

A modelação da qualidade da água como suporte ao ordenamento da albufeira de Castelo do Bode

Water quality modeling as a support for Castelo do Bode reservoir master plan development

Pedro SANTOS COELHO¹, Manuel ALMEIDA², Ricardo REBELO³, Maria Felisbina QUADRADO⁴, Francisco RIBEIRO TELES⁵, João PÁDUA⁶

¹ FCT NOVA - DCEA, 2829-516 Costa de Caparica, pmhc@fct.unl.pt

² FCT NOVA - DCEA, 2829-516 Costa de Caparica, mcvt@fct.unl.pt

³ FCT NOVA - DCEA, 2829-516 Costa de Caparica, r.rebelo@campus.fct.unl.pt

⁴ APA, Rua da Murgueira, 9 - Zambujal – Alfragide, 2610-124 Amadora, maria.quadrado@apambiente.pt

⁵ EDP – Gestão da Produção de Energia, S.A., Av. 24 Julho 1249-300 Lisboa, francisco.telles@edp.com

⁶ EDP Labelec - Estudos, Desenvolvimento e Atividades Laboratoriais, S.A., Rua Cidade de Goa, 4, 2685-038 Sacavém, joao.padua@edp.com

RESUMO: O processo de gestão da qualidade da água das albufeiras de águas protegidas localizadas em Portugal continental é, em grande parte, consubstanciado pela implementação das medidas inscritas nos principais instrumentos de gestão do território, nomeadamente os Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) e os Planos de Ordenamento de Albufeiras (POA), actualmente designados Programas Especiais de Albufeiras de Águas Públicas (PEA), em função da adaptação dos POA ao quadro legislativo vigente. A definição das disposições gerais relativas ao uso e ocupação da área de intervenção, e de acções, medidas e projectos inscritos no POA da albufeira de Castelo do Bode (Resolução do Conselho de Ministros n.º 69/2003), foi parcialmente suportada pela modelação matemática da qualidade da água da albufeira (INAG, I.P., 2011a)). Os cenários de simulação considerados permitiram identificar as principais pressões existentes e a mais-valia decorrente da aplicação de medidas concretas que visavam a redução da carga poluente afluente à massa de água. Decorridos 17 anos, e no âmbito do desenvolvimento do Programa Especial da Albufeira de Castelo do Bode (PEACB), procedeu-se a um novo processo de modelação matemática da qualidade da água. No presente estudo, descreve-se a abordagem metodológica que consubstanciou o processo de modelação matemática, os resultados obtidos e analisa-se a evolução da qualidade da água da albufeira nos últimos nove anos. Apesar da dificuldade inerente ao estabelecimento de uma relação causal directa entre a implementação das medidas/acções definidas no POA das albufeiras de Castelo do Bode, Cabril, Bouçã e Santa Luzia (Resolução do Conselho de Ministros n.º 45/2002), e a melhoria da qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode, considera-se que, em função do nexo temporal existente, a redução de carga afluente determinada pela implementação das referidas medidas/acções, poderá ter tido um papel crucial na melhoria e preservação da qualidade da água da albufeira.

Palavras-Chave: Qualidade da água; Plano; Ordenamento; Modelação matemática; Castelo do Bode.

ABSTRACT: The water quality management process of protected reservoirs located in mainland Portugal is, to a large extent, supported by the implementation of the measures included in the main water management instruments, namely the Hydrographic Region Management Plans (HRMP) and the Reservoir Master Plans (RMP), currently called Special Public Water Reservoir Programs (SPWRP), due to the adaptation of the RMP to the current legislative framework. The definition of the general provisions related to the use and occupation of the intervention area, and of actions, measures and projects included in the RMP of the Castelo do Bode reservoir (Resolution of the Council of Ministers n.º 69/2003), was partially supported by the water quality modeling of Castelo do Bode reservoir (INAG, IP, 2011a)). The simulation scenarios considered allowed the identification of the main pressures and the benefit resulting from the application of concrete measures aimed at reducing the polluting load affluent to the waterbody. After 17 years, and within the scope of the development of the Special Program of Castelo do Bode Reservoir (SPCBBR), a new water quality modeling study was carried out. In the present study, the methodological approach that supported the mathematical modeling process is described, the results obtained and the evolution of the water quality in the reservoir in the last nine years is analyzed. Despite the difficulty in establishing a direct causal relationship between the implementation of the measures/actions defined in the RMP of Castelo do Bode, Cabril, Bouçã and Santa Luzia reservoirs (Resolution of the Council of Ministers n.º 45/2002), and the observed water quality improvement in the Castelo do Bode reservoir, it is considered that, due to the existing temporal nexus, the reduction of affluent load determined by the implementation of the referred measures/actions, may have played a crucial role in the improvement and preservation of the reservoir water quality.

Keywords: Water quality; Plan; Management; Mathematical modeling; Castelo do Bode.

