

## ARTIGOS DE REVISÃO/REVIEW ARTICLES

# SONDAGEM REMOTA POR SATÉLITE E SEU IMPACTO NA PREVISÃO NUMÉRICA DE TEMPO: UMA QUESTÃO REVISITADA

Jojhy Sakuragi & Marlene Elias Ferreira

A sondagem remota por satélite, cujos fundamentos teóricos foram estabelecidos nos anos 50, foi introduzida no âmbito operacional no início da década de 70. A expectativa de que viesse resolver o problema da observação da temperatura e da umidade em caráter global para fins de Previsão Numérica de Tempo (PNT) trouxe inicialmente euforia e depois frustrações. Isso se explica pelo fato de a evolução instrumental ter sido muito lenta ao passo que os modelos de PNT progrediram mais rapidamente. Apesar da estagnação no desenvolvimento instrumental que prevaleceu nos anos 80 e no início dos anos 90, os algoritmos de tratamento das radiancias, assim como as metodologias de assimilação e de avaliação do impacto dos dados de sondagem, foram aperfeiçoados. Estudos recentes confirmam que os dados de sondagem continuam sendo fundamentais em regiões carentes de observações, como o Brasil e regiões oceânicas adjacentes, mesmo com os instrumentos atuais. Portanto, a sondagem por satélite permanece ainda como a ferramenta mais viável para o monitoramento global do estado termodinâmico da atmosfera e, conseqüentemente, para o progresso futuro da PNT. Com o TOVS (TIROS Operational Vertical Sounder) Avançado esperam-se algumas melhorias devido ao maior número de canais nos sondadores em microondas, embora a perspectiva de real avanço instrumental tenha sido postergada para o ano 2000. Até então será obrigatória a convivência operacional com sondadores no infravermelho que foram concebidos nos anos 70, apesar das idéias inovadoras que surgiram nesse ínterim e do consenso sobre a necessidade de melhores instrumentos que apresentem, principalmente, maior resolução vertical.

**Palavras-chave:** Meteorologia; Sondagem remota da atmosfera; Satélite meteorológico; Previsão numérica de tempo; Impacto; TIROS-N/NOAA; TOVS.

**SATELLITE REMOTE SOUNDING AND ITS IMPACT IN NUMERICAL WEATHER PREDICTION: A REVIEW** - *The theoretical bases of the satellite remote sounding technique were established in the fifties and became operational in the early seventies. The expectation that this technique would solve the temperature and humidity global observation problem, for Numerical Weather Prediction (NWP) purposes, brought euphoria followed by frustration. This is explained by the slow instrumental evolution, as compared to the NWP models, that progressed more rapidly. Despite instrumental development stagnation that prevailed in the eighties and in the beginning of the nineties, the retrieval algorithms, as well as the methodologies for sounding data assimilation and impact evaluation, improved. Recent studies confirm that the sounding data are still crucial in regions with scarce observations, as Brazil and surrounding oceans, even with present instruments. Therefore, satellite sounding remains as the most feasible tool for the global monitoring of the atmospheric thermodynamic state and, being so, for the future NWP progress. Some improvement is expected with the Advanced TOVS (TIROS Operational Vertical Sounder), due to a larger number of channels in the microwave sounders, even though a real instrumental advance has been postponed to the year 2000. Meanwhile, the operational practice will be based on infrared sounders conceived in the seventies, despite the evolutionary ideas that were brought out and the consensus on the necessity of improved instruments mainly with better vertical resolution.*

**Key words:** Meteorology; Atmospheric remote sounding; Meteorological satellite; Numerical weather prediction; Impact; TIROS-N/NOAA; TOVS.

Universidade do Vale do Paraíba - UNIVAP - Pça. Cândido Dias Castejón, 116 - C.P. 82 - 12245-720  
São José dos Campos, SP, Brasil

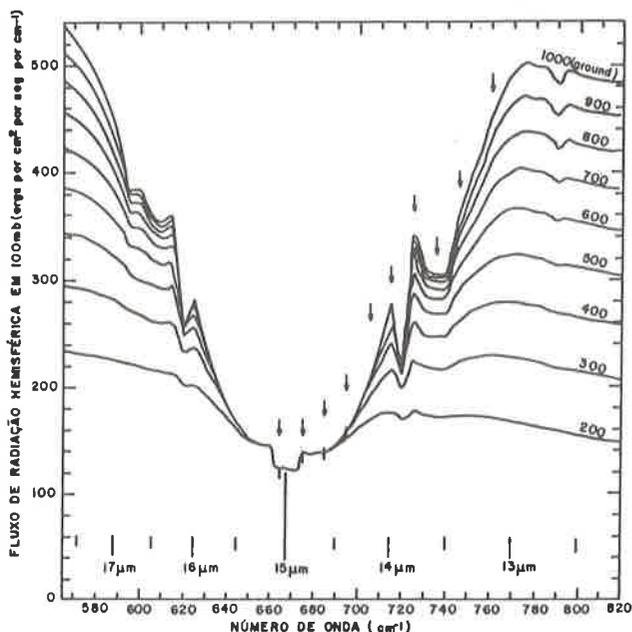
## INTRODUÇÃO

### Bases Teóricas

As idéias pioneiras sobre a sondagem atmosférica por satélite surgiram na década de 50.

King (1956) mostrou a possibilidade de estimar o perfil de temperatura da atmosfera a partir de medidas da intensidade da radiação monocromática que chega de diversas direções, a um sensor espacial, pelo tratamento da Equação Integral de Transferência Radiativa. Como a intensidade de Planck, num dado comprimento de onda, é função unívoca da temperatura, essas medidas seriam suficientes para que a estrutura térmica fosse determinada em vários níveis atmosféricos, cada nível sendo associado a um certo ângulo de emergência.

Com a mesma finalidade, Kaplan (1959) sugeriu o uso de satélites para medir a intensidade da radiação emergente apenas numa direção fixa (zenital), porém em fun-



**Figura 1** - Radiação emergente em função do número de onda, na banda de absorção do  $\text{CO}_2$  em  $15 \mu\text{m}$ . As setas indicam os comprimentos de onda sugeridos por Kaplan para a sondagem da temperatura atmosférica. Fonte: Kaplan, 1959.

**Figure 1** - Outgoing radiation as a function of the wavenumber, at the  $15 \mu\text{m}$   $\text{CO}_2$  absorption band. The arrows indicate the wavelengths suggested by Kaplan (1959) for the atmospheric temperature sounding.

ção de diversos comprimentos de onda associados à banda do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) em  $15 \mu\text{m}$ . Como a profundidade ótica depende do comprimento de onda, medidas no centro da banda estariam vinculadas à estrutura térmica das camadas superiores, ao passo que medidas nos extremos (asas) estariam vinculadas à estrutura térmica da camada junto à superfície do planeta (Fig. 1). A temperatura das camadas intermediárias seriam inferidas a partir de medidas feitas em comprimentos de onda criteriosamente escolhidos entre o centro e a asa da banda. Kaplan (1959) escolheu o  $\text{CO}_2$  por apresentar razão de mistura praticamente constante até 70 km de altura, e mostrou a viabilidade de se utilizar a equação integral de transferência radiativa pelo fato de ser a transmitância atmosférica, em primeira aproximação, independente da temperatura.

### Da Teoria para a Prática

#### A Era Pré-TOVS

As idéias de King (1956) e Kaplan (1959) foram recebidas com entusiasmo pela comunidade meteorológica científica e operacional. O monitoramento tridimensional da temperatura e da umidade troposférica em escala global é uma condição necessária para o sucesso dos modelos dinâmico-numéricos de previsão de tempo. Porém, até então, não havia perspectiva viável para que esses dados fossem obtidos pelos meios convencionais (radiossondagens) em caráter operacional sobre regiões oceânicas e/ou de difícil acesso. Além disso, a rede de ar superior era deficiente em certos continentes, como, por exemplo, na América do Sul, problemática que ainda persiste.

A partir de 1960, verificou-se um crescente interesse no desenvolvimento de instrumentos que viabilizassem a implantação das técnicas de sondagem remota, em particular, a de Kaplan, a qual tem sido amplamente utilizada nos sistemas operacionais. Inicialmente, utilizaram-se balões e depois satélites (Smith, 1983/1985).

Conforme ilustra a Tab. 1, a evolução reflete a busca de maior resolução tanto horizontal como espectral (e, portanto, vertical). Entretanto, os instrumentos que se tornaram operacionais possuem um número reduzido de canais no infravermelho. Por outro lado, a viabilidade comprovada de ampliar o espectro observacional para

também incluir os canais de microondas, pelo menos nos satélites de órbita baixa, representou um avanço significativo.

A sondagem remota global foi operacionalizada por meio dos satélites do programa POES (Polar Orbiting Environmental Satellites) da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). O primeiro radiômetro foi o VTPR (Vertical Temperature Profile Radiometer), que operou de 1972 a 1978 com 8 canais no infravermelho termal, apenas para inferência de perfis de temperatura. As funções-peso (respostas dos canais espectrais em função da pressão atmosférica) do VTPR encontram-se na Fig. 2 (McMillin et al., 1973).

