



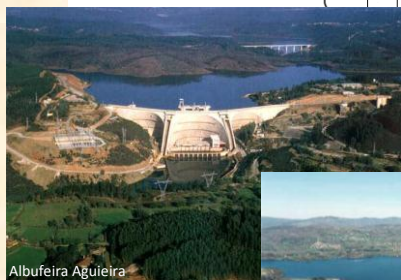
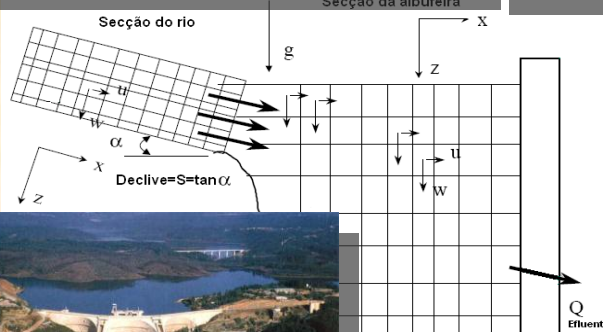
MODELAÇÃO MATEMÁTICA DA QUALIDADE DA ÁGUA EM ALBUFEIRAS COM PLANOS DE ORDENAMENTO



Albufeira Santa Clara
Secção da albufeira



Albufeira Castelo do Bode



Albufeira Aguiçeira



Albufeira Alto Rabagão



Albufeira Crestuma-Lever

VI - ALBUFEIRA DO ALTO RABAGÃO



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

VI - ALBUFEIRA DO ALTO RABAGÃO

O trabalho de modelação matemática de qualidade da água da Albufeira do Alto Rabagão 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 – VI – Albufeira do Alto Rabagão*. Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território. Instituto da Água, I.P.

AUTORES:

PEDRO SANTOS COELHO
MANUEL ALMEIDA

COLABORADORES:

FELISBINA QUADRADO
MARGARIDA ALMODOVAR

DEZEMBRO DE 2011

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, MAR, AMBIENTE E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

EDIÇÃO

Instituto da Água, I.P.

COORDENAÇÃO

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

PRODUÇÃO GRÁFICA, IMPRESSÃO E ACABAMENTO

Instituto da Água, I.P.

DEZEMBRO, 2011

Nota Introdutória



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Lisboa, Dezembro de 2011.

ÍNDICE

1 - Introdução	3
2 - Principais características da albufeira e da barragem do Alto Rabagão	5
3 - Análise da evolução da qualidade da água na albufeira do Alto Rabagão	9
4 - Principais características do modelo CE-QUAL-W2	22
5 - Representação conceptual do sistema a modelar	24
6 - Dados necessários ao funcionamento do modelo e estimativa das cargas poluentes afluentes à albufeira do Alto Rabagão	26
6.1 - Dados hidrológicos	26
6.2 - Dados meteorológicos	26
6.3 - Dados de qualidade da água das aflúencias ao sistema	27
6.4 - Cargas poluentes geradas na bacia hidrográfica da albufeira do Alto Rabagão	29
6.4.1 - Introdução	29
6.4.2 - Lugares localizados na bacia hidrográfica da albufeira do Alto Rabagão	30
6.4.3 - Empreendimentos turísticos localizados na área de intervenção do POAAR	38
6.4.4 - Sistemas de tratamento de águas residuais	41
6.4.5 - Actividades industriais	44
6.4.6 - Carga difusa de origem agrícola e florestal	49
7 - Aplicação de modelos simplificados de simulação da concentração de fósforo na albufeira do Alto Rabagão	58
8 - Calibração do modelo CE-QUAL-W2	61
8.1 - Introdução	61
8.2 - Condições iniciais de simulação	61
8.3 - Verificação do balanço de volumes	62
8.4 - Resultados obtidos no processo de calibração	64
8.4.1 - Introdução	64
8.4.2 - Temperatura	64
8.4.3 - Oxigénio dissolvido	67
8.4.4 - Carência bioquímica de oxigénio	70
8.4.5 - Nitratos e nitritos	71
8.4.6 - Azoto amoniacal	72
8.4.7 - Ortofosfatos	73
8.4.8 - Clorofila-a	74
8.4.9 - pH	75
8.4.10 - Coliformes totais	76

8.4.11 - Coliformes fecais	78
9 - Cenários de simulação	80
9.1 - Introdução	80
9.2 - Definição dos cenários de simulação	80
9.3 - Integração dos cenários de simulação	83
10 - Resultados obtidos	90
10.1 - Introdução	90
10.2 - Cenário 1 / Cenário 1A	90
10.3 - Cenário 2/ Cenário 2A	96
10.4 - Cenário 3	102
10.5 - Cenário 4	105
10.6 - Cenário 5	109
10.7 - Cenário 6	112
10.8 - Cenário 7	115
10.9 - Cenário 7A	119
10.10 - Cenário 8	122
10.11 - Cenário 9	125
11 - Definição de um modelo de simulação dos valores médios de temperatura da água e da concentração de oxigénio dissolvido através da aplicação de uma série de Fourier	131
12 - Conclusões	135
Bibliografia.....	138

1. INTRODUÇÃO

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

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

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

- - Principais características da barragem e da albufeira do Alto Rabagão;
- - Análise da evolução da qualidade da água na albufeira do Alto Rabagão;
- - Principais características do modelo CE-QUAL-W2;
- - Representação conceptual adoptada para a albufeira do Alto Rabagão;
- - Dados necessários ao funcionamento do modelo CE-QUAL-W2;
- - Estimativa das cargas poluentes afluentes à albufeira do Alto Rabagão;
- - Aplicação de modelos simplificados de simulação da concentração de fósforo na albufeira do Alto Rabagão;
- - Calibração do modelo CE-QUAL-W2;
- - Definição de cenários de simulação;
- - Definição de um modelo de simulação dos valores de temperatura da água e do oxigénio dissolvido através da aplicação de uma série de Fourier;
- - Conclusões.

A definição dos cenários de simulação da qualidade da água da albufeira do Alto Rabagão, teve como principal objectivo avaliar o efeito das restrições estabelecidas pelo regulamento do POAAR relativamente ao saneamento básico da sua área de intervenção, constituída pelo plano de água, ilhas e zona terrestre de protecção com a largura de 500 m contada a partir do nível de pleno armazenamento da albufeira (NPA) - cota 870,8 m - medidos em projecção horizontal. Foram igualmente considerados outros cenários de simulação, com o objectivo de avaliar a influência que as albufeiras do Alto Cávado e de Venda Nova têm na qualidade da água da albufeira em estudo.

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

anos civis de 2006 – 2009. Nas linhas de água afluentes à albufeira do Alto Rabagão, que corresponde à quarta maior albufeira em termos de volume de armazenamento em território nacional, não existem quaisquer estações de monitorização da qualidade da água. Assim, foi necessário quantificar todas as cargas poluentes afluentes à albufeira, tendo como base os conceitos de carga estimada unitária e de eficiência de remoção, associada aos diferentes sistemas de tratamento de águas residuais existentes na bacia hidrográfica dominada pela barragem do Alto Rabagão.

Posteriormente, a carga poluente estimada de fósforo, sob a forma de ortofosfatos (PO_4), foi validada através da aplicação de três modelos simplificados dos processos que ocorrem na albufeira relativamente a este nutriente, tendo como base os valores da concentração de PO_4 observados na massa de água.

2. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA ALBUFEIRA E DA BARRAGEM DO ALTO RABAGÃO

A barragem do Alto Rabagão, projectada em 1958 e concluída em 1964, foi o primeiro aproveitamento construído em Portugal com o objectivo principal de regularização inter-anual, represando água em anos húmidos, para aproveitá-la na produção de energia em anos secos. Foi também o primeiro aproveitamento a ser dotado com equipamento de bombagem (grupos ternários, turbina-alternador-bomba), destinado a elevar, para a sua albufeira, água da albufeira de Venda Nova, localizada imediatamente a jusante (EDP, 1984).

Situada no concelho de Montalegre, na bacia hidrográfica do rio Cávado, a barragem do Alto Rabagão é uma das oito barragens que constituem o sistema hidroeléctrico Cávado-Rabagão-Homem (Figura 1). Este sistema é constituído pelas seguintes barragens: Alto Rabagão, Alto Cávado, Paradela, Venda Nova, Salamonde, Caniçada, Vilarinho das Furnas e Penide – situadas nos rios Cávado, Rabagão e Homem. As albufeiras que alimentam as centrais do sistema têm uma capacidade de armazenamento total de 1 121 hm³, dos quais 65% correspondem à albufeira do Alto Rabagão (EDP, 1984).

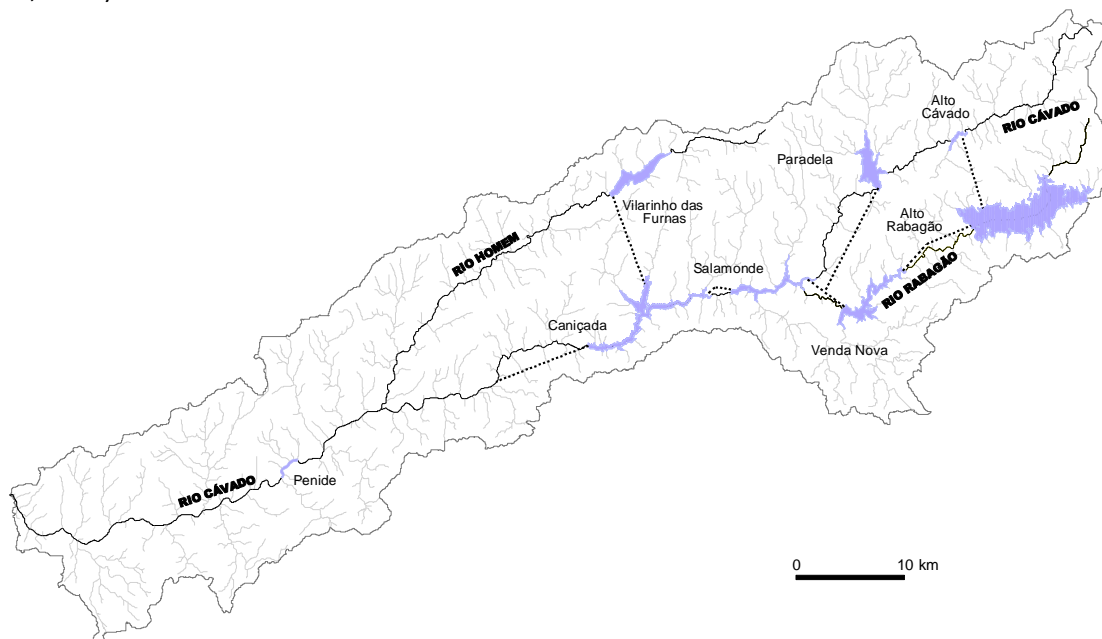


Figura 1. Sistema hidroeléctrico Cávado-Rabagão-Homem

A bacia hidrográfica do rio Cávado, com o seu afluente rio Rabagão, enquadra-se, de acordo com o artigo 6.º da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, na Região Hidrográfica RH2, sob a jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Norte.

A área drenante para a albufeira do Alto Rabagão é de aproximadamente 103 km² (Figura 2), o que representa 6.4 % da área total da bacia hidrográfica do rio Cávado, a que correspondem 1 610 km². O valor médio de precipitação total anual ponderada sobre a área da bacia hidrográfica da albufeira do Alto Rabagão é de 1 555 mm (valor obtido para o período temporal compreendido entre 1955 e

1995). A altitude média (Figura 3) e o declive médio da bacia hidrográfica são de aproximadamente 952 m e 10.9%, respectivamente.

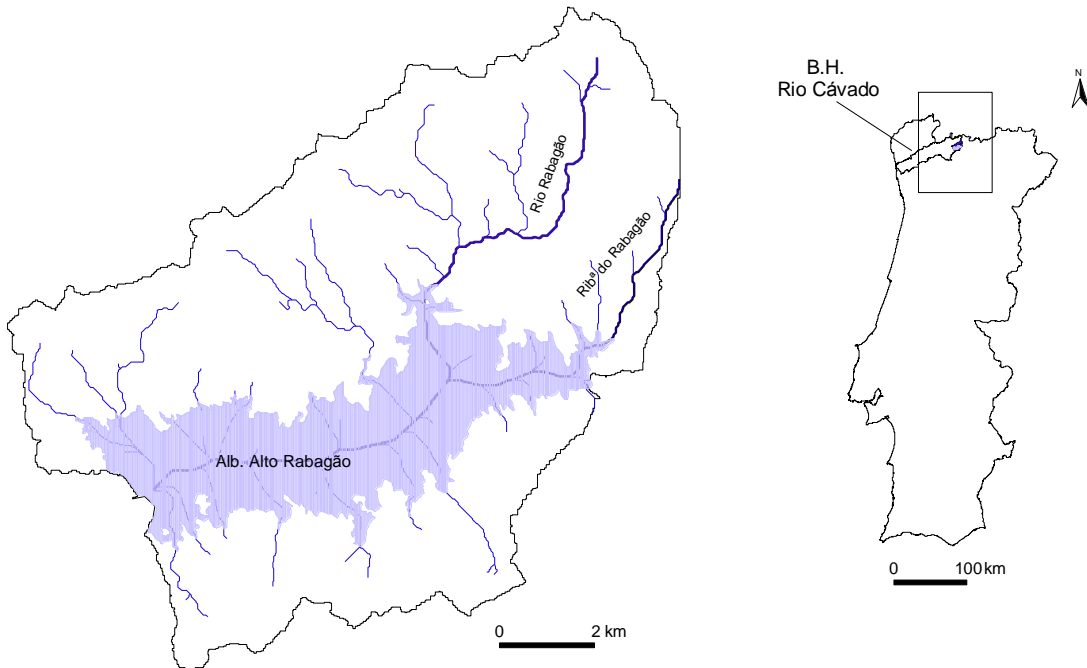


Figura 2. Albufeira do Alto Rabagão: localização e área drenante

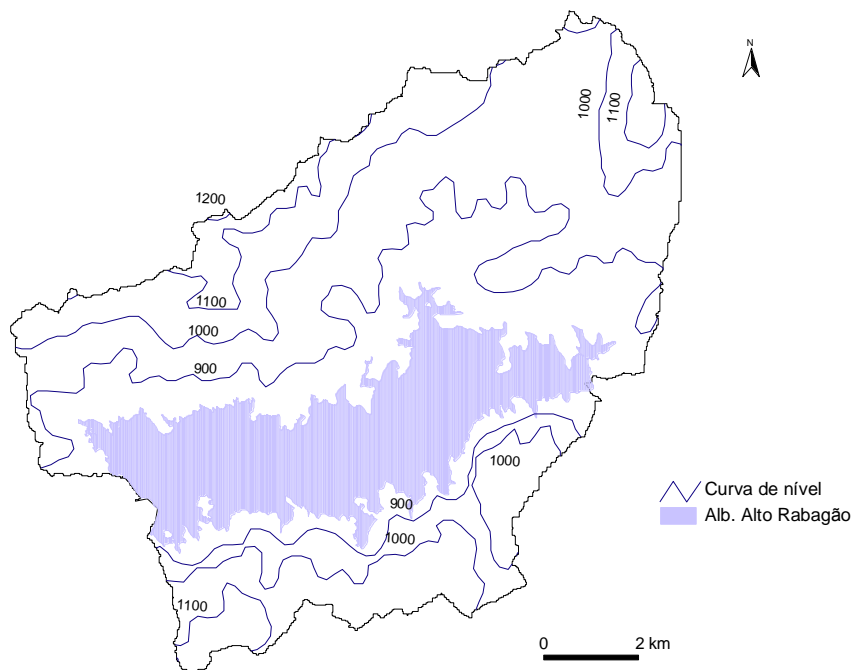


Figura 3. Bacia hidrográfica do Alto Rabagão: Curvas de nível

A albufeira do Alto Rabagão apresenta um comprimento de cerca de 10 km, inunda uma área de 2 224 ha, ao Nível de Pleno Armazenamento (NPA), que é de 870.8 m, e tem uma capacidade total de armazenamento de 568.7 hm³.

Os caudais turbinados na barragem do Alto Rabagão são restituídos a montante da albufeira de Venda Nova, local onde são captados, através do mesmo circuito hidráulico os caudais bombeados para a albufeira do Alto Rabagão. Os caudais descarregados pela barragem do Alto Rabagão são restituídos no rio Rabagão, a jusante da barragem (EDP, 1984).

A albufeira criada pela barragem do Alto Cávado inunda uma área de 50 ha, ao NPA de 901.5 e tem uma capacidade de armazenamento de 3.3 hm³, dos quais 2.0 hm³ podem vir a ser aproveitados para turbinamento na central do Alto Rabagão.

O túnel de derivação da albufeira do Alto Cávado para a albufeira do Alto Rabagão, com a soleira de entrada à cota 894.9, tem uma extensão de 4.9 km e uma secção de cerca de 11 m², descarregando o caudal na albufeira do Alto Rabagão à cota 870. O túnel tem dispositivos de segurança a montante e a jusante, que permitem o seu isolamento (EDP, 1984).

O uso principal da albufeira do Alto Rabagão é, de acordo com o POAAR (INAG, 2009), o abastecimento de água às populações. A pesca, os banhos e a natação, bem como a navegação recreativa, constituem usos secundários pontuais:

“A actividade balnear é pontual, não existindo praias fluviais infra-estruturadas com condições que potenciem essa prática. Foi possível identificar algumas zonas de recreio informal...e uma área de banhos localizada junto ao Parque de Campismo de Penedones, e que, apesar de não ter efectivamente qualquer classificação, apresenta alguns equipamentos e infra-estruturas de apoio ao recreio balnear, integrados no próprio parque de campismo. No que diz respeito ao recreio náutico, este é praticamente inexistente, não existindo na zona actualmente nenhum clube ou associação recreativa dedicado à promoção deste tipo de actividades. Por outro lado, durante os meses de Verão, a albufeira é palco da prática de alguns desportos náuticos/radicais como regatas, vela, remo, flysurf, entre outros...”(POAAR, 2009)

No Quadro 1, são apresentadas as principais características da barragem e da albufeira do Alto Rabagão, bem como dos órgãos de segurança da barragem.

Quadro 1. Características da barragem do Alto Rabagão

CARACTERÍSTICAS DA BARRAGEM
<p>Localização – Distrito de Vila Real, Concelho de Montalegre</p> <p>Tipo – Betão, Arco + Gravidade</p> <p>Altura acima da fundação – 94 m</p> <p>Cota do coroamento – 870.8 m (expressa no Sistema de Referência Altimétrico Nacional, resultante de uma correcção do desfasamento de -9,2m em relação à respectiva cota do NPA referenciada pelos Serviços Hidráulicos à época da elaboração do Projecto da Barragem (880,0m) (INAG, 2009))</p> <p>Desenvolvimento do coroamento – 1 970 m</p> <p>Fundação – Granito, xisto</p> <p>Volume de betão – 1 117 x 1000 m³</p>
CARACTERÍSTICAS DOS DESCARREGADORES DE CHEIA
<p>Número – 2</p> <p>Localização – No corpo da barragem</p> <p>Cota da crista da soleira – 850.8 m</p> <p>Tipo – Frontal</p> <p>Comportas – Duas comportas vagão</p> <p>Caudal máximo descarregado – 500 m³/s</p>
CARACTERÍSTICAS DO DESCARREGADOR DE FUNDO
<p>Número – 1</p> <p>Localização – Talvegue</p> <p>Cota da crista da soleira – 790.8 m</p> <p>Tipo – Através da barragem</p> <p>Caudal máximo – 360 m³/s</p> <p>Controlo a jusante – Válvula de jacto oco</p> <p>Dissipação de energia – Jacto oco</p>
CARACTERÍSTICAS DA ALBUFEIRA DO ALTO RABAGÃO
<p>Capacidade total – 568 690 dam³</p> <p>Capacidade útil – 557 920 dam³</p> <p>Volume morto – 10 770 dam³</p> <p>NPA – 870.8 m</p> <p>NMC – 870.9 m</p> <p>NmE – 819.8 m</p>

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

3. ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA ALBUFEIRA DO ALTO RABAGÃO

Os dados de qualidade da água utilizados na análise realizada foram obtidos através do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), do Instituto da Água (INAG), considerando a única estação de qualidade da água existente na albufeira - Albufeira do Alto Rabagão (03J/09).

O período temporal analisado, 14 anos (1995 – 2008), permitiu avaliar a tendência de evolução da qualidade da água na albufeira, considerando os critérios de qualidade para a produção de água para consumo humano, uso balnear e para águas destinadas à rega, que constam do Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, que regula a qualidade das águas doces superficiais para diferentes usos.

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

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

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

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

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

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

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

Classificação	ULTRAOLIGOTRÓFICO	OLIGOTRÓFICO	MESOTRÓFICO	EUTRÓFICO	HIPEREUTRÓFICO
índice	< 20	20 - 40	40 - 50	50 - 60	> 60

A análise do estado trófico foi igualmente realizada para as albufeiras do Alto Cávado e de Venda Nova, em função da influência que estas albufeiras têm na qualidade da água da albufeira do Alto Rabagão.

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

A análise da Figura 4 permite verificar que os valores da concentração de oxigénio dissolvido (OD), mantêm a evolução usual deste parâmetro no epilimnion, ao longo do período temporal analisado.

Os valores da concentração de OD no epilimnion diminuem no Verão, atingindo um valor de aproximadamente 7 mg/L, enquanto que no Inverno se mantêm com um valor próximo dos 10 mg/L.

No período temporal compreendido entre os anos de 1995 e 2000, pode observar-se alguma instabilidade na evolução anual deste parâmetro (OD), que deverá estar relacionada com a evolução dos valores da concentração de azoto amoniacal (NH_4), que se pode observar na Figura 8. O consumo de oxigénio determinado pelo processo de nitrificação deverá assim ser a principal causa da referida instabilidade.

Na Figura 5, pode observar-se que, em média, os valores da concentração de OD, expressos em termos de percentagem de saturação, são superiores ao VMR (valor máximo recomendado), para a classe A1 (produção de água para consumo humano), e ao valor que limita a classificação do estado eutrófico para este parâmetro.

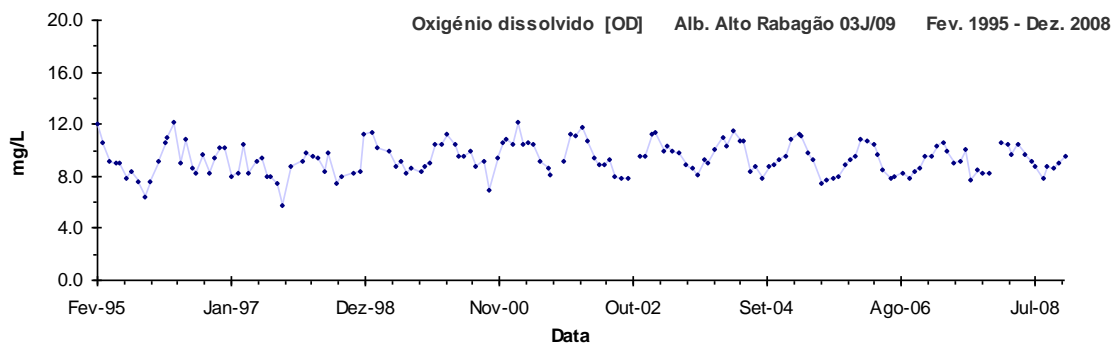


Figura 4. Evolução da concentração de OD na albufeira do Alto Rabagão à superfície

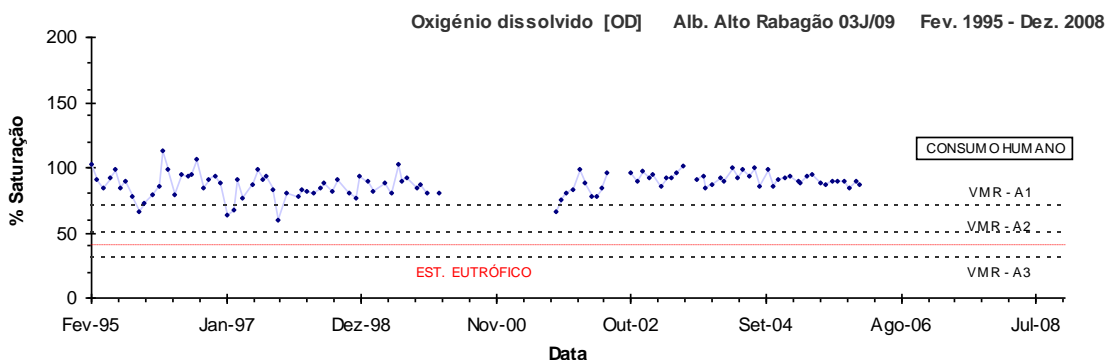


Figura 5. Evolução da concentração de OD expressa em percentagem de saturação na albufeira do Alto Rabagão à superfície

Os valores da concentração da carência bioquímica de oxigênio ao fim de 5 dias (CBO_5) são, inferiores ao VMR da classe A1 (produção de água para consumo humano) (Figura 6).

A análise da Figura 7 permite concluir que os valores da concentração de ortofosfatos (PO_4) são inferiores ao VMR da classe A1, para águas destinadas ao consumo humano, com excepção do período temporal que inclui o verão do ano de 2005.

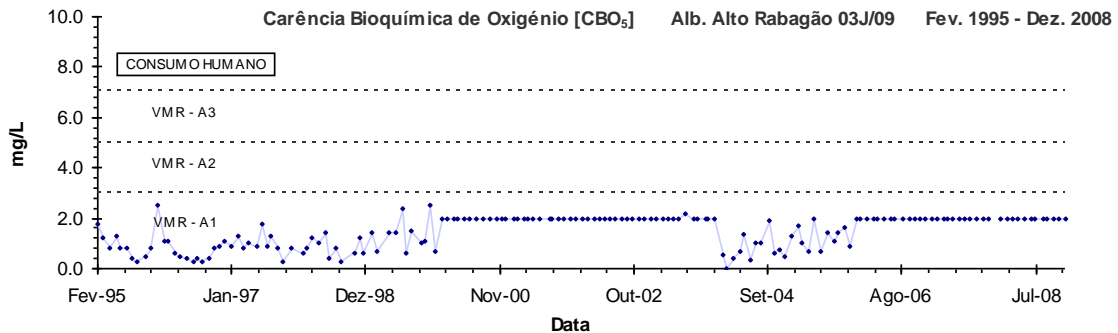


Figura 6. Evolução da concentração da CBO_5 na albufeira do Alto Rabagão à superfície

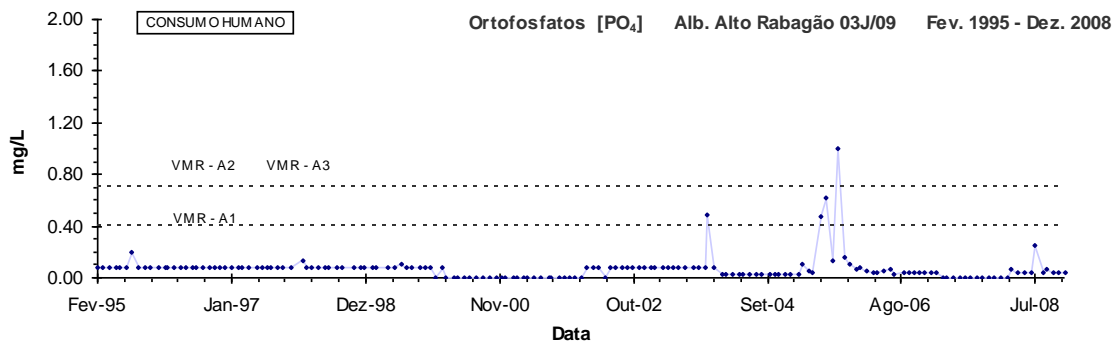


Figura 7. Evolução da concentração de ortofosfatos na albufeira do Alto Rabagão à superfície

Os valores mais elevados da concentração de NH_4 (Figura 8), situam-se entre o VMR das classes A1 e A2, para águas destinadas ao consumo humano. Deve referir-se que apesar de os valores da concentração deste parâmetro não serem muito elevados, o seu efeito foi observável na evolução temporal dos valores da concentração de OD, de acordo com o atrás referido.

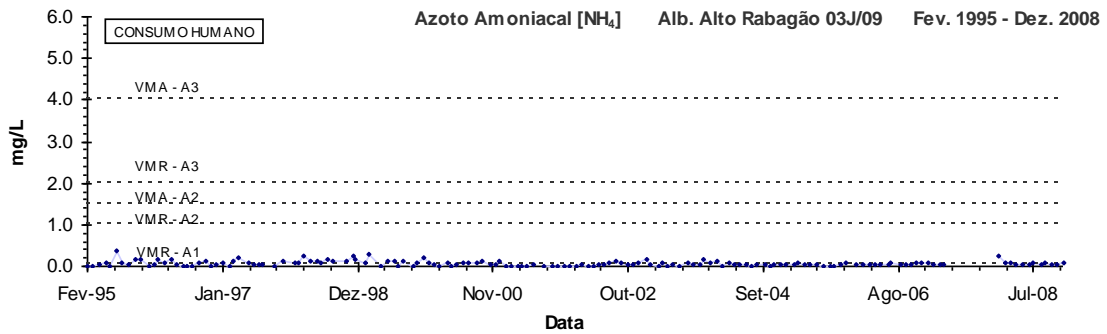


Figura 8. Evolução da concentração de azoto amoniacal na albufeira do Alto Rabagão

A análise da Figura 9 permite verificar que, de acordo com o referido anteriormente, entre 1995 e 2000, observam-se picos de valores da concentração de nitratos (NO_3), que deverão ser originados pelo processo de nitrificação do NH_4 existente na massa de água. No entanto, importa referir que os valores da concentração de NO_3 são sempre inferiores ao VMR da classe A1, para águas destinadas ao consumo humano, e inferiores ao VMR relativo à qualidade das águas destinadas à rega.

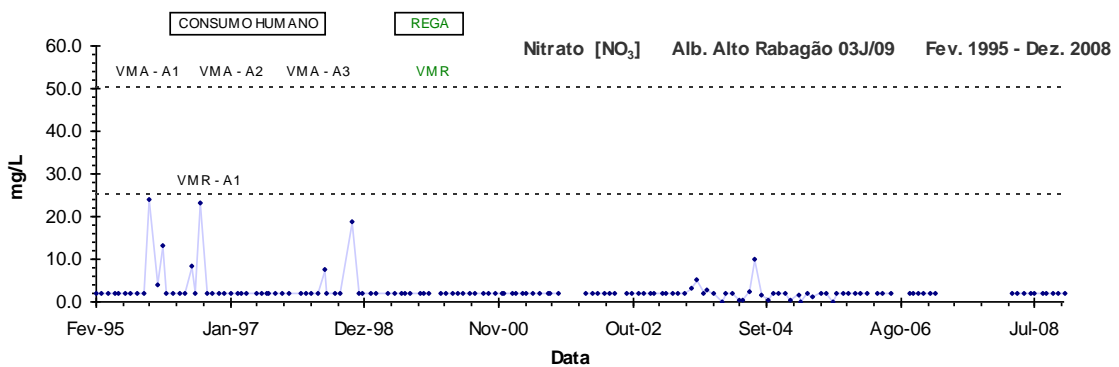


Figura 9. Evolução da concentração de nitratos na albufeira do Alto Rabagão à superfície

Os valores da concentração de nitritos (NO_2) (Figura 10), indicam que ao longo do período de tempo analisado se manteve um padrão relativamente baixo da concentração deste parâmetro, sendo que os valores mais elevados surgem no período que antecede o ano de 1999.

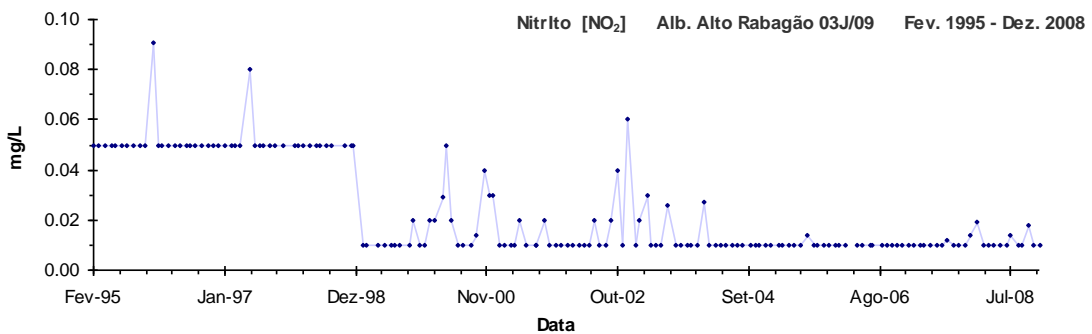


Figura 10. Evolução da concentração de nitritos na albufeira do Alto Rabagão à superfície

Avaliou-se a possibilidade de existir uma relação entre a evolução temporal da concentração de clorofila-a e os valores da concentração de nutrientes (NO_2 , NO_3 , NH_4 , PO_4 , e P_{total}). No entanto, não foi possível identificar um padrão que evidenciasse qualquer interação, directa e quantificável, entre a produção de biomassa algal e o consumo de nutrientes.

Relativamente aos valores da concentração de sólidos suspensos totais (SST) (Figura 11), verifica-se que esses valores são sempre inferiores aos limites estabelecidos para o VMR da classe A1, para águas destinadas ao consumo humano.

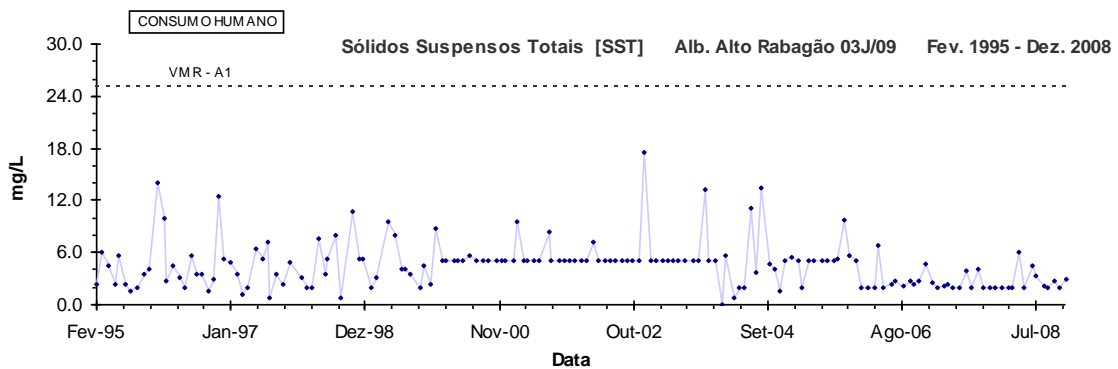


Figura 11. Evolução da concentração de SST na albufeira do Alto Rabagão à superfície

Os valores de pH observados na albufeira do Alto Rabagão, à superfície (Figura 12), têm variado ao longo dos anos entre os valores mínimo e máximo de 5.1 e 7.9, respectivamente. Os valores de pH encontram-se, em média, próximo do limite inferior estabelecido para o VMR da classe A1, para águas destinadas ao consumo humano, e para o VMR relativo à qualidade das águas destinadas à rega, com um valor de 6.45.

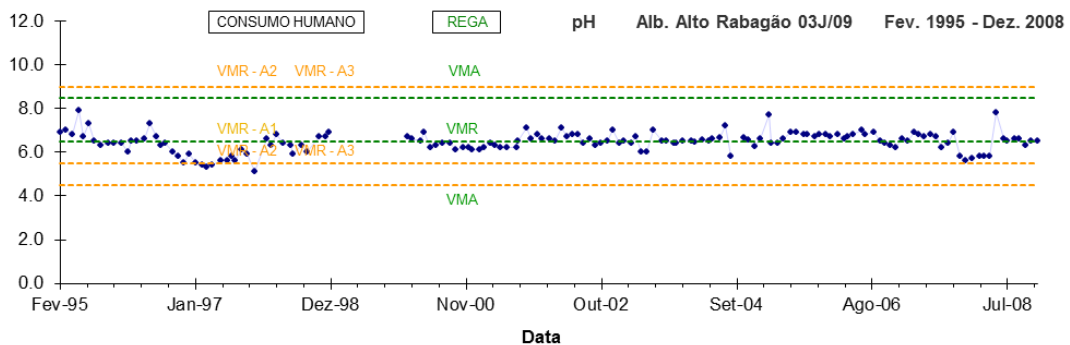


Figura 12. Evolução do pH na albufeira do Alto Rabagão à superfície

A análise dos valores da concentração de coliformes fecais e totais foi desenvolvida considerando os limites de qualidade referentes à produção de água para consumo humano, uso balnear e para as águas destinadas à rega, consignados no Decreto-Lei n.º236/98, de 1 de Agosto (Figuras 13 e 14).

Os valores da concentração de coliformes fecais estão em média localizados entre o VMR da classe A1 e A2, considerando os limites de qualidade referentes à produção de água para consumo humano, e inferiores ao VMR atribuído ao uso balnear e à qualidade das águas destinadas à rega. Os valores de coliformes totais encontram-se também em média localizados entre o VMR da classe A1 e A2, considerando os limites de qualidade referentes à produção de água para consumo humano, e inferiores ao VMR referente ao uso balnear. Pontualmente surgem alguns valores de concentração superiores ao VMR para a classe A1 (consumo humano), sendo que apenas se verifica a existência de um valor que ultrapassa o VMA para o uso balnear. De uma forma geral, conclui-se que a contaminação de origem microbiológica da albufeira do Alto Rabagão é reduzida, em função dos valores de concentração disponíveis. No entanto, deve referir-se que uma amostragem mensal, de parâmetros cujo ciclo de vida não depende de uma função periódica, é insuficiente para a caracterização completa de uma massa de água.

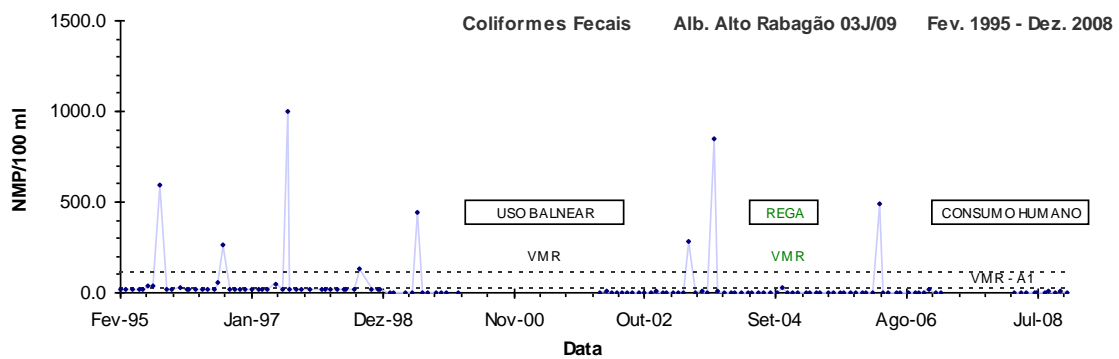


Figura 13. Evolução da concentração de coliformes fecais na albufeira do Alto Rabagão à superfície

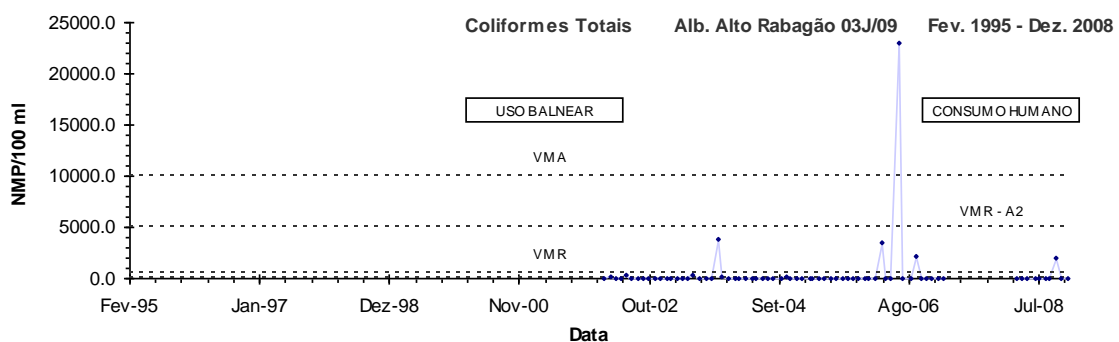


Figura 14. Evolução da concentração de coliformes totais na albufeira do Alto Rabagão à superfície

A avaliação do estado trófico da albufeira do Alto Rabagão deve ser realizada em conjunto com a análise do estado trófico das albufeiras do Alto Cávado e de Venda Nova, em função da influência que estas massas de água têm na qualidade da água da albufeira em análise.

Na Figura 15, pode-se observar que os valores da concentração de clorofila-a indicam que a albufeira se encontra no limite entre o estado oligotrófico e o estado mesotrófico, se se considerasse para

essa classificação exclusivamente este parâmetro. Verifica-se, também, que existem alguns valores de concentração mais elevados, observados maioritariamente durante os meses de Outubro e Novembro de 1998, 1999, 2002, 2003 e 2006, tendo-se registado um máximo de 20.3 µg/L em Novembro de 2002.

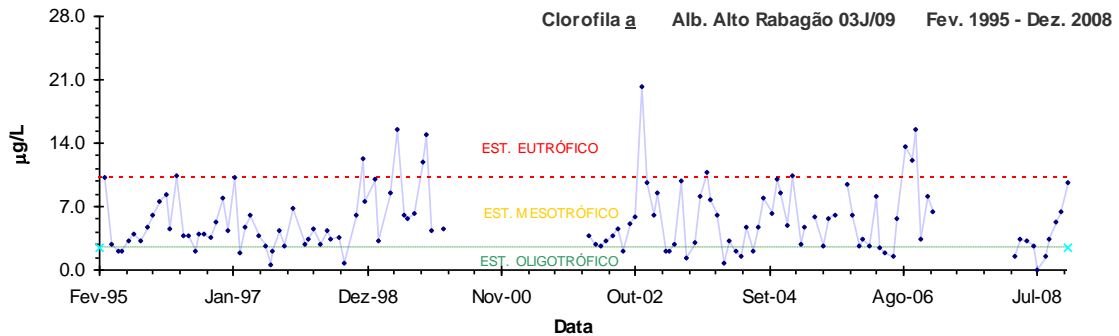


Figura 15. Evolução da concentração de clorofila-a na albufeira do Alto Rabagão à superfície

Relativamente aos valores da concentração de fósforo total (P_{total}) (Figura 16), verifica-se que, em média, estes se situam no intervalo correspondente ao estado mesotrófico. No entanto, pode também verificar-se a existência de alguns valores de P_{total} muito superiores ao valor limite considerado para o estado eutrófico, dos quais se destacam os que se observaram nos meses de Junho, Julho, Agosto, Setembro e Outubro de 2005, tendo-se verificado que o valor mais elevado da concentração deste parâmetro, foi registado durante o mês de Junho de 2005.

Deve referir-se que, de acordo com o Instituto de Meteorologia, “O ano de 2005 continuou a caracterizar-se (à semelhança do ano 2004) por valores da quantidade de precipitação muito inferiores aos valores médios (1961-90), classificando-se como um ano extremamente seco, tendo sido registado o valor mais baixo do total de precipitação desde 1931. A média da temperatura máxima do ar em 2005 foi superior ao valor médio de 1961-1990, registando o 2º 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).

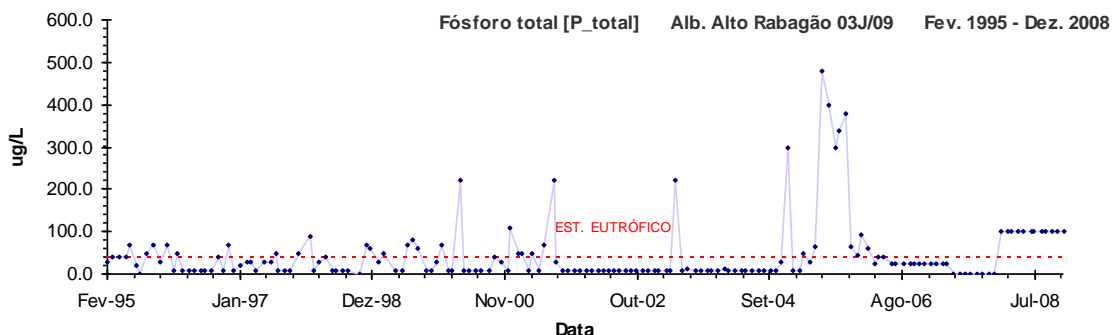


Figura 16. Evolução da concentração de P_{total} na albufeira do Alto Rabagão à superfície

Nos Quadros 4 a 9 é apresentada a classificação do estado trófico das albufeiras do Alto Rabagão, Alto Cávado e Venda Nova de acordo com a grelha de classificação do INAG, bem como através do Índice de Carlson, considerando os valores médios anuais (média geométrica) dos valores de P_{total} e de Clorofila-a.

Os valores da concentração de P_{total} observados durante o ano de 2008, nas três albufeiras, foram excluídos da análise, uma vez que o referido ano é caracterizado por um valor constante, “< 0.1 mg/L” (100 ug/L), sendo superior ao limite estabelecido para o estado mesotrófico (Figura 16), o que parece corresponder a uma situação pouco credível.

Nos Quadros 4 a 9 são apresentados os resultados obtidos anualmente, relativamente ao estado trófico de cada uma das albufeiras, de acordo com os dois tipos de classificação considerados. Os resultados obtidos com o Índice de Carlson são também apresentados graficamente, para cada uma das albufeiras, nas figuras 17, 18 e 19.

Em termos teóricos, a Clorofila-a é considerada a variável mais representativa da biomassa algal e, por isso, deve ser entendida como a mais relevante na classificação do estado trófico de uma massa de água. No entanto, em função da discretização temporal das amostras disponíveis, essa situação deve ser avaliada com algumas reservas.

A análise realizada permitiu concluir que, de acordo com a classificação obtida para a Clorofila-a, com ambas as classificações, as três albufeiras encontra-se no estado mesotrófico. O mesmo se verifica relativamente à classificação obtida para os valores da concentração de P_{total}, com a exceção da Albufeira do Alto Cávado, que de acordo com o Índice de Carlson se encontra eutrofizada em seis dos dez anos avaliados.

No ano de 2005 verificou-se um aumento dos valores da concentração de P_{total} nas três albufeiras, que se reflecte na classificação obtida com ambos os critérios, sendo mais evidente na classificação que resulta da aplicação do Índice de Carlson, e mais significativa na Albufeira do Alto Cávado. Tal como referido anteriormente, este facto deverá ser uma consequência das condições meteorológicas que caracterizaram o ano de 2005 (temperaturas mais elevadas e menor volume de água armazenado na albufeira). Provavelmente, a diminuição em profundidade dos valores da concentração de OD, determinou a libertação de fósforo que se encontrava retido nos sedimentos das massas de água. Esta situação será analisada com maior rigor, no Tomo III do presente documento.

Quadro 4. Classificação do estado trófico, Albufeira do Alto Rabagão, Grelha INAG

Ano	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
N (nº valores da amostra)	10	12	11	11	10	1	0	11	12	12	10	12	1
Média geométrica Clorof. a µg/L	4.0	4.7	3.3	3.9	7.7	-	-	4.6	4.7	3.8	5.1	4.9	-
Classificação	M	M	M	M	M	-	-	M	M	M	M	M	-

N (nº de valores da amostra)	10	12	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	4
Média geométrica Fósforo total µg/L	42.6	15.1	21.3	17.4	28.6	18.6	23.7	9.0	12.2	13.7	85.9	32.4	-
Classificação	E	M	M	M	M	M	M	M	M	M	E	M	-

Quadro 5. Classificação do estado trófico, Albufeira do Alto Rabagão, Índice de Carlson

Ano	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
N (nº de valores da amostra)	10	12	11	11	10	1	0	11	12	12	10	12	1
TSI Clorofila <u>a</u>	44.0	45.6	41.5	43.4	50.3	-	-	45.2	45.2	43.0	46.4	45.6	-
Classificação	M	M	M	M	E	M	M	M	M	M	M	M	M
N (nº de valores da amostra)	10	12	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	4
TSI Fósforo total	58.0	42.2	47.4	33.7	51.0	44.2	47.6	35.8	38.9	40.3	65	54.0	50.6
Classificação	E	M	M	M	E	M	M	O	O	M	H	E	E

Quadro 6. Classificação do estado trófico Albufeira do Alto Cávado, Grelha INAG

Ano	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
N (nº de valores da amostra)	11	10	11	10	1	0	11	10	11	12	12	1
Média geométrica Clorofila <u>a</u> µg/L	5.4	2.4	3.7	3.9	-	-	5.4	3.5	2.5	5.4	5.2	-
Classificação	M	O	M	M	-	-	M	M	M	M	M	-
N (nº de valores da amostra)	12	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	4
Média geométrica Fósforo total µg/L	14.9	29.6	28.9	29.3	21.6	30.7	9.0	12	13.6	131.4	53	25.0
Classificação	M	M	M	M	M	M	O	M	M	E	E	M

Quadro 7. Classificação do estado trófico, Albufeira do Alto Cávado, Índice de Carlson

Ano	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
N (nº de valores da amostra)	11	10	11	10	1	0	11	10	11	12	12	1
TSI Clorofila a	45.0	34.7	42.0	42.1	-	-	44.5	40.1	36.4	45.5	44.7	-
Classificação	M	O	M	M	-	-	M	M	O	M	M	-
N (nº de valores da amostra)	12	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	4
TSI Fósforo total	42.3	52.3	50.5	51.1	62.4	50.3	35.8	38.7	40.0	72.6	60.1	50.6
Classificação	M	E	E	E	E	E	M	M	M	H	E	E

Quadro 8. Classificação do estado trófico, Albufeira da Venda Nova, Grelha INAG

Ano	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
N (nº de valores da amostra)	11	11	10	11	10	0	0	11	12	10	11	11	0
Média geométrica Clorofila a $\mu\text{g/L}$	3.5	3.4	2.1	4.1	2.9	-	-	2.6	1.7	1.7	1.5	2.7	-
Classificação	M	M	O	M	M	-	-	M	O	O	O	M	-
N (nº de valores da amostra)	10	12	11	10	11	12	11	12	12	12	12	12	4
Média geométrica Fósforo total $\mu\text{g/L}$	34.9	17.4	16.1	23.5	19.1	21.2	19.9	9	13.5	10.6	193	27.9	35.4
Classificação	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	E	M	E

Quadro 9. Classificação do estado trófico, Albufeira da Venda Nova, Índice de Carlson

Ano	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
N (nº de valores da amostra)	11	11	10	11	10	0	0	11	12	10	11	11	0
TSI Clorofila a	41.5	42.1	37.6	44.2	40.8	-	-	38.8	34.7	35.4	34.2	39.4	-
Classificação	M	M	M	M	M	-	-	O	O	O	O	O	-

Ano	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
N (nº de valores da amostra)	10	12	11	10	11	12	11	12	12	12	12	12	4
TSI Fósforo total	54.1	44.4	43.7	48.5	45.0	46.4	45.3	35.8	40.5	37.8	77	52.1	55.0
Classificação	E	M	M	M	M	M	M	O	M	O	H	E	E

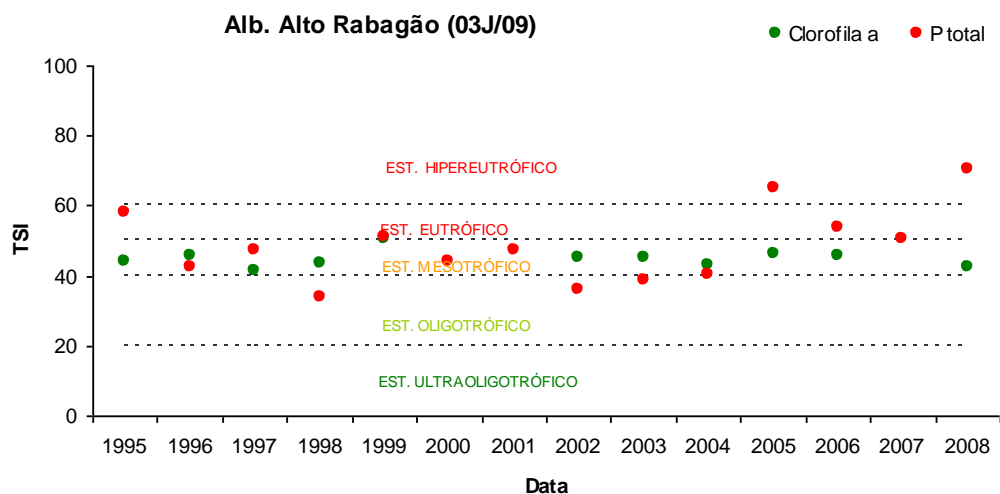


Figura 17. Albufeira do Alto Rabagão. Classificação do estado trófico. Índice de Carlson

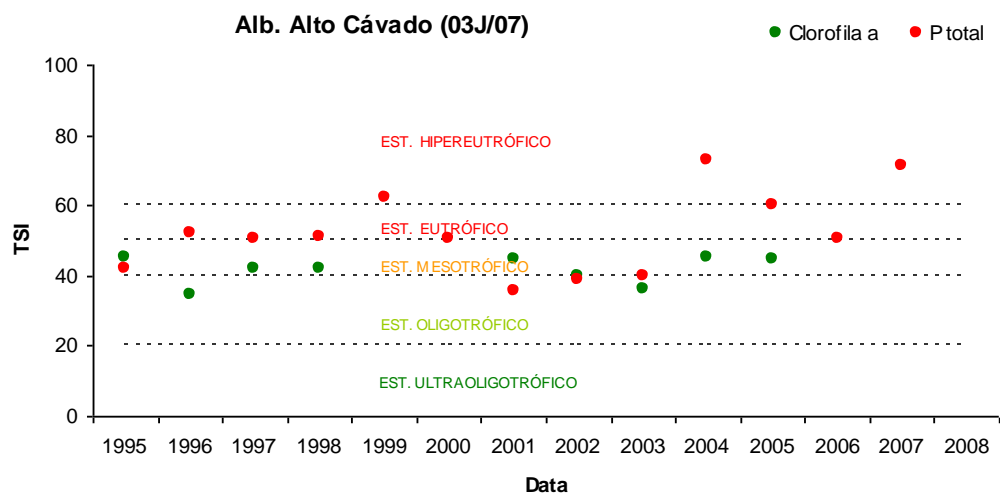


Figura 18. Albufeira do Alto Cávado. Classificação do estado trófico. Índice de Carlson

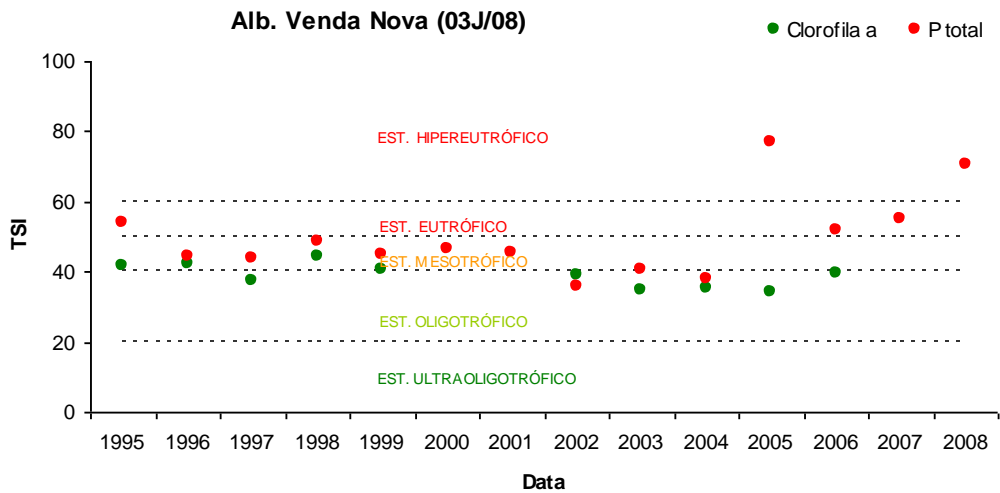


Figura 19. Albufeira de Venda Nova. Classificação do estado trófico. Índice de Carlson

Na Figura 21, pode-se observar a variação anual dos caudais afluentes e efluentes, bem como do volume armazenado na albufeira do Alto Rabagão, sendo possível verificar a influência que as operações de bombeagem e de turbinagem têm no volume de água armazenada, o que deverá ter reflexos importantes na hidrodinâmica da albufeira, bem como na qualidade da água da mesma. A análise da variação do volume armazenado permite concluir que, entre Abril de 2007 e Dezembro de 2008, a albufeira teve uma redução de 39% no volume armazenado, em função da turbinagem, tendo-se atingido um valor mínimo de 300 hm³, o que representa apenas 53% da capacidade de armazenamento total. Deve também referir-se que o volume armazenado em Março de 2006, 220 hm³, representa aproximadamente 39%, da capacidade de armazenamento total, o que terá sido uma consequência das condições atmosféricas e hidrológicas verificadas durante o ano de 2005, que foi particularmente seco, mas que no entanto não impediram a turbinagem no período que antecedeu este valor mínimo.