1. INTRODUÇÃO

A albufeira de Castelo do Bode é o principal reservatório nacional de água para abastecimento público, servindo mais de dois milhões de habitantes da área metropolitana de Lisboa e dos municípios limítrofes. De acordo com o Despacho n.º 5797/2018 de 12 de Junho, a experiência na aplicação do Plano de Ordenamento da Albufeira de Castelo do Bode (POACB), aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 69/2003, de 10 de Maio, tem demonstrado um desajustamento da actual realidade socioeconómica e do presente quadro legal e institucional, que regula este tipo de instrumentos de gestão do território. Consequentemente, foi determinado no Despacho n.º 5797/2018, ao abrigo do artigo 46.º do Decreto-Lei n.º 80/2015, de 14 de Maio, a elaboração do Plano Especial da Albufeira de Castelo do Bode (PEACB). O presente estudo corresponde a uma síntese da componente de modelação matemática da qualidade da água da albufeira, contribuindo para se atingirem os objectivos que se pretendem com o desenvolvimento do PEACB. A análise realizada baseou-se, numa fase inicial, na avaliação da qualidade da água da albufeira entre o período temporal compreendido entre 2009 e 2017, enquadrada numa perspectiva histórica da evolução da qualidade da água da albufeira descrita em estudos anteriores (e.g.: INAG, I.P., 2011a; INAG, I.P., 2011b; EPAL, 2015). Posteriormente, procedeu-se à definição e simulação de diferentes cenários que visam, genericamente, quantificar as pressões existentes no que diz respeito às cargas poluentes afluentes à massa de água, bem como avaliar as vantagens decorrentes da sua eventual redução. Para o desenvolvimento dos estudos em análise, optou-se pela utilização do modelo bidimensional, CE-QUAL-W2, na sua versão 3.72 (COLE e WELLS, 2015).

2. ÁREA DE ESTUDO

A construção do aproveitamento Hidroeléctrico de Castelo do Bode, localizado no rio Zêzere, afluente da margem direita do rio Tejo, gerou uma albufeira com uma capacidade total, ao nível de pleno armazenamento (NPA), de 1 095 hm³ e uma área inundada de 3 500 ha. Neste mesmo rio estão construídos mais dois aproveitamentos de grande dimensão, ambos a montante de Castelo do Bode – Bouçã e Cabril. Este aproveitamento entrou em funcionamento em 1951, produzindo, anualmente e em média, 361 GWh decorrentes de uma potência total instalada de 159 MW.

3. METODOLOGIA

A abordagem metodológica considerada na análise realizada foi desenvolvida segundo duas perspectivas distintas. A análise da evolução da qualidade da água na albufeira de Castelo do Bode; e a definição e simulação matemática de diferentes cenários que conceptualizam a afluência de descargas poluentes à massa de água. Essas descargas podem ser pontuais, de origem doméstica ou industrial, ou difusas, quando a descarga poluente é transportada pelo escoamento superficial e gerada em áreas agrícolas, florestais ou pela actividade pecuária. Nas secções seguintes descreve-se resumidamente a metodologia adoptada.

3.1 Análise da evolução da qualidade da água na albufeira de Castelo do Bode

Pela sua importância, a albufeira de Castelo do Bode é, tal como outras albufeiras nacionais, alvo de um programa de monitorização desenvolvido pela EDP (EDP – Gestão da Produção de Energia, S.A. e Labelec - Estudos, Desenvolvimento e Actividades Laboratoriais, S.A.), no âmbito das obrigações contratuais enquanto utilizadora de recursos hídricos, que visa acompanhar a evolução da qualidade da água da albufeira, em função de critérios suportados na legislação vigente, e que permitem apoiar os processos de modelação da qualidade da água. Assim, tendo como base as séries de valores dos diferentes constituintes observados na albufeira, procedeu-se à sua análise entre os anos de 2009 e 2017.

3.2 Modelação matemática da qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode

A componente de modelação matemática da qualidade da água suporta-se em dois vectores principais: a caracterização quantitativa das cargas poluentes afluentes à albufeira, decorrente do actual e do futuro uso do solo e das diferentes especificidades do mesmo na área de intervenção do PEACB, plano de água e zona terrestre de protecção, podendo esta coincidir com o âmbito territorial do PEACB (500 m) ou ser ajustada a uma largura máxima de 1000 m, contados a partir da linha de nível de pleno armazenamento (NPA) (Despacho n.º 5797/2018, de 12 de Junho); e a modelação dos vários processos associados aos diferentes parâmetros descritores da qualidade da água.

3.2.1 Modelo 2-D CE-QUAL-W2 v3.72

O modelo CE-QUAL-W2 permite a simulação hidrodinâmica e de qualidade da água de uma albufeira segundo as direcções longitudinal e vertical do sistema, sendo lateralmente homogéneo. É, por isso, indicado para o estudo de massas de água longas e estreitas, com gradientes longitudinais e verticais de qualidade da água (Cole e Wells, 2015). Assim, a albufeira em estudo foi simulada considerando a solução numérica, obtida com o algoritmo – ULTIMATE, incluído no modelo. A viscosidade/difusividade longitudinal de Eddy é resolvida pelo algoritmo W2N, tendo-se optado pela solução explícita do mesmo. A batimetria da albufeira de Castelo do Bode foi representada através do recurso a cartas topográficas (1:25 000), anteriores à construção da barragem e à criação da correspondente albufeira, nas quais foi possível identificar as curvas de nível que descrevem a batimetria da massa de água. O sistema foi dividido em 10 ramos, com um tributário correspondente à ribeira de Alge. Na Figura 1 pode observar-se a representação conceptual do sistema em análise.

3.2.2 Caracterização da situação de referência

Para o desenvolvimento dos estudos de simulação matemática da qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode, consideraram-se os anos civis de 2011, 2012 e 2013 (correspondentes a ano médio, seco e húmido, respectivamente).

3.2.2.1 Balanço de caudais e meteorologia

A determinação dos valores de caudal afluente e efluente do sistema, durante os anos civis de 2011 a 2013, realizou-se tendo como base os dados de autocontrolo disponibilizados pela EDP, que permitiram estabelecer um balanço de volumes entre os caudais descarregados, turbinados, caudais captados para diversos usos e a variação do volume armazenado na albufeira.

