, a pesquisa teve como problema identificar e avaliar a turbulência causada pelo cisalhamento vertical do vento nos períodos chuvoso e seco, utilizando dados de radiossondagens das 12:00Z, entre 1989 até 1996 na cidade de Alcântara-MA. Também foram obtidos os ventos e cisalhamentos médios das camadas inferiores para comparação com a região do voo do 14-X [3],[4].

Palavras chaves: sensoriamento, estratosfera, cisalhamento.

I. INTRODUÇÃO

O presente trabalho objetiva estudar os ventos na camada da estratosfera compreendida entre 29 até 31 quilômetros de altitude, calculando-se a turbulência causada pelo cisalhamento do vento a fim de auxiliar as operações aeroespaciais realizadas nessa região do espaço a partir do lançamento no CLA [1],[2].

Desse modo, a pesquisa teve como problema identificar e avaliar a turbulência causada pelo cisalhamento vertical do vento nos períodos chuvoso e seco, utilizando dados de radiossondagens das 12:00Z, entre 1989 até 1996 na cidade de Alcântara-MA. Também foram obtidos os ventos e cisalhamentos médios das camadas inferiores para comparação com a região do voo do 14-X [3],[4].

II. DESENVOLVIMENTO

O cisalhamento médio do vento (C) é calculado por meio da diferença entre os ventos horizontais, de uma camada superior e inferior da atmosfera, dividida pela espessura da camada (h) entre eles, conforme descrito pela equação $C = V_m/h$. O vento médio da camada (V_m) pode ser decomposto em duas componentes: zonal (u) e meridional (v). Assim, a componente zonal média da camada será $U_m = U_{superior} - U_{inferior}$ e, a componente meridional média $v_m = V_{superior} - V_{inferior}$. Desse modo, V_m é calculado conforme (1).

$$V_m = (u_m^2 + v_m^2)^{1/2} \quad (1)$$

Para a elaboração desse estudo utilizou-se dados de radiossondagem do CLA nos meses considerados secos (março, abril e maio - MAM) e nos meses considerados chuvosos (setembro, outubro e novembro - SON) entre os anos de 1989 a 1996. As sondagens selecionadas atingiram a altitude de 31 quilômetros ou mais (104 radiossondagens para SON e 99 para MAM). A Fig. 1 mostra a quantidade de radiossondagens (N) utilizada na pesquisa para cada período seco (SON) e chuvoso (MAM) entre os anos de 1989 até 1996 para a região de Alcântara-MA.

