

# ESTAÇÃO DE BAIXA RESOLUÇÃO NOAA DA UNIVERSIDADE DE AVEIRO: APLICAÇÃO À VALIDAÇÃO DE PREVISÕES OBTIDAS COM O MM5

Luis C. Carvalho<sup>(1,2)</sup>, Yoshihiro Yamasaki<sup>(2)</sup>, Maria Dolores Orgaz<sup>(2)</sup>, António Oliveira<sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup> Escola Superior de Educação de Viseu, Rua Maximiano Aragão, 3504 - 501, Viseu, luiscarvalho@esev.ipv.pt

<sup>(2)</sup> Universidade de Aveiro, Departamento de Física, Campus Universitário de Santiago, 3810-193, Aveiro, yamasaki@fis.ua.pt, mariola@fis.ua.pt, aoliveira@fis.ua.pt

## RESUMO

A estação de recepção de imagens de baixa resolução dos satélites da série NOAA, implementada na Universidade de Aveiro é apresentada de acordo com os seus componentes principais de hardware, o software de aquisição, processamento e arquivamento de dados e também o fluxo de informação que tem vindo a ser recebido de uma forma operacional desde Fevereiro de 2005. Como aplicação das potencialidades oferecidas pelas imagens de baixa resolução adquiridas, ilustra-se um estudo destinado a validar as previsões do modelo de previsão numérica de mesoescala MM5, contrapondo as imagens de satélite dos dias 20, 21 e 22 de Julho de 2005, os dados observacionais de Boletins Meteorológicos, do Instituto de Meteorologia, referentes aos mesmos dias, e as previsões do MM5 para o intervalo de tempo em análise. Os principais parâmetros analisados incidiram sobre a pressão ao nível médio do mar, a temperatura a 2 m e as fracções de cobertura de nuvens baixas, médias e altas. Deste modo, esta aplicação visa demonstrar, por um lado, o suporte adicional que as imagens de baixa resolução podem fornecer a analistas e previsores de tempo no sentido de constituírem uma orientação para melhorar o processo de previsão do tempo, e, por outro, a validade das previsões efectuadas pelo MM5, na sua actual configuração.

## 1. INTRODUÇÃO

A recepção e decodificação de imagens dos satélites heliossíncronos da série NOAA têm vindo a tornar-se bastante popular não só pelo baixo custo do equipamento requerido, mas também pelo crescente entusiasmo de construção de estações de recepção de imagens de satélite. Na maior parte dos casos, estas estações baseiam-se no modo APT (*Automatic Picture Transmission*) de transmissão de dados do radiómetro AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), a bordo dos satélites NOAA. Este modo de transmissão de acesso gratuito e ilimitado, contém dados dos canais infravermelho

e visível<sup>1</sup> do sensor AVHRR, numa resolução espacial de 4 km e com 8 bits de resolução espectral, sendo que a transmissão desses dados é feita, em modo analógico, a uma velocidade de 120 linhas por minuto. Tendo em conta que se trata de uma transmissão contínua, a imagem é delimitada pelo horizonte de passagem do satélite, razão pela qual se pode afirmar que a resolução temporal das imagens está condicionada pelas órbitas dos satélites sobre o local de aquisição de sinal. As características do sinal recebido via APT são as seguintes:

- Frequência de emissão entre 137 e 138 MHz (VHF);
- Sinal constituído por uma frequência AM sub-portadora de 2400 Hz modulando a portadora de rádio-frequência em 137,5 ou 137,62 MHz;
- Polarização da antena de emissão: circular direita.

O esquema da figura 1 ilustra basicamente o formato de uma imagem recebida em formato APT.

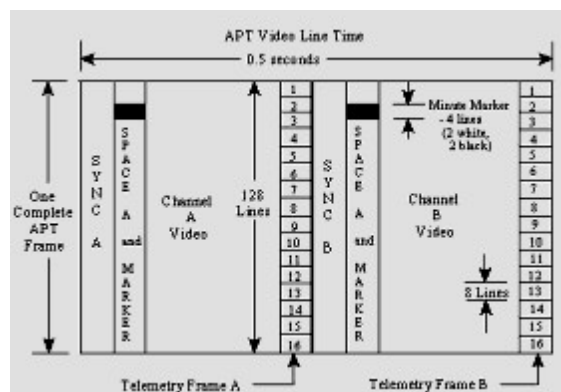


Fig. 1.- Constituição esquemática de uma imagem em formato APT. Adaptado de NOAA (2000).

Já na figura 2, ilustra-se um extracto de uma imagem obtida por satélite, via APT, tornando-se possível identificar (da esquerda para a direita) os topos de sincronização (barras negras e brancas a 1040 Hz)

<sup>1</sup> Na verdade, essa informação depende do período diurno.

identificador e marcador (o espaçamento entre segmentos brancos e negros é de um minuto), conteúdo da imagem, telemetria da primeira imagem, seguido de topos de sincronização, identificador e marcador, conteúdo da segunda imagem e telemetria da segunda imagem.

O identificador, quando é negro com marcas brancas indica que se trata da imagem na região do visível, ao passo que se for de fundo branco, com marcas negras, indica que se trata da imagem na região do infravermelho.

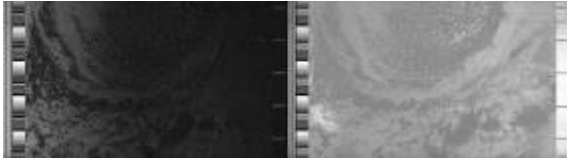


Fig. 2.- Extracto de uma imagem construída a partir do sinal APT do satélite NOAA 12.

Apesar da sua baixa resolução, as imagens obtidas via APT revestem-se de elevada utilidade para algumas aplicações, entre as quais a que se apresenta nesta comunicação.

## 2. A ESTAÇÃO DE BAIXA RESOLUÇÃO NOAA DA UNIVERSIDADE DE AVEIRO

A Estação de Recepção de Imagens de Baixa Resolução de Satélites de Órbita Polar (NOAA) baseia-se num sistema de captura e processamento do modo APT e é constituída por :

- antena de Recepção, na banda dos 137 MHz e respectivo pré-amplificador;
- receptor VHF e
- computador PC com placa de som, equipado com *software* de captura e processamento de sinal.

