

ESTUDO DAS VARIAÇÕES ESPACIAIS DAS FUNÇÕES-PESO EM MICROONDAS SOBRE O BRASIL UTILIZANDO O MODELO ATM

José Ricardo Siqueira

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas 1758, 12227-010, São José dos Campos, SP.
E-mail: ricardo@met.inpe.br

Eduardo Jorge de Brito Bastos

Universidade do Vale do Paraíba, Rua Paraibuna nº 75, Centro, 12245-020 – São José dos Campos, SP.
E-mail: ebastos@univap.br

Kioshi Hada

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas 1758, 12227-010, São José dos Campos, SP.
E-mail: hada@met.inpe.br

ABSTRACT

The weighting functions of the ten channels of the Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU) of the Advanced TIROS-N/NOAA Operational Vertical Sounder (ATOVS), calculated from the Atmosphere Transmission at Millimetric and Submillimetric Wavelengths (ATM) model, were compared with those from the AMSU/ATOVS. Among the ten channels, five refer to the oxygen absorption lines around 57,29 GHz, that constitute the AMSU-A (channels 2, 4, 5, 6 and 8), while the other five are associated to water vapor absorption lines around 183,31 GHz, that compose the AMSU-B (channels 16, 17, 18, 19 and 20). Spatial distribution of the weighting functions over Brazil were studied. The results show consistency among the weighting functions for the majority of the AMSU-A channels. For the AMSU-B channels, a discrepancy among the weighting functions obtained with the climatological profiles was observed. This suggests a more specific definition of the weighting functions for Brazil.

INTRODUÇÃO

As medidas de radiância atmosférica feitas por radiômetros no domínio das microondas têm sido utilizadas para avaliar as concentrações de espécies moleculares presentes na atmosfera, especialmente do oxigênio, do ozônio e do vapor d'água. Desta forma, possibilitou-se inferir perfis verticais de temperatura a partir de observações das linhas de absorção do oxigênio molecular. Além disso, as medidas de absorção no contínuo do vapor d'água podem ser utilizadas para estimar o conteúdo total de vapor d'água na atmosfera, enquanto as medidas das fortes transições rotacionais do vapor d'água são muito úteis para inferir perfis verticais de umidade da atmosfera.

Neste contexto, foi projetada a unidade radiométrica AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit - Unidade de Sondagem Avançada em Microondas) do sistema ATOVS (Advanced TIROS-N/NOAA Operational Vertical Sounder - Sondador Vertical Operacional Avançado do TIROS-N/NOAA), atualmente em operação a bordo do satélite de órbita polar NOAA/KLM (National Oceanic and Atmosphere Administration/KLM - Administração da Atmosfera e do Oceano Nacional/KLM) ou NOAA-15, lançado com sucesso em 1998. A AMSU vem sendo utilizada no aprimoramento da inferência de perfis verticais de temperatura e umidade da atmosfera, por meio das radiâncias medidas pelas suas unidades AMSU-A e AMSU-B, respectivamente. Esta melhoria na qualidade das sondagens atmosféricas tem sido viabilizada pela possibilidade de eliminar o efeito da nebulosidade nos cálculos de transferência radiativa na ausência de precipitação, válida para o espectro das microondas.

Recentemente, tornou-se disponível para a comunidade científica um algoritmo para o estudo da atmosfera terrestre a partir de observações espectroscópicas, denominado ATM (Atmosphere Transmission at Millimetric and Submillimetric Wavelengths - Transmitância Atmosférica em Comprimentos de Onda Milimétricos e Submilimétricos). O ATM, desenvolvido por Cernicharo (1985) citado por Pardo (1996), foi elaborado para simular a emissão atmosférica em microondas. Para tal, o modelo calcula os coeficientes de absorção dos principais gases atmosféricos, as opacidades e as funções-peso para cada nível de pressão atmosférica. Além disso, o modelo permite estimar temperaturas de brilho no topo da atmosfera, a partir de perfis verticais de temperatura e umidade da atmosfera, emissividade da superfície terrestre, ângulo de visada dos satélites, entre outros dados de entrada. Pardo (1996) utilizou o modelo ATM para determinar funções-peso associadas às linhas de absorção em microondas dos principais gases atmosféricos, considerando atmosferas

