

# IMPACTO DA INTRODUÇÃO DA ALBUFEIRA DE ALQUEVA NO MODELO DE PREVISÃO AROME

## IMPACT OF THE INTRODUCTION OF ALQUEVA DAM IN THE AROME FORECASTING MODEL

Sónia Assunção<sup>(1)</sup>, Maria José Monteiro<sup>(1)</sup>, Rui Salgado<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P., Rua C do Aeroporto 1749-077 Lisboa Portugal, [sonia.assuncao@ipma.pt](mailto:sonia.assuncao@ipma.pt)

<sup>(2)</sup> Dep. Física, ICT, Universidade de Évora, Évora, Portugal, [rsal@uevora.pt](mailto:rsal@uevora.pt)

### SUMMARY

*Although the floodgates of the Alqueva dam were closed in 2002, giving rise to the largest artificial lake in Western Europe, its possible effects on the weather in Portugal are not being taken into account by the operational models of weather forecasting used in IPMA. Thus, it is necessary to introduce the physiography of the lake in the model under study (AROME), and to validate it by analysing statistically as well as meteorologically the differences between the model simulations with and without Alqueva and to compare these results with observations.*

### Resumo

O modelo de previsão numérica Application of Research to Operations at Mesoscale (AROME), na sua generalidade descrito por [1], é utilizado operacionalmente no Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P. (IPMA) como ferramenta de auxílio na previsão do estado do tempo. É um modelo de área limitada de escala convectiva. A versão atualmente operacional no IPMA sobre o território de Portugal Continental, designada de AROME-PT2, tem uma resolução vertical de 60 níveis e de 2,5 km na horizontal. De forma a melhorar os resultados obtidos, o AROME-PT2 tem sofrido algumas atualizações, tanto em termos da sua resolução horizontal e vertical, como a nível das bases de dados utilizadas para representar a fisiografia do seu domínio geográfico. Em particular, uma das melhorias consiste na atualização da base de dados respeitante à cobertura da superfície (ECOCLIMAP), recentemente modificada com a introdução da albufeira de Alqueva [2, 3], a qual resultou no maior lago artificial da Europa desde a recente construção da sua barragem. A representação rigorosa da superfície é crucial para o bom desempenho do modelo, uma vez que a sua interação com a atmosfera influencia os processos que ocorrem na camada limite atmosférica (CLA) nela representada.

Com este trabalho pretendeu avaliar-se os efeitos da introdução da albufeira de Alqueva na fisiografia do modelo, alterando o tipo de cobertura do solo na base de dados ECOCLIMAP. A metodologia empregue consistiu na comparação das previsões do modelo obtidas com e sem a fisiografia implementada.

### Alqueva

A albufeira de Alqueva, localizada ao longo de 83 km do curso principal do rio Guadiana (interior do Alto Alentejo), é o maior reservatório de água artificial da Europa Ocidental. A carência de água nesta região, quer para fins agrícolas, quer para consumo público, levou à construção da barragem, garantindo a disponibilidade de água, mesmo em períodos de seca extrema, a uma área aproximada de 10 000 km<sup>2</sup>, divididos pelos distritos de Beja, Évora, Portalegre e Setúbal [4].

Este projeto provocou grandes alterações na região (Figura 1), nomeadamente na rugosidade da superfície, disponibilidade de água e no tipo e quantidade de vegetação. Estas alterações influenciam os balanços termodinâmicos, sendo assim potencialmente suscetíveis de influenciar a estrutura da CLA e a circulação à escala regional.

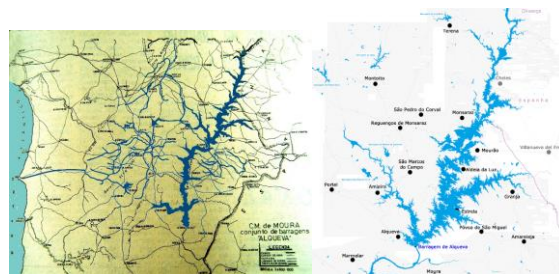


Figura 1 - À esquerda: Mapa da região sul de Portugal antes da construção da barragem. Fonte: [5]. À direita: Mapa atual da albufeira de Alqueva. Fonte:[6]

Antes da construção da barragem foi feito um estudo do impacto ambiental que a barragem teria no clima local da albufeira e das zonas de regadio associadas [7]. Quinze anos após o início do enchimento da

barragem, os estudos *a posteriori* do impacto real no clima local têm sido escassos. No entanto, Policarpo [2, 3] analisou o efeito da albufeira no nevoeiro, e Nascimento [8] estudou a formação de brisa de lago em Alqueva.

