

EXTRAÇÃO DO VENTO UTILIZANDO IMAGENS DE SATÉLITE NO CPTEC : NOVA VERSÃO E AVALIAÇÃO COM DADOS DO WETAMC/LBA E DADOS OPERACIONAIS DA DSA/CPTEC

HENRI LAURENT ^{1,4}, NELSON ARAI², BORIS FOMIN³, LUIZ AUGUSTO T. MACHADO ¹ E
MARIGLAUDIO A. GONDIM ²

¹CTA/IAE/ACA, São José dos Campos, SP

²CPTEC/INPE, Cachoeira Paulista, SP

³LCP/MSK, Moscou, Russia

⁴IRD, LTHE, Grenoble, França

RESUMO

Campos de ventos obtidos através do deslocamento de nuvens observados em imagens de satélites geostacionários são ferramentas importantes na produção de observações para assimilação em modelos de circulação geral da atmosfera. Este estudo apresenta mudanças no algoritmo e melhorias no método em operação no CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos). Duas melhorias principais foram implementadas: uma correção da altura de nuvens semitransparentes, usando um novo modelo simplificado de transferência radiativa e um teste de consistência espacial. O desempenho do modelo radiativo foi avaliado usando cálculos linha por linha. O esquema como um todo foi comparado com o “estado da arte” representado pelos campos de vento obtidos por deslocamento de nuvens produzidos pela NOAA/NESDIS e validados através da comparação com dados de radiossonda obtidos na campanha WETAMC/LBA. Os resultados mostram que o produto da versão do CPTEC tem um desempenho semelhante aos produtos da NOAA/NESDIS para níveis troposféricos altos, ao passo que indicam a necessidade de maiores esforços na melhoria de ventos de nível médio e baixo. Essa nova versão do algoritmo vem sendo usada operacionalmente no CPTEC desde setembro de 2000 e algumas comparações com dados de radiossonda são apresentadas. Os resultados mostraram que, em um esquema operacional, os resultados foram piores que outros obtidos em campanha, devido a problemas encontrados com as imagens e com os dados de radiossondagem.

Palavras-chave: imagens de satélite, vento, modelo radiativo.

ABSTRACT: WIND EXTRACTION FROM SATELLITE IMAGES IN CPTEC: NEW VERSION AND VALIDATION USING WETAMC/LBA DATA AND OPERATIONAL DSA/CPTEC DATA

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-transparent 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 (National Oceanic and Atmospheric Administration/National Environmental Satellite, Data and Information Service) and validated by comparisons with radiosonde data available from the WETAMC/LBA campaign. Results show that the new 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. This new version is being used operationally at the CPTEC since September 2000 and some comparisons with radiosonde data are presented. The results show that in operational basis the performance were poorer than those obtained during the WETAMC/LBA campaign, because of problems encountered with the images and with the radiosonde data.

Key-words: satellite images, wind, radiative model.

1. INTRODUÇÃO

Os ventos deduzidos através da análise da

trajetória das nuvens, observadas por imagens de satélites geostacionários, são reconhecidos como uma importante fonte de informação 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 Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) 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 t₀-30 minutos, uma imagem IR e uma imagem WV em t₀ e uma imagem IR em t₀+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 32x32 pixels (≅150 km x 150 km) na

imagem (t) e todas as áreas de 32x32 pixels que existem em uma janela de 96x96 pixels na imagem (t+Δt). As formulações e detalhes do método são apresentados 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 orográfica estacionária.

O teste de qualidade mais importante é o teste de consistência temporal. Para a aplicação deste teste, utilizamos a imagem em t₀-30 minutos. O teste calcula o vetor vento entre t₀ e t₀-30 minutos, o resultado do vetor calculado não pode ser muito diferente que aquele calculado entre t₀ e t₀+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 no deslocamento real de um determinado conjunto de nuvens. Para tanto, utilizamos como valor máximo aplicado ao módulo do vetor a diferença entre V₁ (vetor entre t₀ e t₀+30 minutos) e V₂ (vetor entre t₀-30 minutos e t₀) 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 necessária a distribuição espacial do campo de vento. Para cada vetor V₁, calculam-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 V₁ 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 freqüentemente 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_i , 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 :

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

$$\text{Onde } R(P,T) = (P/P_{ref})^\gamma \exp(0,00135(T-T_{ref})).$$

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. A análise dos resultados obtidos mostrou também que sete coeficientes e pesos ($M=7$) foram suficientes para uma boa aproximação. Os valores desses coeficientes são apresentados na Tabela 1.