tropicais, de latitudes médias e subpolares. Este autor observou grandes diferenças entre as curvas que representam as funções-peso obtidas para os 3 tipos de atmosfera. A partir desta avaliação, surgiu a questão a respeito da validade das funções-peso que são utilizadas por sensores orbitais em operação. Citam-se, por exemplo, os sensores operacionais utilizados na sondagem remota para a inferência de temperatura e umidade da atmosfera para diferentes regiões do globo terrestre, em especial a unidade AMSU do sistema ATOVS.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi determinar as funções-peso no espectro das microondas, associadas às linhas de absorção dos gases atmosféricos de maior contribuição nesta região espectral (oxigênio e vapor d'água), obtidas utilizando perfis verticais de temperatura e umidade da atmosfera para as 5 regiões do Brasil. Dentre elas, destacam-se as linhas de absorção do oxigênio em torno de 57,29 GHz e, principalmente, as do vapor d'água em torno de 183,31 GHz.

DADOS E METODOLOGIA

Os dados utilizados neste trabalho consistem em perfis verticais de temperatura e umidade climatológicos de algumas das 11 estações de radiossondagem do Ministério da Aeronáutica do Brasil. Os dados das 11 estações do Brasil foram cedidos pelo IAE/CTA (Instituto de Aeronáutica e Espaço/Centro Técnico Aeroespacial). Estes dados foram produzidos em 1989 e consistem em médias climáticas mensais e anuais, para o período de 1963 a 1980, de estações consideradas como representativas das regiões Norte, Nordeste, Centro Oeste, Sudeste e Sul do Brasil.

Para calcular as funções-peso associadas às principais linhas de absorção do oxigênio e do vapor d'água em microondas, foi utilizado o modelo de transferência radiativa em microondas ATM, desenvolvido por Cernicharo (1985) para o ambiente UNIX. As funções-peso foram obtidas para os principais canais das unidades AMSU/A e AMSU/B do sistema ATOVS, descritos nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. Dentre os canais da AMSU-A, escolheu-se o canal 2 do módulo AMSU-A2 e os canais 4, 5, 6 e 8 do módulo AMSU-A1, devido à disponibilidade de dados climatológicos para o Brasil. Em função do importante papel meteorológico desempenhado pelo vapor d'água nos processos atmosféricos, adotaram-se todos os canais da AMSU-B para a avaliação das funções-peso, em particular, os canais associados às fortes linhas de absorção do vapor d'água nas frequências em torno de 183,31 GHz.

Consideraram-se como dados de entrada para o cálculo das funções-peso perfis verticais de temperatura e umidade da atmosfera de 5 regiões do Brasil (perfis climatológicos). Os perfis climatológicos do Brasil foram inseridos no ATM mediante o uso de arquivos do modelo estruturados para aceitar dados de radiossondagem. Este arquivo consiste em perfis verticais de temperatura e temperatura do ponto de orvalho da atmosfera para cada nível de pressão, de 50 em 50 hPa. Para cada arquivo de entrada, o modelo calcula as alturas correspondentes aos níveis de pressão considerando que a atmosfera esteja em equilíbrio hidrostático, e converte a temperatura do ponto de orvalho em razão de mistura por unidade de volume.

Utilizaram-se os perfis verticais climatológicos das estações de Manaus /AM e Belém /PA (região Norte), Natal /RN e Fernando de Noronha /RN (região Nordeste), Campo Grande /MS (região Centro-oeste), São Paulo /SP (região Sudeste), Porto Alegre /RS e Curitiba /PR (região Sul). As estações pertencentes às regiões Norte, Nordeste e Centro-oeste do Brasil foram utilizadas para representar regiões tropicais do País, enquanto as estações referentes às regiões Sudeste e Sul foram utilizadas para representar regiões na faixa de latitudes médias.