Em 1978, o VTPR foi substituído pelo TOVS (TIROS-N Operational Vertical Sounder) que, desde en-

tão, opera a bordo dos satélites da série TIROS-N/NOAA do programa POES (Rao et al., 1990). Esses satélites operam em pares com órbitas em quadratura, cuja conjugação permite observações da mesma região geográfica quatro vezes ao dia a cada seis horas, aproximadamente.

Apesar de sua importância, os instrumentos utilizados em satélites geoestacionários desde 1980, como o VAS (VISSR Atmospheric Sounder; VISSR - Visible and Infrared Spin Scan Radiometer), não serão discutidos no presente trabalho pelo fato de serem, do ponto de vista global, experimentais. Esta condição deverá prevalecer nos anos futuros quando a série GOES-Next (Geostationary Operational Environmental Satellite-Next) for implementada (WMO, 1993).

ANO	SATÉLITE	NOME DO SENSOR	TIPO DO SENSOR	NÚMERO DE CANAIS ESPECTRAIS	INTERVALOS ESPECTRAIS (RESOLUÇÃO NOMINAL)	RESOLUÇÃO ANGULAR E (NO SOLO)	LIMITES DE VARREDURA
1969	NIMBUS - 3	SIRS - A	Espectômetro de grade	8	11 - 15 $\mu$ m (5cm <sup>-1</sup> )	12° (250km)	Somente nadir
		IRIS - A	Interferômetro de Michelson	240	6,2 - 25 $\mu$ m (5cm <sup>-1</sup> )	8° (170km)	Somente nadir
1970	NIMBUS - 4	SIRS - B	Espectômetro de grade	14	11 - 35 $\mu$ m (5cm <sup>-1</sup> )	12° (250km)	$\pm$ 35°
		IRIS - D	Interferômetro de Michelson	393	6,2 - 25 $\mu$ m (2,8cm <sup>-1</sup> )	5° (100km)	Somente nadir
1972 a 1979	SÉRIE ITOS - D	VTPR	Radiômetro com roda de filtros	8	12 - 19 $\mu$ m (15cm <sup>-1</sup> )	2,3° (55km)	$\pm$ 30,3°
1972	NIMBUS - 5	ITPR	Multidetector/radiômetro telescópico	7	3,8 - 20 $\mu$ m (15cm <sup>-1</sup> )	1,5° (30km)	$\pm$ 38°
		NEMS	Radiômetro do tipo Dicke	5	0,5 - 1,35cm (220MHz)	10° (200km)	Somente nadir
1975	NIMBUS - 6	HIRS	Radiômetro com roda de filtros	17	0,6 - 15 $\mu$ m (15cm <sup>-1</sup> )	1,5° (30km)	$\pm$ 36°
		SCAMS	Radiômetro do tipo Dicke	5	0,5 - 1,35cm (220MHz)	7,5° (150km)	$\pm$ 43°
1978 até o presente	SÉRIES TIROS - N	HIRS - 2	Radiômetro com roda de filtros	20	0,6 - 15 $\mu$ m (15cm <sup>-1</sup> )	135° (18km)	$\pm$ 49,5°
		MSU	Radiômetro de varredura multireceptor	4	0,5 - 0,6cm (200MHz)	7,5° (110km)	$\pm$ 48°
1980 até o presente	GOES D,E	VAS	Radiômetro com roda de filtros	12	0,6 - 15 $\mu$ m (20cm <sup>-1</sup> )	0,2 - 0,4mr (7 - 14km)	360°
(Planejado)	TIROS Avançado	AMSU	Radiômetros multiplexado trirrefletor	20	0,15 - 1,60cm (300MHz)	3,3° (45km)	360°
Proposto	GOES Avançado	HIS	Interferômetro com varredura otimizada	512	3,7 - 17 $\mu$ m (0,4 - 2,0cm <sup>-1</sup> )	0,3mr (10km)	Programável
Proposto	TIROS Avançado	AMTS	Espectômetro de grade	28	3,7 - 17 $\mu$ m (0,4 - 2,0cm <sup>-1</sup> )	0,8° (10km)	$\pm$ 50°

**Tabela 1** - Radiômetros passivos para sondagem remota por satélite de baixa atmosfera. Fonte: Smith, 1983.

**Table 1** - Passive radiometers for the satellite remote sounding of the low atmosphere.

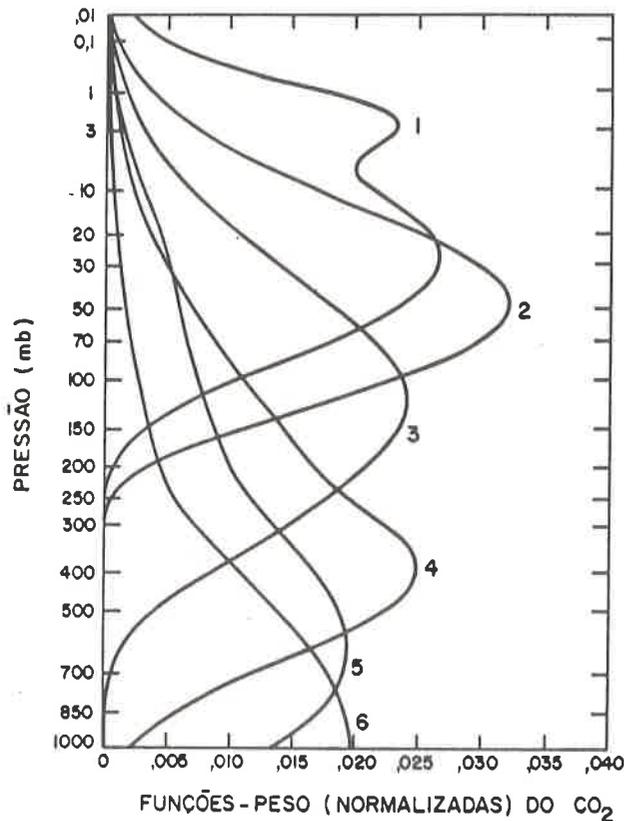


Figura 2 - Funções-peso dos canais do VTPR. Fonte: McMillin et al., 1973.

Figure 2 - Weighting-functions of the VTPR channels.

## A era TOVS

O sistema TOVS, com 27 canais espectrais, é composto por três instrumentos (Smith et al., 1979):

- a) HIRS-2 (High-resolution Infrared Radiation Sounder 2), com 20 canais espectrais entre 0,7 e 15  $\mu\text{m}$  (1 no visível e 19 no infravermelho termal), cujos propósitos principais são: sondagem vertical de temperatura e umidade, detecção de nuvens, inferência da concentração total de ozônio e da temperatura da superfície;
- b) MSU (Microwave Sounding Unit), com 4 canais espectrais em microondas, para a estimativa da emissividade da superfície e da atenuação pelas nuvens, assim como para a sondagem da temperatura na presença de nebulosidade; e,
- c) SSU (Stratospheric Sounding Unit), com 3 canais espectrais em 15  $\mu\text{m}$  que se destinam à inferência da temperatura em níveis superiores a 30 mb.

No ponto sub satélite, o HIRS-2, a MSU e a SSU resolvem áreas circulares de 18, 110 e 148 km de diâmetro, respectivamente. As funções-peso dos canais TOVS são mostradas na Fig. 3.

Constata-se, do ponto de vista operacional, que da era VTPR para a era TOVS houve grande evolução instrumental concretizada em termos de maior resolução horizontal, maior número de canais (resolução vertical), maior número de variáveis (especialmente a umidade) e a inclusão dos canais em microondas.

Vários instrumentos têm sido propostos como sucessores do TOVS. Os principais serão tratados posteriormente.

A era VTPR e a era TOVS totalizam cerca de 20 anos durante os quais a atenção foi dirigida para a aplicação dos dados de sondagem remota por satélite em modelos dinâmico-numéricos de previsão de tempo, apesar do potencial para outras aplicações.