Durante o verão de 2014 (01 de junho a 30 de setembro) foi realizada uma campanha observacional ALqueva hydro-meteorological EXperiment [9], que teve como objetivo estudar as interações lago-atmosfera na região e incluiu um Período de Observação Intensiva (POI) de três dias (22 a 24 de julho). Durante o POI foram realizadas sondagens a cada três horas, de forma a permitir uma boa caracterização da CLA e da sua evolução. A campanha ALEX2014 incluiu também várias estações meteorológicas de superfície para caracterizar a estrutura horizontal local dos campos atmosféricos de superfície e detetar os efeitos de lago [10, 11]. Os dados desta campanha estão a ser utilizados para aprofundar o estudo do impacto de Alqueva no clima.

### Materiais e Métodos

Para se obterem previsões mais realistas com os modelos de previsão numérica, é necessário detalhar com precisão as características da superfície, através da representação rigorosa da orografia, das máscaras terra-água e das características do solo e da vegetação, de forma a obter cálculos realísticos dos fluxos de calor, humidade e momento sobre superfícies continentais e oceânicas [12]. Estas melhorias são obtidas através da constante atualização das bases de dados dos modelos com informação cada vez mais rigorosa.

Para parametrizar a cobertura da superfície, o AROME-PT2 utiliza uma versão antiga da base de dados ECOCLIMAP (ECOCLIMAP\_II\_v1.6), que não reconhece a albufeira de Alqueva, bem como outras albufeiras mais pequenas da região. Assim, de forma a obter resultados mais realistas, foi necessário introduzir a fisiografia da albufeira de Alqueva na ECOCLIMAP, como se pode ver pela Figura 2 [2, 3]. Por forma a usufruir de atualizações recentes da ECOCLIMAP, neste trabalho foi utilizada uma versão mais atual desta base de dados, a ECOCLIMAP\_II\_v2.3.

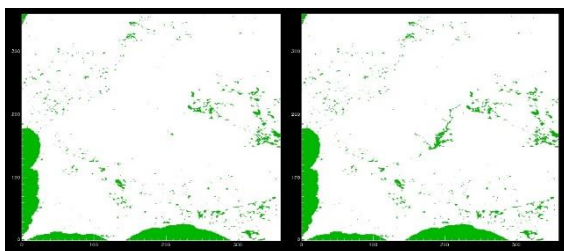


Figura 2 - Representação da base de dados ECOCLIMAP\_II\_v2.3. À esquerda: sem Alqueva. À direita: com Alqueva. As áreas a verde representam superfícies com água.

Para além da introdução da nova versão da ECOCLIMAP no modelo, foi também necessário

alterar a base de dados relativa à elevação do terreno, a GMTED2010\_30, de forma a melhor representar a orografia da região ocupada pela albufeira, elevando a área correspondente à albufeira à cota 152 m em relação ao nível médio do mar (nmm), como se pode observar na Figura 3 [2, 3].

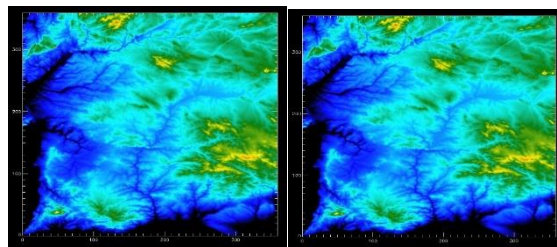


Figura 3 - Representação da base de dados GMTED2010\_30. À esquerda: sem Alqueva. À direita: com Alqueva.