O diagrama da figura 3 ilustra o funcionamento básico desta estação de recepção de imagens.

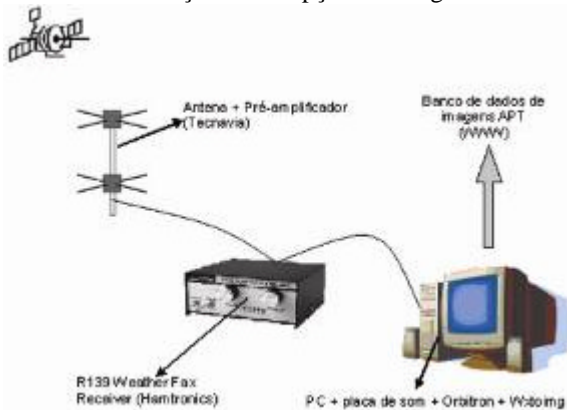


Fig. 3.- Constituição esquemática da estação de baixa resolução da Universidade de Aveiro

Assim, o sinal emitido pelo satélite excita a antena de recepção e, após amplificação e filtragem, é captado pelo receptor VHF, que possui a largura de banda suficiente para receber em boas condições o

sinal oriundo de satélite. Posteriormente, o *software* de processamento faz uso da aquisição de sinal, via placa de som do computador, para descodificação do sinal APT, permitindo a visualização da imagem resultante da passagem do satélite. As imagens adquiridas são arquivadas por data de recepção e guardadas num banco de dados, para posterior consulta ou análise.

Analisando detalhadamente cada um dos componentes da estação, refira-se que a antena de recepção utilizada é do tipo dipolo cruzado, também conhecida como *turnstile*. Esta antena é, tipicamente, do tipo omni-direccional, com polarização horizontal. A utilização de uma antena deste tipo justifica-se pela sua versatilidade e relativo baixo. Tecnicamente, a antena é constituída por dois dipolos ressonantes perpendiculares entre si, cruzando-se no centro sem, todavia, se tocarem, conforme ilustra a figura 4.



Fig. 4.- Constituição esquemática da estação de baixa resolução da Universidade de Aveiro

Já no que diz respeito ao pré-amplificador utilizado (comercializado pela TECNAVIA e existente num sistema prévio desabilitado, por avaria), este baseia-se nos transístores MOSFET BF988 da Siemens com três circuitos ressonantes de filtragem adicionais, oferecendo um ganho total de  $20 \pm 2$  dB.



Fig. 5.- Visão interior do pré-amplificador de sinal utilizado.

Para a recepção do sinal resultante da transmissão directa em VHF dos dados coligidos pelos satélites, fez-se uso de um receptor FM comercial (HAMTRONICS R139) de cinco canais, controlado

por cristais e otimizado para o funcionamento na banda dos 137 MHz.



Fig. 6.- Receptor VHF Hamtronics R139 montado

O sistema de processamento de sinal é composto, por um computador PC convencional, sendo que a aquisição do sinal é feita directamente a partir da placa de som do computador. Posteriormente, o sinal é convertido em imagem fazendo uso de *software* específico, o *WXtoImg*, gratuitamente disponível em <http://www.wxtoimg.com>. Basicamente, o *software* extrai a informação medida pelos sensores AVHRR a partir do sinal modulado em amplitude, transmitido pelo satélite, convertendo os valores modulados na onda sinusoidal de 2400 Hz nos valores de *pixel* correspondentes. Assim, os *pixels* da imagem obtida representam, na realidade, a amplitude de cada pico na onda do sinal APT recebido.

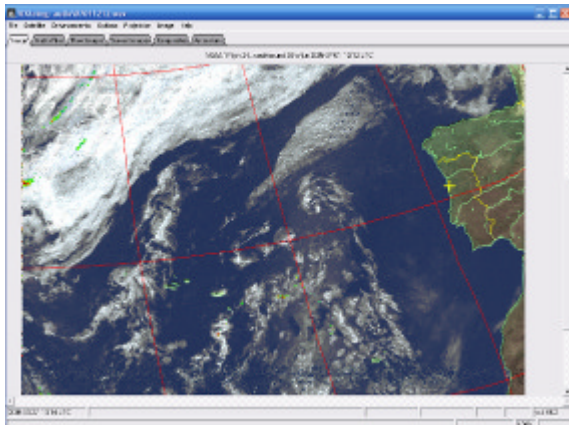


Fig. 7.- Versatilidade do WXtoImg, numa imagem de análise multiespectral com estimativa de precipitação.

Deste modo, o *software* WXtoImg possibilita a automatização de todo o processo de aquisição de imagens, disponibilizando ainda a possibilidade de actualização dos elementos orbitais, sobreposição de transparências de mapas, enriquecimentos cromáticos de imagem, transformação de projecção, entre muitas outras funções.

No que diz respeito à imagem obtida, deve ainda ser referido que o *software* utiliza os dados de telemetria

das imagens APT dos satélites NOAA para calibrar a imagem obtida com bastante precisão, corrigindo a falta de linearidade na potência do sinal e fazer ajustes ao largo da passagem do satélite para melhorar as imagens. Para além disso, os dados de telemetria são também utilizados para calibrar os instrumentos a bordo do satélite, permitindo assim a leitura de valores de temperatura com bastante precisão.

### 3. APLICAÇÃO À VALIDAÇÃO DE PREVISÕES OBTIDAS COM O MM5

No desenvolvimento da aplicação, foram utilizadas as imagens de satélite obtidas na estação de baixa resolução da Universidade de Aveiro a par com os resultados de previsões geradas pelo modelo de previsão MM5 e dados observacionais, publicados no Boletim Meteorológico, da responsabilidade do Instituto de Meteorologia Português. Deste modo, pretendeu-se, como objectivo desta aplicação, validar as previsões do modelo de previsão numérica de mesoescala MM5, contrapondo imagens de satélite e dados observacionais, ilustrando assim o suporte adicional que as imagens de baixa resolução podem fornecer a analistas e previsores de tempo no sentido de constituírem uma orientação para melhorar o processo de previsão.