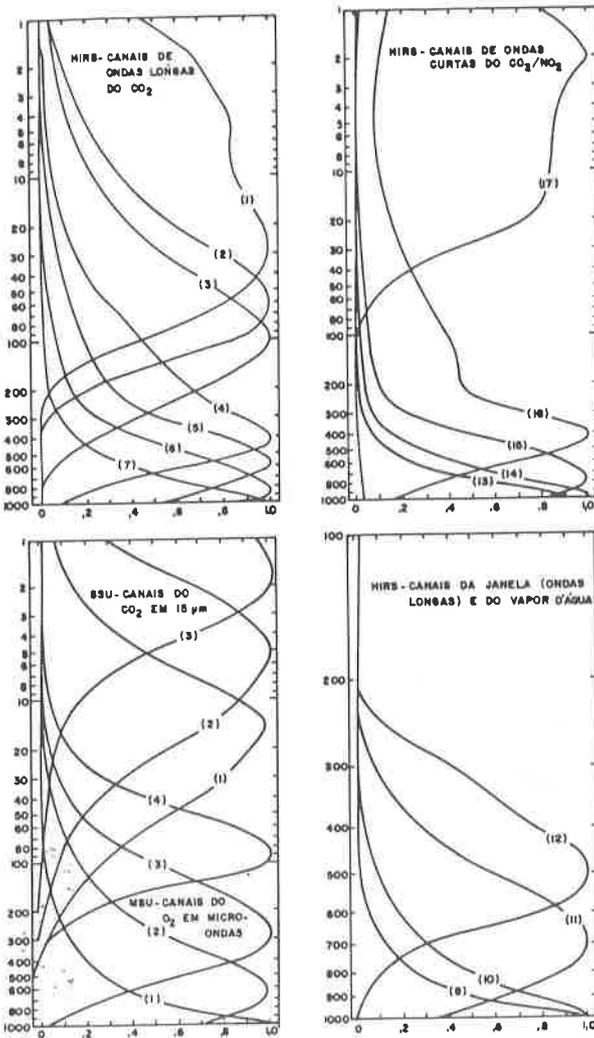
## IMPACTO DA SONDAÇÃO REMOTA NOS MODELOS DE PREVISÃO NUMÉRICA DE TEMPO

### Considerações Gerais

A sondagem remota pelos satélites de órbita polar foi concebida primordialmente para atender a necessidade de observações globais colocada pela PNT. Conseqüentemente, o impacto dos dados de sondagem em modelos de PNT suscitou a realização de um grande número de trabalhos sendo que alguns versam sobre sua evolução, tendo em vista, o progresso dos próprios modelos (Smith, 1991).

Desde o lançamento do NIMBUS-3 em 1969, o primeiro satélite com instrumentos de sondagem, ainda na fase experimental, os pesquisadores vêm buscando avaliar o impacto destes dados sobre as previsões de tempo (Ohring, 1979). Os primeiros resultados não atingiram a expectativa desejada devido à qualidade dos dados de satélite e aos métodos empregados nos sistemas de análise/previsão. De fato, tanto os construtores de satélites/instrumentos como os modeladores equivocaram-se, sendo que os primeiros superestimaram e os últimos subestimaram a qualidade dos dados (Eyre & Lorenc, 1989).

Testes com dados de satélite nos modelos de PNT realizados na década de 60 resultaram em impactos tanto positivos quanto negativos gerando polêmica sobre a utilidade dos mesmos. Estudos posteriores foram realizados com a finalidade de verificar se os resultados negativos



**Figura 3** - Funções-peso dos canais do TOVS. Fonte: Smith et al., 1979.

*Figure 3* - Weighting-functions of the TOVS channels.

decorriam dos métodos de análise/previsão ou dos próprios dados.

### AVANÇOS DURANTE OS ANOS 70

No início dos anos 70, vários experimentos com o NIMBUS produziram avanços consideráveis na instrumentação e no processamento dos dados de sondagem, cuja componente interpretativa apresenta um grau significativo de complexidade. Isto porque a inversão matemática da Equação Integral de Transferência Radiativa caracteriza-se como um problema mal posto, ou seja, leva a soluções instáveis e múltiplas (Ferreira, 1987).

Ainda no começo da década de 70, foi desenvolvido um algoritmo físico com o intuito de detalhar as estruturas verticais não resolvidas pelas sondagens (Smith et al., 1972). Neste algoritmo, as previsões de 12 horas foram utilizadas como estimativa inicial, num enfoque de perturbação do ponto de vista matemático aplicado ao processo de inferência a fim de que a solução minimizasse a diferença entre as radiancias observadas e as calculadas. Embora aparentemente a precisão fosse alta, a correlação entre os erros de inferência e os erros de previsão também era alta. Estes altos valores de correlação entre os erros eram devidos a uma limitação muito semelhante notada anteriormente com os métodos de regressão estatística, ou seja, insuficiência na resolução vertical dos instrumentos. Constatava-se, também, que a estrutura vertical dos perfis inferidos dependia fortemente da estrutura vertical da estimativa inicial. Por outro lado, o uso de previsões numéricas como estimativa inicial para corrigir a contaminação pelas nuvens prejudicou ainda mais os resultados.

A qualidade da inferência e essa correlação de erros ajudaram a estimular o uso do método de análise objetiva baseado na "interpolação ótima". Este método permite identificar vários tipos de erros característicos dos dados (observacionais e de previsão) e da distribuição heterogênea das observações nas análises, de uma maneira lógica e sistemática. Por sua vez, o controle de qualidade dos dados tornou-se mais refinado (Kashiwagi, 1987).

Também nos anos 70, melhor se estruturaram vários centros importantes de PNT em especial: o NMC (National Meteorological Center), nos EUA; o ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts), na Europa; o GLAS (Goddard Laboratory for Atmospheric Sciences), na NASA; e o GFDL (Geophysics Fluid Dynamics Laboratory), na Universidade de Princeton, estimulando numerosos experimentos de impacto. Um estudo comparativo desses experimentos foi feito por Ohring (1979). Os resultados não foram conclusivos para o Hemisfério Norte, pois a pequena melhoria verificada na previsão de 48 horas era devido à média entre impactos positivos, negativos e nulos. Os estudos realizados por Kelly et al. (1978), indicaram um impacto consistentemente positivo no Hemisfério Sul.

Apesar dos resultados inconclusivos quanto ao impacto dos dados de sondagem nos modelos de PNT nos anos 70, a comunidade meteorológica mundial ingressou no "Global Weather Experiment" (GWE) com o objetivo de utilizar os dados coletados pela componente espacial

do Sistema de Observação Global, afim de estender o prazo de validade da previsão de tempo para uma semana ou mais. A era GWE foi inaugurada pelo FGGE (First GARP Global Experiment; GARP - Global Atmospheric Research Program).

### A ERA GWE: 1979-PRESENTE

No final dos anos 70 foi lançado o primeiro satélite da presente série TIROS-N/NOAA. Isto deu início ao GWE. As sondagens TOVS apresentavam, em princípio, qualidade e densidade espacial suficientes para configurar os sistemas meteorológicos em escala sinótica, sem ambigüidades e sem que houvesse necessidade de inclusão de dados de radiossondagem.

No bojo dos estudos de impacto surge a questão referente ao modo de avaliação dos produtos e sub produtos TOVS, visto que a técnica de sondagem se caracteriza por obter medições volumétricas enquanto a radiossondagem promove observações pontuais.

Segundo Smith (1991), devido à baixa resolução vertical do HIRS-2, a maioria dos "erros" apresentados pelos perfis TOVS é uma tendência de escala sinótica. Já os erros nos gradientes horizontais são em geral menores, dependendo principalmente da profundidade da camada atmosférica considerada (Schlatter, 1981).

Além disto, a qualidade dos perfis TOVS se deteriora em condições de céu nublado devido ao pequeno número de canais e da baixa resolução vertical da MSU em comparação ao do HIRS-2.

Os grandes centros de previsão de tempo investigaram o impacto dos dados TOVS nas previsões numéricas com dados do GWE e verificaram pequenos impactos positivos no Hemisfério Norte. Porém, no Hemisfério Sul, os impactos positivos encontrados foram relativamente maiores e mais consistentes (Smith, 1991). Entretanto, os resultados dessas pesquisas dependiam fortemente da estratégia da assimilação de dados e também da situação meteorológica (Ohring, 1979, e Tracton et al., 1980).

Estudos mais recentes, utilizando os dados do GWE, foram conduzidos pela JMA (Japan Meteorological Agency) para alimentar modelos globais de análise/previsão com o intuito de gerar previsões com antecedência de cinco dias. Segundo Kashiwagi (1987), o estudo concluiu que: "A base de dados por satélite é indispensável para as análises em baixas latitudes e para todo o Hemisfério Sul. Porém, na região asiática, os dados de radiossondagem

determinam a qualidade das análises de ar superior, isto denotando que os dados de satélite não contribuem para tal fim." Isto é, apesar do erro quadrático médio global (cerca de 2 K) associado às temperaturas TOVS ser muito maior do que a precisão exigida pelos modelos de PNT, que já nesta fase era 1 K, as sondagens ainda contribuíam para melhorar as qualidades das previsões nas regiões carentes de dados convencionais.

Note-se que, em âmbito operacional, durante os anos 80 não houve avanço na componente instrumental e o progresso da componente interpretativa não foi significativo no início dessa década. A melhoria crescente então verificada na qualidade das previsões foi, em muito, devido ao grande progresso dos modelos de PNT, especialmente quanto à melhor resolução espacial, aos métodos de assimilação de dados de satélite, aos procedimentos numéricos e às parametrizações de processos atmosféricos que ocorrem em escala menor do que a da grade do modelo.

Em suma, o avanço verificado na área de modelagem e assimilação de dados até quase o fim da década de 80 não foi acompanhado pelo desenvolvimento instrumental do ponto de vista operacional. Conseqüentemente, as informações contidas nos dados de satélite ficaram reduzidas se comparadas às outras fontes de observações.

