

# QUALIDADE DA ÁGUA DA ALBUFEIRA DE ALQUEVA

## WATER QUALITY MEASURES OF ALQUEVA RESERVOIR

M. Potes<sup>(1)</sup>, M. J. Costa<sup>(1,2)</sup>, R. Salgado<sup>(1,2)</sup>

<sup>(1)</sup> Centro de Geofísica de Évora, Rua Romão Ramalho 59, 7000 Évora, PORTUGAL, mpotes@uevora.pt

<sup>(2)</sup> Departamento de Física, Universidade de Évora, Rua Romão Ramalho 59, 7000 Évora, PORTUGAL, mjcosta@uevora.pt & rsal@uevora.pt

### SUMMARY

*The water quality control of reservoirs is fundamental since these constitute indispensable renewable water resources for a variety of purposes. A feasible low cost approach that allows for, continuously and globally, monitoring water quality bio-optical quantities was developed through the combination of satellite retrieved water surface spectral reflectance and limnological laboratory analyses. The present approach takes advantage of the Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS) measurements, onboard ENVISAT satellite, as well as of the in situ samples of chlorophyll a, cyanobacteria and turbidity, regularly collected and analysed. The method is applied to Alqueva reservoir with a surface area of 250 km<sup>2</sup>, located in the south of Portugal (Alentejo).*

### Introdução

A Albufeira de Alqueva sendo a maior barragem da Península Ibérica, localizado na região do Alentejo (Fig. 1) que cada vez mais enfrenta o problema da escassez de água, constitui um bom exemplo da importância do controle da qualidade da água de lagos artificiais. Este controle é feito pelas entidades competentes, no entanto, limita-se, devido a diversos factores, a análises laboratoriais pontuais espacial e temporalmente [1]. A existência de um método de detecção remota por satélite fiável, que permita a monitorização global e contínua de certos parâmetros biológicos que condicionam a qualidade da água seria muito útil, constituindo a principal motivação para o desenvolvimento do presente trabalho.

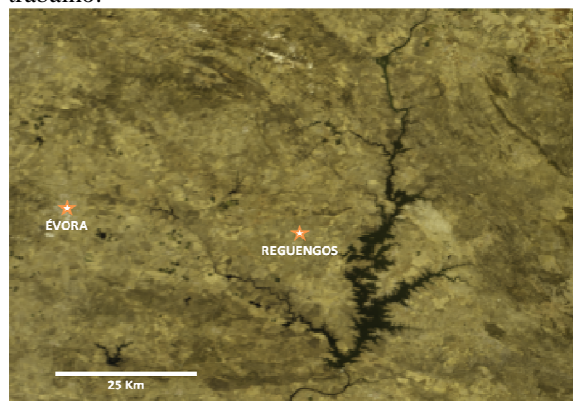


Fig. 1 – Localização da Albufeira de Alqueva e das cidades de Évora e Reguengos de Monsaraz.

### Método

O método baseia-se na utilização de medidas de satélite na região espectral do visível, em bandas espectrais estreitas (fora de bandas de absorção gasosas importantes), as quais são sensíveis a variações das substâncias opticamente activas localizadas à superfície da água.

Para tal é necessária a determinação da reflectância espectral da superfície do Alqueva, obtida através da correcção atmosférica das imagens do espectrómetro MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) a bordo do satélite ENVISAT, com uma resolução espacial de 300 × 300 m<sup>2</sup>. Os efeitos resultantes dos gases atmosféricos mais importantes assim como dos aerossóis presentes na coluna atmosférica são corrigidos do sinal que chega ao satélite de maneira a obter a reflectância espectral da superfície da água, para tal são utilizados dados atmosféricos do espectrofotómetro CIMEL CE-318-2 localizado no Observatório de Física da Atmosfera do Centro de Geofísica de Évora (Fig. 1).

A validação das reflectâncias espectrais da superfície resultantes tem vindo a ser realizada através de campanhas de medição da reflectância espectral da superfície da água, em vários locais da Albufeira, utilizando um espectrorradiómetro portátil.

