



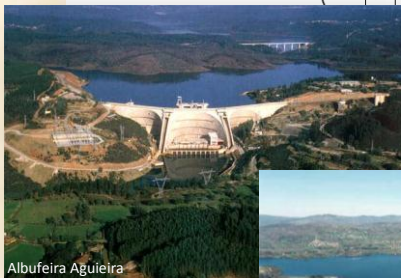
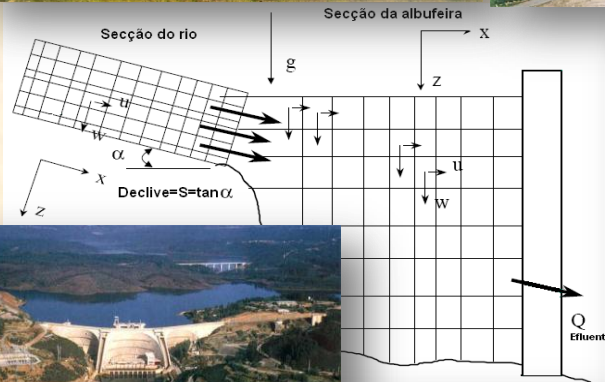
# MODELAÇÃO MATEMÁTICA DA QUALIDADE DA ÁGUA EM ALBUFEIRAS COM PLANOS DE ORDENAMENTO



Albufeira Santa Clara



Albufeira Castelo do Bode



Albufeira Aguleira



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

## VIII - INCREMENTO DOS VALORES DA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO ENTRE 2005 E 2006





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

## VIII -INCREMENTO DOS VALORES DA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO ENTRE 2005 E 2006

O trabalho de modelação matemática para avaliação do incremento dos valores da concentração de fósforo entre 2005 e 2006 em algumas das albufeiras 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 – VIII – Incremento dos valores da concentração de fósforo entre 2005 e 2006*. 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 - Breve caracterização das massas de águas avaliadas.....	5
3 - Descrição da abordagem metodológica considerada .....	7
3.1 -Breve revisão bibliográfica .....	7
3.2 -Simulação matemática da qualidade da água.....	10
3.3 - Avaliação dos parâmetros descritores da qualidade da águas das afluências às albufeiras e do correspondente balanço de volumes .....	15
4 - Resultados obtidos .....	16
4.1 -Simulação matemática da qualidade da água.....	16
4.1.1 - Calibração do modelo CE-QUAL-W2 .....	16
4.1.2 - Resultados obtidos – simulação matemática da qualidade da água .....	16
4.2 - Avaliação dos parâmetros descritores da qualidade da água das afluências às albufeiras e do correspondente balanço de volumes .....	33
5 - Conclusões .....	43
6 - Bibliografia.....	44
ANEXO .....	47



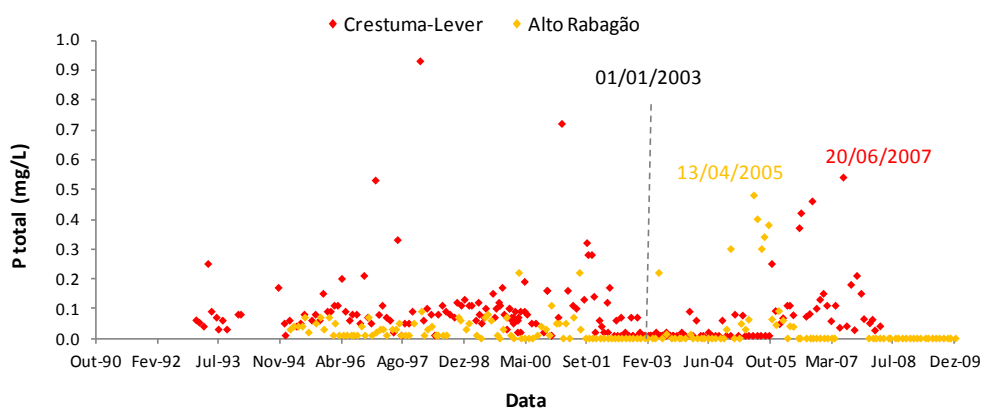


## 1. INTRODUÇÃO

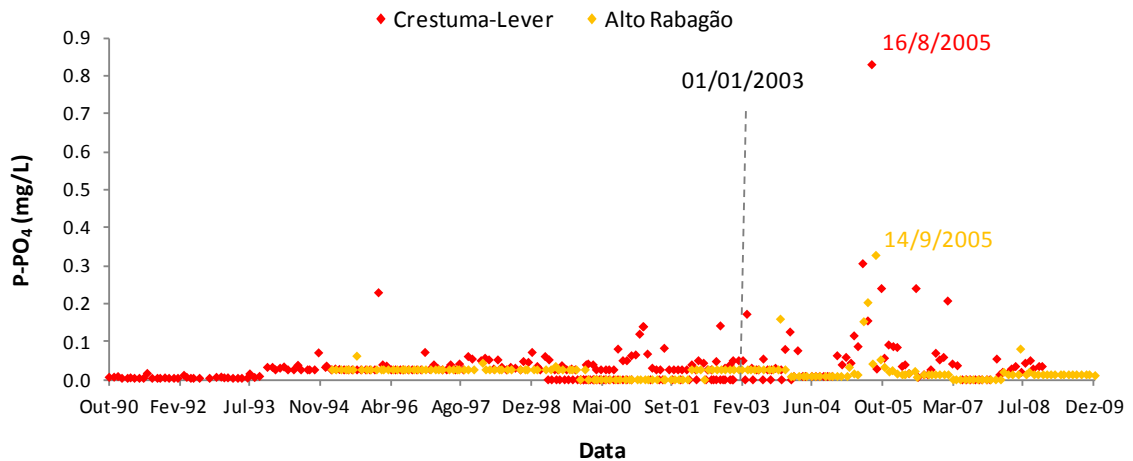
Os estudos de simulação matemática da qualidade da água das albufeiras do Alto Rabagão e de Crestuma-Lever, permitiram concluir que, durante os anos de 2005 e de 2006, surgiram valores particularmente elevados da concentração de fósforo sob a forma de fósforo total e de ortofosfatos em ambas as albufeiras.

Nas Figuras 1 e 2 pode observar-se a evolução mensal dos valores da concentração de Fósforo total e de Ortofosfatos, sob a forma de  $P-PO_4$ , observada nas estações de qualidade da água das Albufeiras do Alto Rabagão(03J/09) e de Crestuma-Lever (07G/04). Nas referidas figuras é também possível observar que o incremento dos valores de fósforo total e de ortofosfatos já é observável no início do ano de 2003, e que se prolonga até ao ano de 2007, não estando por isso limitado apenas aos anos de 2005 e de 2006.

Existem várias possibilidades para a potencial origem do incremento da carga de fósforo nas albufeiras. No entanto, considera-se que a libertação de fósforo, a partir dos sedimentos, e o aumento da carga afluyente de origem difusa, são as que têm maior probabilidade de ter ocorrido. A segunda possibilidade avaliada foi excluída, pelo facto de no período temporal em que ocorreram os incrementos mais significativos, os meses mais quentes dos anos de 2005 e de 2006, não se terem registado eventos de precipitação particularmente intensa que pudessem ter determinado o incremento da carga difusa de fósforo. Este facto, não exclui a possibilidade de que, nos meses caracteristicamente mais chuvosos, não existam valores da concentração de fósforo, superiores ao valor médio anual, que sejam determinados pelo aumento da carga de origem difusa.



**Figura 1.** Evolução mensal da concentração de Fósforo total observada nas albufeiras do Alto Rabagão e de Crestuma-Lever (1990-2009) (SNIRH)



**Figura 2.** Evolução mensal da concentração de Ortofosfatos observada nas albufeiras do Alto Rabagão e de Crestuma-Lever (1990-2009) (SNIRH)

Nos estudos relativos às albufeiras do Alto Rabagão e de Crestuma-Lever, refere-se também que a diminuição em profundidade dos valores da concentração de OD (oxigénio dissolvido), em função das condições climáticas inerentes aos anos de 2005 e de 2006, podem ter determinado a libertação de fósforo que se encontrava retido nos sedimentos das massas de água. Assim, com o objectivo de avaliar essa hipótese, definiu-se uma metodologia que incluiu o aumento do período temporal da simulação matemática da qualidade da água das albufeiras do Alto Rabagão e de Crestuma-Lever, e a simulação adicional de 20 massas de água localizadas em Portugal continental.

A referida metodologia e os resultados obtidos com a mesma são descritos no presente documento, constituído pelos seguintes elementos:

- Introdução;
- Breve caracterização das massas de águas avaliadas;
- Breve revisão bibliográfica;
- Descrição da abordagem metodológica considerada;
- Resultados obtidos;
- Conclusões.

## 2. BREVE CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS DE ÁGUAS AVALIADAS

Na Figura 3 pode observar-se a localização, em Portugal continental, das albufeiras seleccionadas para o estudo realizado e as correspondentes áreas drenantes. A distribuição espacial das albufeiras permitiu diminuir o grau de incerteza da análise que se realizou, em função, entre outros factores, da consideração das diferenças climáticas associadas ao território nacional.

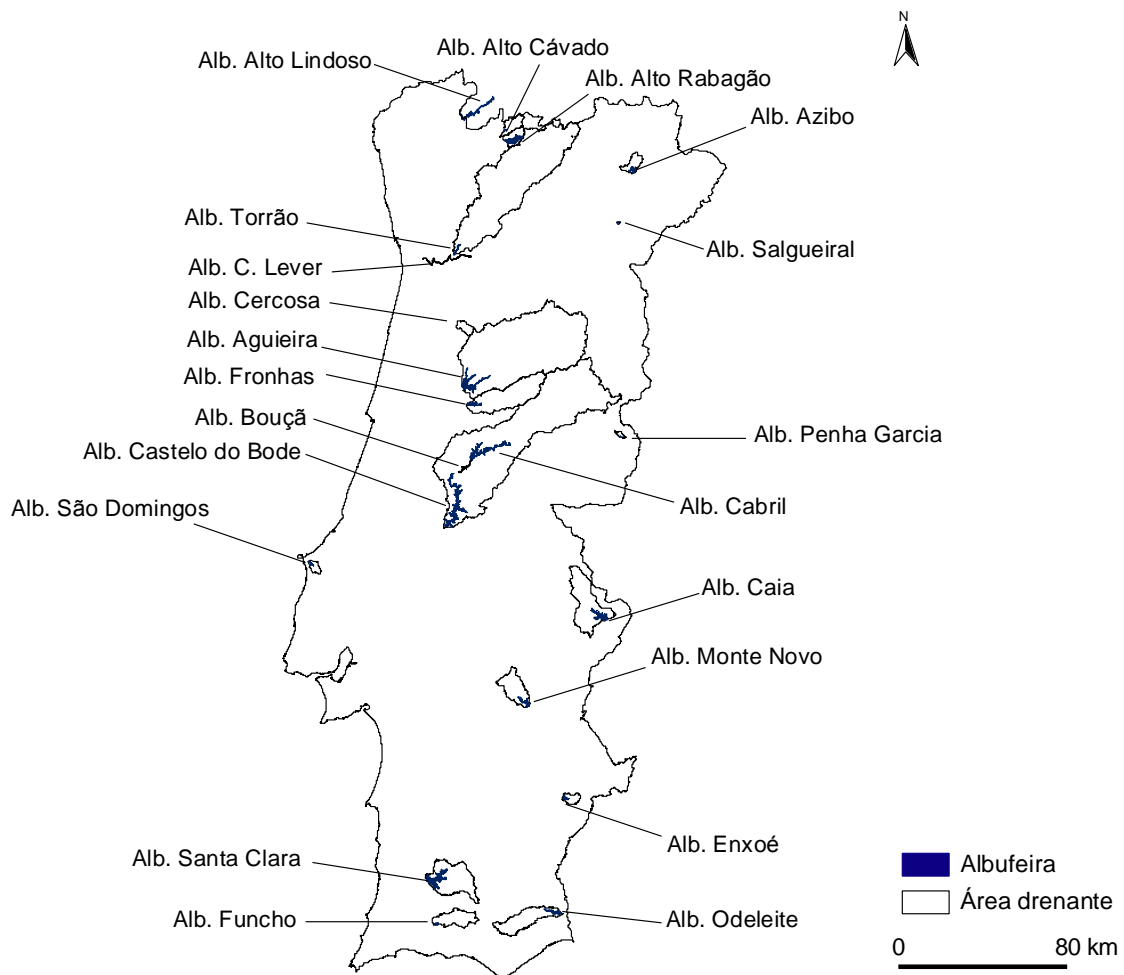


Figura 3. Localização em Portugal continental das massas de água seleccionadas

Como se pode observar no Quadro 1, existe uma grande variabilidade associada às principais características das albufeiras seleccionadas, mais especificamente no que se refere ao correspondente volume, e à área da bacia hidrográfica de cada uma das massas de água.

**Quadro 1.** Principais características das massas de água seleccionadas

Albufeira	Bacia hidrográfica principal	Linha de água	Volume (hm <sup>3</sup> )	Área superficial (ha)	Profundidade e média (m)	Área da bacia hidrográfica (km <sup>2</sup> )
Cercosa	Vouga	Rio Alfusqueiro	0.06	2.0	3	60
Vale Côvo / Salgueiral	Douro	Rib.ª de Relvas	0.20	12.0	2	53
Penha Garcia	Tejo	Rio Ponsul	1.7	20	9	15
Alto Cávado	Cávado	Rio Cávado	3	50	7	101
S. Domingos	Ribeiras do Oeste	Rio S. Domingos	8	96	8	42
Enxoé	Guadiana	Rib.ª de Enxoé	10	210	5	61
Monte Novo	Guadiana	Rio Degebe	15	277	6	261
Funcho	Arade	Rio Arade	48	360	13	212
Bouçã	Tejo	Rio Zêzere	48	500	10	2602
Azibo	Douro	Rio Azibo	54	410	13	93
Fronhas	Mondego	Rio Alva	62	535	12	630
Crestuma-Lever	Douro	Rio Douro	110	1298	8	96933
Torrão	Douro	Rio Tâmega	124	650	19	3268
Odeleite	Guadiana	Rib.ª de Odeleite	130	720	18	347
Caia	Guadiana	Rio Caia	203	1970	10	563
Alto Lindoso	Lima	Rio Lima	379	1072	35	1511
Aguieira	Mondego	Rio Mondego	450	2000	23	3063
Santa Clara	Mira	Rio Mira	485	1986	24	520
Alto Rabagão	Cávado	Rio Rabagão	569	2212	26	107
Cabril	Tejo	Rio Zêzere	719	2023	36	2416
Castelo do Bode	Tejo	Rio Zêzere	1095	3291	33	3964

### 3. DESCRIÇÃO DA ABORDAGEM METODOLÓGICA CONSIDERADA

A metodologia considerada baseia-se na conjugação e análise de duas abordagens distintas:

- Simulação matemática da qualidade da água;
- Análise dos parâmetros descritores da qualidade da água das aflúncias às albufeiras e do correspondente balanço de volumes.

#### 3.1 - Breve revisão bibliográfica

Os sedimentos das massas de água são um importante reservatório de fósforo (ZWOLSMAN, 1994, Phillips et al., 1994, PALUDAN e MORRIS, 1999, LONGMORE e ROBERTS, 2006), pelo que se considera importante, no âmbito deste estudo, rever as suas principais características, nomeadamente, a influência que este reservatório tem na fracção dissolvida deste nutriente. A retenção de fósforo nos sedimentos é um dos principais reguladores do estado trófico das águas, de uma enorme variedade de ecossistemas (BOSTROM e PETERSSON, 1982 in KATSEV et al. 2006).

O fluxo de fósforo através da interface água-sedimento, em função dos processos de adsorção e desorção, é fundamental para regular a disponibilidade de fósforo dissolvido na coluna de água (FOX et al. 1985, FROELICH et al. 1988). No entanto, o número de factores que podem afectar estes mecanismos e a sua complexidade, parecem impossibilitar a generalização de pressupostos que permitam a rigorosa simulação matemática deste compartimento.

CARLTON e WTEZEL (1988), referem que devido à diversidade das características dos sedimentos, existem muito poucas generalizações que se possam aplicar, quando se quer descrever o fluxo de fósforo dos sedimentos de um lago.

O conceito inicial de que as condições aeróbias na interface água-sedimento impedem a libertação de fósforo a partir dos sedimentos e que as condições anóxicas promovem a sua libertação, foi inicialmente proposto por EINSELE (1936, 1938 in HUPFER e LEWANDOWSKI, 2008).

Em 1942, MORTIMER, no seu estudo sobre a troca de substâncias dissolvidas entre os sedimentos e a água de lagos Ingleses (MORTIMER, 1942), complementou o trabalho de EINSELE, descrevendo a existência de uma microzona oxidada à superfície dos sedimentos que inibe a libertação de fósforo, e referindo também, que um decréscimo do potencial redox determinando por condições anóxicas na coluna de água que se encontra por cima dos sedimentos, estimula a redução de Fe(III), libertando fosfatos para a coluna de água.

Esta teoria foi consubstanciada ao longo dos anos por inúmeros estudos, PATRICK e KHALID (1974), KAMP-NIELSON (1974), FREVET, (1984) in CARLTON e WTEZEL (1988), PETTICREW e AROCENA (2000).

GOLDMAN e HORNE (1983), referem que a quantidade de argila existente nos sedimentos de um lago é talvez o factor mais importante na determinação da capacidade que o lago tem em reter fósforo nos sedimentos. A argila absorve o fósforo através da interacção química de  $PO_4^{3-}$  com  $Al^{3+}$  nos extremos das placas de argila (STUM e LECKIE, 1971 in GOLDMAN e HORNE, 1983). O fosfato

também é absorvido directamente pelos hidróxidos de ferro, óxidos de alumínio, partículas de calcite e apatite.

Existem vários estudos onde são apresentadas boas correlações entre a depleção de oxigénio dissolvido e a libertação de fósforo, a partir dos sedimentos de lagos, que suportam a simplificação que se faz quando se considera que oxigénio é o principal factor envolvido na libertação de fósforo. No entanto, vários estudos laboratoriais, e observações no campo, geraram dúvidas sobre a validade universal deste conceito (HUPFER e LEWANDOWSKI, 2008).

De acordo com HUPFER e LEWANDOWSKI (2008), a referida simplificação resulta do facto de o aumento da eutrofização de muitas massas de água, resultante do desenvolvimento agrícola e industrial que ocorreu nos anos 50 e 60, ter sido associada ao usual aparecimento de dois sintomas, depleção de oxigénio no hipólímnio e acumulação de fósforo, o que reduziu a complexidade dos processos que ocorrem na interface água-sedimento e, conseqüentemente, conduziu à afirmação “depleção de oxigénio conduz à libertação de fósforo”.

HUPFER e LEWANDOWSKI (2008), descrevem no seu trabalho alguns mecanismos que demonstram que a libertação de fósforo dos sedimentos pode resultar da conjugação de vários e complexos processos:

- a) Os balanços de massa implicam que o aumento da carga afluyente de fósforo, incrementa o desequilíbrio entre a sedimentação de fósforo e a capacidade de retenção do mesmo. Esta situação pode determinar a libertação em grandes quantidades de fósforo;
- b) A retenção de fósforo pelos sedimentos de um lago depende das características dos sedimentos e do uso do solo da bacia hidrográfica drenante para esse lago. A presença de  $Al(OH)_3$  e de minerais de Fe parcialmente oxidados, pode aumentar a retenção de fósforo e impedir a sua libertação, mesmo em condições anóxicas;
- c) A dissolução de fosfatos de cálcio e a decomposição de fósforo orgânico, em condições aeróbias e anaeróbias, são muitas vezes mais importantes do que o mecanismo existente entre o fósforo e o ferro em função do potencial redox. As bactérias também afectam o ciclo do fósforo, não só porque alteram o potencial redox, mas também porque libertam fósforo durante a mineralização da matéria orgânica e através da acumulação e libertação de fósforo bacteriano. Como os processos microbianos consomem oxigénio e libertam fósforo, é difícil distinguir se a depleção de oxigénio é a causa ou o resultado da libertação de fósforo. Um outro process, inclui a competição do ião  $OH^-$  com o fósforo em função do pH pelos locais de ligação ao Fe- e ao Al;
- d) Mesmo nos trabalho iniciais desenvolvidos por EINSELE/MORTIMER, o sulfato já era descrito como um importante factor de controlo da libertação de fósforo, mesmo na presença de oxigénio;
- e) De acordo com várias experiências realizadas em lagos artificialmente arejados, a retenção a longo prazo de fósforo é controlada pela fixação de fósforo pela camadas mais profundas de sedimentos, e não pela menor quantidade de fósforo que se fixa na camada superficial dos

sedimentos, não existindo ainda evidências que mostrem que o oxigénio em contacto com a superfície dos sedimentos pode aumentar, a longo prazo, a retenção de fósforo.

Apesar de existirem alguns artigos em que se refere que ocorreu uma redução da concentração de fósforo no hipolímnio de uma massa de água, após um processo de oxigenação artificial, como os estudos realizados por BEUTEL e HORNE (1999), GROCHOWSKA e GAWROŃSKA (2004) e Liboriussen et al.(2009), também se encontram estudos que referem o contrário, (e.g. BALDWIN e WILLIAMS, 2007, WANG e LI 2010 e REED et al. 2011).

A teoria clássica em que se considera que a libertação de fósforo retido na superfície dos sedimentos ocorre em função do potencial-redox, é actualmente complementada por outros processos que, de acordo com alguns autores, regulam a libertação de fósforo em períodos de tempo superiores (Katsev et al., 2006).

De acordo com Katsev et al. (2006), os factores que regulam o fluxo de fósforo a partir dos sedimentos são os seguintes:

- a) Os fluxos de libertação de fósforo em escalas temporais alargadas, como décadas, são primariamente determinados por:
  - ◆ fluxo de sedimentação da matéria orgânica reactiva;
  - ◆ fluxo de sedimentação de hidróxidos de ferro;
  - ◆ concentração de oxigénio dissolvido e de sulfato na interface água-sedimento;
  - ◆ taxa a que os fosfatos são imobilizados nos sedimentos.
- b) A relevância dos mecanismos que regulam a libertação de fósforo depende da escala temporal considerada. Os mecanismos descritos em estudos laboratoriais de curto prazo, em geral, não podem ser extrapolados para períodos de tempo mais alargados.
- c) Ao contrário da libertação de fósforo em curtos períodos de tempo, a retenção que ocorre em períodos temporais mais alargados é controlada pela retenção de fósforo nas camadas mais profundas, e não pelos processos que ocorrem na interface água-sedimento.
- d) Os sulfatos dissolvidos aumenta a libertação de fósforo através da redução microbiana de sulfato, e da conseqüente produção de sulfureto de hidrogénio, que dissolve os óxidos de Fe(III), libertando assim o fosfato que se encontra retido.
- e) Concentrações elevadas de oxigénio dissolvido, geralmente diminuem os fluxos de fósforo a partir dos sedimentos, sendo este efeito diminuído na presença de sulfato.
- f) O estado trófico de uma massa de água depende, não só das suas características, mas também do seu passado. O fósforo retido nos sedimentos reflecte a evolução que a massa de água teve ao longo do tempo, e a sua libertação e posterior retenção pode afectar a resposta do sistema à alteração das condições externas. Este facto pode determinar que, para se diminuir a libertação de fósforo a partir dos sedimentos de uma massa de água, que tenha estado eutrofizada durante

muito tempo, pode não ser suficiente restaurar as aflúncias de fósforo e o teor de oxigénio dissolvido no hipolímnio, que existiam quando a massa de água não se encontrava eutrofizada.

A revisão bibliográfica realizada permitiu concluir que a libertação de fósforo através da interface água-sedimento é um processo complexo, que resulta da interacção de diversos mecanismos, sobre os quais ainda persistem muitas incógnitas, especificamente quando se considera a retenção de fósforo nas camadas mais profundas dos sedimentos.

### 3.2 - Simulação matemática da qualidade da água

A simulação da qualidade da água das albufeiras avaliadas foi realizada com o modelo CE-QUAL-W2, na sua versão 3.6, tendo-se considerado um período de simulação de 19 anos, com início no ano de 1989 e final no ano de 2008. Deve referir-se que algumas albufeiras foram construídas num ano posterior ao de 1989, pelo que o seu período de simulação é inferior a 19 anos, como por exemplo as albufeiras do Alto Lindoso e de Odeleite.

O modelo CE-QUAL-W2 tem uma limitação importante nas simulações a longo prazo, pelo facto de não simular os mecanismos que ocorrem nos sedimentos e na interface dos água-sedimento. O modelo considera uma constante designada por SOD (sediment oxygen demand), que corresponde à depleção de oxigénio que se atribui aos sedimentos da massa da água, que varia com a temperatura, mas que não está acoplada à concentração existente na coluna de água. Esta constante é utilizada como elemento de calibração da calibração de oxigénio dissolvido na coluna de água.

A taxa de libertação de fósforo a partir dos sedimentos, em condições de anoxia, é uma fracção da constante SOD, que é definida durante o processo de calibração do modelo e que é afectada unicamente pela temperatura da água. Esta simplificação enquadra-se na teoria clássica que descreve a libertação de fósforo a partir dos sedimentos das massas de água, com a agravante de não permitir a acumulação de fósforo neste compartimento ao longo do tempo.

No entanto, deve referir-se que, de acordo com a revisão bibliográfica realizada, a referida taxa de libertação é muito específica e igualmente muito variável.

Em COLE e WELLS, 2008 são apresentadas as seguintes taxas de libertação de fósforo obtidas por vários autores:

- Sen *et al.* (2004), determinou que o lago Beaver tem uma taxa média de libertação de fósforo, em condições anaeróbias, de 0.57 mg/m<sup>2</sup>/dia;
- Auer *et al.* (1993), obteve taxas num lago hipereutrófico que variaram entre 9 e 21 mg/m<sup>2</sup>/dia;
- Kim *et al.* (2003), obteve taxas no Verão, com temperaturas a variar entre os 20 e os 24 °C, que chegaram a atingir 16 mg/m<sup>2</sup>/dia;
- Spears *et al.* (2007), demonstrou que para um grande lago a recuperar de uma importante aflúncia de nutrientes, o valor máximo de libertação de P foi de 12 mg/m<sup>2</sup>/dia.



James *et al.* (1995,) obtiveram taxas para o lago Pepin, localizado no rio Mississippi, que variaram entre 3.8 e 15 mg/m<sup>2</sup>/dia.

Face a esta variabilidade, considera-se que a simplificação que é realizada no modelo CE-QUAL-W2 não é tão importante como pode parecer numa primeira impressão, se o processo de calibração do modelo, mais concretamente, a aferição do valor da constante SOD permitir um bom ajustamento aos valores de fósforo observados na massa de água.

Os valores que permitiram caracterizar a qualidade da água das aflúências às albufeiras foram obtidos através do SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos) do INAG (Instituto da Água, IP). A inexistência, nalguns casos, de valores para a referida caracterização foi ultrapassada, considerando um valor médio obtido para o período temporal em que existem registos.

Os dados que permitiram caracterizar as variáveis meteorológicas foram disponibilizados pelo Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa, igualmente para o período temporal compreendido entre os anos de 1989 e 2008. O Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa, tem vindo a realizar simulações para Portugal continental, utilizando um modelo regional forçado com dados meteorológicos obtidos com modelos climáticos de circulação global.

A caracterização da temperatura da água das aflúências às albufeiras foi realizada considerando uma discretização diária dos valores de temperatura da água, obtidos para cada uma das linhas de água através de correlações existentes entre os valores de temperatura da água obtidos no SNIRH, para cada uma das linhas de água, com uma discretização mensal e os valores da temperatura do ar disponibilizados pelo Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa.

O balanço de volumes correspondente a cada uma das albufeiras foi realizado considerando os registos disponibilizados pelo INAG, e pela Energias de Portugal (EDP).

Nas Figuras 4 a 24 pode observar-se a representação conceptual das 20 albufeiras consideradas no estudo.