O volume armazenado na albufeira do Alto Rabagão, nos últimos 20 anos, teve como valor mínimo 146 hm³, observado em Dezembro de 1998, um valor máximo de 567 hm³, em Fevereiro de 2010, e um valor médio de 352 hm³ no período temporal considerado (Figura 20).

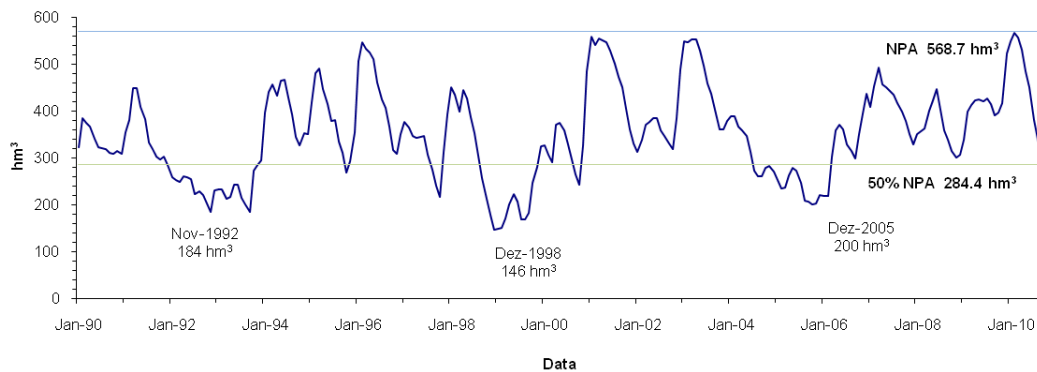


Figura 20. Volume armazenado na albufeira do Alto Rabagão Jan/1990-Out/2010

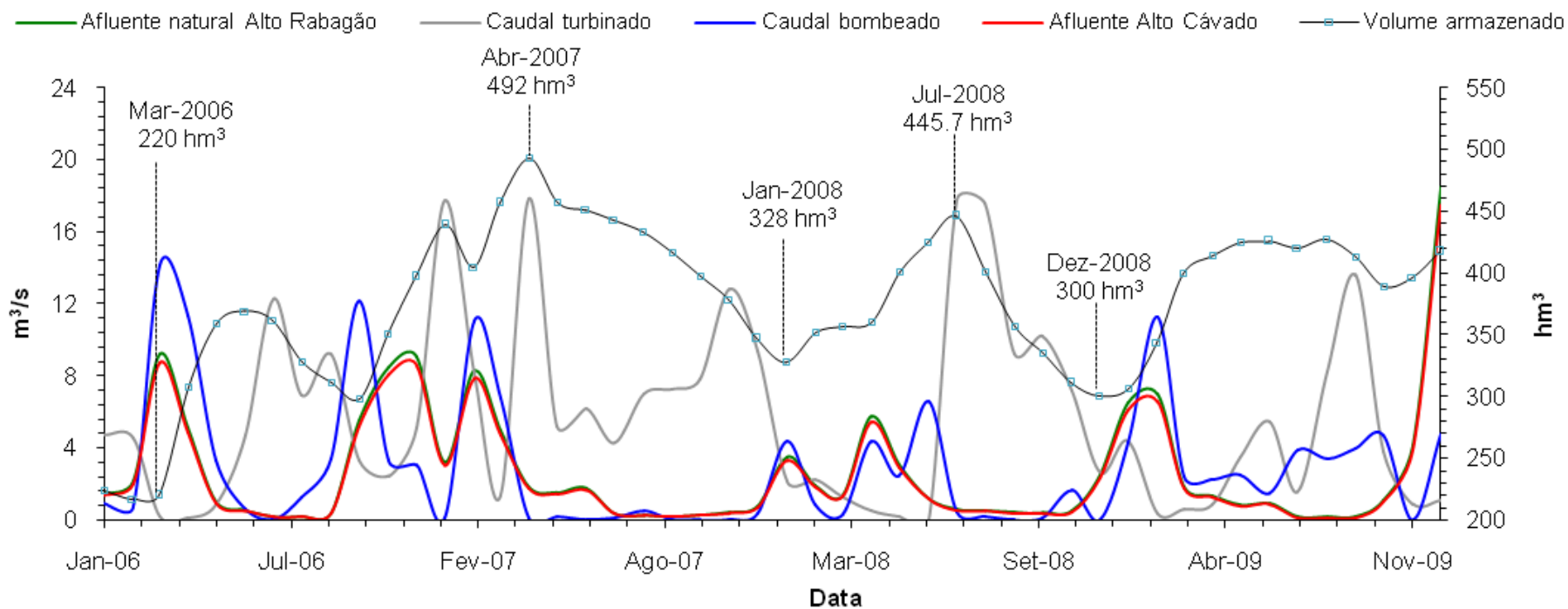


Figura 21. Distribuição de caudais afluentes e efluentes – Albufeira do Alto Rabagão

4. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO MODELO CE-QUAL-W2

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

Trata-se de um modelo que permite a simulação hidrodinâmica e de qualidade da água de uma albufeira segundo as direcções longitudinal e vertical do sistema, sendo lateralmente homogéneo, e por isso indicado para o estudo de massas de água longas e estreitas, com gradientes longitudinais e verticais de qualidade da água (COLE e WELLS, 2002).

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

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

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

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

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

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

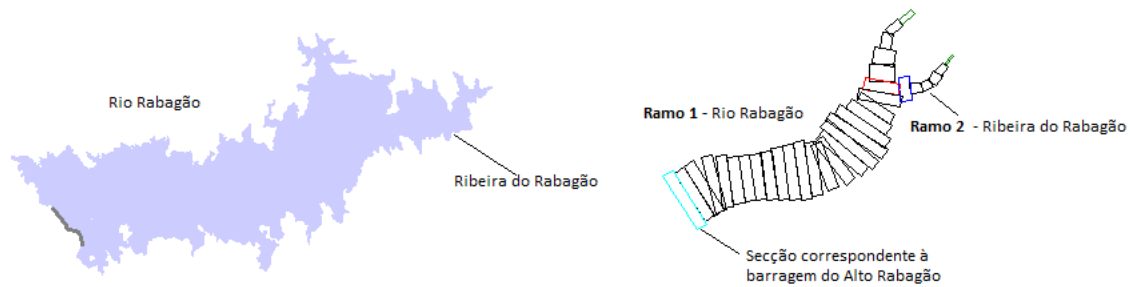
Eddy é resolvida pelo algoritmo, W2N, definido por Cole and Buchak (1995), tendo-se optado pela solução explícita do mesmo.

5. REPRESENTAÇÃO CONCEPTUAL DO SISTEMA A MODELAR

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

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

A albufeira foi dividida em 2 ramos, correspondendo o ramo 1 ao rio Rabagão e o ramo 2 à ribeira do Rabagão (Figura 22). A introdução de cargas poluentes, de origem pontual e difusa, implicou a consideração de 36 tributários pontuais, e de 2 tributários distribuídos associados a cada um dos ramos da albufeira, de acordo com o referido em detalhe ao nível da secção 6.4.do Capítulo 6 do presente relatório.



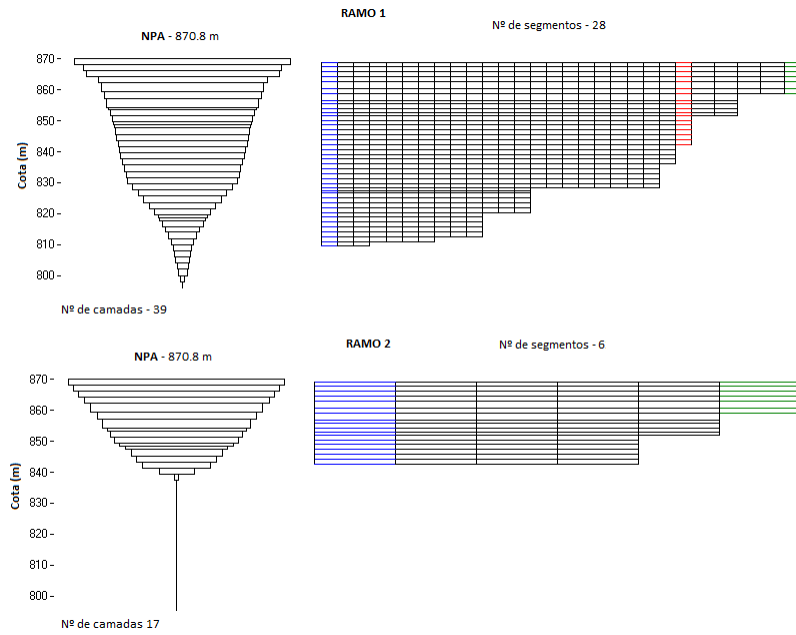


Figura 22. Representação conceptual da albufeira do Alto Rabagão

6. DADOS NECESSÁRIOS AO FUNCIONAMENTO DO MODELO E ESTIMATIVA DAS CARGAS POLUENTES AFLUENTES À ALBUFEIRA DO ALTO RABAGÃO

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

6.1 - Dados hidrológicos

Para o desenvolvimento dos estudos de simulação matemática da qualidade da água da albufeira do Alto Rabagão, consideraram-se os anos civis de 2006 a 2009. A determinação dos valores dos caudais afluentes ao sistema e efluentes do sistema, durante os anos civis de 2006 a 2009, realizou-se tendo como base os dados disponibilizados pela EDP, que permitiram estabelecer um balanço de massa entre os caudais descarregados, os caudais captados para diversos tipos de consumo e a variação do volume armazenado na albufeira.

Não existem registos relativamente aos caudais que são derivados da albufeira do Alto Cávado para a albufeira do Alto Rabagão. No entanto, como a série de valores de caudal natural afluente à albufeira do Alto Rabagão, disponibilizada pela EDP, inclui os valores que são derivados a partir da albufeira do Alto Cávado, foi possível distribuir os valores da série de caudal natural, proporcionalmente pelas duas bacias hidrográficas, em função da área de cada uma delas.

6.2 - Dados meteorológicos

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

Os valores destes parâmetros foram obtidos, na sua maioria, através dos registos da estação meteorológica de Moimenta da Raia (02P/01C), disponibilizados através do SNIRH, e correspondentes aos valores observados nos anos de 2006 a 2009. Deve referir-se que esta estação meteorológica se encontra a aproximadamente 72 km da albufeira do Alto Rabagão (Figura 23). Estes valores foram obtidos com uma discretização diária, tendo-se posteriormente calculado as médias mensais dos mesmos.

Relativamente à nebulosidade, e como solução de recurso, foram considerados os valores das normais climatológicas da estação de Montalegre, com uma discretização mensal (Figura 23).

As séries de valores de velocidade e direcção do vento, foram obtidas através da conjugação dos registos das estações meteorológicas de Viade (03J/04UG) e de Vila da Ponte (03J/05J) (Figura 23).

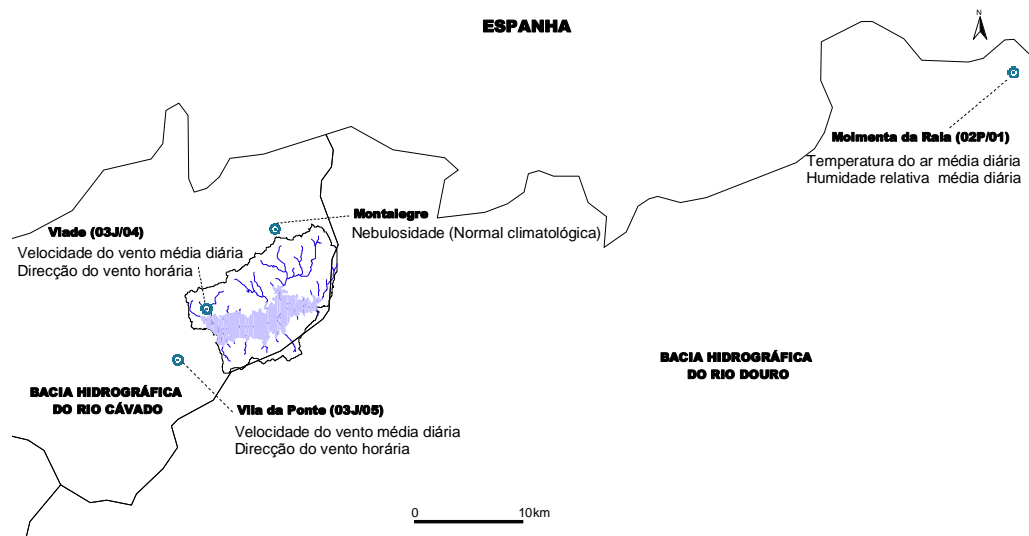


Figura 23. Estações meteorológicas consideradas na análise realizada

6.3 - Dados de qualidade da água das aflúências ao sistema

Como se pode observar na Figura 24, não existem estações de qualidade da água localizadas a montante da albufeira do Alto Rabagão que permitam caracterizar as aflúências à mesma.

As cargas poluentes de origem doméstica, industrial, agrícola e florestal, geradas em toda a área drenante para a albufeira do Alto Rabagão, foram estimadas, e a sua aflúência, difusa ou pontual, à albufeira distribuída de acordo com a metodologia descrita na secção 6.4 do presente relatório.

Foi também necessário caracterizar as aflúências ao sistema através das secções de montante dos ramos 1 e 2, rio Rabagão e ribeira do Rabagão, secções a) e b), respectivamente, identificadas na Figura 25, no que diz respeito aos valores de temperatura da água afluyente à albufeira, e aos valores de CBO₅, OD, nitratos+nitritos (N-NO_x), NH₄, P-PO₄ e sólidos dissolvidos totais (SDT).

A carga poluente de nitratos+nitritos (N-NO_x), NH₄ e P-PO₄, gerada na área drenante às secções a) e b), nomeadamente ao nível dos espaços agrícolas e florestais, foi estimada de acordo com a metodologia que se descreve na secção 6.4.6 do presente relatório.

Como todas as cargas poluentes são estimadas e introduzidas individualmente no sistema, pretendia-se que a qualidade da água afluyente ao mesmo, através das secções a) e b), fosse o mais “neutra” possível, no que diz respeito aos valores da concentração de OD, CBO₅ e biomassa algal. Na área de estudo existem duas estações de monitorização da qualidade da água, cujos registos poderiam ser utilizados, como estimativa, na referida caracterização: Foz do Cabreira (03I/07) e Foz do Cabril (03I/06) (Figura 24).

Optou-se pela utilização dos valores observados na estação de Foz do Cabreira (03I/07), em função da semelhança existente entre o uso do solo na bacia hidrográfica definida pela secção da estação de qualidade da água, e o uso do solo na área drenante que se pretende caracterizar, bem como pelo facto de na estação de Foz do Cabril (03I/06) se terem observados valores mais elevados da concentração da CBO₅.

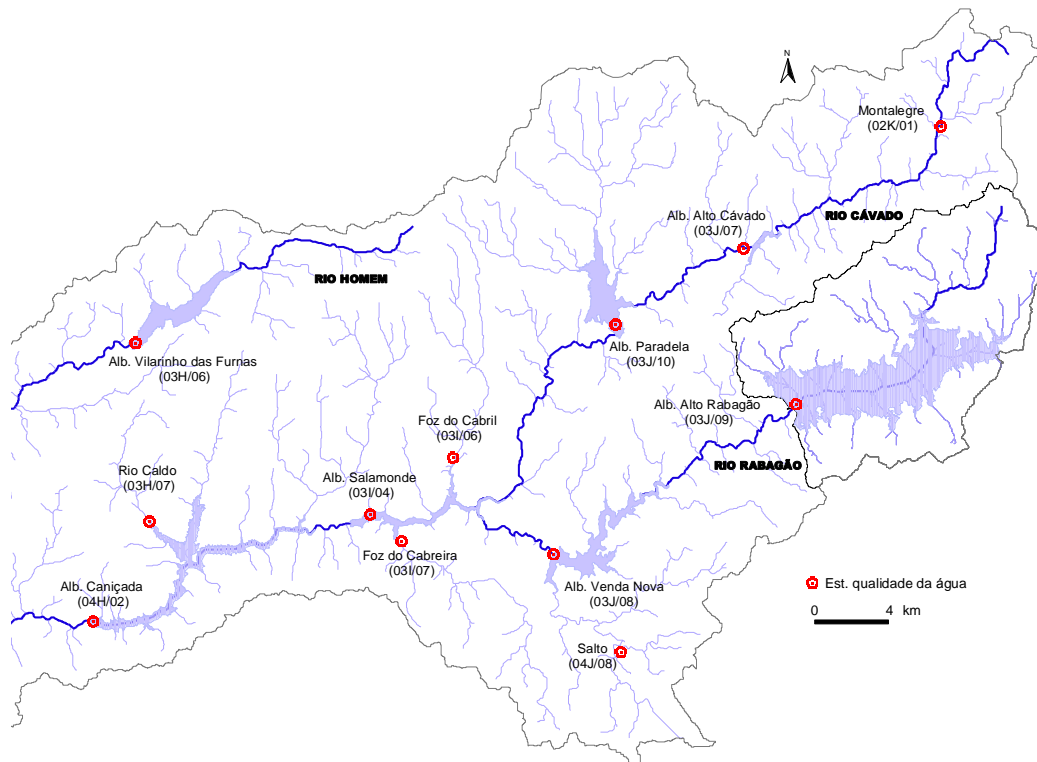


Figura 24. Localização das estações de qualidade da água

As estações de qualidade de Montalegre (02K/01) e de Salto (02J/08), não têm dados de qualidade da água posteriores ao ano 2000. No entanto, como não existem valores da concentração de biomassa algal nas estações de Foz do Cabreira (03I/07) e Foz do Cabril (03I/06), considerou-se o valor médio mensal observado nas estações de qualidade de Montalegre (02K/01) e de Salto (02J/08), entre os anos de 1997 e 1999, de forma a estimar a afluência de biomassa algal ao sistema através das secções a) e b).

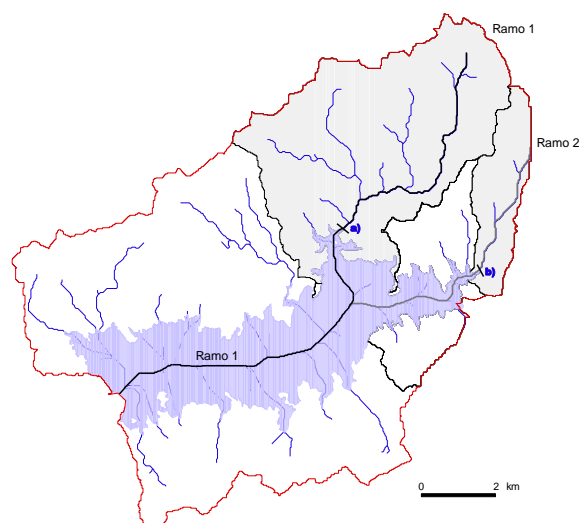


Figura 25. Localização das secções de montante dos ramos simulados, utilizadas na caracterização da qualidade da água afluente à albufeira do Alto Rabagão

Os caudais afluentes à albufeira do Alto Rabagão, com origem nas albufeiras do Alto Cávado (caudais derivados) e da Venda Nova (caudais bombeados) foram caracterizados com os dados observados nas estações do Alto Cávado (03J/07) e da Venda Nova (03J/08).

6.4 - Cargas poluentes geradas na bacia hidrográfica da albufeira do Alto Rabagão

6.4.1 Introdução

A área de intervenção do POAAR, de acordo com o correspondente regulamento, engloba a superfície do plano de água da albufeira à cota do NPA, bem como a faixa terrestre de protecção à massa de água com uma largura de 500 m, medida em projecção horizontal a partir do limite do regolfo à cota do NPA. No POAAR, é também definida a envolvente dos 2 000 m, na qual são identificados todos os lugares que foram considerados na análise realizada, que engloba uma grande percentagem da bacia hidrográfica dominada pela barragem do Alto Rabagão (Figura 26).

A quantificação das cargas poluentes geradas na bacia hidrográfica da albufeira do Alto Rabagão e na área de intervenção do POAAR permitiu caracterizar a situação de referência, que suportou a definição dos cenários de simulação, que permitiram avaliar os efeitos das medidas de redução de carga poluente afluente à albufeira, preconizadas no regulamento do POAAR.

A quantificação da carga poluente efectuada distinguiu as fontes tópicas ou pontuais das difusas. Assim, ao nível das fontes pontuais, procedeu-se à quantificação da carga poluente de origem urbana, considerando os seguintes parâmetros: CBO₅, coliformes totais, coliformes fecais, NH₄, N-NO_x e P-PO₄. Por outro lado, no que se refere às fontes difusas, quantificaram-se as cargas poluentes de origem agrícola e florestal, tendo-se considerado os seguintes parâmetros: NH₄, N-NO_x e P-PO₄.

A carga poluente afluente à albufeira do Alto Rabagão foi agrupada, segundo a sua origem, em cinco categorias distintas:

- ◆ lugares localizados na bacia hidrográfica dominada pela barragem do Alto Rabagão;
- ◆ empreendimentos turísticos localizados na área de intervenção do POAAR;
- ◆ sistemas de tratamento de águas residuais;
- ◆ actividades industriais;
- ◆ actividade agrícola e florestal.

Na Figura 26 pode observar-se a localização das fontes poluentes tópicas, consideradas na análise realizada.

A carga poluente gerada na área de intervenção do POAAR foi introduzida no modelo de acordo com o tipo de descarga que usualmente lhe está associada - pontual ou difusa. Com efeito, o modelo CE-QUAL-W2 permite a introdução de descargas poluentes de duas formas distintas, através da introdução de tributários pontuais, ou de tributários distribuídos. Os primeiros representam uma

descarga pontual, num segmento definido pelo utilizador, e os segundos uma descarga difusa, distribuída uniformemente pelo ramo considerado.

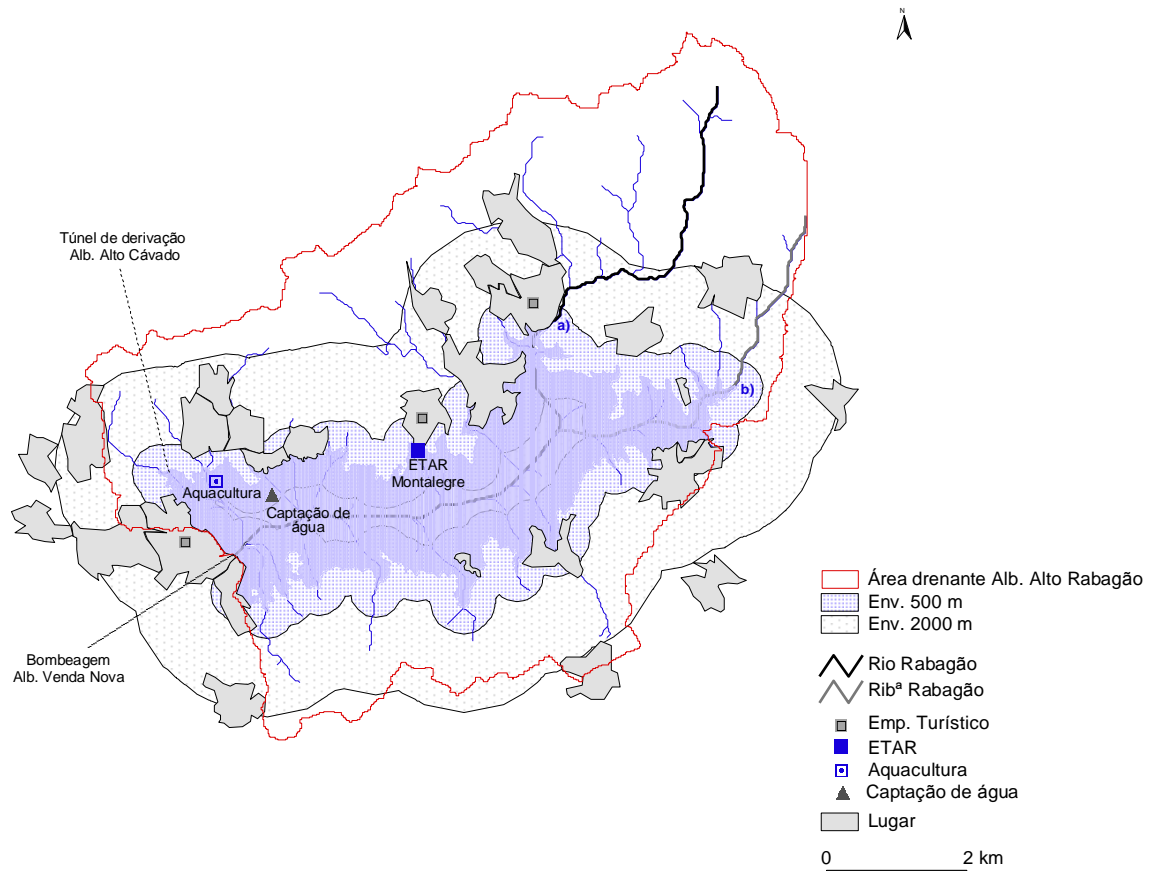


Figura 26. Fontes poluentes localizadas na bacia hidrográfica dominada pela barragem do Alto Rabagão

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

6.4.2 Lugares localizados na bacia hidrográfica da albufeira do Alto Rabagão

O número e a localização dos lugares localizados na bacia hidrográfica da albufeira do Alto Rabagão foi obtido através do Relatório Síntese do POAR (INAG, 2009).

No referido Relatório Síntese é apresentado um levantamento dos lugares existentes na envolvente dos 2000 m, bem como do número de habitantes residentes em cada um deles. No mesmo documento é também referido que:

“Dados relativos ao concelho de Montalegre apontam para que cerca de 73,5 % das águas residuais domésticas sejam descarregadas sem qualquer tratamento e em locais não adequados. Deste valor, 67 % são servidos por sistemas individuais, com deficientes meios de recolha, transporte e tratamento, e 6,5% não possuem qualquer tipo de sistema implementado...”

... Relativamente à área de intervenção do POA, a análise da informação disponibilizada à equipa técnica permitiu constatar que nenhuma localidade apresenta rede de drenagem de esgotos e, conseqüentemente, nenhum efluente é sujeito a tratamento. Assim os efluentes estarão ligados a sistemas individuais, não sendo possível apresentar dados sobre a abrangência e eficiência desses sistemas. O sistema de tratamento de água é constituído por um conjunto de infra-estruturas sendo a ETAR de Montalegre, pertencente ao subsistema de tratamento de águas residuais do Alto Tâmega o principal ponto de convergência dos sistemas de recolha de esgotos da região.”

Face ao desconhecimento da existência de sistemas de tratamento de águas residuais associados aos lugares, admitiu-se, conservativamente, que não existe qualquer tipo de tratamento e que as referidas águas residuais afluem à massa de água num intervalo de tempo reduzido.

A estimativa da carga poluente gerada em cada um dos lugares foi obtida através da consideração das cargas unitárias, apresentadas no Quadro 10. Os valores de capitação foram obtidos através da média dos valores correspondentes a cada um dos países referidos no Quadro 10.

A estimativa das capitações de NH₄, NO₃ e de P-inorgânico, foi complementada em função dos valores de P total e de N total de acordo com as seguintes relações (S.J. Arceivala, 1981):

$$\text{NH}_4 = 0.6 \times \text{N total}$$

$$\text{NO}_3 = 0.05 \times \text{N total}$$

$$\text{P inorgânico} = 0.7 \times \text{P total}$$

Quadro 10. Capitações utilizadas na estimativa da carga poluente de origem urbana (Förstner U. *et al.*, 2002)

Parâmetro	Dinamarca	Itália	Suécia	Alemanha	Valor considerado no estudo
CBO gr/hab.dia	61.6	54.8	75.3	61.6	63.4
NH₄ gr/hab.dia	9.9 ⁽³⁾	6.6 ⁽³⁾	8.2 ⁽³⁾	8.2 ⁽³⁾	8.2
NO₃ gr/hab.dia	0.8 ⁽³⁾	0.5 ⁽³⁾	0.7 ⁽³⁾	0.7 ⁽³⁾	0.7 ⁽¹⁾
P inorgânico gr/hab.dia	3.4 ⁽³⁾	1.5 ⁽³⁾	1.9 ⁽³⁾	2.7 ⁽³⁾	2.4 ⁽²⁾
N total gr/hab.dia	16.4	11.0	13.7	13.7	13.7
P total gr/hab.dia	4.8	2.2	2.7	3.8	3.4

⁽¹⁾ O valor utilizado no estudo foi posteriormente convertido para N-NO₃, tendo passado de 0.7 para 0.15 gr/hab.dia.

⁽²⁾ Admitiu-se que todo fósforo inorgânico está sob a forma de P-PO₄.

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

No Quadro 11 são apresentados os valores de capitação de coliformes totais e fecais, que foram considerados na estimativa da carga poluente inerente a estes parâmetros.

Quadro 11. Capitações utilizadas na estimativa da carga poluente de origem urbana

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

No Quadro 12 podem observar-se valores de capitação, apresentados em outras referências bibliográficas. Como se pode verificar, o valor médio de capitação obtido para cada um dos parâmetros é muito semelhante ao valor considerado na análise realizada.

Quadro 12. Capitações águas residuais urbanas (outras fontes)

Parâmetro	S.J. Arceivala, (1981)	Metcalf & Eddy, (1991)	Metcalf & Eddy, (2003)	Förstner U. <i>et al.</i> (2002)	PNA, (2000)	Valor médio
CBO gr/hab.dia	50.0	82.0	85.0	63.4	60.0	67.9
NH₄ gr/hab.dia	5.4 ⁽¹⁾	-	-	8.2 ⁽¹⁾	6 ⁽¹⁾	6.5
NO₃ gr/hab.dia	0.5 ⁽¹⁾	-	-	0.7 ⁽¹⁾	0.5 ⁽¹⁾	0.5
P inorgânico gr/hab.dia	1.8 ⁽¹⁾	3	3.28 ⁽²⁾	2.4 ⁽¹⁾	2.1 ⁽¹⁾	2.5
N total gr/hab.dia	9	-	-	13.7	10	10.9
P total gr/hab.dia	2.6	3.6	-	3.4	3	3.1

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

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

No Quadro 12 pode observar-se as diferenças existentes nos valores de capitação da CBO5, de N total e de P total, em alguns países desenvolvidos e subdesenvolvidos.

Quadro 13. Capitações águas residuais urbanas em diferentes países (Förstner U. *et al.*, 2002)

Parâmetro	Índia	Turquia	Egipto	Uganda	Brasil	USA	Dinamarca	Itália	Suécia	Alemanha
CBO gr/hab.dia	34.2	34.2	34.2	61.6	61.6	89.0	61.6	54.8	75.3	61.6
N total gr/hab.dia	-	11.0	11.0	11.0	11.0	16.4	16.4	11.0	13.7	13.7
P total gr/hab.dia	-	1.4	1.4	1.4	2.2	4.8	4.8	2.2	2.7	3.8

Posteriormente determinou-se o valor da concentração correspondente à carga poluente estimada, considerando o valor da capitação de águas residuais domésticas apresentado para a bacia

hidrográfica do rio Cávado, 174 L/hab.dia, no Relatório do Estado do Abastecimento de Água e da Drenagem e Tratamento de Águas Residuais (INSAAR, 2009).

Os valores de concentração assim obtidos foram incluídos no modelo CE-QUAL-W2, sob a forma de tributários pontuais ao longo dos dois ramos da albufeira, tendo em consideração a localização espacial dos lugares, de acordo com o apresentado na Figura 28.

No Quadro 14 podem observar-se os valores estimados de carga poluente gerada pelos lugares localizados na área de intervenção do POA e na envolvente dos 2 000 m.

Quadro 14. Carga poluente gerada pelos lugares localizados na envolvente da albufeira do Alto Rabagão

Freguesia	Lugar	Nº de habitantes	CBO ₅ kg/ano	P - PO ₄ kg/ano	NH ₄ kg/ano	N - NO _x kg/ano	Coliformes totais NMP/ano *(10 ¹⁰)	Coliformes fecais NMP/ano *(10 ¹⁰)	Caudal m ³ /ano
Lugares localizados na área de intervenção do POA (envolvente de 500 m)									
Chã	Aldeia Nova do Barroso	157	3630.6	136	471	8.9	10314.9	11.2	9971.1
Chã	Penedones	78	1803.8	67.6	234	4.4	5124.6	5.6	4953.8
Chã	São Vicente da Chã	86	1988.8	74.5	258	4.9	5650.2	6.1	5461.9
Chã	Travassos da Chã	59	1364.4	51.1	177	3.3	3876.3	4.2	3747.1
Morgade	Criande	58	1341.3	50.2	174	3.3	3810.6	4.1	3683.6
Morgade	Morgade	112	2590	97	336	6.3	7358.4	8	7113.1
Negrões	Negrões	54	1248.8	46.8	162	3	3547.8	3.8	3429.5
Negrões	Vilarinho de Negrões	36	832.5	31.2	108	2	2365.2	2.6	2286.4
Viade de Baixo	Antigo	53	1225.6	45.9	159	3	3482.1	3.8	3366.0
Viade de Baixo	Bairro da Raposeira	23	531.9	19.9	69	1.3	1511.1	1.6	1460.7
Viade de Baixo	Lama da Missa	18	416.3	15.6	54	1	1182.6	1.3	1143.2
Viade de Baixo	Parafita	122	2821.3	105.7	366	6.9	8015.4	8.7	7748.2
Viade de Baixo	Pisões	198	4578.8	171.5	594	11.2	13008.6	14.1	12575.0
Viade de Baixo	Viade de Baixo	93	2150.6	80.6	279	5.3	6110.1	6.6	5906.4
Lugares localizados entre a área de intervenção do POA (envolvente de 500 m) e a envolvente de 2000 m									
Cervos	Barracão	37	855.6	32.1	111	2.1	2430.9	2.6	2349.9
Chã	Castanheira da Chã	72	1665	62.4	216	4.1	4730.4	5.1	4572.7
Chã	Gralhós	106	2451.3	91.8	318	6	6964.2	7.5	6732.1
Chã	Medeiros	109	2520.6	94.4	327	6.2	7161.3	7.8	6922.6
Chã	Torgueda	67	1549.4	58	201	3.8	4401.9	4.8	4255.2
Fervidelas	Fervidelas	46	1063.8	39.8	138	2.6	3022.2	3.3	2921.5
Morgade	Carvalhais	49	1133.1	42.4	147	2.8	3219.3	3.5	3112.0
Negrões	Lamachã	101	2335.6	87.5	303	5.7	6635.7	7.2	6414.5
Viade de Baixo	Brandim	35	809.4	30.3	105	2	2299.5	2.5	2222.9
Viade de Baixo	Friães	90	2081.3	78	270	5.1	5913	6.4	5715.9
Viade de Baixo	Telhado	53	1225.6	45.9	159	3	3482.1	3.8	3366.0
Viade de Baixo	Viade de Cima	61	1410.6	52.8	183	3.4	4007.7	4.3	3874.1
Vila da Ponte	Bustelo	56	1295	48.5	168	3.2	3679.2	4	3556.6

Freguesia	Lugar	Nº de habitantes	CBO ₅ kg/ano	P - PO ₄ kg/ano	NH ₄ kg/ano	N - NO _x kg/ano	Coliformes totais NMP/ano *(10 ¹⁰)	Coliformes fecais NMP/ano *(10 ¹⁰)	Caudal m ³ /ano
Na área localizada entre a envolvente dos 2000 m e o limite da bacia hidrográfica admitiu-se que as A.R. correspondentes aos restantes habitantes das freguesias de Chã e de Viade de Baixo também afluem à massa de água									
Chã	-	194	4486.3	168.1	582.0	11.0	12745.8	13.8	12320.9
Viade de Baixo	-	35	809.4	30.3	105.0	2.0	2299.5	2.5	2222.9

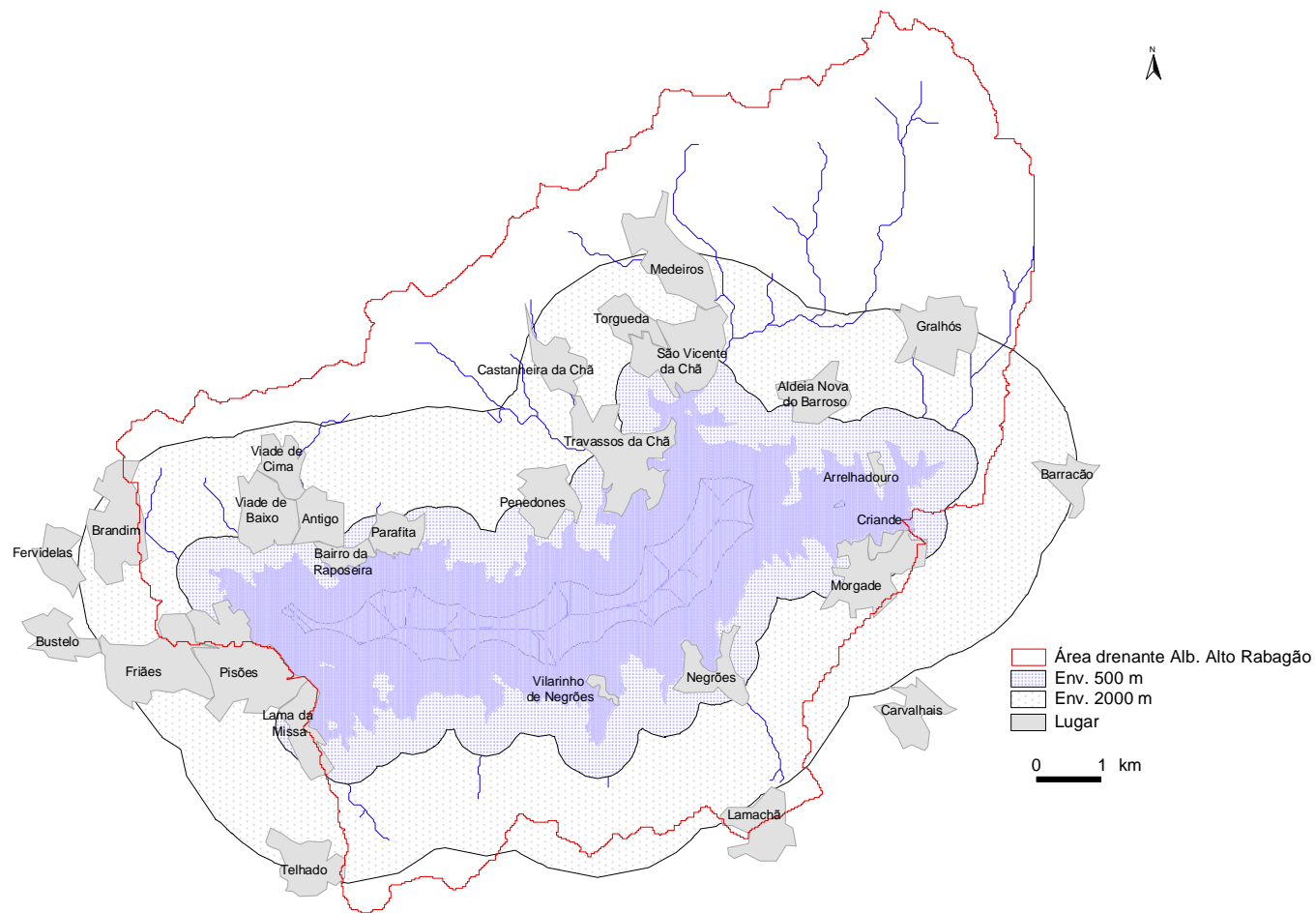


Figura 27. Distribuição dos lugares pela área da bacia hidrográfica

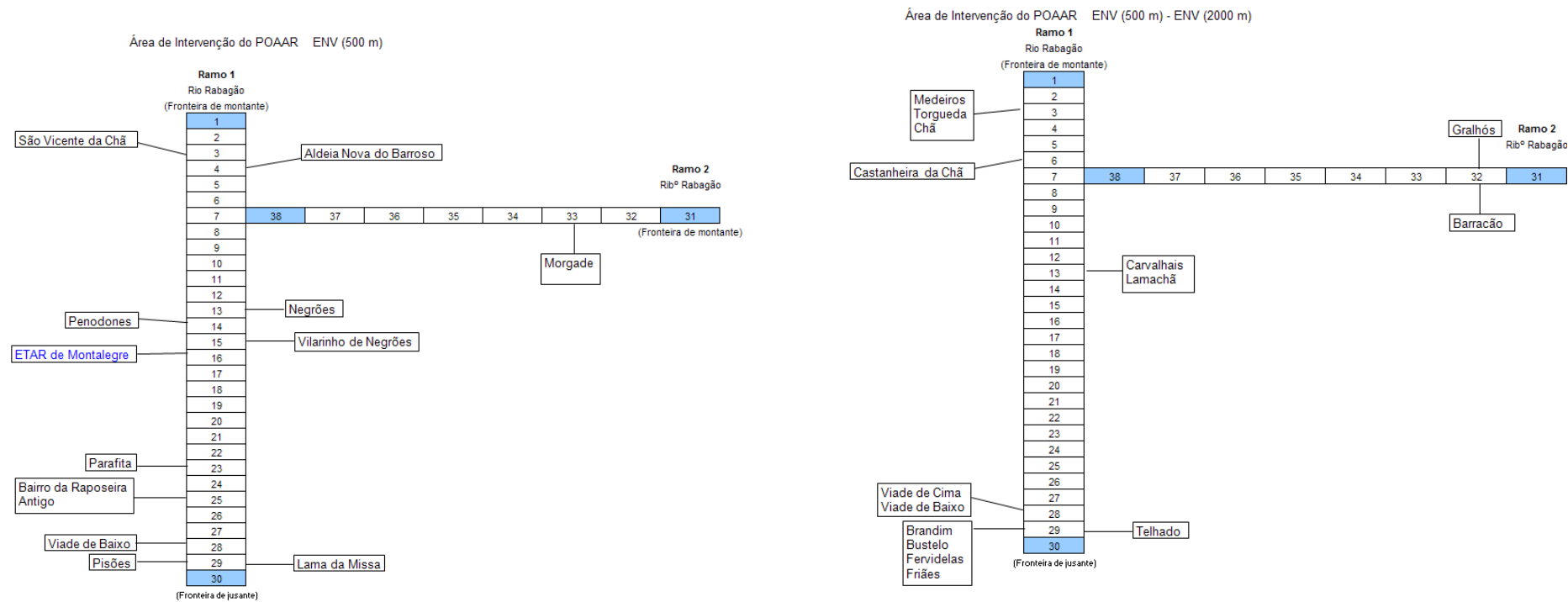


Figura 28. Distribuição dos lugares pela representação conceptual da albufeira do Alto Rabagão

6.4.3 Empreendimentos turísticos localizados na área de intervenção do POAAR

O Relatório Síntese do POAAR (INAG, 2009) identifica três empreendimentos turísticos localizados na sua área de intervenção (Figura 29). Tendo em consideração o número de quartos disponíveis por empreendimento turístico, e as capitações apresentadas nos quadros 10 e 11, determinou-se a correspondente carga poluente afluente à albufeira do Alto Rabagão (Quadro 15). Deve referir-se que se admitiu, conservativamente, que os empreendimentos turísticos se encontram totalmente ocupados durante todo o ano.

O desconhecimento da existência de sistemas de tratamento de águas residuais, determinou que se admitisse também, e igualmente de forma conservativa, que toda a carga poluente gerada afluí à albufeira do Alto Rabagão.

Quadro 15. Carga poluente gerada pelos empreendimentos turísticos localizados na área de intervenção do POAAR

Emp. turístico	Ocupação máxima	CBO ₅ kg/ano	P - PO ₄ kg/ano	NH ₄ kg/ano	N - NO _x kg/ano	Coliformes totais NMP/ano *(10 ¹⁰)	Coliformes fecais NMP/ano *(10 ¹⁰)	Caudal m ³ /ano
Casa Sala do Capitão	12	277.5	10.4	36.0	0.7	788.4	0.9	762.1
Turismo de Aldeia INATEL	28	370.0	13.9	48.0	0.9	1051.2	1.1	1778.3
Residencial Sol e Chuva	16	647.5	24.3	84.0	1.6	1839.6	2.0	1016.2

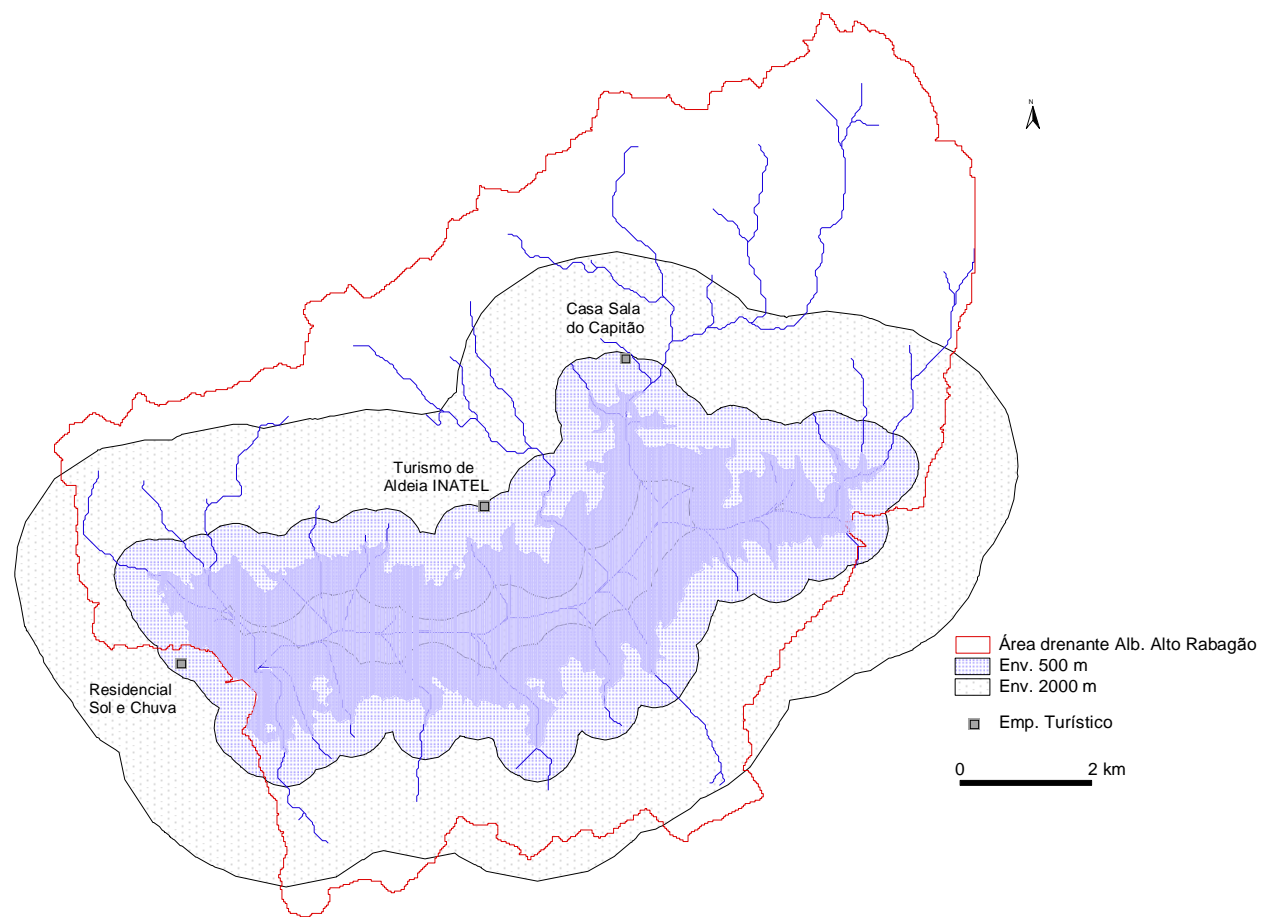


Figura 29. Localização dos empreendimentos turísticos

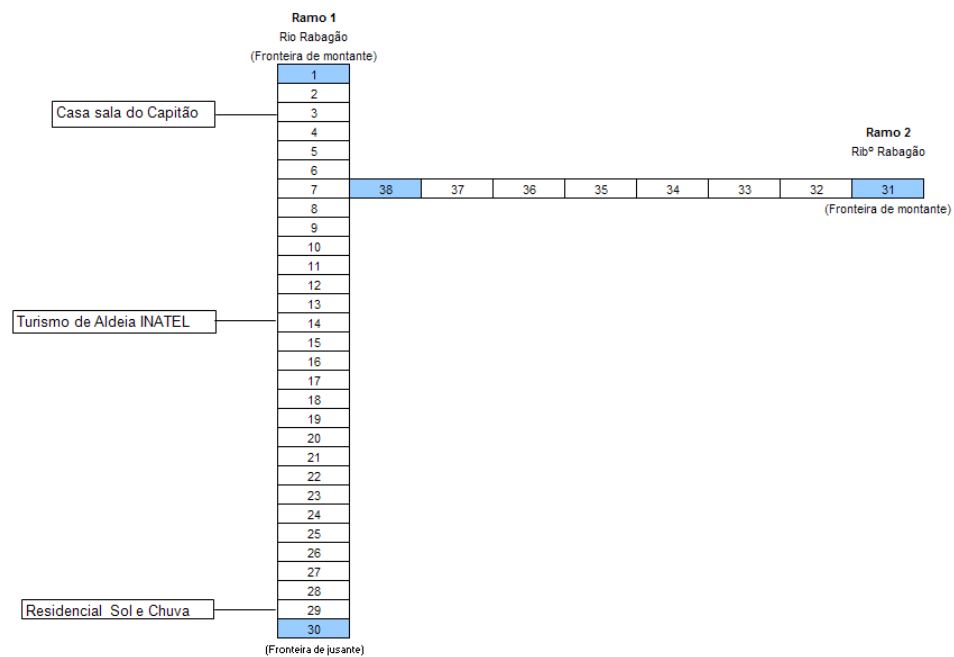


Figura 30. Distribuição dos empreendimentos turísticos pela representação conceptual da albufeira do Alto Rabagão

6.4.4 Sistemas de tratamento de águas residuais

O Relatório Síntese do POAAR (INAG, 2009) identifica a ETAR de Montalegre (Figura 31) como sendo o único sistema de tratamento existente na área de intervenção do POAAR, referindo também que 73.5% das águas residuais domésticas do concelho de Montalegre são descarregadas sem qualquer tratamento.

Assim, na análise realizada admitiu-se que o único sistema de tratamento existente na bacia hidrográfica dominada pela barragem do Alto Rabagão é a ETAR de Montalegre.

De acordo com o mesmo documento, a ETAR de Montalegre serve uma população de 3 782 habitantes, à qual corresponde um caudal de 682 m³/dia.

Considerando as capitações apresentadas nos Quadros 10 e 11, e as eficiências de remoção percentual que se podem observar no Quadro 16, determinaram-se os correspondentes valores de carga poluente afluente à albufeira do Alto Rabagão (Quadro 18), através da origem em análise.

Quadro 16. Eficiência de remoção percentual

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

(a) Metcalf & Eddy (2003)

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

Assim, a carga poluente afluente à albufeira do Alto Rabagão, sob a forma de caudais de águas residuais e correspondente concentração, foi introduzida no modelo de acordo com a distribuição espacial apresentada na Figura 32.

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

Quadro 17. Carga poluente afluente à ETAR de Montalegre

Sistema de tratamento	População servida	CBO ₅ kg/ano	P - PO ₄ kg/ano	NH ₄ kg/ano	N - NO _x kg/ano	Coliformes totais NMP/ano *(10 ¹⁰)	Coliformes fecais NMP/ano *(10 ¹⁰)	Caudal (m ³ /ano)
ETAR de Montalegre	3782	87458.8	3276.2	11346.0	213.5	248477.4	269.2	248930.0

Quadro 18. Carga poluente afluente à albufeira do Alto Rabagão após tratamento

Sistema de tratamento	População servida	CBO ₅ kg/ano	P - PO ₄ kg/ano	NH ₄ kg/ano	N - NO _x kg/ano	Coliformes totais NMP/ano *(10 ¹⁰)	Coliformes fecais NMP/ano *(10 ¹⁰)	Caudal (m ³ /ano)
ETAR de Montalegre	3782	6122.1	1834.6	4878.8	213.5	2484.8	2.7	248930.0

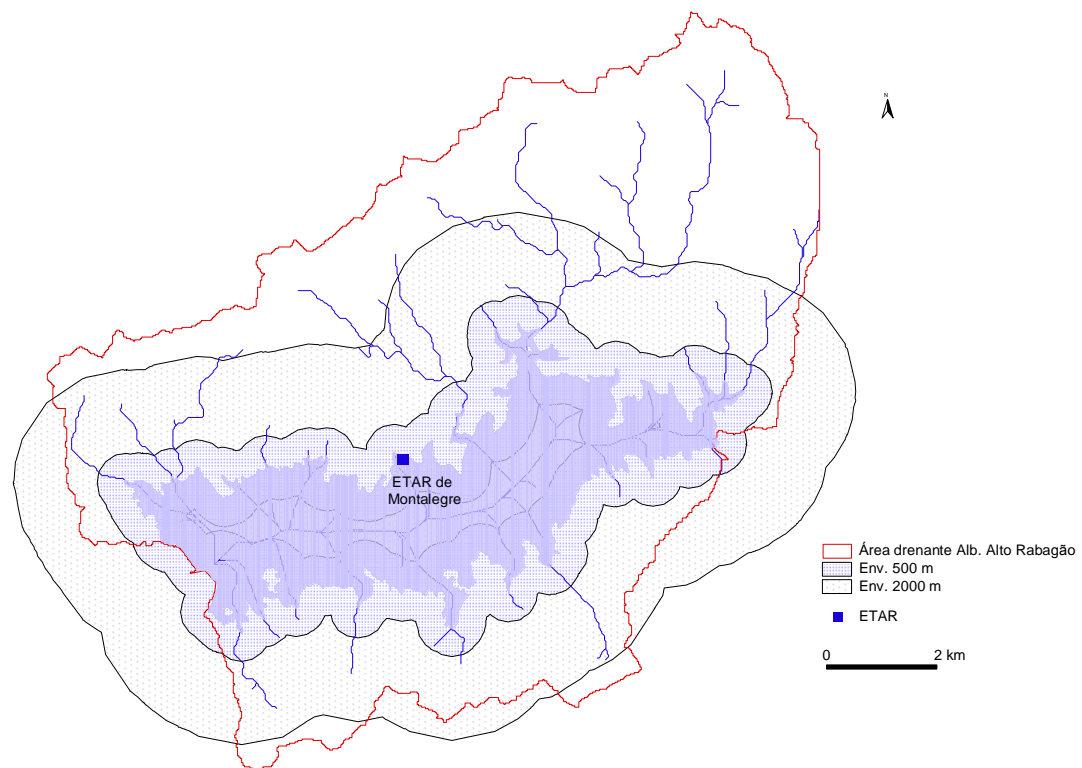


Figura 31. Localização da ETAR de Montalegre

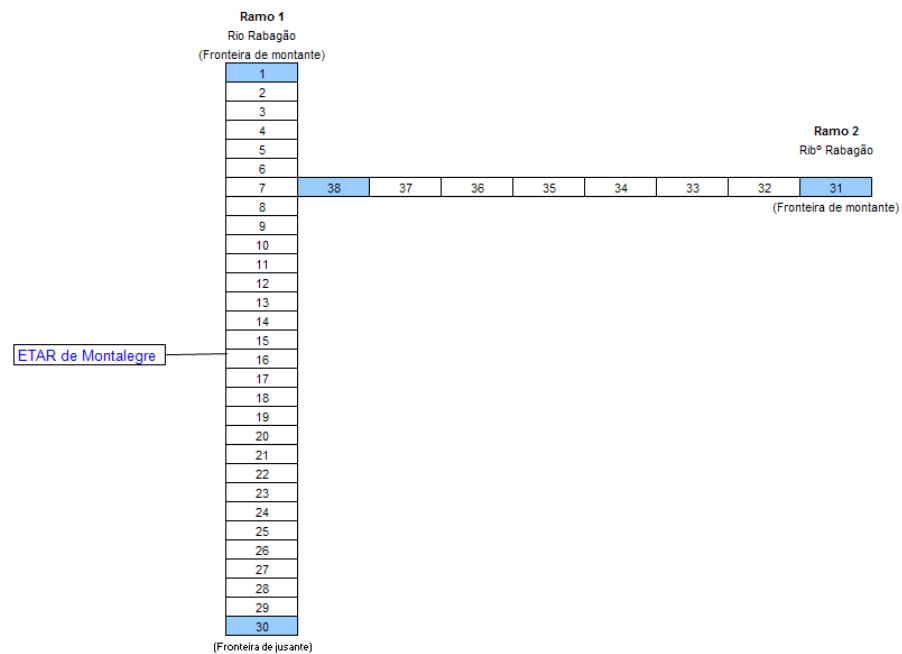


Figura 32. Localização da descarga da ETAR de Montalegre na representação conceptual da albufeira do Alto Rabagão

6.4.5 Actividades industriais

De acordo com o Relatório Síntese do POAAR (INAG, 2009), identificaram-se oito potenciais origens de poluição industrial. Uma fábrica de fumeiro (possui um sistema de pré-tratamento), com uma produção de 50 ton/ano; quatro oficinas de automóveis (realizam retenção de óleos), cujos efluentes são tratados na ETAR de Montalegre; as minas da Borralha (exploração de inertes), que de acordo com o referido Relatório Síntese, “*devido à sua localização não provoca impactes na albufeira do Alto Rabagão*”; um matadouro que tem um sistema próprio de tratamento de efluentes, desconhecendo-se as suas características; e uma aquacultura localizada na albufeira do Alto Rabagão.