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

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

O modelo operacional (modelo simplificado) foi validado com o LBL (modelo completo). 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 $0,5 \text{ K}$ nos dois canais.

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.

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

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 semitransparência 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 WETAMC (Amazone Mesoscale Campaign – Wet season) do experimento LBA (Large scale Biosphere Atmosphere experiment), onde foram conduzidas medidas intensivas (4 radiossondagens a cada 3 horas) entre 15 de janeiro e 25 de fevereiro de 1999, em uma área da Amazônia (Silva Dias, 2001; Silva Dias et al., 2002). Os resultados são apresentados para o período de 15-01-1999 à 3-02-1999. 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 vento foram produzidos para esta

versão-teste com uma frequência média de 3 horas no período do estudo, utilizando-se da 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. Os dados de reanálise do NCEP são disponíveis sobre uma grade de 2,5 graus de latitude e longitude, a 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, e em conseqüência, 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 às observações de radiossondagem do LBA.

Os vetores ventos gerados a partir do CPTEC foram comparados com uma referência (radiossondas 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.

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 quadrático médio.

CPTEC vs NOAA/NESDIS				
	Todos Níveis	P > 700 hPa	400 < P < 700 hPa	P < 400 hPa
Vetor Médio da Diferença	1,5	1,4	1,5	1,7
RMS do Vetor Médio da Diferença	6,3	6,1	6,3	6,4
BIAS da Velocidade	-0,4	-0,2	-0,3	-0,5
RMS da Diferença de Velocidade	3,6	3,2	3,6	3,8
Velocidade Média da Referência	10,2	9,9	10,2	10,5
BIAS da Pressão	13	33	24	-2
RMS da Pressão	150	190	195	95
Amostragem	64593	15175	18498	30920

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 $6,5 \text{ ms}^{-1}$, 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 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 de altura do vento por satélite.

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 correção de semitransparência) vs NOAA/NESDIS				
	Todos Níveis	P > 700 hPa	400 < P < 700 hPa	P < 400 hPa
BIAS da Pressão	40	35	59	28
RMS da Pressão	169	194	210	102
Amostragem	64593	15231	22289	27073

O efeito da correção de semitransparência das nuvens na estimativa da altura do vetor vento pode ser obtido 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 semitransparentes 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 à mudança de uma parte dos vetores médios para níveis altos. O número de ventos em altos níveis aumenta por volta de 14 %. Com a aplicação dessa correção, o BIAS da pressão mudou de 28 hPa para -2 hPa para os níveis mais altos, e diminuiu de 59 hPa para 24 hPa para os níveis médios. No entanto, essa correção não afeta os vetores baixos (P > 700 hPa).

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

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	1,7	1,4	1,6	1,8
RMS do Vetor Médio da Diferença	7,4	7,2	7,6	7,4
BIAS da Velocidade	-0,4	-0,2	-0,3	-0,5
RMS da Diferença de Velocidade	4,4	4,1	4,6	4,5
Velocidade Média da Referência	10,1	9,8	10,0	10,3
BIAS da Pressão	24	57	41	-4
RMS da Pressão	169	218	207	101
Amostragem	73392	17014	22072	34306

A Tabela 5 mostra os resultados obtidos quando o teste de consistência espacial não é aplicado, a ser comparados com os resultados da Tabela 3. O efeito da aplicação desse teste é de remover cerca de 12% dos vetores, levando uma redução do RMS de $7,4 \text{ ms}^{-1}$ para $6,3 \text{ ms}^{-1}$ no total. Nota-se que a velocidade de referência não diminuiu (ao contrário, 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 radiossondas 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 radiossondagem e dos ventos calculados pelo CPTEC e pela NOAA/NESDIS. Observamos uma grande coerência entre as diferentes formas de obter o vetor vento.