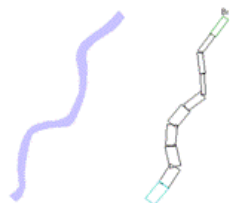


Figura 4. Representação conceptual da albufeira de Cercosa – Volume – 0.06 hm<sup>3</sup>



Figura 5. Representação conceptual da albufeira de Vale Covo – Volume –  $0.2 \text{ hm}^3$



Figura 6. Representação conceptual da albufeira de Penha Garcia – Volume –  $1.7 \text{ hm}^3$



Figura 7. Representação conceptual da albufeira do Alto Cávado – Volume –  $3.0 \text{ hm}^3$

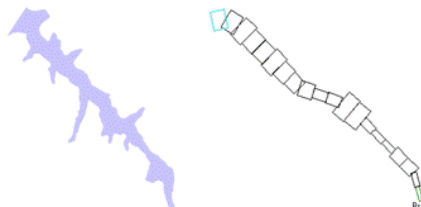


Figura 8. Representação conceptual da albufeira de São Domingos – Volume –  $8.0 \text{ hm}^3$

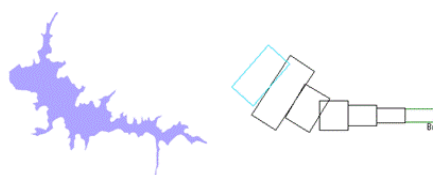


Figura 9. Representação conceptual da albufeira de Enxoé – Volume –  $10.0 \text{ hm}^3$

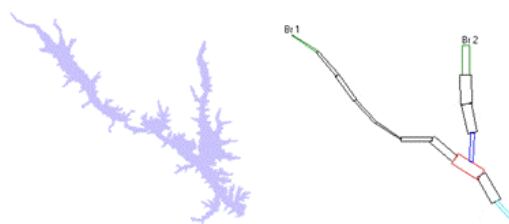


Figura 10. Representação conceptual da albufeira de Monte Novo – Volume –  $15.0 \text{ hm}^3$

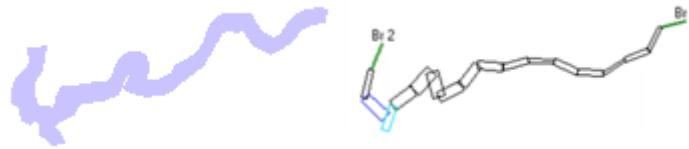


Figura 11. Representação conceptual da albufeira do Funcho – Volume – 42.0 hm<sup>3</sup>

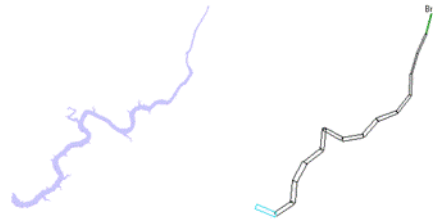


Figura 12. Representação conceptual da albufeira da Bouçã – Volume – 48.0 hm<sup>3</sup>

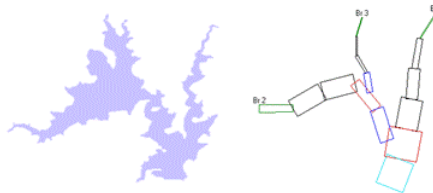


Figura 13. Representação conceptual da albufeira do Azibo – Volume – 54.0 hm<sup>3</sup>



Figura 14. Representação conceptual da albufeira de Fronhas – Volume – 62.0 hm<sup>3</sup>



Figura 15. Representação conceptual da albufeira de Crestuma-Lever – Volume – 110.0 hm<sup>3</sup>



Figura 16. Representação conceptual da albufeira do Torrão – Volume – 124.0 hm<sup>3</sup>

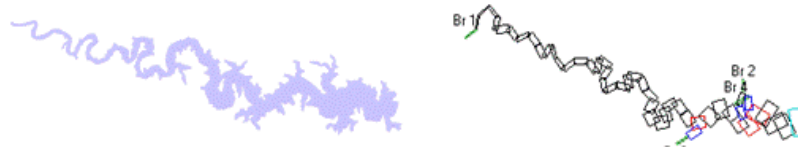


Figura 17. Representação conceptual da albufeira de Odeleite – Volume – 130 hm<sup>3</sup>

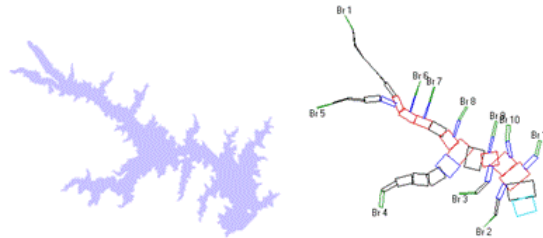


Figura 18. Representação conceptual da albufeira do Caia – Volume – 203 hm<sup>3</sup>

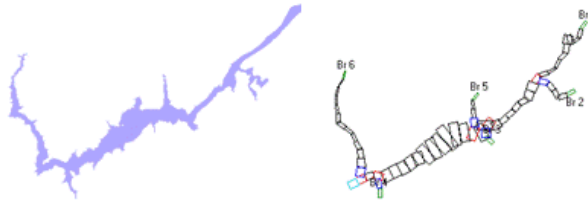


Figura 19. Representação conceptual da albufeira do Alto Lindoso – Volume – 379 hm<sup>3</sup>

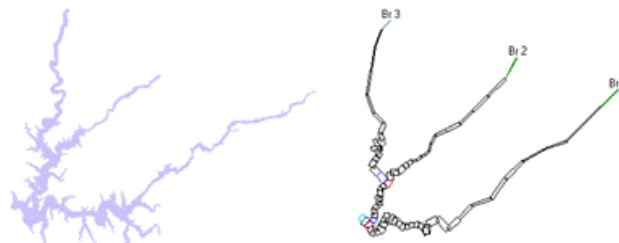


Figura 20. Representação conceptual da albufeira da Aguieira – Volume – 450 hm<sup>3</sup>



Figura 21. Representação conceptual da albufeira do Alto Rabagão – Volume – 569 hm<sup>3</sup>

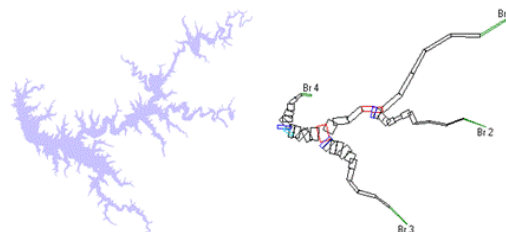


Figura 22. Representação conceptual da albufeira de Santa Clara – Volume – 485 hm<sup>3</sup>

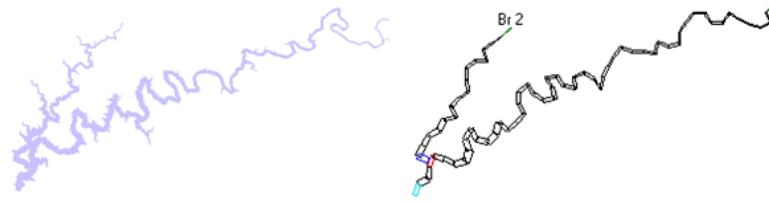


Figura 23. Representação conceptual da albufeira de Cabril – Volume – 720 hm<sup>3</sup>

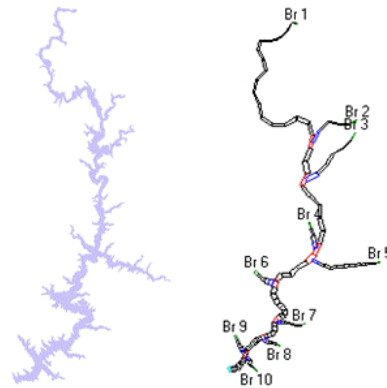


Figura 24. Representação conceptual da albufeira de Castelo do Bode – Volume – 1 095 hm<sup>3</sup>

### 3.3 - Avaliação dos parâmetros descritores da qualidade da águas das aflúncias às albufeiras e do correspondente balanço de volumes

Com o objectivo de se realizar uma análise o mais abrangente possível, optou-se também por avaliar a qualidade da água e a dimensão dos caudais afluentes às albufeiras, para o período compreendido entre os anos de 1989 e 2008.

Os parâmetros descritores da qualidade da água, seleccionados são os seguintes:

- ◆ Temperatura da água;
- ◆ Oxigénio dissolvido;
- ◆ Ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub>);
- ◆ Nitratos (NO<sub>3</sub>).

## 4. RESULTADOS OBTIDOS

No presente capítulo serão apresentados os resultados obtidos com cada uma das abordagens metodológica consideradas.

### 4.1 - Simulação matemática da qualidade da água

A simulação matemática da qualidade da água das albufeiras consideradas neste estudo foi precedida do processo de calibração do modelo CE-QUAL-W2. A presente secção encontra-se dividida em duas partes: na primeira são apresentados os resultados obtidos durante o processo de calibração do modelo; e na segunda encontram-se os resultados obtidos com a simulação das albufeiras.

#### 4.1.1 Calibração do modelo CE-QUAL-W2

O processo de calibração do modelo CE-QUAL-W2 foi realizado através da comparação de séries temporais obtidas com o modelo à superfície das albufeiras, com séries de valores observados igualmente à superfície, que se encontram disponíveis no SNIRH.

Inicialmente, procedeu-se à calibração da temperatura da água e, posteriormente, dos valores da concentração de OD, de P-PO<sub>4</sub> e dos restantes constituintes, tais como sólidos dissolvidos totais (SDT), CBO<sub>5</sub>, biomassa algal, azoto amoniacal (NH<sub>4</sub>), Nitratos+Nitritos (NO<sub>x</sub>), e pH.

No anexo do presente documento são apresentadas as séries temporais que descrevem o ajustamento obtido para cada um dos seguintes constituintes: temperatura da água, OD e P-PO<sub>4</sub>.

O ajustamento obtido indica que o modelo descreve razoavelmente bem a evolução temporal dos três constituintes, dos quais se destaca a calibração da temperatura da água, assegurando assim, que a hidrodinâmica do sistema é, em cada caso, bem simulada.

#### 4.1.2 Resultados obtidos – simulação matemática da qualidade da água

Tendo em consideração a enorme quantidade de dados disponíveis após a simulação da qualidade da água das albufeiras em estudo, optou-se por centrar a análise nos parâmetros que têm mais influência nos valores da concentração de P-PO<sub>4</sub>.

Assim, optou-se por estruturar os resultados obtidos da seguinte forma:

- 1) Variação média anual do valor médio da temperatura da água obtida em cada uma das albufeiras;
- 2) Evolução dos valores médios diários da concentração de P-PO<sub>4</sub> em cada uma das albufeiras, ao longo do período de simulação;
- 3) Variação média anual do valor médio da concentração de P-PO<sub>4</sub>;
- 4) Variação média anual do valor médio da concentração de OD;

- 5) Variação do valor médio anual da concentração de OD obtido no segmento mais profundo e mais próximo da barragem de cada uma das albufeiras;
- 6) Variação do valor médio da concentração de OD obtido no segmento mais profundo e mais próximo da barragem de cada uma das albufeiras, durante os meses de Julho, Agosto, Setembro e Outubro;
- 7) Variação média anual do valor médio da concentração de biomassa algal.

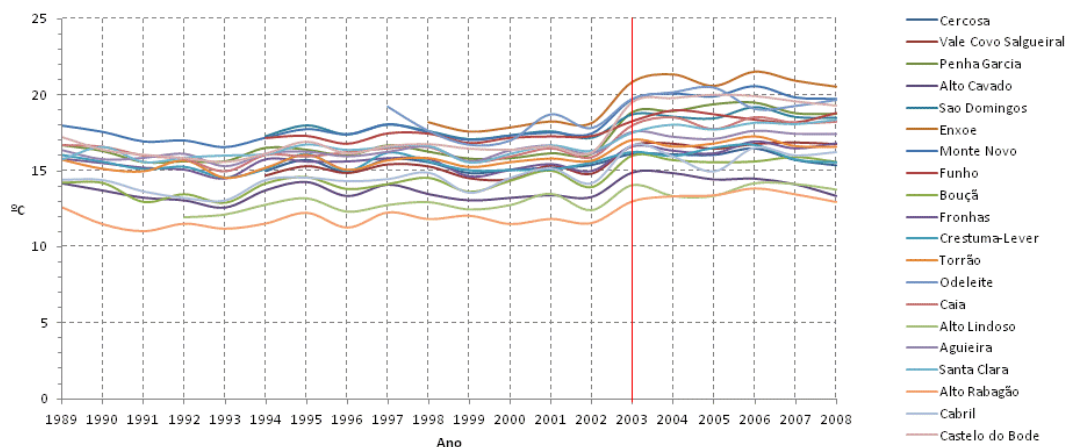
### Temperatura da água

O Instituto de Meteorologia identificou a seca que ocorreu entre os anos de 2004 e de 2006 como sendo a de maior extensão territorial (100% do território afectado) e a mais intensa (tendo em conta os meses consecutivos em seca severa e extrema) (IM, 2008).

No ano de 2005, a média da temperatura máxima do ar foi superior ao valor médio de 1961-1990, tendo-se registado o segundo valor mais alto desde 1931; a média da temperatura mínima do ar foi inferior ao valor médio, depois de 18 anos consecutivos com valores superiores (IM, 2005).

Como se pode observar na Figura 25, a partir do ano de 2003 há um incremento dos valores médios da temperatura da água, resultante do incremento da temperatura do ar e/ou da redução dos valores da precipitação nos períodos mais quentes do ano.

Este período mais quente, que culminou na seca de 2004-2006, iniciou-se no ano de 2003 e manteve-se até ao início do ano de 2008 (Figura 25).



**Figura 25.** Variação média anual do valor médio da temperatura da água de cada uma albufeiras

A conclusão que se pode retirar dos resultados obtidos relativamente a este parâmetro, é de que a probabilidade de existir uma variação dos valores da concentração de P-PO<sub>4</sub>, aumenta a partir do ano de 2003, em função do evidente incremento dos valores de temperatura da água.

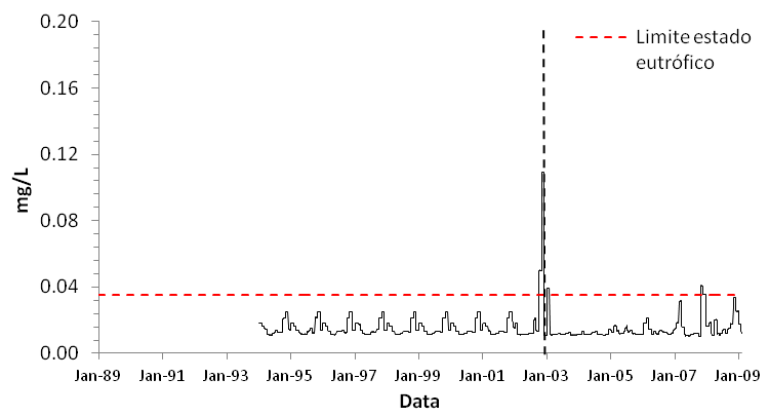
### Ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub>)

Nas Figuras 26 a 45 pode observar-se a evolução média diária dos valores da concentração de P-PO<sub>4</sub>, em cada uma das albufeiras. Em cada uma das figuras é assinalado o início do ano de 2003 e o limite do estado trófico, considerando o critério de classificação do estado trófico estabelecido pelo INAG, 0.035 mg/L de fósforo.

Com o objectivo de identificar um padrão evolutivo da concentração deste parâmetro, que permita a sua correlação com outras variáveis, identificaram-se as albufeiras em que se verificou a existência de um incremento dos valores da concentração de P-PO<sub>4</sub>, a partir do ano de 2003, superior a qualquer outro que tivesse sido obtido durante todo o período de simulação:

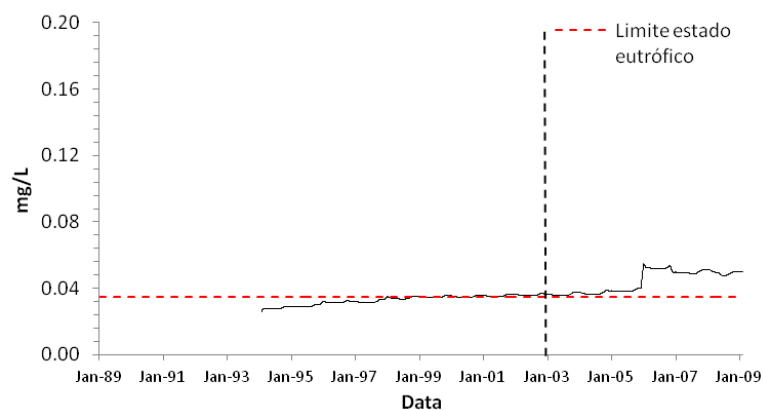
- ◆ Vale Côvo/Salgueiral;
- ◆ Penha Garcia;
- ◆ Alto Cávado;
- ◆ Fronhas;
- ◆ Crestuma-Lever;
- ◆ Torrão;
- ◆ Agueira;
- ◆ Alto Rabagão.

A análise realizada permitiu concluir que o referido incremento ocorreu em 40% do número total de albufeiras avaliadas, independentemente do seu volume, da sua localização geográfica e das aflúncias anuais de caudal.

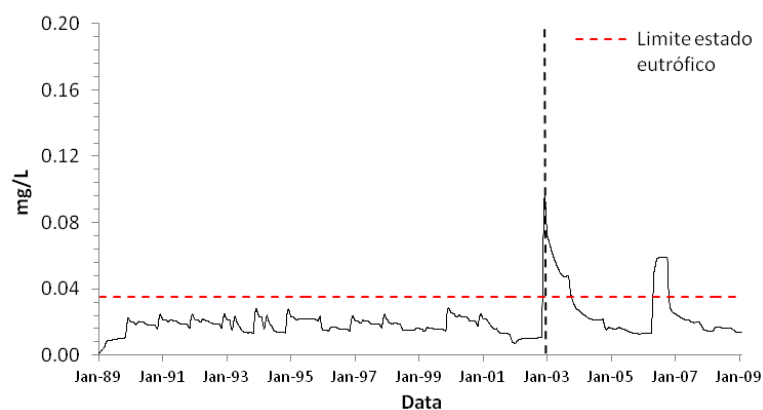


**Figura 26.** Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira da Cercosa

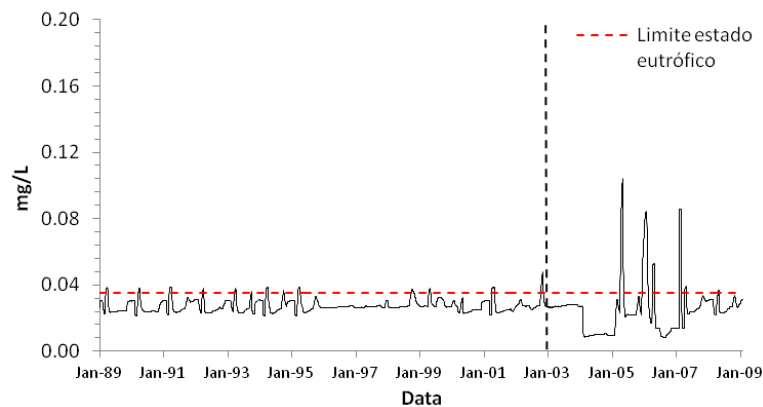




**Figura 27.** Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Vale Covo/Salgueiral



**Figura 28.** Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Penha Garcia



**Figura 29.** Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira do Alto Cávado

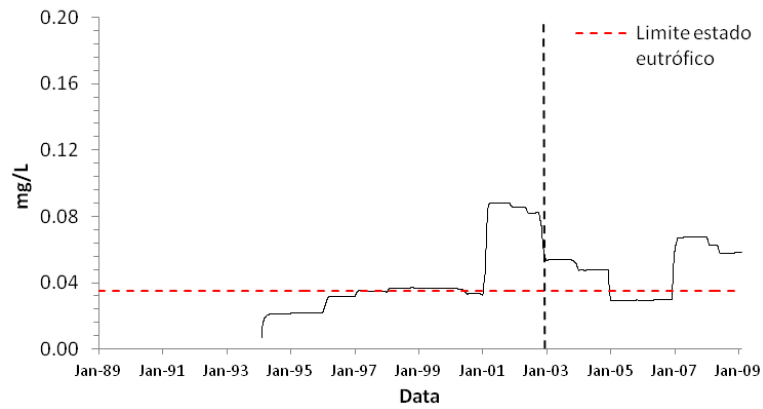


Figura 30. Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de São Domingos

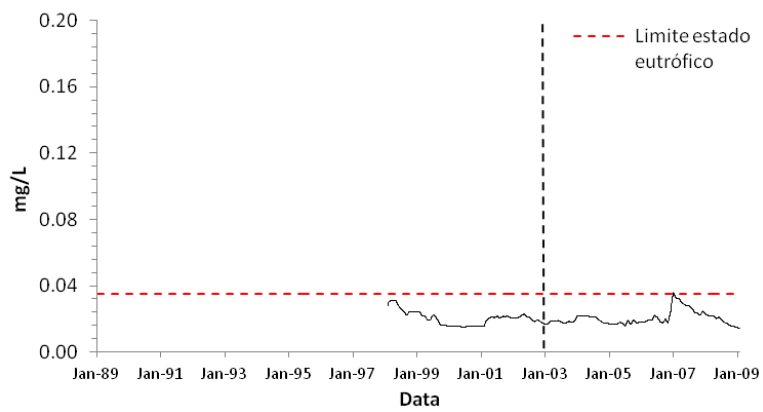


Figura 31. Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Enxóe

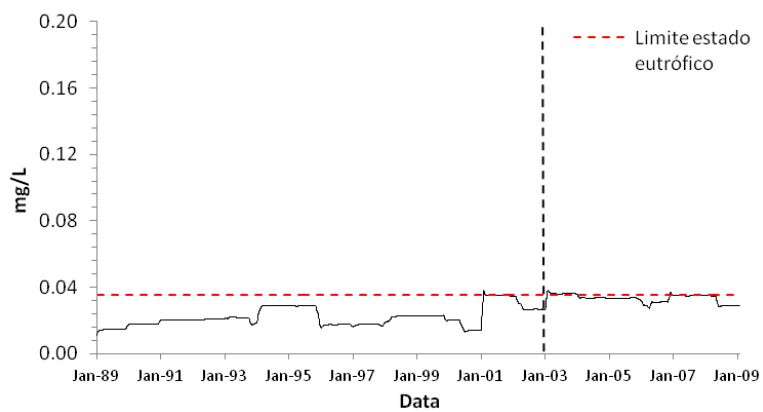


Figura 32. Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Monte Novo

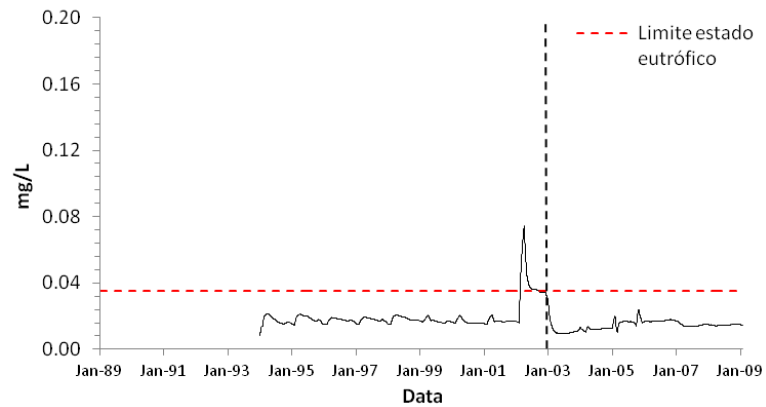


Figura 33. Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira do Funcho

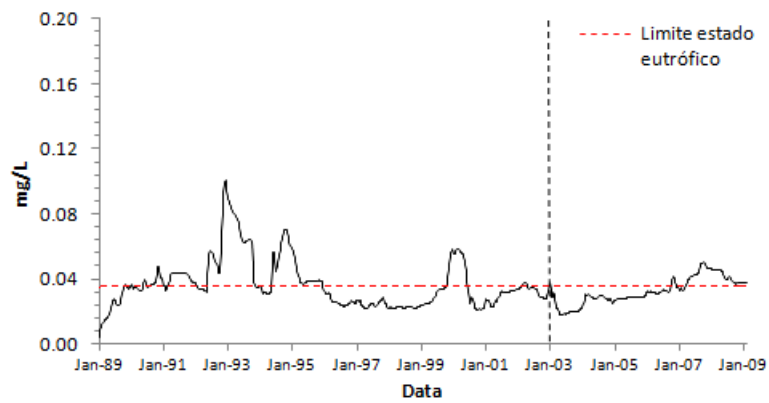


Figura 34. Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira da Bouçã

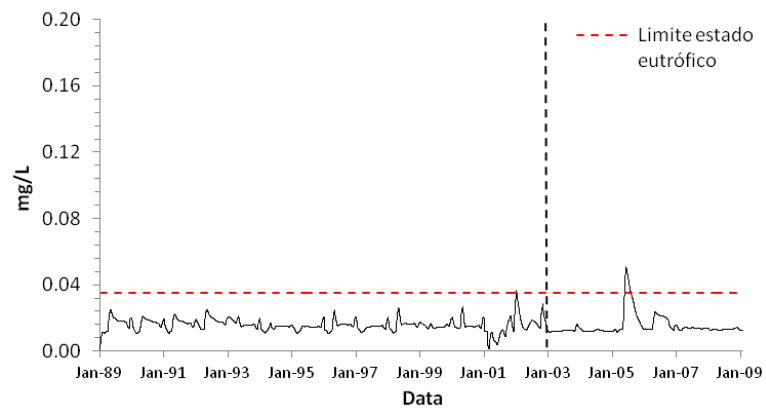


Figura 35. Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Fronhas

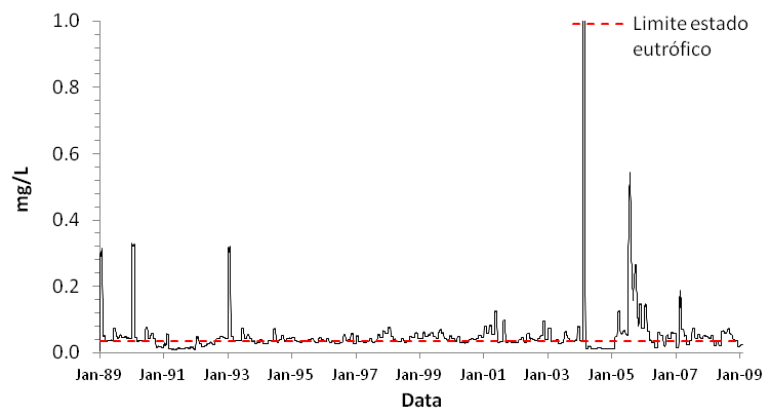


Figura 36. Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Crestuma-Lever

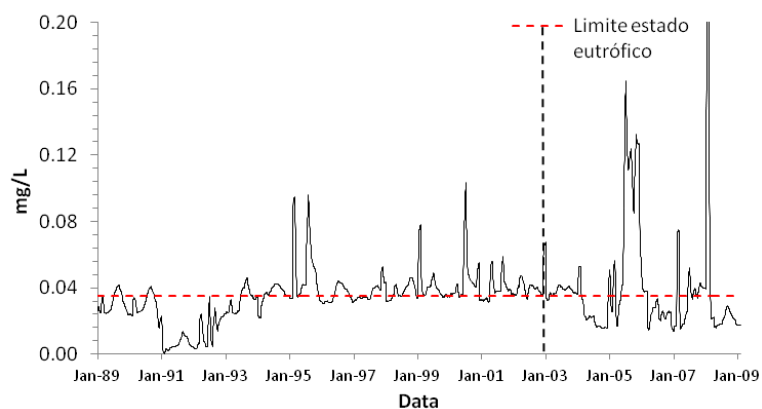


Figura 37. Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira do Torrão

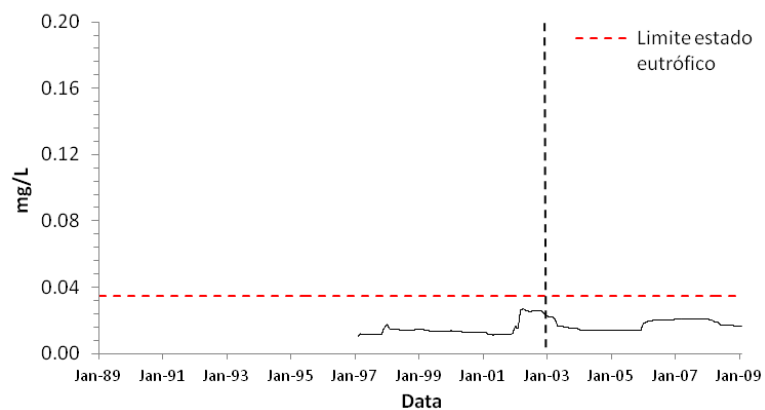


Figura 38. Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Odeleite

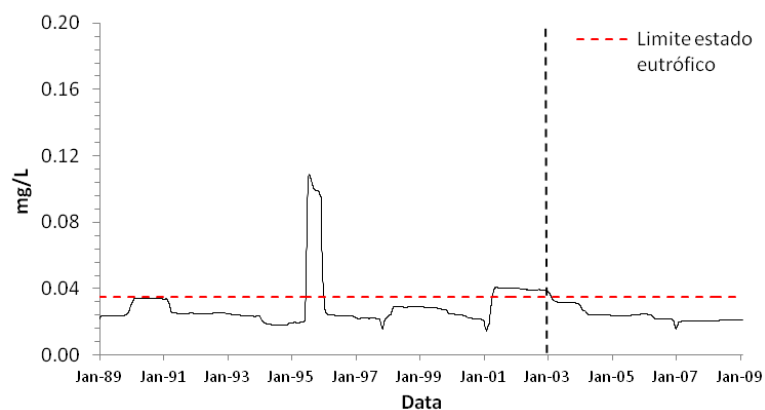


Figura 39. Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira do Caia

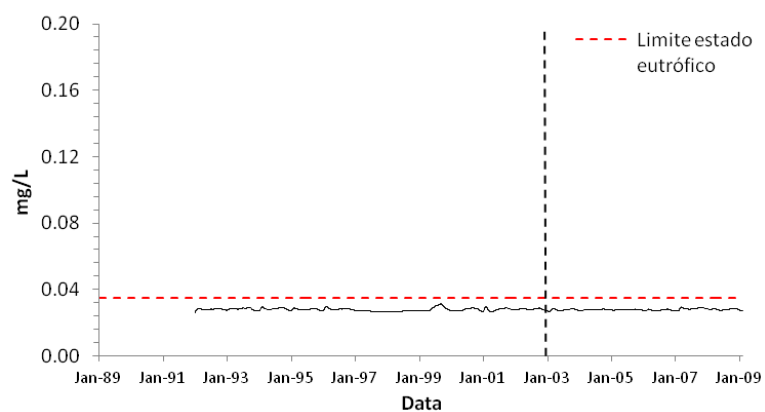


Figura 40. Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira do Alto Lindoso