#### 3.1. METODOLOGIA

Para este estudo foram utilizadas imagens de satélite do visível e do infravermelho, obtidas directamente na estação de recepção NOAA do Departamento de Física da Universidade de Aveiro, no período compreendido entre 20 e 22 de Julho de 2005. Assim, foram escolhidas imagens do satélite de órbita polar NOAA-17, cujas órbitas sobre a estação de recepção se verificaram nas seguintes datas :

- 20 de Julho de 2005, às 11:37 (hora local);
- 21 de Julho de 2005, às 11:14 (hora local);
- 22 de Julho de 2005, às 10:51 (hora local).

Posteriormente, utilizaram-se as previsões dos domínios 1 e 2 do MM5, com data de início de 20 de Julho de 2005, com um passo temporal de saída do modelo a cada 60 minutos. Tendo em conta que as previsões obtidas são válidas para dois dias, possui-se uma forma expedita de colocar à prova o resultado das previsões do modelo para intervalos de tempo curtos e para escalas temporais próximas do limite temporal de utilização do modelo. Assim, utilizaram-se para as imagens de dia 20 e 21, previsões lançadas para a data de 20 de Julho, ao passo que para a imagem de dia 22 se lançaram previsões tendo por ponto de partida o dia 22 de Julho. Paralelamente, fez-se uso dos boletins meteorológicos diários publicados pelo Instituto de Meteorologia, de forma a complementar a análise com dados de observação. No que diz respeito às



variáveis em análise, este estudo incidiu particularmente sobre a pressão ao nível médio das águas do mar, a temperatura a 2m e as fracções de nuvens baixas, médias e altas.

### 3.2. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

De forma a tornar o processo de consulta da análise efectuada o mais simples e claro possível, exibem-se, nas subsecções seguintes, os resultados individuais das análises da situação meteorológica, das imagens de satélite utilizadas e das previsões do MM5 para cada um dos dias em estudo.

#### 3.2.1. Dia 20 de Julho de 2005

De acordo com o Boletim Meteorológico Diário, publicado pelo Instituto de Meteorologia,

*"o estado do tempo em Portugal continental foi condicionado pela acção conjunta de um anticiclone localizado a norte da Península Ibérica e por vale depressionário que se estendia desde o norte de África até ao território do continente, dando origem a uma fraca corrente de leste.(...)"*

No que concerne às imagens de satélite, atente-se nas figuras 8 e 9, que exibem as imagens no visível e no infra-vermelho captadas a partir do satélite NOAA-17.



Fig. 8.- Imagem na região do visível, obtida através do sinal APT do satélite NOAA-17, adquirida às 11:37 de 20 de Julho de 2005.

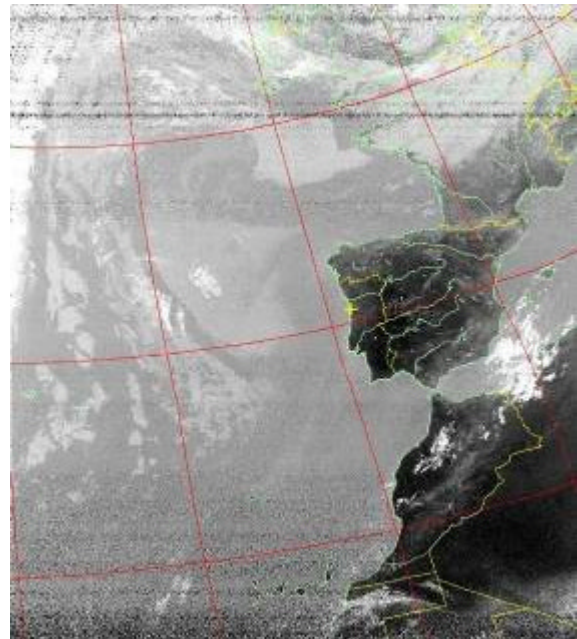


Fig. 9.- Imagem na região do infravermelho, obtida através do sinal APT do satélite NOAA-17, adquirida às 11:37 de 20 de Julho de 2005.

Por conseguinte, e de acordo com as figuras 8 e 9 pode observar-se a presença de uma região de altas pressões no Cantábrico, com uma crista sobre a cornija Cantábrica, em extensão para as ilhas Baleares, bem como uma infiltração de baixa pressão atlântica que penetra sobre Portugal desde o norte de África.

No que concerne aos resultados da previsão do MM5, estas observações são contempladas, no traçado do mapa de distribuição de pressões ao nível médio das águas do mar, conforme se ilustra na figura 10.

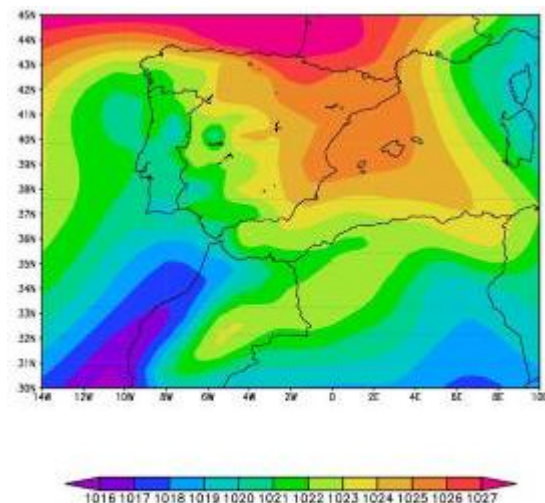


Fig. 10.- Pressão atmosférica ao nível médio do mar previsto pelo MM5, para o dia 20 de Julho de 2005, às 11:00 locais.

A fim de se efectuar uma contraposição dos dados obtidos com os dados do Instituto de Meteorologia, publicados no boletim meteorológico, refira-se a figura 11, onde se ilustra a distribuição da pressão ao nível médio das águas do mar, bem como o vento a 10 m, tornando possível, em conjunto com as imagens de satélite, validar os níveis de pressão previstos pelo MM5.