### Análise e Discussão de Resultados

Este estudo consistiu numa avaliação detalhada da última versão disponível do modelo AROME (a CY38T1). Para analisar o impacto da introdução da fisiografia da albufeira de Alqueva foram utilizadas as observações do POI ALEX2014, bem como as previsões do modelo resultantes das simulações realizadas com e sem a fisiografia da albufeira.

De uma forma geral, todos os campos meteorológicos analisados sofreram ligeiras alterações com a implementação da fisiografia. No período em estudo foram detetadas duas situações meteorológicas particulares que analisámos em detalhe: uma brisa de lago que ocorreu na tarde de dia 22; e uma situação de nebulosidade na região do lago, na noite e madrugada de dia 24.

É de salientar que, neste trabalho as horas se referem a UTC e não a horas locais.

#### a) Brisa de Lago

No dia 22 de julho ocorreu uma situação de estabilidade em que o vento sinóptico soprava de noroeste com intensidade igual ou inferior a 10 nós sobre o continente, tendo sido identificada uma perturbação do vento na região da albufeira durante o período de maior calor, entre as 12h e as 18h, como se pode observar pelas Figuras 4, 5 e 6.

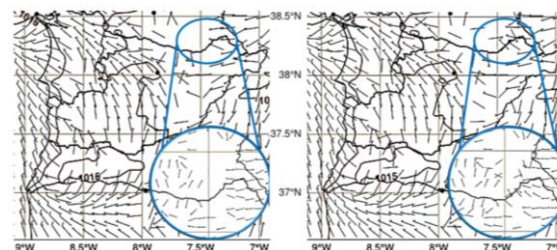


Figura 4 - Carta de pressão ao nmm e vento aos 10m, run das 00h de dia 21 julho, h+36h, válida para dia 22 julho às 12h. À esquerda: sem Alqueva; À direita: com Alqueva

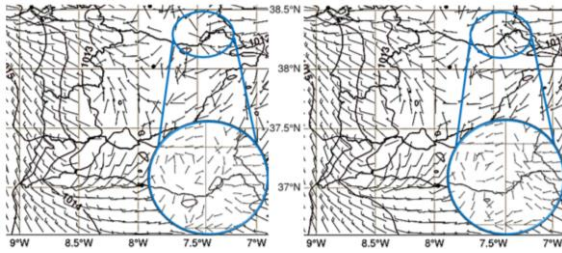


Figura 5 - Carta de pressão ao nmm e vento aos 10m, run das 00h de dia 21 julho, h+39h, válida para dia 22 julho às 15h. À esquerda: sem Alqueva; À direita: com Alqueva

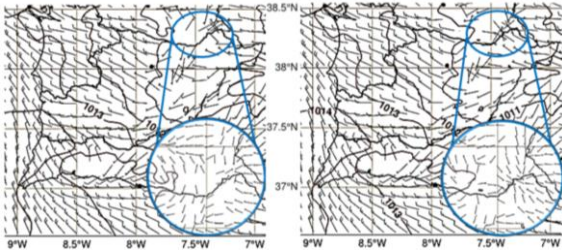


Figura 6 - Carta de pressão ao nmm e vento aos 10m, run das 00h de dia 21 julho, h+42h, válida para dia 22 julho às 18h. À esquerda: sem Alqueva; À direita: com Alqueva

No modelo com Alqueva nota-se que, na região noroeste da albufeira o vento tende a contrariar o sinóptico, soprando de sudeste (do lago para a terra) sugerindo assim uma brisa de lago. Na área sudeste da albufeira, o vento mantém o sinóptico, noroeste (do lago para a terra), o que também pode indicar brisa de lago. Esta situação foi confirmada pelas observações da campanha ALEX2014, realizadas nas estações de Barbosa e Cid Almeida, como se pode ver no Gráfico 1.



Gráfico 1 - Direção do Vento aos 2 m, observado nas estações, no dia 22 de julho de 2014. Nota: dados de minuto a minuto.

As estações selecionadas encontravam-se em margens opostas da albufeira, como se pode ver na Figura 7.



