

PROCESSAMENTO TOVS E APLICAÇÕES EM MESOESCALA

Y. Yamasaki⁽¹⁾, A. Oliveira², L. C. Carvalheiro^{3,5} M. LD. M. Orgaz⁴

Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal^(1,2,3,,4), yamasaki@fis.ua.pt, aoliveira@fis.ua.pt,
mariola@fis.ua.pt⁽⁵⁾ Escola Superior de Educação de Viseu, Rua Maximiano Aragão, 3504-501, Viseu,
luiscarvalheiro@esev.ipv.pt

RESUMO

O sistema de transmissão de dados de Meio Ambiente da EUMETSAT, cognominado EUMETCast, é um serviço de disseminação baseado na tecnologia padrão de Transmissão de Vídeo Digital (DVB). O sistema utiliza satélites geoestacionários comerciais de telecomunicação, para a retransmissão de arquivos de dados e produtos. Esse sistema vem sendo utilizado pela EUMETSAT na disseminação dos dados das imagens do satélite METEOSAT de Segunda Geração (MSG) SEVIRI. Ele também é empregado para disseminar produtos meteorológicos gerados tanto pela EUMETSAT como pelos Centros de Facilidade de Aplicações de Satélites (SAF). A EUMETCast proporciona por conseguinte o meio físico de re-transmissão (relay) e a disseminação de dados meteorológicos e de serviços resultantes de colecta de dados. Os dados dos sondadores TOVS é parte integrante desse sistema de disseminação, constituindo, por conseguinte, uma base de dados para o processamento e extração de dados de perfis verticais da temperatura e da umidade da atmosfera. Os resultados obtidos com a extração de perfis verticais da temperatura e humidade, utilizando dados de algumas passagens de satélites são comparados com sistemas que empregaram dados climatológicos e prognósticos do modelo global da atmosfera (GFS/NCEP). Como não há fonte de dados observados disponíveis nos horários das passagens dos satélites, a comparação dos resultados é também realizada com prognósticos do modelo de mesoescala MM5, sem a assimilação 4DVAR, e previsão no instante próximo à da passagem dos satélites.

1. INTRODUÇÃO

Um produto, dentre inúmeros outros, disponível no sistema EUMETCAST que vem sendo recebido pela estação de recepção de satélites, instalada no Departamento de Física da Universidade de Aveiro, é proveniente da retransmissão dos satélites de órbita polar da série NOAA. Esses dados, pré-processados pela EUMETSAT utilizando o AAPP (Pacote de Pré-Processamento TOVS e AVHRR), vem servindo como uma fonte de dados no desenvolvimento de rotinas de extração de perfis verticais da temperatura e da umidade da atmosfera, mediante o emprego das rotinas do IAPP, pacote internacional de processamento ATOVS (Sondador Vertical Avançado TIROS) e seu predecessor, conhecido como ITPP (pacote internacional de processamento TOVS, Smith e Woolf, 1985; Smith et al. 1988), que foi desenvolvido para extração de perfis verticais da temperatura e da umidade atmosférica, ozônio total e outros parâmetros meteorológicos, em condições atmosféricas claras ou cobertas por nuvens, mediante o emprego dos dados das medições das radiancias do ATOVS/TOVS. O algoritmo do IAPP, cuja descrição é apresentada por Wolf et al. (2000), perfaz a extração dos dados procedendo inicialmente a detecção e a remoção da cobertura de nuvens; seguido pelo ajuste do viés; pela extração utilizando processo de regressão e no instante final a extração física iterativa não linear. Tanto o TOVS

como o ATOVS são instrumentos de sondagens vertical da atmosfera que consistem de um radiômetro que opera no range do visível ao do espectro do infravermelho e um módulo de microondas. Os perfis verticais da temperatura e da umidade são extraídos das radiancias medidas por esses instrumentos. Ressalta-se que as rotinas do AAPP também já foram implementadas e testadas para as futuras aplicações com dados da estação de recepção de alta resolução em fase de instalação na Universidade. Esse sistema detecta e remove a cobertura de nuvens; realiza o ajuste de viés com o emprego de perfis verticais de temperatura e umidade de modelos numéricos ou climatologias; a regressão estatística dos perfis extraídos e no passo final a extração física não linear e iterativa. Há grande diferença entre a utilização de perfis climatológicos e prognósticos de modelos de previsão de tempo, na extração de perfis verticais é notório, fazendo com que haja maior desempenho ao desenvolvimento de processos de acoplamento entre modelos de previsão, eventualmente com assimilação 4DVAR de dados TOVS, e posterior utilização dos produtos dos prognósticos numéricos na extração de dados de novas passagens de satélites. Os resultados benéficos, apresentados nos estudos já realizados, mediante o emprego da assimilação de dados TOVS no processamento de modelos de previsão de mesoescala sobre Portugal foram evidentes, particularmente pela falta de dados observados sobre o Oceano Atlântico. Alguns resultados obtidos com a extração de perfis verticais

da temperatura e umidade, utilizando dados de algumas passagens de satélites são comparados com sistemas que empregaram dados climatológicos e prognósticos do modelo global da atmosfera (GFS/NCEP).