3.2.2.2 Carga poluente afluente à massa de água

A caracterização da carga urbana gerada na bacia hidrográfica em análise, suportada por elementos disponibilizados pela APA, e parte integrante do PGRH Tejo e Ribeiras do Oeste (APA, 2016), compreende as cargas geradas pelos sistemas

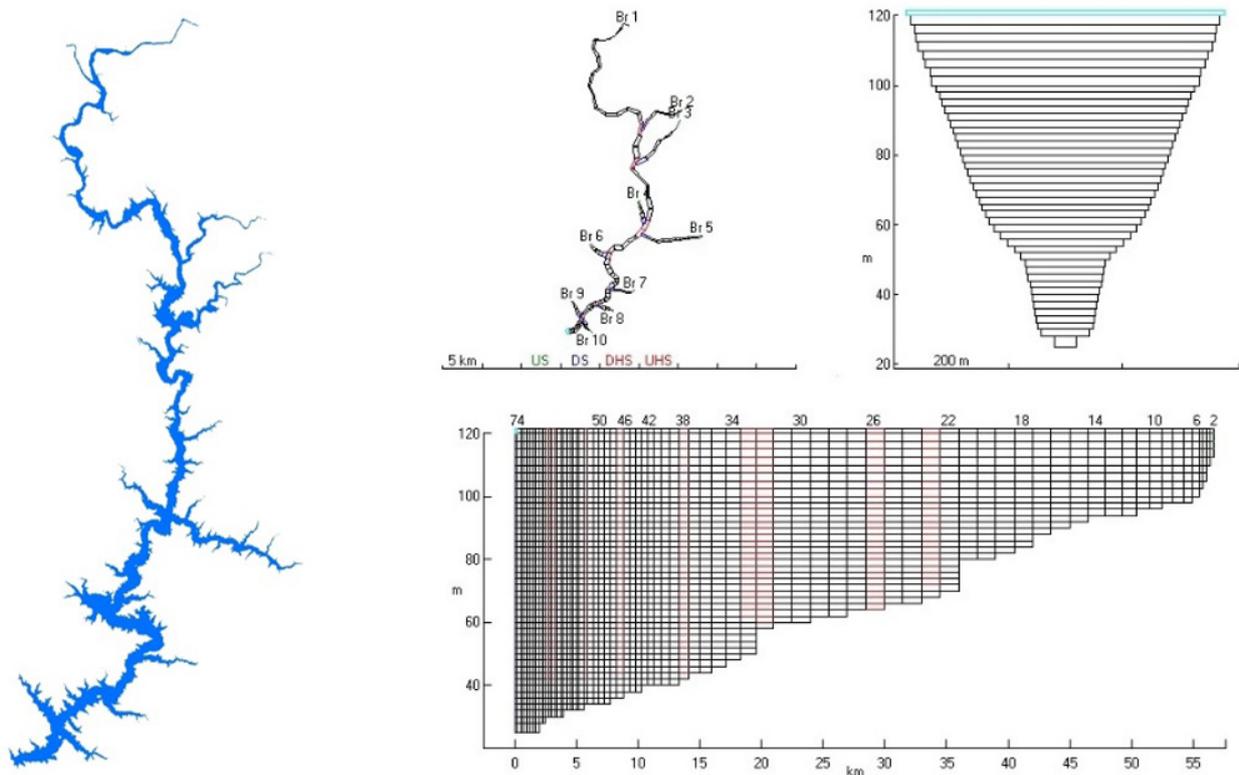


Figura 1. Representação conceptual da albufeira de Castelo do Bode.

de tratamento de águas residuais urbanas, pelas indústrias cujos efluentes são descarregados em massas de água e por águas residuais domésticas (fossas sépticas cujas descargas são efectuadas em poço ou trincheira de infiltração, ou seja, no solo). Tendo em consideração a caracterização das descargas poluentes, concluiu-se que existem onze fontes pontuais de poluição que descarregam directamente águas residuais para a área de intervenção do PEACB. Adicionalmente, na definição dos cenários de simulação incluíram-se mais 37 descargas, que apesar de serem realizadas no solo, como se localizam na área de intervenção do PEACB, podem, eventualmente, atingir a massa da água. A carga poluente de origem difusa, gerada pela actividade agrícola e pelas áreas florestais, foi estimada em função dos diferentes usos do solo associados à área de estudo, obtidos através da carta Corine Landcover 2012. Após a estimativa das cargas de azoto total (N total), fósforo total (P total) e da carência bioquímica de oxigénio (CBO₅), geradas nas zonas com ocupação agro-florestal, determinou-se o valor da carga bruta de CBO₅ gerada pela pecuária, através das capitações de carga de CBO₅ por cabeça de gado. Posteriormente,

foi calculada a carga de N e de P gerada pela actividade pecuária, tendo sido utilizado como base o estudo desenvolvido em 2014 pela APA (APA, 2014). Finalmente, para se concluir a caracterização da situação de referência da massa de água, correspondente aos anos de 2011, 2012 e 2013, incluíram-se 16 tributários pontuais, que conceptualizam a afluência das descargas poluentes directas para a albufeira, às quais, no caso particular da albufeira de Castelo do Bode, acrescem as descargas no solo geradas por fossas sépticas que se localizam na área de intervenção do PEACB (Figura 2).

3.2.2.3 Cenários de simulação

A definição dos cenários de simulação, que implicam a redução e/ou incremento de carga poluente afluente à massa de água, foi realizada considerando que, nas áreas de drenagem que são dominadas por estações de monitorização de qualidade da água a contribuição das diferentes fontes de poluição é descrita pelos correspondentes resultados da monitorização. Desta forma, para possibilitar a análise e estudo de diferentes cenários, os dados