Figura 7 - Mapa com localização das estações Barbosa e Cid Almeida. Fonte: [13]

No Gráfico 1, pode ver-se que em Cid Almeida, o vento soprava predominantemente do quadrante norte. Já em Barbosa, entre as 07h e as 18h, o vento soprava do quadrante sul e, dada a localização desta estação (margem norte da albufeira), o vento soprava do lago para terra, podendo ser interpretado como sinal de brisa de lago. A partir das 18h, por influência da brisa marítima, ambas as estações reportavam vento de noroeste.

Para além do vento, também os campos da temperatura (à superfície aos 2 m) e da humidade relativa (aos 2 m) sofreram alterações: a temperatura não foi tão elevada durante o dia e a humidade relativa aumentou significativamente sobre a albufeira.

De facto, numa superfície sem água e sem vegetação, como a que é representada pelo modelo na versão sem Alqueva, a temperatura aos 2 m tende a ser mais elevada, comparativamente ao que acontece na versão do modelo com a albufeira, em que a superfície é representada com água e vegetação. Esta situação deve-se à elevada inércia térmica da água, que ao aquecer menos durante o dia, devido à sua elevada capacidade térmica, impede que a temperatura do ar sobrejacente seja tão elevada durante o dia. O oposto ocorre durante a noite, a água ao arrefecer menos vai impedir que o ar sobrejacente arrefeça tanto. No caso em estudo, durante a tarde, a temperatura no modelo com a fisiografia apresenta uma diferença de aproximadamente 10°C em relação ao modelo sem a fisiografia (Figura 8), criando um grande contraste térmico entre a terra e o lago. Ainda que a temperatura seja mais elevada às 15h e 18h, é às 12h que as diferenças entre ambas as versões do modelo (com e sem Alqueva) são maiores.

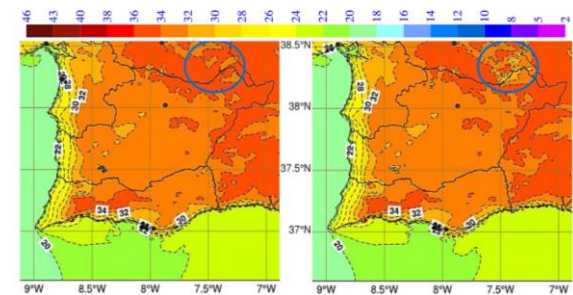


Figura 8 - Carta de temperatura (°C) aos 2 m, run das 00h de dia 21 julho, h+36, válida para dia 22 julho às 12h. À esquerda: sem Alqueva; À direita: com Alqueva

Esta conclusão é mais perceptível na carta das diferenças representada na Figura 9, onde se vê que a temperatura sobre a albufeira é mais baixa cerca de 10°C em relação à temperatura do modelo sem a fisiografia.



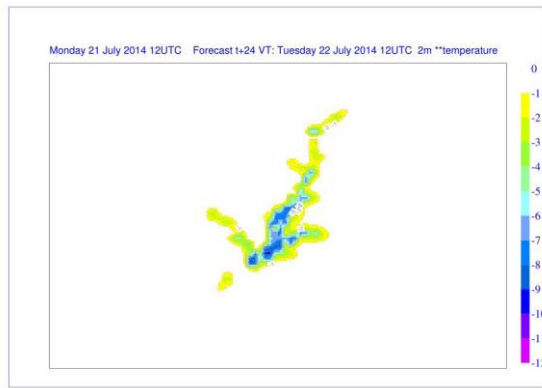


Figura 9 - Carta das diferenças para a temperatura (°C) aos 2 m, válida para dia 22 de julho às 12h.

A temperatura à superfície apresenta valores bem mais elevados que a temperatura aos 2 m, sendo notória a diferença de temperatura entre o modelo sem e com Alqueva, que chega a ser de cerca de 20°C sobre a região da albufeira, como se pode ver na Figura 10.