2. SONDADORES/NOAA

O Sondador Vertical Operacional TIROS (TOVS) a bordo dos satélites heliossíncronos da série TIROS da NOAA consistem basicamente de três instrumentos: O Sondador de Radiação Infravermelha de Alta Resolução (HIRS) a Unidade de Sondagem de Microondas (MSU) e a Unidade de Sondagem Estratosférica (SSU). Com o advento de novas tecnologias, associados aos desenvolvimentos das novas teorias e necessidades operacionais, nos novos satélites da série TIROS-KLM e o N, o MSU e o SSU foram substituídos pelos instrumentos melhorados, o AMSU-A e o AMSU-B, além da inclusão de um novo sondador, o MHS. Na figura 1 são apresentados os principais sondadores dos satélites da série NOAA. Os detalhes técnicos sobre esses instrumentos são disponíveis na [NOAA Polar Orbiter Users Guide](#)

Os dados obtidos pelos sondadores TOVS vem sendo utilizados para inferir sondagens verticais da umidade e da temperatura da atmosfera com o emprego dos dados da energia radiante nos espectros do infravermelho e da microonda. São também extraídos, com esses dados, outros parâmetros como o ozônio total, quantidade e altura das nuvens, bem como a pressão e a temperatura da tropopausa. Essa série de TIROS/NOAA (designados POES) vem proporcionando, em média, da ordem de 50.000 sondagens verticais da atmosfera, com uma resolução horizontal que varia de 80 a 300 km. Com a utilização de técnicas de análise objetiva e eliminação de ruídos nos dados, redundâncias de observações e de àqueles questionáveis, se reduzem, em escala global, a cerca de 10.000 sondagens por dia.

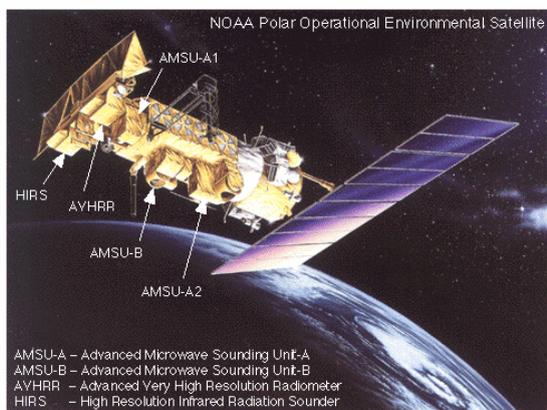


Fig.1- Satélite NOAA e os Sondadores

Os dados TOVS, a bordo dos satélites da série TIROS-N Avançado (ATN) consiste de medições de três instrumentos, o HIRS/2, SSU e o MSU. O HIRS/2, compreendendo 20 canais espectrais, é utilizado para medidas, principalmente na região do Infra-Vermelho. Esses instrumentos são usados para inferir a temperaturas da atmosfera da superfície da Terra até o nível de 50 hPa, conteúdo de vapor de água em três camadas da atmosfera e total de ozônio da coluna da atmosfera. A Unidade de Sondagem Estratosférica (SSU) é um instrumento com 3 canais, e utiliza a técnica de absorção seletiva. A pressão na célula de dióxido de carbono no caminho ótico determina as características espectrais de cada canal; e a massa do dióxido de carbono, em cada célula, determina o nível da atmosfera em que a função de ponderação (peso) de cada canal apresenta um pico. O MSU é um radiômetro de quatro canais que faz medições em microonda na banda de 5,5 mm do oxigênio. Assim como o instrumento de infravermelho do TOVS, o MSU é pouco influenciado pelas nuvens no campo de visão do satélite. O MSU foi colocado a bordo do NOAA-11 lançado em 1988, e também do NOAA-D, lançado em 1990, NOAA-I em 1991, e NOAA-J EM 1992. O sondador foi substituído pela Unidade Avançada de Sondagem Microonda (AMSU) nos satélites da série K, L e M (renomeados NOAA-15,16,17), além da adição de um novo sondador, o MHS, no NOAA-N (renomeado NOAA18; lançado em 2005).

O Radiômetro Avançado de Muito Alta Resolução (AVHRR/3) é um radiômetro imageador de 6 canais que detecta a energia do espectro eletromagnético na porção do VIS e no IR. O instrumento mede a energia solar refletida (VIS e IR próximo) e a térmica radiada pela terra, oceano, nuvens e pela própria atmosfera. Ele tem um IFOV de 1,3 miliradianos, provendo uma resolução espacial de 1,1, km no nadir. Um espelho de varredura elíptica em rotação contínua à taxa de 6 revoluções por segundo (360 rpm), provê uma varredura transversal à trajetória correspondente na superfície da Terra a $\pm 55,4^\circ$ do nadir.

O AVHRR/3 representa uma melhora espectral e um ganho nos canais do visível solar que prove uma baixa detecção de energia da luz. O canal 3A, em 1,6 microns, prove meios para distinguir coberturas de neve, gelo e nuvens. O canal 3A compartilha em tempo com o canal de 3,7 microns, designado 3B, para prover 5 canais de dados contínuos.

O Sondador Infravermelho de Alta Resolução (HIRS) é destinado a realizar medições em um canal visível (VIS) e sete de ondas curtas do Infra-Vermelho (IR) e 12 canais de ondas longas. O IFOV de cada canal é de aproximadamente 1,4° no canal do VIS e de 1,3° na banda do IR. À uma