### ESTUDOS RECENTES DE APLICAÇÃO E DE IMPACTO EM PNT

O NESDIS (National Environmental Satellite, Data, and Information Service) realiza a inferência de dados de temperatura e umidade a partir das radiâncias TOVS em caráter operacional global e a dissemina pelo GTS (Global Telecommunication System), utilizando esquemas de inferência desenvolvidos no próprio NESDIS que não são acessíveis para a comunidade meteorológica externa. Nos anos 80, essa comunidade passou a ter acesso a dois importantes pacotes de sondagem remota: (a) o ITPP (International TOVS Processing Package), desenvolvido pela Universidade de Wisconsin, e (b) o 3I (Improved Initialization Inversion), da Escola Politécnica da França. Os usuários desses pacotes devem utilizar, como principais dados de entrada, as radiâncias TOVS e, portanto, ganham flexibilidade pois podem interferir no processo de inferência dos perfis verticais e de seus sub produtos, enquanto o NESDIS fornece os dados já processados, segundo critérios pré-estabelecidos.

Dong et al. (1991) realizaram estudos utilizando o ITPP-3 para a inferência de perfis verticais de temperatura e de umidade sobre a área continental da China. Os resultados encontrados, a princípio, foram bons. O erro quadrático médio foi inferior a 2 K, sendo que próximo à superfície este valor não ultrapassou 2,8 K, mas foi superior a 4 K na região da tropopausa.

Como já notado anteriormente, a questão da estimativa inicial é crucial na busca de bons resultados, uma vez que o problema da sondagem remota, por ser mal posto, exige a utilização de informações *a priori* com a finalidade de estreitar a classe de soluções e de conferir estabilidade ao procedimento de inversão (Ferreira, 1987). Assim sendo, Dong et al. (1991) utilizaram a técnica da análise objetiva para interpolação dos dados de radiossondagem, que então serviram como estimativa inicial. Por outro lado, uma análise mais aprofundada dos resultados desses autores torna-se difícil, pois tudo indica que os dados de radiossondagem foram utilizados também nos estudos de avaliação.

No passado, como discutido anteriormente, as comparações dos estudos de impacto geraram resultados ambíguos, criando muitas vezes controvérsias sobre a conveniência de utilizar os dados de satélite nos modelos de previsão. Algumas delas surgiram porque os modelos de assimilação não empregavam, da melhor maneira possível, os dados observacionais (Hollingsworth & Lönnberg, 1989). Portanto, o resultado do impacto dos dados de satélite variava de acordo com o sistema de assimilação empregado (Andersson et al., 1991), como também constatado em pesquisas realizadas nas décadas anteriores (Ohring, 1979).

Uma série de estudos de impacto foi realizada com os sistemas de análise/previsão do ECMWF, cujo esquema de assimilação havia sido aperfeiçoado para se tornar mais sensível aos dados iniciais e, portanto, mais vulnerável à qualidade dos mesmos (Andersson et al., 1991, Kelly et al., 1991 e Flobert et al., 1991).

Andersson et al. (1991) empregaram, para esse fim, as sondagens operacionais produzidas pelo NESDIS com o esquema estatístico de inferência utilizado até julho de 1988. Kelly et al. (1991), por sua vez, usaram as sondagens do NESDIS após julho de 1988, quando o esquema físico de inferência já havia sido implementado. Por fim, Flobert et al. (1991) usaram em suas pesquisas os resultados obtidos com o modelo de inferência 3I. Essa série de estudos mostra que o impacto dos dados de sondagem por satélite no sistema de análise-previsão é, em geral, negativo no He-

misfério Norte e fortemente positivo no Hemisfério Sul, como pode ser observado nas Figs. 4 e 5.

Nessas figuras, as correlações das anomalias de altura geopotencial (500 hPa) são plotadas em função do tempo. Uma correlação de anomalia de 100% representa uma previsão perfeita. De modo geral, correlações de anomalias abaixo de 60% (linhas pontilhadas) podem ser consideradas inúteis do ponto de vista sinótico e, portanto, são menos significativas.

Segundo Flobert et al. (1991), os resultados mostraram uma grande dependência dos tipos de massas de ar, tanto no caso das inferências do NESDIS como no caso do 3I, sendo a dependência menor no último caso. As principais conclusões de Flobert et al. (1991), com base em previsões obtidas num período de 15,5 dias (janeiro-fevereiro de 1987), são as seguintes:

- a) as dificuldades com os algoritmos de inferência são principalmente devidas à resolução vertical inadequada nos atuais instrumentos, particularmente em áreas nubladas. Os erros maiores são encontrados em determinadas massas de ar ou em situações atmosféricas especiais;
- b) particularmente, os maiores problemas do 3I são de caráter local. Muitos deles têm uma certa relação com a contaminação dos canais de microondas pela chuva ou com dificuldades relativas à calibração da MSU; e,
- c) as inferências com o 3I aparentam ser melhores do que as do NESDIS no que se refere ao índice de estabilidade, uma importante variável de previsão. Em níveis mais baixos (1000-850 hPa), os resultados do 3I mostraram ser um pouco melhores, talvez devido ao uso da estimativa inicial baseada no TIGR (TOVS Initial Guess Retrieval). As sondagens do 3I também apresentaram menores ruídos aleatórios.

Segundo Flobert et al. (1991), a utilização do sistema de assimilação de dados para identificar problemas nas inferências mostrou-se bastante eficiente. Assim, esperam-se maiores progressos na utilização dos perfis TOVS a partir do desenvolvimento de um sistema onde os esquemas de análise e inferência tenham uma maior consistência com respeito ao controle de qualidade e seleção de dados. Em parte, o 3I atendeu às modificações sugeridas em sua segunda versão (Scott et al., 1991), cujo intuito era sanar, principalmente, a dependência do sinal em relação às massas de ar com o novo TIGR (TIGR-2). O NESDIS, por sua vez, aparentemente caminha para um esquema de classificação de massas de ar semelhante ao do 3I (McMillin, 1991).

O modelo de previsão tem sido também tratado com abordagens variacionais com o intuito de assimilar diretamente as radiâncias na PNT. Os dados resultantes são então analisados em conjunto com outros dados disponíveis para fornecer as condições iniciais para a subsequente utilização pelo modelo de assimilação (Eyre & Lorenc, 1989). A propósito, trabalhos dessa natureza, como os que vêm sendo desenvolvidos no âmbito do ECMWF, geram grandes expectativas uma vez que já há muito se cogita sobre qual a melhor maneira de se empregar os dados de sondagem em modelos, se na forma "bruta" (radiâncias) ou processada (perfis e sub produtos) (Rogers, 1976).

Por outro lado, a abordagem descrita por Baker (1991) consiste em empregar os dados de satélite "iterativamente", onde a previsão do modelo de assimilação é utilizada como estimativa inicial pelo esquema de inferência da sondagem (Baker et al., 1984). Tal abordagem, desenvolvida e utilizada em um modelo de caráter experimental pela NASA, mostrou ter um efeito benéfico na qualidade da previsão de 6 horas e na dos perfis verticais. Porém, o mais importante é que os impactos negativos nas previsões de médio prazo sobre o Hemisfério Norte são, na maior parte, eliminados (Baker, 1991). Isto mostra que há alternativas para a melhoria da previsão mesmo utilizando-se as sondagens feitas pelos atuais instrumentos nos modelos.

Esse sistema iterativo, inferência-análise-previsão, conforme implementado no NMC usa a previsão de seis horas do modelo de previsão de médio prazo para construir a estimativa inicial do algoritmo de inferência. O sistema é iterativo porque os parâmetros inferidos das sondagens são analisados conjuntamente com os dados convencionais para produzir as condições iniciais para a previsão subsequente do Sistema de Assimilação de Dados Globais, e porque essa previsão é utilizada como condição inicial para as inferências subsequentes de umidade e temperatura.

De acordo com Goldberg et al. (1993), os resultados obtidos a partir de estudos de impacto iterativo em tempo real confirmaram que a qualidade dos resultados melhora significativamente se comparada com as inferências produzidas pelo sistema operacional do NESDIS com o uso de uma previsão de seis horas como estimativa inicial, e que as previsões de cinco dias melhoraram significativamente no Hemisfério Sul. No Hemisfério Norte, as previsões são comparáveis, seja utilizando a inferência iterativa ou a operacional. A implementação operacional do sistema de

inferência interativa como parte do Sistema de Assimilação do NMC estava prevista para 1993.

Segundo Eyre & Uddstrom (1993), tem havido progresso significativo nos últimos dois anos nas aplicações dos dados TOVS na PNT. Isto é resultado da melhoria da qualidade dos perfis operacionais do NESDIS e do uso crescente de perfis iterativos. Esses fatores vêm permitindo impacto positivo dos dados TOVS na PNT no Hemisfério Norte em comprimentos de ondas mais longos enquanto que estudos regionais no Hemisfério Sul indicam que tanto os comprimentos de ondas longos como os curtos estão sendo afetados positivamente. Ainda, os esquemas variacionais de inferência de três e quatro dimensões vêm sendo testados e têm mostrado melhoria contínua. Como resultado, antecipa-se que eles sejam usados operacionalmente no futuro próximo.