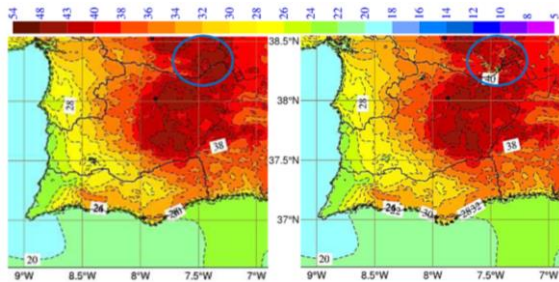


Figura 10 - Carta de temperatura (°C) à superfície, run das 00h de dia 21 julho, h+42, válida para dia 22 julho às 18h. À esquerda: sem Alqueva; À direita: com Alqueva

A Figura 11 representa a situação de brisa às 18h, onde se pode ver uma diferença negativa bastante significativa sobre a albufeira, chegando a atingir os 22°C, localmente.

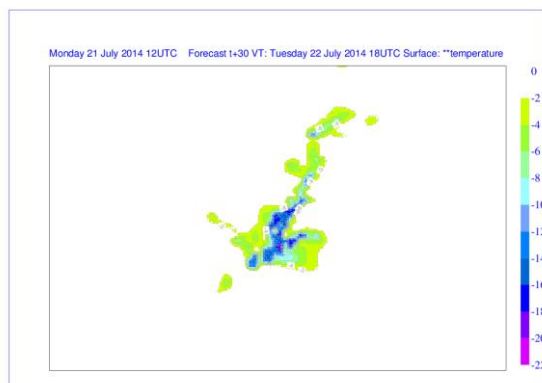


Figura 11 - Carta das diferenças para a temperatura (°C) à superfície, válida para dia 22 de julho às 18h.

Relativamente à humidade relativa aos 2 m, a existência de uma grande massa de água, numa região com défice hídrico, tende a provocar um aumento da evaporação. Na Figura 12, referente ao período em que a brisa é mais evidente no modelo (18h), pode

observar-se que mesmo durante o período de maior calor, a humidade relativa aos 2 m, na região da albufeira, é superior na carta obtida com a fisiografia de Alqueva, apresentando valores entre 20 a 65%. Estes valores são bastante superiores aos valores da carta obtida sem a fisiografia, que apresenta valores entre 10 a 20%, para o mesmo período (18h).

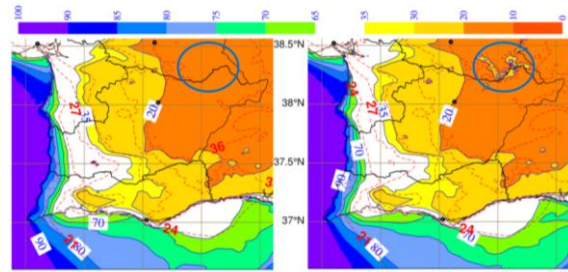


Figura 12 - Carta de temperatura (°C) e humidade relativa aos 2 m, run das 00h de dia 21 julho, h+42, válida para dia 22 julho às 18h. À esquerda: sem Alqueva; À direita: com Alqueva

O aumento da humidade relativa no modelo com Alqueva é mais evidente durante o dia, apresentando uma diferença de cerca de 80% sobre a albufeira, como é bastante perceptível na carta das diferenças da Figura 13.

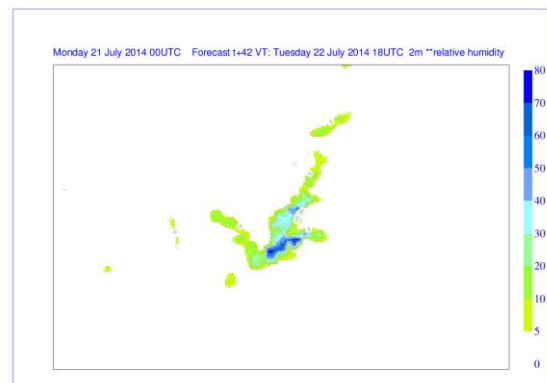


Figura 13 - Carta das diferenças para a Humidade Relativa, válida para dia 22 de julho às 18h.