altitude de cerca de 833 km o satélite proporciona 56 medições transversais à trajetória, cada uma segundo ângulo instrumental de $1,8^\circ$, apresentando uma resolução espacial no nadir de cerca de 20,3 km e de 18,9 km respectivamente no VIS e no IR. Cada varredura do sondador leva 6,4 segundos e cobrindo a linha de visão de $\pm 49,5^\circ$ do ponto nadir. A calibração do HIRS/3 é feita a cada 38 varreduras transversais, com medições do espaço sideral e do alvo quente interno, cuja temperatura é pré-estabelecida. O instrumento, fazendo medições radiométricas do espectro infravermelho e provê o suporte necessário para a determinação dos perfis verticais da temperatura e da umidade da atmosfera. Os dados são, além disso, utilizados para a obtenção da temperatura da superfície da água do mar, conteúdo total do ozônio da atmosfera, água precipitável, cobertura e alturas das nuvens e radiâncias da superfície. O Sondador Infra-Vermelho de Alta Resolução (HIRS/4), por outro lado, é um sondador atmosférico que provê medições multiespectrais em um canal visível (0,69 μm); 7 canais de ondas curtas (3,7 a 4,6 μm) e 12 canais de ondas longas (6,7 as 15 μm). Ele utiliza um sistema de telescópio simples e um dispositivo circular contendo 20 filtros espectrais que gira, realizando medições, com IFOV de cada canal com varredura segundo um ângulo cerca de $7,0^\circ$ que, à uma altitude de 870 km perfaz uma na superfície da Terra uma cobertura circular de 10 km de diâmetro no nadir. Ela representa uma melhora do sistema HIRS/3 que tem uma resolução de 20 km, que se encontra a bordo do NOAA-KLM (renomeados NOAA-15, 16 e 17). Um espelho com varredura elíptica provê meios para medições das radiâncias em 56 IFOV, cada um dos quais obtido segundo um ângulo de $1,8^\circ$ em cada passo de varredura. O espelho, em cada passo aguarda, durante um instante, para que a radiação ótica que passa pelos 20 filtros espectrais sejam medidas. Cada varredura transversal do sondador leva 6,4 segundos; cobre um ângulo de $\pm 49,5^\circ$ do nadir e a calibração é feita segundo procedimento do HIRS/3.

O novo instrumento dos satélites da NOAA, o sondador de umidade microonda (MHS), é um instrumento que foi desenvolvido e destinado principalmente para realizar medições do perfil vertical da umidade da atmosfera. Ele é sensível à água líquida das nuvens e mede o conteúdo de vapor de água líquida da nuvem, além de proporcionar uma estimativa qualitativa da taxa de precipitação.

Face a alta variabilidade da água na atmosfera, o MHS tem uma resolução maior que a AMSU-A, com um IFOV circular de aproximadamente 16 km de diâmetro no nadir. Ele faz 90 medições em cada varredura transversal à trajetória, com ângulo de varredura total similar ao do AMSU-A, porém leva

1/3 do tempo para manter os dois instrumentos sincronizados, (3 varreduras a cada 8 segundos) tendo em vista que faz muito mais medições; ou seja, uma matriz de 3x3 amostras do MHS para cobrir a mesma área do AMSU-A. Ele apresenta 4 canais de umidade, nas linhas de absorção do vapor de água, compreendido entre 157 a 190 GHz. Assim como no AMSU-A ele tem uma visão da superfície, janela espectral do canal de 89 GHz proporcionando a obtenção de informações da temperatura da superfície e da emissividade, em conjunção com os canais do AMSU-A, bem como pixel contaminado com precipitação. Esse sondador está também previsto para ser colocado à bordo dos satélites METOP do Sistema Polar Europeu (EPS).

Os instrumentos de microonda (AMSU-A, AMSU-B e o MHS), abordo dos Satélites Ambientais de Órbita Polar (POES) da série NOAA, são sondadores que fazem medições radiométricas ao longo das transversais à trajetória do satélite que, em conjunção com os dados dos sondadores HIRS, permitem inferir, dentre outros parâmetros atmosféricos, os perfis verticais de temperatura e da umidade da atmosfera, desde a superfície da Terra até a estratosfera superior.

O lançamento do novo satélite NOAA-N (renomeado NOAA-18) em 20 de maio de 2005 apresenta não apenas uma nova perspectiva como também um outro desafio às investigações científicas. Esse fato se deve por ter levado à bordo um instrumento não anteriormente utilizado, o Sondador de Umidade Microonda (MHS), que substituiu o AMSU-B, instrumento que foi levado nos últimos três satélites lançados anteriormente. A grande diferença entre os sistemas MHS e o AMSU-B, embora ambos apresentem cinco radiômetros, se encontra na frequência dos canais 2 e 4. O MHS faz medições em 157 e 190 GHz, enquanto o AMSU-B opera em 150 GHz e 183 GHz (± 7 GHz).

O AMSU-A faz medições de radiâncias no espectro das microondas e é constituído por dois módulos físicos independentes, cada um dos quais apresente uma interface própria e opera de forma independente. O módulo A-1 apresenta 13 canais espectrais e o módulo A-2, dois canais espectrais. O instrumento apresenta um campo de visão instantâneo (IFOV) de $3,3^\circ$ nos pontos de potencia média, que proporciona uma resolução espacial no ponto nadir de 48 km. A antena apresenta uma varredura transversal a cada 8 segundos, segundo ângulo de $\pm 48,3^\circ$ do nadir de cada lado da trajetória, que correspondente ao total de 30 campos de visão (FOV) na superfície da Terra a cada linha de varredura.

3. PROCESSAMENTO TOVS

Há basicamente duas abordagens distintas no processamento dos dados TOVS. Entretanto ambas vem utilizando o mesmo sistema de pré-processamento, ou seja, de preparo dos dados para fins de processamento propriamente dito. Os dados dos satélites são obtidos, em tempo real, um formato próprio, com representação de palavras com 10 bits e incorporam blocos de informações que contém dados dos seus sondadores e que requerem o devido pré-processamento e separação adequada das informações contidas nos diversos seguimentos da recepção dos dados.

O Módulo de Pré-processamento ATOVS e AVHRR (AAPP), mantido atualmente pela EUMETSAT NWP SAF, é constituído por um conjunto de software destinado a processar dados do (A)TOVS e do AVHRR dos satélites heliossíncronos da série NOAA. Ele tem como objetivo proceder tanto a ingestão e as tarefas de pré-processamento dos dados HRPT como também a obtenção das temperaturas de brilho, para permitir posteriormente, mediante a utilização de outro(s) sistema(s), proceder a obtenção dos parâmetros meteorológicos. Ele pode ser empregado para processar os seguintes tipos de dados a saber: ATOVS (HIRS, AMSU-A, AMSU-B) e AVHRR dos satélites NOAA 15,16 e 17; ATOVS (HIRS, AMSU-A, MHS) e AVHRR dos satélites NOAA 18 e NOAA-N' e o TOVS (HIRS, MSU) e AVHRR dos satélites da série anterior a NOAA 15.