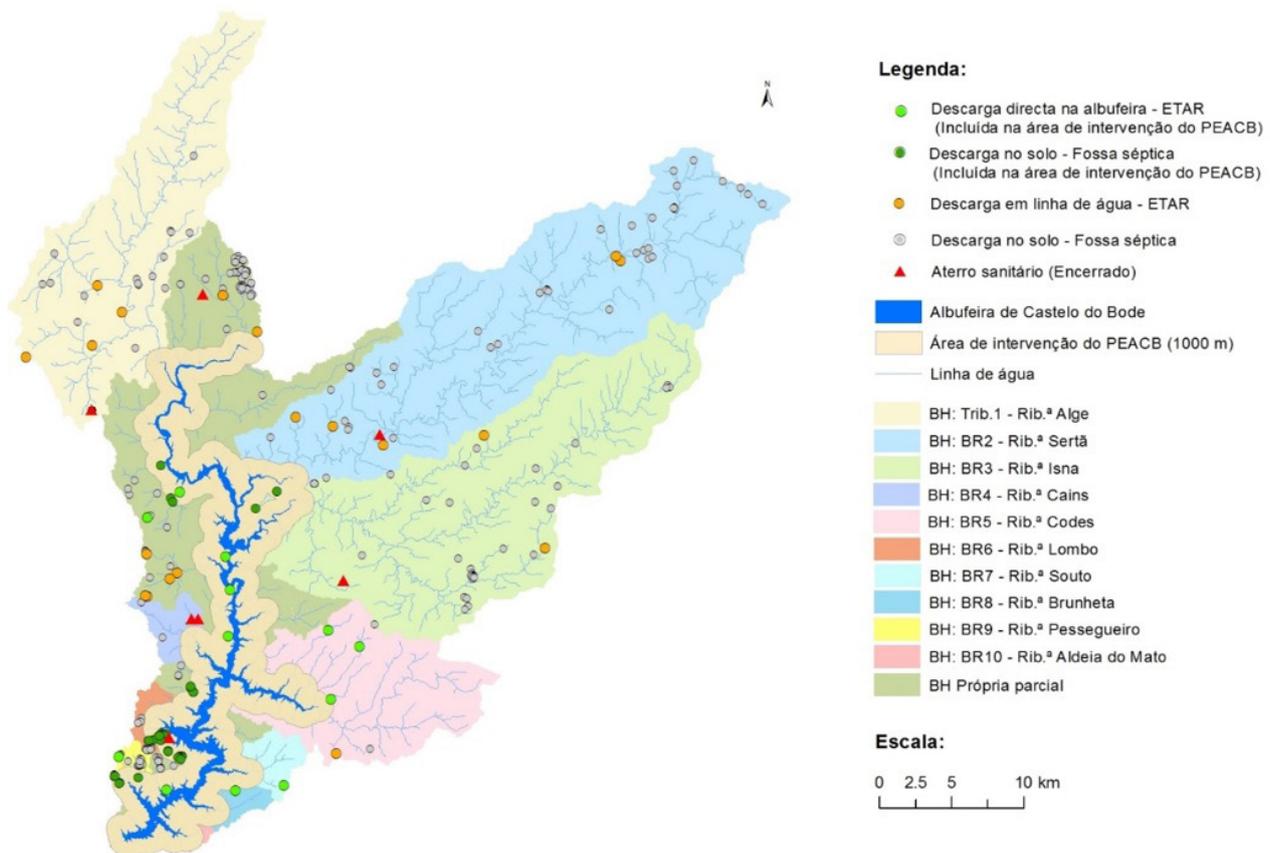


Figura 2. Localização das secções de descarga de águas residuais na bacia hidrográfica própria na albufeira de Castelo do Bode.

de qualidade que caracterizam as aflúncias ao sistema e que descrevem as descargas em análise, são afectados da percentagem de redução ou de incremento de carga, na proporção que caracteriza cada sector. Por outro lado, as descargas pontuais descritas pelos 16 tributários são afectadas da percentagem de remoção ou incremento de carga que é definida por cada um dos cenários de simulação (e.g.: a eficiência de tratamento da CBO_5 correspondente à ETAR X evolui de 75% para 90%). Após o processo de calibração do modelo definiu-se e simulou-se um conjunto de cenários que visam avaliar as pressões determinadas pelas diferentes fontes de poluição (e.g.: agricultura e pecuária), bem como o efeito da melhoria da eficiência de remoção de CBO_5 , N, P, coliformes fecais e totais de todas as ETAR urbanas e industriais existentes na bacia hidrográfica própria da albufeira de Castelo do Bode e na área de intervenção do plano (primário→secundário e secundário→terciário). Adicionalmente, avaliou-se o eventual efeito sobre a qualidade da água decorrente da implementação dos cenários *Minimalista*, *Business as Usual* e *Maximalista* definidos no PGRH Tejo e Ribeiros do Oeste, projectados para o ano de 2027 (APA, 2016). Finalmente, avaliou-se a capacidade de carga da albufeira de forma a garantir o Bom Potencial Ecológico e a minimizar o risco de eutrofização.

4. RESULTADOS

Nas secções seguintes descrevem-se as principais conclusões obtidas com a análise da evolução temporal da qualidade da água da albufeira e com a modelação da qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode.

4.1 Análise da evolução da qualidade da água na albufeira de Castelo do Bode

O estudo desenvolvido em 2002 pelo INAG e pela FCT NOVA (DCEA) (INAG, I.P., 2011a), refere que entre 1996 e 2004, apesar de não se verificarem valores indicativos de uma degradação significativa do estado de qualidade da água, registou-se uma tendência de diminuição dessa qualidade na albufeira de Castelo do Bode. Não obstante, tendo em consideração a caracterização da qualidade da água desenvolvida pela EDP entre 2009 e 2017, conclui-se que a evolução temporal da qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode, nomeadamente ao nível dos valores da concentração da CBO_5 , P total e azoto amoniacal (NH_4), evidencia um decréscimo importante dos valores da concentração destes parâmetros

(Figura 3). A mesma conclusão é corroborada pela classificação da evolução do estado trófico em função dos critérios da OCDE (OCDE, 1982), nomeadamente no que concerne ao teor em fósforo, o factor limitante da produção primária deste sistema, que em 2015 e 2017 determinaria a classificação correspondente à ultra-oligotrofia.