Ainda em relação à humidade relativa, há que ter em conta que este acentuado aumento durante o dia não se deve apenas ao aumento da evaporação, estando também associado a uma menor temperatura do ar sobre a albufeira. Durante a noite, apesar de o aumento de humidade relativa não ser tão acentuado como durante o dia, é mais evidente que ele se deve à maior quantidade de vapor de água existente no local, pois apesar de a temperatura do ar ser um pouco mais elevada, o que deveria fazer com que a humidade relativa diminuísse, esta continua a ser maior, no modelo com Alqueva.

#### b) Nebulosidade

Na noite e madrugada de 24 de julho ocorreu nebulosidade baixa na região do Alentejo, tendo esta sido advetada para a zona em estudo. Nesta situação, foi detetada uma diferença entre as duas versões do

modelo (com e sem Alqueva), sobre a região da albufeira. Verificou-se que a existência da fisiografia da albufeira no modelo contribuiu para a dissipação e/ou atenuação da nebulosidade, contrariamente ao que seria de esperar. À partida, a existência de uma grande massa de água e, conseqüentemente, mais humidade, deveria potenciar a formação de nebulosidade. No entanto, se esta nebulosidade for advetada, como no caso em estudo, a sua passagem sobre uma superfície menos fria, como no caso da albufeira durante a noite e madrugada, contribui para a sua dissipação.

A dissipação que ocorre na versão do modelo com Alqueva é mais evidente na carta das 06h do dia 24, como se pode ver pela Figura 14 e pela carta das suas diferenças na Figura 15, tendo em atenção que os tons mais claros correspondem a menor nebulosidade.

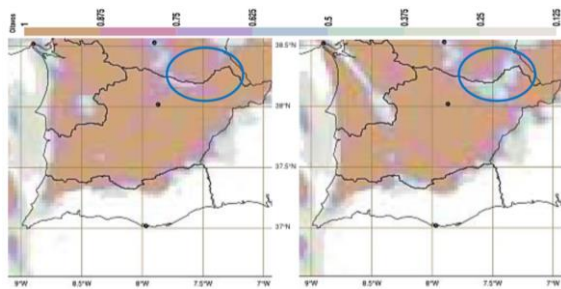


Figura 14 - Carta de nebulosidade baixa, run das 12h de dia 22 julho, h+42, válida para dia 24 julho às 06h. À esquerda: sem Alqueva; À direita: com Alqueva

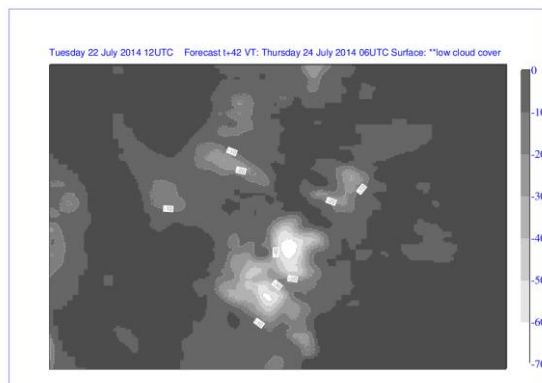


Figura 15 - Carta das diferenças entre o modelo com a fisiografia da albufeira e o modelo sem a fisiografia, válida para dia 24 de julho às 06h.

Tal como referido no caso da brisa de lago, a humidade relativa apresenta valores superiores no modelo com a fisiografia implementada durante o dia, ainda que durante a noite essa diferença não seja tão significativa, como se pode ver no caso da Figura 16. Nesta figura, referente ao período em ocorreu nebulosidade, pode ver-se que a diferença de humidade relativa em relação ao modelo sem Alqueva é da ordem dos 10%. Isto indica que o aumento da temperatura durante a noite sobre a albufeira, com o conseqüente aumento da humidade específica de saturação, se sobrepõe ao efeito do

aumento da evaporação, resultando numa diminuição da nebulosidade.