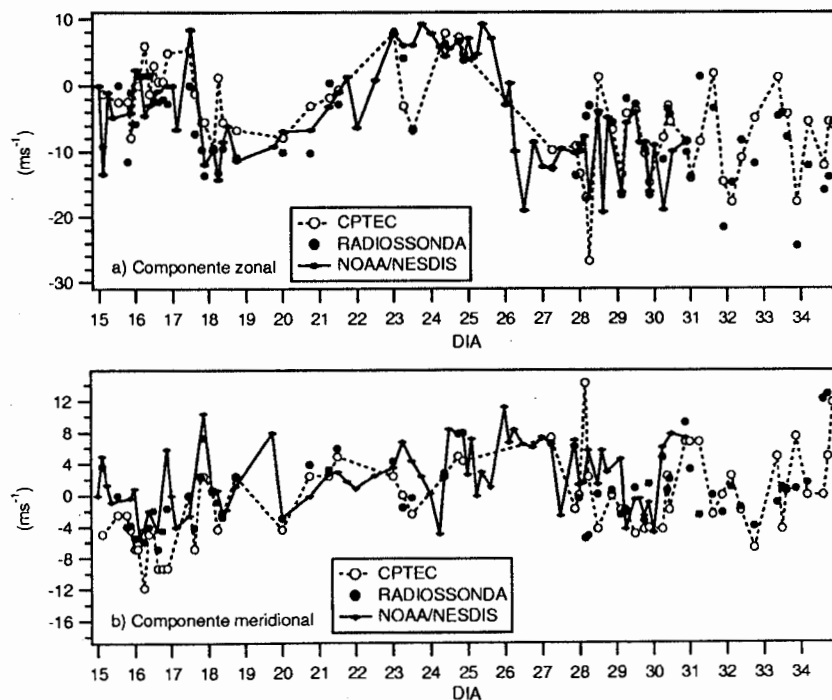


Figura 1. Componentes zonal e meridional do vento observado na estação de radiossondagem Abracos ($10,77 \text{ S} - 62,34 \text{ W}$) e do vento obtido por satélite no CPTEC e na NOAA/NESDIS durante a campanha AMC/LBA. As curvas apresentam as componentes do vento calculadas pelo CPTEC, pela NOAA/NESDIS, e as componentes do vento medida pela radiossondagem no nível de pressão correspondente.

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 quadrático médio.

CPTEC vs Radiosondas

	Todos Níveis	P > 700 hPa	400 < P < 700 hPa	P < 400 hPa
Vetor Médio da Diferença	2,7	23,4	0,9	3,5
RMS do Vetor Médio da Diferença	7,5	24,8	7,8	6,5
BIAS da Velocidade	-1,7	-15,1	-2,9	-2,5
RMS da Diferença de Velocidade	5,3	15,8	4,8	4,9
Velocidade Média da Referência	10,6	8,3	4,4	11,3
Amostragem	147	3	13	131

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

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	-0,7	0,7	3,3	-0,8
RMS da Diferença de Velocidade	3,6	2,0	3,4	3,7
Velocidade Média da Referência	10,0	4,7	3,1	10,4
Amostragem	158	3	6	149

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 utilizando o modelo do CPTEC têm um RMS de $6,5 \text{ ms}^{-1}$ e um BIAS de $-2,5 \text{ ms}^{-1}$ para uma velocidade média de $11,3 \text{ ms}^{-1}$. Os vetores calculados utilizando o modelo do NOAA/NESDIS têm um RMS de $6,3 \text{ ms}^{-1}$ e um BIAS de $-0,8 \text{ ms}^{-1}$ para uma velocidade média de $10,4 \text{ ms}^{-1}$. 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.

5.AVALIAÇÃO DO PRODUTO OPERACIONAL DA DIVISÃO DE SISTEMAS E SATÉLITES AMBIENTAIS – DSA/CPTEC.

Estimativas de campos vetoriais do vento, baseados no deslocamento de nuvens utilizando imagens de satélites geoestacionários, começaram a ser disponibilizadas operacionalmente 8 vezes ao dia, em setembro de 2000, pela DSA/CPTEC. Um exemplo de campos de vento, em três níveis obtidos no esquema operacional do CPTEC para o dia 30 de dezembro de 2000, é apresentado na Figura 2. Nota-se um grande número de vetores com uma boa consistência espacial. Um exemplo de estimativa incorreta pode ser visto na região (10 N-35 W) onde três vetores representativos do vento na alta ou média troposfera foram estimados como vento de baixos níveis.