Para verificar a variabilidade espacial da função-peso para o Brasil, as funções-peso foram calculadas utilizando perfis verticais climatológicos referentes às médias anuais de Manaus/AM, Natal/RN, Campo Grande/MS, São Paulo /SP e Porto Alegre/RS, representativas das 5 regiões do País. Além disso, com o objetivo de verificar o comportamento das funções-peso em regiões oceânicas, foi utilizada a média anual do perfil vertical climatológico de Fernando de Noronha /RN.

Para diversos perfis verticais climatológicos foram feitos estudos comparativos com a finalidade de verificar as diferenças de altura e pressão mais significativas para cada contribuição das funções-peso normalizadas. Também foram verificadas as diferenças de temperatura para cada contribuição, adotando um mesmo perfil vertical de temperatura da atmosfera. As diferenças de temperatura entre as funções-peso foram verificadas com base na precisão de 1 K na temperatura de brilho do topo da atmosfera, detectada pelos sondadores do sistema ATOVS (Goodrum et al., 1998). Tal precisão corresponde a uma precisão de temperatura de cerca de 2 K na inferência de temperatura da atmosfera (Sullivan et al., 1998), válida para a unidade AMSU-A do ATOVS. Para a unidade AMSU-B, a precisão de 1 K na temperatura de brilho do topo da atmosfera corresponde a uma precisão de umidade da ordem de 10 % na inferência de umidade da atmosfera (Houghton, 1985).

RESULTADOS

A Figura 1 ilustra as funções-peso dos canais 2, 4, 5, 6 e 8. De um modo geral, as funções-peso de Manaus, Natal, Fernando de Noronha e Porto Alegre apresentam curvas deslocadas verticalmente em relação às curvas de São Paulo e Campo Grande. Para o canal 2, as FP de São Paulo e Campo Grande, embora se mostrem similares às outras funções-peso na região da atmosfera abaixo de 2 km, apresentam diferenças de pressão de aproximadamente 80 hPa para cada contribuição das FP. Esta diferença de pressão é verificada em virtude de os perfis climatológicos das regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil apresentarem pressões mais baixas que os perfis climatológicos do Norte, Nordeste e Sul do País. Em termos de temperatura, a diferença estimada é de aproximadamente 5 K. Já no canal 4, as FP de São Paulo e Campo Grande mostram-se consistentes em níveis de pressão com as de Manaus e Porto Alegre, apresentando diferenças de temperatura menores que 2 K. A consistência de altura verificada entre as FP de Natal e Campo Grande está associada a uma diferença de pressão de cerca de 80 hPa, para cada contribuição das funções-peso na região da atmosfera abaixo de 5 km. A mesma diferença de pressão é verificada entre as FP de Manaus e Natal e, em ambos os casos, a diferença de temperatura estimada é da ordem de 5 K.

Apesar do deslocamento vertical com relação às curvas das outras funções-peso (diferença de 1 km entre os máximos), nos canais 5, 6 e 8, as FP de São Paulo e Campo Grande apresentam os mesmos níveis de pressão para cada contribuição das FP. Além disso, os máximos das seis FP coincidem em torno de 620 hPa, 320 hPa e 160 hPa, para os canais 5, 6 e 8, respectivamente. Verifica-se que as diferenças de temperatura para cada contribuição das FP, com relação à FP média das 5 regiões, permanecem em torno do erro de temperatura aceitável (2 a 3 K). Portanto, tem-se a possibilidade de representar as FP das 5 regiões do Brasil pela FP média do País. Neste caso, a semelhança apresentada pelos perfis verticais de temperatura das 5 regiões do Brasil gera funções-peso consistentes, inclusive as dos canais contaminados pelo vapor d'água.