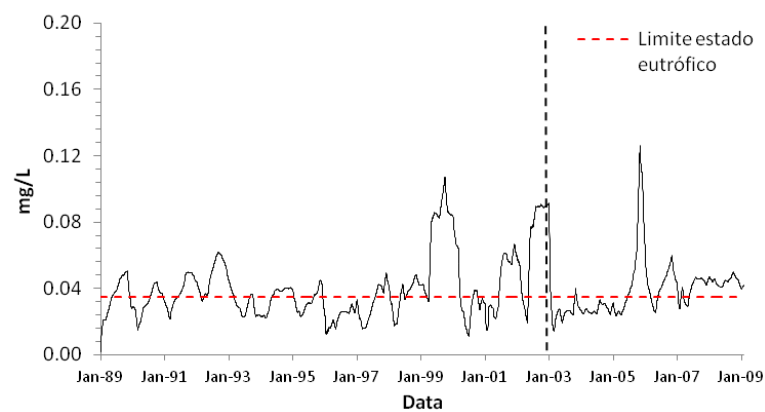


Figura 41. Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira da Agueira

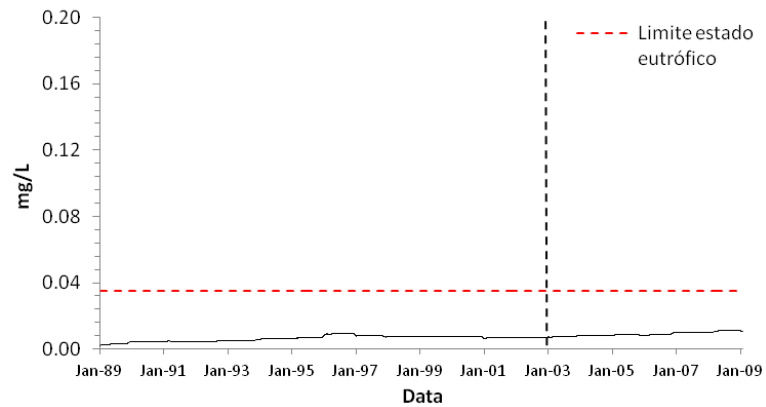


Figura 42. Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Santa Clara

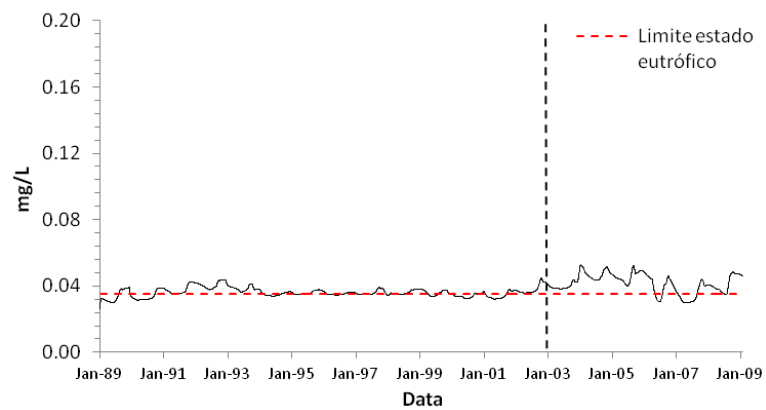


Figura 43. Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira do Alto Rabagão

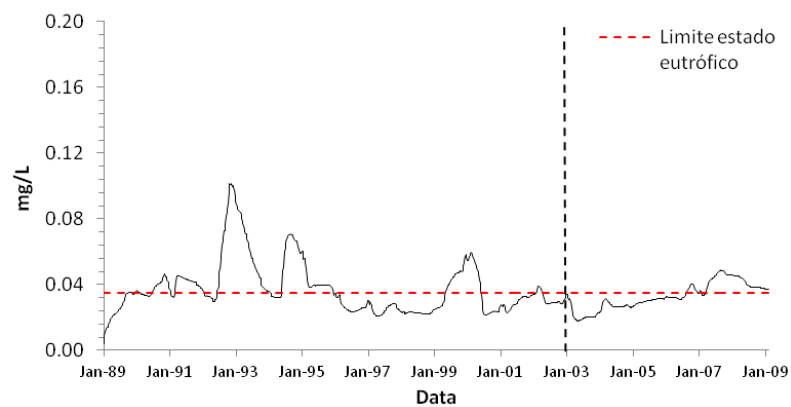
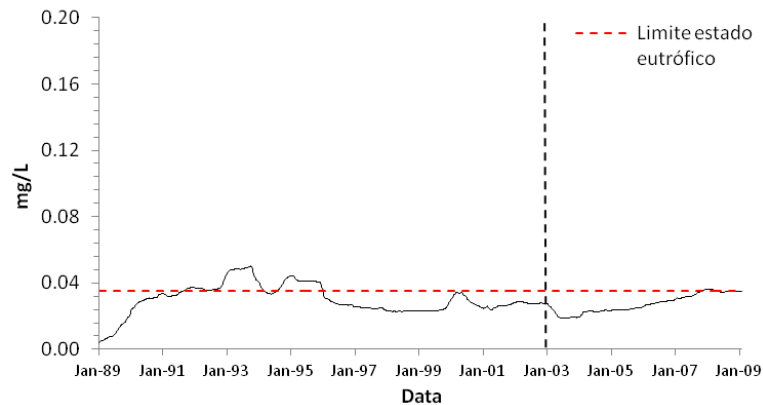


Figura 44. Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Cabril



**Figura 45.** Concentração média diária de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Castelo do Bode

No Quadro 2 podem observar-se os valores médios anuais da concentração de P-PO<sub>4</sub>, obtidos com o modelo CE-QUAL-W2, para cada uma das albufeiras simuladas. No referido quadro é também assinalado o valor máximo obtido para cada ano e para cada uma das albufeiras.

Os resultados obtidos indicam que a percentagem de albufeiras, em que ocorreu um incremento do valor médio anual da média dos valores de P-PO<sub>4</sub> é, neste caso, de 55% do número total de albufeiras. Às albufeiras anteriormente identificadas, acrescentam-se as albufeiras do Enxoé, Monte Novo e Santa Clara, perfazendo um total de 11 albufeiras:

- ◆ Vale Côvo/Salgueiral;
- ◆ Penha Garcia;
- ◆ Alto Cávado;
- ◆ Enxoé;
- ◆ Monte Novo;
- ◆ Fronhas;
- ◆ Crestuma-Lever;
- ◆ Torrão;
- ◆ Agueira;
- ◆ Santa Clara;
- ◆ Alto Rabagão.

### Oxigénio dissolvido

Nos Quadros 3, 4 e 5 podem-se observar os valores médios anuais da concentração de OD em cada umas das albufeiras, a média anual dos valores médios da concentração de OD, obtida no segmento mais profundo e mais próximo da barragem, e a média dos valores médios da concentração de OD,

obtida no segmento mais profundo e mais próximo da barragem, durante os meses de Julho Agosto e Setembro, respectivamente, são assinalados os três menores valores da concentração de OD obtidos para o período de simulação.

Os resultados obtidos relativamente a este parâmetro indicam que, a partir do ano de 2003, ocorre uma redução generalizada dos valores da concentração do OD. O aumento dos valores da temperatura da água, diminuiu a capacidade de diluição do OD, e conseqüentemente a concentração deste parâmetro, em todas as albufeiras simuladas.



Quadro 2. Valor médio anual da concentração de Ortofosfatos (mg/L) – MODELO CE-QUAL-W2 (Período temporal 1989-2008)

Ano	Cercosa	Vale Covo	Penha Garcia	Alto Cávado	São Domingos	Enxoé	Monte Novo	Funcho	Bouçã	Azibo	Fronhas	Crestuma-Lever	Torrão	Odeleite	Caia	Alto Lindoso	Aguieira	Santa Clara	Alto Rabagão	Cabril	Castelo do bode
1989	-	-	0.0099	0.027	-	-	0.0146	-	0.0241	0.0274	0.0167	0.0669	0.0307	-	0.0242	-	0.0352	0.0029	0.0338	0.0256	0.0110
1990	-	-	0.0194	0.026	-	-	0.0179	-	0.0372	0.0273	0.0165	0.0629	0.0295	-	0.0341	-	0.0318	0.0045	0.0339	0.0378	0.0297
1991	-	-	0.0203	0.028	-	-	0.0202	-	0.0409	0.0272	0.0166	0.0167	0.0061	-	0.0267	0.0260	0.0382	0.0047	0.0378	0.0409	0.0343
1992	-	-	0.0203	0.027	-	-	0.0205	-	0.0531	0.0273	0.0182	0.0340	0.0153	-	0.0251	0.0280	0.0479	0.0047	0.0407	0.0581	0.0372
1993	0.0180	-	0.0181	0.028	-	-	0.0207	-	0.0633	0.0272	0.0170	0.0652	0.0328	-	0.0239	0.0282	0.0299	0.0051	0.0384	0.0584	0.0473
1994	0.0153	0.0281	0.0184	0.028	0.0204	-	0.0282	0.0172	0.0499	0.0337	0.0142	0.0403	0.0363	-	0.0187	0.0284	0.0345	0.0063	0.0351	0.0522	0.0374
1995	0.0153	0.0296	0.0215	0.028	0.0216	-	0.0275	0.0183	0.0401	0.0858	0.0144	0.0372	0.0511	-	0.0602	0.0280	0.0320	0.0067	0.0359	0.0410	0.0411
1996	0.0153	0.0319	0.0168	0.027	0.0308	-	0.0172	0.0174	0.0261	0.0522	0.0157	0.0364	0.0360	-	0.0240	0.0282	0.0228	0.0091	0.0353	0.0266	0.0279
1997	0.0153	0.0323	0.0200	0.027	0.0349	-	0.0174	0.0176	0.0243	0.0425	0.0145	0.0421	0.0376	0.0122	0.0216	0.0269	0.0311	0.0079	0.0359	0.0249	0.0248
1998	0.0152	0.0342	0.0171	0.028	0.0367	0.0267	0.0219	0.0184	0.0226	0.0341	0.0161	0.0446	0.0381	0.0145	0.0284	0.0269	0.0357	0.0073	0.0362	0.0228	0.0229
1999	0.0152	0.0347	0.0174	0.029	0.0365	0.0196	0.0223	0.0171	0.0337	0.0332	0.0153	0.0510	0.0417	0.0138	0.0278	0.0286	0.0737	0.0073	0.0359	0.0401	0.0240
2000	0.0152	0.0351	0.0225	0.026	0.0346	0.0154	0.0162	0.0167	0.0370	0.0322	0.0162	0.0397	0.0452	0.0129	0.0228	0.0278	0.0359	0.0074	0.0341	0.0354	0.0300
2001	0.0155	0.0355	0.0148	0.027	0.0824	0.0202	0.0345	0.0171	0.0295	0.0316	0.0119	0.0575	0.0399	0.0119	0.0352	0.0280	0.0434	0.0067	0.0343	0.0293	0.0259
2002	0.0242	0.0360	0.0207	0.029	0.0792	0.0200	0.0280	0.0384	0.0330	0.0328	0.0183	0.0456	0.0416	0.0242	0.0394	0.0280	0.0678	0.0067	0.0383	0.0315	0.0279
2003	0.0138	0.0363	0.0474	0.027	0.0534	0.0183	0.0359	0.0113	0.0214	0.0307	0.0125	0.0445	0.0381	0.0174	0.0322	0.0277	0.0270	0.0075	0.0403	0.0217	0.0207
2004	0.0120	0.0372	0.0211	0.011	0.0466	0.0201	0.0335	0.0122	0.0281	0.0280	0.0123	0.3903	0.0249	0.0139	0.0247	0.0278	0.0274	0.0084	0.0472	0.0274	0.0228
2005	0.0130	0.0394	0.0146	0.031	0.0293	0.0175	0.0331	0.0167	0.0285	0.0264	0.0231	0.1361	0.0790	0.0141	0.0240	0.0277	0.0506	0.0084	0.0458	0.0301	0.0242
2006	0.0139	0.0520	0.0377	0.024	0.0311	0.0203	0.0310	0.0171	0.0335	0.0269	0.0175	0.0530	0.0261	0.0199	0.0220	0.0275	0.0425	0.0088	0.0400	0.0342	0.0282
2007	0.0188	0.0496	0.0201	0.030	0.0670	0.0274	0.0349	0.0145	0.0412	0.0245	0.0137	0.0547	0.0351	0.0208	0.0204	0.0284	0.0399	0.0100	0.0348	0.0408	0.0353
2008	0.0173	0.0493	0.0156	0.027	0.0597	0.0189	0.0309	0.0146	0.0425	0.0251	0.0131	0.0433	0.0401	0.0180	0.0210	0.0280	0.0444	0.0108	0.0413	0.0433	0.0330
<b>Mín.</b>	0.0120	0.0281	0.0099	0.0114	0.0204	0.0154	0.0146	0.0113	0.0214	0.0245	0.0119	0.0167	0.0061	0.0119	0.0187	0.0260	0.0228	0.0029	0.0338	0.0217	0.0110
<b>Máx.</b>	0.0242	0.0520	0.0474	0.0311	0.0824	0.0274	0.0359	0.0384	0.0633	0.0858	0.0231	0.3903	0.0790	0.0242	0.0602	0.0286	0.0737	0.0108	0.0472	0.0584	0.0473
<b>Médi o</b>	0.0158	0.0374	0.0207	0.0267	0.0443	0.0204	0.0253	0.0176	0.0355	0.0338	0.0157	0.0681	0.0363	0.0161	0.0278	0.0278	0.0396	0.0071	0.0377	0.0361	0.0293

INCREMENTO DOS VALORES DA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO ENTRE 2005 E 2006

Quadro 3. Valor médio anual da concentração de Oxigénio dissolvido, (mg/L) – MODELO CE-QUAL-W2 (Período temporal 1989-2008)

Ano	Cercosa	Vale Covo	Penha Garcia	Alto Cávado	São Domingos	Enxó é	Monte Novo	Funch o	Bouçã	Azib o	Fronh as	Crestum a-Lever	Torrã o	Odelei te	Cai a	Alto Lindos o	Aguiei ra	Santa Clara	Alto Rabagã o	Cabril	Castel o do bode
1989	-	-	8.66	8.39	-	-	8.60	-	9.25	9.11	7.51	8.86	8.54	-	8.49	-	6.71	8.69	8.40	9.22	9.15
1990	-	-	8.77	8.42	-	-	8.80	-	9.11	9.19	7.57	8.27	8.75	-	8.60	-	6.02	8.54	8.47	9.19	9.23
1991	-	-	8.97	8.47	-	-	9.03	-	9.20	9.38	7.52	8.78	8.92	-	8.76	-	7.15	8.79	8.94	9.15	9.38
1992	-	-	8.94	8.54	-	-	9.06	-	9.71	9.53	7.96	8.15	8.71	-	8.95	8.99	7.37	8.86	8.84	9.78	9.73
1993	-	-	8.79	8.42	-	-	8.95	-	9.49	9.61	8.06	8.46	8.83	-	8.88	8.92	8.39	8.78	8.91	9.55	9.68
1994	7.44	8.58	8.58	8.35	9.15	-	8.82	8.78	8.95	9.20	7.55	8.30	8.76	-	8.39	8.33	7.78	8.68	8.76	9.07	9.32
1995	7.35	8.50	8.72	8.37	9.08	-	8.71	8.65	9.06	9.10	7.60	8.00	8.33	-	8.32	8.45	6.98	8.51	8.50	9.08	9.34
1996	7.50	8.74	8.80	8.77	9.16	-	8.88	8.53	8.94	9.37	7.53	8.57	8.43	-	8.39	8.23	8.88	8.43	8.91	8.98	9.15
1997	7.39	8.49	8.66	8.19	9.00	-	8.65	8.42	8.87	9.15	7.50	8.23	8.32	7.88	7.99	8.79	7.71	8.46	8.52	8.93	9.12
1998	7.36	8.49	8.74	8.44	9.15	8.65	8.84	8.54	9.16	9.07	7.32	8.27	7.99	8.24	8.53	9.06	7.77	8.47	8.68	9.13	9.16
1999	7.38	8.80	8.92	8.76	9.31	8.90	9.05	8.68	9.69	9.44	8.09	8.36	7.80	8.83	9.00	9.18	7.45	8.76	8.78	9.61	9.42
2000	7.39	8.85	8.88	8.56	9.23	8.86	8.88	8.56	9.06	9.38	7.57	7.98	7.91	8.50	8.74	8.93	7.44	8.66	8.81	9.20	9.21
2001	7.34	8.52	8.91	8.86	8.98	8.65	8.84	8.36	8.85	8.84	7.95	8.99	8.56	7.76	7.90	8.18	7.33	8.49	8.42	8.91	8.91
2002	8.07	8.70	8.79	8.14	9.23	8.65	8.87	8.68	9.50	9.37	8.24	8.01	8.09	8.46	8.97	9.02	7.17	8.64	8.64	9.45	9.50
2003	7.62	8.17	8.21	8.10	8.95	8.27	8.36	8.08	7.77	8.70	7.42	8.40	7.96	7.97	8.29	8.22	6.92	8.28	8.14	8.08	8.50
2004	8.51	7.99	8.29	8.54	8.93	8.25	8.15	8.23	8.54	8.88	7.98	8.04	8.25	7.85	8.04	8.81	7.15	7.97	8.27	8.61	8.72
2005	7.31	8.31	8.32	8.60	9.03	8.35	8.35	8.75	9.30	9.32	7.10	8.27	8.15	8.34	8.59	9.02	5.02	8.25	8.36	9.27	8.99
2006	6.97	8.20	7.90	8.09	8.78	8.08	7.96	7.83	7.87	8.95	6.33	8.04	8.07	8.11	8.00	8.59	4.96	8.05	7.80	8.15	8.57
2007	6.57	7.86	8.20	8.20	8.97	8.19	8.27	7.76	8.79	8.56	6.34	8.24	7.89	7.74	8.04	8.19	4.95	7.86	7.79	8.84	8.75
2008	6.83	7.97	8.25	8.32	8.97	8.28	8.32	8.15	7.87	8.82	7.03	7.53	7.91	7.75	8.31	8.72	6.01	8.04	8.08	8.10	8.45
<b>Mín.</b>	6.57	7.86	7.90	8.09	8.78	8.08	7.96	7.76	7.77	8.56	6.33	7.53	7.80	7.74	7.90	8.18	4.95	7.86	7.79	8.08	8.45
<b>Máx.</b>	8.51	8.85	8.97	8.86	9.31	8.90	9.06	8.78	9.71	9.61	8.24	8.99	8.92	8.83	9.00	9.18	8.88	8.86	8.94	9.78	9.73
<b>Médi o</b>	7.40	8.41	8.61	8.43	9.06	8.46	8.67	8.40	8.95	9.15	7.51	8.29	8.31	8.12	8.46	8.69	6.96	8.46	8.50	9.01	9.11

**Quadro 4.** Valor médio anual da concentração de Oxigénio dissolvido obtido no segmento mais profundo e mais próximo da barragem de cada uma das albufeiras (mg/L) – MODELO CE-QUAL-W2 (Período temporal 1989-2008)

Ano	Cercosa	Vale Covo	Penha Garcia	Alto Cávado	São Domingos	Enxó é	Monte Novo	Funch o	Bouçã	Azib o	Fronh as	Crestum a-Lever	Torrã o	Odelei te	Cai a	Alto Lindos o	Aguiei ra	Santa Clara	Alto Rabagã o	Cabril	Castel o do bode
1989	-	-	8.59	7.07	-	-	6.54	-	8.48	7.69	3.61	8.03	6.61	-	5.42	-	5.22	6.74	6.85	8.90	7.52
1990	-	-	8.70	6.55	-	-	6.87	-	8.49	7.91	3.09	7.32	7.12	-	5.92	-	3.91	6.34	5.98	8.71	7.83
1991	-	-	8.91	7.45	-	-	7.28	-	8.69	7.68	3.42	7.95	7.50	-	6.51	-	6.47	7.03	7.03	8.49	7.67
1992	-	-	8.88	7.59	-	-	8.20	-	9.18	8.75	6.07	7.22	7.95	-	5.47	8.66	7.28	6.94	7.62	10.14	8.75
1993	-	-	8.79	7.79	-	-	7.90	-	9.19	9.44	6.81	7.44	7.83	-	7.47	8.53	7.44	6.79	7.23	9.84	9.14
1994	5.99	6.86	8.58	7.65	9.15	-	7.14	7.46	8.18	7.57	2.93	7.23	7.05	-	6.35	7.61	5.82	6.47	6.84	7.85	7.83
1995	5.32	6.80	8.56	7.55	9.08	-	7.04	6.08	7.30	7.51	3.79	7.09	6.40	-	5.47	7.77	5.21	6.00	6.17	8.29	7.15
1996	5.87	7.40	8.73	7.86	9.16	-	7.49	5.60	8.42	9.04	4.15	7.87	5.68	-	5.68	7.44	8.60	6.28	7.38	8.16	7.39
1997	5.40	6.81	8.57	7.60	9.00	-	6.68	5.01	7.79	8.48	2.99	7.29	6.49	3.38	5.83	8.26	4.92	6.24	6.07	7.18	7.33
1998	5.39	6.73	8.58	7.82	9.15	8.52	7.39	5.55	8.83	7.12	3.31	7.46	5.50	3.97	5.63	8.74	5.39	6.09	6.78	8.33	7.78
1999	5.30	7.27	8.88	8.32	9.31	8.81	7.80	5.89	9.21	8.82	7.44	7.33	6.03	6.55	7.32	9.02	6.41	6.96	6.63	9.93	8.02
2000	5.46	7.28	8.80	8.11	9.23	8.78	7.21	5.93	8.72	7.98	4.97	6.82	6.26	5.49	6.92	8.41	6.90	6.52	7.01	9.16	7.64
2001	5.16	6.67	8.83	8.34	8.98	8.53	7.06	5.14	7.94	6.69	4.90	8.12	7.61	3.65	4.09	7.41	6.66	6.33	5.61	6.23	7.40
2002	6.57	7.01	8.66	7.49	9.23	8.56	7.35	5.75	8.72	8.70	5.87	6.92	6.96	4.50	7.33	8.60	6.58	6.34	6.03	9.46	8.25
2003	6.12	6.63	7.74	7.18	8.95	7.96	5.96	5.11	6.90	8.18	3.82	7.24	7.20	4.91	7.04	7.30	5.86	6.34	6.02	3.45	6.05
2004	7.05	6.10	7.94	7.77	8.93	7.90	5.10	5.23	7.70	7.89	5.21	6.78	7.11	3.79	5.59	8.26	6.33	5.44	5.98	6.41	6.49
2005	4.54	7.08	8.30	7.54	9.03	8.09	6.48	6.55	9.31	9.66	5.09	7.07	5.91	5.48	7.92	8.82	4.88	6.41	6.93	10.04	8.21
2006	4.89	6.79	7.32	7.78	8.78	7.85	5.00	4.51	7.05	8.29	2.89	6.66	7.07	4.94	5.60	8.12	3.92	5.76	6.08	8.69	6.76
2007	3.96	5.85	7.94	7.72	8.97	7.95	5.65	4.26	7.97	6.96	1.26	6.99	6.18	3.32	5.36	7.25	2.74	5.24	5.06	8.44	6.39
2008	4.09	5.94	8.08	8.04	8.97	8.04	5.96	4.97	6.61	6.84	3.35	5.62	5.94	2.94	5.67	8.25	4.30	5.66	5.68	5.78	5.88
<b>Mín.</b>	3.96	5.85	7.32	6.55	8.78	7.85	5.00	4.26	6.61	6.69	1.26	5.62	5.50	2.94	4.09	7.25	2.74	5.24	5.06	3.45	5.88
<b>Máx.</b>	7.05	7.40	8.91	8.34	9.31	8.81	8.20	7.46	9.31	9.66	7.44	8.12	7.95	6.55	7.92	9.02	8.60	7.03	7.62	10.14	9.14
<b>Médi o</b>	5.41	6.75	8.47	7.66	9.06	8.27	6.81	5.54	8.23	8.06	4.25	7.22	6.72	4.41	6.13	8.14	5.74	6.30	6.45	8.17	7.47

**Quadro 5.** Valor médio da concentração de Oxigénio dissolvido obtido no segmento mais profundo e mais próximo da barragem de cada uma das albufeiras, durante os meses de Julho, Agosto, Setembro e Outubro(mg/L) – MODELO CE-QUAL-W2 (Período temporal 1989-2008)

Ano	Cercosa	Vale Covo	Penha Garcia	Alto Cávado	São Domingos	Enxó é	Monte Novo	Funch o	Bouçã	Azib o	Fronh as	Crestum a-Lever	Torrã o	Odelei te	Cai a	Alto Lindos o	Aguiei ra	Santa Clara	Alto Rabagão	Cabr il	Castel o do bode
1989	-	-	7.27	4.42	-	-	2.67	-	7.21	4.37	0.12	6.30	3.74	-	1.16	-	2.54	5.07	3.64	8.28	4.99
1990	-	-	7.33	3.04	-	-	3.40	-	6.85	4.60	0.03	5.45	4.11	-	3.21	-	2.30	4.27	1.83	7.93	5.67
1991	-	-	7.37	5.10	-	-	3.47	-	7.70	2.99	0.08	5.89	3.63	-	2.87	-	5.35	5.21	2.31	7.56	5.31
1992	-	-	7.45	5.16	-	-	6.33	-	7.93	5.51	3.95	5.61	6.63	-	0.09	8.13	4.48	4.62	4.44	9.81	7.72
1993	-	-	7.71	6.06	-	-	6.80	-	7.97	7.30	5.50	6.16	6.20	-	4.46	7.55	5.29	4.06	3.82	9.46	8.09
1994	3.62	2.67	7.52	5.96	8.34	-	4.48	5.85	6.48	3.11	0.65	5.29	4.58	-	4.01	7.35	1.49	4.07	2.94	7.25	5.78
1995	2.53	2.85	7.39	5.83	8.13	-	4.93	2.84	5.87	3.80	0.87	6.50	4.88	-	1.61	7.28	4.71	3.24	2.19	7.70	5.66
1996	3.07	3.62	7.50	5.60	8.25	-	5.23	1.59	7.28	7.05	1.63	6.81	2.17	-	3.97	7.32	5.27	4.12	3.29	7.86	5.24
1997	2.35	2.56	7.30	5.96	8.10	-	4.97	0.72	6.44	5.38	0.57	5.61	4.37	0.05	4.27	7.27	1.84	4.14	1.78	7.07	5.63
1998	2.44	2.94	7.11	5.94	8.22	7.20	4.94	1.69	7.62	2.56	0.58	5.58	1.76	0.74	2.36	7.48	1.04	3.83	3.09	7.46	5.61
1999	2.61	2.92	7.53	6.56	8.26	7.35	5.80	1.45	7.68	5.96	5.70	4.99	5.12	5.11	3.80	7.62	4.18	4.97	3.60	9.42	6.37
2000	2.67	2.87	7.47	6.63	8.29	7.51	3.92	1.47	6.75	3.99	1.86	5.30	4.73	3.90	2.81	6.98	5.97	4.11	2.95	8.48	4.56
2001	2.25	3.13	7.42	6.44	8.12	7.14	4.43	0.61	6.02	2.17	0.46	5.23	6.38	0.11	0.00	7.22	4.42	3.86	0.48	4.69	5.84
2002	4.20	2.87	7.40	6.24	8.27	7.32	5.70	1.60	7.20	5.73	2.84	5.50	5.78	1.85	4.93	7.55	4.55	4.01	0.97	8.89	5.69
2003	3.25	1.75	6.02	4.69	7.76	6.41	1.99	0.46	5.66	5.55	0.68	4.43	5.77	1.71	4.76	6.97	5.12	4.17	1.06	2.73	3.13
2004	4.69	1.41	6.47	5.34	7.92	6.40	1.67	1.00	6.23	4.46	3.52	5.54	6.46	0.77	2.91	7.75	4.93	3.27	1.14	6.13	4.15
2005	1.91	2.16	6.70	4.38	7.96	6.37	3.21	3.93	8.64	7.91	4.09	5.04	1.98	1.28	5.87	7.48	1.76	3.62	2.57	9.89	7.32
2006	2.75	2.01	6.04	6.41	7.95	6.18	2.23	0.15	4.60	5.52	0.68	4.95	5.15	2.45	2.37	7.02	1.90	3.42	2.49	8.49	4.31
2007	1.47	0.52	6.38	5.97	8.03	6.29	0.58	1.07	5.00	5.03	0.04	5.91	4.36	1.44	3.96	6.69	0.77	4.21	1.37	5.68	3.87
2008	1.34	2.08	6.67	6.65	8.01	6.56	2.77	0.32	5.56	2.08	0.03	1.99	2.99	0.53	2.01	6.98	1.31	2.70	1.35	7.45	3.45
<b>Mín.</b>	1.34	0.52	6.02	3.04	7.76	6.18	0.58	0.15	4.60	2.08	0.03	1.99	1.76	0.05	0.00	6.69	0.77	2.70	0.48	2.73	3.13
<b>Máx.</b>	4.69	3.62	7.71	6.65	8.34	7.51	6.80	5.85	8.64	7.91	5.70	6.81	6.63	5.11	5.87	8.13	5.97	5.21	4.44	9.89	8.09
<b>Médi o</b>	2.74	2.42	7.10	5.62	8.11	6.79	3.97	1.65	6.74	4.75	1.69	5.40	4.54	1.66	3.07	7.33	3.46	4.05	2.37	7.61	5.42

### Biomassa Algal

A análise do Quadro 6, no qual se podem observar os valores médios anuais da concentração da biomassa algal, obtida à superfície das diferentes albufeiras, permite verificar que não existe nenhuma correlação entre os valores máximos obtidos para este parâmetro e os valores mais elevados da concentração de P-PO<sub>4</sub>, observados nas albufeiras (Quadro 2).

Quadro 6. Valor médio anual da concentração de Biomassa algal à superfície(mg/L) – MODELO CE-QUAL-W2 (Período temporal 1989-2008)

Ano	Cerca sa	Vale Covo	Penha Garcia	Alto Cávado	São Domingos	Enxoé	Monte Novo	Funcho	Bouçã	Azibo	Fronhas	Crestuma- Lever	Torrão	Odeleite	Caia	Alto Lindoso	Aguieira	Santa Clara	Alto Rabagão	Cabril	Castelo do bode
1989	-	-	0.0098	0.0160	-	-	0.0261	-	0.0058	0.0019	0.0180	0.0293	0.0362	-	0.0018	-	0.0284	5.70E-10	0.0211	0.0072	0.0050
1990	-	-	0.0080	0.0207	-	-	0.0014	-	0.0030	0.0006	0.0149	0.0328	0.0347	-	0.0019	-	0.0085	1.48E-11	0.0057	0.0047	0.0075
1991	-	-	0.0103	0.0229	-	-	0.0027	-	0.0033	0.0006	0.0157	0.0332	0.0425	-	0.0032	0.0740	0.0288	4.74E-11	0.0045	0.0055	0.0020
1992	-	-	0.0092	0.0184	-	-	0.0003	-	0.0018	0.0002	0.0106	0.0227	0.0479	-	0.0001	0.0206	0.0482	1.30E-12	0.0047	0.0024	0.0004
1993	0.0530	-	0.0160	0.0393	-	-	0.0126	-	0.0024	0.0007	0.0152	0.0339	0.0466	-	0.0014	0.0167	0.0228	3.95E-11	0.0065	0.0054	0.0012
1994	0.0891	0.0038	0.0145	0.0286	0.0075	-	0.0061	0.0029	0.0030	0.0009	0.0123	0.0366	0.0150	-	0.0030	0.0256	0.0096	2.87E-11	0.0062	0.0070	0.0016
1995	0.0914	0.0003	0.0059	0.0215	0.0006	-	0.0045	0.0030	0.0017	0.0005	0.0101	0.0336	0.0337	-	0.0022	0.0210	0.0417	5.59E-11	0.0043	0.0024	0.0016
1996	0.0905	0.0003	0.0080	0.0325	0.0055	-	0.0032	0.0016	0.0045	0.0018	0.0148	0.0471	0.0160	-	0.0034	0.0303	0.0156	1.90E-10	0.0078	0.0088	0.0052
1997	0.0926	0.0002	0.0078	0.0146	0.0048	-	0.0029	0.0019	0.0032	0.0020	0.0150	0.0529	0.0083	0.0010	0.0035	0.0120	0.0127	4.64E-11	0.0053	0.0067	0.0039
1998	0.0952	0.0005	0.0050	0.0301	0.0018	0.0484	0.0005	0.0017	0.0044	0.0020	0.0156	0.0388	0.0218	0.0001	0.0016	0.0104	0.0357	2.89E-12	0.0033	0.0226	0.0027
1999	0.0953	0.0003	0.0118	0.0519	0.0001	0.0236	0.0043	0.0011	0.0011	0.0002	0.0119	0.0335	0.0504	0.0001	0.0013	0.0172	0.0342	1.87E-11	0.0103	0.0009	0.0010
2000	0.0942	0.0003	0.0101	0.0166	0.0012	0.0121	0.0040	0.0008	0.0033	0.0007	0.0148	0.0311	0.0324	0.0001	0.0017	0.0151	0.0482	5.89E-11	0.0094	0.0099	0.0024
2001	0.0929	0.0002	0.0069	0.0266	0.0038	0.0262	0.0015	0.0009	0.0055	0.0021	0.0180	0.0268	0.0503	0.0004	0.0034	0.0284	0.0526	7.55E-11	0.0070	0.0103	0.0076
2002	0.1149	0.0003	0.0079	0.0381	0.0042	0.0229	0.0014	0.0008	0.0023	0.0004	0.0131	0.0251	0.0942	0.0001	0.0001	0.0135	0.0317	2.37E-11	0.0066	0.0021	0.0009
2003	0.0767	0.0002	0.0060	0.0155	0.0015	0.0243	0.0008	0.0012	0.0050	0.0021	0.0181	0.0345	0.0426	0.0003	0.0016	0.0203	0.0450	6.93E-11	0.0094	0.0099	0.0049
2004	0.0648	0.0002	0.0052	0.0118	0.0015	0.0085	0.0009	0.0007	0.0024	0.0004	0.0163	0.0255	0.0217	0.0000	0.0005	0.0113	0.0373	1.60E-11	0.0025	0.0047	0.0021
2005	0.0834	0.0001	0.0117	0.0211	0.0040	0.0229	0.0015	0.0039	0.0012	0.0003	0.0156	0.0239	0.0337	0.0000	0.0003	0.0101	0.0388	3.02E-11	0.0030	0.0007	0.0008
2006	0.0890	0.0003	0.0068	0.0530	0.0114	0.0473	0.0049	0.0023	0.0031	0.0004	0.0182	0.0423	0.0206	0.0001	0.0028	0.0134	0.0421	9.58E-11	0.0066	0.0048	0.0023
2007	0.0883	0.0001	0.0061	0.0299	0.0046	0.0157	0.0018	0.0007	0.0005	0.0005	0.0129	0.0362	0.0158	0.0000	0.0033	0.0191	0.0283	1.81E-11	0.0062	0.0034	0.0007
2008	0.0859	0.0002	0.0075	0.0428	0.0025	0.0215	0.0003	0.0008	0.0021	0.0000	0.0092	0.0239	0.0188	0.0000	0.0001	0.0116	0.0232	1.67E-11	0.0025	0.0043	0.0028
<b>Mín.</b>	0.0530	0.0001	0.0050	0.0118	0.0001	0.0085	0.0003	0.0007	0.0005	0.0000	0.0092	0.0227	0.0083	0.0000	0.0001	0.0101	0.0085	1.30E-12	0.0025	0.0007	0.0004
<b>Máx.</b>	0.1149	0.0038	0.0160	0.0530	0.0114	0.0484	0.0261	0.0039	0.0058	0.0021	0.0182	0.0529	0.0942	0.0010	0.0035	0.0740	0.0526	5.70E-10	0.0211	0.0226	0.0076
<b>Médi o</b>	0.0873	0.0005	0.0087	0.0276	0.0037	0.0249	0.0041	0.0016	0.0030	0.0009	0.0145	0.0332	0.0342	0.0002	0.0019	0.0206	0.0317	7.10E-11	0.0066	0.0062	0.0028

INCREMENTO DOS VALORES DA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO ENTRE 2005 E 2006



## **4.2 - Avaliação dos parâmetros descritores da qualidade da água das afluentes às albufeiras e do correspondente balanço de volumes**

### Temperatura da água

Os valores médios da temperatura da água dos caudais afluentes às albufeiras (Quadro 7), não reflectem o incremento que se verificou na temperatura da água dessas albufeiras a partir do ano de 2003. O aumento médio da temperatura média do ar, desde o início da década de 1970 foi de 0.33 °C, em cada década (IM, 2009). Esta variação não tem uma repercussão evidente na temperatura da água, quando se consideram valores médios diários. O ano de 2006, por exemplo, que de acordo com o Instituto de Meteorologia foi um dos anos mais quentes desde 1931, para o qual se registou uma anomalia dos valores de temperatura do ar de +1°C, em relação ao valor médio do período de referência (1961-1990), não determinou um incremento evidente dos valores médios da temperatura da água.

No entanto, quando se consideram os valores máximos diários de temperatura da água afluenta (Quadro 8), verifica-se que em 68% das linhas de água o valor máximo ocorre no ano de 2003. Este facto vem confirmar o que anteriormente se referiu, relativamente aos valores médios da temperatura da água. De facto, apenas a onda de calor que ocorreu durante o ano de 2003, e que de acordo com o Instituto de Meteorologia foi a maior da última década, é reflectida nos valores da temperatura da água afluenta às albufeiras.

### Oxigénio dissolvido

Os valores da concentração oxigénio dissolvido que caracterizam as afluentes às albufeiras no período temporal compreendido entre os anos de 1989 e 2008, não indicam uma diminuição dos valores da concentração deste parâmetro a partir do ano de 2003 (Quadro 9). Este facto pode ser uma consequência da reduzida discretização das amostras obtidas nas linhas de água.

Quadro 7. Valor médio da temperatura da água (°C) nas aflúências a cada uma das albufeiras (Período temporal 1989-2008)

Ano	Cercosa	Vale Covo	Penha Garcia	Alto Cávado	São Domingos	Enxó é	Monte Novo	Funch o	Azib o	Fronhas	Crestum a-Lever	Torrã o	Odelei te	Caia	Alto Lindos o	Aguiei ra	Santa Clara	Alto Rabagão	Cabril
1989	16.01	17.13	16.63	13.86	17.60	17.52	15.37	15.21	14.61	15.41	15.95	16.01	19.04	14.08	13.86	16.57	19.81	14.15	16.35
1990	15.49	16.46	16.34	13.44	17.08	17.15	14.88	14.92	14.08	14.94	15.41	15.52	18.62	13.87	13.44	16.04	19.47	13.87	15.96
1991	15.13	15.90	15.97	12.83	16.59	17.03	14.60	14.67	13.57	14.62	14.91	15.07	18.40	13.69	12.83	15.68	19.18	13.47	15.71
1992	15.04	15.68	15.97	12.81	16.55	16.94	14.37	14.65	13.42	14.51	14.83	15.00	18.44	13.58	12.81	15.56	19.06	13.46	15.69
1993	14.40	15.00	15.20	12.24	16.38	16.23	13.28	13.92	12.84	14.05	14.28	14.49	17.53	13.02	12.24	15.07	18.37	13.05	15.01
1994	15.03	16.23	16.12	13.19	16.71	17.00	14.48	14.61	13.94	14.49	14.77	14.96	18.53	13.67	13.19	15.53	19.07	13.71	15.64
1995	15.93	16.83	16.51	13.71	17.71	17.52	15.38	15.19	14.33	15.39	15.88	15.95	19.04	14.09	13.71	16.55	19.83	14.06	16.38
1996	14.92	15.83	15.82	12.75	16.84	16.92	14.43	14.68	13.47	14.45	14.71	14.89	18.45	13.60	12.75	15.51	19.20	13.41	15.53
1997	16.02	16.85	16.40	13.68	17.94	17.49	15.31	15.26	14.35	15.46	16.00	16.06	18.97	14.01	13.68	16.63	19.99	14.04	16.30
1998	15.74	16.32	16.30	13.33	17.04	17.23	14.96	15.02	13.96	15.14	15.56	15.66	18.71	13.87	13.33	16.23	19.53	13.83	16.15
1999	14.87	15.78	15.88	12.78	16.77	16.74	14.15	14.45	13.48	14.38	14.64	14.82	18.24	13.51	12.78	15.44	18.86	13.44	15.50
2000	14.99	15.80	15.88	12.82	17.06	17.10	14.61	14.87	13.51	14.54	14.78	14.95	18.61	13.66	12.82	15.58	19.43	13.44	15.63
2001	15.14	15.91	16.09	12.97	17.04	17.13	14.62	14.90	13.61	14.65	14.92	15.07	18.69	13.71	12.97	15.73	19.42	13.57	15.74
2002	15.28	16.27	16.12	13.14	16.94	17.12	14.66	14.86	13.87	14.64	15.08	15.23	18.72	13.74	13.14	15.73	19.39	13.69	15.70
2003	15.49	16.51	16.31	13.42	17.29	17.24	14.90	14.96	14.14	14.91	15.32	15.45	18.76	13.86	13.42	16.03	19.54	13.85	15.92
2004	15.24	16.05	16.24	13.12	17.02	17.21	14.85	14.95	13.76	14.70	15.00	15.15	18.79	13.83	13.12	15.76	19.33	13.65	15.95
2005	15.20	15.92	16.08	13.07	16.90	16.95	14.46	14.60	13.69	14.73	15.03	15.17	18.32	13.63	13.07	15.80	19.09	13.62	15.86
2006	15.78	16.61	16.55	13.60	17.62	17.44	15.37	15.28	14.20	15.23	15.63	15.72	18.98	14.04	13.60	16.33	19.87	13.96	16.33
2007	15.04	15.59	15.88	12.82	16.77	16.91	14.38	14.70	13.42	14.59	14.91	15.06	18.49	13.55	12.82	15.63	19.10	13.46	15.70
2008	14.74	15.51	15.75	12.61	16.87	16.77	14.16	14.54	13.30	14.25	14.48	14.68	18.30	13.47	12.61	15.29	18.94	13.30	15.41
<b>Mín.</b>	14.40	15.00	15.20	12.24	16.38	16.23	13.28	13.92	12.84	14.05	14.28	14.49	17.53	13.02	12.24	15.07	18.37	13.05	15.01
<b>Máx.</b>	16.02	17.13	16.63	13.86	17.94	17.52	15.38	15.28	14.61	15.46	16.00	16.06	19.04	14.09	13.86	16.63	19.99	14.15	16.38
<b>Médi o</b>	15.27	16.11	16.10	13.11	17.03	17.08	14.66	14.81	13.78	14.75	15.10	15.25	18.58	13.72	13.11	15.83	19.32	13.65	15.82



**Quadro 8.** Valor máximo da temperatura da água (°C) nas aflúências a cada uma das albufeiras (Período temporal 1989-2008)

Ano	Cercosa	Vale Covo	Penha Garcia	Alto Cávado	São Domingos	Enxó é	Monte Novo	Funcho	Azibo	Fronhas	Crestuma-Lever	Torrão	Odeleite	Caia	Alto Lindoso	Aguieira	Santa Clara	Alto Rabagão	Cabril
1989	30.99	32.70	28.62	26.95	28.93	28.44	32.54	26.92	28.00	29.11	31.93	30.53	32.93	22.76	26.95	31.92	32.97	22.91	29.49
1990	31.20	33.36	28.73	28.48	28.05	28.50	33.58	27.61	28.79	28.90	31.44	30.17	33.03	23.20	28.48	31.33	34.15	23.86	29.67
1991	31.36	32.85	29.75	27.27	29.57	30.09	36.25	30.92	28.07	29.48	32.12	30.68	35.65	24.03	27.27	32.00	37.42	23.11	30.73
1992	29.02	31.65	28.33	26.99	26.53	28.54	32.75	27.92	27.15	27.46	29.64	28.50	32.04	22.71	26.99	29.86	33.89	22.85	27.89
1993	28.59	31.99	28.45	26.79	27.87	28.27	32.10	27.06	27.43	26.94	28.64	27.65	31.36	22.35	26.79	29.30	33.30	22.72	27.80
1994	26.20	29.60	26.47	24.74	25.60	26.35	28.81	24.57	25.44	24.72	26.77	25.89	31.66	20.90	24.74	26.84	29.95	21.32	25.46
1995	30.43	33.60	29.00	28.11	28.28	29.76	34.82	29.17	28.67	29.29	31.23	29.74	32.84	23.37	28.11	31.66	35.45	23.56	29.34
1996	28.35	30.63	27.10	25.70	25.90	27.05	30.94	25.04	26.45	26.53	28.98	27.70	31.34	21.48	25.70	28.93	30.64	21.95	27.46
1997	29.68	30.88	27.43	26.21	25.52	27.20	30.99	25.46	26.26	27.77	30.52	29.24	29.50	21.81	26.21	30.19	32.17	22.39	28.45
1998	30.78	33.29	28.35	28.58	27.85	27.81	31.59	26.98	28.65	28.50	31.19	29.93	31.51	22.38	28.58	30.71	32.30	23.91	29.18
1999	28.51	31.24	28.13	26.67	26.56	27.56	32.77	25.90	26.58	27.01	29.37	27.94	30.92	22.74	26.67	29.22	31.84	22.67	28.13
2000	28.42	31.54	27.38	26.80	26.98	28.02	31.56	27.25	27.02	27.02	30.17	28.77	31.55	22.17	26.80	29.49	32.81	22.76	27.77
2001	28.36	31.41	27.75	26.57	26.24	26.87	30.54	25.35	26.98	26.53	28.55	27.52	30.73	21.86	26.57	28.52	31.21	22.61	27.54
2002	27.61	30.23	26.84	24.96	27.03	26.66	30.53	25.11	25.57	26.28	27.82	26.80	29.65	21.49	24.96	28.29	30.64	21.51	27.40
2003	32.11	34.24	29.70	29.04	30.28	30.55	36.17	30.10	29.34	29.91	33.39	31.77	33.75	24.28	29.04	32.75	37.06	24.34	30.64
2004	28.68	31.71	29.32	26.77	27.66	29.98	34.72	30.06	27.33	26.56	29.03	27.85	35.21	23.70	26.77	28.63	35.47	22.80	28.74
2005	29.65	31.66	27.87	27.15	29.64	27.76	31.82	26.09	27.24	28.12	30.76	29.24	30.75	22.33	27.15	30.50	32.76	22.97	28.66
2006	30.40	32.81	28.54	27.24	29.41	28.68	34.09	28.41	27.24	28.70	31.51	30.09	33.92	23.02	27.24	31.34	33.51	22.99	29.02
2007	28.64	31.11	27.62	26.02	27.10	28.79	33.31	28.84	26.54	26.90	29.26	28.10	33.71	22.59	26.02	28.95	33.89	22.16	28.13
2008	27.90	32.26	27.73	27.11	24.24	26.71	30.31	25.03	27.18	25.79	28.81	27.55	30.82	21.79	27.11	27.74	30.39	22.98	27.12
<b>Mín.</b>	26.20	29.60	26.47	24.74	24.24	26.35	28.81	24.57	25.44	24.72	26.77	25.89	29.50	20.90	24.74	26.84	29.95	21.32	25.46
<b>Máx.</b>	32.11	34.24	29.75	29.04	30.28	30.55	36.25	30.92	29.34	29.91	33.39	31.77	35.65	24.28	29.04	32.75	37.42	24.34	30.73
<b>Médi o</b>	29.34	31.94	28.16	26.91	27.46	28.18	32.51	27.19	27.29	27.58	30.06	28.78	32.14	22.55	26.91	29.91	33.09	22.82	28.43

**Quadro 9.** Valor médio da concentração de Oxigénio dissolvido (mg/L) nas aflúências a cada uma das albufeiras (Período temporal 1989-2008)

Ano	Cercosa	Vale Covo	Penha Garcia	Alto Cávado	São Domingos	Enxó	Monte Novo	Funcho	Azibó	Fronhas	Crestum a-Lever	Torrão	Odeleite	Caiã	Alto Lindoso	Aguieira	Santa Clara	Alto Rabagão	Cabril
1989	-	-	8.79	9.41	-	-	8.38	-	8.76	8.83	10.12	8.62	-	9.80	-	9.49	7.71	9.33	10.51
1990	-	-	8.79	9.41	-	-	8.38	-	8.76	8.83	8.73	8.73	-	8.38	-	7.03	7.71	9.33	10.53
1991	-	-	8.79	9.41	-	-	8.38	-	8.76	8.83	9.18	9.23	-	9.22	-	10.31	8.29	9.33	8.38
1992	-	-	8.79	9.41	-	-	8.38	-	8.76	8.83	8.99	9.28	-	8.64	8.50	13.24	9.02	9.33	9.88
1993	-	-	8.79	9.41	-	-	8.38	-	8.74	8.83	9.24	9.27	-	7.85	8.50	13.49	8.16	9.33	9.94
1994	8.12	8.21	8.79	9.41	10.43	-	8.38	10.02	8.34	8.83	8.89	9.36	-	7.85	8.50	15.05	8.09	9.33	11.15
1995	8.12	8.21	8.79	9.53	10.43	-	8.38	10.02	8.08	8.83	8.51	8.26	-	7.17	8.50	13.48	8.63	8.93	12.26
1996	8.12	8.21	8.79	9.61	10.43	-	8.32	10.02	8.11	8.83	8.98	7.73	-	8.41	8.46	13.83	8.85	9.85	12.66
1997	8.12	8.21	8.79	8.75	10.43	-	8.35	10.02	8.30	8.83	8.73	7.54	9.22	8.33	8.33	12.69	8.44	8.45	12.71
1998	8.12	8.21	8.79	8.93	10.43	7.13	7.42	10.02	8.23	8.83	8.83	8.06	8.64	6.13	9.08	13.43	7.31	8.96	12.95
1999	8.12	8.21	8.79	9.67	9.33	7.73	8.13	10.02	7.86	8.83	9.09	7.99	9.45	6.72	8.88	9.79	6.96	9.45	9.11
2000	8.12	8.21	8.79	9.67	9.34	6.08	7.59	10.02	8.24	8.83	9.05	8.28	10.28	5.98	8.78	8.96	6.55	9.74	9.45
2001	8.12	8.21	9.00	9.43	9.29	6.11	7.56	9.85	9.37	9.18	9.54	9.45	9.90	6.68	8.50	9.43	7.34	10.06	9.47
2002	8.64	8.21	8.89	8.66	9.52	5.23	8.00	10.10	8.98	8.95	8.84	9.34	9.82	8.04	8.50	8.91	8.02	9.18	9.28
2003	7.87	8.21	8.11	9.53	10.08	7.05	8.40	10.74	9.37	8.31	9.14	9.35	9.67	7.53	8.50	8.28	7.64	9.73	8.22
2004	9.10	8.21	8.78	9.57	10.41	9.10	8.59	9.75	9.28	9.18	8.51	8.77	9.79	7.43	8.50	9.11	7.82	9.62	9.47
2005	8.50	8.21	8.97	9.60	10.59	6.84	8.60	10.56	8.68	9.03	8.72	9.08	9.58	7.51	8.50	8.40	7.27	9.26	9.51
2006	7.65	8.21	8.40	9.32	11.60	9.36	9.02	10.01	9.40	8.59	9.17	9.43	10.10	8.09	8.50	8.00	6.99	9.08	8.72
2007	7.68	8.21	8.64	9.22	11.41	9.18	8.97	9.73	9.08	8.87	8.90	8.61	8.82	7.73	8.50	8.32	6.88	9.29	8.87
2008	7.88	8.21	8.72	8.95	11.60	8.27	9.82	10.02	9.67	8.64	8.82	9.29	9.61	7.25	8.50	8.45	7.03	9.38	9.03
<b>Mín.</b>	7.65	8.21	8.11	8.66	9.29	5.23	7.42	9.73	7.86	8.31	8.51	7.54	8.64	5.98	8.33	7.03	6.55	8.45	8.22
<b>Máx.</b>	9.10	8.21	9.00	9.67	11.60	9.36	9.82	10.74	9.67	9.18	10.12	9.45	10.28	9.80	9.08	15.05	9.02	10.06	12.95
<b>Médi o</b>	8.15	8.21	8.75	9.34	10.36	7.46	8.37	10.06	8.74	8.84	9.00	8.78	9.57	7.74	8.56	10.48	7.73	9.35	10.10

### Ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub>)

No Quadro 1010, são apresentados os anos em que ocorreram os valores mais elevados da concentração média anual de P-PO<sub>4</sub> nas albufeiras, e os anos em que se observaram os valores anuais mais elevados da concentração deste parâmetro nas afluências às mesmas.

Os resultados obtidos permitem concluir que, em 72% das albufeiras, os valores mais elevados da concentração de P-PO<sub>4</sub> surgem no mesmo ano em que se registou, também, o valor mais elevado da carga de fósforo afluente às albufeiras.

**Quadro 10.** Ano em que se registou o valor médio anual mais elevado da concentração média de P-PO<sub>4</sub> em cada uma das albufeiras e o valor máximo da concentração nas correspondentes afluências

Albufeira	Ano	Caudal afluente
Cercosa	2002	2002
Penha Garcia	2003	2006
Alto Cávado	2005	2005
São Domingos	2001	2001
Enxoé	2007	2001
Monte Novo	2003	1993
Funcho	2002	2002
Azibo	1995	1995
Fronhas	2005	2005
Crestuma-Lever	2004	2004
Torrão	2005	2005
Odeleite	2002	2002
Caia	1995	1995
Alto Lindoso	1999	1999
Aguieira	1999	1999
Santa Clara	2008	1999
Alto Rabagão	2004	2004
Cabril	1993	1992

No Quadro 1111 pode observar-se os valores da concentração de P-PO<sub>4</sub>, que caracterizam as afluências às albufeiras simuladas. No mesmo quadro, são assinalados os anos em que se registaram os valores mais elevados da concentração deste parâmetro.

A análise realizada permitiu concluir que em 42% das albufeiras os valores mais elevados da concentração de P-PO<sub>4</sub>, surgem após o ano de 2003.

