



Ministério da Agricultura,  
Mar, Ambiente e  
Ordenamento do Território



INSTITUTO  
DA ÁGUA, I.P.

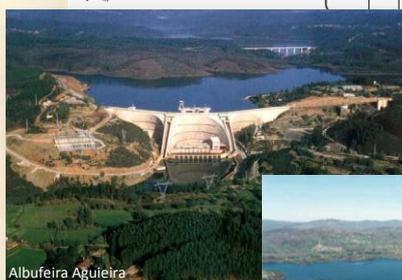
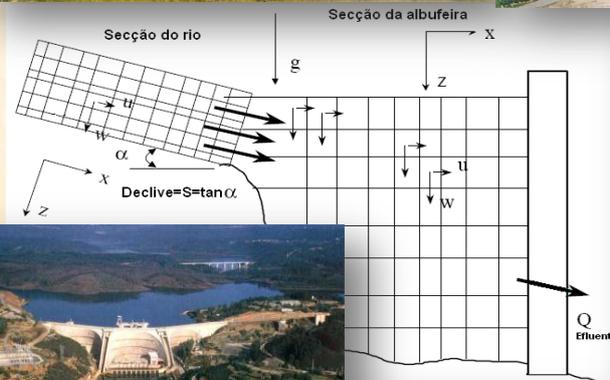
# MODELAÇÃO MATEMÁTICA DA QUALIDADE DA ÁGUA EM ALBUFEIRAS COM PLANOS DE ORDENAMENTO



Albufeira Santa Clara



Albufeira Castelo do Bode



Albufeira Agueira



Albufeira Alto Rabagão



Image courtesy of MODIS Rapid Response Project at NASA/GSFC - Fogos activos no norte e centro do país 24/08/2005



Albufeira Crestuma-Lever

## VII - ALBUFEIRA DE CRESTUMA-LEVER





# MODELAÇÃO MATEMÁTICA DA QUALIDADE DA ÁGUA EM ALBUFEIRAS COM PLANOS DE ORDENAMENTO

## VII - ALBUFEIRA DE CRESTUMA-LEVER

O trabalho de modelação matemática de qualidade da água da Albufeira de Crestuma-Lever foi desenvolvido no âmbito de uma parceria técnico e científica entre o Instituto da Água, I.P e a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Este documento deve ser citado do seguinte modo:

INAG, I.P. 2011. *Modelação Matemática da Qualidade da Água em Albufeiras com Planos de Ordenamento – VII – Albufeira de Crestuma-Lever*. Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território. Instituto da Água, I.P.

### **AUTORES:**

PEDRO SANTOS COELHO  
MANUEL ALMEIDA

### **COLABORADORES:**

FELISBINA QUADRADO  
MARGARIDA ALMODOVAR

**DEZEMBRO DE 2011**

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, MAR, AMBIENTE E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO**

**EDIÇÃO**

Instituto da Água, I.P.

**COORDENAÇÃO**

Departamento de Ordenamento e Regulação do Domínio Hídrico  
Divisão de Administração das Utilizações

**PRODUÇÃO GRÁFICA, IMPRESSÃO E ACABAMENTO**

Instituto da Água, I.P.

**DEZEMBRO, 2011**

# Nota Introdutória



Dr. Orlando Borges  
Presidente do Instituto da Água, I.P

No âmbito das competências do Instituto da Água, I.P. em assegurar a nível nacional a execução da política no domínio dos recursos hídricos garantindo a sua gestão sustentável, as albufeiras de águas públicas assumem uma importância estratégica, não só pela sua relevância em termos económicos e sociais, mas também pela sua sensibilidade em termos ambientais.

As albufeiras constituem massas de água fortemente modificadas, cujo estado está essencialmente dependente dos usos existentes. A compatibilização destes usos com o atingir do bom potencial ecológico e do bom estado do químico é uma obrigação que assiste a Portugal desde 2000, e que deverá ser atingido até 2015. Os problemas de contaminação, risco de eutrofização e conflitualidade de usos dificultam o atingir deste objectivo tão exigente, expresso na Directiva Quadro da Água e transposto para a Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro.

O planeamento estratégico é assim um dos principais vectores que permite conciliar as diferentes utilizações e definir as medidas necessárias para proteger e melhorar a qualidade da água em geral e em particular destes meios lânticos.

Os Planos de Ordenamento das Albufeiras de Águas Públicas (POAAP), também designados como Planos de Ordenamento das Albufeiras (POA), são planos especiais de ordenamento do território que estabelecem níveis de protecção para o território por eles abrangido, tendo em vista a protecção e valorização dos recursos hídricos na sua área de intervenção, de modo a assegurar a sua utilização sustentável. São instrumentos de gestão do território que vinculam a Administração Pública e os particulares.

A promoção destes Planos, da responsabilidade do INAG, concorre para a melhoria e preservação da qualidade da água da albufeira, estabelecendo regimes de protecção que, em primeira instância, permitem estabelecer medidas tendentes ao controlo das fontes de poluição identificadas na zona terrestre de protecção (500m acima do NPA) e identificar os usos proibidos, condicionados e permitidos no plano de água, tendo a preocupação em salvaguardar os usos principais (abastecimento, rega ou produção de energia) e assegurar o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos. Os POA são instrumentos que determinam o modo como o território envolvente às albufeiras e as próprias albufeiras podem ser utilizadas considerando a capacidade do meio e dos sistemas que o constituem, promovendo o desenvolvimento das regiões que se inserem, sem

comprometer os recursos em presença e em particular os recursos hídricos. Estes Planos preconizam um modelo de desenvolvimento sustentável para territórios com características únicas, fruto da presença de reservatórios artificiais de água, para os quais se estabelece um patamar de exigências, tanto em termos de medidas como de instrumentos de gestão e de fiscalização.

Assim, cientes das exigências, cada vez mais complexas, a nível da garantia do bom estado nas massas de água fortemente modificadas e para assegurar que as medidas preconizadas nos POA serão conducentes para este objectivo, minimizando os riscos de eutrofização e articulando os diferentes usos, tornou-se evidente a necessidade de desenvolver instrumentos que permitam avaliar, para diferentes cenários de simulação definidos em função das opções dos POA, a evolução da qualidade da água. A utilização de modelos matemáticos foi o caminho escolhido, dado que constituem ferramentas de excelência para suporte à decisão e compreensão do comportamento das massas de água estudadas e para avaliar as estratégias definidas para a sua gestão sustentável.

Dada a especificidade dos estudos a realizar foi promovido uma colaboração científica com a Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Nova de Lisboa atendendo ao seu reconhecido mérito nestas matérias.

A equipa do Departamento de Ciências e Tecnologia, liderada pelo Prof. Pedro Santos Coelho, que integra o Eng. Manuel Almeida e o Eng. Nelson Mateus, numa estreita e muito profícua colaboração técnica e científica com a equipa do INAG, constituída pela Arq. Margarida Almodovar e pela Eng.ª Felisbina Quadrado, desenvolveram uma série de estudos, que constituem instrumentos essenciais na gestão das massas de água seleccionadas.

Entre 2003 e 2011 foram desenvolvidos estudos que envolveram cinco albufeiras com POA aprovado, designadamente Castelo do Bode, Aguieira, Santa Clara, Alto Rabagão e Crestuma-Lever, seleccionadas por serem aquelas que, quer pela dimensão do plano de água, quer pela relevância dos usos principais a que estão associadas, desempenham uma função estratégica, aliada ao facto de terem sido identificados factores de pressão sobre a albufeira e zona terrestre envolvente. Assim e sobre a temática “Modelação Matemática da Qualidade da Água em Albufeiras com Planos de Ordenamento” foram desenvolvidos os seguintes Relatórios :

- I. Albufeira de Castelo do Bode.
- II. Albufeira de Castelo do Bode - Impacto da navegação recreativa a motor.
- III. Albufeira da Aguieira.
- IV. Albufeira de Santa Clara.
- V. Efeito de fogos florestais no regime de escoamento e na qualidade da água de rios e albufeiras.
- VI. Albufeira do Alto Rabagão.
- VII. Albufeira de Crestuma-Lever.
- VIII. Incremento dos valores da concentração de fósforo entre 2005 e 2006.

Que pela sua relevância e interesse importa agora partilhar, num momento em que se encerra um ciclo importante da gestão dos recursos hídricos.

Lisboa, Dezembro de 2011.

## ÍNDICE

1 - Introdução .....	3
2 - Principais características da albufeira e da barragem do Crestuma-Lever .....	5
3 - Análise da evolução da qualidade da água na albufeira de Crestuma-Lever .....	9
4 - Análise da evolução anual da qualidade da água das albufeiras nacionais localizadas no rio Douro .....	25
5 - Análise da evolução anual do volume da albufeira de Crestuma-Lever .....	34
6 - Principais características do modelo CE-QUAL-W2 .....	38
7 - Representação conceptual do sistema a modelar .....	40
8 - Dados necessários ao funcionamento do modelo e estimativa das cargas poluentes afluentes à albufeira de Crestuma-Lever .....	42
8.1 - Dados hidrológicos .....	42
8.2 - Dados meteorológicos .....	42
8.3 - Dados de qualidade da água das afluências ao sistema .....	44
8.4 - Cargas poluentes geradas na bacia hidrográfica da albufeira de Crestuma-Lever .....	46
8.4.1 - Introdução .....	46
8.4.2 - Carga poluente gerada na bacia própria da albufeira de Crestuma-Lever .....	47
8.4.3 - Carga poluente gerada na área de intervenção do POACL .....	55
8.4.4 - Empreendimentos turísticos localizados na área de intervenção do POAAR .....	62
8.4.5 - Sistemas de tratamento de águas residuais .....	65
8.4.6 - Actividades industriais .....	71
9 - Aplicação de modelos simplificados de simulação da concentração de fósforo na albufeira de Crestuma-Lever .....	72
10 - Calibração do modelo CE-QUAL-W2 .....	76
10.1 - Introdução .....	76
10.2 - Condições iniciais de simulação .....	76
10.3 - Verificação do balanço de volumes .....	77
10.4 - Resultados obtidos no processo de calibração .....	78
10.4.1 - Introdução .....	78
10.4.2 - Temperatura .....	79
10.4.3 - Oxigénio dissolvido .....	82
10.4.4 - Carência bioquímica de oxigénio .....	85
10.4.5 - Nitratos e nitritos .....	86
10.4.6 - Azoto amoniacal .....	87
10.4.7 - Ortofosfatos .....	88
10.4.8 - Clorofila-a .....	88
10.4.9 - pH .....	89
10.4.10 - Coliformes totais .....	90
10.4.11 - Coliformes fecais .....	91
11 - Cenários de simulação .....	93
11.1 - Introdução .....	93

---

11.2 - Definição dos cenários de simulação .....	93
11.3 - Integração dos cenários de simulação.....	95
12 - Resultados obtidos .....	108
12.1 - Introdução .....	108
12.2 - Cenário R0 / Cenário R1.....	108
12.3 - Cenário 1.....	111
12.4 - Cenário 2.....	114
12.5 - Cenário 3.....	117
12.6 - Cenário 4.....	120
12.7 - Cenário 5.....	123
12.8 - Cenário 6.....	126
12.9 - Cenário 7.....	129
13 - Definição de um modelo de simulação dos valores médios de temperatura da água e da concentração de oxigénio dissolvido através da aplicação de uma série de Fourier .....	133
14 - Conclusões.....	137
15 - Bibliografia .....	140

## 1. INTRODUÇÃO

O Instituto da Água (INAG) e o Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (DCEA/FCT/UNL), celebraram um protocolo relativo à colaboração técnico-científica na área da simulação matemática da qualidade da água das albufeiras do Alto Rabagão e de Crestuma-Lever.

No âmbito desse protocolo, e no que ao presente relatório diz respeito, considerou-se a aplicação e calibração do modelo bidimensional de simulação matemática da hidrodinâmica e da qualidade da água CE-QUAL-W2 à albufeira de Crestuma-Lever, bem como o desenvolvimento de cenários de simulação considerando as opções do correspondente Plano de Ordenamento.

Assim, o presente relatório adopta uma estrutura que, para além da presente Introdução, assenta na apresentação dos seguintes elementos:

- ◆ - Principais características da barragem e da albufeira de Crestuma-Lever;
- ◆ - Análise da evolução da qualidade da água da albufeira de Crestuma-Lever;
- ◆ - Análise da evolução da qualidade da água nas albufeiras nacionais localizadas no rio Douro;
- ◆ - Principais características do modelo CE-QUAL-W2;
- ◆ - Representação conceptual adoptada para a albufeira de Crestuma-Lever;
- ◆ - Dados necessários ao funcionamento do modelo CE-QUAL-W2;
- ◆ - Estimativa das cargas poluentes afluentes à albufeira de Crestuma-Lever ;
- ◆ - Aplicação de modelos simplificados de simulação da concentração de fósforo na albufeira de Crestuma-Lever;
- ◆ - Calibração do modelo CE-QUAL-W2;
- ◆ - Definição de cenários de simulação;
- ◆ - Definição de um modelo de simulação dos valores de temperatura da água e do oxigénio dissolvido através da aplicação de uma série de Fourier;
- ◆ - Conclusões.

A definição dos cenários de simulação da qualidade da água da albufeira de Crestuma-Lever, teve como principal objectivo avaliar o efeito das restrições estabelecidas pelo regulamento do POACL relativamente ao saneamento básico da sua área de intervenção, constituída pelo plano de água, e zona terrestre de protecção com a largura de 500 m contada a partir do nível de pleno armazenamento da albufeira (NPA) - cota 13 m - medidos em projecção horizontal.

A metodologia considerada na análise realizada baseou-se, inicialmente, na caracterização da situação de referência da massa de água, relativamente ao período temporal compreendido entre os anos civis de 2000 – 2010.

Após a quantificação de todas as cargas poluentes afluentes à albufeira, tendo como base os conceitos de carga estimada unitária e de eficiência de remoção, associada aos diferentes sistemas de tratamento de águas residuais, procedeu-se à calibração do modelo que posteriormente foi utilizado na simulação dos diferentes cenários considerados.

## 2. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA ALBUFEIRA E DA BARRAGEM DO CRESTUMA-LEVER

A barragem de Crestuma-Lever concluída em 1985, localiza-se no concelho do Porto, a aproximadamente 20 km da foz do rio Douro. Ao longo do seu curso entre a nascente na serra de Urbion, e a foz, no Oceano Atlântico, o rio percorre 930 km, dos quais, 195 km em Portugal e 600 km em Espanha, sendo que nos restantes 135 km, localizados entre Miranda do Douro e Barca de Alva, o rio constitui a fronteira entre os dois países, usualmente designado Douro internacional (Figura 1).

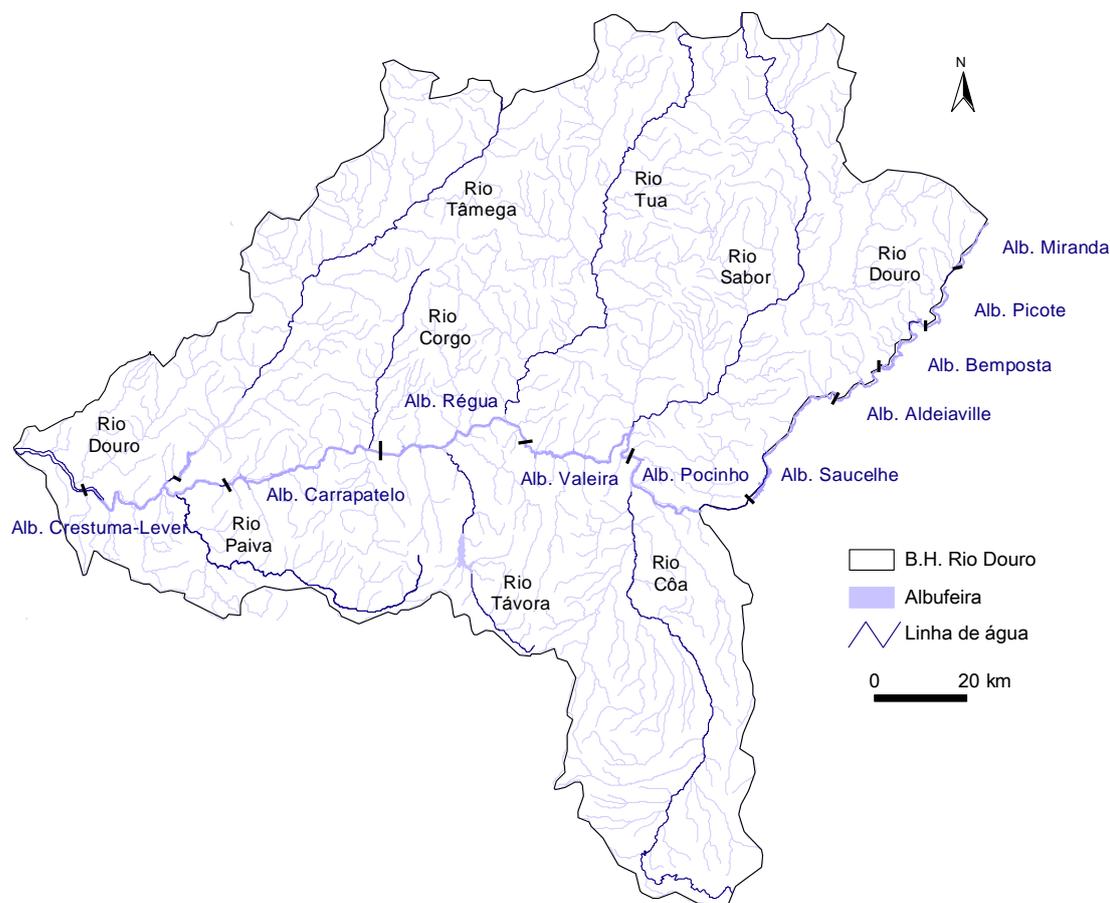
A bacia hidrográfica do rio Douro é maior da Península Ibérica, com uma área total de 97 600 km<sup>2</sup>, dos quais 18 600 (19%), se localizam em Portugal e 70 000 (81%) em Espanha.



Figura 1. Península Ibérica

A bacia hidrográfica do rio Douro, enquadra-se de acordo com o artigo 6.º da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, na Região Hidrográfica RH3, sob a jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Norte, onde se incluem também as bacias hidrográficas do Vouga, Mondego, Lis e Ribeiras do Oeste.

A montante da albufeira de Crestuma-Lever localizam-se as albufeiras de Miranda, Picote, Bemposta, Aldeadávila, Saucelhe, Pocinho, Valeira, Régua e Carrapatelo (Figura 2).

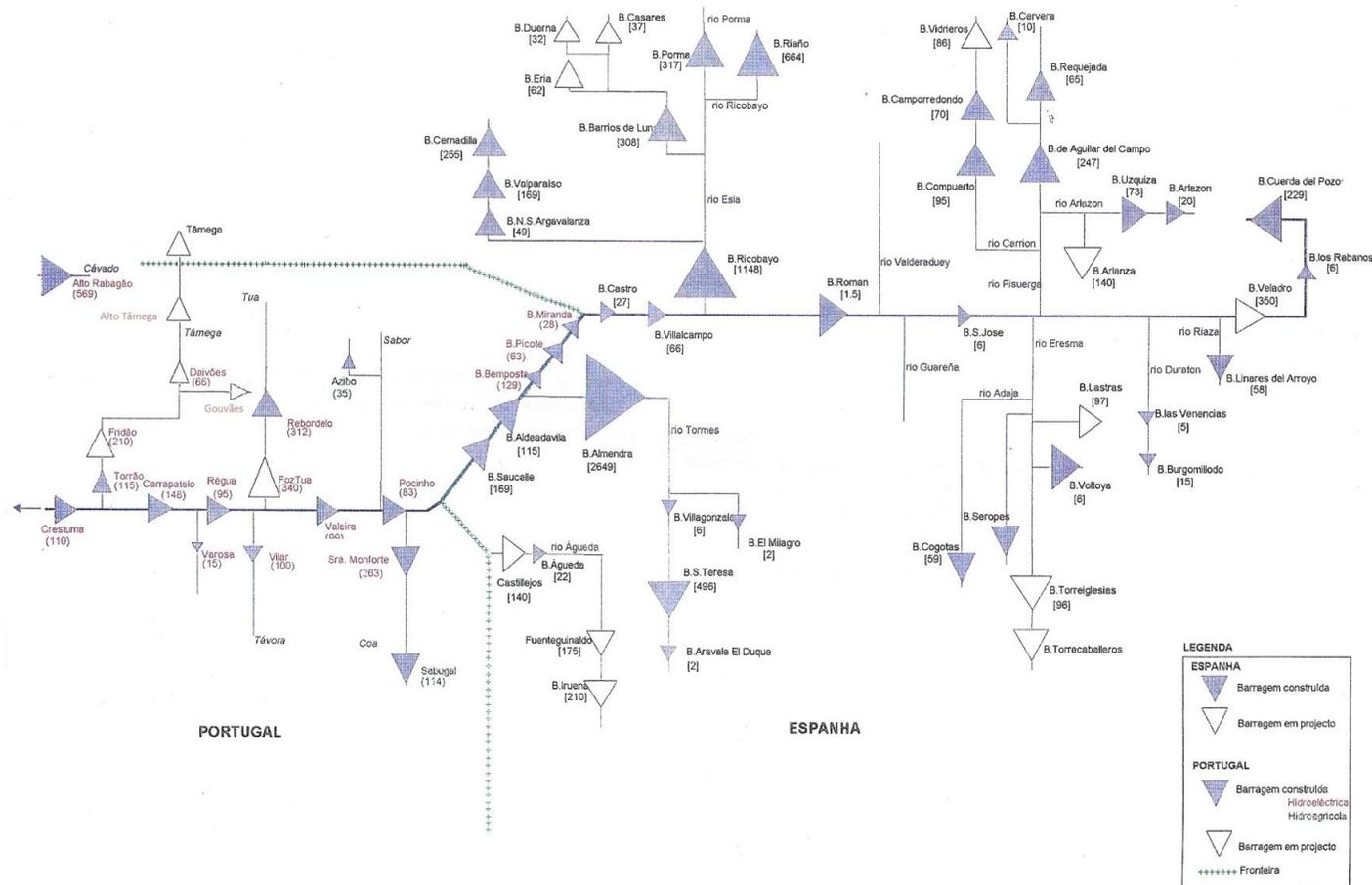


**Figura 2.** Bacia hidrográfica do rio Douro

A área drenante para a albufeira de Crestuma-Lever é de aproximadamente 96 933 km<sup>2</sup>. A bacia própria da albufeira representa 0.52% da área drenante total, 501 km<sup>2</sup>.

O valor médio de precipitação total anual ponderada sobre a área da bacia hidrográfica do rio Douro é de 700 mm (valor obtido para o período temporal compreendido entre 1940/41 a 1985/86). A parte portuguesa da bacia tem um valor médio de precipitação total ano superior ao observado na parte espanhola, 960 mm e 640 mm respectivamente (INAG/COBA, 1995).

Na Figura 3 pode observar-se o número de aproveitamentos hidráulicos existentes em toda a bacia hidrográfica do rio Douro até ao ano de 1995. Em Portugal o número de albufeiras com uma dimensão significativa manteve-se até ao ano de 2011 inalterado, o mesmo não acontecendo com as albufeiras, que em 1995 estavam em fase de projecto.



APROVEITAMENTOS HIDRÁULICOS EXISTENTES E EM PROJECTO NA BACIA DO DOURO

Figura 3. Aproveitamentos hidráulicos existentes e em projecto na bacia hidrográfica do rio Douro (Adaptada: INAG/COBA, 1995)

A albufeira de Crestuma-Lever apresenta um comprimento de cerca de 43 km, inunda uma área de 1 298 ha, ao Nível de Pleno Armazenamento (NPA), que é de 13.2 m, e tem uma capacidade total de armazenamento de 110 hm<sup>3</sup>.

A albufeira de Crestuma-Lever é a principal origem de água para a Área Metropolitana do Porto, a partir da constituição da empresa de Águas do Douro e da construção da ETA de Lever. A importância da albufeira para abastecimento de água é actualmente vital no conjunto dos seus usos (INAG/COBA, 1995), para além de constituir um uso prioritário de acordo com a Lei da Água. A produção de energia eléctrica, a utilização de água para rega, a navegação, a actividade balnear e a pesca são também outros usos existentes na albufeira.

No Quadro 1, são apresentadas as principais características da barragem e da albufeira de Crestuma-Lever, bem como dos órgãos de segurança da barragem.

**Quadro 1. Características da barragem de Crestuma-Lever**

<b>CARACTERÍSTICAS DA BARRAGEM</b>
Tipo de aproveitamento – Hidroeléctrico – Fio de água Localização – Distrito do Porto, Concelho do Porto Betão – Gravidade Altura acima da fundação – 65 m Cota do coroamento – 25.5 m Desenvolvimento do coroamento – 470 m Fundação – Xisto Volume de betão – 205 x 1000 m <sup>3</sup>
<b>CARACTERÍSTICAS DOS DESCARREGADORES DE CHEIA</b>
Número – 8 Localização – No corpo da barragem Comportas – Oito comportas Caudal máximo descarregado – 26 000 m <sup>3</sup> /s
<b>CARACTERÍSTICAS DA CENTRAL HIDROELÉCTRICA</b>
Tipo de central – Contínua à barragem Nº de grupos instalados – 3 Tipo de grupos – Kaplan Potência total Instalada - 108 MW Energia produzida em ano médio - 366,9 GWh
<b>CARACTERÍSTICAS DA ALBUFEIRA DE CRESTUMA -LEVER</b>
Capacidade total – 110 000 dam <sup>3</sup> Capacidade útil – 22 500 dam <sup>3</sup> Volume morto – 87 500 dam <sup>3</sup> NPA – 13.2 m NMC – 21.5 m

Fonte: Sítio da Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens – <http://cnpgeb.inag.pt/>

### 3. ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA ALBUFEIRA DE CRESTUMA-LEVER

Os dados de qualidade da água utilizados na análise realizada foram obtidos através do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), do Instituto da Água (INAG), considerando a estação de qualidade da água existente na albufeira - Albufeira de Crestuma-Lever (07G/04).

O período temporal analisado, 22 anos (1988 – 2010), permitiu avaliar a tendência de evolução da qualidade da água na albufeira, considerando os critérios de qualidade para a produção de água para consumo humano, uso balnear e para águas destinadas à rega, que constam do Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, que regula a qualidade das águas doces superficiais para diferentes usos.

A avaliação do estado trófico da albufeira foi realizada comparando a média geométrica da concentração de oxigénio dissolvido (OD), clorofila-a e fósforo total (P<sub>total</sub>), com a classificação do estado trófico das massas de água doce superficiais estabelecida pelo INAG (Quadro 2). Considerou-se igualmente o índice do estado trófico de Carlson (Carlson, 1977) (Quadro 3).

O índice de Carlson foi calculado para os parâmetros P<sub>total</sub> e clorofila-a, através das equações 1 e 2. A utilização deste índice facilita a observação de possíveis relações entre os parâmetros avaliados, uma vez que estes estão correlacionados linearmente, gerando um contínuo de valores definidos num único intervalo de variação, compreendido entre 0 e 100.

$$\text{TSI (P total)} = 14.42 * \text{Ln (P total)} + 4.15 \quad (1)$$

$$\text{TSI (Cla)} = 9.81 * \text{Ln (Cla)} + 30.6 \quad (2)$$

**Quadro 2.** Grelha de classificação do estado trófico em albufeiras (INAG)

Parâmetro	OLIGOTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO
Fósforo Total (mg P/m <sup>3</sup> )	< 10	10 - 35	> 35
Clorofila-a (mg/m <sup>3</sup> )	< 2.5	2.5 - 10	> 10
OD %	-	-	< 40

**Quadro 3.** Índice do estado trófico de Carlson (Carlson, 1977)

Classificação	ULTRA OLIGOTRÓFICO	OLIGOTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO	HIPER EUTRÓFICO
índice	< 20	20 - 40	40 - 50	50 - 60	> 60

A análise do estado trófico foi igualmente realizada para as albufeiras de Carrapatelo e do Torrão, em função da influência que estas albufeiras têm na qualidade da água da albufeira de Crestuma-Lever.

Adicionalmente aplicaram-se os critérios definidos pelo INAG para a classificação do Estado de massas de água fortemente modificadas – albufeiras, que visam cumprir o objectivo estabelecido na Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000, de alcançar um Bom Estado das águas de superfície em 2015.

A Directiva Quadro da Água define Massa de Água Fortemente Modificada como uma massa de água que, em resultado de alterações físicas derivadas da actividade humana, adquiriu um carácter substancialmente diferente. Para as massas de água designadas como fortemente modificadas aplica-se o conceito de Potencial Ecológico, que representa o desvio que a qualidade do ecossistema aquático da massa de água apresenta relativamente ao máximo que pode atingir, após implementação de todas as medidas de mitigação que não têm efeitos adversos significativos sobre os usos específicos ou no ambiente em geral. O estado de uma massa de água de superfície fortemente modificada é definido em função do pior dos dois Estados, Potencial Ecológico ou Químico. Para alcançar o objectivo do Bom Estado a Directiva requer que as massas de água de superfície fortemente modificada atinjam pelo menos o Bom Potencial Ecológico e o Bom Estado Químico (INAG, 2009).

Deve referir-se que a análise que se pretende realizar não tem como objectivo a obtenção de uma classificação do estado da albufeira de Crestuma-Lever, mas sim a avaliação dos parâmetros que foram simulados neste trabalho, relativamente aos indicadores e limiares máximos estabelecidos para os mesmos.

No âmbito do presente trabalho serão considerados os indicadores para a aplicação dos elementos biológicos em massas de água fortemente modificadas- albufeiras (Quadro 4), e os limiares máximos para os parâmetros físico-químicos gerais para o estabelecimento do Bom Potencial Ecológico em massas de água fortemente modificadas – albufeiras (Quadro 5).

**Quadro 4.** Limiares máximos para os parâmetros físico-químicos gerais para o estabelecimento do Bom Potencial Ecológico em massas de água fortemente modificadas - albufeiras) (INAG, 2009)

Tipo de Albufeira	Componente	Indicador	Valor de referência	Exc./Bom (RQE)	Bom/Raz. (RQE)*	Raz./Med. (RQE)	Med./Mau (RQE)
Norte	Biomassa	Clorofila-a (mg/m <sup>3</sup> )	2.00	-	9.50 (0.21)	-	-

\* Média das amostras de Verão

Para o indicador Clorofila-a o valor expresso em Rácios de Qualidade Ecológica (RQE) é obtido da seguinte forma:

$$RQE=(1/Valor\ obtido)/(1/valor\ de\ referência) \quad (3)$$

**Quadro 5.** Limiares máximos para os parâmetros físico-químicos gerais para o estabelecimento do Bom Potencial Ecológico em massas de água fortemente modificadas - albufeiras) (INAG, 2009)

Parâmetro	Agrupamento Norte Limite para o bom estado
Oxigénio Dissolvido <sup>(1)</sup>	> 5 mg O <sub>2</sub> /L
Taxa de Saturação em Oxigénio <sup>(1)</sup>	entre 60% e 120%
pH Entre 6 e 9 <sup>(1)</sup>	Entre 6 e 9*
Nitratos <sup>(2)</sup>	<25 mg NO <sub>3</sub> /L
Fósforo Total <sup>(2)</sup>	<0.05 mg P/L

(1) – 80% das amostras se a frequência for mensal ou superior

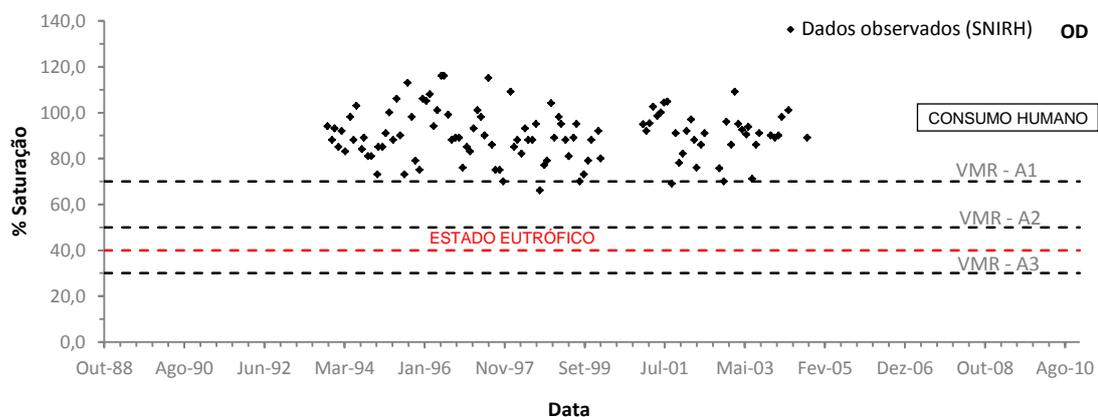
(2) - Média Anual

\* Os limites indicados poderão ser ultrapassados caso ocorram naturalmente

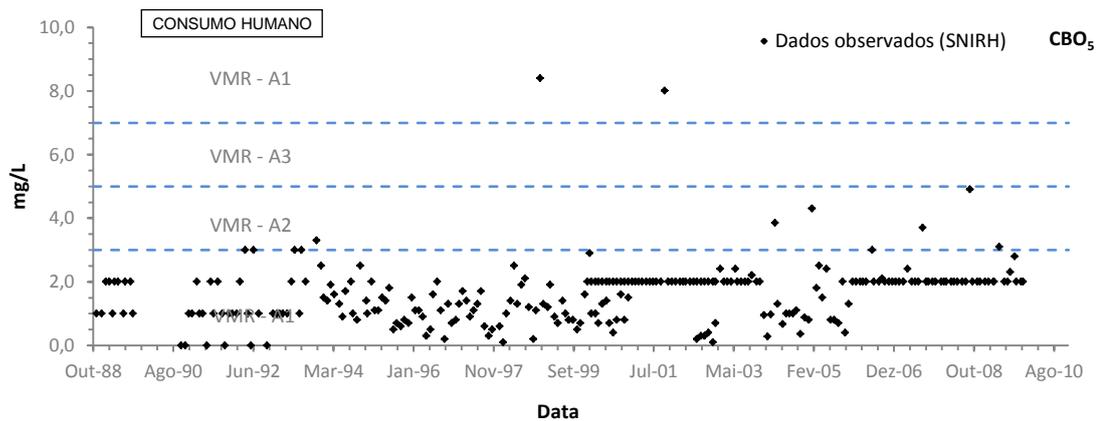
Nas Figuras 4 a 16 representam-se os valores da concentração, à superfície, dos parâmetros descritores da qualidade da água considerados na análise realizada, para o período temporal seleccionado.

Na Figura 4, pode observar-se que, os valores da concentração de OD, expressos em termos de percentagem de saturação, são superiores ao VMR (valor máximo recomendado), para a classe A1 (produção de água para consumo humano), e ao valor que limita a classificação do estado eutrófico para este parâmetro.

Os valores da concentração da carência bioquímica de oxigénio ao fim de 5 dias (CBO<sub>5</sub>) são, em média, inferiores ao VMR da classe A1 (produção de água para consumo humano) (Figura 5), verificando-se pontualmente a existência de alguns valores elevados.

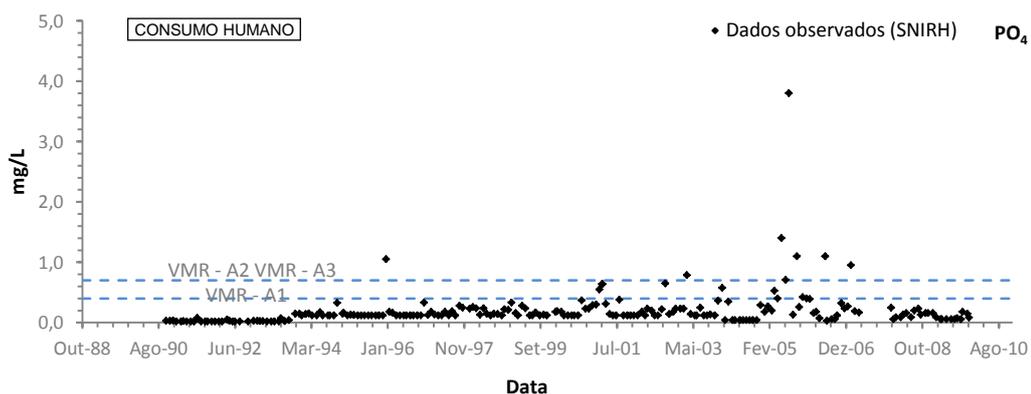


**Figura 4.** Evolução da concentração de OD expressa em percentagem de saturação na albufeira de Crestuma-Lever à superfície



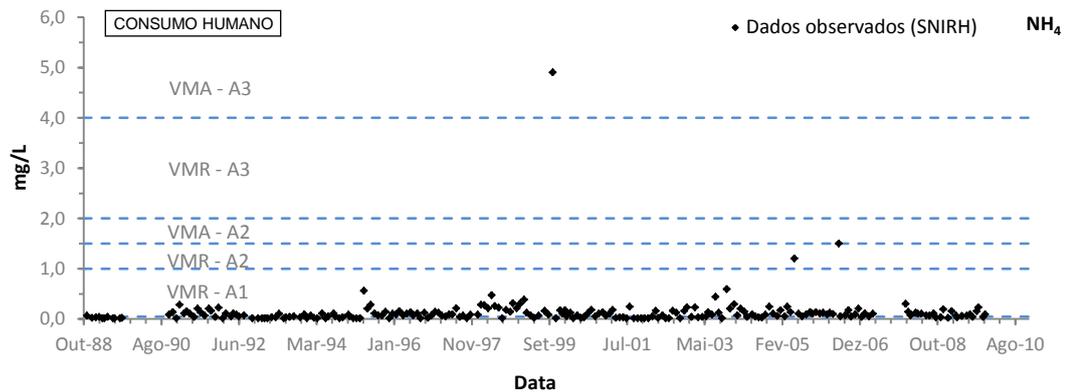
**Figura 5.** Evolução da concentração da  $CBO_5$  na albufeira de Crestuma-Lever à superfície

A análise da Figura 6 permite concluir que os valores da concentração de ortofosfatos ( $PO_4$ ), são inferiores ao VMR da classe A1, para águas destinadas à produção de água para consumo humano, com exceção do período temporal que inclui os anos de 2001 a 2006. O verão dos anos de 2005 e de 2006, corresponde ao período temporal em que se observaram os valores mais elevados da concentração de  $P-PO_4$ . Deve referir-se que no estudo de simulação realizado para albufeira do Alto Rabagão, que se incluiu também no âmbito do presente protocolo, concluiu-se igualmente que durante o verão do ano de 2005 se verificou um incremento significativo da concentração deste parâmetro na albufeira. Nesse estudo considerou-se a possibilidade de os valores elevados de temperatura do ar, que se registaram nesse período temporal, terem promovido o incremento do teor deste parâmetro.



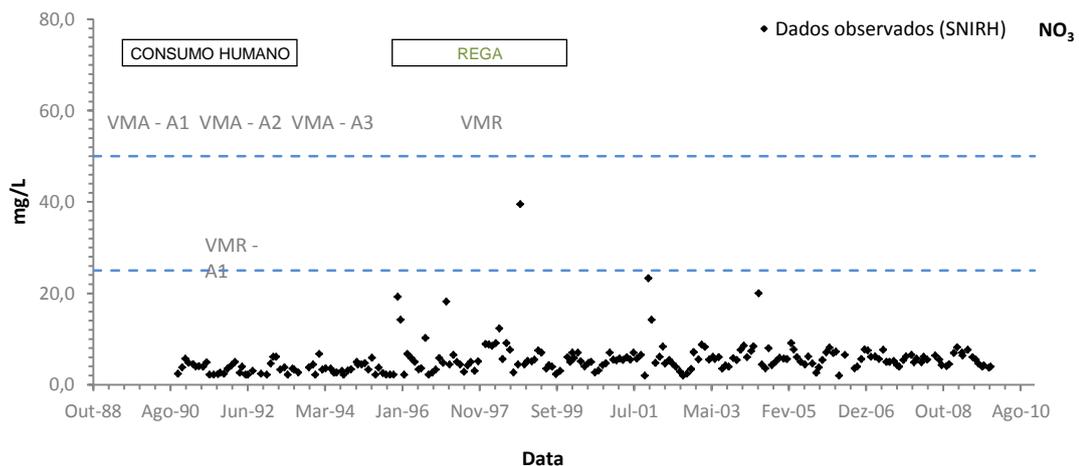
**Figura 6.** Evolução da concentração de ortofosfatos na albufeira de Crestuma-Lever à superfície

Os valores mais elevados da concentração de  $NH_4$  (Figura 7), situam-se entre o VMR das classes A1 e A2, para águas destinadas à produção de água para consumo humano.



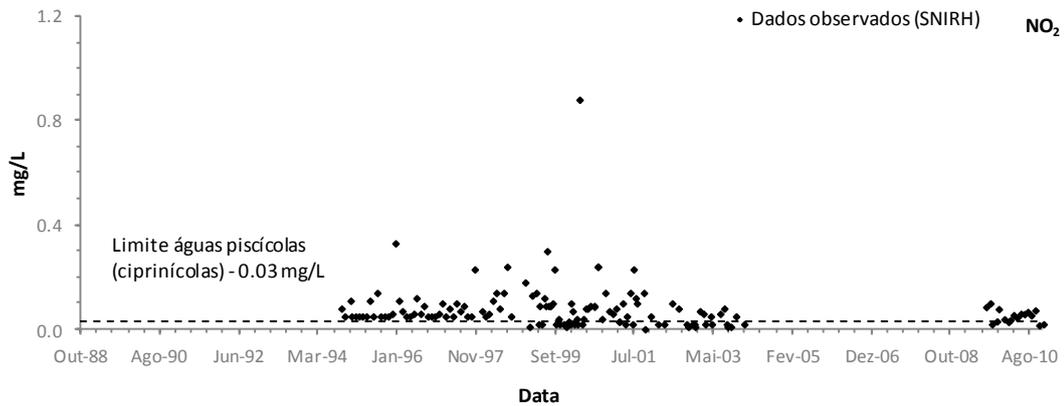
**Figura 7.** Evolução da concentração de azoto amoniacal na albufeira de Crestuma-Lever à superfície

A análise da Figura 8 permite verificar que os valores da concentração de nitratos ( $\text{NO}_3$ ), são maioritariamente inferiores ao VMR da classe A1, para águas destinadas à produção de água para consumo humano, e inferiores ao VMR relativo à qualidade das águas destinadas à rega.



**Figura 8.** Evolução da concentração de nitratos na albufeira de Crestuma-Lever à superfície

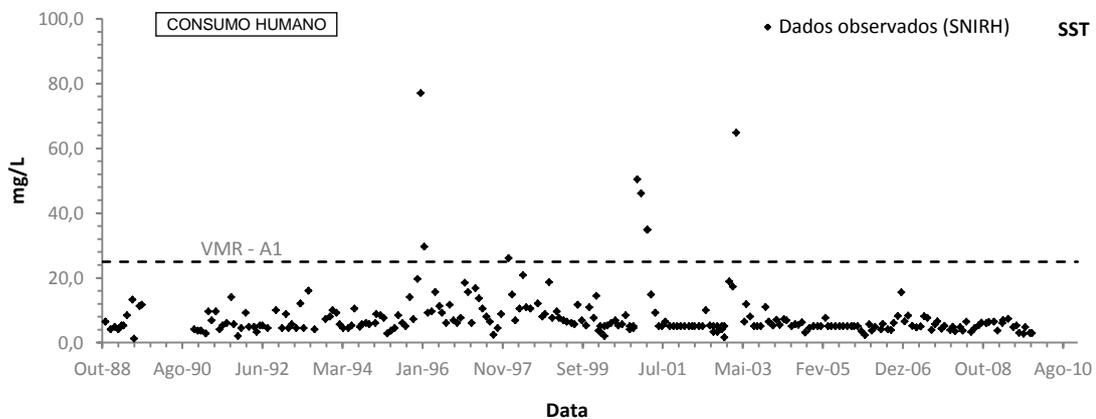
Os valores da concentração de nitritos ( $\text{NO}_2$ ) (Figura 9), indicam que ao longo do período de tempo analisado se manteve um padrão relativamente baixo da concentração deste parâmetro. No entanto, quando se considera o limite definido para as águas piscícolas, cujo valor para espécies ciprinícolas é de 0.03 mg/L verifica-se que a generalidade dos valores da concentração deste parâmetro são superiores ao referido valor limite.



**Figura 9.** Evolução da concentração de nitritos na albufeira de Crestuma-Lever à superfície

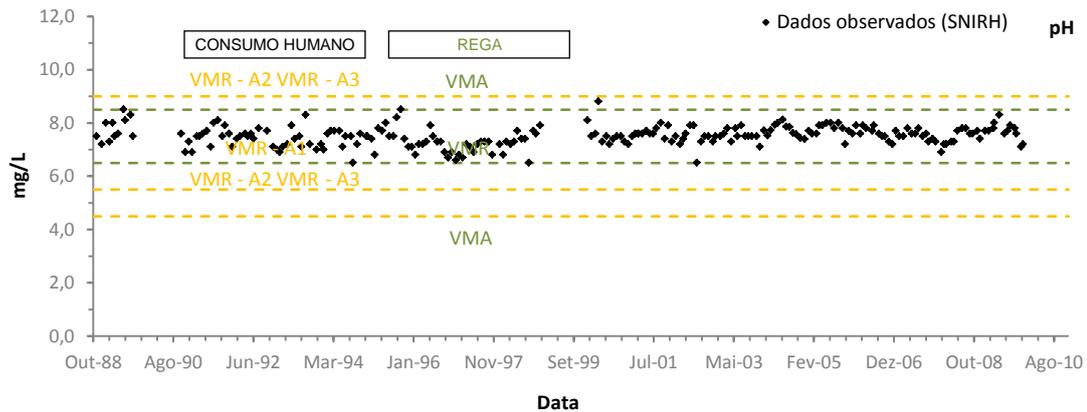
A análise realizada não permitiu identificar um padrão que evidenciasse qualquer interação, directa e quantificável, entre a produção de biomassa algal e o consumo de nutrientes.

Relativamente aos valores da concentração de sólidos suspensos totais (SST) (Figura 10), verifica-se que em média esses valores são sempre inferiores aos limites estabelecidos para o VMR da classe A1, para águas destinadas à produção de água para consumo humano, verificando-se, pontualmente a existência de alguns valores mais elevados.



**Figura 10.** Evolução da concentração de SST na albufeira de Crestuma-Lever à superfície

Os valores de pH observados na albufeira de Crestuma-Lever, à superfície (Figura 11), têm variado ao longo dos anos entre os valores mínimo e máximo de 6.5 e 8.8, respectivamente. Os valores de pH encontram-se, em média, próximo do limite inferior estabelecido para o VMR da classe A1, para águas destinadas à produção de água para consumo humano, e para o VMR relativo à qualidade das águas destinadas à rega.



**Figura 11.** Evolução do pH na albufeira de Crestuma-Lever à superfície

A análise dos valores da concentração de coliformes fecais e totais foi desenvolvida considerando os limites de qualidade referentes à produção de água para consumo humano, uso balnear e para as águas destinadas à rega, consignados no Decreto-Lei n.º236/98, de 1 de Agosto.

O intervalo de variação dos valores da concentração de coliformes determinou que para cada um dos parâmetros se apresentassem duas figuras com escalas diferentes. (Figuras 12 a 15).

Os valores da concentração de coliformes fecais estão em média localizados entre o VMR da classe A1 e A2, considerando os limites de qualidade referentes à produção de água para consumo humano, e inferiores ao VMR atribuído ao uso balnear e à qualidade das águas destinadas à rega.

Os valores de coliformes totais encontram-se também em média localizados entre o VMR da classe A1 e A2, considerando os limites de qualidade referentes à produção de água para consumo humano, e inferiores ao VMR referente ao uso balnear. Nos últimos nove anos, os valores de coliformes totais são em média inferiores ao VMR para a classe A2 (produção de água para consumo humano), e ao VMA para o uso balnear, o que não era usual acontecer, como se pode observar nas figuras 14 e 15.

A ETAR de Lever que serve uma população de 25 000 hab., entrou em funcionamento em 2005 e a ETAR de Crestuma que serve 4 512 hab., em Agosto de 2003. É possível que a entrada em funcionamento destas duas ETAR tenha diminuído significativamente os valores da concentração destes parâmetros.

De uma forma geral, conclui-se que a contaminação de origem microbiológica da albufeira de Crestuma-Lever é actualmente reduzida, em função dos valores de concentração disponíveis. No entanto, deve referir-se que uma amostragem mensal, de parâmetros cujo ciclo de vida não depende de uma função periódica, é insuficiente para a caracterização completa de uma massa de água.

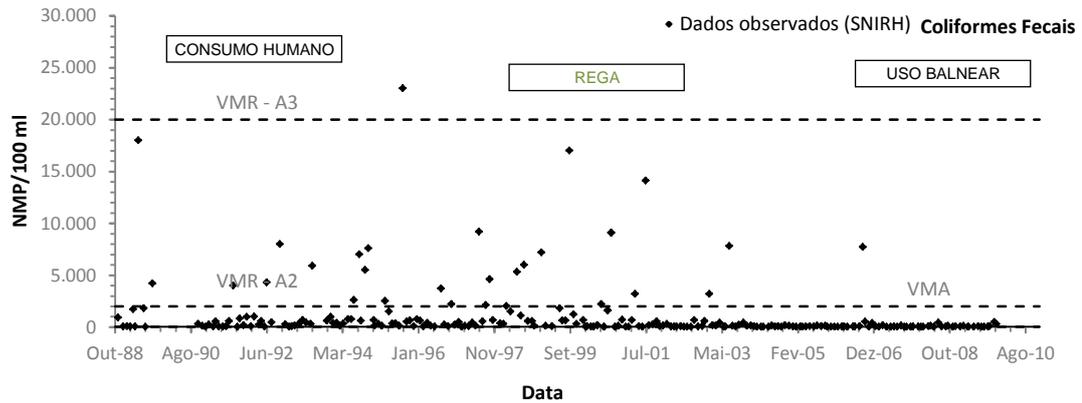


Figura 12. Evolução da concentração de coliformes fecais na albufeira de Crestuma-Lever à superfície.

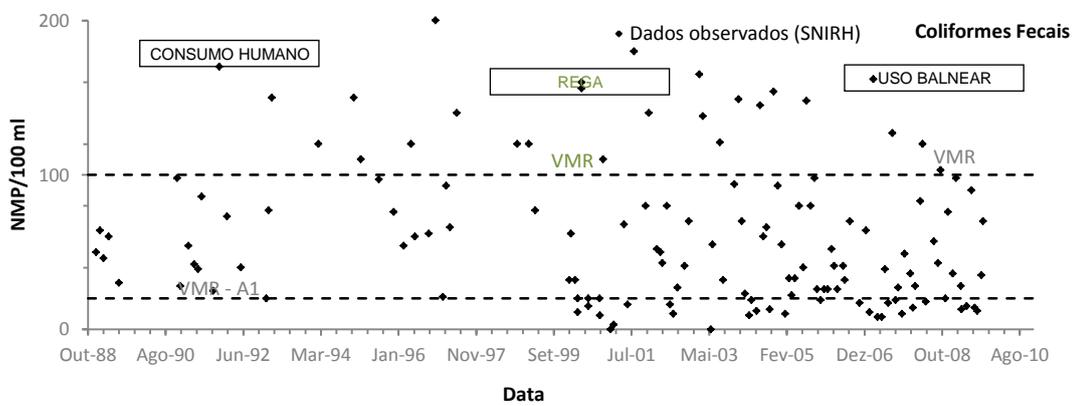


Figura 13. Evolução da concentração de coliformes fecais na albufeira de Crestuma-Lever à superfície II

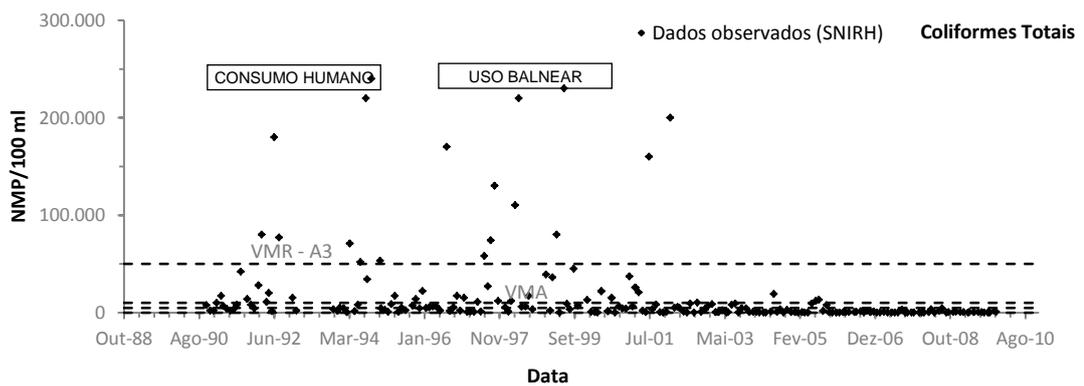
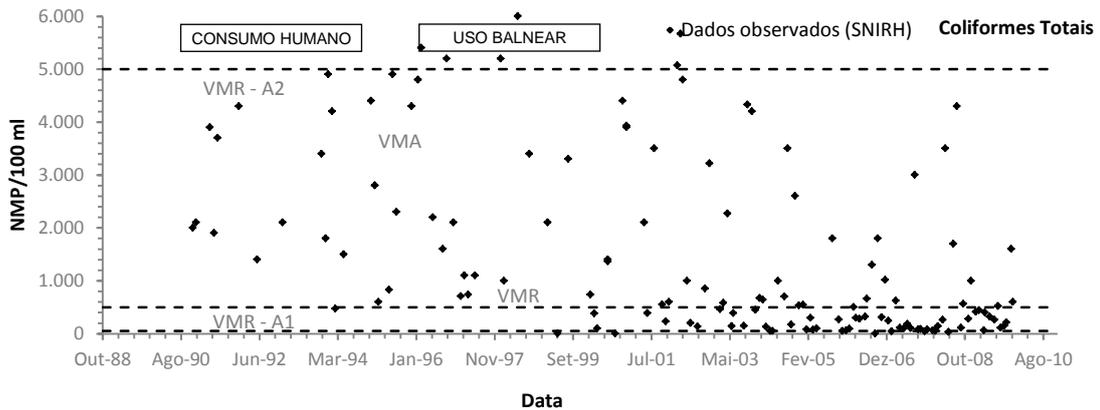


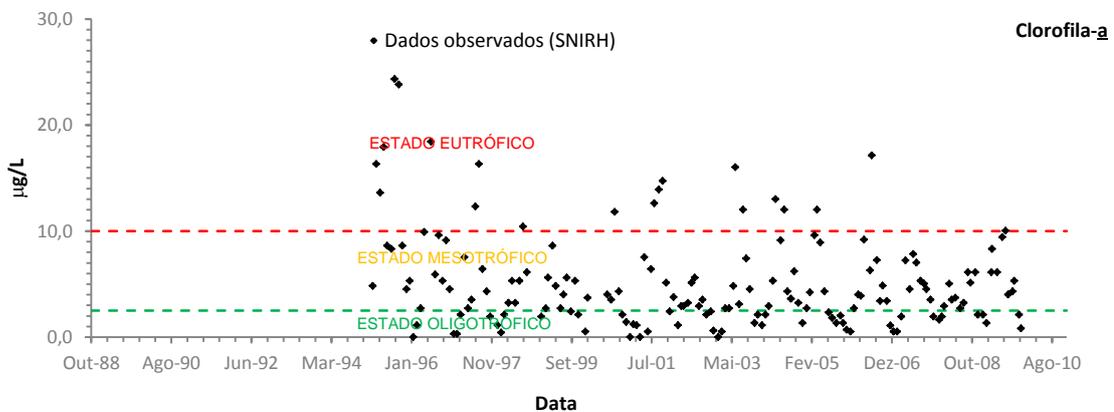
Figura 14. Evolução da concentração de coliformes totais na albufeira de Crestuma-Lever à superfície I



**Figura 15.** Evolução da concentração de coliformes totais na albufeira de Crestuma-Lever à superfície II

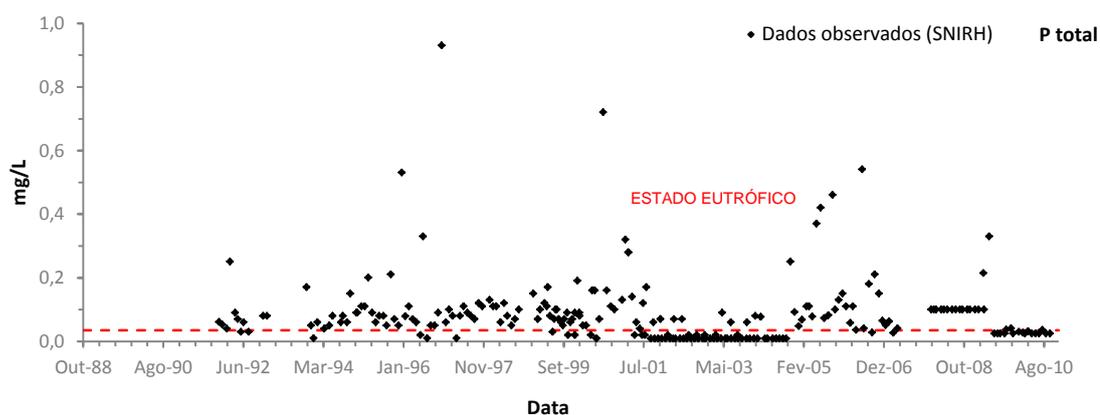
A avaliação do estado trófico da albufeira de Crestuma-Lever deve ser realizada em conjunto com a análise do estado trófico das albufeiras de Carrapatelo e do Torrão, em função da influência que estas massas de água têm na qualidade da água da albufeira em análise.

Na Figura 16, pode observar-se que a média dos valores da concentração de clorofila-a indicam que a albufeira se encontra no estado mesotrófico, se se considerasse para essa classificação exclusivamente este parâmetro. Verifica-se, também, que existem alguns valores de concentração mais elevados, tendo-se registado um máximo de 33.4  $\mu\text{g/L}$  em Junho de 1996.