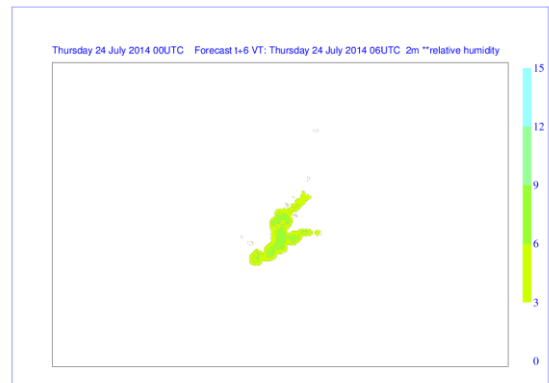


Figura 16 - Carta das diferenças para a Humidade Relativa, válida para dia 24 de julho às 06h.

A consistência dos resultados obtidos, com a versão do modelo com a albufeira, é sustentada com a análise do traçado dos tefigramas das sondagens realizadas durante o POI ALEX2014. Estas sondagens foram realizadas num local em terra junto à albufeira.

Os tefigramas observados refletem o aumento de nebulosidade que ocorreu a partir das 00h do dia 24 de julho, com um máximo às 06h, e começando a dissipar às 09h. De seguida, apresenta-se o tefigrama baseado na sondagem realizada às 06h do dia 24.

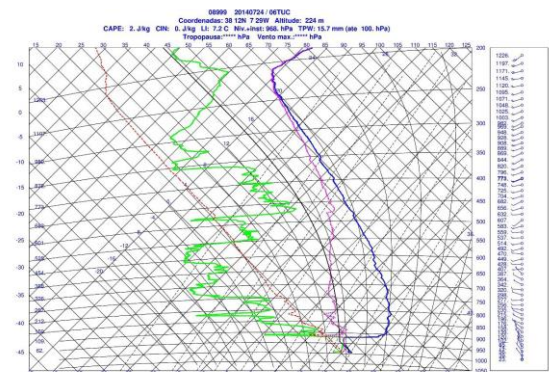


Figura 17 - Tefigrama observado às 06h de dia 24 julho

Pela análise da Figura 17, pode observar-se a existência de uma camada de nuvens entre os 950 e os 925 hPa, sensivelmente.

Relativamente aos tefigramas previstos por ambas as versões do modelo, estes dão indicação de uma menor saturação, ainda assim, refletem também o aumento de nebulosidade, com um máximo às 06h. Tal como se verificou na análise das cartas de nebulosidade, é de notar uma diferença entre os tefigramas das Figuras 18 e 19, correspondentes, respetivamente às simulações do modelo com e sem Alqueva: a saturação é maior no tefigrama do modelo sem a fisiografia da albufeira (Figura 19). De referir que, para a elaboração destes tefigramas, foi utilizado o run das 12h de dia 22 julho, sendo este o que apresenta maiores discrepâncias entre ambas as versões do modelo (com e sem Alqueva).

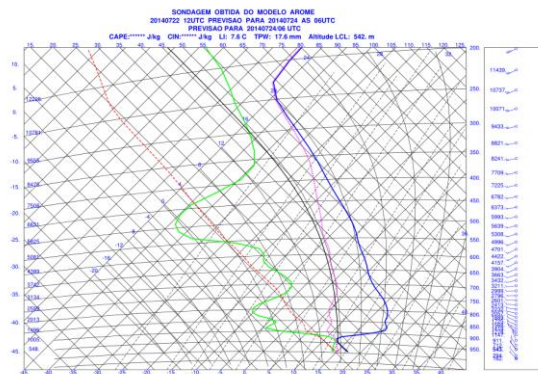


Figura 18 - Tefigrama válido para as 06h de dia 24 julho (com Alqueva)

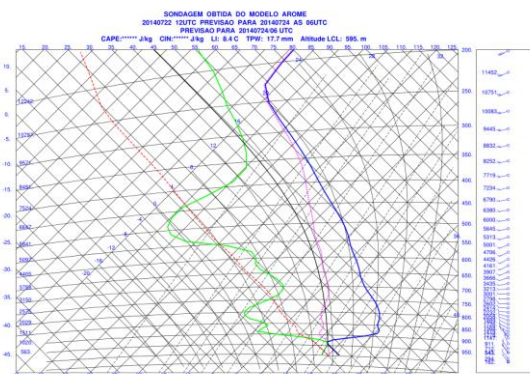


Figura 19 - Tefigrama válido para as 06h de dia 24 julho (sem Alqueva)

### Conclusões e Trabalho Futuro

Embora limitada a um período de verão, a análise efetuada mostrou que a alteração observada nas previsões do modelo AROME-PT2 são fisicamente consistentes com a introdução da fisiografia da albufeira de Alqueva na sua superfície.