Nos canais 16 a 20 da AMSU-B, é observada uma mesma disposição das curvas que representam as funções-peso obtidas para as 5 regiões do Brasil (Figura 8). Basicamente, o que se verifica são curvas de São Paulo, Porto Alegre e Campo Grande (perfis climatológicos mais secos) deslocadas na vertical em relação às curvas de Manaus, Natal e Fernando de Noronha (perfis mais úmidos). Para o canal 16, a maior discrepância encontrada entre as FP é observada para Campo Grande e Porto Alegre. Apesar de consistentes em altura, uma diferença de pressão de cerca de 80 hPa é verificada para cada contribuição das FP, praticamente em toda a região da atmosfera que contribui para o sinal do sensor. A diferença de temperatura estimada é de aproximadamente 5 K. Apesar da distinção entre as suas curvas, as FP de São Paulo e Manaus exibem os mesmos níveis de pressão para cada contribuição. As diferenças de temperatura estimadas entre a FP média e as FP de cada uma das regiões são da ordem de 2,5 K. No canal 17, a FP de Manaus apresenta uma curva mais deslocada na vertical, com um máximo em torno de 1,4 km (≈ 870 hPa). A FP de Porto Alegre, com um máximo em cerca de 0,44 km (≈ 970 hPa), exibe a maior diferença de máximos em relação à FP de Manaus, associada a diferenças de temperatura de cerca de 7 K. Com relação às FP das 5 regiões, a FP média apresenta diferenças de temperatura da ordem de 3 a 4 K. Todavia, com a definição de uma FP média para as regiões tropical e de latitudes médias do Brasil (Seção 6.2), têm-se diferenças de temperatura menores que 2 K em relação às FP de cada região, incluindo a região Centro-Oeste em latitudes médias.

Para o canal 18, a FP de Manaus exibe um máximo em torno de 7,4 km (≈ 420 hPa), apresentando uma discrepância com a FP de Porto Alegre, cujo máximo está em torno de 6,6 km (≈ 470 hPa). Na região da atmosfera entre 2 e 7 km, as diferenças de altura e pressão registradas para cada contribuição das FP atingem valores de quase 2 km e 100 hPa, respectivamente, proporcionando diferenças de temperatura da ordem de 9 K. Deste modo, para cada contribuição das FP, a FP média apresenta diferenças de temperatura da ordem de 5 K em relação às FP de Manaus e Porto Alegre, portanto, sugerindo a definição de FP médias específicas para regiões tropical e de latitudes médias do Brasil. No canal 19, a FP de Manaus tem um máximo em torno de 5,7 km (≈ 520 hPa), acima do apresentado pela FP de Porto Alegre, que é em cerca de 4 km (≈ 620 hPa). O perfil climatológico de Natal estabelece uma FP com máximo em torno de 5 km (≈ 570 hPa), mas na região da atmosfera entre 2 e 4 km são verificadas, para contribuições das FP da ordem de 0,8, diferenças de altura e pressão de quase 1,5 km e 100 hPa, respectivamente, em relação à FP de Manaus. As diferenças de temperatura estimadas nestes 2 casos são da ordem de 10 K. As FP de São Paulo, Campo Grande e Porto Alegre apresentam-se consistentes em níveis de pressão, sugerindo a definição de uma FP específica de latitudes médias para o Brasil. Devido à discrepância entre as FP de Manaus e Natal, a definição de uma FP média tropical para o Brasil pode não ser válida. Analogamente, no canal 20, a FP de Manaus apresenta um máximo em cerca de 4,3 km (≈ 620 hPa), aproximadamente 2 km acima do apresentado pela FP de Porto Alegre e Natal (≈ 770 hPa). Como as FP de São Paulo e Porto Alegre apresentam consistência em pressão e uma diferença de altura entre os máximos de quase 0,3 km (≈ 50 hPa), a definição de