Assim, na análise realizada relativamente à avaliação da carga poluente gerada pelas actividades industriais, apenas se considerou a referida aquacultura.

No Quadro 19, é apresentada a composição aproximada de quatro tipos distintos de dietas da truta *Oncorhynchus mykiss* (arco-íris), obtida num estudo que tinha como objectivo determinar o crescimento da referida espécie, em função da introdução na sua dieta de um suplemento alimentar (J. Óscar Pereira e Emídio F. Gomes, 1995).

Quadro 19. Composição de dietas experimentais para a truta arco-íris (J. Óscar Pereira e Emídio F. Gomes, 1995)

Parâmetro	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3	Dieta 4
Composição aproximada				
Humidade	9.4	42.7	60.0	72.0
Proteína, N x 6.25 (%)	50.8	50.1	58.0	61.7
Gordura (%)	9.1	9.0	7.5	6.5
Cinzas (%)	13.3	13.9	12.6	12.3
N extraível (%)	26.8	27.0	22.0	19.7
Conteúdo mineral				
Ca (g/kg)	28.2	25.3	17.8	13.4
P (g/kg)	21.7	19.5	13.7	10.5
K (g/kg)	4.3	5.2	5.2	3.6
Na (g/kg)	8.8	17.2	24.2	26.3
Mg (g/kg)	2.5	2.5	2.5	2.5
Fe (mg/kg)	375.0	331.3	318.8	250.0
Zn (mg/kg)	116.7	131.4	137.5	125.3
Mn (mg/kg)	28.8	29.2	25.0	21.3
Cu (mg/kg)	11.3	17.5	15.8	21.3
Cd (mg/kg)	4.4	6.7	8.3	8.8

N extraível = 100- (Proteína (%) + Gordura (%) + Cinzas (%))

A análise do Quadro 19 permite concluir que os principais efeitos que uma aquacultura poderá determinar na qualidade da água de uma albufeira, resultam, à partida, do incremento da carga de N e de P na coluna de água, e da acumulação de matéria orgânica e de metais nos sedimentos,

resultantes do processo de alimentação e de excreção que ocorrem no sistema. A eutrofização da massa de água, a depleção de OD em profundidade, e a produção de sulfureto de hidrogénio (H_2S) e de metano (CH_4), são algumas das alterações que, em casos extremos, poderão surgir.

A estimativa da carga poluente gerada por uma aquacultura está associada a uma grande variabilidade, que decorre fundamentalmente da dificuldade em quantificar os diferentes processos apresentados na Figura 33.

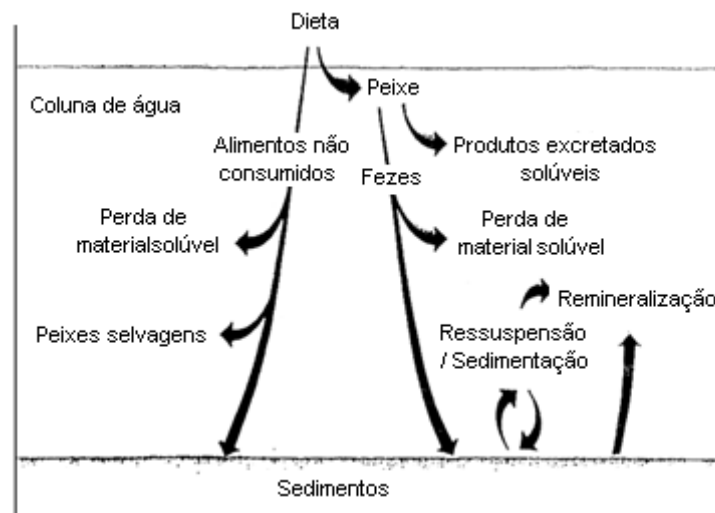


Figura 33. Exemplos de processos físicos e químicos usualmente associados a uma aquacultura (figura adaptada de Gowen R.J. 1988)

A revisão bibliográfica realizada permitiu reunir um conjunto de artigos científicos em que são caracterizados os caudais efluentes e/ou a lamas originadas em aquaculturas, dos quais se destacam, entre outros, os seguintes: Kibria G. *et al.* (1997), Garcia-Ruiz R. e Hall Grahame H. (1996), Axler, R. P *et al.* (1997), Naylor S. J. *et al.*(1999), Flimlin G. *et al.* (2003), Relicardo M. Coloso *et al.* (2003), McIntosh D. *et al.* (2004), Stewart N.T. *et al.* (2006). A variação dos valores de carga poluente gerada pelas aquaculturas, de acordo com os artigos revistos, é elevada, o que é expectável em função do número de variáveis que influenciam e condicionam o sistema.

Assim, deve referir-se que a análise realizada relativamente à aquacultura existente na albufeira do Alto Rabagão pode não ser a mais adequada, em função das limitações descritas e das correspondentes incertezas associadas.

A metodologia adoptada baseou-se na estimativa da carga poluente de CBO_5 , NH_4 e PO_4 , gerada na aquacultura, considerando a variação diária da carga dos referidos parâmetros por tonelada de peixe (produção anual), descrita em Boaventura R. *et al.*(1996), relativamente a três aquaculturas de *Oncorhynchus mykiss* localizadas no Norte de Portugal, nos rios Fornelo, Inha e Coura, com uma produção anual de 15, 55 e 500 ton/ano, respectivamente (Quadro 20).

A empresa que gere a aquacultura existente na albufeira do Alto Rabagão referiu, através de um contacto pessoal, que a produção anual da aquacultura é de aproximadamente 300 ton de *Oncorhynchus mykiss*. Assim, considerando o valor médio que se pode observar no Quadro 20, obtiveram-se os valores que são apresentados no Quadro 21.

Quadro 20. Variação média diária da carga poluente em função da produção anual da aquacultura (Boaventura R. *et al.* 1996)

Parâmetro	Aquacultura A (15 ton/ano)	Aquacultura B (55 ton/ano)	Aquacultura C (500 ton/ano)	Valor médio
CBO₅ gr/ton/dia	353	688	1510	850
N-NH₄ gr/ton/dia	157	105	157	140
P-PO₄ gr/ton/dia	36	24	62	41

Quadro 21. Carga poluente em função da produção anual da aquacultura (Boaventura R. *et al.* 1996)

Parâmetro	kg/dia
CBO₅	255
N-NH₄	42
P-PO₄	12

No Quadro 22 é apresentada a carga poluente produzida na aquacultura em kg/ano, e na Figura 34 a localização da aquacultura na albufeira do Alto Rabagão.

Posteriormente a carga poluente foi introduzida no modelo, de acordo com a representação conceptual apresentada na Figura 35.

Quadro 22. Carga poluente gerada na aquacultura

Actividade Industrial	Produção kg/ano	CBO ₅ kg/ano	NH ₄ kg/ano	P - PO ₄ kg/ano
Aquacultura	300 000	93111.5	19663.1	4453.0

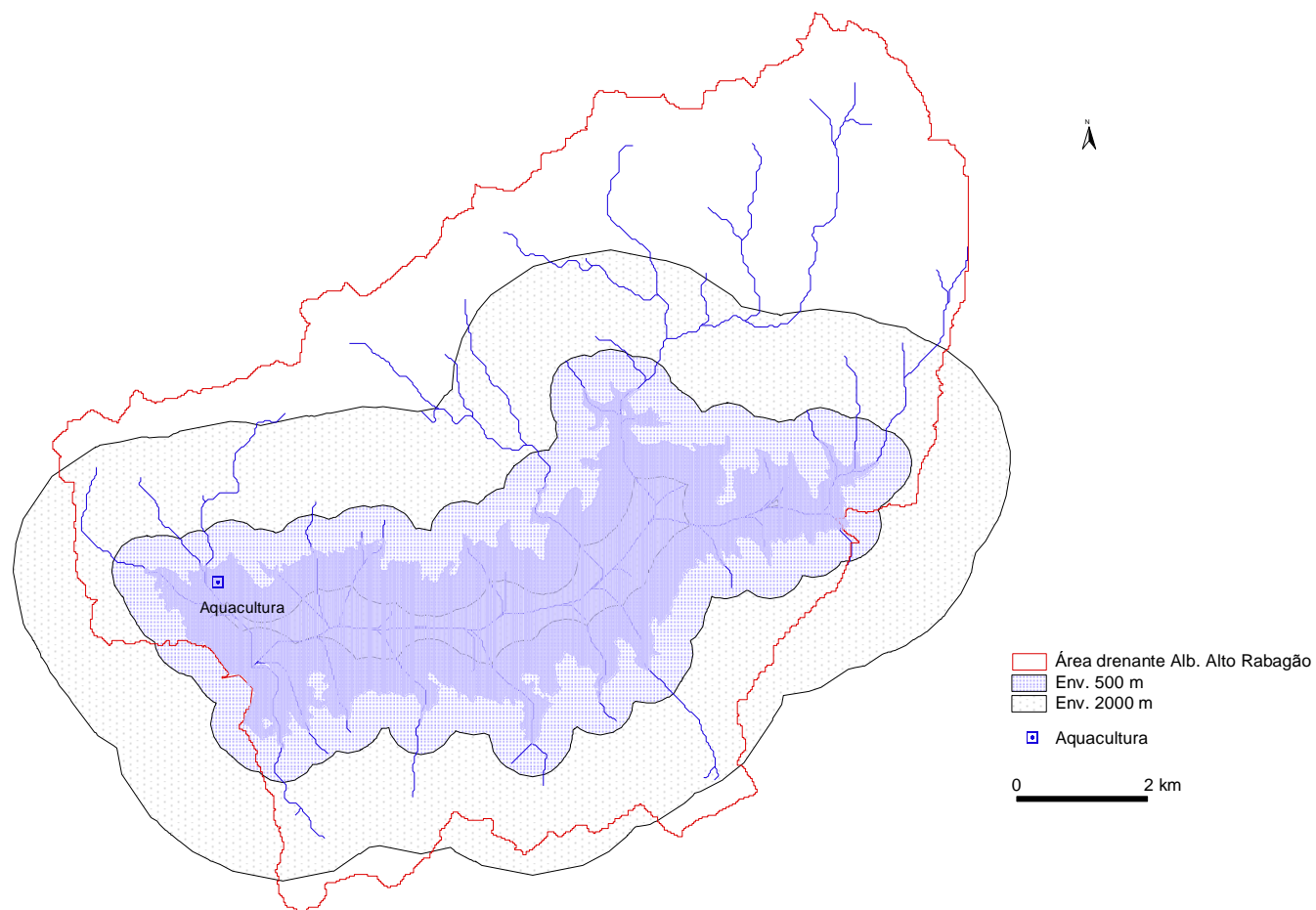


Figura 34. Localização da aquacultura na albufeira do Alto Rabagão

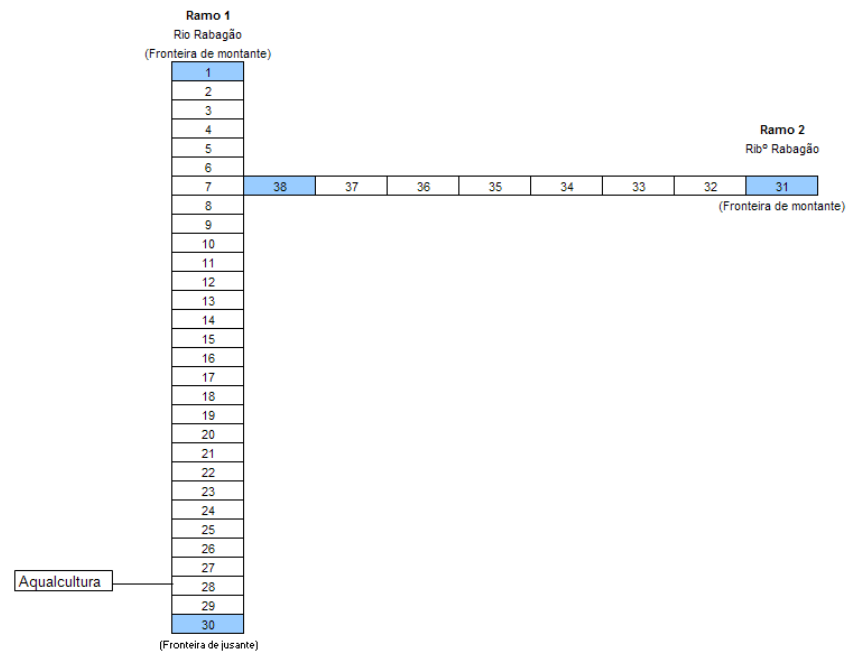


Figura 35. Localização espacial da aquacultura em termos da representação conceptual adoptada para a albufeira do Alto Rabagão

6.4.6 Carga difusa de origem agrícola e florestal

A carga poluente de origem difusa, gerada pela actividade agrícola e nas áreas florestais, foi estimada considerando os diferentes usos do solo associados à área de estudo, obtidos através da carta CORINE 2006. A área avaliada corresponde à superfície drenante para albufeira do Alto Rabagão (Figura 36).

A inexistência de dados de campo, que permitam uma efectiva quantificação da carga difusa gerada pela actividade agrícola e nas áreas florestais, foi ultrapassada através da utilização de taxas de exportação (Quadro 23) que, pela sua definição, reflectem a carga média de um determinado nutriente que aflui a uma massa de água em função do uso do solo. A percentagem da área total de solo que corresponde a cada um dos diferentes usos foi determinada através do SIG (Sistema de Informação Geográfica), Arcview 3.2®.

Quadro 23. Taxas de exportação (Dal & Kurtar em Tanik, 1999)

Legenda	Azoto total kg/ha/ano	Fósforo total kg/ha/ano
Florestas	2	0.05
Pastagens	5	0.1
Agricultura	10	0.30

Tendo como objectivo aferir os valores das taxas de exportação de N_{total} e de P_{total}, associados a áreas agrícolas e florestais, definiram-se três metodologias distintas, que foram aplicadas a três bacias hidrográficas localizadas na bacia hidrográfica do rio Cávado. A primeira dessas metodologias, identificada como Metodologia 1, suporta-se na recolha dos dados de campo registados na secção de referência da bacia hidrográfica, com destaque para os valores da concentração de nutrientes e de caudal, permitindo determinar a carga de N_{total}, P_{total}, P-PO₄, N-NO₃ e de N-NH₄, gerada na área da bacia hidrográfica, independentemente do tipo de uso de solo que a determinou.

A segunda metodologia, designada por Metodologia 2, permitiu também determinar a carga de N_{total}, P_{total}, P-PO₄, N-NO₃ e de N-NH₄ gerada na área da bacia hidrográfica, mas através da consideração de taxas de exportação referenciadas na bibliografia da especialidade, específicas para áreas agrícolas e áreas florestais, e que assim permitiu individualizar a carga gerada em cada uma das classes de uso de solo e suportar a análise e discussão dos resultados obtidos com a utilização da Metodologia 1.

A terceira metodologia é idêntica à primeira, com excepção da estimativa dos valores de caudal, que neste caso são calculados através de um coeficiente de escoamento, estimado para a área de estudo, e da precipitação ponderada sobre a área da bacia hidrográfica.

Apenas a segunda metodologia é aplicada às três bacias hidrográficas, uma vez que a aplicação das restantes, metodologias 1 e 2 depende da existência de dados de campo.

Apenas a segunda metodologia é aplicada às três bacias hidrográficas, uma vez que a aplicação das restantes, metodologias 1 e 2 depende da existência de dados de campo.

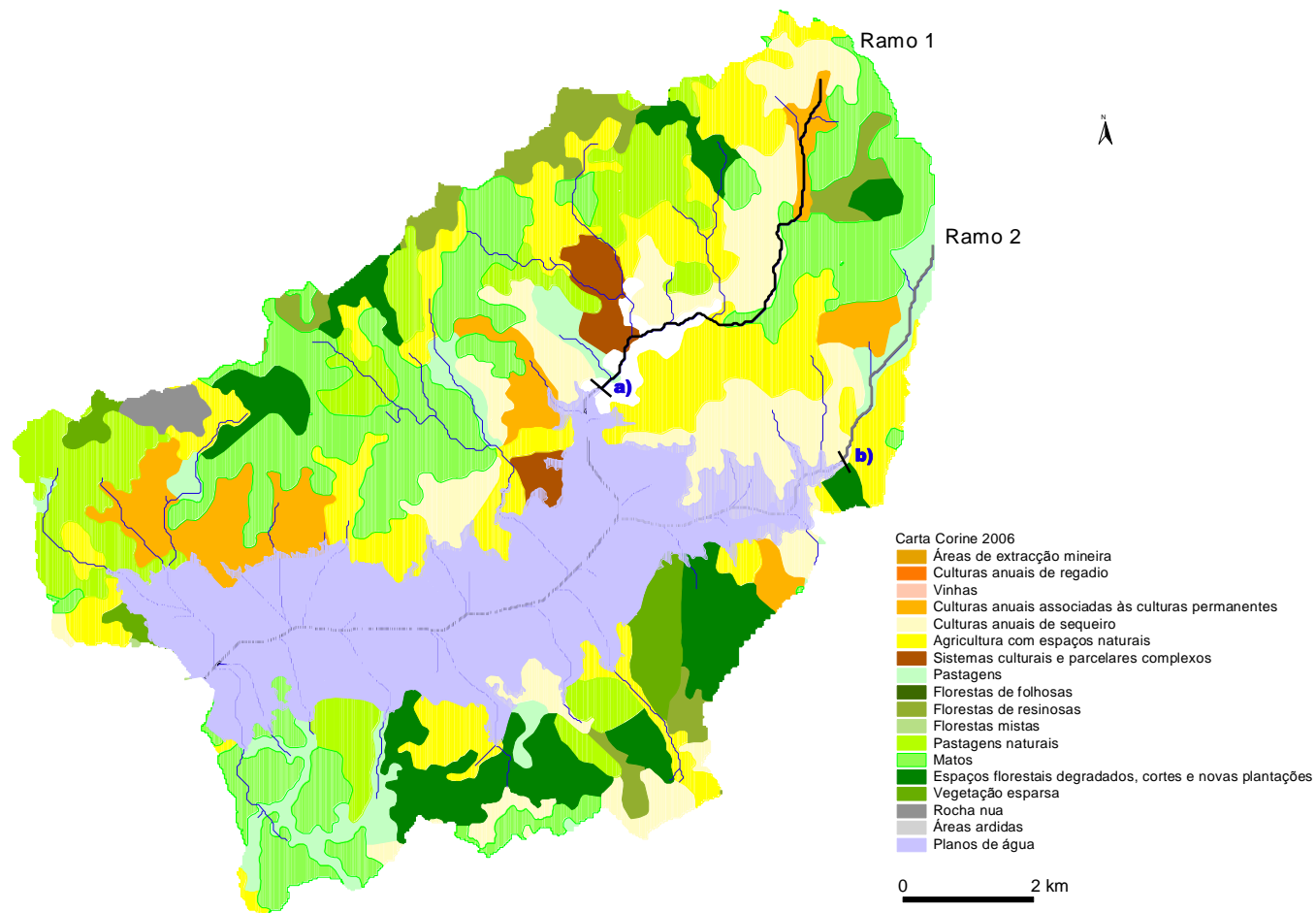


Figura 36. Carta CORINE 2006 - Área drenante à albufeira do Alto Rabagão

As bacias hidrográficas estudadas são apresentadas na Figura 37, correspondendo às áreas definidas pelas estações de qualidade da água do rio Homem (Fiscal) 04G/10, Foz do Cabril (031/06), Foz da Cabreira (031/07).

Os valores do coeficiente de escoamento foram estimados de duas formas distintas, a primeira (A), suporta-se na determinação do valor médio de precipitação total anual relativo à série de valores de precipitação anual ponderada sobre a área da bacia hidrográfica do Alto Rabagão, considerando os valores de precipitação registados entre 1955 e 1995, nas estações udométricas que se podem observar na Figura 38, tendo-se obtido um valor de 1 555 mm, e os valores médios de escoamento obtidos para a mesma bacia hidrográfica através da carta de escoamento do Atlas do Ambiente (Figura 38).

A segunda abordagem (B) consiste na recolha dos valores de escoamento da estação hidrométrica do Toco (031/03H) (Figura 37), e dos valores de precipitação total anual registados na estação udométrica de Pincães (031/08) o que possibilitou a determinação de um valor de coeficiente de escoamento anual, permitindo posteriormente determinar o seu valor mínimo, médio e máximo (Quadro 24). Deve referir-se que entre os valores de precipitação e escoamento mensais, se obteve um coeficiente de correlação linear de 0.85.

Quadro 24. Coeficiente de escoamento estimado

Método	Mínimo	Médio	Máximo
(A)	0.51	0.60	0.68
(B)	0.01	0.47	0.99

O valor considerado na análise realizada, corresponde ao valor médio obtido através do método (B), 0.47, pelo facto de ter sido o valor que permitiu obter melhores resultados na estimativa das taxas de exportação de nutrientes e por ser mais próximo do valor que seria expectável para esta zona do País.

No Quadro 25, são apresentados os valores correspondentes às taxas de exportação obtidas de acordo com as metodologias consideradas. Como se pode observar, os resultados obtidos são bastante satisfatórios, pelo que se admitiu que as taxas de exportação consideradas resultam numa boa aproximação aos valores de carga difusa de origem agrícola e florestal.

A necessidade de avaliar as taxas de exportação consideradas resulta da grande variabilidade que estas podem ter, em função do uso do solo e de outras condicionantes entre as quais se destacam o tipo de solo e o clima.

No 0, são apresentadas as taxas de exportação resultantes de uma compilação de 40 estudos realizados nos E.U.A., designada por “*Compilation of measured nutrient load data for agricultural land uses in the United States*”, Harmel D. *et al.* (2006), onde é possível observar, a grande variabilidade das taxas de exportação de N e de P em função do tipo de cultura.

A mesma conclusão pode ser obtida observando-se os valores apresentados no 0, onde são referidas taxas de exportação consideradas por diversos autores.

Quadro 25. Taxas de exportação estimadas com base em dados experimentais

Secção	Metodologia	N kg/ha/ano	P kg/ha/ano	P-PO ₄ kg/ha/ano	N-NH ₄ kg/ha/ano	N-NO ₃ kg/ha/ano
Est. qualidade Homem (Fiscal) 04G/10	2)	4.52	0.12	0.11	0.45	4.07
	1)	7.64	0.18	0.27	0.59	7.65
Est. qualidade Foz do Cabril 03I/06	2)	3.52	0.09	0.08	0.35	3.17
	3)	-	0.14	-	0.25	3.72
Est. qualidade Foz da Cabreira 03I/07	2)	4.65	0.12	0.10	0.47	4.19
	3)	-	0.14	0.07	0.42	4.24

Quadro 26. Taxas de exportação de N e de P por tipo de cultura (Harmel D. *et al.*, 2006)

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

Quadro 27. Taxas de exportação de N e de P por tipo de uso de solo

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

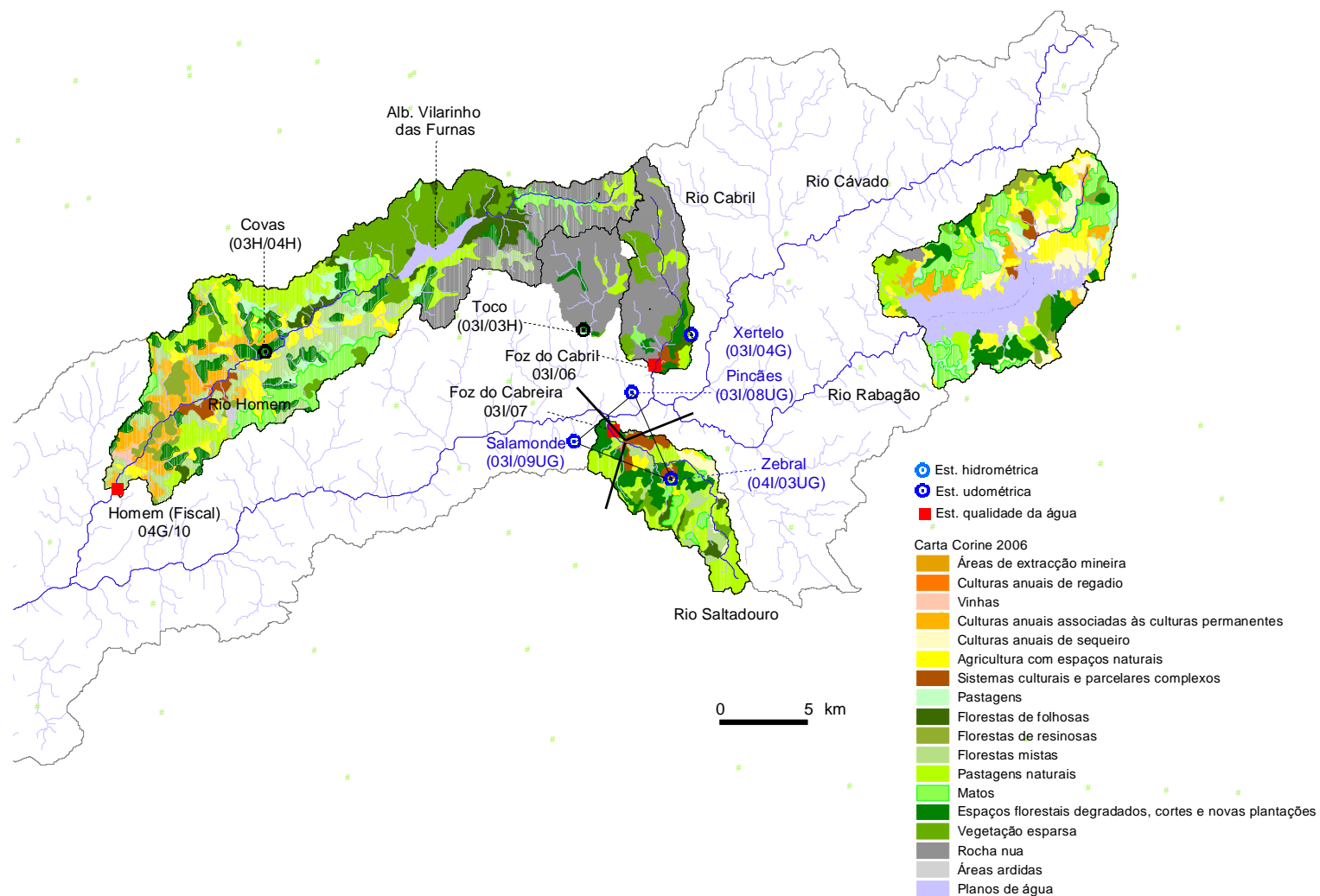


Figura 37. Bacias hidrográficas seleccionadas para avaliação das taxas de exportação de nutrientes consideradas na análise realizada

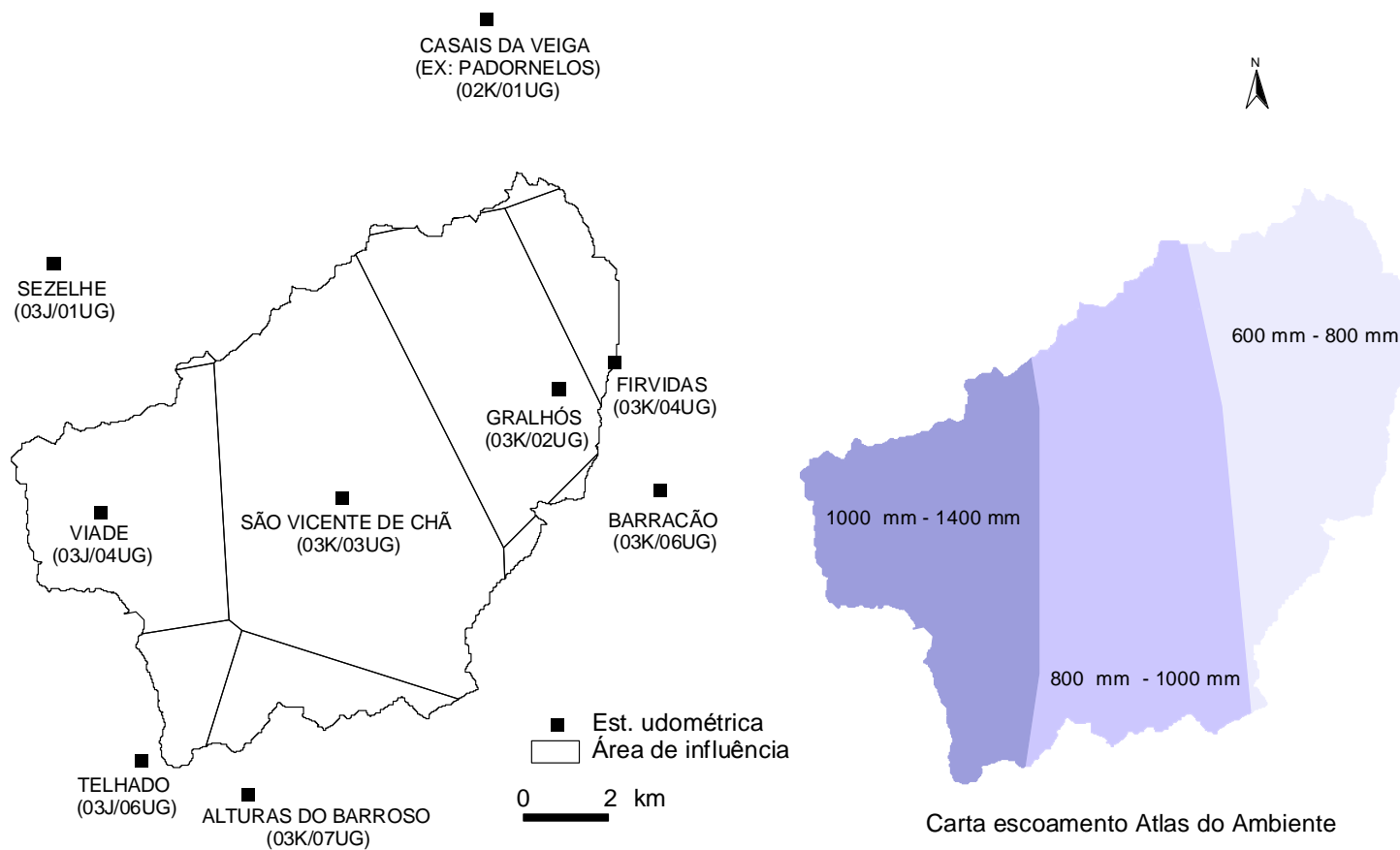


Figura 38. Polígonos de Thiessen considerados e extracto da carta de escoamento do Atlas do Ambiente

A carga difusa de azoto total (N_{total}) foi incluída no modelo CE-QUAL-W2 sob a forma de azoto amoniacal (NH_4) e do somatório de Nitratos e Nitritos (NO_x). A correspondente quantificação foi realizada admitindo, conservativamente, que todo o azoto é inorgânico, sendo constituído em 10% por NH_4 e em 90% por N_{NO_x} . Deve referir-se que não existem valores de concentração de N_{total} que permitam aferir as referidas correlações. Relativamente à correlação entre os valores da concentração de P_{total} e de $P-PO_4$, estimou-se que 55% do P_{total} , se encontra sob a forma de $P-PO_4$ (a partir de uma amostra com 46 valores). No entanto, e adoptando uma abordagem conservativa, optou-se por considerar que o $P-PO_4$ representa 90% da carga total de fósforo.

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

No Quadro 28 são apresentadas as cargas poluentes geradas nas áreas avaliadas, em função do correspondente uso do solo, e repartidas por cada um dos ramos considerados para representar conceptualmente a albufeira do Alto Rabagão.

A carga poluente foi introduzida no modelo de forma difusa, através de dois tributários distribuídos, respectivamente, pelo rio Rabagão e pela ribeira do Rabagão. Contudo, a carga difusa gerada a montante das secções a) e b) (Figura 36), é introduzida no modelo associada à caracterização da qualidade da água que afluí através dos ramos 1 e 2, o que equivale a considerar que foi introduzida pontualmente na fronteira de montante de cada um dos ramos. Esta situação resulta da inexistência de dados de qualidade da água observados nas secções a) e b), que permitam caracterizar a qualidade dessas linhas de água.

Quadro 28. Carga difusa de origem agrícola e florestal gerada na área drenante à albufeira do Alto Rabagão

Legenda	RAMO 1 – Rio Rabagão Caracterização condição de fronteira de montante				RAMO 2 – Rib ^a do Rabagão Caracterização condição de fronteira de montante				RAMO 1 – Rio Rabagão Tributário distribuído				RAMO 2 – Rib ^a do Rabagão Tributário distribuído			
	Área ha	P - PO ₄ kg/ano	NH ₄ kg/ano	N – NO _x kg/ano	Área ha	P - PO ₄ kg/ano	NH ₄ kg/an o	N – NO _x kg/ano	Área ha	P - PO ₄ kg/ano	NH ₄ kg/an o	N – NO _x kg/ano	Área ha	P - PO ₄ kg/ano	NH ₄ kg/ano	N – NO _x kg/ano
Culturas anuais de sequeiro	554	149	712	4982	46	12	60	417	327	88	421	2946	292	79	376	2632
Praias, dunas e areais	59	0	0	0	116	0	0	0	310	0	0	0	1	0	0	0
Culturas anuais associadas às culturas permanentes	160	43	206	1443	67	18	86	600	358	97	460	3219	51	14	66	462
Sistemas culturais e parcelares complexos	132	36	169	1186		0	0	0	18	5	23	158	6	2	7	50
Agricultura com espaços naturais	676	182	869	6081	119	32	153	1073	655	177	842	5893	218	59	281	1964
Sistemas agro-florestais	120	19	92	643	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Florestas de resinosas	241	11	62	434	0.37	0.02	0.09	0.66	112	5	29	201	0	0	0	0
Florestas mistas	0	0	0	0		0	0	0	2	3	0	3	0		0	0
Pastagens naturais	297	27	191	1336		0	0	0	697	63	448	3137	0	0	0	0
Matos	540	24	139	972	166	7	43	298	1081	49	278	1946	8	1	2	14
Espacos florestais degradados, cortes e novas plantações	77	3	20	138	43	2	11	78	548	25	141	986	170	8	44	305
Rocha nua	0	0	0	0	0	0	0	0	68	0	0	0	0	0	0	0
Vegetação esparsa	0	0	0	0	0	0			160	7	41	288	33	1	8	59
Planos de água	5	0	0	0	0	0	0	0	43	0	0	0	0	0	0	0
Total	2858	495	2459	17214	557	72	352	2466	4377	518	2682	18777	783	163	784	5487

7. APLICAÇÃO DE MODELOS SIMPLIFICADOS DE SIMULAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO NA ALBUFEIRA DO ALTO RABAGÃO

A inexistência de estações de qualidade que permitam caracterizar a qualidade da água afluyente à albufeira do Alto Rabagão, determinou que toda a carga poluente afluyente à albufeira fosse estimada com recurso a carga unitárias obtidas em referências bibliográficas, quer no caso da poluição urbana/industrial, como no caso da carga agrícola/florestal. Assim, com o objectivo de validar os valores de carga poluente estimados, aplicaram-se três modelos simplificados dos processos que ocorrem na albufeira, para assim se aferir a carga afluyente de P-PO₄ através dos valores de concentração observados na albufeira.

Inicialmente, tentou-se simular a afluência de carga de N-NO₃, através de um modelo simplificado que está a ser desenvolvido pela SEGAR (Secção de Engenharia Gestão da Água e Resíduos do DCEA/FCT/UNL). No entanto, o reduzido número de valores da concentração de NH₄ e de NO₃, registados na albufeira, não permitiu realizar a referida análise. Procedeu-se então à aplicação dos três modelos que se descrevem em seguida, e que permitiram estimar a carga afluyente de P-PO₄ à albufeira do Alto Rabagão. Deve referir-se que a menor complexidade do ciclo do fósforo também facilita a sua simulação.

Modelo 1

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

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

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -KC + \sum I_j + \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial t} C \quad (3)$$

Em que:

V – volume da massa de água, L³

K – taxa de decaimento, T⁻¹

C – concentração, M/L³

I_j – massa injectada por unidade de tempo e por unidade de volume de água, M/TL³;

O balanço de afluências é obtido pela seguinte equação:

$$\sum I_j = \frac{M' - Q_0 C}{V} \quad (4)$$

em que:

V = volume da massa de água, L³

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

Q_0 = diferença entre o caudal afluente e o caudal efluente, L³/T

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

$$C = \frac{M'}{V\beta} \left[1 - \exp\left(-\int_0^t \beta d\tau\right) \right] + C_0 \exp\left(-\int_0^t \beta d\tau\right) \quad (5)$$

em que:

C_0 - concentração inicial no instante $t=0$, M/L³

$$\beta = K + \frac{(Q_0 + dV/dt)}{V}, \quad T^{-1}; \quad (6)$$

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

$$M' = C\beta V \quad (7)$$

em que:

$$\beta = K + \frac{Q_0}{V} \quad (8)$$

A perda de P para os sedimentos é equivalente a um processo de decaimento de 1ª ordem, com uma constante de 0.003 dia⁻¹ (EPA, 1985).

Modelo 2

De acordo com Thomann e Muller, 1987, e admitindo a mistura completa da massa de água, a equação 9, pode utilizar-se para estimar a carga afluente de P-PO₄:

$$V \frac{dp}{dt} = w - V_s A_s p - Q_p \quad (9)$$

em que:

V - volume, L³;

p - concentração de fósforo na albufeira, M/L³;

Q - caudal efluente, L³/T;

W - fontes externas de fósforo, M/T;

V_s - velocidade de sedimentação, (L/T), 0.0274 m/dia (Thomann e Muller, 1987);

A_s - área superficial do lago, L².

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

$$p = \frac{w}{Q + V_s A_s} \quad (10)$$

Modelo 3

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

$$\frac{[P]}{[\bar{P}]} = \frac{1}{1 + \sqrt{\tau_w}} \quad (11)$$

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

$[\bar{P}]$ - concentração de fósforo na albufeira, M/L³,

τ_w - tempo de residência hidráulico, T.

Na Figura 39 são apresentados os resultados obtidos com cada um dos modelos utilizados, bem como o valor de carga estimada com base em capitações teóricas, que foi introduzida no modelo CE-QUAL-W2. Como se pode observar, todos os resultados obtidos são bastante aproximados, e indicam que, em média, afluem diariamente 24.6 kg de P-PO₄, à albufeira do Alto Rabagão.

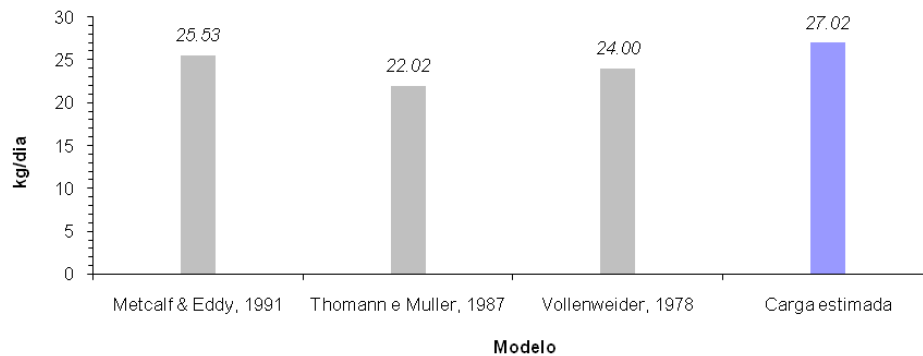


Figura 39. Valor médio da carga de P-PO₄ afluente à albufeira do Alto Rabagão.

8. CALIBRAÇÃO DO MODELO CE-QUAL-W2

8.1 - Introdução

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

Assim, a sequência de calibração do modelo iniciou-se com a aferição da cota da superfície livre da massa de água ao longo do período de simulação (os anos civis de 2006 a 2009), que depende do nível da albufeira na data inicial da simulação, das entradas e saídas de água no sistema ao longo do período de simulação e dos volumes obtidos a partir da representação batimétrica adoptada.

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

No Quadro 29 são apresentados os valores atribuídos aos principais parâmetros com influência na calibração da hidrodinâmica/temperatura e do OD.

Quadro 29. Parâmetros de calibração do modelo CE-QUAL-W2

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

8.2 - Condições iniciais de simulação

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

1. Período de simulação – data inicial e final de simulação.
2. Temperatura inicial. No caso de existir a informação necessária, podem ser incluídos perfis verticais e longitudinais de temperatura.

3. Concentração inicial dos constituintes a simular. Também neste caso, se existir a informação necessária, podem ser incluídos perfis verticais e longitudinais dos valores da concentração dos constituintes a simular.
4. Número, localização e características dos pontos de afluência e de descarga ou tomada de água.
5. Cota da superfície livre no início da simulação.
6. Tipo de massa de água – água doce ou salgada.

O período para o qual se procedeu à calibração do modelo corresponde, de acordo com o anteriormente referido, aos anos civis de 2006 a 2009. A escolha deste período para a realização do processo de calibração deveu-se, sobretudo, à disponibilidade de dados de base essenciais para a sua execução, bem como ao facto de corresponder a um período de tempo bastante recente.

Assim, para as condições iniciais do sistema a simular, consideraram-se os dados disponibilizados através do SNIRH, relativos à estação de qualidade da água da Albufeira do Alto Rabagão (03J/09), observados no dia 10 de Janeiro de 2006. Para todos os parâmetros considerados, assumiu-se que os valores/concentrações são constantes para toda a massa de água, o que corresponde a assumir condições de mistura completa no início do período de simulação, estando de acordo com o que é expectável que ocorra nessa altura do ano. Os valores considerados para as condições iniciais são apresentados no Quadro 30.

Quadro 30. Condições iniciais de simulação no ano de 2006

Cota da superfície livre	850.77 * m
Temperatura	6.7 °C
Oxigénio dissolvido	10.60 mg/L
P-PO ₄	0.024 mg/L
Biomassa algal	0.036 mg/L
Azoto amoniacal	0.04 mg/L
N-Nitratos + N-Nitritos	0.455 mg/L
CBO5	2 mg/L
Sólidos dissolvidos totais	139 mg/L
Coliformes fecais	0 NMP/L
Coliformes totais	10 NMP/L

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

8.3 - Verificação do balanço de volumes

De acordo com o apresentado nas Figuras 40 e 41, nas quais se estabelece a comparação entre os valores simulados e observados, quer de volume armazenado, quer da evolução da cota da superfície livre da albufeira do Alto Rabagão, ao longo dos anos de 2006 a 2009, foi conseguido um excelente ajustamento entre os dois conjuntos de resultados.

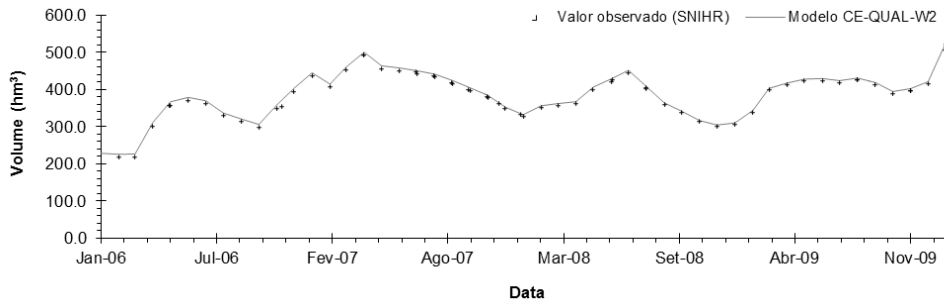


Figura 40. Evolução temporal de volumes simulados e observados

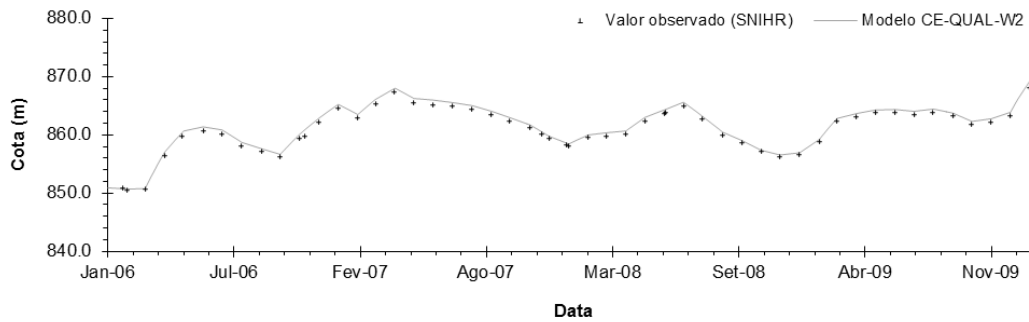


Figura 41. Evolução temporal da cota da superfície livre simulada e observado

Na Figura 42 pode observar-se a curva característica de cotas versus volumes armazenados da albufeira do Alto Rabagão, bem como a curva obtida através da representação conceptual adoptada para a albufeira. Deve referir-se que se procedeu à correcção de um desfasamento de 9.2 m, existente na curva característica de cotas versus volumes armazenados da albufeira do Alto Rabagão, que é identificável nas cartas topográficas (1:25 000) e que é referido no Relatório Síntese do POAAR (INAG, 2009).

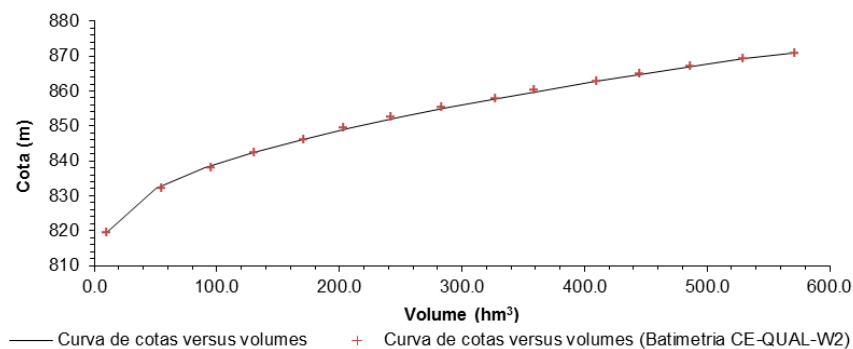


Figura 42. Curvas de cotas versus volumes armazenados – Albufeira do Alto Rabagão

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

8.4 - Resultados obtidos no processo de calibração

8.4.1 Introdução

Os resultados obtidos com as simulações realizadas para os anos de 2006 a 2009, foram comparados com os valores de concentração obtidos, à superfície e ao longo do ano, na estação de qualidade da água da albufeira do Alto Rabagão (03J/09). Importa salientar que a referida estação de monitorização da qualidade da água, apenas possui registos de amostragens realizadas à superfície. Adicionalmente, os valores de temperatura da água e da concentração de OD, foram comparados com perfis verticais disponibilizados pela EDP, obtidos na albufeira do Alto Rabagão a cerca de 1 km a montante da barragem.

Nas secções seguintes serão apresentados e analisados os resultados obtidos para todos os parâmetros simulados, relativos aos exercícios de modelação desenvolvidos para os anos de 2006 a 2009.

8.4.2 Temperatura

A análise do comportamento térmico da albufeira, ao longo dos anos de 2006 a 2009, permitiu concluir que esta massa de água apresenta um comportamento característico de um lago monomítico quente, típico de zonas temperadas, com uma alternância de períodos de homogeneização dos valores da temperatura ao longo de toda a coluna de água, com períodos de forte estratificação térmica, característicos, respectivamente, dos períodos mais frios e mais quentes do ano (Meyer G. *et al.*, 1994).

Na Figura 43 apresentam-se os valores da temperatura da massa de água, ao longo da globalidade do seu ramo principal (rio Rabagão), no dia 1 de Agosto, para os anos de 2006 a 2009, sendo bem patente a forte estratificação térmica que se faz sentir nessa altura do ano.

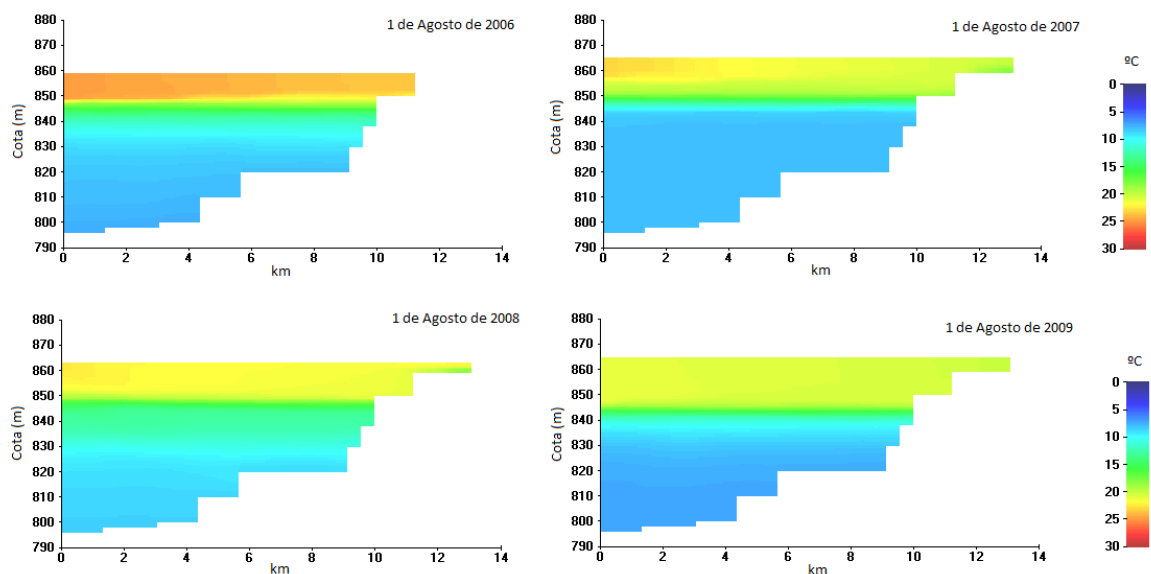


Figura 43. Temperatura da massa de água ao longo do rio Rabagão

O ano de 2006 reflecte ainda o período de seca que se fez sentir durante os anos de 2004 a 2006. Nos anos que se seguiram, ocorreu uma diminuição dos valores da temperatura da água, que foi acompanhada por uma menos forte estratificação térmica da massa de água e uma termoclina com um gradiente menos acentuado.

A avaliação do processo de calibração da temperatura da massa de água deve considerar as limitações existentes ao nível da temperatura dos caudais bombeados, turbinados e das afluições naturais, bem como no que se refere aos valores da temperatura do ar que suportaram o estudo realizado, e relativamente aos quais se dispunha de informação muito reduzida.

Como se pode observar na Figura 44, obteve-se um bom ajustamento entre os valores obtidos com o modelo e os valores de temperatura observados na albufeira, à superfície.

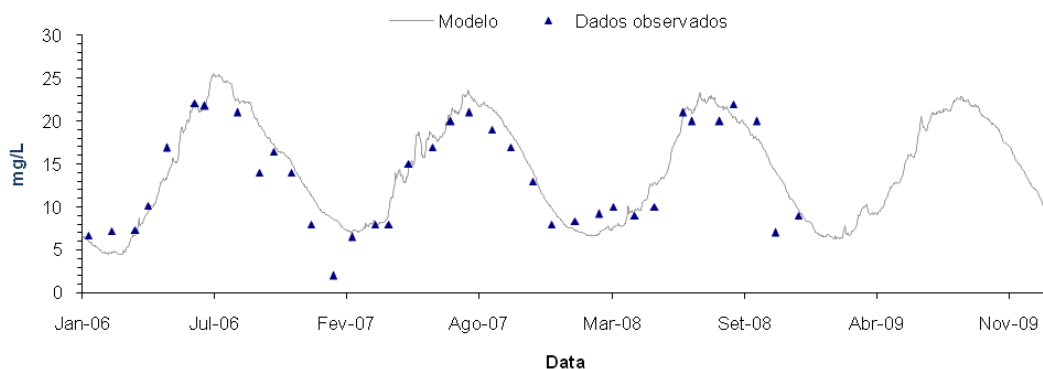


Figura 44. Série temporal - Temperatura –Alb. do Alto Rabagão (03J/09) – Rio Rabagão

A análise das Figuras 45 a 48, referentes ainda à temperatura da água e nas quais são apresentados perfis em profundidade disponibilizados pela EDP, permite concluir que, em alguns períodos do ano, o ajustamento conseguido revela um desfasamento significativo entre os dois conjuntos de valores. Este facto pode também ser verificado através da análise dos valores das estatísticas AME (Absolute Mean Error) e RMS (Root Mean Square Error) apresentados no Quadro 31.

Apesar do referido desfasamento, observável em alguns períodos do ano, o modelo descreve bastante bem a evolução temporal das variações térmicas da albufeira ao longo do período de simulação e ao longo da coluna de água, pelo que se considerou que a hidrodinâmica do sistema é bem representada pelo modelo CE-QUAL-W2.

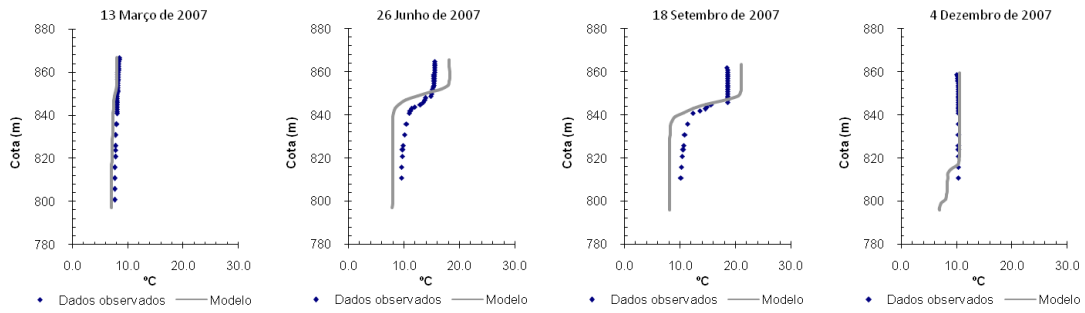


Figura 45. Perfis - Temperatura -1 km a montante da barragem do Alto Rabagão (1)

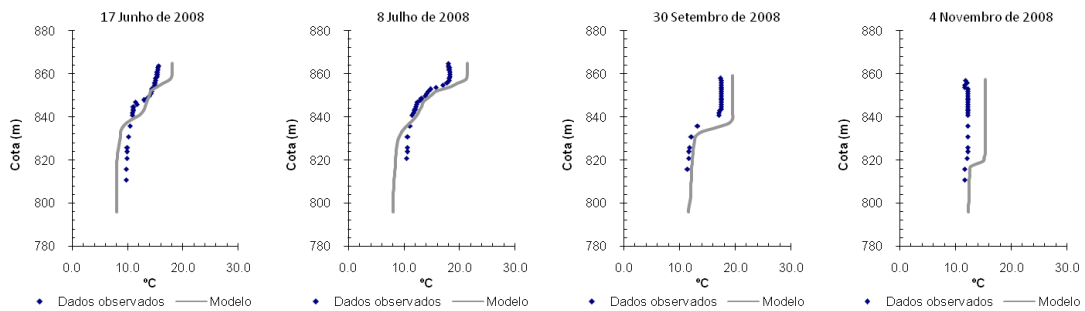


Figura 46. Perfis - Temperatura -1 km a montante da barragem do Alto Rabagão (2)

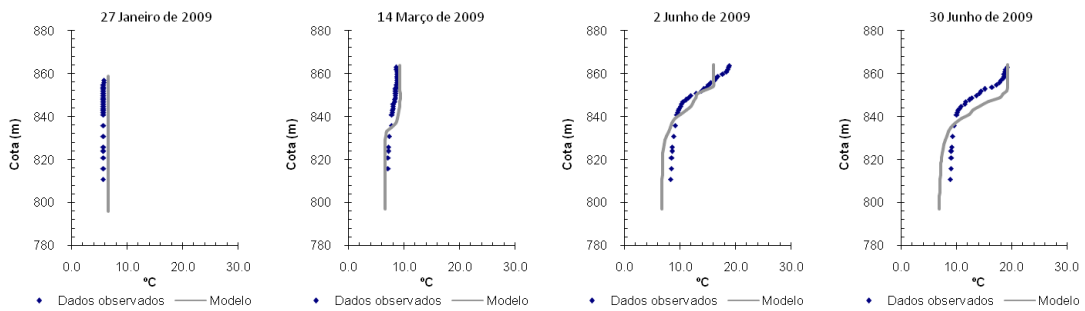


Figura 47. Perfis - Temperatura -1 km a montante da barragem do Alto Rabagão (3)

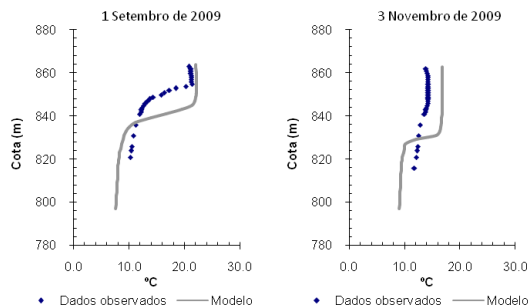


Figura 48. Perfis - Temperatura -1 km a montante da barragem do Alto Rabagão (4)

Quadro 31. Valores de AME e RMS – Calibração da temperatura

Data	Temperatura (°C)	
	AME	RMS
13 de Março de 2007	0.70	0.73
26 de Junho de 2007	4.00	4.53
18 de Setembro de 2007	5.77	6.75
4 de Dezembro de 2007	1.04	1.44
17 de Junho de 2008	2.49	3.05
8 de Julho de 2008	3.45	3.61
30 de Setembro de 2008	3.15	3.76
4 de Novembro de 2008	1.99	2.43
27 de Janeiro de 2009	0.83	0.83
14 de Março de 2009	0.89	1.01
2 de Junho de 2009	3.17	3.33
30 de Junho de 2009	2.76	3.16
1 de Setembro de 2009	3.16	3.66
3 de Novembro de 2009	3.12	3.50

8.4.3 Oxigénio dissolvido

A calibração deste parâmetro (OD) foi, tal como para a temperatura, bastante exigente, tendo sido necessário realizar inúmeros exercícios de simulação para se conseguir um bom ajustamento entre os resultados do modelo e os valores amostrados. Deve também salientar-se o facto de que toda a carga poluente de CBO_5 , NH_4 , N-NO_x e de P-PO_4 incluída no modelo, e que influiu sobre a concentração de OD na massa de água, foi estimada com base em pressupostos teóricos, ou seja foi caracterizada com base em estimativas.