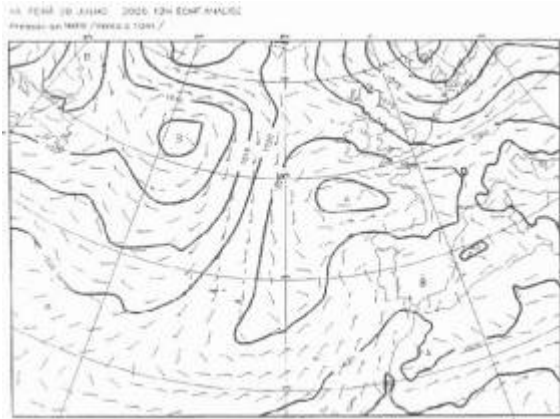


Fig. 11.- Campos de pressão atmosférica ao nível médio do mar e vento a 10 m, de acordo com os dados publicados no boletim meteorológico do Instituto de Meteorologia.

Passando à análise das fracções de nuvens altas, médias e baixas, as figuras 12 a 14 dão conta da previsão do MM5 para o dia em questão. Como forma de comparação, considerem-se novamente as figuras 8 e 9.

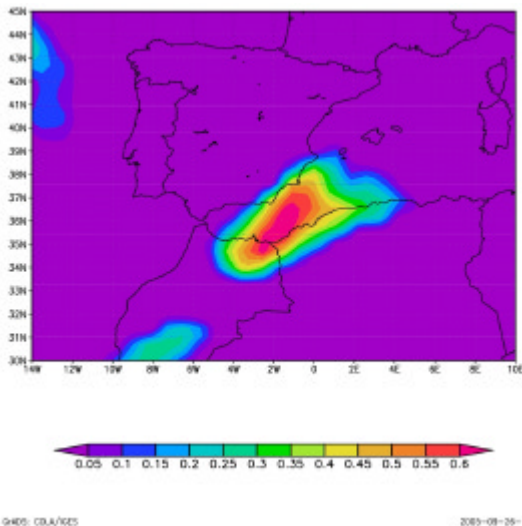


Fig. 12.- Previsão de fracção de cobertura de nuvens altas pelo MM5, para as 11:00

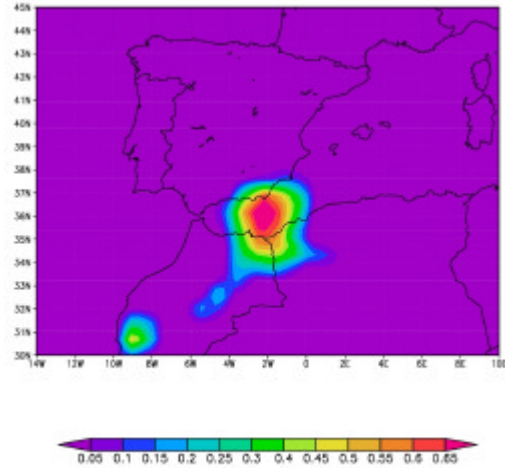


Fig. 13.- Previsão de fracção de cobertura de nuvens médias pelo MM5, para as 11:00.

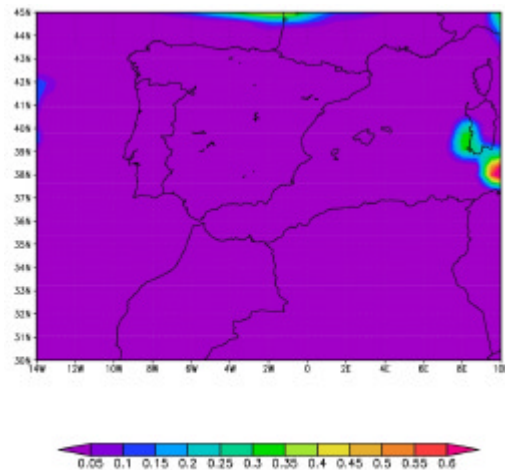


Fig. 14.- Previsão de fracção de cobertura de nuvens baixas pelo MM5, para as 11:00.

Facto de especial importância para demonstrar a robustez das previsões geradas pelo MM5 é, por exemplo, o caso das temperaturas. Assim, há que ter em conta os dados de observação de temperatura do ar, publicados no já mencionado Boletim Meteorológico diário, que deram conta de 37 ° C (310 K) às 12:00, em Évora e Beja. Processando as previsões do MM5 no domínio 2 para as 12:00 do mesmo dia, pode apreciar-se, na figura 15, a concordância entre os dados observados e os valores previstos de temperatura para as regiões mencionadas.



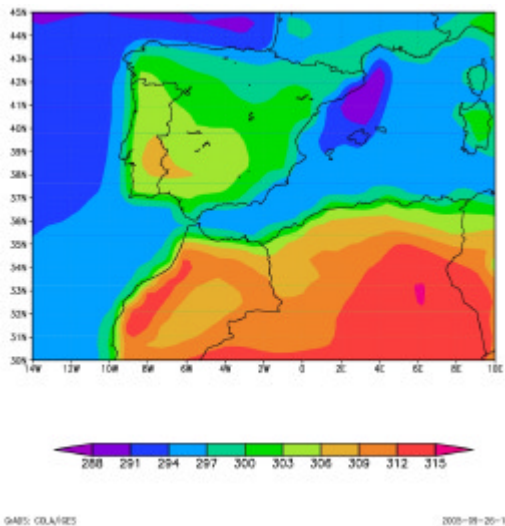


Fig. 15.- Distribuição de temperaturas a 2m, de acordo com as previsões do MM5, para as 12:00 do dia 20 de Julho de 2005.

### 3.2.2. Dia 21 de Julho de 2005

De acordo com a mesma metodologia empregue anteriormente, expõem-se, nas figuras 16 e 17, as imagens do visível e do infravermelho captadas pelo satélite NOAA-17 no dia em questão, nas quais se evidencia a penetração de um sistema frontal. Na figura 18 representa-se o campo de pressões obtido através da previsão do MM5 para as 11:00 do mesmo dia.