A Fig. 2 retrata, de forma resumida, as seqüências dos processamentos dos dados no AAPP, da Versão 5 (NWPSAF-MO-UD-004 de 12/04/05).

A rotina inicial da decomutação faz a interface entre o sistema de aquisição de dados pela estação receptora e o processador de dados. A decomutação é feita com a ingestão dos dados HRPT (nível0) e extração dos dados particulares de cada instrumento a partir do formato HRPT. Os dados de cada sondador (HIRS, AMSU-A, AMSU-B, MHS ou MSU) e dos radiômetros (AVHRR) são colocados em um arquivo separado.

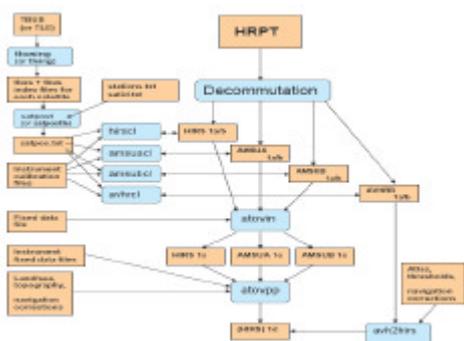


Fig. 2 Processamento AAPP

A calibração dos sondadores é feita determinando-se a localização dos pixels na Terra, para cada instrumento TOVS/ATOVS, bem como os cálculos dos coeficientes de calibração, levando em conta as geometrias, ângulos de varredura e ângulos solares de cada sensor. No final desse procedimento, são criados arquivos, de forma separada da temperatura de brilho localizado na Terra.

O mapeamento é feito pelo módulo que mapeia os dados do nível 1c entre as grades das medições feitas pelos instrumentos (por exemplo: HIRS+AMSU-A+AMSU-B+MSU, sobre a grade HIRS; AMSU-A+AMSU-B sobre a grade AMSU-B). No final desse processo todos dados instrumentais ATOVS são mantidos no arquivo HIRS. Esse módulo também apresenta vários algoritmos científicos e armazena no arquivo, os indicadores de nuvens tipo cirrus, precipitação e o tipo de superfície.

A Unidade Avançada de Sondagem Microonda (AMSU-A) é implementada em dois módulos separados, AMSU-A1 e AMSU-A2. Trata-se de um radiômetro de microonda destinado à medição dos perfis verticais da temperatura com a altura e água da atmosfera em todas suas formas, exceto pequenas partículas de gelo, que são transparentes às frequências de microondas. Trata-se de um instrumento que faz a varredura ao longo da transversal à trajetória e obtém radiâncias, de cenas em 15 frequências discretas, que permitem obter o perfil vertical da temperatura com a altura, desde a superfície da Terra até cerca de 3 hPa, ou seja, de cerca de 45 km de altitude. Em cada canal de frequência a largura do feixe é constante, de 3,3 graus no ponto de potencia médio, perfazendo trintas amostragens de cenas em cada varredura a cada oito segundos, cobrindo aproximadamente 50 graus de cada lado da trajetória do sub-satélite. Os padrões de varredura e a resolução geométrica corresponde a uma célula de 50 km de diâmetro no nadir e uma varredura de cerca 2.343 km de extensão, de uma altitude orbital nominal de 833 km.

Na Tab.1, H e V indicam respectivamente as polarizações horizontal e vertical. O AMSU-A1 apresenta 12 canais, de 3 ao 14, na banda V, e um canal, o 15, na banda W. O AMSU-A2 apresenta as duas frequências mais baixas, canal 1 na banda K e o canal 2 na banda Ka.

O sistema da Unidade Avançada de Sondagem Microonda (AMSU-B) é um radiômetro com 5 canais de microondas destinado a receber e medir radiações para a determinação do perfil de umidade da atmosfera. Ele opera juntamente com o AMSU-A para prover medições de radiômetros de

microondas e um total de 20 canais. Os canais mais altos, de 18 ao 20, cobre a forte linha de absorção opaca da água em 183 GHz e provê dados da umidade da atmosfera. Os canais 16 e 17, em 89 GHz e 150 GHz, respectivamente, permitem penetrações mais profundas na atmosfera, chegando até a superfície da Terra.

O AMSU-B faz a varredura perpendicular à trajetória, fazendo medições de radiâncias que emanam de cenas nos cinco canais onde, em cada frequência do canal, a largura do feixe é constante e de 1,1 grau no ponto médio de potencia. O sondador faz medições em 90 cenas de células com resoluções contínuas, cobrindo um total de 50 graus de cada lado do ponto sub-satélite da trajetória em cada varredura. As varreduras as resoluções (Tab. 1) correspondem a células com 16,3 km de diâmetro no nadir. O instrumento do sistema AMSU-B consiste de uma antena refletora parabólica que gira uma vez em cada 8/3 segundos e focaliza na radiação que recebe em um sistema ótico, e posteriormente é separada em frequências de interesse ao receptor.

Tab.1- Varreduras do AMSU.

| Instrumento | IFOV (graus) | Separação entre IFOV adjacentes na Terra (graus) |
|-------------|--------------|--|
| AMSU-A1 | 3 3/10 | 3 1/3 |
| AMSU-A2 | 3 3/10 | 3 1/3 |
| AMSU-B | 1 1/10 | 1 1/10 |
| MHS | 1 1/10 | 1 1/9 |

O instrumento do sistema AMSU-B consiste de uma antena refletora parabólica que gira uma vez em cada 8/3 segundos e focaliza na radiação que recebe em um sistema ótico, e posteriormente é separada em frequências de interesse ao receptor. O sub-sistema receptor faz a de-multiplexação do sinal de 183 GHz. As passabandas dos cinco canais são definidos na Tabela **. As frequências centrais dos canais 18, 19 e 20 são 183.31 ± 1.00 GHz, 183.31 ± 3.00 GHz, e 183.31 ± 7.00 GHz, respectivamente.