Quadro 11. Valor médio da concentração de Ortofosfatos (mg/L) nas aflúências a cada uma das albufeiras (Período temporal 1989-2008)

Ano	Cercosa	Vale Covo	Penha Garcia	Alto Cávado	São Domingos	Enxó	Monte Novo	Funcho	Azibo	Fronhas	Crestum a-Lever	Torrão	Odeleite	Caia	Alto Lindoso	Aguieira	Santa Clara	Alto Rabagão	Cabril
1989	-	-	0.014	0.027	-	-	0.009	-	0.027	0.014	0.068	0.025	-	0.027	-	0.028	0.006	0.028	0.026
1990	-	-	0.014	0.027	-	-	0.007	-	0.027	0.014	0.060	0.024	-	0.021	-	0.034	0.006	0.028	0.027
1991	-	-	0.014	0.027	-	-	0.009	-	0.027	0.014	0.010	0.004	-	0.006	-	0.030	0.004	0.028	0.017
1992	-	-	0.014	0.027	-	-	0.040	-	0.027	0.014	0.023	0.015	-	0.012	0.027	0.030	0.006	0.028	0.138
1993	-	-	0.014	0.027	-	-	1.471	-	0.027	0.014	0.064	0.026	-	0.008	0.027	0.011	0.006	0.028	0.013
1994	0.015	0.033	0.014	0.027	0.024	-	0.013	0.014	0.359	0.014	0.038	0.026	-	0.035	0.027	0.013	0.007	0.028	0.026
1995	0.015	0.033	0.014	0.027	0.024	-	0.018	0.014	0.026	0.014	0.034	0.040	-	1.474	0.027	0.012	0.007	0.029	0.014
1996	0.015	0.033	0.014	0.026	0.024	-	0.008	0.014	0.025	0.014	0.036	0.026	-	0.012	0.027	0.011	0.007	0.026	0.013
1997	0.015	0.033	0.014	0.027	0.024	-	0.005	0.014	0.026	0.014	0.039	0.030	0.012	0.014	0.026	0.029	0.006	0.026	0.017
1998	0.015	0.033	0.014	0.028	0.024	0.014	0.017	0.014	0.029	0.014	0.042	0.029	0.010	0.017	0.026	0.022	0.006	0.030	0.014
1999	0.015	0.033	0.014	0.028	0.006	0.008	0.009	0.014	0.027	0.014	0.048	0.032	0.010	0.006	0.029	0.078	0.008	0.026	0.041
2000	0.015	0.033	0.014	0.027	0.010	0.007	0.012	0.014	0.027	0.014	0.040	0.037	0.011	0.005	0.027	0.025	0.004	0.028	0.016
2001	0.015	0.033	0.007	0.027	0.037	0.019	0.008	0.018	0.036	0.016	0.052	0.031	0.015	0.019	0.027	0.042	0.005	0.028	0.029
2002	0.024	0.033	0.023	0.030	0.012	0.014	0.008	0.023	0.027	0.015	0.045	0.030	0.023	0.009	0.027	0.065	0.007	0.025	0.021
2003	0.013	0.033	0.011	0.026	0.023	0.014	0.011	0.011	0.026	0.012	0.039	0.026	0.010	0.012	0.027	0.021	0.007	0.037	0.014
2004	0.011	0.033	0.011	0.009	0.013	0.010	0.014	0.011	0.010	0.011	0.439	0.018	0.010	0.008	0.027	0.021	0.007	0.009	0.016
2005	0.012	0.033	0.013	0.054	0.022	0.015	0.011	0.014	0.036	0.022	0.155	0.073	0.012	0.011	0.027	0.035	0.007	0.076	0.018
2006	0.013	0.033	0.188	0.016	0.036	0.018	0.829	0.015	0.024	0.013	0.039	0.019	0.015	0.010	0.027	0.028	0.007	0.015	0.024
2007	0.018	0.033	0.010	0.031	0.037	0.009	0.136	0.012	0.034	0.010	0.044	0.030	0.012	0.012	0.027	0.029	0.006	0.026	0.023
2008	0.016	0.033	0.012	0.027	0.028	0.010	0.174	0.013	0.022	0.011	0.036	0.029	0.013	0.009	0.027	0.030	0.008	0.021	0.018
Mín.	0.011	0.033	0.007	0.009	0.006	0.007	0.005	0.011	0.010	0.010	0.010	0.004	0.010	0.005	0.026	0.011	0.004	0.009	0.013
Máx.	0.024	0.033	0.188	0.054	0.037	0.019	1.471	0.023	0.359	0.022	0.439	0.073	0.023	1.474	0.029	0.078	0.008	0.076	0.138
Médi o	0.015	0.033	0.022	0.027	0.023	0.013	0.140	0.015	0.043	0.014	0.068	0.028	0.013	0.086	0.027	0.030	0.006	0.028	0.026

INCREMENTO DOS VALORES DA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO ENTRE 2005 E 2006

### Nitratos (NO<sub>3</sub>)

Os valores da concentração de NO<sub>3</sub>, que caracterizam as afluições às albufeiras, não indicam que se tenha verificado um incremento dos valores da concentração deste parâmetro, que coincida com o aumento dos valores da temperatura da água das albufeiras, que ocorre entre os anos de 2003 e de 2008 (Quadro 1212). Este facto confirma o pressuposto de que se partiu neste estudo, segundo o qual não foi um incremento da carga afluyente de origem difusa que provocou o aumento dos valores concentração de P-PO<sub>4</sub>, em algumas das albufeiras estudadas.

### Caudal afluyente

No Quadro 1313 pode observar-se a evolução dos valores médios anuais de caudal afluyente a cada uma das albufeiras. No mesmo Quadro, são identificados os anos em que ocorreram os menores valores de caudal. O ano de 2005 foi, de acordo com a análise realizada, um ano seco em que as disponibilidades hídricas de 42% das albufeiras foram as menores dos últimos 20 anos.

De acordo com o Instituto de Meteorologia, o ano de 2005 foi um ano extremamente seco, tendo sido registado o valor mais baixo do total de precipitação desde 1931 (IM, 2005).

Quadro 12. Valor médio da concentração de Nitratos (mg/L) nas aflúências a cada uma das albufeiras (Período temporal 1989-2008)

Ano	Cercosa	Vale Covo	Penha Garcia	Alto Cávado	São Domingos	Enxó é	Monte Novo	Funcho	Azib o	Fronhas	Crestum a-Lever	Torrã o	Odeleite	Cai a	Alto Lindoso	Aguieira	Santa Clara	Alto Rabagão	Cabril
1989	-	-	0.49	0.55	-	-	0.30	-	0.61	0.59	1.41	0.83	-	0.21	-	0.56	0.23	0.60	0.52
1990	-	-	0.49	0.55	-	-	0.30	-	0.61	0.59	1.34	0.81	-	0.72	-	0.58	0.23	0.60	0.66
1991	-	-	0.49	0.55	-	-	0.30	-	0.61	0.59	0.92	0.68	-	0.43	-	0.50	0.09	0.60	0.54
1992	-	-	0.49	0.55	-	-	0.30	-	0.61	0.59	1.05	0.71	-	0.20	0.55	0.27	0.05	0.60	0.49
1993	-	-	0.49	0.55	-	-	0.30	-	0.59	0.59	1.35	0.86	-	0.24	0.55	0.44	0.13	0.60	0.62
1994	0.74	0.52	0.49	0.55	1.51	-	0.27	0.29	0.55	0.59	0.92	0.72	-	0.45	0.55	0.54	0.06	0.60	0.66
1995	0.74	0.52	0.49	0.77	1.51	-	0.15	0.29	0.65	0.59	1.46	1.09	-	4.04	0.55	0.38	0.20	0.97	0.62
1996	0.74	0.52	0.49	0.86	1.51	-	0.46	0.29	1.64	0.59	1.69	0.77	-	1.27	0.58	0.38	0.22	1.23	0.77
1997	0.74	0.52	0.49	0.58	1.51	-	0.32	0.29	0.91	0.59	1.62	0.77	0.14	0.38	0.64	0.26	0.26	0.51	0.12
1998	0.74	0.52	0.49	0.84	1.51	0.36	0.36	0.29	0.70	0.59	1.69	0.78	0.14	0.42	0.61	0.60	0.29	0.92	0.66
1999	0.74	0.52	0.49	0.46	0.87	0.20	0.15	0.29	0.46	0.59	1.17	0.67	0.17	0.34	0.48	0.71	0.20	0.46	1.00
2000	0.74	0.52	0.49	0.46	1.30	0.18	0.24	0.29	0.50	0.59	1.13	0.81	0.15	0.34	0.58	0.82	0.15	0.46	0.96
2001	0.74	0.52	0.31	0.51	2.78	0.29	0.36	0.26	0.46	0.86	1.69	0.76	0.18	0.59	0.55	0.66	0.29	0.52	0.67
2002	0.68	0.52	0.51	0.46	1.02	0.10	0.13	0.22	0.64	0.66	1.13	0.76	0.09	0.23	0.55	0.78	0.17	0.50	0.75
2003	0.80	0.52	0.47	0.76	2.04	0.24	0.40	0.22	0.55	0.60	3.59	0.87	0.09	0.46	0.55	0.61	0.30	0.56	0.76
2004	0.67	0.52	0.51	0.29	1.28	0.19	0.25	0.32	0.27	0.51	1.31	0.78	0.25	0.39	0.55	0.61	0.19	0.48	0.67
2005	0.75	0.52	0.62	0.36	1.01	0.20	0.14	0.37	0.32	0.55	1.12	0.64	0.23	0.17	0.55	0.65	0.14	0.33	0.77
2006	0.82	0.52	1.20	0.48	2.35	0.32	0.30	0.43	0.52	0.59	1.16	0.74	0.22	0.28	0.55	0.78	0.24	0.50	0.85
2007	0.62	0.52	0.45	0.54	1.93	0.64	0.50	0.21	0.54	0.51	1.33	0.92	0.21	0.83	0.55	0.55	0.45	0.58	0.68
2008	0.77	0.52	0.46	0.55	0.83	0.53	0.46	0.24	0.45	0.49	1.14	0.80	0.21	0.64	0.55	0.61	0.45	0.47	0.68
Mín.	0.62	0.52	0.31	0.29	0.83	0.10	0.13	0.21	0.27	0.49	0.92	0.64	0.09	0.17	0.48	0.26	0.05	0.33	0.12
Máx.	0.82	0.52	1.20	0.86	2.78	0.64	0.50	0.43	1.64	0.86	3.59	1.09	0.25	4.04	0.64	0.82	0.45	1.23	1.00
Médi o	0.73	0.52	0.52	0.56	1.53	0.29	0.30	0.29	0.61	0.60	1.41	0.79	0.17	0.63	0.55	0.56	0.22	0.60	0.67

Quadro 13. Caudal médio anual afluyente a cada uma das albufeiras avaliadas (m<sup>3</sup>/s) (Período temporal 1989-2008)

Ano	Cercosa	Vale Covo	Penha Garcia	Alto Cávado	São Domingos	Enxó é	Monte Novo	Funcho	Azib o	Fronhas	Crestum a-Lever	Torrão	Odeleite	Caia	Alto Lindoso	Agueira	Santa Clara	Alto Rabação	Cabril
1989	-	-	0.049	3.175	-	-	0.133	-	0.823	17.565	419.544	54.529	-	3.710	-	73.024	2.439	6.531	44.318
1990	-	-	0.045	1.801	-	-	0.116	-	0.488	13.337	419.315	54.066	-	2.129	-	57.729	0.399	3.704	44.438
1991	-	-	0.045	2.656	-	-	0.027	-	0.483	15.424	428.070	62.136	-	2.708	-	61.372	1.236	5.463	44.157
1992	-	-	0.045	1.553	-	-	0.016	-	0.179	6.321	203.433	69.025	-	0.102	19.805	69.505	0.110	3.193	35.853
1993	-	-	0.068	2.716	-	-	0.219	-	0.630	12.554	372.365	66.677	-	0.569	32.076	61.331	0.920	5.587	30.265
1994	0.799	3.4E-04	0.068	3.295	0.044	-	0.227	3.475	0.694	12.002	455.934	71.398	-	1.537	46.505	46.989	0.596	6.777	29.031
1995	0.915	1.9E-03	0.044	3.630	0.047	-	0.294	3.953	0.538	10.791	364.431	79.443	-	1.769	44.447	57.461	2.268	7.466	24.088
1996	1.058	1.6E-03	0.045	3.844	0.158	-	0.137	4.354	1.226	26.654	898.574	101.096	-	7.337	53.640	97.799	6.681	7.905	79.559
1997	0.728	9.9E-04	0.045	3.535	0.125	-	0.120	6.738	1.175	16.457	635.380	77.274	4.472	9.685	44.678	53.881	6.437	7.270	51.281
1998	0.724	1.2E-03	0.046	2.477	0.010	0.202	0.032	3.627	0.696	16.085	537.613	65.753	1.028	2.634	35.892	59.721	1.430	5.094	34.749
1999	0.724	8.5E-04	0.052	2.728	0.130	0.229	0.060	2.607	0.272	8.054	316.556	76.626	1.334	0.697	37.431	83.412	4.761	5.610	15.677
2000	0.722	8.5E-04	0.046	3.788	0.059	0.082	0.368	3.494	1.367	19.712	585.079	107.829	1.773	2.568	57.365	130.750	2.824	7.791	57.207
2001	0.625	8.5E-04	0.032	5.775	0.158	0.266	0.030	4.010	2.568	28.208	1272.112	170.611	11.581	9.772	76.648	164.476	1.980	11.876	66.846
2002	0.788	8.5E-04	0.064	2.988	0.123	0.373	0.294	2.722	0.933	14.766	444.180	86.499	2.056	0.676	16.179	124.139	1.154	6.145	36.840
2003	0.711	8.5E-04	0.044	3.530	0.076	0.388	0.157	3.073	1.516	24.583	837.266	97.894	4.508	2.846	9.642	139.575	2.648	7.260	62.389
2004	0.461	8.5E-04	0.033	1.793	0.067	0.185	0.031	1.839	0.315	12.287	412.278	59.185	0.555	1.211	16.029	78.454	0.187	3.688	18.633
2005	0.418	2.0E-03	0.056	1.119	0.021	0.278	0.094	2.463	0.104	9.169	184.773	36.932	1.713	0.320	7.326	80.790	0.937	2.300	13.221
2006	0.814	1.3E-03	0.051	5.437	0.157	0.392	0.382	3.748	1.092	18.818	505.246	79.807	3.074	3.057	31.182	97.084	3.912	11.183	55.074
2007	0.701	4.1E-04	0.048	4.638	0.042	0.276	0.022	1.943	0.494	10.562	423.437	56.421	0.271	0.790	16.405	56.483	0.288	9.539	17.056
2008	0.589	9.4E-04	0.045	3.325	0.020	0.313	0.101	2.200	0.199	7.876	282.442	45.891	1.594	0.361	13.954	48.441	0.831	6.837	13.472
<b>Mín.</b>	0.418	3.4E-04	0.032	1.119	0.010	0.082	0.016	1.839	0.104	6.321	184.773	36.932	0.271	0.102	7.326	46.989	0.110	2.300	13.221
<b>Máx.</b>	1.058	2.0E-03	0.068	5.775	0.158	0.392	0.382	6.738	2.568	28.208	1272.112	170.611	11.581	9.772	76.648	164.476	6.681	11.876	79.559
<b>Médi o</b>	0.718	1.0E-03	0.049	3.190	0.082	0.271	0.143	3.350	0.790	15.061	499.901	75.955	2.830	2.724	32.894	82.121	2.102	6.561	38.708

INCREMENTO DOS VALORES DA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO ENTRE 2005 E 2006



De acordo com os resultados obtidos com a simulação matemática da evolução da qualidade da água das albufeiras consideradas, e com a análise dos dados de qualidade da água que permitiram caracterizar as afluências às mesmas, concluiu-se que:

- a) Ocorreu um incremento dos valores da temperatura da água das albufeiras com início no ano de 2003, que se prolongou até ao final do ano de 2008;
- b) Em 40% das albufeiras simuladas verificou-se a existência de valores elevados da concentração de P-PO<sub>4</sub>, a partir do ano de 2003, superiores a qualquer outro que tivesse sido obtido durante todo o período de simulação;
- c) Em 55% das albufeiras simuladas ocorreu um incremento dos valores médios anuais da concentração de P-PO<sub>4</sub>, a partir do ano de 2003;
- d) Os resultados obtidos indicam também que, a partir do ano de 2003, ocorreu uma redução generalizada dos valores médios e dos valores obtidos no segmento mais profundo das albufeiras, no que se refere à concentração de oxigénio dissolvido;
- e) Não se encontrou nenhuma correlação entre os valores máximos da concentração de biomassa algal e os valores mais elevados da concentração de P-PO<sub>4</sub>, obtidos nas albufeiras;
- f) Os valores médios da temperatura da água dos caudais afluentes às albufeiras, não reflectem o incremento que se verificou na temperatura da água das próprias albufeiras, a partir do ano de 2003;
- g) Não se verificou diminuição dos valores da concentração de oxigénio dissolvido nos caudais afluentes às albufeiras;
- h) Em 42% das albufeiras estudadas, os valores mais elevados da concentração de P-PO<sub>4</sub>, que caracterizam os caudais afluentes às mesmas, surgem após o ano de 2003;
- i) Em 72% das albufeiras estudadas, os valores mais elevados da concentração de P-PO<sub>4</sub> nas mesmas, surgem no mesmo ano em que ocorreram os valores mais elevados da carga de fósforo nas correspondentes afluências;
- j) Os valores da concentração de NO<sub>3</sub> que caracterizam as afluências às albufeiras, não indicam que se tenha verificado um incremento dos valores da concentração deste parâmetro, que coincida com o aumento dos valores da temperatura da água das albufeiras, que ocorre entre os anos de 2003 e de 2008. Este facto confirma o pressuposto de que se partiu neste estudo, segundo o qual não foi um incremento da carga afluente de origem difusa que provocou o aumento dos valores concentração de P-PO<sub>4</sub> em algumas das albufeiras estudadas, uma vez que os nitratos são mais susceptíveis de serem transportados de forma difusa pelo escoamento superficial do que os fosfatos;
- k) O ano de 2005 foi, de acordo com a análise realizada, um ano seco, em que as disponibilidades hídricas de 42% das albufeiras foram as menores dos últimos 20 anos.



## 5. CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos com este trabalho deve ser realizada tendo presente as limitações inerentes à simulação dos ciclos biogeoquímicos, cujos processos muitas vezes são complexos e não se encontram totalmente caracterizados. Deste modo, também a libertação de fósforo a partir dos sedimentos das massas de água é um processo que ainda não se encontra completamente descrito. Deve também referir-se que o modelo CE-QUAL-W2 tem uma limitação importante nas simulações a longo prazo, pelo facto de não simular os mecanismos que ocorrem nos sedimentos e na interface água-sedimento.

Os resultados obtidos com a análise realizada permitiram concluir que o incremento dos valores da concentração de ortofosfatos nas albufeiras avaliadas, durante o período compreendido entre os anos de 2003 a 2008, nas quais se incluem as albufeiras do Alto Rabagão e de Crestuma-Lever, resulta fundamentalmente do aumento dos valores da concentração de ortofosfatos nas linhas de água afluentes às albufeiras. Considera-se também que o referido incremento poderá resultar do aumento da temperatura do ar, que ocorreu no período compreendido entre os anos de 2003 a 2008, e/ou da redução dos valores da precipitação total anual, igualmente verificado neste período de tempo. A conjugação da redução do caudal afluente às albufeiras e o aumento da temperatura da água nas mesmas, parece ser susceptível de determinar alterações importantes na qualidade dessas massas de água.

O estudo realizado permitiu também verificar a existência de uma redução generalizada dos valores da concentração de oxigénio dissolvido em todas as albufeiras avaliadas, resultante do aumento da temperatura da água, como consequência das condições meteorológicas que ocorreram no período temporal avaliado.

Deve também referir-se que o incremento das valores da concentração de P-PO<sub>4</sub> nas albufeiras de Vale Côvo/Salgueiral, Penha Garcia, Alto Cávado, Enxoé, Monte Novo, Fronhas, Crestuma-Lever, Torrão, Aguieira, Santa Clara e Alto Rabagão, é preocupante, quando se considera os objectivos consignados na Lei da Água (Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro e Decreto-Lei n.º 77/2006 de 30 de Março).

As alterações climáticas podem modificar irreversivelmente estes sistemas, desequilibrando-os num período de tempo relativamente curto e assim afectar, entre outros usos, a produção de água para o consumo humano.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Auer, M. T., Johnson, M.T, Penn, N. A. e Effler, S. (1993). Measurement and verification of rates of sediment phosphorus release for a hypereutrophic urban lake. *Hydrobiologia*, Volume 253.
- Baldwin, D. S. e J. Williams (2007). Differential release of nitrogen and phosphorus from anoxic sediments. – *Chemistry and Ecology* 23: 243–249.
- Beutal, M. W. e Horne, A. J. (1999). A Review of the Effects of Hypolimnetic Oxygenation on Lake and Reservoir Water Quality. – *Lake Reserv. Manag.* 15: 285–297.
- Blomqvist, S., Gunnars, A. e Elmgren, R. (2004): Why the limiting nutrient differs between temperate coastal seas and freshwater lakes. A matter of salt. – *Limnol. Oceanogr.* 49: 2236–2241.
- Boström, B., Jansson, M., Forsberg, C. (1982). Phosphorus release from lake sediments. *Arch. Hydrobiol., Beih. Ergebn. Limnol.* 18, 5–59.
- Cole, T. M. and Wells, S. A. (2008). CE-QUAL-W2. A Two Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.2
- Einsele, W. (1936). Über die Beziehungen des Eisenkreislaufs zum Phosphatkreislauf im eutrophen See. – *Arch. Hydrobiol.* 29: 664–686.
- Einsele, W. (1938). Über chemische und kolloidchemische Vorgänge in Eisen-Phosphat- Systemen unter limnischen and limnogeologischen Gesichtspunkten. – *Arch. Hydrobiol.* 33: 361–387.
- Fox, L. E., Sager, S. L., e Wofsy, S. C. (1985). Factors controlling the concentrations of soluble phosphorus in the Mississippi estuary. *Limnol. Oceanogr.* 30: 826-832.
- Frevert, T. (1980). Dissolved oxygen dependent phosphorus release from profundal sediments of Lake Constance (Obersee). *Hydrobiologia* 74: 17-28.
- Froelich, P.N. (1988). Kinetic control of dissolved phosphate in natural rivers and estuaries: a primer on the phosphate buffer mechanism. *Limnol Oceanogr* 33:649–668.
- Geoffrey, P., Jackson, R., Bennett C. e Chilvers A. (1994). The importance of sediment phosphorus release in the restoration of very shallow lakes (The Norfolk Broads, England) and implications for biomanipulation *Hydrobiologia* 275/276: 445-456

- Goldman, R. Charles e Horne, Alexander J. (1983). *Limnologia*, McGraw-Hill, Inc.
- Grochowska, J. , Gawrońska, H. (2004). Original Research Restoration Effectiveness of a Degraded Lake Using Multi-Year Artificial Aeration Polish Journal of Environmental Studies Vol. 13, No. 6 (2004), 671-681.
- Hart, B. T., Roberts, S., James, R., O'Donohue, M., Taylor, J., Donnert D., e Furrer R. (2003). Active barriers to reduce Phosphorous release from sediments :effectiveness of three forms of  $\text{CaCO}_3$ . *Aust. J. Chem.* 2003, 56, 207-217.
- Hupfer, Michael e Lewandowski, Jörg ( 2008). *Oxygen Controls the Phosphorus Release from Lake Sediments – a Long-Lasting Paradigm in Limnology 2008 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 1434-2944/08/4-510-0415.*
- IM (2005). *Análise Climatológica 2006*, Instituto de Meteorologia.
- IM (2006). *Análise Climatológica 2006*, Instituto de Meteorologia.
- James, William F. ; Berko, John W. , Eakin, Harry L. (1995). *Phosphorus Loading in Lake Pepin (Minnesota-Wisconsin). Final report ADA304855.* Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg MS.
- Lone Liboriussen, Martin Søndergaard, Erik Jeppesen, Inge Thorsgaard, Simon Grunfeld, Tue S. Jakobsen e Kim Hansen (2009). Effects of hypolimnetic oxygenation on water quality: results from five Danish lakes *Hydrobiologia* (2009) 625:157–172.
- Longmore, Andrew R. e Roberts, Simon (2006). *Importance of Sediment Nutrients in the Gippsland Lakes. A report for the Gippsland Task Force.*
- Kamp-Nielsen, L. (1974). Mud-water exchange of phosphate and other ions in undisturbed sediment cores and the factors affecting the exchange rates. *Arch. Hydrobiol.* 73: 2 18-237.
- Katsev, S., Tsandev, I., L'Heureux, I., Rancourt, D. G. (2006.) Factors controlling long-term phosphorus efflux from lake sediments: Exploratory reactive-transport modelling. *Chemical Geology* 234 127–147.
- Kelderman, P. (1984). Sediment-water exchange in Lake Grevelingen under different environmental conditions. *Netherlands Journal of Sea Research* 18: 286–311.

- Kim, Lee-Hyung; Choi, Euiso; Gil, Kyung-Ik, e Stenstrom, M. K. (2003). Phosphorus release rates from sediments and pollutant characteristics in Han River, Seoul, Korea. doi:10.1016/j.scitotenv.2003.08.018.
- Mortimer, C. H. (1942). The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes. – J. Ecology 29: 280–329. – J. Ecology 30: 147–201.
- Paludan C. e Morris J.T. (1999). Distribution and speciation of phosphorus along a salinity gradient in intertidal marsh sediments. Biogeochem 45:197–221.
- Patrick, W. e Khalid, R. A. (1974). Phosphate release and sorption by soils and sediments: Effect of aerobic and anaerobic conditions. Science 186:53-55.
- Petticrew e Arocena (2000). Evaluation of iron-phosphate as a source of internal lake phosphorus loadings. The Science of the Total Environment 266 (2001) 87/93.
- Reed, D. C., Caroline, P. Slomp, e Gustafsson, Bo G. (2011). Sedimentary phosphorus dynamics and the evolution of bottom-water hypoxia: A coupled benthic–pelagic model of a coastal system Limnol. Oceanogr., 56(3), 2011, 1075–1092.
- Sen, S., Haggard, B.E., Chaubey, I., Brye, K.R., Matlock, M.D., Costello, T.A. (2004). Preliminary estimation of sediment phosphorus flux in Beaver Lake, Northwest Arkansas. In: Proceedings of American Society of Agricultural Engineers, August 1-4, 2004, Ottawa, Ontario, Canada. 2004.
- Spears, Bryan M., Carvalho, Laurence, Perkins, Rupert; Kirika, A., Paterson, D. M. (2007). Sediment phosphorus cycling in a large shallow lake: spatio-temporal variation in phosphorus pools and release. Hydrobiologia, 584. 37-48.
- Stumm, W. e Leckie, J.O. (1971). Phosphate Exchange with sediments: Its Role in the Production of Surface Waters. Proceedings of Fifth International Water Pollution Conference. Pergamon, London.
- Wang, Q. e Li. Y. (2010). Phosphorus adsorption and desorption behaviour on sediments of different origins. Springer-Verlag.
- Zwolsman. J.J.G. (1994). Seasonal variability and biogeochemistry of phosphorus in the Scheldt Estuary, southwest Netherlands. Estuar Coast Shelf Sci 39:227–248.