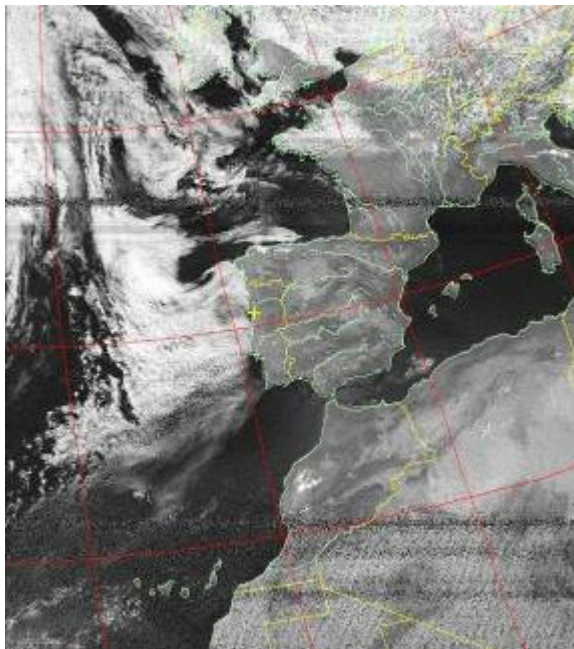


Fig. 16.- Imagem do visível, para o dia 21 de Julho de 2005, às 11:14

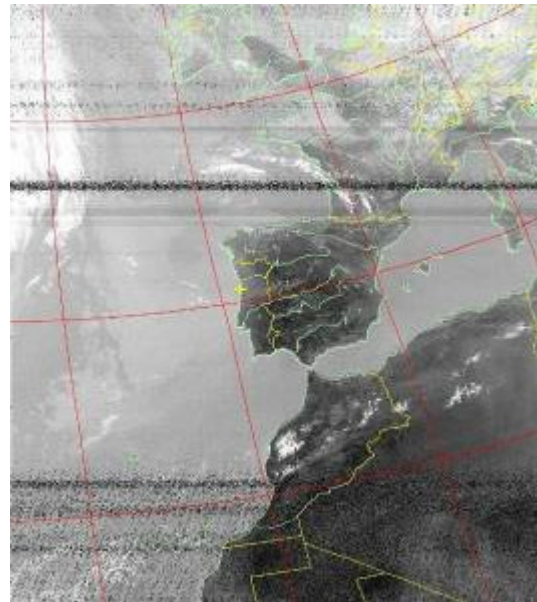


Fig. 17.- Imagem do infravermelho, para o dia 21 de Julho de 2005, às 11:14.

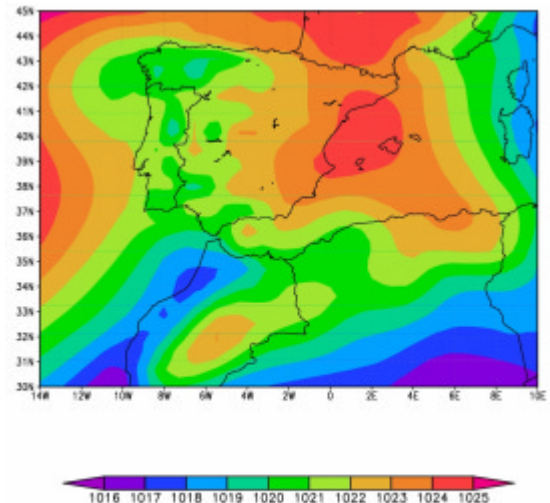


Fig. 18. - Campo de pressões ao nível médio do mar previsto pelo MM5 para as 11:00 do dia 21 de Julho.

Tendo em conta a análise das figuras 16 e 17, infere-se a presença de um sistema de baixas pressões sobre a Península Ibérica, juntamente com um sistema anticiclónico sobre os Açores. Os resultados da previsão do MM5 para o campo de pressões ao nível médio das águas do mar, ilustrados na figura 18, são coerentes com essas observações.

No que diz respeito aos dados publicados no boletim meteorológico, para o dia 21 de Julho, pode observar-se a concordância entre as previsões do MM5 e os sistemas de altas e baixas pressões observados na imagem de satélite. Assim, considere-se o mapa de isóbaras e vento a 10 m da figura 19, evidenciando o anticiclone sobre os Açores e o sistema de baixas pressões sobre a Península Ibérica, conforme já ilustrado na figura 16.

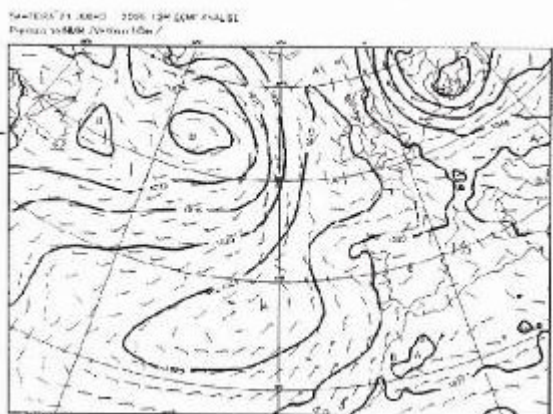


Fig. 19. - Campo de pressão ao nível médio do mar e vento a 10 m constante no boletim meteorológico, para as 12:00 do dia 21 de Julho.

O ponto seguinte de análise prende-se com o estudo da fracção de nuvens. Assim, ilustram-se as previsões do MM5 para as fracções de nuvens altas (fig. 20), médias (fig. 21) e baixas (fig. 22)

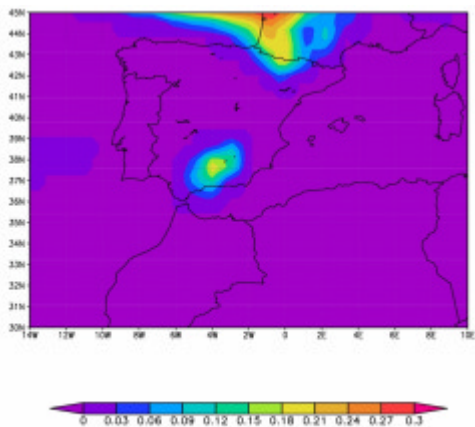


Fig. 20. - Fracção de cobertura de nuvens altas, prevista pelo MM5, para as 11:00.