**Figura 16.** Evolução da concentração de clorofila-a na albufeira de Crestuma-Lever à superfície

Relativamente aos valores da concentração de fósforo total ( $P_{total}$ ) (Figura 17), verifica-se que, em média, estes se situam no intervalo correspondente ao estado eutrófico, tendo-se verificado que o valor mais elevado da concentração deste parâmetro, foi registado durante o mês de Dezembro de 1996, 0.93  $\text{mg/L}$ . Deve no entanto referir-se que entre Junho de 2009 e Novembro de 2010 os valores da concentração deste parâmetro são inferiores ao limite estabelecido para o estado eutrófico.



**Figura 17.** Evolução da concentração de P<sub>total</sub> na albufeira de Crestuma-Lever à superfície

Nos Quadros 6 a 11 é apresentada a classificação do estado trófico das albufeiras de Crestuma-Lever, Carrapatelo e Torrão, de acordo com a grelha de classificação do INAG, bem como através do Índice de Carlson, considerando os valores médios anuais (média geométrica) dos valores de P<sub>total</sub> e de Clorofila-a.

Nos Quadros 6 a 11 são também apresentados os resultados obtidos anualmente, relativamente ao estado trófico de cada uma das albufeiras, de acordo com os dois tipos de classificação considerados. Os resultados obtidos com o Índice de Carlson são também apresentados graficamente, para cada uma das albufeiras, nas Figuras 18, 19 e 20.

**Quadro 6.** Classificação do estado trófico, Albufeira de Crestuma-Lever, Grelha INAG

Ano	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
N (nº valores amostra)	10	11	11	9	11	8	12	12	11	12	12	12	12	12	12	0
Média geométrica Clorofila a µg/L	11.2	6.7	2.9	2.9	3.7	2.8	3.2	2.6	3.5	4.1	3.0	3.8	3.1	3.3	3.9	-
Classif.	E	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	-
N (nº valores amostra)	12	12	11	12	21	29	18	24	17	13	12	12	12	12	12	12
Média geométrica P total µg/L	89.8	89.6	72.3	28.7	71.2	9.3	50.7	12.5	14.2	24.8	126.7	98.8	3.5	100.0	56.4	15.7
Classif.	E	E	E	M	E	O	E	M	M	M	E	E	O	E	E	M

**Quadro 7.** Classificação do estado trófico, Albufeira de Crestuma-Lever, Índice de Carlson

Ano	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
N (nº valores amostra)	10	11	11	9	11	8	12	12	11	12	12	12	12	12	12	0
Média geométrica Clorofila $a$ $\mu\text{g/L}$	54.0	48.4	38.8	40.0	43.3	39.7	22.8	39.5	41.8	43.7	40.4	42.6	40.4	42.2	43.2	-
Classif.	E	M	O	O	M	O	O	O	M	M	M	M	M	M	M	E
N (nº valores amostra)	12	12	11	12	21	29	18	24	17	13	12	12	12	12	12	12
Média geométrica P total $\mu\text{g/L}$	68.7	66.6	65.0	23.8	65.1	8.6	57.9	39.9	41.1	44.3	73.3	69.4	3.9	70.6	61.1	26.82
Classif.	H	H	H	O	H	U	E	O	M	M	H	H	U	H	H	O

A análise realizada permitiu concluir que, de acordo com a classificação obtida para a Clorofila-a, com ambas as classificações, as três albufeiras encontram-se no estado mesotrófico. Relativamente à classificação obtida para os valores da concentração de P<sub>total</sub>, conclui-se que as três albufeiras se encontram eutrofizadas, sendo possível encontrar valores muito elevados da concentração de P<sub>total</sub>, nas albufeiras de Crestuma-Lever e de Carrapatelo. Deve no entanto referir-se que durante o último ano avaliado, o ano de 2010, a albufeira de Crestuma-Lever, encontra-se no estado oligotrófico.

A análise realizada indica que a qualidade da água do rio Douro é de pior qualidade do que a água do rio Tâmega, quando se consideram os valores de P<sub>total</sub>, apesar de no rio Tâmega os anos de 2005, 2006 e 2008, terem obtido a classificação de hipereutrófico de acordo com a classificação de Carlson.

**Quadro 8.** Classificação do estado trófico Albufeira do Carrapatelo, Grelha INAG

Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
N (nº de valores da amostra)	8	12	12	11	12	12	12	11	12	8
Média geométrica Clorofila $a$ $\mu\text{g/L}$	3.4	2.7	3.1	3.5	2.9	3.4	5.5	4.1	2.8	3.2
Classificação	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M

Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
N (nº de valores da amostra)	1	-	11.0	12.0	12.0	12.0	12.0	4.0	12.0	11.0
Média geométrica Fósforo total µg/L	60.0	-	9.0	10.7	12.9	175.0	65.5	57.3	110.3	50.5
Classificação	-	-	O	M	M	E	E	E	E	E

Quadro 9. Classificação do estado trófico, Albufeira do Carrapatelo, Índice de Carlson

Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
N (nº de valores da amostra)	8	12	12	11	12	12	12	11	12	8
Média geométrica Clorofila a µg/L	42.4	39.8	40.9	41.6	41.7	40.8	46.3	43.9	39.7	40.5
Classificação	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
N (nº de valores da amostra)	1	-	11	12	12	12	12	4	12	11
Média geométrica Fósforo total µg/L	70.77	-	52.2	55.6	55.2	81.1	71.5	70.2	76.7	68.8
Classificação	-	-	E	E	E	H	H	H	H	H

Quadro 10. Classificação do estado trófico, Albufeira do Torrão, Grelha INAG

Ano	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
N (nº valores amostra)	3	10	11	12	11	7	11	11	10	11	12	11	11	12	10
Média geométrica Clorofila a µg/L	5.7	4.2	0.0	4.3	6.9	4.9	4.9	11.3	7.4	3.0	5.9	4.2	3.8	5.7	7.2
Classif.	M	M	M	M	M	M	M	E	M	M	M	M	M	M	M
N (nº valores amostra)	0	0	0	0	1	0	0	11	12	12	12	12	4	12	12
Média geométrica P total µg/L					20.0			9.0	14.3	13.1	87.9	41.7	53.4	106.8	4.1
Classif.	-	-	-	-	-	-	-	O	M	M	E	E	E	E	O

Quadro 11. Classificação do estado trófico, Albufeira do Torrão, Índice de Carlson

Ano	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
N (nº valores amostra)	3	10	11	12	11	7	11	11	10	11	12	11	11	12	10
Média geométrica Clorofila a µg/L	45.2	42.0	42.5	41.2	47.2	44.7	43.7	52.8	47.3	38.8	45.5	42.9	41.7	45.6	47.4
Classif.	M	M	M	M	M	M	M	E	M	O	M	M	M	M	M
N (nº valores amostra)	0	0	0	0	1	0	0	11	12	12	12	12	4	12	12
Média geométrica P total µg/L	-	-	-	-	60.0	-	-	36.4	28.9	55.6	74.2	67.1	24.5	76.4	29.9
Classif.	-	-	-	-	-	-	-	O	O	E	E	E	O	E	O

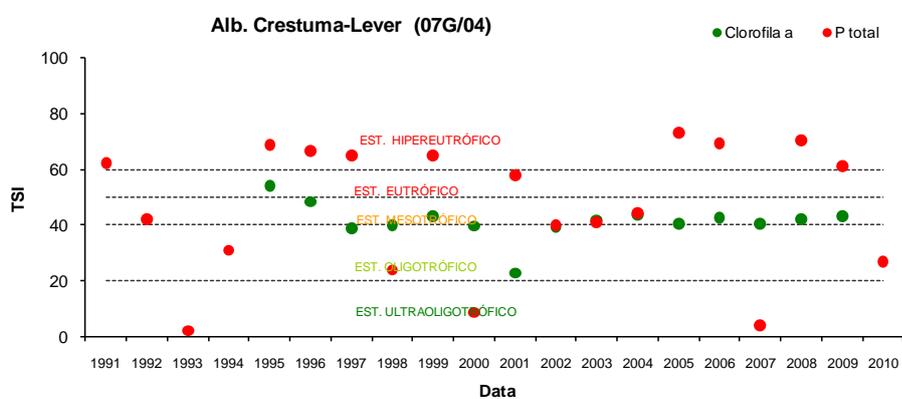


Figura 18. Albufeira de Crestuma-Lever. Classificação do estado trófico. Índice de Carlson

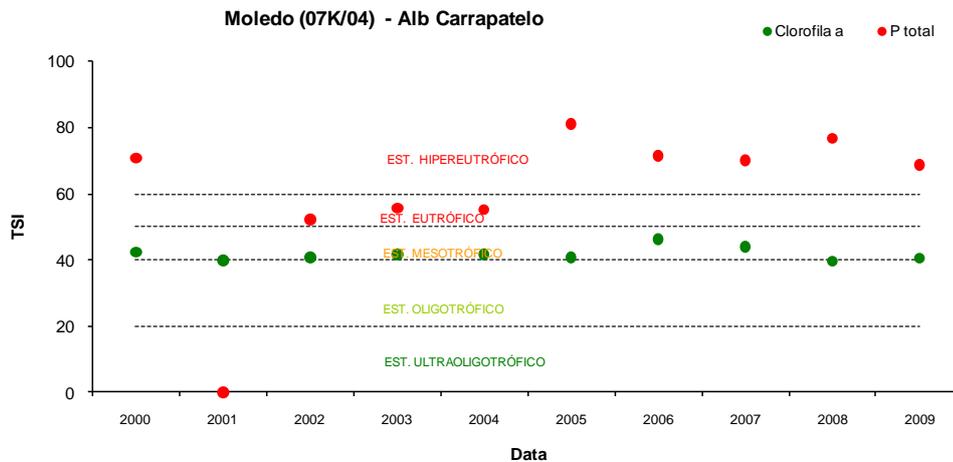


Figura 19. Albufeira do Carrapateiro. Classificação do estado trófico. Índice de Carlson

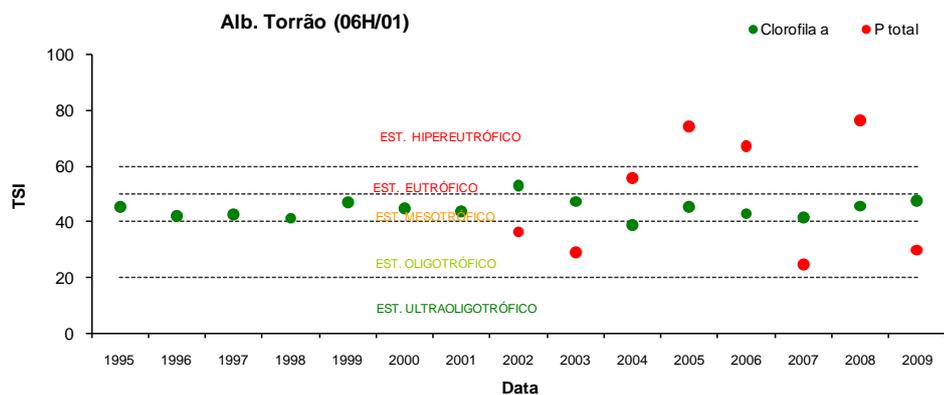


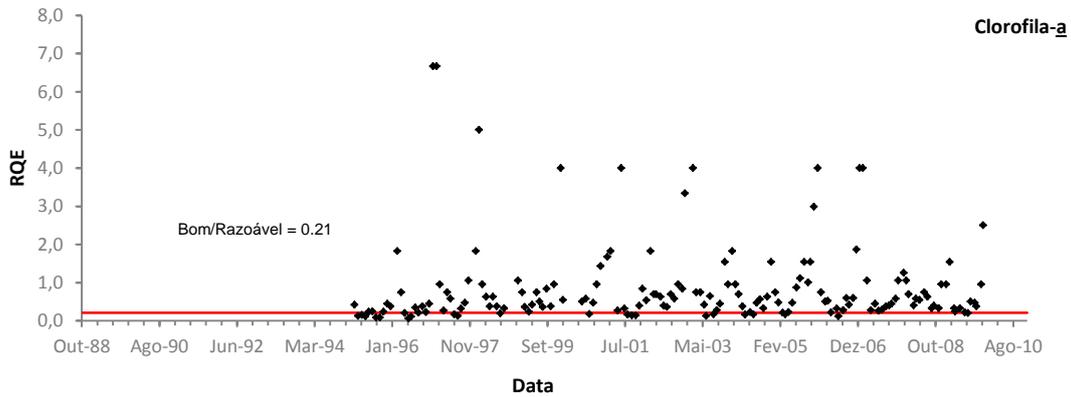
Figura 20. Albufeira do Torrão. Classificação do estado trófico. Índice de Carlson

Nas Figuras 21 a 26 pode observar-se a análise realizada através da consideração dos indicadores para a aplicação dos elementos biológicos em massas de água fortemente modificadas e os limiares máximos para os parâmetros físico-químicos gerais para o estabelecimento do Bom Potencial Ecológico em massas de água fortemente modificadas.

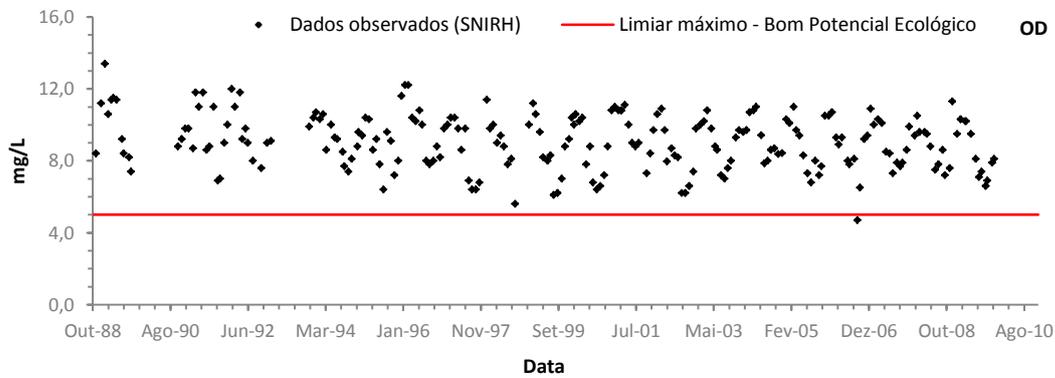
Os valores de RQE obtidos para o indicador Clorofila-a são em média superiores ao limite estabelecido para a classificação designada Bom/Razoável (Figura 21).

A análise realizada para os restantes parâmetros indica que com a exceção dos valores de P\_total (Figura 26), os valores observados na albufeira de Crestuma-Lever não ultrapassam os limiares máximos para o estabelecimento do Bom Potencial Ecológico.

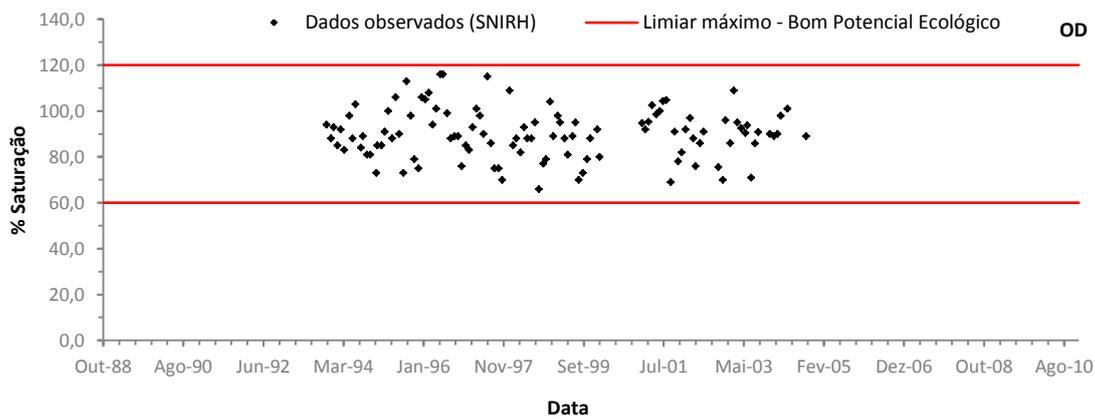
As conclusões obtidas com esta análise reforçam os resultados obtidos com a classificação do estado trófico apresentada anteriormente, em que se evidencia os elevados valores da concentração de P\_total, observados na albufeira de Crestuma-Lever. Todos os restantes parâmetros são inferiores aos correspondentes limiares máximos.



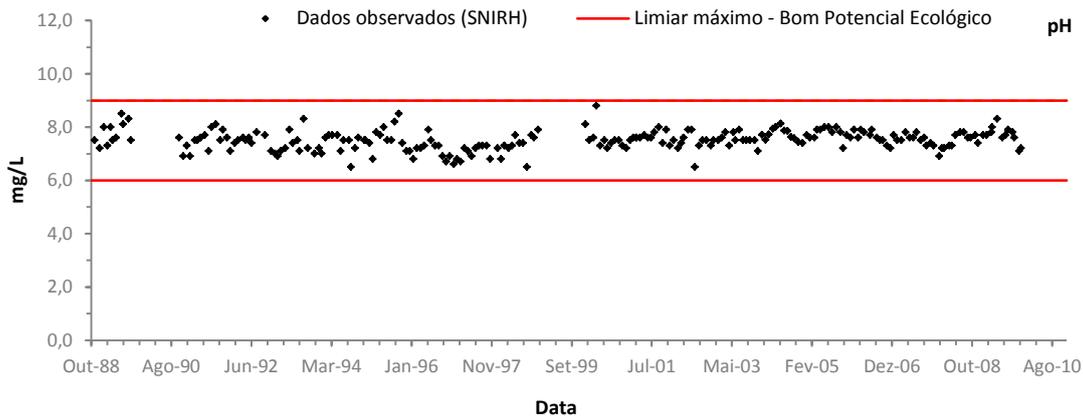
**Figura 21.** Albufeira de Crestuma-Lever – Classificação do Estado das massas de água fortemente modificadas - Elementos Biológicos – Indicador Clorofila-a



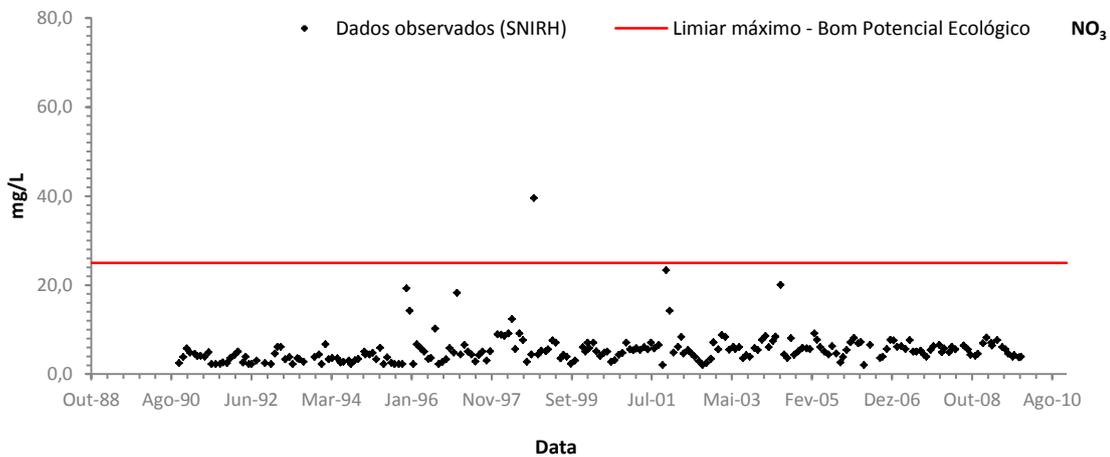
**Figura 22.** Albufeira de Crestuma-Lever – Classificação do Estado das massas de água fortemente modificadas - Parâmetros físico-químicos gerais - OD



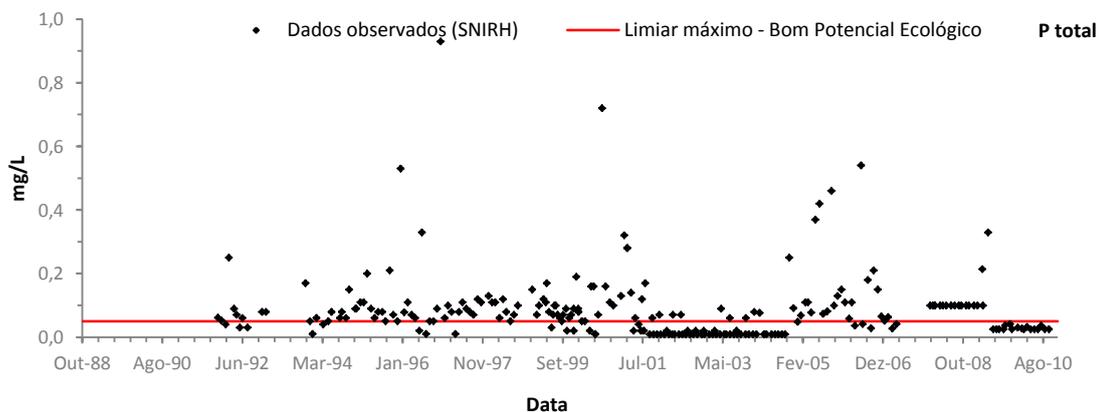
**Figura 23.** Albufeira de Crestuma-Lever – Classificação do Estado das massas de água fortemente modificadas - Parâmetros físico-químicos gerais - OD %



**Figura 24.** Albufeira de Crestuma-Lever – Classificação do Estado das massas de água fortemente modificadas - Parâmetros físico-químicos gerais - pH



**Figura 25.** Albufeira de Crestuma-Lever – Classificação do Estado das massas de água fortemente modificadas - Parâmetros físico-químicos gerais - NO<sub>3</sub>



**Figura 26.** Albufeira de Crestuma-Lever – Classificação do Estado das massas de água fortemente modificadas - Parâmetros físico-químicos gerais - P<sub>total</sub>

#### 4. ANÁLISE DA EVOLUÇÃO ANUAL DA QUALIDADE DA ÁGUA DAS ALBUFEIRAS NACIONAIS LOCALIZADAS NO RIO DOURO

O estudo da qualidade da água da albufeira de Crestuma-Lever não pode ser dissociado do estudo da evolução da qualidade da água das albufeiras localizadas a montante de Crestuma-Lever.

Nas Figuras 27 a 45 pode observar-se os valores médios anuais de cada um dos parâmetros avaliados, estimados para o período temporal compreendido entre 1988 e 2009. Sempre que é necessário é igualmente apresentada a evolução dos valores máximos e ou mínimos anuais para o mesmo período temporal.

As estações de qualidade da água consideradas na análise realizada foram seleccionadas com o objectivo de caracterizar a qualidade da água de cada uma das albufeiras nacionais localizadas no rio Douro, e encontram-se distribuídas da seguinte forma:

Alb. Miranda – Est. Albufeira de Miranda (05T/02);

Alb. Picote – Est. Albufeira de Miranda (05S/03);

Alb. Bemposta – Est. Albufeira de Bemposta (06S/03);

Alb. Pocinho – Est. Albufeira do Pocinho (07O/02);

Alb. Valeira - não existe nenhuma estação de qualidade da água nesta albufeira;

Alb. da Régua – Est. Pinhão (06L/01)

Alb. Carrapatelo – Est. Moledo (07K/04)

Alb. de Crestuma-Lever – Est. Albufeira de Crestuma-Lever (07O/02).

A variação anual dos valores médios de temperatura da água, pH, CBO<sub>5</sub>, P<sub>total</sub> e de NO<sub>2</sub>, que se pode observar nas Figuras 27 a 32, reflecte a evolução que era esperada, não se observando diferenças significativas entre cada uma das albufeiras.

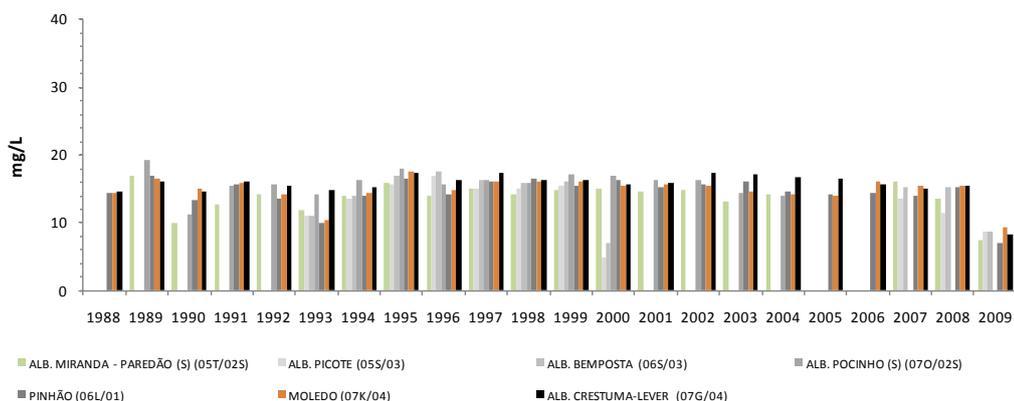


Figura 28. Evolução anual da média dos valores de temperatura da água – Sistema Douro

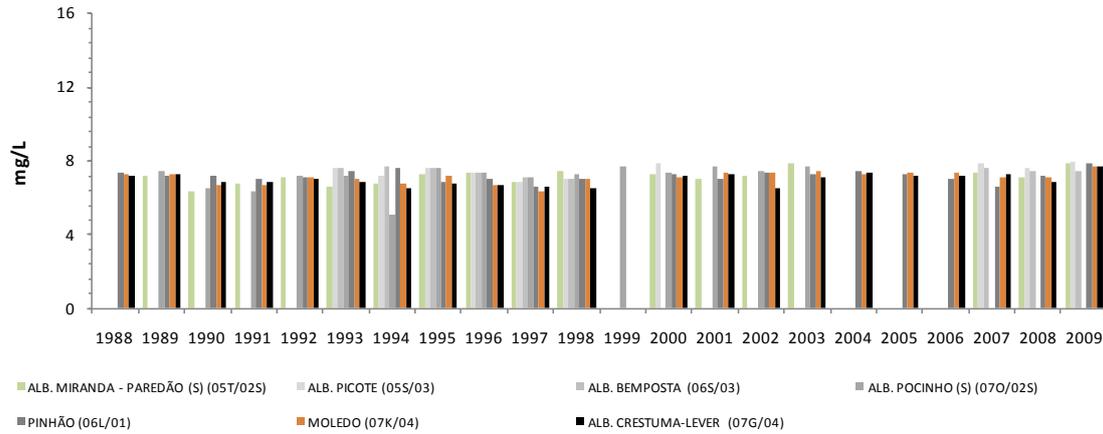


Figura 29. Evolução anual da média dos valores de pH – Sistema Douro

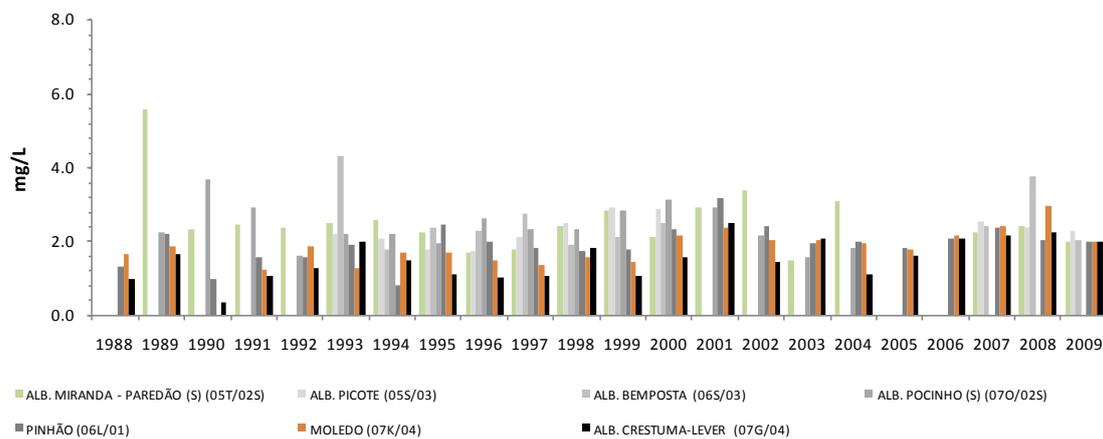


Figura 30. Evolução anual da média dos valores da CBO<sub>5</sub> – Sistema Douro

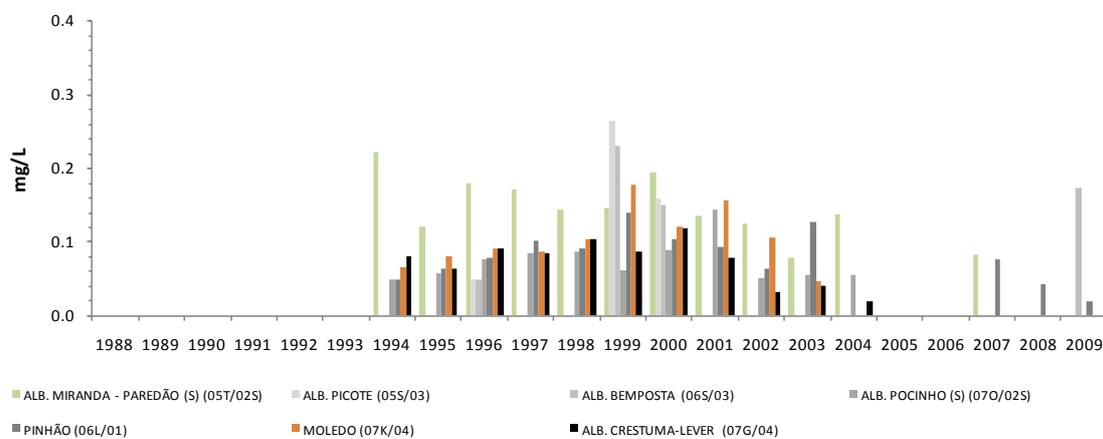


Figura 31. Evolução anual da média dos valores de NO<sub>2</sub> – Sistema Douro

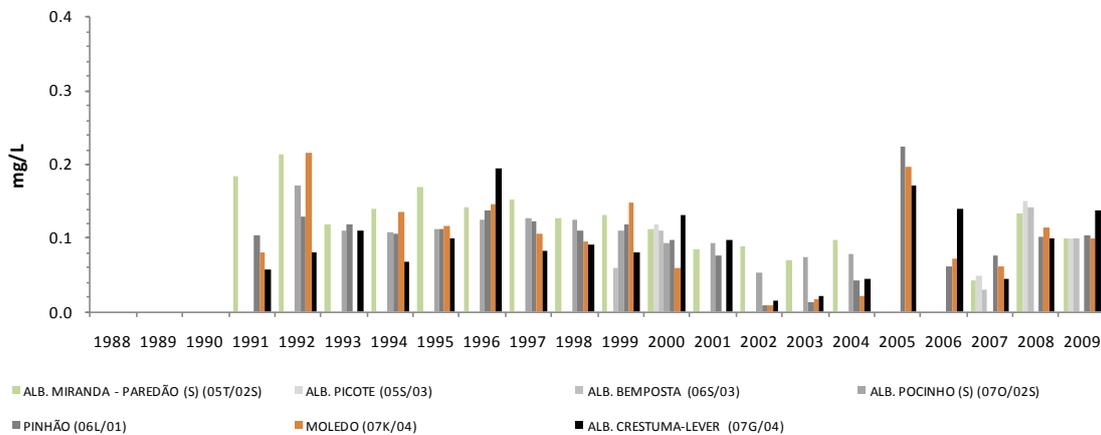


Figura 32. Evolução anual da média dos valores de P<sub>total</sub> – Sistema Douro

Os valores da concentração de PO<sub>4</sub> revelam um incremento significativo da concentração deste parâmetro, durante o ano de 2004, na albufeira de Carrapatelo e no ano de 2005, para as albufeiras da Régua, Carrapatelo e Crestuma-Lever (Figura 33). Este aumento da concentração de PO<sub>4</sub>, já tinha sido identificado e discutido na avaliação da qualidade da água da albufeira de Crestuma-Lever. Era importante verificar se o referido aumento ocorreu em todas as albufeiras, no entanto, não existem dados de qualidade que o permitam fazer.

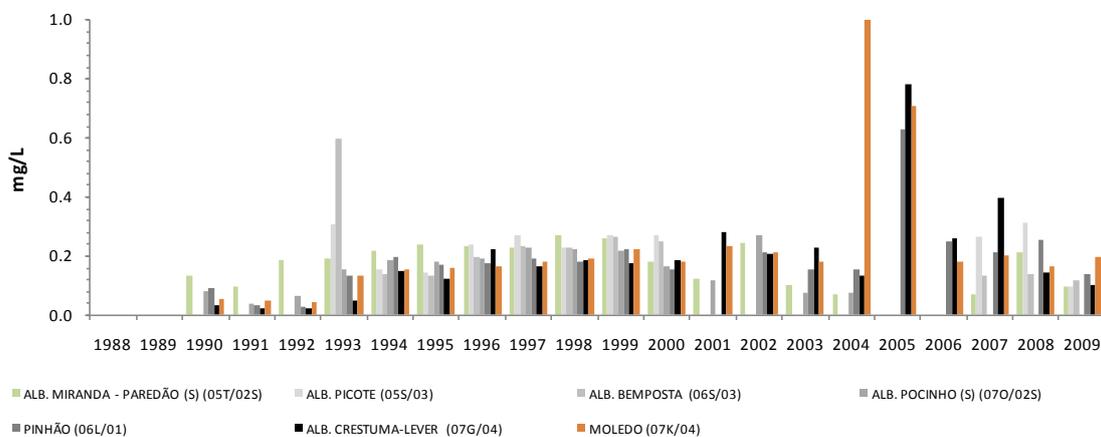


Figura 33. Evolução anual da média dos valores PO<sub>4</sub> – Sistema Douro

Nas Figuras 33 e 34 pode observar-se os valores médios e máximos da concentração de clorofila-a. A análise das referidas figuras permite concluir que os valores mais elevados da concentração deste parâmetro surgem nas albufeiras mais próximas de Espanha, em Miranda, Bemposta, Picote e Pocinho. A albufeira de Miranda apresenta consistentemente os valores mais elevados da concentração deste parâmetro. Tendo presente que a albufeira de Miranda é do tipo fio de água e que por isso tem um tempo de residência muito reduzido, deve colocar-se a possibilidade de esta concentração ser gerada na parte espanhola da bacia hidrográfica do rio Douro. Importa salientar

que no âmbito da Directiva 91/271/CEE do Conselho, de 21 de Maio de 1991, relativa ao tratamento das águas residuais urbanas, alterada pela Directiva 98/15/CE da Comissão, de 27 de Fevereiro de 1998, as albufeiras de Miranda, Pocinho, Carrapatelo e Torrão foram classificadas como zonas sensíveis pelo critério de zonas eutróficas ou em vias de eutrofização.

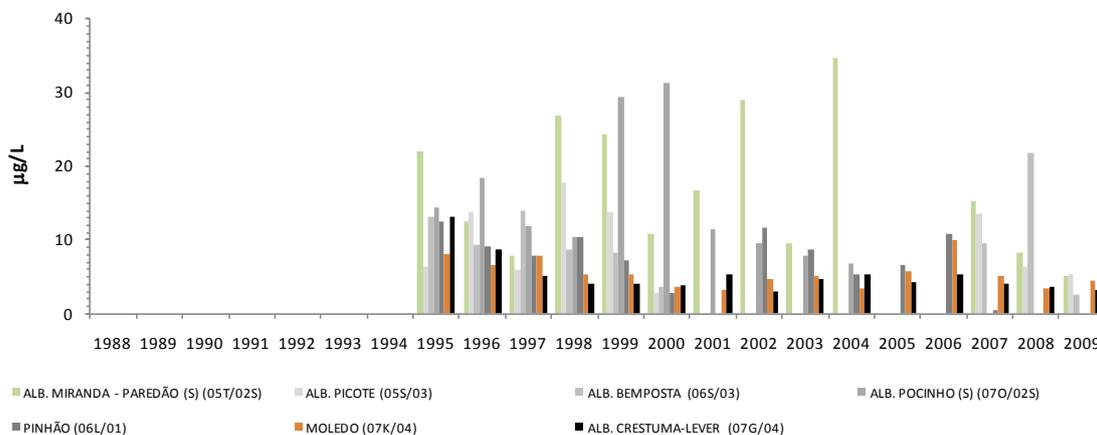


Figura 34. Evolução anual da média dos valores de Clorofila-a– Sistema Douro

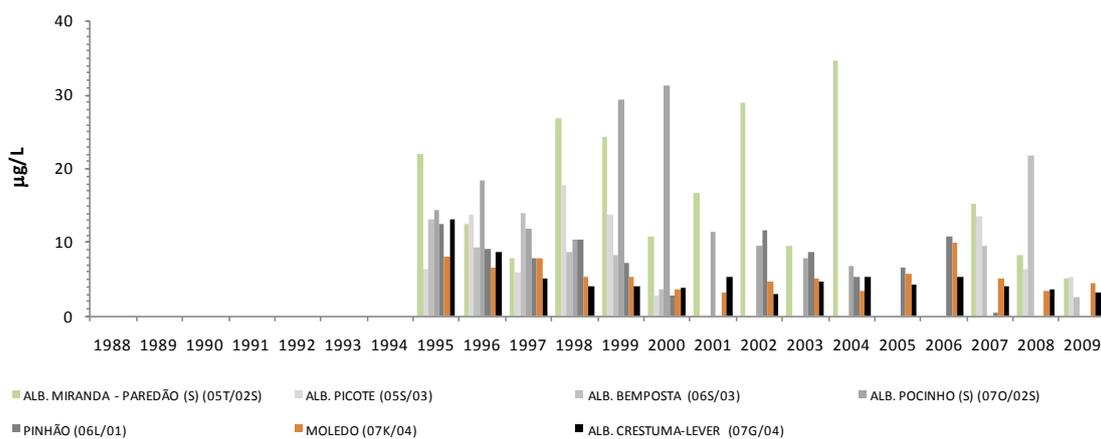
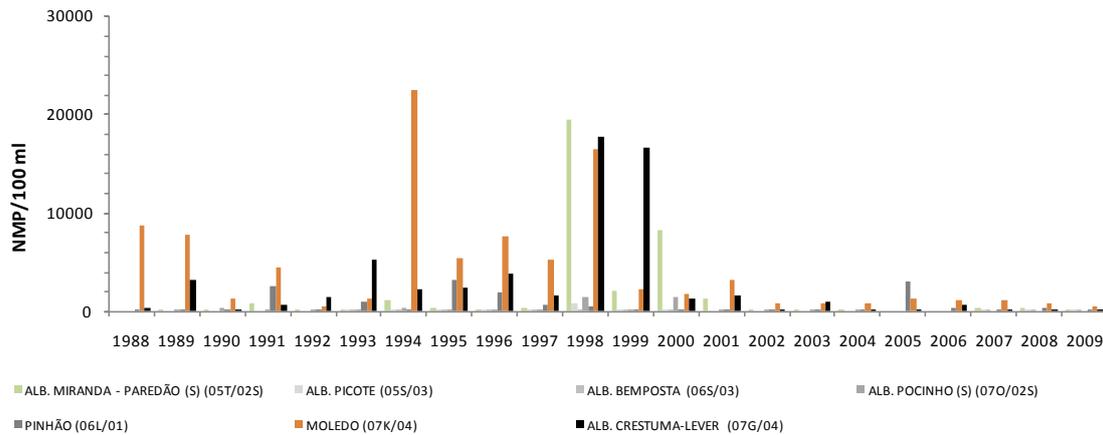
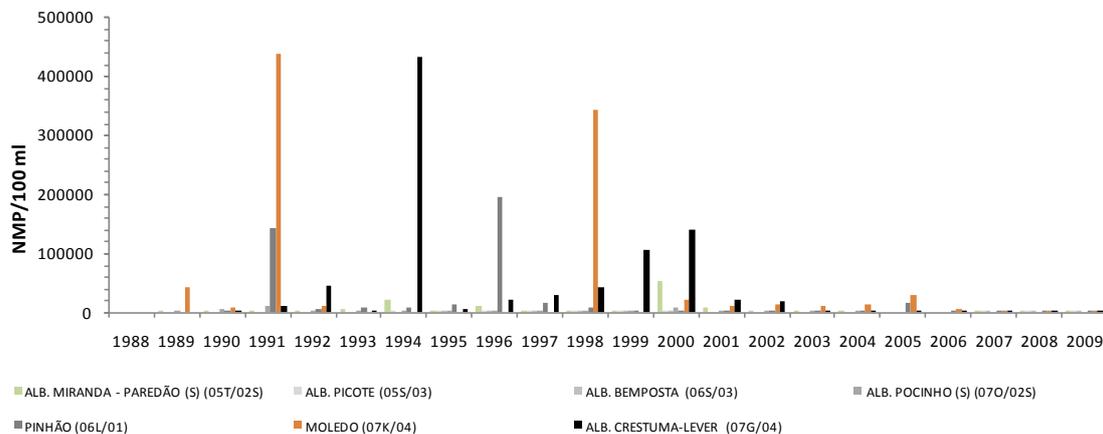


Figura 35. Evolução anual valores máximos de Clorofila-a– Sistema Douro

Os valores da concentração de coliformes fecais e totais que se podem observar nas Figuras 35 e 36, demonstram que a proximidade ao litoral e o conseqüente aumento das áreas urbanizadas, determina o incremento dos valores da concentração de coliformes fecais e totais, que neste caso surge nas albufeiras de Carrapatelo e de Crestuma-Lever.



**Figura 36.** Evolução anual da média dos valores de Coliformes Fecais – Sistema Douro



**Figura 37.** Evolução anual média dos valores de Coliformes Totais – Sistema Douro

A análise dos valores da concentração de SST,  $\text{NO}_3$  e de OD permitiu identificar um padrão que caracteriza a evolução destes parâmetros durante um período temporal de aproximadamente seis com início no ano de 1994 e fim no ano de 1999 (Figuras 37 a 45).

O ano de 1996 é o que mais evidencia a existência um padrão que se caracteriza por um incremento dos valores médios da concentração de SST, e de  $\text{NO}_3$  (Figuras 37 e 38) e conseqüentemente uma redução dos valores médios e dos valores mínimos de OD (figuras 40 e 41), e uma menos evidente redução dos valores médios de  $\text{NH}_4$ . Deve referir-se que a redução de OD é mais evidente nos valores mínimos de concentração deste parâmetro do que nos valores médios (Figuras 40 e 41).

Os dados observados sugerem uma interação entre estes parâmetros que usualmente inerente ao processo de nitrificação, com o consumo de  $\text{NH}_4$  e de OD e o incremento de  $\text{NO}_3$ .

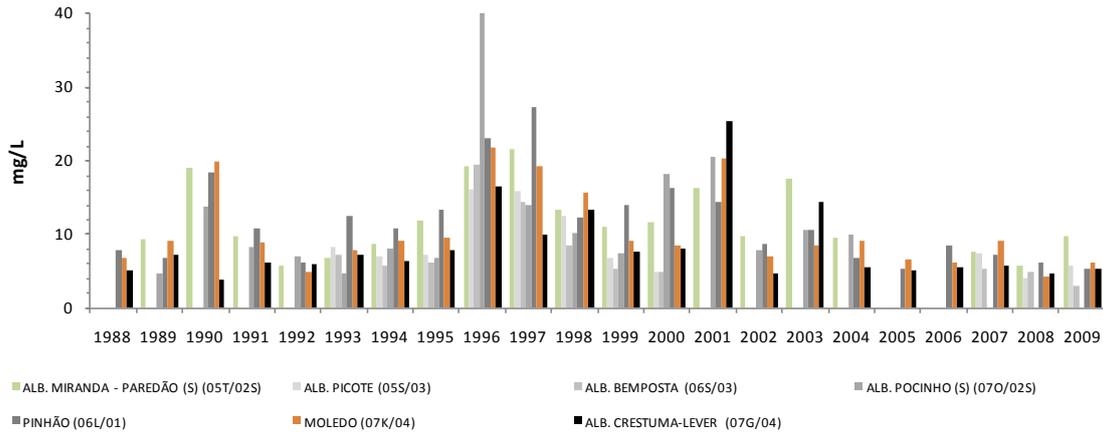


Figura 38. Evolução anual média dos valores de SST – Sistema Douro

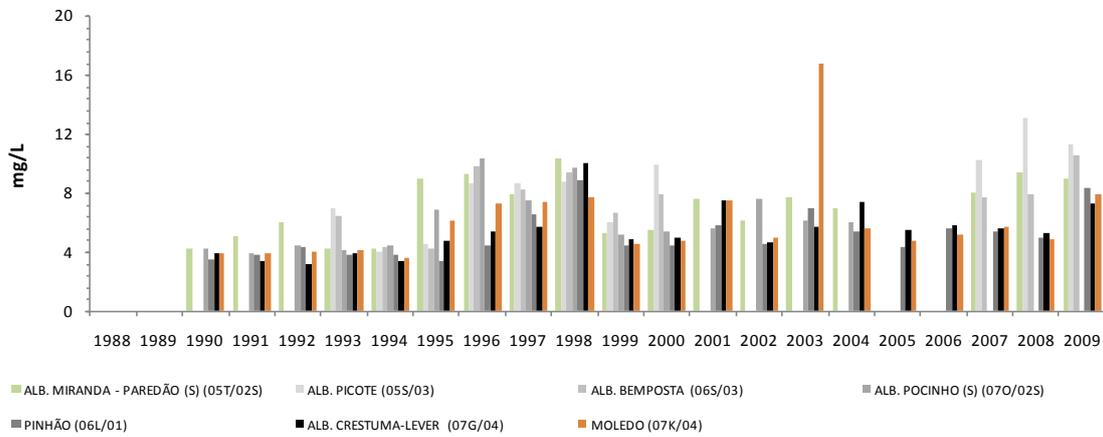


Figura 39. Evolução anual média dos valores de NO<sub>3</sub> – Sistema Douro

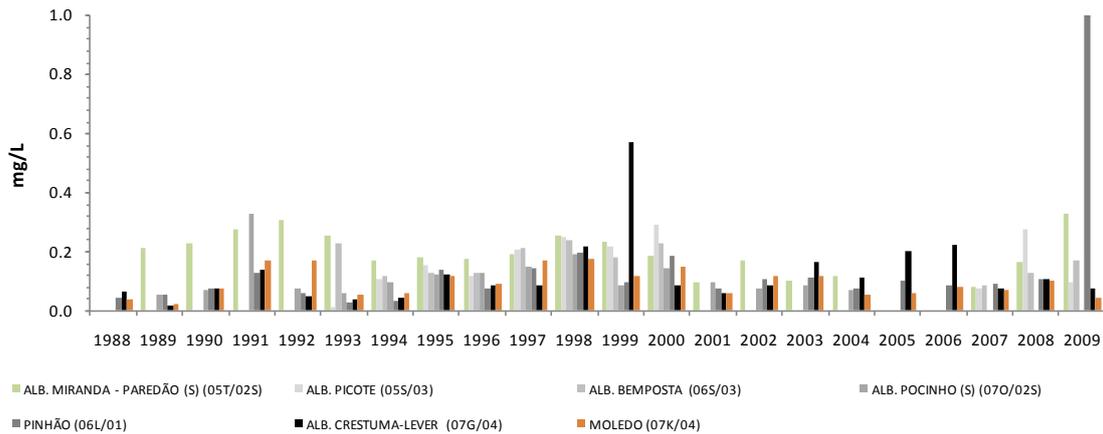


Figura 40. Evolução anual da média dos valores de NH<sub>4</sub> – Sistema Douro

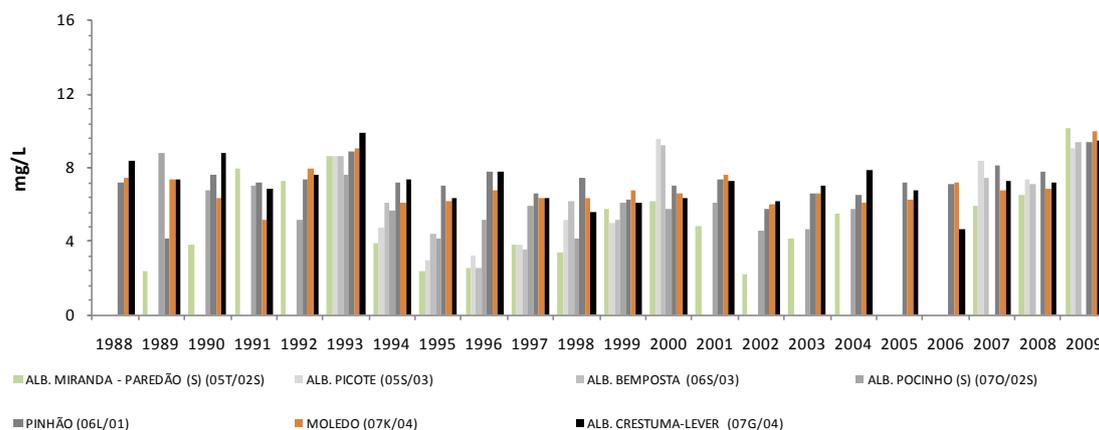


Figura 41. Evolução anual dos valores mínimos de OD – Sistema Douro

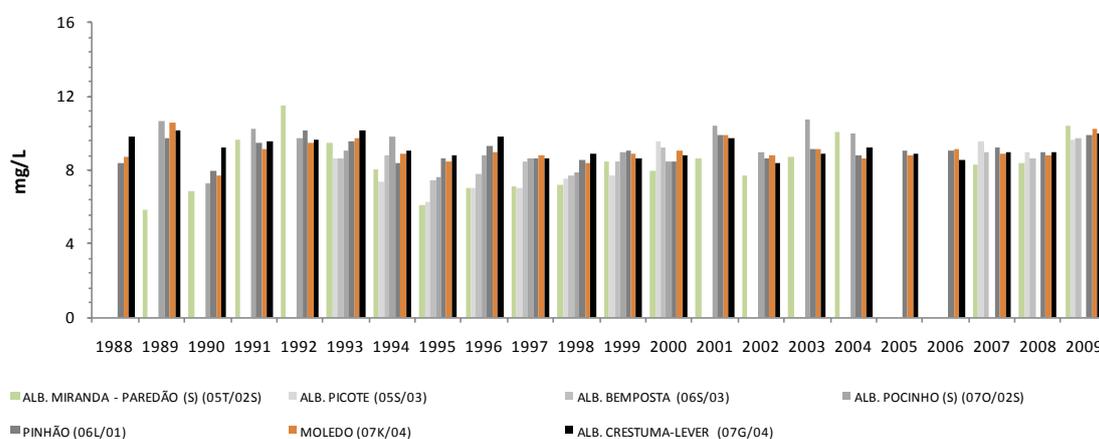


Figura 42. Evolução anual média dos valores de OD – Sistema Douro

Nas Figuras 42 a 45 foram retirados os valores da concentração de SST,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$  e OD observados nas albufeiras de Carrapatelo e de Crestuma-Lever. Este facto teve a particularidade de tornar mais evidente a correlação que se pretende demonstrar. O aumento dos valores da concentração de SST e de  $\text{NO}_3$  e a redução dos valores de OD e de  $\text{NH}_4$ .

Posteriormente verificou-se que este período em que se verifica a referida correlação parece ser directamente proporcional ao caudal do rio Douro que aflui à albufeira de Crestuma-Lever. Na Figura 46, pode observar-se os valores de caudal médio anual que aflui à albufeira de Crestuma-Lever. Como todas as albufeiras consideradas são do tipo fio de água, pode admitir-se que estes valores de caudal médio anual são uma boa aproximação à evolução anual dos caudais afluentes a qualquer uma das albufeiras do rio Douro.

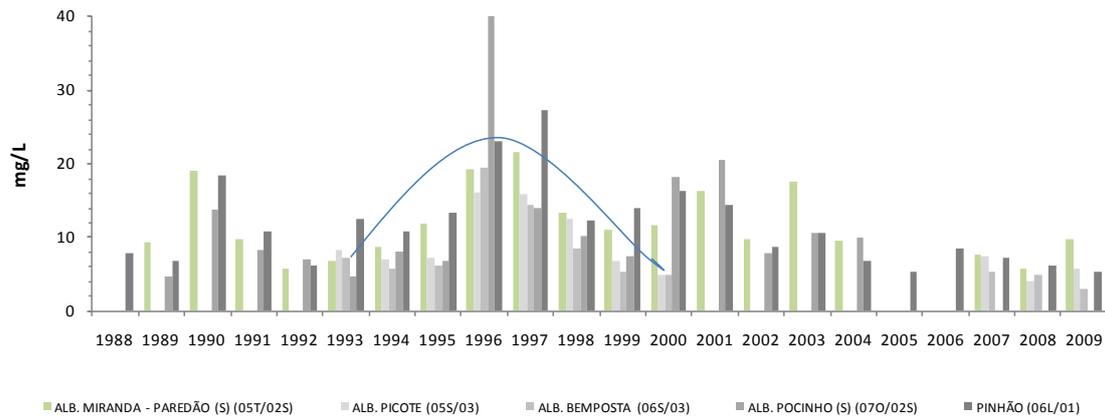


Figura 43. Evolução anual média dos valores de SST – Sistema Douro

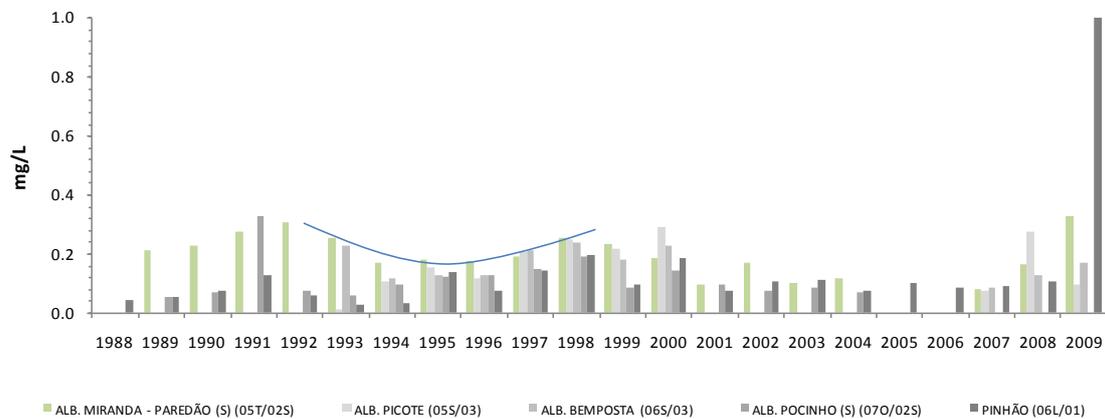


Figura 44. Evolução anual média dos valores de  $NH_4$  – Sistema Douro

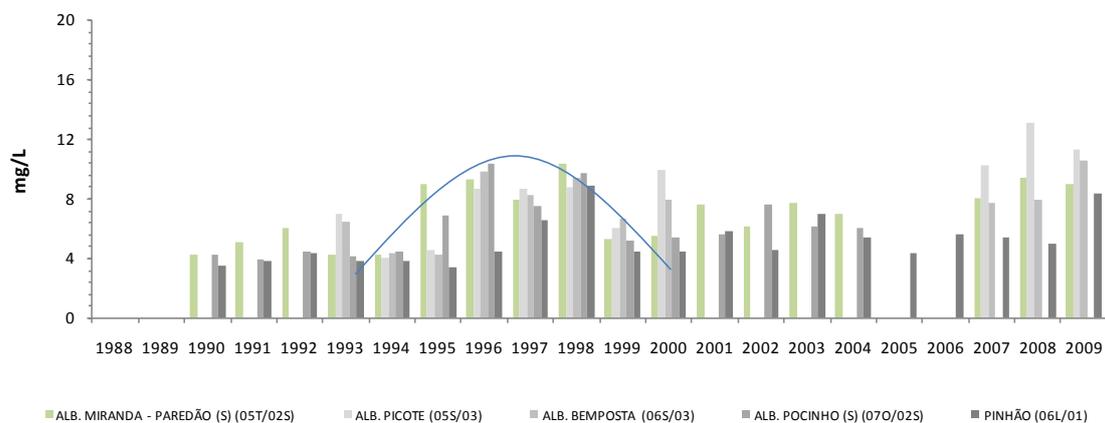


Figura 45. Evolução anual média dos valores de  $NO_3$  – Sistema Douro

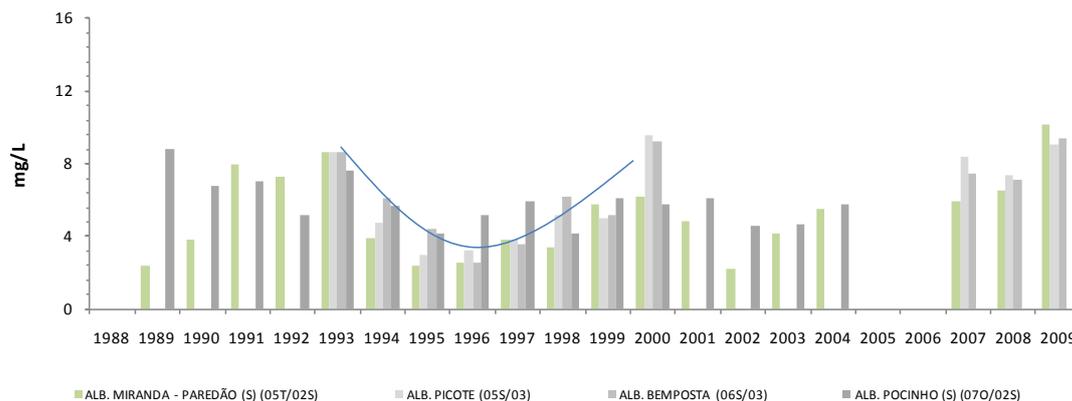


Figura 46. Evolução anual dos valores mínimos de OD – Sistema Douro

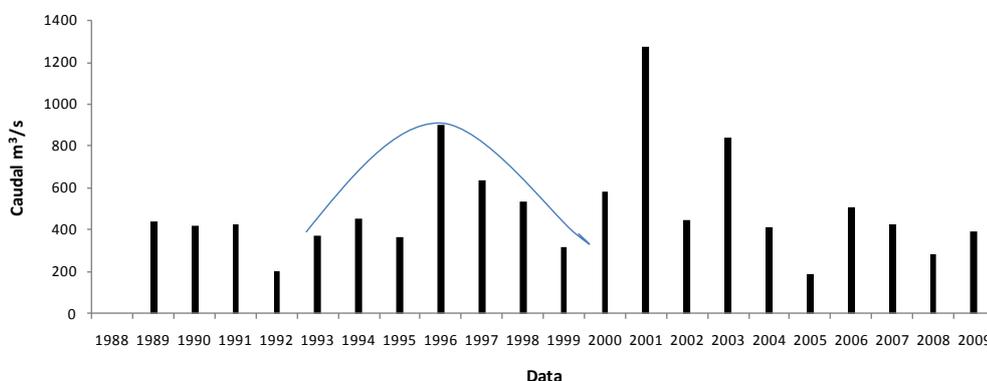


Figura 47. Caudal médio anual afluyente à albufeira de Crestuma-Lever

Na Figura 48 pode observar-se os valores máximos de concentração de  $\text{NO}_3$ , onde também é, também, possível observar-se a referida correlação.