Os resultados obtidos relativamente a este parâmetro permitiram verificar que os níveis de oxigénio dissolvido nos meses mais quentes do ano são reduzidos, nomeadamente nas camadas mais profundas da massa de água (Figura 49).

A análise realizada aos dados recolhidos através do SNIRH, relativos à estação de monitorização da albufeira do Alto Rabagão (03J/09), revelou que os valores da concentração de OD são superiores ao limite estabelecido para que se classificasse a albufeira como eutrófica. No entanto, esta análise deve ser realizada com algum cuidado pois, de acordo com os resultados apresentados na Figura 49, se a amostragem tivesse realizada em profundidade, o valor da concentração de OD deveria ser muito diferente da obtida à superfície da massa de água.

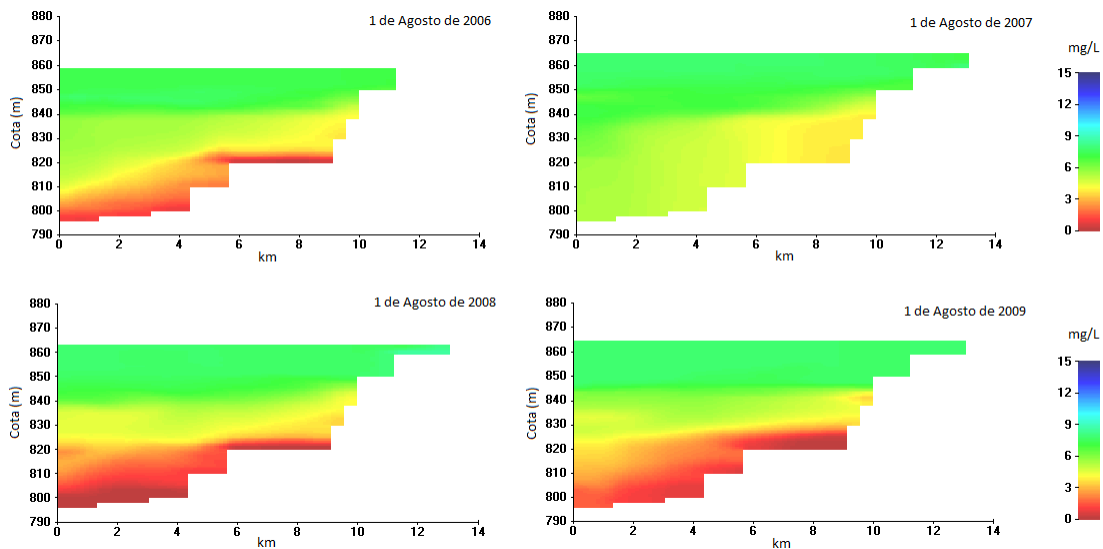


Figura 49. OD na massa de água ao longo do rio Rabagão

Na Figura 50, podem observar-se os resultados obtidos com o processo de calibração do OD. A análise da referida figura permite verificar que existe um bom ajustamento entre os resultados obtidos com o modelo e os dados observados, à superfície da massa de água. Durante o ano de 2006 é possível verificar alguma oscilação dos valores de OD na massa de água, provavelmente em resultado do período de transição que se verificou existir entre o ano de 2005 e o ano de 2006, função do período de seca extrema que ocorreu durante o ano de 2005. O pico do valor da concentração de OD (ver Figura 50), deverá ser uma consequência de um aumento dos valores da concentração de biomassa algal (que se pode observar através da observação da Figura 63), cuja ocorrência não pode ser confirmada, face ao reduzido número de dados de amostragem relativos a este parâmetro.

Assim, pode concluir-se que a tendência de evolução dos dois conjuntos de resultados (simulados e amostrados) é semelhante e que, face aos dados disponíveis, o modelo descreveu de forma satisfatória o comportamento do OD à superfície, na albufeira.

A análise das Figuras 51 a 54 permite observar a evolução dos valores da concentração de OD em profundidade, ao longo de cada um dos anos simulados, e o ajustamento conseguido entre os dois conjuntos de valores.

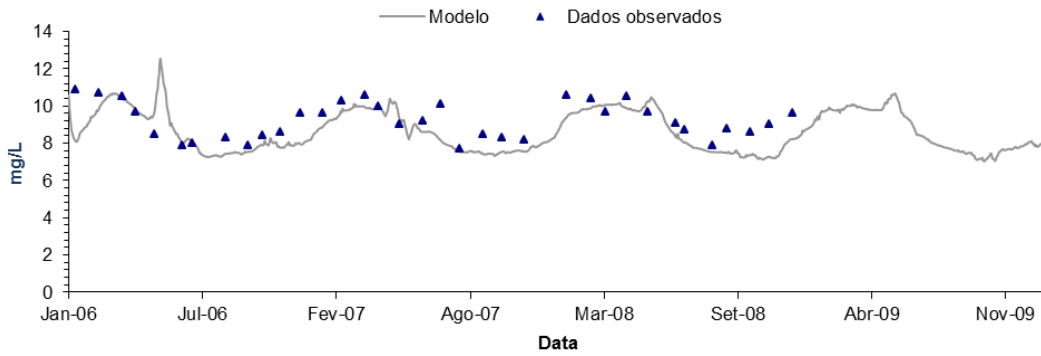


Figura 50. Série temporal – OD – Alb. do Alto Rabagão (03J/09) – Rio Rabagão

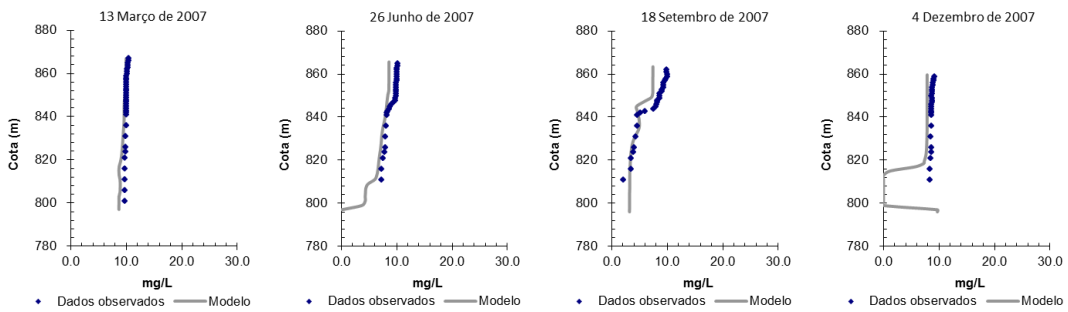


Figura 51. Perfis – OD – 1 km a montante da barragem do Alto Rabagão (1)

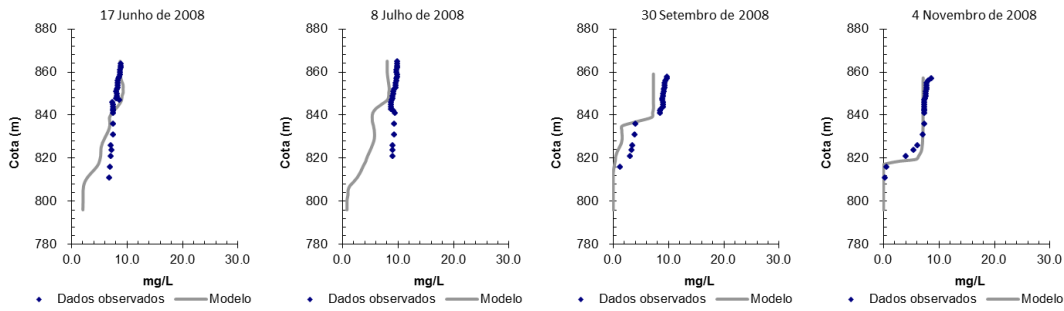


Figura 52. Perfis – OD – 1 km a montante da barragem do Alto Rabagão (2)

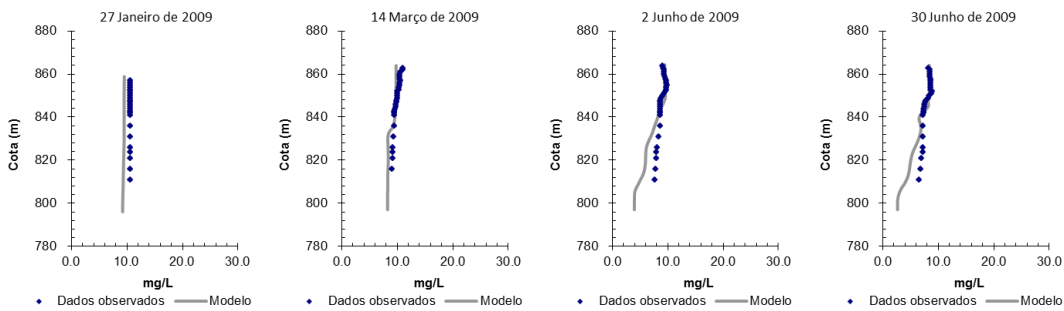


Figura 53. Perfis – OD – 1 km a montante da barragem do Alto Rabagão (3)

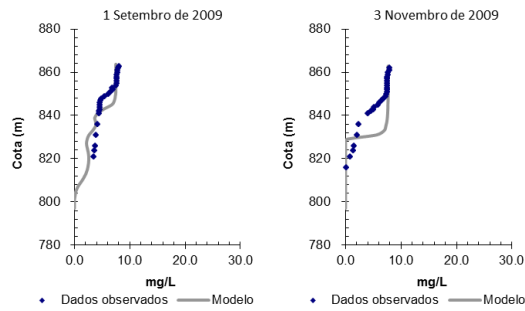


Figura 54. Perfis – OD –1 km a montante da barragem do Alto Rabagão (4)

No Quadro 32 são apresentados os valores das estatísticas AME e RMS, que permitem concluir que, apesar de algumas diferenças entre as duas séries de valores, os resultados obtidos são no geral satisfatórios, tendo em consideração não só as lacunas em termos de dados de amostragem, mas também a variabilidade do regime de caudais imposto pelas regras de exploração do aproveitamento.

Quadro 32. Valores de AME e RMS – Calibração do oxigénio dissolvido

Data	Oxigénio dissolvido (mg/L)	
	AME	RMS
13 de Março de 2007	0.71	0.78
26 de Junho de 2007	1.99	2.05
18 de Setembro de 2007	3.08	3.47
4 de Dezembro de 2007	3.71	5.07
17 de Junho de 2008	2.02	2.77
8 de Julho de 2008	3.93	4.36
30 de Setembro de 2008	6.09	6.60
4 de Novembro de 2008	3.01	4.11
27 de Janeiro de 2009	1.35	1.35
14 de Março de 2009	1.04	1.08
2 de Junho de 2009	1.86	2.21
30 de Junho de 2009	1.79	2.11
1 de Setembro de 2009	1.89	2.14
3 de Novembro de 2009	2.02	3.05

8.4.4 Carência bioquímica de oxigénio

Relativamente à CBO_5 , verifica-se através da análise da Figura 55, que não é possível concluir sobre a qualidade da calibração relativamente a este parâmetro, pelo facto de os valores obtidos pelo modelo, à superfície, serem inferiores ao limite de detecção. No entanto, em função dos resultados obtidos para o OD, pode inferir-se que os valores da concentração da CBO_5 não devem estar muito afastados dos valores reais que ocorreram na albufeira durante o período de simulação considerado.

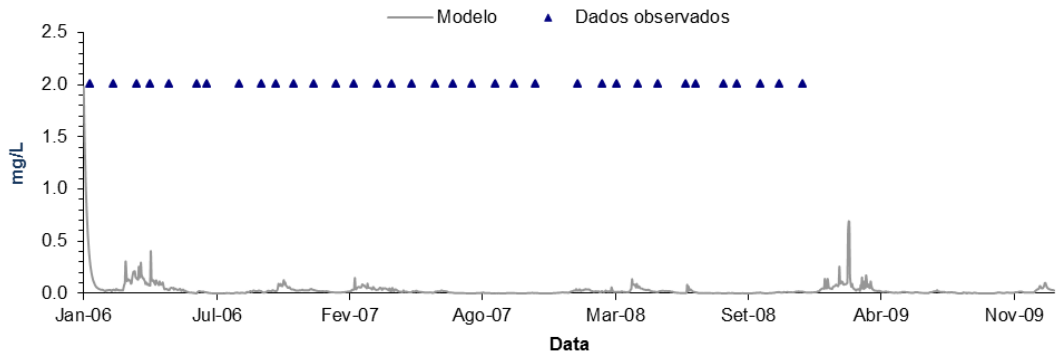


Figura 55. Série temporal - CBO₅-Alb. do Alto Rabagão (03J/09) – Rio Rabagão

Na Figura 56 pode observar-se a evolução dos valores da concentração deste parâmetro em profundidade, ao longo do período de simulação considerado. Deve referir-se que os eixos das abcissas da referida Figura 56 foram truncados, para permitir a visualização da evolução deste parâmetro em profundidade. Em alguns períodos temporais, e em profundidade, o consumo de OD resultante da degradação da matéria orgânica é muito elevado, atingindo um máximo de 120 mg/L no mês de Novembro de 2008. Este facto é confirmado pela análise dos perfis de OD em profundidade obtidos pela EDP, relativos aos meses de Setembro e Novembro de 2008 e de 2009 (ver Figuras 52 e 54), que revelam a completa depleção de OD em profundidade na massa de água.

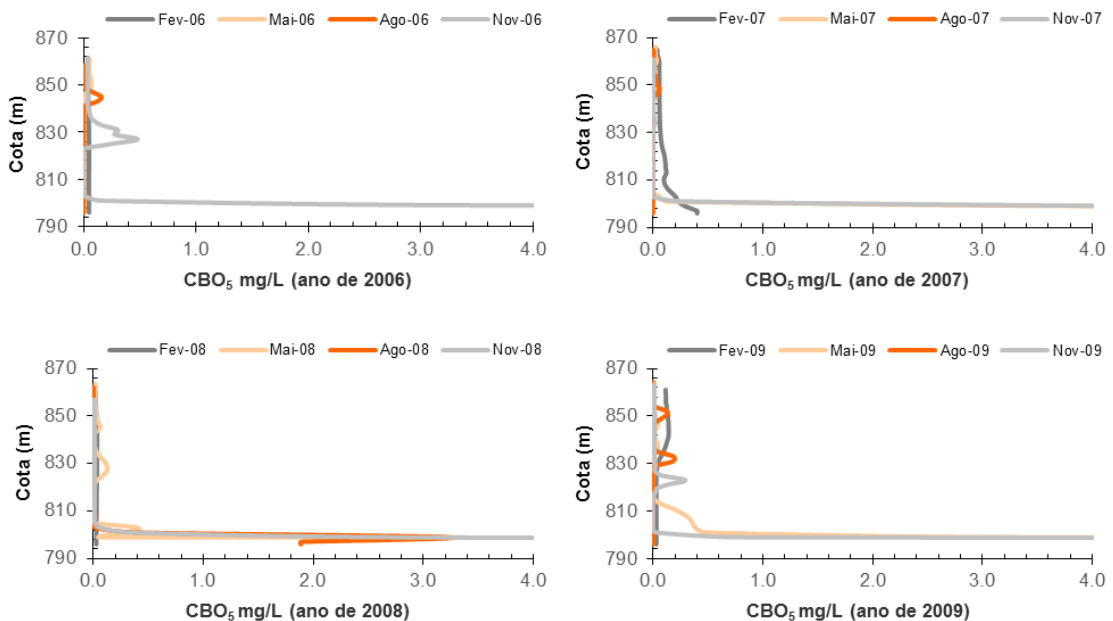


Figura 56. Perfis-CBO₅-1 km a montante da barragem do Alto Rabagão

8.4.5 Nitratos e nitritos

A análise da Figura 57 permite verificar que, tal como para os valores da concentração da CBO₅, não é possível concluir sobre a calibração dos valores da concentração de NO_x na albufeira do Alto Rabagão

uma vez que, de acordo com os resultados obtidos com o modelo, estes são inferiores ao limite de detecção dos valores disponibilizados através do SNIRH.

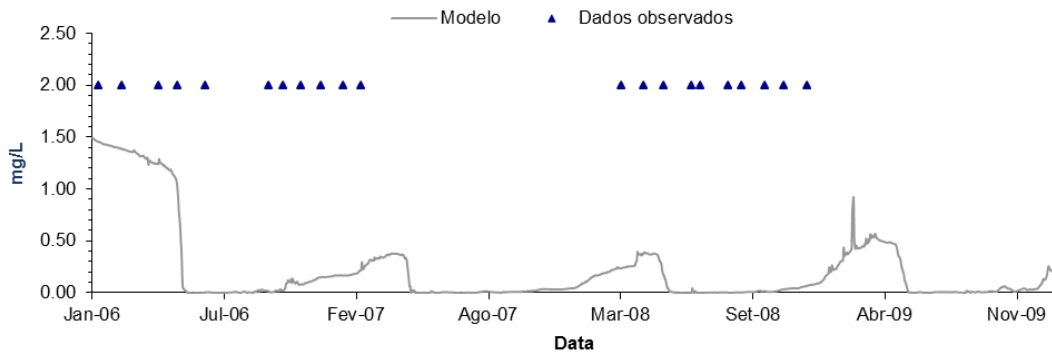


Figura 57. Série temporal - NO_x -Alb. do Alto Rabagão (03J/09) – Rio Rabagão

A análise dos perfis de valores da concentração de NO_x , em profundidade (Figura 58), permite concluir que não se verificam grandes oscilações dos valores da concentração deste parâmetro ao longo da coluna de água. No entanto, tal como o verificado para os valores da concentração da CBO_5 , observa-se um incremento em profundidade nos meses de Novembro de 2007 e de 2008.

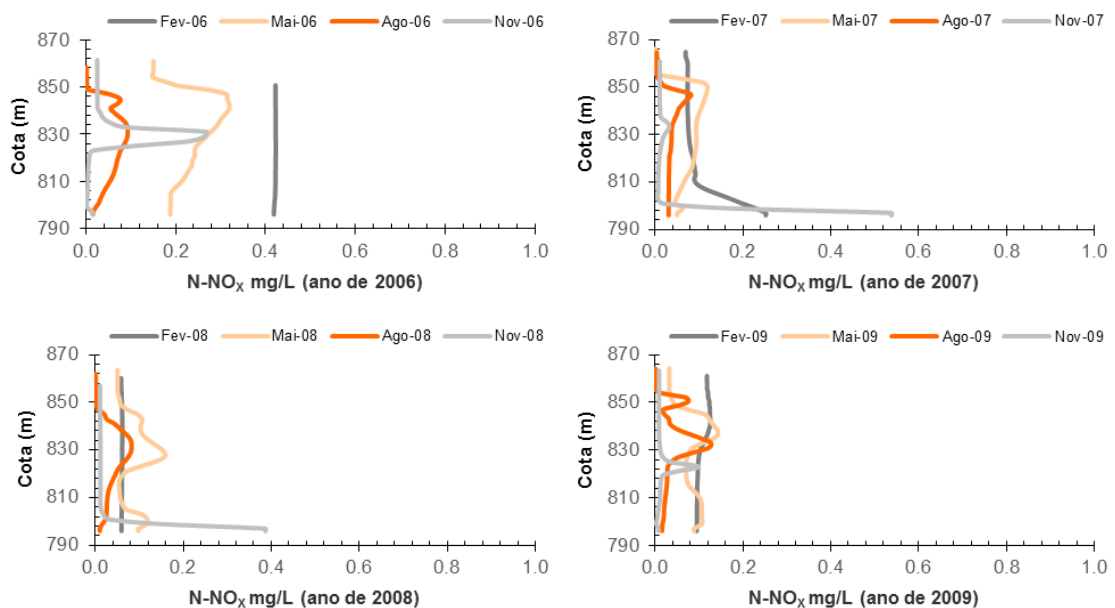


Figura 58. Perfis - NO_x -1 km a montante da barragem do Alto Rabagão

8.4.6 Azoto amoniacal

No que se refere a este parâmetro (NH_4), verifica-se que tal como para os valores da concentração da CBO_5 e de NO_x não é possível concluir sobre a calibração dos valores da concentração de NH_4 , uma

vez que de acordo com os resultados obtidos com o modelo estes são inferiores, na maioria dos casos ao limite de detecção deste parâmetro (Figura 59).

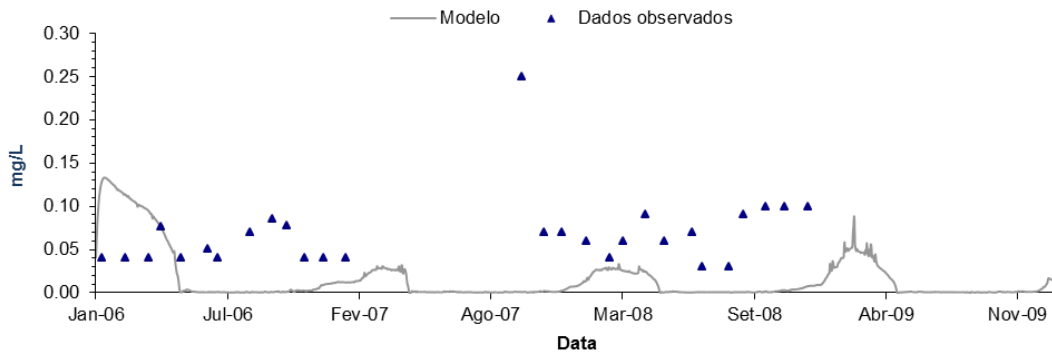


Figura 59. Série temporal - NH_4 -Alb. do Alto Rabagão (03J/09) – Rio Rabagão

Relativamente aos perfis verticais da concentração de NH_4 (Figura 60), verifica-se que, tal como para a CBO_5 , ocorre um aumento em profundidade dos correspondentes valores, nomeadamente nos últimos meses de cada ano.

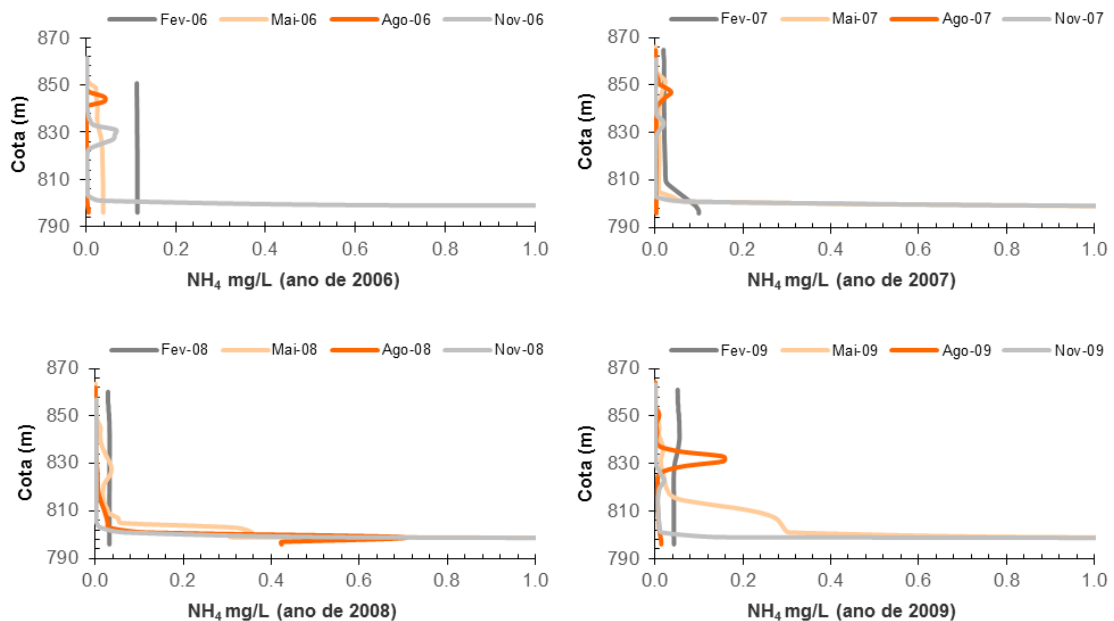


Figura 60. Perfis- NH_4 -1 km a montante da barragem do Alto Rabagão

8.4.7 Ortofosfatos

Os resultados obtidos para este parâmetro (P-PO_4) podem ser considerados globalmente satisfatórios, apesar do reduzido número de dados de campo disponíveis (Figura 61).

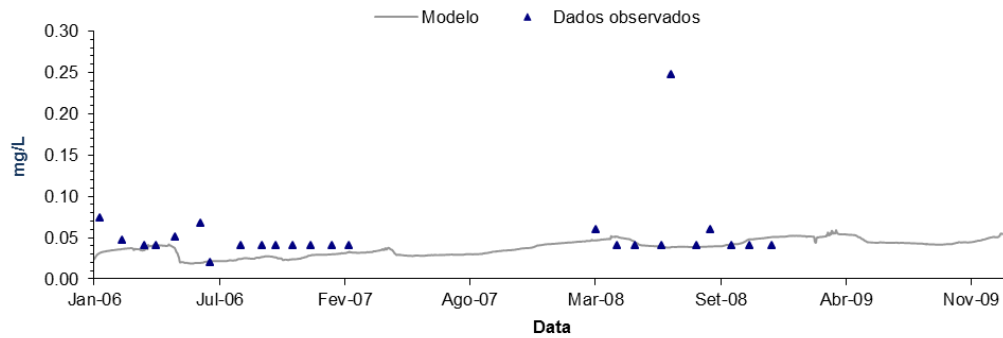


Figura 61. Série temporal - PO₄-Alb. do Alto Rabagão (03J/09) – Rio Rabagão

A análise da Figura 62 permite verificar, à semelhança do observado para os valores da concentração da CBO₅ e de NH₄, que em alguns meses do período de simulação, ocorre um incremento em profundidade dos valores da concentração deste parâmetro.

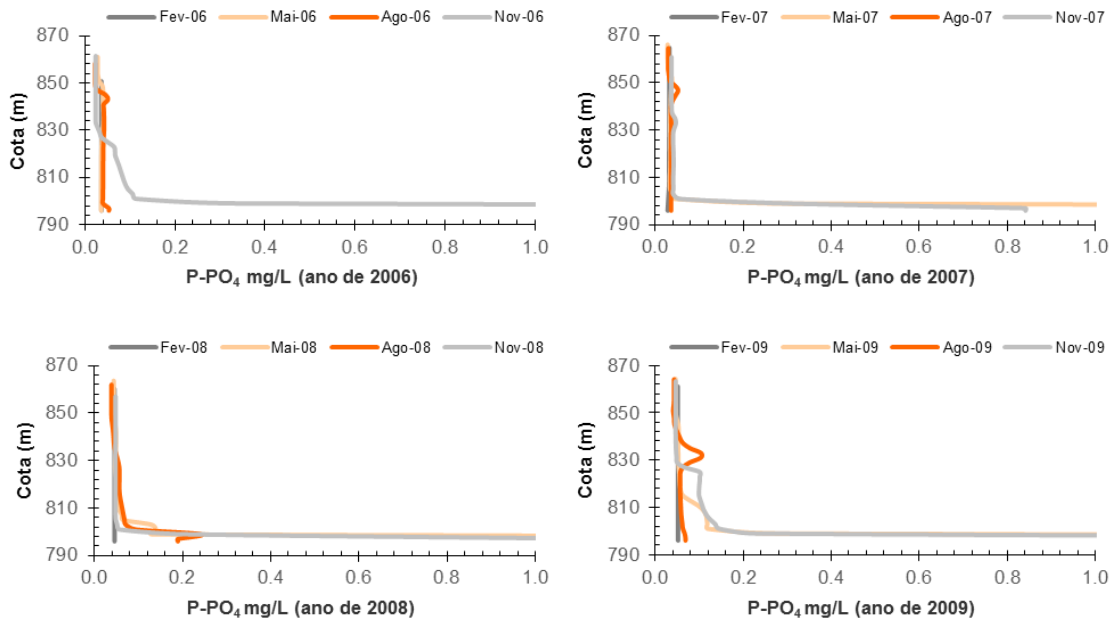


Figura 62. Perfis-PO₄-1 km a montante da barragem do Alto Rabagão

8.4.8 Clorofila-a

Analisando os resultados obtidos com o modelo (Figura 63), verifica-se que a evolução anual dos valores da concentração da clorofila-a corresponde ao que é expectável numa massa de água com estas características, nomeadamente no que se refere aos aumentos pontuais da concentração deste parâmetro no início do período mais quente do ano. No entanto, constata-se que o reduzido número de dados observados na massa de água não permite avaliar com rigor o processo de calibração realizado.

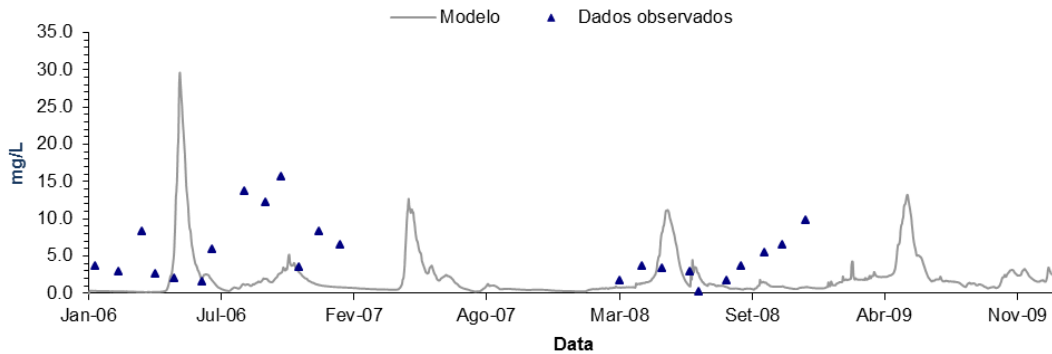


Figura 63. Série temporal - Clorofila_a-Alb. do Alto Rabagão (03J/09) - Rio Rabagão

Os perfis verticais da concentração da clorofila-a (Figura 64), permitem verificar um aumento da concentração deste parâmetro no início do Verão, à superfície, em todos os anos simulados.

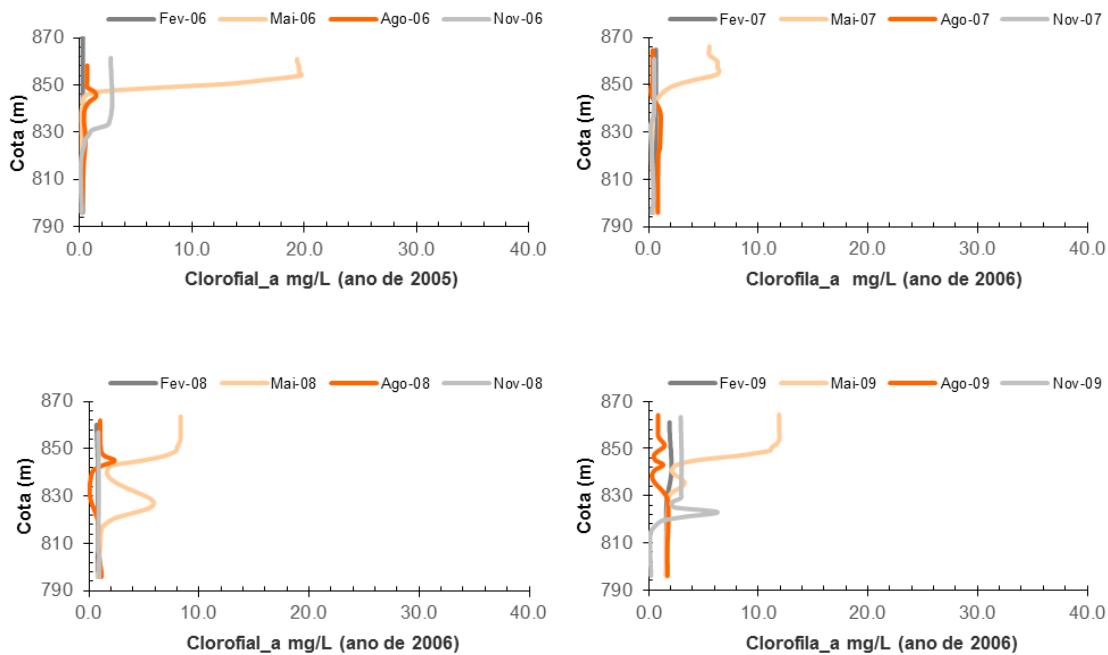


Figura 64. Perfis-Clorofila_a-1 km a montante da barragem do Alto Rabagão

8.4.9 pH

O aumento do valor deste parâmetro em alguns períodos do ano, deverá resultar do aumento da concentração em biomassa algal, que não pode ser aferida, em função do reduzido número de valores de amostragem disponíveis (Figura 65). Deve referir-se também que se observa uma diferença dos valores de pH na albufeira, quando se consideram as séries de valores disponibilizadas através do SNIRH, para o mesmo período temporal, identificadas como tendo sido obtidas no campo e em laboratório (Figura 65). Os valores mais elevados obtidos com o modelo CE-QUAL-W2 são da

mesma ordem de grandeza dos valores de pH obtidos no campo, pelo que se admite que, de facto, esses valores podem ter efectivamente ocorrido na massa de água.

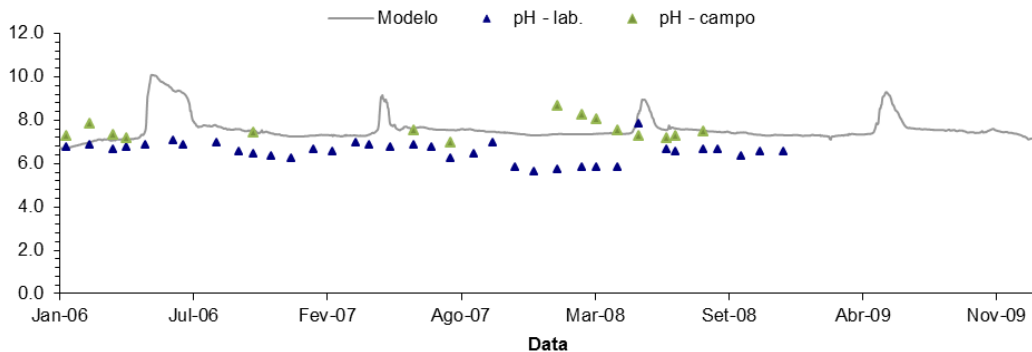


Figura 65. Série temporal - pH-Alb. do Alto Rabagão (03J/09) – Rio Rabagão

A análise dos perfis verticais de pH, obtidos com o modelo (Figura 66), permite verificar a existência de um aumento do valor deste parâmetro no período mais quente do ano, provavelmente função do aumento da concentração de biomassa algal na albufeira, no mesmo período temporal.

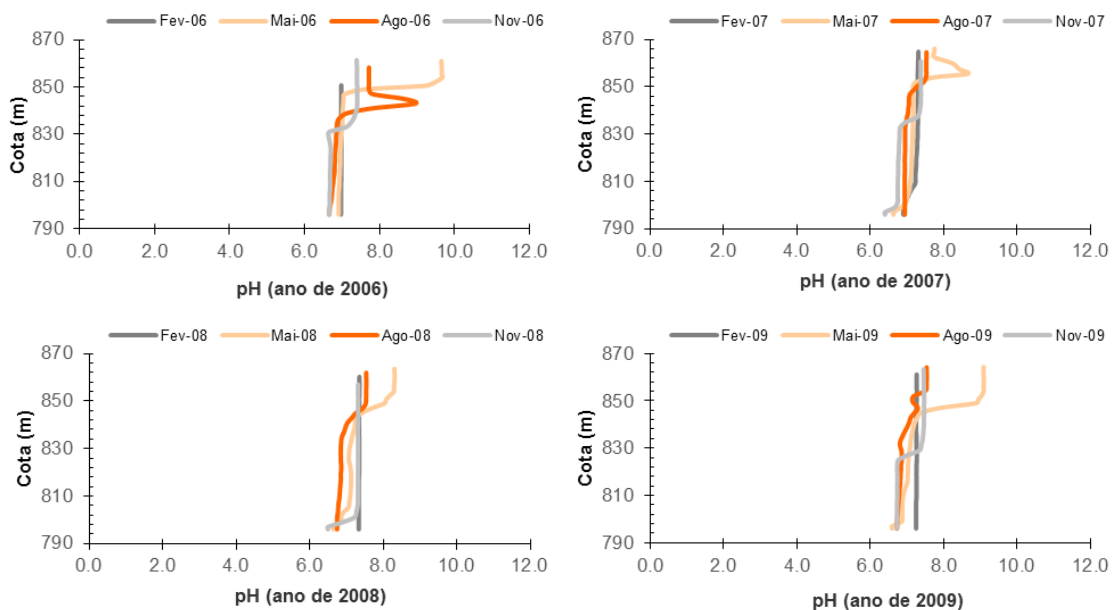
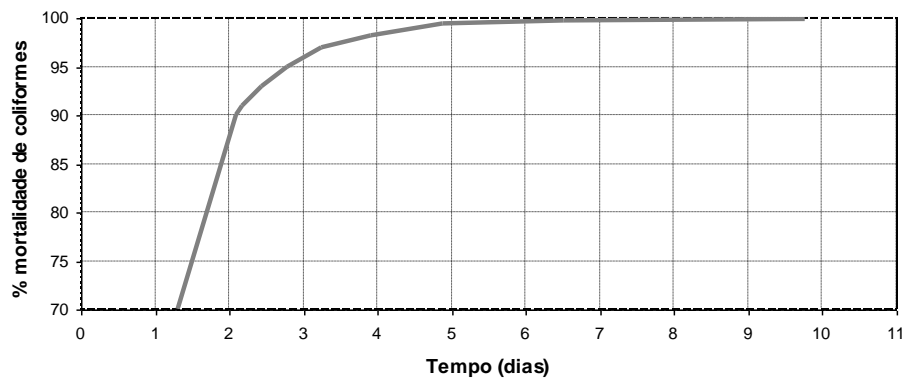


Figura 66. Perfis - pH-1 km a montante da barragem do Alto Rabagão

8.4.10 Coliformes totais

O número de coliformes totais simulado pelo modelo CE-QUAL-W2 depende das taxas de decaimento e de deposição consideradas, bem como da temperatura da massa de água. As dificuldades encontradas na simulação dos coliformes totais resultam do facto de este constituinte estar associado a cargas pontuais, do seu reduzido tempo de vida (Figura 67), bem como da escassez de dados de amostragem, tornando assim mais difícil simular a evolução da sua concentração na massa de água.

A análise da Figura 68 permite verificar que o ajustamento obtido descreve, em termos médios, de forma relativamente satisfatória a evolução anual do teor de coliformes totais na massa de água. Apenas com dados de campo que descrevessem todas as descargas pontuais de coliformes, seria possível simular o comportamento deste parâmetro com maior rigor.



Fonte: EPA - Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling (Second Edition) Junho, 1985
Figura 67. Taxa de mortalidade de coliformes em função do tempo.

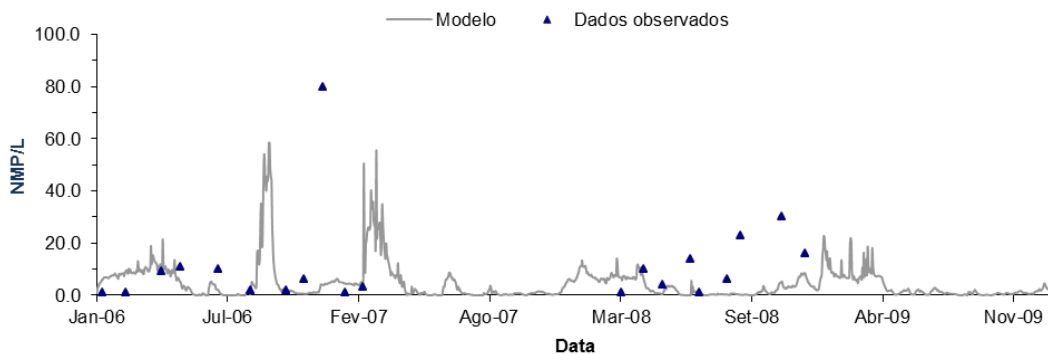


Figura 68. Variação média - Coliformes totais-Alb. do Alto Rabagão (03J/09) – Rio Rabagão

A análise da Figura 69 permite verificar que não se verifica a existência de um padrão de distribuição característico deste tipo de parâmetro, com a predominância dos valores de concentração mais elevados à superfície, diminuindo progressivamente em profundidade ao longo da coluna de água. Esta situação deverá ser uma consequência do processo de bombagem de água a partir da albufeira de Venda Nova, uma vez que no local em que foram obtidos os perfis verticais existe ainda uma influência considerável da referida bombagem na hidrodinâmica da albufeira.

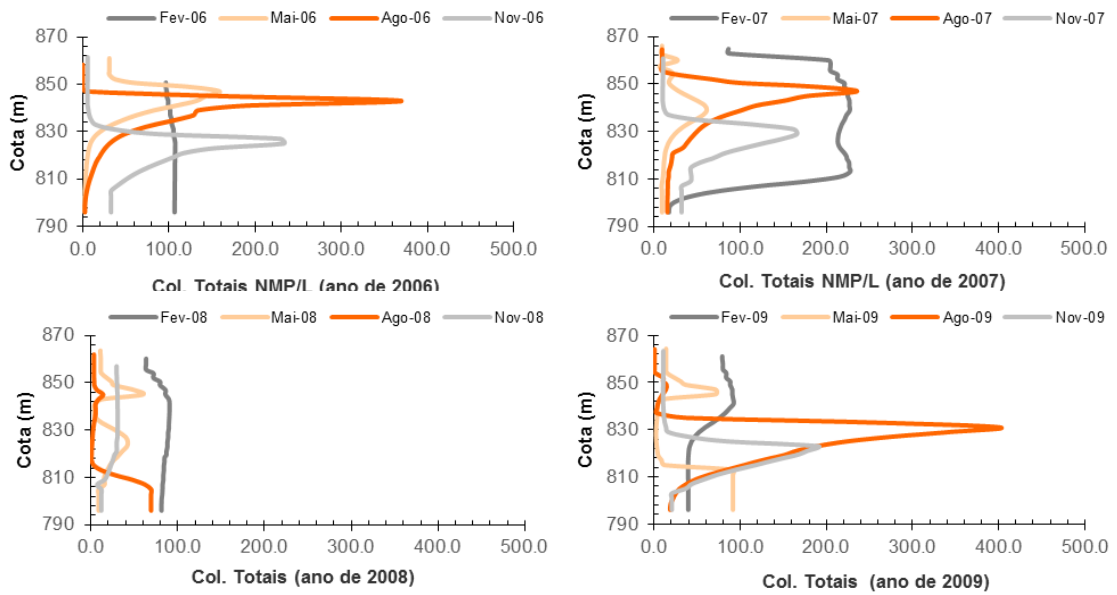


Figura 69. Perfis–Coliformes totais–1 km a montante da barragem do Alto Rabagão

8.4.11 Coliformes fecais

Relativamente aos coliformes fecais, a avaliação dos resultados obtidos para este parâmetro é análoga à anteriormente efectuada para os coliformes totais. A análise da Figura 70 permite verificar que o modelo descreve razoavelmente bem a evolução da concentração de coliformes fecais, observada à superfície da massa de água.

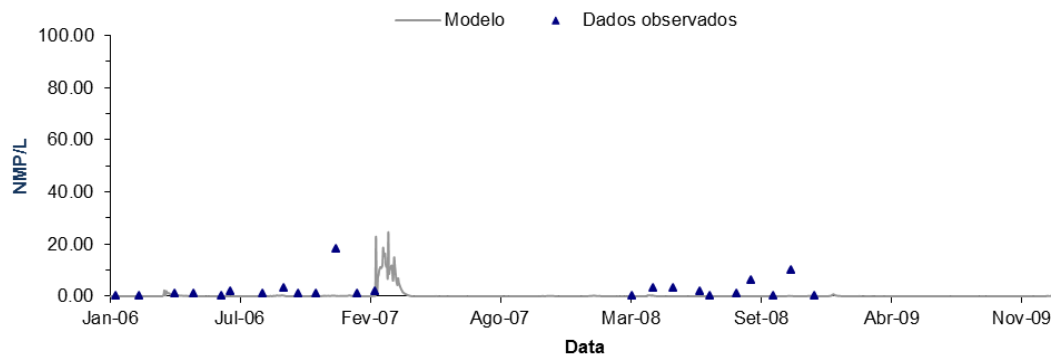


Figura 70. Variação média - Coliformes fecais–Alb. do Alto Rabagão (03J/09) – Rio Rabagão

A distribuição dos valores da concentração de coliformes fecais ao longo da coluna de água evidencia, tal como verificado para os coliformes totais, uma situação atípica que deverá estar também relacionada com o processo de bombagem (Figura 71).

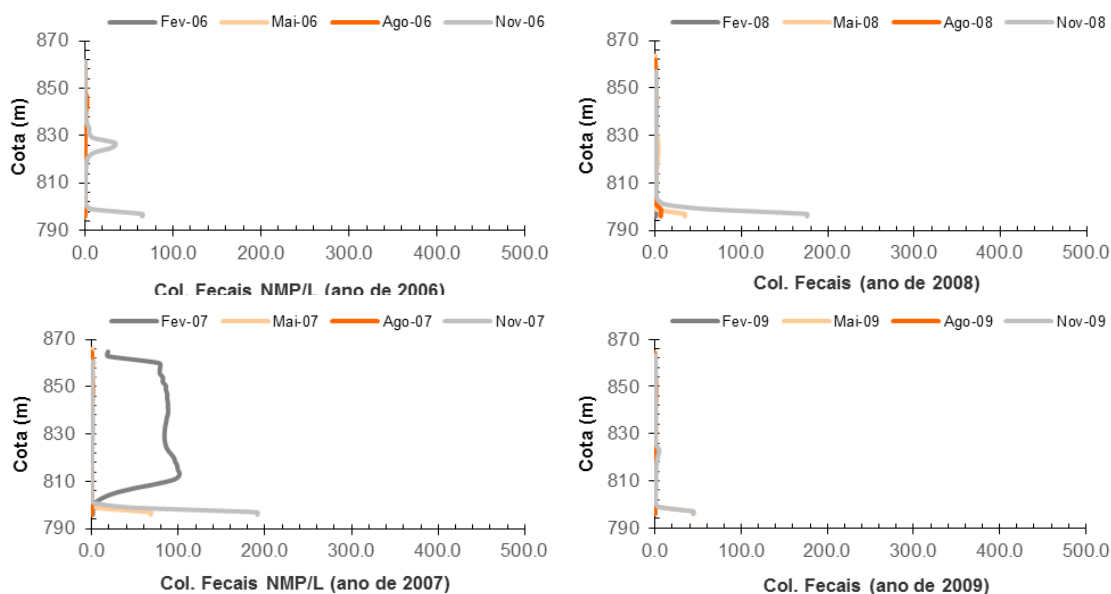


Figura 71. Perfis – Coliformes fecais–1 km a montante da barragem do Alto Rabagão

De uma forma geral considera-se que o processo de calibração do modelo CE-QUAL-W2 permitiu caracterizar razoavelmente bem a situação de referência da massa de água, apesar das limitações impostas pela inexistência de dados de campo e pelos limites de detecção. A aferição da evolução dos valores da temperatura da água e da concentração de OD, com os perfis em profundidade obtidos pela EDP, garante a fiabilidade necessária para se considerar que os parâmetros que afectam directamente o teor em OD da massa de água (biomassa algal, NH_4 , N-NO_x , e P-PO_4), são razoavelmente bem descritos pelo modelo.

9. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

9.1 - Introdução

A utilização sustentável da água depende, invariavelmente, da aplicação das medidas preconizadas nos diplomas normativos que regulam as descargas de poluentes em massas de água doce superficiais.

Actualmente o conceito de desenvolvimento sustentável é indissociável do conceito de resiliência ecológica, pelo facto dos sistemas humano e ecológico serem dinâmicos, interactivos e interdependentes.

A resiliência no âmbito dos sistemas sócio-ecológicos (SSE) é descrita por vários autores como sendo a capacidade que um sistema possui de ser afectado por um distúrbio e de se reorganizar, enquanto se modifica, para que mantenha essencialmente a mesma estrutura, função e identidade (Walker B. et al., 2004, Folke C. et al., 2002, Duffey R., 2009).

A aplicação a um SSE de um procedimento que tenha como objectivo gerir a resiliência, é de uma importância fundamental para a gestão do mesmo, independentemente da sua dimensão, complexidade e do sucesso ou não da aplicação da metodologia. De facto, as questões relativas às variáveis que condicionam o SSE, que são colocadas durante a tentativa de gestão da resiliência, permitem gerar informação fundamental sobre o funcionamento do sistema, que será útil a inúmeras áreas, como a investigação científica, a análise económica, o ordenamento do território, e o apoio à decisão.

Gerir a resiliência de um SSE que venha a ser afectado por externalidades não controláveis como o aumento da temperatura do ar e a redução da precipitação total anual, poderá tornar-se um processo complexo, em função do número de intervenientes e da própria natureza do SSE.

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

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

9.2 - Definição dos cenários de simulação

A definição dos cenários de simulação seleccionados teve como objectivo avaliar os efeitos das reduções da carga poluente afluente à albufeira do Alto Rabagão, resultante das medidas preconizadas pelo POAAR e pelo PBH do rio Cávado.

Neste contexto, verifica-se que o regulamento proposto pelo POAAR define, entre outras, as seguintes regras para a utilização da albufeira e da zona envolvente:

Artigo 1.º
Saneamento básico

- 1 – *É interdita a rejeição de efluentes sem tratamento de acordo com as normas legais em vigor.*
- 2 – *A rejeição de efluentes, mesmo tratados, só é permitida excepcionalmente nos termos do disposto no presente regulamento e na legislação vigente;*
- 3 – *Nas áreas classificadas como solo urbano, no âmbito dos respectivos planos municipais de ordenamento do território, é obrigatório a construção de sistemas municipais de recolha e tratamento de águas residuais.*
- 4 – *Enquanto não estiverem em funcionamento os sistemas municipais, a que se refere o número anterior, as novas construções ou obras de ampliação, bem como os novos loteamentos ou intervenções urbanísticas de impacto semelhante deverão construir sistemas autónomos que garantam o nível de tratamento exigido, admitindo-se em alternativa a instalação de fossas estanques nos termos do número seguinte.*
- 5 – *Nas construções existentes na zona terrestre de protecção não abrangidas pelos sistemas de recolha e tratamento das águas residuais definidos nos números anteriores, é obrigatório:*
 - a) *Para as construções localizadas na envolvente próxima do plano de água, na faixa dos 150 metros de projecção horizontal contados a partir do nível de pleno armazenamento, a construção de fossas estanques com uma capacidade adequada (superior ou igual a 25m³) e transporte das águas residuais a destino final adequado;*
 - b) *Para as construções localizadas na restante área de intervenção a instalação de fossas estanques com uma capacidade adequada ou em alternativa a instalação de fossas sépticas associadas a órgãos complementares de infiltração ou filtração, cujo dimensionamento terá de ser efectuado e licenciado caso a caso em função da realização de ensaios específicos de permeabilidade dos terrenos;*
 - c) *No licenciamento das fossas estanques será obrigatoriamente definida a periodicidade da sua limpeza que será determinada em função da sua capacidade e índice de ocupação das habitações que servem.*

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

Por outro lado, o PBH do rio Cávado tem como objectivo implementar medidas de gestão da qualidade da água, que visam cumprir as normas definidas pelos diplomas legais aplicáveis à bacia hidrográfica do rio Cávado. Assim, tornou-se necessário cumprir o disposto pelo Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, que define valores limites de emissão para a descarga de águas residuais. Deve referir-se que a inexistência de descargas de águas residuais de aglomerados urbanos com

e.p.>2000, determinou a inaplicabilidade das normas definidas pelo Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de Junho.

Para avaliar as regras e normas referidas, definiram-se os seguintes cenários de simulação:

Cenário 0 – caracteriza a situação de referência da massa de água, referente aos anos civis de 2006 a 2009. Corresponde, assim ao cenário considerado ao nível do processo de calibração do modelo, descrito no Capítulo 8 do presente relatório.

Cenário 1 – refere-se à aplicação, em simultâneo, de todas as medidas de redução da afluência de cargas poluentes, referidas no regulamento do POAAR, no seu artigo 1.º, relativo ao saneamento básico.

Cenário 1A – diverge do **Cenário 1**, porque se avaliou a alternativa proposta pelo regulamento que considera a instalação de fossas sépticas estanques associadas a órgãos complementares de infiltração ou filtração, para as edificações localizadas na faixa de 500 m contados em projecção horizontal a partir do NPA da albufeira.

Cenário 2 – definido para incluir as medidas de gestão da qualidade da água definidas no PBH do rio Cávado, que implicam cumprir o disposto pelo Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, relativamente aos sistemas de águas residuais, e à implementação de linhas de tratamento dos efluentes industriais, adequadas ao nível de protecção do meio receptor, de acordo com a legislação vigente e as directivas comunitárias aplicáveis, e que se traduziu no tratamento secundário de todas as descargas urbanas localizadas na bacia hidrográfica definida pela barragem do Alto Rabagão.

Cenário 2A – considera o tratamento terciário de todas as descargas de origem urbana e a melhoria do tipo de tratamento da ETAR de Montalegre, que se admite ser igualmente terciário.

Cenário 3 – definido com o objectivo de avaliar os efeitos na qualidade da água da albufeira do Alto Rabagão, resultante do aumento do número de empreendimentos turísticos previsto para a área de intervenção do POAAR.

Cenário 4 – tem como objectivo avaliar a carga poluente de origem urbana gerada pelas habitações que não possuem drenagem e tratamento de águas residuais, localizadas em toda a bacia hidrográfica definida pela barragem do Alto Rabagão. Assim, considerou-se que não existem descargas de origem urbana com excepção da que é gerada pela ETAR de Montalegre.

Cenário 5 – tem como objectivo avaliar a carga poluente gerada pela descarga da ETAR de Montalegre. Na definição deste cenário eliminou-se a afluência de carga poluente gerada pela ETAR de Montalegre.

Cenário 6 – tem como objectivo avaliar o efeito da carga poluente gerada pela aquacultura. Para a definição deste cenário eliminou-se a descarga poluente com origem nesta actividade industrial.

Cenário 7 – tem como objectivo avaliar o efeito da carga poluente que aflui à albufeira do Alto Rabagão através do caudal derivado da Albufeira do Alto Cávado. Assim, eliminou-se a carga poluente que está associada ao referido caudal.

Cenário 7A – tem como objectivo avaliar o efeito da carga poluente que aflui à albufeira do Alto Rabagão através do caudal bombeado da Albufeira de Venda Nova. Assim, eliminou-se a carga poluente que está associada ao caudal bombeado.

Cenário 8 – representa a conjugação dos **Cenários 7 e 7A**.

Cenário 9 – tem como objectivo avaliar o efeito da carga poluente com origem nas áreas agrícolas e florestais, gerada na bacia hidrográfica definida pela albufeira do Alto Rabagão. Para a definição deste cenário foi necessário retirar toda a carga poluente de origem difusa que aflui à albufeira do Alto Rabagão.

9.3 - Integração dos cenários de simulação

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

O **Cenário 0** considera a situação de referência da massa de água, caracterizada pelos dados de qualidade da água, para os anos de 2006 a 2009, e pela afluência das cargas poluentes geradas na bacia hidrográfica dominada pela barragem do Alto Rabagão, descritas anteriormente na secção 6.4 do Capítulo 4.

A definição do **Cenário 1** considera todas as medidas preconizadas no POAAR, relativamente à redução da carga de poluentes gerados na área de intervenção do Plano de Ordenamento, com origem pontual. Na referida área identificaram-se dois tipos distintos de potenciais fontes poluidoras: edificações agrupadas em lugares e empreendimentos turísticos.

O regulamento do POAAR refere que as edificações localizadas na envolvente próxima do plano de água, na faixa dos 150 metros em projecção horizontal contados a partir do NPA, deverão ter fossas estanques com uma capacidade adequada (superior ou igual a 25 m³) e transporte das águas residuais a destino final adequado; para as construções localizadas na restante área de intervenção, a instalação de fossas estanques com uma capacidade adequada ou em alternativa a instalação de fossas sépticas associadas a órgãos complementares de infiltração ou filtração.