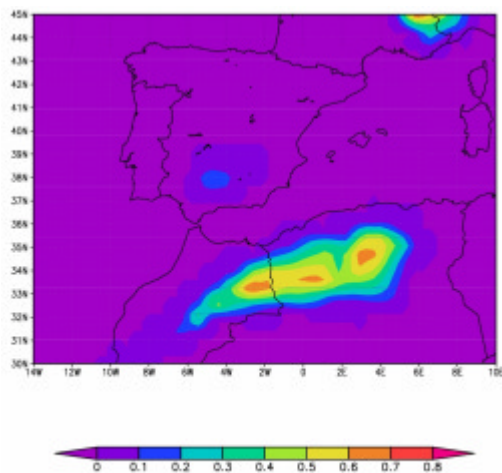


Fig. 21. - Fracção de cobertura de nuvens médias, prevista pelo MM5, para as 11:00.

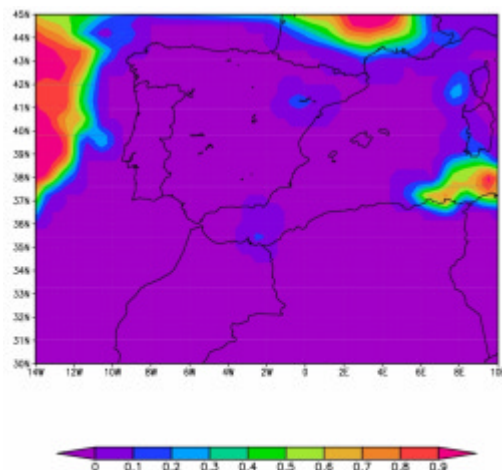


Fig. 22. - Fracção de cobertura de nuvens baixas, prevista pelo MM5, para as 11:00.

Comparando as figuras anteriores com o estado da atmosfera, evidenciado pelas figuras 16 e 17, pode observar-se uma ligeira discrepância face aos dados observados e previstos, nomeadamente no que diz respeito à fracção de nuvens altas. Apesar disso, os resultados previstos pelo modelo constituem uma boa aproximação às condições meteorológicas verificadas.

Para finalizar a exposição dos resultados obtidos, resta apenas fazer menção às previsões da temperatura a 2 m, para as 12:00, obtidas pelo MM5, conforme ilustrado na figura 23.

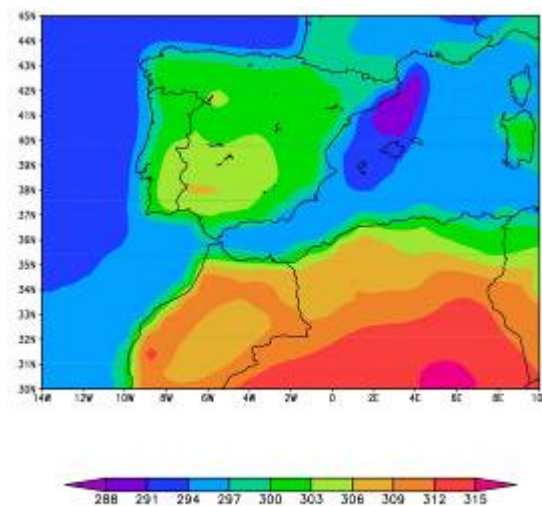


Fig. 23. - Previsão das temperaturas a 2m, às 12:00 do dia 21 de Julho, pelo MM5.

Tendo em conta um comentário aos resultados obtidos e expostos, pode fazer-se alusão à descrição do Instituto de Meteorologia, que refere que o tempo em Portugal continental foi condicionado pela acção conjunta de um anticiclone localizado a leste do arquipélago dos Açores e de uma depressão centrada



sobre a Península Ibérica. A figura 16 ilustra uma situação anticiclónica sobre o arquipélago dos Açores, situação também contemplada pelas previsões do MM5 (fig. 18), onde são visíveis as áreas anticiclónicas, cobrindo os Açores, sobre as ilhas Baleares e no Cantábrico, em concordância com as figuras 16 e 17. Para além disso, a figura 16 ilustra ainda uma área nebulosa com forma de circulação devido à depressão, cuja subida de ar húmido não se verifica até altitudes muito elevadas, conforme se verifica na fracção de nuvens baixas exposta na figura 22. A aproximação desta depressão para a Península Ibérica é verificada pela descida das isóbaras sobre o Oeste da Península, assinalada na figura 18. De acordo com os dados do Instituto de Meteorologia, a pressão atmosférica oscilou entre 1021 e 1012 hPa, entre as 0 e as 18 horas. Quanto à análise das temperaturas, os dados colhidos pelo Instituto de Meteorologia indicam a ocorrência de 294 K de temperatura do ar, no Porto, às 12:00, afastando-se ligeiramente dos valores ilustrados na figura 23. Por outro lado, para a mesma hora, os valores de temperatura registados na estação de Beja confirmam a previsão do MM5 (305 K), o que também pode ser inferido por análise da figura 17, que evidencia uma área mais quente a sudoeste da Península Ibérica.

### 3.2.3. Dia 22 de Julho de 2005

De acordo com as observações do Instituto de Meteorologia, o estado do tempo em Portugal foi condicionado pela acção conjunta de uma crista anticiclónica que se estendeu desde o sudeste da Irlanda até aos Açores. Estas condições podem ser visualizadas nas imagens de satélite recepcionadas às 10:51 locais, reproduzidas nas figuras 24 e 25.