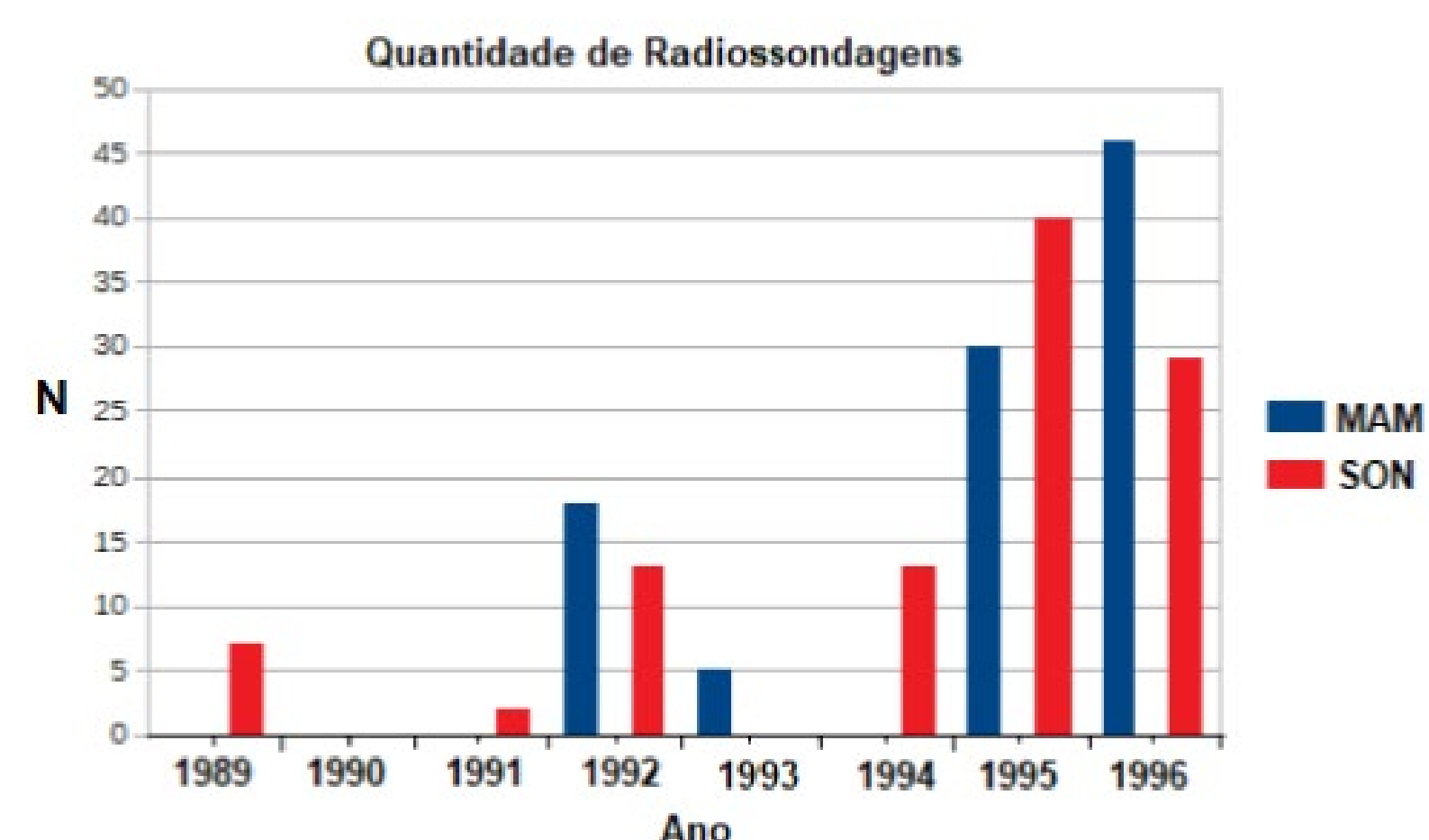


Fig. 1 - Distribuição dos dados

III. ANÁLISE E RESULTADOS

Os dados de temperatura, direção e velocidade do vento de altitude foram coletados na Seção de Meteorologia do CLA de 1989 até 1996 localizada em Alcântara-MA, coordenadas de 2° 19' S e 44° 22' W, altitude de 40 m. Como o vento obtido pela radiossondagem indica a direção de onde ele sopra, foi feito um ajuste para se obter as componentes zonal (u) e meridional (v) do vento (m/s). Em seguida foram processadas as médias para cada 500 m de altitude, até atingir 31000 m. Assim foram obtidos os valores médios da componente " u ", da componente " v ", do cisalhamento vertical e da temperatura do ar para cada 500 m, para os dois períodos: chuvoso (MAM) e seco (SON).

Apesar do foco do estudo ser a região do voo do veículo supersônico 14-X, ou seja, cerca de 30 km de altitude sobre o CLA, os gráficos obtidos mostram os ventos desde a superfície até 31 km de altitude. Desse modo pode-se verificar como o cisalhamento do vento varia com a altitude e com os dois diferentes períodos do ano (estação seca e chuvosa). A Fig. 2 abaixo mostra os valores médios encontrados para o cisalhamento do vento para os dois períodos: chuvoso (MAM) e seco (SON) para a região do CLA.

A Fig. 3 mostra a variação da temperatura com a altitude para os dois períodos: seco e chuvoso. Observa-se que não existe grande variação de temperatura entre os dois períodos, alcançando uma temperatura mínima de cerca de -83°C, indicando a altura da tropopausa em torno de 17000 m.

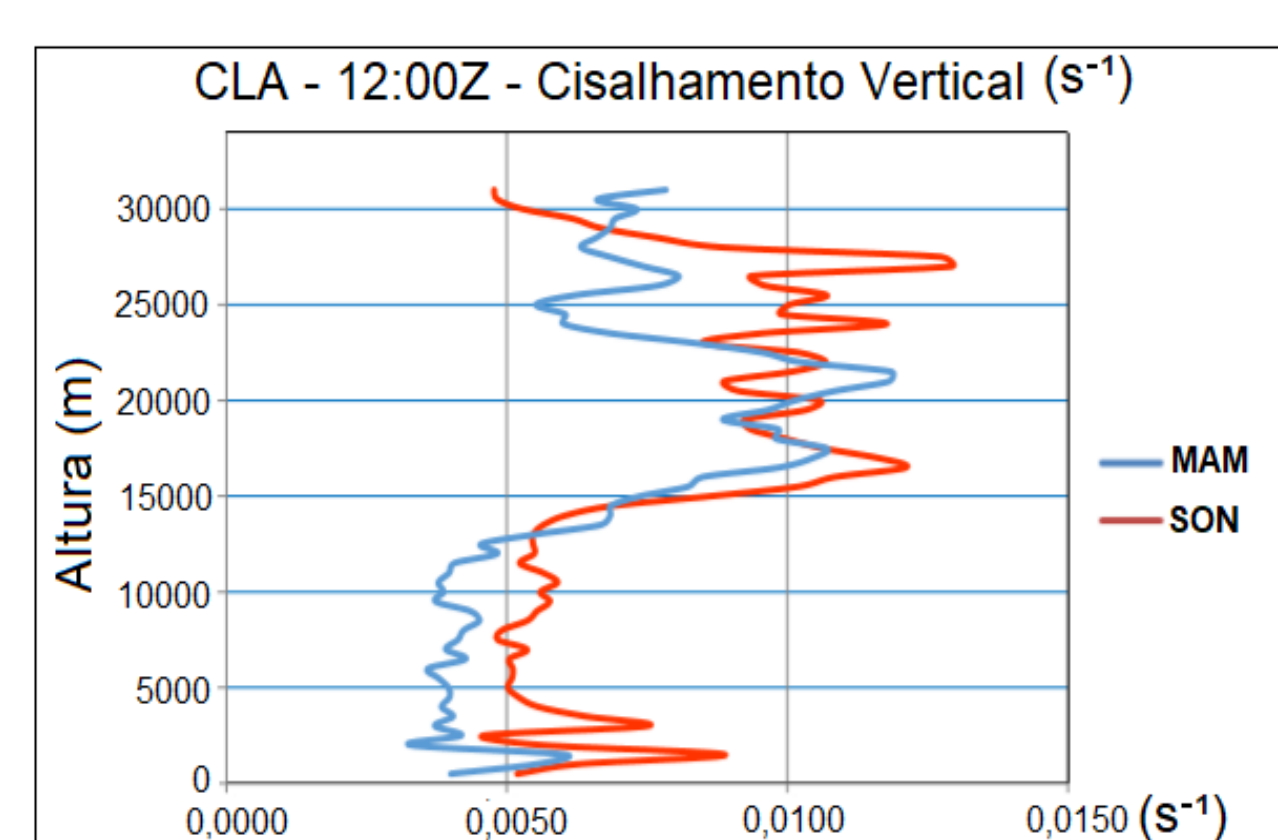


Fig. 2 – Cisalhamento do vento.

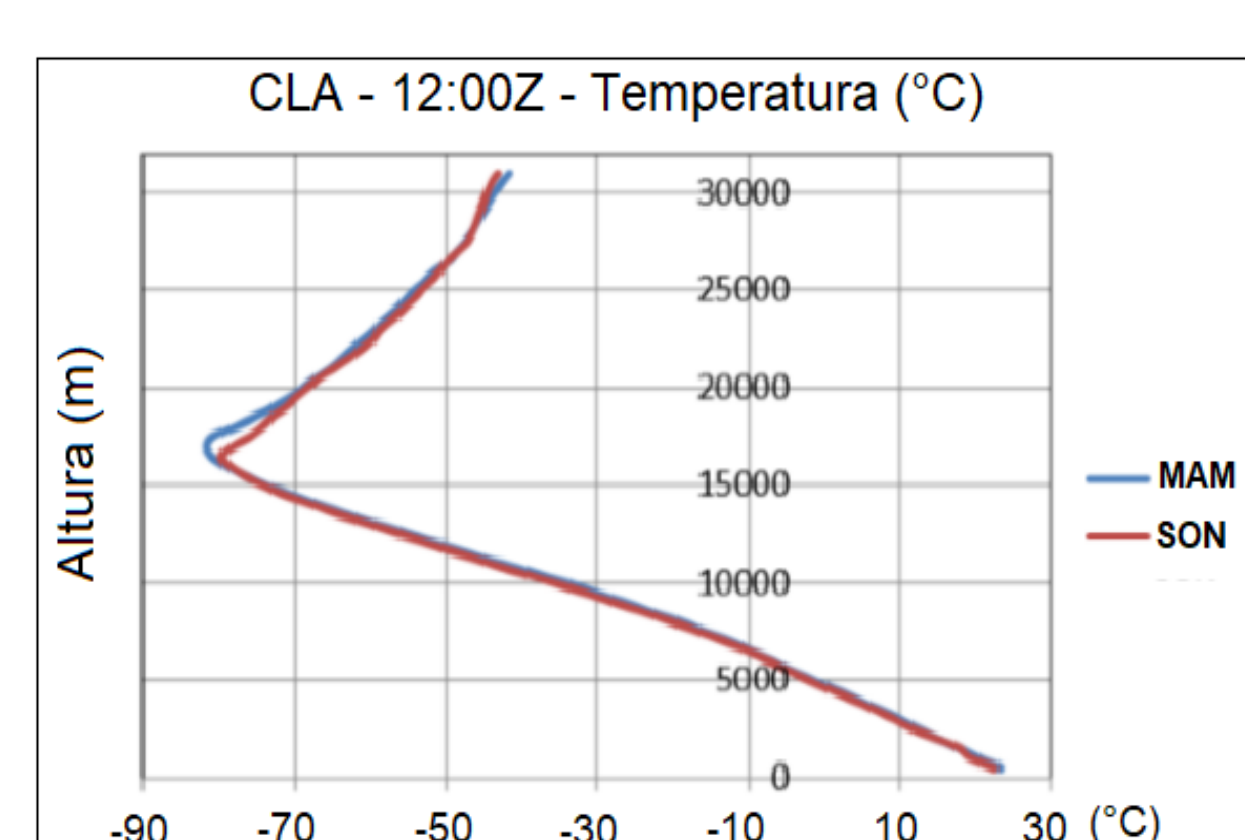


Fig. 3 - Temperatura

Na Fig. 4, a componente zonal média " u " está indicado claramente a influência dos ventos alísios que sopram na região. Da superfície até aproximadamente 10000 m os ventos predominantes são de leste. Caracterizam uma das principais correntes dos trópicos, chamados de alísios profundos estendem-se até 8-10 km e frequentemente até níveis mais altos [5],[6]. Observa-se na Fig. 5 que a componente meridional média " v " apresenta valores bem menores quando comparados com aqueles da componente zonal. Interessante observar em torno de 1000 m a inversão do sinal da componente, causada pelo efeito da brisa marítima conforme observou [7] em 2009.

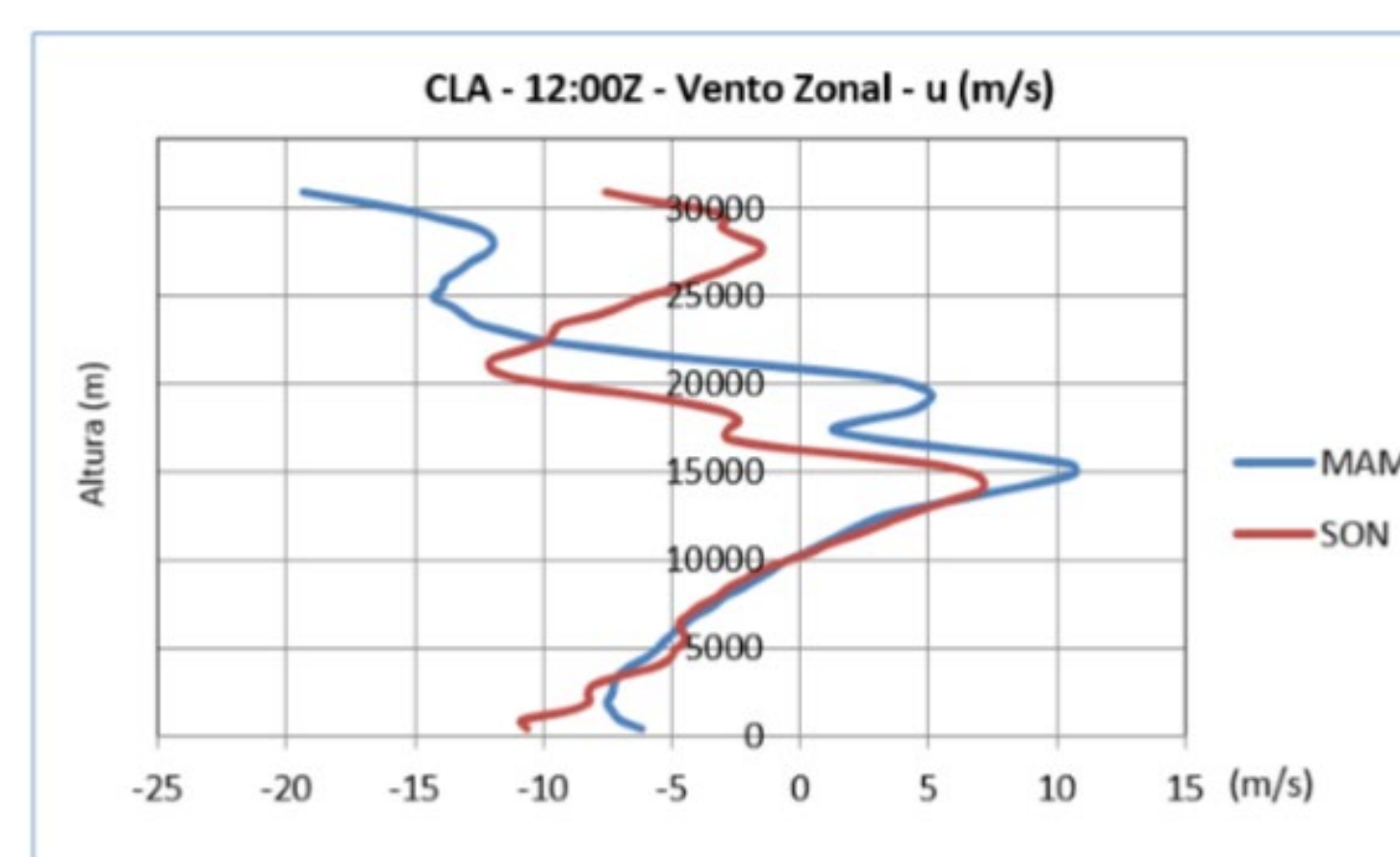


Fig. 4 – Componente zonal u (m/s).

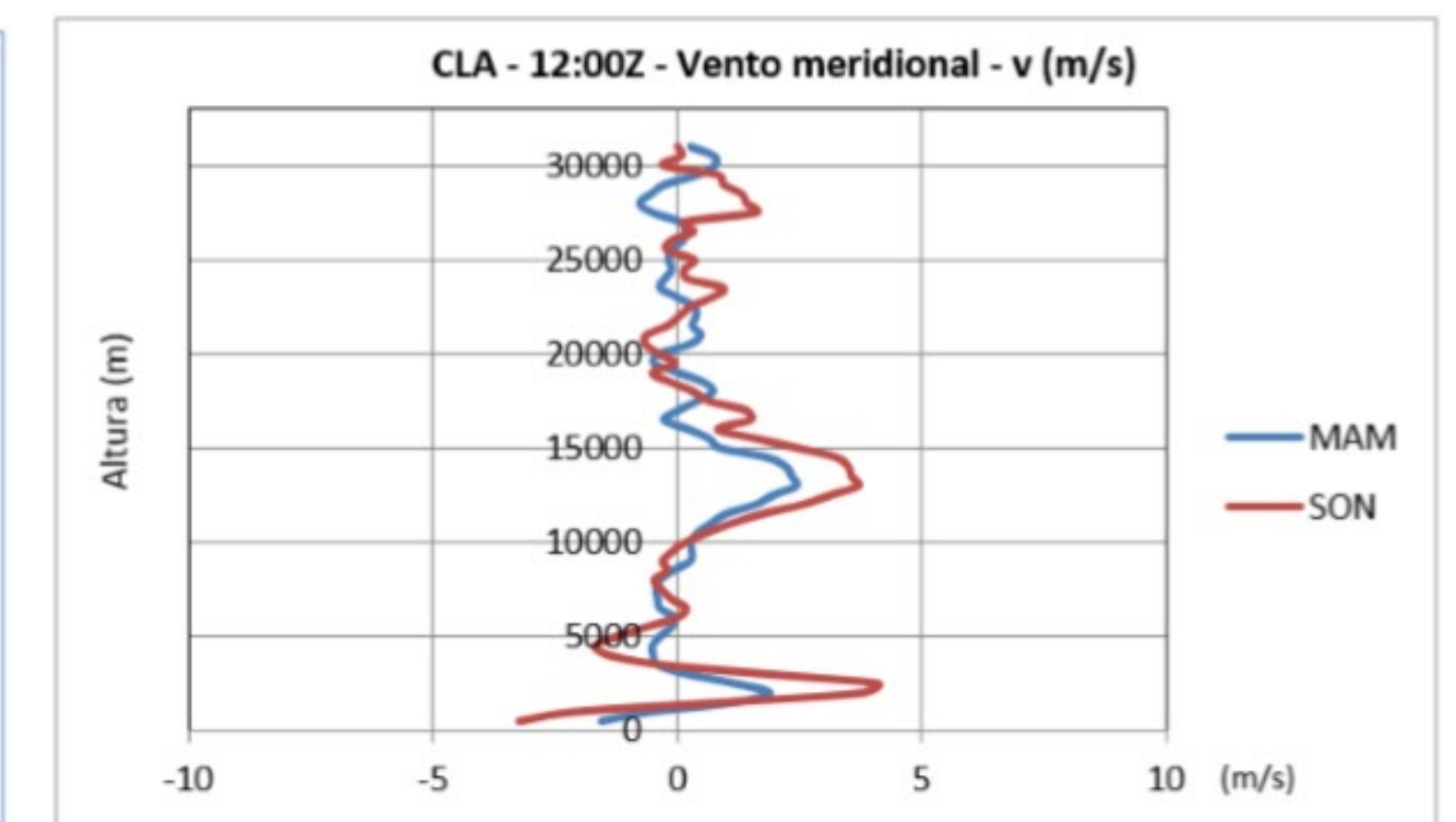


Fig. 5 – Componente meridional v (m/s)

A Tabela 1 mostra os dados de temperatura, componentes da velocidade do vento e o cisalhamento para as altitudes de 29000 m até 31000 m. Verifica-se que os ventos médios para a região do voo do 14-X sopram de leste (em torno de 090° de direção) para as duas estações (seca e chuvosa), contudo a velocidade média do vento variou de 5 para 16 m/s entre o período seco e chuvoso. O cisalhamento médio do vento também é mais intenso no período chuvoso atingindo 0,0071/s, enquanto no período seco alcançou 0,0056/s para a região de estudo.

TABELA 1 – DADOS DE TEMPERATURA (T), COMPONENTES (u , v) E CISALHAMENTO (C)

Altura (m)	MAM				SON			
	T (°C)	C ($\cdot 10^{-4}(s^{-1})$)	u (m/s)	v (m/s)	T (°C)	C ($\cdot 10^{-4}(s^{-1})$)	u (m/s)	v (m/s)
31000	-41,4	78	-19,3	0,3	-42,9	48	-7,5	0
30500	-42,5	66	-17,4	0,8	-43,8	48	-5,9	0,1
30000	-43,3	73	-15,5	0,8	-44,4	53	-3,7	-0,3
29500	-44,2	69	-14,1	0,4	-44,9	62	-2,9	0,8
29000	-45	68	-12,7	-0,3	-45,4	67	-3	0,9
média	-43,3	70,8	-15,8	0,4	-44,3	55,6	-4,6	0,3

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se que os maiores valores médios de cisalhamento vertical ocorreram no período seco (SON) para praticamente todas as alturas. O valor máximo encontrado nesse estudo foi de cerca de 0,013/s, próximo de 27000m de altitude no período mais seco. Contudo verificou-se que na camada entre 29 e 31 km de altitude, o cisalhamento médio é maior no período chuvoso (0,0071/s) que no período seco (0,0056/s).

REFERÊNCIAS

1. EHERNBERGER, L. J. Stratospheric Turbulence Measurements and Models for Aerospace Plane Design. (1992). NASA Technical Memorandum 104262. Disponível em: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19930004100.pdf>.
2. REITER, Elmar R. Nature and Observation of High-Level Turbulence Especially in Clear Air. Colorado: Department of Atmospheric Science. Colorado State University, USA, 1962.
3. MELLO Ivan Bitar Fiuzza de. Climatologia e Estudo de Caso da Turbulência de Céu Claro a Partir de Registros de Aeronaves: Análise de Dados Observacionais e de Modelagem. 2015. 128f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). MCT/INPE, São José dos Campos.
4. TORO, Paulo G. P.; MINUCCI, Marco A. S.; ROLIM, Tiago C.; FOLLADOR, Roberto C.; SANTOS, Alberto M. et al. Brazilian 14-X Hypersonic Aerospace Vehicle Project). São José dos Campos: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012.
5. WALLACE, W. M.; HOBBS, P. V. Atmospheric science – An Introductory Survey. London: Elsevier, 2006.
6. RIEHL, Hebert. Meteorologia Tropical. São Paulo: Mcgraw-hill, 1965.
7. GUEDES, R. L.; SILVEIRA, J. M. B.; MIRANDA, I. Relatório Técnico: Determinação de Características da Atmosfera e do Ambiente Natural do CLA e de São José dos Campos. São José dos Campos: DCTA/IEA, 2009.