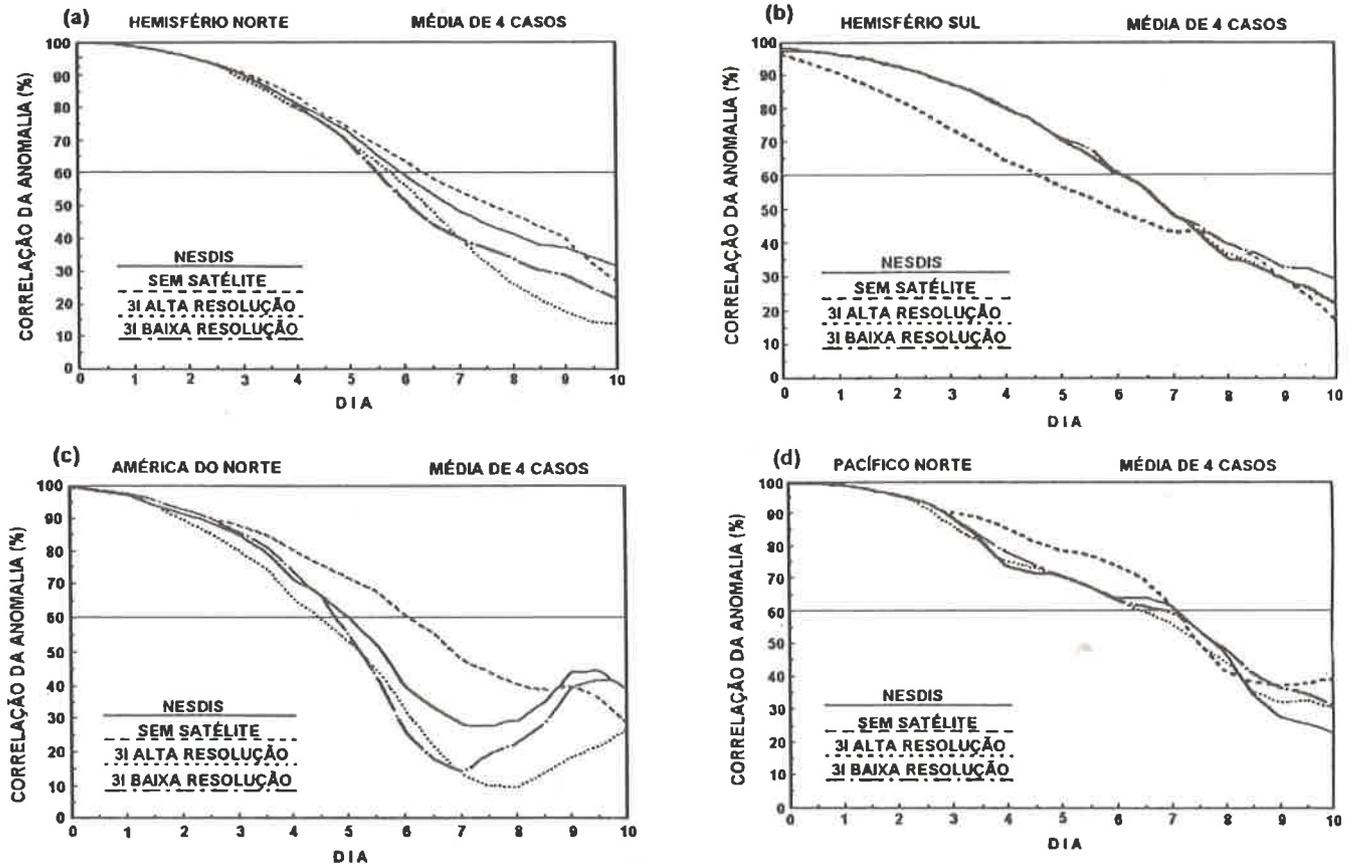
Mesmo assim, para que haja melhoria significativa na qualidade da previsão numérica, será necessário aperfeiçoar o sistema de obtenção de dados meteorológicos, uma vez que as condições iniciais da atmosfera ainda não podem ser observadas de modo satisfatório na maior parte do globo sem a ajuda de satélites. Com certeza, os satélites ainda têm muito a contribuir desde que seja reconhecida a necessidade de se implementar, operacionalmente, instrumentos de sondagem mais avançados que os atuais.

## POTENCIAL DA SONDAGEM REMOTA PARA OUTRAS APLICAÇÕES

A principal finalidade da sondagem operacional sempre foi atender a necessidade de dados de ar superior em escala global para fins de PNT.

Entretanto, existe um grande número de outras aplicações nas quais os produtos TOVS têm sido utilizados, tais como: análise sinótica e sub sinótica da temperatura da superfície, estabilidade, umidade e temperatura atmosférica e monitoramento de tempo severo. Muitas delas são pertinentes à previsão imediata e de muito curto prazo. Vários estudos indicam que existe um potencial considerável para o uso dos produtos TOVS na prática operacional nos serviços de previsão de tempo. A continuidade e a oportunidade dos dados, bem como uma compreensão apropriada do conteúdo meteorológico dos produtos derivados, são essenciais para o uso bem sucedido na previsão operacional.

Apesar disso, poucos trabalhos sobre sondagem remota com o TOVS têm sido realizados no Brasil. Neste contexto,



**Figura 4** - Correlação das anomalias da altura geopotencial em 500 hPa (média de 4 casos). Quanto maior a correlação, melhor a previsão. Pode-se observar claramente a contribuição dos dados de satélite para a qualidade da previsão no Hemisfério Sul. Fonte: Flobert et al., 1991.

**Figure 4** - 4-day average of 500 hPa height anomaly correlation for four sets of forecasts. The larger the correlation, the better the forecast. Notice the contribution of satellite data for the forecast quality in the Southern Hemisphere.

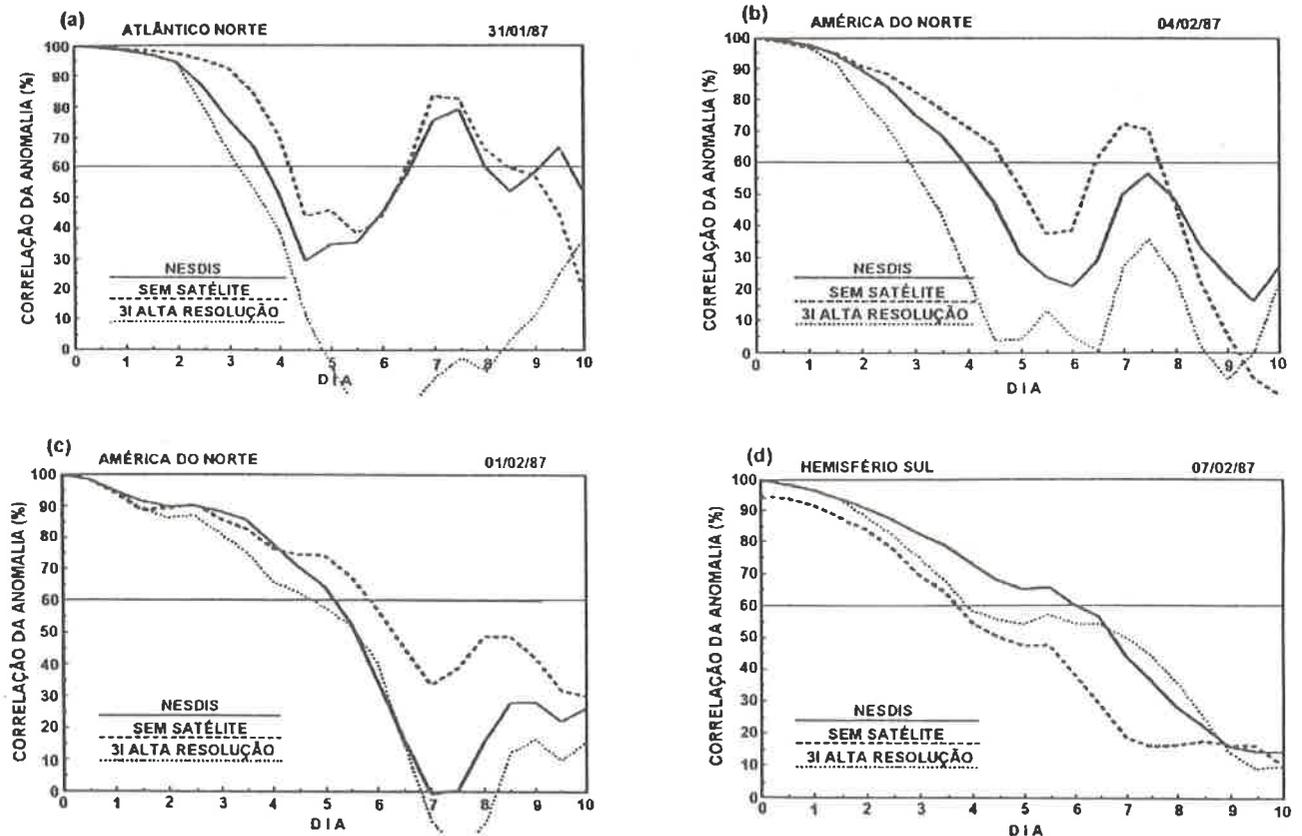
Yamazaki et al. (1987) realizou comparações de perfis verticais obtidos pelo TOVS e com radiossondagens convencionais. Em geral, os resultados são bons mas pouco conclusivos devido ao exíguo número de perfis. Por outro lado, Sakuragi (1992), através de um estudo de caso que teve como consequência inundações na Grande São Paulo, demonstra a importância dos dados TOVS no monitoramento e previsão de sistemas de escala sub sinótica na região subtropical do Brasil. Alguns resultados dessa pesquisa são mostrados nas Figs. 6 e 7.