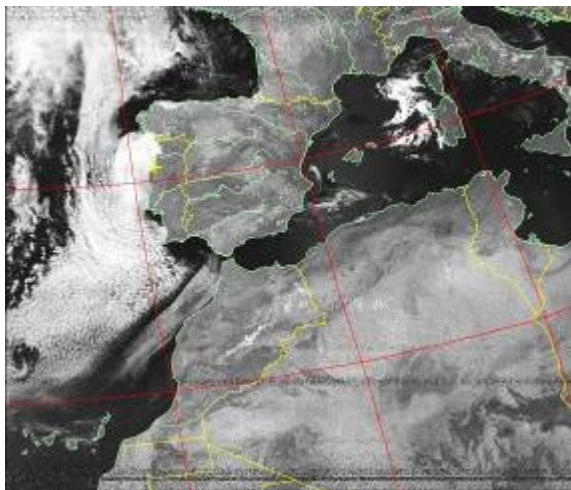


Fig. 24. – Imagem de satélite na região do visível do satélite NOAA-17 captada na estação de recepção APT da Universidade de Aveiro, às 10:51 UTC do dia 22 de Julho de 2005.

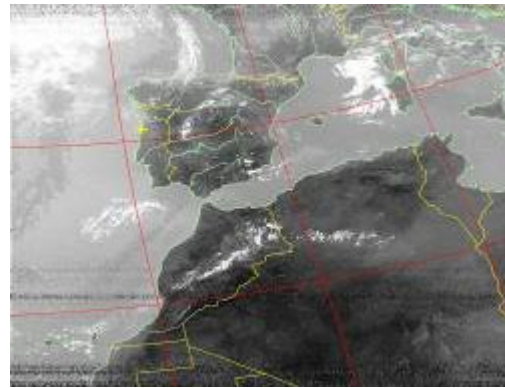


Fig. 25. – Imagem de satélite no espectro do infravermelho, captada às 10:51 UTC do dia 22 de Julho de 2005.

Com a justaposição da previsão do campo de pressões do MM5, torna-se possível observar a concordância entre as condições verificadas no dia e as previsões do modelo. Assim, atente-se na figura 26, possibilita a devida comparação.

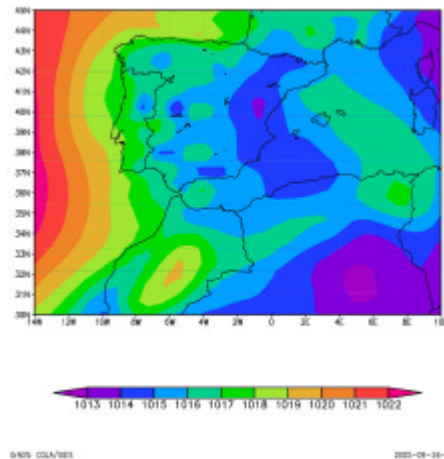


Fig. 26. - Campo de pressões ao nível médio do mar previsto pelo MM5 para as 11:00 do dia 22 de Julho.

Já no que se refere aos dados publicados no boletim meteorológico, a figura 27 exhibe o resultado da análise da pressão atmosférica ao nível das águas do mar, bem como do vento a 10 m.

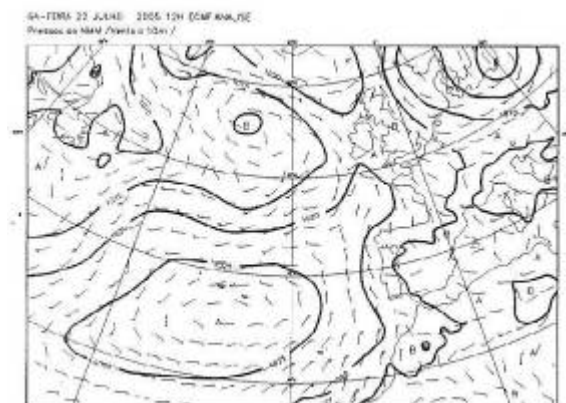


Fig. 27. – Carta sinóptica publicada no boletim meteorológico do dia 22 de Julho de 2005.



Prosseguindo com o relato do boletim meteorológico, é importante fazer alusão à referência de o céu ter estado, em geral, limpo no continente, temporariamente muito nublado ou encoberto no litoral Oeste, em especial a norte do Cabo Raso e entre Sines e Sagres, durante a noite, o início da manhã e a partir do fim da tarde. Para além disso, é ainda referida a ocorrência de neblinas ou nevoeiros, em especial no Litoral Oeste, e que, em alguns locais do Norte, persistiram durante todo o dia. Estas condições podem ser inferidas a partir da análise das figuras 24 e 25, permitindo também a apreciação das coberturas de fracções de nuvens previstas pelo MM5, conforme ilustrado nas figuras 28 a 30.

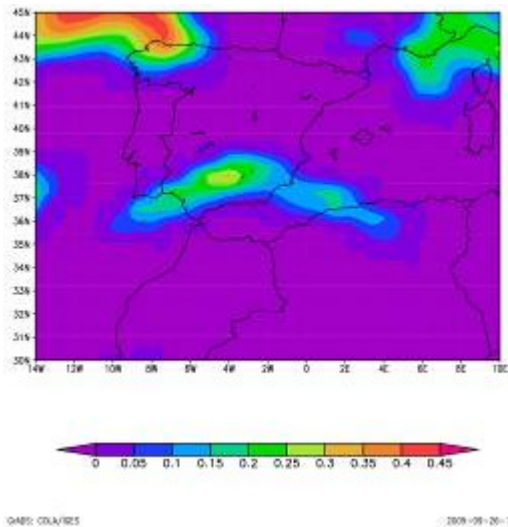


Fig. 28. – Fração de cobertura de nuvens altas, prevista pelo MM5, para as 11:00 UTC.

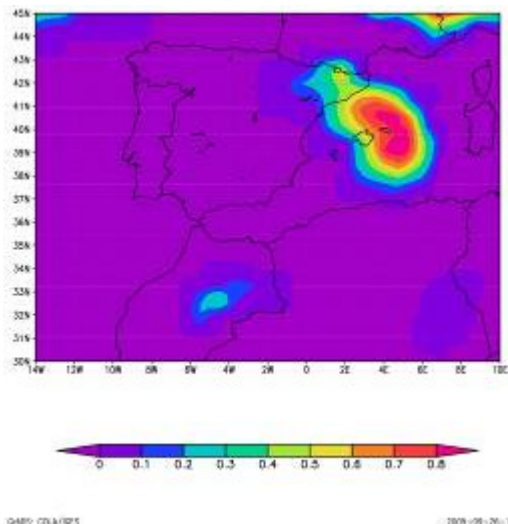


Fig. 29. – Fração de nuvens médias, prevista pelo MM5, para as 11:00 UTC.