## ANEXO



## Calibração do modelo CE-QUAL-W2

### Temperatura da água

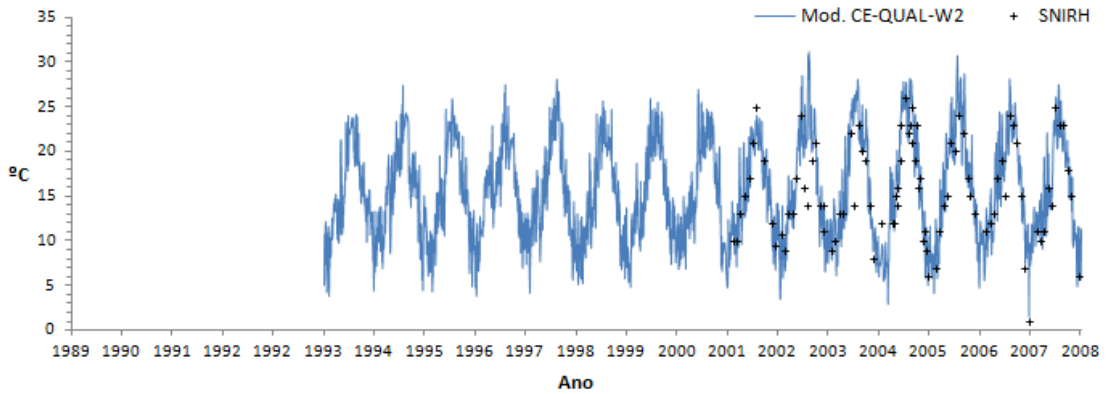


Figura 46. Temperatura da água – Albufeira da Cercosa

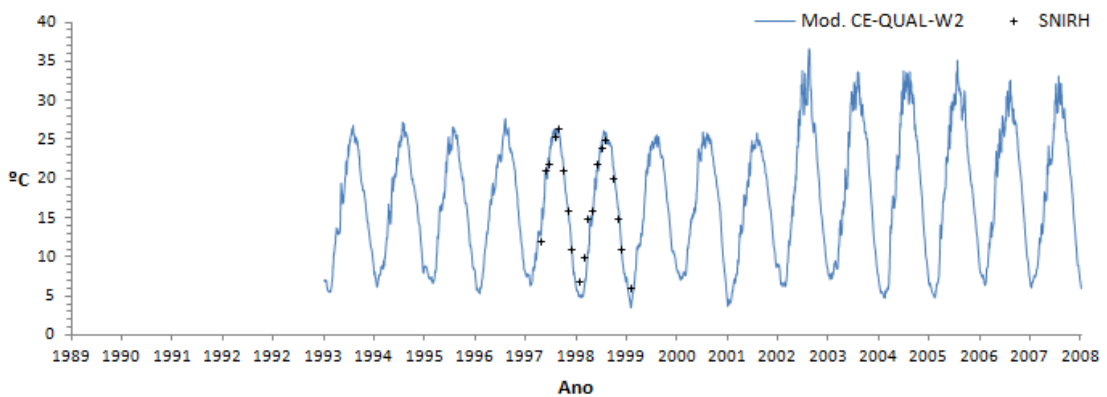


Figura 47. Temperatura da água – Albufeira de Vale Côvo/Salgueiral

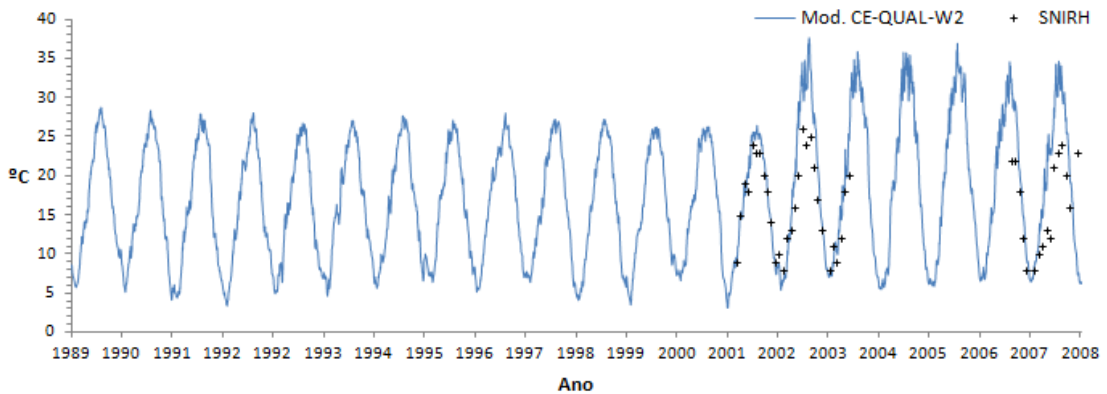


Figura 48. Temperatura da água – Albufeira de Penha Garcia

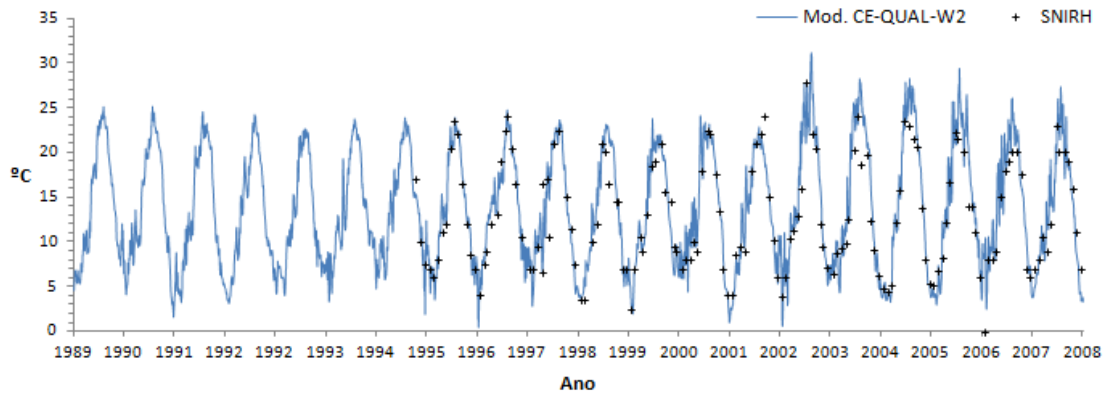


Figura 49. Temperatura da água – Albufeira do Alto Cávado

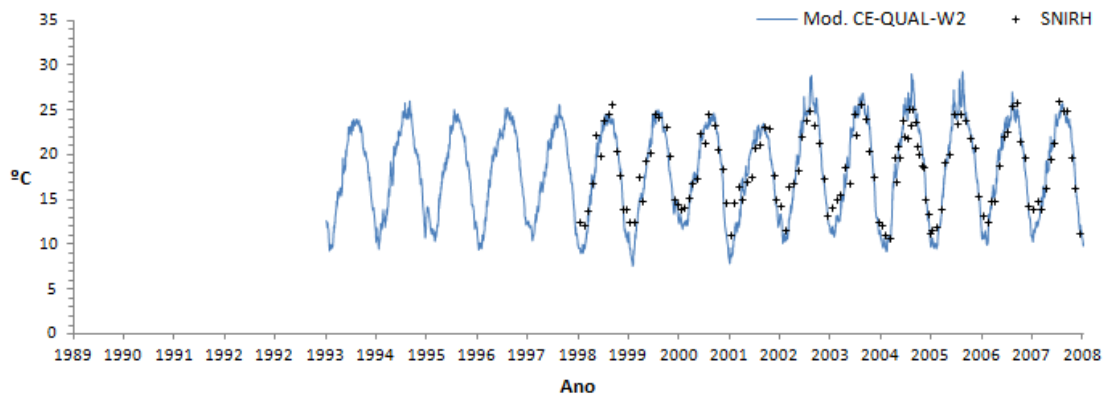


Figura 50. Temperatura da água – Albufeira de São Domingos

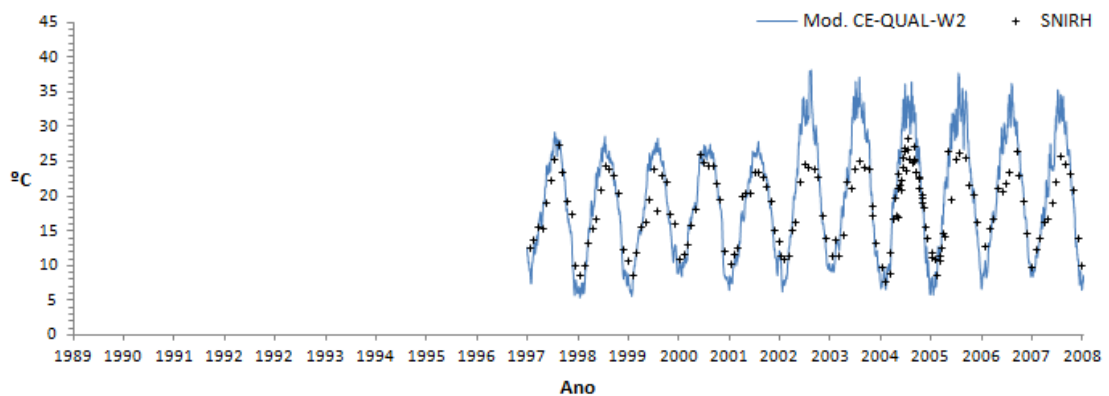


Figura 51. Temperatura da água – Albufeira de Enxoé



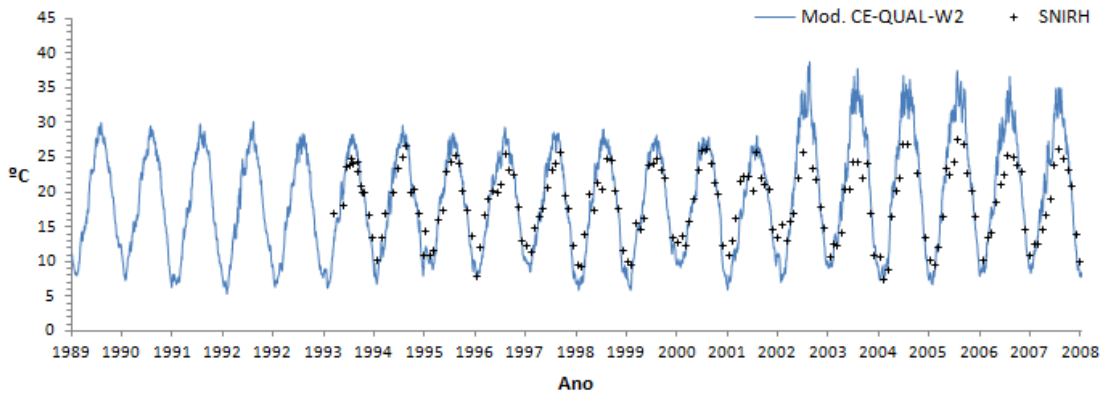


Figura 52. Temperatura da água – Albufeira de Monte Novo

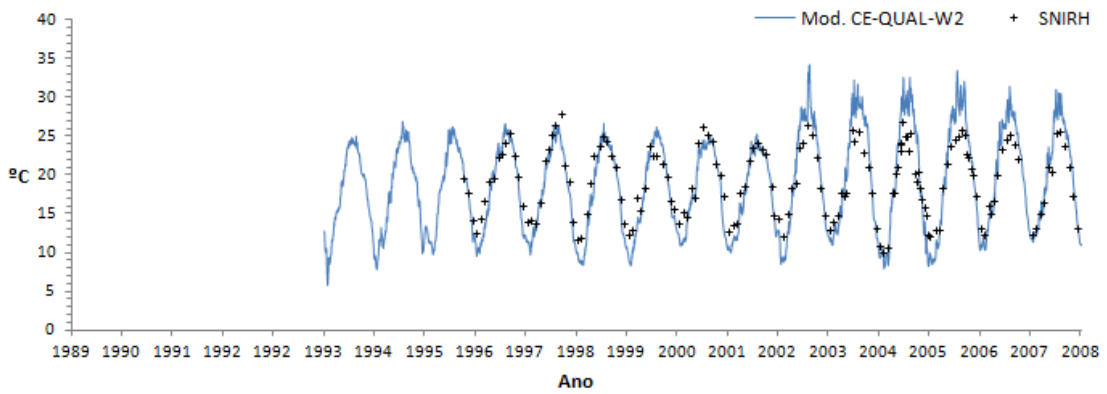


Figura 53. Temperatura da água – Albufeira do Funcho

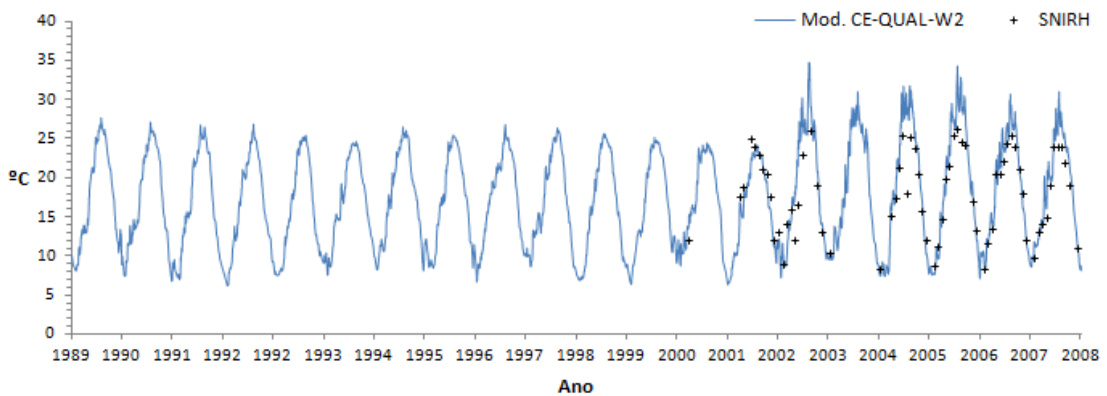


Figura 54. Temperatura da água – Albufeira de Fronhas

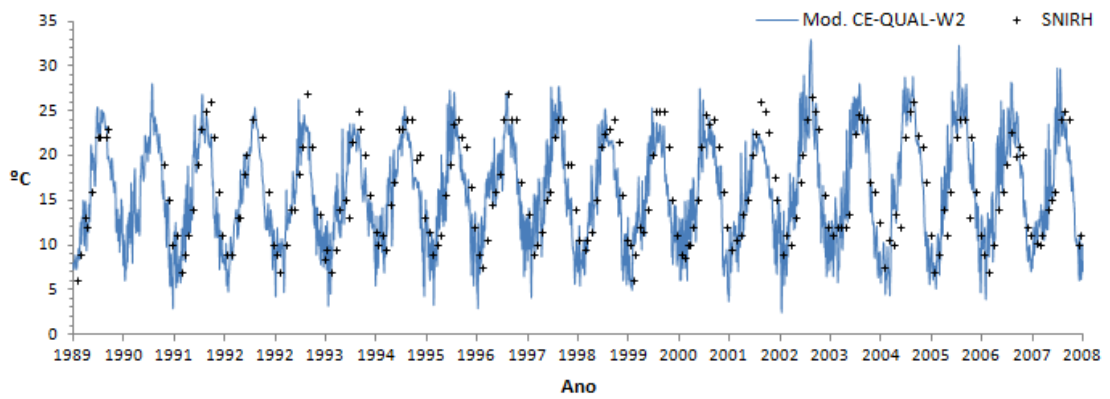


Figura 55. Temperatura da água – Albufeira de Crestuma-Lever

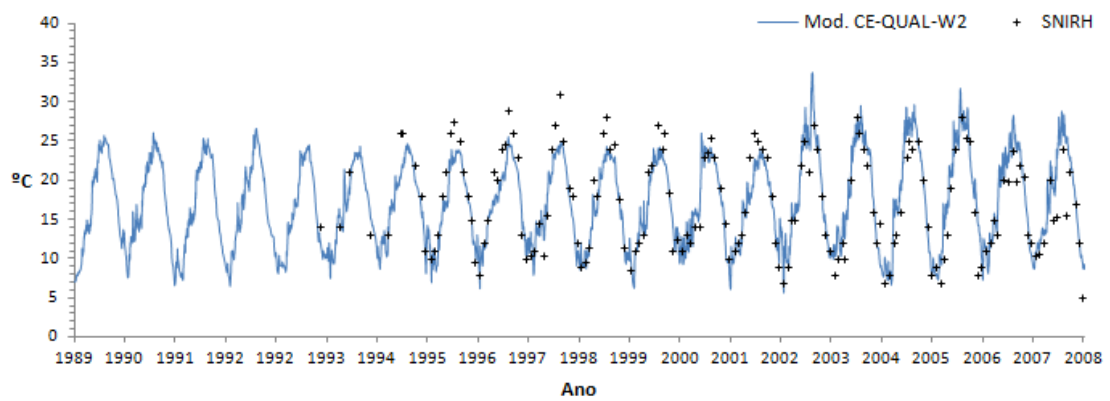


Figura 56. Temperatura da água – Albufeira do Torrão

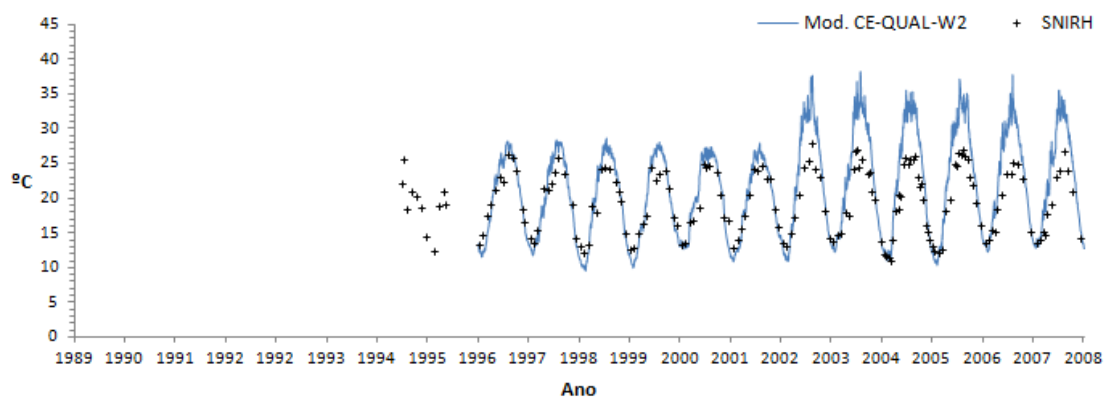
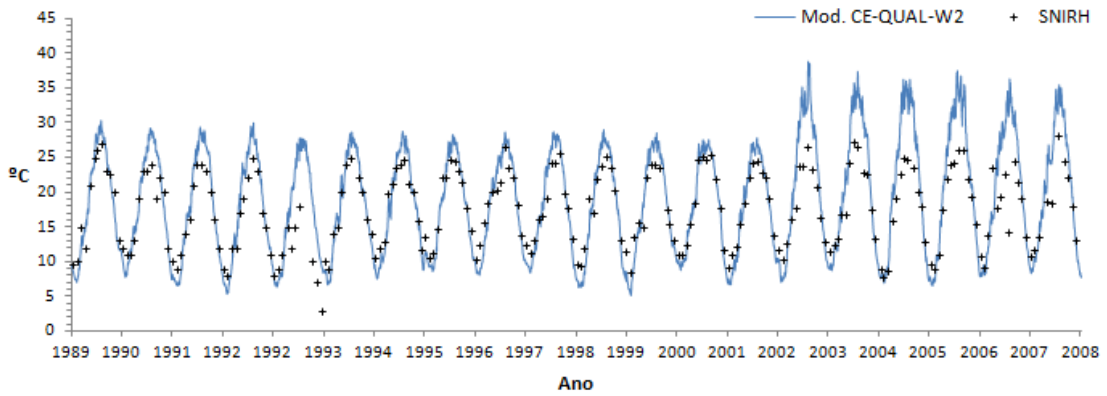
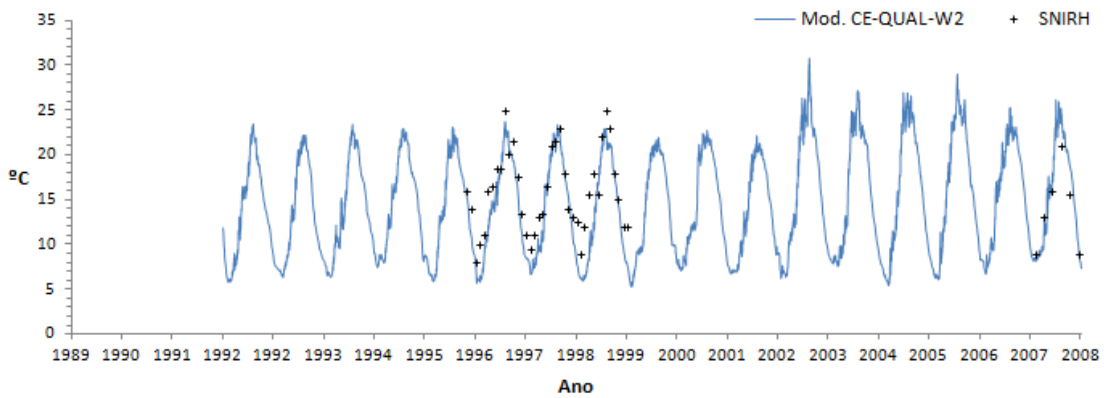


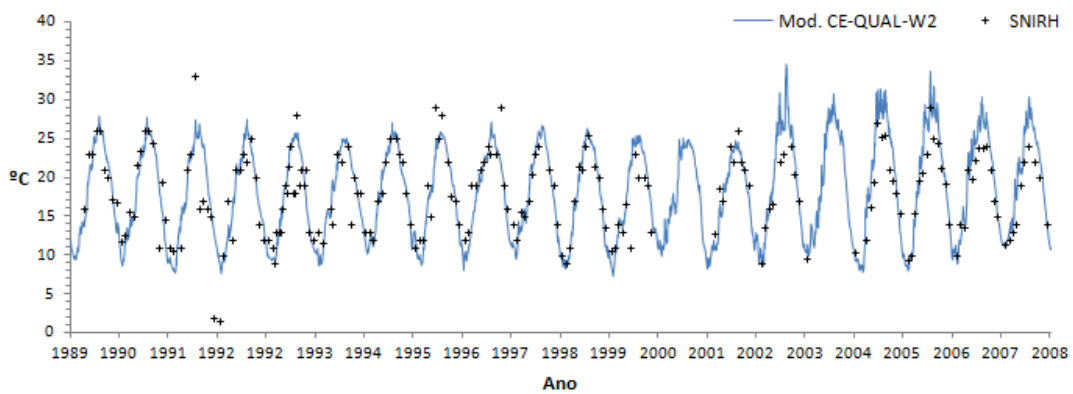
Figura 57. Temperatura da água – Albufeira de Odeleite



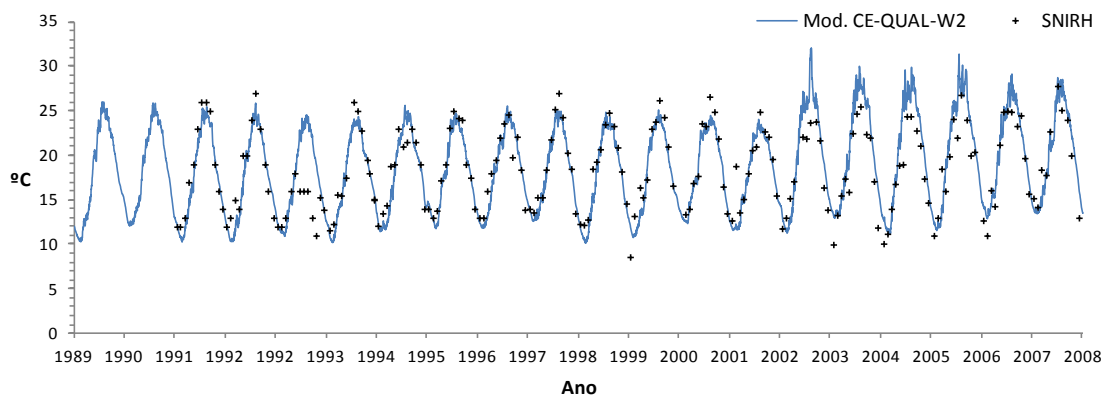
**Figura 58.** Temperatura da água – Albufeira do Caia



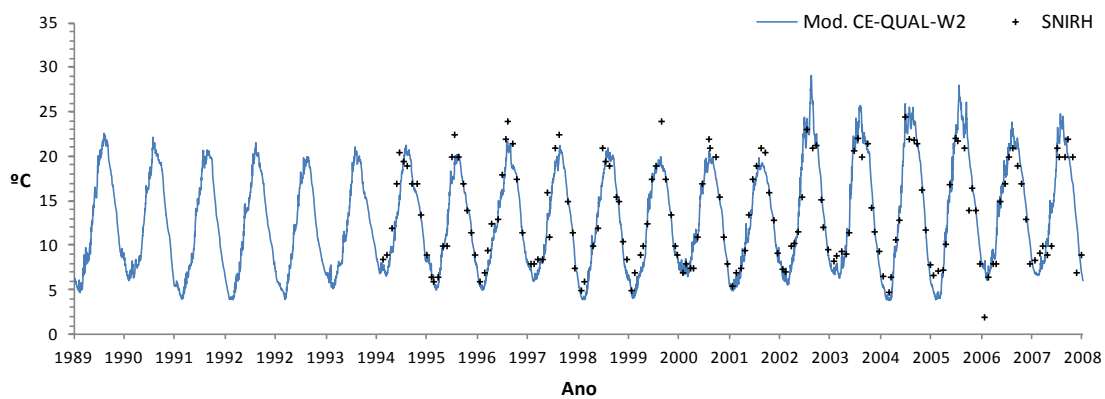
**Figura 59.** Temperatura da água – Albufeira do Alto Lindoso



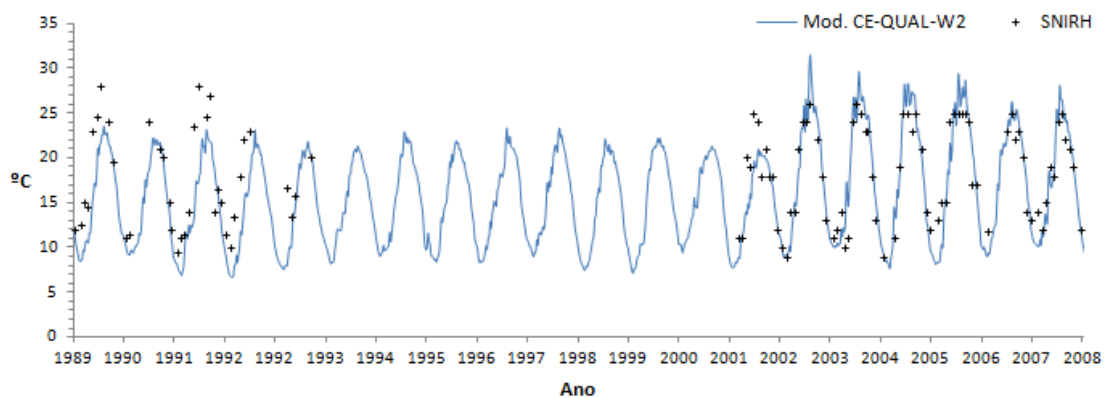
**Figura 60.** Temperatura da água – Albufeira da Aguieira