As análises do NMC mostraram campos suavizados de altura geopotencial se comparados aos do TOVS. O cavado B, nas análises do NMC, foi posicionado mais para oeste, eliminando praticamente o cavado A correspondente ao sistema frontal. A Fig. 7, onde é apresentada uma sequência temporal do campo de água precipitável, mostra

a evolução de uma área com altos valores de água precipitável sobre o oceano, que está associada ao cavado A (Fig. 6).

Outra importante aplicação dos dados de sondagem é em estudos climáticos. O longo registro de dados contínuos globais de dados TOVS (1978-presente) torna-os uma fonte especial de observações históricas. Estes são particularmente adequados para a pesquisa da variabilidade interanual de temperatura, umidade e cobertura de nuvens (Eyre & Uddstrom, 1993).

Apesar do difícil acesso aos conjuntos de dados globais do TOVS, muitos trabalhos já estão sendo realizados como o de Menzel et al. (1993), sobre a cobertura global de cirrus com base em três anos de dados HIRS. De acordo com esta pesquisa, nuvens semi transparentes foram detectadas em mais de um terço das observações. Variações sa-



**Figura 5** - Correlação das anomalias da altura geopotencial em 500 hPa para áreas limitadas para quatro estudos de casos, como indicado. Mesmo numa área limitada, o impacto dos dados de satélite é positivo para o Hemisfério Sul. Fonte: Flobert et al., 1991.

**Figure 5** - 500-hPa height anomaly correlation for limited areas for four case studies, as indicated. Even in limited areas, the satellite data impact is positive for the Southern Hemisphere.

zonais pronunciadas foram encontradas em áreas dominadas pela ITCZ (Intertropical Convergence Zone), pelos sistemas subtropicais de alta pressão e pelos cinturões dos sistemas atuantes nas latitudes médias ("storm belts").

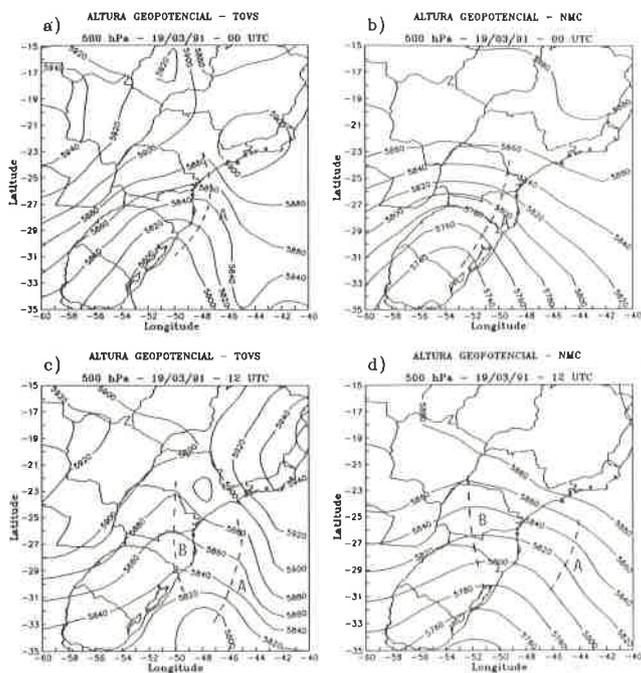
### TOVS AVANÇADO (ATOVS): APENAS UM PROGRESSO PARCIAL

Doze satélites TIROS-N/NOAA já foram lançados até hoje, alternadamente em órbitas matutinas e vespertinas. O último lançamento ocorreu em maio de 1991 (NOAA-12). Dois satélites da mesma série ainda estão disponíveis até o ano de 1995.

A nova série NOAA K, L, M, e N deverá operacionalizar um sistema de sondagem com melhorias parciais no período de 1995 a 2002, continuando a atuar em ambas as órbitas. Nesses satélites deverá ser utilizado o sistema

ATOVS (Advanced TOVS), cujos sub sistemas são o HIRS/3, a AMSU-A e a AMSU-B. O HIRS/3 é análogo ao HIRS/2 com os mesmos canais no infravermelho para sondagem de temperatura e umidade. A AMSU-A e B (Advanced MSU-A e B) são radiômetros passivos em microondas para fins de sondagem de temperatura e de umidade, respectivamente, em qualquer situação de cobertura de nuvens, cujas funções-peso são apresentadas na Fig. 8 (Fischer, 1985). Desta forma, a principal diferença entre o TOVS (presente) e o ATOVS (a partir de 1995) reside na componente de microondas que integrará um número muito maior de canais para os perfis de temperatura (4 versus 15) e a introdução de cinco canais específicos para os perfis de umidade.

Com o intuito de beneficiar a PNT, a comunidade internacional está propondo para a NOAA o aumento da resolução espacial do HIRS/3, de 20 para 10 km (ponto sub-



**Figura 6** - Comparação do campo de altura geopotencial (m) obtido pelo TOVS e NMC em dois horários: 00 e 12 UTC (dia: 19/03/91). Observa-se uma estrutura mais detalhada no campo do TOVS ao compará-lo às análises do NMC. Fonte: Sakuragi, 1992.

**Figure 6** - 500 hPa geopotential height (m) from TOVS soundings and NMC analysis at 00 and 12 UTC (March 19, 1991). A more detailed structure can be observed in the TOVS fields in comparison with the NMC analysis.

satélite) (Eyre & Uddstrom, 1993). Isto em princípio não provocaria perda de resolução radiométrica e também oferecerá várias vantagens, entre elas: 50% a mais de campos de visada não contaminados por nuvens, perfis com melhor qualidade e melhores informações sobre as nuvens.

Entretanto, os problemas da sondagem no infravermelho, especialmente os de sua resolução vertical, ainda não serão resolvidos por esse novo sistema uma vez que o HIRS/3 não apresenta avanços em relação ao HIRS/2.

**PERSPECTIVAS PARA O ANO 2000**

A comunidade científica tem reiterado a necessidade urgente de se implementar, em âmbito operacional, um sondador infravermelho de alta resolução espectral que atue junto e de modo complementar com os instrumentos de sondagem em microondas e imageadores (Smith, 1991, Menzel