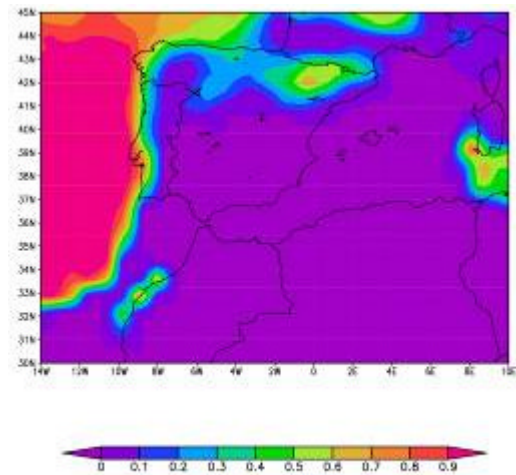


Fig. 30. – Fração de cobertura de nuvens baixas, prevista pelo MM5, para as 11:00 UTC.

Finalmente, ilustra-se na figura 31 o resultado da previsão de temperaturas pelo MM5.

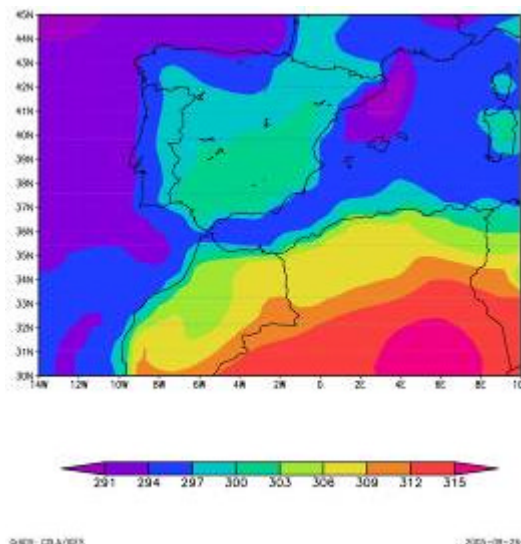


Fig. 31. – Previsão de temperaturas, pelo MM5, para as 11:00 UTC.

Assim, podem contrapor-se as previsões com os resultados publicados no boletim meteorológico e com as imagens de satélite, sendo possível comparar o registo de 301 K em Beja (às 12:00) e os valores de temperatura previstos pelo modelo MM5 (muito embora a previsão se refira às 11:00). Para além disso, é conveniente referir que, por análise da figura 25, também a previsão de distribuição de temperaturas pelo MM5 aponta no sentido de as temperaturas mais elevadas serem atingidas no interior africano, bem como o interior da Andaluzia e o Algarve, fazendo crer num máximo para o sul de Badajoz.

#### 4. CONCLUSÕES

De um modo geral, há que reconhecer que a utilização de imagens de baixa resolução de satélites de órbita polar pode constituir uma ferramenta pouco dispendiosa e extremamente útil para o diagnóstico da atmosfera, razão que pela qual uma estação de recepção de imagens via APT pode ser, em qualquer contexto, uma mais-valia a ter em conta, mesmo apesar da baixa resolução das imagens obtidas.

Por outro lado, e de acordo com as análises efectuadas, pode verificar-se uma satisfatória concordância entre as previsões do modelo de mesoescala e as informações disponibilizadas pela informação de satélite obtidas, validando, qualitativamente, a actual configuração do MM5. Não obstante, é possível verificar, em determinados casos, um ligeiro erro na previsão das fracções de cobertura de nuvens, mostrando claramente a potencialidade das imagens de baixa resolução como ferramenta de suporte às eventuais correcções nas análises e prognósticos das previsões de tempo de modelos numéricos.

No que concerne às limitações do estudo, pode admitir-se que o intervalo de tempo em análise poderia ter sido maior, o que permitiria, conseqüentemente, colocar as capacidades do modelo à prova, para intervalos de tempo significativos.

#### REFERÊNCIAS

Conway, E. D. (1997), *An Introduction to Satellite Image Interpretation*. Baltimore: John Hopkins University Press.

Drury, S. A. (1998), *Images of the Earth - a guide to remote sensing*. (second edition). Oxford: Oxford Science Publications.

Dudhia, J. (1993). A nonhydrostatic version of the Penn State - NCAR mesoscale model: validation tests and simulation of an atlantic cyclone and cold front. *Monthly Weather Review*, **121**, 1493-1513.

Dudhia, J., Gill, D., Manning, K., Wang, W., & Bruyere, C. (2005). *Mesoscale modeling system tutorial class notes and user's guide: MM5 modeling system version 3*. [Em linha]. Acessível em <http://www.mmm.ucar.edu/mmm5/documents/> (17/12/2005)

Grell, G., Dudhia, J., & Stauffer, D. (1994). A description of the fifth generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). *NCAR technical note, NCAR TN-398-STR*.

Hamilton, L. (2004). First steps in setting up an APT ground station. *GEO Quarterly* - **1**(Fevereiro), 42-45.

NOAA (2000). *NOAA KLM user's guide with NOAA-N,-N' supplement*. [Em linha]. Acessível em <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/index.htm> (17/12/2005).

Ohring, G., Lord, S., Derber, J., Mitchell, K. & Ji, M. (2002). Applications of satellite remote sensing in numerical weather and climate prediction. *Advances in Space Research*, **30**, 11, 2433-2439.

Taggart, R. (1996). *The weather satellite handbook* (fifth edition). American Radio Relay League.

Westerwelle, H. (1989). *Wettersatelliten-Empfangspraxis*. Munique: Franzis - Verlag.