A análise realizada permitiu concluir que a carga difusa de nutrientes que aflui ao rio Douro, que deverá, ter origem em actividades agrícolas e florestais, tem uma influência determinante sobre a qualidade da água do rio Douro e é directamente proporcional ao volume de escoamento superficial que determina a sua erosão.

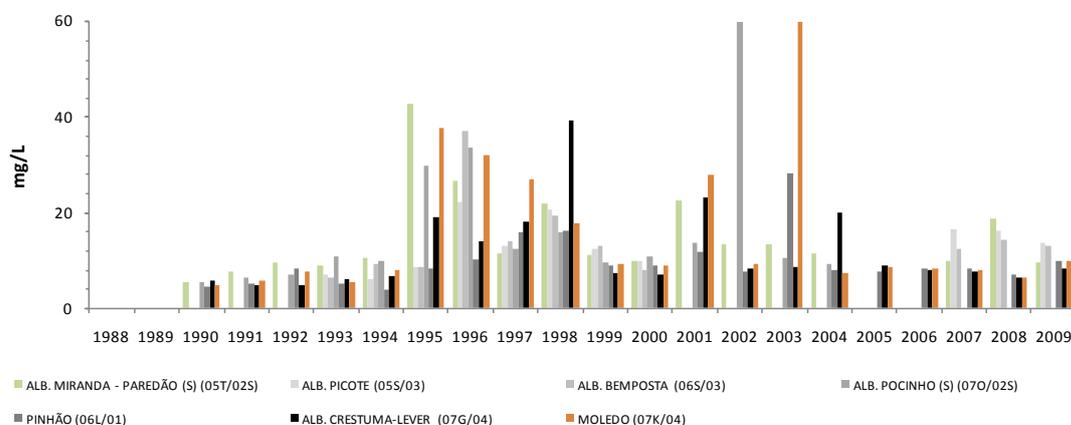


Figura 48. Evolução anual dos valores mínimos de OD – Sistema Douro

## 5. Análise da evolução anual do volume da albufeira de Crestuma-Lever

Na Figura 49, pode observar-se a variação anual dos caudais afluentes e lançados para jusante, bem como do volume armazenado na albufeira de Crestuma-Lever. Deve referir-se que o termo, caudal lançado, inclui o caudal turbinado e descarregado.

O volume de água lançado pela barragem de Carrapatelo representa, quando se considera o valor médio obtido para os anos, 2000 a 2010, 76% do volume total que aflui à albufeira de Crestuma-Lever. Dos restantes 24%, 9% correspondem às afluições próprias à albufeira de Crestuma-Lever, e os restantes 15%, ao volume de água lançado na Albufeira do Torrão.

O volume de água descarregado pela barragem de Crestuma-Lever corresponde a aproximadamente 97% do volume total que aflui à mesma albufeira, o que determina que não existam variações significativas do volume de água armazenada.

A análise realizada permitiu concluir que a hidrodinâmica da albufeira em estudo é condicionada fundamentalmente pelo caudais lançados pelas barragens de Carrapatelo e de Crestuma-Lever.

A análise da Figura 49, permite também observar os elevados valores de caudal que surgiram, em situações de cheia no rio Douro, nos anos de 2001, 2003, 2006 e 2010, dos quais se destacam os valores de caudal que afluíram à albufeira de Crestuma-Lever, nos dias 1, 2 e 3 de Março de 2001, 4 279 m<sup>3</sup>/s, 3 074 m<sup>3</sup>/s e 4 459 m<sup>3</sup>/s, respectivamente.

No Quadro 12 pode observar-se os valores máximos de caudal registados no rio Douro durante as situações de cheia que ocorreram entre 1727 e 1989. Os valores de caudal apresentados resultam da agregação da informação contida em dois documentos distintos, Ministério do Ambiente/INAG/IM, 1996., e em Loureiro J.M, 2009.

Na Figura 50 pode observar-se o volume armazenado na albufeira de Crestuma-Lever, entre Janeiro de 1990 e Abril de 2011.

**Quadro 12.** Caudais Máximos de Cheia (Ministério do Ambiente/INAG/IM, 1996.)(Loureiro J.M, 2009)

Data	Local	Qmax (m <sup>3</sup> /s)	Altura (m)
1727	Régua	14 000	-
5-12-1739	Régua	18 000	-
01-03-1978	Régua	11 600	-
1788	Régua	15 500	-
07-02-1979	Régua	11 000	-
1823	Régua	15 600	-
12-02-1843	Régua	13 000	-
1850	Régua	13 900	-
20-02-1855	Régua	12 500	-
1860	Régua	15 100	-
1860	Ponte D. Luís (Porto)	-	10.38
12-02-1966	Régua	12 500	-

Data	Local	Qmax (m <sup>3</sup> /s)	Altura (m)
28-12-1887	Régua	13 500	-
13-11-1888	Régua	11 800	-
22-12-09	Régua	16 700	-
22-12-09	Ponte D. Luís (Porto)	-	11.16
05-12-1910	Régua	13 700	
29-01-1948	Régua	9 620	
02-01-62	Pocinho	10 720	-
03-01-62	Régua	15 700	-
03-01-62	Ponte D. Luís (Porto)	-	-
1966	Pocinho	8450	-
1966	Régua	12 500	-
01-03-78	Pocinho	6 250	-
02-03-78	Régua	11 600	6.00
02-03-78	Ponte D. Luís (Porto)	-	-
1102-79	Pocinho	8 010	-
11-02-79	Régua	11 000	-
22-12-89	Crestuma	12 000	-
23-12-1989	Régua	12 000	-

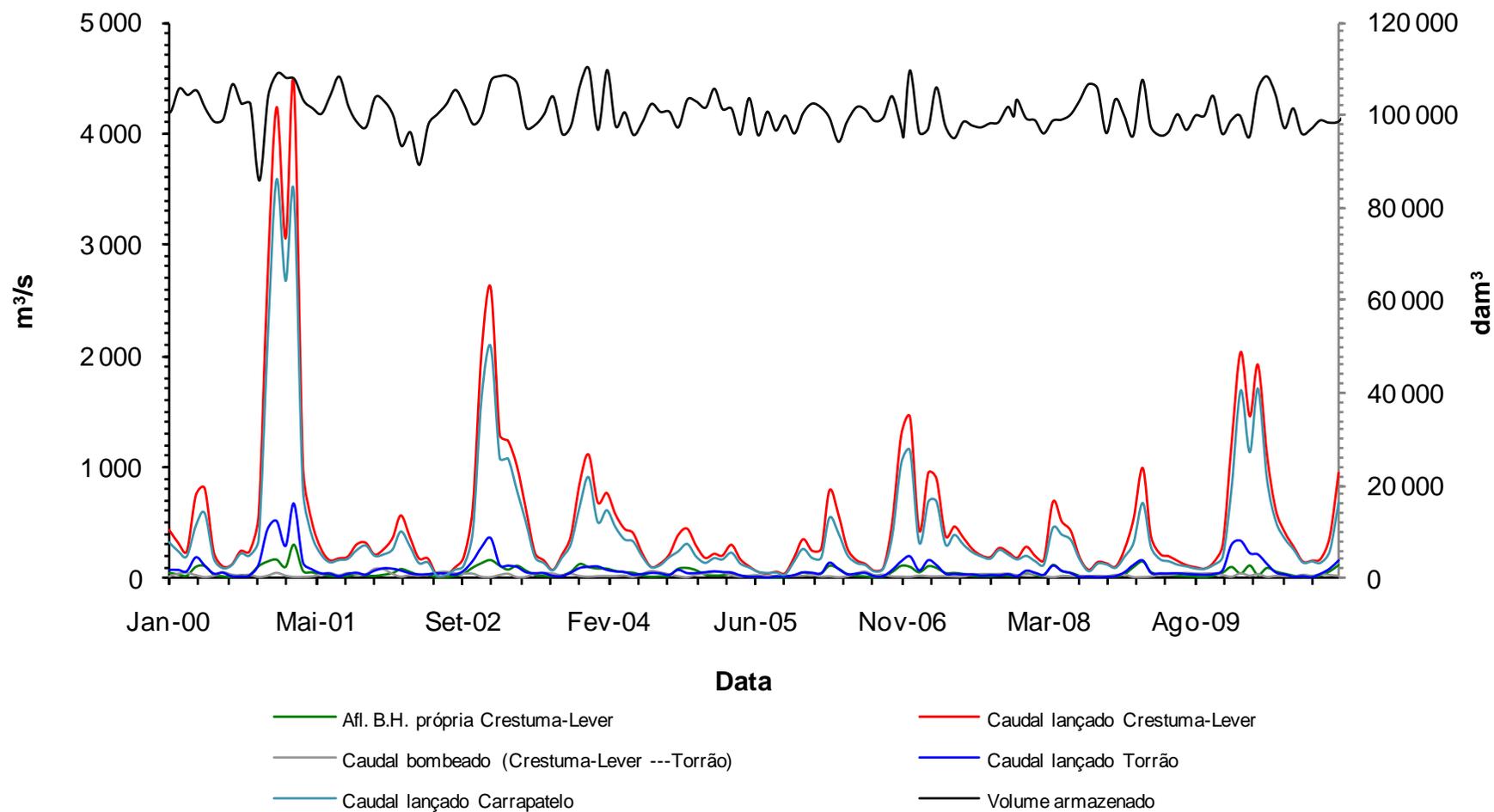
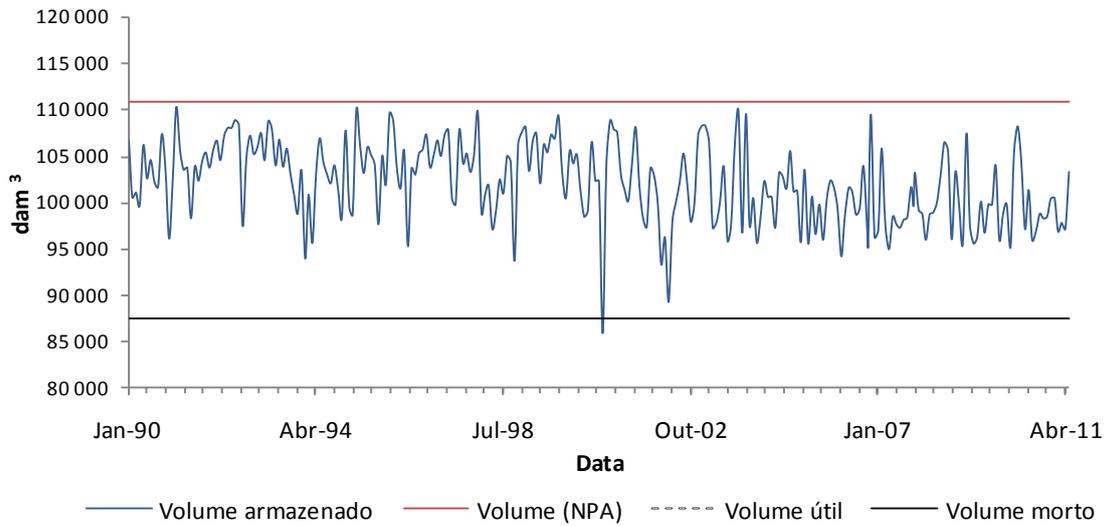


Figura 49. Distribuição de caudais afluentes e efluentes – Albufeira de Crestuma-Lever



**Figura 50.** Volume armazenado na albufeira de Crestuma-Lever Janeiro/1990-Maio/2011

## 6. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO MODELO CE-QUAL-W2

Para o desenvolvimento dos estudos de simulação matemática da qualidade da água da albufeira de Crestuma-Lever, optou-se pela utilização do modelo bidimensional, CE-QUAL-W2.

Trata-se de um modelo que permite a simulação hidrodinâmica e de qualidade da água de uma albufeira segundo as direcções longitudinal e vertical do sistema, sendo lateralmente homogéneo, e 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, 2002).

O referido modelo permite a definição de uma grelha representativa do sistema em estudo, dividida em segmentos (longitudinalmente) e camadas (verticalmente), cuja dimensão pode variar de segmento para segmento e de camada para camada, permitindo aumentar a resolução da informação a extrair onde seja necessário.

O código da parte hidrodinâmica foi inicialmente desenvolvido por EDINGER e BUCHAK (1978). A adição de algoritmos de qualidade da água resultou no modelo CE-QUAL-W2 V1.0 (MARTIN, 1987). As alterações realizadas posteriormente, orientadas de forma a tornar o modelo mais preciso e de mais fácil utilização, resultaram no CE-QUAL-W2 V2.0 (COLE e BUCHAK, 1995). Melhorias adicionais na hidrodinâmica, soluções numéricas e nos algoritmos de qualidade da água, deram origem ao CE-QUAL-W2 V3.1 (COLE e WELLS, 2002) e, posteriormente, ao CE-QUAL-W2 V3.2 (COLE e WELLS, 2004).

Actualmente, já se encontra disponível a versão 3.6 do modelo CE-QUAL-W2. No entanto, as diferenças conceptuais existentes entre a versão 3.2 e a versão mais recente, não justificam a sua utilização no presente caso de estudo.

Como principais características do modelo podem referir-se as seguintes:

- a) é aplicável a vários tipos e combinações de massas de água: rios, lagos, albufeiras e estuários;
- b) é aplicável a múltiplas massas de água em simultâneo;
- c) permite a simulação de vários ramos de um sistema, bem como a consideração de múltiplas entradas e saídas de água;
- d) permite a simulação de diversos constituintes, dos quais se salientam a temperatura, oxigénio dissolvido, nitratos e nitritos, fosfatos, biomassa algal, salinidade, azoto amoniacal e sólidos dissolvidos totais;
- e) tem a capacidade de modelar qualquer tipo de sólidos suspensos inorgânicos, algas e os diferentes parâmetros que determinam consumo de oxigénio dissolvido, bem como os seus efeitos nas interacções entre algas, nutrientes e o próprio oxigénio dissolvido;
- f) permite modelar constituintes arbitrários conservativos e não conservativos;
- g) tem capacidade para simular com bastante precisão a hidrodinâmica do sistema.

A albufeira de Crestuma-Lever foi simulada considerando a solução numérica, obtida com o logaritmo – ULTIMATE, incluído no modelo (COLE e WELLS, 2004). A viscosidade/difusividade

---

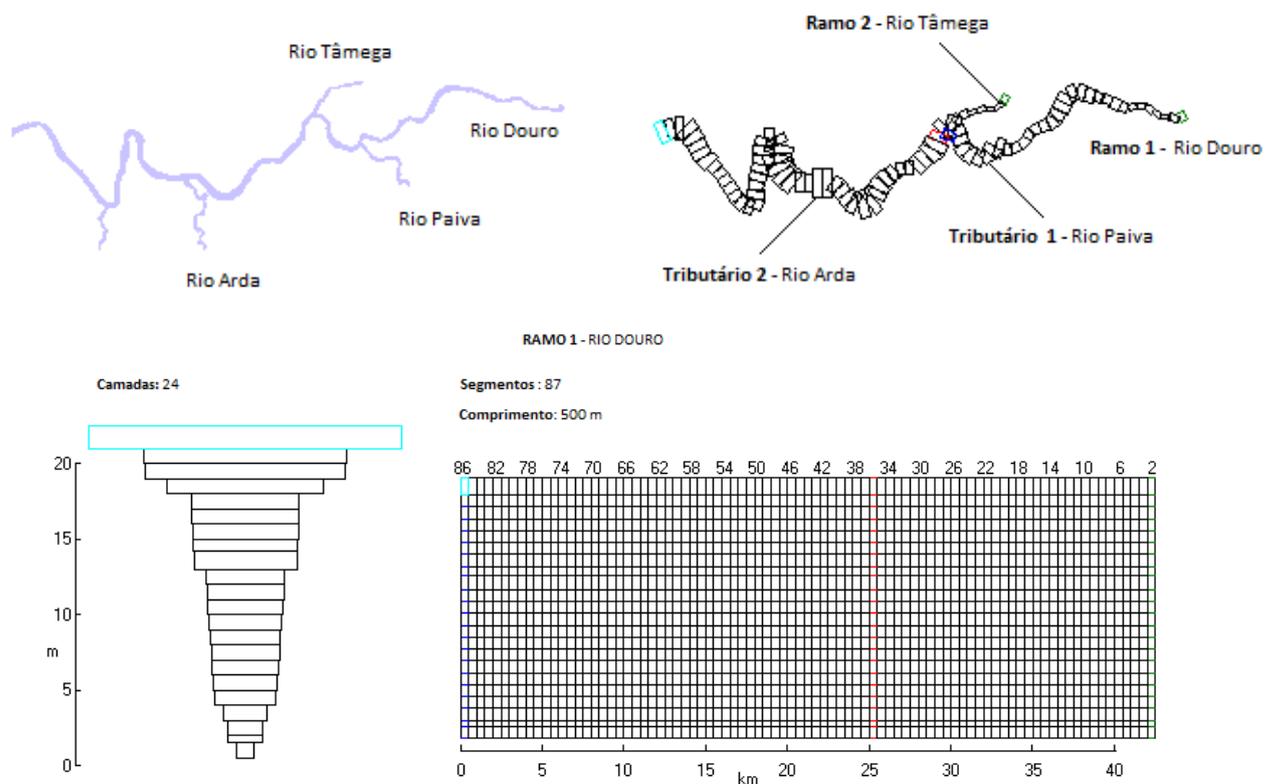
longitudinal de Eddy é resolvida pelo algoritmo, W2N, definido por Cole and Buchak (1995), tendo-se optado pela solução explícita do mesmo.

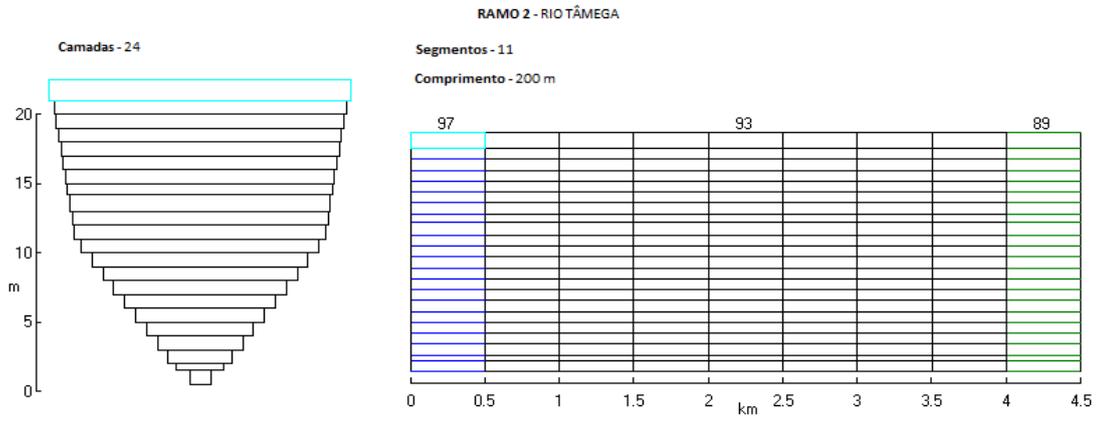
## 7. REPRESENTAÇÃO CONCEPTUAL DO SISTEMA A MODELAR

No caso do modelo CE-QUAL-W2, a representação conceptual da massa de água é conseguida através de uma grelha computacional, obtida a partir da batimetria do sistema, definida por ramos, divididos em segmentos (espaçamento longitudinal) e camadas (espaçamento vertical). O espaçamento longitudinal e vertical pode variar de segmento para segmento e de camada para camada. No entanto, esta variação deve ser gradual, de modo a evitar erros de discretização e de difusão numérica.

A batimetria da albufeira de Crestuma-Lever foi representada recorrendo a cartas topográficas à escala 1:25 000, anteriores à construção da barragem e criação da correspondente albufeira, nas quais foi possível identificar as curvas de nível no interior da actual massa de água, bem como a cartas topográficas à escala 1:25 000, mais recentes, posteriores à construção da barragem, onde foi possível verificar os limites da área superficial da albufeira ao NPA.

A albufeira foi dividida em 2 ramos, correspondendo o ramo 1 ao rio Douro e o ramo 2 ao rio Tâmega (Figura 51). A introdução de cargas poluentes, de origem pontual e difusa, implicou a consideração de 67 tributários pontuais, e de 1 tributário distribuído associados a cada um dos ramos da albufeira, de acordo com o referido em detalhe ao nível da secção 6.4.do Capítulo 6 do presente relatório.





**Figura 51.** Representação conceptual da albufeira de Crestuma-Lever

## 8. DADOS NECESSÁRIOS AO FUNCIONAMENTO DO MODELO E ESTIMATIVA DAS CARGAS POLUENTES AFLUENTES À ALBUFEIRA DE CRESTUMA-LEVER

Nas secções seguintes são identificados os principais tipos de dados de entrada necessários ao funcionamento do modelo CE-QUAL-W2, bem como as fontes de informação que foram utilizadas para a obtenção desses dados. Adicionalmente, procedeu-se também à estimativa das cargas poluentes afluentes à albufeira de Crestuma-Lever, diferenciando-se as correspondentes origens.

### 8.1 - Dados hidrológicos

Para o desenvolvimento dos estudos de simulação matemática da qualidade da água da albufeira de Crestuma-Lever, consideraram-se os anos civis de 2000 a 2010. A determinação dos valores dos caudais afluentes ao sistema e efluentes do sistema, durante os anos civis de 2000 a 2010, realizou-se tendo como base os dados disponibilizados pela EDP, que permitiram estabelecer um balanço de massa entre os caudais descarregados, os caudais captados para diversos tipos de consumo e a variação do volume armazenado na albufeira.

O balanço de massa inclui as seguintes componentes:

#### Barragem de Carrapatelo:

- ◆ Caudal descarregado;
- ◆ Caudal turbinado;

#### Barragem do Torrão:

- ◆ Caudal descarregado;
- ◆ Caudal turbinado;
- ◆ Caudal bombeado (albufeira de Crestuma-Lever-----albufeira do Torrão);

#### Barragem de Crestuma-Lever:

- ◆ Caudal descarregado;
- ◆ Caudal turbinado;
- ◆ Caudal gerado na bacia própria que foi distribuído em função da área drenante pelos rios Paiva, Arda (tributários 1 e 2) tendo o restante valor de caudal sido incluído no modelo de forma distribuída pela albufeira de Crestuma-Lever.

### 8.2 - Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos são utilizados no modelo CE-QUAL-W2 essencialmente ao nível dos balanços de energia na interface ar-água, para determinação da temperatura da água, e englobam parâmetros como a temperatura do ar, a temperatura do ponto de orvalho, a nebulosidade, a humidade relativa e a velocidade e direcção do vento.

Os valores destes parâmetros foram obtidos, na sua maioria, através dos registos das seguintes estações meteorológicas:

Estação meteorológica barragem de Castelo Burgães (08G/01C):

- temperatura do ar (discretização diária);

Estação meteorológica São Pedro do Sul (09I/01C):

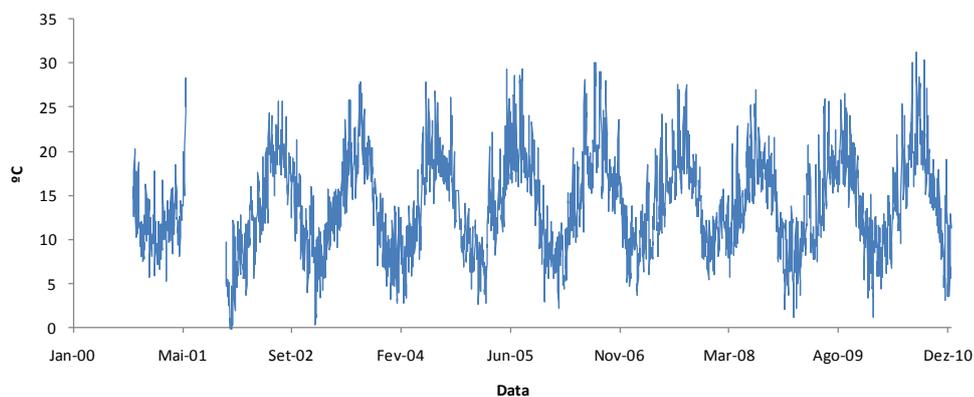
- humidade relativa (discretização diária);
- velocidade do vento (discretização diária);
- direcção do vento (discretização horária);

Estação meteorológica Porto Serra do Pilar (normal climatológica):

- nebulosidade (discretização mensal).

As falhas existentes nos registos foram ultrapassadas através da sua substituição, pelo valor médio mensal, obtido para o período de tempo considerado (2000-2010). Por exemplo, os valores de temperatura do ar registados na estação meteorológica barragem de Castelo Burgães (08G/01C), apresentavam algumas falhas entre os anos de 2000 e 2001 (Figura 52).

Estimaram-se os valores de temperatura do ar média mensal considerando os registos da Estação meteorológica barragem de Castelo Burgães (08G/01C), que posteriormente foram comparados com os valores de temperatura do ar média mensal, obtidos na normal climatológica da estação de Porto Serra do Pilar. Como não se verificam diferenças significativas, entre os dois conjuntos de valores, colmataram-se as falhas existentes na série de valores de temperatura do ar.



**Figura 52.** Valores de temperatura do ar média diária - Estação meteorológica barragem de Castelo Burgães (08G/01C)

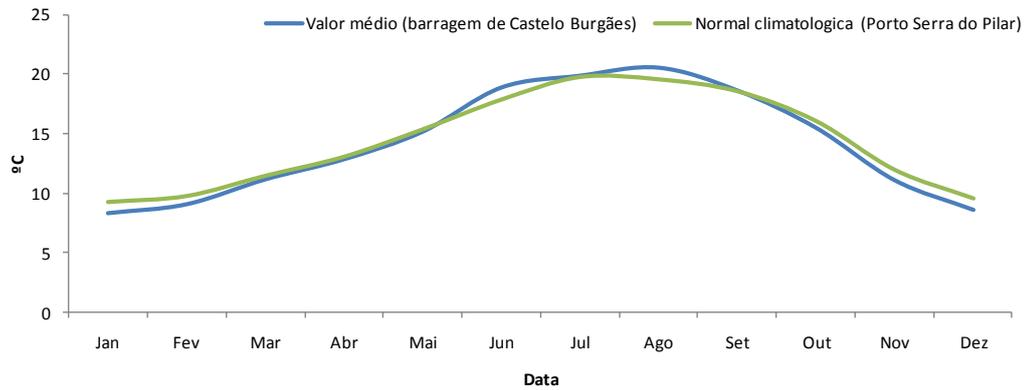


Figura 53. Valores de temperatura do ar média mensal - Estação meteorológica barragem de Castelo Burgães (08G/01C) e Porto Serra do Pilar

Na Figura 54 pode observar-se a localização de cada uma das estações meteorológicas consideradas na análise desenvolvida.

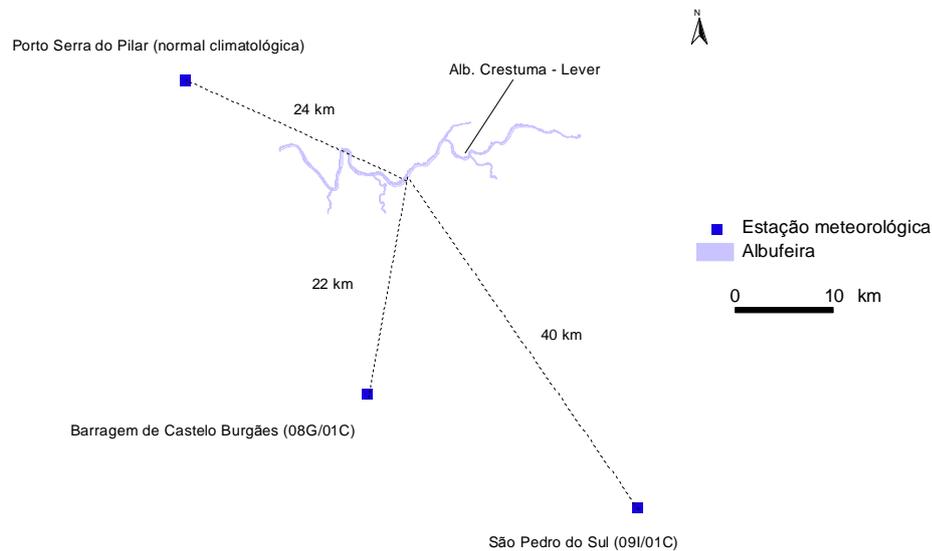


Figura 54. Estações meteorológicas consideradas na análise realizada

### 8.3 - Dados de qualidade da água das aflúncias ao sistema

Na Figura 55 pode observar-se as estações de qualidade da água, que permitiram caracterizar as aflúncias à albufeira de Crestuma-Lever.

As aflúncias à albufeira em estudo foram caracterizadas considerando as seguintes estações de qualidade da água:

Caudal lançado pela barragem de Carrapatelo - Est. Moledo (07K/04) em função da quase total ausência de dados da estação Albufeira de Carrapatelo (07I/07).

Caudal lançado pela barragem do Torrão - Foz do Tâmega (17H/06).

Rio Paiva - Ponte da Bateira (07H/04).

### Rio Arda - Foz do Arda (07G/08).

A carga poluente de nitratos+nitritos ( $N-NO_x$ ),  $NH_4$  e  $P-PO_4$ , gerada na bacia própria da albufeira de Crestuma-Lever (Figura 55), nomeadamente ao nível dos espaços agrícolas e florestais, foi estimada de acordo com a metodologia que se descreve na secção 6.4.6 do presente relatório.

Deve referir-se que neste relatório o termo bacia hidrográfica própria da albufeira de Crestuma-Lever, corresponde à área drenante identificada na Figura 55.

Foi também necessário caracterizar as aflúncias ao sistema através da bacia hidrográfica própria da albufeira, no que diz respeito aos valores de temperatura da água, e aos valores de  $CBO_5$ , OD, Coliformes Fecais e Totais, biomassa algal, sólidos dissolvidos totais (SDT) e pH. Esta caracterização foi realizada assumindo que estes parâmetros deverão ter uma concentração semelhante à observada na estação de qualidade da água de Foz do Arda (07G/08). Para os valores de temperatura da água e de pH o procedimento foi análogo.

As cargas poluentes de origem doméstica, industrial, agrícola e florestal, geradas na área de intervenção do POACL, foram estimadas de acordo com a metodologia descrita na secção 6.4 do presente relatório.

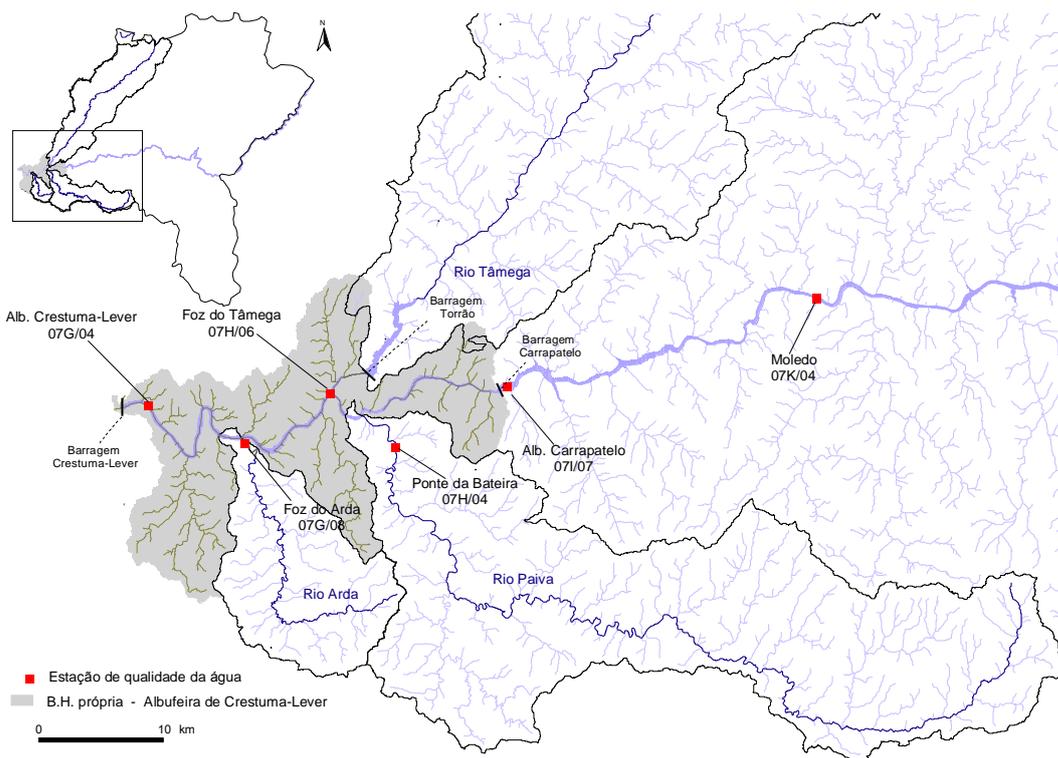


Figura 55. Localização das estações de qualidade da água

## 8.4 - Cargas poluentes geradas na bacia hidrográfica da albufeira de Crestuma-Lever

### 8.4.1 Introdução

A área de intervenção do POACL, de acordo com o correspondente regulamento, incide sobre o plano de água e respectiva zona de protecção e é definida por uma faixa com uma largura de 500 m medidos na horizontal a partir do nível de pleno armazenamento (cota 13 m), encontrando-se a sua área de intervenção repartida pelos municípios de Castelo de Paiva, de Cinfães, de Gondomar, de Marco de Canaveses, de Penafiel, de Santa Maria da Feira e de Vila Nova de Gaia.

A caracterização das cargas poluentes geradas na bacia hidrográfica da albufeira de Crestuma-Lever, foi realizada através da consideração dos dados observados nas estações de qualidade da água, e a quantificação das cargas poluentes de origem agrícola e doméstica geradas na bacia própria da albufeira de Crestuma-Lever, na qual se inclui a área de intervenção do POACL, e que assim permitiu caracterizar a situação de referência, que suportou a definição dos cenários de simulação.

Após a caracterização das afluências à albufeira de Crestuma-Lever, através dos rios Douro, Tâmega, Arda e Paiva, foi necessário caracterizar a carga poluente de origem agrícola, doméstica e industrial gerada na bacia própria da albufeira, e na área de intervenção do POACL.

A quantificação da carga poluente efectuada distinguiu as fontes tópicas ou pontuais das difusas. Assim, ao nível das fontes pontuais, procedeu-se à quantificação da carga poluente de origem urbana, considerando os seguintes parâmetros: CBO<sub>5</sub>, coliformes totais, coliformes fecais, NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>x</sub> e P-PO<sub>4</sub>. Por outro lado, no que se refere às fontes difusas, quantificaram-se as cargas poluentes de origem agrícola e florestal, tendo-se considerado os seguintes parâmetros: NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>x</sub> e P-PO<sub>4</sub>.

A carga poluente afluente à albufeira de Crestuma-Lever foi agrupada, segundo a sua origem, em duas áreas distintas (Figura 56):

#### Bacia hidrográfica própria da albufeira de Crestuma-Lever:

- actividade agrícola e florestal;
- Carga poluente de origem urbana (doméstica e industrial);

#### Área de intervenção do POACL:

- Freguesias localizadas total ou parcialmente na área de intervenção do POACL;
- empreendimentos turísticos localizados na área de intervenção do POACL;
- sistemas de tratamento de águas residuais localizados na área de intervenção do POACL;
- actividades industriais;
- actividade agrícola e florestal.

A carga poluente gerada na bacia hidrográfica própria foi introduzida no modelo de forma difusa e a carga poluente gerada na área de intervenção do POACL foi introduzida no modelo de acordo com o tipo de descarga que usualmente lhe está associada – pontual (no caso de descargas de origem

doméstica) ou difusa (carga poluente de origem agrícola e florestal). Com efeito, o modelo CE-QUAL-W2 permite a introdução de descargas poluentes de duas formas distintas, através da introdução de tributários pontuais, ou de tributários distribuídos. Os primeiros representam uma descarga pontual, num segmento definido pelo utilizador, e os segundos uma descarga difusa, distribuída uniformemente pelo ramo considerado.

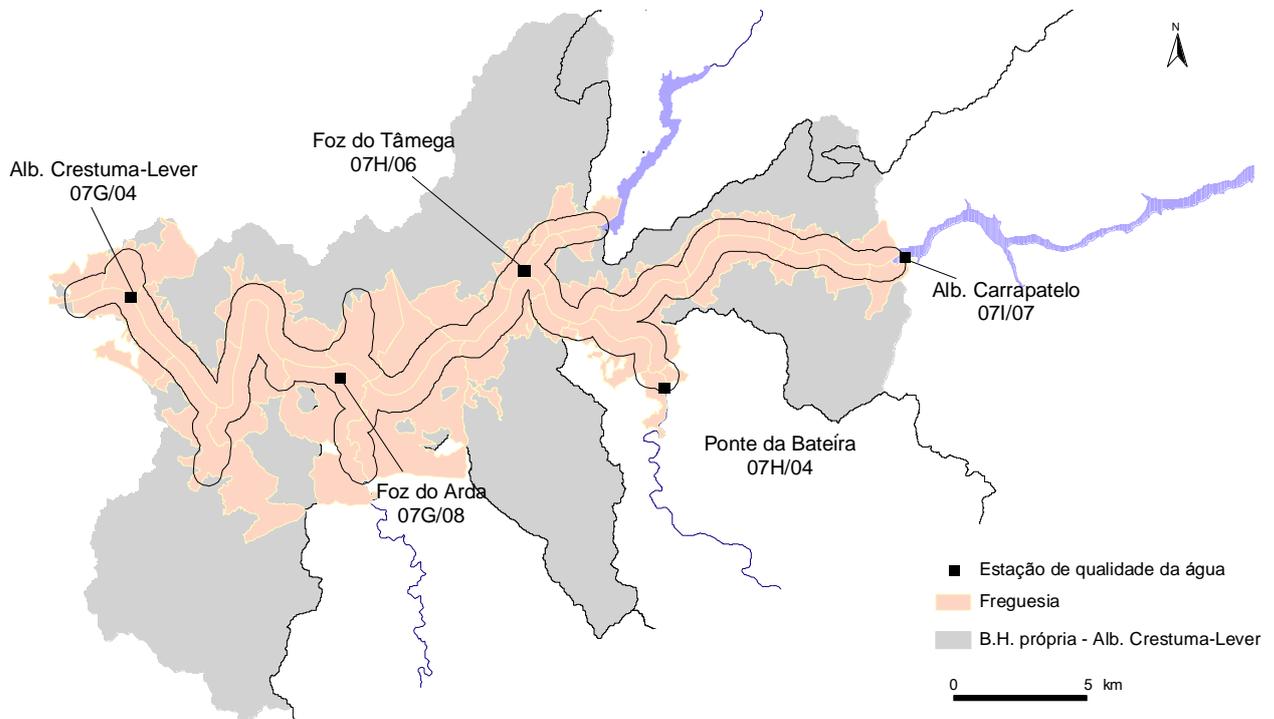


Figura 56. Áreas em que se agruparam as fontes poluentes localizadas na bacia hidrográfica própria, dominada pela barragem de Crestuma-Lever

Nas secções seguintes, é apresentada a metodologia utilizada para a quantificação e distribuição da carga poluente, tendo em consideração as diferentes origens da mesma.

#### 8.4.2 Carga poluente gerada na bacia própria da albufeira de Crestuma-Lever

A carga poluente gerada na bacia própria da albufeira de Crestuma-Lever, foi introduzida no modelo através da consideração de um tributário distribuído que pretende simular a afluência à albufeira, da carga poluente de origem doméstica, industrial, agrícola e florestal.

Este facto resulta da necessidade de ultrapassar a lacuna de informação existente para a caracterização da carga poluente de origem doméstica e industrial, gerada nesta área. Admitiu-se, que esta área teria uma ocupação urbana e industrial semelhante à existente na bacia hidrográfica do rio Arda.

Assim, os parâmetros CBO<sub>5</sub>, OD, Sólidos dissolvidos totais (SDT), coliformes totais, coliformes fecais, pH e temperatura da água, utilizados para caracterizar a carga gerada na bacia própria da albufeira correspondem aos valores observados na estação de qualidade da água de Foz do Arda (07G/08).

Por outro lado a quantificação da carga poluente de origem agrícola e florestal permitiu estimar através da metodologia que se descreve na secção seguinte os valores da carga poluente de N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>x</sub> e P-PO<sub>4</sub>.

Desta forma, foi possível ao nível da definição dos cenários de simulação individualizar a carga poluente de origem agrícola e florestal gerada nesta área.

#### 8.4.2.1 Carga poluente de origem agrícola e florestal

A carga poluente de origem difusa, gerada pela actividade agrícola e nas áreas florestais, foi estimada considerando os diferentes usos do solo associados à área de estudo, obtidos através da carta CORINE 2006. A área avaliada corresponde à bacia própria da albufeira de Crestuma-Lever (Figura 57).

A inexistência de dados de campo, que permitam uma efectiva quantificação da carga difusa gerada pela actividade agrícola e nas áreas florestais, foi ultrapassada através da utilização de taxas de exportação (Quadro 13) que, pela sua definição, reflectem a carga média de um determinado nutriente que aflui a uma massa de água em função do uso do solo. A percentagem da área total de solo que corresponde a cada um dos diferentes usos foi determinada através de um SIG (Sistema de Informação Geográfica), Arcview 3.2<sup>®</sup>.

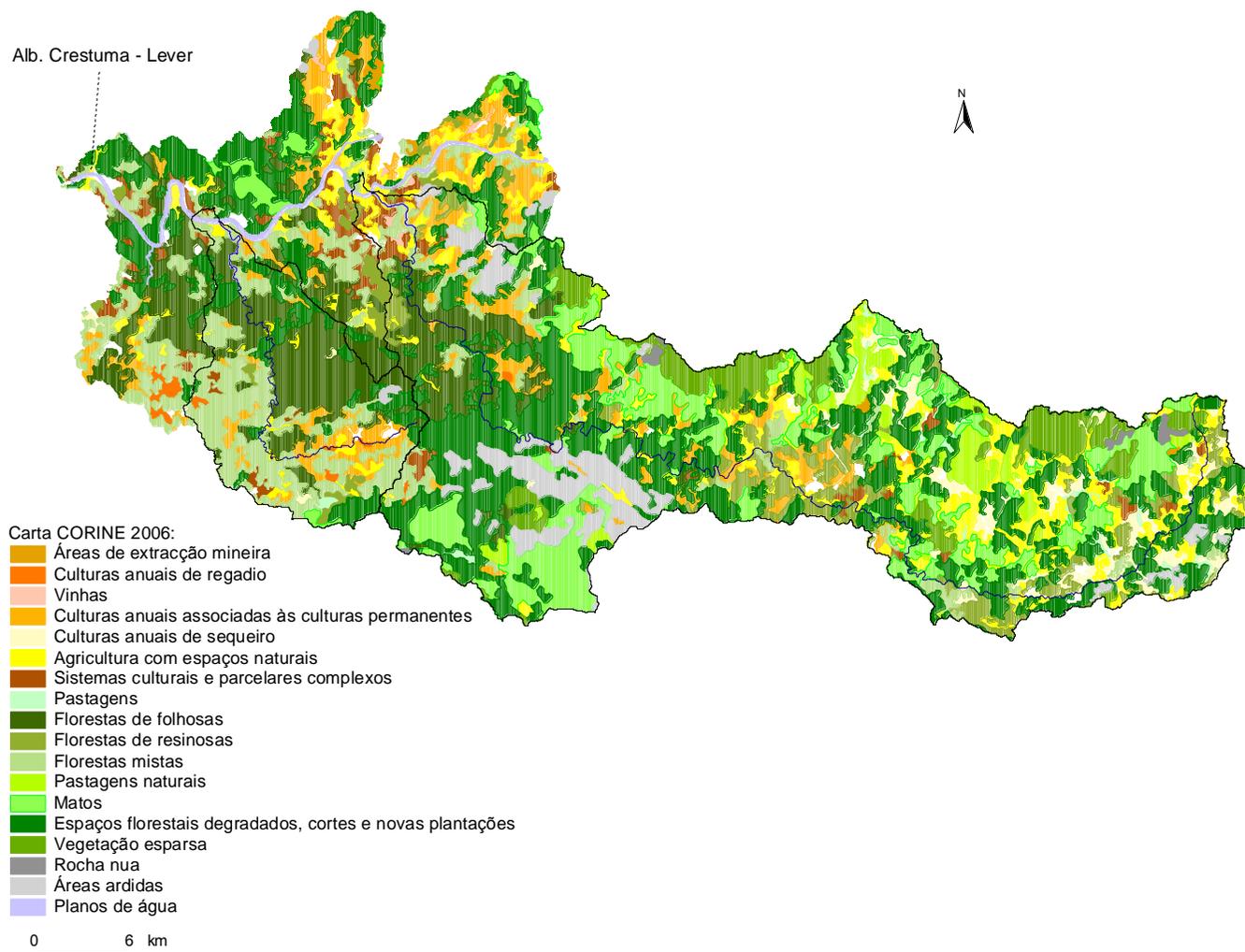
Quadro 13. Taxas de exportação (Dal & Kurtar em Tanik, 1999)

Legenda	Azoto total kg/ha/ano	Fósforo total kg/ha/ano
Florestas	2.00	0.05
Pastagens	5.00	0.10
Agricultura	10.00	0.30

Tendo como objectivo aferir os valores das taxas de exportação de N<sub>total</sub> e de P<sub>total</sub>, associados a áreas agrícolas e florestais, definiram-se duas metodologias, a primeira, Metodologia 1, suporta-se na recolha dos dados de campo registados na secção de referência de uma bacia hidrográfica, com destaque para os valores da concentração de nutrientes e de caudal, permitindo determinar a carga de P-PO<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub> e de N-NH<sub>4</sub>, gerada na área da bacia hidrográfica, independentemente do tipo de uso de solo que a determinou.

A bacia hidrográfica estudada é apresentada na Figura 58, correspondendo à área definida pela estação de qualidade da água da Praia Fluvial (08J/01). Os valores de caudal médio diário foram obtidos na estação hidrométrica de Castro Daire (08J/01H).

A segunda metodologia, designada por Metodologia 2, permitiu também determinar a carga de P-PO<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, e de N-NH<sub>4</sub>, gerada na área da bacia hidrográfica, mas através da consideração de taxas de exportação referenciadas na bibliografia da especialidade, específicas para áreas agrícolas e áreas florestais, e que assim permitiu individualizar a carga gerada em cada uma das classes de uso de solo e suportar a análise e discussão dos resultados obtidos com a utilização da Metodologia 1.



**Figura 57.** Carta CORINE 2006 – Bacia hidrográfica própria da albufeira de Crestuma-Lever

No Quadro 14, são apresentados os valores correspondentes às taxas de exportação obtidas de acordo com as metodologias consideradas. Como se pode observar, os resultados obtidos são bastante satisfatórios, pelo que se admitiu que as taxas de exportação consideradas resultam numa boa aproximação aos valores de carga difusa de origem agrícola e florestal.

**Quadro 14.** Taxas de exportação estimadas com base em dados experimentais

Secção	Metodologia	P-PO <sub>4</sub> kg/ha/ano	N-NH <sub>4</sub> kg/ha/ano	N-NO <sub>3</sub> kg/ha/ano
Praia Fluvial (08J/01)	1)	0.10	1.04	3.75
	2)	0.14	1.64	4.93

No Quadro 15, são apresentadas as taxas de exportação resultantes de uma compilação de 40 estudos realizados nos E.U.A., designada por “*Compilation of measured nutrient load data for agricultural land uses in the United States*”, Harmel D. et al. (2006), onde é possível observar, a grande variabilidade das taxas de exportação de N e de P em função do tipo de cultura.

**Quadro 15.** Taxas de exportação de N e de P por tipo de cultura (Harmel D. et al., 2006)

Cultura	N total kg/ha/ano	N dissolvido kg/ha/ano	N particulado kg/ha/ano	P total kg/ha/ano	P dissolvido kg/ha/ano	P particulado kg/ha/ano
Milho	18.70	3.02	7.27	1.29	0.22	0.85
Algodão	7.88	2.47	9.13	5.01	0.68	5.60
Sorgo	3.02	0.30	-	1.18	-	-
Amendoins	-	-	-		0.05	-
Soja	-	2.70	21.9	0.45	0.60	9.60
Aveia/Trigo	6.61	1.31	5.90	2.20	0.30	3.45
Cultura em pousio	3.00	0.90	2.70	1.08	0.48	0.45
Pastagem	0.97	0.32	0.62	0.24	0.15	0.00
Várias rotações	3.68	3.1	1.36	0.59	0.80	0.60

A mesma conclusão pode ser obtida observando-se os valores apresentados no Quadro 16, onde são referidas taxas de exportação consideradas por diversos autores.

A carga difusa de azoto total (N<sub>total</sub>) foi incluída no modelo CE-QUAL-W2 sob a forma de azoto amoniacal (NH<sub>4</sub>) e do somatório de Nitratos e Nitritos (NO<sub>x</sub>). A correspondente quantificação foi realizada admitindo, conservativamente, que todo o azoto é inorgânico, sendo constituído em 10% por NH<sub>4</sub> e em 90% por N<sub>NO<sub>x</sub></sub>. Deve referir-se que não existem valores de concentração de N<sub>total</sub> que permitam aferir as referidas correlações. Relativamente aos valores de fósforo total (P<sub>total</sub>), adoptando uma abordagem conservativa, optou-se por considerar que o P-PO<sub>4</sub> representa 90% da carga total de fósforo.

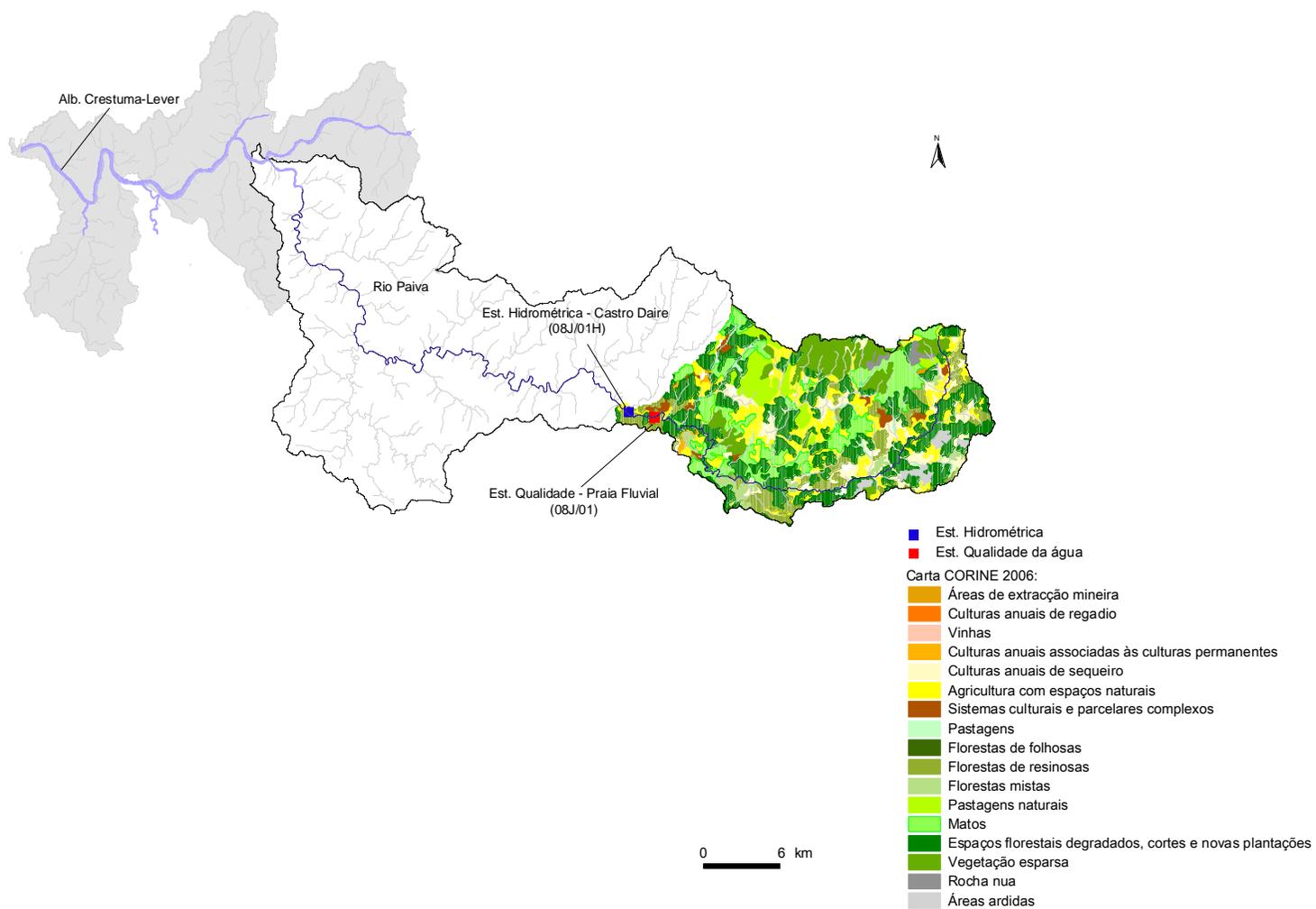
Quadro 16. Taxas de exportação de N e de P por tipo de uso de solo

USO DO SOLO	Sonzogni e Lee, 1974	Uttormark <i>et al.</i> , 1974	U.S. EPA, 1974	Rast W. e G. Fred Lee, 1983	Novotny, V. 1994	J. Vuorenmaa <i>et al</i> , 2001
N total (kg/ha/ano)						
Urbano	5.0	5.0	8	5	-	-
Rural/agricultura	5.0	5.0	10	5	2.7	12
Floresta	-	2.5	4	3	2.1	1.9
Pastagem	-	-	-	-	1.5	-
P total (kg/ha/ano)						
Urbano	1	1.5	0.3	1	-	-
Rural/agricultura	0.7	0.3	0.3	0.5	0.3	0.8
Floresta	-	0.2	0.1	0.05-1	0.4	0.1
Pastagem	-	-	-	0.25	0.9	-

Por sua vez, o escoamento superficial foi estimado com base na relação existente entre a área drenante e o correspondente escoamento gerado na mesma. Assim, dispondo do volume total afluente à albufeira de Crestuma-Lever, e conhecendo a área total drenante para a mesma, determinou-se a percentagem do escoamento total que seria gerado nas áreas consideradas na avaliação da carga poluente de origem agrícola e florestal.

No Quadro 17 são apresentadas as cargas poluentes geradas nas bacias hidrográficas dos rios Paiva e Arda, na área de intervenção do POACL e na bacia hidrográfica própria da albufeira de Crestuma-Lever.

A carga poluente foi introduzida no modelo de forma difusa, através de um tributário distribuído pelo ramo principal da albufeira.