Na Figura 2 são apresentados três espectros de reflectância de superfície da água referentes ao dia 25 Agosto 2010. O espectro “FieldSpec” obtido com o espectrorradiómetro portátil serve de comparação para os espectros “MERIS L1+6S” e “MERIS L2”. O primeiro espectro é obtido através da correcção das imagens MERIS L1 (com informação da radiância espectral medida no satélite) com o código de transferência radiativa 6S [2] e o segundo é

obtido directamente das imagens MERIS L2 (com informação da reflectância espectral de superfície).

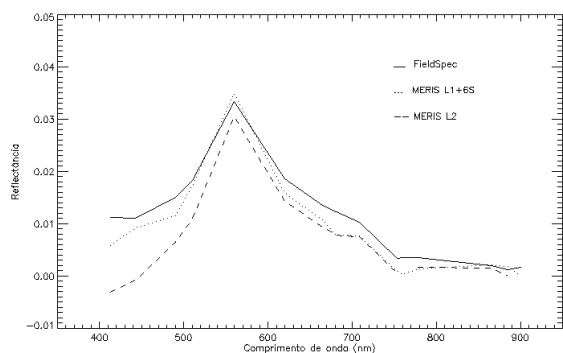


Fig. 2 – Espectros de reflectância de superfície obtidos para o dia 25 Agosto de 2010 através do espectrorradiómetro portátil (FieldSpec), do método desenvolvido neste trabalho (MERIS L1+6S) e de imagem de nível 2 (MERIS L2).

Relativamente ao espectro medido com espectrorradiómetro, é visível uma maior concordância do espectro “MERIS L1+6S” para os comprimentos de onda 400-600 nm (que são as bandas que vão ser utilizadas nos algoritmos) e do espectro “MERIS L2” para os comprimentos de onda 600-800 nm. No infra-vermelho próximo ambos os espectros são semelhantes aos medidos com o “FieldSpec”.

Para se obter a concentração dos pigmentos através da reflectância de superfície são necessárias regressões empíricas baseadas na razão entre bandas espectrais de reflectância de superfície. Os algoritmos assumem a forma da seguinte equação segundo [3]:

$$C = x \left[ \frac{R(\lambda_1)}{R(\lambda_2)} \right]^y \quad (1)$$

Onde C representa o parâmetro (concentração de clorofila, densidade de cianobactérias e turbidez),  $R(\lambda_n)$  representa a reflectância espectral no comprimento de onda n e X e Y constantes.

Os algoritmos obtidos são utilizados para estimar a concentração de clorofila, densidade de cianobactérias e turbidez sobre toda a superfície do Alqueva permitindo uma visão global da distribuição destes parâmetros que condicionam a qualidade da água da Albufeira.

## Resultados

Foi realizada uma campanha de validação dos algoritmos encontrados para a concentração de clorofila a e densidade de cianobactérias.

As cianobactérias são típicas em albufeiras eutrofizadas e podem desenvolver-se em grandes

densidades, provocando as fluorescências, mais conhecidas por blooms. O efeito mais grave resultante do desenvolvimento de blooms de cianobactérias é a produção de toxinas constituindo estas um grave risco para a saúde pública

Na Figura 3 pode-se ver a comparação entre a densidade de cianobactérias obtida através das medidas de satélite MERIS e os respectivos valores medidos em laboratório [4]. O valor médio de uma caixa de 4 pixéis, à volta do local em estudo, é calculado e utilizado para comparação com a respectiva análise laboratorial. As barras de erro verticais representam o desvio padrão correspondente aos 4 pixéis seleccionados. Um coeficiente de correlação de 0.93 foi encontrado, com melhores resultados para grandes densidades, demonstrando a grande capacidade deste algoritmo para a detecção de blooms (densidades maiores que 2000 células/ml) com um erro quadrático médio normalizado de 9% (NRMSE).