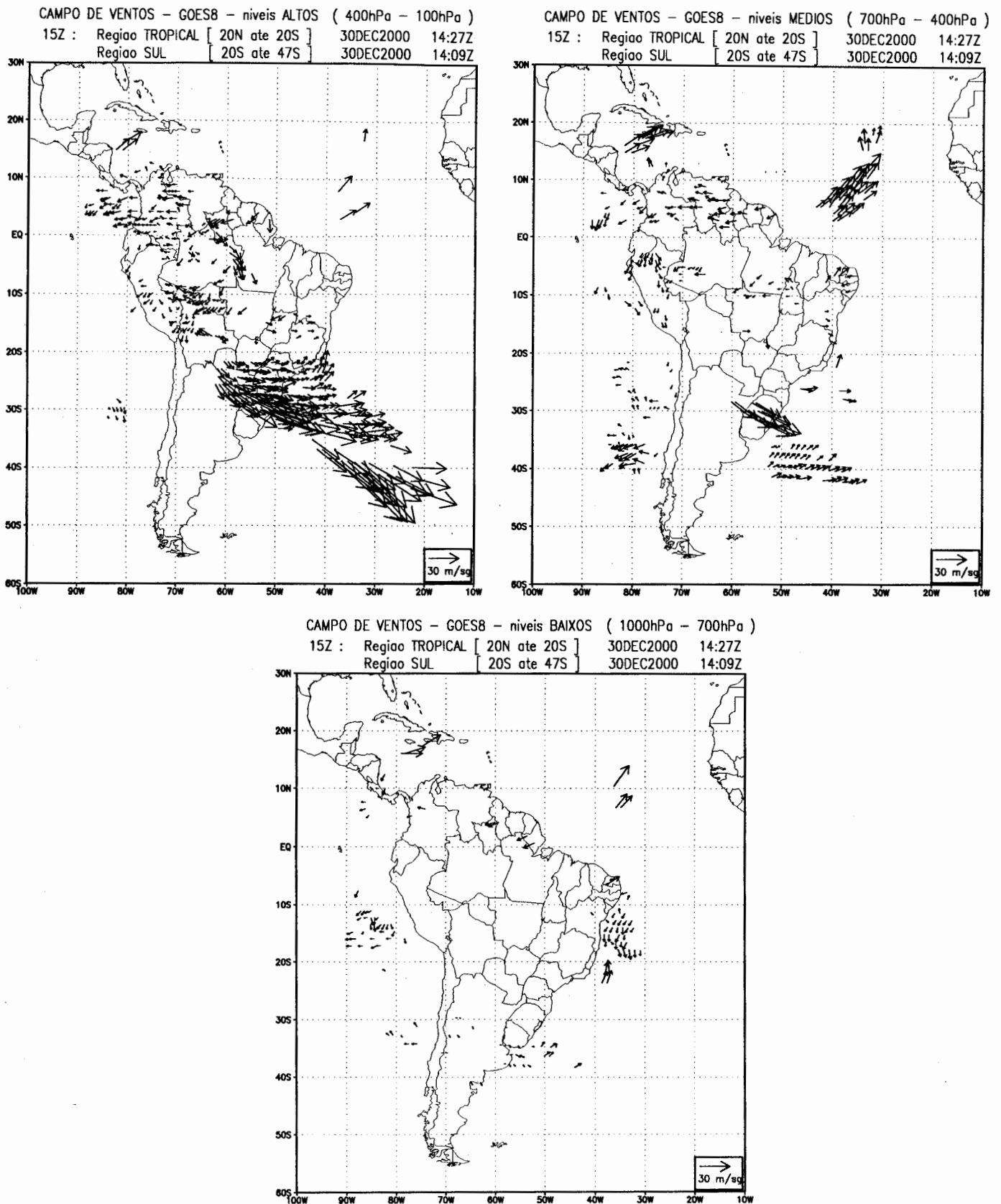


Figura 2. Campos de ventos derivados das imagens GOES-IR pelo esquema operacional da DSA/CPTEC, para o dia 30 de dezembro de 2000, às 1400 GMT. Os resultados são apresentados em 3 camadas: níveis altos, níveis médios e níveis baixos.