**Figura 58.** Bacia hidrográfica seleccionada para avaliação das taxas de exportação de nutrientes consideradas na análise realizada

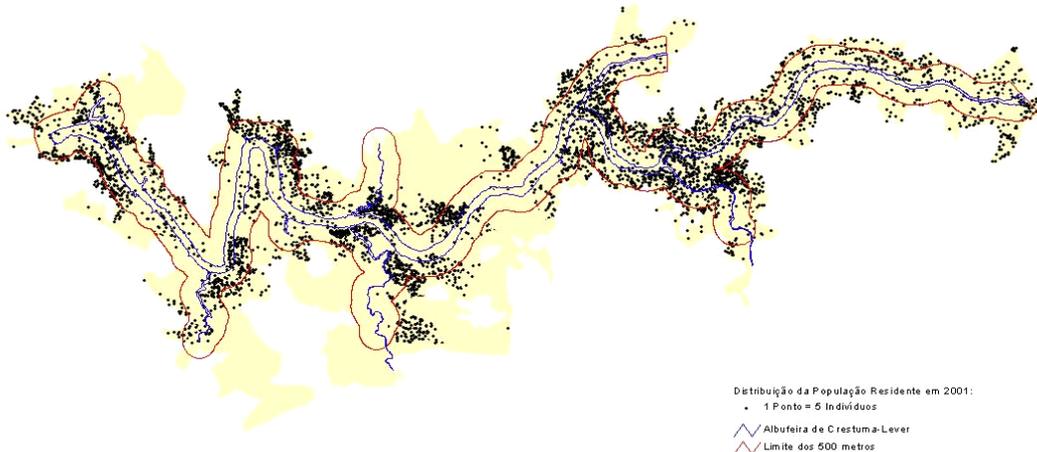
Quadro 17. Carga difusa de origem agrícola e florestal gerada na bacia hidrográfica própria da albufeira de Crestuma-Lever

Legenda	Bacia hidrográfica do rio Paiva				Bacia hidrográfica do rio Arda				Área de intervenção do POACL				Bacia hidrográfica própria da albufeira de Crestuma-Lever			
	Área ha	P - PO <sub>4</sub> kg/ano	NH <sub>4</sub> kg/ano	N – NO <sub>x</sub> kg/ano	Área ha	P - PO <sub>4</sub> kg/ano	NH <sub>4</sub> kg/ano	N – NO <sub>x</sub> kg/ano	Área ha	P - PO <sub>4</sub> kg/ano	NH <sub>4</sub> kg/ano	N – NO <sub>x</sub> kg/ano	Área ha	P - PO <sub>4</sub> kg/ano	NH <sub>4</sub> kg/ano	N – NO <sub>x</sub> kg/ano
Tecido urbano descontínuo	606	-	-	-	165	-	-	-	197	-	-	-	932	-	-	-
Indústria, comércio e equipamentos gerais	56	-	-	-	9	-	-	-	60	-	-	-	108	-	-	-
Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Áreas de extracção mineira	104	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	332	-	-	-
Culturas anuais de sequeiro	4079	979	8159	32634	82	20	164	655	-	-	-	-	92	22	185	739
Culturas anuais de regadio	93	22	186	744	181	43	361	1445	-	-	-	-	333	80	666	2665
Vinhas	102	24	203	813	-	-	-	-	34	8	68	271	174	42	349	1395
Pastagens	848	68	848	3392	77	6	77	310	-	-	-	-	-	-	-	-
Culturas anuais associadas às culturas permanentes	4181	1004	8363	33451	2050	492	4099	16396	566	136	1132	4529	4608	1106	9216	36863
Sistemas culturais e parcelares complexos	1537	369	3073	12294	278	67	557	2227	551	132	1102	4409	2295	551	4589	18357
Agricultura com espaços naturais	7906	1898	15813	63250	546	131	1092	4370	1105	265	2209	8837	2550	612	5099	20396
Florestas de folhosas	4404	176	1761	7046	5551	222	2220	8882	750	30	300	1201	5025	201	2010	8039
Florestas de resinosas	5147	206	2059	8235	317	13	127	507	175	7	70	279	1117	45	447	1787
Florestas mistas	2894	116	1157	4630	5319	213	2128	8511	1163	47	465	1860	4445	178	1778	7113

Legenda	Bacia hidrográfica do rio Paiva				Bacia hidrográfica do rio Arda				Área de intervenção do POACL				Bacia hidrográfica própria da albufeira de Crestuma-Lever			
	Área ha	P - PO <sub>4</sub> kg/ano	NH <sub>4</sub> kg/ano	N - NO <sub>x</sub> kg/ano	Área ha	P - PO <sub>4</sub> kg/an o	NH <sub>4</sub> kg/ano	N - NO <sub>x</sub> kg/an o	Área ha	P - PO <sub>4</sub> kg/ano	NH <sub>4</sub> kg/an o	N - NO <sub>x</sub> kg/ano	Área ha	P - PO <sub>4</sub> kg/ano	NH <sub>4</sub> kg/ano	N - NO <sub>x</sub> kg/ano
Pastagens naturais	2979	238	2979	11915	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Matos	12517	501	5007	20027	116	5	46	186	133	5	53	213	1182	47	473	1892
Espaços florestais degradados, cortes e novas plantações	21823	873	8729	34917	2189	88	876	3502	1226	49	490	1961	7534	301	3014	12054
Rocha nua	417	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vegetação esparsa	5243	210	2097	8389	1	0	0	2	-	-	-	-	39	2	15	62
Áreas ardidas	4610	1106	9219	36877	77	19	155	619	-	-	-	-	290	70	580	2320
Linhas de água	30	-	-	-	54	-	-	-	1129	-	-	-	1051	-	-	-
<b>Total</b>	<b>79638</b>	<b>7789</b>	<b>69654</b>	<b>278616</b>	<b>17012</b>	<b>1317</b>	<b>11903</b>	<b>47612</b>	<b>7088</b>	<b>679</b>	<b>5890</b>	<b>23560</b>	<b>32108</b>	<b>3256</b>	<b>28420</b>	<b>113681</b>

### 8.4.3 Carga poluente gerada na área de intervenção do POACL

A informação contida no POACL não permitiu individualizar o número de habitantes existentes nos lugares localizados na área de intervenção do POACL, que de acordo com o mesmo documento perfazem aproximadamente 26 600 residentes, identificados na Figura 59. (INAG 2005)



**Figura 59.** Distribuição da população residente na área de intervenção do POACL (INAG 2005)

Assim, para se ultrapassar esta lacuna de informação, quantificaram-se as cargas poluentes geradas por freguesia localizada total ou parcialmente na área de intervenção do POACL, tendo-se posteriormente cruzado esta informação com um registo do Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais (INSSAR), disponibilizado pelo INAG, em que são identificados os sistemas de tratamento de água residuais existentes por freguesia.

Assim, o número de habitantes que foi considerado na definição da situação de referência corresponde à totalidade dos habitantes que residem nas freguesias localizadas total ou parcialmente na área de intervenção do POACL, o que perfaz um total de 75 079 habitantes. Este facto possibilitou o cruzamento de informação com os registos do INASSAR, que disponibiliza os sistemas de tratamento existentes por freguesia.

Deve também referir-se que a proximidade das freguesias consideradas à albufeira deveria ter sido um factor de ponderação na definição da área de intervenção do POACL. Em áreas muito urbanizadas uma envolvente com 500 m, pode não limitar com rigor as áreas urbanas com influência na qualidade da água de uma albufeira (Figura 60). Deveria ter sido definida uma envolvente com pelo menos 2 000 m.

O cruzamento de informação realizado permitiu identificar um determinado número de habitantes por freguesia com tipo de tratamento de A.R. conhecido e um determinado número de habitantes por freguesia com tipo de tratamento de A.R. desconhecido ou inexistente.

Este facto conduziu à necessidade de definir duas situações de referência para as simulações realizadas, que se distinguem pelo facto de numa delas se ter admitido que a população com sistemas de tratamento desconhecido ou inexistente, tem tratamento das suas águas residuais.

A estimativa da carga poluente gerada em cada uma das freguesias foi obtida através da consideração das cargas unitárias, apresentadas no Quadro 18. Os valores de capitação foram obtidos através da média dos valores correspondentes a cada um dos países referidos no Quadro 18.

A estimativa das capitações de  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$  e de P-inorgânico, foi complementada em função dos valores de P total e de N total de acordo com as seguintes relações (S.J. Arceivala, 1981):

$$\text{NH}_4 = 0.6 \times \text{N total} \quad (4)$$

$$\text{NO}_3 = 0.05 \times \text{N total} \quad (5)$$

$$\text{P inorgânico} = 0.7 \times \text{P total} \quad (6)$$

**Quadro 18.** Capitações utilizadas na estimativa da carga poluente de origem urbana (Förstner U. *et al.*, 2002)

Parâmetro	Dinamarca	Itália	Suécia	Alemanha	Valor considerado no estudo
<b>CBO</b> gr/hab.dia	61.6	54.8	75.3	61.6	<b>63.4</b>
<b>NH<sub>4</sub></b> gr/hab.dia	9.9 <sup>(3)</sup>	6.6 <sup>(3)</sup>	8.2 <sup>(3)</sup>	8.2 <sup>(3)</sup>	<b>8.2</b>
<b>NO<sub>3</sub></b> gr/hab.dia	0.8 <sup>(3)</sup>	0.5 <sup>(3)</sup>	0.7 <sup>(3)</sup>	0.7 <sup>(3)</sup>	<b>0.7<sup>(1)</sup></b>
<b>P inorgânico</b> gr/hab.dia	3.4 <sup>(3)</sup>	1.5 <sup>(3)</sup>	1.9 <sup>(3)</sup>	2.7 <sup>(3)</sup>	<b>2.4<sup>(2)</sup></b>
<b>N total</b> gr/hab.dia	16.4	11.0	13.7	13.7	<b>13.7</b>
<b>P total</b> gr/hab.dia	4.8	2.2	2.7	3.8	<b>3.4</b>

(1) o valor utilizado no estudo foi posteriormente convertido para N- $\text{NO}_3$ , tendo passado de 0.7 para 0.15 gr/hab.dia.

(2) admitiu-se que todo fósforo inorgânico está sob a forma de P- $\text{PO}_4$ .

(3) valor de capitação estimado com base nas relações descritas por S.J. Arceivala, 1981.

No Quadro 19 são apresentados os valores de capitação de coliformes totais e fecais, que foram considerados na estimativa da carga poluente inerente a estes parâmetros.

**Quadro 19.** Capitações utilizadas na estimativa da carga poluente de origem urbana

Parâmetro	Metcalf and Eddy, (1991)	PNA, (2000)	Geldreich, E. E. (1978)	Valor considerado no estudo
<b>Coliformes totais</b> NMP/hab.dia	-	$1.8 \times 10^9$	-	$1.8 \times 10^9$
<b>Coliformes fecais</b> NMP/hab.dia	$2.0 \times 10^6$	-	$2.0 \times 10^6$	$2.0 \times 10^6$

No Quadro 20 podem observar-se valores de capitação, apresentados em outras referências bibliográficas. Como se pode verificar, o valor médio de capitação obtido para cada um dos parâmetros é muito semelhante ao valor considerado na análise realizada.

Quadro 20. Capitações águas residuais urbanas (outras fontes)

Parâmetro	S.J. Arceivala, (1981)	Metcalf & Eddy, (1991)	Metcalf & Eddy, (2003)	Förstner U. et al. (2002)	PNA, (2000)	Valor médio
<b>CBO</b> gr/hab.dia	50.0	82.0	85.0	63.4	60.0	67.9
<b>NH<sub>4</sub></b> gr/hab.dia	5.4(1)	-	-	8.2(1)	6(1)	6.5
<b>NO<sub>3</sub></b> gr/hab.dia	0.5(1)	-	-	0.7(1)	0.5(1)	0.5
<b>P inorgânico</b> gr/hab.dia	1.8(1)	3	3.28(2)	2.4(1)	2.1(1)	2.5
<b>N total</b> gr/hab.dia	9		-	13.7	10	10.9
<b>P total</b> gr/hab.dia	2.6	3.6	-	3.4	3	3.1

(1) valor de capitação estimado com base nas relações descritas por S.J.Arceivala, 1981.

(2) valor de capitação referido em Metcalf & Eddy, (2003)

Posteriormente, determinou-se o valor da concentração correspondente à carga poluente estimada, considerando o valor da capitação de águas residuais domésticas que se obteve através dos caudais efluentes dos sistemas de tratamento que se localizam na área de intervenção e que foram disponibilizados pelo INSSAR, tendo-se obtido um valor de 114 L/hab.dia. Este valor não é muito diferente do apresentado para a bacia hidrográfica do rio Douro, 130 L/hab.dia, no Relatório do Estado do Abastecimento de Água e da Drenagem e Tratamento de Águas Residuais (INSAAR, 2009).

Os valores de concentração assim obtidos foram incluídos no modelo CE-QUAL-W2, sob a forma de tributários pontuais ao longo do ramo principal da albufeira, tendo em consideração a localização espacial dos lugares, de acordo com o apresentado na Figura 61.

No Quadro 21 podem observar-se os valores estimados de carga poluente gerada nas freguesias localizados total ou parcialmente na área de intervenção do POA.

Quadro 21. Carga poluente gerada nas freguesias localizadas na envolvente da albufeira de Crestuma-Lever

Freguesia	Número de total de habitantes da Freguesia	Nº de hab. com tratamento de A.R. desconhecido	Nº de hab. com tratamento de A.R. conhecido	CBO <sub>5</sub> kg/dia	P - PO <sub>4</sub> kg/dia	NH <sub>4</sub> kg/dia	N - NO <sub>x</sub> kg/dia	Coliformes totais NMP/dia	Coliformes fecais NMP/dia	Caudal m <sup>3</sup> /s
Bairros	1853	1853	-	117.40	4.40	11.85	0.29	3.34E+12	3.61E+09	0.00245
Fornos	1602	1202	400	76.15	2.85	7.68	0.19	2.16E+12	2.34E+09	0.00159
Pedorido	1593	940	653	59.55	2.23	6.01	0.15	1.69E+12	1.83E+09	0.00124
			303							
			50							
			300							
Raiva	2394	1776	618	112.52	4.21	11.35	0.27	3.20E+12	3.46E+09	0.00235
			263							
			50							
			252							
			53							
Santa Maria de Sardoura	2698	2698	-	170.93	6.40	17.25	0.42	4.86E+12	5.26E+09	0.00356
São Martinho de Sardoura	1931	1871	60	118.54	4.44	11.96	0.29	3.37E+12	3.65E+09	0.00247
Sobrado	2921	1393	1528	88.26	3.31	8.91	0.22	2.51E+12	2.72E+09	0.00184
			98							
			25							
			197							
			49							
			1079							
			80							
Espadanedo	1406	1306	100	82.74	3.10	8.35	0.20	2.35E+12	2.55E+09	0.00172
Santiago de Piães	2027	1904	123	120.63	4.52	12.17	0.29	3.43E+12	3.71E+09	0.00251
São Cristóvão de Nogueira	2215	2215	-	140.33	5.26	14.16	0.34	3.99E+12	4.32E+09	0.00293
Souselo	3407	2531	876	160.35	6.01	16.18	0.39	4.56E+12	4.94E+09	0.00334
			206							
			344							
			276							
			50							

Freguesia	Número de total de habitantes da Freguesia	Nº de hab. com tratamento de A.R. desconhecido	Nº de hab. com tratamento de A.R. conhecido	CBO <sub>5</sub> kg/dia	P - PO <sub>4</sub> kg/dia	NH <sub>4</sub> kg/dia	N - NO <sub>x</sub> kg/dia	Coliformes totais NMP/dia	Coliformes fecais NMP/dia	Caudal m <sup>3</sup> /s
Tarouquela	1339	1339	-	84.83	3.18	8.56	0.21	2.41E+12	2.61E+09	0.00177
Travanca	959	959	-	60.76	2.28	6.13	0.15	1.73E+12	1.87E+09	0.00127
Covelo	1755	1555	200	98.52	3.69	9.94	0.24	2.80E+12	3.03E+09	0.00205
Foz do Sousa	6405	6405	-	405.80	15.20	40.95	0.99	1.15E+13	1.25E+10	0.00846
Lomba	1711	1636	75	103.65	3.88	10.46	0.25	2.94E+12	3.19E+09	0.00216
Medas	2353	2318	35	146.86	5.50	14.82	0.36	4.17E+12	4.52E+09	0.00306
Melres	3945	3945	-	249.94	9.36	25.22	0.61	7.10E+12	7.69E+09	0.00521
Alpendurada e Matos	4883	1528	3355	96.81	3.63	9.77	0.24	2.75E+12	2.98E+09	0.00202
Magrelos	982	982	-	62.22	2.33	6.28	0.15	1.77E+12	1.91E+09	0.00130
Penha Longa	2196	2196	-	139.13	5.21	14.04	0.34	3.95E+12	4.28E+09	0.00290
Sande	2009	2009	-	127.28	4.77	12.84	0.31	3.62E+12	3.92E+09	0.00265
São Lourenço do Douro	951	951	-	60.25	2.26	6.08	0.15	1.71E+12	1.85E+09	0.00126
Torrão	948	948	-	60.06	2.25	6.06	0.15	1.71E+12	1.85E+09	0.00125
Várzea do Douro	2015	1815	200	114.99	4.31	11.60	0.28	3.27E+12	3.54E+09	0.00240
Canelas	1780	1688	92	106.95	4.01	10.79	0.26	3.04E+12	3.29E+09	0.00223
Eja	1198	1198	-	75.90	2.84	7.66	0.19	2.16E+12	2.34E+09	0.00158
Portela	1381	1381	-	87.49	3.28	8.83	0.21	2.49E+12	2.69E+09	0.00182
Rio de Moinhos	2977	2694	283	170.68	6.39	17.22	0.42	4.85E+12	5.25E+09	0.00356
Rio Mau	1485	1165	320	73.81	2.76	7.45	0.18	2.10E+12	2.27E+09	0.00154
Sebolido	945	859	86	54.42	2.04	5.49	0.13	1.55E+12	1.68E+09	0.00113
Canedo	5782	5782	-	366.33	13.72	36.96	0.89	1.04E+13	1.13E+10	0.00764
Lever	3033	0	4100	-	-	-	-	0.00E+00	0	
<b>Total</b>	<b>75079</b>	<b>63042</b>	<b>13104</b>	<b>3994</b>	<b>150</b>	<b>403</b>	<b>10</b>	<b>1.13E+14</b>	<b>1.23E+11</b>	<b>0.08325</b>

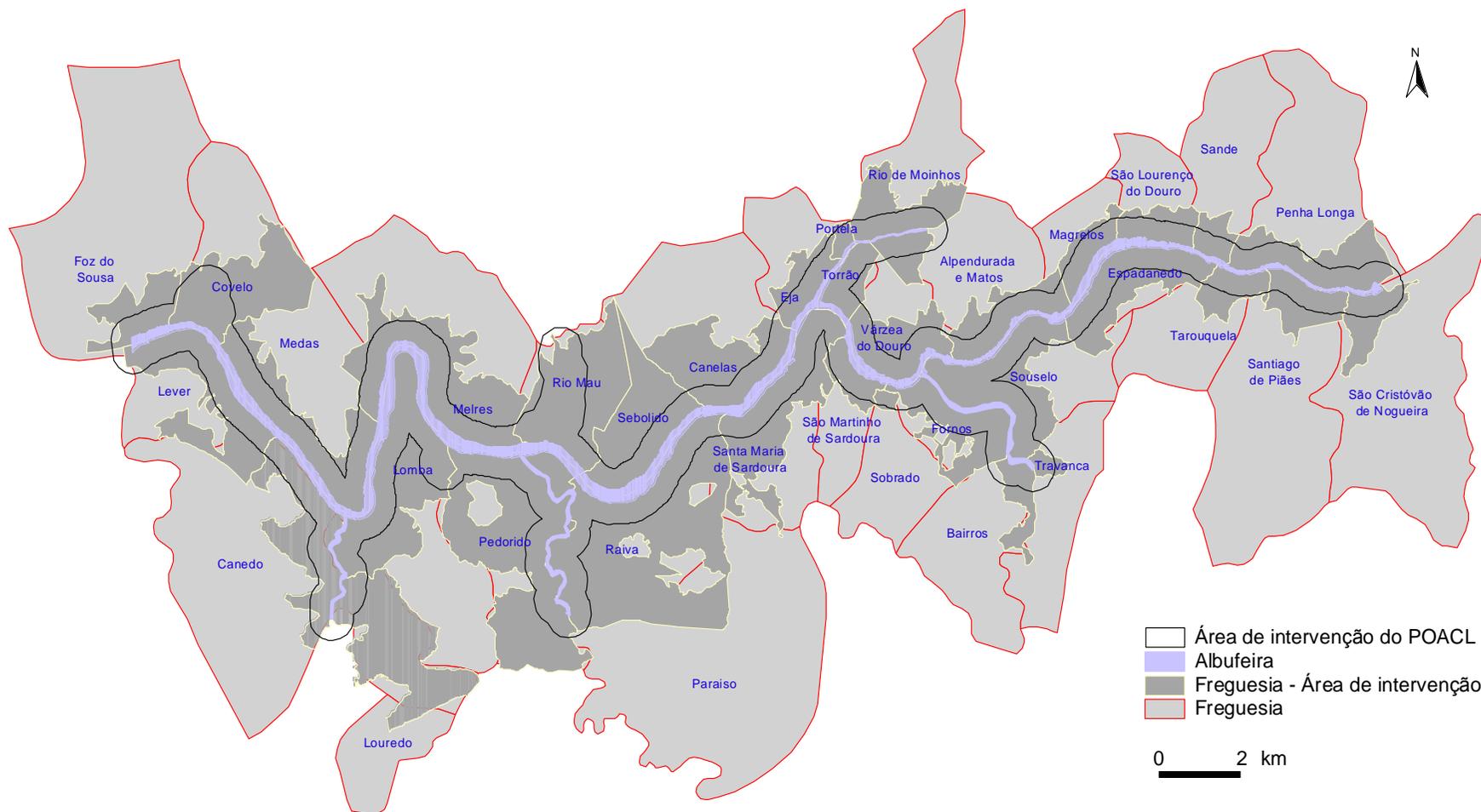


Figura 60. Freguesias localizadas na área de intervenção do POACL

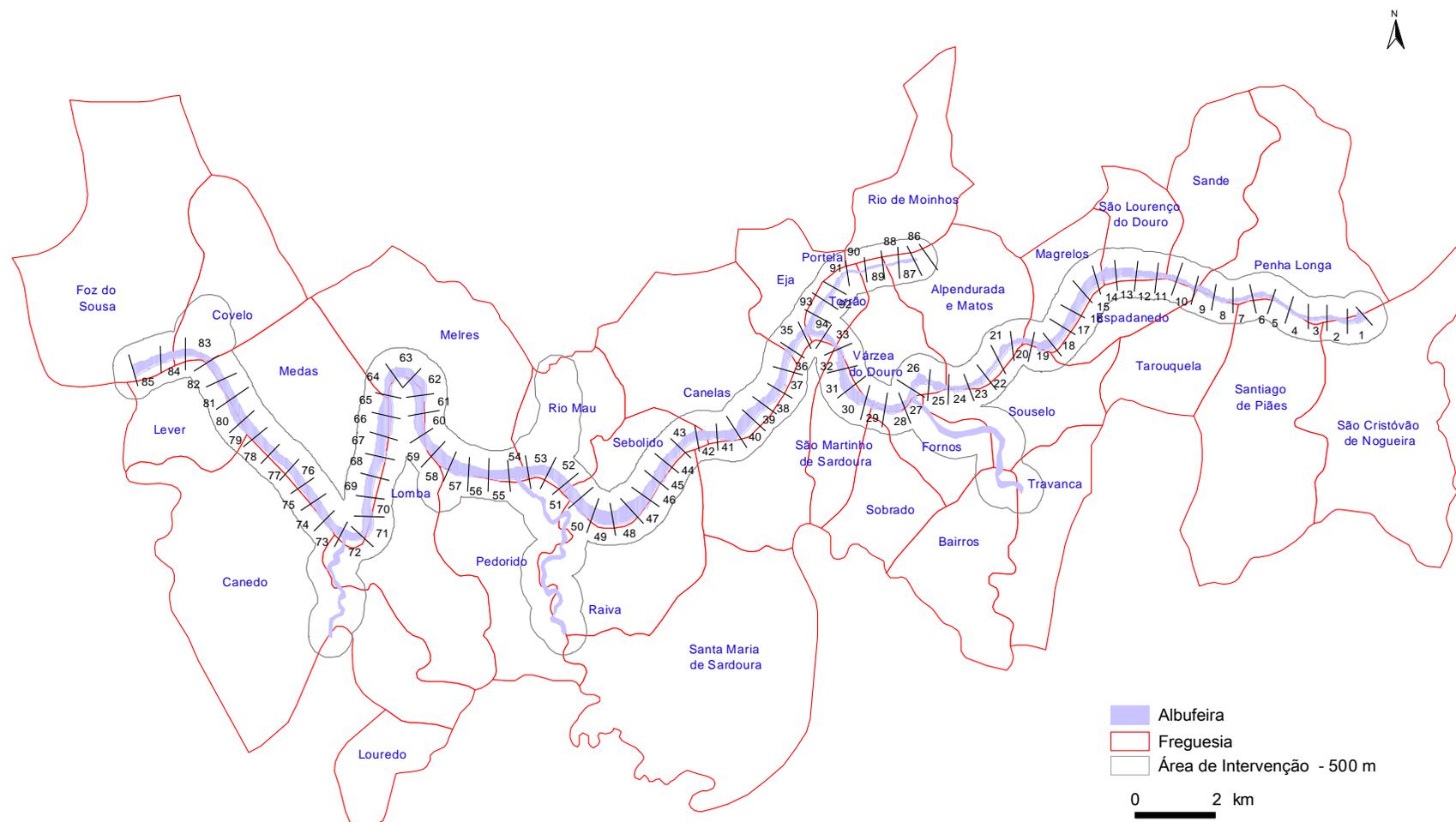


Figura 61. Distribuição das Freguesias pelos segmentos do modelo CE-QUAL-W2

#### 8.4.4 Empreendimentos turísticos localizados na área de intervenção do POAAR

No Relatório Síntese do POACL (INAG 2005), pode ler-se:

*“A abordagem deste tema padece, como se verá, de alguma insuficiência de informação homogénea (territorial e temporalmente), tanto aquela que decorre do sistema estatístico nacional, como a que foi recolhida pela equipa junto de entidades públicas e privadas, de âmbito local, regional e nacional. Existem várias entidades responsáveis pela promoção turística dos concelhos em estudo (ver quadro seguinte), e nem todas as contactadas se mostraram igualmente disponíveis para responder aos pedidos de informação e as que responderam não utilizaram as mesmas fontes, sendo por isso difícil uniformizar a informação...”*

No Quadro 22 pode observar-se uma síntese da avaliação da capacidade das Áreas de Uso Turístico do POACL, que foi disponibilizada pelo INAG e que serviu de base à caracterização dos empreendimentos turísticos previstos e existentes na área de intervenção do POA.

**Quadro 22.** Empreendimentos turísticos existentes e previstos para a área de intervenção do POACL

Zona	Concelho	Situação	Descrição	N.º de camas
Esposade	Gondomar	Existente	Centro Geriátrico	-
Lever	V N de Gaia	Previsto	Pretensão da CM. Recuperação de uma zona degradada em termos paisagísticos	850
Parque de Campismo de Medas	Gondomar	Existente	Parcialmente existente. Parque de Campismo (6ha) - Requalificação, desdensificação e ampliação .	-
Quinta da Varziela	Gondomar	Previsto	Pretensão da CM – empreendimento turístico.	252
Quinta da Azenha	Gondomar	Previsto	Pretensão da CM – empreendimento turístico.	1762
Qª dos Moinhos	Gondomar	Existente	Existente - Alojamento turístico e espaço para organização de eventos	s/camas
Fontainhas	Castelo de Paiva	Previsto	Pretensão da CM – reconversão de edifícios	296
Qª de Santa Cruz	Penafiel	Existente	Alojamento turístico e espaço para organização de eventos.	1246
Parque de Campismo de Ufe	Penafiel	Previsto	Pretensão da CM. Recuperação de uma área degradada. Com projecto.	296
Sardoura	Castelo de Paiva	Previsto	Pretensão da CM. Recuperação de uma área degradada. Reconversão de zona industrial.	1840
Escamarão	Cinfães	Previsto	Pretensão da CM. Recuperação de uma área degradada.	296
Bitetos	Marco de Canaveses	Previsto	Pretensão da CM – potencial turístico associado ao cais	1286
Convento de Alpendorada	Marco de Canaveses	Existente	Alojamento e Património Arquitectónico	-
Santa Cristina	Marco de Canaveses	Previsto	Recuperação de uma área degradada. Requalificação de uma pedreira.	594
Qª da Capela	Marco de Canaveses	Previsto	Recuperação de uma área degradada. Valor arquitectónico e paisagístico	494
Meijoadas	Cinfães	Previsto	Pretensão da CM. Com projecto.	692

Dos três empreendimentos previstos apenas o Convento da Alpendorada com 40 quartos (informação obtida por contacto pessoal), foi considerado ao nível da definição da situação de referência.

O centro Geriátrico de Esposade, localiza-se a jusante da barragem de Crestuma-Lever, na Quinta dos Moinhos não existem alojamentos (informação obtida por contacto pessoal) e relativamente ao parque de campismo, não é possível definir a taxa de ocupação.

Na Figura 62 pode observar-se o empreendimento turístico considerado na definição da situação de referência. Tendo em consideração o número de quartos disponíveis por empreendimento turístico, e as capitações apresentadas nos quadros 18 e 19, determinou-se a correspondente carga poluente afluyente à albufeira de Crestuma-Lever (Quadro 23).

Deve referir-se que se admitiu, conservativamente, que o empreendimento turístico encontra-se totalmente ocupado durante todo o ano.

O desconhecimento da existência de sistemas de tratamento de águas residuais, determinou que se admitisse também, e igualmente de forma conservativa, que toda a carga poluente gerada aflui à albufeira de Crestuma-Lever.

**Quadro 23.** Carga poluente gerada pelos empreendimentos turísticos localizados na área de intervenção do POACL

Freguesia	Empreendimentos	Número de camas	CBO <sub>5</sub> kg/dia	P - PO <sub>4</sub> kg/dia	NH <sub>4</sub> kg/dia	N - NO <sub>x</sub> kg/dia	Coliformes totais NMP/dia	Coliformes fecais NMP/dia	Caudal m <sup>3</sup> /s
Marco de Canaveses	Convento de Alpendorada	40	5.70	0.21	0.58	0.01	1.62E+11	175500000	0.00012

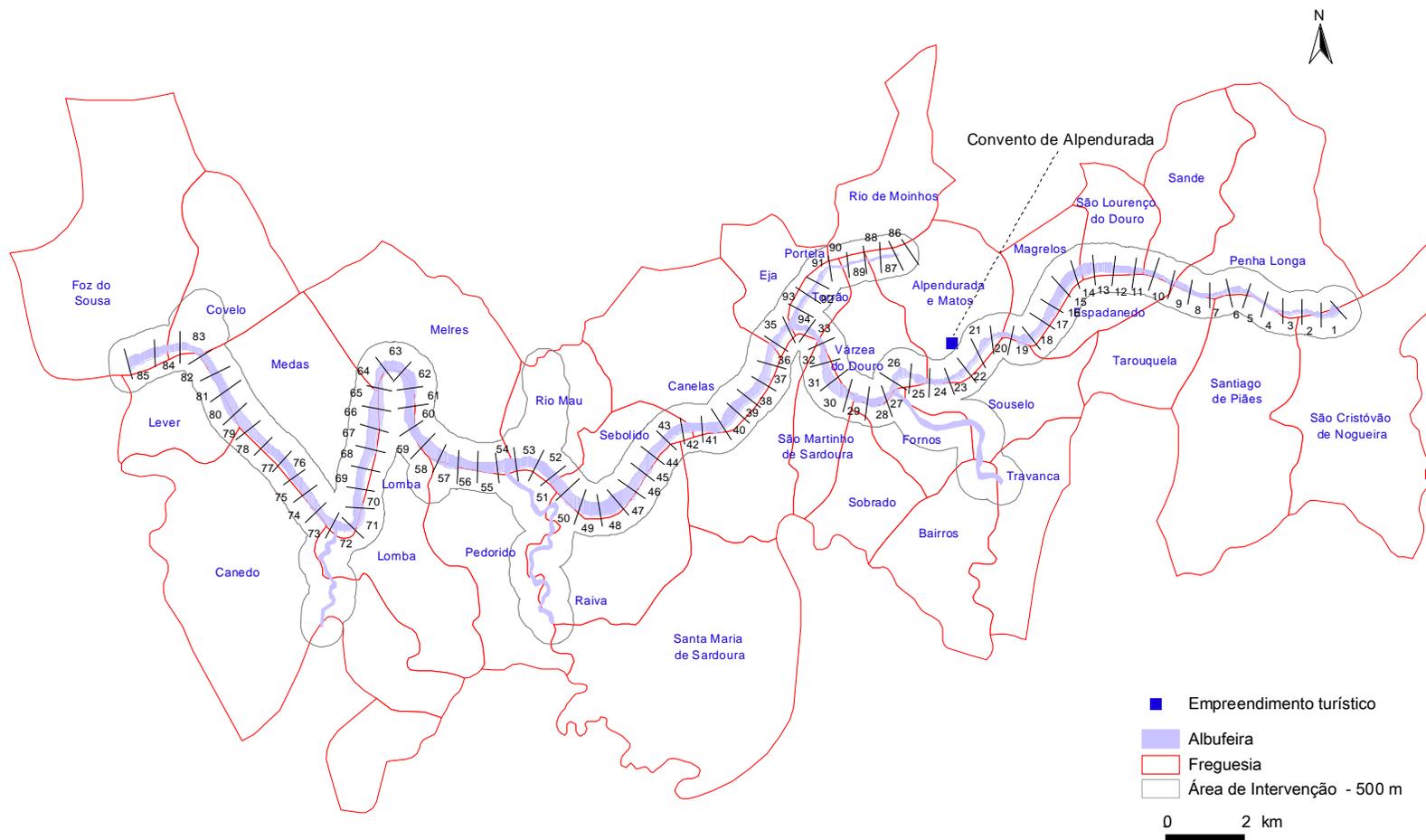


Figura 62. Localização por Freguesia dos empreendimentos turísticos

#### 8.4.5 Sistemas de tratamento de águas residuais

A informação disponibilizada pelo INSSAR permitiu localizar espacialmente os sistemas de tratamento de águas residuais, diferenciar o tipo de tratamento existente e quantificar o número de habitantes por freguesia localizada total ou parcialmente na área de intervenção do POACL, que possuem recolha e tratamento das águas residuais que produzem (Figura 63).

Os dados do INSSAR incluem valores de concentração de alguns parâmetros físico químicos, observados no efluente de alguns sistemas de tratamento, no entanto como apenas está disponível um valor anual de caudal efluente, não é possível estimar a carga sem o valor de caudal. Foram apenas utilizados como termo de comparação para as estimativas que se realizaram.

Considerando as capitações apresentadas nos Quadros 18 e 19, e as eficiências de remoção percentual que se podem observar no Quadro 24, determinaram-se os correspondentes valores de carga poluente afluente à albufeira de Crestuma-Lever (Quadros 25 e 26), através da origem em análise.

Quadro 24. Eficiência de remoção percentual

Tipo de tratamento	% CBO	% NH <sub>4</sub>	% N - NO <sub>x</sub>	% P - PO <sub>4</sub>	% Coliformes totais	% Coliformes Fecais
Tratamento secundário	93 (a)	57 (a)	0 (a)	44 (a)	99 (b)	99 (b)

(a) Metecalf & Eddy (2003)

(b) Monte, M.H. (s/data)

Assim, a carga poluente afluente à albufeira de Crestuma-Lever, sob a forma de caudais de águas residuais e correspondente concentração, foi introduzida no modelo de acordo com a distribuição espacial apresentada na (Figura 63).

Através da metodologia adoptada, foi possível avaliar a contribuição relativa em termos de carga poluente do sistema de tratamento em análise, cujas descargas de águas residuais são efectuadas na albufeira de Crestuma-Lever, permitindo assim avaliar o seu efeito, de forma individualizada, na qualidade dessa massa de água.

Quadro 25. Carga poluente afluente aos sistemas de tratamento localizados na área de intervenção do POACL

Freguesia	Número de total de habitantes da Freguesia	Nº de hab. com tratamento de A.R. desconhecido	Nº de hab. com tratamento de A.R. conhecido	Sistema de tratamento	Nível de tratamento	CBO <sub>5</sub> kg/dia	P - PO <sub>4</sub> kg/dia	NH <sub>4</sub> kg/dia	N - NO <sub>x</sub> kg/dia	Coliformes totais NMP/dia	Coliformes fecais NMP/dia	Caudal m <sup>3</sup> /s
Bairros	1853	1853	-	-								
Fornos	1602	1202	400	F.S.	Primário	25.34	0.95	2.56	0.06	7.20E+11	7.8E+08	0.00095
Pedorido	1593	940	Total 653									
			303	F.S.	Primário	19.20	0.72	1.94	0.05	5.45E+11	5.91E+08	0.00007
			50	F.S.	Primário	3.17	0.12	0.32	0.01	9.00E+10	97500000	0.00008
			300	ETAR	Secundário	19.01	0.71	1.92	0.05	5.40E+11	5.85E+08	0.00003
Raiva	2394	1776	Total 618									
			263	F.S.	Primário	16.66	0.62	1.68	0.04	4.73E+11	5.13E+08	0.00008
			50	F.S.	Primário	3.17	0.12	0.32	0.01	9.00E+10	97500000	0.00008
			252	F.S.	Primário	15.97	0.60	1.61	0.04	4.54E+11	4.91E+08	0.00008
			53	F.S.	Primário	3.36	0.13	0.34	0.01	9.54E+10	1.03E+08	0.00002
Santa Maria de Sardoura	2698	2698										
São Martinho de Sardoura	1931	1871	60	F.S.	Primário	3.80	0.14	0.38	0.01	1.08E+11	1.17E+08	0.00004
Sobrado	2921	1393	Total 1528									
			98	F.S.	Primário	6.21	0.23	0.63	0.02	1.76E+11	1.91E+08	0.00008
			25	F.S.	Primário	1.58	0.06	0.16	0.00	4.50E+10	48750000	0.00004
			197	F.S.	Primário	12.48	0.47	1.26	0.03	3.55E+11	3.84E+08	0.00016
			49	F.S.	Primário	3.10	0.12	0.31	0.01	8.82E+10	95550000	0.00004
			1079	F.S.	Primário	68.36	2.56	6.90	0.17	1.94E+12	2.1E+09	0.00256
			80	F.S.	Primário	5.07	0.19	0.51	0.01	1.44E+11	1.56E+08	0.00013
Espadanedo	1406	1306	100	ETAR	Secundário	6.34	0.24	0.64	0.02	1.80E+11	1.95E+08	0.00014
Santiago de Piães	2027	1904	123	ETAR	Secundário	7.79	0.29	0.79	0.02	2.21E+11	2.4E+08	0.00017
São Cristóvão de Nogueira	2215	2215	-	-								
Souselo	3407	2531	Total 876									
			206	ETAR	Secundário	13.05	0.49	1.32	0.03	3.71E+11	4.02E+08	0.00027
			344	F.S.	Primário	21.79	0.82	2.20	0.05	6.19E+11	6.71E+08	0.00048

Freguesia	Número de total de habitantes da Freguesia	Nº de hab. com tratamento de A.R. desconhecido	Nº de hab. com tratamento de A.R. conhecido	Sistema de tratamento	Nível de tratamento	CBO <sub>5</sub> kg/dia	P - PO <sub>4</sub> kg/dia	NH <sub>4</sub> kg/dia	N - NO <sub>x</sub> kg/dia	Coliformes totais NMP/dia	Coliformes fecais NMP/dia	Caudal m <sup>3</sup> /s
			276	ETAR	Terciário	17.49	0.66	1.76	0.04	4.97E+11	5.38E+08	0.00038
			50	ETAR	Secundário	3.17	0.12	0.32	0.01	9.00E+10	97500000	0.00007
Tarouquela	1339	1339	-	-								
Travanca	959	959	-	-								
Covelo	1755	1555	200	ETAR	Secundário	12.67	0.47	1.28	0.03	3.60E+11	3.9E+08	0.00015
Foz do Sousa	6405	6405	-	-								
Lomba	1711	1636	75	F.S.	Primário	4.75	0.18	0.48	0.01	1.35E+11	1.46E+08	0.00011
Medas	2353	2318	35	F.S.	Primário	2.22	0.08	0.22	0.01	6.30E+10	68250000	0.00005
Melres	3945	3945	-	-								
Alpendurada e Matos	4883	1528	Total 3355									
			2358	ETAR	Terciário	149.39	5.60	15.07	0.36	4.24E+12	4.6E+09	0.00459
			997	ETAR	Terciário	63.17	2.37	6.37	0.15	1.79E+12	1.94E+09	0.00280
Magrelos	982	982	-	-								
Penha Longa	2196	2196	-	-								
Sande	2009	2009	-	-								
São Lourenço do Douro	951	951	-	-								
Torrão	948	948	-	-								
Várzea do Douro	2015	1815	200	ETAR	Secundário	12.67	0.47	1.28	0.03	3.60E+11	3.9E+08	0.00039
Canelas	1780	1688	92	ETAR	Secundário	5.83	0.22	0.59	0.01	1.66E+11	1.79E+08	0.00007
Eja	1198	1198	-	-								
Portela	1381	1381	-	-								
Rio de Moinhos	2977	2694	283	ETAR	Terciário	17.93	0.67	1.81	0.04	5.09E+11	5.52E+08	0.00031
Rio Mau	1485	1165	320	ETAR	Secundário	20.27	0.76	2.05	0.05	5.76E+11	6.24E+08	0.00038
Sebolido	945	859	86	ETAR	Secundário	5.45	0.20	0.55	0.01	1.55E+11	1.68E+08	0.00008
Canedo	5782	5782	-	-								
Lever	3033	0	4100	ETAR	Terciário	259.76	9.73	26.21	0.63	7.38E+12	8E+09	0.01755
<b>Total</b>	<b>75079</b>	<b>63042</b>	<b>13104</b>	-	-	830.22	31.10	83.77	2.03	2.36E+13	2.56E+10	0.03241

Quadro 26. Carga poluente afluyente à albufeira de Crestuma-Lever após tratamento

Freguesia	Número de total de habitantes da Freguesia	Nº de hab. com tratamento de A.R. desconhecido	Nº de hab. com tratamento de A.R. conhecido	Sistema de tratamento	Nível de tratamento	CBO <sub>5</sub> kg/dia	P - PO <sub>4</sub> kg/dia	NH <sub>4</sub> kg/dia	N - NO <sub>x</sub> kg/dia	Coliformes totais NMP/dia	Coliformes fecais NMP/dia	Caudal m <sup>3</sup> /s
Bairros	1853	1853	-	-								
Fornos	1602	1202	400	F.S.	Primário	1.267	0.949	2.557	0.062	7200000	78000	0.00095
Pedorido	1593	940	Total 653									
			303	F.S.	Primário	0.960	0.719	1.937	0.047	54540000	59085	0.00007
			50	F.S.	Primário	0.158	0.119	0.320	0.008	9000000	9750	0.00008
			300	ETAR	Secundário	1.330	0.399	0.825	0.046	5400000000	5850000	0.00003
Raiva	2394	1776	Total 618	F.S.	Primário							
			263	F.S.	Primário	0.833	0.624	1.681	0.041	47340000	51285	0.00008
			50	F.S.	Primário	0.158	0.119	0.320	0.008	9000000	9750	0.00008
			252	F.S.	Primário	0.798	0.598	1.611	0.039	45360000	49140	0.00008
			53	F.S.	Primário	0.168	0.126	0.339	0.008	9540000	10335	0.00002
Santa Maria de Sardoura	2698	2698	-	-								
São Martinho de Sardoura	1931	1871	60	F.S.	Primário	0.190	0.142	0.384	0.009	10800000	11700	0.00004
Sobrado	2921	1393	Total 1528									
			98	F.S.	Primário	0.310	0.233	0.626	0.015	17640000	19110	0.00008
			25	F.S.	Primário	0.079	0.059	0.160	0.004	4500000	4875	0.00004
			197	F.S.	Primário	0.624	0.468	1.259	0.030	35460000	38415	0.00016
			49	F.S.	Primário	0.155	0.116	0.313	0.008	8820000	9555	0.00004
			1079	F.S.	Primário	3.418	2.561	6.898	0.167	194220000	210405	0.00256
			80	F.S.	Primário	0.253	0.190	0.511	0.012	14400000	15600	0.00013
Espadanedo	1406	1306	100	ETAR	Secundário	0.443	0.133	0.275	0.015	1800000000	1950000	0.00014
Santiago de Piães	2027	1904	123	ETAR	Secundário	0.545	0.163	0.338	0.019	2214000000	2398500	0.00017
São Cristóvão de Nogueira	2215	2215	-	-								
Souselo	3407	2531	Total 876									
			206	ETAR	Secundário	0.914	0.274	0.566	0.032	3708000000	4017000	0.00027
			344	F.S.	Primário	1.090	0.816	2.199	0.053	61920000	67080	0.00048
			276	ETAR	Terciário	0.350	0.013	0.741	0.043	49680000	53820	0.00038

Freguesia	Número de total de habitantes da Freguesia	Nº de hab. com tratamento de A.R. desconhecido	Nº de hab. com tratamento de A.R. conhecido	Sistema de tratamento	Nível de tratamento	CBO <sub>5</sub> kg/dia	P - PO <sub>4</sub> kg/dia	NH <sub>4</sub> kg/dia	N - NO <sub>x</sub> kg/dia	Coliformes totais NMP/dia	Coliformes fecais NMP/dia	Caudal m <sup>3</sup> /s
			50	ETAR	Secundário	0.222	0.066	0.137	0.008	900000000	975000	0.00007
Tarouquela	1339	1339	-	-								
Travanca	959	959	-	-								
Covelo	1755	1555	200	ETAR	Secundário	0.887	0.266	0.550	0.031	3600000000	3900000	0.00015
Foz do Sousa	6405	6405	-	-								
Lomba	1711	1636	75	F.S.	Primário	0.238	0.178	0.479	0.012	13500000	14625	0.00011
Medas	2353	2318	35	F.S.	Primário	0.111	0.083	0.224	0.005	6300000	6825	0.00005
Melres	3945	3945	-	-								
Alpendurada e Matos	4883	1528	Total 3355									
			2358	ETAR	Terciário	7.470	1.268	1.407	0.365	424440000	459810	0.00459
			997	ETAR	Terciário	2.527	0.363	0.637	0.154	179460000	194415	0.00280
Magrelos	982	982	-	-								
Penha Longa	2196	2196	-	-								
Sande	2009	2009	-	-								
São Lourenço do Douro	951	951	-	-								
Torrão	948	948	-	-								
Várzea do Douro	2015	1815	200	ETAR	Secundário	0.887	0.266	0.550	0.031	3600000000	3900000	
Canelas	1780	1688	92	ETAR	Secundário	1.076	0.122	0.121	0.014	1656000000	1794000	
Eja	1198	1198	-	-								
Portela	1381	1381	-	-								
Rio de Moinhos	2977	2694	283	ETAR	Terciário	3.355	0.013	0.760	0.044	50940000	55185	
Rio Mau	1485	1165	320	ETAR	Secundário	2.413	0.425	0.880	0.049	5760000000	6240000	
Sebolido	945	859	86	ETAR	Secundário	0.753	0.114	0.236	0.013	1548000000	1677000	
Canedo	5782	5782	-	-								
Lever	3033	0	4100	ETAR	Terciário	17.619	0.195	11.008	0.634	738000000	799500	
<b>Total</b>	<b>75079</b>	<b>63042</b>	<b>13104</b>	-	-							

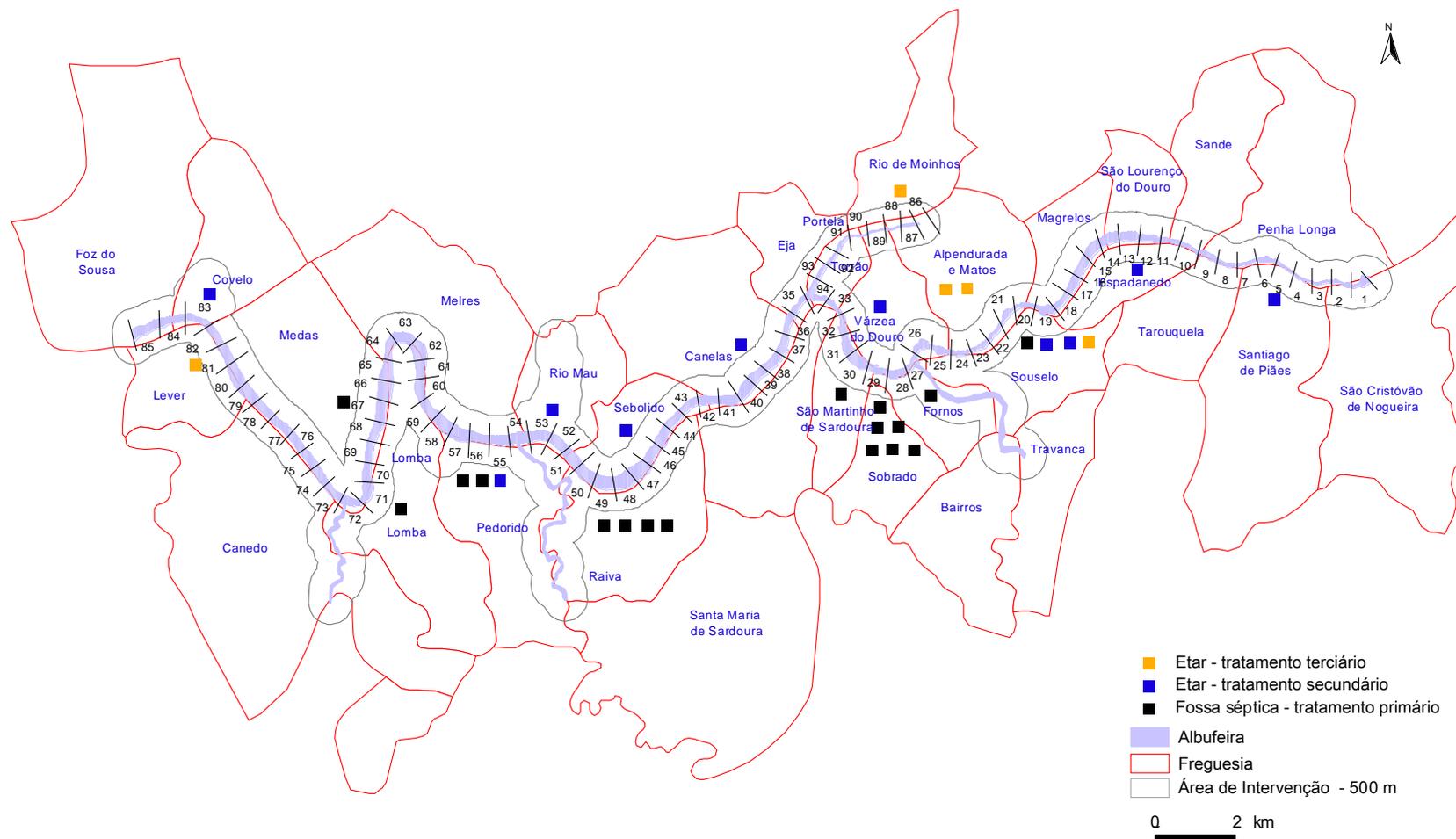


Figura 63. Localização por Freguesia dos sistemas de tratamento de águas residuais urbanas

#### 8.4.6 Actividades industriais

No Relatório Síntese do POACL (INAG 2005), pode ler-se:

*“A área de intervenção é essencialmente residencial, como os próprios dados sobre a natureza dos edifícios deixam supor. Não existem unidades industriais em número significativo e as actividades extractivas (com excepção da extracção de areias do Douro) situam-se maioritariamente fora da área (embora na sua proximidade quase imediata).*

*“Nas freguesias abrangidas pelo Plano estão registadas 1226 sociedades (dados de 2001, Base BELEM, INE)”.*

No referido documento é igualmente apresentado um Quadro onde se pode identificar o sector de actividade das 1226 empresas, e o número de funcionários. No entanto não existem dados relativamente à sua localização, consumos de água e produção anual, que permitam avaliar o seu potencial impacto na qualidade da água da albufeira de Crestuma-Lever.

## 9. APLICAÇÃO DE MODELOS SIMPLIFICADOS DE SIMULAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO NA ALBUFEIRA DE CRESTUMA-LEVER

Com o objectivo de determinar os valores da carga poluente de P<sub>total</sub> e de P-PO<sub>4</sub>, que afluem em média à albufeira de Crestuma-Lever, aplicaram-se três modelos de simulação que se descrevem em seguida. A contribuição relativa da bacia hidrográfica do rio Douro que se localiza em Espanha e em Portugal, foi obtida aplicando os mesmos três modelos de simulação à albufeira de Miranda do Douro.

### Modelo 1

Considerando que o processo de estratificação é sazonal, verifica-se que numa análise a longo prazo, mesmo em albufeiras mais profundas, é possível utilizar a aproximação resultante da adopção de um modelo de mistura completa.

Na abordagem à mistura completa assume-se que no lago ou albufeira a concentração dos diferentes compostos é aproximadamente uniforme. De acordo com o referido em Metcalf & Eddy, 1991, a seguinte expressão pode ser utilizada para descrever constituintes sujeitos a processos de decaimento de 1ª ordem:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -KC + \sum I_j + \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial t} C \quad (7)$$

em que:

V – volume da massa de água, L<sup>3</sup>

K – taxa de decaimento, T<sup>-1</sup>

C – concentração, M/L<sup>3</sup>

I<sub>j</sub> – massa injectada por unidade de tempo e por unidade de volume de água, M/TL<sup>3</sup>;

O balanço de afluências é obtido pela seguinte equação:

$$\sum I_j = \frac{M' - Q_0 C}{V} \quad (8)$$

em que:

V = volume da massa de água, L<sup>3</sup>

M' = carga do elemento ou composto que afluí à albufeira, M/T;

Q<sub>0</sub> = diferença entre o caudal afluente e o caudal efluente, L<sup>3</sup>/T

Conjugando as equações (3) e (4), e integrando em ordem ao tempo, obtém-se a seguinte expressão:

$$C = \frac{M'}{V\beta} \left[ 1 - \exp\left(-\int_0^t \beta d\tau\right) \right] + C_0 \exp\left(-\int_0^t \beta d\tau\right) \quad (9)$$

em que:

$C_0$  - concentração inicial no instante  $t=0$ ,  $M/L^3$

$$\beta = K + \frac{(Q_0 + dV/dt)}{V}, \quad T^{-1}; \quad (10)$$

Admitindo-se que o volume da massa de água se mantém constante, obtém-se a seguinte relação entre a carga afluyente à albufeira e o valor de concentração observado na mesma:

$$M' = C\beta V \quad (11)$$

em que:

$$\beta = K + \frac{Q_0}{V} \quad (12)$$

A perda de P para os sedimentos é equivalente a um processo de decaimento de 1ª ordem, com uma constante de  $0.003 \text{ dia}^{-1}$  (EPA,1985).

## Modelo 2

De acordo com Thomann e Muller, 1987, e admitindo a mistura completa da massa de água, a equação 9, pode utilizar-se para estimar a carga afluyente de  $P-PO_4$ :

$$V \frac{dp}{dt} = w - V_s A_s p - Q_p \quad (13)$$

em que:

$V$  - volume,  $L^3$ ;

$p$  - concentração de fósforo na albufeira,  $M/L^3$ ;

$Q$  - caudal efluyente,  $L^3/T$ ;

$W$  - fontes externas de fósforo,  $M/T$ ;

$V_s$  - velocidade de sedimentação,  $(L/T)$ ,  $0.0274 \text{ m/dia}$  (Thomann e Muller, 1987);

$A_s$  - área superficial do lago,  $L^2$ .

Admitindo um estado estacionário, correspondente a um regime permanente, a equação (9) pode ser expressa da seguinte forma:

$$p = \frac{w}{Q + V_s A_s} \quad (14)$$

### Modelo 3

De acordo como Vollenweider, 1978 (in Rast W. e Lee G. Fred, 1978), a razão entre a carga afluyente de fósforo e o valor médio de concentração de fósforo na albufeira, é teoricamente equivalente à seguinte expressão do tempo de residência hidráulico.

$$\frac{[P]}{[\bar{P}]} = \frac{1}{1 + \sqrt{\tau_w}} \quad (15)$$

$[P]$  - carga de fósforo afluyente à albufeira, M/T,

$[\bar{P}]$  - concentração de fósforo na albufeira, M/L<sup>3</sup>,

$\tau_w$  - tempo de residência hidráulico, T.

Na Figura 64 são apresentados os resultados obtidos com cada um dos modelos utilizados e para ambas as albufeiras. Como se pode observar, todos os resultados obtidos são bastante aproximados, e indicam que, em média, afluem diariamente 4 354 kg de P<sub>total</sub> e 2 944 kg de P-PO<sub>4</sub>, à albufeira de Crestuma-Lever e 2 000 kg de P<sub>total</sub> e 653 kg de P-PO<sub>4</sub>, à albufeira de Miranda.

A diferença entre os dois conjuntos de valores corresponde a uma boa aproximação da carga de P<sub>total</sub> e de P-PO<sub>4</sub> que é gerada na bacia hidrográfica do rio Douro em Portugal, 2354 kg e 2 291 kg respectivamente. Considera-se que os resultados obtidos são uma aproximação porque há uma determinada carga de P<sub>total</sub> e de P-PO<sub>4</sub> que é gerada na bacia hidrográfica do rio Tâmega em Espanha que se incluiu na bacia hidrográfica do rio Tâmega em Portugal.

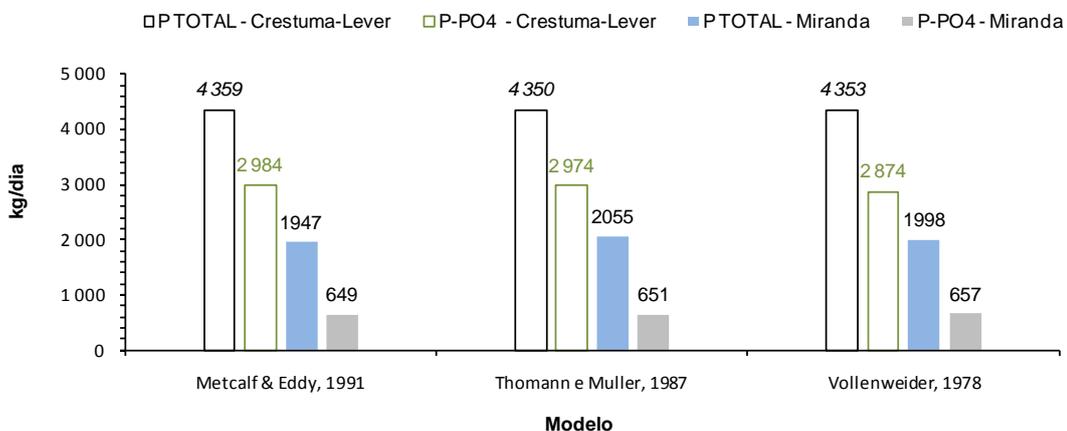


Figura 64. Valor médio da carga de P-PO<sub>4</sub> afluyente à albufeira de Crestuma-Lever

Posteriormente determinaram-se os valores de carga unitária de P<sub>total</sub> e de P-PO<sub>4</sub> gerada em Portugal e em Espanha, tendo-se obtido os seguintes valores:

**Portugal:** P<sub>total</sub> - 0.32 kg/ha/ano

P-PO<sub>4</sub> - 0.31 kg/ha/ano

**Espanha :** P<sub>total</sub> - 0.10 kg/ha/ano

P-PO<sub>4</sub> - 0.15 kg/ha/ano

A capitação estimada para Portugal é muito semelhante à capitação que se pode observar no Quadro 13, correspondente a uma área agrícola, 0.3 kg/ha/ano. Por outro lado o valor de capitação estimado para Espanha é idêntico à capitação correspondente a áreas utilizadas para pastagens, 0.1 kg/ha/ano e próximo da capitação correspondente a áreas florestais, 0.05 kg/ha/ano.