Na definição deste cenário, em função da dificuldade existente em diferenciar as habitações localizadas na envolvente dos 150 metros das habitações localizadas na restante área de intervenção, consideraram-se dois cenários distintos. Na definição do primeiro, **Cenário 1**, eliminaram-se todas as descargas de edificações localizadas na área de intervenção do POAAR, simulando-se assim a construção de fossas sépticas estanques.

O **Cenário 1A** diverge do **Cenário 1** pelo facto de se terem considerado como sistemas de tratamento fossas sépticas bicompartimentadas, que descarregam para um poço absorvente ou trincheira. Assim, na definição deste cenário, consideraram-se as eficiências de tratamento de CBO₅, e de coliformes fecais e totais de origem tónica urbana, associadas a uma fossa séptica com filtro de areia enterrado (Quadro 33). Não se consideraram eficiências de remoção para a carga poluente de N-NOX, NH₄ e P-PO₄, pois de acordo com a revisão bibliográfica considerada, o processo de nitrificação

pode aumentar os valores da concentração de N-NO_x e, se a trincheira de infiltração não tiver mais de 0.3 m de profundidade, os valores de P-PO₄ podem manter-se inalterados (Metacalf & Eddy, 1991).

No entanto, deve referir-se que a influência da carga de N-NO_x, NH₄ e de P-PO₄ sobre a qualidade da água da albufeira é avaliada com rigor pelo **Cenário 1**.

Admitiu-se, conservativamente, que após tratamento as águas residuais geradas afluiriam na sua totalidade à albufeira do Alto Rabagão.

Quadro 33. Eficiência de remoção percentual – Fossa séptica com filtro de areia enterrado

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

(a) Metacalf & Eddy (1991)

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

Na área de intervenção do POAAR identificaram-se três empreendimentos turísticos, Casa Sala do Capitão, Residencial Sol e Chuva e o empreendimento Turismo de Aldeia (INATEL) (Figura 29). Como o regulamento do POAAR não refere qual o sistema de tratamento a utilizar nos empreendimentos turísticos, admitiu-se que estes têm sistemas de tratamento idênticos às edificações da área de intervenção do Plano.

No Quadro 34 podem observar-se os valores da carga poluente que foram incluídos no modelo para a definição do **Cenário 1A**.

Quadro 34. Carga poluente rejeitada com origem nos lugares localizados na bacia hidrográfica dominada pela barragem do Alto Rabagão – Env. (500m) – **Cenário 1A**

Freguesia	Lugar	Nº de habitantes	CBO ₅ kg/ano	Coliformes totais NMP/ano *(10 ⁷)	Coliformes fecais NMP/ano *(10 ⁷)	Caudal m ³ /ano
Lugares localizados na área de intervenção do POA Env. (500 m)						
Chã	Aldeia Nova do Barroso	157	181.5	1031.5	1.1	9971.1
Chã	Penedones	78	90.2	512.5	0.6	4953.8
Chã	São Vicente da Chã	86	99.4	565.0	0.6	5461.9
Chã	Travassos da Chã	59	68.2	387.6	0.4	3747.1
Morgade	Criande	58	67.1	381.1	0.4	3683.6
Morgade	Morgade	112	129.5	735.8	0.8	7113.1
Negrões	Negrões	54	62.4	354.8	0.4	3429.5
Negrões	Vilarinho de Negrões	36	41.6	236.5	0.3	2286.4
Viade de Baixo	Antigo	53	61.3	348.2	0.4	3366
Viade de Baixo	Bairro da Raposeira	23	26.6	151.1	0.2	1460.7
Viade de Baixo	Lama da Missa	18	20.8	118.3	0.1	1143.2
Viade de Baixo	Parafita	122	141.1	801.5	0.9	7748.2
Viade de Baixo	Pisões	198	228.9	1300.9	1.4	12575
Viade de Baixo	Viade de Baixo	93	107.5	611.0	0.7	5906.4

Quadro 35. Carga poluente rejeitada com origem nos empreendimentos turísticos localizados na área de intervenção do POAAR– **Cenário 1A**

Emp. turístico	Ocupação máxima	CBO ₅ kg/ano	Coliformes totais NMP/ano *(10 ⁷)	Coliformes fecais NMP/ano *(10 ⁷)	Caudal m ³ /ano
Casa Sala do Capitão	12	302	78.8	0.1	762.1
Turismo de Aldeia INATEL	28	704	184.0	0.2	1016.2
Residencial Sol e Chuva	16	403	105.1	0.1	1778.3

Com a definição do **Cenário 2**, pretende-se incluir as medidas de gestão de qualidade da água definidas no PBH do rio Cávado, que implicam cumprir o disposto pelo Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, relativamente aos sistemas de águas residuais e à implementação de linhas de tratamento dos efluentes industriais, adequadas ao nível de protecção do meio receptor. Assim, para a definição deste cenário admitiu-se o tratamento secundário de todas as descargas urbanas localizadas na área drenante à albufeira do Alto Rabagão, considerando as eficiências de remoção da CBO₅, N-NO_x, NH₄, P-PO₄ e de coliformes fecais e totais associadas ao tratamento secundário, que são apresentadas no Quadro 16, da secção 6.4.4 do Capítulo 6 do presente relatório. Deve referir-se que a informação contida no Relatório Síntese do POAAR (INAG, 2009), apenas permite identificar a aquacultura existente na albufeira, como sendo a única actividade industrial passível de poluir a referida massa de água. O potencial efeito desta actividade foi individualizado com a definição do cenário 6.

Nos quadros 36, 37 e 38 podem observar-se os valores de carga poluente que foram incluídos no modelo CE-QUAL-W2 para a definição do **Cenário 2**.

Quadro 36. Carga poluente rejeitada com origem nos empreendimentos turísticos localizados na área de intervenção do POAAR– **Cenário 2**

Emp. turístico	Ocupação máxima	CBO ₅ kg/ano	P - PO ₄ kg/ano	NH ₄ kg/ano	N – NO _x kg/ano	Coliformes totais NMP/ano *(10 ¹⁰)	Coliformes fecais NMP/ano *(10 ¹⁰)	Caudal m ³ /ano
Casa Sala do Capitão	12	21.1	4.1	12.5	0.5	7.9	0.01	762.1
Turismo de Aldeia INATEL	28	49.3	9.6	29.2	1.3	18.4	0.02	1778.3
Residencial Sol e Chuva	16	28.2	5.5	16.7	0.7	10.5	0.01	1016.2

Quadro 37. Carga poluente afluente à albufeira do Alto Rabagão após tratamento – **Cenário 2**

Sistema de tratamento	População servida	CBO ₅ kg/ano	P - PO ₄ kg/ano	NH ₄ kg/ano	N – NO _x kg/ano	Coliformes totais NMP/ano *(10 ¹⁰)	Coliformes fecais NMP/ano *(10 ¹⁰)	Caudal (m ³ /ano)
ETAR de Montalegre	3782	6122.1	1834.6	4878.8	213.5	2484.8	2.7	248930.0

Quadro 38. Carga poluente rejeitada com origem nos lugares localizados na bacia hidrográfica da albufeira do Alto Rabagão – Env. (2000m) – Cenário 2

Freguesia	Lugar	Nº de habitantes	CBO ₅ kg/ano	P - PO ₄ kg/ano	NH ₄ kg/ano	N – NO _x kg/ano	Coliformes totais NMP/ano *(10 ⁷)	Coliformes fecais NMP/ano *(10 ⁷)	Caudal m ³ /ano
Lugares localizados na área de intervenção do POA Env. (500 m)									
Chã	Aldeia Nova do Barroso	157	254.1	76.2	202.5	8.9	1031.5	1.1	9971.1
Chã	Penedones	78	126.3	37.8	100.6	4.4	512.5	0.6	4953.8
Chã	São Vicente da Chã	86	139.2	41.7	110.9	4.9	565.0	0.6	5461.9
Chã	Travassos da Chã	59	95.5	28.6	76.1	3.3	387.63	0.4	3747.1
Morgade	Criande	58	93.9	28.1	74.8	3.3	381.1	0.4	3683.6
Morgade	Morgade	112	181.3	54.3	144.5	6.3	735.8	0.8	7113.1
Negrões	Negrões	54	87.4	26.2	69.7	3.0	354.8	0.4	3429.5
Negrões	Vilarinho de Negrões	36	58.3	17.5	46.4	2.0	236.52	0.3	2286.4
Viade de Baixo	Antigo	53	85.8	25.7	68.4	3.0	348.2	0.4	3366.0
Viade de Baixo	Bairro da Raposeira	23	37.2	11.2	29.7	1.3	151.1	0.2	1460.7
Viade de Baixo	Lama da Missa	18	29.1	8.7	23.2	1.0	118.3	0.1	1143.2
Viade de Baixo	Parafita	122	197.5	59.2	157.4	6.9	801.5	0.9	7748.2
Viade de Baixo	Pisões	198	320.5	96.0	255.4	11.2	1300.9	1.4	12575.0
Viade de Baixo	Viade de Baixo	93	150.5	45.1	120.0	5.3	611.01	0.7	5906.4
Lugares localizados entre a área de Intervenção do POA e a Env. (2000 m)									
Cervos	Barracão	37	59.9	17.9	47.7	2.1	243.1	0.3	2349.9
Chã	Castanheira da Chã	72	116.6	34.9	92.9	4.1	473.0	0.5	4572.7
Chã	Gralhós	106	171.6	51.4	136.7	6.0	696.4	0.8	6732.1
Chã	Medeiros	109	176.4	52.9	140.6	6.2	716.1	0.8	6922.6
Chã	Torgueda	67	108.5	32.5	86.4	3.8	440.2	0.5	4255.2
Fervidelas	Fervidelas	46	74.5	22.3	59.3	2.6	302.2	0.3	2921.5
Morgade	Carvalhais	49	79.3	23.8	63.2	2.8	321.9	0.3	3112.0
Negrões	Lamachã	101	163.5	49.0	130.3	5.7	663.6	0.7	6414.5
Viade de Baixo	Brandim	35	56.7	17.0	45.2	2.0	230.0	0.2	2222.9
Viade de Baixo	Friães	90	90.6	27.2	72.2	3.2	367.9	0.4	5715.9
Viade de Baixo	Telhado	53	145.7	43.7	116.1	5.1	591.3	0.6	3366.0
Viade de Baixo	Viade de Cima	61	85.8	25.7	68.4	3.0	348.2	0.4	3874.1
Vila da Ponte	Bustelo	56	98.7	29.6	78.7	3.4	400.8	0.4	3556.6
Na área localizada entre a envolvente dos 2000 m e o limite da bacia hidrográfica da albufeira admitiu-se que as A.R. dos restantes habitantes também afluem à massa de água									
Chã	-	194	314.0	94.1	250.3	11.0	1274.6	1.4	12320.9
Viade de Baixo	-	35	56.7	17.0	45.2	2.0	230.0	0.2	2222.9

O **Cenário 2A** foi definido de forma idêntica ao **Cenário 2**. No entanto, considerou-se a melhoria da eficiência de tratamento de todas as descargas urbanas localizadas na área drenante para a albufeira do Alto Rabagão e da ETAR de Montalegre, que passou a ser terciário, considerando as eficiências de remoção da CBO₅, N-NO_x, NH₄, P-PO₄ e de coliformes fecais e totais que são apresentadas no Quadro 39.

Quadro 39. Eficiência de remoção percentual – tratamento terciário

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

(a) Metacalf & Eddy (2003)

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

Nos Quadros 40, 41 e 42 são apresentados os valores de carga poluente que foram incluídos no modelo CE-QUAL-W2, para a definição do **Cenário 2A**.

Quadro 40. Carga poluente rejeitada com origem nos empreendimentos turísticos localizados na área de intervenção do POAAR – **Cenário 2A**

Emp. turístico	Ocupação máxima	CBO ₅ kg/ano	P - PO ₄ kg/ano	NH ₄ kg/ano	N - NO _x kg/ano	Coliformes totais NMP/ano * (10^7)	Coliformes fecais NMP/ano * (10^7)	Caudal m ³ /ano
Casa Sala do Capitão	12	6.0	0.1	12.2	0.5	78.8	0.1	762.1
Turismo de Aldeia INATEL	28	14.1	0.3	28.5	1.3	184.0	0.2	1778.3
Residencial Sol e Chuva	16	8.1	0.2	16.3	0.7	105.1	0.1	1016.2

Quadro 41. Carga poluente afluyente à albufeira do Alto Rabagão após tratamento – **Cenário 2A**

Sistema de tratamento	População servida	CBO ₅ kg/ano	P - PO ₄ kg/ano	NH ₄ kg/ano	N - NO _x kg/ano	Coliformes totais NMP/ano * (10^{10})	Coliformes fecais NMP/ano * (10^{10})	Caudal (m ³ /ano)
ETAR de Montalegre	3782	1749.2	65.5	4765.3	213.5	248477.4	269.2	248930.0

Quadro 42. Carga poluente rejeitada com origem nos lugares localizados na bacia hidrográfica da albufeira Alto Rabagão – Env. (2000m) – Cenário 2A

Freguesia	Lugar	Nº de habitantes	CBO ₅ kg/ano	P - PO ₄ kg/ano	NH ₄ kg/ano	N – NO _x kg/ano	Coliformes totais NMP/ano *(10 ⁷)	Coliformes fecais NMP/ano *(10 ⁷)	Caudal m ³ /ano
Lugares localizados na área de intervenção do POA Env. (500 m)									
Chã	Aldeia Nova do Barroso	157	72.6	2.7	197.8	8.9	1031.5	1.1	9971.1
Chã	Penedones	78	36.1	1.4	98.3	4.4	512.5	0.6	4953.8
Chã	São Vicente da Chã	86	39.8	1.5	108.4	4.9	565.0	0.6	5461.9
Chã	Travassos da Chã	59	27.3	1.0	74.3	3.3	387.63	0.4	3747.1
Morgade	Criande	58	26.8	1.0	73.1	3.3	381.1	0.4	3683.6
Morgade	Morgade	112	51.8	1.9	141.1	6.3	735.8	0.8	7113.1
Negrões	Negrões	54	25.0	0.9	68.0	3.0	354.8	0.4	3429.5
Negrões	Vilarinho de Negrões	36	16.6	0.6	45.4	2.0	236.52	0.3	2286.4
Viade de Baixo	Antigo	53	24.5	0.9	66.8	3.0	348.2	0.4	3366.0
Viade de Baixo	Bairro da Raposeira	23	10.6	0.4	29.0	1.3	151.1	0.2	1460.7
Viade de Baixo	Lama da Missa	18	8.3	0.3	22.7	1.0	118.3	0.1	1143.2
Viade de Baixo	Parafita	122	56.4	2.1	153.7	6.9	801.5	0.9	7748.2
Viade de Baixo	Pisões	198	91.6	3.4	249.5	11.2	1300.9	1.4	12575
Viade de Baixo	Viade de Baixo	93	43.0	1.6	117.2	5.3	611.01	0.7	5906.4
Lugares localizados entre a área de Intervenção do POA e a Env. (2000 m)									
Cervos	Barracão	37	17.1	0.6	46.6	2.1	243.1	0.3	2349.9
Chã	Castanheira da Chã	72	33.3	1.2	44.1	4.1	473.0	0.5	4572.7
Chã	Gralhós	106	49.0	1.8	70.6	6.0	696.4	0.8	6732.1
Chã	Medeiros	109	50.4	1.9	61.7	6.2	716.1	0.8	6922.6
Chã	Torgueda	67	31.0	1.2	90.7	3.8	440.2	0.5	4255.2
Fervidelas	Fervidelas	46	21.3	0.8	58.0	2.6	302.2	0.3	2921.5
Morgade	Carvalhais	49	22.7	0.8	113.4	2.8	321.9	0.3	3112.0
Negrões	Lamachã	101	46.7	1.7	133.6	5.7	663.6	0.7	6414.5
Viade de Baixo	Brandim	35	16.2	0.6	127.3	2.0	230.0	0.2	2222.9
Viade de Baixo	Frães	90	25.9	1.0	137.3	3.2	367.9	0.4	5715.9
Viade de Baixo	Telhado	53	41.6	1.6	66.8	5.1	591.3	0.6	3366.0
Viade de Baixo	Viade de Cima	61	24.5	0.9	84.4	3.0	348.2	0.4	3874.1
Vila da Ponte	Bustelo	56	28.2	1.1	76.9	3.4	400.8	0.4	3556.6
Na área localizada entre a envolvente dos 2000 m e o limite da bacia hidrográfica da albufeira admitiu-se que as A.R. dos restantes habitantes também afluem à massa de água									
Chã	-	194	89.7	3.4	244.4	11.0	1274.6	1.4	12320.9
Viade de Baixo	-	35	16.2	0.6	44.1	2.0	230.0	0.2	2222.9

O **Cenário 3** foi definido com o objectivo de avaliar os efeitos na qualidade da água da albufeira do Alto Rabagão, resultantes da ampliação/evolução do número de empreendimentos turísticos existentes na área de intervenção do POAAR.

De acordo com a informação contida no Relatório Síntese do POAAR (INAG, 2009), está prevista a construção de uma residencial com 18 camas, que de acordo com o referido documento, teve parecer favorável pelas entidades competentes para o seu licenciamento:

“Existe uma intenção de investimento com parecer favorável, a Pensão Residencial do Barroso, com uma capacidade para 18 camas, a localizar-se na freguesia de Viade de Baixo.”

No Quadro 43, podem observar-se os valores de carga poluente gerada pelos empreendimentos turísticos para a definição do **Cenário 3**.

A implementação dos **Cenários 4, 5, 6, 7, 7A, 8 e 9**, foi realizada através da não consideração da carga poluente que se pretende avaliar em cada um desses cenários, que é descrita na secção 6.4 do Capítulo 6 do presente relatório.

Quadro 43. Carga poluente gerada pelos empreendimentos turísticos localizados na área de intervenção do POAAR– **Cenário 3**

Emp. Turístico	Ocupação máxima	CBO ₅ kg/ano	P - PO ₄ kg/ano	NH ₄ kg/ano	N – NO _x kg/ano	Coliformes totais NMP/ano *(10 ⁷)	Coliformes fecais NMP/ano *(10 ⁷)	Caudal m ³ /ano
Casa Sala do Capitão	12	6.0	0.1	12.2	0.5	78.8	0.1	762.1
Turismo de Aldeia INATEL	28	14.1	0.3	28.5	1.3	184.0	0.2	1778.3
Residencial Sol e Chuva	16	8.1	0.1	16.3	0.7	105.1	0.1	1016.2
Pensão residencial do Barroso	18	9.1	0.2	18.3	0.8	118.3	0.1	1143.2

10. RESULTADOS OBTIDOS

10.1 - Introdução

Os resultados obtidos com os diferentes cenários de simulação são apresentados nas secções seguintes sob a forma de gráficos, que reflectem a concentração média de cada um dos constituintes no ramo principal da albufeira do Alto Rabagão (rio Rabagão), para cada um dos cenários de simulação definidos. Adicionalmente, para a clorofila-a, incluiu-se também uma série temporal obtida à superfície da albufeira, 1 km a montante da Barragem do Alto Rabagão.

No final da apresentação dos resultados obtidos é também apresentado o Quadro 44, onde se pode observar a variação percentual da concentração de cada um dos parâmetros modelados, em função das características específicas inerentes a cada um dos cenários de simulação.

10.2 - Cenário 1 / Cenário 1A

A implementação destes cenários de simulação permitiu concluir, tal como seria expectável e tendo em atenção o reduzido número de edificações isoladas existentes na área de intervenção do POAAR, que não existem diferenças significativas em função do tipo de tratamento considerado nos cenários 1 e 1A (Figuras 72 a 89). A única excepção corresponde aos valores da concentração de coliformes totais, que em média foi reduzida em 40%, comparativamente ao valor que caracteriza a situação de referência (Figuras 86 e 87). Também no que se refere à concentração de P-PO₄, verifica-se uma ligeira redução, ainda que de significado muito pouco expressivo, quando se estabelece a comparação entre os valores obtidos para o **Cenário 0** e os resultados inerentes aos **Cenários 1 e 1A** (Figuras 80 e 81).

A análise dos **Cenários 1 e 1A** permite também concluir que a carga orgânica, gerada pelas edificações localizadas na área de intervenção do POAAR, tem uma contribuição reduzida para a carga orgânica total que afluí à albufeira.

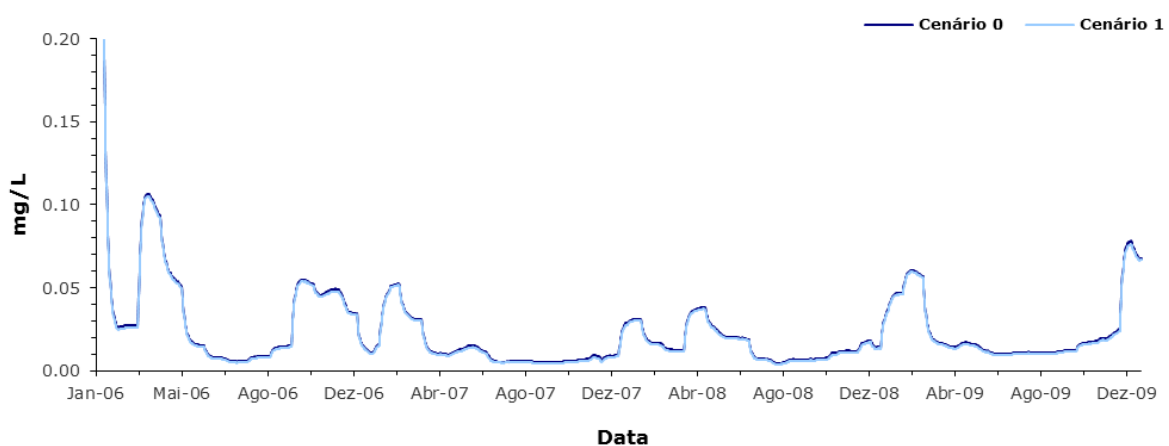


Figura 72. Variação média da concentração de **CBO₅** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 1**

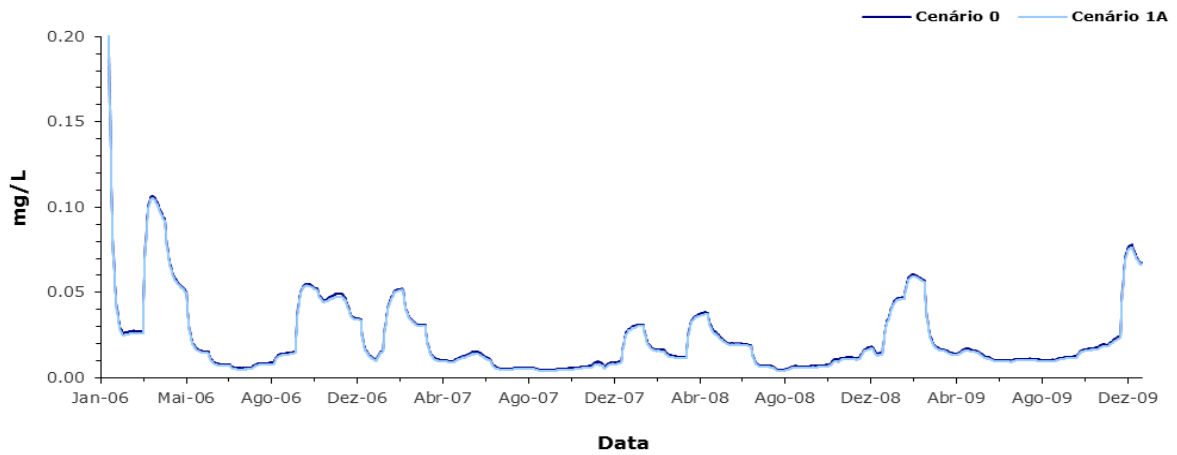


Figura 73. Variação média da concentração de CBO_5 na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 1A

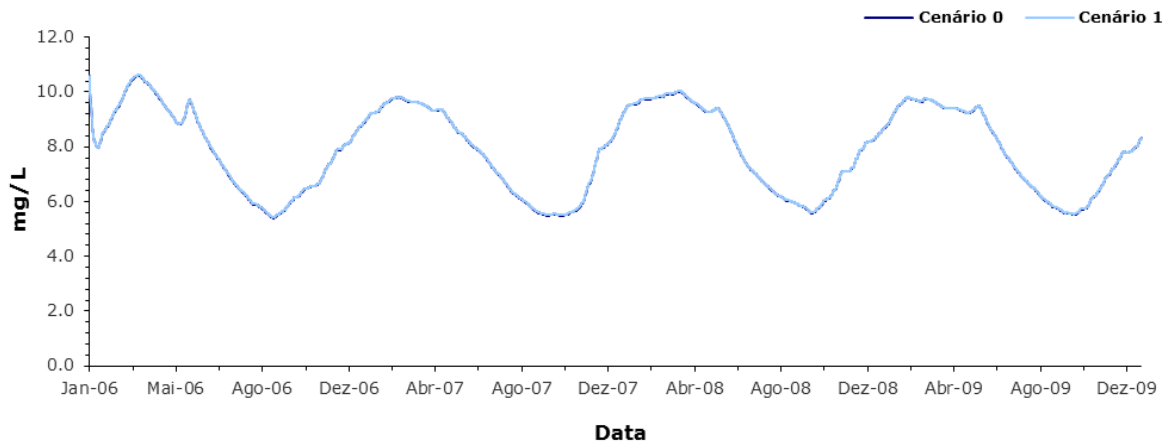


Figura 74. Variação média da concentração de OD na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 1

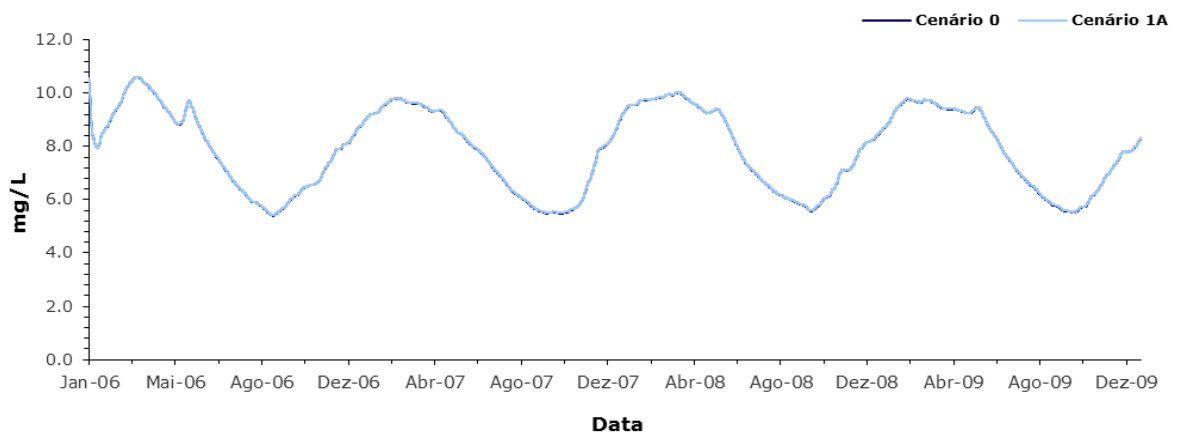


Figura 75. Variação média da concentração de OD na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 1A

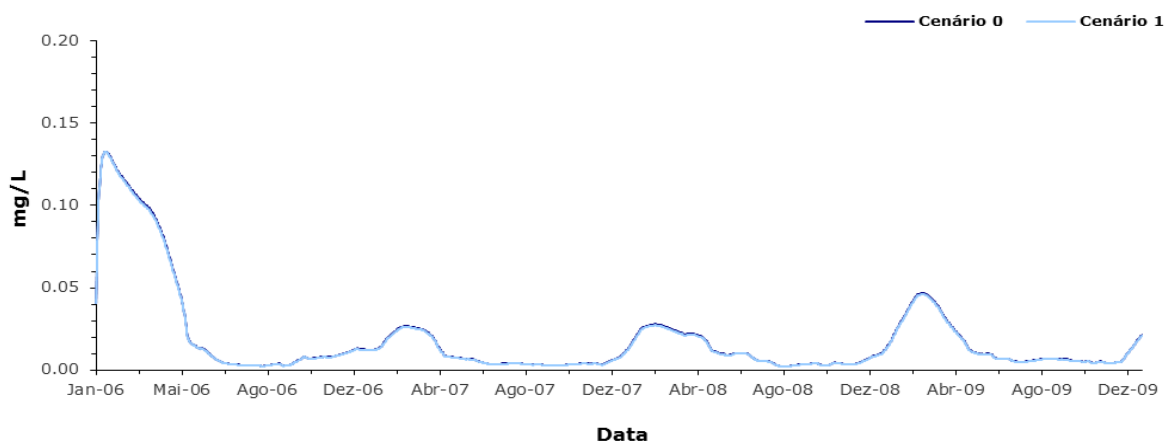


Figura 76. Variação média da concentração de NH_4 na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 1

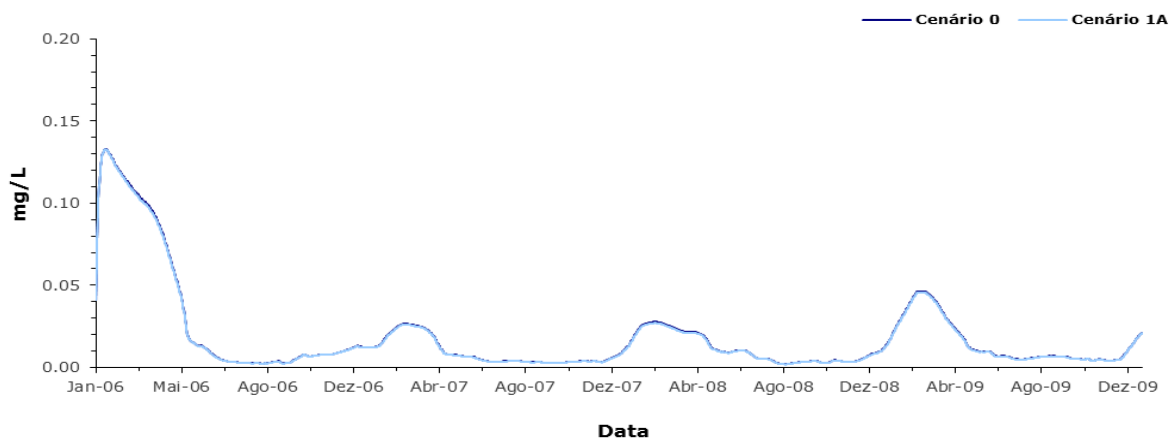


Figura 77. Variação média da concentração de NH_4 na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 1A

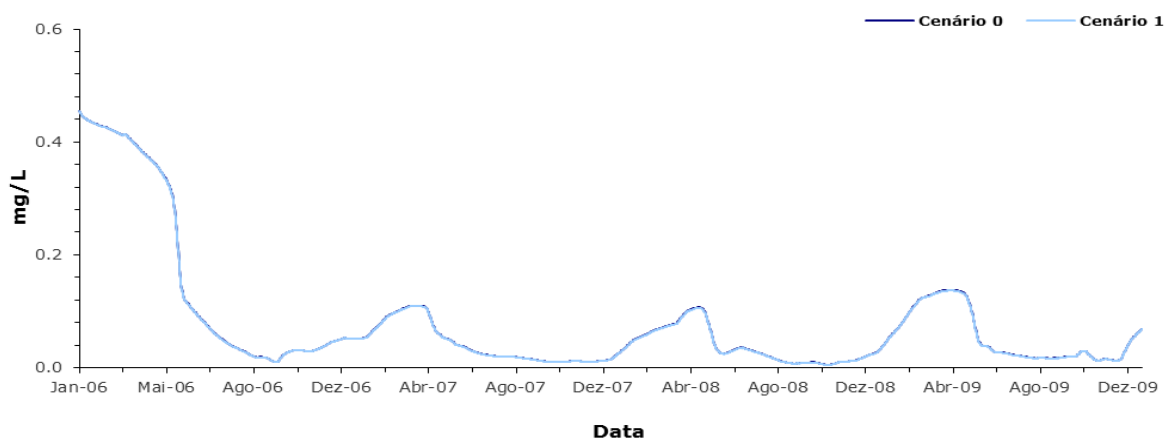


Figura 78. Variação média da concentração de N-NO_x na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 1

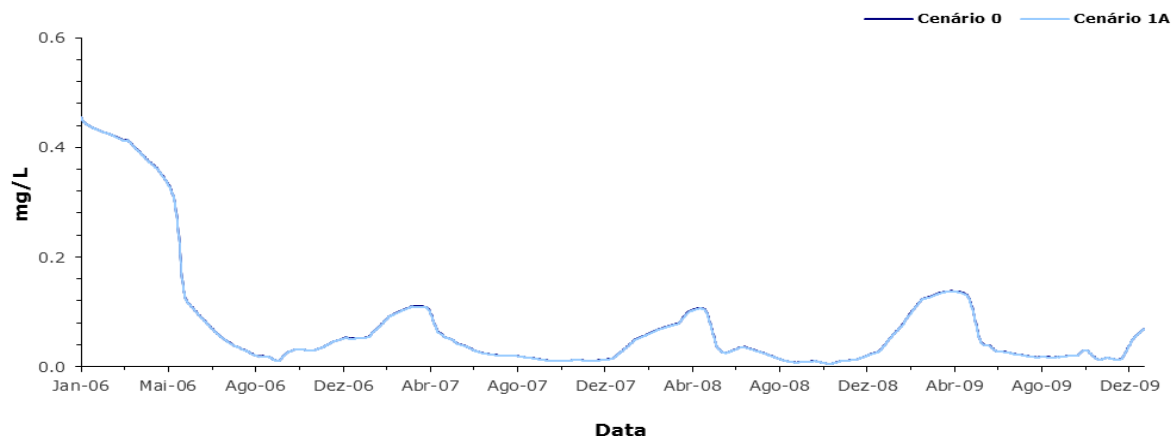


Figura 79. Variação média da concentração de $N-NO_x$ na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 1A

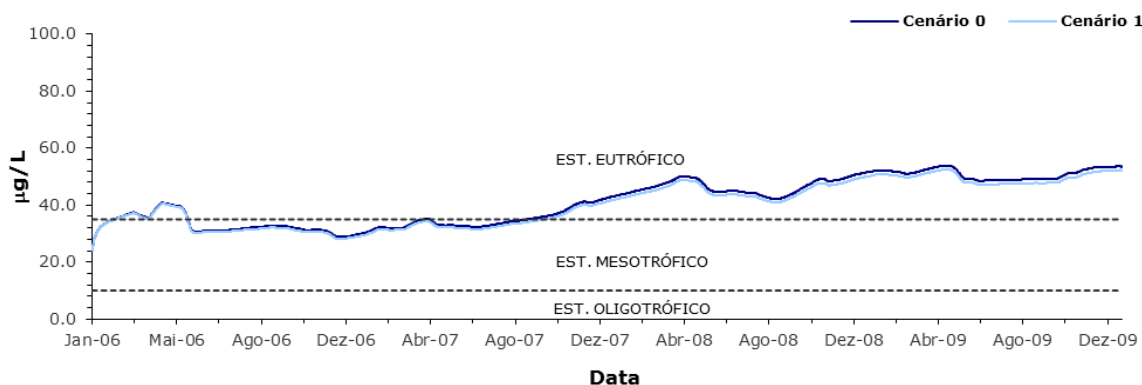


Figura 80. Variação média da concentração de $P-PO_4$ na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 1

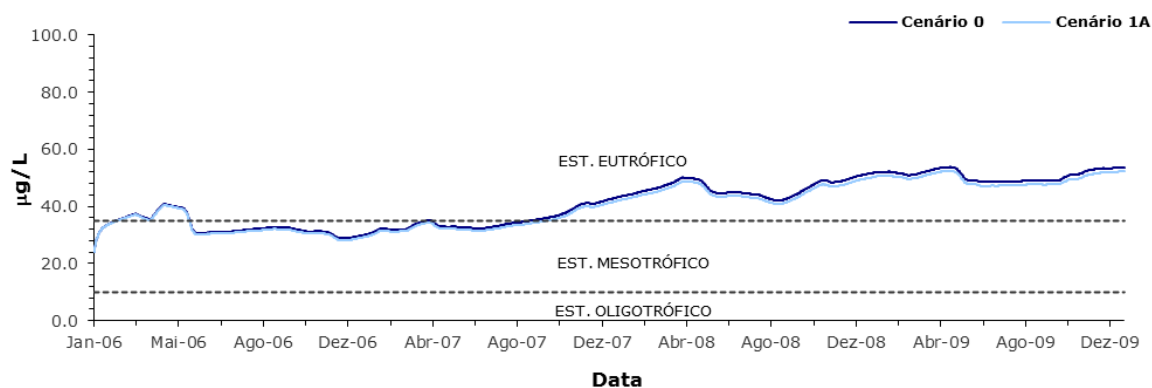


Figura 81. Variação média da concentração de $P-PO_4$ na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 1A

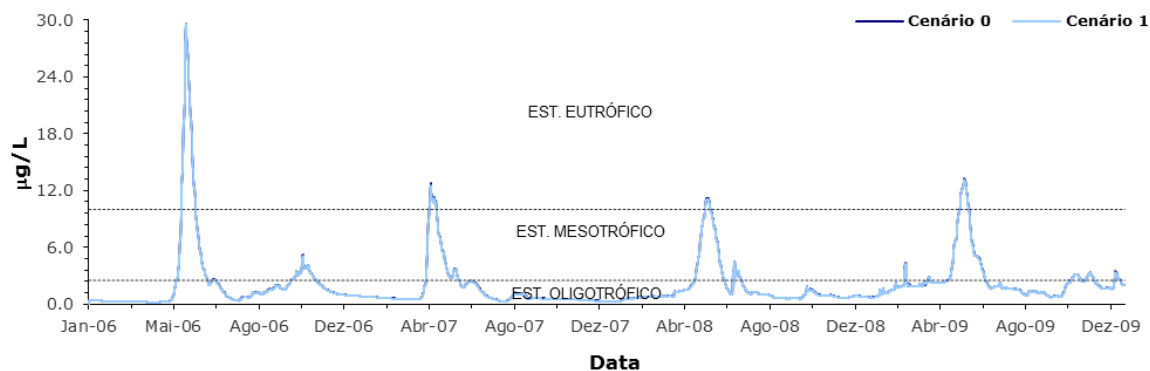


Figura 82. Série temporal da concentração de **Clorofila-a** na albufeira do Alto Rabagão à superfície – **Cenário 1**

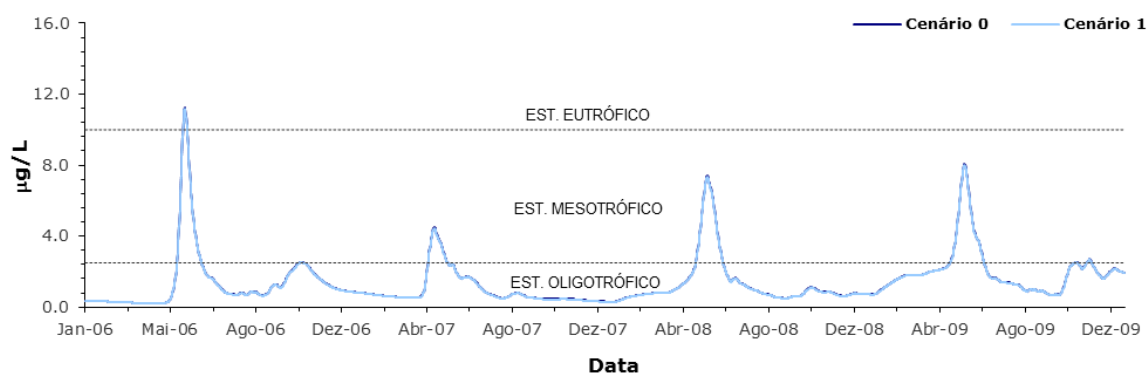


Figura 83. Variação média da concentração de **Clorofila-a** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 1**

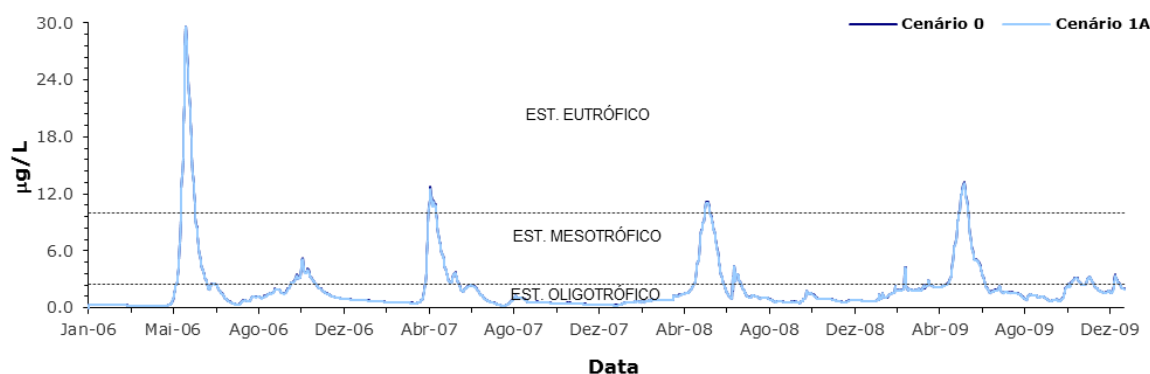


Figura 84. Série temporal da concentração de **Clorofila-a** na albufeira do Alto Rabagão à superfície – **Cenário 1A**

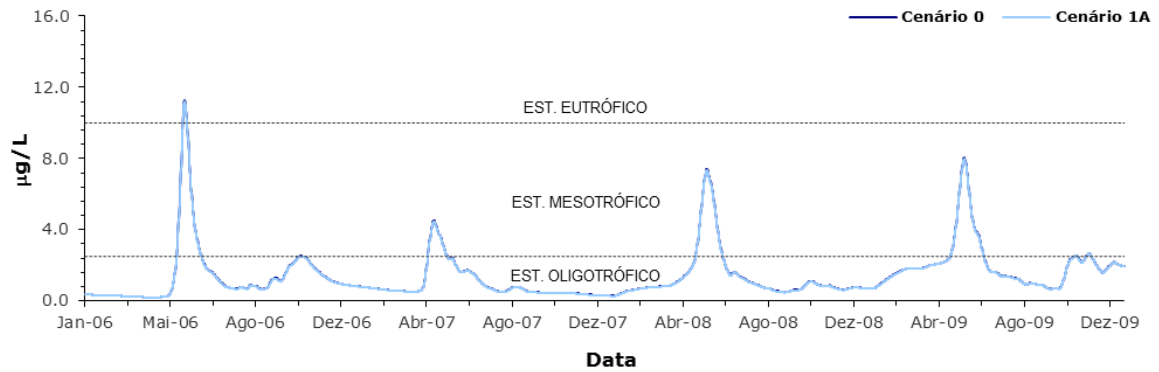


Figura 85. Variação média da concentração de **Clorofila-a** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 1A**

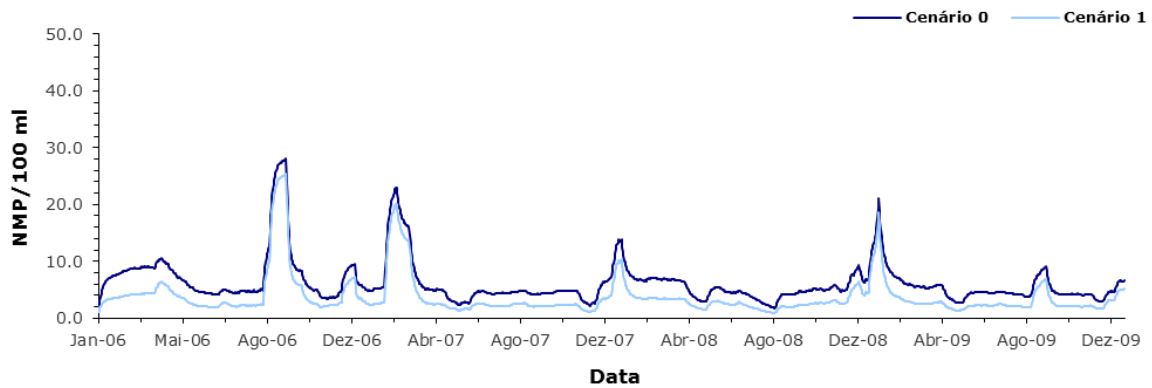


Figura 86. Variação média da concentração de **C. Totais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 1**

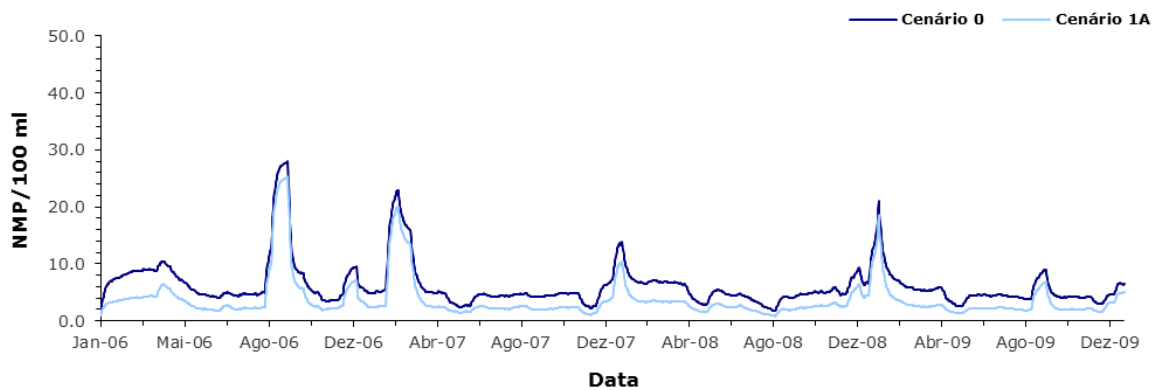


Figura 87. Variação média da concentração de **C. Totais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 1A**

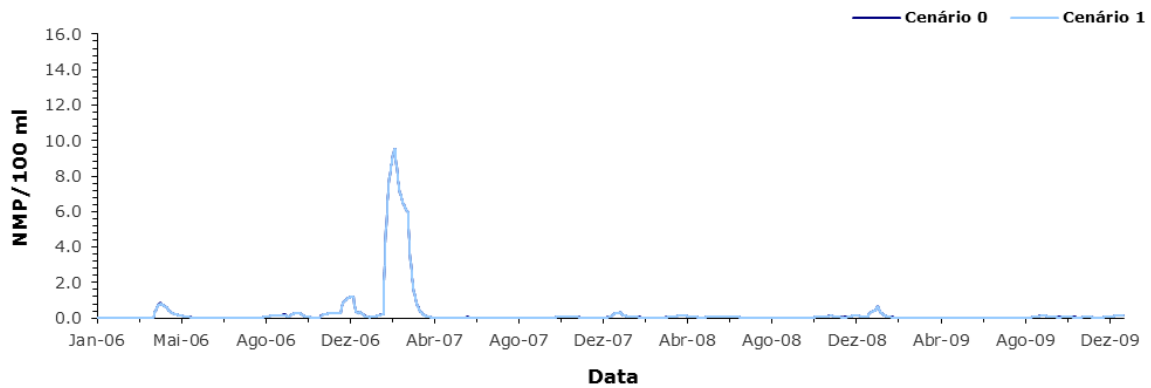


Figura 88. Variação média da concentração de **C. Fecais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 1**

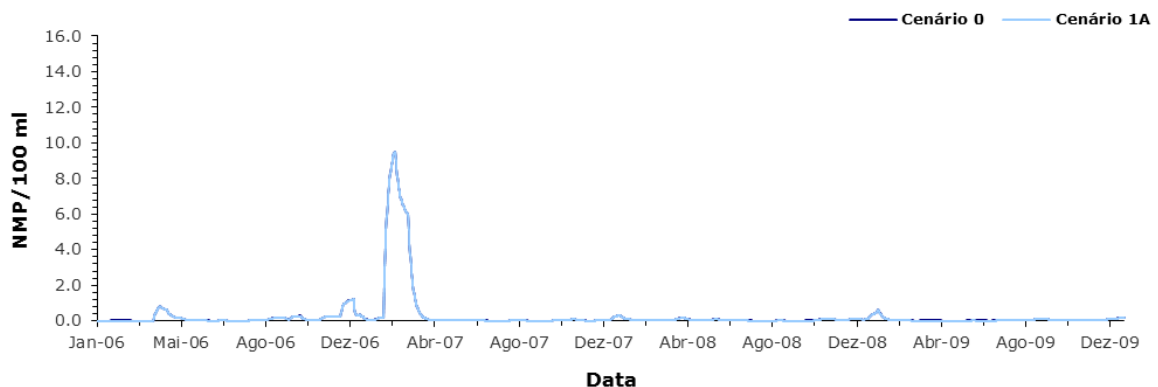


Figura 89. Variação média da concentração de **C. Fecais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 1A**

10.3 - Cenário 2/ Cenário 2A

De acordo com a análise das Figuras 90 e 91, a carga de CBO_5 gerada pelas edificações localizadas na área de intervenção do POAAR e na restante bacia hidrográfica da barragem do Alto Rabagão, cujas águas residuais não são tratadas na ETAR de Montalegre, tem uma reduzida contribuição para a carga total que aflui à albufeira. Deve referir-se que na definição do **Cenário 2A** se admitiu que o tratamento existente na ETAR de Montalegre passou de secundário a terciário.

A implementação do **Cenário 2A** determinou uma redução de cerca de 26% dos valores da concentração média de $P-PO_4$, em função do tratamento terciário considerado na definição deste cenário (Figuras 98 e 99). Esta redução, apesar de não ter influenciado os valores da concentração da clorofila-a (Figuras 99 a 102), determinou a diminuição dos valores da concentração de $P-PO_4$, permitindo melhorar o estado trófico da albufeira, nos anos de 2007, 2008 e 2009, que passaria a ser classificada como mesotrófica, relativamente a este parâmetro (Figura 99).

Os valores da concentração de coliformes totais na albufeira foram igualmente reduzidos em aproximadamente 75%, em ambos os cenários de simulação (2 e 2A), o que permite concluir que a

carga microbiológica gerada nos lugares localizados na área de intervenção do POAAR e na restante bacia hidrográfica drenante para a albufeira, tem uma influência significativa na qualidade da água da mesma (Figuras 104 e 105), no que a este parâmetro diz respeito.