Tab. 2- Características do AMSU-B

| Ch. | Freq. (MHz) | # bandas | Largura Nominal Banda (MHz) | Largura Nominal do Feixe (graus) |
|-----|-------------------|----------|-----------------------------|----------------------------------|
| 16 | 89.0 ± 0.9 | 2 | 1000 | 1,1 |
| 17 | 150.0 ± 0.9 | 2 | 1000 | 1,1 |
| 18 | 183.31 ± 1.00 | 2 | 500 | 1,1 |
| 19 | 183.31 ± 3.00 | 2 | 1000 | 1,1 |
| 20 | 183.31 ± 7.00 | 2 | 2000 | 1,1 |

O Sondador Microonda de Umidade (MHS) é um radiômetro de microonda que tem a capacidade de proceder a auto-calibração, observando a Terra com um FOV de ± 50 graus, transversal ao nadir da trajetória, que opera em 5 canais de frequências da banda da onda milimétrica (89-190 GHz). É um instrumento que complementa o AMSU-A e proporciona a capacidade operacional de sondagens de microondas dos satélites NOAA-N (atual NOAA-18) e o futuro NOAA-N'. Detalhes sobre o instrumento ATOVS são disponíveis no [NOAA KLM Polar Orbiter Users Guide](#).

O IAPP, pacote internacional de processamento ATOVS (Sondador Vertical Avançado TIROS) e seu predecessor, conhecido como ITPP (pacote internacional de processamento TOVS), foi desenvolvida para extração de perfis verticais da temperatura e da umidade atmosférica, ozônio total e outros parâmetros meteorológicos, em condições atmosféricas claras ou cobertas por nuvens, mediante o emprego dos dados das medições das radiâncias do ATOVS/TOVS.

O algoritmo do IAPP, cuja descrição é apresentada por Wolf et al. (2000), perfaz a extração dos dados procedendo inicialmente a detecção e a remoção da cobertura de nuvens; seguido pelo ajuste do viés; pela extração utilizando processo de regressão e no instante final a extração física iterativa não linear.

Tanto o TOVS como o ATOVS são instrumentos de sondagens vertical da atmosfera que consistem de um radiômetro que opera no range do visível ao do espectro do infravermelho e um módulo de microondas. Os perfis verticais da temperatura e da umidade são extraídos das radiâncias medidas por esses instrumentos.

O TOVS foi colocado à bordo dos satélites NOAA 6 a NOAA 14 e consiste de três instrumentos fundamentais, o HIRS (Sondador de Alta Resolução de Infravermelho), o MSU (Unidade de Sondagem de Microonda) e o SSU (Unidade Sondadora Estratosférica). Os detalhes técnicos sobre esses instrumentos são disponíveis na [NOAA Polar Orbiter Users Guide](#).

O ATOVS (TOVS Avançado) foi colocado à bordo dos satellites que iniciaram com a série NOAA15 e também composta de três instrumentos, bem como o HIRS da próxima geração, o HIRS/3, a AMSU-A (Unidade de Sondagem Avançada de Microonda) e o AMSU-B que também é outra Unidade Avançada de Microonda. Detalhes sobre o instrumento ATOVS são disponíveis no [NOAA KLM Polar Orbiter Users Guide](#).

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

As imagens do canal 2 das 12:00 UTC, do espectro do visível (0,74-0,88 μm), do satélite geostacionário Meteosat de Segunda Geração (MSG-1) para os dias 4, 5, 6 e 10 de Dezembro de 2005, apresentados na Fig.3, mostram claramente as condições de coberturas de nuvens prevalentes sobre Portugal continental e suas vizinhanças.

No primeiro dia (04/12) praticamente toda a área continental de Portugal apresenta-se coberta; no segundo (05/12) cerca da metade da área; no terceiro dia (06/12) a cobertura se restringe praticamente à orla do litoral norte de Portugal, bem como nas áreas oceânicas; e, no último dia (10/12) da análise praticamente sem cobertura de nuvens. Essas condições de cobertura de nuvens foram devidamente seleccionadas para possibilitar uma avaliação de resultados dos processamentos sob essas distintas condições correspondentes.

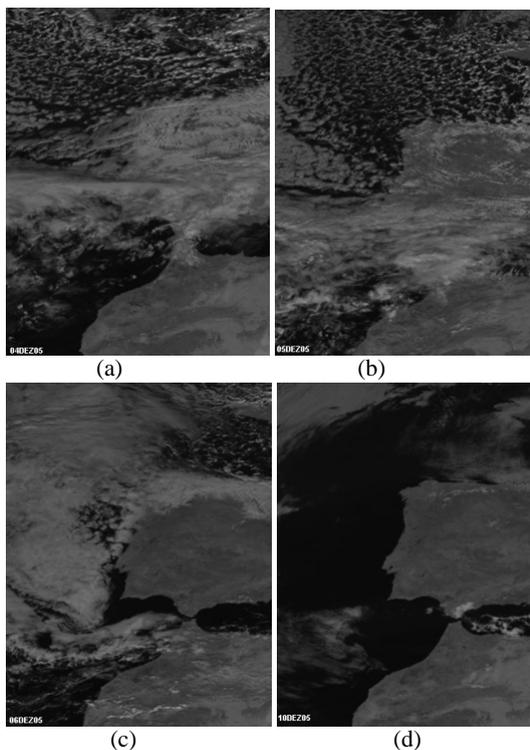


Fig.3- Imagens Meteosat das 12:00 UTC para os dias 4 (a), 5 (b), 6 (c) e 10 (d) de Dezembro do 2005.