Tendo em consideração que a maior grande parte das culturas agrícolas existentes nas margens do rio Douro corresponde ao cultivo de vinha e considerando ainda os elevados valores de P que são utilizados como fertilizantes (Usualmente associado ao cultivo de vinha utilizam-se aproximadamente 200 a 500 kg/ha de P por ano para a plantação e 40 a 50 kg por ano para a manutenção), considera-se que esta poderá ser uma das principais fontes de P<sub>total</sub> afluente à albufeira de Crestuma-Lever.

## 10. CALIBRAÇÃO DO MODELO CE-QUAL-W2

### 10.1 - Introdução

A aferição da evolução da cota da superfície livre da massa de água e dos valores de variáveis e constantes representativas dos processos físicos, químicos e biológicos, inerentes aos parâmetros simulados, constituem os principais processos de calibração do modelo.

Assim, a sequência de calibração do modelo iniciou-se com a aferição da cota da superfície livre da massa de água ao longo do período de simulação (os anos civis de 2000 a 2010), que depende do nível da albufeira na data inicial da simulação, das entradas e saídas de água no sistema ao longo do período de simulação e dos volumes obtidos a partir da representação batimétrica adoptada.

Posteriormente, procedeu-se à calibração da temperatura e da hidrodinâmica do sistema. Por último, procedeu-se à calibração dos valores da concentração dos parâmetros descritores da qualidade da água, através de um processo iterativo, em que os resultados obtidos em cada simulação são sucessivamente comparados com os dados de amostragem disponíveis.

No Quadro 27 são apresentados os valores atribuídos aos principais parâmetros com influência na calibração da hidrodinâmica/temperatura e do OD.

Quadro 27. Parâmetros de calibração do modelo CE-QUAL-W2

Parâmetro	Valor atribuído
Viscosidade longitudinal de Eddy, $A_x \text{ m}^2/\text{s}$	1.0
Difusividade longitudinal de Eddy, $D_x \text{ m}^2/\text{s}$	1.0
Coefficiente de rugosidade de Chezy $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$	70
Coefficiente de exposição ao vento, WSC	0.95
Fluxo de OD para os sedimentos, SOD ( $\text{g O}_2/\text{m}^2.\text{d}^{-1}$ )	0.2

### 10.2 - Condições iniciais de simulação

As condições iniciais do processo de simulação são definidas no ficheiro de controlo do modelo, no ficheiro de batimetria e, no caso de existir informação para esse efeito e de se considerar que é relevante, em ficheiros com perfis verticais e/ou longitudinais dos valores da concentração dos diferentes parâmetros a simular. No ficheiro de controlo são definidas, entre outras, as seguintes condições iniciais:

1. Período de simulação – data inicial e final de simulação.
2. Temperatura inicial. No caso de existir a informação necessária, podem ser incluídos perfis verticais e longitudinais de temperatura.
3. Concentração inicial dos constituintes a simular. Também neste caso, se existir a informação necessária, podem ser incluídos perfis verticais e longitudinais dos valores da concentração dos constituintes a simular.

4. Número, localização e características dos pontos de afluência e de descarga ou tomada de água.
5. Cota da superfície livre no início da simulação.
6. Tipo de massa de água – água doce ou salgada.

O período para o qual se procedeu à calibração do modelo corresponde, de acordo com o anteriormente referido, aos anos civis de 2000 a 2010.

Assim, para as condições iniciais do sistema a simular, consideraram-se os dados disponibilizados através do SNIRH, relativos à estação de qualidade da água da Albufeira de Crestuma-Lever (07G/04), observados no dia 5 de Janeiro de 2000. Para todos os parâmetros considerados, assumiu-se que os valores/concentrações são constantes para toda a massa de água, o que corresponde a assumir condições de mistura completa no início do período de simulação, estando de acordo com o que é expectável que ocorra nessa altura do ano. Os valores considerados para as condições iniciais são apresentados no Quadro 28.

**Quadro 28.** Condições iniciais de simulação no ano de 2000

Cota da superfície livre	12.87 m
Temperatura	10.0 °C
Oxigénio dissolvido	10.4 mg/L
P-PO <sub>4</sub>	0.039 mg/L
Biomassa algal	0.005 mg/L
Azoto amoniacal	0.078 mg/L
N-Nitratos + N-Nitritos	1.138 mg/L
CBO <sub>5</sub>	2.000 mg/L
Sólidos dissolvidos totais	120.8 mg/L
Coliformes fecais	6 600 NMP/L
Coliformes totais	13 000 NMP/L

\*Cota da superfície livre observada no dia 31-12-2005 (com correcção do desfasamento de 9.2 m)

### 10.3 - Verificação do balanço de volumes

De acordo com o apresentado na Figura 65, nas quais se estabelece a comparação entre os valores simulados e observados, do volume armazenado na albufeira de Crestuma-Lever, ao longo dos anos de 2000 a 2010, verifica-se que se conseguiu um excelente ajustamento entre as duas séries de valores.

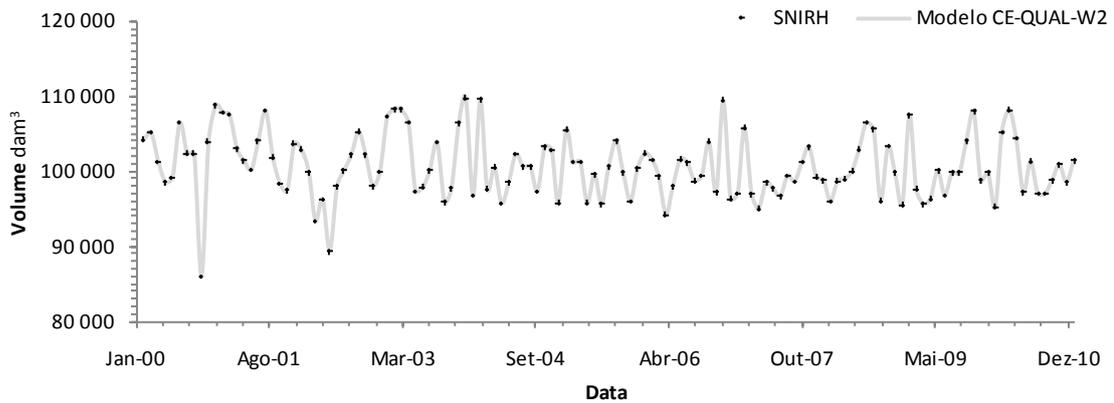


Figura 65. Evolução temporal de volumes simulados e observados

Na Figura 66 pode observar-se a curva característica de cotas versus volumes armazenados da albufeira de Crestuma-Lever, bem como a curva obtida através da representação conceptual adoptada para a albufeira.

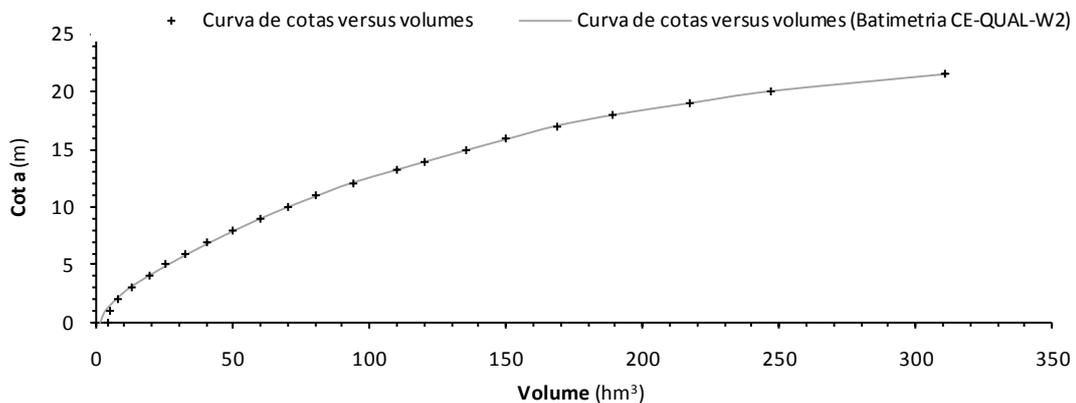


Figura 66. Curvas de cotas versus volumes armazenados – Albufeira de Crestuma-Lever

O excelente ajustamento obtido indica que a grelha batimétrica definida para o modelo tem capacidade para reproduzir, correctamente, a evolução dos volumes armazenados na massa de água, durante o período em análise.

## 10.4 - Resultados obtidos no processo de calibração

### 10.4.1 Introdução

Os resultados obtidos com as simulações realizadas para os anos de 2000 a 2010, foram comparados com os valores de concentração obtidos, à superfície e ao longo do ano, na estação de qualidade da água da albufeira de Crestuma-Lever (07G/04). Importa salientar que a referida estação de monitorização da qualidade da água, apenas possui registos de amostragens realizadas à superfície. Foi também incluída uma figura em se substitui os valores observados na estação de qualidade da

água por uma linha de tendência que uniformiza a sua evolução e assim facilita a análise quando o número de valores observado é elevado.

Adicionalmente, os valores de temperatura da água e da concentração de OD, foram comparados com perfis verticais disponibilizados pela EDP, obtidos na albufeira de Crestuma-Lever a cerca de 1 km a montante da barragem.

Nas secções seguintes serão apresentados e analisados os resultados obtidos para todos os parâmetros simulados, relativos aos exercícios de modelação desenvolvidos para os anos de 2000 a 2010.

#### **10.4.2 Temperatura**

A análise do comportamento térmico da albufeira, ao longo dos anos de 2000 a 2010, permitiu concluir que esta massa de água apresenta normalmente um comportamento semelhante ao de um lago polimíctico em que a água se mistura verticalmente várias vezes por ano, não se verificando nunca uma estratificação completa do mesmo nem no Inverno nem no Verão (Odum, E.P., 1971).

Nas Figuras 66 e 67 apresentam-se os valores da temperatura da massa de água, ao longo da globalidade do seu ramo principal (rio Douro), no dia 1 de Agosto, para os anos de 2000 a 2010. Nas referidas figuras pode observar-se, com excepção dos anos de 2005 e de 2010, alguma estratificação térmica da albufeira.

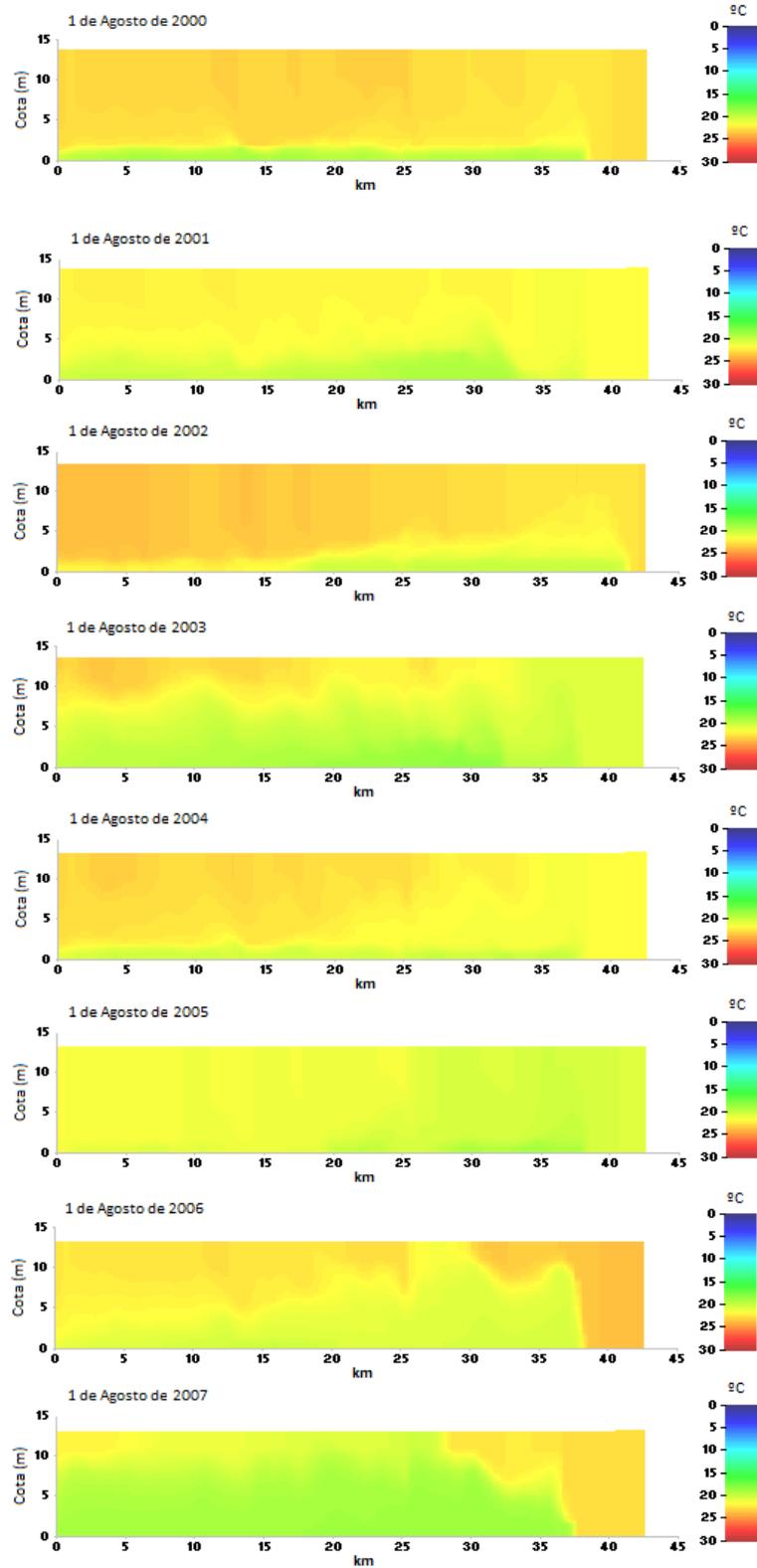
Os períodos de estratificação térmica são reduzidos por vezes com a duração de alguns dias e com uma igualmente reduzida variação térmica entre as camadas superficiais e as camadas mais profundas. Por exemplo no ano de 2002, à superfície obteve-se um valor de temperatura da água de 24 °C e em profundidade de 20 °C.

No ano de 2010 um dos períodos de estratificação térmica teve a duração de seis dias, com início no dia 3 de Julho de 2010 e final no dia 9 de Julho de 2010, a imagem referente a este ano (Figura 68), corresponde já ao posterior período de homogeneização.

A albufeira apresenta em alguns dos anos simulados, cinco períodos em que se observa uma ténue estratificação térmica, distribuídos pelos meses de Junho, Julho, Agosto Setembro e Outubro, intervalados por períodos de homogeneização em que a termoclina é eliminada e a temperatura das camadas mais profundas aumenta, até que toda a albufeira se encontra termicamente homogénea.

Durante o ano de 2005, referenciado como um ano em que se atingiram temperaturas do ar muito elevadas, a albufeira não apresenta nenhum período de estratificação térmica.

O singular comportamento térmico da albufeira de Crestuma-Lever é uma consequência da reduzida profundidade da albufeira, (NPA - 13 m) e do facto de se tratar de uma albufeira do tipo fio de água, com elevados caudais afluentes e um tempo de retenção reduzido, de aproximadamente 2 dias.



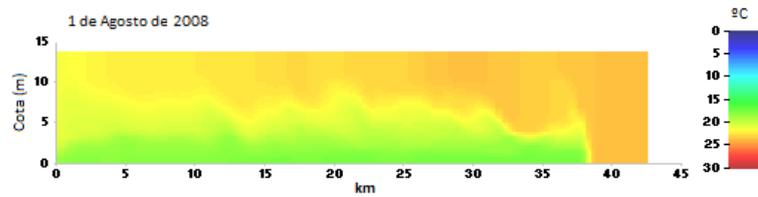


Figura 67. Temperatura da massa de água ao longo do rio Douro (continuação)

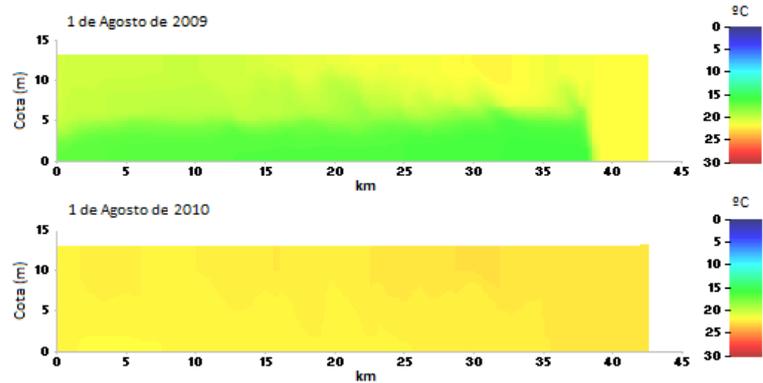


Figura 68. Temperatura da massa de água ao longo do rio Douro (continuação)

Como se pode observar nas Figuras 68 e 69 obteve-se um bom ajustamento entre os valores obtidos com o modelo e os valores de temperatura observados na albufeira, à superfície.

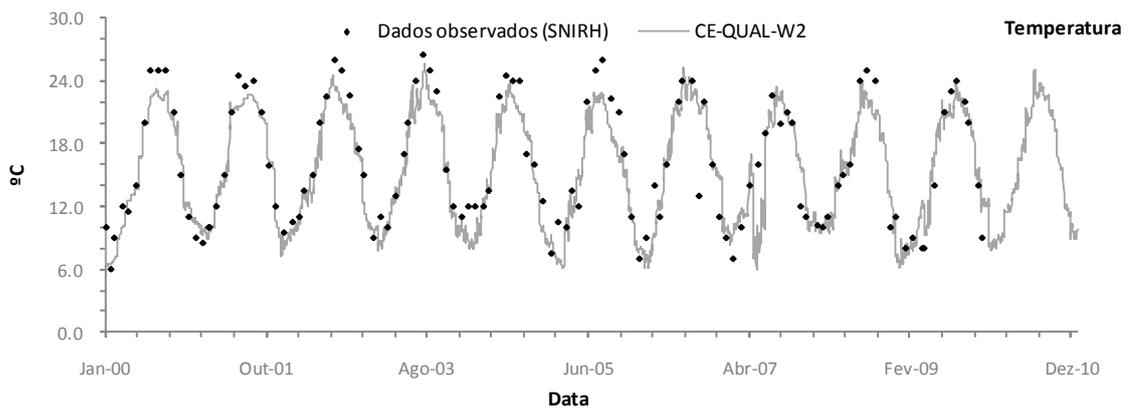
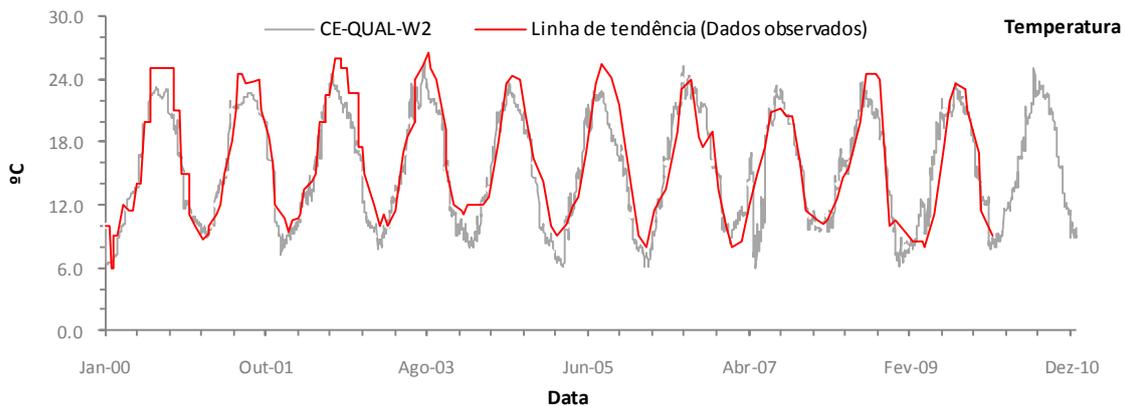
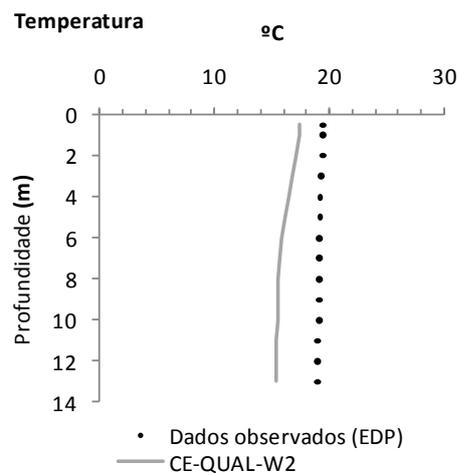


Figura 69. Série temporal - Temperatura – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro



**Figura 70.** Série temporal - Temperatura – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro – Linha de tendência

A análise da Figura 71, referente ainda à temperatura da água e na qual é apresentado um perfil em profundidade disponibilizado pela EDP, permite concluir que, existe um desfasamento entre os dois conjuntos de valores, mas como apenas se dispõe de um perfil em profundidade, o processo de calibração centrou-se na aferição dos valores à superfície da albufeira, não tendo sido realizado qualquer esforço para melhor o ajustamento deste perfil.



**Figura 71.** Perfil - Temperatura –1 km a montante da barragem de Crestuma-Lever - 16 de Junho de 2008

### 10.4.3 Oxigénio dissolvido

Os resultados obtidos relativamente a este parâmetro permitiram verificar que em média os níveis de oxigénio dissolvido se mantêm relativamente elevados mesmo nas camadas mais profundas da albufeira.

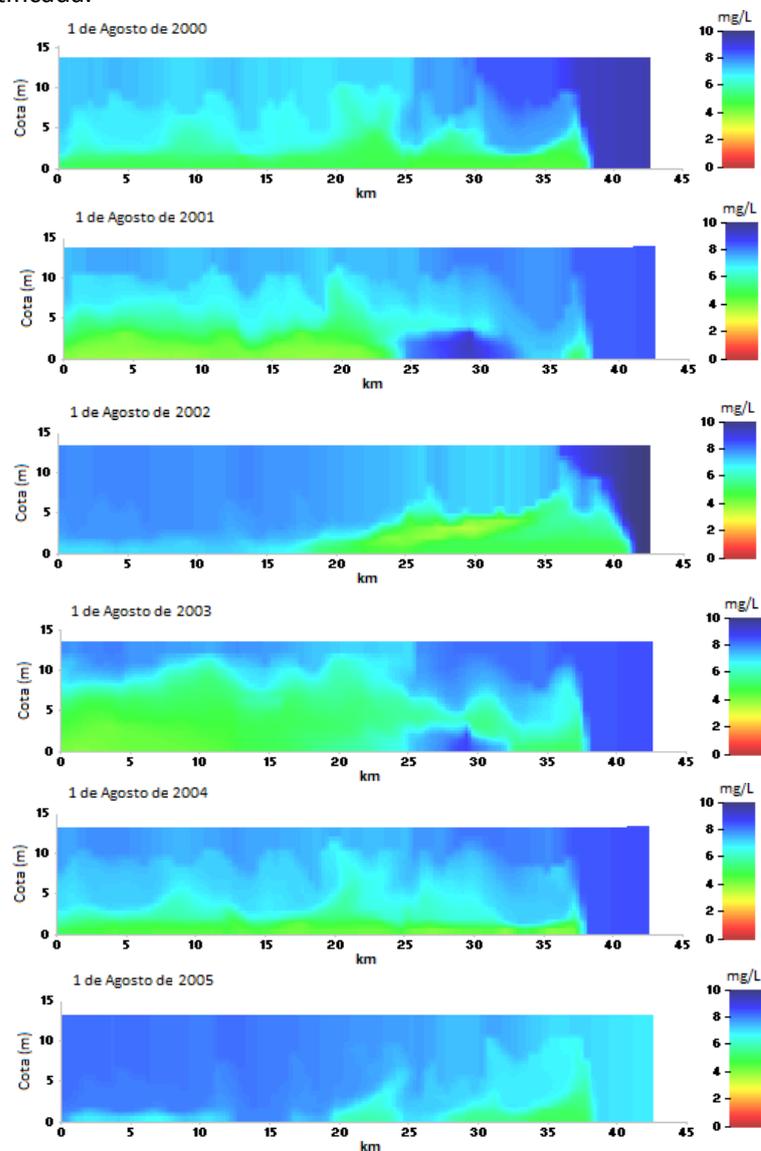
A albufeira encontra-se quase sempre homogeneizada, com valores de concentração de OD nos meses mais frios de aproximadamente, 12 mg/L e de 7 mg/L nos períodos mais quentes.

Por vezes, nas alturas mais quentes do ano e apenas em alguns anos surgem zonas em profundidade, com um teor em OD inferior ao verificado nas zonas mais superficiais, que perduram durante

aproximadamente 25 dias e que chegam a atingir 1 mg/L, sendo mais evidentes em alguns dos anos (2003, 2004, 2006, 2008 e 2009), e que são uma consequência dos valores de concentração de OD que caracterizam o caudal afluente através da linha de água principal, o rio Douro. No ano em que se verificou uma maior diminuição dos valores de OD na albufeira, o ano de 2004, a concentração de OD que aflui à albufeira, entre o dia 25 de Agosto e o dia 21 de Setembro, através do rio Douro é de 3.4 mg/L.

Deve no entanto referir-se que nos anos de 2000, 2001, 2002, 2005 e 2010, os valores de OD se mantêm sempre elevados, mesmo em profundidade, nunca sendo em média inferiores aos 4 mg/L nas alturas mais quentes do ano.

Nas Figuras 71 e 72 pode observar-se alguns desses períodos em que a albufeira se encontra tenuemente estratificada.



**Figura 72.** OD da massa de água ao longo do rio Douro

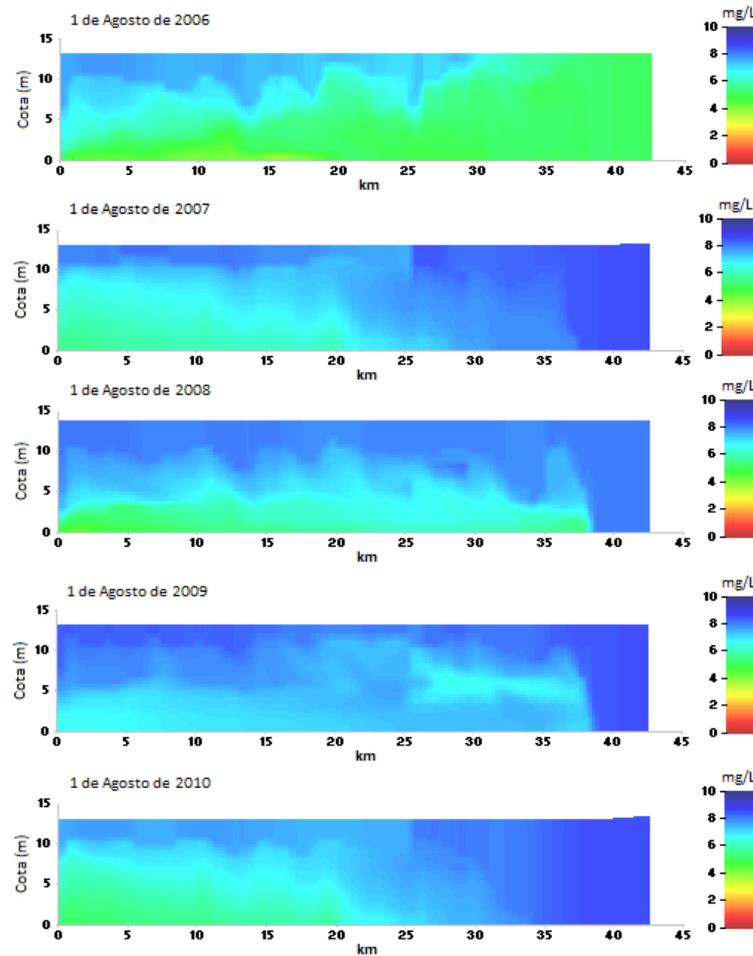


Figura 73. OD da massa de água ao longo do rio Douro (continuação)

Nas Figuras 73 e 74, pode observar-se os resultados obtidos com o processo de calibração do OD. A análise da referida figura permite verificar que existe um bom ajustamento entre os resultados obtidos com o modelo e os dados observados, à superfície da massa de água.

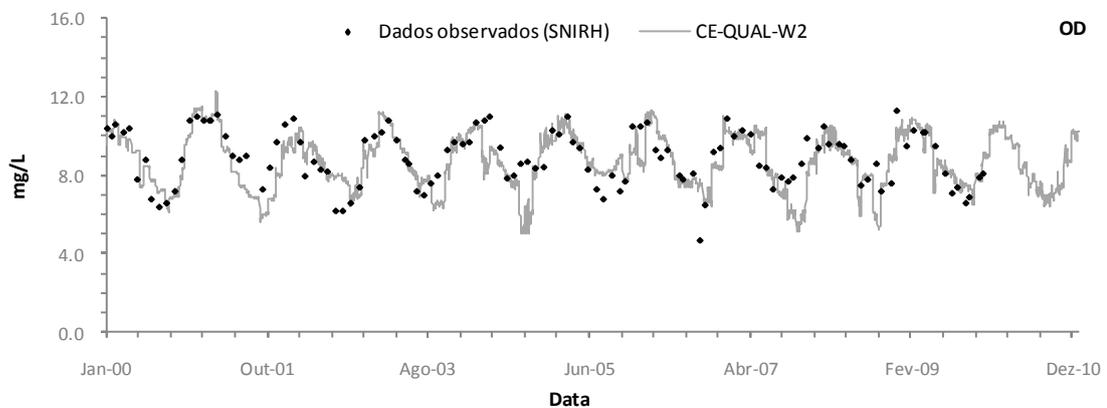
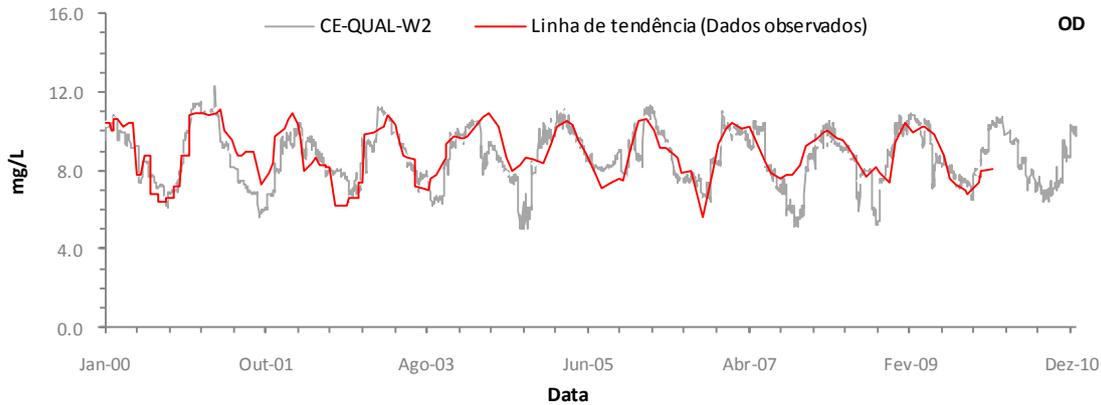
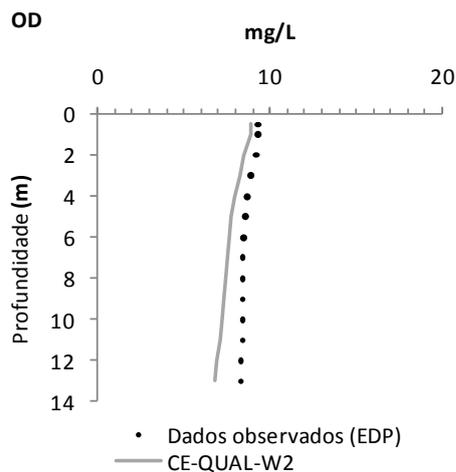


Figura 74. Série temporal – OD – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro



**Figura 75.** Série temporal – OD – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro – Linha de tendência

A análise da Figura 76, permite observar a evolução dos valores da concentração de OD em profundidade, no dia 6 de Junho de 2008. Apesar de tal como para a temperatura da água, se ter baseado o processo de calibração na aferição dos valores observados à superfície da albufeira, verifica-se que se obteve um bom ajustamento entre os dois conjuntos de valores.



**Figura 76.** Perfis – OD – 1 km a montante da barragem de Crestuma-Lever -16 de Junho de 2008

#### 10.4.4 Carência bioquímica de oxigénio

Relativamente à  $CBO_5$ , verifica-se através da análise das Figuras 76 e 77, que não é possível concluir sobre a qualidade da calibração relativamente a este parâmetro, pelo facto de os valores obtidos pelo modelo, à superfície, serem inferiores ao limite de deteção. Deve no entanto referir-se que quando existem valores observados na albufeira inferiores a 2 mg/L, os valores simulados pelo modelo CE-QUAL-W2, parecem ter a mesma tendência evolutiva (Figura 78).

Em função dos resultados obtidos para o OD, pode inferir-se que os valores da concentração da  $CBO_5$  não devem estar muito afastados dos valores reais que ocorreram na albufeira durante o período de simulação considerado.

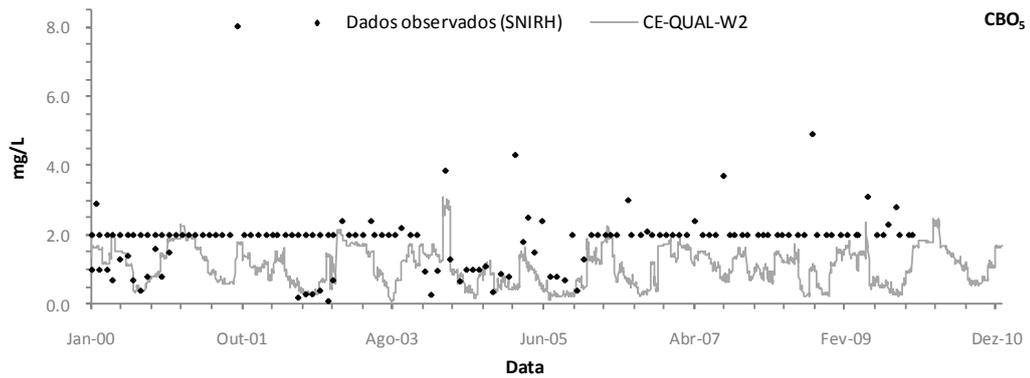


Figura 77. Série temporal - CBO<sub>5</sub> – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro

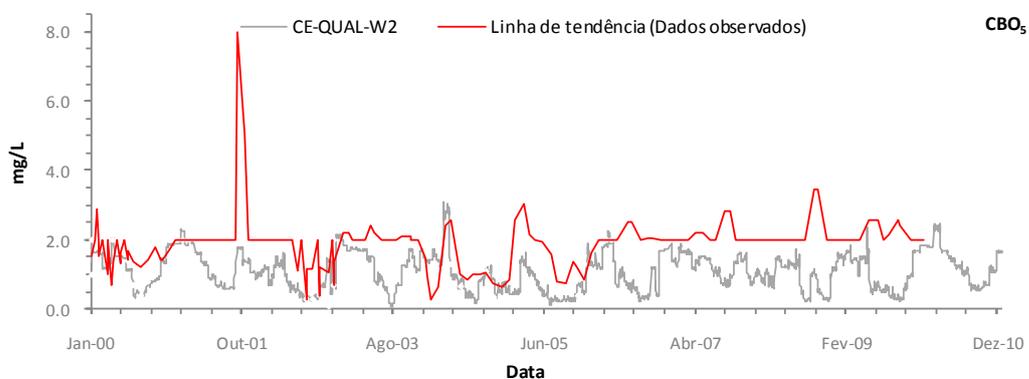


Figura 78. Série temporal - CBO<sub>5</sub> – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro – Linha de tendência

#### 10.4.5 Nitratos e nitritos

A análise das Figuras 78 e 79, permite verificar que os valores da concentração de NO<sub>x</sub> obtidos com o modelo CE-QUAL-W2 são da mesma ordem de grandeza que os valores observados na albufeira apresentando uma tendência evolutiva semelhante aos valores observados mas mais esbatida, quase como se esta representa-se uma linha média de tendência (Figura 80). Assim, apesar de se verificar a existência de alguns períodos temporais em que o ajustamento não é o mais desejável, considera-se que os resultados obtidos constituem uma boa referência para a avaliação que se pretende realizar.

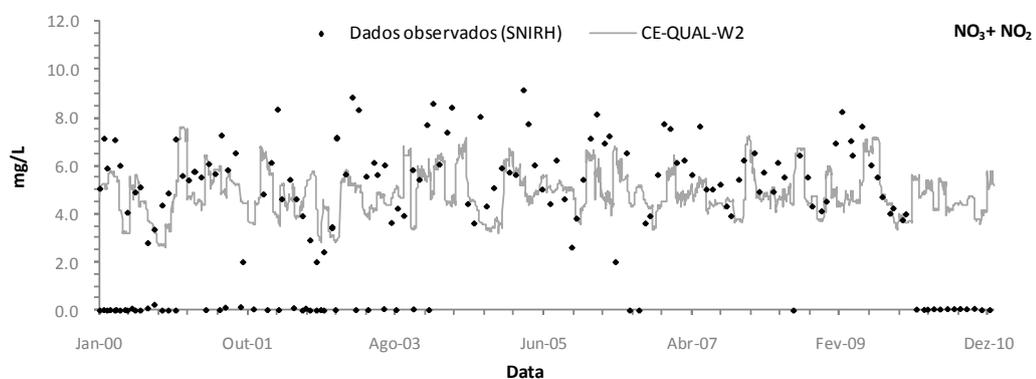


Figura 79. Série temporal - NO<sub>x</sub> – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro

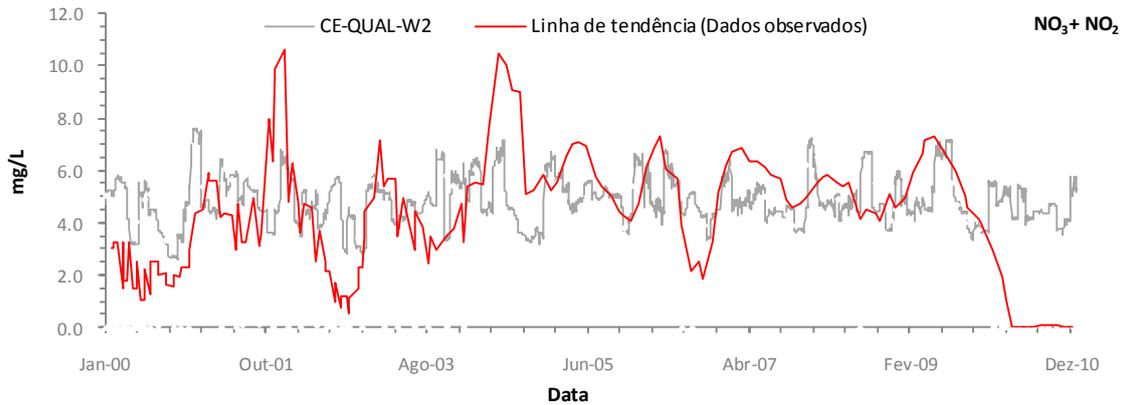


Figura 80. Série temporal -  $\text{NO}_x$  – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro – Linha de tendência

#### 10.4.6 Azoto amoniacal

No que se refere a este parâmetro ( $\text{NH}_4$ ), verifica-se que os valores obtidos com o modelo CE-QUAL-W2 são em média superiores aos valores observados na albufeira de Crestuma-Lever. No entanto considera-se que os resultados obtidos permitirão estimar com consistência a contribuição relativa de cada uma das fontes de  $\text{NH}_4$  (Figuras 80 e 81).

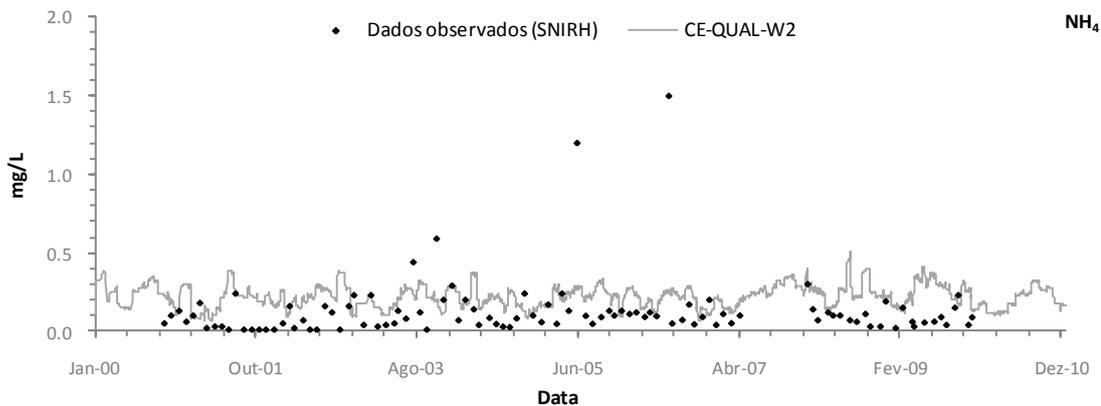


Figura 81. Série temporal -  $\text{NH}_4$  – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro

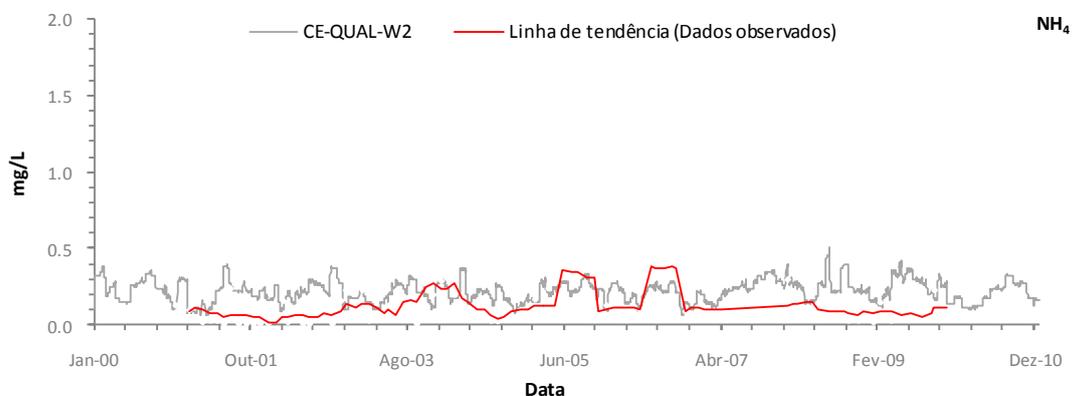


Figura 82. Série temporal -  $\text{NH}_4$  – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro – Linha de tendência

### 10.4.7 Ortofosfatos

Os resultados obtidos para este parâmetro (P-PO<sub>4</sub>) podem ser considerados globalmente satisfatórios (figuras 82 e 83). O modelo descreve razoavelmente bem a evolução deste parâmetro ao longo do período temporal avaliado. O elevado valor que se obteve com o modelo para o dia 11-02-2004, 11.4 mg/L, resulta da afluência através do seu ramo principal de um caudal com uma concentração de 5.17 mg/L de P-PO<sub>4</sub>.

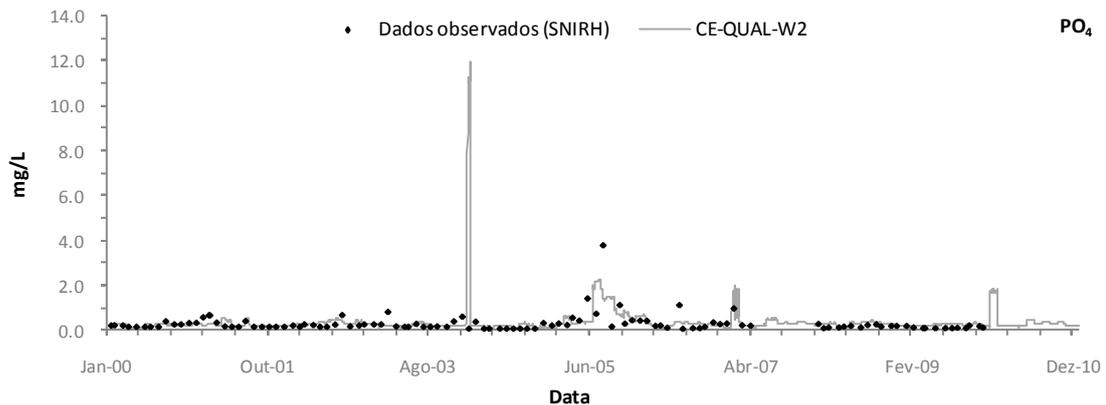


Figura 83. Série temporal - PO<sub>4</sub> – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro

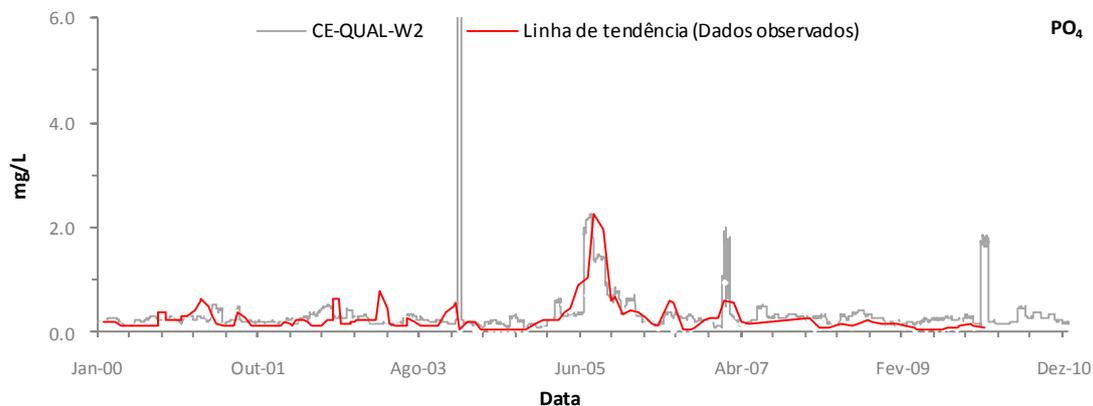
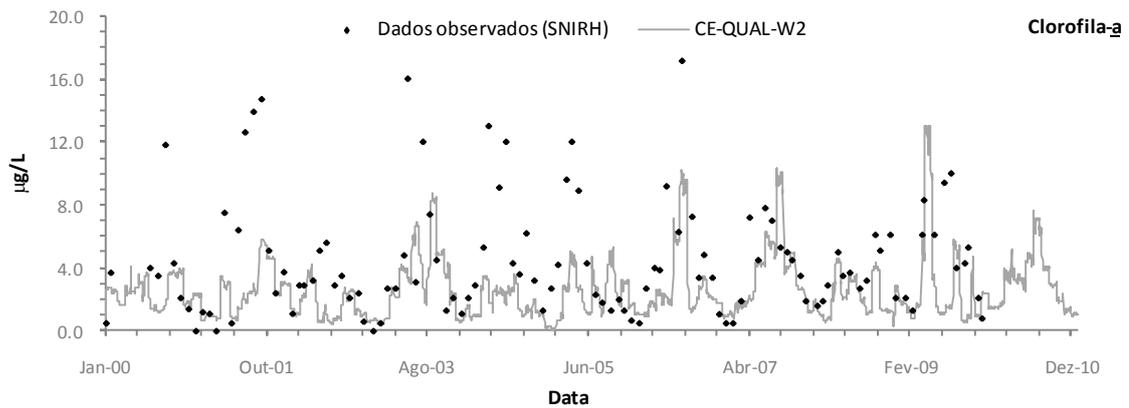


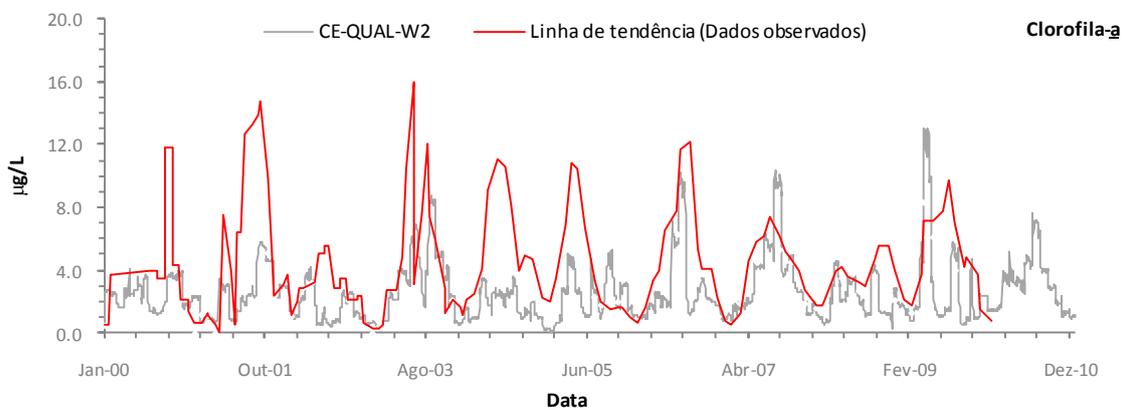
Figura 84. Série temporal - PO<sub>4</sub> – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro – Linha de tendência

### 10.4.8 Clorofila-a

Analisando os resultados obtidos com o modelo (Figura 85), verifica-se que se obteve um bom ajustamento entre dois conjuntos de valores. O modelo descreve satisfatoriamente bem a evolução anual dos valores da concentração da clorofila-a na albufeira de Crestuma-Lever, como se pode observar na Figura 86.



**Figura 85.** Série temporal – Clorofila-a – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro



**Figura 86.** Série temporal – Clorofila-a – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro – Linha de tendência

#### 10.4.9 pH

Os valores de pH obtido com o modelo CE-QUAL-W2 são um pouco superiores aos valores observados na massa de água, após várias tentativas para aferir os valores de alcalinidade e de carbono inorgânico total, manteve-se a simulação que se pode observar, não só porque apresenta a mesma tendência, mas também porque que se considera que se obteve um bom ajustamento relativamente à clorofila-a e aos restantes nutrientes (Figuras 86 e 87). Deve referir-se que não é usual encontrar-se valores de alcalinidade e de carbono inorgânico total, observados nas massas de água e que a conversão dos valores de pH é realizada com base em correlações existentes entre os três parâmetros que foram obtidas com modelos de simulação de qualidade da água para outras albufeiras.

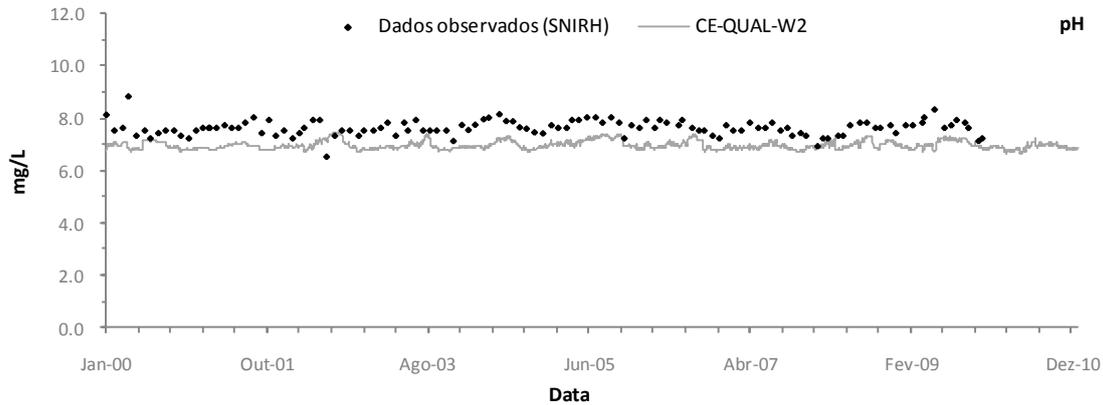


Figura 87. Série temporal – pH – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro

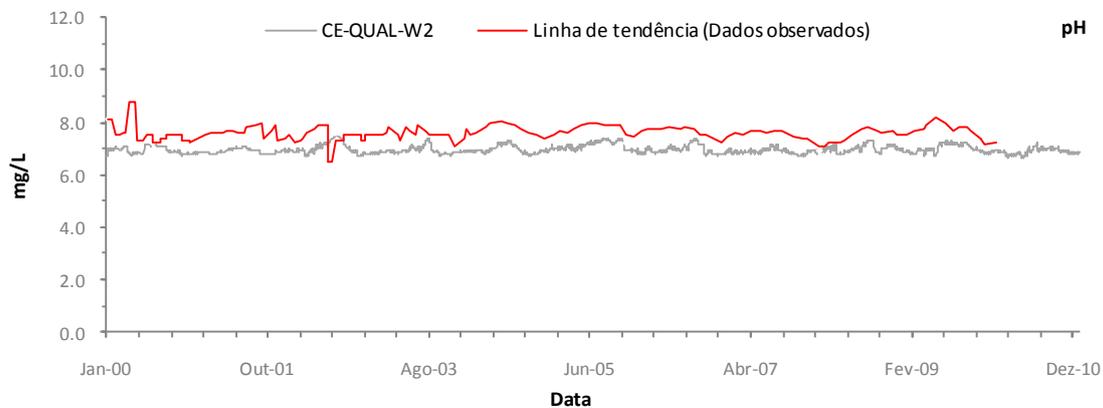


Figura 88. Série temporal – pH – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro – Linha de tendência

#### 10.4.10 Coliformes totais

A análise das Figuras 88 e 89, permite verificar que o ajustamento obtido descreve, em termos médios, de forma relativamente satisfatória a evolução anual do teor de coliformes totais na massa de água.

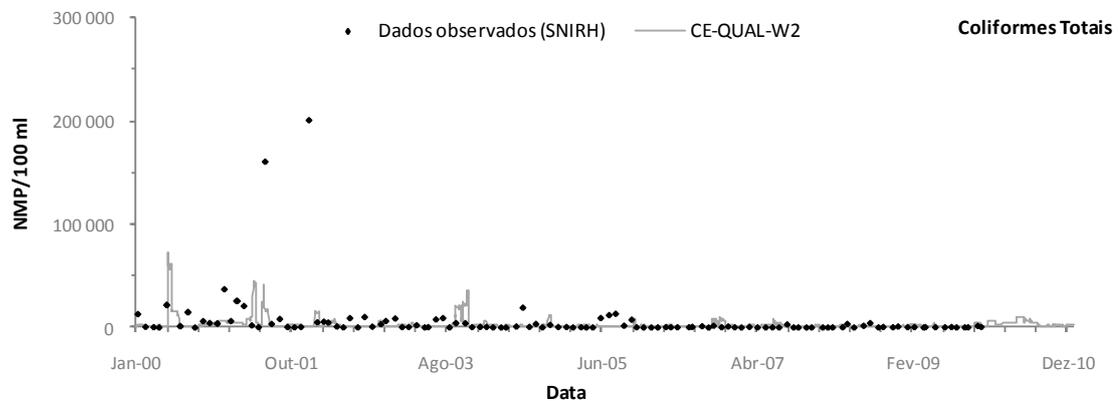


Figura 89. Série temporal – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro

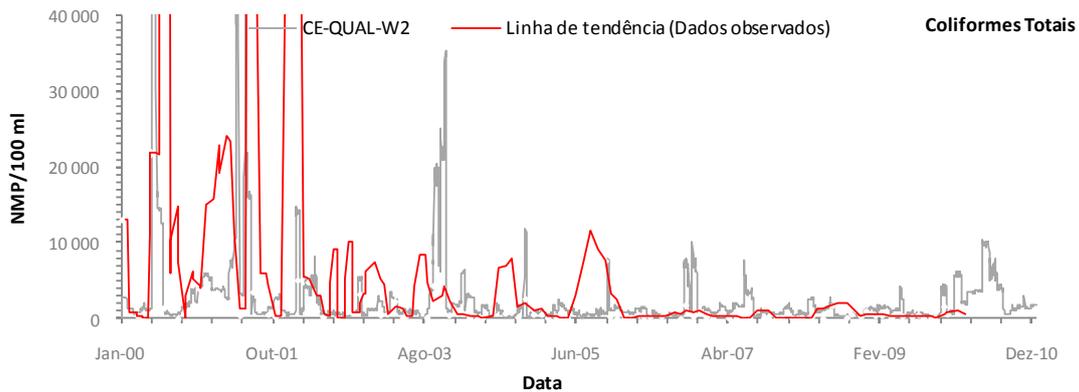


Figura 90. Série temporal – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro – Linha de tendência

#### 10.4.11 Coliformes fecais

Relativamente aos coliformes fecais, a avaliação dos resultados obtidos para este parâmetro é análoga à anteriormente efectuada para os coliformes totais. A análise das Figuras 90 e 91 permite verificar que o modelo descreve razoavelmente bem a evolução da concentração de coliformes fecais, observada à superfície da massa de água.