**Figura 61.** Temperatura da água – Albufeira de Santa Clara



**Figura 62.** Temperatura da água – Albufeira do Alto Rabagão



**Figura 63.** Temperatura da água – Albufeira de Cabril

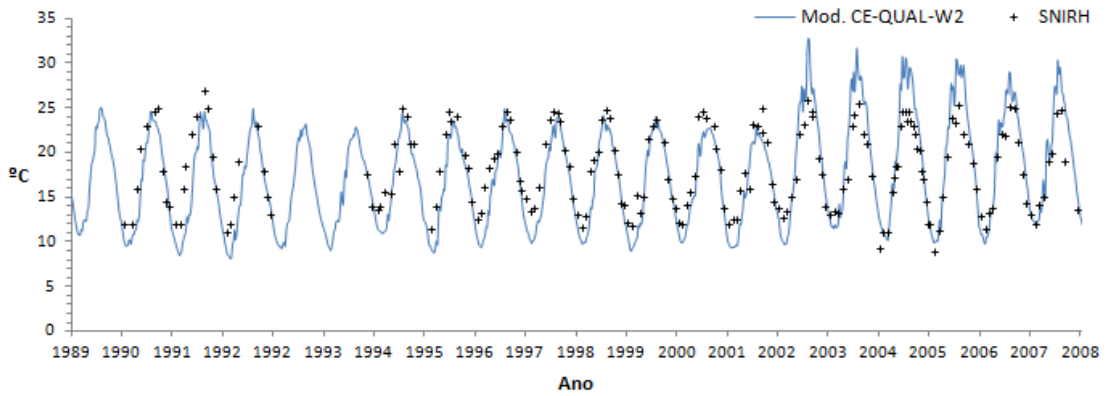


Figura 64. Temperatura da água – Albufeira de Castelo do Bode

Oxigénio dissolvido

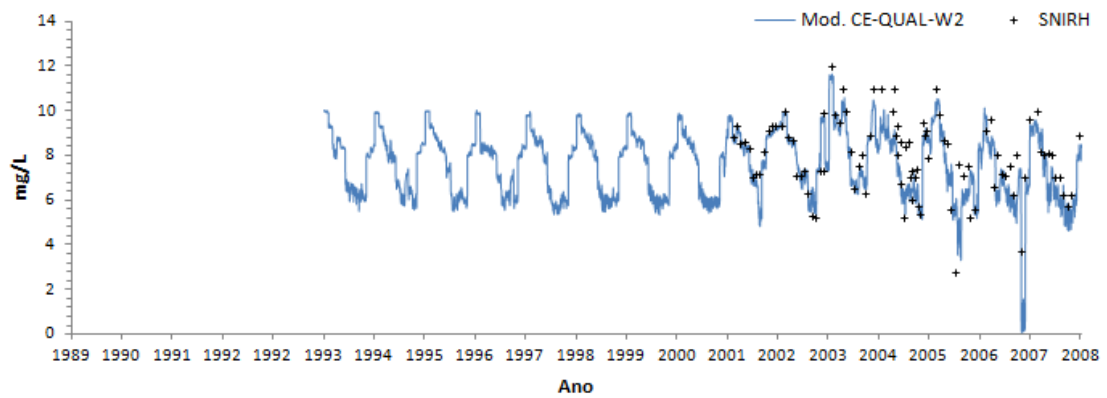


Figura 65. Concentração de OD – Albufeira da Cercosa

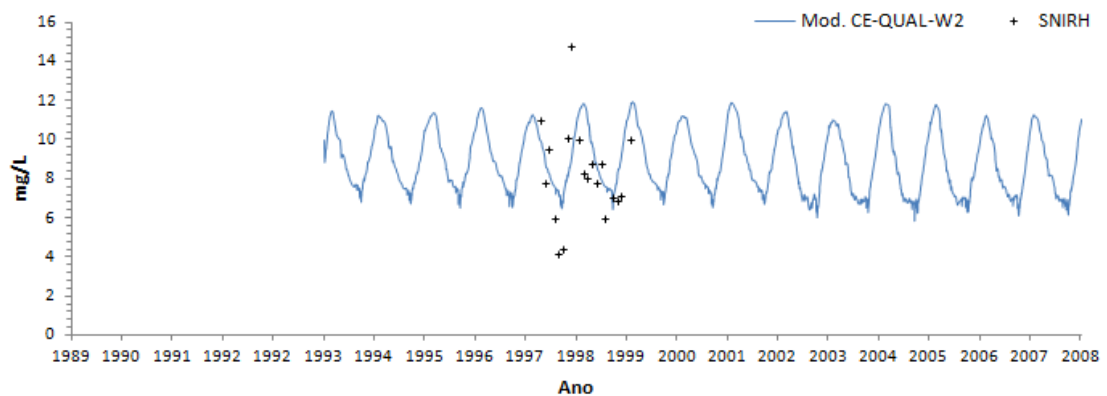


Figura 66. Concentração de OD – Albufeira de Vale Côvo/Salgueiral

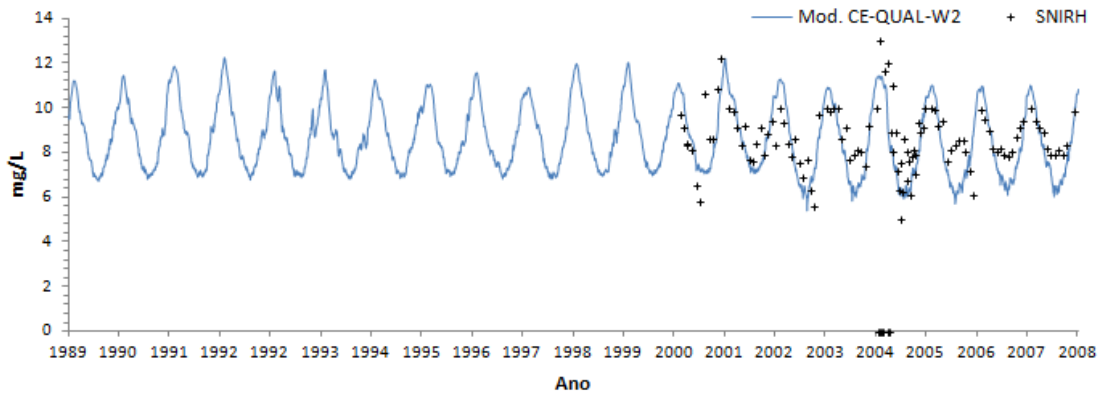


Figura 67. Concentração de OD – Albufeira de Penha Garcia

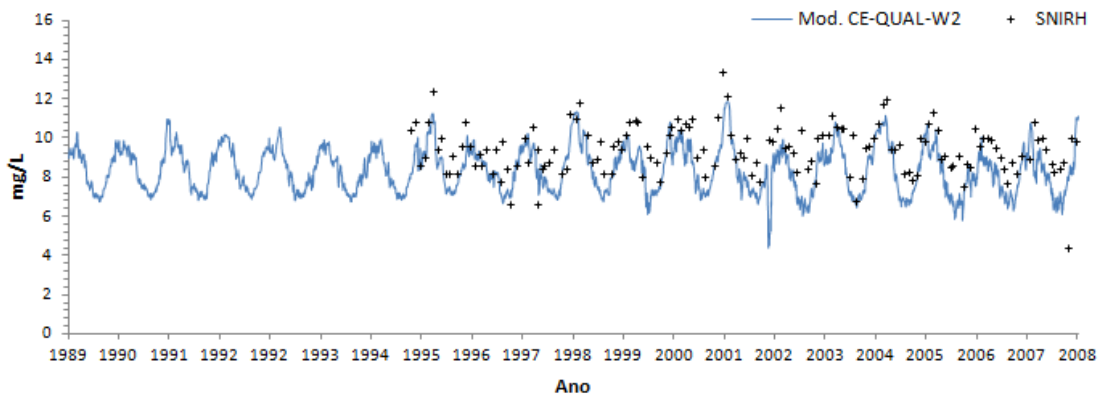


Figura 68. Concentração de OD – Albufeira do Alto Cávado

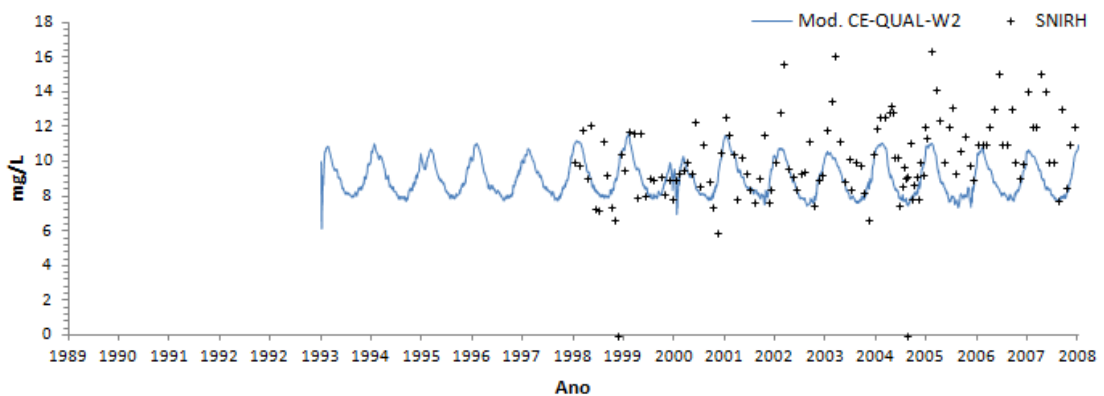


Figura 69. Concentração de OD – Albufeira de São Domingos

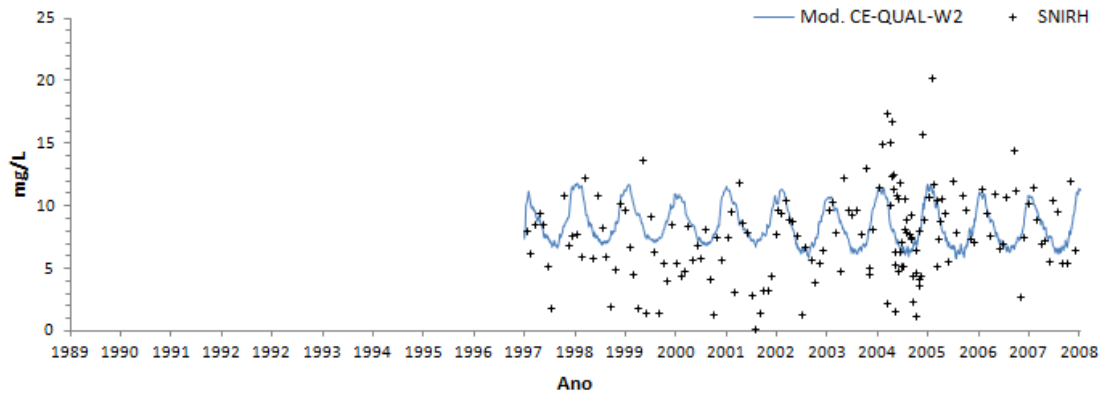


Figura 70. Concentração de OD – Albufeira de Enxoé

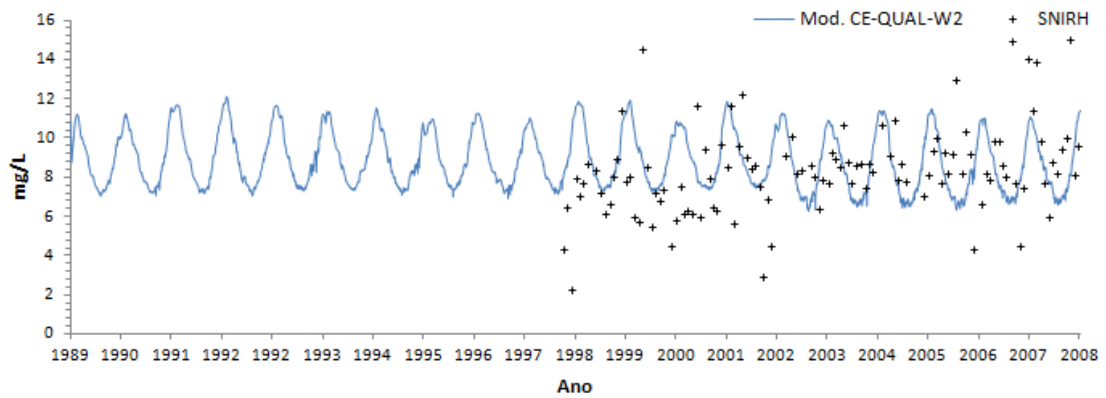


Figura 71. Concentração de OD – Albufeira de Monte Novo

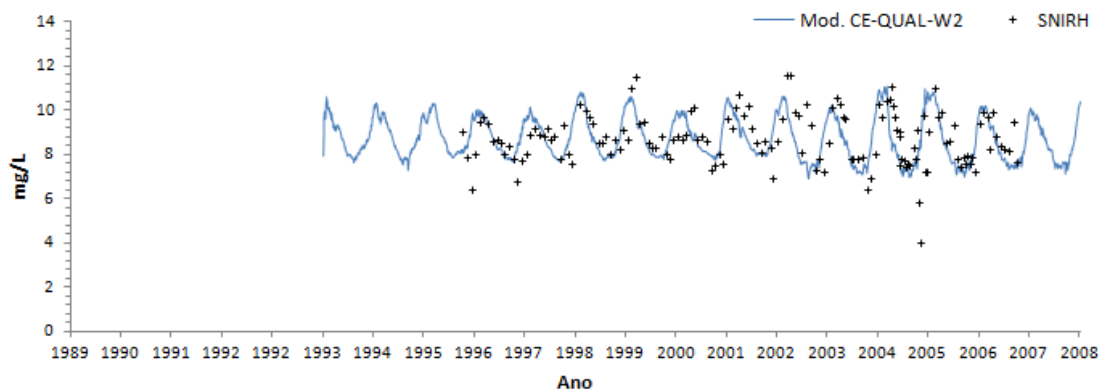


Figura 72. Concentração de OD – Albufeira do Funcho

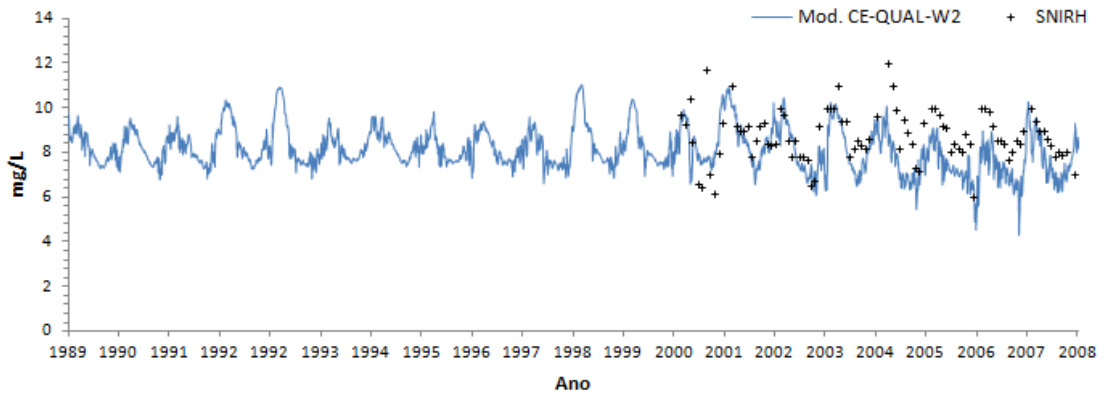


Figura 73. Concentração de OD – Albufeira de Fronhas

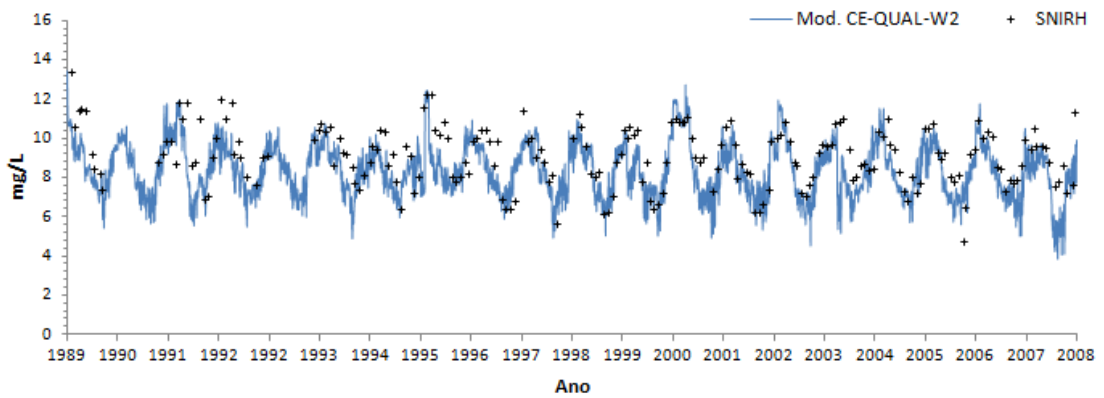


Figura 74. Concentração de OD – Albufeira de Crestuma-Lever

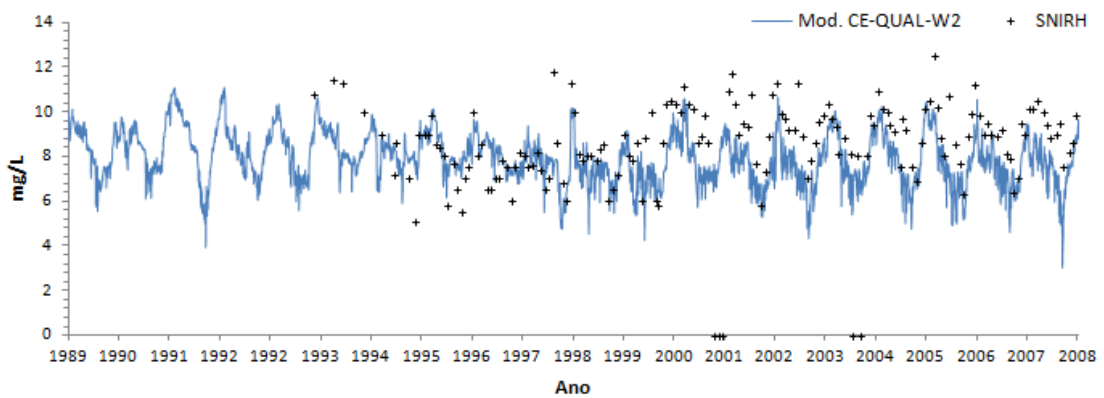


Figura 75. Concentração de OD – Albufeira do Torrão



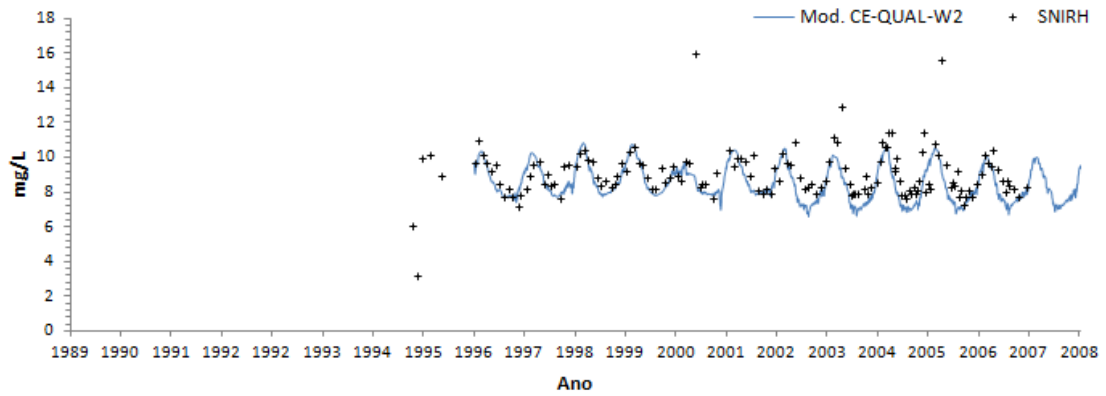


Figura 76. Concentração de OD – Albufeira de Odeleite

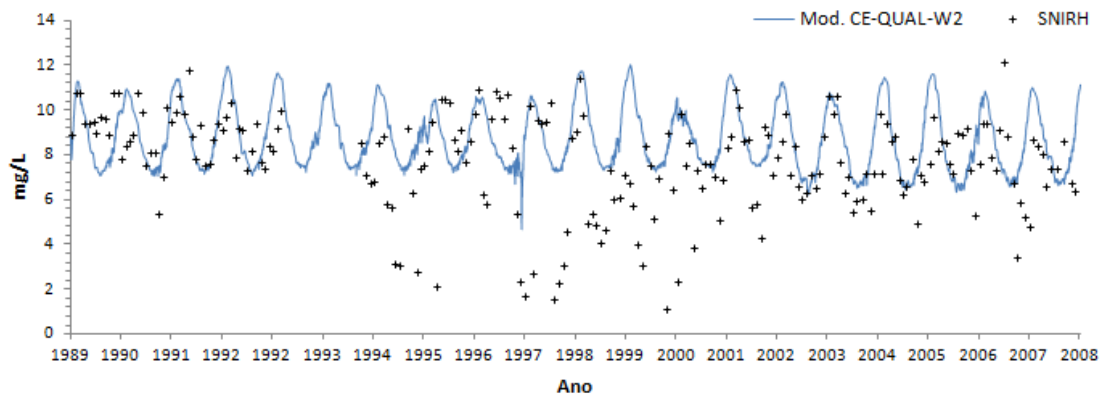


Figura 77. Concentração de OD – Albufeira do Caia

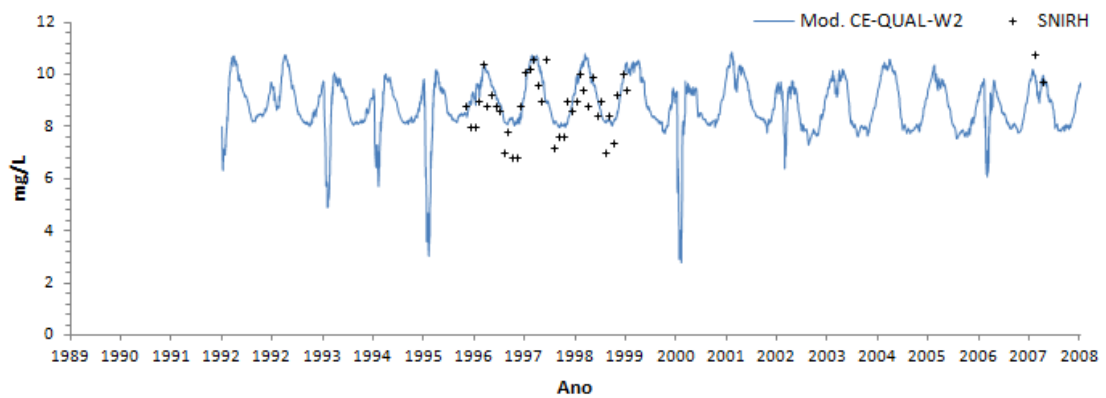
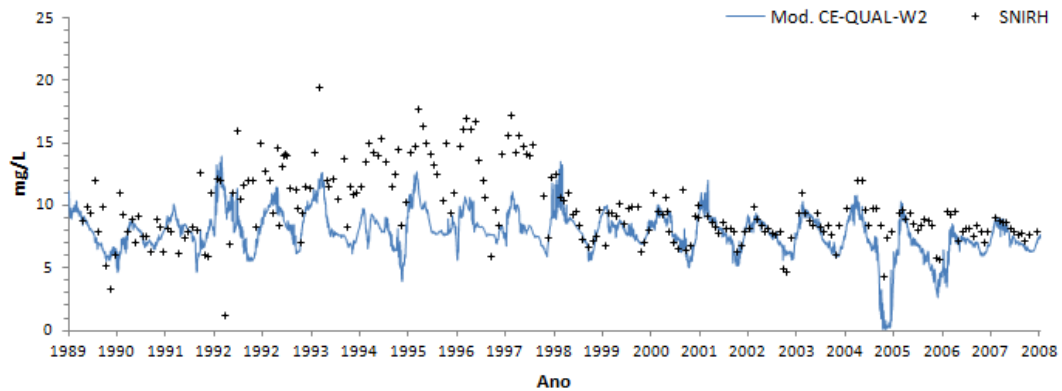
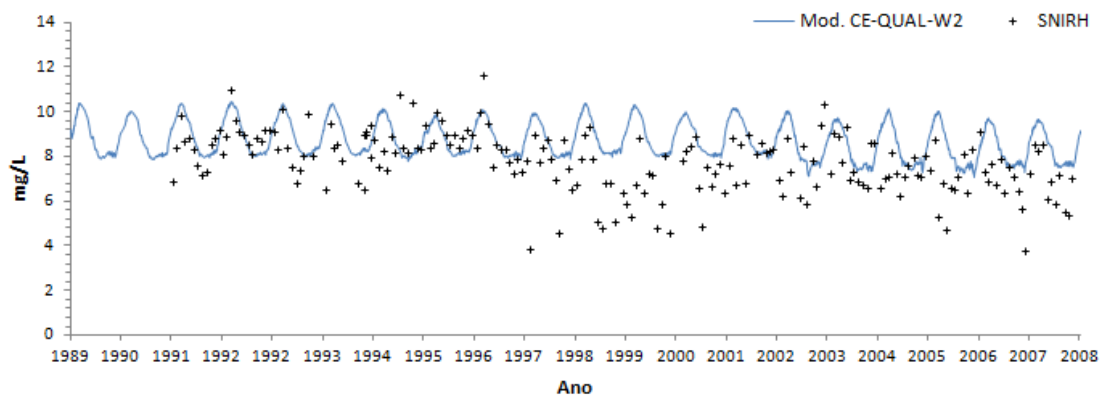


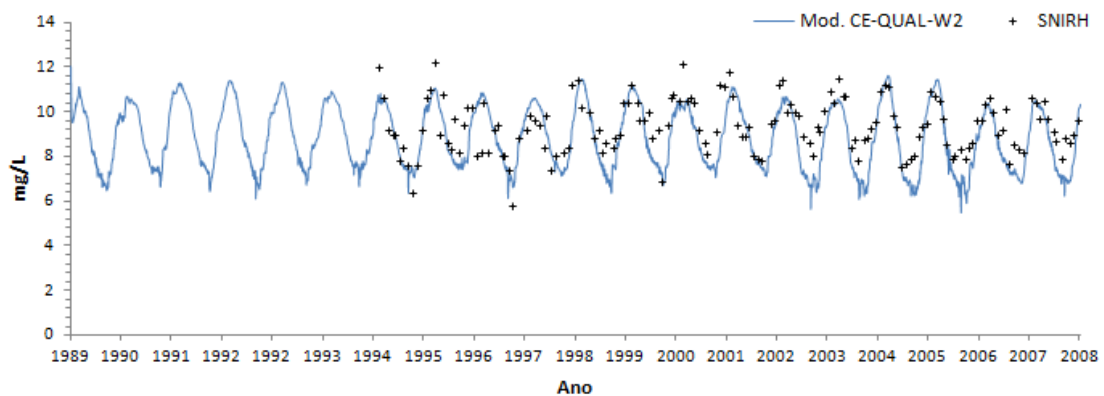
Figura 78. Concentração de OD – Albufeira do Alto Lindoso



**Figura 79.** Concentração de OD – Albufeira da Aguieira



**Figura 80.** Concentração de OD – Albufeira de Santa Clara



**Figura 81.** Concentração de OD – Albufeira do Alto Rabagão

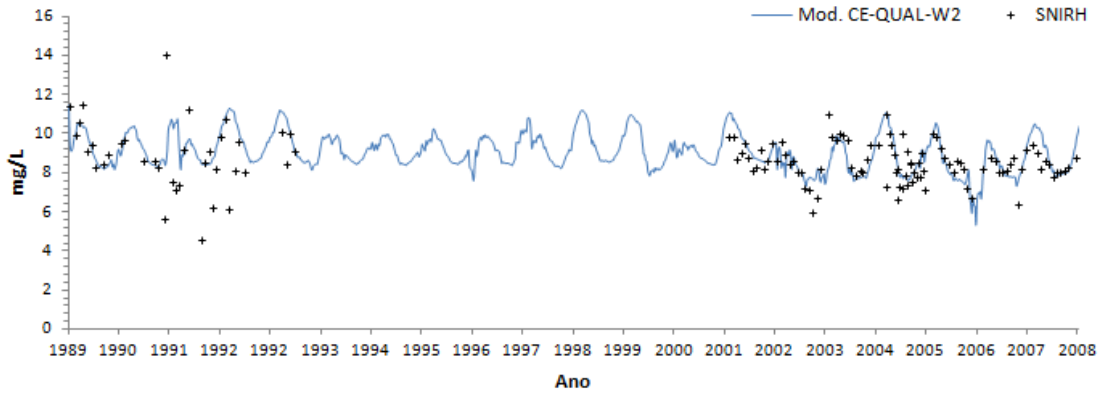


Figura 82. Concentração de OD – Albufeira de Cabril

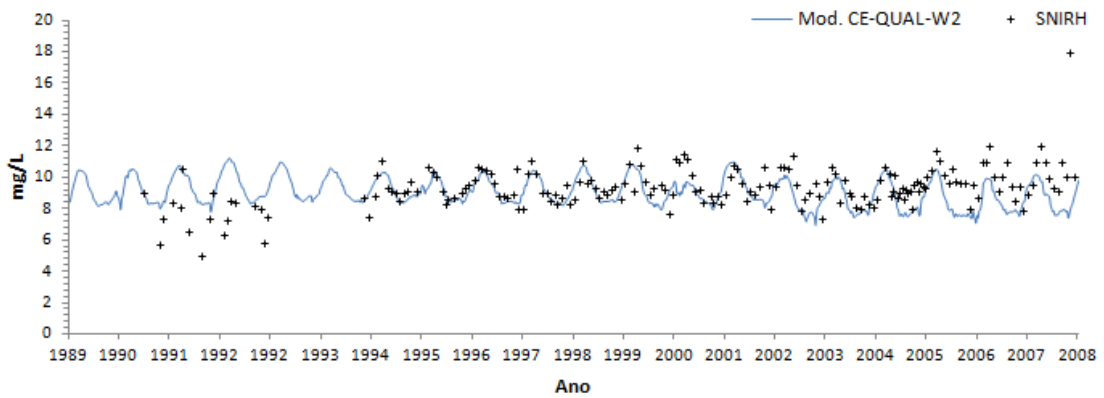


Figura 83. Concentração de OD – Albufeira de Castelo do Bode

### Ortofosfatos

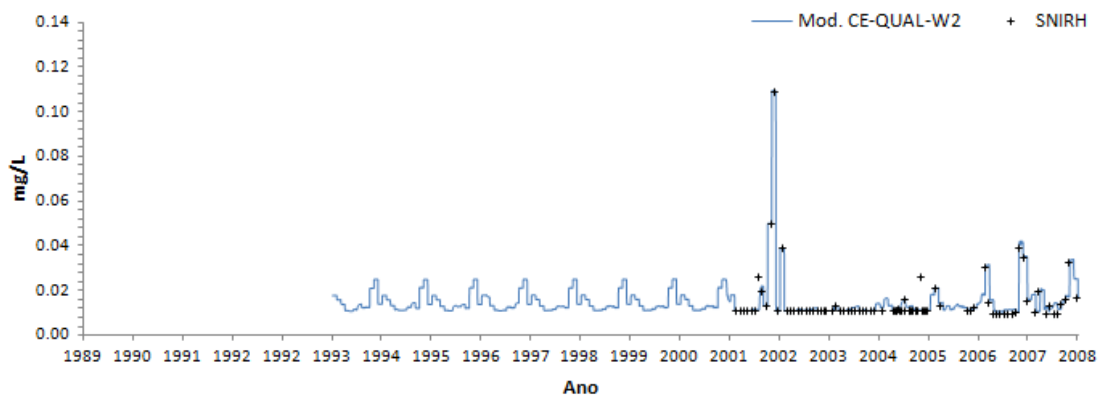


Figura 84. Concentração de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira da Cercosa