Segundo os perfis verticais da temperatura seca (T) e da temperatura do ponto de orvalho (Td) apresentados pelas radiosondagens feitas pelo Instituto de Meteorologia (IM/PT) às 12:00 UTC, nos dias considerados, apresentados na Fig-4, constata-se que o primeiro dia apresenta uma grande massa de ar húmida concentrada principalmente entre 900 e 800 hPa. No segundo dia a atmosfera apresenta maior concentração de humidade estendendo desde a superfície até o nível

de 800 hPa. No terceiro dia há uma forte inversão térmica no nível de 900 hPa, com uma atmosfera nos baixos níveis que deve ter afectado sobremaneira a dissipação da poluição atmosférica em Lisboa, porém com o ar relativamente não muito húmido. No último dia o ar apresenta-se relativamente seco, com pouca humidade, com uma concentração muito pequena especialmente entre 950 e 750 hPa.

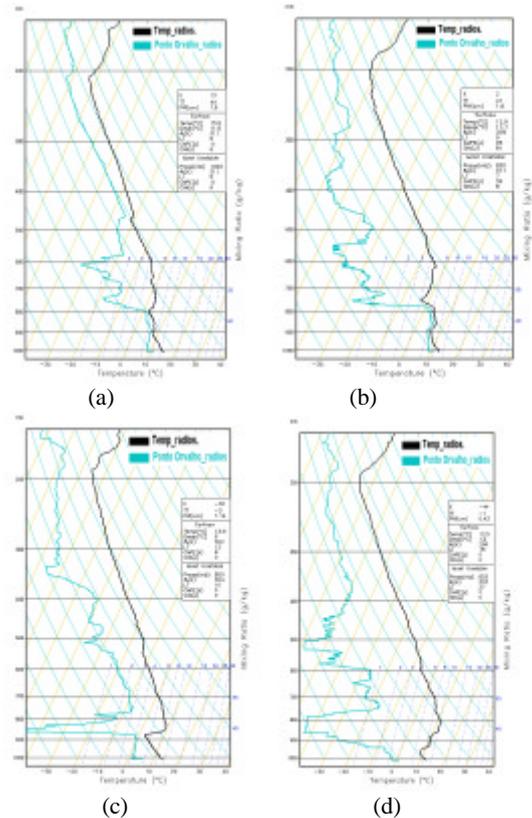


Fig. 4- Radiosondagens das 12:00 UTC de Lisboa para os dias 4 (a), 5 (b), 6 (c) e 10 (d) de Dezembro do 2005.

Os processamentos dos dados TOVS foram feitos empregando duas fontes distintas de perfis verticais de temperatura e de humidade de suporte (“background”). O primeiro tipo de processamento foi feito com dados climatológicos (TOVS_CLIM) e o segundo com os prognósticos numéricos do modelo global da atmosfera do NCEP/EUA (“National Center for Environmental Prediction”) (TOVS_PROG). Na Fig-5 são apresentados os perfis verticais da temperatura seca obtidos pelas duas formas de processamento juntamente com o perfil da temperatura observada na radiosondagens para os dias 4 e 6 de Dezembro de 2005. Os perfis verticais da temperatura atmosférica, de todos os 4 dias analisados, apresentam concordância relativamente boa entre elas, com pequenos desvios na vertical. Os pequenos desvios se devem especialmente à baixa resolução vertical dos sondadores atmosféricos que, em última instância depende do número de radiómetros com distintos canais espectrais na faixa do espectro das micro-ondas. Nota-se, entretanto que o processamento

com dados climatológicos apresentam perfis demasiadamente suavizados e sem inversão alguma, não obstante com uma coerência relativamente, pelo menos em termos da aplicabilidade desses dados em modelos numéricos de previsão de mesoescala que restrinjam limiares de desvios da previsão não muito rigorosos nas assimilações em 3D ou mesmo em 4DVAR.

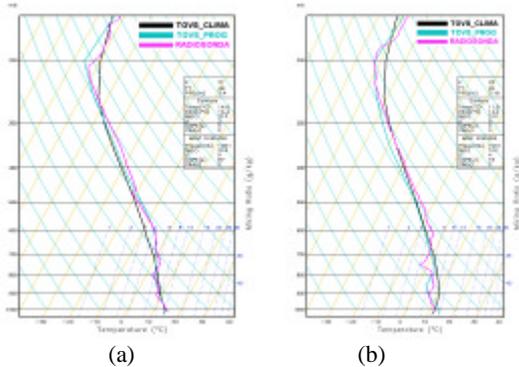


Fig. 5- Perfis verticais da temperatura TOVS_CLIM, TOVS_PROG e Radiosondagens para os dias 4(a) e 6(b) de Dezembro de 2005.

Na Fig.-6 são apresentados os perfis verticais da temperatura do ponto de orvalho que possibilitam comparar os resultados obtidos nos processamentos TOVS_CLIM e TOVS_MOD, juntamente com as observações das radiosondagens. Trata-se aqui de uma variável extremamente importante para fins de previsão de precipitação ou que é transportada pela circulação atmosférica.

Os perfis verticais da temperatura do ponto de orvalho mostram claramente que os perfis verticais obtidos no processamento TOVS_CLIM são extremamente suavizados. Os perfis verticais do processamento TOVS_PROG, por outro lado, apresentam concordâncias relativamente notáveis com as das radiosondagens, principalmente na capacidade de captar as inversões nos perfis verticais, muito embora com alguns desvios em termos de valor e até mesmo dos níveis dos valores das mínimas. Nota-se que os perfis obtidos retratam de forma razoável os níveis com baixa humidade nos dois últimos dias, conforme também se observa nas imagens de satélites do Meteosat.