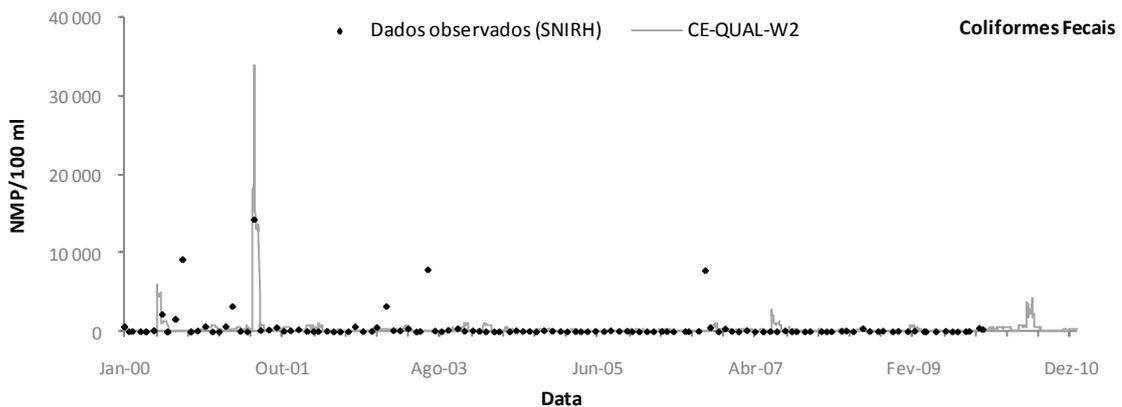


Figura 91. Série temporal – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro

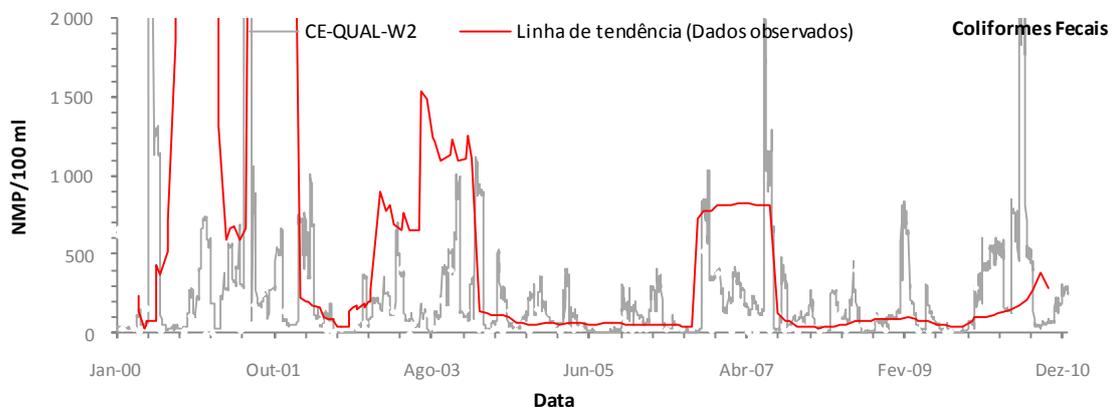


Figura 92. Série temporal – Alb. de Crestuma-Lever (07G/04) – Rio Douro – Linha de tendência

De uma forma geral considera-se que o processo de calibração do modelo CE-QUAL-W2 permitiu caracterizar razoavelmente bem a situação de referência da massa de água, estando assim garantida a fiabilidade necessária para se considerar que os parâmetros que afectam directamente o teor em OD da massa de água (biomassa algal,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{N-NO}_x$ , e  $\text{P-PO}_4$ ), são razoavelmente bem descritos pelo modelo.

## 11. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

### 11.1 - Introdução

A simulação matemática da qualidade da água é um bom exemplo de uma abordagem que permite prever, preservar e/ou aumentar a resiliência de um ecossistema, essencialmente porque a sua aplicação depende da caracterização da situação de referência, o que implica o estudo exaustivo de inúmeras variáveis que condicionam o sistema e porque permite gerar cenários de simulação.

No presente estudo e após a aplicação e respectiva calibração do modelo CE-QUAL-W2 à albufeira de Crestuma-Lever, analisaram-se as potenciais alterações na qualidade da água, resultantes das previstas reduções da carga poluente afluente à albufeira em função das medidas preconizadas no POACL.

### 11.2 - Definição dos cenários de simulação

A definição dos cenários de simulação seleccionados teve como objectivo avaliar os efeitos das reduções da carga poluente afluente à albufeira de Crestuma-Lever, resultante das medidas preconizadas pelo POACL e as medidas de gestão da qualidade da água definidas no PBH do rio Douro, que implicam cumprir o disposto pelo Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, relativamente aos sistemas de águas residuais.

Neste contexto, verifica-se que o Regulamento do plano de ordenamento da albufeira de Crestuma-Lever, que se encontra na Resolução do Conselho de Ministros n.º 187/2007, define, entre outras, as seguintes regras para a utilização da albufeira e da zona envolvente:

#### Artigo 23.º

##### Saneamento básico

- 1 – *É interdita a rejeição de efluentes sem tratamento, de acordo com as normas legais em vigor.*
- 2 – *Nas áreas classificadas como solo urbano, nos termos dos respectivos planos municipais de ordenamento do território, é obrigatória a construção de sistemas municipais de recolha e tratamento de águas residuais com tratamento tipo terciário.*
- 3 – *Enquanto não estiverem em funcionamento os sistemas municipais a que se refere o número anterior, as novas edificações ou as que sejam sujeitas a obras de ampliação, bem como os novos loteamentos ou operações urbanísticas de impacte semelhante, têm de construir sistemas autónomos que garantam o nível de tratamento exigido, admitindo -se, em alternativa, a instalação de fossas estanques nos termos dos números seguintes.*
- 4 – *Para as construções não abrangidas por sistemas de recolha e tratamento de águas residuais é obrigatória a instalação de fossas estanques com uma capacidade superior ou igual a 25 m<sup>3</sup>.*
- 5 – *No licenciamento das fossas estanques é obrigatoriamente definida a periodicidade da sua limpeza, determinada em função da capacidade e índice de ocupação.*

6 – *Nas áreas com vocação turística é obrigatória a construção de sistemas de recolha e tratamento de águas residuais, com tratamento tipo terciário, ou, em alternativa, a construção de fossas estanques nos termos definidos nos números anteriores.*

Assim, os cenários de simulação considerados foram desenvolvidos de forma a incluir as normas definidas pelo regulamento do POACL.

Assim, com o objectivo de avaliar as regras e normas referidas, definiram-se os seguintes cenários de simulação:

**Cenário R0** – caracteriza a situação de referência da massa de água, referente aos anos civis de 2000 a 2010. Corresponde, assim ao cenário considerado ao nível do processo de calibração do modelo, descrito no Capítulo 8 do presente relatório.

**Cenário R1** – este cenário de simulação, que também caracteriza a situação de referência da massa de água, referente aos anos civis de 2000 a 2010, diverge do **Cenário R0**, pelo facto de se ter admitido que os habitantes para os quais se desconhece a existência de tratamento das respectivas águas residuais, tenham neste cenário tratamento primário das águas residuais que produzem, preconizado por fossas sépticas. Excluindo o ponto dois do artigo 23º, este cenário – refere-se à aplicação, em simultâneo, de todas as medidas de redução da afluência de cargas poluentes, referidas no regulamento do POACL, relativo ao saneamento básico.

**Cenário 1** – definido para incluir as medidas de gestão da qualidade da água definidas no PBH do rio Douro, que implicam cumprir o disposto pelo Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, relativamente aos sistemas de águas residuais, e à implementação de linhas de tratamento dos efluentes industriais, adequadas ao nível de protecção do meio receptor, de acordo com a legislação vigente e as directivas comunitárias aplicáveis, e que se traduziu no tratamento secundário de todas as descargas urbanas geradas nas freguesias que se localizam total ou parcialmente na área de intervenção do POACL.

**Cenário 2** – este cenário tem como objectivo avaliar o ponto 2 do artigo 23º, e inclui o tratamento terciário de todas as descargas de origem urbana geradas nas freguesias que se localizam total ou parcialmente na área de intervenção do POACL.

**Cenário 3** – definido com o objectivo de avaliar os efeitos na qualidade da água da albufeira de Crestuma-Lever, resultante do aumento do número de empreendimentos turísticos, que é previsto para a área de intervenção do POACL.

**Cenário 4** – tem como objectivo avaliar o efeito da carga poluente com origem nas áreas agrícolas e florestais, gerada na bacia hidrográfica própria da albufeira de Crestuma-Lever. Para a definição deste cenário foi necessário retirar toda a carga poluente de origem difusa gerada nesta área e que aflui à albufeira de Crestuma-Lever

**Cenário 5** – tem como objectivo avaliar o efeito da carga poluente que aflui à albufeira de Crestuma-Lever através do ramo principal da albufeira, o rio Douro.

**Cenário 6** – tem como objectivo avaliar o efeito da carga poluente que afluí à albufeira de Crestuma-Lever através do rio Tâmega.

**Cenário 7** – tem como objectivo avaliar o efeito da carga poluente que afluí à albufeira de Crestuma-Lever através dos rios Paiva e Arda .

### 11.3 - Integração dos cenários de simulação

Assim, de acordo com o referido anteriormente, definiram-se nove cenários de simulação que, pelas suas características, permitem individualizar a contribuição de cada uma das fontes poluidoras consideradas.

O **Cenário R0** considera a situação de referência da massa de água, caracterizada pelos dados de qualidade da água, para os anos de 2000 a 2010, e pela afluência das cargas poluentes geradas na bacia hidrográfica própria da albufeira de Crestuma-Lever, descritas anteriormente no Capítulo 7.

O **Cenário R1** diverge do **Cenário R0** pelo facto se ter admitido que os habitantes para os quais se desconhecia a existência de tratamento de águas residuais, tenham pela definição deste cenário o tratamento primário das águas residuais, equivalente ao de uma fossa séptica com filtro de areia enterrado. No Quadro 29 pode observar-se as eficiências de tratamento associadas a este tipo de tratamento. Não se consideraram eficiências de remoção para a carga poluente de N-NO<sub>x</sub>, NH<sub>4</sub> e P-PO<sub>4</sub>, pois de acordo com a revisão bibliográfica considerada, o processo de nitrificação pode aumentar os valores da concentração de N-NO<sub>x</sub> e, se a trincheira de infiltração não tiver mais de 0.3 m de profundidade, os valores de P-PO<sub>4</sub> podem manter-se inalterados (Metacalf & Eddy, 1991).

**Quadro 29.** Eficiência de remoção percentual – Fossa séptica com filtro de areia enterrado

Tipo de tratamento	% CBO	% Coliformes totais	% Coliformes Fecais
Fossa séptica com filtro de areia enterrado	95 (a)	99.99 (b)	99.99 (b)

(a) Metacalf & Eddy (1991)

(b) Face à elevada variabilidade das percentagens de remoção teóricas, associadas a este tipo de tratamento em função do tempo de retenção, assumiu-se que uma remoção de 99.99%, seria adequada à análise realizada

Os valores de carga poluente afluente à albufeira de Crestuma-Lever são apresentados no Quadro 31.

Com a definição do **Cenário 1**, pretende-se incluir as medidas de gestão de qualidade da água definidas no PBH do rio Douro, que implicam cumprir o disposto pelo Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, relativamente aos sistemas de águas residuais e à implementação de linhas de tratamento dos efluentes industriais, adequadas ao nível de protecção do meio receptor. Assim, para a definição deste cenário admitiu-se o tratamento secundário de todas as descargas urbanas geradas nas freguesias localizadas total ou parcialmente na área de intervenção da albufeira de Crestuma-Lever, considerando as eficiências de remoção da CBO<sub>5</sub>, N-NO<sub>x</sub>, NH<sub>4</sub>, P-PO<sub>4</sub> e de coliformes fecais e totais associadas ao tratamento secundário, que são apresentadas no Quadro 24, da secção 8.4.5 do Capítulo 8 do presente relatório.

Nos Quadros 31, 32 e 33 podem observar-se os valores de carga poluente que foram incluídos no modelo CE-QUAL-W2 para a definição do **Cenário 1**.

Com a definição do **Cenário 2** pretende-se avaliar o ponto 2 do artigo 23<sup>o</sup>. Este cenário de simulação inclui o tratamento terciário de todas as descargas de origem urbana geradas nas freguesias que se localizam total ou parcialmente na área de intervenção do POACL.

Considerando as eficiências de remoção da CBO<sub>5</sub>, N-NO<sub>x</sub>, NH<sub>4</sub>, P-PO<sub>4</sub> e de coliformes fecais e totais que são apresentadas no Quadro 30, estimaram-se os valores de carga poluente afluente à albufeira que são apresentados nos Quadros 34 e 35.

**Quadro 30.** Eficiência de remoção percentual – tratamento terciário

Tipo de tratamento	% CBO	% NH <sub>4</sub>	% N - NO <sub>x</sub>	% P - PO <sub>4</sub>	% Coliformes totais	% Coliformes Fecais
Terciário	98 (a)	58 (a)	0 (a)	98 (a)	99.99 (b)	99.99 (b)

(a) Metacalf & Eddy (2003)

(b) Monte, M.H. (s/data)

No Quadro 36 podem observar-se os valores da carga poluente que foram incluídos no modelo para a definição do **Cenário 3** em que se pretende avaliar o potencial efeito na qualidade da água da albufeira de Crestuma–Lever da eventual construção dos empreendimentos turísticos, cuja construção é prevista. Admitiu-se, face ao regulamento do POACL que os empreendimentos têm sistemas de tratamento terciário.

A definição dos **Cenários 5, 6 e 7**, foi realizada eliminando a carga poluente que se pretende avaliar em cada um dos cenários de simulação. A carga de clorofila-a não é usualmente retirada quando se caracterizam estes cenários de simulação, no entanto, com o objectivo de avaliar a contribuição relativa de cada uma das fontes poluentes que se pretende avaliar, incluiu-se, apenas para este parâmetro um cenário adicional em que se elimina a carga de clorofila-a. Este cenário foi designado, **5A, 6A, e 7A**.

**Quadro 31.** Carga poluente gerada nas freguesias localizadas na envolvente da albufeira de Crestuma-Lever considerada na definição do cenário R1

Freguesia	Número de total de habitantes da Freguesia	Nº de hab. com tratamento de A.R. desconhecido	Nº de hab. com tratamento de A.R. conhecido	CBO <sub>5</sub> kg/dia	P - PO <sub>4</sub> kg/dia	NH <sub>4</sub> kg/dia	N - NO <sub>x</sub> kg/dia	Coliformes totais NMP/dia	Coliformes fecais NMP/dia	Caudal m <sup>3</sup> /s
Bairros	1853	1853	-	5.870	4.398	11.846	0.287	3.34E+08	361335	0.00245
Fornos	1602	1202	400	3.808	2.853	7.684	0.186	2.16E+08	234390	0.00159
Pedorido	1593	940	653	2.978	2.231	6.009	0.145	1.69E+08	183300	0.00124
			303							
			50							
			300							
Raiva	2394	1776	618	5.626	4.215	11.353	0.275	3.2E+08	346320	0.00235
			263							
			50							
			252							
			53							
Santa Maria de Sardoura	2698	2698	-	8.547	6.403	17.247	0.417	4.86E+08	526110	0.00356
São Martinho de Sardoura	1931	1871	60	5.927	4.440	11.961	0.289	3.37E+08	364845	0.00247
Sobrado	2921	1393	1528	4.413	3.306	8.905	0.215	2.51E+08	271635	0.00184
			98							
			25							
			197							
			49							
			1079							
			80							
Espadanedo	1406	1306	100	4.137	3.100	8.349	0.202	2.35E+08	254670	0.00172
Santiago de Piães	2027	1904	123	6.032	4.519	12.172	0.294	3.43E+08	371280	0.00251
São Cristóvão de Nogueira	2215	2215	-	7.017	5.257	14.160	0.343	3.99E+08	431925	0.00293
Souselo	3407	2531	876	8.018	6.007	16.180	0.391	4.56E+08	493545	0.00334
			206							
			344							
			276							
			50							

Freguesia	Número de total de habitantes da Freguesia	Nº de hab. com tratamento de A.R. desconhecido	Nº de hab. com tratamento de A.R. conhecido	CBO <sub>5</sub> kg/dia	P - PO <sub>4</sub> kg/dia	NH <sub>4</sub> kg/dia	N - NO <sub>x</sub> kg/dia	Coliformes totais NMP/dia	Coliformes fecais NMP/dia	Caudal m <sup>3</sup> /s
Tarouquela	1339	1339	-	4.242	3.178	8.560	0.207	2.41E+08	261105	0.00177
Travanca	959	959	-	3.038	2.276	6.131	0.148	1.73E+08	187005	0.00127
Covelo	1755	1555	200	4.926	3.690	9.941	0.240	2.8E+08	303225	0.00205
Foz do Sousa	6405	6405	-	20.290	15.201	40.945	0.991	1.15E+09	1248975	0.00846
Lomba	1711	1636	75	5.183	3.883	10.458	0.253	2.94E+08	319020	0.00216
Medas	2353	2318	35	7.343	5.501	14.818	0.359	4.17E+08	452010	0.00306
Melres	3945	3945	-	12.497	9.363	25.219	0.610	7.1E+08	769275	0.00521
Alpendurada e Matos	4883	1528	3355	4.840	3.626	9.768	0.236	2.75E+08	297960	0.00202
Magrelos	982	982	-	3.111	2.331	6.278	0.152	1.77E+08	191490	0.00130
Penha Longa	2196	2196	-	6.957	5.212	14.038	0.340	3.95E+08	428220	0.00290
Sande	2009	2009	-	6.364	4.768	12.843	0.311	3.62E+08	391755	0.00265
São Lourenço do Douro	951	951	-	3.013	2.257	6.079	0.147	1.71E+08	185445	0.00126
Torrão	948	948	-	3.003	2.250	6.060	0.147	1.71E+08	184860	0.00125
Várzea do Douro	2015	1815	200	5.750	4.308	11.603	0.281	3.27E+08	353925	0.00240
Canelas	1780	1688	92	5.347	4.006	10.791	0.261	3.04E+08	329160	0.00223
Eja	1198	1198	-	3.795	2.843	7.658	0.185	2.16E+08	233610	0.00158
Portela	1381	1381	-	4.375	3.278	8.828	0.214	2.49E+08	269295	0.00182
Rio de Moinhos	2977	2694	283	8.534	6.394	17.222	0.417	4.85E+08	525330	0.00356
Rio Mau	1485	1165	320	3.690	2.765	7.447	0.180	2.1E+08	227175	0.00154
Sebolido	945	859	86	2.721	2.039	5.491	0.133	1.55E+08	167505	0.00113
Canedo	5782	5782	-	18.316	13.722	36.963	0.894	1.04E+09	1127490	0.00764
Lever	3033	0	4100	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>75079</b>	<b>63042</b>	<b>13104</b>	<b>199.705</b>	<b>149.617</b>	<b>403.008</b>	<b>9.750</b>	<b>1.13E+10</b>	<b>12293190</b>	<b>0.08325</b>

**Quadro 32.** Carga poluente gerada nas freguesias localizadas na envolvente da albufeira de Crestuma-Lever considerada na definição do cenário 1

Freguesia	Número de total de habitantes da Freguesia	Nº de hab. com tratamento de A.R. desconhecido	Nº de hab. com tratamento de A.R. conhecido	CBO <sub>5</sub> kg/dia	P - PO <sub>4</sub> kg/dia	NH <sub>4</sub> kg/dia	N - NO <sub>x</sub> kg/dia	Coliformes totais NMP/dia	Coliformes fecais NMP/dia	Caudal m <sup>3</sup> /s
Bairros	1853	1853	-	8.218	2.463	5.094	0.287	3.34E+04	36.134	0.00245
Fornos	1602	1202	400	5.331	1.598	3.304	0.186	2.16E+04	23.439	0.00159
Pedorido	1593	940	653	4.169	1.249	2.584	0.145	1.69E+04	18.330	0.00124
			303							
			50							
			300							
Raiva	2394	1776	618	7.876	2.360	4.882	0.275	3.20E+04	34.632	0.00235
			263							
			50							
			252							
			53							
Santa Maria de Sardoura	2698	2698	-	11.965	3.586	7.416	0.417	4.86E+04	52.611	0.00356
São Martinho de Sardoura	1931	1871	60	8.298	2.487	5.143	0.289	3.37E+04	36.485	0.00247
Sobrado	2921	1393	1528	6.178	1.851	3.829	0.215	2.51E+04	27.164	0.00184
			98							
			25							
			197							
			49							
			1079							
			80							
Espadanedo	1406	1306	100	5.792	1.736	3.590	0.202	2.35E+04	25.467	0.00172
Santiago de Piães	2027	1904	123	8.444	2.530	5.234	0.294	3.43E+04	37.128	0.00251
São Cristóvão de Nogueira	2215	2215	-	9.823	2.944	6.089	0.343	3.99E+04	43.193	0.00293
Souselo	3407	2531	876	11.225	3.364	6.957	0.391	4.56E+04	49.355	0.00334
			206							
			344							
			276							

Freguesia	Número de total de habitantes da Freguesia	Nº de hab. com tratamento de A.R. desconhecido	Nº de hab. com tratamento de A.R. conhecido	CBO <sub>5</sub> kg/dia	P - PO <sub>4</sub> kg/dia	NH <sub>4</sub> kg/dia	N - NO <sub>x</sub> kg/dia	Coliformes totais NMP/dia	Coliformes fecais NMP/dia	Caudal m <sup>3</sup> /s
			50							
Tarouquela	1339	1339	-	5.938	1.780	3.681	0.207	2.41E+04	26.111	0.00177
Travanca	959	959	-	4.253	1.275	2.636	0.148	1.73E+04	18.701	0.00127
Covelo	1755	1555	200	6.896	2.067	4.274	0.240	2.80E+04	30.323	0.00205
Foz do Sousa	6405	6405	-	28.406	8.513	17.606	0.991	1.15E+05	124.898	0.00846
Lomba	1711	1636	75	7.256	2.174	4.497	0.253	2.94E+04	31.902	0.00216
Medas	2353	2318	35	10.280	3.081	6.372	0.359	4.17E+04	45.201	0.00306
Melres	3945	3945	-	17.496	5.243	10.844	0.610	7.10E+04	76.928	0.00521
Alpendurada e Matos	4883	1528	3355	6.777	2.031	4.200	0.236	2.75E+04	29.796	0.00202
Magrelos	982	982	-	4.355	1.305	2.699	0.152	1.77E+04	19.149	0.00130
Penha Longa	2196	2196	-	9.739	2.919	6.036	0.340	3.95E+04	42.822	0.00290
Sande	2009	2009	-	8.910	2.670	5.522	0.311	3.62E+04	39.176	0.00265
São Lourenço do Douro	951	951	-	4.218	1.264	2.614	0.147	1.71E+04	18.545	0.00126
Torrão	948	948	-	4.204	1.260	2.606	0.147	1.71E+04	18.486	0.00125
Várzea do Douro	2015	1815	200	8.049	2.412	4.989	0.281	3.27E+04	35.393	0.00240
Canelas	1780	1688	92	7.486	2.243	4.640	0.261	3.04E+04	32.916	0.00223
Eja	1198	1198	-	5.313	1.592	3.293	0.185	2.16E+04	23.361	0.00158
Portela	1381	1381	-	6.125	1.835	3.796	0.214	2.49E+04	26.930	0.00182
Rio de Moinhos	2977	2694	283	11.948	3.580	7.405	0.417	4.85E+04	52.533	0.00356
Rio Mau	1485	1165	320	5.167	1.548	3.202	0.180	2.10E+04	22.718	0.00154
Sebolido	945	859	86	3.810	1.142	2.361	0.133	1.55E+04	16.751	0.00113
Canedo	5782	5782	-	25.643	7.685	15.894	0.894	1.04E+05	112.749	0.00764
Lever	3033	-	4100	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>75079</b>	<b>63042</b>	<b>13104</b>	<b>279.587</b>	<b>83.785</b>	<b>173.294</b>	<b>9.750</b>	<b>1134756.000</b>	<b>1229.319</b>	<b>0.08325</b>

**Quadro 33.** Carga poluente afluyente aos sistemas de tratamento localizados na área de intervenção do POACL considerada na definição do cenário 1

Freguesia	Número de total de habitantes da Freguesia	Nº de habitantes com tratamento de A.R. desconhecido	Nº de habitantes com tratamento de A.R. conhecido	Sistema de tratamento	Nível de tratamento	CBO <sub>5</sub> kg/dia	P - PO <sub>4</sub> kg/dia	NH <sub>4</sub> kg/dia	N – NO <sub>x</sub> kg/dia	Coliformes totais NMP/dia	Coliformes fecais NMP/dia	Caudal m <sup>3</sup> /s
Bairros	1853	1853	-	-		1.774	0.532	1.100	0.062	7200.000	7.800	
Fornos	1602	1202	400	F.S.	Secundário							0.00095
Pedorido	1593	940	Total 653			1.344	0.403	0.833	0.047	5454.000	5.909	
			303	F.S.	Secundário	0.222	0.066	0.137	0.008	900.000	0.975	0.00007
			50	F.S.	Secundário	1.330	0.399	0.825	0.046	5400.000	5.850	0.00008
			300	ETAR	Secundário							0.00003
Raiva	2394	1776	Total 618			1.166	0.350	0.723	0.041	4734.000	5.129	
			263	F.S.	Secundário	0.222	0.066	0.137	0.008	900.000	0.975	0.00008
			50	F.S.	Secundário	1.118	0.335	0.693	0.039	4536.000	4.914	0.00008
			252	F.S.	Secundário	0.235	0.070	0.146	0.008	954.000	1.034	0.00008
			53	F.S.	Secundário							0.00002
Santa Maria de Sardoura	2698	2698				0.266	0.080	0.165	0.009	1080.000	1.170	
São Martinho de Sardoura	1931	1871	60	F.S.	Secundário							0.00004
Sobrado	2921	1393	Total 1528			0.435	0.130	0.269	0.015	1764.000	1.911	
			98	F.S.	Secundário	0.111	0.033	0.069	0.004	450.000	0.488	0.00008
			25	F.S.	Secundário	0.874	0.262	0.542	0.030	3546.000	3.841	0.00004
			197	F.S.	Secundário	0.217	0.065	0.135	0.008	882.000	0.955	0.00016
			49	F.S.	Secundário	4.785	1.434	2.966	0.167	19422.000	21.040	0.00004
			1079	F.S.	Secundário	0.355	0.106	0.220	0.012	1440.000	1.560	0.00256
			80	F.S.	Secundário	0.443	0.133	0.275	0.015	1800.000	1.950	0.00013
Espadanedo	1406	1306	100	ETAR	Secundário	0.545	0.163	0.338	0.019	2214.000	2.399	0.00014
Santiago de Piães	2027	1904	123	ETAR	Secundário							0.00017
São Cristóvão de Nogueira	2215	2215	-	-								
Souselo	3407	2531	Total 876			0.914	0.274	0.566	0.032	3708.000	4.017	

Freguesia	Número de total de habitantes da Freguesia	Nº de habitantes com tratamento de A.R. desconhecido	Nº de habitantes com tratamento de A.R. conhecido	Sistema de tratamento	Nível de tratamento	CBO <sub>5</sub> kg/dia	P - PO <sub>4</sub> kg/dia	NH <sub>4</sub> kg/dia	N - NO <sub>x</sub> kg/dia	Coliformes totais NMP/dia	Coliformes fecais NMP/dia	Caudal m <sup>3</sup> /s
			206	ETAR	Secundário	1.526	0.457	0.946	0.053	6192.000	6.708	0.00027
			344	F.S.	Secundário	0.350	0.013	0.741	0.043	49.680	0.054	0.00048
			276	ETAR	Secundário	0.222	0.066	0.137	0.008	900.000	0.975	0.00038
			50	ETAR	Secundário							0.00007
Tarouquela	1339	1339	-	-								
Travanca	959	959	-	-		0.887	0.266	0.550	0.031	3600.000	3.900	
Covelo	1755	1555	200	ETAR	Secundário							0.00015
Foz do Sousa	6405	6405	-	-		0.238	0.100	0.206	0.012	13.500	0.015	
Lomba	1711	1636	75	F.S.	Secundário	0.111	0.047	0.096	0.005	6.300	0.007	0.00011
Medas	2353	2318	35	F.S.	Secundário							0.00005
Melres	3945	3945	-	-								
Alpendurada e Matos	4883	1528	Total 3355			7.470	1.268	1.407	0.365	424.440	0.460	
			2358	ETAR	Secundário	2.527	0.363	0.637	0.154	179.460	0.194	0.00459
			997	ETAR	Secundário	1.774	0.532	1.100	0.062	7200.000	7.800	0.00280
Magrelos	982	982	-	-								
Penha Longa	2196	2196	-	-								
Sande	2009	2009	-	-								
São Lourenço do Douro	951	951	-	-								
Torrão	948	948	-	-								
Várzea do Douro	2015	1815	200	ETAR	Secundário	0.887	0.266	0.550	0.031	3600.000	3.900	0.00039
Canelas	1780	1688	92	ETAR	Secundário	1.076	0.122	0.121	0.014	1656.000	1.794	0.00007
Eja	1198	1198	-	-								
Portela	1381	1381	-	-								
Rio de Moinhos	2977	2694	283	ETAR	Secundário	3.355	0.013	0.760	0.044	50.940	0.055	0.00031
Rio Mau	1485	1165	320	ETAR	Secundário	2.413	0.425	0.880	0.049	5760.000	6.240	0.00038
Sebolido	945	859	86	ETAR	Secundário	0.753	0.114	0.236	0.013	1548.000	1.677	0.00008
Canedo	5782	5782	-	-								
Lever	3033	0	4100	ETAR	Secundário	17.619	0.195	11.008	0.634	738.000	0.800	0.01755
<b>Total</b>	<b>75079</b>	<b>63042</b>	<b>13104</b>	-	-	<b>55.787</b>	<b>8.617</b>	<b>28.413</b>	<b>2.027</b>	<b>91102.320</b>	<b>98.694</b>	<b>0.03241</b>

**Quadro 34.** Carga poluente gerada nas freguesias localizadas na envolvente da albufeira de Crestuma-Lever considerada na definição do cenário 2

Freguesia	Número de total de habitantes da Freguesia	Nº de hab. com tratamento de A.R. desconhecido	Nº de hab. com tratamento de A.R. conhecido	CBO <sub>5</sub> kg/dia	P - PO <sub>4</sub> kg/dia	NH <sub>4</sub> kg/dia	N - NO <sub>x</sub> kg/dia	Coliformes totais NMP/dia	Coliformes fecais NMP/dia	Caudal m <sup>3</sup> /s
Bairros	1853	1853	-	2.348	0.088	4.975	0.287	3.34E+02	0.361	0.00245
Fornos	1602	1202	400	1.523	0.057	3.227	0.186	2.16E+02	0.234	0.00159
Pedorido	1593	940	653	1.191	0.045	2.524	0.145	1.69E+02	0.183	0.00124
			303							
			50							
			300							
Raiva	2394	1776	618	2.250	0.084	4.768	0.275	3.20E+02	0.346	0.00235
			263							
			50							
			252							
			53							
Santa Maria de Sardoura	2698	2698	-	3.419	0.128	7.244	0.417	4.86E+02	0.526	0.00356
São Martinho de Sardoura	1931	1871	60	2.371	0.089	5.024	0.289	3.37E+02	0.365	0.00247
Sobrado	2921	1393	1528	1.765	0.066	3.740	0.215	2.51E+02	0.272	0.00184
			98							
			25							
			197							
			49							
			1079							
			80							
Espadanedo	1406	1306	100	1.655	0.062	3.507	0.202	2.35E+02	0.255	0.00172
Santiago de Piães	2027	1904	123	2.413	0.090	5.112	0.294	3.43E+02	0.371	0.00251
São Cristóvão de Nogueira	2215	2215	-	2.807	0.105	5.947	0.343	3.99E+02	0.432	0.00293
Souselo	3407	2531	876	3.207	0.120	6.796	0.391	4.56E+02	0.494	0.00334
			206							
			344							
			276							
			50							

Freguesia	Número de total de habitantes da Freguesia	Nº de hab. com tratamento de A.R. desconhecido	Nº de hab. com tratamento de A.R. conhecido	CBO <sub>5</sub> kg/dia	P - PO <sub>4</sub> kg/dia	NH <sub>4</sub> kg/dia	N - NO <sub>x</sub> kg/dia	Coliformes totais NMP/dia	Coliformes fecais NMP/dia	Caudal m <sup>3</sup> /s
Tarouquela	1339	1339	-	1.697	0.064	3.595	0.207	2.41E+02	0.261	0.00177
Travanca	959	959	-	1.215	0.046	2.575	0.148	1.73E+02	0.187	0.00127
Covelo	1755	1555	200	1.970	0.074	4.175	0.240	2.80E+02	0.303	0.00205
Foz do Sousa	6405	6405	-	8.116	0.304	17.197	0.991	1.15E+03	1.249	0.00846
Lomba	1711	1636	75	2.073	0.078	4.393	0.253	2.94E+02	0.319	0.00216
Medas	2353	2318	35	2.937	0.110	6.224	0.359	4.17E+02	0.452	0.00306
Melres	3945	3945	-	4.999	0.187	10.592	0.610	7.10E+02	0.769	0.00521
Alpendurada e Matos	4883	1528	3355	1.936	0.073	4.103	0.236	2.75E+02	0.298	0.00202
			2358							
			997							
Magrelos	982	982	-	1.244	0.047	2.637	0.152	1.77E+02	0.191	0.00130
Penha Longa	2196	2196	-	2.783	0.104	5.896	0.340	3.95E+02	0.428	0.00290
Sande	2009	2009	-	2.546	0.095	5.394	0.311	3.62E+02	0.392	0.00265
São Lourenço do Douro	951	951	-	1.205	0.045	2.553	0.147	1.71E+02	0.185	0.00126
Torrão	948	948	-	1.201	0.045	2.545	0.147	1.71E+02	0.185	0.00125
Várzea do Douro	2015	1815	200	2.300	0.086	4.873	0.281	3.27E+02	0.354	0.00240
Canelas	1780	1688	92	2.139	0.080	4.532	0.261	3.04E+02	0.329	0.00223
Eja	1198	1198	-	1.518	0.057	3.217	0.185	2.16E+02	0.234	0.00158
Portela	1381	1381	-	1.750	0.066	3.708	0.214	2.49E+02	0.269	0.00182
Rio de Moinhos	2977	2694	283	3.414	0.128	7.233	0.417	4.85E+02	0.525	0.00356
Rio Mau	1485	1165	320	1.476	0.055	3.128	0.180	2.10E+02	0.227	0.00154
Sebolido	945	859	86	1.088	0.041	2.306	0.133	1.55E+02	0.168	0.00113
Canedo	5782	5782	-	7.327	0.274	15.524	0.894	1.04E+03	1.127	0.00764
Lever	3033	-	4100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00E+00	0.000	-
<b>Total</b>	<b>75079</b>	<b>63042</b>	<b>13104</b>	<b>79.882</b>	<b>2.992</b>	<b>169.263</b>	<b>9.750</b>	<b>1.135E+04</b>	<b>12.293</b>	<b>0.08325</b>

**Quadro 35.** Carga poluente afluyente aos sistemas de tratamento localizados na área de intervenção do POACL considerada na definição do cenário 2

Freguesia	Número de total de habitantes da Freguesia	Nº de hab. com tratamento de A.R. desconhecido	Nº de hab. com tratamento de A.R. conhecido	Sistema de tratamento	Nível de tratamento	CBO <sub>5</sub> kg/dia	P - PO <sub>4</sub> kg/dia	NH <sub>4</sub> kg/dia	N - NO <sub>x</sub> kg/dia	Coliformes totais NMP/dia	Coliformes fecais NMP/dia	Caudal m <sup>3</sup> /s
Bairros	1853	1853	-	-								
Fornos	1602	1202	400	F.S.	<b>Terciário</b>	0.507	0.019	1.074	0.062	0.507	0.019	0.00095
Pedorido	1593	940	Total 653									
			303	F.S.	<b>Terciário</b>	0.384	0.014	0.814	0.047	0.384	0.014	0.00007
			50	F.S.	<b>Terciário</b>	0.063	0.002	0.134	0.008	0.063	0.002	0.00008
			300	ETAR	<b>Terciário</b>	0.380	0.014	0.805	0.046	0.380	0.014	0.00003
Raiva	2394	1776	Total 618									
			263	F.S.	<b>Terciário</b>	0.333	0.012	0.706	0.041	0.333	0.012	0.00008
			50	F.S.	<b>Terciário</b>	0.063	0.002	0.134	0.008	0.063	0.002	0.00008
			252	F.S.	<b>Terciário</b>	0.319	0.012	0.677	0.039	0.319	0.012	0.00008
			53	F.S.	<b>Terciário</b>	0.067	0.003	0.142	0.008	0.067	0.003	0.00002
Santa Maria de Sardoura	2698	2698										
São Martinho de Sardoura	1931	1871	60	F.S.	<b>Terciário</b>	0.076	0.003	0.161	0.009	0.076	0.003	0.00004
Sobrado	2921	1393	Total 1528									
			98	F.S.	<b>Terciário</b>	0.124	0.005	0.263	0.015	0.124	0.005	0.00008
			25	F.S.	<b>Terciário</b>	0.032	0.001	0.067	0.004	0.032	0.001	0.00004
			197	F.S.	<b>Terciário</b>	0.250	0.009	0.529	0.030	0.250	0.009	0.00016
			49	F.S.	<b>Terciário</b>	0.062	0.002	0.132	0.008	0.062	0.002	0.00004
			1079	F.S.	<b>Terciário</b>	1.367	0.051	2.897	0.167	1.367	0.051	0.00256
			80	F.S.	<b>Terciário</b>	0.101	0.004	0.215	0.012	0.101	0.004	0.00013
Espadanedo	1406	1306	100	ETAR	<b>Terciário</b>	0.127	0.005	0.268	0.015	0.127	0.005	0.00014
Santiago de Piães	2027	1904	123	ETAR	<b>Terciário</b>	0.156	0.006	0.330	0.019	0.156	0.006	0.00017
São Cristóvão de Nogueira	2215	2215	-	-								
Souselo	3407	2531	Total 876									
			206	ETAR	<b>Terciário</b>	0.261	0.010	0.553	0.032	0.261	0.010	0.00027

Freguesia	Número de total de habitantes da Freguesia	Nº de hab. com tratamento de A.R. desconhecido	Nº de hab. com tratamento de A.R. conhecido	Sistema de tratamento	Nível de tratamento	CBO <sub>5</sub> kg/dia	P - PO <sub>4</sub> kg/dia	NH <sub>4</sub> kg/dia	N - NO <sub>x</sub> kg/dia	Coliformes totais NMP/dia	Coliformes fecais NMP/dia	Caudal m <sup>3</sup> /s
			344	F.S.	<b>Terciário</b>	0.436	0.016	0.924	0.053	0.436	0.016	0.00048
			276	ETAR	<b>Terciário</b>	0.350	0.013	0.741	0.043	0.350	0.013	0.00038
			50	ETAR	<b>Terciário</b>	0.063	0.002	0.134	0.008	0.063	0.002	0.00007
Tarouquela	1339	1339	-	-								
Travanca	959	959	-	-								
Covelo	1755	1555	200	ETAR	<b>Terciário</b>	0.253	0.009	0.537	0.031	0.253	0.009	0.00015
Foz do Sousa	6405	6405	-	-								
Lomba	1711	1636	75	F.S.	<b>Terciário</b>	0.095	0.004	0.201	0.012	0.095	0.004	0.00011
Medas	2353	2318	35	F.S.	<b>Terciário</b>	0.044	0.002	0.094	0.005	0.044	0.002	0.00005
Melres	3945	3945	-	-								
Alpendurada e Matos	4883	1528	<b>Total 3355</b>									
			2358	ETAR	<b>Terciário</b>	2.988	0.112	6.331	0.365	2.988	0.112	0.00459
			997	ETAR	<b>Terciário</b>	1.263	0.047	2.677	0.154	1.263	0.047	0.00280
Magrelos	982	982	-	-								
Penha Longa	2196	2196	-	-								
Sande	2009	2009	-	-								
São Lourenço do Douro	951	951	-	-								
Torrão	948	948	-	-								
Várzea do Douro	2015	1815	200	ETAR	<b>Terciário</b>	0.253	0.009	0.537	0.031	0.253	0.009	0.00039
Canelas	1780	1688	92	ETAR	<b>Terciário</b>	0.117	0.004	0.247	0.014	0.117	0.004	0.00007
Eja	1198	1198	-	-								
Portela	1381	1381	-	-								
Rio de Moinhos	2977	2694	283	ETAR	<b>Terciário</b>	0.359	0.013	0.760	0.044	0.359	0.013	0.00031
Rio Mau	1485	1165	320	ETAR	<b>Terciário</b>	0.405	0.015	0.859	0.049	0.405	0.015	0.00038
Sebolido	945	859	86	ETAR	<b>Terciário</b>	0.109	0.004	0.231	0.013	0.109	0.004	0.00008
Canedo	5782	5782	-	-								
Lever	3033	0	4100	ETAR	<b>Terciário</b>	5.195	0.195	11.008	0.634	5.195	0.195	0.01755
<b>Total</b>	<b>75079</b>	<b>63042</b>	<b>13104</b>	-	-	<b>16.604</b>	<b>0.622</b>	<b>35.183</b>	<b>2.027</b>	<b>16.604</b>	<b>0.622</b>	<b>0.03241</b>

**Quadro 36.** Carga poluente rejeitada com origem nos empreendimentos turísticos localizados na área de intervenção do POACL – Cenário 3

Zona	Concelho	Descrição	Nº de camas	CBO <sub>5</sub> kg/dia	P - PO <sub>4</sub> kg/dia	NH <sub>4</sub> kg/dia	N – NO <sub>x</sub> kg/dia	Coliformes s totais NMP/dia	Coliformes fecais NMP/dia	Caudal m <sup>3</sup> /s
Esposade	V N de Gaia	Existente - Centro Geriátrico	850	0.030	0.001	0.064	0.004	4.320	0.005	0.00003
Lever	Gondomar	Pretensão da CM. Recuperação de uma zona degradada em termos paisagísticos		0.030	0.001	0.064	0.004	4.320	0.005	0.00224
Parque de Campismo de Medas	Gondomar	Parcialmente existente. Parque de Campismo (6ha) - Requalificação, desdensificação e ampliação do parque existente.	252	-	-	-	-	-	-	0.00000
Quinta da Varziela	Gondomar	Pretensão da CM – empreendimento turístico.	1762	0.030	0.001	0.064	0.004	4.320	0.005	0.00067
Quinta da Azenha	Gondomar	Pretensão da CM – empreendimento turístico.		0.030	0.001	0.064	0.004	4.320	0.005	0.00465
Q <sup>a</sup> dos Moinhos	Castelo de Paiva	Existente - Alojamento turístico e espaço para organização de eventos	296	-	-	-	-	-	-	-
Fontainhas	Penafiel	Pretensão da CM – reconversão de edifícios	1246	0.030	0.001	0.064	0.004	4.320	0.005	0.00078
Q <sup>a</sup> de Santa Cruz	Penafiel	Alojamento turístico e espaço para organização de eventos.	296	0.030	0.001	0.064	0.004	4.320	0.005	0.00329
Parque de Campismo de Ufe	Castelo de Paiva	Pretensão da CM. Recuperação de uma área degradada. Com projecto.	1840	0.030	0.001	0.064	0.004	4.320	0.005	0.00078
Sardoura	Cinfães	Pretensão da CM. Recuperação de uma área degradada. Reconversão de zona industrial.	296	0.030	0.001	0.064	0.004	4.320	0.005	0.00486
Escamarão	Marco de Canaveses	Pretensão da CM. Recuperação de uma área degradada.	1286	0.030	0.001	0.064	0.004	4.320	0.005	0.00078
Bitetos	Marco de Canaveses	Pretensão da CM – potencial turístico associado ao cais		0.030	0.001	0.064	0.004	4.320	0.005	0.00340
Convento de Alpendorada	Marco de Canaveses	Existente. Alojamento e Património Arquitectónico	594	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-
Santa Cristina	Marco de Canaveses	Recuperação de uma área degradada. Requalificação de uma pedreira.	494	0.030	0.001	0.064	0.004	4.320	0.005	0.00157
Q <sup>a</sup> da Capela	Cinfães	Recuperação de uma área degradada. Valor arquitectónico e paisagístico	692	0.030	0.001	0.064	0.004	4.320	0.005	0.00130
Meijoadas	V N de Gaia	Pretensão da CM. Com projecto.	850	0.030	0.001	0.064	0.004	4.320	0.005	0.00183
<b>Total</b>	-	-	<b>9212</b>	<b>0.395</b>	<b>0.015</b>	<b>0.838</b>	<b>0.048</b>	<b>56.160</b>	<b>0.061</b>	<b>0.026</b>

## 12. RESULTADOS OBTIDOS

### 12.1 - Introdução

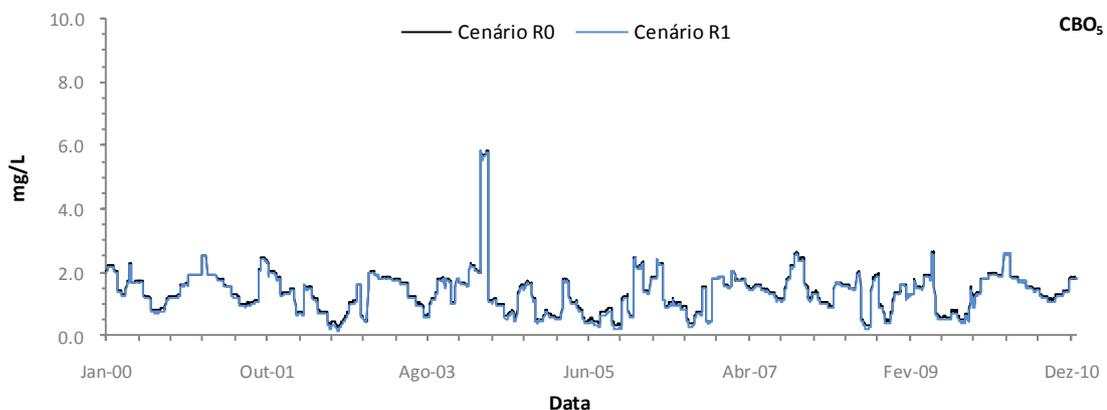
Os resultados obtidos com os diferentes cenários de simulação são apresentados nas secções seguintes sob a forma de gráficos, que reflectem a concentração média de cada um dos constituintes no ramo principal da albufeira de Crestuma-Lever (rio Douro), para cada um dos cenários de simulação definidos.

No final da apresentação dos resultados obtidos é também apresentado o Quadro 37, onde se pode observar a variação percentual da concentração de cada um dos parâmetros modelados, em função das características específicas inerentes a cada um dos cenários de simulação.

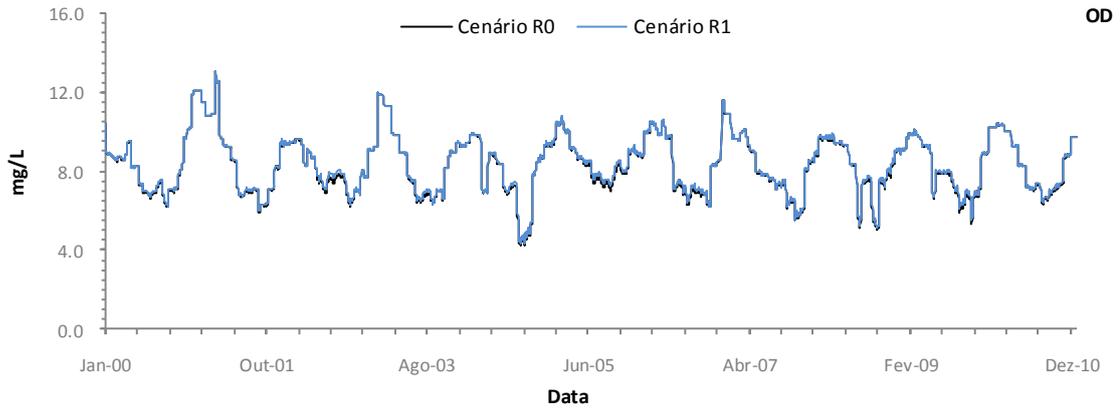
### 12.2 - Cenário R0 / Cenário R1

A implementação destes cenários de simulação permitiu concluir, que a carga orgânica e microbiológica, que é gerada pelos habitantes que residem nas freguesias localizadas na área de intervenção do POACL, sobre as quais não existe informação relativamente à existência ou não de recolha e tratamento de água residuais, é pouco significativa quando se considera toda a carga poluente que aflui à albufeira de Crestuma-Lever, não sendo possível observar nas Figuras 92 a 99, diferenças entre os **Cenários R0 e R1**.

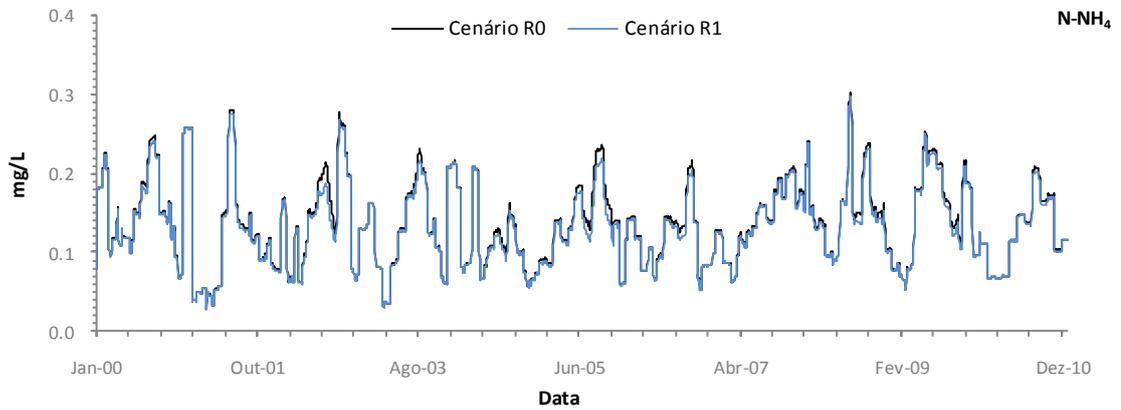
Assim, na avaliação dos restantes cenários de simulação, utilizou-se o Cenário R0 como o cenário que caracteriza a situação de referência desta albufeira.



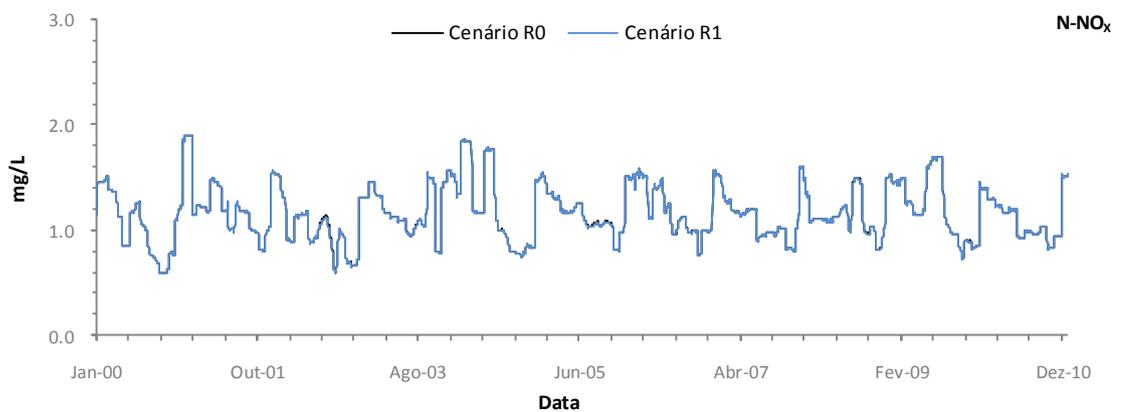
**Figura 93.** Variação média da concentração de **CBO<sub>5</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário R0- R1**



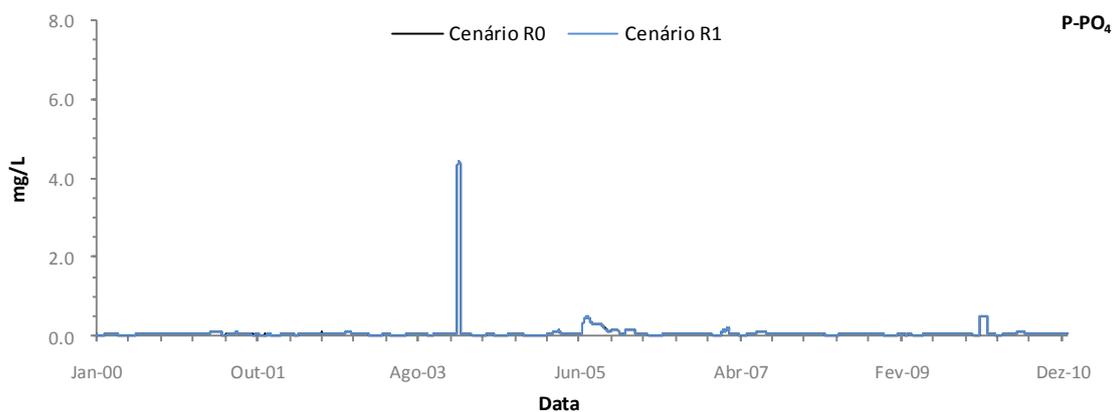
**Figura 94.** Variação média da concentração de **OD** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário R0-R1**



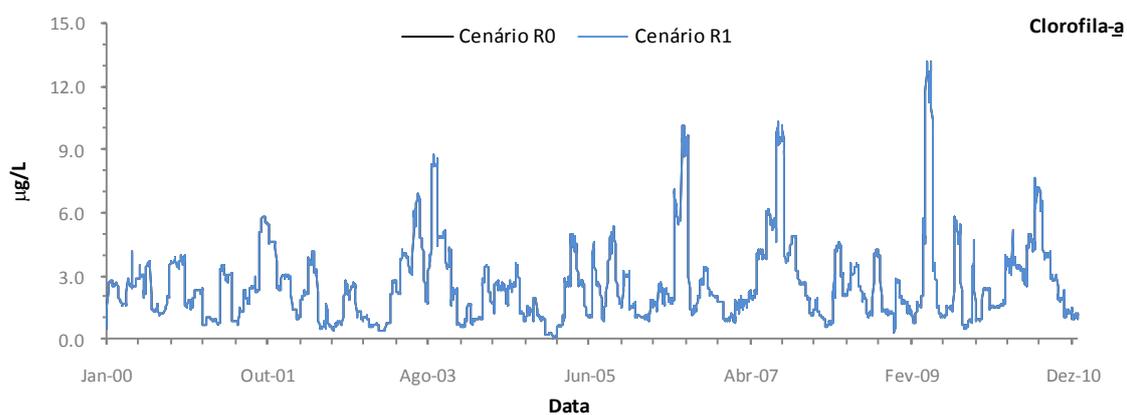
**Figura 95.** Variação média da concentração de **NH<sub>4</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário R0-R1**



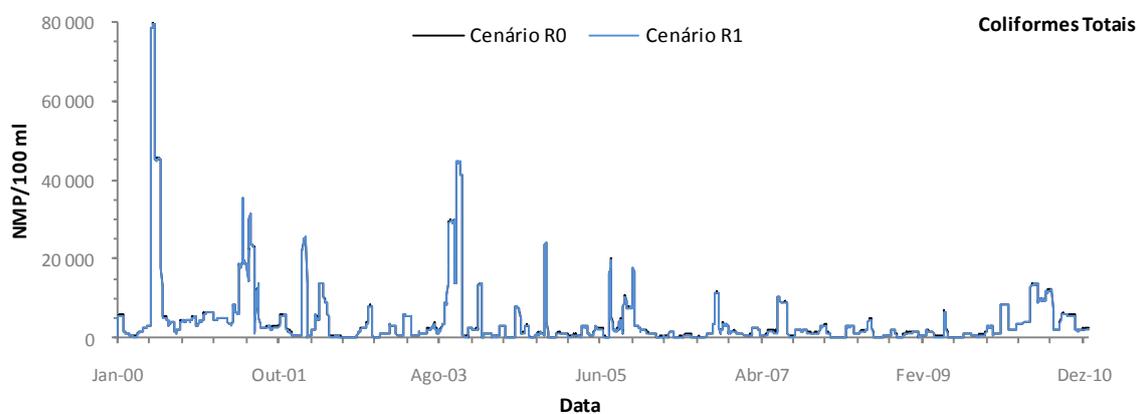
**Figura 96.** Variação média da concentração de **N-NO<sub>x</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário R0-R1**



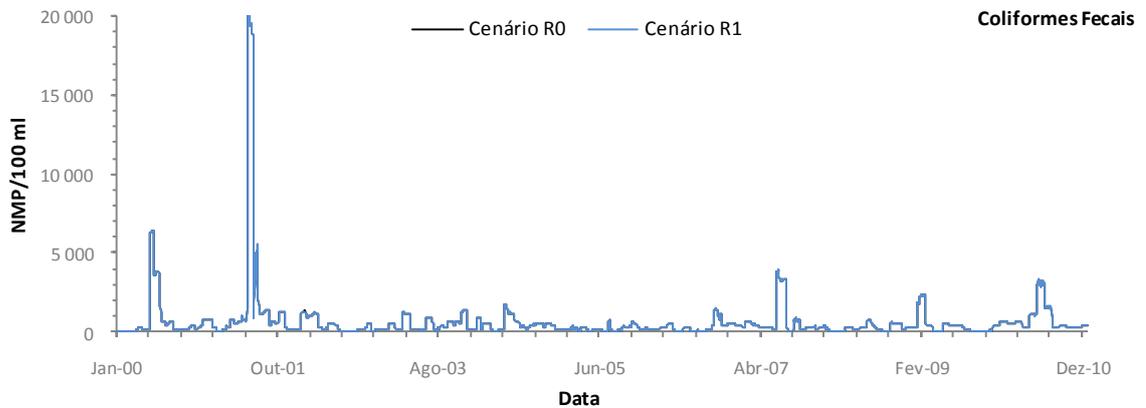
**Figura 97.** Variação média da concentração de **P-PO<sub>4</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário R0-R1**



**Figura 98.** Série temporal da concentração de **Clorofila-a** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário R0-R1**



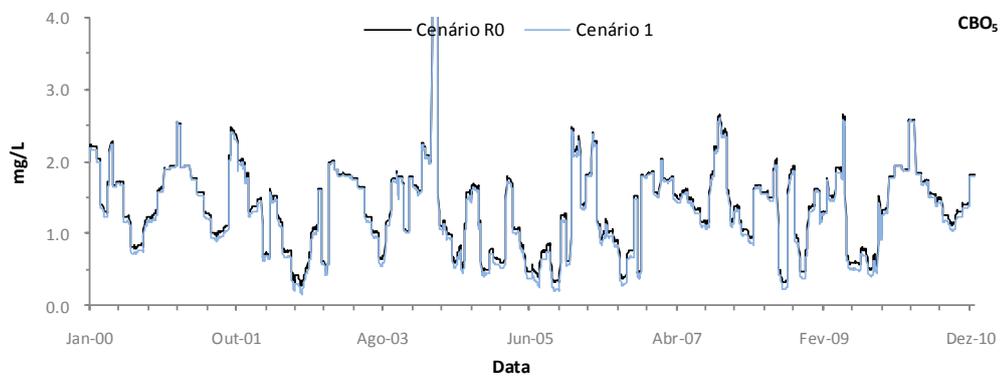
**Figura 99.** Variação média da concentração de **C. Totais** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário R0-R1**



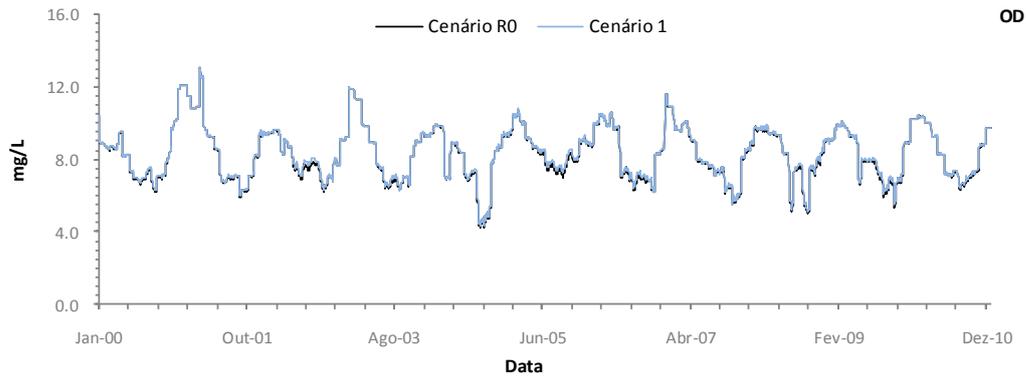
**Figura 100.** Variação média da concentração de **C. Fecais** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário R0-R1**

### 12.3 - Cenário 1

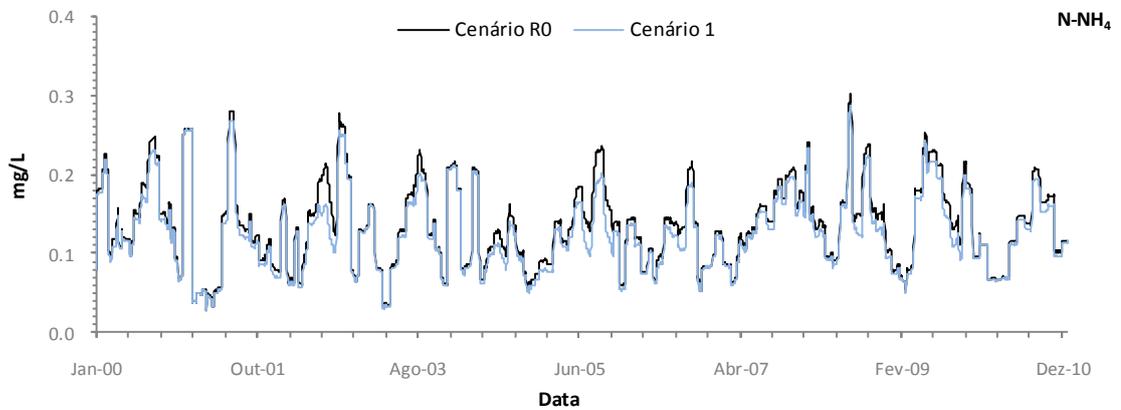
De acordo com a análise das Figuras 100 a 107, a implementação do **Cenário 1** em que se definiu o tratamento secundário de todas as descargas urbanas geradas nas freguesias localizadas total ou parcialmente na área de intervenção do POACL, determina uma redução pouco significativa da carga orgânica e microbiológica que aflui à albufeira de Crestuma-Lever.