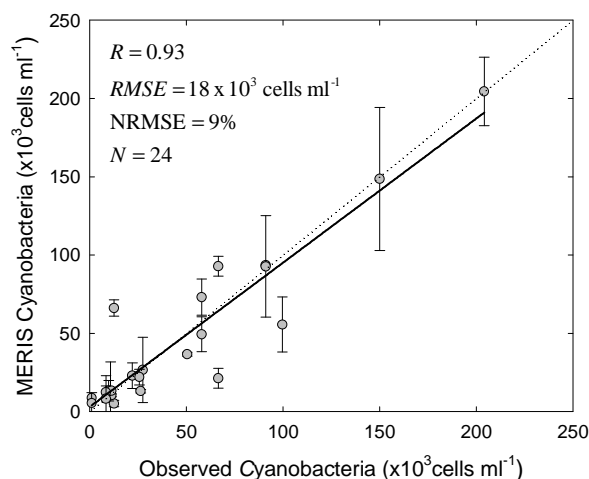


Fig. 3 – Comparação entre a densidade de cianobactérias obtida através das medidas de satélite MERIS e os respectivos valores medidos em laboratório [4].

A clorofila a é um pigmento fotossintético de grande importância e a sua concentração permite uma estimativa da concentração do fitoplâncton e, indirectamente, da actividade biológica.

Na Figura 4 pode-se ver a comparação entre a concentração de clorofila a obtida através das medidas de satélite MERIS e os respectivos valores medidos em laboratório [4]. Uma vez mais o valor médio de uma caixa de 4 pixéis é utilizado e as barras de erro verticais representam o desvio padrão nos mesmos 4 pixéis. Um coeficiente de correlação de 0.80 e um erro quadrático médio normalizado de 15% foram encontrados o que demonstra boa capacidade do algoritmo.

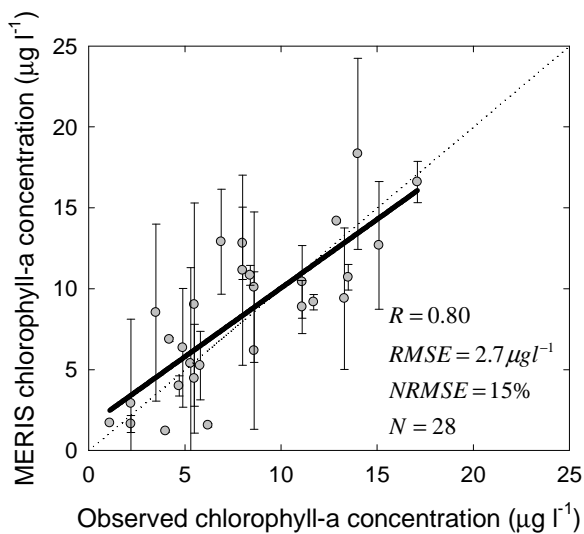


Fig. 4 – Comparação entre a concentração de clorofila obtida através das medidas de satélite MERIS e os respectivos valores medidos em laboratório [4].

A obtenção da turbidez (resultante da composição da massa de água em determinado ponto e instante) relaciona-se directamente com a extinção da radiação na coluna de água, sendo por isso um parâmetro importante na actividade fotossintética.

Foi estudado a influência de eventos de precipitação na região da albufeira de Alqueva na turbidez da mesma. Para tal a precipitação diária registada na estação meteorológica de Reguengos, pertencente ao Centro de Geofísica de Évora, foi analisada entre Agosto e Novembro de 2007 (Fig. 5). Foi seleccionado o episódio de precipitação entre os dias 29 Setembro e 6 Outubro que resultou num acumulado de 47 mm.

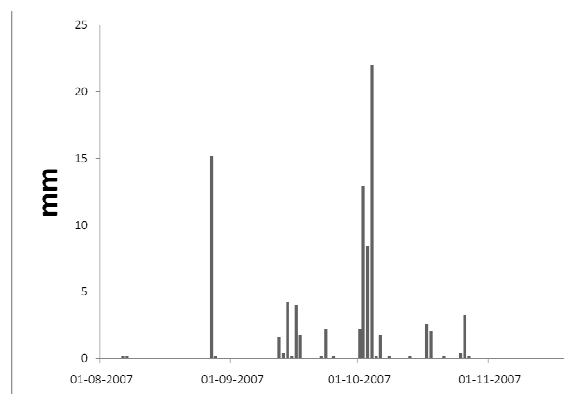
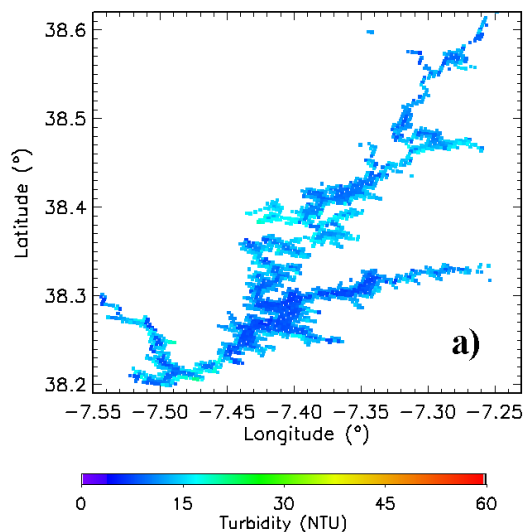


Fig. 5 – Precipitação diária na estação meteorológica de Reguengos (Centro de Geofísica de Évora – Fig.1) de Agosto a Novembro 2007.

A Figura 6 exemplifica a turbidez à superfície da água para 3 dias: 20 de Agosto que representa a situação antes do evento (a), 13 de Outubro que representa logo após o evento (b) e 14 Novembro que representa algum tempo após o evento (c).

A albufeira em 20 de Agosto (Fig. 6a) apresentava uma turbidez entre 5-15 NTU situação em que a albufeira não tinha sido sujeita a nenhum evento de precipitação. No dia 13 de Outubro (Fig. 6b), 7 dias após o evento de precipitação de 47 mm, a albufeira apresenta uma turbidez variável em que na sua grande maioria os valores são superiores a 15 NTU e pontualmente atingindo os 60 NTU. Esta turbidez elevada está provavelmente associada ao evento de precipitação que levou à introdução de matéria orgânica e inorgânica na albufeira através do run-off dos afluentes. No dia 14 de Novembro (Fig. 6c) a albufeira volta a apresentar valores de turbidez até 15 NTU o que poderá ser o resultado de que já não existe run-off significativo (ver Fig. 5), o que leva a níveis de turbidez mais baixos do que em 13 Outubro.



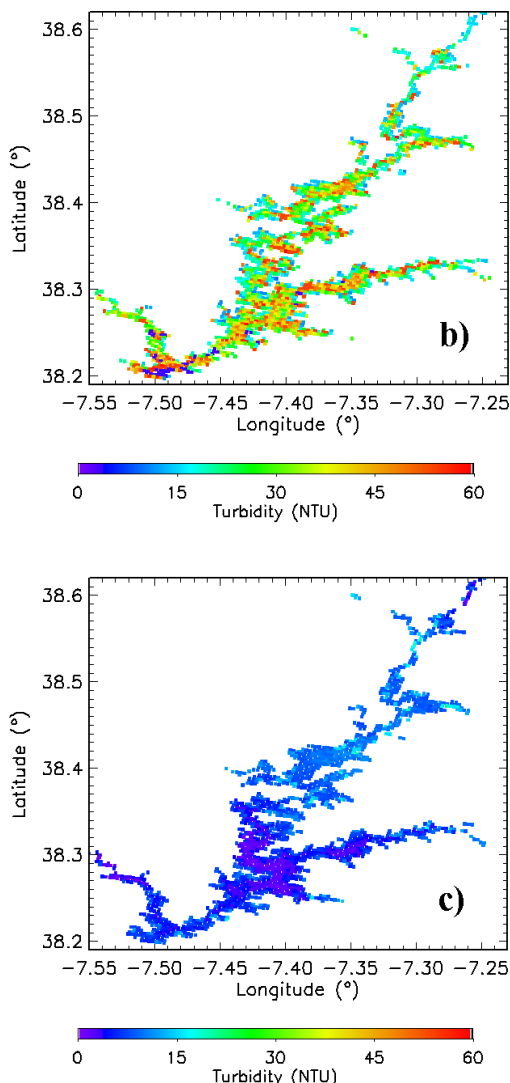


Fig. 6 – Turbidez à superfície da Albufeira de Alqueva nos dias: (a) 20 Agosto, (b) 13 Outubro e (c) 14 Novembro de 2007.

### Conclusões

Foi desenvolvida uma metodologia para obter concentração de parâmetros biológicos que condicionam a qualidade da água, resultante da combinação de medições da reflectância espectral de satélite (MERIS) e de análises laboratoriais. Uma questão crítica na obtenção de parâmetros de qualidade de água a partir de medidas de satélite é a existência de medições de alguns parâmetros atmosféricos que permitam uma correcção atmosférica adequada das imagens de satélite, sendo utilizadas no presente trabalho medições atmosféricas efectuadas regularmente no observatório do CGE, em Évora. Os algoritmos empíricos obtidos foram validados com bons coeficientes de correlação para as cianobactérias ( $R=0.97$ ) e para clorofila  $a$  ( $R=0.84$ ), demonstrando as grandes capacidades do sensor MERIS em monitorizar a qualidade de águas interiores. Além

disso, as parametrizações quando aplicadas a toda a superfície da albufeira parecem ser consistentes. No evento de precipitação estudado o sensor MERIS detectou o run-off (causado pelo evento) que causou um aumento da turbidez à superfície da água da albufeira.

A metodologia proposta pode constituir um instrumento valioso a ser utilizado em combinação com medições laboratoriais, possibilitando a monitorização da qualidade de água de uma forma regular e económica, e contribuindo para a implementação de um sistema de vigilância, útil às autoridades responsáveis, no caso de serem detectados valores anómalos de parâmetros fitoplanctónicos.

### Agradecimentos

Os autores querem agradecer à AERONET, ao Laboratório da Água da Universidade de Évora, à EDIA e ao INAG pelos dados utilizados neste trabalho. O trabalho foi financiado pela FCT através da bolsa SFRH/BD/45577/2008. As imagens de satélite foram disponibilizadas pela ESA no enquadramento dos projectos ENVISAT AOPT-2423 e AOPT-2357. Este trabalho é também financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Factores de Competitividade – COMPETE e por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito dos projectos FCOMP-01-0124-FEDER-007122 (PTDC / CTE-ATM / 65307 / 2006) e FCOMP-01-0124-FEDER-009303 (PTDC/CTE-ATM/102142/2008).

### Referências Bibliográficas

- [1] A. Serafim, M. Morais, P. Guilherme, P. Sarmiento, M. Ruivo, and A. Magriço, “Spatial and temporal heterogeneity in the Alqueva reservoir, Guadiana river, Portugal”. *Limnetica* **25**, 771-786, 2006.
- [2] E.F. Vermote, D. Tanré, J-L. Deuzé, M. Herman and J-J Morcrette, “Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum: An overview”. *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens.* **35**, 675-686, 1997.
- [3] R.P. Bukata, J.H. Jerome, K.Ya. Kondratyev, and D.V. Pozdnyakov, *Optical Properties and Remote Sensing of Inland and Coastal Waters*, CRS Press, pp135-250, 1995.
- [4] M. Potes, M.J. Costa, J.C.B. da Silva, A.M. Silva and M. Morais, “Remote sensing of water quality parameters over Alqueva reservoir in the south of Portugal”. *Int. J. Remote Sens.* 2011. In press.