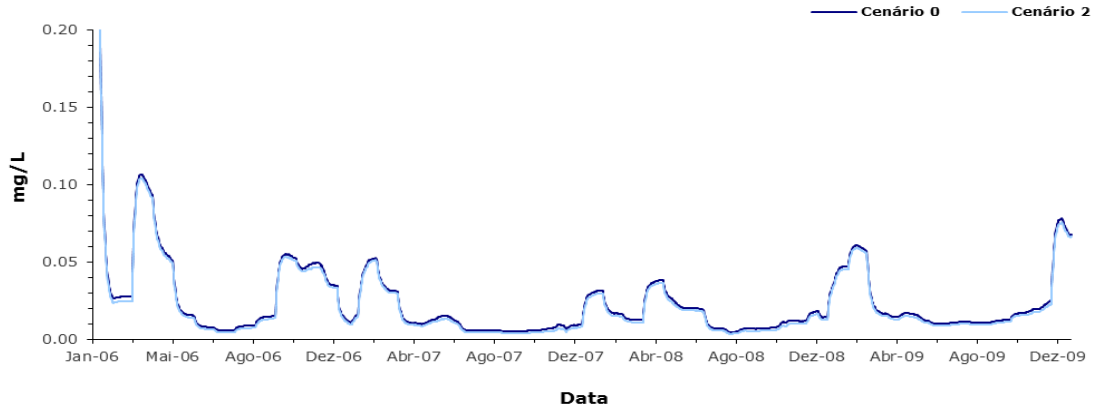


Figura 90. Variação média da concentração de CBO_5 na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 2

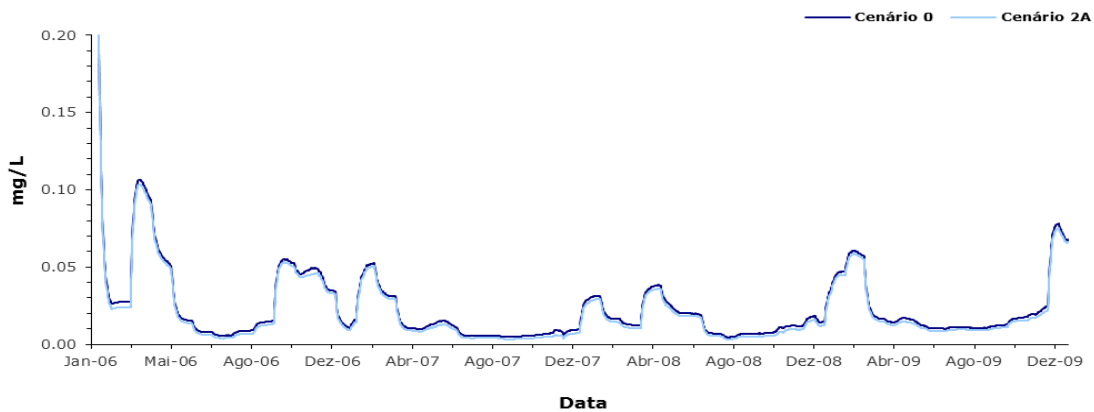


Figura 91. Variação média da concentração de CBO_5 na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 2A

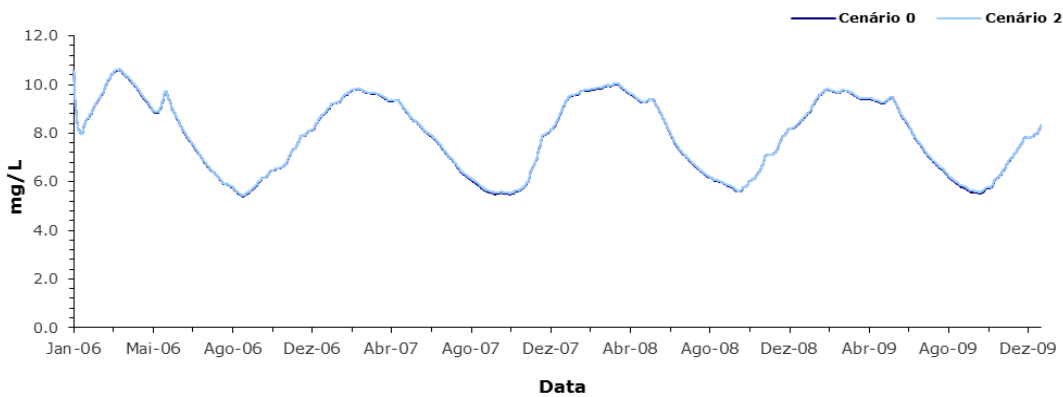


Figura 92. Variação média da concentração de OD na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 2

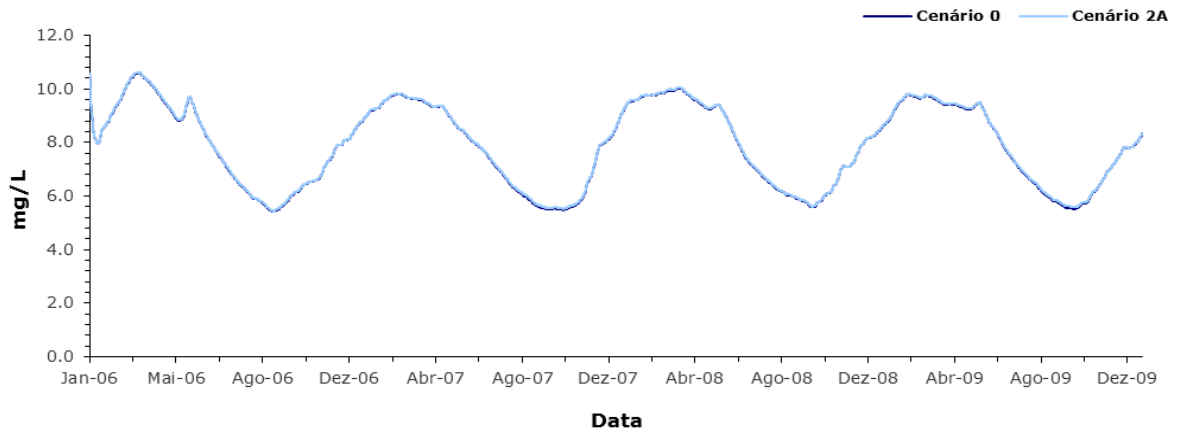


Figura 93. Variação média da concentração de OD na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 2A

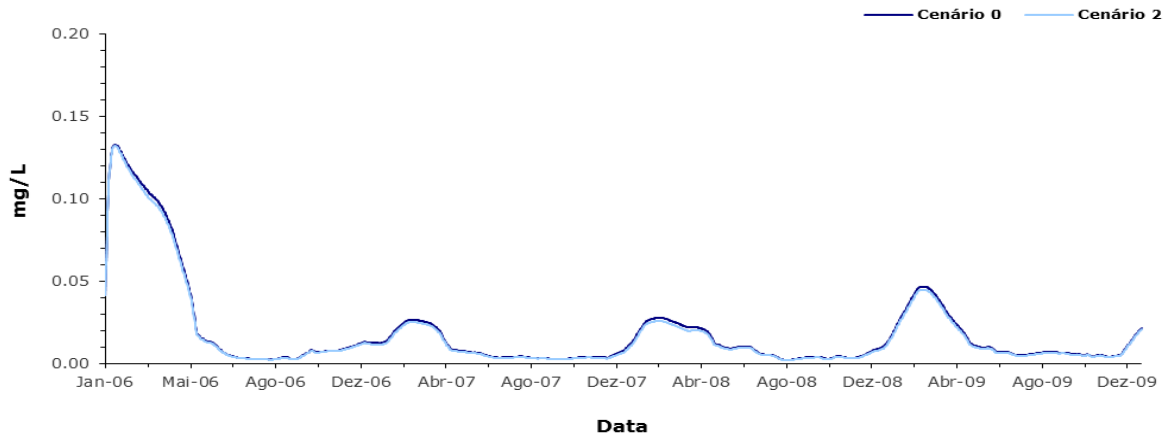


Figura 94. Variação média da concentração de NH_4 na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 2

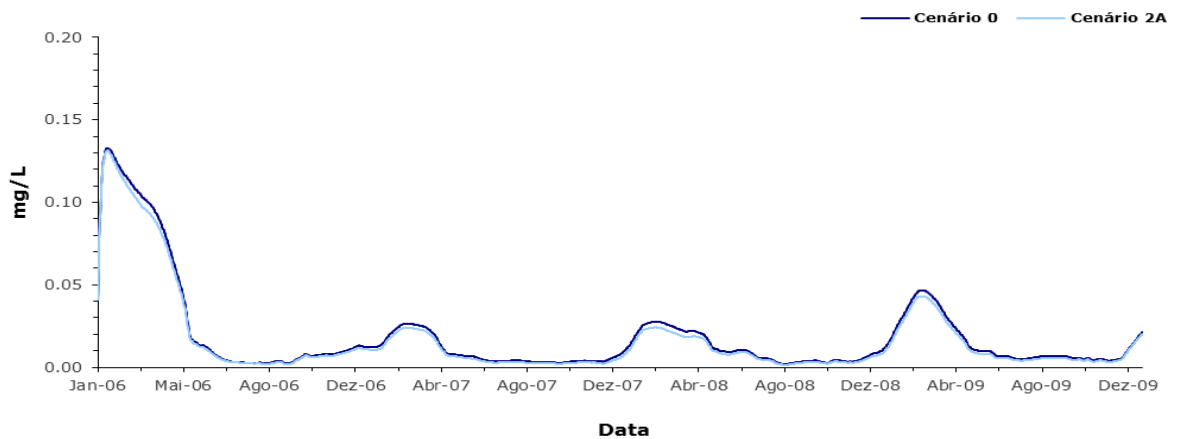


Figura 95. Variação média da concentração de NH_4 na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 2A

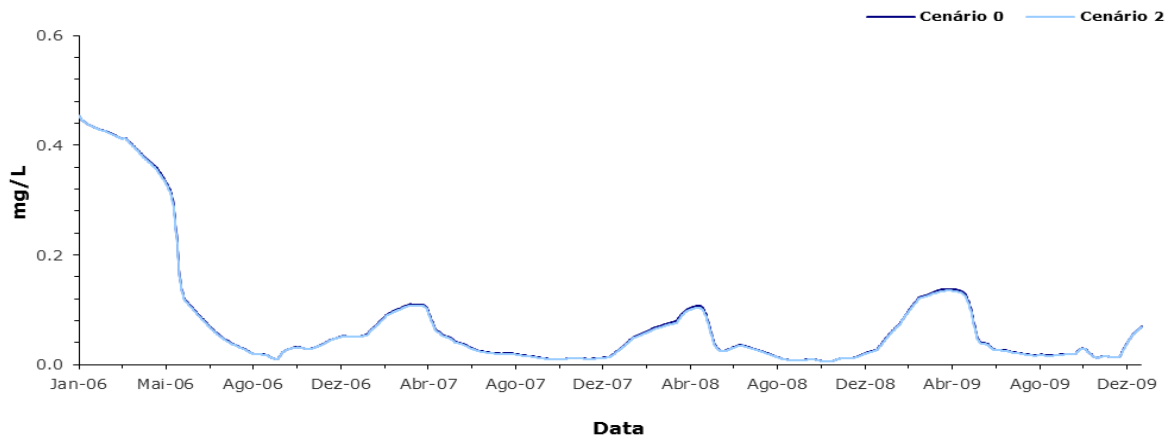


Figura 96. Variação média da concentração de $N-NO_x$ na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 2

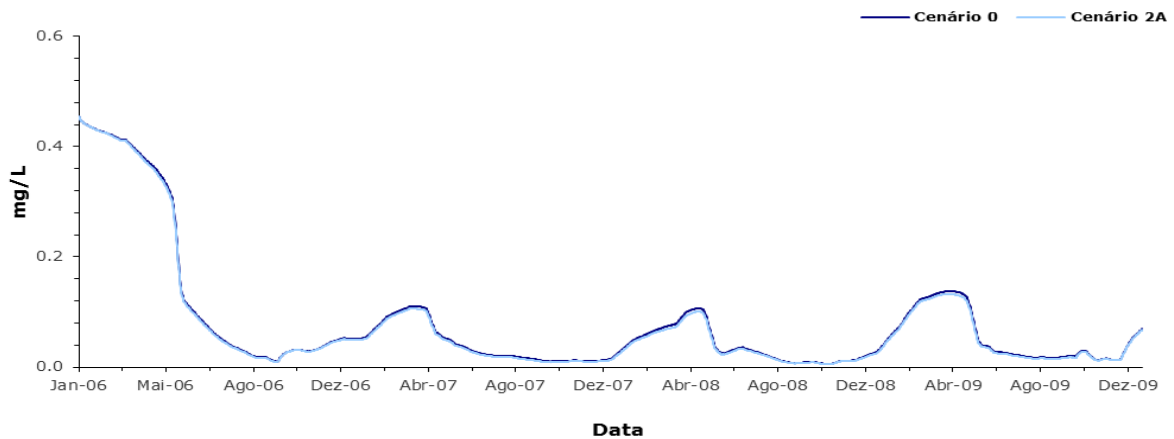


Figura 97. Variação média da concentração de $N-NO_x$ na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 2A

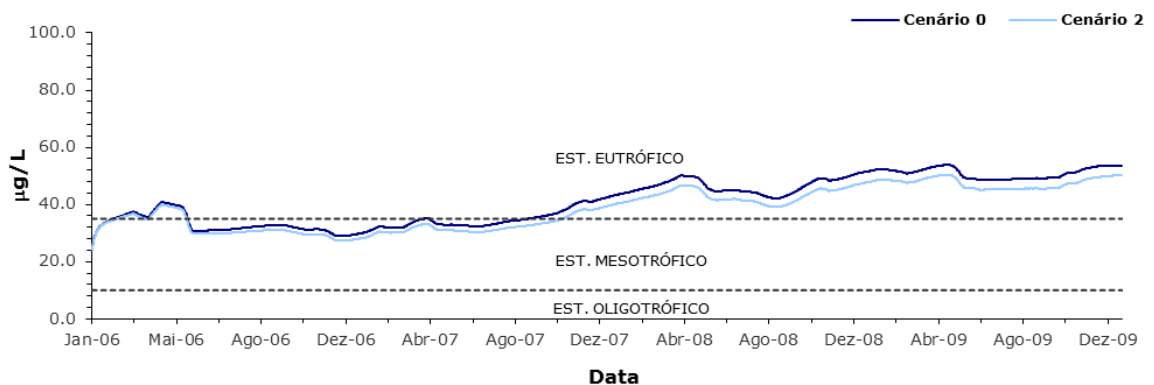


Figura 98. Variação média da concentração de $P-PO_4$ na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 2

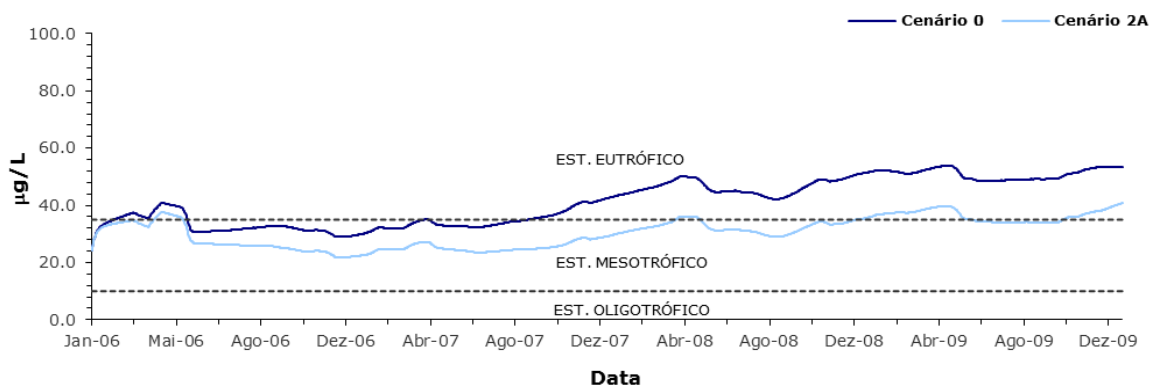


Figura 99. Variação média da concentração de $P-PO_4$ na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 2A

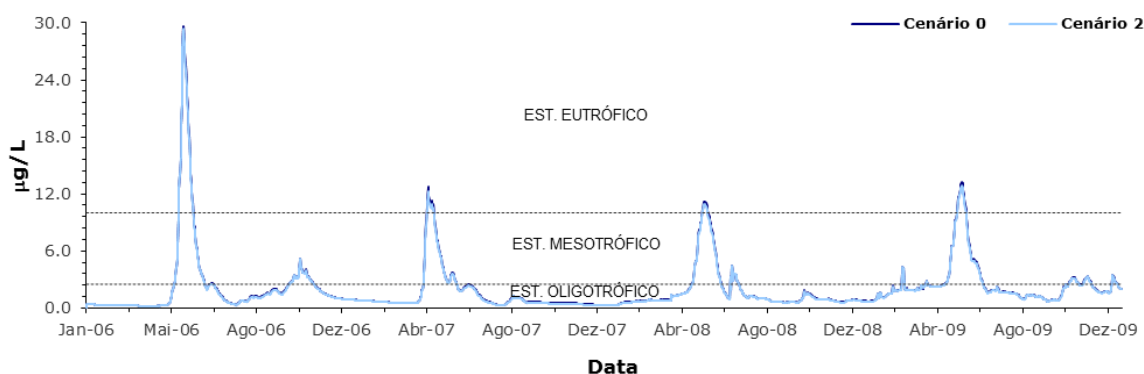


Figura 100. Série temporal de Clorofila-a na albufeira do Alto Rabagão à superfície – Cenário 2

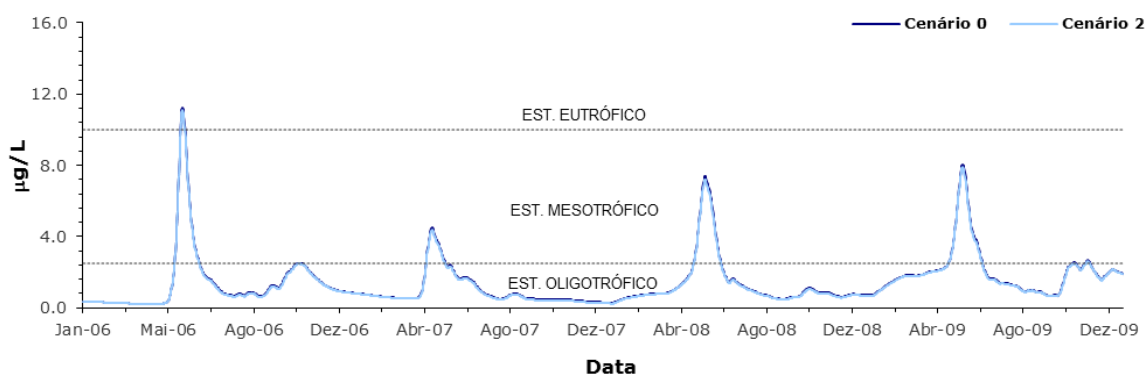


Figura 101. Variação média da concentração de Clorofila-a na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 2

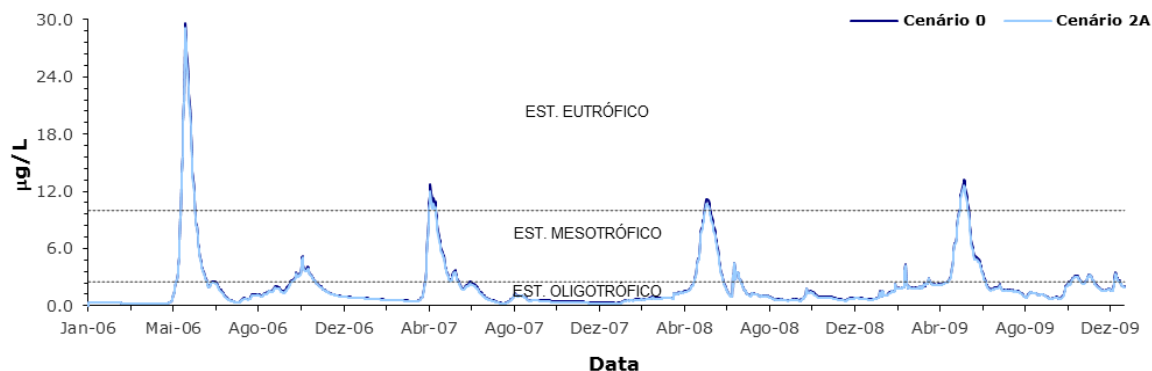


Figura 102. Série temporal da concentração de **Clorofila-a** na albufeira do Alto Rabagão à superfície – **Cenário 2A**

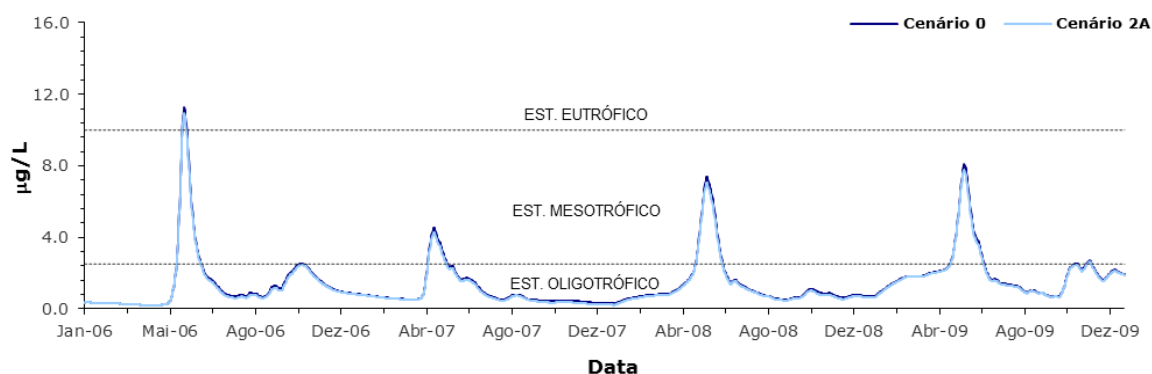


Figura 103. Variação média da concentração de **Clorofila-a** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 2A**

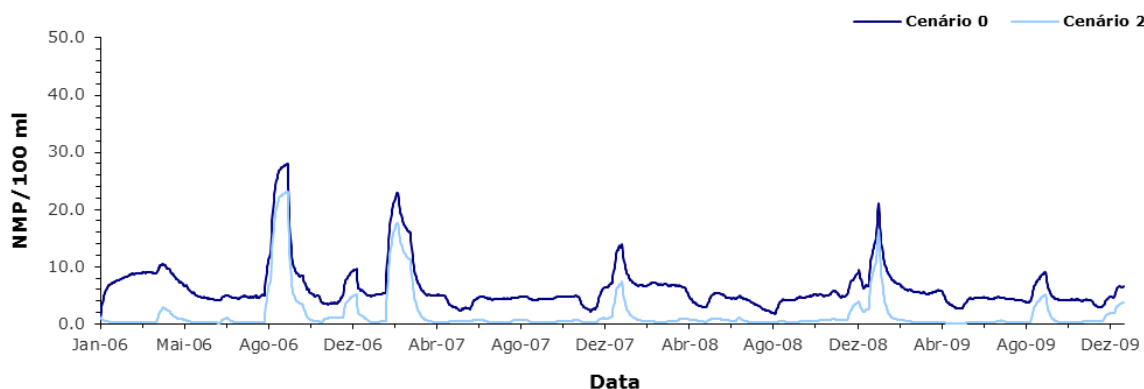


Figura 104. Variação média da concentração de **Colif. Totais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 2**

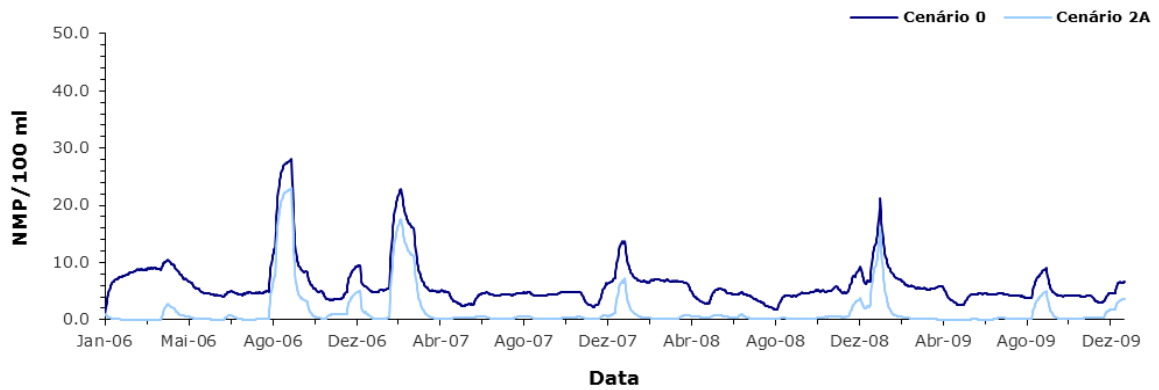


Figura 105. Variação média da concentração de **Colif. Totais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 2A**

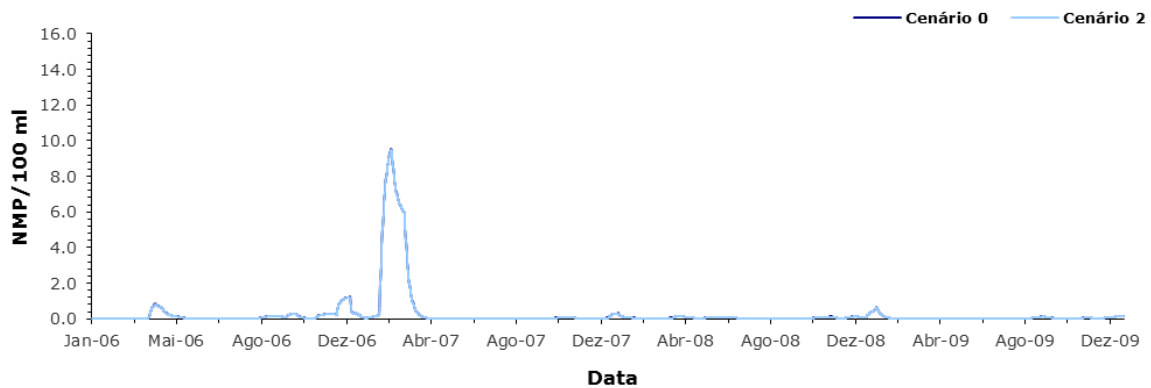


Figura 106. Variação média da concentração de **Colif. Fecais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 2**

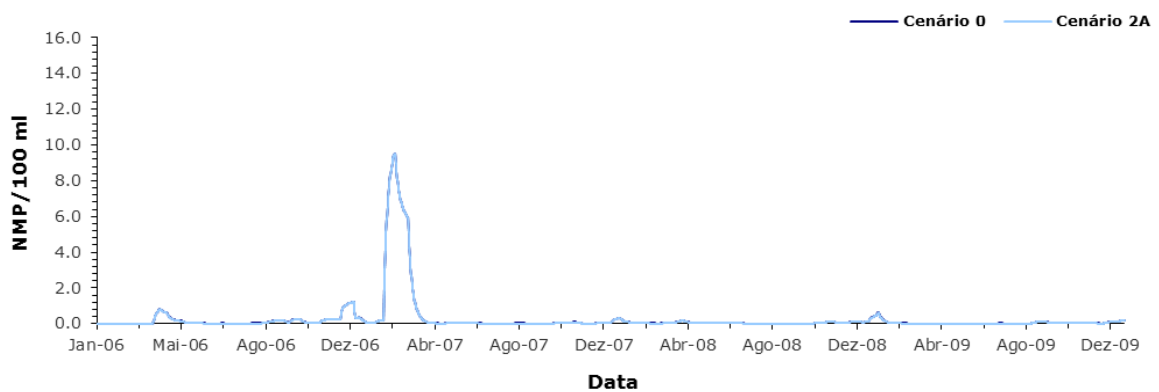


Figura 107. Variação média da concentração de **Colif. Fecais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 2A**

10.4 - Cenário 3

A simulação do **Cenário 3** permitiu concluir, como seria expectável em função da sua dimensão, que a construção e exploração do empreendimento turístico previsto no POAAR, não terá um efeito minimamente relevante na qualidade da água da albufeira (Figuras 108 a 116).

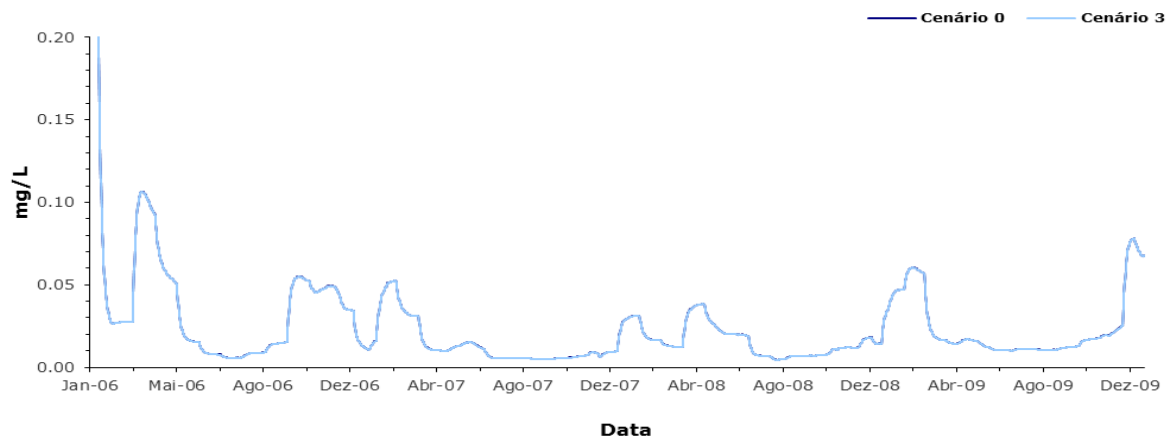


Figura 108. Variação média da concentração de CBO_5 na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 3**

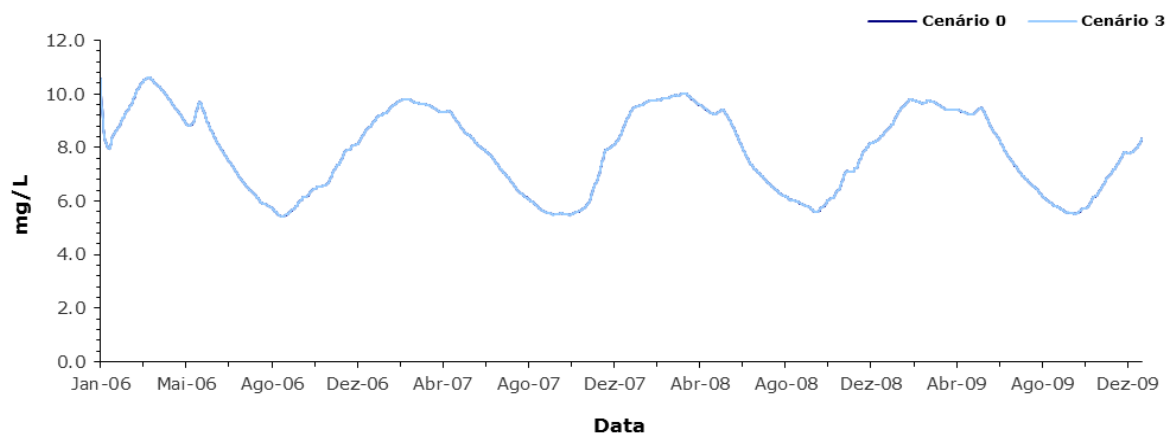


Figura 109. Variação média da concentração de OD na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 3**

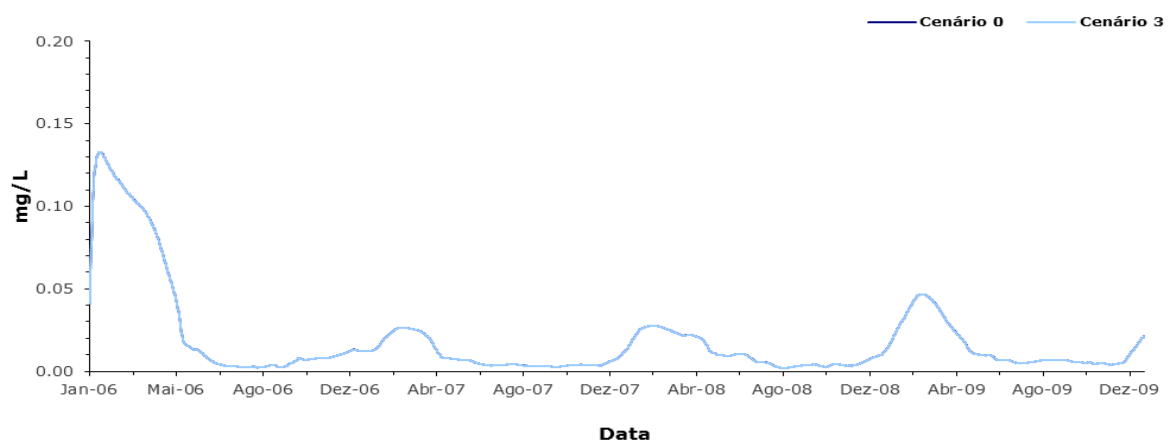


Figura 110. Variação média da concentração de NH_4 na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 3**

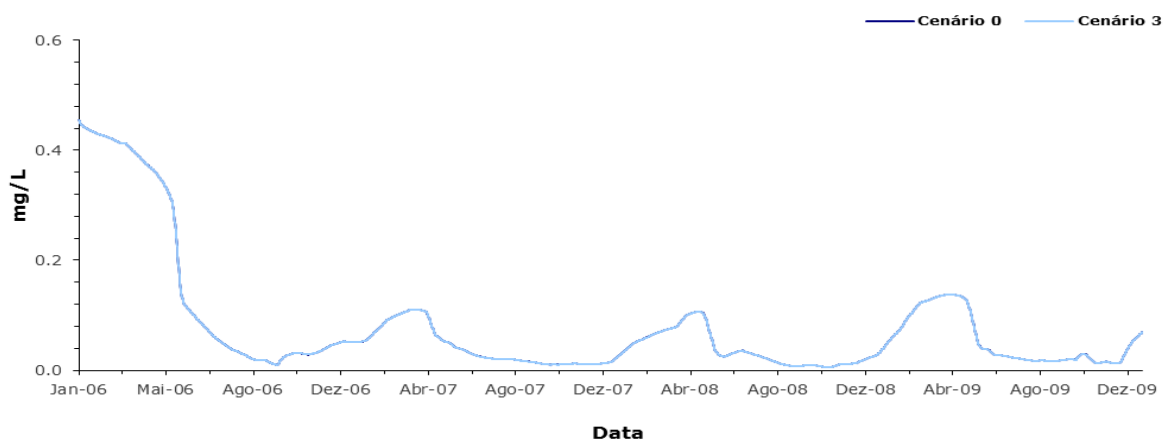


Figura 111. Variação média da concentração de $N-NO_x$ na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 3

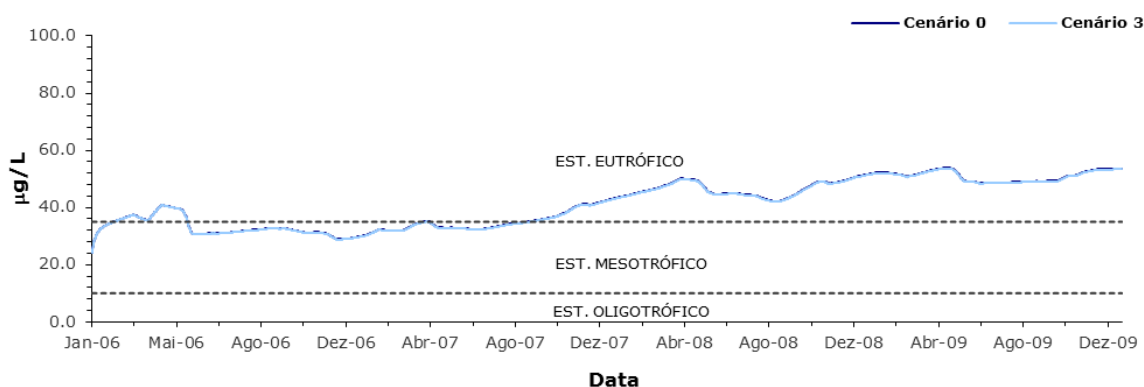


Figura 112. Variação média da concentração de $P-PO_4$ na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 3

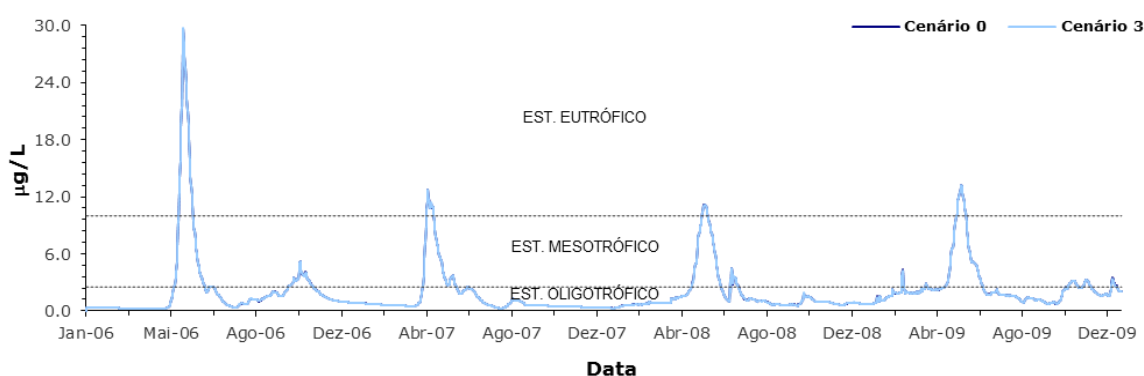


Figura 113. Série temporal da concentração de Clorofila-a na albufeira do Alto Rabagão à superfície – Cenário 3

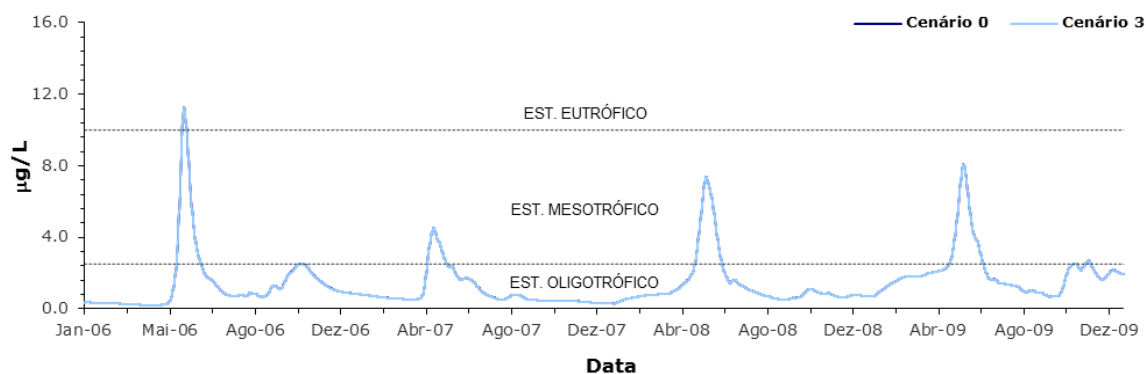


Figura 114. Variação média da concentração de **Clorofila-a** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 3**

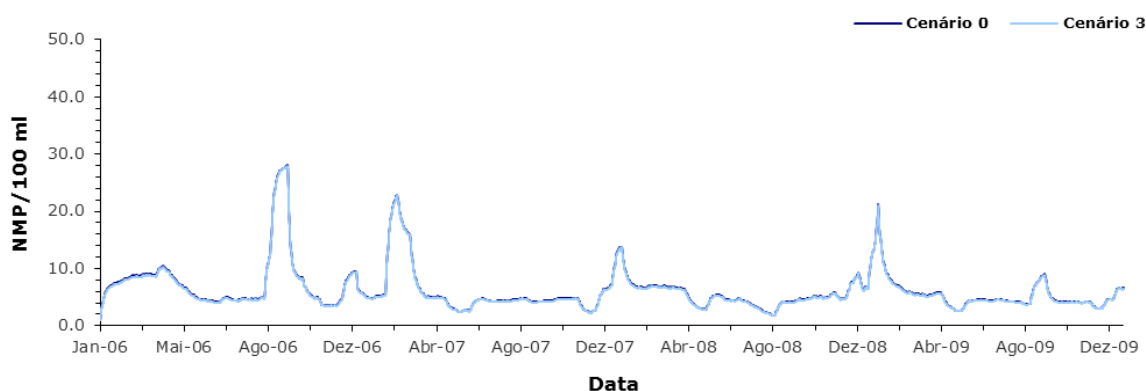


Figura 115. Variação média da concentração de **Colif. Totais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 3**

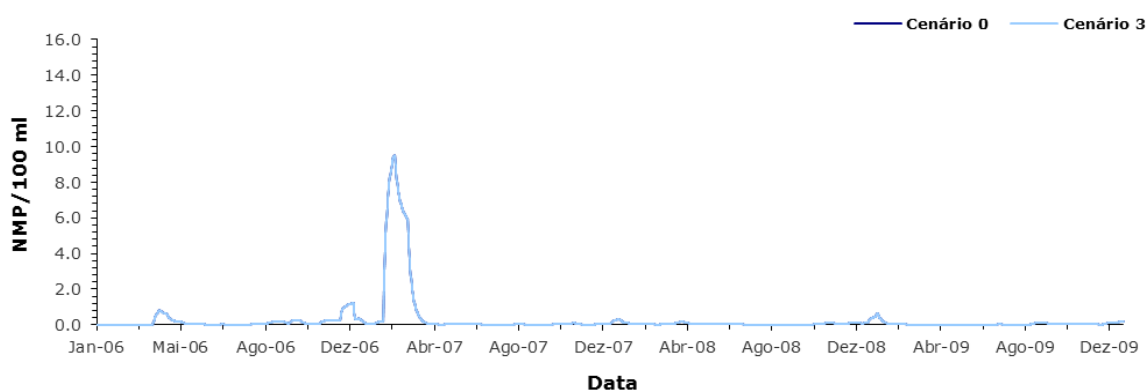


Figura 116. Variação média da concentração de **Colif. Fecais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 3**

10.5 - Cenário 4

A definição do **Cenário 4** revelou o efeito na qualidade da água da albufeira do Alto Rabagão resultante da carga poluente gerada pelas edificações localizadas na bacia hidrográfica do Alto

Rabagão, cujas águas residuais não são tratadas. Os resultados obtidos com este cenário de simulação são bastante semelhantes aos que foram obtidos para o cenário 2.

De acordo com a análise da Figura 117 a carga da CBO_5 gerada pelas edificações localizadas na área de intervenção do POAAR e na restante bacia hidrográfica da barragem do Alto Rabagão, cujas águas residuais não são tratadas na ETAR de Montalegre, têm uma reduzida contribuição para a carga total que aflui à albufeira.

A implementação do **Cenário 4** determinou uma redução de aproximadamente 14% dos valores da concentração média de $P-PO_4$ (Figura 121). Os valores da concentração de coliformes totais na albufeira foram igualmente reduzidos em aproximadamente 75%, o que permite concluir que a carga microbiológica gerada pelos lugares localizados na área de intervenção do POAAR e na restante bacia hidrográfica drenante para a albufeira tem uma influência significativa na qualidade da água da mesma, no que a este parâmetro diz respeito (Figura 124).

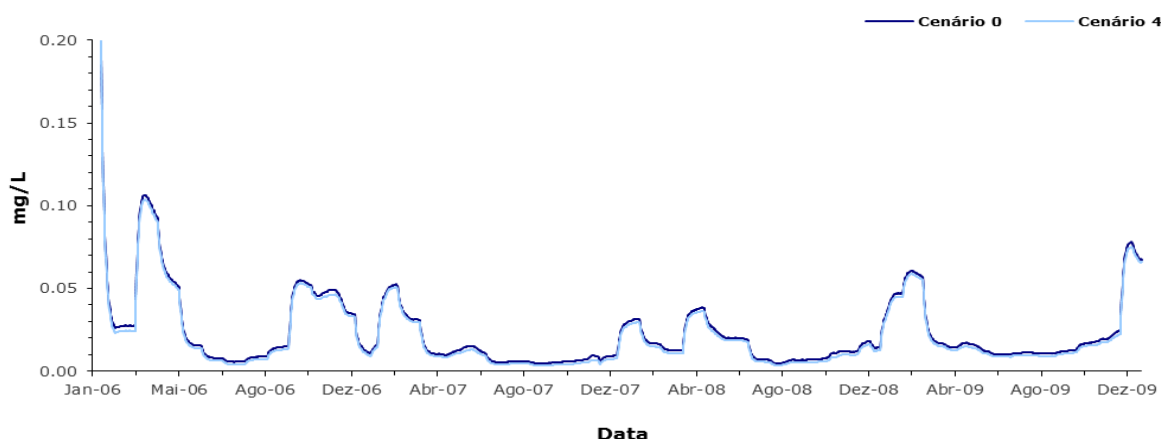


Figura 117. Variação média da concentração de CBO_5 na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 4**

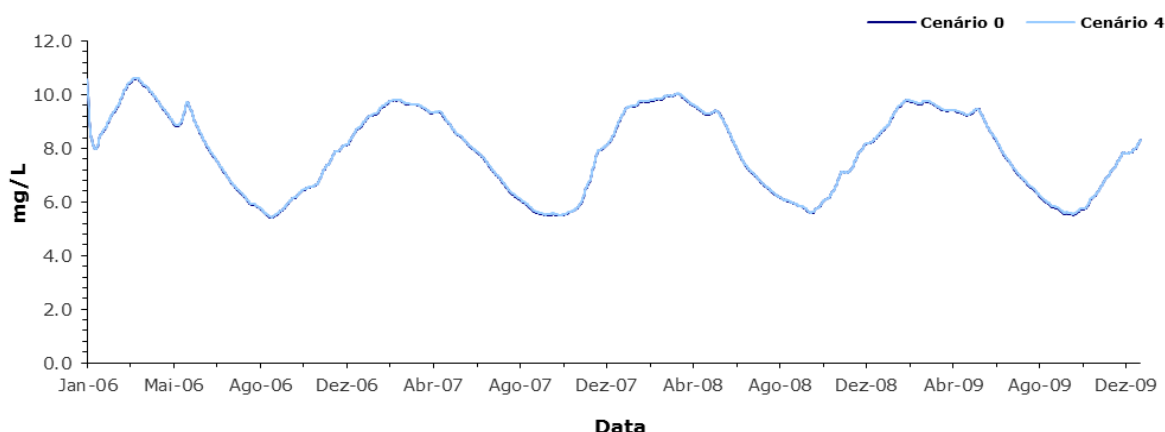


Figura 118. Variação média da concentração de **OD** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 4**

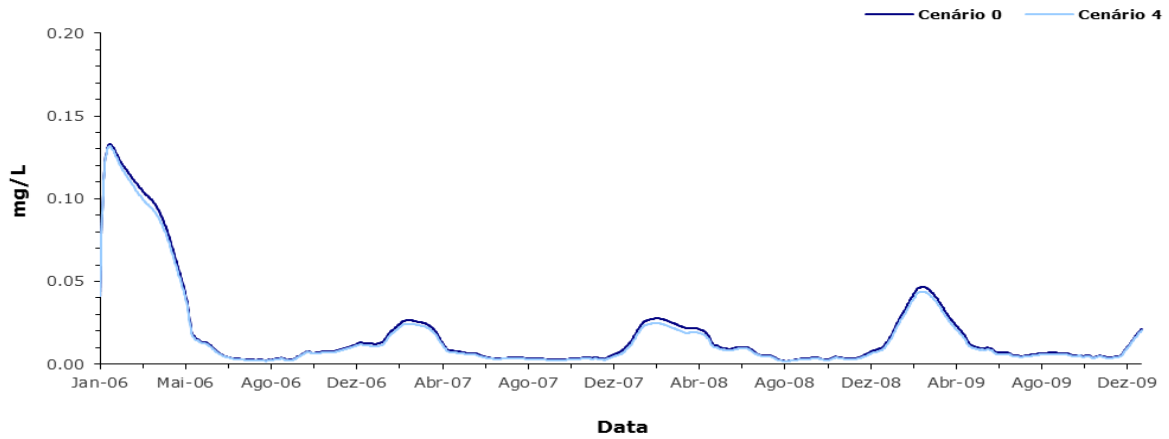


Figura 119. Variação média da concentração de NH_4 na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 4

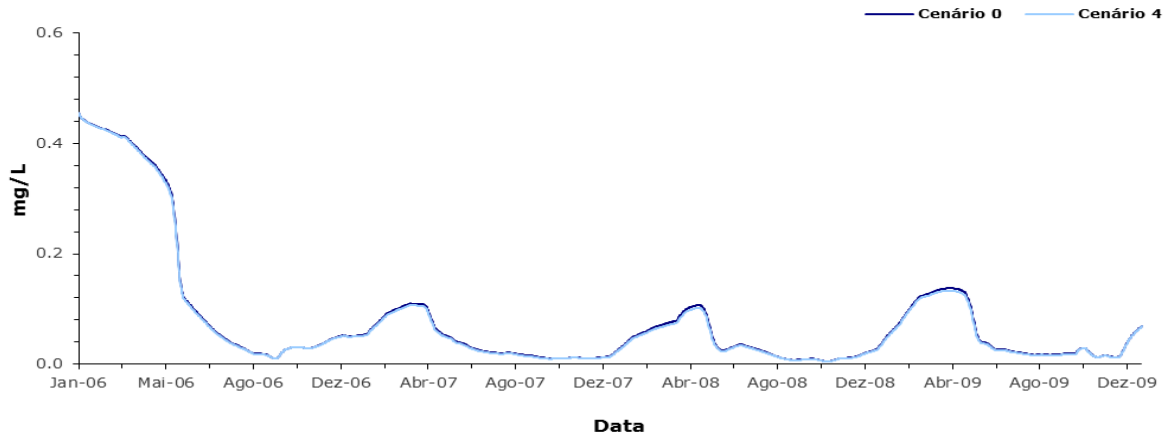


Figura 120. Variação média da concentração de N-NO_x na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 4

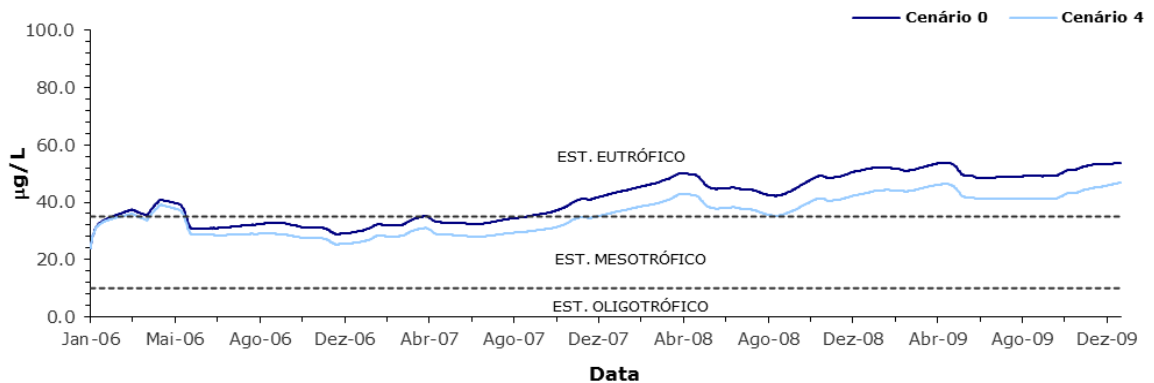


Figura 121. Variação média da concentração de P-PO_4 na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 4

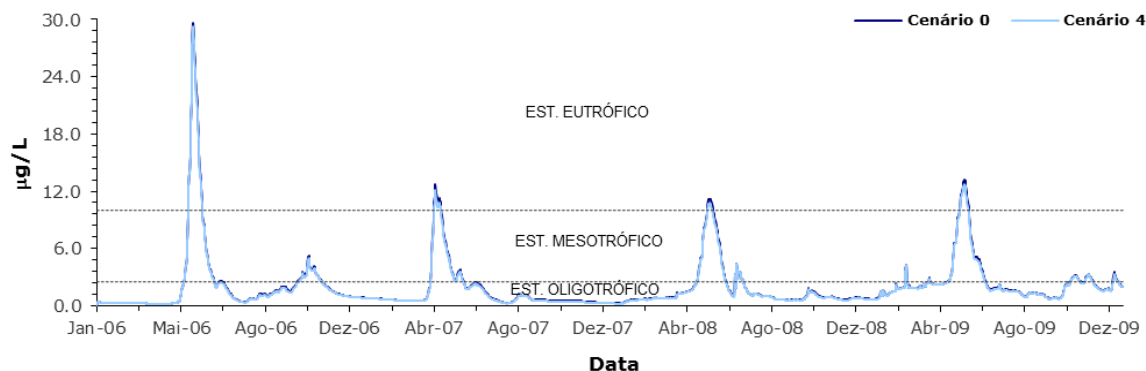


Figura 122. Série temporal da concentração de **Clorofila-a** na albufeira do Alto Rabagão à superfície – **Cenário 4**

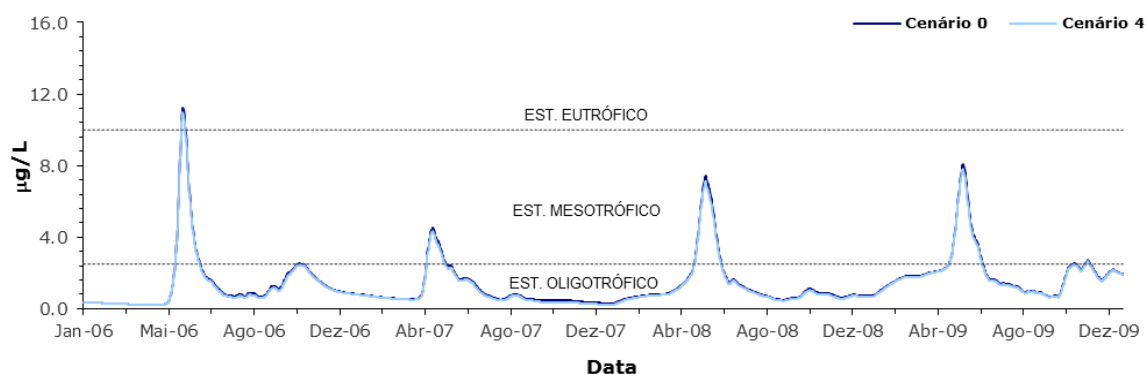


Figura 123. Variação média da concentração de **Clorofila-a** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 4**

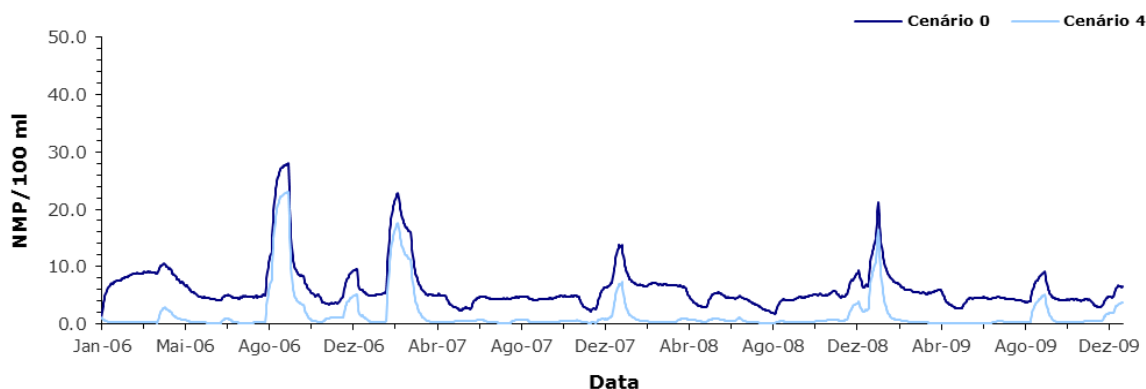


Figura 124. Variação média da concentração de **Colif. Totais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 4**

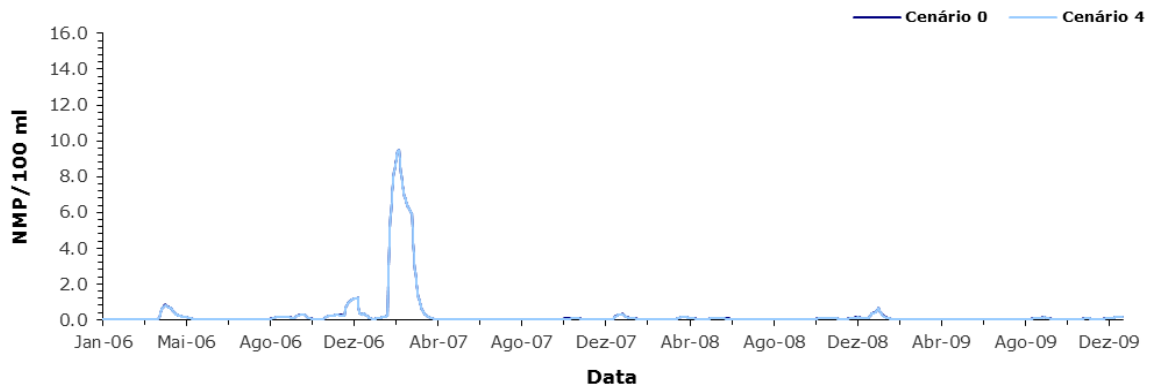


Figura 125. Variação média da concentração de **Colif. Fecais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 4**

10.6 - Cenário 5

A consideração deste cenário permite verificar que o efeito na qualidade da água, resultante das potenciais descargas associadas à ETAR de Montalegre, não é significativo na qualidade da água da albufeira do Alto Rabagão (Figuras 126 a 134). A única exceção corresponde aos valores da concentração de $P-PO_4$, que em média foram reduzidos em aproximadamente 12.31%. Deve referir-se que a carga poluente que foi incluída no modelo foi estimada, de acordo com o pressuposto que suportou a definição deste cenário, que o tratamento secundário das águas residuais existente actualmente na ETAR tem uma eficiência de remoção de poluentes igual à que foi adoptada com base nos elementos contidos nas referências bibliográficas consultadas.