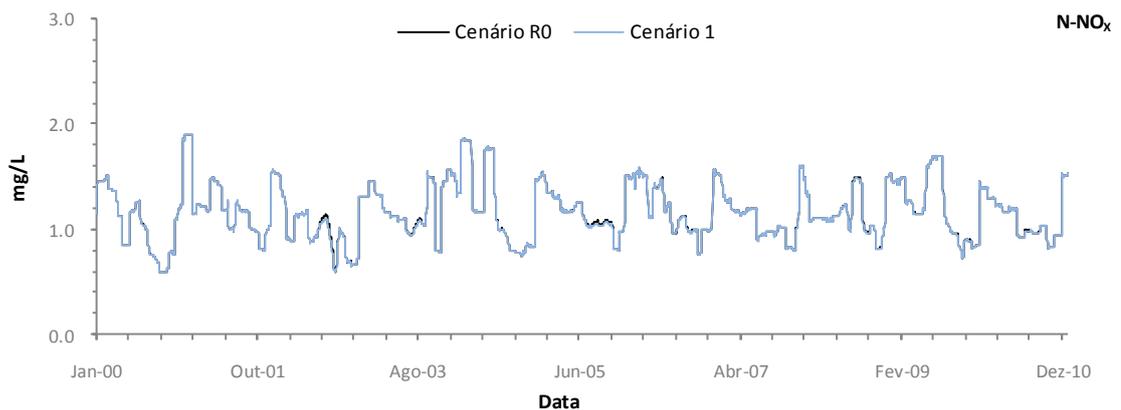
**Figura 101.** Variação média da concentração de **CBO<sub>5</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 1**



**Figura 102.** Variação média da concentração de **OD** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 1**



**Figura 103.** Variação média da concentração de **NH<sub>4</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 1**



**Figura 104.** Variação média da concentração de **N-NO<sub>x</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 1**

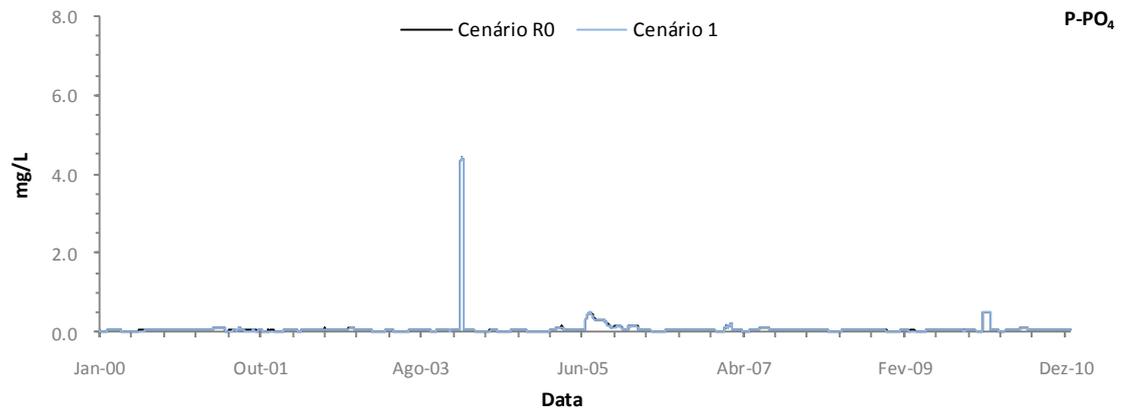


Figura 105. Variação média da concentração de  $P-PO_4$  na albufeira de Crestuma-Lever – Cenário 1

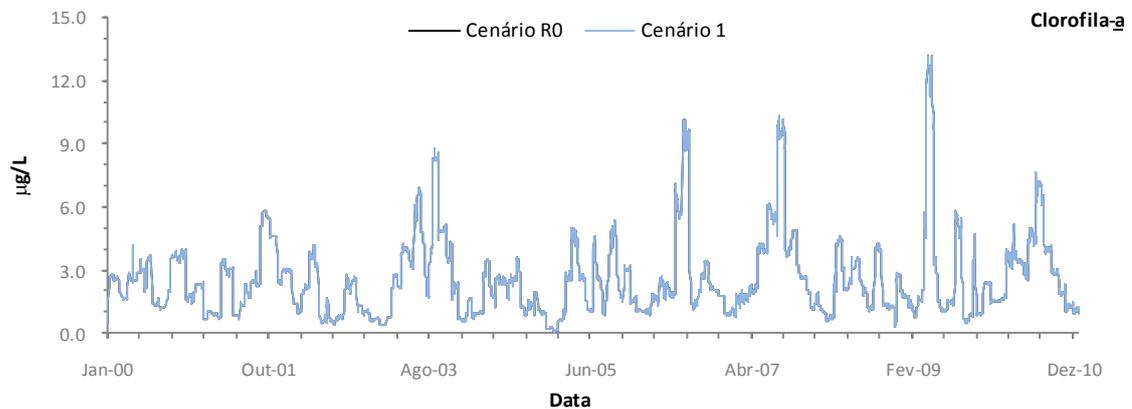


Figura 106. Série temporal de  $Clorofila-a$  na albufeira de Crestuma-Lever à superfície – Cenário 1

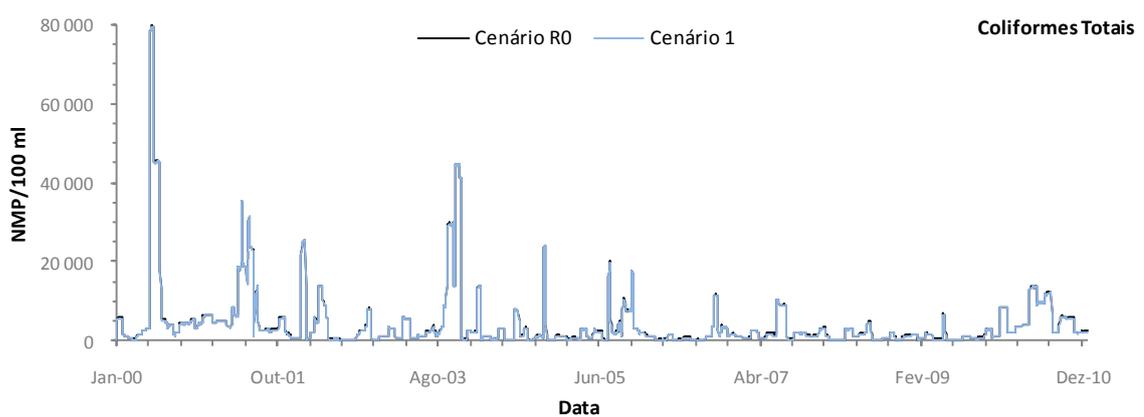
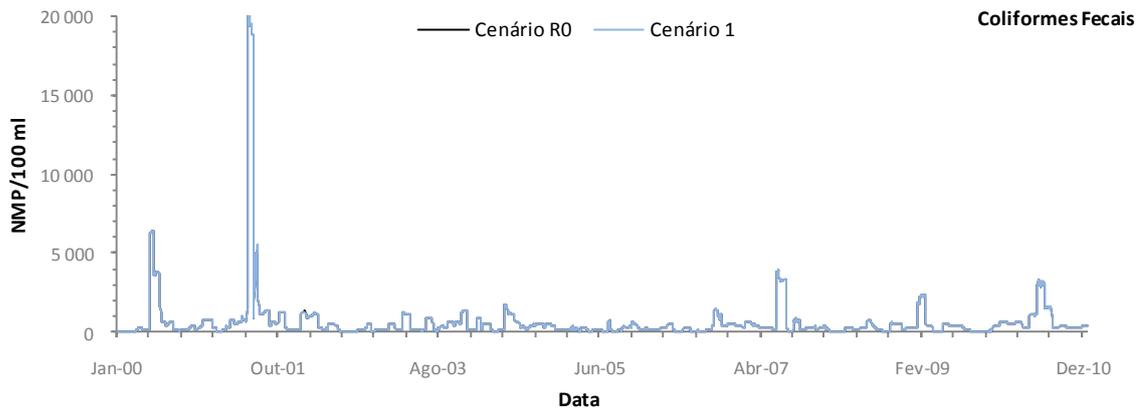


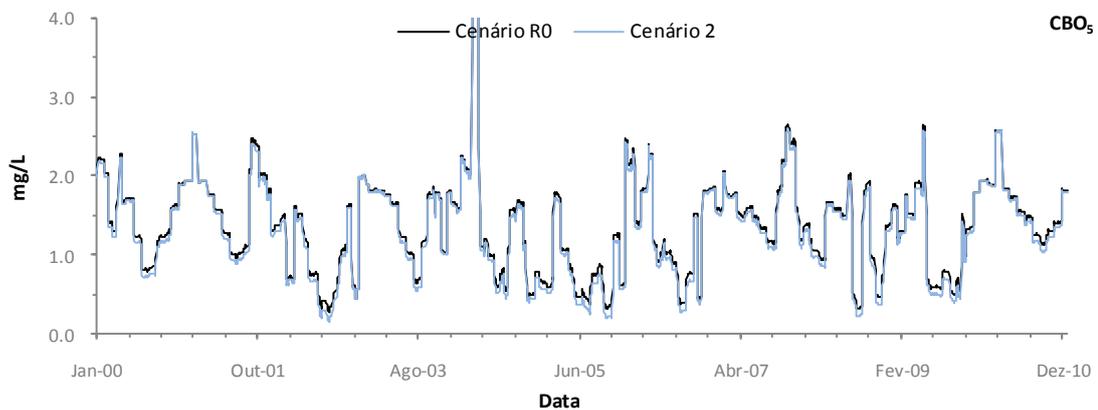
Figura 107. Variação média da concentração de **Colif. Totais** na albufeira de Crestuma-Lever – Cenário 1



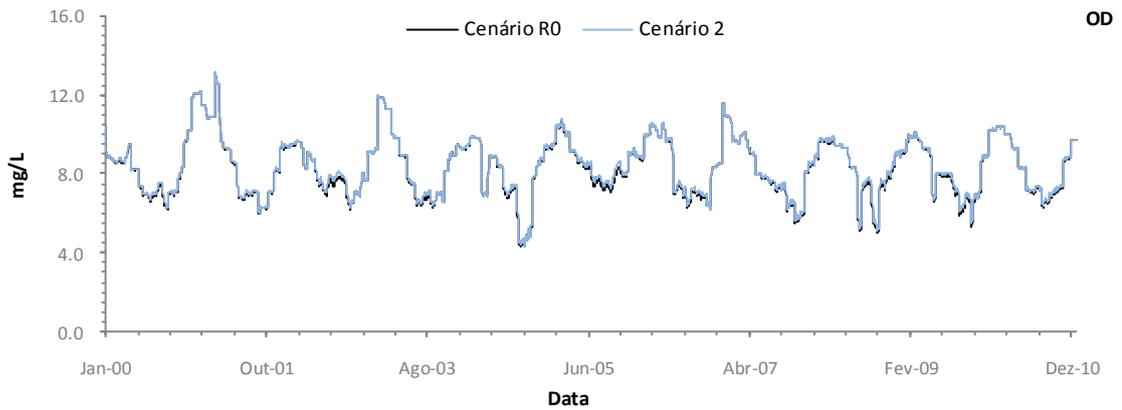
**Figura 108.** Variação média da concentração de **Colif. Fecais** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 1**

#### 12.4 - Cenário 2

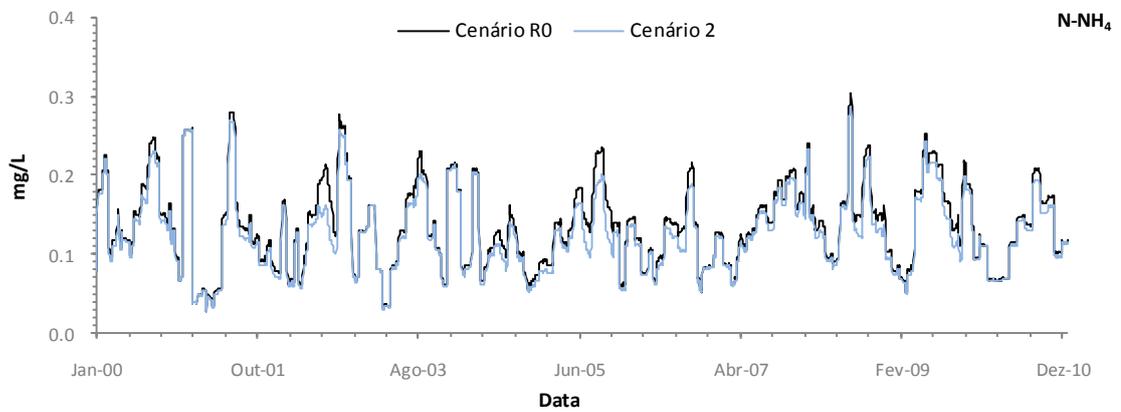
A análise das Figuras 108 a 115 permite concluir que o tratamento terciário de todas as descargas urbanas geradas nas freguesias localizadas total ou parcialmente na área de intervenção do POACL, determinado pela simulação do **Cenário 2** determinou uma redução pouco significativa da carga orgânica e microbiológica afluente à albufeira de Crestuma-Lever.



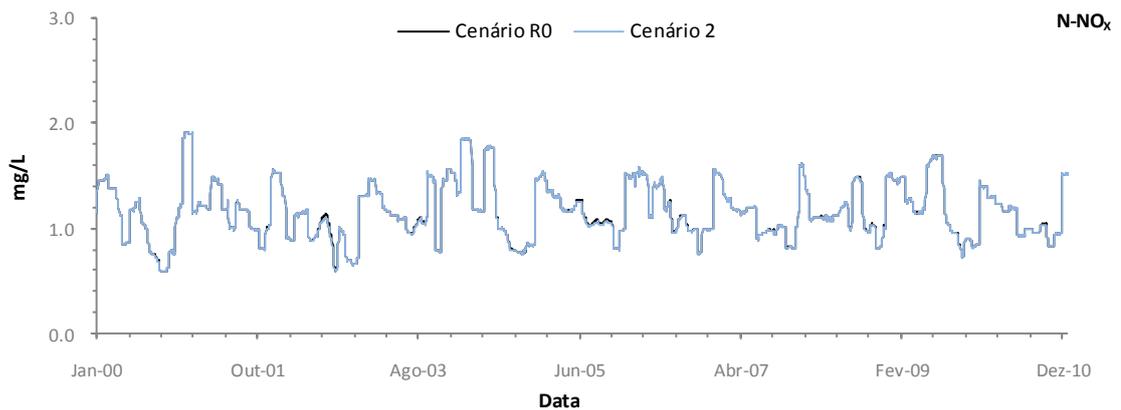
**Figura 109.** Variação média da concentração de **CBO<sub>5</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 2**



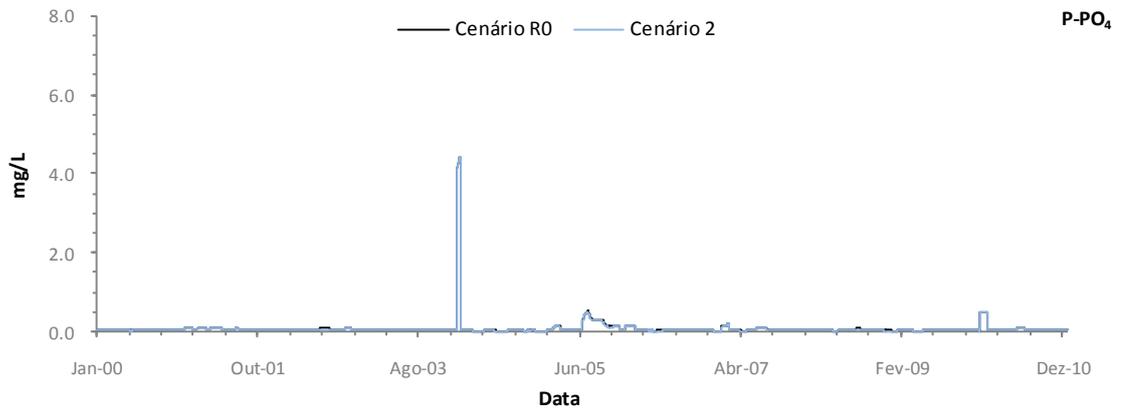
**Figura 110.** Variação média da concentração de **OD** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 2**



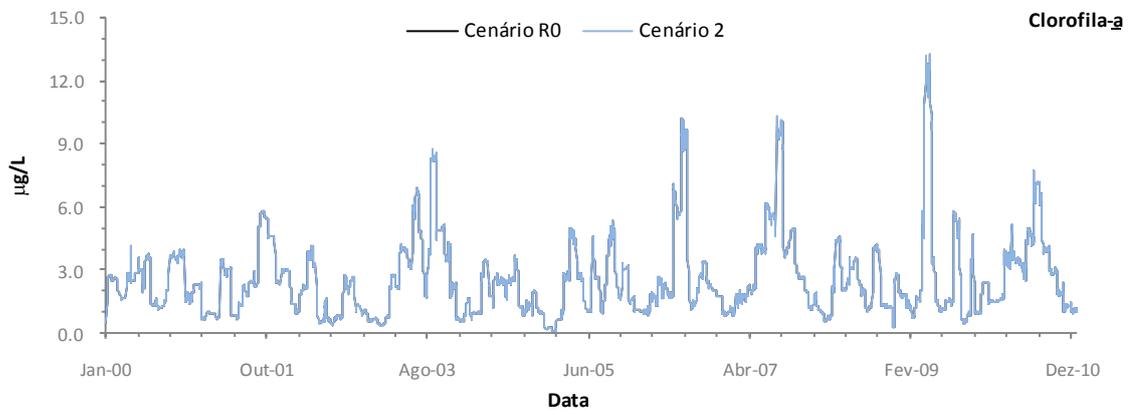
**Figura 111.** Variação média da concentração de **NH<sub>4</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 2**



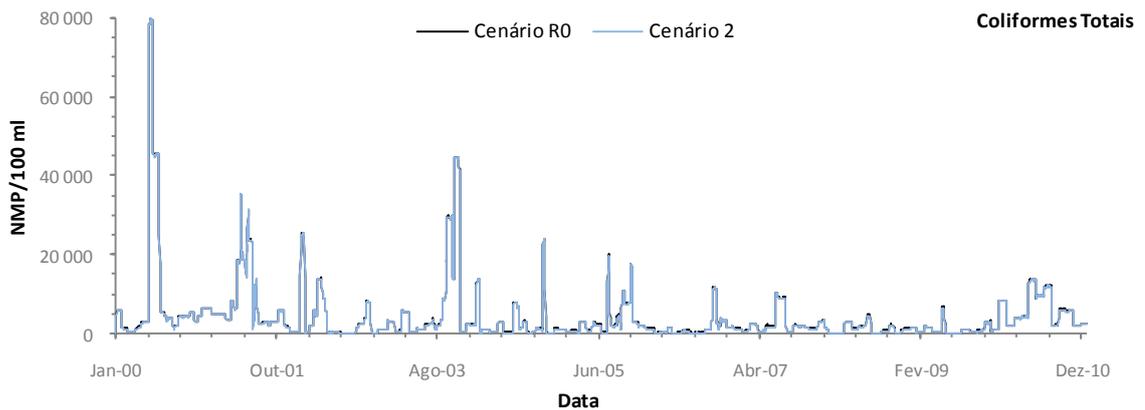
**Figura 112.** Variação média da concentração de **N-NO<sub>x</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 2**



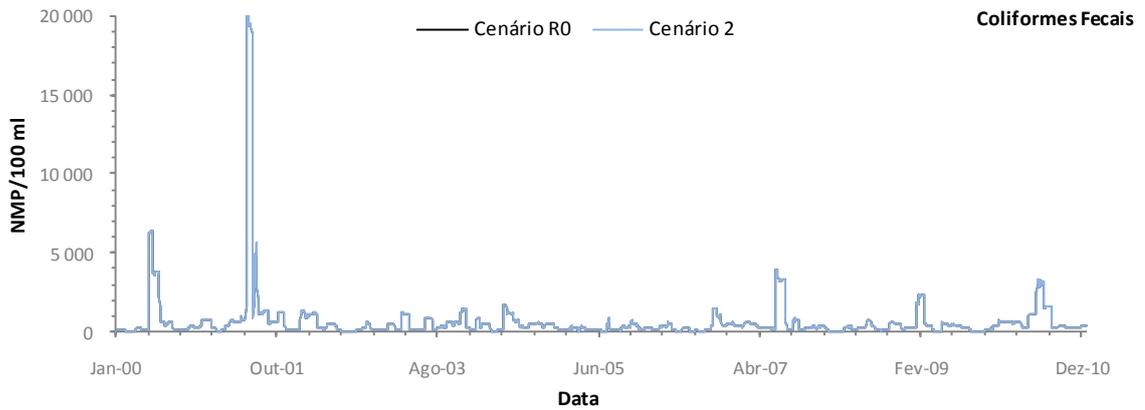
**Figura 113.** Variação média da concentração de **P-PO<sub>4</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 2**



**Figura 114.** Série temporal da concentração de **Clorofila-a** na albufeira de Crestuma-Lever à superfície – **Cenário 2**



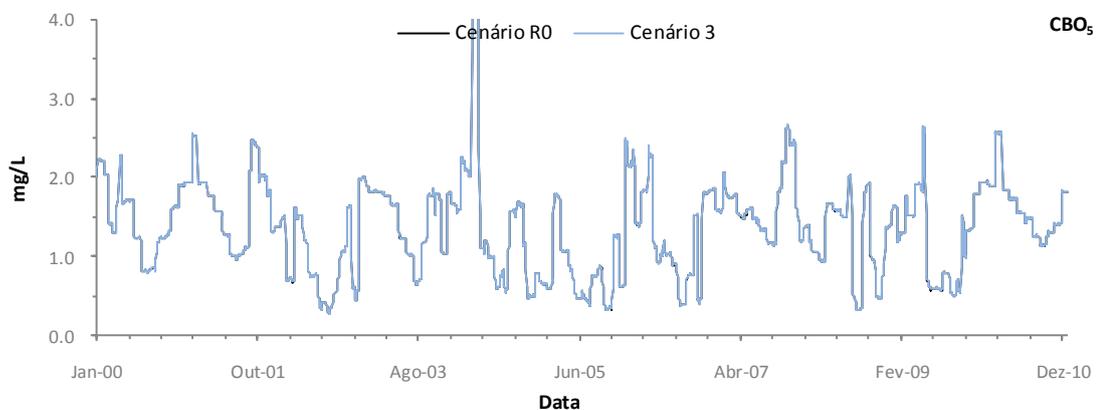
**Figura 115.** Variação média da concentração de **Colif. Totais** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 2**



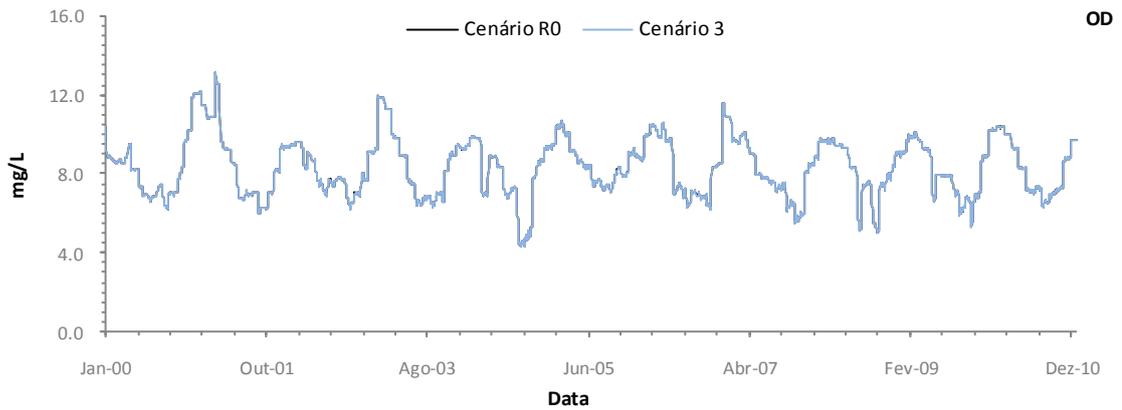
**Figura 116.** Variação média da concentração de **Colif. Fecais** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 2**

### 12.5 - Cenário 3

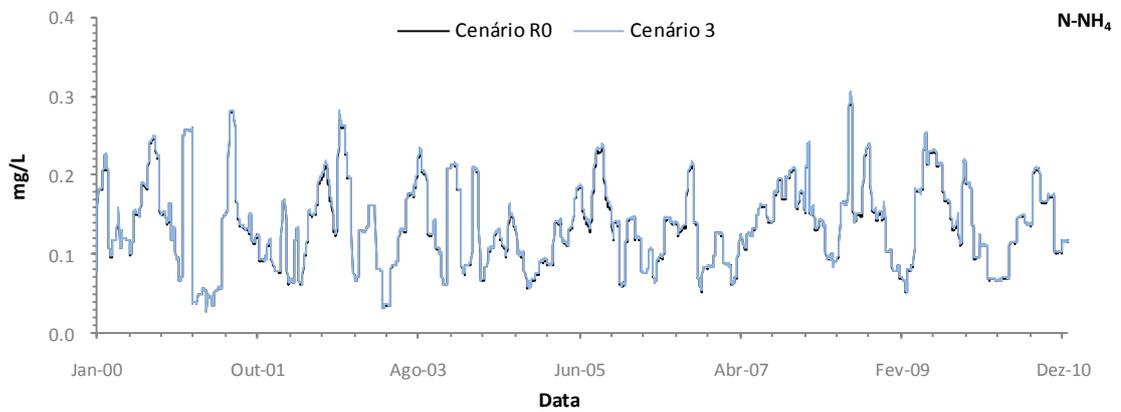
A definição do **Cenário 3** revelou que a construção dos empreendimentos turísticos, que deverá ocorrer na área de intervenção do POACL, não será um factor de degradação da qualidade da água da albufeira (Figuras 116 a 123).



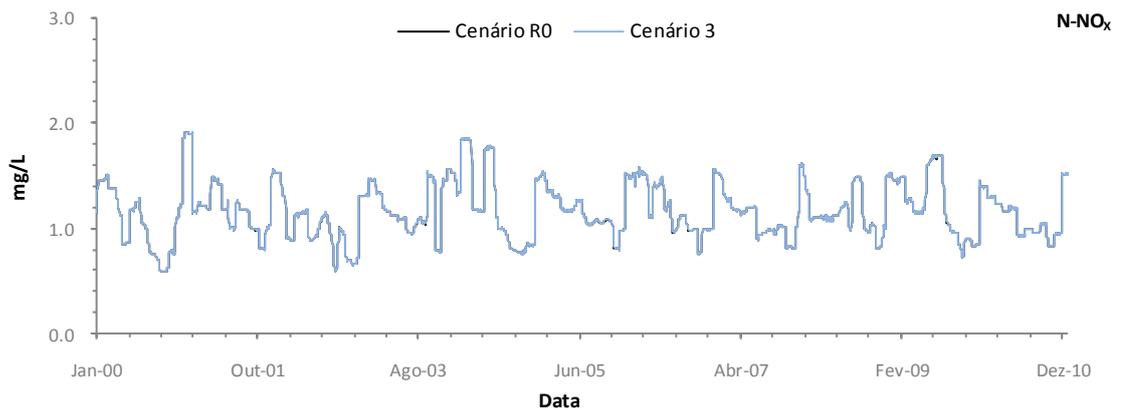
**Figura 117.** Variação média da concentração de **CBO<sub>5</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 3**



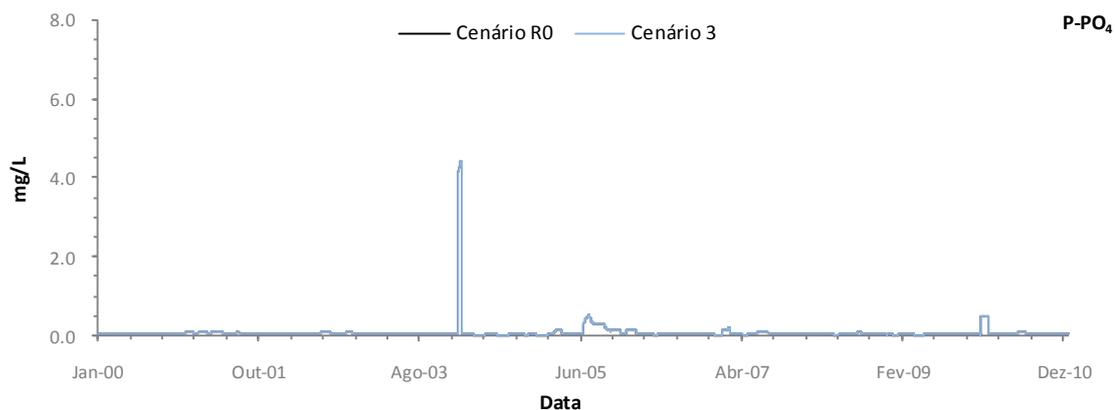
**Figura 118.** Variação média da concentração de **OD** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 3**



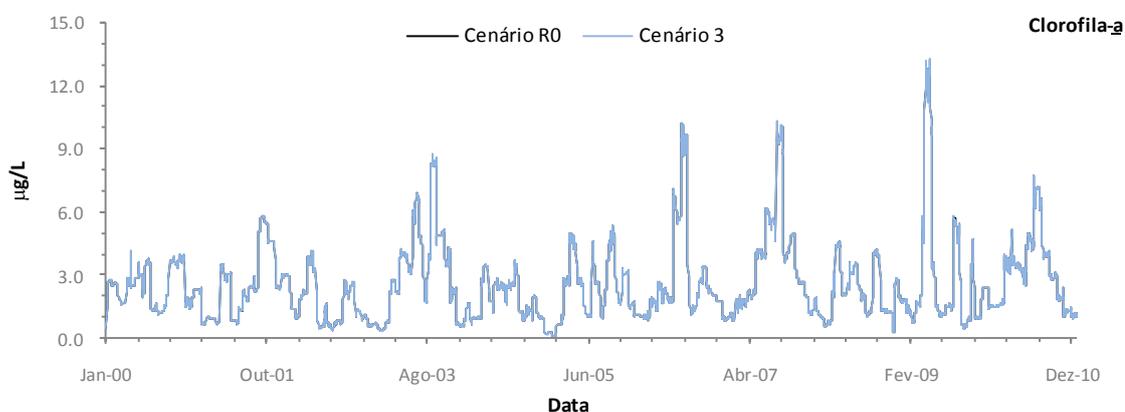
**Figura 119.** Variação média da concentração de **NH<sub>4</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 3**



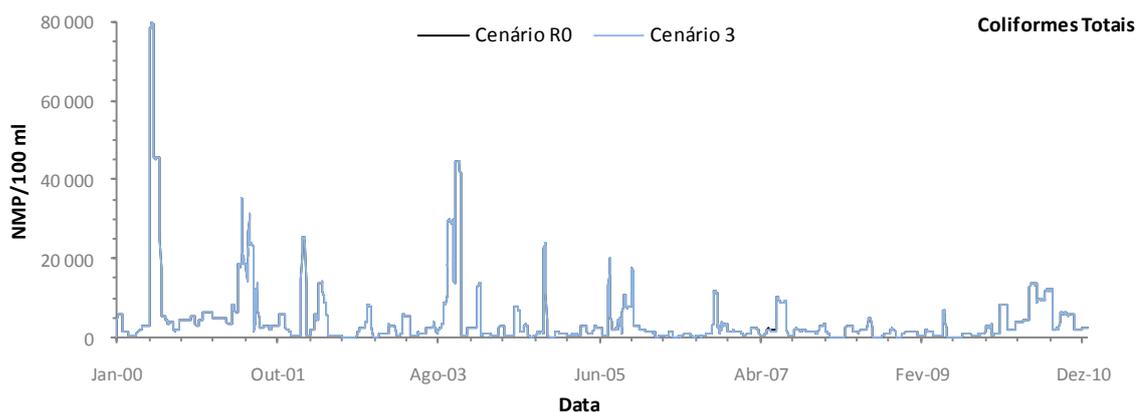
**Figura 120.** Variação média da concentração de **N-NO<sub>x</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 3**



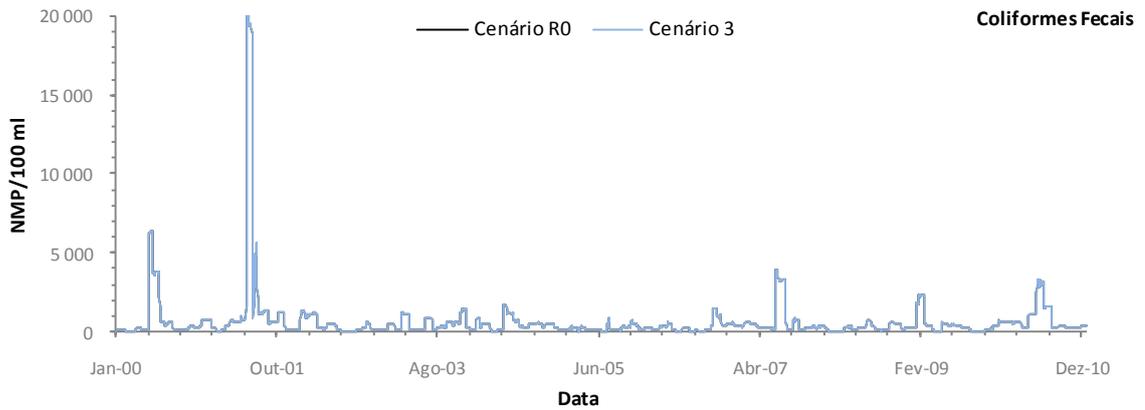
**Figura 121.** Variação média da concentração de **P-PO<sub>4</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 3**



**Figura 122.** Série temporal da concentração de **Clorofila-a** na albufeira de Crestuma-Lever à superfície – **Cenário 3**



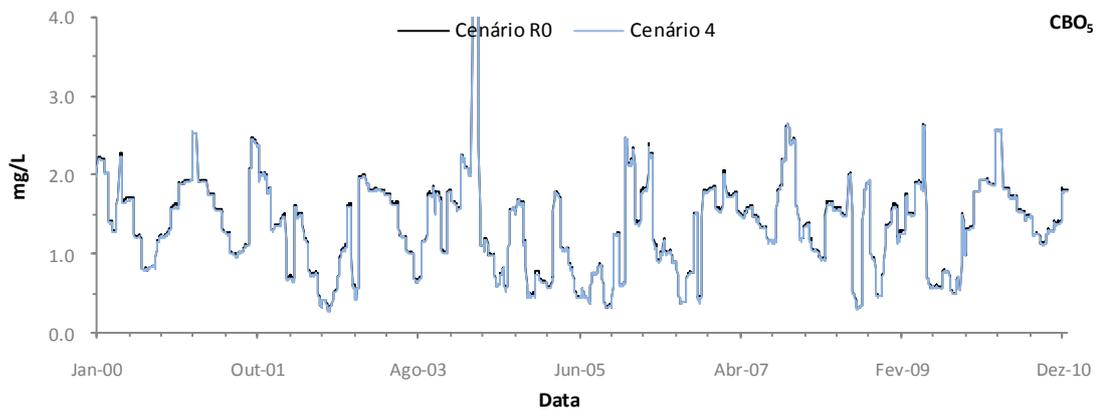
**Figura 123.** Variação média da concentração de **Colif. Totais** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 3**



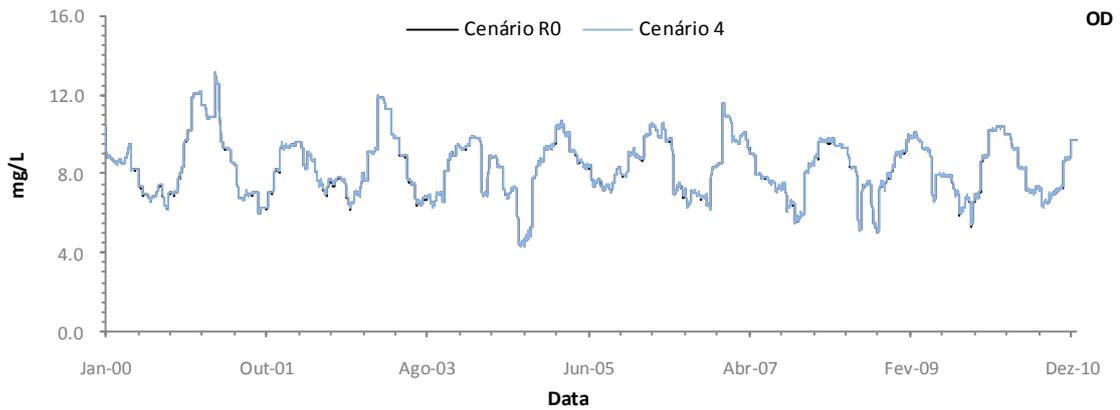
**Figura 124.** Variação média da concentração de **Colif. Fecais** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 3**

## 12.6 - Cenário 4

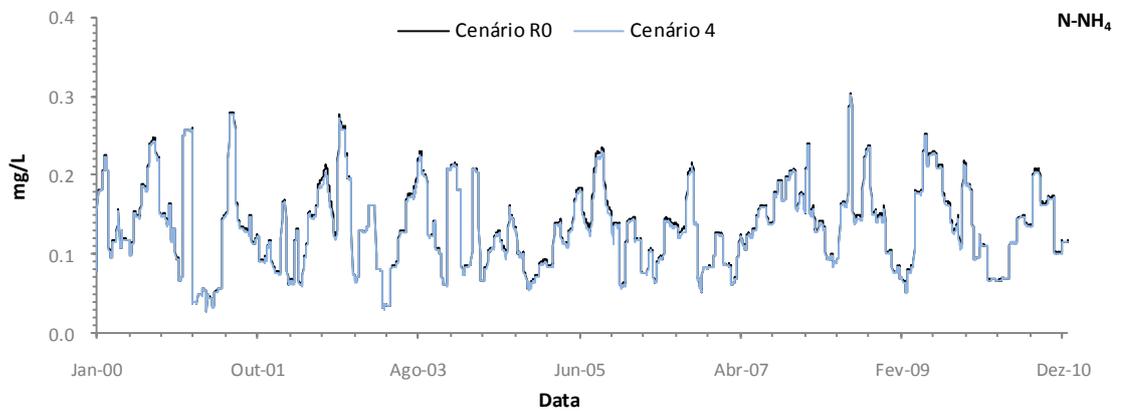
A consideração deste cenário permite verificar que o efeito na qualidade da água da albufeira, resultante da carga difusa de nutrientes gerada na bacia própria da albufeira de Crestuma-Lever é pouco significativo como se pode observar nas Figuras 124 a 131.



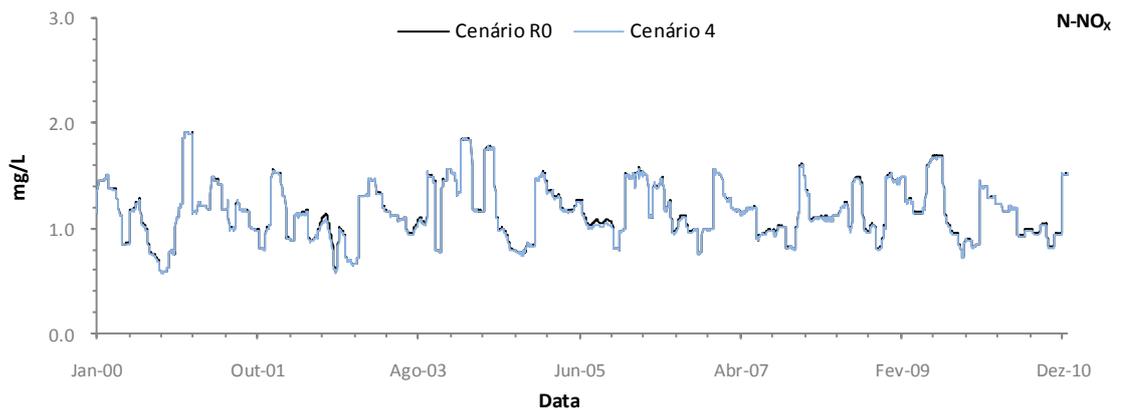
**Figura 125.** Variação média da concentração de **CBO<sub>5</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 4**



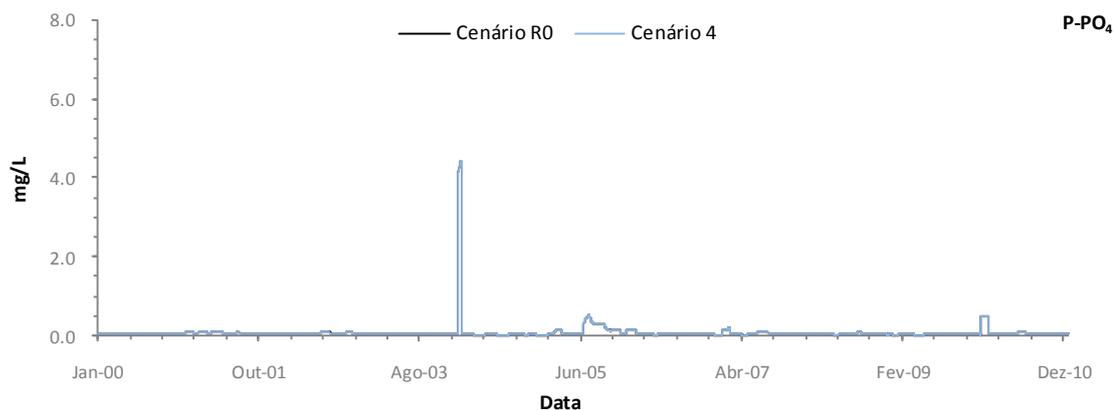
**Figura 126.** Variação média da concentração de **OD** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 4**



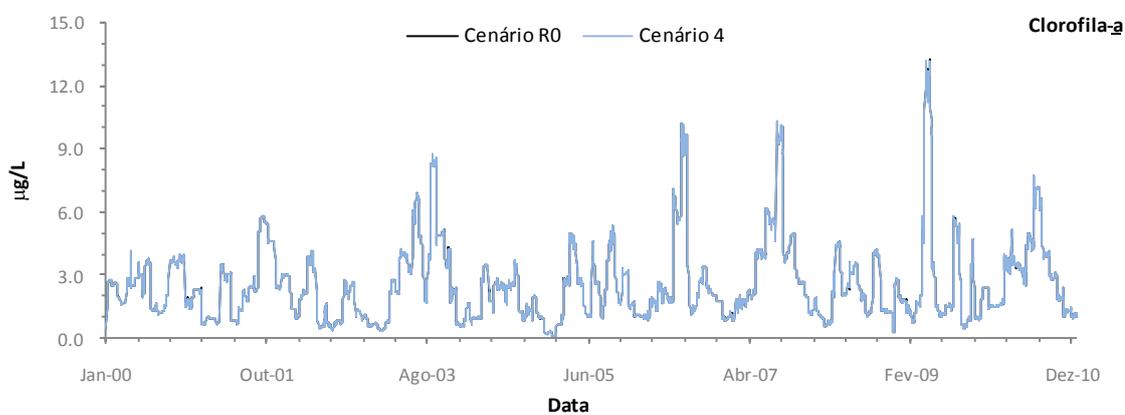
**Figura 127.** Variação média da concentração de **NH<sub>4</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 4**



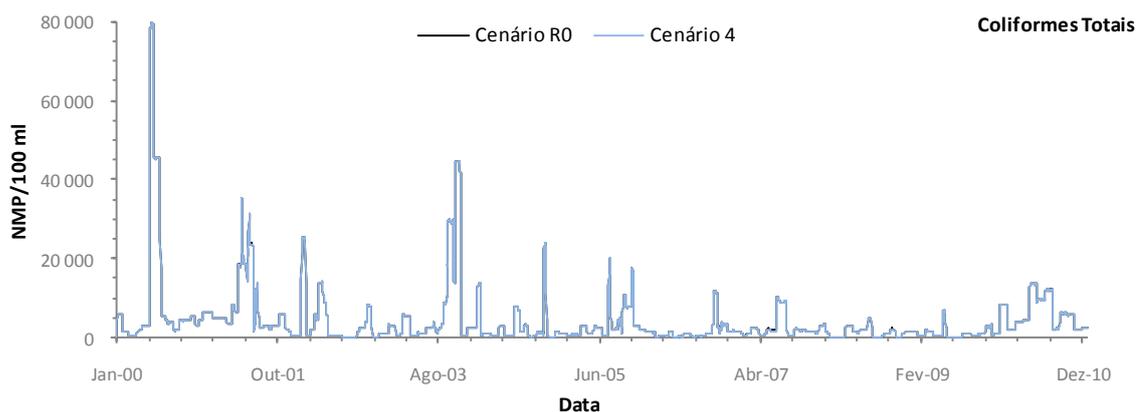
**Figura 128.** Variação média da concentração de **N-NO<sub>x</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 4**



**Figura 129.** Variação média da concentração de **P-PO<sub>4</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 4**



**Figura 130.** Série temporal da concentração de **Clorofila-a** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 4**



**Figura 131.** Variação média da concentração de **Colif. Totais** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 4**

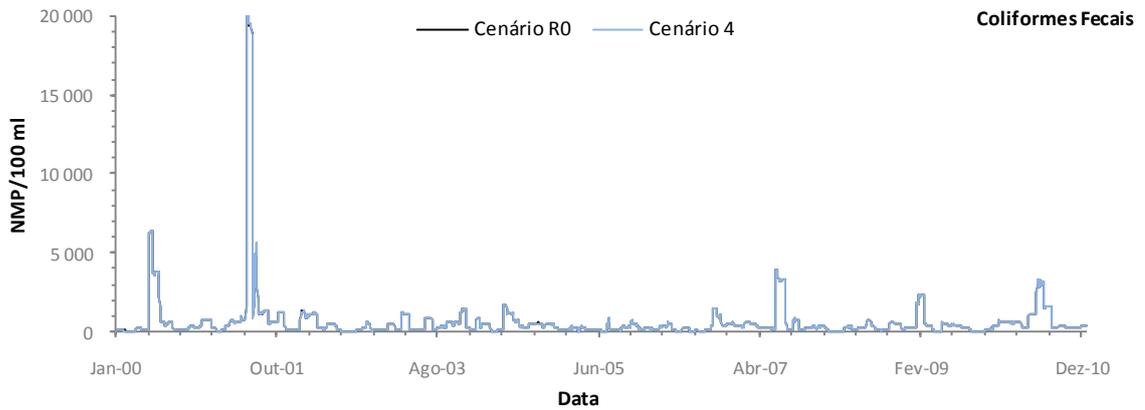


Figura 132. Variação média da concentração de **Colif. Fecais** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 4**

### 12.7 - Cenário 5

A definição deste cenário de simulação tem com objectivo avaliar a carga orgânica e microbiológica que afluí à albufeira de Crestuma-Lever através do ramo principal da albufeira o rio Douro. A análise das Figuras 132 a 139, permite concluir que para todos os parâmetros simulados, é observável uma redução significativa, da sua concentração.

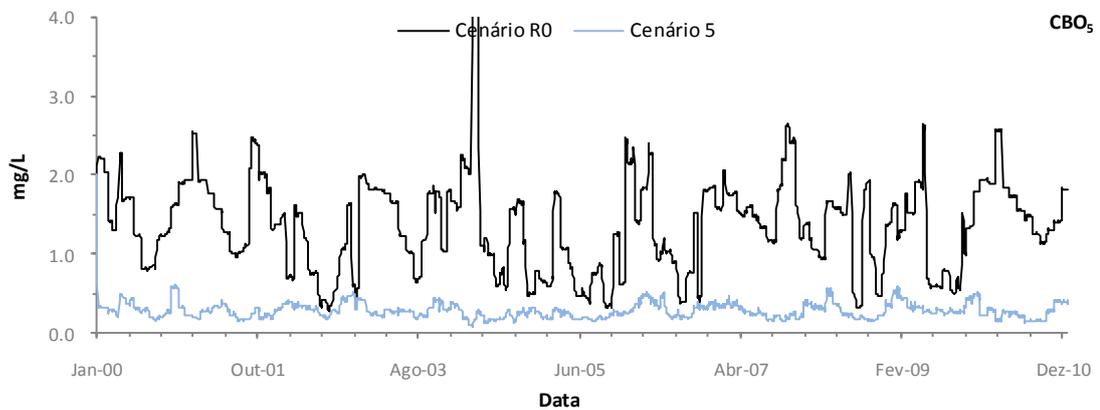
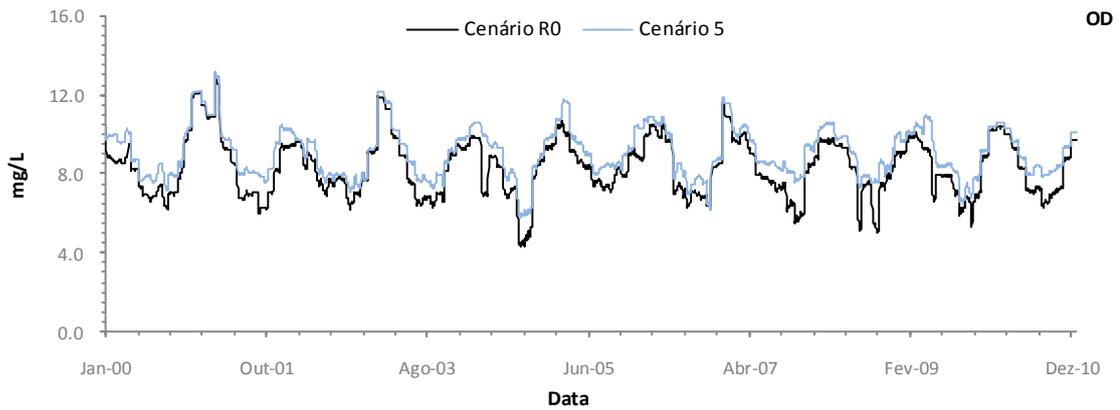
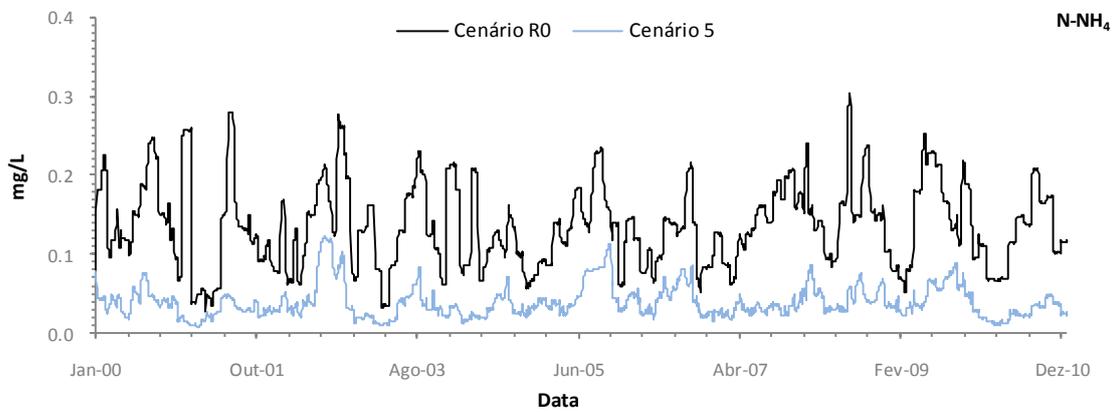


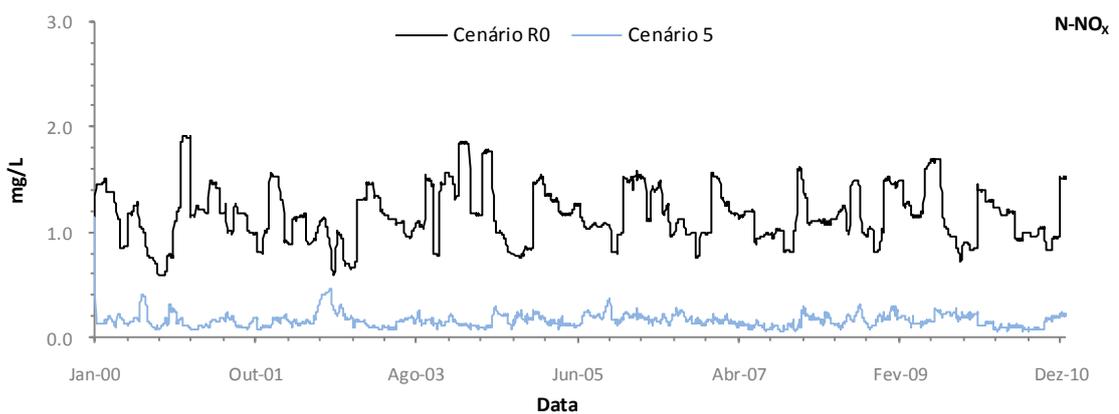
Figura 133. Variação média da concentração de **CBO<sub>5</sub>** na albufeira de Crestuma - Lever – **Cenário 5**



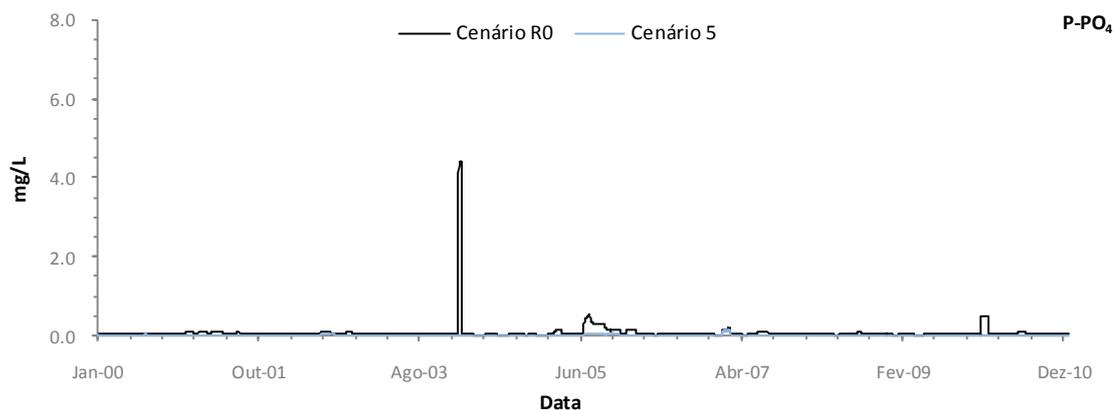
**Figura 134.** Variação média da concentração de **OD** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 5**



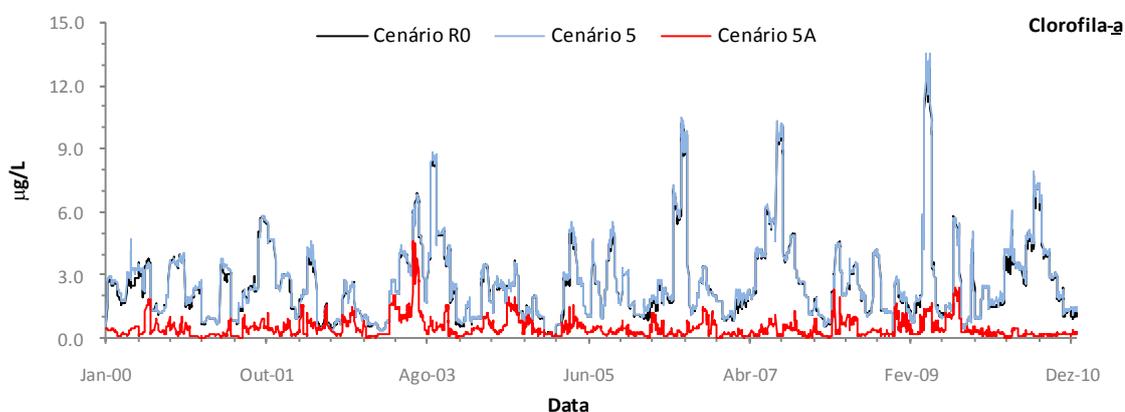
**Figura 135.** Variação média da concentração de **NH<sub>4</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 5**



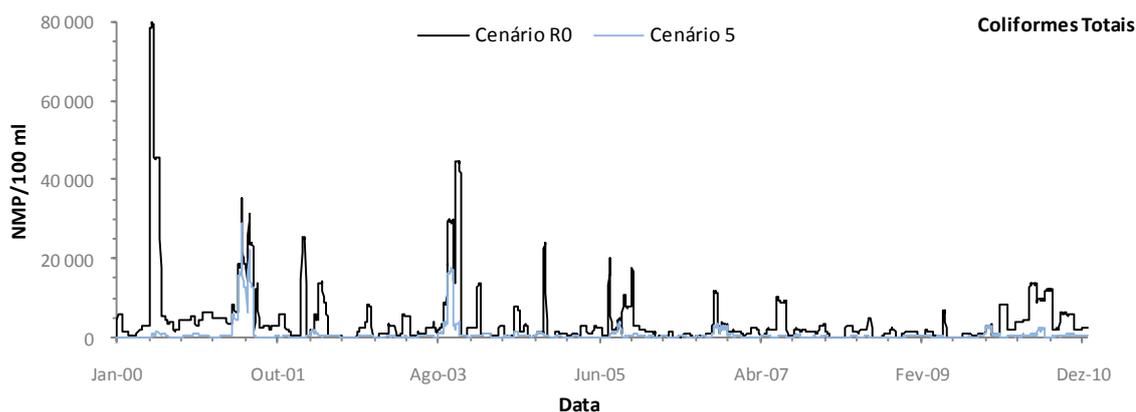
**Figura 136.** Variação média da concentração de **N-NO<sub>x</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 5**



**Figura 137.** Variação média da concentração de **P-PO<sub>4</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 5**



**Figura 138.** Série temporal da concentração de **Clorofila-a** na albufeira de Crestuma-Lever à superfície – **Cenário 5**



**Figura 139.** Variação média da concentração de **Colif. Totais** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 5**

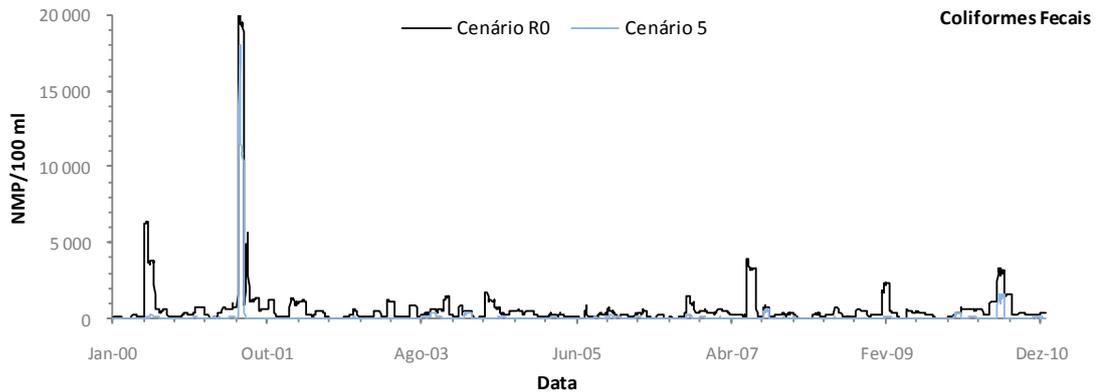


Figura 140. Variação média da concentração de **Colif. Fecais** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 5**

## 12.8 - Cenário 6

A análise das Figuras 140 a 147, permite verificar que apesar de a carga orgânica que aflui à albufeira de Crestuma-Lever através do rio Tâmega ser reduzida quando comparada com a carga total que aflui à albufeira, a carga microbológica parece ter uma influência significativa na qualidade da água da albufeira de Crestuma-Lever (146 e 147).