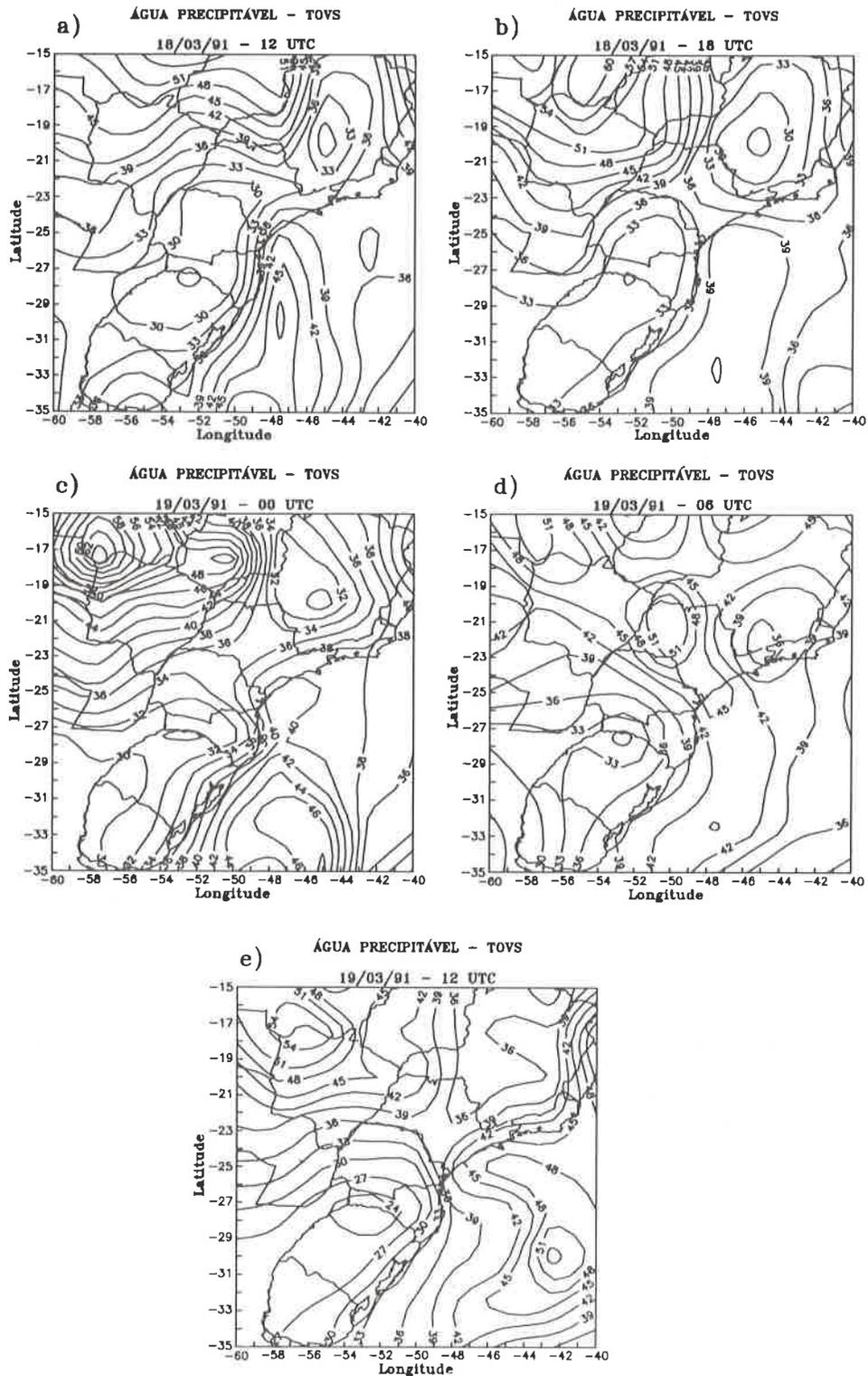
& Lynch, 1991, Eyre & Uddstrom, 1993). Maior resolução espacial também é desejável principalmente pelos problemas causados pela contaminação de nuvens, isto sendo desejável mesmo no caso do presente HIRS/2 (Eyre & Uddstrom, 1993).

Contudo, somente na próxima década espera-se que avanços significativos sejam implantados efetivamente de modo a atender os requisitos estabelecidos pela PNT para o perfil de temperatura (resolução horizontal: 25 km; resolução vertical: 50 níveis; frequência: 6 horas, precisão: 1 K) e de umidade (resolução horizontal: 25 km; resolução vertical: 10 níveis; frequência: 6 horas, precisão: 5 %).

Muitos desses requisitos podem ser atendidos por instrumentos como o HIS (High-resolution Interferometer Spectrometer), o AIRS (Advanced Infrared Radiation Sounder), o IASI (Improved Atmospheric Sounding in the Infrared) e o ITS (Infrared Thermal Sounder), frutos do progresso na área instrumental (Eyre & Uddstrom, 1993). Isto é ilustrado na Fig. 9 (NESDIS, 1989). Esses sistemas são fortes candidatos a sondadores operacionais para o próximo século. Por outro lado, a partir do ano 2000, os americanos deverão compartilhar com os europeus a responsabilidade pela componente polar dos satélites meteorológicos (órbita matutina: EUMETSAT/ESA; órbita vespertina: NOAA), até então dos EUA, trazendo a preocupação com a compatibilidade entre os instrumentos caso venham a ser de diferentes origens.

**CONCLUSÕES**

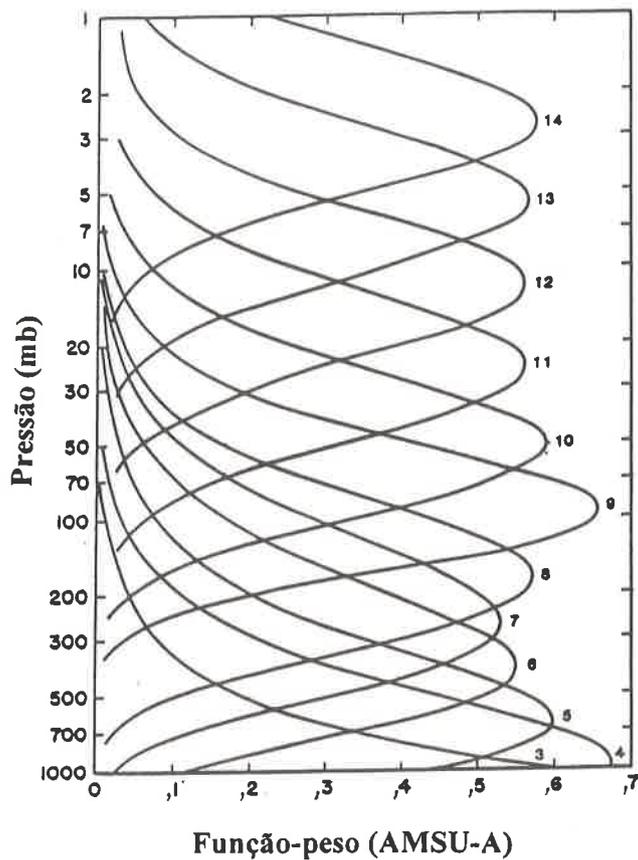
Apesar das dificuldades decorrentes da estagnação no desenvolvimento instrumental, especialmente no infravermelho, os dados de sondagem remota continuam sendo fundamentais para regiões carentes de dados convencionais, como o Hemisfério Sul, mesmo com os atuais modelos de PNT, estes sim, fruto de grande progresso especialmente nos anos 80. Portanto, conclusões precipitadas, acima de tudo se tiradas por não iniciados, podem gerar confusões custosas a respeito da importância dos dados de sondagem. A implementação do TOVS Avançado em 1995 trará o benefício de um aumento expressivo dos canais em microondas. Entretanto, ficou postergada para o ano 2000 a implementação de instrumentos que operam no infravermelho com alta resolução espectral, embora muitos protótipos já tenham sido desenvolvidos e testados. Por outro lado, a utilização da



**Figura 7** - Seqüência dos campos de água precipitável TOVS entre os dias 18 (12 UTC) e 19 (12 UTC) de março de 1991. Nesta seqüência verifica-se uma região com altos valores de água precipitável no oceano, associada ao cavado indicado por A na Fig. 7. Fonte: Sakuragi, 1992.

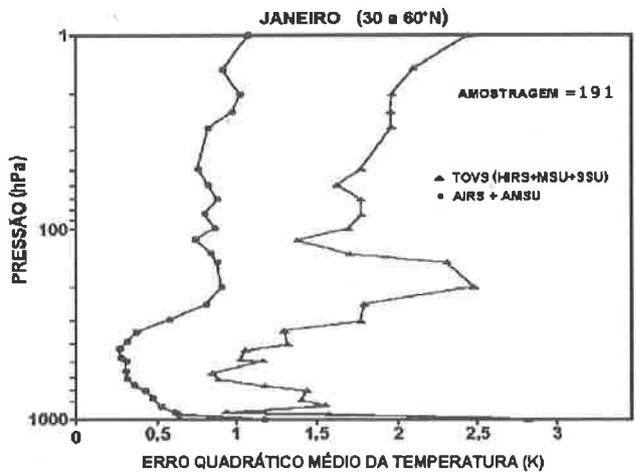
**Figure 7** - Time-sequence of TOVS precipitable water between 18 (12 UTC) and 19 (12 UTC) of March, 1991. In this sequence, it is noticed an ocean area with high values of precipitable water, associated with the through indicated by A in Fig. 7.

sondagem remota em áreas outras que não a PNT ainda não foi suficientemente explorada apesar de seu potencial parcialmente comprovado em vários trabalhos de pesquisa. A utilização da série temporal de observações TOVS acumulada desde 1978 constitui uma importante base de dados climatológicos que também aguarda utilização adequada. Apesar das controvérsias, que muito estimularam o aprofundamento da compreensão dessa área, a sondagem por satélite permanece como uma ferramenta viável para o progresso da PNT, pois é a única maneira de se obter sondagens verticais com alta resolução espacial em caráter operacional global. Porém, é consenso na comunidade científica a necessidade de melhores instrumentos de sondagem por satélite que apresentem, principalmente, maior resolução vertical do que a que se dispõe desde 1978 e que se manterá até o ano 2000 segundo o planejamento vigente.



**Figura 8** - Funções-peso dos canais do AMSU-A. Fonte: Fischer, 1985.

*Figure 8 - Weighting-functions of the AMSU-A channels.*



**Figura 9** - Perfis de erro quadrático médio de temperatura estimados com base nos instrumentos TOVS e AIRS+AMSU. A combinação AIRS+AMSU satisfaz a exigência dos modelos numéricos de previsão (Erro quadrático médio de no máximo 1 K). Fonte: NESDIS, 1989.