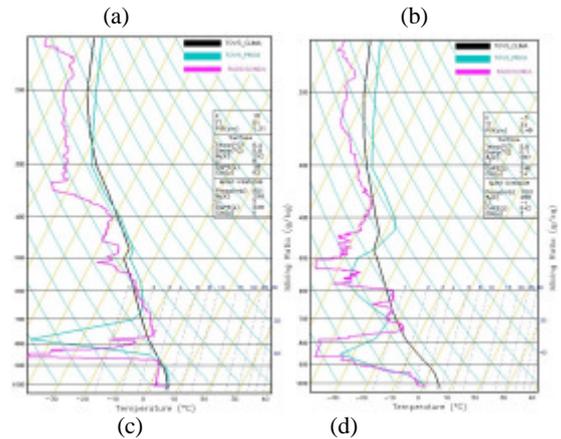
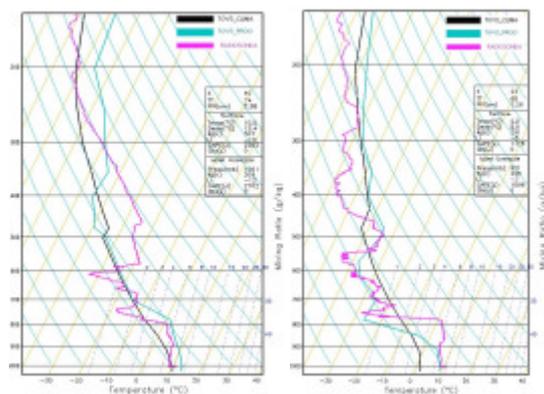
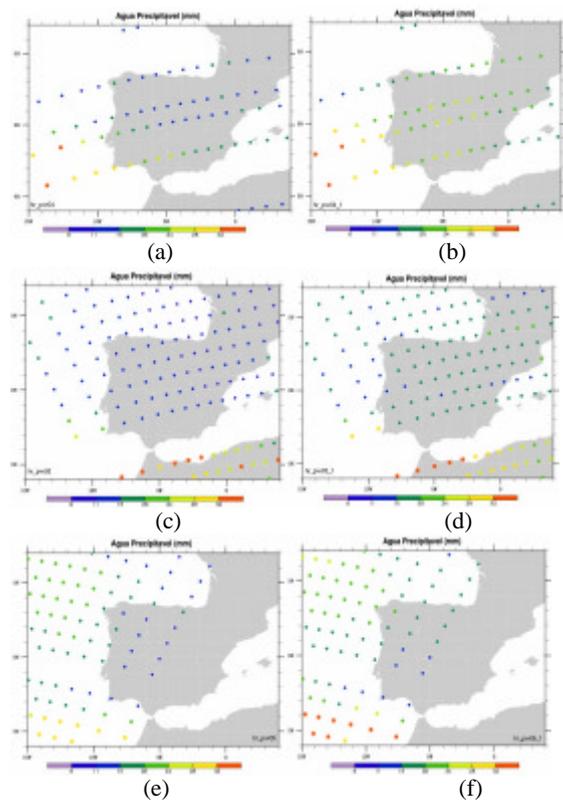


Fig. 6- Perfis verticais da temperatura do ponto de orvalho TOVS_CLIM, TOVS_PROG e Radiosondagens para os dias 4(a), 5(b), 6(c) e 10(d) de Dezembro de 2005.

Os campos da água precipitável, representando a integral do conteúdo de vapor de água da atmosfera, são apresentados na Fig. 7, para os 4 dias em consideração, resultantes dos processamentos TOVS_CLIM e TOVS_PROG. Esses campos mostram a distribuição do conteúdo de vapor de água da atmosfera que se apresenta disponível para precipitação. Esse parâmetro meteorológico vem sendo muito explorado nos últimos anos e sua obtenção feita mediante aplicações das modernas tecnologias de navegação por satélites, notadamente mediante o emprego dos princípios físicos da rádio propagação e análises do retardo do sinal do sistema GPS.



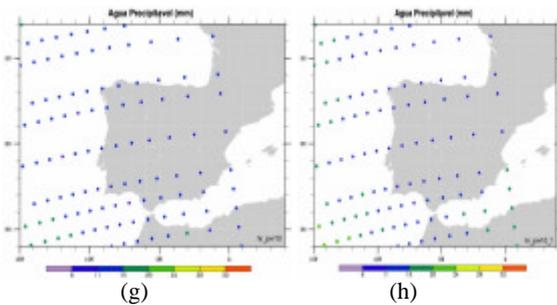


Fig. 7- Campo da água precipitável TOVS_CLIM (a,c,e,g) e TOVS_PROG (b,d,f,h) para os dias 4, 5, 6 e 10 de Dezembro de 2005, respectivamente.

Muito embora os campos de água precipitável apresentem valores razoáveis, eles não apresentam uma coerência uniforme no tocante à magnitude dos valores. De uma forma geral os dados TOVS_CLIM apresentam menores valores que os dados TOVS_PROG e com uma certa concordância nas regiões com valores máximos.

Na Fig. 8 são apresentados os perfis verticais da temperatura da radiosondagem (T) de Lisboa (IM/PT), juntamente com os perfis verticais da temperatura do ponto de orvalho obtidos para os dias 18 e 20 de outubro de 2005. Os dados TOVS foram processados pelo “World Data Center for Remote Sensing of the Atmosphere” (WDC/RSAT) /Oberpfaffenhofen/Wessling/Alemanha (<http://wdc.dlr.de>) utilizando o sistema TOVS_CLIM.

Nos baixos níveis a ocorrência da inversão térmica do dia 18, não aparente nos dados TOVS ou MM5 se deve, provavelmente, à diferença do instante da observação, feita às 12:00 UTC, para a radiosondagem e os dados TOVS_CLIM e o MM5 válidos para as 15:00 UTC. No dia 20 a coerência é bem mais visível.

No dia 18 (Fig. 6a) os perfis verticais das temperaturas do ponto de orvalho com pouca humidade são observados em 480 hPa; que foi sensivelmente prevista pelo MM5 em 400 e 500 hPa. O perfil apresenta uma alta humidade próximas à superfície e que foi relativamente bem representadas, excepto pelos dados TOVS acima de 900 hPa.

No dia 20 (Fig. 6b) os perfis são relativamente coerentes. Nas proximidades de 430 a 460 hPa os dados da radiosondagem indicam a presença de nuvens, pouca espessura e com uma camada extremamente seca acima dela. Essa inversão de humidade foi detectada apenas em um nível pelo modelo MM5 e sondagem TOVS. Como se observa, os perfis apresentam também uma certa concordância, notadamente com os dos resultados do modelo MM5; e, pelo fato de não empregar dados de suporte de modelos prognósticos, o processamento TOVS (ou mais precisamente

TOVS_CLIM) não apresenta resultados como os que vem sendo obtidos no sistema implementado na Universidade de Aveiro quando se utiliza prognósticos numéricos como dados de suporte.

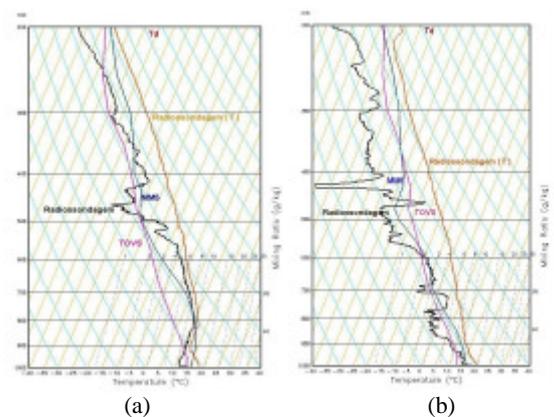


Fig. 8 - Perfis verticais da temperatura (T) da radiosondagem e de temperaturas do ponto de orvalho obtidos pelo modelo MM5, TOVS_CLIM e radiosondagem para os dias 18 e 20 de outubro de 2005.

5. CONCLUSÃO GERAL

Um fato conclusivo e deveras importante é que o processamento TOVS_PROG possibilita a extração de perfis verticais de temperaturas, seca e de ponto de orvalho, relativamente coerente com as observações de radiosondagens. Muito embora tenha apresentado apenas alguns resultados de comparações, as análises já realizadas revelam que os dados são realmente promissoras às aplicações 4DVAR em modelagem numérica de mesoescala. De fato, alguns experimentos também já realizados com o MM5, mostraram uma sensível melhora nas previsões, mesmo quando se utiliza os dados TOVS_CLIM no sistema 4DVAR do MM5. Um outro fato digno de nota é que, muito embora os perfis verticais de humidade TOVS apresentem, em geral, maiores erros sobre áreas continentais e por isso com utilizações mais recomendáveis sobre áreas oceânicas, tudo indica que, pelo fato de Portugal apresentar um território com extensão meridional não muito grande, da ordem de 300 Km, e estar ao longo da área oceânica costeira, é passível o emprego dos dados TOVS que são obtidos mesmo sobre a área continental, nos modelos de mesoescala. Um outro fato é que, como os sistemas meteorológicos que afectam Portugal são quase sempre oriundos do oceano, os dados TOVS passam a ser relativamente muito importantes nos processos de assimilação de dados dos modelos de mesoescala.

A melhora das extracções dos perfis verticais TOVS mediante o emprego de prognósticos numéricos sugere, por outro lado, o desenvolvimento de algoritmos que permitam utilizar os próprios prognósticos do modelo MM5, como base de

suporte à obtenção dos perfis verticais da atmosfera, para o horário previsto da passagem dos satélites heliossíncronos da série NOAA, e posteriormente assimilar os dados obtidos, mediante o emprego do 4DVAR na nova previsão do modelo. Esse sistema deverá permitir, ainda, a inclusão de um algoritmo de auto aprendizagem para, eventualmente, eliminar gradualmente os erros e discrepâncias inerentes ao sistema de extracções de perfis verticais da atmosfera com os dados TOVS.

Referencias Bibliográficas

Li, J., W. Wolf, W. P. Menzel, W. Zhang, H.-L. Huang, T. H. Achtor, 2000. Global soundings of the atmosphere from ATOVS measurements: The algorithm and validation, *J. Appl. Meteorol.*, 39:1248-1268.

NOAA KLM Users Guide, Polar Orbiter Data Users Guide Nov. 2002 Revision. Ed. Geoffrey G., K. B. Kidwell, Wayne Winston – <http://www1.ncdc.noaa.gov/pub/doc/klmguide>

Smith, W. L., and H. M. Woolf, C. M. Hayden, and A. J. Schreiner, 1985. The simultaneous retrieval export package. *Tech. Proc. Second Int. TOVS Study Conf.*, Igl, Austria, CIMSS, 224–253.

Smith, W. L., and H. M. Woolf, 1988: A linear simultaneous solution for temperature and absorbing constituent profiles from radiance spectra. *Tech. Proc. Fourth Int. TOVS Study Conf.*, Igl, Austria, CIMSS, 330–344.

Agradecimentos

Às instituições que proveram os dados imprescindíveis à realização do trabalho: Instituto de Meteorologia (IM) -Lisboa/Portugal (<http://www.meteo.pt>); EUMETSAT - Darmstadt/Alemanha (<http://www.eumetsat.de>); World Data Center for Remote Sensing of the Atmosphere (WDC/RSAT)/ Oberpfaffenhofen/Wessling/Alemanha (<http://wdc.dlr.de>); National Weather Service (NWS/NOAA) /Washington D.C./EUA (<http://nws.noaa.gov>). Os autores agradecem também à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e à Universidade de Aveiro (UA) pelos suportes financeiros proporcionados à realização do trabalho e ao desenvolvimento do Projeto Re-equipamento (SOPAVE), FCT, Ref: CONC-REEQ/946/2001