Ao longo do tempo, várias implementações foram feitas no algoritmo original, visando resultados mais consistentes e confiáveis, podendo-se citar entre outros a correção de nuvens semitransparentes e o teste de consistência espacial. Conforme pode ser observado no capítulo anterior, os resultados da comparação dos dados obtidos através da metodologia com os dados observados nas radiossondagens, durante a realização do experimento, WETAMC/LBA mostraram-se bastante satisfatórios. Trata-se de resultados obtidos em condições extremamente favoráveis, tendo em vista que os dados do satélite GOES utilizados foram obtidos diretamente da NOAA/NESDIS, o que garante uma certa “qualidade” dos dados (mesmo assim, com problemas

em cerca de 8% das imagens). Os dados de radiossonda, por sua vez, foram obtidos durante um experimento específico, utilizando um único sistema de sondagem, o que propicia maior consistência e qualidade nas observações. Em um experimento deste tipo, as colocações entre os dados de satélites e radiossondas podem ser muito melhor definidas que em um esquema operacional, onde tanto a localização das radiossondas quanto os horários das mesmas podem não coincidir umas com as outras.

A título de exemplo de comparação entre campos vetoriais do vento obtidos operacionalmente na DSA/CPTEC e dados de radiossonda, apresentam-se comparações para o mês de dezembro de 2000, na Tabela 8.

Tabela 8. Diferenças estatísticas do vento ($m.s^{-1}$) entre vetores operacionais da DSA/CPTEC e radiossondas. BIAS é a diferença das médias e RMS é o erro quadrático médio.

DSA/CPTEC vs Radiossondas

	Todos Níveis	P > 700 hPa	400 < P < 700 hPa	P < 400 hPa
Vetor Médio da Diferença	3,3	3,5	2,4	3,9
RMS do Vetor Médio da Diferença	9,5	10,3	8,6	9,5
BIAS da Velocidade	-0,6	0,5	1,6	-2,1
RMS da Diferença de Velocidade	6,1	4,9	5,3	6,8
Velocidade Média da Referência	9,2	7,8	6,5	11,1
Amostragem	178	44	41	93

Concorrem para os resultados obtidos na Tabela 8, entre outros, problemas com frequência na obtenção de imagens, tendo em vista que a NOAA/NESDIS não transmite imagens para o setor sul durante sua operação no modo “rapid scan” no Hemisfério Norte, o que inviabiliza a metodologia que se utiliza de seqüência de três imagens consecutivas.

Tomando como exemplo o mesmo mês de dezembro de 2000, observa-se que, de um total de 717 imagens possíveis, foram efetivamente geradas 366 imagens, perfazendo um total de 51% de imagens utilizáveis. Esta perda deve ser creditada conjuntamente a problemas de recepção das imagens transmitidas pela NOAA/NESDIS (observar que mesmo nas imagens de arquivo da NOAA/NESDIS durante o experimento WETAMC/LBA, o percentual de imagens com problemas foi de cerca de 8%); e problemas de perda de imagens no próprio

sistema de recepção da DSA/CPTEC.

Deve ser ressaltado, também, que algumas estações de radiossondagem apresentaram, sistematicamente, dados com grandes diferenças em relação aos do algoritmo, valores que, em uma análise mais detalhada, se mostraram improváveis no que se refere à estrutura vertical da sondagem.

Outro fato observado foi a ocorrência de grupos de vetores com sentido oposto ao fluxo do vento em um mesmo nível. Uma análise mais acurada de algumas situações particulares mostraram um cisalhamento muito forte do vento em uma camada fina da atmosfera, indicando, que embora esses vetores fossem colocados em um mesmo nível, na realidade, estavam em níveis diferentes, mas próximos entre si. Este tipo de problema tende a desaparecer com uma melhor estimativa na altura das nuvens.

Observou-se, também, que a correção de semitransparência ocasionalmente não funciona, principalmente quando confunde nuvens altas finas com nuvens baixas. Este problema pode ser minimizado com uma melhor definição de limiares, que serão estabelecidos através de uma análise específica para este tipo de caso.

A maioria dos problemas relacionados anteriormente serão minimizados com um esquema de classificação de nuvens mais preciso.