4.2 Modelação da qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode

4.2.1 Evolução da carga poluente afluente à albufeira de Castelo do Bode no período temporal entre a aprovação do POACB e o actual período de desenvolvimento do PEACB

Uma das principais virtudes da modelação matemática da qualidade da água reside na possibilidade de se proceder à caracterização das condições de fronteira do modelo, face às cargas poluentes que afluem aos sistemas em estudo. Este processo é de uma relevância fundamental na medida em que expõe todas as fragilidades que estão associadas ao cadastro de recursos hídricos e, por inerência, ao próprio processo de Gestão de Recursos Hídricos. Neste contexto, considera-se que a eficácia dos instrumentos de gestão de recursos hídricos (e.g.: Plano Nacional da Água, Planos de Gestão de Região Hidrográfica, Planos de Ordenamento de Albufeiras) na redução das cargas poluentes que afluem às massas de água, deve ser avaliada de duas formas distintas. Através da monitorização da qualidade da água e da quantificação da variação das cargas poluentes que afluem aos sistemas, tendo em consideração o período temporal que antecede/precede a implementação das acções/medidas consideradas nesses planos.

Tendo em consideração o período temporal entre a aprovação do POACB e o actual período de desenvolvimento do PEACB, avaliou-se a carga bruta gerada na área de intervenção dos planos, nos dois momentos temporais. A área de intervenção do POACB e do PEACB (considerada ao nível do estudo de modelação da qualidade da água) tem uma dimensão de 500 m e de 1000 m, respectivamente, contados em projecção horizontal a partir da linha do NPA. À data da realização do POACB existiam na área de intervenção do Plano fossas sépticas que agregavam a carga gerada em 120 núcleos populacionais distribuídos por seis concelhos (Abrantes, Ferreira do Zêzere, Figueiró dos Vinhos, Tomar, Vila de Rei e Sertã), cuja carga bruta total é apresentada na Tabela 1. Com a implementação das

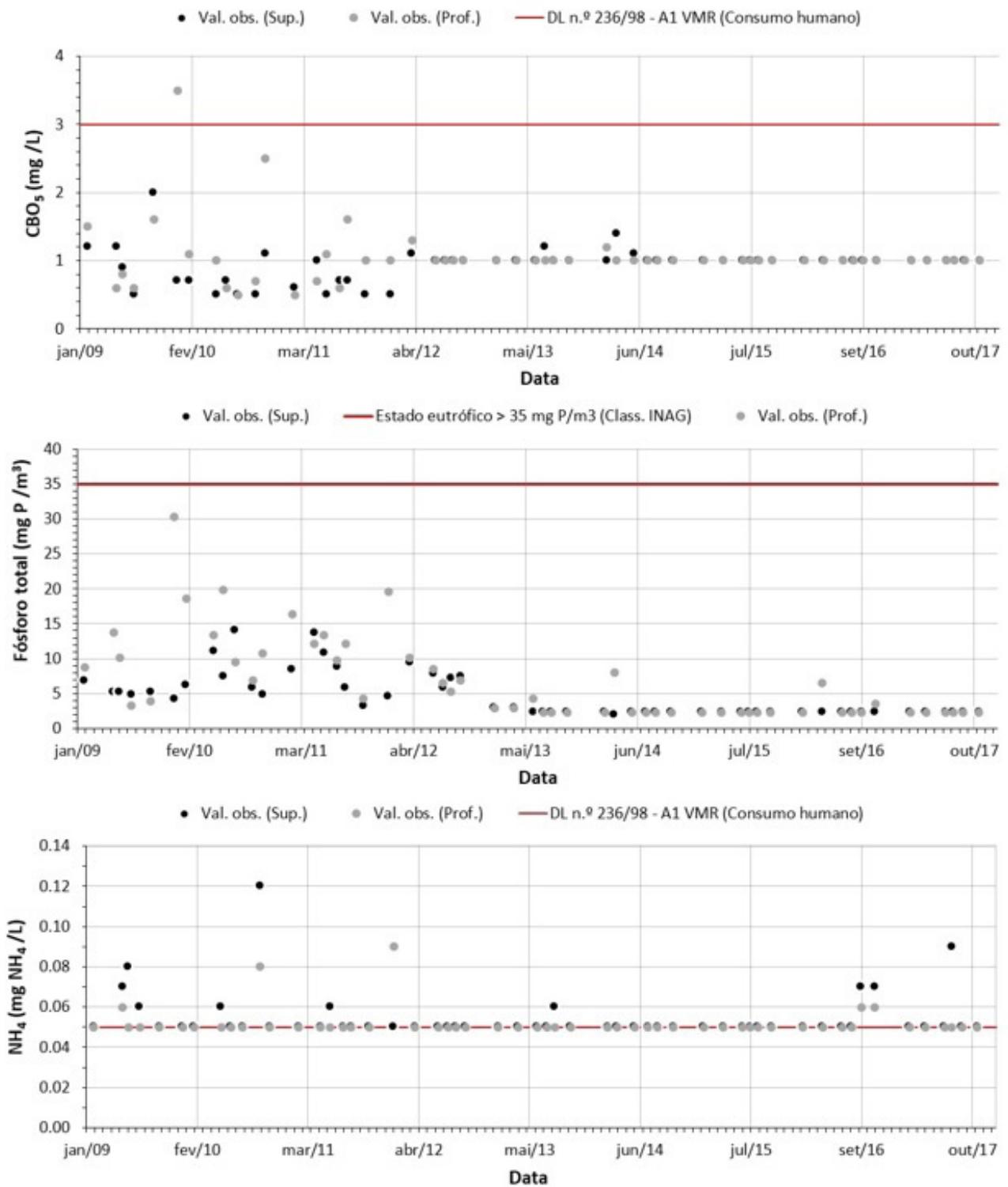


Figura 3. Valores da concentração de CBO_5 , P total e NH_4 , observados entre 2009 e 2017 na albufeira de Castelo do Bode a 300 m a montante da barragem de Castelo do Bode.