*Figure 9 - Root-mean-square error temperature profiles inferred from TOVS and AIRS+AMSU data. The AIRS+AMSU combination meets the requirements of the numerical weather prediction models (Maximum root-mean-square error of 1 K).*

**AGRADECIMENTOS**

Ao Dr. Antonio Divino Moura e aos revisores da Revista Brasileira de Geofísica, pela revisão e pelas valiosas sugestões.

**REFERÊNCIAS**

ANDERSSON, A., HOLLINGSWORTH, A., KELLY, G., LÖNNBERG, P., PAILLEUX, J. & ZHANG, Z. - 1991 - Global observing system experiments on operational statistical retrievals of satellite sounding data. Monthly Weather Review, **119(8)**:1851-1864.

BAKER, W. E. - 1991- Joint NESDIS/NASA/NMC effort to develop an advanced satellite retrieval system. In: International TOVS Study Conference, 6., Airlie, VA, May 1-6, 1991 Proceedings. Wisconsin, Ed. W.P. Menzel, p. 25-39.

BAKER, W. E., ATLAS, R., HALEM, M. & SUSSKIND, J. - 1984 - A case study of forecast sensitivity of data

- and data analysis techniques. *Monthly Weather Review*, **112(8)**:1544-1561.
- DONG, C., LI, G., ZHANG, W., WU, B., RAN, M., LIU, Q. & ZHANG, M. - 1991** - Study of simultaneous physical retrieval method for meteorological parameters over the continent of China. In: International TOVS Study Conference, 6., Airlie, Virginia. May 1-6, 1991. Proceedings. Wisconsin, Ed. W.P. Menzel, p. 87-117.
- EYRE, J. R. & LORENC, A. C. - 1989** - Direct use of satellite sounding radiances in numerical weather prediction. *Meteorological Magazine*, **118(1398)**:13-16.
- EYRE, J. R. & UDDSTROM, M. J. (EDS.) - 1993** - A Report on the Seventh International TOVS Study Conference. International TOVS Working Group, Igls, Austria, 10-16 Feb. 1993. Proceedings. ECMWF, 47 p. April.
- FERREIRA, M. E. - 1987** - Algoritmos em três dimensões para inferência de perfis de temperatura e de umidade a partir de radiancias obtidas pelo VAS. (Tese de Doutorado em Meteorologia) Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, fev. (INPE-4104-TDL/258), 193 pp.
- FISCHER, J. - 1985** - Future U.S. Polar-Orbiting Meteorological Satellites. In: International TOVS Study Conference, 2., Igls, Austria. Feb 18-22, 1985. Proceedings. Wisconsin, Ed. W.P. Menzel, p. 75-87.
- FLOBERT, J.-F., ANDERSSON, E., CHÉDIN, A., HOLLINGSWORTH, A., KELLY, G., PAILLEUX, J. & SCOTT, N. A. - 1991** - Global data assimilation and forecast experiments using the improved initialization inversion method of satellite soundings. *Monthly Weather Review*, **119(8)**:1881-1914.
- GOLDBERG, M. D., FLEMING, H. E., BAKER, W. E. & DERBER, J. C. - 1993** - The development of an interactive retrieval/ analysis/forecast system. In: International TOVS Study Conference, 7. Report. Igls, Austria. 10-16 Feb.
- HOLLINGSWORTH, A. & LÖNNBERG, P. - 1989** - The verification of object analyses: diagnostics of analysis system performance. *Meteorology and Atmospheric Physics*, **40(1-3)**:3-27.
- KAPLAN, L. D. - 1959** - Interface of atmospheric structure from remote radiation measurements. *Journal of Optical Society of America*, **49(10)**:1004-1007.
- KASHIWAGI, K. - 1987** - On the impact of space-based observing system in the JMA global forecast/analysis system. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **65(2)**:189-219.
- KELLY, G., ANDERSSON, E., HOLLINGSWORTH, A., LÖNNBERG, P., PAILLEUX, J. & ZHANG, Z. - 1991** - Quality control of operational physical retrievals of satellite sounding data. *Monthly Weather Review*, **119(8)**: 1866-1880.
- KELLY, G., MILLS, G. A. & SMITH, W. L. - 1978** - Impact of Nimbus-6 temperature soundings on Australian Region Forecasts. *Bulletin of American Meteorological Society*, **59(4)**: 393-405.
- KING, J. I. F. - 1956** - The radiative heat transfer of planet Earth. In: Van Allen, J.A., ed. *Scientific uses of earth satellites*. Ann Arbor, The University of Michigan Press, p. 133-136.
- MCMILLIN, L. - 1991** - Results from an empirical classification retrieval method. In: International TOVS Study Conference, 6., Airlie, VA, May 1-6, 1991. Proceedings. Wisconsin, Ed. W.P. Menzel, p. 321-331.
- MCMILLIN, L. M., WARK, D. Q., SIOMKAJLO, J. M., ABEL, P. G., WERBOWETZKI, A., LAURITSON, L. A., PRITCHARD, J. A., CROSBY, D. S., WOOLF, H. M., LUEBBE, R. C., WEINREB, M. P., FLEMING, H. E., BITTNER, F. E. & HAYDEN, C. M. - 1973** - Satellite infrared soundings from NOAA Spacecraft. Washington, DC, NOAA, Sep. (NOAA Technical Report NESS 65), 38 pp.
- MENZEL, W. P. & LYNCH, M. (EDS.) - 1991** - A Report on the Sixth International TOVS Study Conference. International TOVS Working Group, Airlie, Virginia, 1-6 May 1991. Proceedings. University of Wisconsin, 60 p. June.
- MENZEL, W. P., WYLIE, D. P. & STRABALA, K. I. - 1993** - Trends in global cirrus inferred from three years of HIRS data. In: International TOVS Study Conference, 7. Report. Igls, Austria. 10-16 Feb.
- NATIONAL ENVIRONMENTAL SATELLITE, DATA, AND INFORMATION SERVICE (NESDIS). - 1989** - Office of research and applications - Research Programs. Office of research and applications staff, Washington, DC 20233. Oct.
- OHRING, G. - 1979** - Impact of satellite temperature sounding data on weather forecasts. *Bulletin of American Meteorology Society*, **60(10)**:1142-1147.

- RAO, P. K., HOLMES, S. J., ANDERSON, R. K., WINSTON, J. S., LEHR, P. E. - 1990** - Weather Satellite: system, data, and environmental application. Boston, American Meteorology Society.
- ROGERS, C. D. - 1976** - The limitation of remote sounding. In: Symposium on Meteorological Observation from Space: their Contribution to the First Garp Global Experiment, Philadelphia, 1976. Proceedings. Boulder, COSPAR, p. 1-6.
- SAKURAGI, J. - 1992** - Sondagens TOVS: impacto na análise sinótica entre 18 e 19 de março de 1991 na região Sul e Sudeste do Brasil. (Dissertação de Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Nov. (INPE-5497-TDI/512), 138 pp.
- SCHLATTER, T. W. - 1981** - A measurement of operational TIROS-N temperature retrievals over the United States. *Monthly Weather Review*, **109(1)**:110-119.
- SCOTT, N. A., CHÉDIN, A., ACHARD, V., BONNET, B., CHERUY, F., CLAUD, C., ESCOBAR, J., HUSSON, N., RIEU, H., TAHANI, Y. & TOURNIER, B. - 1991** - Recent advances in the 3D thermodynamic analysis of the Earth system through the "3I" algorithm. Extension to the second generation vertical sounders, França. ARA/LMD. May.
- SMITH, W. L. - 1983** - Passive radiometry for vertical sounding from meteorological satellite. *Applied Optics*, **22(17)**: 2641-2643.
- SMITH, W. L. - 1985** - Satellite. In: Houghton, D. D. *Handbook of Applied Meteorology*. Cambridge, GB, Cambridge University Press, Cap. 10, p. 380-472.
- SMITH, W. L. - 1991** - Atmospheric soundings from satellite-false expectation or the key to improved weather prediction? *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **117(498)**:267-297.
- SMITH, W. L., WOOLF, H. M. & FLEMING, H. E. - 1972** - Retrieval of atmospheric temperature profiles from satellite measurements of dynamical forecasting. *Journal of Applied Meteorology*, **11(1)**:113-122.
- SMITH, W. L., WOOLF, H. M., HAYDEN, C. M., WARK, D. C. & MCMILLIN, L. M. - 1979** - The TIROS operational vertical sounder. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **60(10)**:177-1187.
- TRACTON, M. S., DESMARAIS, A. J., VAN HAAREN, R. J., MCPHERSON, R. B. - 1980** - The impact of satellite soundings on the National Meteorological Center's Analysis and Forecast System-The Data System Test Results. *Monthly Weather Review*, **108(5)**:543-586.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO) - 1993** - Executive council panel of experts on satellites. Final Report. Mar. 31 pp.
- YAMAZAKI, Y., NAKAMURA, Y., HO, M. R. C. & HO, C. S. N. - 1987** - Experimento de intercomparação: sondagens TOVS e radiossondagens. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **2(2)**:157-166.

Submetido em: 19/11/92

Revisado pelo(s) autor(es) em: 09/02/94

Aceito em: 21/02/94