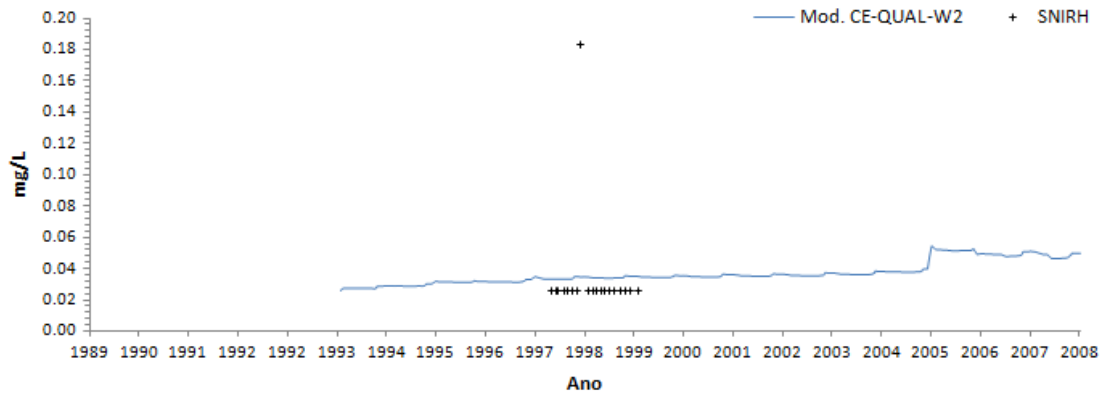


Figura 85. Concentração de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Vale Côvo/Salgueiral

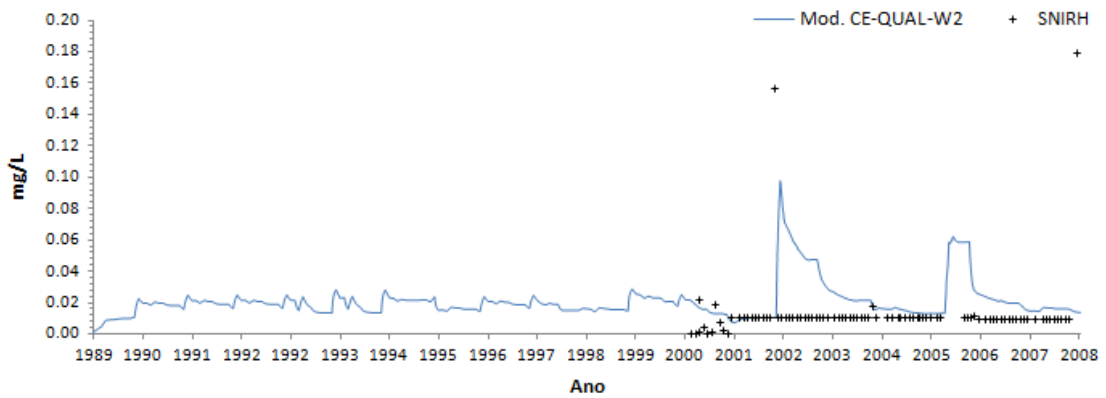


Figura 86. Concentração de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Penha Garcia

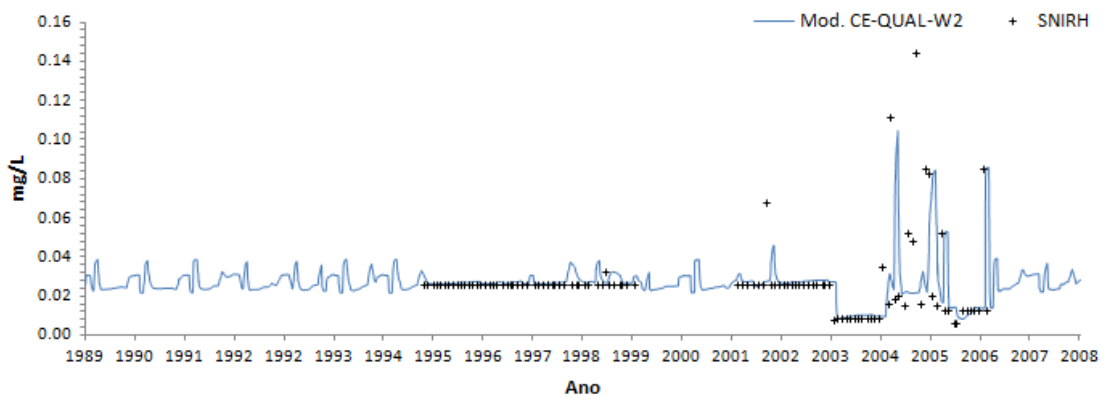


Figura 87. Concentração de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira do Alto Cávado

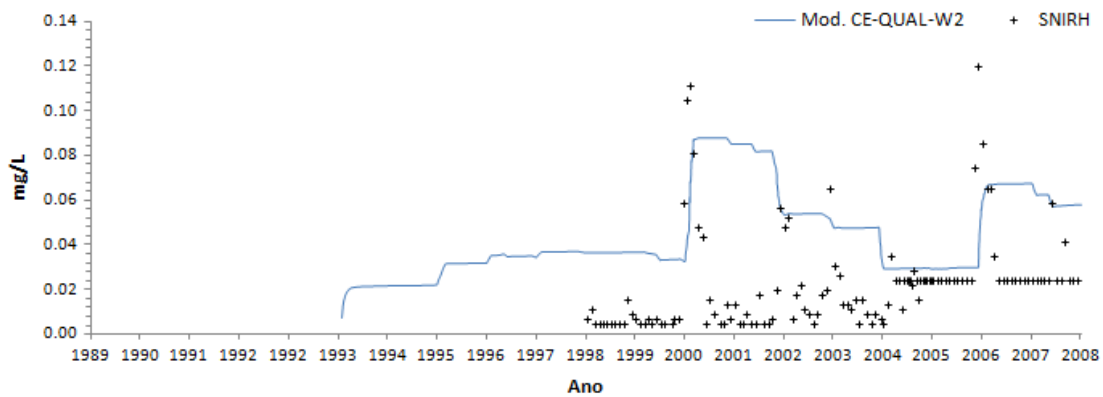


Figura 88. Concentração de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de São Domingos

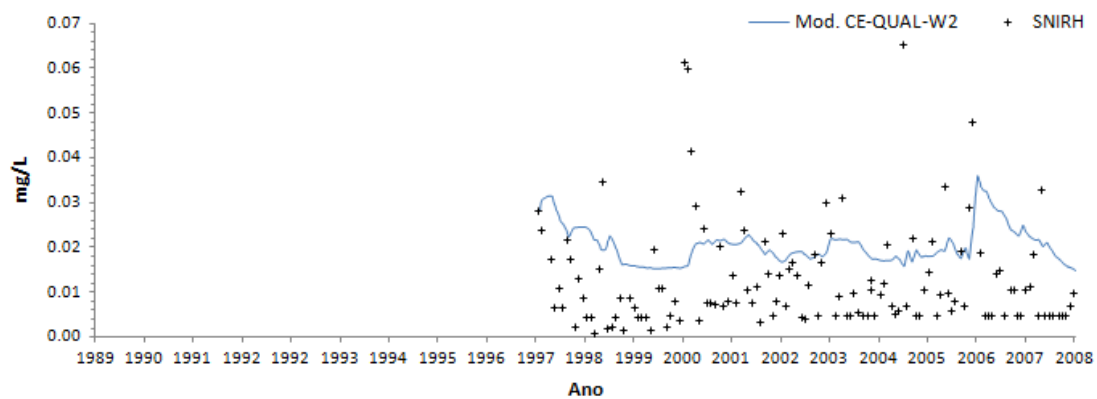


Figura 89. Concentração de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Enxoé

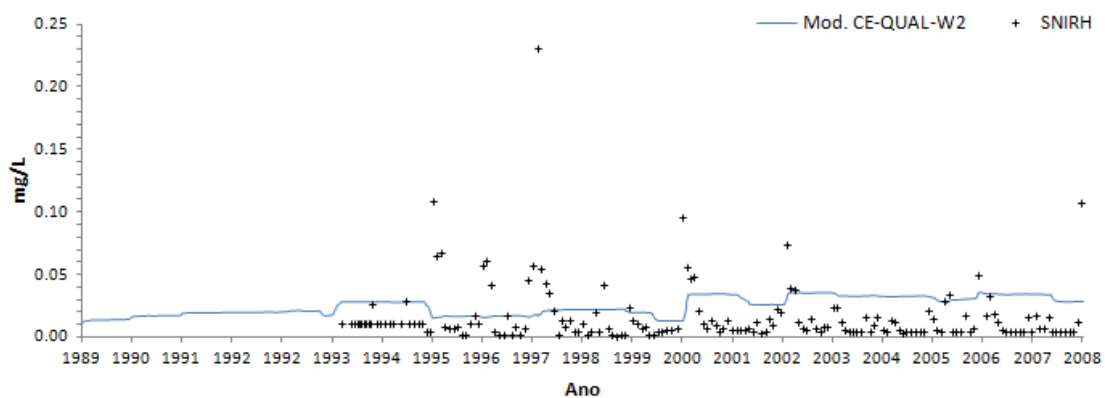


Figura 90. Concentração de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Monte Novo

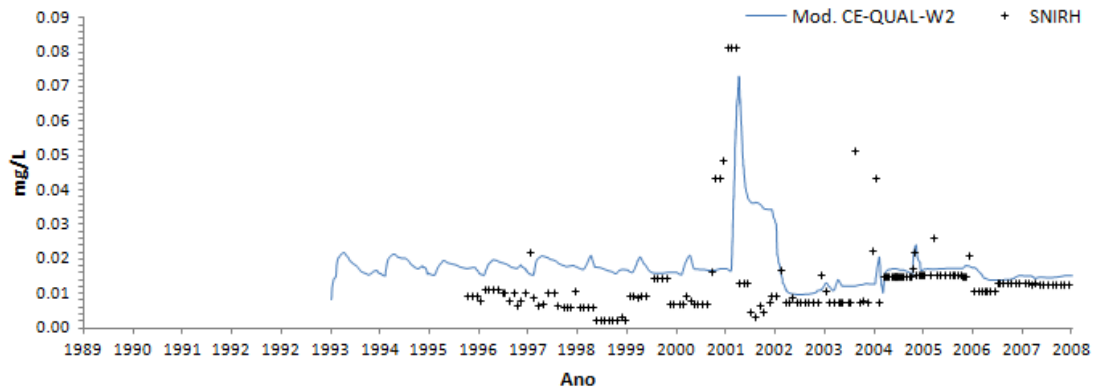


Figura 91. Concentração de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira do Funcho

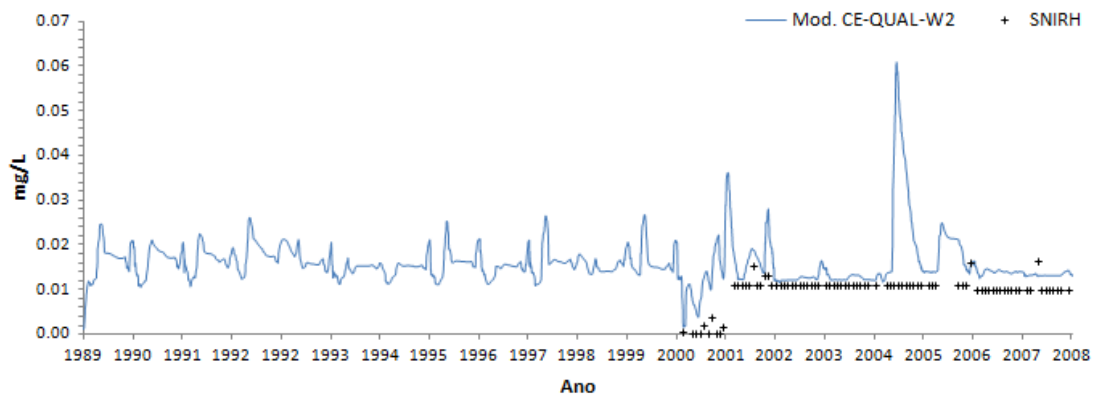


Figura 92. Concentração de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Fronhas

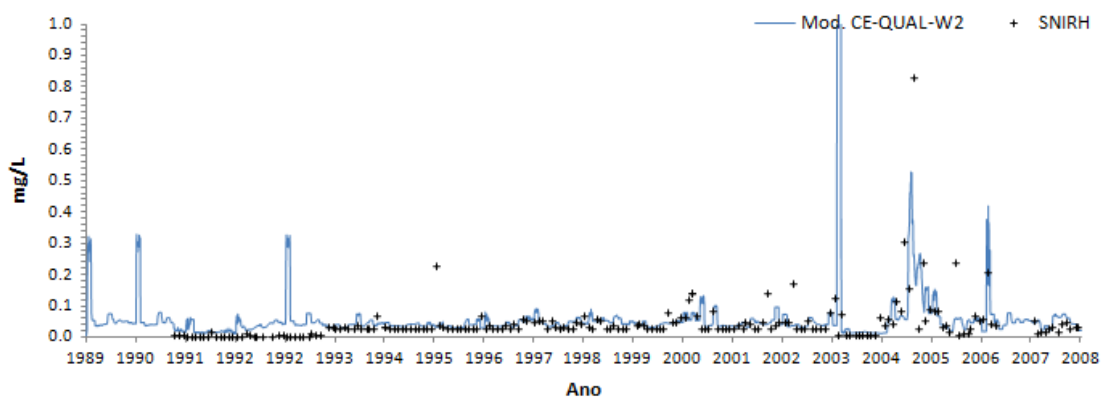


Figura 93. Concentração de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Crestuma-Lever

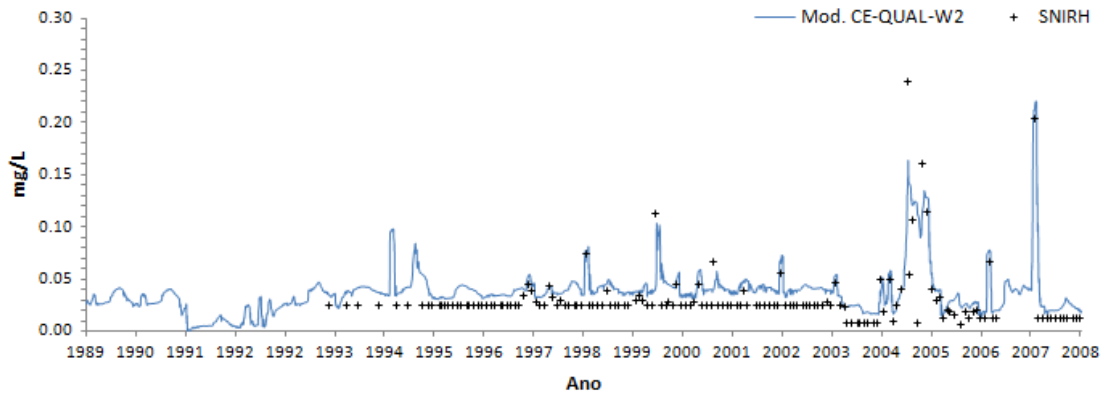


Figura 94. Concentração de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira do Torrão

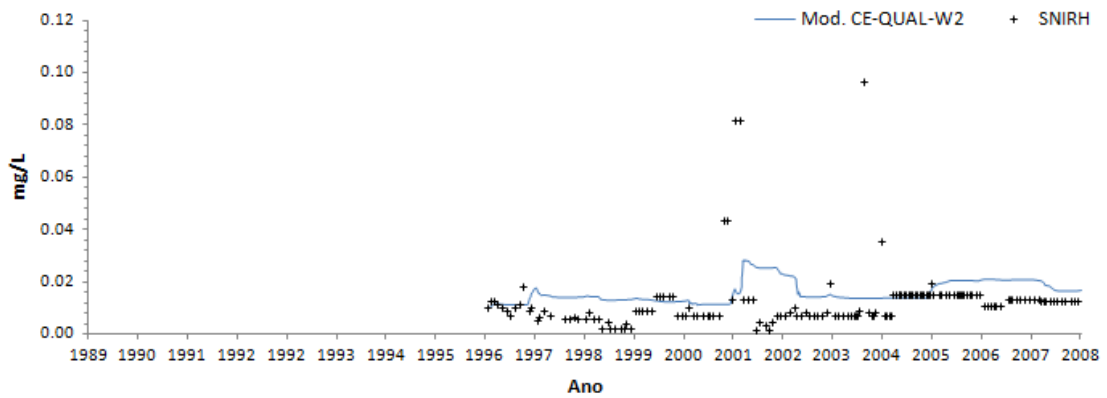


Figura 95. Concentração de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Odeleite

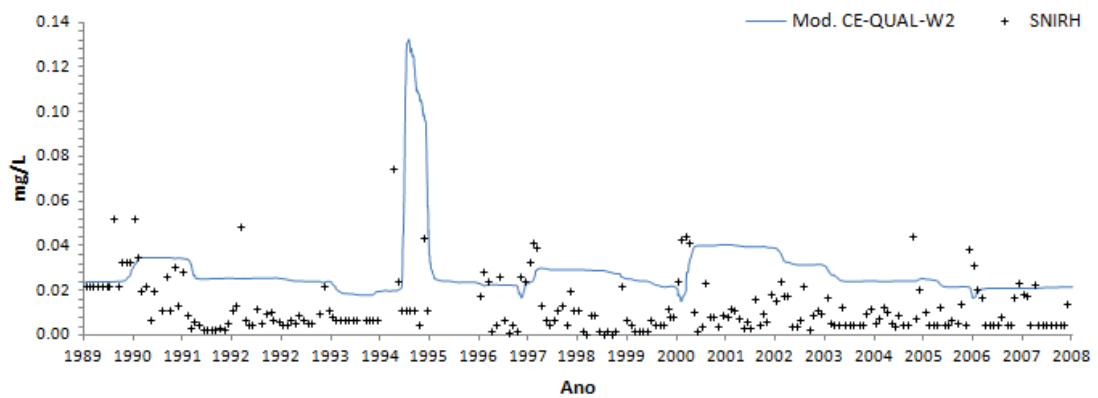


Figura 96. Concentração de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira do Caia

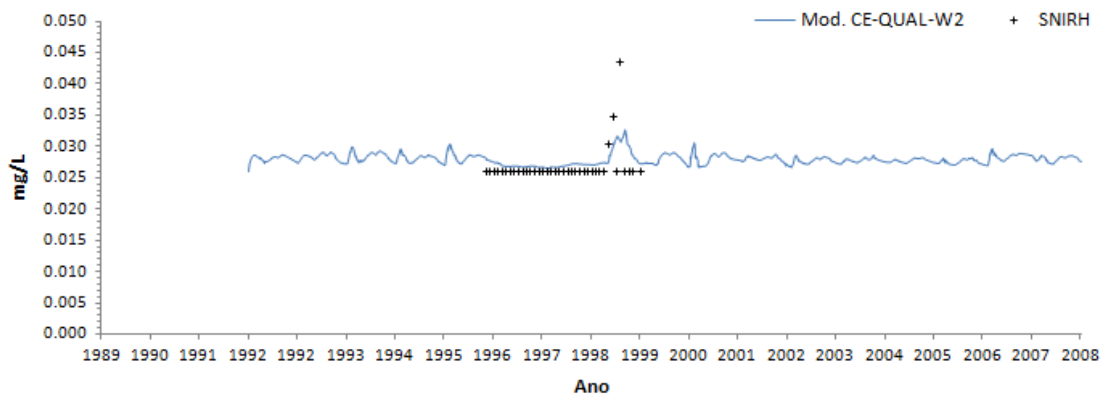


Figura 97. Concentração de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira do Alto Lindoso

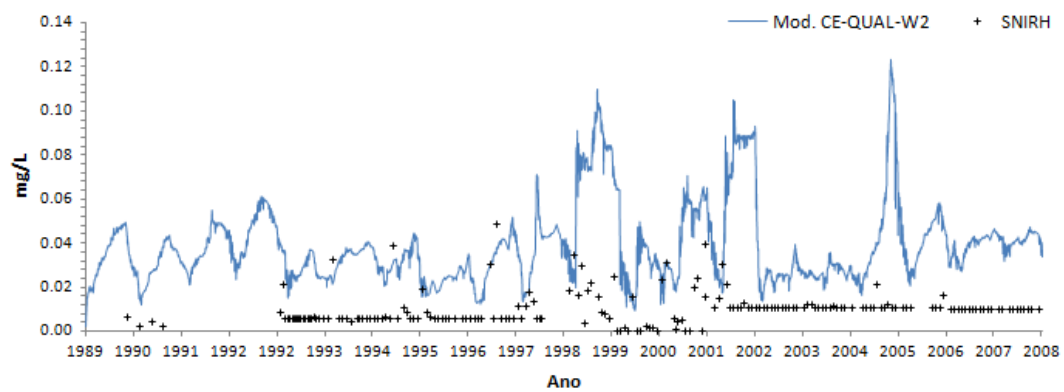


Figura 98. Concentração de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira da Aguieira

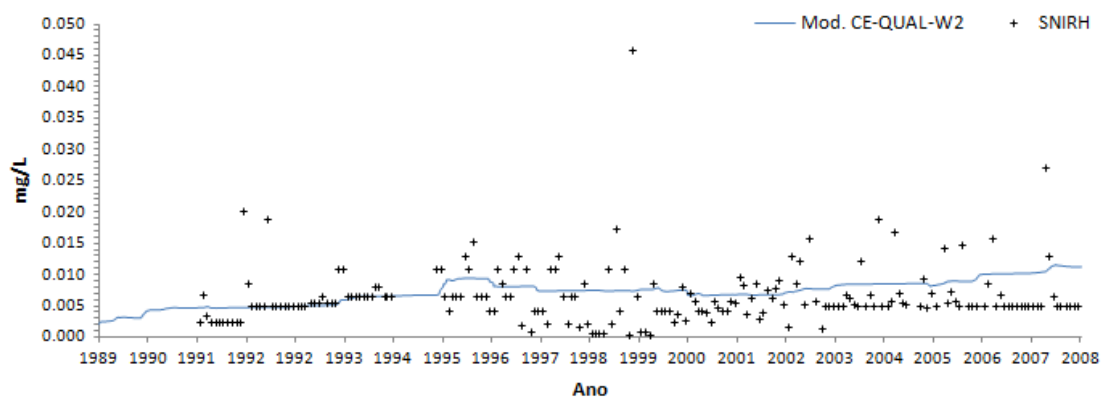


Figura 99. Concentração de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Santa Clara



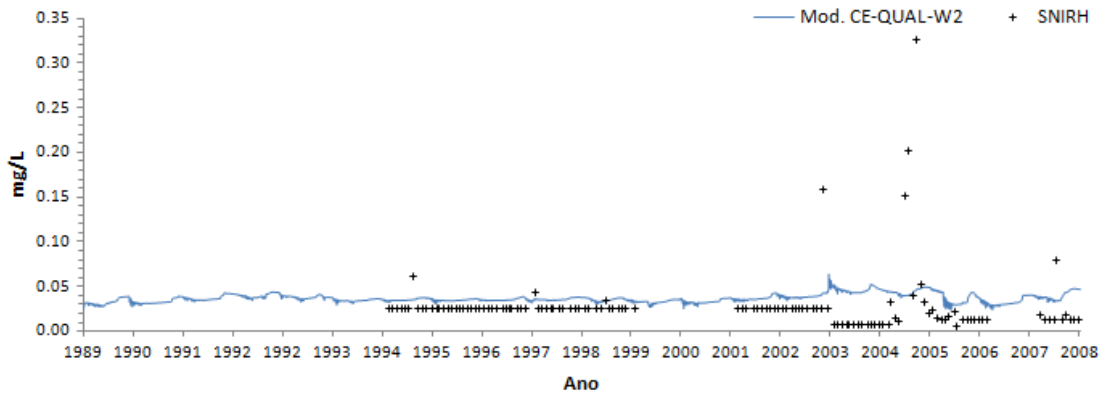


Figura 100. Concentração de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira do Alto Rabagão

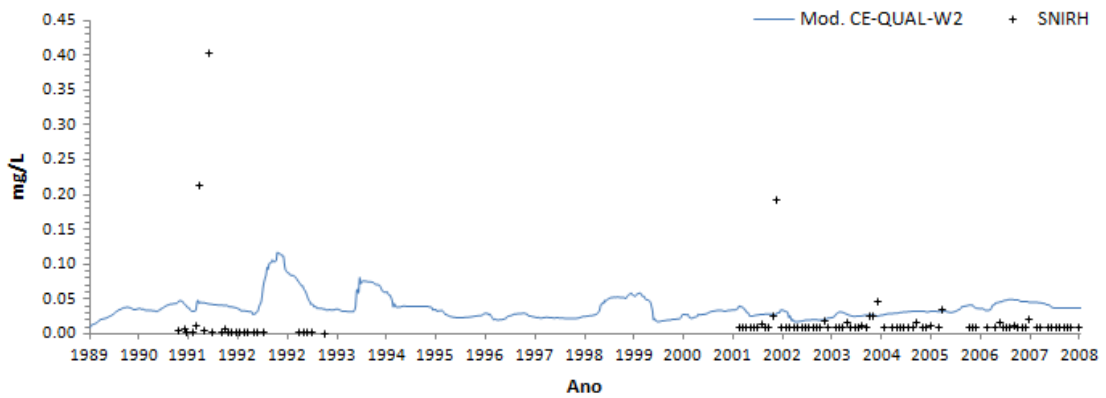


Figura 101. Concentração de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Cabril

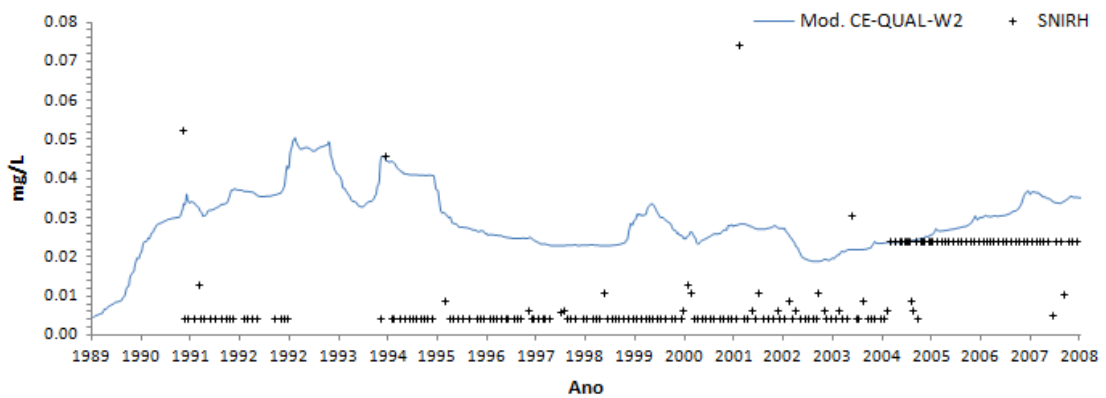


Figura 102. Concentração de P-PO<sub>4</sub> – Albufeira de Castelo do Bode





**INSTITUTO  
DA ÁGUA. I.P.**

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