acções/medidas inscritas no POACB, que visavam a redução da carga poluente afluente à albufeira, a carga gerada, total ou parcialmente, por esses núcleos populacionais é actualmente tratada em 10 ETAR, que descarregam directamente para a albufeira. Destas 10 ETAR, cinco possuem tratamento mais avançado do que o secundário, quatro possuem tratamento secundário e uma possui tratamento primário (Tabela 1, PEACB ⁽¹⁾). Na área de intervenção do PEACB existem ainda 37 fossas sépticas individuais, cuja descarga é realizada na sua maioria em trincheiras (valas) de infiltração (APA 2016). Destas 37, 10 localizam-se na área de 500 m correspondente à área de intervenção do POACB. Assim, quando se compara a carga bruta gerada na área de intervenção do POACB (500 m) com a carga bruta gerada nos 1 000 m contados a partir do NPA da albufeira (PEACB), conclui-se que a mesma sofreu nos últimos 17 anos um incremento da carga da CBO₅, P total e N total de, pelo menos, 13 %, 35 % e 13 %, respectivamente. Na ausência de informação adicional não foi possível identificar o motivo pelo qual o incremento da carga bruta de P total é percentualmente superior às restantes.

Tabela 1. Carga bruta da CBO₅, P total e de N total gerada na área de intervenção do POACB e do PEACB.

Plano	CBO ₅ , kg.ano ⁻¹	P total, kg.ano ⁻¹	N total, kg.ano ⁻¹
POACB	120 746	4 530	20 124
PEACB ⁽¹⁾	138 145	6 907	23 024
PEACB ⁽²⁾	138 693	6 935	23 115
PEACB ⁽³⁾	140 445	7 022	23 407

⁽¹⁾ carga bruta gerada por 10 ETAR que descarregam directamente na albufeira de Castelo do Bode

⁽²⁾ carga bruta gerada por 10 ETAR que descarregam directamente na albufeira de Castelo do Bode e em 10 fossas sépticas que se encontram na área de 500 m em projecção horizontal contados a partir do NPA da albufeira

⁽³⁾ carga bruta gerada por 10 ETAR que descarregam directamente na albufeira de Castelo do Bode e em 37 fossas sépticas que se encontram na área de intervenção do PEACB (1 000 m)

Por sua vez, na Figura 4 descreve-se a carga poluente de CBO₅, P total e N total afluente à albufeira de Castelo do Bode após tratamento. No caso da carga gerada nas fossas sépticas consideradas ao nível do desenvolvimento do POACB, admitiu-se que esta estaria sujeita a um tratamento primário, ao qual estão associadas as seguintes eficiências de tratamento: CBO₅: 25 %; P total: 11 %; N total: 9 % (DWA, 2000). Importa referir que a carga tratada nas fossas sépticas e, posteriormente, descarregada no solo, poderia não afluir totalmente à albufeira, pelo que a título de exemplo se associou, na Figura 4, a variável Δx associada à carga de CBO₅ passível

de atingir a massa de água. Por outro lado, a análise dos dados disponibilizados pela APA (APA, 2016) permitiu concluir que a eficiência média de tratamento associada aos sistemas de tratamento das descargas de água residuais existentes na actual área de intervenção do PEACB é de 95 %. Tendo em consideração o incremento da eficiência de tratamento das descargas de águas residuais existentes na área de intervenção do PEACB, conclui-se que essa eficiência pode ter tido uma influência considerável na melhoria da qualidade da água da albufeira, evidenciada anteriormente na secção 4.1 (vide Figura 3).

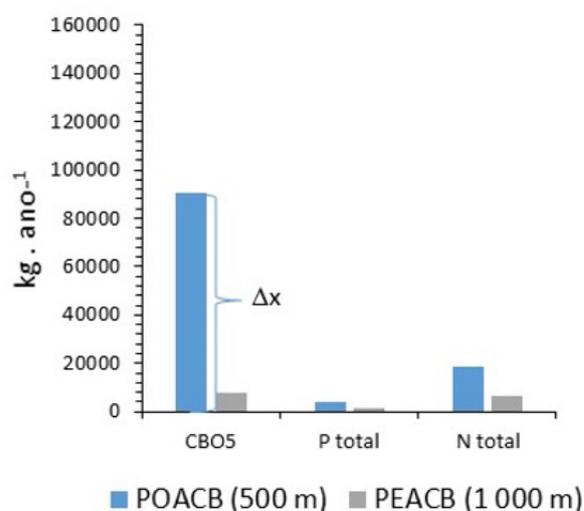


Figura 4. Carga afluente à albufeira de Castelo do Bode gerada na área de intervenção do POACB (500 m) e na área de 1 000 m considerada ao nível da modelação matemática desenvolvida no âmbito do PEACB.

4.2.2 Calibração do modelo CE-QUAL-W2

O processo de calibração do modelo CE-QUAL-W2 para a simulação da albufeira de Castelo do Bode revelou-se de difícil concretização, fundamentalmente porque a caracterização das afluências não é a mais adequada, nomeadamente em termos da discretização temporal dos valores disponíveis. Não obstante, os resultados obtidos, nomeadamente ao nível da temperatura da água e do teor em oxigénio dissolvido, são suficientemente robustos para suportar a simulação dos diferentes cenários. O erro médio absoluto obtido para a temperatura da água e para o teor em OD, para os anos de 2011, 2012 e 2013 foi de, 0,93 °C e 0,74 mg/L, respectivamente (Figura 5 e Figura 6).