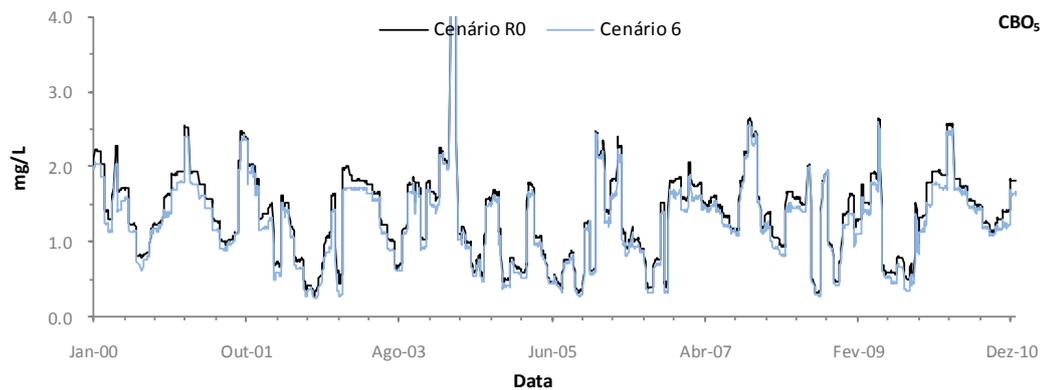


Figura 141. Variação média da concentração de **CBO<sub>5</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 6**

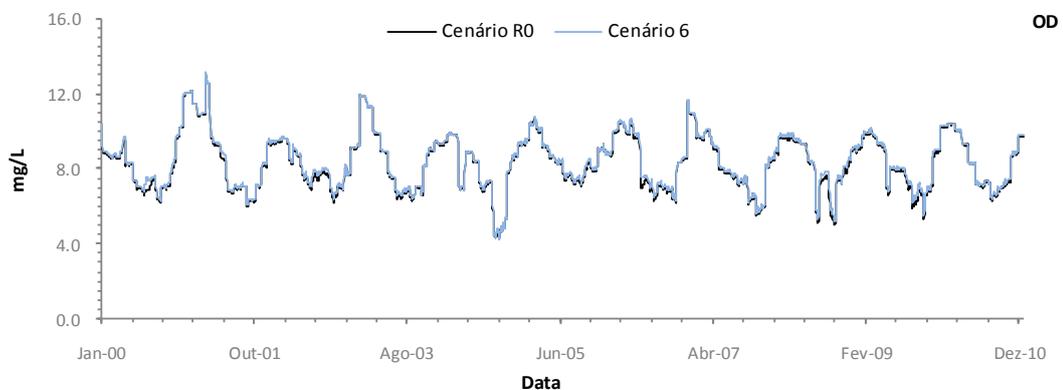
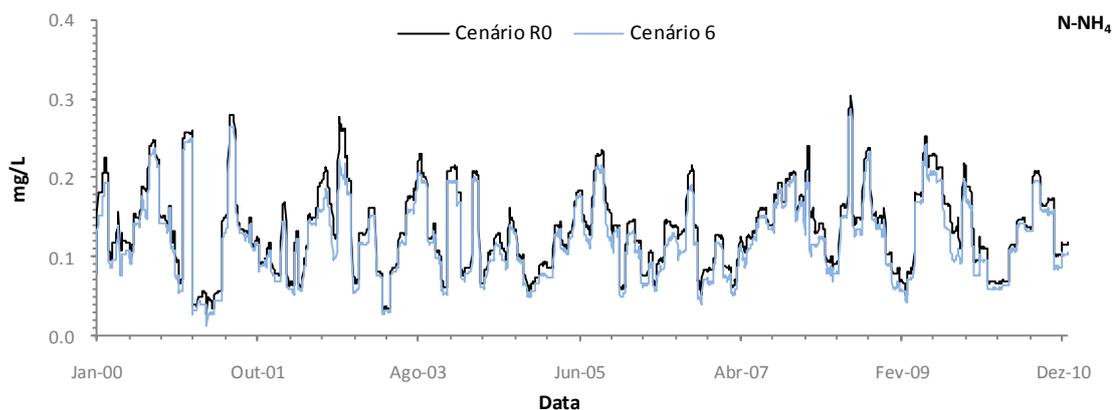
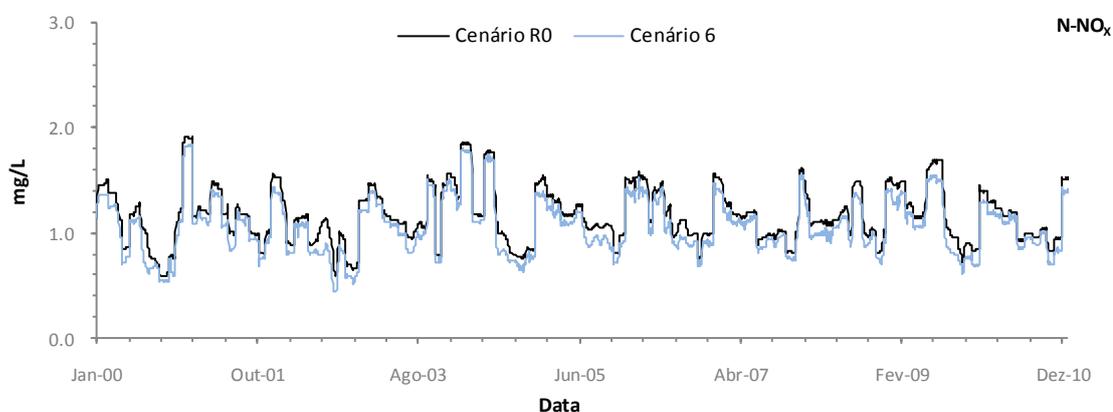


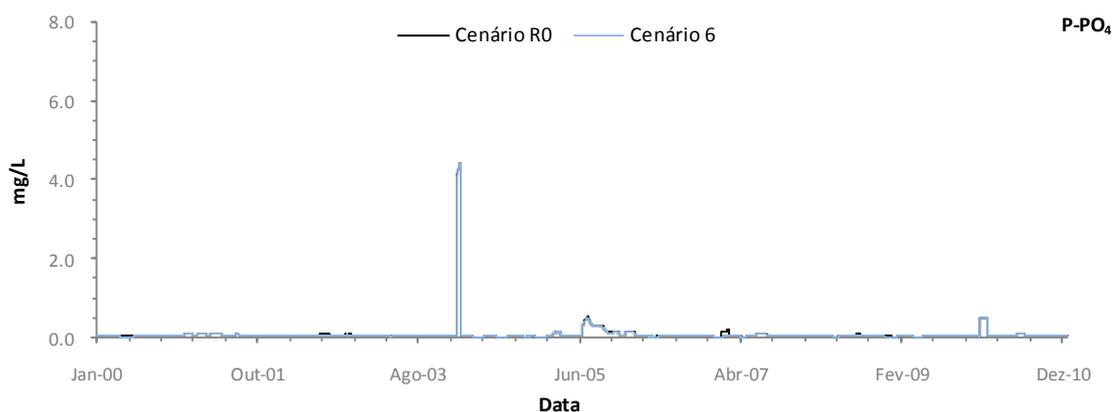
Figura 142. Variação média da concentração de **OD** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 6**



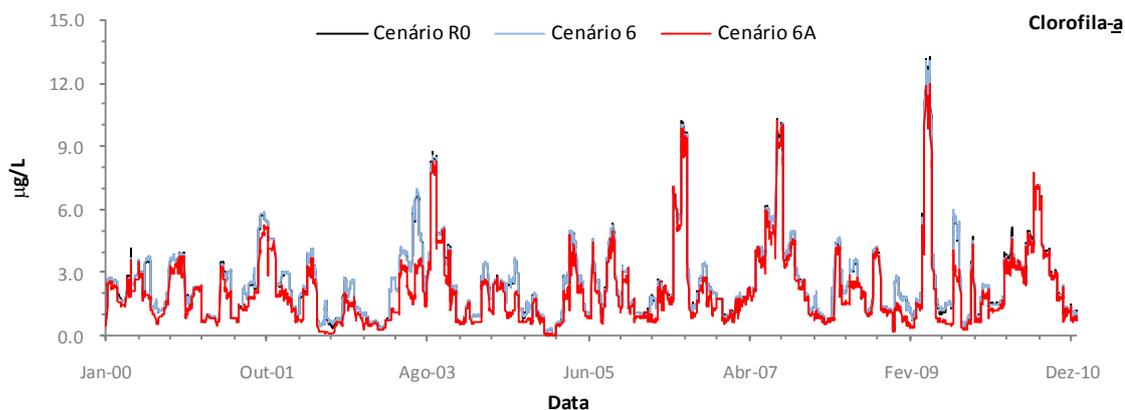
**Figura 143.** Variação média da concentração de  $\text{NH}_4$  na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 6**



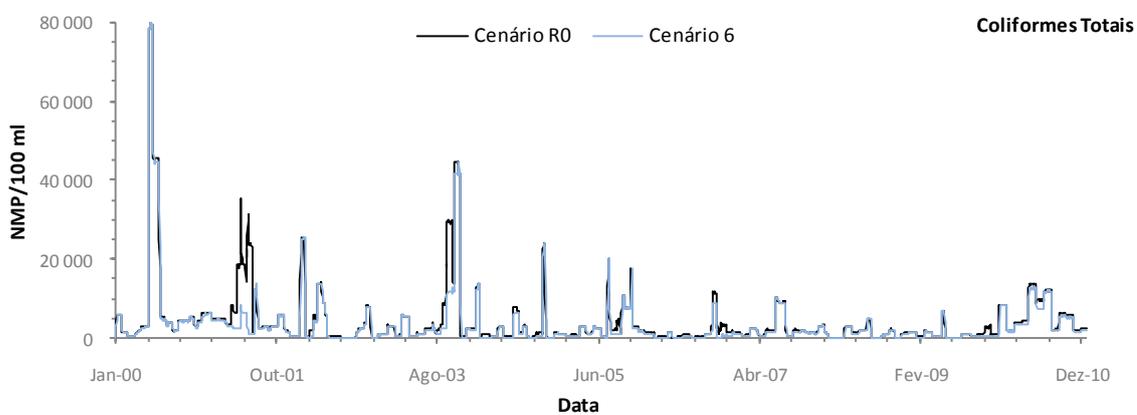
**Figura 144.** Variação média da concentração de  $\text{N-NO}_x$  na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 6**



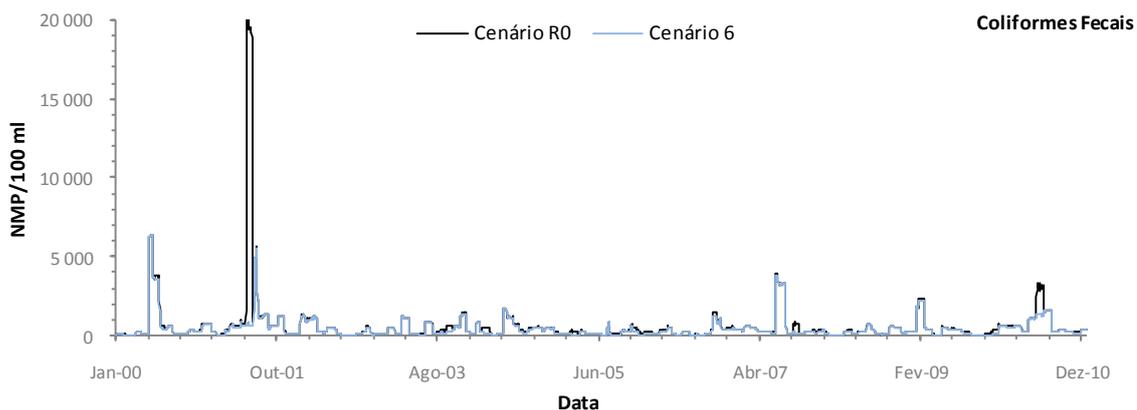
**Figura 145.** Variação média da concentração de  $\text{P-PO}_4$  na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 6**



**Figura 146.** Série temporal da concentração de **Clorofila-a** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 6**



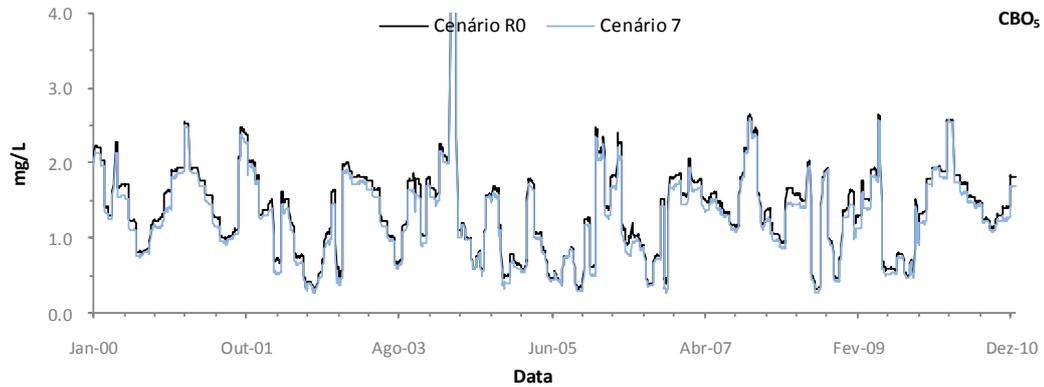
**Figura 147.** Variação média da concentração de **Colif. Totais** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 6**



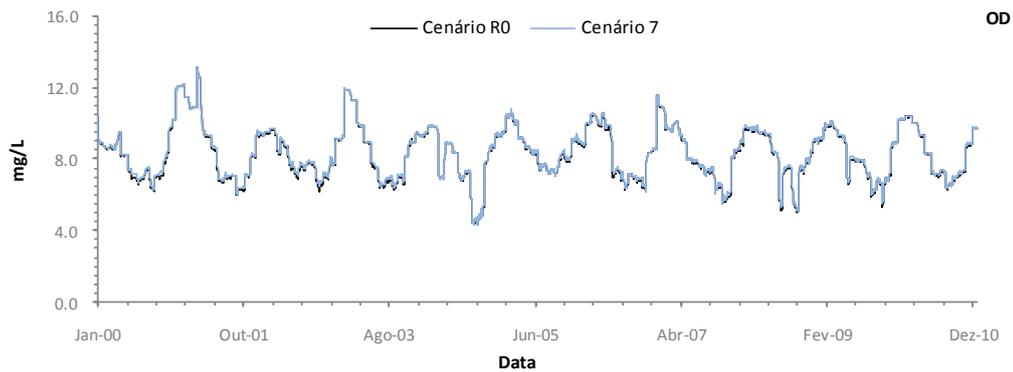
**Figura 148.** Variação média da concentração de **Colif. Fecais** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 6**

## 12.9 - Cenário 7

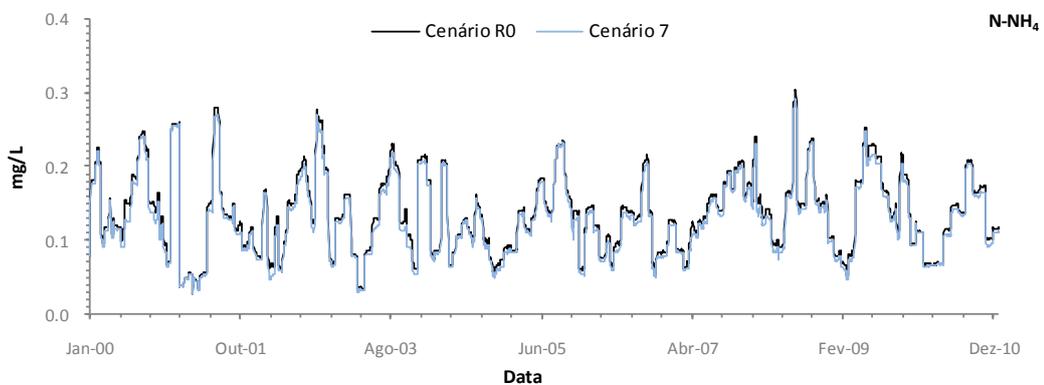
Como seria expectável os resultados obtidos com a simulação do **Cenário 7** permite concluir que a influência dos rio Paiva e Arda na qualidade da água da albufeira de Crestuma-Lever é pouco significativa quando comparada com os rios Tâmega e Douro.



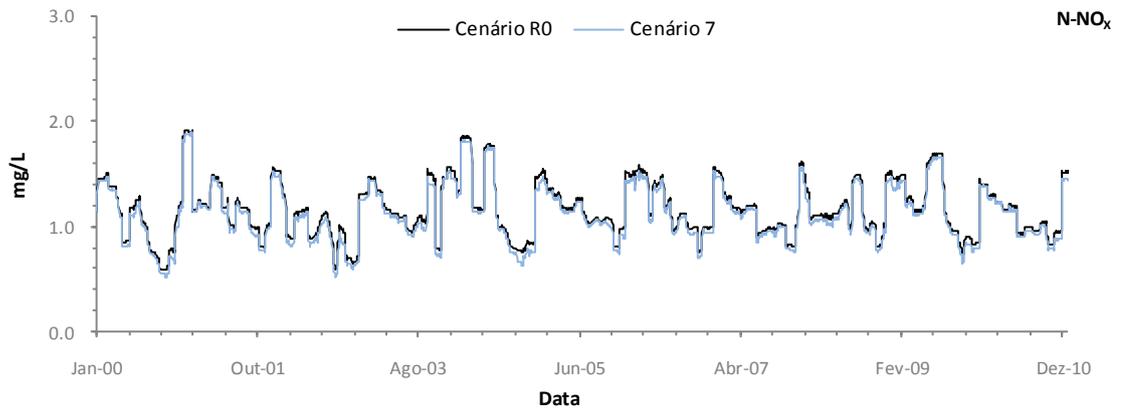
**Figura 149.** Variação média da concentração de **CBO<sub>5</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 7**



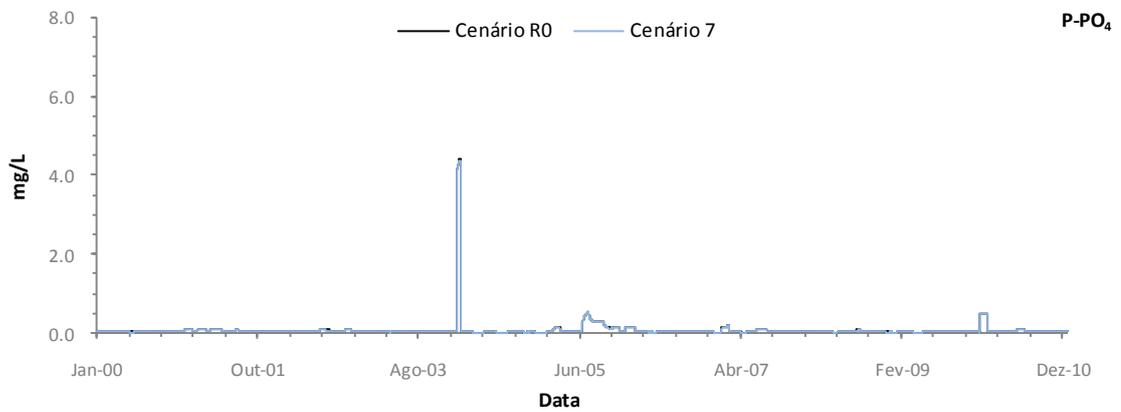
**Figura 150.** Variação média da concentração de **OD** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 7**



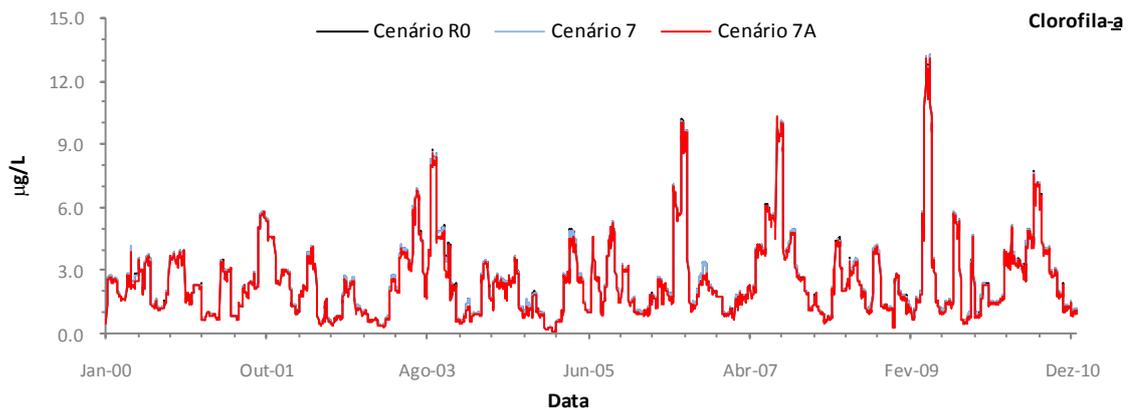
**Figura 151.** Variação média da concentração de **NH<sub>4</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 7**



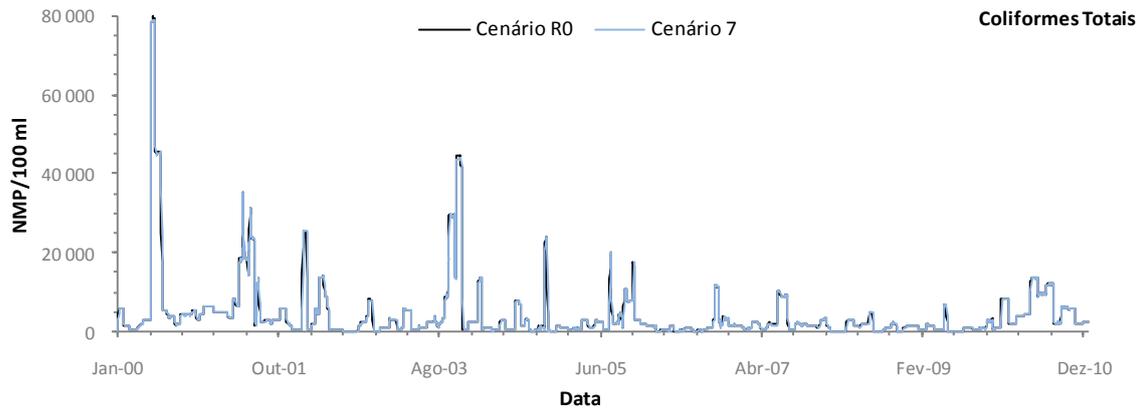
**Figura 152.** Variação média da concentração de **N-NO<sub>x</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 7**



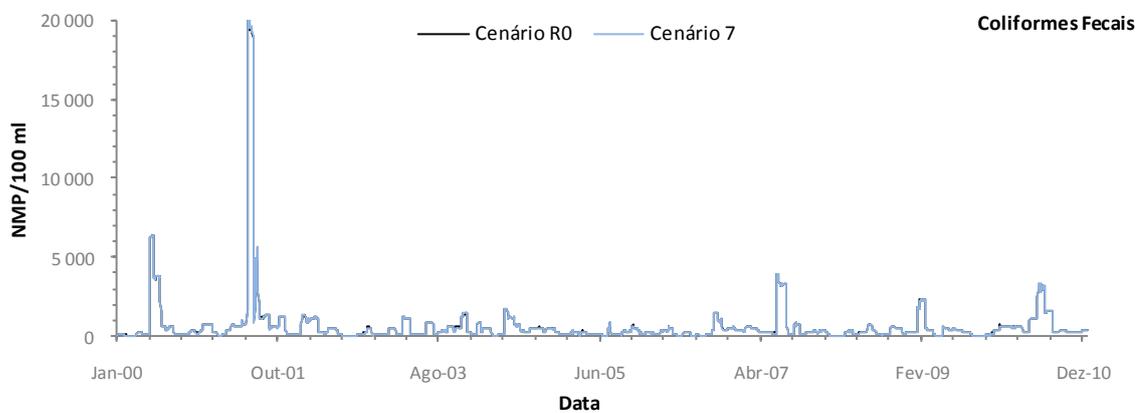
**Figura 153.** Variação média da concentração de **P-PO<sub>4</sub>** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 7**



**Figura 154.** Série temporal da concentração de **Clorofila-a** na albufeira do de Crestuma-Lever à superfície – **Cenário 7**



**Figura 155.** Variação média da concentração de **Colif. Totais** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 7**



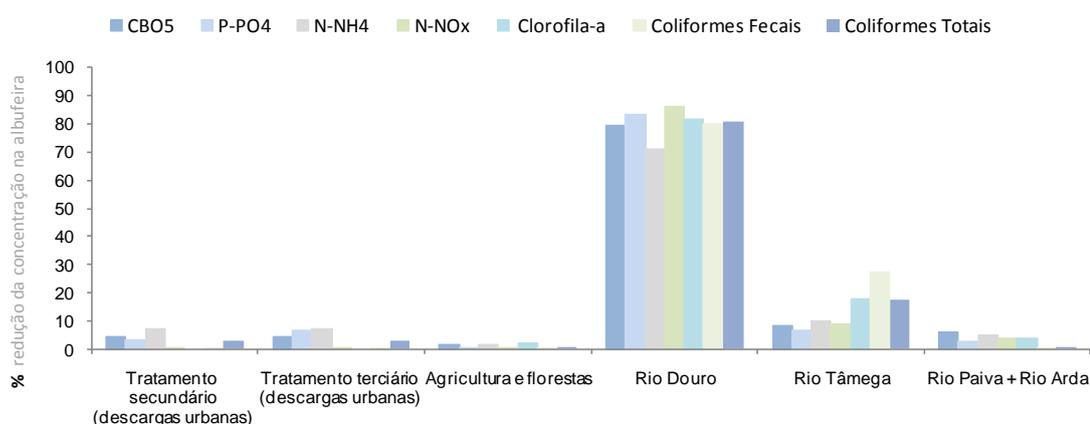
**Figura 156.** Variação média da concentração de **Colif. Fecais** na albufeira de Crestuma-Lever – **Cenário 7**

No Quadro 37, e no sentido de se apresentar uma síntese dos resultados anteriormente obtidos, pode observar-se a redução percentual dos valores da concentração de cada um dos parâmetros simulados na albufeira de Crestuma-Lever, determinada pela eliminação da carga poluente associada a cada uma das fontes poluentes referidas.

Nas Figuras 180 e 181 pode observar-se graficamente os valores de redução percentual apresentados no Quadro 37.

**Quadro 37.** Redução percentual dos valores da concentração de cada um dos parâmetros simulados na albufeira de Crestuma-Lever, determinada pela eliminação da carga poluente associada a cada uma das fontes poluentes consideradas (%)

Parâmetro	Tratamento secundário Descargas Urbanas (área de intervenção do POACL)	Tratamento terciário Descargas Urbanas (área de intervenção do POACL)	Agricultura e florestas	Rio Douro	Rio Tâmega	Rio Paiva + Rio Arda
CBO <sub>5</sub>	4.26	4.54	1.39	79.60	8.32	6.24
P-PO <sub>4</sub>	3.03	6.52	0.35	83.59	6.61	2.46
N-NH <sub>4</sub>	7.11	7.16	1.69	71.12	10.19	4.88
N-NO <sub>x</sub>	0.16	0.16	0.75	86.15	8.74	3.88
Coliformes Fecais	0.02	0.02	0.20	80.16	27.37	0.68
Coliformes Totais	3.15	3.19	0.28	80.98	17.42	0.83
Clorofila- <u>a</u>	0.00	0.00	2.05	81.81	17.75	3.64



**Figura 157.** Redução percentual dos valores da concentração de cada um dos parâmetros simulados na albufeira de Crestuma-Lever, determinada pela eliminação da carga poluente de cada uma das fontes poluentes

A análise realizada, permitiu concluir como era expectável que os valores mais elevados da carga poluente de CBO<sub>5</sub>, P-PO<sub>4</sub>, N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>x</sub>, Clorofila-a, coliformes fecais e totais, afluem à albufeira de Crestuma-Lever através do ramo principal da albufeira, o rio Douro.

Os dados obtidos relativamente ao rio Tâmega revelam que este tem uma influência na qualidade da água da albufeira de Crestuma-Lever, superior ao que era esperado, com evidência para a contaminação microbiológica da albufeira, no que concerne aos coliformes de origem fecal e total e para a afluência de biomassa algal.

### 13. DEFINIÇÃO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE TEMPERATURA DA ÁGUA E DA CONCENTRAÇÃO DE OXIGÉNIO DISSOLVIDO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE UMA SÉRIE DE FOURIER

Anualmente, a análise e interpretação dos valores de temperatura da água e do teor em OD obtidos nas amostras recolhidas nas diferentes massas de água, é realizada pelas entidades que tutelam estes sistemas. Assim, com o objectivo de definir uma metodologia que permita realizar a referida análise de uma forma simples e consistente, definiram-se dois modelos de simulação da temperatura e da concentração de OD para a albufeira de Crestuma-Lever, através do ajustamento de uma série de Fourier à série de valores diários (2000-2010), de temperatura da água e de OD obtidos com o modelo CE-QUAL-W2, considerando o valor médio diário desses parâmetros para a globalidade da massa de água e para o período temporal considerado.

De acordo com Kothandaraman, 1971, a variação anual da temperatura da água ou do ar pode ser representada através de uma série de Fourier (Equação 12).

$$f(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[ A_n \cos\left(\frac{2n\pi(t-j-1)}{N}\right) + B_n \text{sen}\left(\frac{2n\pi(t-j-1)}{N}\right) \right] \quad (16)$$

em que:

$A_0/2$  - valor médio da função  $f(t)$  (°C);

$t$  - tempo (dias);

$n$  - número de ondas harmónicas;

$j$  - dia inicial de simulação;

$N$  - Numero total de valores da série.

Os coeficientes de Fourier  $A_n$  e  $B_n$  foram calculados de acordo com as equações 13 e 14.

$$A_n = \frac{2}{N} + \sum_{t=1}^{\infty} \left[ f(t) \cos\left(\frac{2n\pi t}{N}\right) \right] \quad (17)$$

$$B_n = \frac{2}{N} + \sum_{t=1}^{\infty} \left[ f(t) \sin\left(\frac{2n\pi t}{N}\right) \right] \quad (18)$$

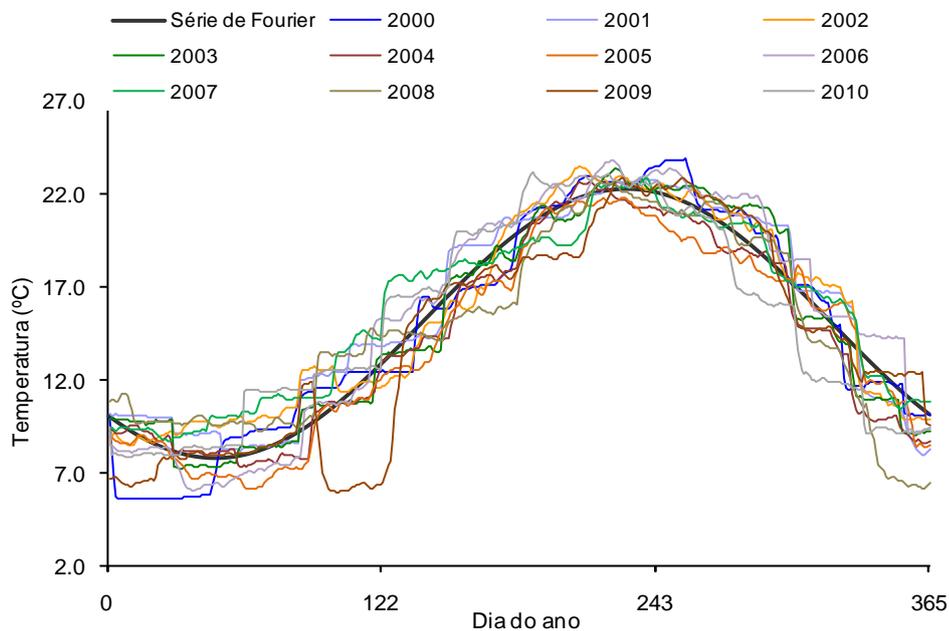
A análise harmónica realizada permitiu a definição das equações 15 e 16, obtidas, respectivamente, para as séries de valores de temperatura da água e da concentração de OD.

$$f(t) = 15.03 + \left[ -5.06 \cos\left(\frac{2\pi t}{365}\right) - 5.17 \text{sen}\left(\frac{2\pi t}{365}\right) \right] \quad (19)$$

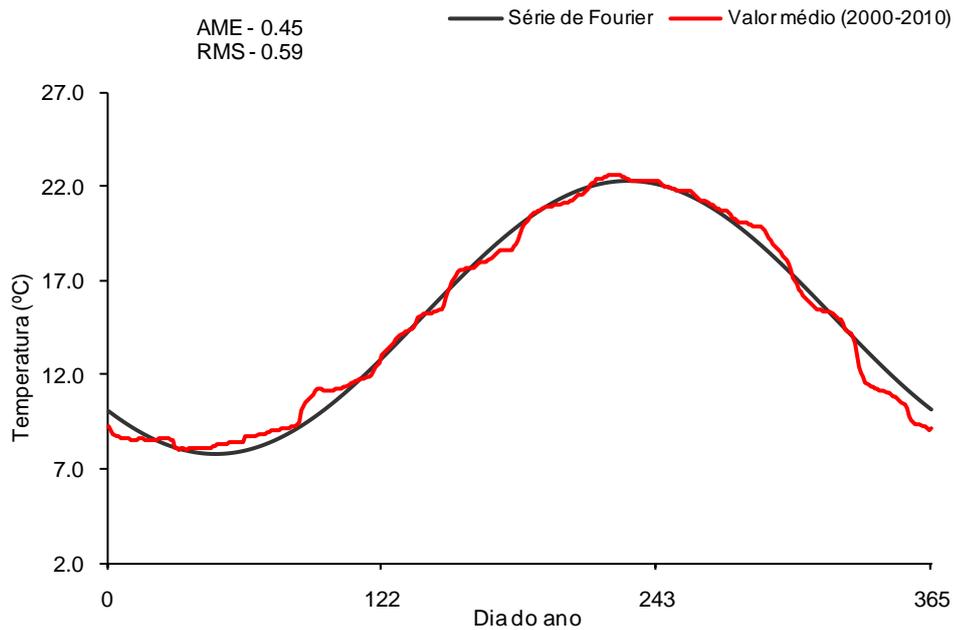
$$f(t) = 8.30 + \left[ 0.91 \cos\left(\frac{2\pi t}{365}\right) + 1.48 \sin\left(\frac{2\pi t}{365}\right) \right] \quad (20)$$

Assim, tendo como base as equações 19 e 20 é possível, através da introdução do dia pretendido nas referidas equações, obter o valor que, em média, se deverá verificar na albufeira num determinado dia do ano. O primeiro dia do ano corresponde ao dia 1 e o último ao dia 365, ou seja, considera-se o calendário Juliano, de acordo com o que é comum neste tipo de aplicações.

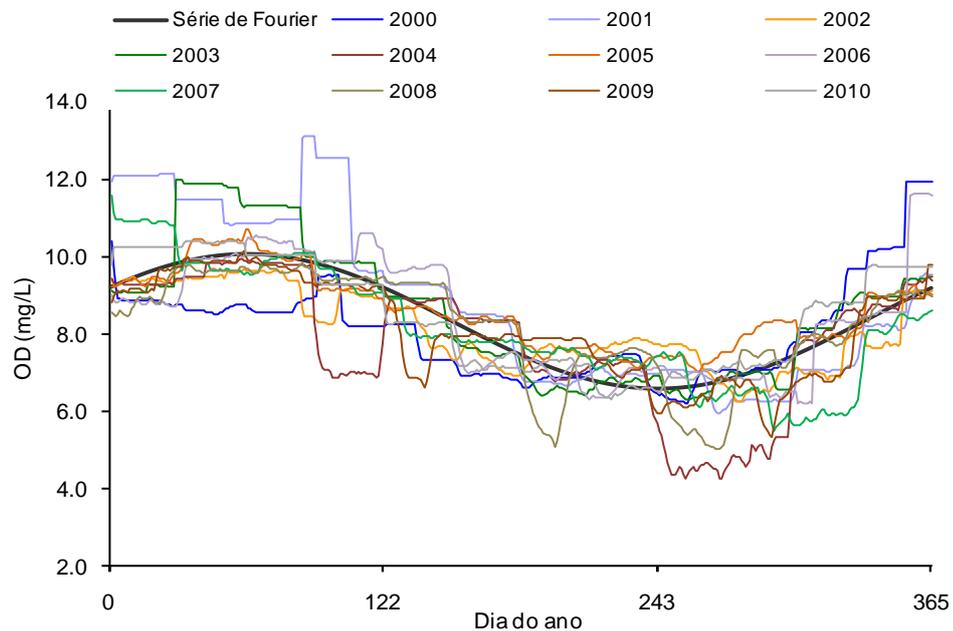
Nas Figuras 157 a 160 pode observar-se que a primeira onda harmónica, correspondente à série de Fourier, descreve com bastante aproximação a variação anual da temperatura da água e da concentração de OD.



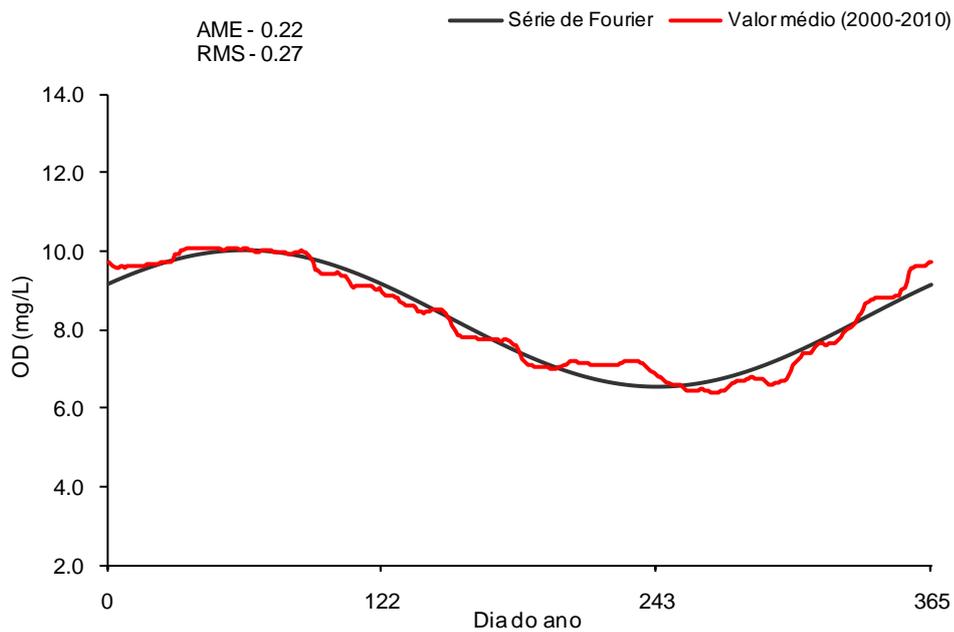
**Figura 158.** Série de Fourier ajustada às séries de valores médios diários (2006-2009) de temperatura da água simulados com o modelo CE-QUAL-W2, na albufeira de Crestuma-Lever



**Figura 159.** Série de Fourier ajustada à série de valores médios diários, considerando o valor médio para cada dia durante o período de quatro anos, de temperatura da água simulados com o modelo CE-QUAL-W2, na albufeira de Crestuma-Lever



**Figura 160.** Série de Fourier ajustada às séries de valores médios diários (2006-2009) da concentração de OD simulados com o modelo CE-QUAL-W2, na albufeira de Crestuma-Lever



**Figura 161.** Série de Fourier ajustada à série de valores médios diários, considerando o valor médio para cada dia durante o período de quatro anos, da concentração de OD simulados com o modelo CE-QUAL-W2, na albufeira de Crestuma-Lever

## 14. CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido constitui-se num desafio particularmente interessante do ponto de vista técnico e científico, como consequência de algumas características da albufeira de Crestuma-Lever e da sua bacia hidrográfica, nomeadamente a localização da albufeira de Crestuma-Lever, a dimensão da bacia hidrográfica, o reduzido tempo de retenção, a reduzida profundidade e a dimensão dos caudais afluentes.

A análise do comportamento térmico da albufeira de Crestuma-Lever, ao longo dos anos de 2000 a 2010, permitiu concluir que esta massa de água apresenta normalmente um comportamento semelhante ao de um lago polimíctico em que a água se mistura verticalmente várias vezes por ano, não se verificando nunca uma estratificação completa do mesmo nem no Inverno, nem no Verão. Seria uma mais valia importante para o estudo da qualidade das massas de água doce superficiais, a obtenção quinzenal de perfis de temperatura e de OD em profundidade, nesta albufeira.

No presente relatório é incluída informação que permite uma avaliação integrada das diferentes fontes poluidoras, e das cargas associadas às mesmas, localizadas na área de intervenção do POACL e na bacia hidrográfica dominada pela barragem de Crestuma-Lever. No entanto, os valores da carga poluente estimados foram obtidos com base em referências bibliográficas, com o objectivo de colmatar as lacunas atrás identificadas. Por este motivo, e apesar das estimativas efectuadas terem sido posteriormente validadas, deve-se considerar a possibilidade de proceder a uma caracterização real das águas residuais de origem urbana e industrial, bem como das águas que drenam áreas agrícolas e florestais localizadas na bacia hidrográfica própria da albufeira de Crestuma-Lever.

Os dados de qualidade da água utilizados para caracterizar a albufeira de Crestuma-Lever, indicam que esta, com a excepção dos valores da concentração de P<sub>total</sub>, não apresenta níveis de poluição significativos.

A avaliação do estado trófico das albufeiras de Crestuma-Lever, Torrão e Carrapatelo, permitiu concluir que, de acordo com a classificação obtida para a clorofila-a, as três albufeiras encontram-se no estado mesotrófico. Relativamente aos valores de concentração de P<sub>total</sub>, verifica-se que as três albufeiras encontram-se no estado eutrófico. Considerando um período temporal de 20 anos, verifica-se de acordo com a classificação do estado trófico estabelecida pelo INAG que a albufeira de Crestuma-Lever, encontra-se eutrofizada em 11 anos, dos quais quatro surgem entre 2005 e 2009. Deve no entanto referir-se que durante o último ano avaliado, o ano de 2010, a albufeira de Crestuma-Lever, encontra-se no estado oligotrófico.

A análise realizada indica também que a qualidade da água do rio Douro é de pior qualidade do que a água do rio Tâmega, quando se consideram os valores de P<sub>total</sub>, apesar de no rio Tâmega os anos de 2005, 2006 e 2008, terem obtido a classificação de hipereutróficos de acordo com a classificação de Carlson.

Deve também referir-se que a aplicação das directrizes definidos pelo INAG para a classificação do Estado de massas de água fortemente modificadas – albufeiras, reforça as conclusões referidas relativamente aos valores da concentração de P<sub>total</sub>, indicando também que em média, estes são

superiores ao limiar máximo estabelecido para este parâmetro para o estabelecimento do Bom Potencial.

Nos anos de 2005 e de 2006 verificou-se um aumento sensível dos valores da concentração de P-PO<sub>4</sub> na albufeira de Crestuma-Lever. No estudo de simulação realizado para albufeira do Alto Rabagão, que se incluiu também no âmbito do presente protocolo, concluiu-se igualmente que durante o verão do ano de 2005 se verificou um incremento significativo da concentração deste parâmetro na albufeira. Nesse estudo considerou-se a possibilidade de os valores elevados de temperatura do ar que se registaram nesse período temporal, terem contribuído para o incremento do teor deste parâmetro

A análise realizada neste estudo permitiu concluir que a carga difusa de nutrientes que aflui ao rio Douro, que deverá, ter origem em actividades agrícolas e florestais, tem uma influência determinante sobre a qualidade da água do rio Douro e é directamente proporcional ao volume de escoamento superficial que determina a sua erosão.

Os valores que se estimaram para a carga por unidade de área de P<sub>total</sub> gerada em Portugal e em Espanha, indicam que em Portugal esse valor é 3 vezes superior ao valor obtido para Espanha, sendo correspondente à capitação referenciada na bibliografia para uma área agrícola. Esta pode ser uma das principais fontes de P<sub>total</sub> afluyente à albufeira de Crestuma-Lever, e um bom exemplo de como o ordenamento de uma albufeira não se pode restringir ao estudo da sua bacia própria.

Os valores mais elevados da concentração de clorofila-a, surgem nas albufeiras mais próximas de Espanha, em Miranda, Bemposta, Picote e Pocinho. A albufeira de Miranda apresenta consistentemente os valores mais elevados da concentração deste parâmetro. Tendo presente que a albufeira de Miranda é do tipo fio de água e que por isso tem um tempo de residência muito reduzido, deve colocar-se a possibilidade de incremento da carga de clorofila-a ser gerada na parte espanhola da bacia hidrográfica do rio Douro.

A avaliação do potencial efeito da aplicação das medidas incluídas no POACL, que visam reduzir a carga orgânica e microbiológica gerada na área de intervenção do POA, permitiu concluir que a referida redução de carga poluente de origem orgânica, terá um efeito na qualidade da água da albufeira, que não determinará uma redução significativa da carga orgânica que aflui à albufeira, por exemplo, no caso da CBO<sub>5</sub>, corresponde a uma redução de aproximadamente 5%.

Relativamente à carga microbiológica gerada na área de intervenção do POACL, e apesar de os resultados obtidos indicarem também que a redução de carga poluente não terá um efeito na qualidade da água da albufeira, considera-se, que o tratamento terciário de todas as descargas de origem urbana localizadas na área de intervenção do POACL, terá um efeito positivo sobre a qualidade da água da albufeira de Crestuma-Lever. Esta conclusão resulta da análise da evolução dos valores da concentração de coliformes fecais e totais observados ao longo do rio Douro entre a albufeira de Miranda e a albufeira de Crestuma-Lever, que indica que a proximidade ao litoral e o consequente aumento das áreas urbanizadas, determina o incremento dos valores da concentração

de coliformes fecais e totais, e que é nas albufeiras de Carrapatelo e de Crestuma-Lever que ocorrem os valores mais elevados de contaminação microbiológica.

O estudo da qualidade da água da albufeira de Crestuma-Lever não pode ser dissociado do estudo da evolução da qualidade da água das albufeiras localizadas a montante de Crestuma-Lever. A análise realizada, permitiu concluir como era expectável que os valores mais elevados de carga orgânica e microbiológica, afluem à albufeira de Crestuma-Lever através do ramo principal da albufeira, o rio Douro. Os resultados obtidos relativamente ao rio Tâmega revelam que este tem uma influência na qualidade da água da albufeira de Crestuma-Lever, superior ao que era esperado, com evidência para a contaminação microbiológica da albufeira, no que concerne aos coliformes de origem fecal e total e para a afluência de biomassa algal.

O trabalho realizado permitiu concluir que as medidas de redução da carga poluente definidas no regulamento do POACL serão importantes, ao nível da redução da carga orgânica e fundamentalmente da contaminação microbiológica da albufeira de Crestuma-Lever. No entanto, deve referir-se que a gestão da afluência de cargas poluentes a esta albufeira não pode ser dissociada da gestão da restante bacia hidrográfica localizada em Portugal e em Espanha.

## 15. BIBLIOGRAFIA

Brown, L. C.; Barnwell, T. O. - *The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS, Documentation and User Manual*. Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, United States Environmental Protection Agency. Athens (EUA), 1987.

Cole T. M. and Buchak E. M. (1995). *CE-QUAL-W2: A Two Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 2.0. User manual*. Instruction Report EL-95-1, US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

Cole, T. M. and Wells, S. A. (2002). *CE-QUAL-W2. A Two Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.1. User manual*. Instruction Report EL-02-1, US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

Cole, T. M. and Wells, S. A. (2004). *CE-QUAL-W2. A Two Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.2*.

Decreto-Lei n.º152/97, de 19 de Junho

Decreto-Lei n.º236/98, de 1 de Agosto

Edinger, J.E., and Buchak, E.M. (1978). *Reservoir Longitudinal and Vertical Implicit Hydrodynamics, Environmental Effects of Hydraulic Engineering Works*, Proceedings of an International Symposium, Knoxville, TN.

EPA (1985). *Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling* (Second Edition) Junho, 1985.

EPA (2002). *Onsite Wastewater Treatment Systems Manual*, U.S. Environmental Protection Agency, EPA/625R-00/008.

Harmel D., Potter S., Casebolt Pamela, Reckhow Ken, Green Colleen, e Haney Rick (2006). *Compilation of measured nutrient load data for agricultural land uses in the united states*. Journal Of The American Water Resources Association.

INAG (2005). *Plano de Ordenamento da Albufeira de Crestuma-Lever*. Programa Ambiente. Projecto Co-Financiado pelo FEDER.

INAG (2009). *Critérios para a classificação do estado das massas de água superficiais - rios e albufeiras*.

INSAAR (2009). *Relatório do Estado do Abastecimento de Água e da Drenagem e Tratamento de Águas Residuais*. Sistemas Públicos Urbanos.

Loureiro J.M, (2009). *Rio Douro. As suas Cheias 1200-2007. As cheias extraordinárias no Peso da Régua, 1700-2007*.

MAOT / INAG (2000). Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território / Instituto da Água. *“Plano Nacional da Água”*. Lisboa.

- Martin, J.L. (1987). *Application of a Two Dimensional Model of Hydrodynamics and Water Quality CE-QUAL-W2 to DeGray Lake, Arkansas*, Technical Rpt. E-87-1, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Meyer G., Masliev Ilya., Somlyódy László (1994). *Impact of Climate Change on Global Sensivity of Lake Stratification*. International Institute for Applied Systems Analysis, Austria.
- Metcalf and Eddy (1991). *Wastewater Engineering: Treatment/Disposal/Reuse*, 3ª Edição McGraw-Hill, New York.
- Ministério do Ambiente/INAG/IM, 1996. *Relatório sobre as cheias do Douro*. Dezembro/95 a Janeiro/96.
- Monte, M.H.(s/data). *Requisitos de qualidade da água para reutilização*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL). Entidade Reguladora dos Serviços de água e Resíduos.
- Novotny, V., Olem, H. (1994). *Water Quality - Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution*. New York (EUA), Van Nostrand Reinhold, ISBN 0-442-00559.
- Odum, E.P., (1971). *Fundamentos de Ecologia*. 6ª Edição. Fundação Calouste Gulbenkian.
- Portaria n.º 810/90, de 10 de Setembro de 1990
- Kothandaraman, V., 1971. *Analysis of water temperature variations in a large river*. J. Sanitary Engineering Div. Amer. Soc.Civ. Eng. (SA1), Page. 19-31.
- Rodrigues, A.C., Diogo, P., Coelho, P., Mateus, N., Almeida. M., Silva, F. (2003). *Identificação de Zonas Sensíveis em Portugal Continental – Águas doces superficiais – Revisão*.
- Rast W. e Lee G. Fred (1978). *Summary analysis of the North American (US PORTION) OECD eutrophication project: nutrient loading – Lake response relationships and trophic state indices*. US Environmental Protection Agency. EPA – 600/3-78-008
- Rast Walter e G. Fred Lee, M. ASCE (1983). *Nutrient loading estimates for lakes*. Journal of Environmental Engineering, Vol. 109, No. 2.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 187/2007.
- Sonzogni, W. C., P. D. Uttormark and G. F. Lee. (1976). *The Phosphorus Residence Time Model*. Water Res. 10:429-435.
- Tanik, A., Baykal, B.B., Gonenc, I.E. (1999). *The Impacts of Agricultural Pollutants in Six Drinking Water Reservoirs*. in Water Science and Tech., 40, 2, Elsevier 1999.
- Thomann e Muller (1987). *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*. Harper & Row, publishers, New York.
- Vuorenmaa J., S. Rekolainen, A. Lepistö, K. Kenttämies e P. Kauppila (2001) . *Losses of nitrogen and phosphorus from agricultural and forest areas in Finland during the 1980s and 1990s*. Finnish Environment Institute, Helsinki, Finland

---

US Environmental Protection Agency (1974). *The Relationship of Nitrogen and Phosphorus to the Trophic State of Northeast and North-Central Lakes and Reservoirs*. National Eutrophication Survey Working Paper No. 23, Pacific Northwest Environmental Research Laboratory, Corvallis. 28 pp.

Uttormark, P. D., J. D. Chapin and K. M. Green. (1974). *Estimating Nutrient Loading of Lakes from Non-Point Sources*. US EPA Report EPA-660/3-74-02D. 112 pp.



**INSTITUTO  
DA ÁGUA. I.P.**

---

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, MAR, AMBIENTE E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO**