

Extração do vento utilizando imagens de satélite no CPTEC : Nova versão e avaliação com dados do WET AMC/LBA

Henri Laurent ^{1,4}, Luiz Augusto T. Machado ¹, Boris Fomin ² e Mariglaudio A. Gondim ³

¹CTA/IAE/ACA, São José dos Campos, SP

²LCP/MSK, Moscow, Russia

³CPTEC/INPE, Cachoeira Paulista, SP

⁴IRD, LTHE, Grenoble, France

e-mail : hlaurent@iae.cta.br

Abstract

Cloud motion wind derived from geostationary satellite images is an important tool to produce valuable observations for assimilation in atmospheric general circulation models. This study describes algorithm changes and improvements to the method operating at the CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos). Two main improvements were developed: a height correction of the semi-transparency clouds, using a new radiative transfer simplified model, and a spatial consistency test. The performance of the radiative model was evaluated using full line-by-line calculations. The whole scheme was compared to the state of the art represented by the cloud motion winds produced by the NOAA/NESDIS and validated by comparisons with radiosonde data available from the WET AMC/LBA campaign. Results show that version of the CPTEC cloud motion wind product seems to perform as well as the NOAA/NESDIS product for the high troposphere levels, whereas there are some indications that more efforts are needed to improve the low and mid-levels.

1. Introdução

Os ventos deduzidos através da análise da trajetória das nuvens, observadas por imagens de satélites geoestacionários, são reconhecidos como uma importante fonte de informações para a previsão numérica do tempo. Os ventos extraídos através destes métodos são em maior número e mais importantes em regiões tropicais onde as observações convencionais são esparsas. Ressaltamos também a importância destas informações sobre os Oceanos e principalmente no Hemisfério Sul em vista da grande área coberta pelos mesmos.

Atualmente existem alguns centros meteorológicos que operam tais modelos, como a EUMETSAT (European Meteorology Satellite) na Europa, o NOAA/NESDIS (National Environmental Satellite and Information Data Services) nos EUA e o JMA (Japan Meteorological Agency) no Japão.

A assimilação de dados para alimentar o modelo de previsão do CPTEC é um ponto fundamental, principalmente para a nossa região com pobre cobertura de dados convencionais. A implantação de rotinas operacionais para extração de vento, perfis de temperatura e umidade, precipitação e outros parâmetros diagnósticos possibilitará uma representação mais realista das condições iniciais. O CPTEC necessita preparar as condições iniciais, mesclando o resultado do próprio modelo com os outros parâmetros, necessitando dos dados convencionais e dos parâmetros extraídos das imagens de satélite.

O satélite geoestacionário GOES posicionado em 75°W observa a Terra com imagens nos canais visível, infravermelho e vapor d'água. A resolução espacial é de 4 km x 4 km no canal infravermelho (IR) e de 4 km x 8 km no canal vapor d'água (WV). A resolução temporal é de 30 minutos para todos os canais. O modelo utiliza atualmente as imagens IR e WV, contudo pensa-se em utilizar futuramente a imagem visível para a realização de uma classificação mais precisa de

nuvens. Atualmente o modelo utiliza uma imagem IR em t_0-30 minutos, uma imagem IR e uma imagem WV em t_0 e uma imagem IR em t_0+30 minutos. O modelo opera com as imagens gravadas pelo sistema de aquisição do CPTEC. Esse sistema calibra e transforma as imagens IR e WV em valores de radiância e posteriormente em temperatura de brilho, e geolocaliza a imagem permitindo obter as latitudes e longitudes de cada pixel.

2. Cálculo dos vetores

O cálculo dos vetores é inteiramente automático. Um vetor é obtido através do deslocamento de um alvo (nuvem) entre duas imagens. Para este cálculo o modelo estima os vetores através da distância euclidiana entre uma área alvo de 32×32 pixels ($\cong 150$ km) na imagem (t) e todas as áreas de 32×32 pixels que existem em uma janela de 96×96 pixels na imagem ($t+\Delta t$). As formulações e detalhes do método são apresentadas por Laurent e Machado (1994).

2.1 Controle de qualidade

Para análise da qualidade dos ventos calculados, vários testes são aplicados. Obtido o melhor deslocamento, calcula-se a correlação correspondente visando analisar a qualidade na identificação do alvo. Se a correlação é inferior a 0.7, despreza-se o vetor. Outra condição de rejeição é para velocidades menores que 3 ms^{-1} , porque nesse caso o alvo pode ser a superfície ou uma nuvem estacionário orográfica.

O teste de qualidade mais importante é o teste de consistência temporal. Para a aplicação deste teste utilizamos a imagem em $t_0 -30$ minutos. O teste calcula o vetor vento entre t_0 e t_0-30 minutos, o resultado do vetor calculado não pode ser muito diferente que aquele calculado entre t_0 e t_0+30 minutos. Se houver uma diferença significativa o vetor é rejeitado, pois considera-se que a correlação foi baseada em formações de nuvens aleatórias e não em um deslocamento real de um determinado conjunto de nuvens. Para tanto, utilizamos como valor máximo aplicado ao módulo do vetor diferença entre V_1 (vetor entre t_0 e t_0+30 minutos) e V_2 (vetor entre t_0 e t_0-30 minutos) a seguinte relação :

$$|V_1 - V_2| < 5 + 0.2 |V_1| \quad (\text{ms}^{-1})$$

Um novo teste foi implementado nesse trabalho, para verificar a consistência espacial dos vetores. Ele é aplicado após o cálculo dos vetores pois é necessário a distribuição espacial do campo de vento. Para cada vetor V_1 calcula-se as diferenças vetoriais com todos os vetores vizinhos, num raio de 4 graus e em uma camada de ± 100 hPa. Seja ΔV o menor vetor diferença, o vetor V_1 será desprezado se não se verifica a seguinte relação :

$$|\Delta V| < 1.5 (0.2 |V_1| + 1) \quad (\text{ms}^{-1})$$

O efeito desse teste de consistência espacial é avaliado nesse trabalho.

2.2 Definição da altura do vetor vento

Considera-se que o nível de pressão de um dado vetor é igual ao nível de pressão onde a temperatura da atmosfera é igual à temperatura de brilho infravermelha da nuvem, usando para isso o perfil de temperatura e pressão previsto pelo modelo do CPTEC para a posição geográfica do vetor. No entanto, como a emissividade das nuvens é frequentemente inferior a 1, aplica-se uma correção para nuvens semitransparentes. Para usar essa correção conhecida como “semi-transparency correction” (Bowen and Saunders, 1984, Schmetz et al., 1993) precisa-se das radiâncias da nuvem e do céu aberto (“background”) para os canais infravermelho (IR) e vapor d’água (WV). Desta forma, calcula-se a média entre os 20% dos pixels mais frios e os 10% mais quentes na janela de cálculo, para as imagens IR e WV. Em paralelo um modelo radiativo calcula as

radiâncias IR e WV para nuvens opacas (emissividade igual a 1) em várias alturas, utilizando como dados de entrada os perfis verticais de temperatura e umidade do modelo do CPTEC. O modelo radiativo foi desenvolvido por Fomin (1995) e adaptado para o modelo de cálculo de vento do CPTEC a partir dos canais IR e WV do satélite GOES.

3. Modelo radiativo

Primeiramente, foi utilizado um modelo line-by-line (LBL) para simulação das radiâncias em cada canal (IR e WV), para vários perfis da atmosfera, supondo nuvens opacas em diferentes níveis. As funções de transmitância de cada canal foram ajustadas para os canais IR e WV do satélite GOES-8. Para calcular os coeficientes de absorção, usamos o algoritmo LBL de Fomin (1995), a base de dados espectrais do HITRAN-96 (Rothman et al., 1998) e o modelo de *continuum* de vapor d'água CKD2.2 (Clough et al., 1989). Este modelo foi utilizado com uma resolução espectral de $1/2048 \text{ cm}^{-1}$, suficiente para resolver cada linha espectral. As formulações e detalhes usados para a integração no número de onda e no espaço são apresentadas por Feigelson et al. (1991). Os cálculos realizados pelo modelo LBL incluíram absorção por H₂O, CO₂, O₃, O₂, CH₄, N₂O e CO. Os resultados (não apresentados) mostram, como esperado, que a absorção pelo vapor d'água é o fator primordial nesse caso.

No modelo operacional divide-se a atmosfera em N camadas onde os coeficientes de absorção espectral são constantes e a altura tem uma dependência linear com a função de Planck dentro da camada (veja por exemplo, Ridgway et al., 1991). Para o canal IR as equações radiativas são resolvidas usando o modelo do *continuum* de vapor d'água de Roberts et al. (1976). Para o canal WV, operando na banda de forte absorção de vapor d'água, a parametrização foi desenvolvida baseada na metodologia chamada K-distribution (Liou, 1992) adaptada para a absorção do vapor d'água (Chou and Lee, 1996). Nessa metodologia o espectro de absorção K_v , nesta parte contínua, pode ser substituído por uma série de M coeficientes de absorção $K_i(P,T)$ dependendo da pressão e da temperatura, ponderados por pesos f_i . Segundo Chou and Lee (1996) os coeficientes K_i^* (e os pesos f_i) foram derivados para o padrão $P_{ref}=300 \text{ hPa}$ and $T_{ref}=240 \text{ K}$ diretamente dos dados do LBL (Liou, 1992). A dependência com a pressão e a temperatura pode ser aproximada por :

$$K_i(P,T) = R(P,T) K_i^*$$

Onde $R(P,T) = (P/P_{ref})^\gamma \exp(0.00135(T-T_{ref}))$.

Mas mudamos o valor $\gamma=0.8$ sugerido por Chou and Lee (1996) para $\gamma=0.4$, pois apresentavam melhores resultados para nosso tipo de dados. Acharmos também que sete coeficientes e pesos ($M=7$) foram suficientes para uma boa aproximação. Os valores desses coeficientes são apresentados na Tabela 1.

i	1	2	3	4	5	6	7
K_i^*	10.36151	43.63581	183.7652	773.8973	3259.144	13725.36	57802.14
F_i	0.185782	0.2438068	0.1364989	0.07072695	0.03578541	0.01713742	0.005009667

Tabela 1. K- coeficientes K_i^* e pesos f_m usados para o cômputo da radiância com a metodologia da K-distribution no canal WV do satélite GOES-8

O modelo operacional (modelo simplificado) foi validado com o LBL (exacto). A Tabela 2 mostra os resultados para um perfil padrão de atmosfera tropical. O modelo operacional é muito próximo do modelo LBL usando só a absorção H₂O (erro $\leq 0.1 \text{ K}$ no IR, erro $\leq 0.2 \text{ K}$ no WV). Comparando com o LBL usando a absorção de sete gases, o erro do modelo operacional é inferior a 0.5 K nos dois canais.

Topo da nuvem (km)	T(K)	Canal IR			Canal WV		
		LBL H ₂ O	LBL 7-gases	OPER H ₂ O	LBL H ₂ O	LBL 7-gases	OPER H ₂ O
1.0	293.7	292.2	291.9	292.3	243.5	243.5	243.7
2.0	287.7	287.2	286.9	287.2	243.5	243.5	243.7
3.0	283.7	283.5	283.2	283.4	243.5	243.5	243.7
4.0	277.0	276.9	276.8	276.9	243.5	243.5	243.7
5.0	270.3	270.3	270.2	270.3	243.5	243.4	243.6
6.0	263.6	263.6	263.6	263.6	243.2	243.1	243.3
7.0	257.0	257.1	257.0	257.0	242.3	242.3	242.4
8.0	250.3	250.4	250.3	250.3	240.5	240.4	240.6
9.0	243.6	243.7	243.6	243.6	237.5	237.4	237.6
10.0	237.0	237.1	237.1	237.0	233.4	233.4	233.6
11.0	230.1	230.1	230.1	230.1	228.2	228.2	228.4
12.0	223.6	223.6	223.7	223.6	222.8	222.8	222.9
13.0	217.0	217.0	217.1	217.0	217.0	217.0	217.0
14.0	210.3	210.3	210.4	210.3	211.1	211.1	210.9
15.0	203.7	203.7	203.8	203.7	205.2	205.3	204.9

Tabela 2. Temperatura de brilho (K) para atmosfera tropical com nuvens opacas usando os métodos LBL ou operacional (OPER). O LBL foi rodado usando apenas absorção por H₂O ou absorção por H₂O+CO₂+O₃+O₂+CH₄+N₂O+CO (7-gas). O OPER usa só absorção por H₂O

4. Avaliação da metodologia

Nessa parte são analisados os vetores vento produzidos pela nova versão do algoritmo, visando uma avaliação :

- do impacto da correção de semi-transparência das nuvens ;
- do impacto do teste de consistência espacial ;
- da qualidade geral do produto final.

A avaliação foi realizada com dados de radiossondagem, no período da campanha WET AMC (Amazona Mesoscale Campaign – Wet season) do experimento LBA (Large scale Biosphere Atmosphere experiment), onde foram conduzidas medidas intensivas (4 radiossondagens a cada 3 hora) entre 15 de janeiro e 25 de fevereiro de 1999 em uma área da Amazônia (Silva Dias et al., 2000). Os resultados são apresentados para o período de 15/01/2000 à 3/02/2000. Além das radiossondagens, fizemos uma comparação com os vetores vento produzidos pela NOAA/NESDIS a partir das mesmas imagens GOES. Esse produto está sendo desenvolvido há vários anos, utilizando algoritmos muito sofisticados (Menzel et al., 1983, Nieman et al., 1997). Considerado como um dos dois melhores produtos de vento por satélite (veja por exemplo Eumetsat, 1998) ele pode servir de referência nessa área.

Os vetores ventos foram produzidos para esta versão teste com uma frequência média de 3 horas no período do estudo utilizando-se a metodologia descrita acima, só que os perfis de temperatura e umidade usados foram os dados da reanálise NCEP (Kalnay et al., 1996) em lugar dos dados do modelo do CPTEC. Isso permite minimizar o possível efeito do modelo meteorológico usado, pois a reanálise é mais precisa que qualquer análise ou previsão operacional. Os dados de reanálise do NCEP são disponíveis sobre um grade de 2.5 graus de latitude e longitude, cada 6 horas, para 14 níveis : 1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70 e 50 hPa. Infelizmente os valores de umidade na alta troposfera não são bem representados, em consequência não se tem dados de umidade para os níveis de pressão menores que 300 hPa. Para esses níveis os valores da

umidade foram interpolados da seguinte forma : uma interpolação linear da umidade relativa entre o valor em 300 hPa e 0% em 50 hPa. Essa aproximação é razoável com relação as observações de radiossondagem do LBA.

Os vetores ventos gerados a partir do CPTEC foram comparados com uma referência (radiosondas ou vetores NOAA/NESDIS) considerando-se um raio de 150 km e um intervalo máximo de tempo de 1,5 hora. Foram calculados o módulo do vetor médio da diferença entre o vetor CPTEC e o vetor da referência, o erro quadrático médio (RMS) do vetor médio da diferença, o erro médio (BIAS) da velocidade (CPTEC menos referência), o RMS da diferença de velocidade, a velocidade média da referência, e a amostragem.

A Tabela 3 mostra os resultados da comparação entre os vetores CPTEC e NOAA/NESDIS. Além dos parâmetros estatísticos descritos acima foram calculados o BIAS da pressão e o RMS da diferença de pressão. O RMS do vetor médio da diferença é menor que 6 ms^{-1} , o que é um excelente resultado pois é da ordem do RMS devido à diferença de posição espacial e temporal entre os vetores (esse assunto é detalhado por Schmetz et al., 1983). O BIAS também é pequeno, e negativo como previsto, pois a velocidade dos vetores NOAA/NESDIS é artificialmente aumentada para compensar uma tendência bem conhecida dos ventos obtidos por satélites de subestimar os ventos fortes. Para a estimativa dos níveis de pressão dos vetores, o RMS e o BIAS da pressão mostram um resultado muito satisfatório para os níveis altos ($P < 400 \text{ hPa}$), contudo para os níveis médios e baixos observa-se um alto valor de BIAS e RMS. Note que a altura dos vetores NOAA/NESDIS é ajustada usando um modelo de previsão e/ou dados de observação disponíveis. Certamente uma melhor classificação das nuvens é necessária para melhorar a estimativa do vento por satélite.

CPTEC vs NOAA/NESDIS				
	Todos Níveis	P > 700 hPa	400 < P < 700 hPa	P < 400 hPa
Vetor Médio da Diferença	1.5	1.3	1.5	1.6
RMS do Vetor Médio da Diferença	5.9	5.7	5.9	5.9
BIAS da Velocidade	-0.35	-0.18	-0.23	-0.52
RMS da Diferença de Velocidade	3.4	3.0	3.4	3.6
Velocidade Média da Referência	10.2	9.9	10.2	10.5
BIAS da Pressão	13	29	23	0
RMS da Pressão	150	187	191	90
Amostragem	61115	14422	17757	28936

Tabela 3. Diferenças estatísticas do vento (ms^{-1}) e da pressão (hPa) entre os vetores CPTEC e os vetores NOAA/NESDIS. BIAS é a diferença das médias e RMS é o erro médio quadrático.

CPTEC (sem correção de semi-tranparência) vs NOAA/NESDIS				
	Todos Níveis	P > 700 hPa	400 < P < 700 hPa	P < 400 hPa
BIAS da Pressão	41	31	59	31
RMS da Pressão	166	189	208	99
Amostragem	61115	14474	21372	25269

Tabela 4. Como a Tab.3, mas os vetores CPTEC foram calculados sem a correção de semitransparência das nuvens. Só as estatísticas para a pressão são apresentadas.

CPTEC (sem teste de consistência espacial) vs NOAA/NESDIS				
	Todos Níveis	P > 700 hPa	400 < P < 700 hPa	P < 400 hPa
Vetor Médio da Diferença	1.6	1.4	1.7	1.8
RMS do Vetor Médio da Diferença	7.1	6.9	7.3	7.1
BIAS da Velocidade	-0.33	-0.15	-0.22	-0.50
RMS da Diferença de Velocidade	4.3	3.9	4.4	4.3
Velocidade Média da Referência	10.1	9.8	10.0	10.3
BIAS da Pressão	24	53	41	-1.9
RMS da Pressão	166	213	204	96
Amostragem	69491	16149	21179	32163

Tabela 5. Como a Tab.3, mas os vetores CPTEC foram calculados sem aplicação do teste de consistência espacial .

O efeito da correção de semi-transparência das nuvens na estimativa da altura do vetor vento pode ser obtida comparando os valores da Tabela 4 com os da Tabela 3. A correção reduziu o erro na estimativa do nível dos ventos em altos e médios níveis (níveis na qual nuvens semi - transparentes podem ser identificadas). As estatísticas na comparação do vento com os vetores NOAA/NESDIS não mudaram no total, pois são os mesmos vetores. Só existem pequenas diferenças devido a mudança de uma parte dos vetores médios para níveis altos. O número de ventos em altos níveis aumenta por volta de 15 %. Com aplicação dessa correção, o BIAS da pressão mudou de 31 hPa para 0 para os níveis mais altos, e diminuiu de 59 hPa para 23 hPa para os níveis médios. No entanto essa correção não afeta a altura dos vetores baixos ($P > 700$ hPa).

A Tabela 5 mostra os resultados obtidos quando o teste de consistência espacial não é aplicado. O efeito da aplicação desse teste é de remover cerca de 12% dos vetores, levando uma redução do RMS de 7.1 ms^{-1} para 5.9 ms^{-1} no total. Nota-se que a velocidade de referência não diminuiu (ao contrario ela aumentou ligeiramente), isso quer dizer que o efeito do teste de consistência espacial não foi de desprezar os vetores de alta velocidade mas sim desprezar os vetores inconsistentes espacialmente.

Os vetores extraídos das imagens de satélite foram comparados com o vento medido pelas radiosondas no nível correspondente (máxima diferença de 15 hPa). A Figura 1 apresenta a evolução temporal das componentes zonal e meridional do vento medidas por uma estação de radiosondagem e dos ventos calculados pelo CPTEC e pela NOAA/NESDIS. Observamos uma grande coerência entre as diferentes formas de obter o vetor vento.

Uma avaliação dos vetores vento com os dados de radiosondas é apresentada nas Tabelas 6 e 7. O período do experimento foi dominado por nuvens altas, resultando em um número reduzido de medidas por satélite nos níveis médios e baixos. Portanto os resultados não são significativos para esses níveis. Para o nível alto ($P < 400$ hPa) os vetores CPTEC tem um RMS de 6.5 ms^{-1} e um BIAS de -11.1 ms^{-1} para uma velocidade média de 12.1 ms^{-1} . Os vetores NOAA/NEESDIS tem um RMS de 6.3 ms^{-1} e um BIAS de -10.4 ms^{-1} para uma velocidade média de 11.3 ms^{-1} . Esses resultados mostram uma performance igual para os dois métodos. Nos níveis mais baixos não podemos concluir, mas os poucos dados (3 em níveis baixos e 13 em níveis médios) sugerem que os vetores do CPTEC não são tão bons, e que estes devem ser melhorados.

CPTEC vs Radiosondas				
	Todos Níveis	P > 700 hPa	400 < P < 700 hPa	P < 400 hPa
Vetor Médio da Diferença	2.5	23.4	0.89	3.4
RMS do Vetor Médio da Diferença	7.5	24.8	7.8	6.5
BIAS da Velocidade	-10.4	-8.3	-4.4	-11.1
RMS da Diferença de Velocidade	11.6	8.6	5.1	12.1
Velocidade Média da Referência	10.4	8.3	4.4	11.1
Amostragem	134	3	13	118

Tabela 6. Diferenças estatísticas do vento (ms^{-1}) entre os vetores CPTEC e as radiosondas. BIAS é a diferença das médias e RMS é o erro médio quadrático.

NOAA/NESDIS vs Radiosondas				
	Todos Níveis	P > 700 hPa	400 < P < 700 hPa	P < 400 hPa
Vetor Médio da Diferença	1.3	0.82	1.2	1.3
RMS do Vetor Médio da Diferença	6.2	4.9	4.0	6.3
BIAS da Velocidade	-10.0	-4.7	-3.1	-10.4
RMS da Diferença de Velocidade	11.0	5.1	3.2	11.3
Velocidade Média da Referência	9.8	6.6	8.3	10.0
Amostragem	158	3	6	149

Tabela 7. Como a Tab. 6, mas para os vetores NOAA/NESDIS.

5. Conclusão

Uma nova versão do método de extração de vento por satélite do CPTEC foi testada. Dois principais melhoramentos foram desenvolvidos : uma correção da altura das nuvens semi-transparentes, utilizando um modelo radiativo original ; e um filtro de consistência espacial. O modelo radiativo foi avaliado usando um modelo line-by-line. Os vetores do modelo do CPTEC produzidos com a nova versão foram comparados com os vetores produzidos pela NOAA/NESDIS, uma fonte reconhecidamente precisa, para analisar o funcionamento da metodologia e o efeito das modificações. Como previsto, a correção de semitransparência permite melhorar a determinação da altura dos vetores vento em altos níveis. O filtro de consistência espacial tem um forte impacto, melhorando as estatísticas para todos os níveis. Os vetores do modelo do CPTEC tornam-se tão bons quanto os vetores NOAA/NESDIS para o nível alto. Esse resultado é encorajador pois os vetores da NOAA/NESDIS já foram ajustados usando um modelo de previsão. Para os níveis médios e baixos os resultados indicam que os vetores do modelo do CPTEC não são tão bons, embora a população estatística não seja significativa para se tirar conclusões. Com relação a comparação com as radiosondas do WET AMC/LBA os resultados mostram que o RMS para ambos modelos apresentam resultados bastante satisfatórios para os níveis altos. Sugerimos que a próxima fase de melhorias possa ser na implantação de uma classificação das nuvens, visando melhorar a qualidade dos ventos em baixos níveis.

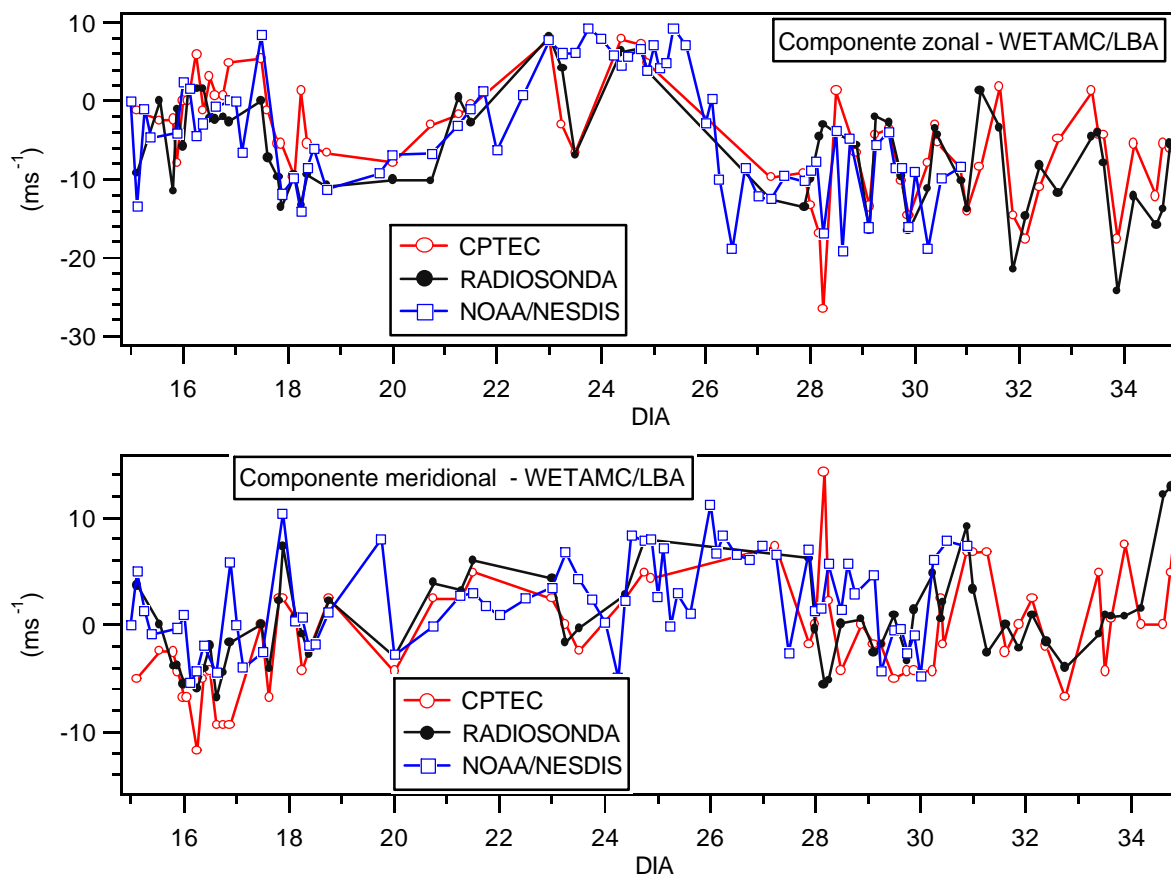


Figura 1. Componentes zonal e meridional do vento observado na estação de radiosondagem Abracos (10.77 S – 62.34 W) e do vento obtido por satélite no CPTEC e na NOAA/NESDIS durante a campanha AMC/LBA. As curvas apresentam os componentes dos vetores calculados pelo CPTEC, pela NOAA/NESDIS, e os componentes do vento medida pela radiosondagem no nível de pressão correspondente.

Agradecimentos

Os autores agradecem J. M. Daniels (NOAA/NESDIS) por ter cedido o conjunto de ventos por satélite de alta resolução produzidos durante o período do experimento WET AMC/LBA. Esse trabalho faz parte de uma cooperação entre o IRD (Institut de Recherche pour le Développement, France) e o CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) suporte número 910153/98-1. Esse trabalho foi também parcialmente financiado pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) suporte número 99/06045-7.

Referencias

- Bowen, R. L. and R. Saunders, 1984: The semitransparency correction as applied operationally to Meteosat infrared data: a remote sensing problem. *Eur. Space Agency J.*, **8**, 125-131.
- Clough, S. A., F. X. Kneizys, and R. W. Davies, 1989: Line shape and the water vapor continuum. *Atmos. Res.*, **23**, 229-241.
- Chou, M. D., and K. T. Lee, 1996: Parameterization for the absorption of solar radiation by water vapor and ozone. *J. Climate*, **53**, 1203-1208.

- Eumetsat, 1998. Proc. of the fourth International Winds Workshop, Saanenmoser, Switzerland, 20-23 October 1998. Eumetsat Publ. EUM P 24, 322 pp.
- Feigelson, E. M., B. A. Fomin, I. A. Gorchakova, E. V. Rozanov, Yu., M. Timofeyev, A. N. Trotsenko, M. D. Schwarzkopf, 1991: Calculation of longwave radiation fluxes in atmospheres. *J. Geophys. Res.*, **96**, 8985-9001.
- Fomin, B. A., 1995: Effective interpolation technique for line-by-line calculations of radiation absorption in gases. *J. Quant. Spectrosc. Rad. Transfer*, **53**, 663-669.
- Kalnay, E. et al., 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471.
- Laurent, H. e Machado, L. A., 1994. Extração de vento através de imagens de satélite meteorológicos. *Anais do VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Belo Horizonte (MG), 18 a 25 de outubro de 1994, vol. 1, 410-413.
- Liou K. N., 1992: Radiation and cloud processes in the atmosphere. Theory, observation and modeling, *New York. Oxford., Oxford university press*. pp.486.
- Menzel W. P., W. L. Smith and T. R. Stewart, 1983. Improved cloud motion wind vector and altitude assignment using VAS. *J. Climate Appl. Meteor.*, **22**, 377-384.
- Nieman S. J., W. P. Menzel, C. M. Hayden, D. Gray, S. T. Wanzong, C. S. Velden and J. Daniels, 1997. Fully automated cloud-drift winds in NESDIS operations. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 1121-1133.
- Ridgway, W. L., Harshvardhan, A. Arking, 1991: Computation of atmospheric cooling rates by exact and approximate methods, *J. Geophys. Res.*, **96**, 8969-8984.
- Roberts, R. E., E. A. Selby, L. M. Biberman, 1976: Infrared continuum absorption by atmospheric water vapor in the 8-12 μm window. *Appl. Opt.*, **15**, 1976.
- Rothman, L. S., et al., 1998: The HITRAN molecular database and HAWKS, 1996 edition, *J. Quant. Spectrosc. Rad. Transfer*, **60**, 665-710.
- Schmetz, J., Holmlund, K., Hoffman, J., Strauss, B., Mason, B., Gaertner, V., Koch, A. and Van De Berg, L., 1993. Operational Cloud-Motion Winds from Meteosat Infrared Images. *J. Appl. Meteor.*, **32**, 1206-1225.
- Silva Dias, M. A. F., A. J. Dolman, P. L. Silva Dias, S. Rutledge, E. Zipser, G. Fisch, P. Artaxo, A. Manzi, J. Marengo, C. Nobre and P. Kabat, 2000. An overview of the WET AMC/LBA – January and February 1999. 15th Conf. on Hydrology, 9-14 January 2000, Long Beach, Ca. AMS Publ., 305-306.