6. 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 semitransparentes, 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 amostragem estatística não seja significativa para se tirar conclusões. Com relação à comparação com as radiossondas do WETAMC/LBA, os resultados mostram que o RMS para ambos os modelos apresentam resultados bastante satisfatórios para os níveis altos.

A performance do modelo do CPTEC para o esquema operacional é limitada por alguns problemas básicos, como falhas na transmissão de imagens, problemas no sistema de recepção do CPTEC e ruídos nas imagens transmitidas pela NOAA/NESDIS, conforme descrito no item 5 do presente estudo. Além disso, verificou-se, na comparação com dados de sondagens, que algumas estações apresentaram problemas na consistência dos dados. Como o período de comparação foi bastante curto (1 mês), espera-se que, com a análise de um período mais longo, uma melhoria

no controle de qualidade das imagens e uma depuração nos dados de radiossonda possam melhorar o desempenho do esquema operacional.

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.

7-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 WETAMC/LBA.

À AEB – Agência Espacial Brasileira, o suporte das atividades do pesquisador Nelson Arai.

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.

8-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOWEN, R. L.; SAUNDERS, R. The semitransparency correction as applied operationally to Meteosat infrared data: a remote sensing problem. **Eur. Space Ag. J.** n.8, 125-31, 1984.
- CHOU, M. D.; LEE, K. T. Parameterizations for the absorption of solar radiation by water vapor and ozone. **J. Atmos. Sci.**, v.53, n.8, 1203-8, 1996.
- CLOUGH, S. A.; KNEIZYS, F. X.; DAVIES, R. W. Line shape and the water vapor continuum. **Atmos. Res.**, v.23, 229-41, 1989.
- EUMETSAT. In: INTERNATIONAL WINDS WORKSHOP,4, 1998, Saanenmoser, Switzerland, 20 - 23 oct., 1998 **Proceedings...** EUM 322 p., 1998.
- FEIGELSON, E. M.; ET AL. Calculation of longwave radiation fluxes in atmospheres. **J. Geophys. Res.**, v.96, n.5, 8985-9001, 1991.
- FOMIN, B. A. Effective interpolation technique for line-by-line calculations of radiation absorption in gases.

- J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer**, v.53, n.6, 663-9, 1995.
- KALNAY, E., et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bull. Am. Meteorol. Soc.**, v.77, n.3, 437-71, 1996.
- LAURENT, H.; MACHADO, L. A.. Extração de vento através de imagens de satélites meteorológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8., 1994, Belo Horizonte (MG). SBMET, v.1, p.410-3.
- LIU K. N. **Radiation and cloud processes in the atmosphere. Theory, observation and modeling**, New York. Oxford: Oxford University Press, 1992, p.486.
- MENZEL W. P.; SMITH, W. L.; STEWART, T. R. Improved cloud motion wind vector and altitude assignment using VAS. **J. Clim. Appl. Meteorol.**, v.22, n.3, p.377-84, 1983.
- NIEMAN S. J., et al. Fully automated cloud-drift winds in NESDIS operations. **Bull. Am. Meteorol. Soc.**, v.78, n.6, p.1121-33, 1997.
- RIDGWAY, W. L.; HARSHVARDHAN, G.; ARKING, A. Computation of atmospheric cooling rates by exact and approximate methods, **J. Geophys. Res.**, v.96, n.5, p.8969-84, 1991.
- ROBERTS, R. E.; SELBY, J. E. A.; BIBERMAN, L. M. Infrared continuum absorption by atmospheric water vapor in the 8-12 μm window. **App. Optics**, v.15, n.9, p.2085-90, 1976.
- ROTHMAN, L. S., et al. The HITRAN molecular database and HAWKS, 1996 edition, **Journal of Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer**, v.60, p.665-710, 1998.
- SCHMETZ, J.; et al. Operational cloud-motion winds from Meteosat Infrared Images. **J. Appl. Meteorol.**, v.32, n.7, p.1206-25, 1993.
- SILVA DIAS, M.A.F. Experimento de grande escala da interação biosfera-atmosfera na Amazônia: resultados preliminares. **Bol. Soc. Bras. Meteorol.**, v.25, n.1, p.7-14, 2001.
- SILVA DIAS M.A.F., et al. Clouds and rain processes in a biosphere atmosphere interaction context in the Amazon region. **J. Geophys. Res.**, 2002. (no prelo).