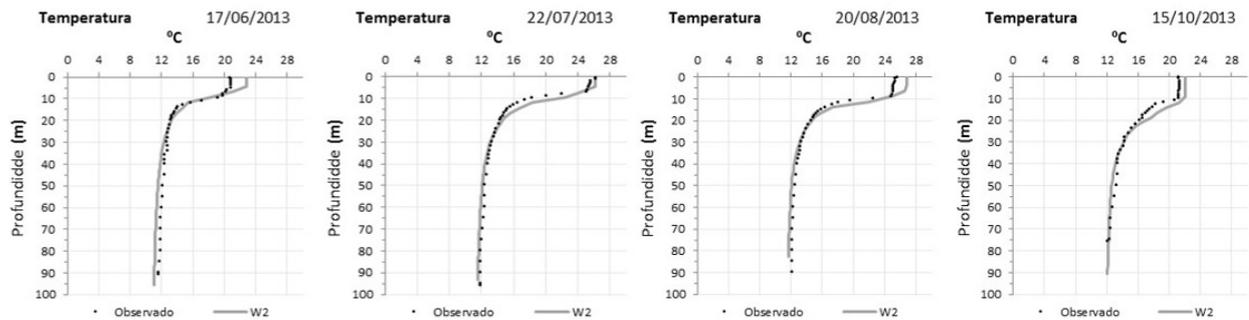


Figura 5. Perfis de temperatura da água observados a 300 m a montante da barragem de Castelo do Bode versus perfis obtidos com o modelo CE-QUAL-W2.

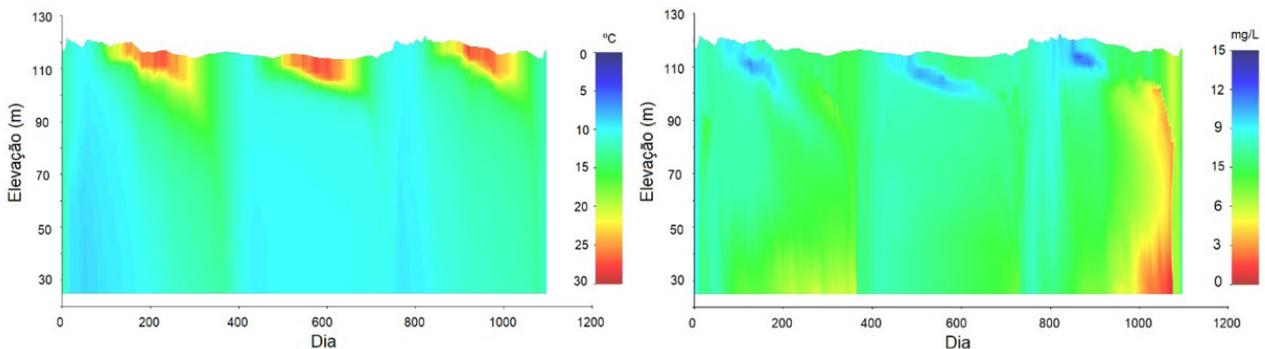


Figura 6. Evolução dos valores de temperatura da água (esquerda) e da concentração de OD (direita) ao longo da coluna de água e a 300 m a montante da barragem de Castelo do Bode (2011 a 2013).

4.2.3 Cenários de simulação da qualidade da água

Os resultados obtidos com os diferentes cenários de simulação permitiram concluir que a carga que aflui à albufeira de Castelo do Bode é gerada maioritariamente a montante da barragem da Bouçã. Neste contexto, os resultados obtidos sugerem também que é relevante que se aprofunde o conhecimento existente sobre as eventuais fontes de fósforo, nomeadamente de ortofosfatos ($P-PO_4$), existentes em toda a bacia hidrográfica dominada pela barragem de Castelo de Bode, e sobre o ciclo de vida deste parâmetro nas albufeiras de Cabril e da Bouçã. Importa igualmente estudar o processo de transporte de matéria orgânica neste sistema, uma vez que, de acordo com os resultados obtidos, ainda para a situação de referência deste estudo, o período durante o qual os valores da concentração de OD são mais reduzidos surge durante o ano húmido considerado na análise, 2013, indiciando que há um incremento da carga de matéria orgânica transportada pelo escoamento superficial. Esta situação determinou uma diminuição dos valores de OD superior à que ocorre durante o ano seco de 2012, que é descrita pelos perfis de OD observados

na albufeira. Por outro lado, os resultados obtidos indicam que o impacto da redução ou incremento da carga afluente à albufeira é, de uma forma geral, mais significativo durante o ano seco de 2012. Adicionalmente, quando se consideram os cenários de simulação definidos com o objectivo de se avaliar a influência da carga gerada na bacia hidrográfica própria da albufeira e, em particular, na área de intervenção do PEACB, os resultados obtidos sugerem que:

- i. A pressão exercida pelas descargas poluentes de origem urbana e industrial geradas na bacia hidrográfica própria da albufeira de Castelo do Bode é reduzida, e o incremento da eficiência de tratamento das águas residuais, com a excepção da redução da carga poluente determinada pelo hipotético tratamento terciário de todas as descargas existente na bacia hidrográfica própria da albufeira, e incluindo as descargas realizadas na área de intervenção do PEACB, teria um efeito pouco sensível sobre a qualidade da água da albufeira;

- ii. As descargas que ocorrem no solo da bacia hidrográfica própria da albufeira de Castelo do Bode, geradas maioritariamente em fossas sépticas, se atingissem a massa de água, teriam igualmente um impacto reduzido sobre a qualidade da água da mesma;
- iii. A redução da carga de P-PO₄, de nitratos + nitritos (N-NO_x) e da CBO₅, gerada pelo sector da pecuária e nas áreas agrícolas e florestais existentes na bacia hidrográfica própria da albufeira de Castelo do Bode, poderá determinar melhorias significativas na correspondente qualidade da água;
- iv. A implementação do cenário prospectivo *Minimalista*, definido no PGRH Tejo e Ribeiras do Oeste, pode ter um impacto com alguma relevância na qualidade da água da albufeira, em particular sobre o teor em biomassa algal, resultante da redução dos valores da concentração de P-PO₄ (o factor limitante da produção primária).