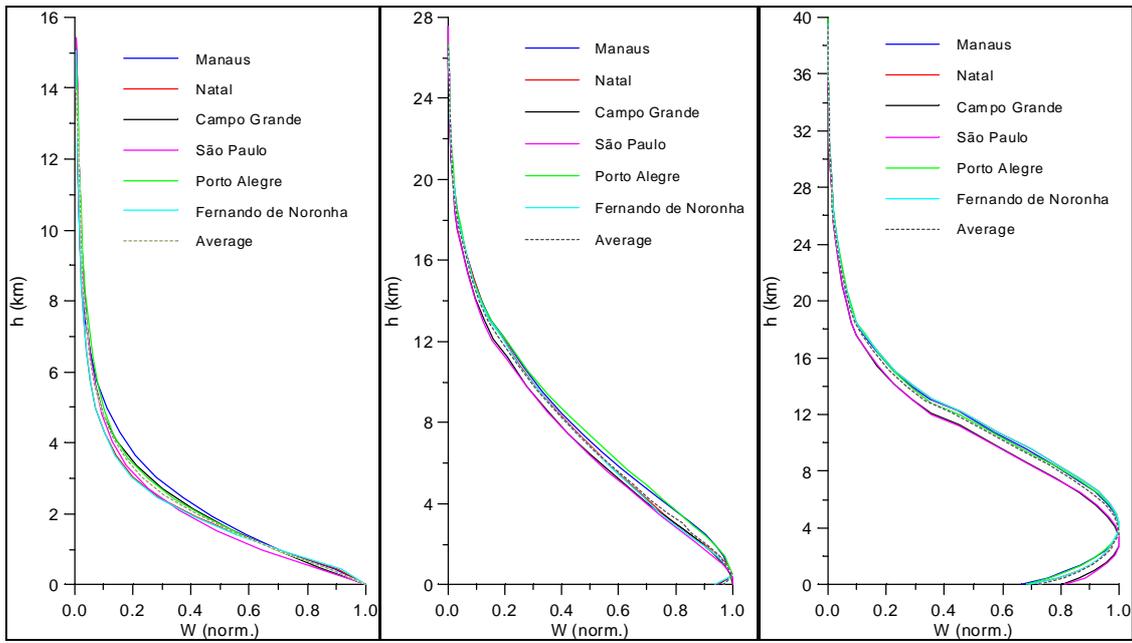
uma FP de latitudes médias pode ser adequada para representar as regiões Sudeste e Sul do Brasil. Todavia, a estação de Campo Grande não pode ser incluída em latitudes médias, pois a FP de Campo Grande apresenta uma diferença de máximos em relação ao da FP de Porto Alegre de cerca de 100 hPa, estabelecendo diferenças de temperatura da ordem de 7 K.

Na avaliação das funções-peso dos 5 canais da AMSU-B, são verificadas diferenças significativas entre as 5 regiões do Brasil, em particular, nas regiões Norte e Sul do País. Em virtude de a concentração do vapor d'água ser muito variável de uma região para outra, a FP média representa algumas regiões com diferenças de temperatura muito acima da aceitável. Para os canais de maior opacidade atmosférica (17 a 20), que apresentam maiores diferenças entre as FP, a definição de funções-peso específicas para a região tropical do Brasil também pode gerar discrepância em relação às FP de Manaus e Natal. Por outro lado, a consistência notada entre as FP de Natal (RN) e Fernando de Noronha (RN) demonstra que perfis climatológicos oceânicos não influenciam de forma significativa nas funções-peso.

CONCLUSÕES

No estudo da variação espacial das funções-peso do Brasil, verificou-se para os canais da AMSU-A a possibilidade de representar funções-peso das 5 regiões do país por meio da sua média. Para os canais da AMSU-B, diferenças relevantes entre as funções-peso das 5 regiões do Brasil foram verificadas, em particular, entre as regiões Norte e Sul do País. Deste modo, a função-peso média representaria algumas regiões de forma discrepante. Nos canais de maior opacidade atmosférica (17 a 20), a definição de funções-peso específicas para regiões tropicais (Norte e Nordeste) e de latitudes médias (Sudeste e Sul) do Brasil também poderia gerar discrepância. Por outro lado, a consistência verificada entre as funções-peso obtidas para os perfis climatológicos de Natal (RN) e Fernando de Noronha (RN) demonstrou que perfis oceânicos não influenciam de maneira significativa as funções-peso.