No futuro, seria importante realizar um estudo semelhante para um período correspondente ao inverno, de forma a avaliar o desempenho do modelo com a introdução da fisiografia em situações típicas de inverno, por exemplo, com ocorrência de nevoeiro e também de precipitação.

Finalmente, seria também interessante avaliar o desempenho do modelo numa situação de instabilidade, de forma a verificar se o lago potencia o desenvolvimento vertical da nebulosidade.

### Referências

[1] - Seity, Y., P. Brousseau, S. Malardel, G. Hello, P. Bénard, F. Bouttier, C. Lac, and V. Masson (2011): "The AROME France Convective-Scale Operational Model". *Mon. Wea. Rev.*, \*139\*, 976-991.

[2] - Policarpo, C. (2014). Simulações numéricas sobre a formação e evolução de nevoeiros na região Alentejo, Dissertação de Mestrado em Ciências da Terra da Atmosfera e do Espaço. Évora: Universidade de Évora, Departamento de Física.

[3] - Policarpo, C., Salgado, R. & Costa, M. J. (2017). Numerical Simulations of Fog Events in Southern Portugal. *Advances in Meteorology*, vol. 2017, Article ID 1276784, 16 pages, doi:10.1155/2017/1276784.

[4] - <http://www.edia.pt/pt/o-que-e-o-alqueva/o-territorio/103>, acessado em 10Fev2017.

[5] - Diário do Alentejo de 21 de Agosto de 1975 (<http://bejayarraballes.blogspot.pt/search?q=alqueva>), acessado em 07 de Março de 2017).

[6] - [http://salvador-nautico.blogspot.pt/2015\\_11\\_01\\_archive.html?view=classic](http://salvador-nautico.blogspot.pt/2015_11_01_archive.html?view=classic), acessado em 07 de Março de 2017.

[7] - Miranda, P. M., Abreu, F. e Salgado, R., 1995. Estudo de Imapcto Ambiental do Alqueva (Relatório Final). Relatório Técnico do ICAT.

[8] - Nascimento, M., 2015. A camada limite planetária na região da barragem do Alqueva, Dissertação de Mestrado em Ciências Geofísicas. Lisboa: Faculdade de Ciências

[9] - <http://www.alex2014.cge.uevora.pt/>

[10] - Salgado, R., Potes, M., Albino, A., Apolinário, J., Barbosa, S., Bárias, S., Beliche, P., Bortoli, D., Canhoto, P., Costa, M. J., Fernandes, R.M., Harrison, G., Ilhéu, A., Le Moigne, P., Lima, R., Lopes, F., Lopes, T., Marques, J., Melgão, M., Miranda, P. M., Morais, M., Murteira, M., Nicoll, K., Novais, M. H., Nunes, S., Parrondo, M. C., Penha, A., Pereira, S., Policarpo, C., Prior, V., Rodrigues, C. M., Rosado, J., Sá, A., Serafim, A., Silva, H., Soares, P. M. M., Tlemçani, M. & Zavattieri, A. (2015). Interactions lake-atmosphere: The ALEX 2014 field campaign and numerical simulations. LAKE2015: 4th Workshop on Workshop on "Parameterization of Lakes in Numerical Weather Prediction and Climate Modelling, 07-09 May 2015, Évora, Portugal.

[11] - Potes M., Salgado R., Costa M. J., Morais M., Bortoli D., Kostadinov I. & Mammarella I. (2017). Lake-atmosphere interactions at Alqueva reservoir: a case study in the summer of 2014, *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 69:1, 1272787

[12] - Masson, V., Champeaux, J., Chauvin, C., Meriguet, C., Lacaze, R., 2003. A global database of land surface parameters at 1 km resolution for use in meteorological and climate models, *Journal of Climate*, 16.

[13] - <https://www.google.pt/maps>