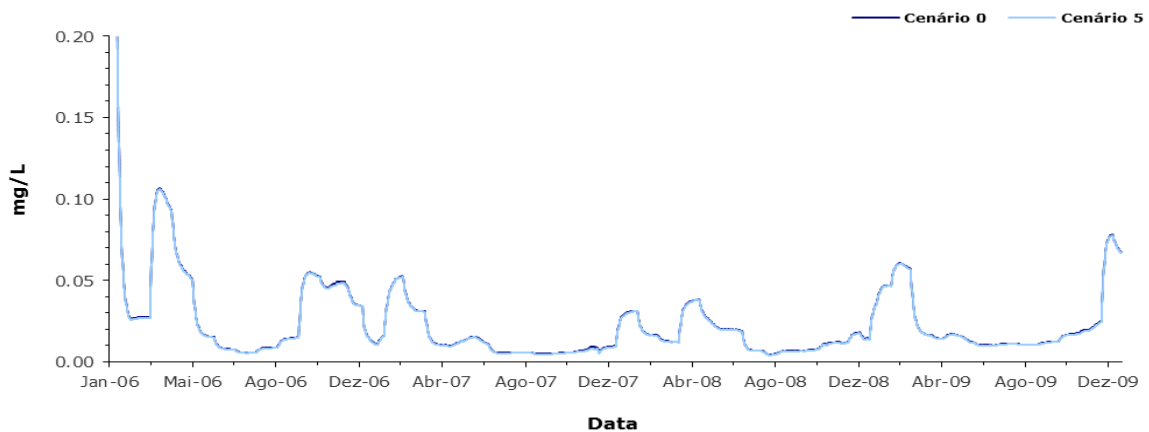


Figura 126. Variação média da concentração de **CBO₅** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 5**

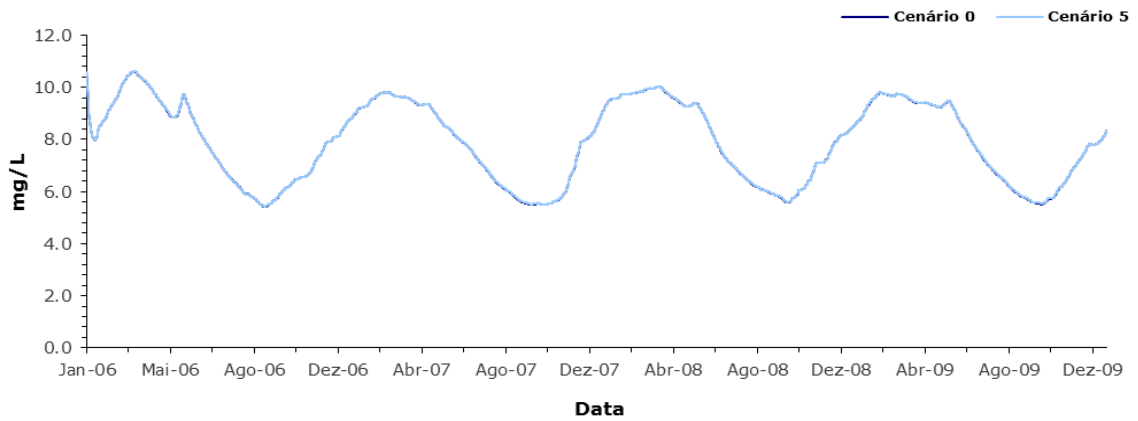


Figura 127. Variação média da concentração de OD na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 5

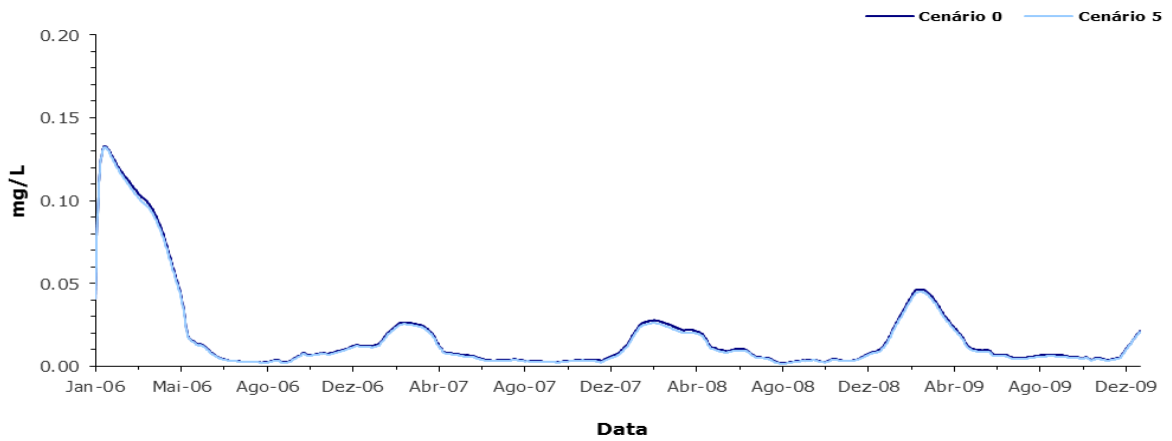


Figura 128. Variação média da concentração de NH_4 na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 5

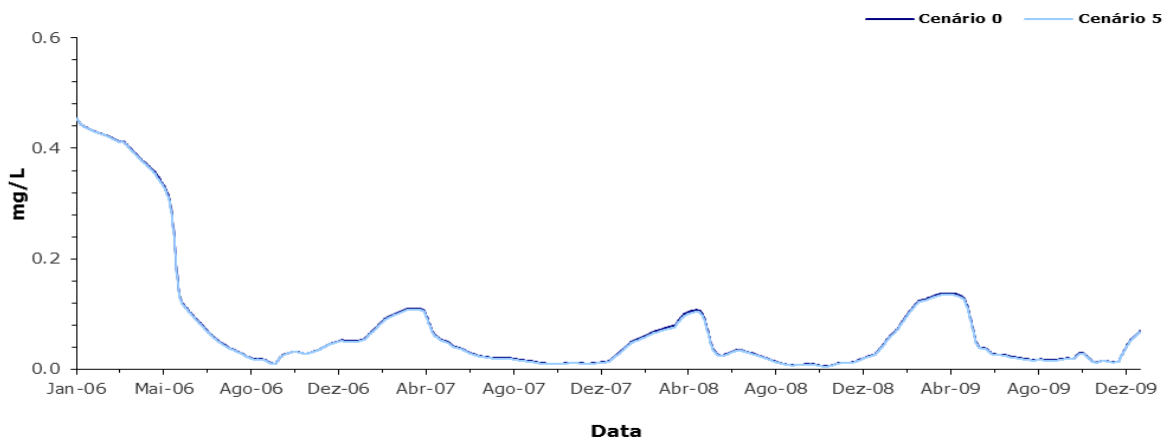


Figura 129. Variação média da concentração de N-NO_x na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 5

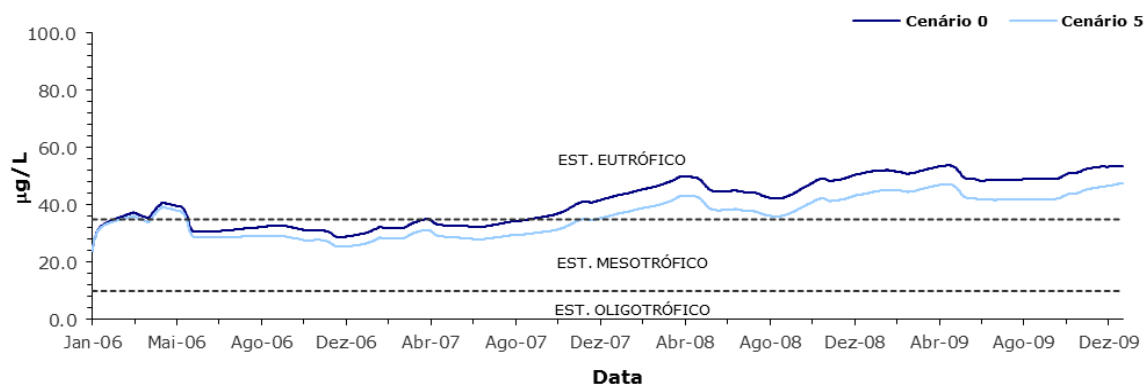


Figura 130. Variação média da concentração de $P-PO_4$ na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 5

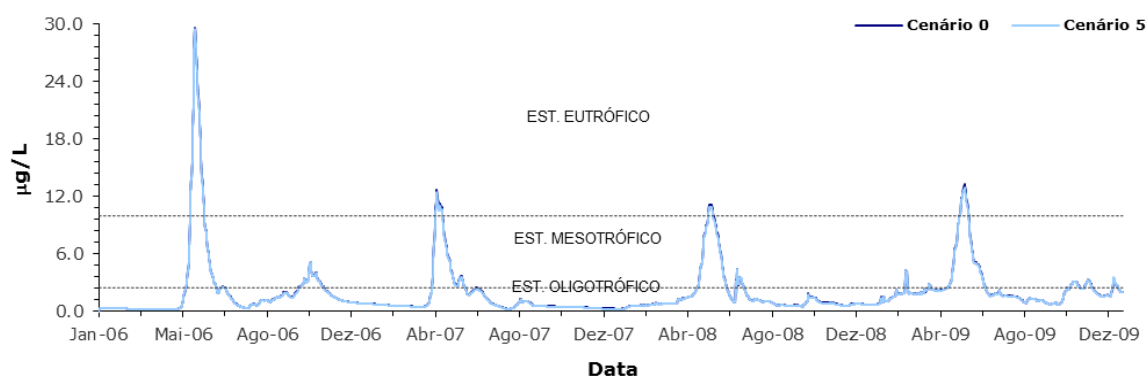


Figura 131. Série temporal da concentração de Clorofila-a na albufeira do Alto Rabagão à superfície – Cenário 5

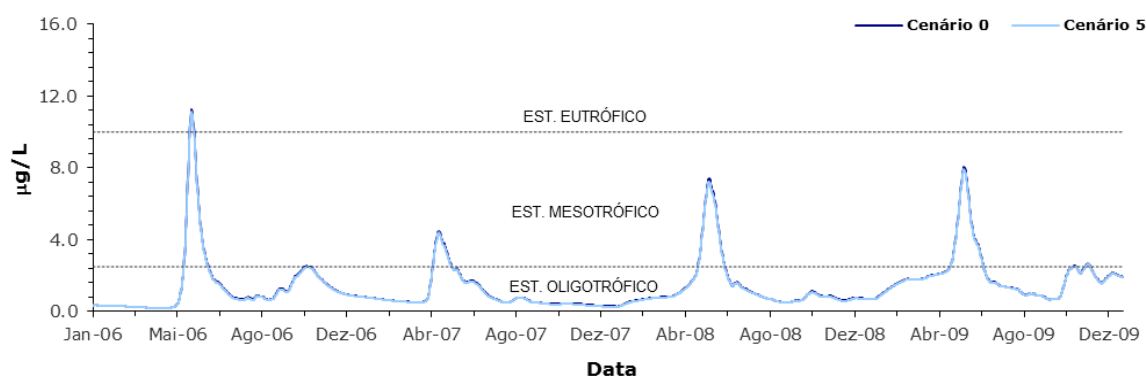


Figura 132. Variação média da concentração de Clorofila-a na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 5

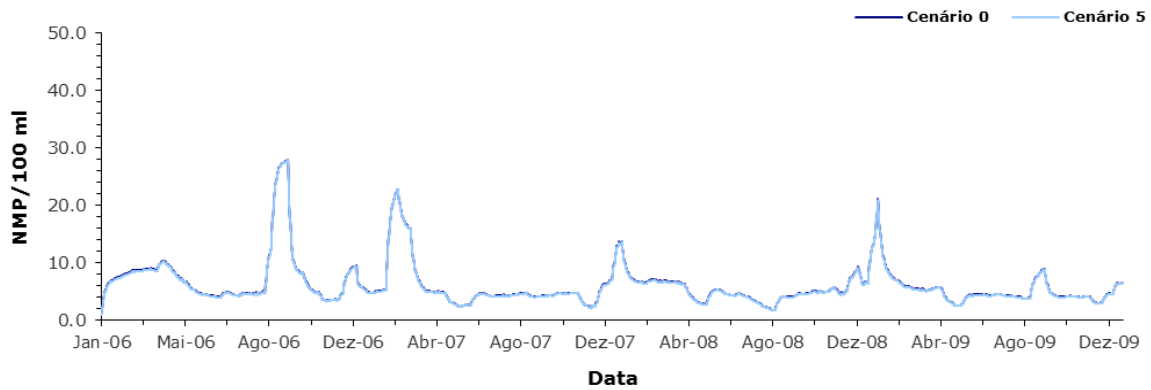


Figura 133. Variação média da concentração de **Colif. Totais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 5**

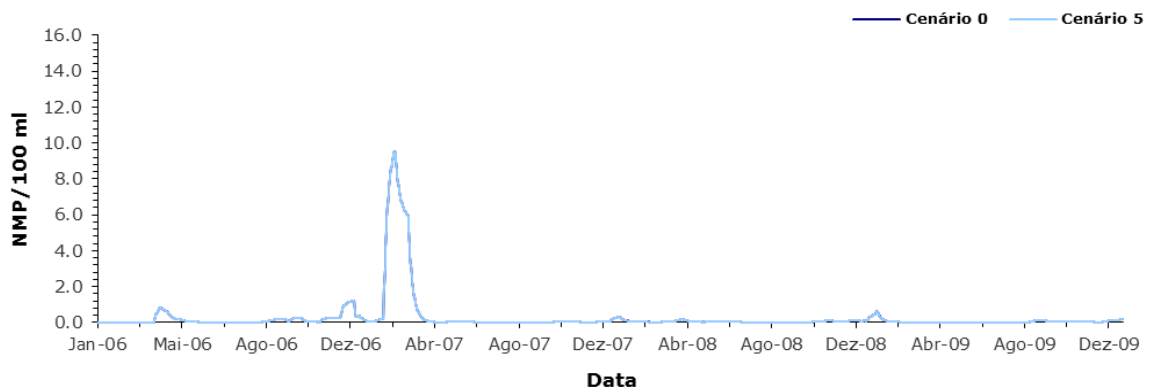


Figura 134. Variação média da concentração de **Colif. Fecais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 5**

10.7 - Cenário 6

A definição do **Cenário 6** permitiu avaliar o potencial efeito que a aquacultura existente na albufeira do Alto Rabagão tem sobre a qualidade da água da mesma (Figuras 135 a 143). Deve referir-se que toda a análise é suportada por valores de capitação recolhidos com base em referências bibliográficas, e não em dados resultantes de amostras recolhidas na albufeira.

Considerando as cargas de CBO_5 , NH_4 e de P-PO_4 , geradas pela aquacultura, a simulação do cenário 6 determinou uma redução de, 12%, 27% e 18%, respectivamente, no que se refere à concentração de cada um dos parâmetros atrás referidos (Figuras 135, 137 e 139). Este cenário, apesar de apenas ter determinado uma redução média de aproximadamente 9% dos valores da concentração da clorofila-a (Figuras 140 e 141), conduziu à diminuição dos valores da concentração de P-PO_4 , de acordo com o atrás referido, melhorando o estado trófico da albufeira, nos anos de 2007, 2008 e 2009, que passaria a ser classificada como mesotrófica, relativamente a este parâmetro e para estes anos (Figura 139). No que se refere ao OD, verificou-se que a consideração deste cenário não determinou alterações sensíveis nos teores deste parâmetro (Figura 136).

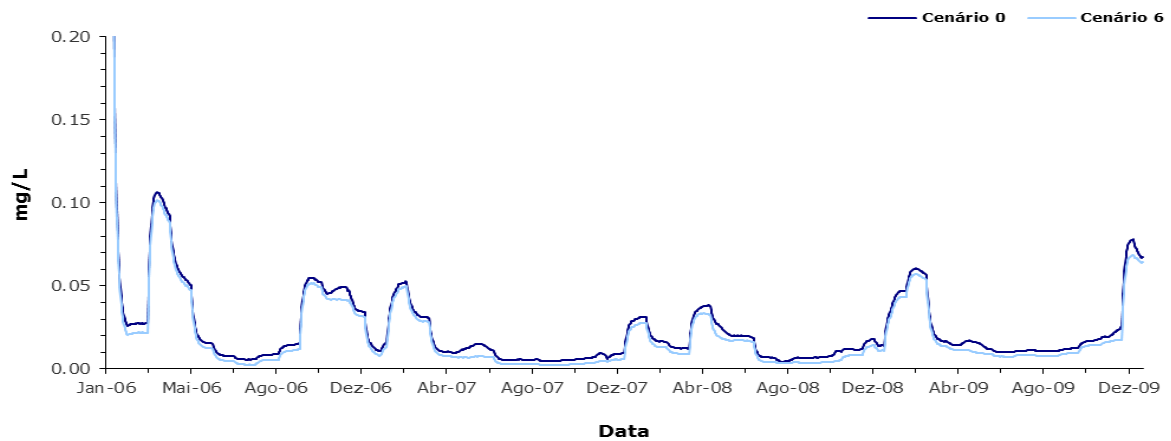


Figura 135. Variação média da concentração de CBO_5 na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 6

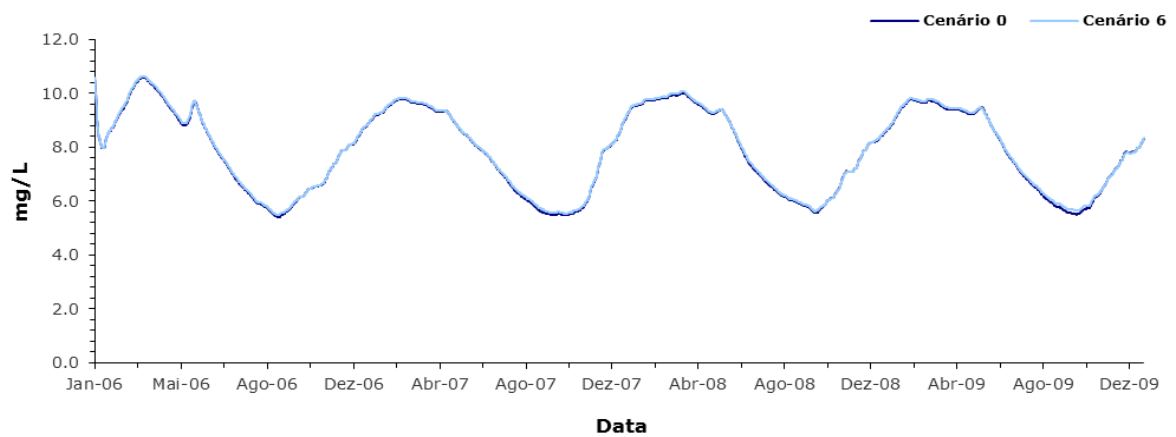


Figura 136. Variação média da concentração de OD na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 6

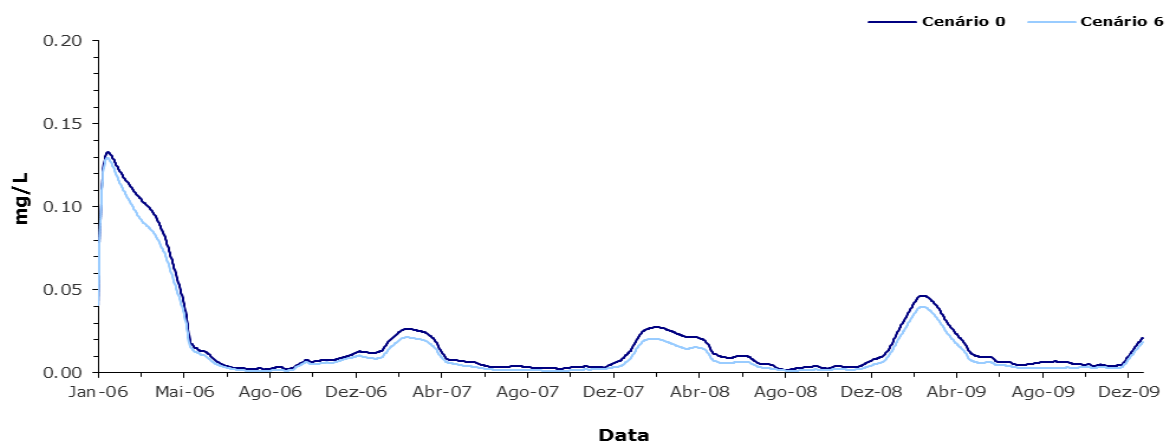


Figura 137. Variação média da concentração de NH_4 na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 6

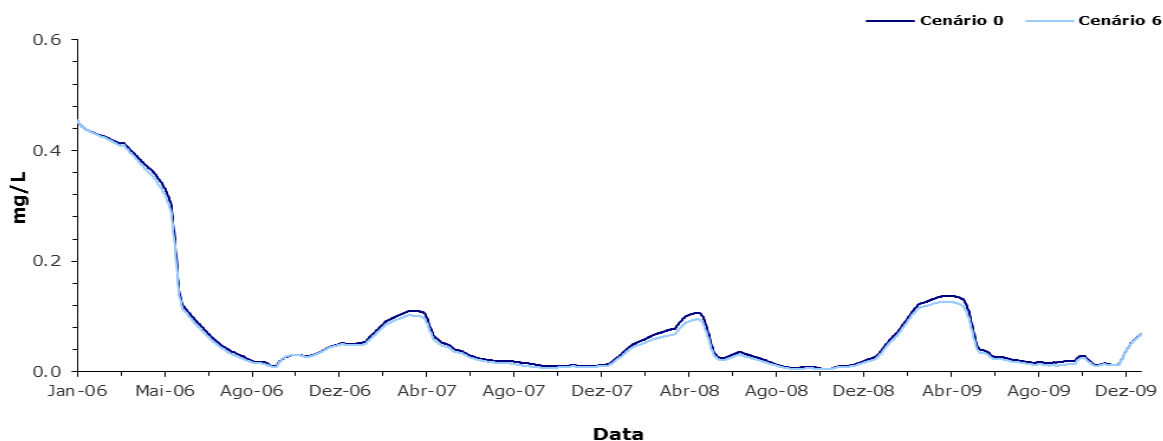


Figura 138. Variação média da concentração de $N-NO_x$ na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 6

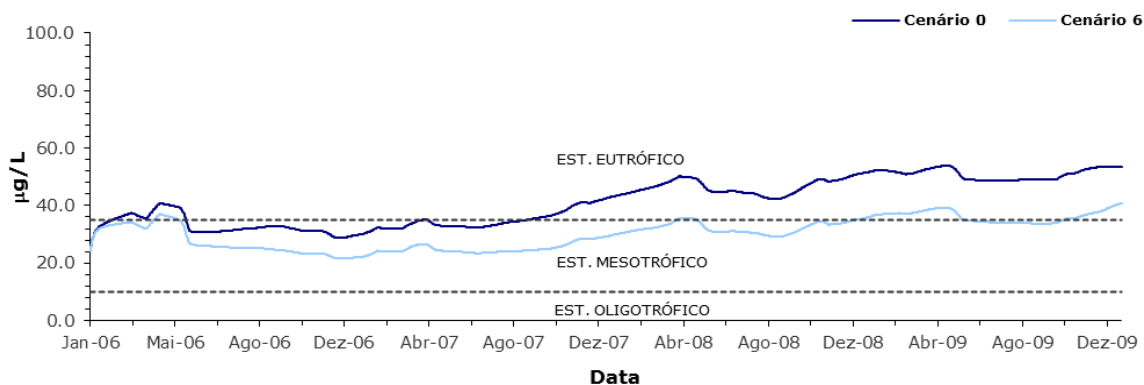


Figura 139. Variação média da concentração de $P-PO_4$ na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 6

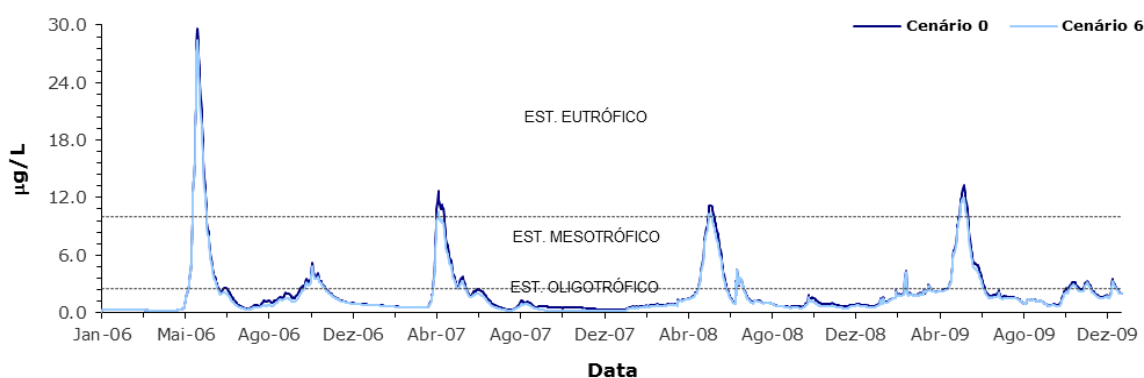


Figura 140. Série temporal da concentração de Clorofila-a na albufeira do Alto Rabagão à superfície – Cenário 6

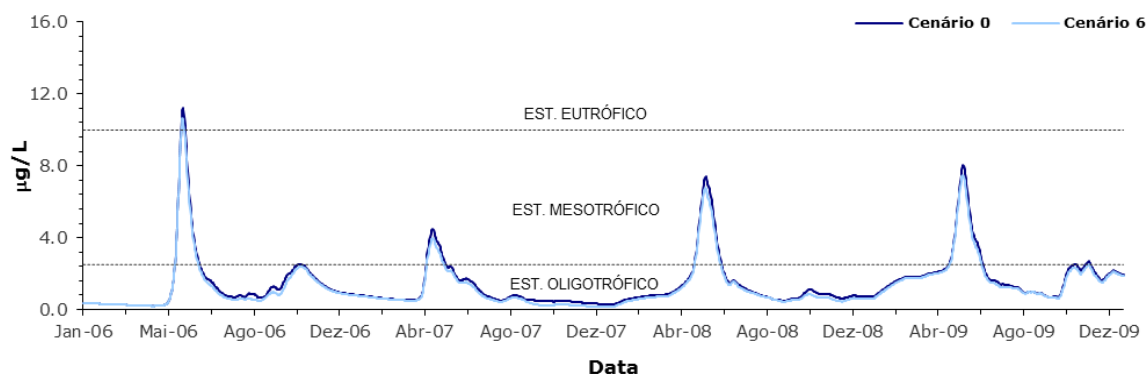


Figura 141. Variação média da concentração de **Clorofila-a** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 6**

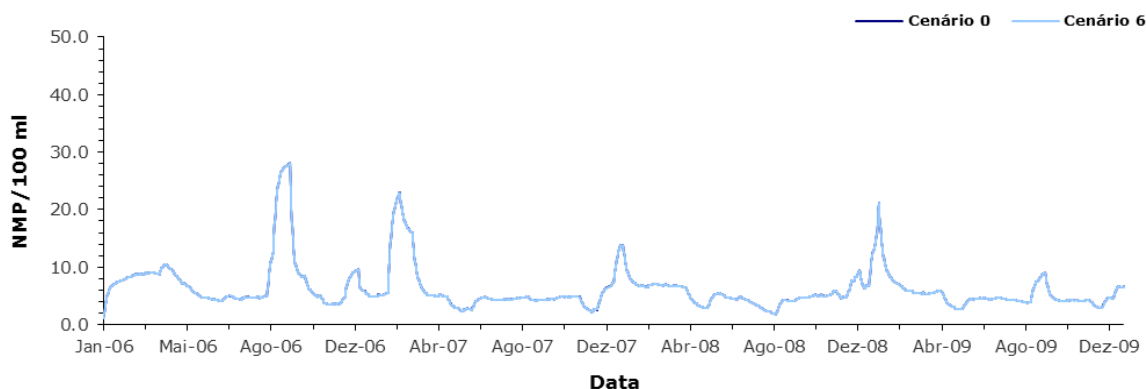


Figura 142. Variação média da concentração de **Colif. Totais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 6**

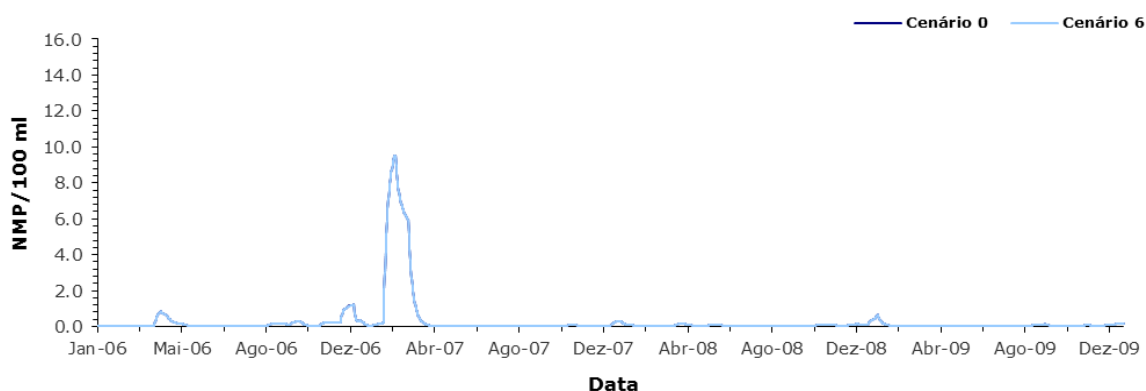


Figura 143. Variação média da concentração de **Colif. Fecais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 6**

10.8 - Cenário 7

A análise das Figuras 144 a 152 permite verificar que a água derivada a partir da albufeira do Alto Cávado tem uma influência significativa na qualidade da água da albufeira do Alto Rabagão. Com efeito, a eliminação da carga poluente de CBO_5 , P-PO_4 , NH_4 , N-NO_x , coliformes totais e coliformes

fecais associada a esta derivação, determinou uma diminuição de, 17%, 16%, 13%, 18%, 15%, e 85% respectivamente, da concentração média dos referidos parâmetros, de acordo com os resultados de simulação obtidos com a consideração do **Cenário 7**. Também a concentração média da clorofila-a foi reduzida em aproximadamente 13%, com a implementação deste cenário de simulação (Figuras 149 e 150).

Deve também referir-se que a eliminação da carga de P-PO₄, proveniente da derivação a partir da albufeira do Alto Cávado, determinou uma melhoria do estado trófico da albufeira (Figura 148).

A carga mais significativa de coliformes fecais que aflui à albufeira do Alto Rabagão tem, de acordo com os resultados obtidos, origem na água que é derivada a partir da Albufeira do Alto Cávado (Figura 152).

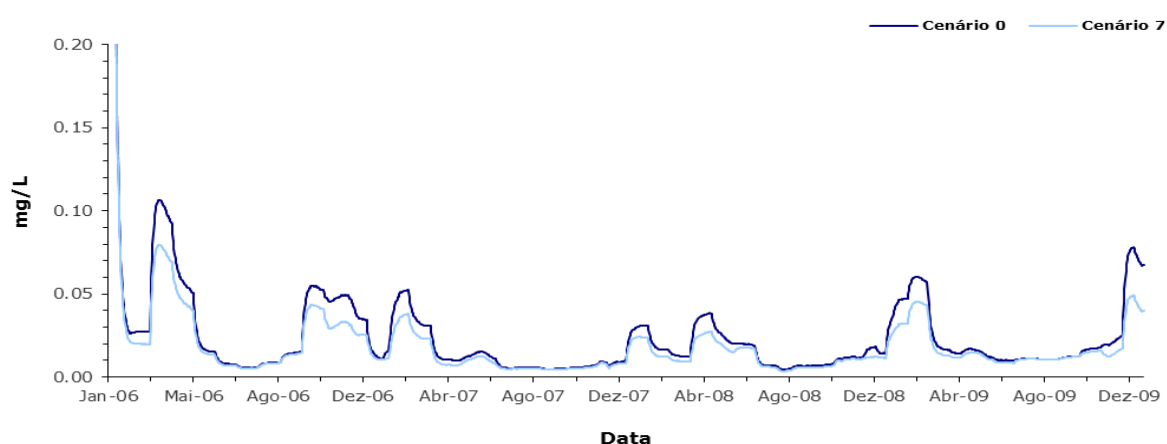


Figura 144. Variação média da concentração de **CBO₅** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 7**

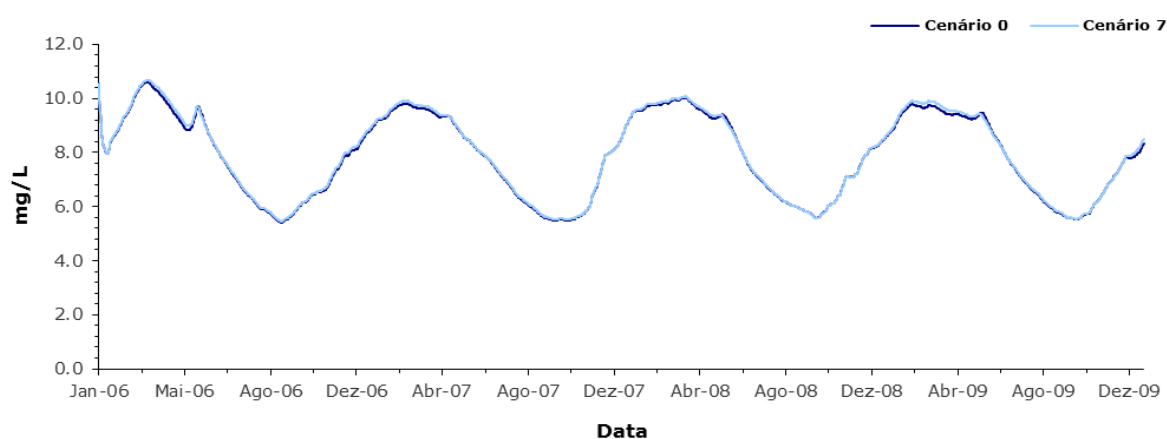


Figura 145. Variação média da concentração de **OD** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 7**

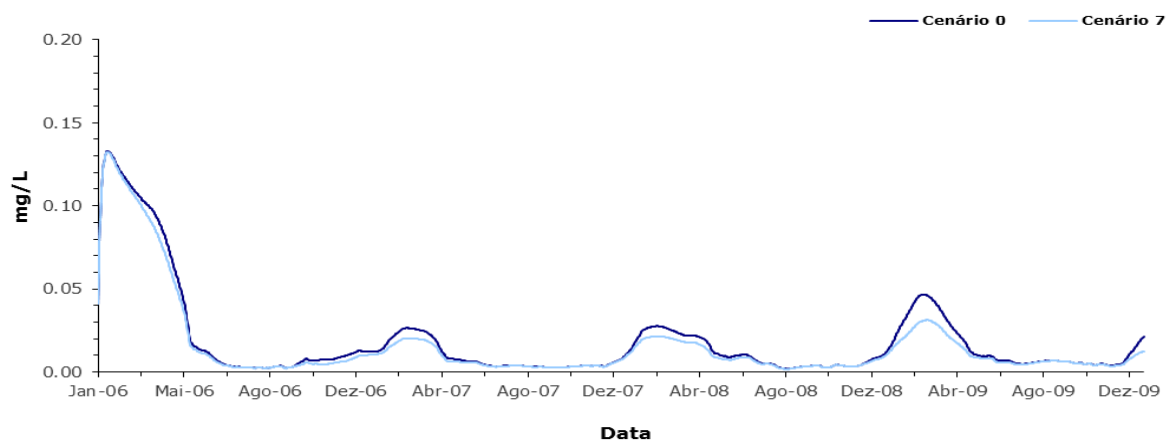


Figura 146. Variação média da concentração de NH_4 na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 7

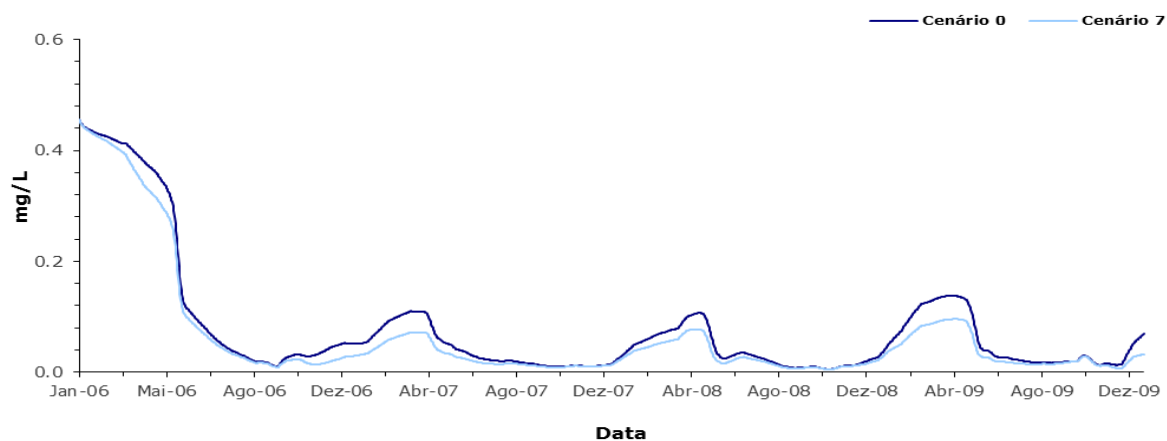


Figura 147. Variação média da concentração de N-NO_x na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 7

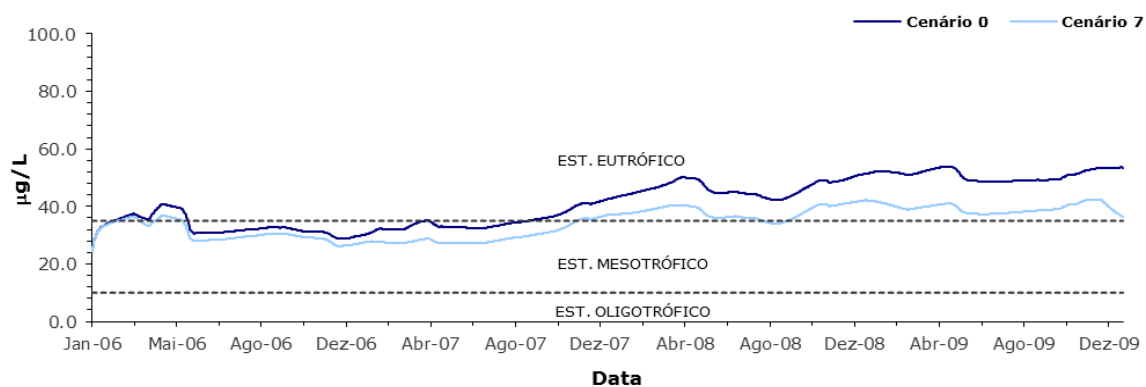


Figura 148. Variação média da concentração de P-PO_4 na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 7

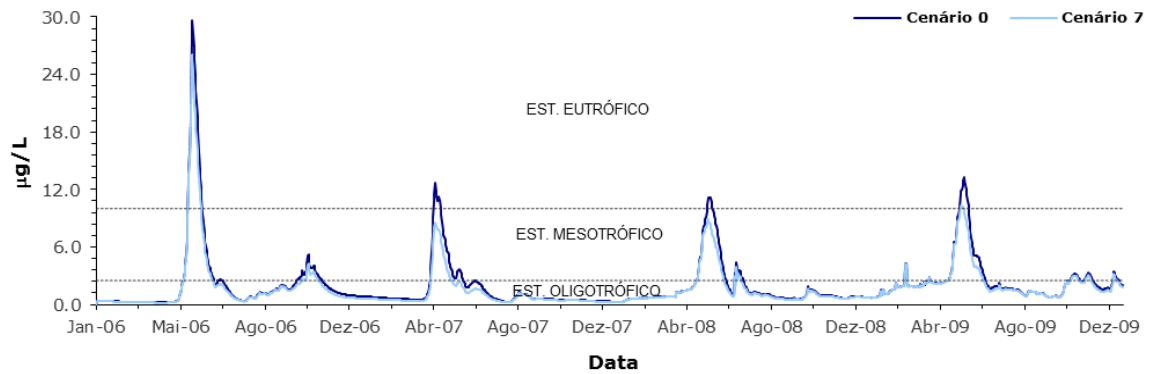


Figura 149. Série temporal da concentração de **Clorofila-a** na albufeira do Alto Rabagão à superfície – **Cenário 7**

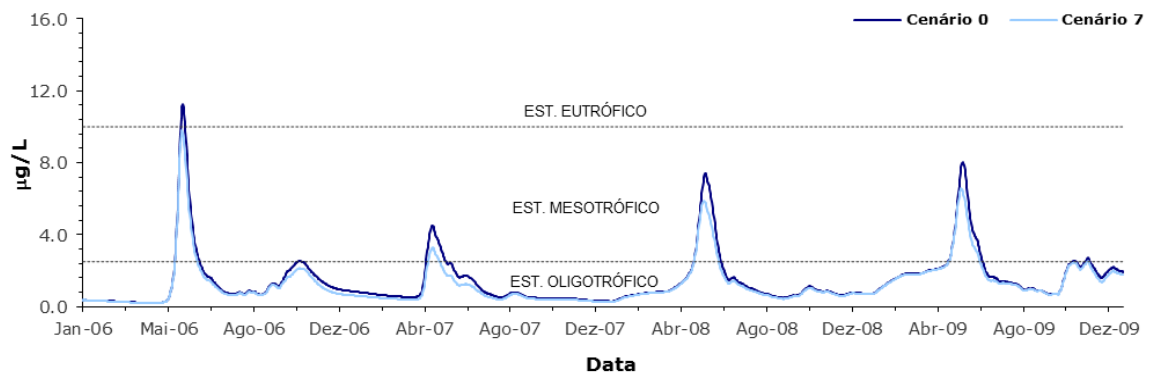


Figura 150. Variação média da concentração de **Clorofila-a** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 7**

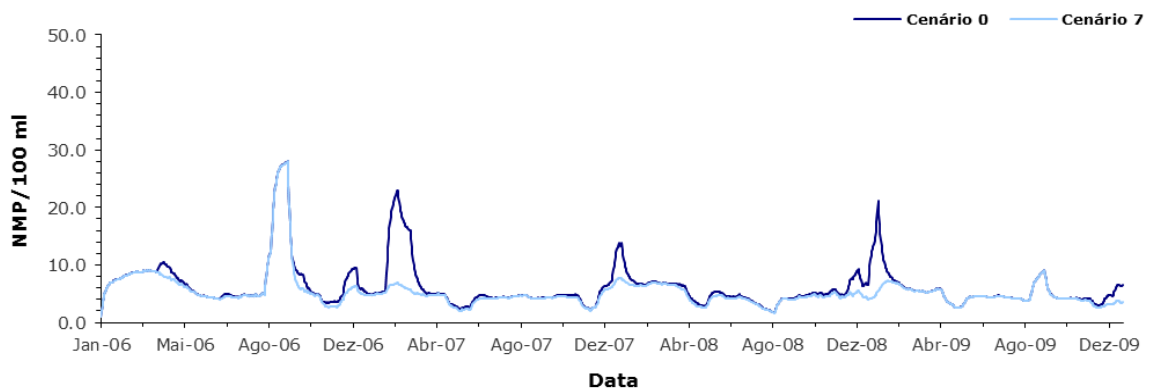


Figura 151. Variação média da concentração de **Colif. Totais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 7**

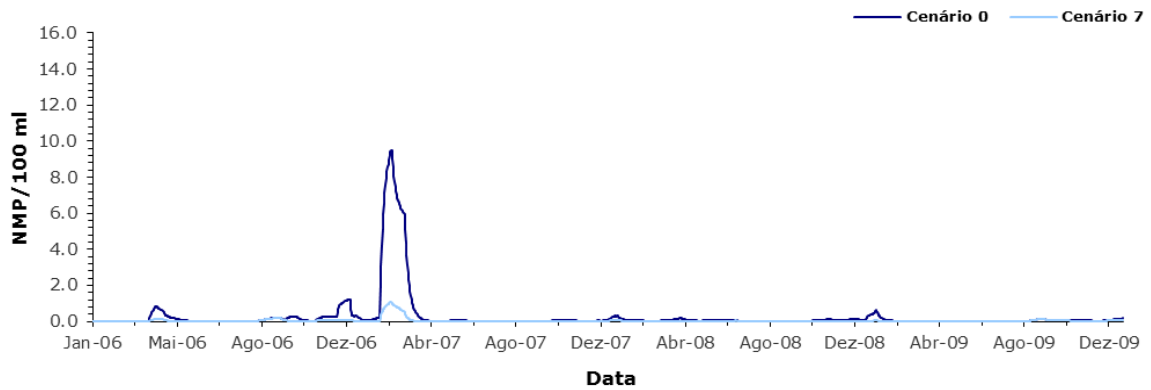


Figura 152. Variação média da concentração de **Colif. Fecais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 7**

10.9 - Cenário 7A

A análise das Figuras 153 a 161, permite verificar que a água bombeada a partir da albufeira de Venda Nova para a albufeira do Alto Rabagão, tem também uma influência significativa sobre a qualidade da água desta última. Com efeito, a redução da carga poluente de CBO_5 , P-PO_4 , NH_4 , N-NO_x , coliformes totais e de coliformes fecais associada aos caudais bombeados, determinaram uma diminuição de, 21%, 9%, 12%, 18%, 10%, e 13%, respectivamente, no que se refere à concentração de cada um desses parâmetros na albufeira do Alto Rabagão. A concentração média da clorofila-a foi reduzida em aproximadamente 22%, com a implementação deste cenário de simulação (Figuras 158 e 159).

A simulação do **Cenário 8** determinou também uma melhoria do estado trófico da albufeira, resultante da eliminação de carga de P-PO_4 associada aos caudais bombeados a partir da albufeira da Venda Nova (Figura 166).

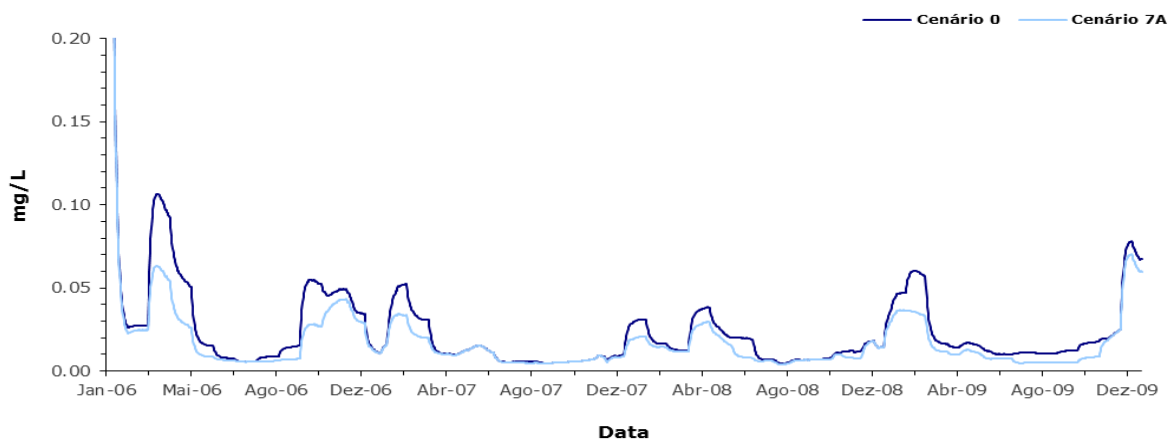


Figura 153. Variação média da concentração de **CBO_5** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 7A**

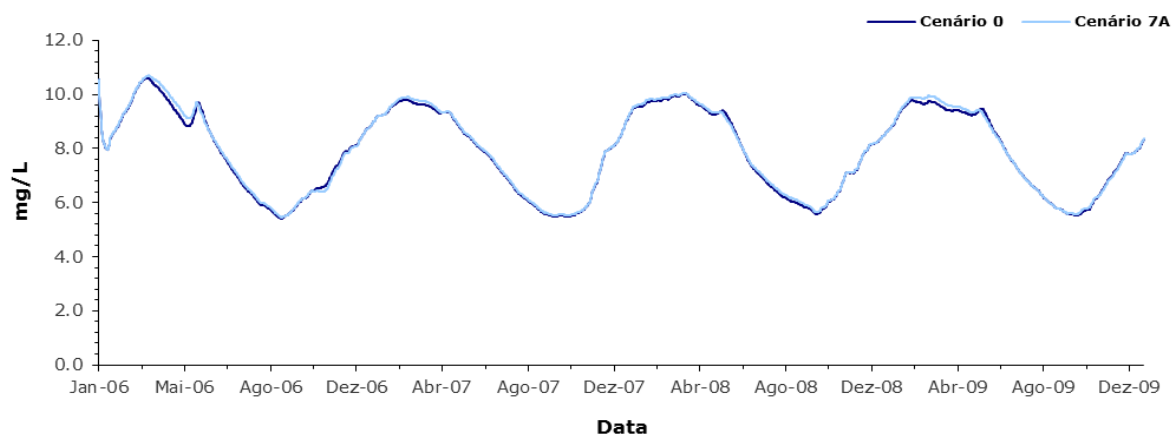


Figura 154. Variação média da concentração de **OD** na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 7A

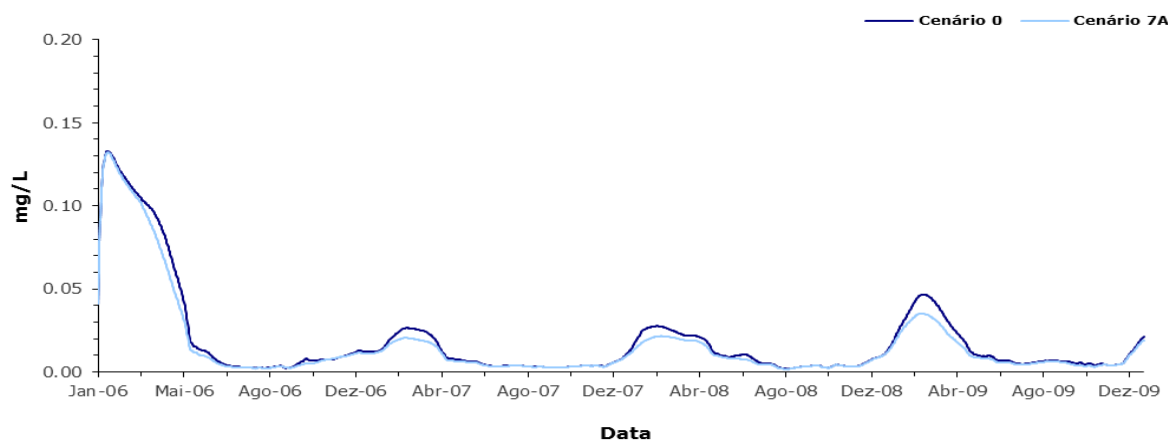


Figura 155. Variação média da concentração de **NH₄** na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 7A

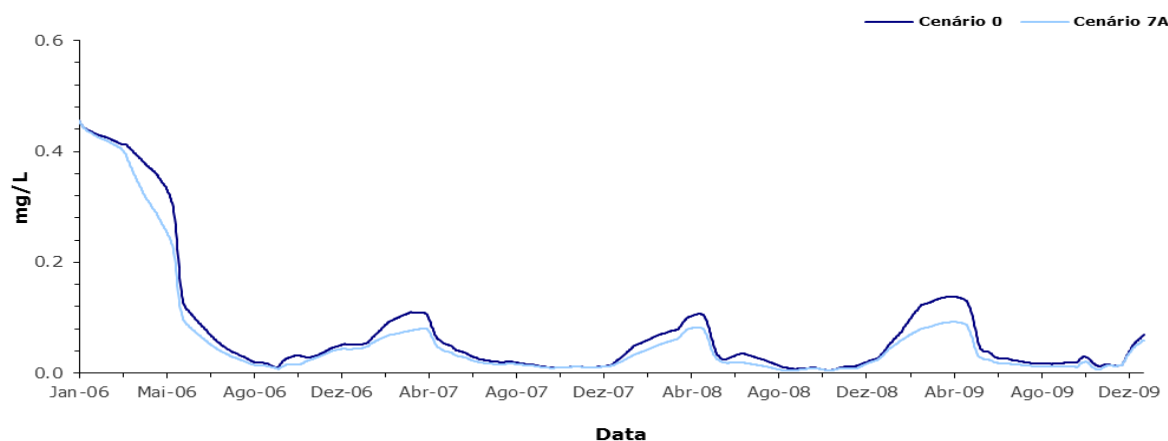


Figura 156. Variação média da concentração de **N-NO_x** na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 7A

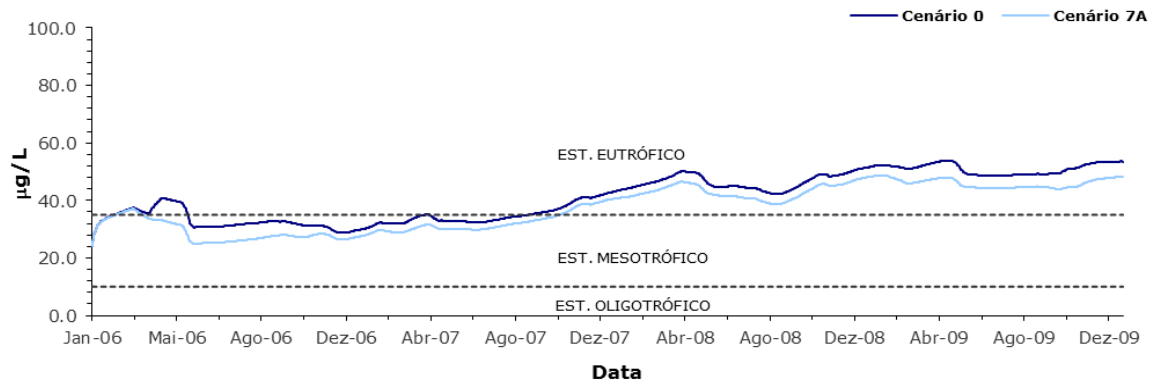


Figura 157. Variação média da concentração de $P-PO_4$ na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 7A

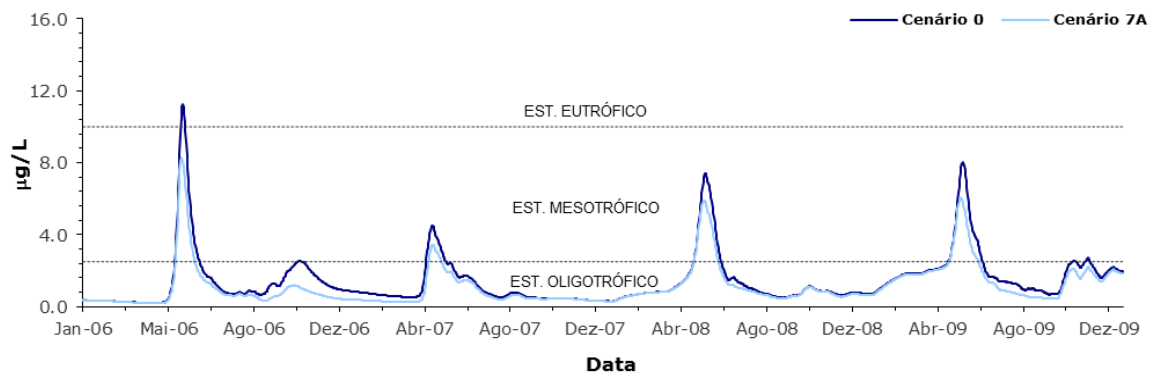


Figura 158. Série temporal da concentração de Clorofila-a na albufeira do Alto Rabagão à superfície – Cenário 7A

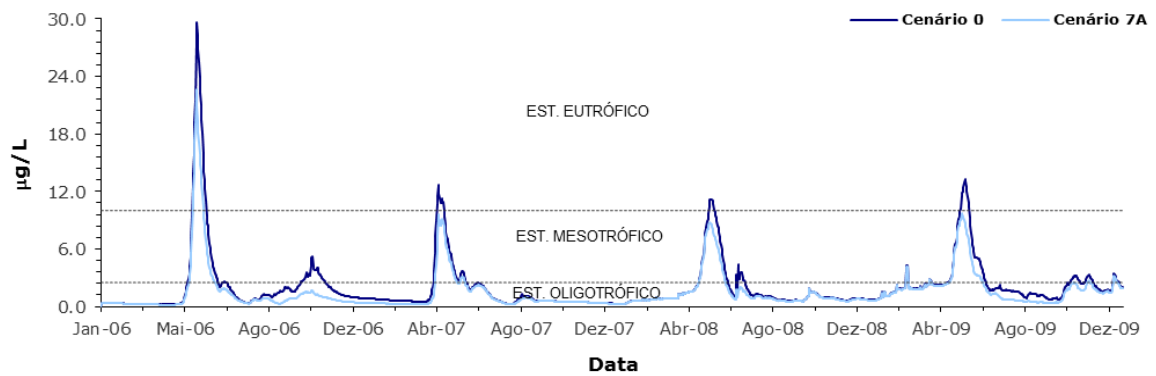


Figura 159. Variação média da concentração de Clorofila-a na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 7A

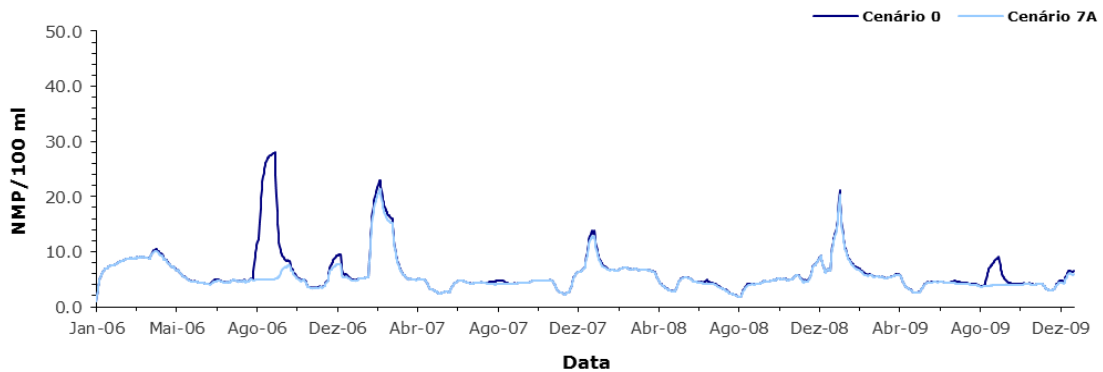


Figura 160. Variação média da concentração de **Colif. Totais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 7A**

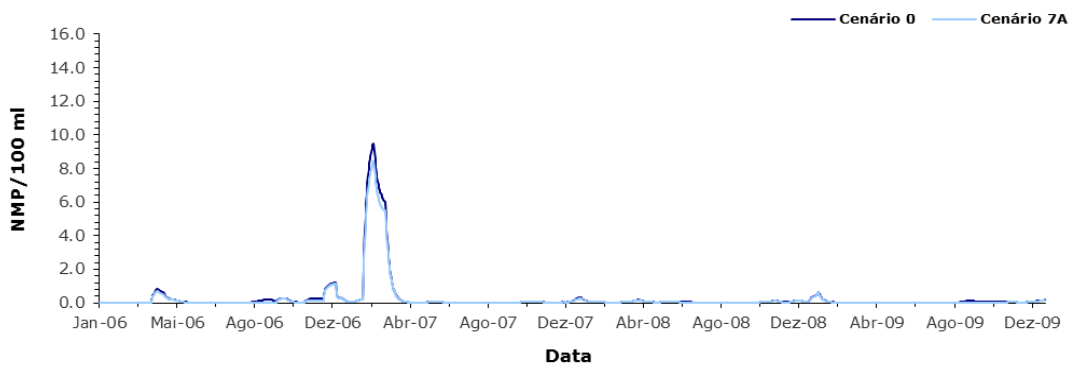


Figura 161. Variação média da concentração de **Colif. Fecais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 7A**

10.10 - Cenário 8

O **Cenário 8** foi definido com o objectivo de avaliar, em simultâneo, a carga poluente que aflui à albufeira do Alto Rabagão, através do caudal derivado da albufeira do Alto Cávado e do caudal bombeado a partir da albufeira da Venda Nova. Como se pode observar através da análise das Figuras 162 a 170, verifica-se uma melhoria significativa de todos os parâmetros avaliados, que inclui uma melhoria da concentração média de OD na albufeira (Figura 163). A única excepção corresponde aos valores da concentração de coliformes totais que, de acordo com os resultados obtidos (ver **Cenário 4**), são na sua grande maioria associados à carga gerada pelas habitações que não possuem sistema de drenagem de águas residuais e pelo caudal efluente da ETAR de Montalegre.