No que concerne à estimativa da capacidade de carga da albufeira de Castelo do Bode, os resultados obtidos com o exercício de simulação sugerem que a albufeira não deverá receber mais de 29 kg P-PO₄/dia⁻¹, 2 683 kg N-NO_x/dia⁻¹ e de 19 809 kg CBO₅/dia⁻¹.

5. CONCLUSÕES

Não obstante a dificuldade inerente ao estabelecimento de uma relação causa-efeito entre a implementação das medidas/acções definidas no POA das albufeiras de Castelo do Bode, Cabril, Bouçã e Santa Luzia (Resolução do Concelho de Ministros n.º 45/2002), e a melhoria da qualidade da água da albufeira de Castelo do Bode, considera-se que, em função do nexo temporal existente, a redução de carga poluente afluente determinada pela implementação das correspondentes medidas/acções, poderá ter tido um papel crucial na melhoria e preservação da qualidade da massa de água. Também as medidas que têm vindo a ser implementadas em toda a bacia de drenagem destas albufeiras, ao abrigo dos programas de medidas definidos nos PGRH do 1º ciclo e 2º ciclo, terão contribuído para esta melhoria. A importante redução dos valores da concentração de P total, evidenciada pela classificação ultra-oligótrofica da albufeira, para os anos de 2015 e 2017, constitui um indicador relevante relativamente ao potencial ecológico da massa de água, nomeadamente no que diz respeito à diminuição da produção primária da mesma. Numa avaliação global, concluiu-se que as concentrações de fósforo, azoto e de CBO₅

na albufeira de Castelo do Bode são, todas elas, inferiores ao limite definido para o Bom Potencial Ecológico. A pressão exercida pelas descargas poluentes, de origem urbana e industrial, geradas na bacia hidrográfica própria da albufeira de Castelo do Bode é reduzida, e o incremento da eficiência de tratamento das águas residuais, com a excepção da redução da carga poluente determinada pelo hipotético tratamento terciário de todas as descargas existentes na bacia hidrográfica própria da albufeira, e incluindo as descargas realizadas na área de intervenção do PEACB, teria um efeito pouco sensível sobre a qualidade da água da albufeira. No entanto, importa referir que a redução da carga de P-PO₄, de N-NO_x e de CBO₅, gerada pelo sector da pecuária e nas áreas agrícolas e florestais existentes na bacia hidrográfica própria da albufeira de Castelo do Bode, poderia determinar melhorias significativas na correspondente qualidade da água. Adicionalmente, considera-se que a implementação do cenário prospectivo *Minimalista*, definido no PGRH Tejo e Ribeiras do Oeste, pode ter um impacto com alguma relevância na qualidade da água da albufeira. Finalmente, em função da análise realizada, considera-se que a albufeira de Castelo do Bode não deverá receber mais de 29 kg P-PO₄/dia, 2 683 kg N-NO_x/dia e de 19 809 kg CBO₅/dia. Finalmente, importa destacar a importância do processo de atribuição de títulos de utilização de recursos hídricos e, conseqüentemente, da estimativa da carga poluente afluente à massa de água em estudo. Neste contexto, e em função das características específicas da albufeira de Castelo do Bode, recomenda-se às diferentes partes interessadas a melhoria do sistema de monitorização da qualidade da água e da rede meteorológica, bem como a actualização periódica do processo de simulação descrito no presente estudo. Adicionalmente, considera-se relevante que haja algum investimento em estudos científicos que permitam estimar taxas de exportação da CBO₅, P e N, geradas pelas diferentes fontes de poluição.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à APA e à EDP por todo o apoio prestado, nomeadamente, no que se refere à disponibilização dos dados de base que permitiram o desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APA - Avaliação das cargas de poluição difusa geradas em Portugal Continental. Agência Portuguesa do Ambiente, 2014.

APA - Plano de Gestão de Região Hidrográfica – Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste (RH5). Agência Portuguesa do Ambiente, 2016.

Cole, T. M. e Wells, S. A. - CE-QUAL-W2. A Two Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.72 User manual. Instruction Report E-95-1, US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 2015.

EPAL - Avaliação do Risco de Poluição das Origens Superficiais de Castelo do Bode e de Valada do Ribatejo – Contribuição para o Plano de Segurança da Água da EPAL, 2015.

DWA - ATV-DVWK-A 131E, Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants. German Association for Water, Wastewater and Waste. Publicado: DWA, 2000.

INAG, I.P. - Modelação Matemática da Qualidade da Água em Albufeiras com Planos de Ordenamento – I – Albufeira de Castelo do Bode. Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território. Instituto da Água, I.P, 2011 a).

INAG, I.P. - Modelação Matemática da Qualidade da Água em Albufeiras com Planos de Ordenamento – II – Albufeira de Castelo do Bode - Impacto da navegação recreativa a motor. Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território. Instituto da Água, I.P., 2011 b).

OCDE, Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico - Eutrophication of Waters – Monitoring Assessment and Control. OECD (ed.), Paris. 1982, 125 pp.

LEGISLAÇÃO

Decreto-Lei n.º 80/2015, de 14 de Maio

Despacho n.º 5797/2018, de 12 de Junho

Resolução do Conselho de Ministros n.º 69/2003 de 10 de Maio

Resolução do Conselho de Ministros n.º 45/2002 de 13 de Março