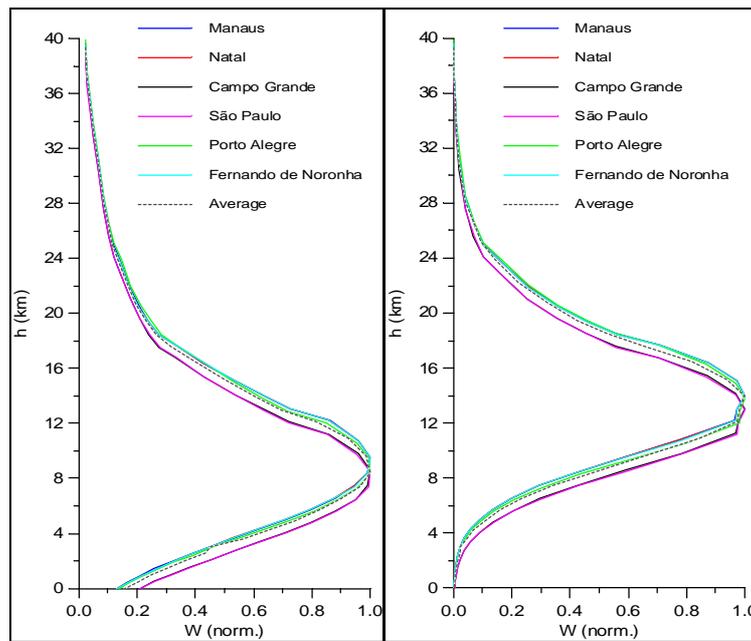
De modo geral, os estudos indicam que certos cuidados devem ser tomados na utilização de funções-peso da AMSU/ATOVS em aplicações atmosféricas voltadas para o Brasil. A padronização de funções-peso para o País pode acarretar erros de precisão, principalmente nos canais associados às fortes linhas de absorção do vapor d'água, que é um gás de concentração muito variável na atmosfera. Para eles, é frequentemente difícil definir uma função-peso (média) que represente as 5 regiões do Brasil. Em alguns casos, nem mesmo funções-peso específicas para as regiões tropicais ou de latitudes médias do País são viabilizadas.



(a)

(b)

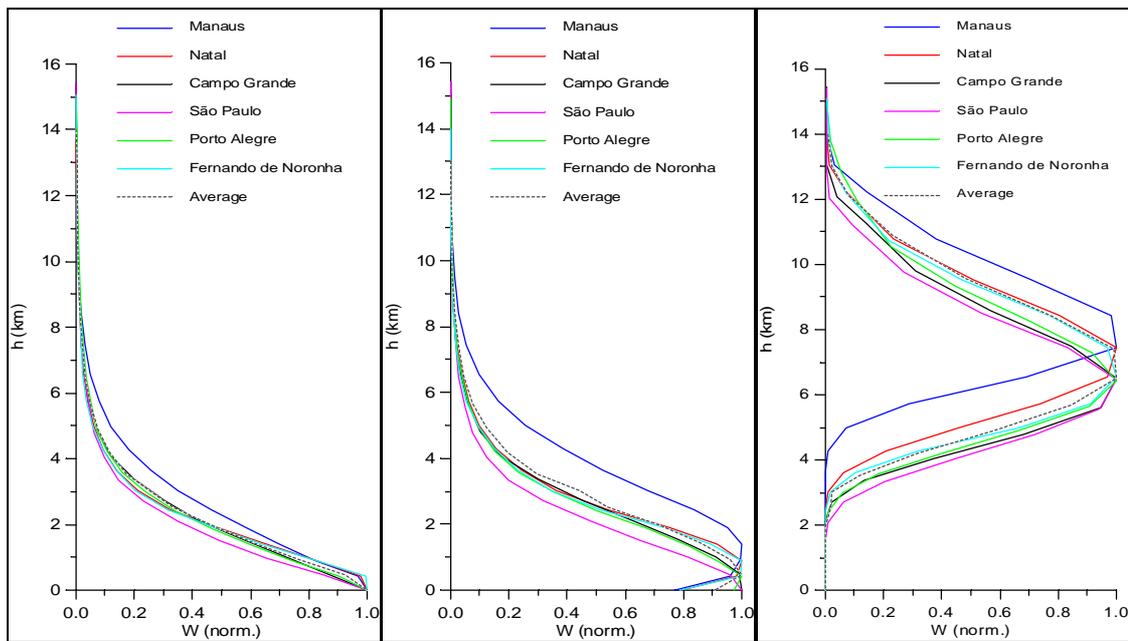
(c)



(d)

(e)

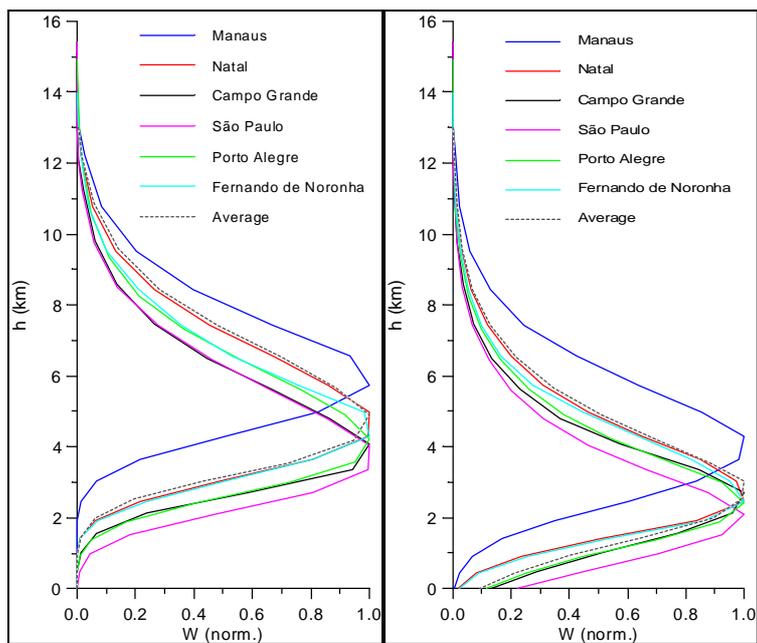
Fig. 1 - Funções-peso normalizadas dos canais 2 (a), 4 (b), 5 (c), 6 (d) e 8 (e) da AMSU-A para médias anuais de perfis verticais climatológicos do Brasil.



(a)

(b)

(c)



(d)

(e)

Fig. 2 - Funções-peso normalizadas dos canais 16 (a), 17 (b), 18 (c), 19 (d) e 20 (e) da AMSU-B para médias anuais de perfis verticais climatológicos do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chandrasekhar, S. *Radiative Transfer*. New York: Dover, 1950.

- Goodrum, G.; Kidwell, K.B.; Winston, W. **NOAA KLM User's Guide**. [online]. <<http://perigee.ncdc.noaa.gov/docs/klm/index.htm>>. Abr. 1998.
- Greenwald, T. **AMSU Weighting Functions**. [online]. <<http://amsu.cira.colostate.edu>>. Dez. 1998.
- Houghton, D.D. **Handbook of Applied Meteorology**. Wisconsin: John Wiley and Sons, 1985. 1461p.
- Instituto de Aeronáutica e Espaço - Centro Técnico Aeroespacial (IAE - CTA). **Médias Climáticas Mensais de Sondagens Atmosféricas**. São José dos Campos, 1989.
- Liou, K.N. **An introduction to atmospheric radiation**. New York: Academic Press, 1980. 392p.
- Pardo, J.R. **Études de l'atmosphère terrestre au moyen d'observations dans les longueurs d'onde millimétriques et submillimétriques**. Paris. 202p. Dissertação (Doutorado em Astrofísica e Técnicas Espaciais) - Université PARIS VI - Universidad Complutense de Madrid, 1996.
- Sullivan, J.; Gandin, L; Gruber, A.; Baker, W. Observation Error Statistics for NOAA-10 temperature and high retrievals. **Monthly Weather Review**, v.121, p. 2578-2587. 1998
- United States Government Printing Office (USGPO). **U. S. Standard Atmosphere of 1976**. Washington, 1976.