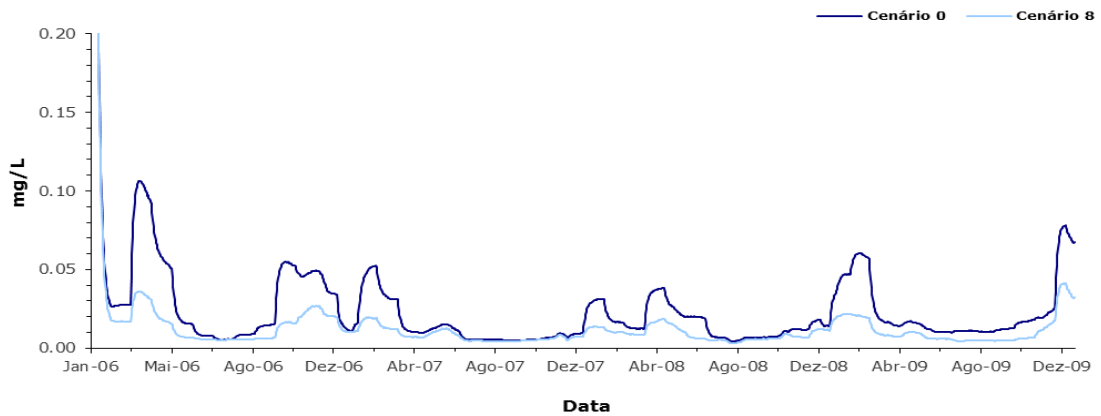


Figura 162. Variação média da concentração de CBO_5 na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 8**

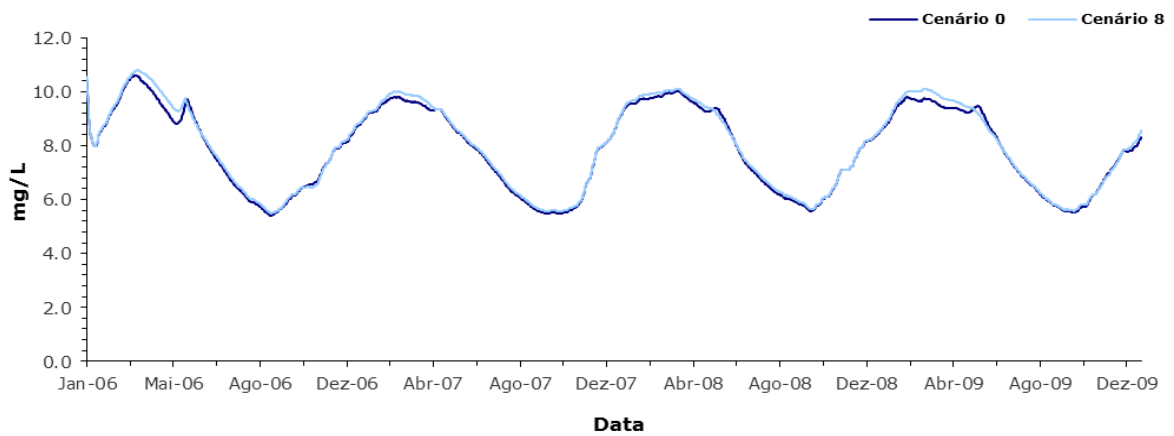


Figura 163. Variação média da concentração de OD na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 8**

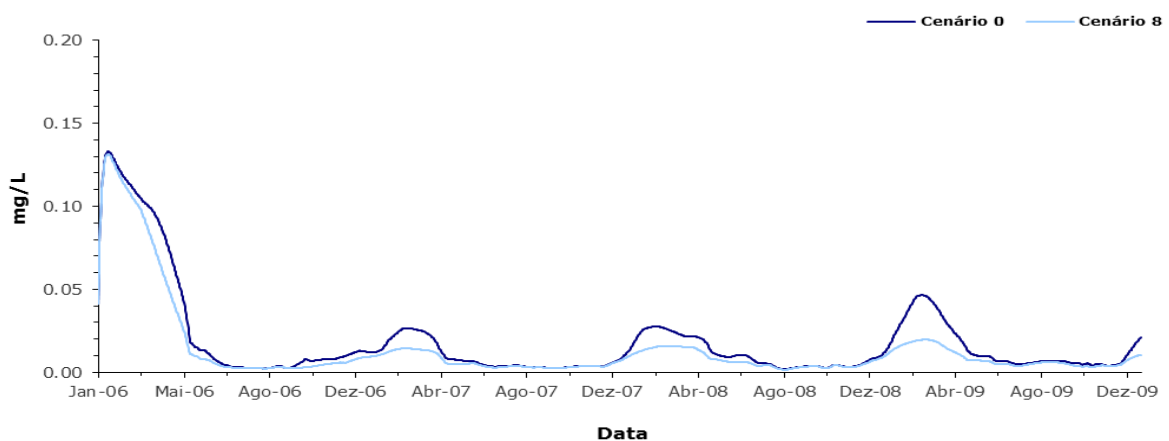


Figura 164. Variação média da concentração de NH_4 na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 8**

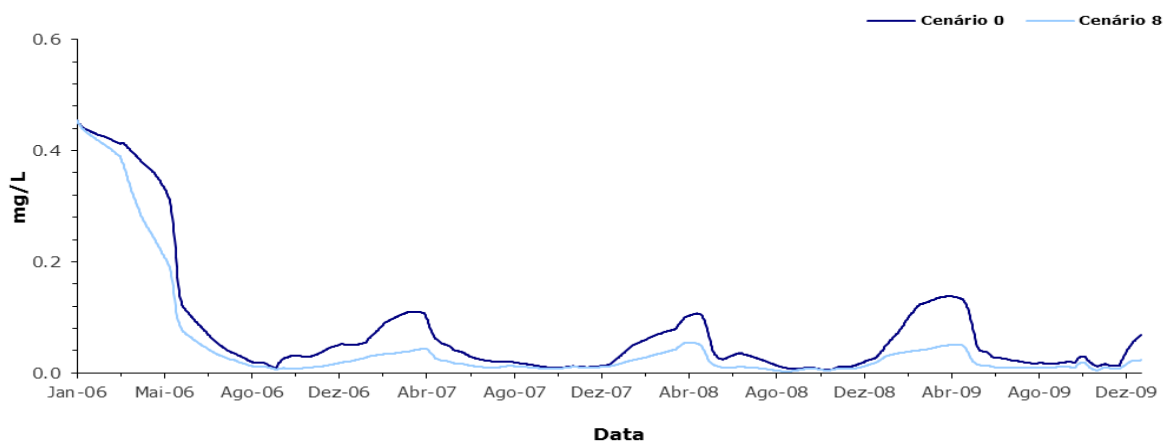


Figura 165. Variação média da concentração de $N-NO_x$ na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 8

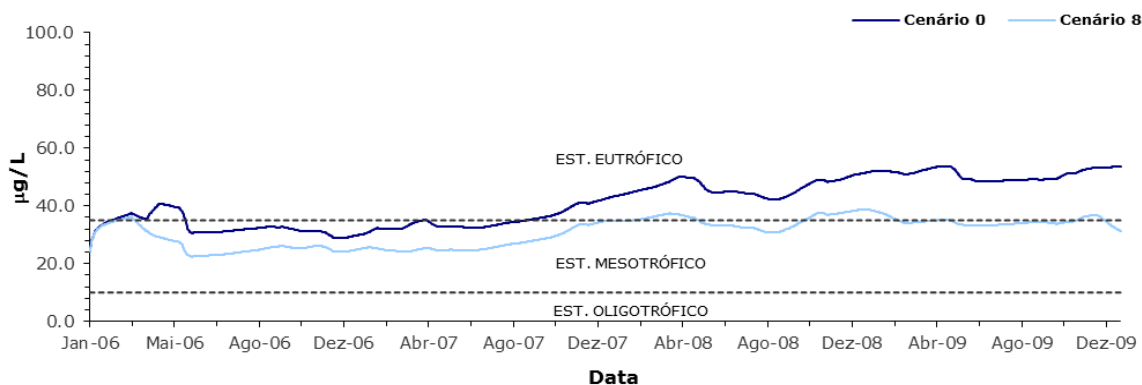


Figura 166. Variação média da concentração de $P-PO_4$ na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 8

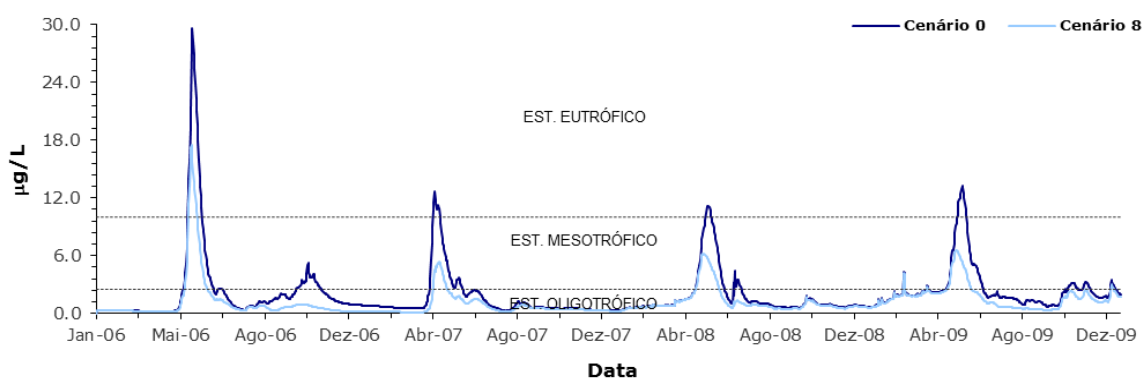


Figura 167. Série temporal da concentração de **Clorofila-a** na albufeira do Alto Rabagão à superfície – Cenário 8

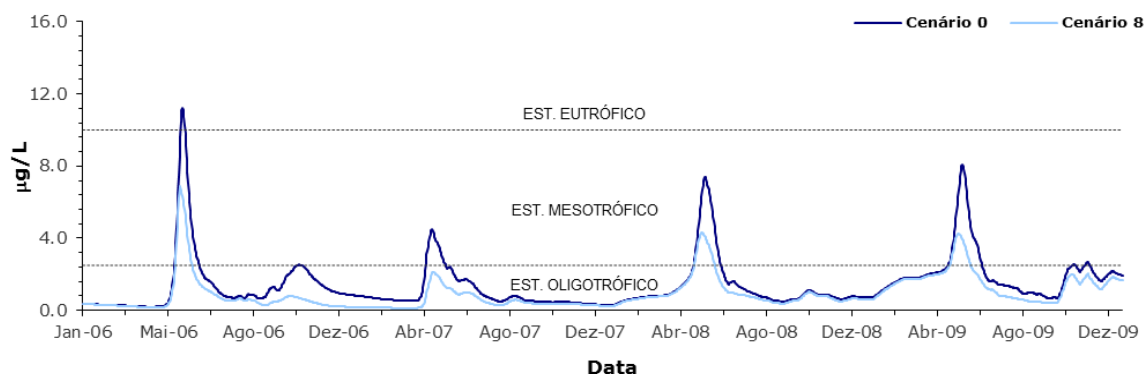


Figura 168. Variação média da concentração de **Clorofila-a** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 8**

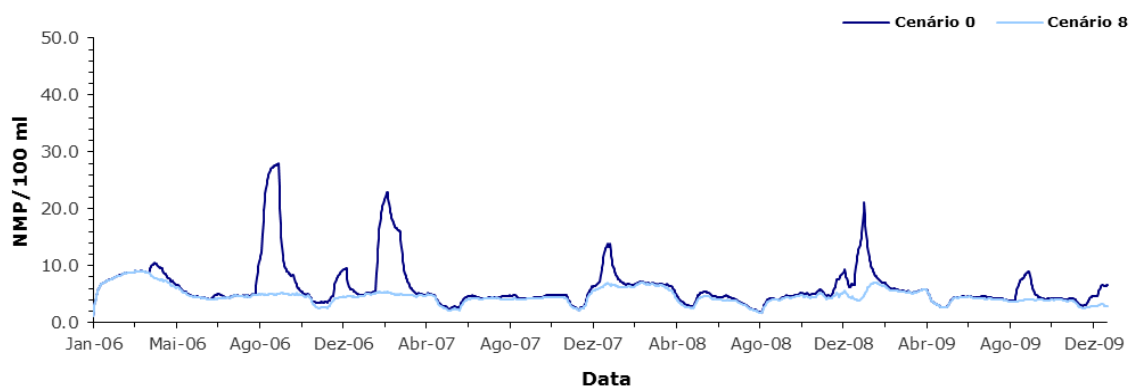


Figura 169. Variação média da concentração de **Colif. Totais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 8**

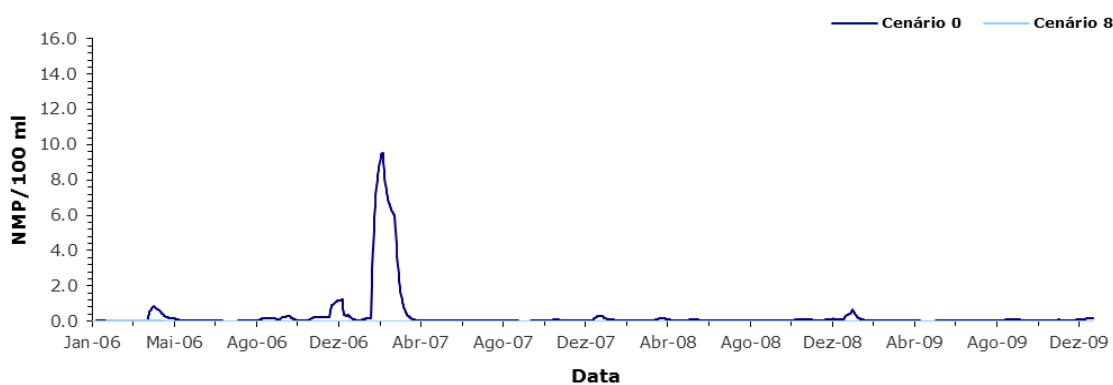


Figura 170. Variação média da concentração de **Colif. Fecais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 8**

10.11 - Cenário 9

A análise das Figuras 171 a 179 permite verificar que a redução da carga poluente de origem agrícola e florestal determinaria uma melhoria da qualidade da água da albufeira, nomeadamente no que se refere à concentração de $N-NO_x$ que, de acordo com os resultados obtidos, seria reduzida em aproximadamente 13% (Figura 174). Esta diminuição da carga poluente de $N-NO_x$ determinaria,

também, uma redução de aproximadamente 19% dos valores da concentração média de clorofila-a (Figuras 176 e 177).

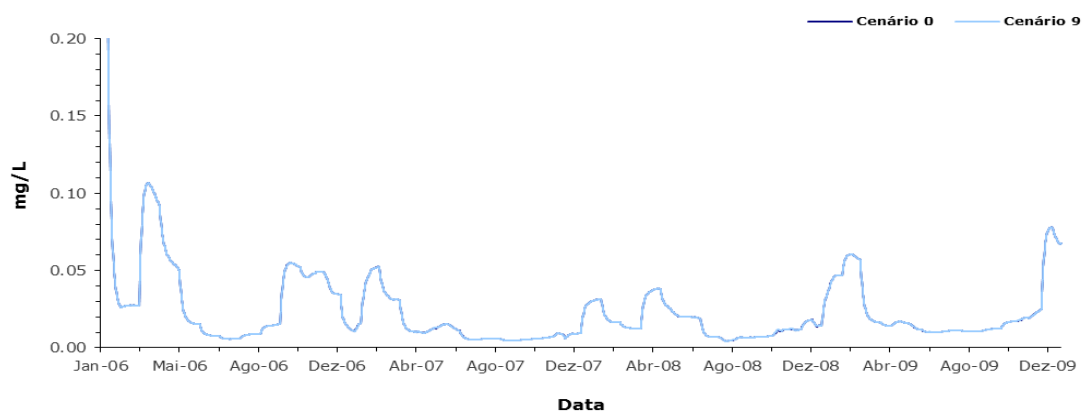


Figura 171. Variação média da concentração de CBO_5 na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 9

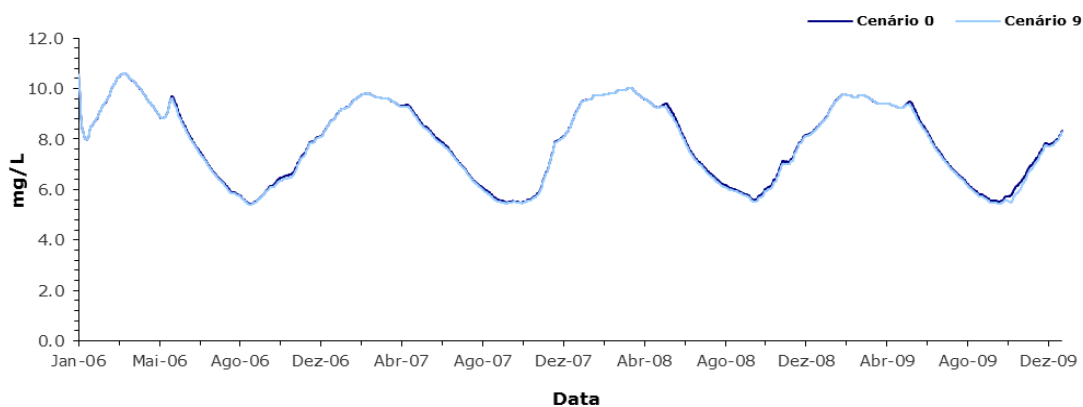


Figura 172. Variação média da concentração de OD na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 9

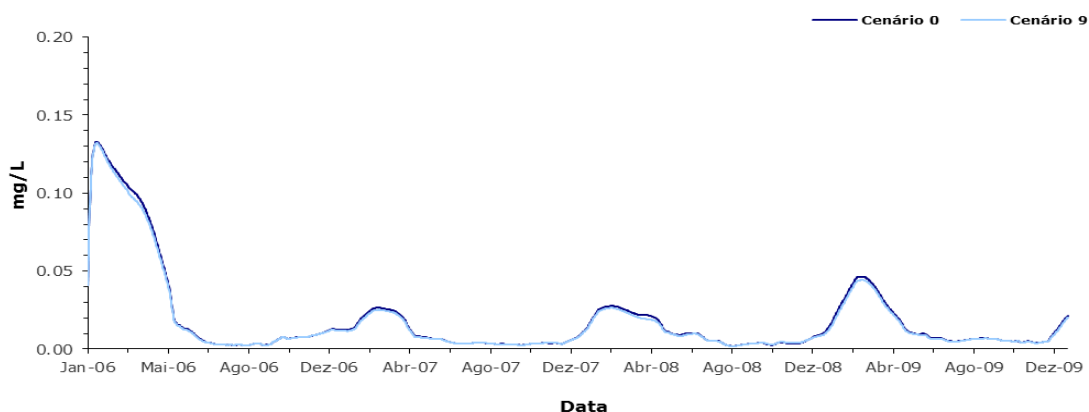


Figura 173. Variação média da concentração de NH_4 na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 9

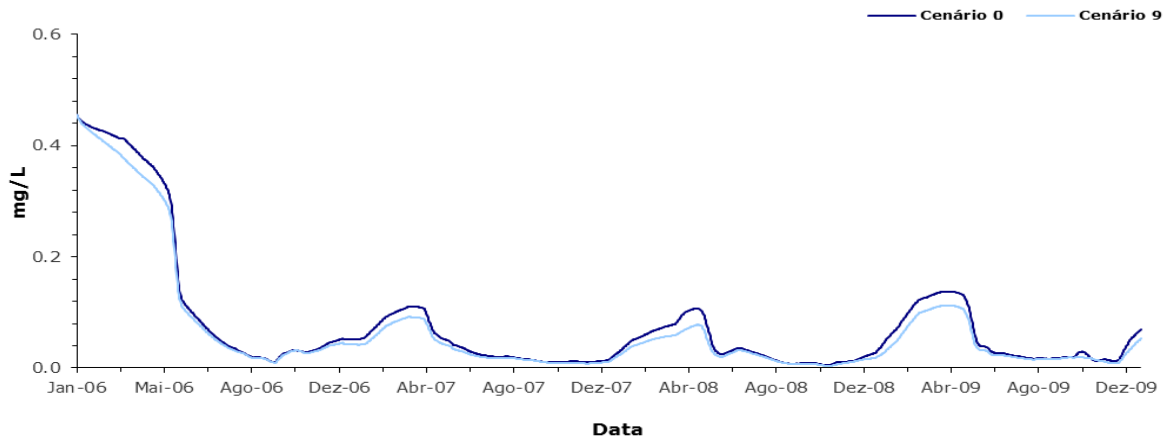


Figura 174. Variação média da concentração de $N-NO_x$ na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 9

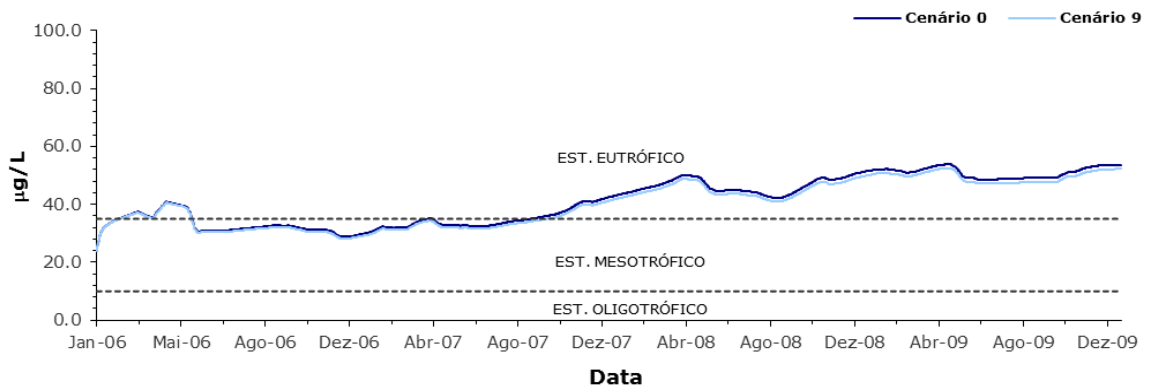


Figura 175. Variação média da concentração de $P-PO_4$ na albufeira do Alto Rabagão – Cenário 9

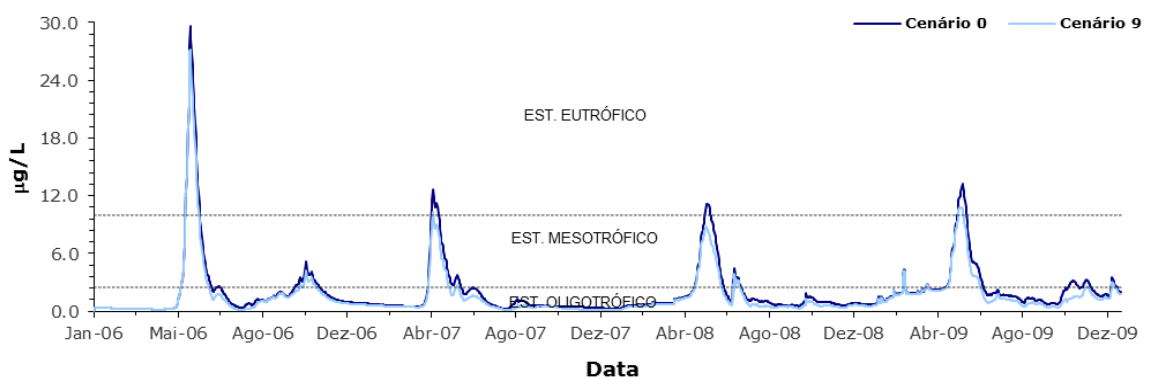


Figura 176. Série temporal da concentração de Clorofila-a na albufeira do Alto Rabagão à superfície – Cenário 9

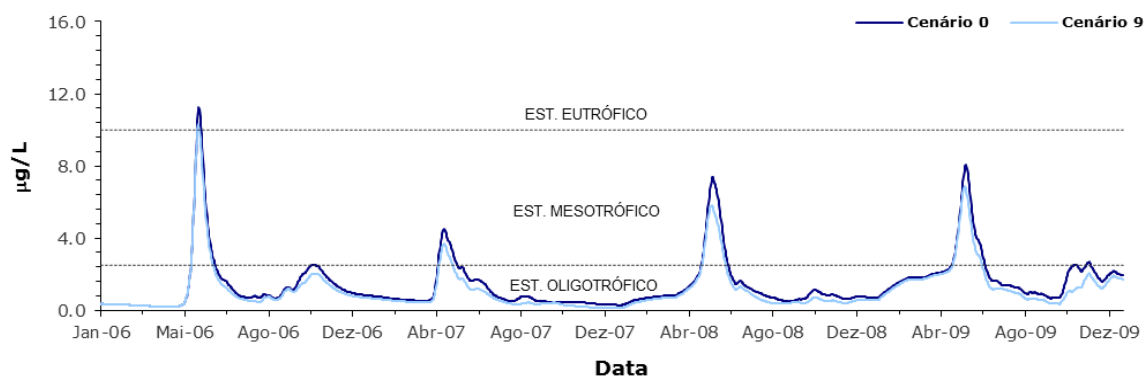


Figura 177. Variação média da concentração de **Clorofila-a** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 9**

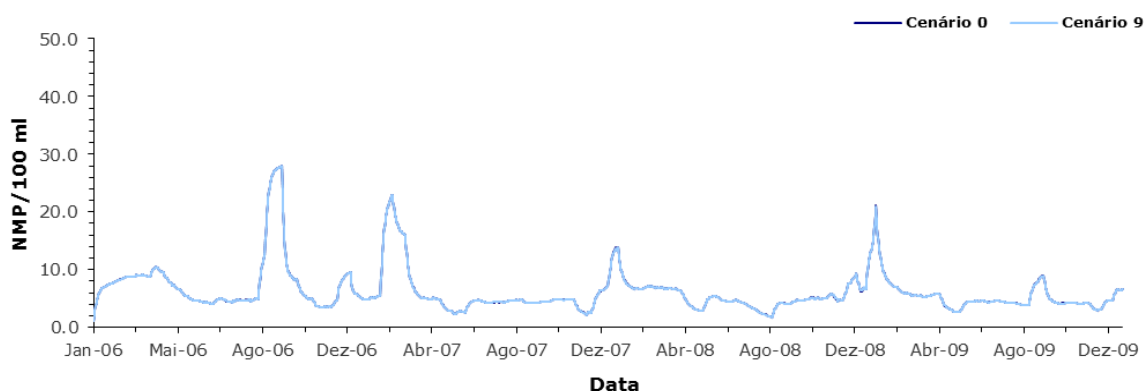


Figura 178. Variação média da concentração de **Colif. Totais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 9**

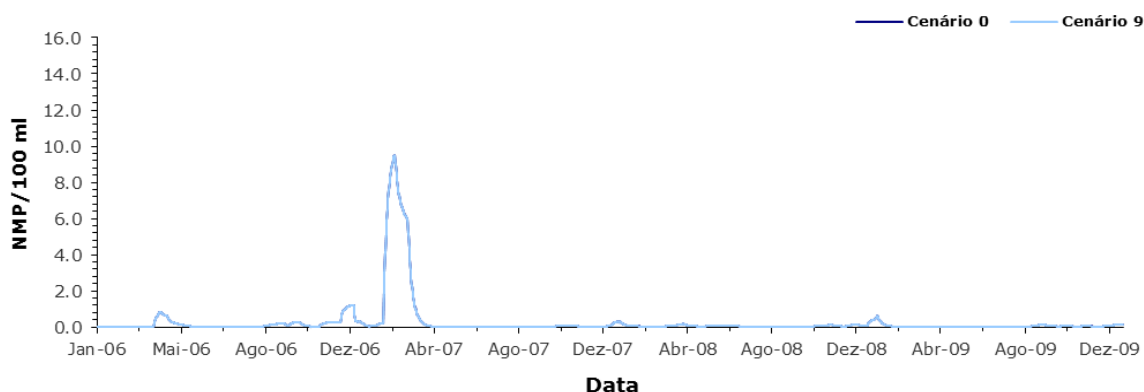


Figura 179. Variação média da concentração de **Colif. Fecais** na albufeira do Alto Rabagão – **Cenário 9**

No Quadro 44, e no sentido de se apresentar uma síntese dos resultados anteriormente obtidos, pode observar-se a redução percentual dos valores da concentração de cada um dos parâmetros simulados na albufeira do Alto Rabagão, determinada pela eliminação da carga poluente associada a cada uma das fontes poluentes referidas.

Nas Figuras 180 e 181 pode observar-se graficamente os valores de redução percentual apresentados no Quadro 44.

A análise realizada, permitiu concluir que os valores mais elevados da carga poluente de CBO_5 e de NO_x afluem à albufeira do Alto Rabagão através do caudal bombeado a partir da albufeira de Venda Nova e do caudal derivado da albufeira do Alto Cávado, e que valores mais elevados da carga poluente de NH_4 e de P-PO_4 , são gerados pela aquacultura que se localiza na albufeira do Alto Rabagão.

A contaminação microbiológica da albufeira, no que concerne aos coliformes de origem fecal, resulta dos caudais derivados da albufeira do Alto Cávado. O mesmo não ocorre relativamente aos coliformes totais que, de acordo com a metodologia adoptada, são maioritariamente gerados pelas habitações não ligadas a sistemas de drenagem e à descarga da ETAR de Montalegre.

Quadro 44. Redução percentual dos valores da concentração de cada um dos parâmetros simulados na albufeira do Alto Rabagão, determinada pela eliminação da carga poluente associada a cada uma das fontes poluentes consideradas (%)

Parâmetro	Descargas Urbanas sem tratamento	ETAR Montalegre	Aquacultura	Caudal derivado da albufeira do Alto Cávado	Caudal bombeado a partir da albufeira da Venda Nova	Agricultura e florestas
CBO_5	6.01	1.27	12.07	17.29	20.63	0.00
P-PO_4	13.48	12.31	26.65	16.35	9.08	0.01
NH_4	6.96	4.61	18.76	13.32	12.07	3.70
N-NO_x	2.32	1.66	5.86	18.06	18.06	12.62
Coliformes Fecais	1.86	0.06	0.06	84.99	13.25	0.11
Coliformes Totais	73.62	1.49	0.05	14.55	10.41	0.09
Concentração de Clorofila-a	4.25	1.87	9.17	12.80	21.59	19.37
Concentração Clorofila-a (superfície)	4.04	1.77	10.10	15.17	25.43	20.10

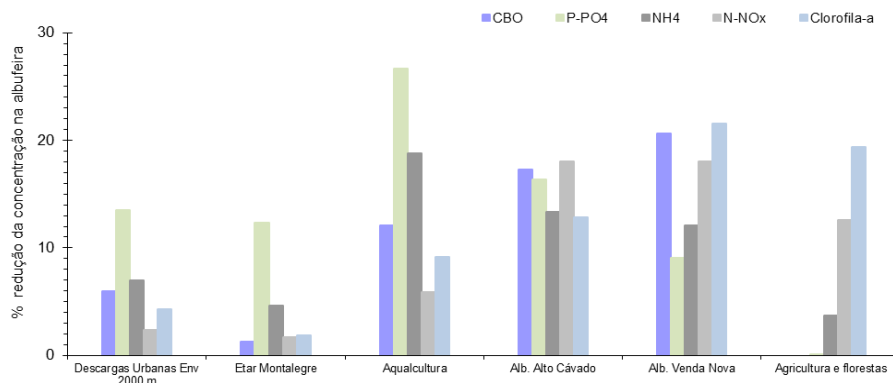


Figura 180. Redução percentual dos valores da concentração de cada um dos parâmetros simulados na albufeira do Alto Rabagão, determinada pela eliminação da carga poluente de cada uma das fontes poluentes

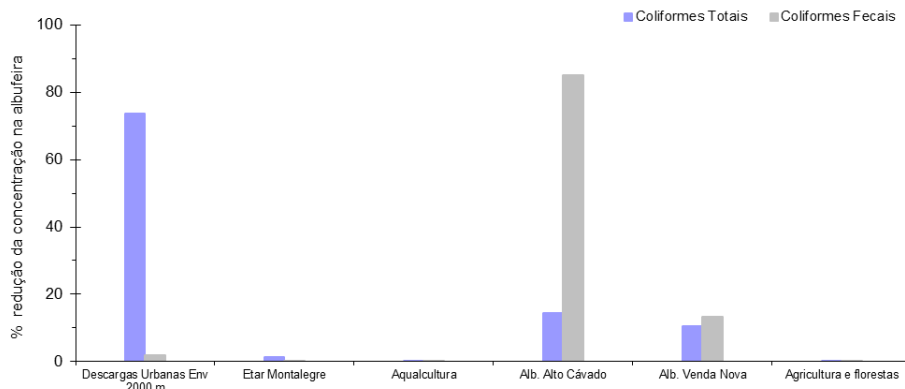


Figura 181. Redução percentual dos valores da concentração de coliformes totais e fecais, determinada pela eliminação da carga poluente de cada uma das fontes poluentes

Deve também referir-se que as fontes poluentes que determinam a redução mais significativa dos valores da concentração de clorofila-a, resultam da carga de NO_x que caracteriza o caudal bombeado a partir da albufeira de Venda Nova e da carga de NO_x gerada pela actividade agrícola e florestal que ocorre na bacia hidrográfica dominada pela barragem do Alto Rabagão.

Genericamente, verifica-se que existe um equilíbrio na distribuição da carga poluente pela fonte que lhe está associada, sendo que todas têm um efeito significativo sobre a qualidade da água da albufeira:

- 1) Habitações sem sistemas de recolha e tratamento de águas residuais + efluente ETAR de Montalegre;
- 2) Actividade industrial - Aquacultura;
- 3) Caudal derivado da albufeira do Alto Cávado;
- 4) Caudal bombeado a partir da albufeira da Venda Nova
- 5) Carga gerada pela actividade agrícola e florestal.

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

Anualmente, a análise e interpretação dos valores de temperatura da água e do teor em OD obtidos nas amostras recolhidas nas diferentes massas de água, é realizada pelas entidades que tutelam estes sistemas. Assim, com o objectivo de definir uma metodologia que permita realizar a referida análise de uma forma simples e consistente, definiram-se dois modelos de simulação da temperatura e da concentração de OD para a albufeira do Alto Rabagão, através do ajustamento de uma série de Fourier à série de valores diários (2006-2009), de temperatura da água e de OD obtidos com o modelo CE-QUAL-W2, considerando o valor médio diário desses parâmetros para a globalidade da massa de água e para o período temporal considerado.

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

$$f(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[A_n \cos\left(\frac{2n\pi(t-j-1)}{N}\right) + B_n \text{sen}\left(\frac{2n\pi(t-j-1)}{N}\right) \right] \quad (12)$$

em que:

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

t - tempo (dias);

n - número de ondas harmónicas;

j - dia inicial de simulação;

N - Numero total de valores da série.

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

$$A_n = \frac{2}{N} + \sum_{t=1}^{\infty} \left[f(t) \cos\left(\frac{2n\pi t}{N}\right) \right] \quad (13)$$

$$B_n = \frac{2}{N} + \sum_{t=1}^{\infty} \left[f(t) \sin\left(\frac{2n\pi t}{N}\right) \right] \quad (14)$$

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

$$f(t) = 12.10 + \left[-3.02 \cos\left(\frac{2\pi t}{365}\right) - 4.76 \text{sen}\left(\frac{2\pi t}{365}\right) \right] \quad (15)$$

$$f(t) = 7.89 + \left[0.44 \cos\left(\frac{2\pi t}{365}\right) + 2.08 \sin\left(\frac{2\pi t}{365}\right) \right] \quad (16)$$

Assim, tendo como base as equações 15 e 14 é possível, através da introdução do dia pretendido nas referidas equações, obter o valor que, em média, se deverá verificar na albufeira num determinado dia do ano. O primeiro dia do ano corresponde ao dia 1 e o último ao dia 365, ou seja, considera-se o calendário Juliano, de acordo com o que é comum neste tipo de aplicações.

Nas Figuras 182 a 185 pode observar-se que a primeira onda harmónica, correspondente à série de Fourier, descreve com bastante aproximação a variação anual da temperatura da água e da concentração de OD.

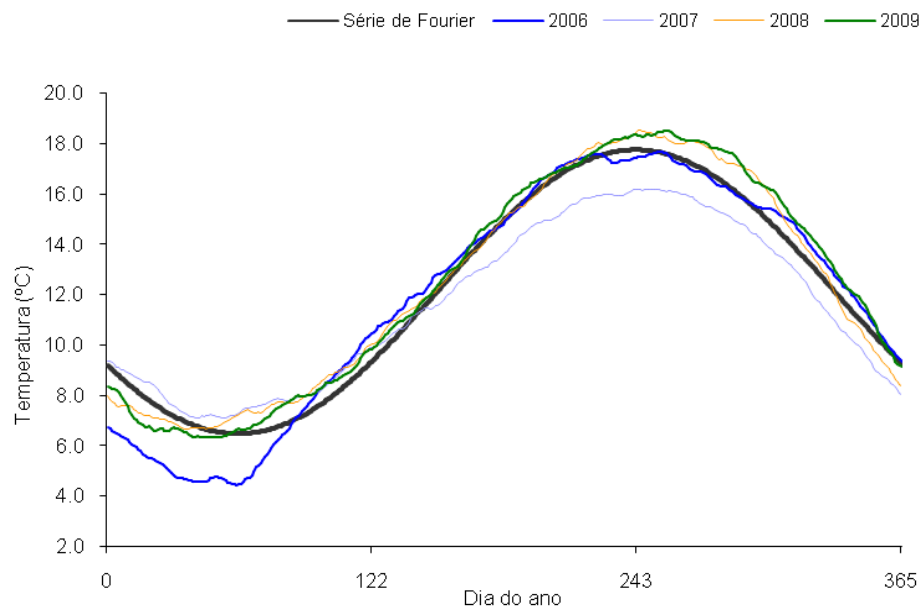


Figura 182. Série de Fourier ajustada às séries de valores médios diários (2006-2009) de temperatura da água simulados com o modelo CE-QUAL-W2, na albufeira do Alto Rabagão

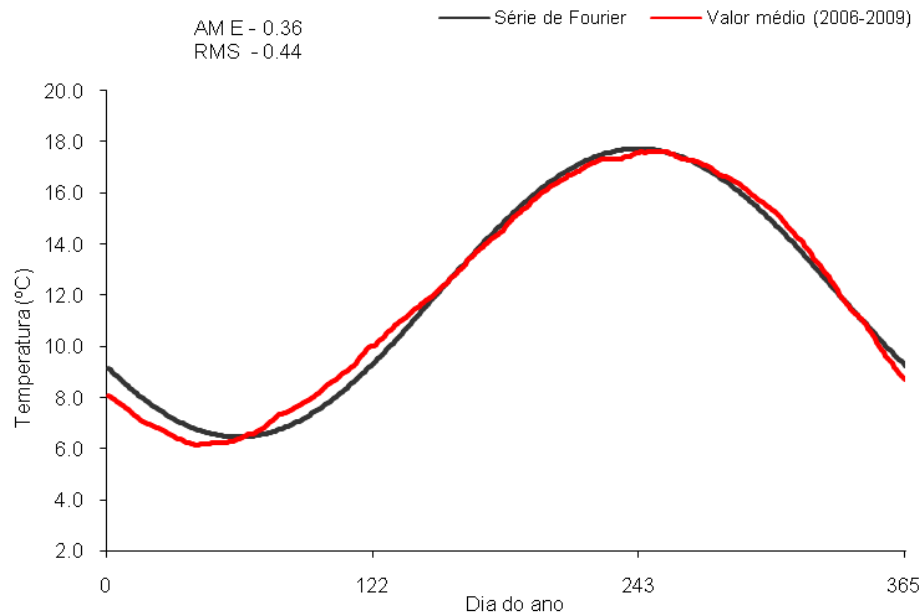


Figura 183. Série de Fourier ajustada à série de valores médios diários, considerando o valor médio para cada dia durante o período de quatro anos, de temperatura da água simulados com o modelo CE-QUAL-W2, na albufeira do Alto Rabagão

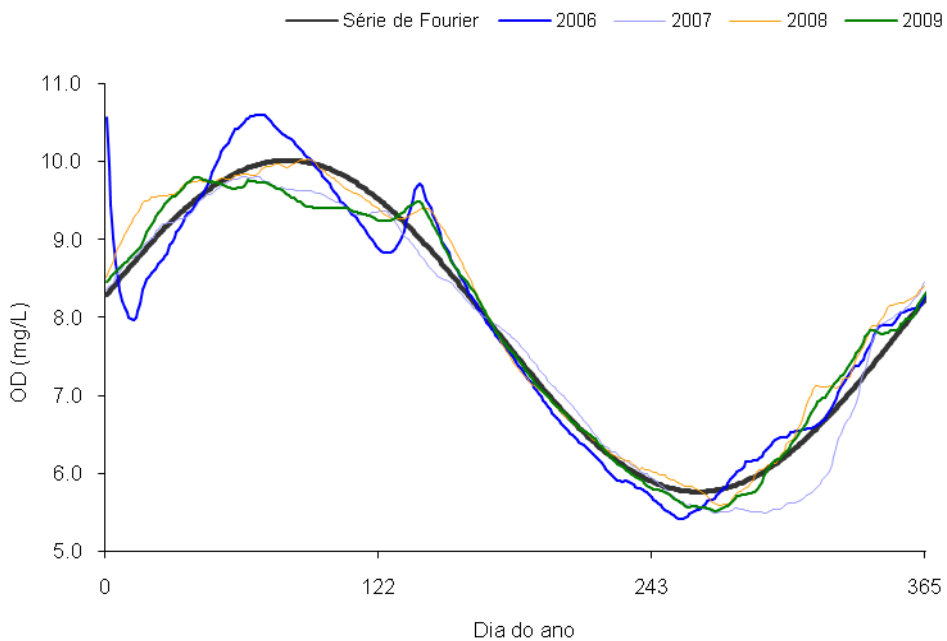


Figura 184. Série de Fourier ajustada às séries de valores médios diários (2006-2009) da concentração de OD simulados com o modelo CE-QUAL-W2, na albufeira do Alto Rabagão

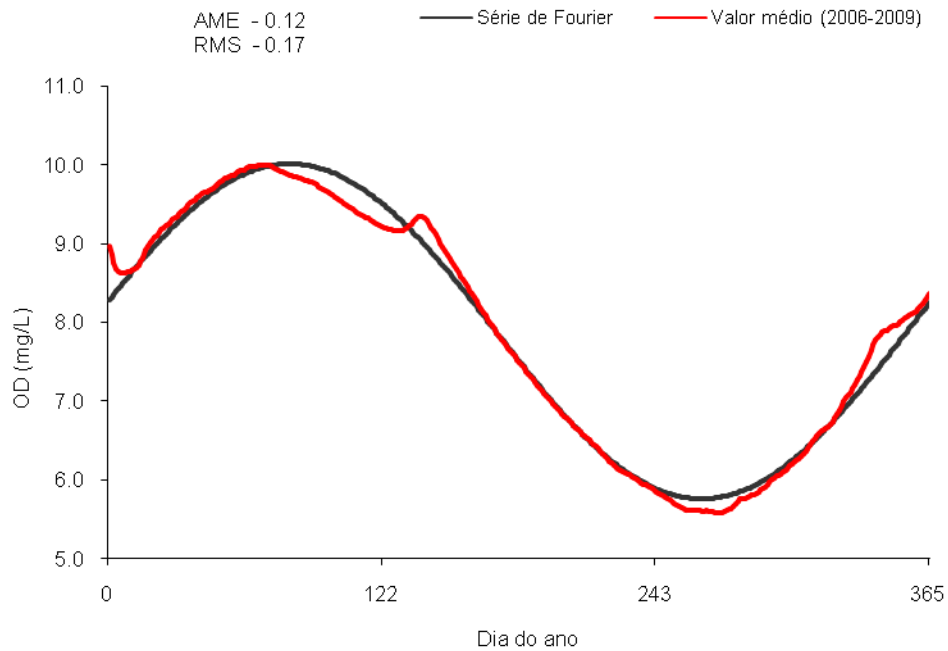


Figura 185. Série de Fourier ajustada à série de valores médios diários, considerando o valor médio para cada dia durante o período de quatro anos, da concentração de OD simulados com o modelo CE-QUAL-W2, na albufeira do Alto Rabagão

12. CONCLUSÕES

No âmbito de anteriores protocolos de colaboração técnico-científica, celebrados entre o INAG e o DCEA/FCT/UNL, já foram simuladas várias albufeiras de Portugal, com destaque para as de Castelo do Bode, Agueira e Santa Clara, com o principal objectivo, entre outros, de avaliar o efeito das medidas, propostas nos respectivos Planos de Ordenamento, sobre a eventual melhoria da qualidade dessas massas de água.

No entanto, em nenhum desses estudos anteriormente realizados, se lidou com uma tão grande ausência de dados de monitorização, como aquela que se verificou no âmbito do presente estudo. Com efeito, relativamente à albufeira do Alto Rabagão dispunha-se de dados de qualidade da água à superfície e de perfis verticais de temperatura e de OD, enquanto que nas albufeiras do Alto Cávado (a partir da qual são derivados caudais para a albufeira do Alto Rabagão) e da Venda Nova (a partir da qual são bombeados caudais para a albufeira do Alto Rabagão), apenas se dispunha de dados de qualidade da água à superfície.

Por outro lado, verificou-se a ausência de dados de qualidade da água que permitissem estimar a qualidade das restantes aflúências à albufeira do Alto Rabagão. Esta situação determinou que se procedesse a um conjunto de estimativas, suportadas em valores de capitação recolhidos na bibliografia, as quais tiveram depois de ser validadas, através de diferentes processos que foram descritos em detalhe no presente relatório. Assim, todas as cargas poluentes geradas na bacia hidrográfica dominada pela barragem do Alto Rabagão, resultam de estimativas baseadas em informação contida no POAAR, e em pressupostos obtidos utilizando referências bibliográficas.

Assim, o trabalho desenvolvido constitui-se num desafio particularmente interessante do ponto de vista técnico e científico, nomeadamente em função da necessidade, não só de estimar um conjunto alargado de dados necessários ao funcionamento do modelo, bem como de tentar validar esses dados através de diferentes metodologias, para que fosse possível definir e suportar os cenários de simulação considerados.

Contudo, e face ao atrás referido, as conclusões que foi possível extrair do trabalho desenvolvido, devem ser encaradas com algumas restrições, não em termos do seu sentido mas sim da sua magnitude, na medida em que por melhor que sejam as estimativas, nunca têm a mesma fiabilidade que está associada a um conjunto de dados de amostragem.

Mesmo em termos de dados meteorológicos foi necessário, para alguns parâmetros, recorrer a estações meteorológicas que se localizam a distâncias consideráveis da albufeira do Alto Rabagão.

Apesar deste conjunto de limitações considera-se que o estudo desenvolvido cumpriu os seus objectivos, a concretização do mesmo constituiu um desafio aliciante, de acordo com o atrás referido, e, no global, os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, revelando uma razoável aderência aos dados de campo disponíveis, permitindo extrair um conjunto relevante de conclusões.

No presente relatório é incluída informação que permite uma avaliação integrada das diferentes fontes poluidoras, e das cargas associadas às mesmas, localizadas na área de intervenção do POAAR

e na bacia hidrográfica dominada pela barragem do Alto Rabagão. No entanto, os valores da carga poluente estimados foram obtidos com base em referências bibliográficas, com o objectivo de colmatar as lacunas atrás identificadas. Por este motivo, e apesar das estimativas efectuadas terem sido posteriormente validadas, deve-se considerar a possibilidade de proceder a uma caracterização real das águas residuais de origem urbana e industrial, bem como das águas que drenam áreas agrícolas e florestais localizadas na bacia hidrográfica da albufeira do Alto Rabagão.

Os dados de qualidade da água utilizados para caracterizar a albufeira do Alto Rabagão indicam que esta não apresenta níveis de poluição significativos. No entanto, deve-se referir que os perfis de OD obtidos pela EDP revelam a existência de períodos de anaerobiose em profundidade, situação que foi também demonstrada pelas simulações realizadas.

A avaliação do estado trófico da albufeira do Alto Rabagão deve ser acompanhada pela análise do estado trófico das albufeiras do Alto Cávado e de Vendas Novas, em função da influência que estas massas de água têm na qualidade da água da albufeira do Alto Rabagão. A análise realizada permitiu concluir que, de acordo com a classificação obtida para a clorofila-a, as três albufeiras encontram-se no estado mesotrófico. O mesmo se verifica relativamente à classificação obtida para os valores de P-total, com a excepção da Albufeira do Alto Cávado que, de acordo com o Índice de Carlson, encontra-se eutrofizada em 6 dos 10 anos avaliados.

No ano de 2005 verificou-se um aumento sensível dos valores da concentração de P-total nas três albufeiras, sendo este mais significativo na Albufeira do Alto Cávado. Este facto deverá estar associado às condições meteorológicas que caracterizaram o ano de 2005 (ano particularmente seco), e que determinaram uma redução importante nos valores do escoamento de superfície, temperaturas do ar mais elevadas e menor volume de água armazenado nas três albufeiras. Provavelmente, a diminuição em profundidade dos valores da concentração de OD, terá contribuído para a libertação de fósforo que se encontrava retido/fixado nos sedimentos das massas de água.

A simulação dos diferentes cenários definidos permitiu evidenciar que as medidas de redução da carga poluente definidas no regulamento do POAAR serão importantes, sobretudo na redução da carga poluente da CBO_5 , de $P-PO_4$ e da contaminação microbiológica, nomeadamente se conjugadas com o tratamento secundário de todas as descargas urbanas geradas na bacia hidrográfica definida pela secção da barragem do Alto Rabagão. No entanto, deve referir-se que mesmo partindo deste pressuposto, e com a excepção da contaminação microbiológica, a carga poluente de origem urbana gerada na referida área corresponde genericamente a apenas cerca de 20% da carga total que aflui à albufeira.

De facto, a carga poluente associada aos caudais derivados a partir da albufeira do Alto Cávado, aos caudais bombeados a partir da albufeira da Venda Nova, bem como a que é gerada na aquacultura que se localiza na albufeira do Alto Rabagão, representam, em termos globais, cerca de 80%, da carga total que aflui à albufeira do Alto Rabagão. Deve referir-se que os valores de carga poluente gerados pela aquacultura resultam de capitações estimadas, obtidas na revisão bibliográfica

realizada, e não de dados de campo obtidos na albufeira, pelo que a análise destes resultados deve ser realizada com as necessárias restrições.

Em função da contribuição das fontes poluentes referidas no parágrafo anterior, considera-se que a gestão da qualidade da água da albufeira do Alto Rabagão, deverá sempre ser realizada considerando também a qualidade da água das albufeiras do Alto Cávado e da Venda Nova, bem como as potenciais intervenções sobre as fontes de poluição que afectam estas duas últimas massas de água.

A potencial modificação do clima à escala global, pode determinar situações de difícil resolução ao nível da qualidade da água das albufeiras e, conseqüentemente da gestão dos sistemas sócio-ecológicos, de que estas massas de água fazem parte. Foi nesta perspectiva que se tomou a opção de se inserir o Capítulo 11 no presente relatório, como forma de contribuir para a estimativa dos valores de duas variáveis por excelência da qualidade da água – a temperatura e a concentração de OD.

13. BIBLIOGRAFIA

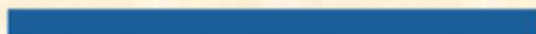
- Axler, R. P., Tikkanen, C.J., Henneck e Schuldt, J., McDonald, M. E. (1997). *Characteristics of Effluent and Sludge from Two Commercial Rainbow Trout Farms in Minnesota*. The Progressive Fish-Culturist 1997; 59: 161-172.
- Boaventura R., Pedro Ana M., Coimbra João e Lencastre Eduardo (1996). *Trout Farm Effluents: Characterization and Impact On The Receiving Streams*. Environmental Pollution, Vol. 95, No. 3, pp. 379-387. Elsevier Science Ltd.
- Brown, L. C.; Barnwell, T. O. - *The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS, Documentation and User Manual*. Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, United States Environmental Protection Agency. Athens (EUA), 1987.
- Cole T. M. and Buchak E. M. (1995). *CE-QUAL-W2: A Two Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 2.0. User manual*. Instruction Report EL-95-1, US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Cole, T. M. and Wells, S. A. (2002). *CE-QUAL-W2. A Two Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.1. User manual*. Instruction Report EL-02-1, US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Cole, T. M. and Wells, S. A. (2004). *CE-QUAL-W2. A Two Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.2*.
- Decreto-Lei n.º152/97, de 19 de Junho
- Decreto-Lei n.º236/98, de 1 de Agosto
- EDP (1984). *Sistema Hidroeléctrico Cávado-Rabagão- Homem*, EDP Orgão Central de informação e Relações Públicas
- Edinger, J.E., and Buchak, E.M. (1978). *Reservoir Longitudinal and Vertical Implicit Hydrodynamics*, Environmental Effects of Hydraulic Engineering Works, Proceedings of an International Symposium, Knoxville, TN.
- EPA (1985). *Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling* (Second Edition) Junho, 1985.
- EPA (2002). *Onsite Wastewater Treatment Systems Manual*, U.S. Environmental Protection Agency, EPA/625R-00/008.
- Flimlin Gef, Sugiura Shozo e P. Ferraris Ronaldo (2003). *Examining Phosphorus in Effluents from Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss) Aquaculture*. Rutgers Cooperative Extension, New Jersey Agricultural Experiment Station, Rutgers, The State University of New Jersey.
- Garcia-Ruiz R. e Hall Grahame H. (1996). *Phosphorus fractionation and mobility in the food and faeces of hatchery reared rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) Aquaculture* 145 (1996) 183-193.

- Gowen R.J. (1988). *Investigations into Benthic Enrichment, Hypertrophication and Eutrophication Associated with Mariculture in Scottish Coastal Waters*. University of Stirling, Department of Biological & Molecular Sciences.
- Harmel D., Potter S., Casebolt Pamela, Reckhow Ken, Green Colleen, e Haney Rick (2006). *Compilation of measured nutrient load data for agricultural land uses in the united states*. Journal Of The American Water Resources Association.
- INAG (2009). Projecto de POA. Volume II – Relatório Síntese, Fase 3 Outubro de 2009.
- INSAAR (2009). *Relatório do Estado do Abastecimento de Água e da Drenagem e Tratamento de Águas Residuais*. Sistemas Públicos Urbanos.
- Óscar Pereira J. e Emidio F. Gomes (1995). *Growth of rainbow trout fed a diet supplemented with earthworms, after chemical treatment*. Department of Animal Science, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Biomedical Sciences Institute, Oporto University.
- MAOT / INAG (2000). Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território / Instituto da Água. “Plano Nacional da Água”. Lisboa.
- Martin, J.L. (1987). *Application of a Two Dimensional Model of Hydrodynamics and Water Quality CE-QUAL-W2 to DeGray Lake, Arkansas*, Technical Rpt. E-87-1, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Mcintosh Denni, Ryder Erin, Dickenson Gary e Fitzsimmons Kevin (2004). *Laboratory Determination of a Phosphorus Leaching Rate from Trout (Onchorhynchus mykiss) Feces*. Journal Of The World Aquaculture Society.
- Meyer G., Masliev Ilya., Somlyódy László (1994). *Impact of Climate Change on Global Sensivity of Lake Stratification*. International Institute for Applied Systems Analysis, Austria.
- Metcalf and Eddy (1991). *Wastewater Engineering: Treatment/Disposal/Reuse*, 3ª Edição McGraw-Hill, New York.
- Monte, M.H.(s/data). *Requisitos de qualidade da água para reutilização*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL). Entidade Reguladora dos Serviços de água e Resíduos.
- Naylor Stephen J., Moccia Richard D., e M. Durant Gordon (1999). *The Chemical Composition of Settleable Solid Fish Waste (Manure) from Commercial Rainbow Trout Farms in Ontario, Canada*. North American Journal of Aquaculture 61:21-26.
- Novotny, V., Olem, H. (1994). *Water Quality - Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution*. New York (EUA), Van Nostrand Reinhold, ISBN 0-442-00559.
- Portaria n.º 810/90, de 10 de Setembro de 1990
- Kibria Golam, Nugegoda Dayanthi, Fairclough Robert e Paul Lam (1997). *The nutrient content and the release of nutrients from fish food and faeces*. Kluwer Academic Publishers.

- Kothandaraman, V., 1971. *Analysis of water temperature variations in a large river*. J. Sanitary Engineering Div. Amer. Soc.Civ. Eng. (SA1), pp. 19-31.
- Relicardo M. Coloso, King Kim, John W. Fletcher, Michael A. Hendrix, Mark Subramanyam, Peddrick Weis, Ronaldo P. Ferraris (2003). *Phosphorus utilization in rainbow trout (Onchorhynchus mykiss), fed practical diets and its consequences on effluent phosphorus levels*. Aquaculture 220 (2003) 801–820.
- Rodrigues, A.C., Diogo, P., Coelho, P., Mateus, N., Almeida, M., Silva, F. (2003). *Identificação de Zonas Sensíveis em Portugal Continental – Águas doces superficiais – Revisão*.
- Ramseyer Laurel J. e Garling Donald L.(s/data). *Fish nutrition and aquaculture waste management*. Department of Fisheries and Wildlife.
- Rast W. e Lee G. Fred (1978). *Summary analysis of the North American (US PORTION) OECD eutrophication project: nutrient loading – Lake response relationships and trophic state indices*. US Environmental Protection Agency. EPA – 600/3-78-008
- Rast Walter e G. Fred Lee, M. ASCE (1983). *Nutrient loading estimates for lakes*. Journal of Environmental Engineering, Vol. 109, No. 2.
- Sonzogni, W. C., P. D. Uttormark and G. F. Lee. (1976). *The Phosphorus Residence Time Model*. Water Res. 10:429-435.
- Stewart N. T., Boardman, Gregory D., Helfrich, Louis A. (2006). *Characterization of nutrient leaching rates from settled rainbow trout (Oncorhynchus mykiss)*, Aquacultural Engineering 35 (2006) 191–198.
- Tanik, A., Baykal, B.B., Gonenc, I.E. (1999). *The Impacts of Agricultural Pollutants in Six Drinking Water Reservoirs*. in Water Science and Tech., 40, 2, Elsevier 1999.
- Thomann e Muller (1987). *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*. Harper & Row, publishers, New York.
- Walker B., C.S. Holling, Stephen R. Caropenter e Ann Kinzig (2004). *Resilience, Adaptability and Transformability in Social-ecological Systems*. Conservation Ecology 9(2).
- Vuorenmaa J., S. Rekolainen, A. Lepistö, K. Kenttämies e P. Kauppila (2001). *Losses of nitrogen and phosphorus from agricultural and forest areas in Finland during the 1980s and 1990s*. Finnish Environment Institute, Helsinki, Finland
- US Environmental Protection Agency (1974). *The Relationship of Nitrogen and Phosphorus to the Trophic State of Northeast and North-Central Lakes and Reservoirs*. National Eutrophication Survey Working Paper No. 23, Pacific Northwest Environmental Research Laboratory, Corvallis. 28 pp.
- Uttormark, P. D., J. D. Chapin and K. M. Green. (1974). *Estimating Nutrient Loading of Lakes from Non-Point Sources*. US EPA Report EPA-660/3-74-02D. 112 pp.



**INSTITUTO
DA ÁGUA. I.P.**



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, MAR, AMBIENTE E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO