

**Relatório de Conformidade Ambiental do
Projecto de Execução do Troço de Ligação
Pisão-Roxo**

**Anexo 10 - Estudo de Simulação Matemática da
Qualidade da Água**

Relatório Final

EDIA, S.A.

Maior de 2008



ÍNDICE.....	PÁGINA
1. INTRODUÇÃO	1
2. METODOLOGIA.....	2
3. BALANÇO DE MASSAS	5
4. APLICAÇÃO DO MODELO QUAL2E – CANAIS DE ADUÇÃO	9
5. MODELO DE MISTURA COMPLETA – ALBUFEIRA DE PENEDRÃO	13
6. MODELO WQRRS – ALBUFEIRA DO ROXO	18
7. BIBLIOGRAFIA	31



1. INTRODUÇÃO

A Declaração de Impacte Ambiental dos Troços de Ligação Pisão-Roxo e Pisão-Beja, emitida na sequência da avaliação de impacte ambiental destes dois projectos em fase de estudo prévio, estabelece como elemento a apresentar no Relatório de Conformidade Ambiental do Projecto de Execução:

“Estudo relativo à avaliação da qualidade da água na albufeira do Alvito durante a fase de exploração do projecto, tendo em conta a evolução da qualidade da água na albufeira de Alqueva, a qualidade da água e os volumes de água a aduzir à albufeira de Alvito, a qualidade da água nesta albufeira e a qualidade da água das aflúências naturais à albufeira, assim como os escoamentos naturais à albufeira.”

Tendo em conta que a albufeira de Alvito se encontra fora do âmbito do presente projecto e que as questões relativas à futura qualidade nessa albufeira aquando da sua entrada em exploração integrada no EFMA, ou seja, quando receber água a partir da albufeira de Alqueva, foram avaliadas no âmbito de outro processo de AIA (Troço de Ligação Loureiro-Alvito), a **EDIA S.A.** considerou que a realização deste estudo, extravasa o âmbito do RECAPE do Troço de Ligação Pisão-Roxo.

No entanto, e tendo em conta que o Troço de Ligação Pisão-Roxo, corresponde ao conjunto de infra-estruturas que permitirão a adução de água à albufeira do Roxo e ainda, que esta albufeira armazena água para rega, consumo humano (e.g. cidade de Beja) e também para fins industriais, a **EDIA**, considerou pertinente a realização de estudos adicionais, cujos resultados permitam estimar a qualidade da água desta albufeira, após a sua integração na rede primária do EFMA.

Foi assim, neste âmbito, que se procedeu à realização do Estudo de Simulação Matemática da Qualidade da Água que será aduzida ao Roxo e que se apresenta no presente anexo do RECAPE.



2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento de um estudo de simulação matemática da qualidade da água que será aduzida à albufeira do Roxo, através do Troço de Ligação Pisão-Roxo, desenvolveu-se a simulação matemática da qualidade da água das albufeiras de Penedrão e do Roxo, bem como dos trechos em canal que fazem parte do Troço de Ligação Pisão-Roxo. Para a realização dos estudos de simulação matemática referidos, consideraram-se os dados de qualidade da água das albufeiras de Alqueva, Alvito e Roxo, que permitiram caracterizar as condições de fronteira e as afluições ao sistema a submeter a simulação.

Com efeito, para condição de fronteira de montante, foram considerados os dados de qualidade da água inerentes à albufeira do Alvito, como referência relativamente à qualidade da água aduzida para jusante dessa albufeira. Contudo, esses dados foram aferidos considerando os elementos referentes à qualidade da água da albufeira de Alqueva e os caudais que, a partir dessa origem de água, serão aduzidos à albufeira do Alvito e que condicionarão todo o processo de simulação matemática da qualidade da água que será aduzida à albufeira do Roxo, através do Troço de Ligação Pisão-Roxo.

A aferição da qualidade da água aduzida a partir da albufeira do Alvito foi realizada através de um balanço de massas, que considerou a qualidade da água das albufeiras de Alqueva e do Alvito, os valores de caudal aduzidos à albufeira do Alvito a partir da albufeira de Alqueva e o volume de água armazenado na albufeira do Alvito.

Posteriormente, procedeu-se à simulação da qualidade da água nos canais de adução que integram os troços Pisão-Ferreira e Ferreira-Penedrão. Essa simulação foi desenvolvida com o modelo QUAL2E, considerando a qualidade da água efluente da albufeira do Alvito e contemplando a, atrás referida, aferição dessa qualidade.

A simulação da qualidade da água da albufeira do Penedrão realizou-se com um modelo de mistura completa de lagos e albufeiras (Metcalf e Eddy, 1995). Inicialmente, considerou-se a hipótese de proceder à simulação matemática da qualidade da água da albufeira de Penedrão, não através da utilização de um modelo de mistura completa, mas sim utilizando um modelo unidimensional, o modelo WQRRS (Water Quality for River - Reservoir Systems – U.S. Army Corps of Engineers, The Hydrologic Engineering Center).

No entanto, os modelos unidimensionais deste tipo são particularmente eficientes no caso de albufeiras em que, no período mais quente do ano, se observa uma estratificação térmica bem marcada. No caso da futura albufeira de Penedrão, o reduzido tempo médio de retenção, de cerca



de dez dias (caudal médio afluyente de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ e volume de armazenamento de aproximadamente $5,2 \text{ hm}^3$), permite perspectivar que, nesta albufeira, o processo de estratificação térmica, a ocorrer, deverá ser pouco marcado. Esta situação justificou a opção pelo referido modelo de mistura completa, permitindo uma abordagem mais simples, mas sobretudo mais adequada, à simulação matemática da qualidade da água da albufeira de Penedrão.

Considerando os resultados da simulação matemática da qualidade da água da albufeira do Penedrão, foi possível determinar a qualidade da água afluyente à albufeira do Roxo, através do Troço de Ligação Pisão-Roxo. A simulação da qualidade da água desta albufeira foi realizada utilizando o modelo WQRRS, anteriormente referido.

Em resumo, e tendo como objectivo simular a qualidade da água que será aduzida, através do Troço de Ligação Pisão-Roxo, à albufeira do Roxo, definiu-se uma metodologia que inclui: um balanço de massas realizado para aferir a qualidade da água da Albufeira do Alvito; a simulação matemática da qualidade da água nos canais de adução que integram os troços Pisão-Ferreira e Ferreira-Penedrão, com o modelo QUAL2E; e a simulação matemática da qualidade da água das albufeiras do Penedrão e do Roxo, com um modelo de mistura completa e com o modelo WQRRS, respectivamente. Na Figura 2.1, pode observar-se uma representação esquemática da metodologia adoptada.

Os parâmetros descritores da qualidade da água considerados no exercício de simulação desenvolvido foram: temperatura, oxigénio dissolvido (OD), carência bioquímica de oxigénio ao final de cinco dias (CBO_5), azoto amoniacal (NH_4), nitritos (NO_2), nitratos (NO_3), fosfatos (P_2O_5), sólidos suspensos totais (SST) e coliformes fecais (CF).

Na análise realizada utilizaram-se dados de qualidade obtidos nas estações da Rede Nacional de Qualidade da Água (RQA), disponíveis através do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) do Instituto da Água (INAG), nomeadamente: albufeira de Alqueva - Captação (24L/03), albufeira do Alvito (24J02) e albufeira do Roxo (26I/02). Para essa análise, foram também utilizados dados de qualidade da água recolhidos através das campanhas de monitorização realizadas pela EDIA, nas albufeiras de Alqueva e do Alvito.

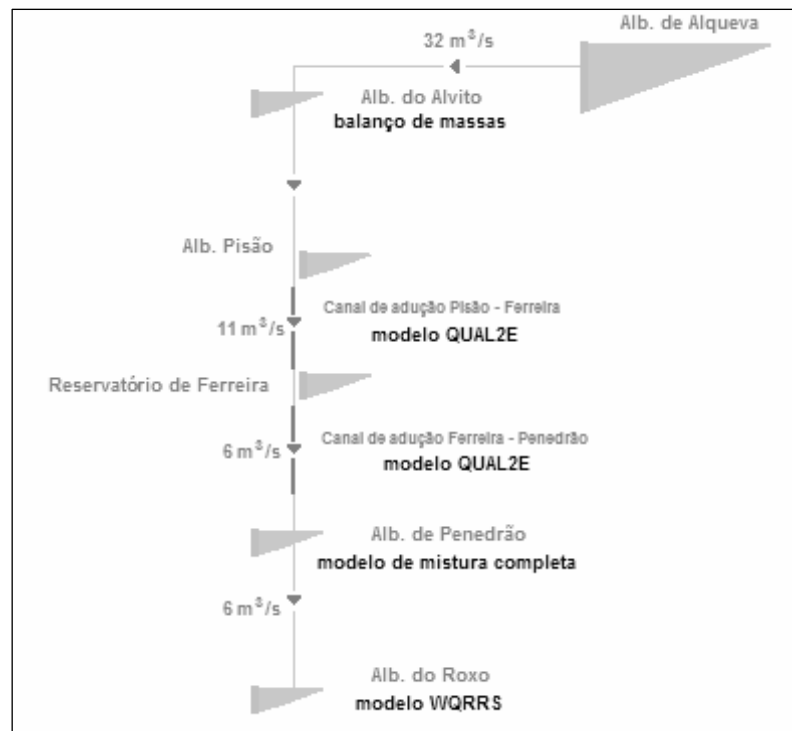


Figura 2.1- Representação esquemática da metodologia definida para a simulação da qualidade da água no Troço de Ligação Pisão-Roxo

No que se refere ao período temporal seleccionado para desenvolver o estudo de simulação matemática da qualidade da água realizado, optou-se por considerar os anos civis de 2004 e de 2005. Inicialmente, pensou-se em proceder à simulação dos anos de 2005 e de 2006, por se entender que seriam os anos mais recentes com um conjunto de dados suficientemente extenso que permitisse a sua simulação. No entanto, a indisponibilidade de dados relativamente às afluências, consumos e volumes armazenados na albufeira do Roxo, relativamente ao ano de 2006, inviabilizou a sua consideração.

Por outro lado, também se considerou a hipótese de trabalhar com valores médios, ao nível dos diversos parâmetros necessários ao funcionamento dos modelos, mas verificou-se que essa opção não seria a mais adequada, na medida em que as tendências de variação associadas aos vários descritores era esbatida pela adopção desses valores médios, dificultando a análise de resultados e a tomada de decisões.



3. BALANÇO DE MASSAS

O balanço de massas, realizado com o objectivo de estimar a concentração de diferentes parâmetros descritores da qualidade da água na albufeira do Alvito, tendo em consideração a adução de caudais com origem na albufeira de Alqueva, foi desenvolvido através da utilização da equação [1].

$$C_f = \frac{m_1 + (c_2 \times q_2 \times t)}{v_1 + (q_2 \times t)} \quad [1]$$

em que:

C_f – Concentração final do constituinte na albufeira do Alvito, mg/L;

m_1 – massa inicial do constituinte na albufeira do Alvito, mg;

v_1 – volume armazenado na albufeira do Alvito, L;

c_2 – concentração do constituinte afluente à albufeira do Alvito com origem na albufeira de Alqueva, num determinado período de tempo, mg/L;

q_2 – caudal aduzido à albufeira do Alvito com origem na albufeira de Alqueva, L/s;

t – período de tempo considerado.

A abordagem metodológica definida considera, conservativamente, que não existem perdas de massa resultantes dos processos de degradação/decaimento, usualmente associados a massas de água doce.

Nas Figuras 3.1 a 3.8, estabelece-se a comparação entre os valores da concentração inicial de cada um dos constituintes na albufeira do Alvito (Conc. Alvito [1]) e os correspondentes valores obtidos após a aferição efectuada através do balanço de massas adoptado (Conc. Alvito [2]), para os anos de 2004 e de 2005.

Relativamente aos valores da concentração do OD e da CBO5, verifica-se que não existem diferenças significativas, observando-se apenas um aumento dos valores de concentração da CBO5, durante os meses de Agosto, Setembro e Outubro no ano de 2004, e nos meses de Julho e Agosto no que se refere ao ano de 2005.



A comparação estabelecida permitiu também verificar que existe um acréscimo, nalguns casos com alguma expressão, dos valores da concentração dos parâmetros considerados ao nível dos ciclos do azoto e do fósforo, dos SST e dos coliformes fecais. Esta situação era expectável, tendo em consideração os valores da concentração destes parâmetros observados na albufeira de Alqueva, comparativamente ao que se passa na albufeira do Alvito.

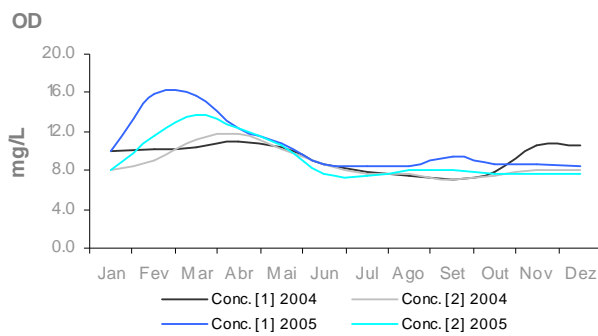


Figura 3.1 – Conc. Alvito – OD

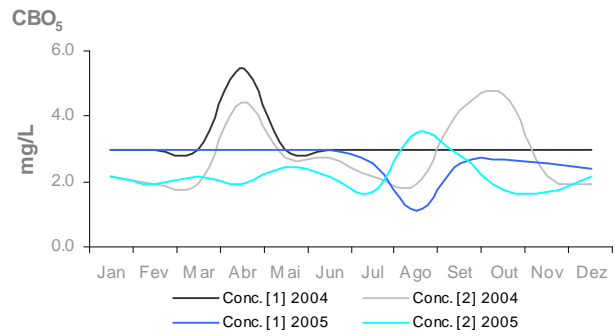


Figura 3.2 – Conc. Alvito – CBO₅

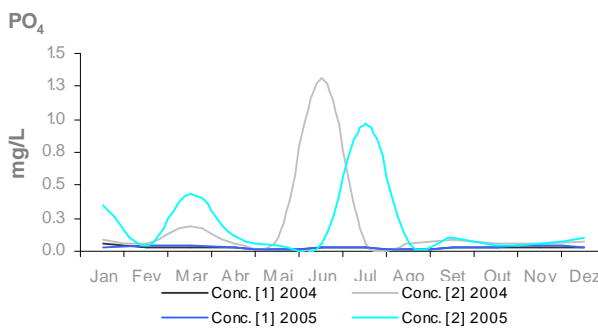


Figura 3.3 – Conc. Alvito – PO₄

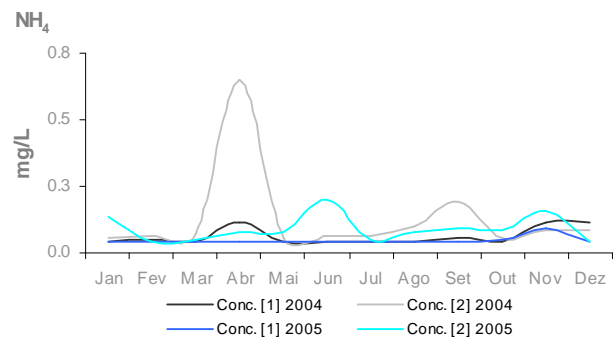


Figura 3.4 – Conc. Alvito – NH₄

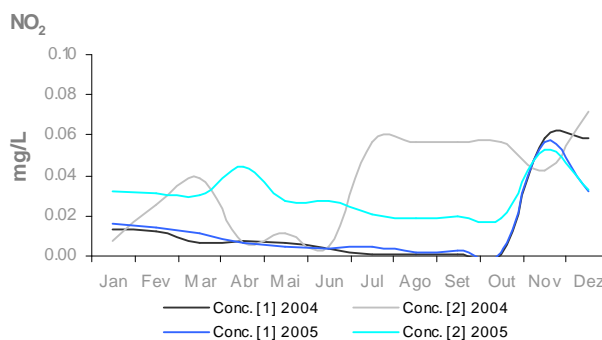


Figura 3.5 – Conc. Alvito – NO₂

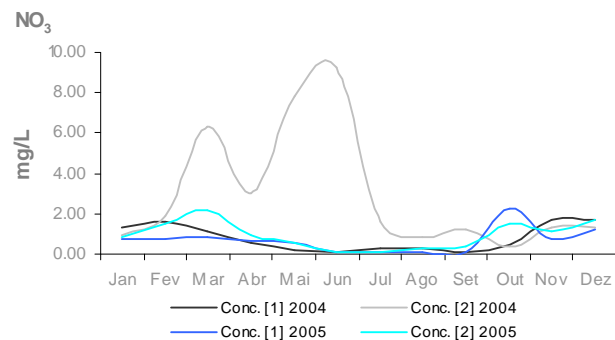


Figura 3.6 – Conc. Alvito – NO₃

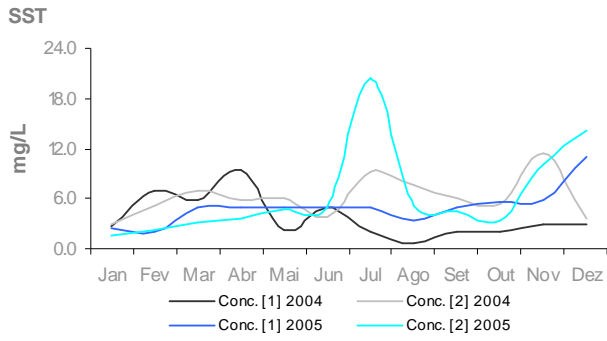


Figura 3.7 – Conc. Alvito – SST

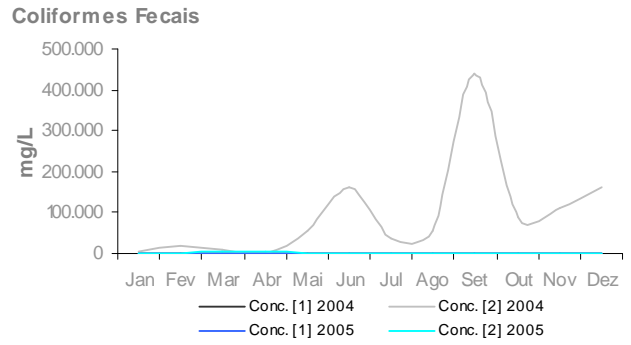


Figura 3.8 – Conc. Alvito – Coliformes Fecais



4. APLICAÇÃO DO MODELO QUAL2E – CANAIS DE ADUÇÃO

Os resultados da aferição da qualidade da água efectuada, utilizando o balanço de massas definido, foram utilizados para proceder à simulação da qualidade da água nos canais de adução que integram os troços Pisão - Ferreira e Ferreira - Penedrão, através da aplicação do modelo QUAL2E.

O modelo QUAL2E foi utilizado na sua versão 3.0, EPA/600/3-87/007 de Julho de 1987, distribuído pelo “Center for Environmental Research Information (CERI)” da “United States Environmental Protection Agency (USEPA)”, BROWN e BARNWELL (1987). Este modelo foi considerado adequado face aos objectivos do trabalho a desenvolver e aos dados disponíveis, para além de que tem sido utilizado em todo o Mundo com bons resultados, quer para efeitos de planeamento quer de simulação do comportamento de diferentes sistemas.

O modelo QUAL2E consiste fundamentalmente em dois módulos distintos: o de escoamento hidráulico; e o de qualidade da água. O modelo permite simular até quinze parâmetros de qualidade da água, em qualquer combinação pretendida pelo utilizador. É aplicável a sistemas dendríticos com boas condições de mistura. Assume que os principais mecanismos de transporte, advecção e dispersão, são significativos apenas segundo a direcção principal do escoamento - o eixo longitudinal do curso de água. Permite a consideração de múltiplas descargas de poluição, tomadas de água, afluentes e acumulação ou diminuição de caudal ao longo de cada troço. Em termos hidráulicos o QUAL2E está limitado à simulação de períodos de tempo em que o regime do escoamento possa ser considerado permanente.

A equação de base que é resolvida pelo modelo QUAL2E é a equação unidimensional de transporte de massa (equação [2]), que considera a advecção e a dispersão, e que é numericamente integrada em ordem ao espaço e ao tempo para cada parâmetro de qualidade da água. Esta equação inclui os efeitos da advecção, dispersão, diluição, reacções sofridas pelo parâmetro em questão e as fontes e sumidouros do mesmo. Para qualquer parâmetro, C, esta equação pode ser escrita como:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial \left(A_x \cdot D_L \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \right)}{\partial x} dx - \frac{\partial (A_x \cdot u \cdot C)}{\partial x} dx + (A_x \cdot dx) \cdot \frac{dC}{dt} \pm S \quad [2]$$



em que:

M – massa do constituinte, mg;

x – distância, m;

t – tempo, s;

C – concentração do constituinte, mg.L⁻¹;

A_x – área da secção transversal, m²;

D_L – coeficiente de dispersão longitudinal, m².s⁻¹;

u – velocidade média do escoamento, m.s⁻¹;

S – fontes ou sumidouros externos, mg.s⁻¹.

A representação conceptual dos canais a simular envolve a definição gráfica dos mesmos, através da descrição das suas propriedades geométricas, das suas condições de fronteira e das inter-relações entre as suas várias secções. Normalmente, este processo consiste na divisão do sistema a modelar em elementos computacionais discretos, com uma dimensão compatível com os objectivos da aplicação do modelo, na definição desses elementos de acordo com algumas regras geométricas simples e na definição da forma como esses elementos estão ligados, quer física quer funcionalmente, constituindo partes integrantes de um todo. Tratando-se de canais trapezoidais, com características geométricas perfeitamente definidas, a representação conceptual dos mesmos é particularmente simples, por comparação com o trabalho de levantamento que é necessário desenvolver quando se trata de cursos de água naturais.

Assim, consideraram-se dois troços de canal relativamente aos quais foi aplicado o modelo QUAL2E. Um primeiro troço, com um desenvolvimento de cerca de 6.5 km, incluído na ligação Pisão-Ferreira, e um segundo troço, com um desenvolvimento de sensivelmente 2.5 km, que faz parte da ligação Ferreira-Penedrão. Em qualquer um dos dois troços simulados consideraram-se características hidráulicas homogéneas, ao longo de cada troço. Para a dimensão dos elementos computacionais que constituem cada um dos troços adoptou-se o valor de 0.5 km. Esta escolha foi determinada por se considerar que a discretização de 500 m em 500 m é perfeitamente suficiente em termos da escala a adoptar no presente trabalho.

Os resultados obtidos, em termos da concentração dos diferentes parâmetros descritores da qualidade da água, relativamente às secções de montante e de jusante de cada um dos canais considerados, foram, em qualquer dos casos, muito semelhantes, ou seja, não se verificaram



alterações significativas na concentração dos diferentes parâmetros descritores da qualidade da água simulados, ao longo do desenvolvimento dos canais.

Esta situação está de acordo com o que, à partida, seria expectável, tendo em atenção o reduzido desenvolvimento dos canais, as velocidades de escoamento obtidas (da ordem de 1 m/s) e, conseqüentemente, dos tempos de percurso relativamente reduzidos (cerca de 1.8 horas e 0.7 horas, respectivamente para o primeiro troço e para o segundo troço). Com efeito, face a estes valores, não seria de esperar diferenças significativas relativamente à concentração dos diferentes parâmetros descritores da qualidade da água, simplesmente porque não há tempo suficiente para que os processos que conduzem à alteração das referidas concentrações actuem de forma sensível. No Quadro 4.1 são apresentados, para os diferentes parâmetros submetidos a simulação e para os anos de 2004 e de 2005, os valores obtidos para as correspondentes concentrações no início e no final de cada troço.



Quadro 4.1

Valores obtidos no início e no final de cada troço – simulações efectuadas com o modelo QUAL2E para os anos de 2004 e de 2005

2004	Temp.(°C)			OD (mg/L)			CBO ₅ (mg/L)		
	Início 1.º Troço	Final 1.º/ Início 2.º Troço	Final 2.º Troço	Início do 1.º Troço	Final 1.º/ Início 2.º Troço	Final do 2.º Troço	Início 1.º Troço	Final 1.º/ Início 2.º Troço	Final 2.º Troço
Fev.	13.80	13.82	13.83	9.04	9.02	9.02	1.90	1.85	1.83
Mar.	14.20	14.31	14.38	11.27	11.13	11.06	1.90	1.85	1.83
Abr.	17.20	17.33	17.40	11.81	11.48	11.33	4.40	4.27	4.21
Mai.	18.30	18.44	18.50	10.29	10.1	10.01	2.73	2.65	2.61
Jun.	24.70	24.67	24.65	8.56	8.36	8.27	2.73	2.62	2.57
Jul.	27.40	27.56	27.56	7.62	7.45	7.38	2.18	2.08	2.04
Ago.	27.00	26.99	26.99	7.58	7.44	7.38	1.90	1.81	1.77
Set.	23.90	23.97	24.01	7.11	6.91	6.83	4.19	4.02	3.95
2004	NH ₄ (mg/L)			NO ₂ (mg/L)			NO ₃ (mg/L)		
	Início 1.º Troço	Final 1.º/ Início 2.º Troço	Final 2.º Troço	Início 1.º Troço	Final 1.º/ Início 2.º Troço	Final 2.º Troço	Início 1.º Troço	Final 1.º/ Início 2.º Troço	Final 2.º Troço
Fev.	0.06	0.06	0.06	0.03	0.03	0.03	1.93	1.93	1.93
Mar.	0.07	0.07	0.07	0.04	0.04	0.04	6.33	6.33	6.33
Abr.	0.65	0.65	0.65	0.01	0.01	0.01	3.05	3.05	3.05
Mai.	0.06	0.06	0.06	0.01	0.01	0.01	7.87	7.87	7.87
Jun.	0.06	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	9.28	9.28	9.28
Jul.	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	1.59	1.60	1.60
Ago.	0.10	0.10	0.10	0.06	0.05	0.05	0.84	0.85	0.85
Set.	0.19	0.19	0.19	0.06	0.05	0.05	1.25	1.26	1.26
2004	PO ₄ (mg/L)			SST (mg/L)			CF (NMP/100 mL)		
	Início 1.º Troço	Final 1.º/ Início 2.º Troço	Final 2.º Troço	Início 1.º Troço	Final 1.º/ Início 2.º Troço	Final 2.º Troço	Início 1.º Troço	Final 1.º/ Início 2.º Troço	Final 2.º Troço
Fev.	0.06	0.06	0.06	5.08	5.08	5.08	16 428	15 278	14 820
Mar.	0.19	0.19	0.19	7.05	7.05	7.05	9 867	9 252	8 987
Abr.	0.06	0.06	0.06	5.80	5.80	5.80	1 100	1 022	989
Mai.	0.09	0.09	0.09	6.06	6.06	6.06	54 751	50 918	49 391
Jun.	1.32	1.32	1.32	3.74	3.74	3.74	164 257	152 759	148 176
Jul.	0.06	0.06	0.06	9.12	9.12	9.12	38 337	35 653	34 583
Ago.	0.06	0.06	0.06	7.71	7.71	7.71	54 972	51 124	49 591
Set.	0.09	0.09	0.09	6.11	6.11	6.11	438 010	407 349	395 129



5. MODELO DE MISTURA COMPLETA – ALBUFEIRA DE PENEDRÃO

Os resultados das simulações realizadas com o modelo QUAL2E permitiram caracterizar a qualidade da água afluyente à albufeira de Penedrão e, assim, proceder à simulação matemática da qualidade da água na mesma, utilizando o atrás referido modelo de mistura completa.

Neste tipo de modelos é assumido, de acordo com a sua própria designação, que a massa de água é permanentemente sujeita a mistura completa. Na abordagem à mistura completa de uma albufeira assume-se que a concentração de um determinado constituinte é aproximadamente uniforme, ao longo do tempo, em toda a massa de água. Neste caso, a seguinte equação de conservação da massa [3] pode ser integrada em ordem ao volume da albufeira, originando assim a equação [4], para os descritores sujeitos a um único processo de decaimento de primeira ordem.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -U \frac{\partial C}{\partial x} - V \frac{\partial C}{\partial y} - W \frac{\partial C}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[E_x \frac{\partial C}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[E_y \frac{\partial C}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[E_z \frac{\partial C}{\partial z} \right] + \sum r_i + \sum I_j \quad [3]$$

em que:

C = concentração do constituinte na massa de água, mg.L⁻¹;

U = velocidade da água na direcção x, m.s⁻¹;

V = velocidade da água na direcção y, m.s⁻¹;

W = velocidade da água na direcção z, m.s⁻¹;

E_x = coeficiente de difusão na direcção x, m².s⁻¹;

E_y = coeficiente de difusão na direcção y, m².s⁻¹;

E_z = coeficiente de difusão na direcção z, m².s⁻¹;

r = taxa de variação de oxigénio dissolvido mg.L⁻¹.s⁻¹;

I = massa injectada por unidade de tempo e por unidade de volume de água, mg.L⁻¹.s⁻¹;

i = índice do processo de transformação;



j = índice do processo de identificação.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -KC + \sum I_j + \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial t} C \quad [4]$$

K = taxa de decaimento, s^{-1} .

O último termo da equação [4], considera as alterações de volume na albufeira originadas pelos caudais afluentes, caudais efluentes, precipitação e evaporação. As afluências externas a considerar correspondem à precipitação (Q_p), ao escoamento superficial (Q_s), ao escoamento subterrâneo (Q_r), à alimentação por pequenas linhas de água (Q_g) e às águas residuais (Q_w). Devem-se considerar também as concentrações C_p , C_s , C_r , C_g , C_w , dos diferentes descritores, em cada uma das afluências externas. Os efluentes da albufeira resultam numa entrada externa negativa, Q_0 , com uma concentração igual à concentração de cada parâmetro na albufeira. A evaporação de água a partir da superfície da albufeira geralmente não conduz à diminuição da concentração dos nutrientes (Metcalf & Eddy, 1995).

O balanço de afluências é, assim, dado pela seguinte equação [5]:

$$\sum I_j = \frac{Q_p C_p + Q_s C_s + Q_r C_r + Q_g C_g + Q_w C_w - Q_0 C}{V} = \frac{M' - Q_0 C}{V} \quad [5]$$

em que:

V = volume da albufeira, L;

M' = caudal mássico de cada parâmetro afluente à albufeira, $mg \cdot s^{-1}$, dado por $Q_p C_p + Q_s C_s + Q_r C_r + Q_g C_g + Q_w C_w$.

Substituindo a equação [5] na equação [4], e integrando em ordem ao tempo, obtém-se a seguinte equação:

$$C = \frac{M'}{V\beta} \left[1 - \exp\left(-\int_0^t \beta\right) \right] + C_0 \exp\left(-\int_0^t \beta dt\right) \quad [6]$$



em que:

$\beta = K + (Q_0 + dv/dt)/V$, designado por constante do tempo de residência, s⁻¹;

C_0 = concentração inicial (t=0), mg.L⁻¹.

Quando o volume de água armazenado na albufeira permanece constante, então $dV/dt=0$ e β é constante:

$$\int_0^t \beta dt = \beta \quad [7]$$

ou seja $\beta = K + (Q_0/V)$, s⁻¹

Quando na equação [6], $t \rightarrow \infty$, então a concentração converge assintoticamente para o equilíbrio (Metcalf & Eddy, 1995).

Assim sendo:

$$C_e = M'/V \beta \quad [8]$$

C_e = concentração de qualquer parâmetro, mg.L⁻¹.

Utilizando as taxas de decaimento apresentadas no Quadro 5.1, admitindo que o caudal afluente à albufeira é igual ao caudal efluente (Q_0) e considerando que o volume armazenado na albufeira é constante, torna-se possível, através da equação [8], calcular a concentração (C_e), na albufeira de Penedrão, dos vários parâmetros simulados, aplicando o modelo de mistura completa seleccionado.

A análise dos resultados obtidos, apresentados nas Figuras 5.1 a 5.8, permite observar uma redução dos valores da concentração de todos os constituintes, de acordo com o que seria expectável em função do decaimento associado à simulação realizada. Deve referir-se que as maiores reduções do valor da concentração estão associadas à CBO₅ e aos coliformes fecais, e as menores ao NH₄ e ao PO₄.

Quadro 5.1

Taxas de decaimento consideradas

Parâmetro	Taxa de decaimento (dia ⁻¹)	Referência bibliográfica
OD	0.03	EPA, 1985
CBO ₅	0.25	EPA, 1985
PO ₄	0.003	EPA, 1985
NH ₄	0.013	EPA, 1985
NO ₂	0.05	EPA, 1985
NO ₃	0.05	EPA, 1985
SST	0.1	EPA, 1985
Coliformes fecais	1.2	EPA, 1985

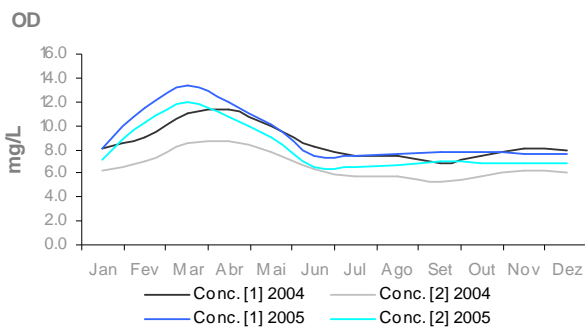


Figura 5.1 – Conc. Penedrão – OD

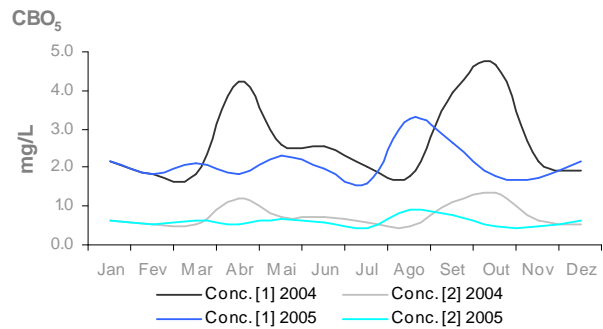


Figura 5.2 – Conc. Penedrão – CBO₅

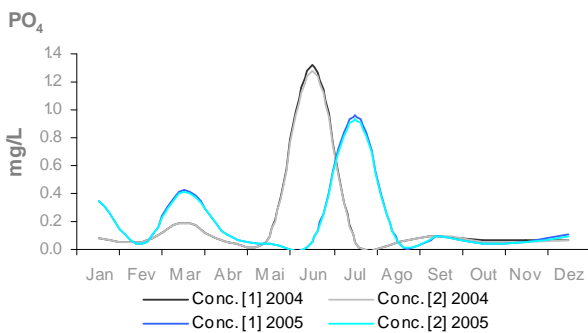


Figura 5.3 – Conc. Penedrão – PO₄

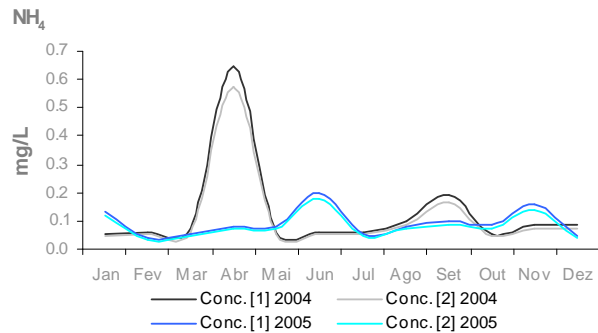


Figura 5.4 – Conc. Penedrão – NH₄

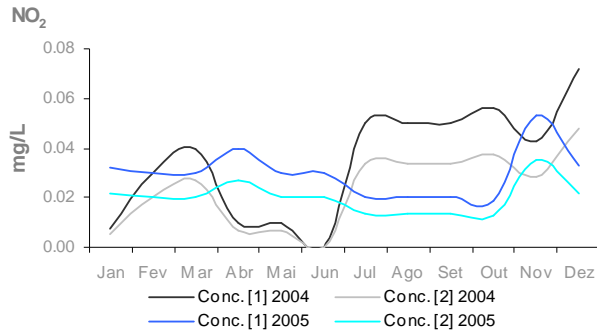


Figura 5.5 – Conc. Penedrão – NO₂

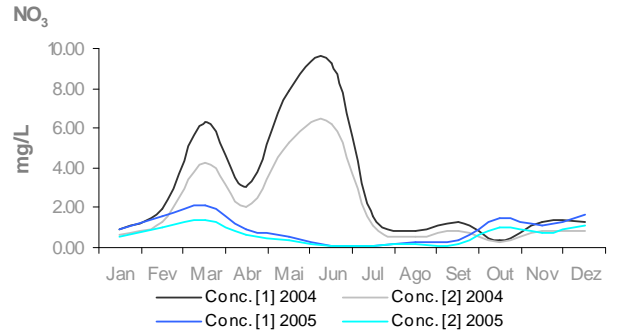


Figura 5.6 – Conc. Penedrão – NO₃

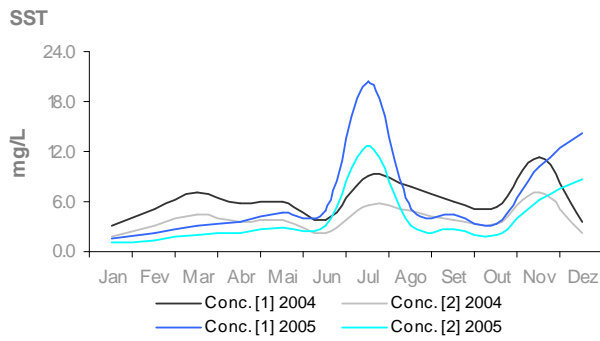


Figura 5.7 – Conc. Penedrão – SST

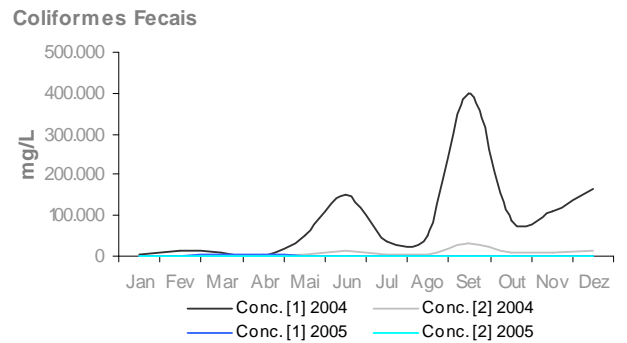


Figura 5.4 – Conc. Penedrão – Col. fecais



6. MODELO WQRRS – ALBUFEIRA DO ROXO

Os resultados das simulações efectuadas com o modelo de mistura completa permitiram caracterizar a qualidade da água afluyente à albufeira do Roxo, através do Troço de Ligação Pisão-Roxo. Assim, foi possível proceder à simulação matemática da qualidade dessa massa de água, possibilitando uma análise quantitativa das potenciais alterações que serão determinadas pela referida adução, comparativamente à situação que actualmente se verifica.

O modelo utilizado para a simulação da qualidade da água da albufeira do Roxo foi, de acordo com o atrás referido, o WQRRS – “Water Quality for River-Reservoir Systems”, desenvolvido pelo “Hydrologic Engineering Centre do US Army Corps of Engineers” (1978). O modelo permite a simulação de um grande número de parâmetros de qualidade da água, destacando-se a temperatura, o oxigénio dissolvido, a carência bioquímica de oxigénio, vários nutrientes e outros parâmetros, conservativos e não conservativos.

Trata-se de um modelo unidimensional, de camadas, adequado ao estudo de albufeiras relativamente profundas, com estratificação térmica, em que o sistema é descrito como uma sucessão unidimensional de elementos de volume de água, de espessura uniforme e limitados por planos horizontais, balizados pelos limites da albufeira.

O modelo permite ainda a consideração de aflúncias ou descargas situadas a qualquer profundidade, resultando no transporte vertical de massas de água entre os diferentes elementos do sistema. O balanço hídrico global realizado pelo modelo tem em conta as variações da cota da superfície livre, em função do volume de água armazenado e das contribuições das aflúncias, das descargas, da precipitação, da evaporação e da infiltração, caso estas sejam importantes.

A formulação matemática do modelo baseia-se no facto da dinâmica de cada parâmetro se poder expressar através dos princípios de conservação da massa e energia, usados para derivar a equação diferencial que permite simular a temperatura da massa de água e a concentração dos diferentes constituintes. Essa equação é apresentada em seguida:

$$V \cdot (\partial C / \partial t) = \Delta z \cdot Q_z \cdot (\partial C / \partial z) + \Delta z \cdot A_z \cdot D_c \cdot (\partial^2 C / \partial z^2) + Q_i \cdot C_i - Q_o \cdot C \pm V \cdot S \quad [9]$$

em que:

C – temperatura ou concentração de qualquer constituinte, em unidades apropriadas;



V – volume de cada elemento do sistema, m^3 ;

t – coordenada temporal, s;

z – coordenada espacial (vertical), m;

Q_z – advecção vertical, $m^3.s^{-1}$;

A_z – área superficial de cada elemento do sistema, normal à direcção do fluxo, m^2 ;

D_c – coeficiente de difusão efectiva, $m^2.s^{-1}$;

Q_i – caudal lateral entrado em cada elemento, $m^3.s^{-1}$;

C_i – fluxo de energia térmica ou de concentração de qualquer constituinte, em unidades apropriadas;

Q_0 – caudal lateral saído de cada elemento, $m^3.s^{-1}$;

S – todas as fontes e sumidouros, em unidades apropriadas.

Os termos correspondentes às fontes e sumidouros inerentes à temperatura estão limitados aos fluxos de energia externos. Para os restantes parâmetros de qualidade da água as fontes e sumidouros podem incluir deposição, reacções de decaimento de primeira ordem, rearejamento, reacções químicas e bioquímicas, crescimento, respiração e mortalidade, incluindo predação.

A primeira fase de aplicação do modelo WQRRS correspondeu à sua calibração, para as condições inerentes ao ano civil de 2004, como forma de caracterizar a situação actual, definindo-se assim uma base de comparação para os resultados das simulações subsequentes, que já contemplarão a adução de água à albufeira através do Troço de Ligação Pisão-Roxo. Deste modo, procedeu-se à calibração do modelo para as condições inerentes ao ano de 2004, e desenvolveu-se a simulação da adução para os anos de 2004 e de 2005, de acordo com o anteriormente referido. Contudo, não foi possível proceder à calibração do modelo para o ano de 2005, uma vez que não se encontraram disponíveis dados de monitorização da albufeira do Roxo para esse ano ao longo da coluna de água, estando apenas disponíveis resultados de amostragens realizadas à superfície, e mesmo assim apresentando diversas falhas.

A calibração do modelo WQRRS foi efectuada por um processo iterativo, através da

adequação ao caso em análise do valor correspondente a algumas constantes do modelo, como por exemplo as taxas de decaimento dos constituintes simulados. Após cada exercício de simulação, os resultados obtidos foram sucessivamente comparados com os valores observados a diferentes profundidades na estação de qualidade da água da albufeira do Roxo (26I/02), até que se obtivesse o melhor ajustamento possível para cada parâmetro submetido a simulação.

A análise dos resultados obtidos (figuras 6.1 a 6.40) permite concluir que, de uma forma geral, se obteve um bom ajustamento entre os resultados do modelo e os valores observados na albufeira do Roxo, nomeadamente ao nível das tendências de evolução, quer em termos espaciais (ao longo da coluna de água), quer temporais (ao longo do ano). Assim, conseguiu-se definir uma base que permite, de acordo com o objectivo atrás referido, estabelecer a comparação entre a situação actual e a que decorrerá da consideração das afluências à albufeira do Roxo através do Troço de Ligação Pisão-Roxo. Os resultados obtidos são apresentados para quatro meses do ano: Janeiro, Abril, Julho e Dezembro. Esta opção justifica-se para reduzir a quantidade de informação a apresentar, mas permite analisar um ciclo anual completo, destacando-se cada um dos períodos característicos do ano.

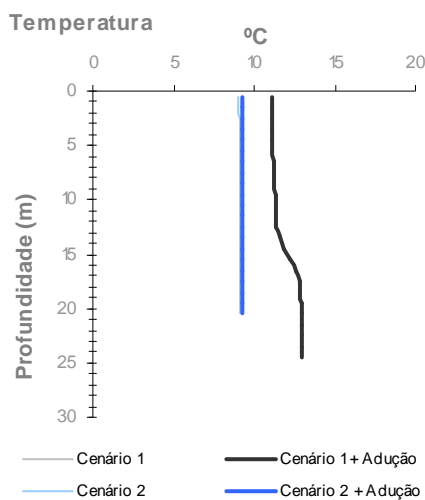


Figura 6.1 – Alb. Roxo – Temp Janeiro de 2004 e 2005

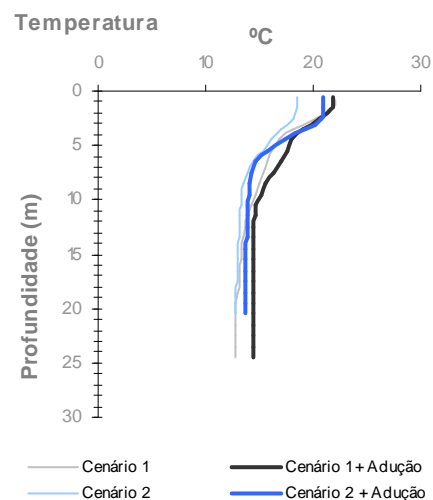


Figura 6.2 – Alb. Roxo – Temp Abril de 2004 e 2005

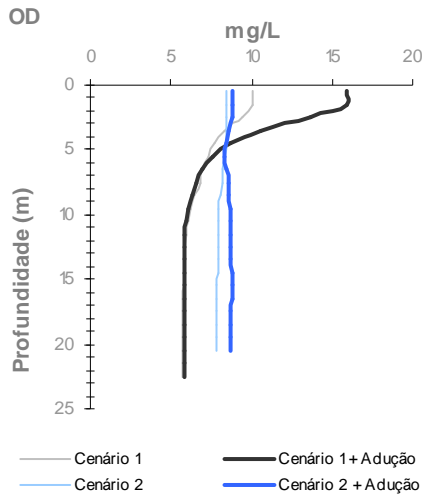


Figura 6.3 – Alb. Roxo – Temp Julho de 2004 e 2005

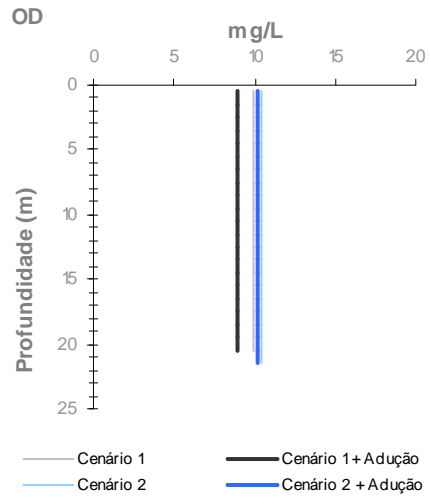


Figura 6.4 – Alb. Roxo – Temp Dezembro de 2004 e 2005

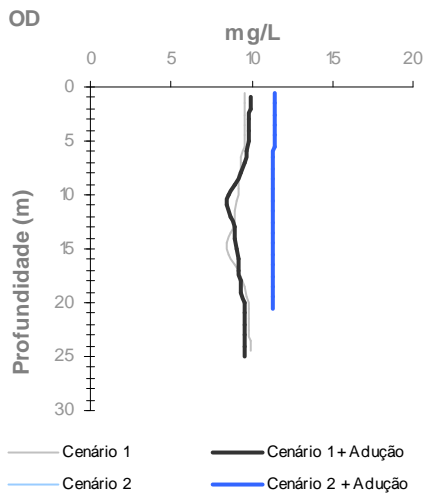


Figura 6.5 – Alb. Roxo – OD Janeiro de 2004 e 2005

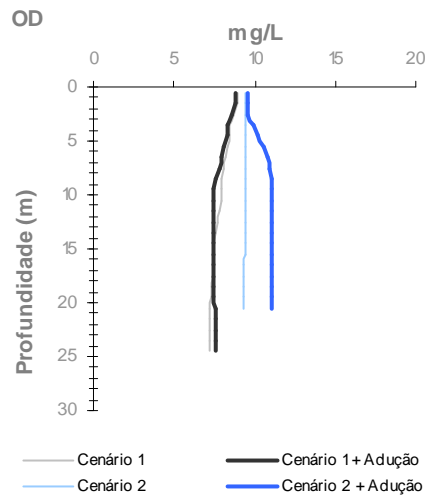


Figura 6.6 – Alb. Roxo – OD Abril de 2004 e 2005

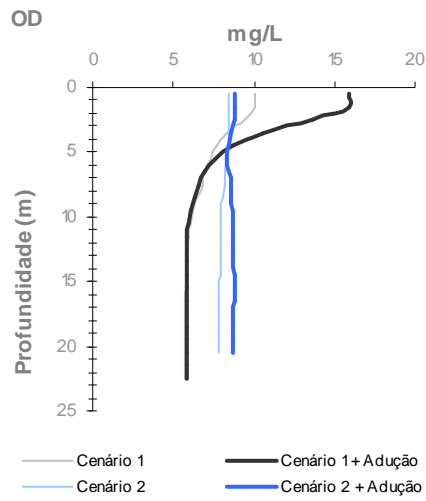


Figura 6.7 – Alb. Roxo – OD Julho de 2004 e 2005

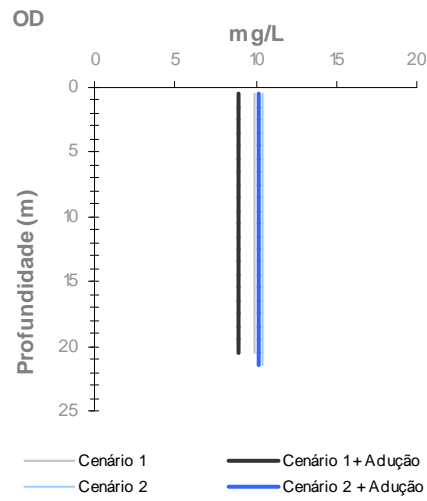


Figura 6.8 – Alb. Roxo – OD Dezembro de 2004 e 2005

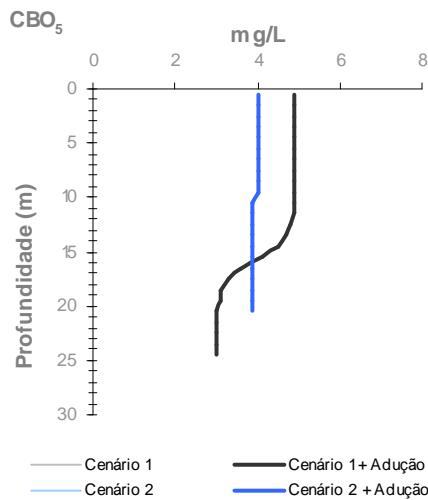


Figura 6.9 – Alb. Roxo – CBO₅ Janeiro de 2004 e 2005

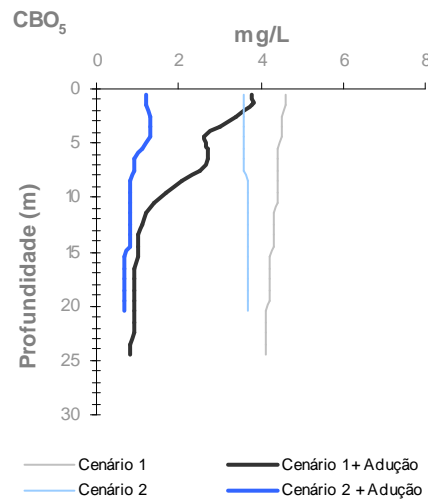


Figura 6.10 – Alb. Roxo – CBO₅ Abril de 2004 e 2005

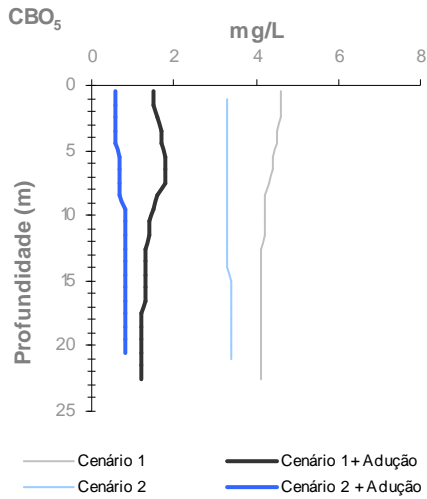


Figura 6.11 – Alb. Roxo – CBO₅ Julho de 2004 e 2005

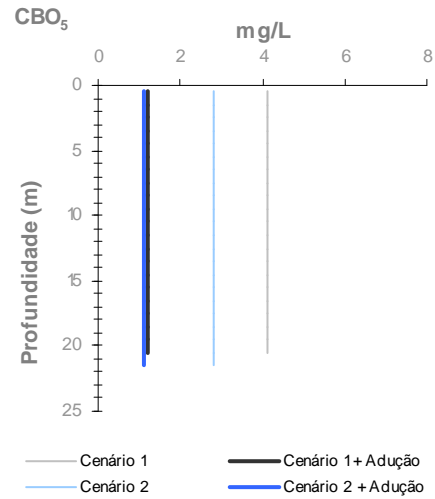


Figura 6.12 – Alb. Roxo – CBO₅ Dezembro de 2004 e 2005

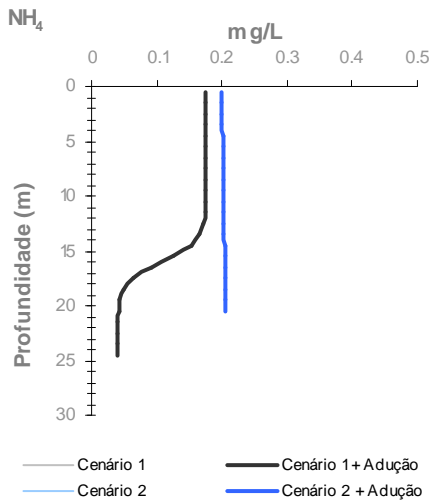


Figura 6.13 – Alb. Roxo – NH₄ Janeiro de 2004 e 2005

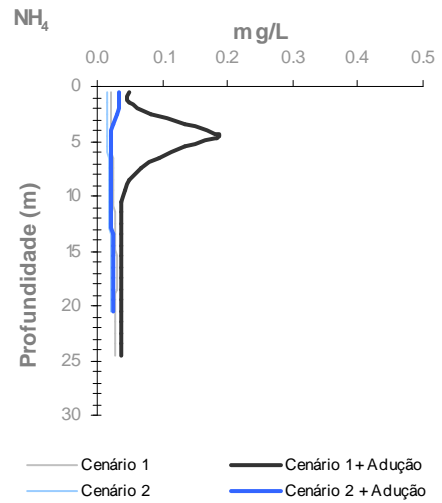


Figura 6.14 – Alb. Roxo – NH₄ Abril de 2004 e 2005

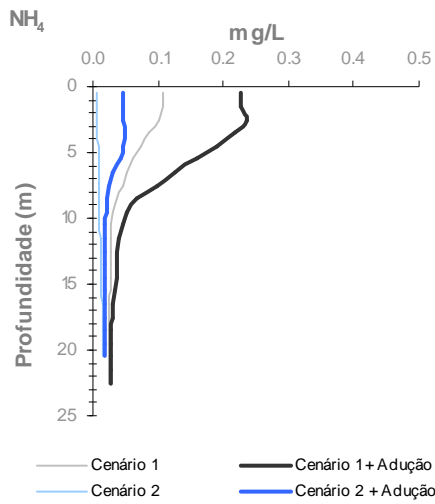


Figura 6.15 – Alb. Roxo – NH₄ Julho de 2004 e 2005

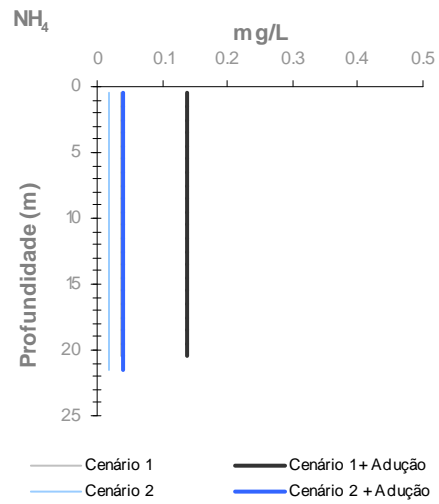


Figura 6.16 – Alb. Roxo – NH₄ Dezembro de 2004 e 2005

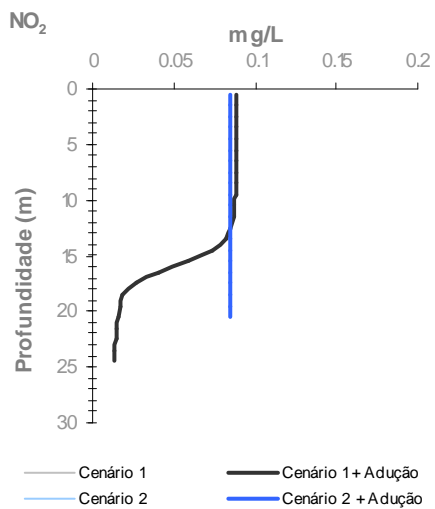


Figura 6.17 – Alb. Roxo – NO₂ Janeiro de 2004 e 2005

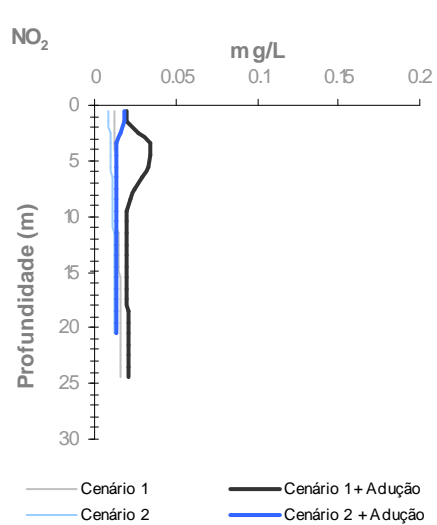


Figura 6.18 – Alb. Roxo – NO₂ Abril de 2004 e 2005

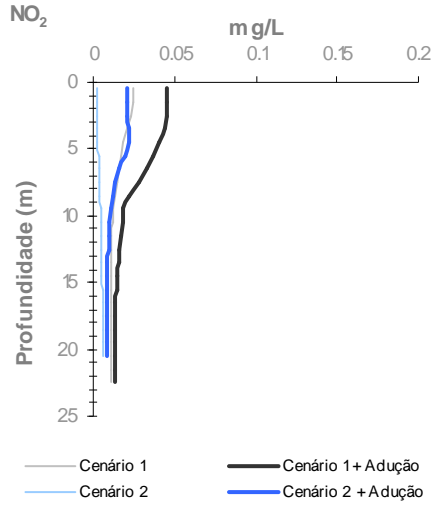


Figura 6.19 – Alb. Roxo – NO₂ Julho de 2004 e 2005

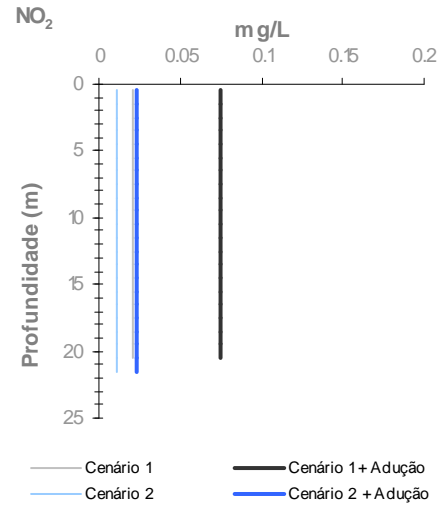


Figura 6.20 – Alb. Roxo – NO₂ Dezembro de 2004 e 2005

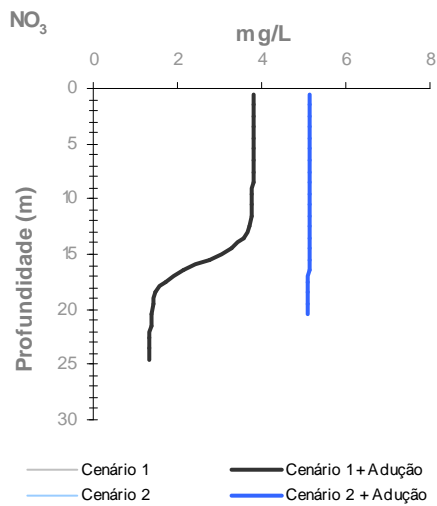


Figura 6.21 – Alb. Roxo – NO₃ Janeiro de 2004 e 2005

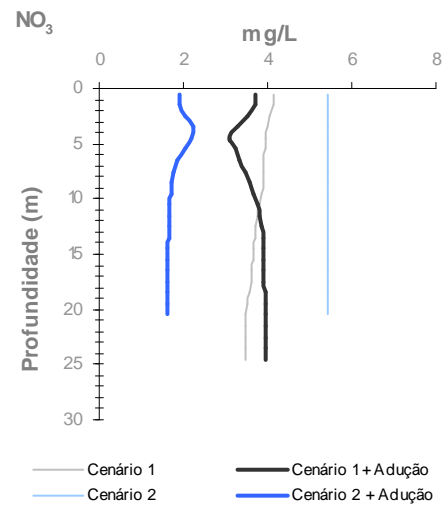


Figura 6.22 – Alb. Roxo – NO₃ Abril de 2004 e 2005

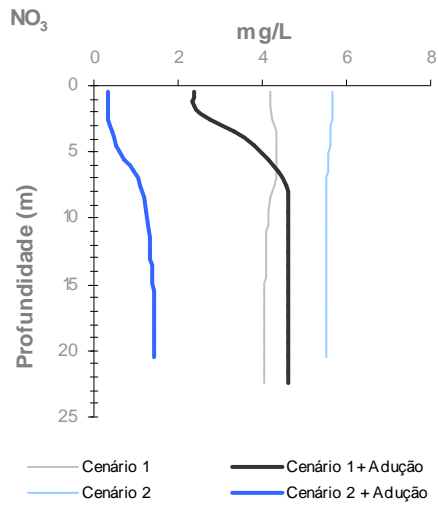


Figura 6.23 – Alb. Roxo – NO₃ Julho de 2004 e 2005

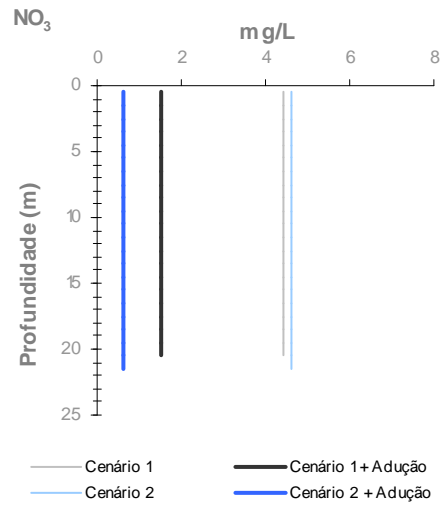


Figura 6.24 – Alb. Roxo – NO₃ Dezembro de 2004 e 2005

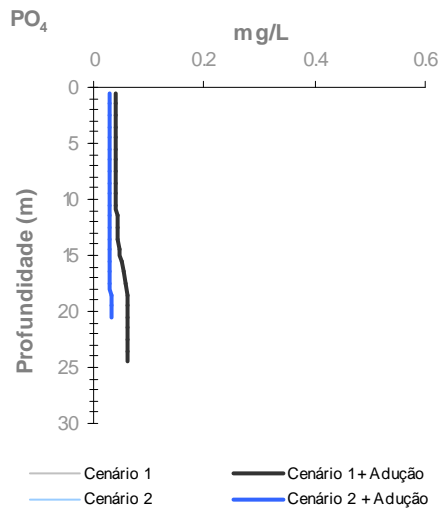


Figura 6.25 – Alb. Roxo – PO₄ Janeiro de 2004 e 2005

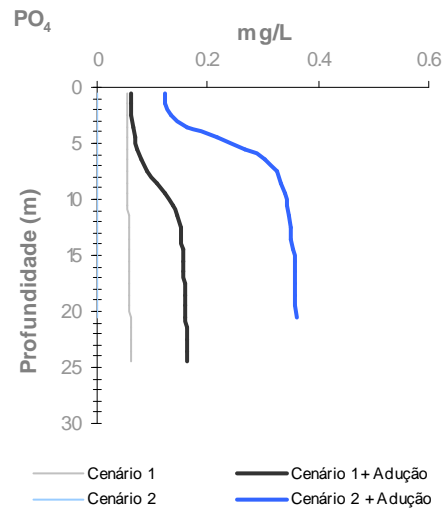


Figura 6.26 – Alb. Roxo – PO₄ Abril de 2004 e 2005

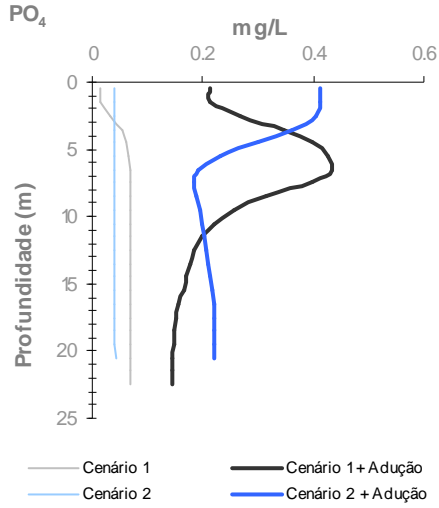


Figura 6.27 – Alb. Roxo – PO₄ Julho de 2004 e 2005

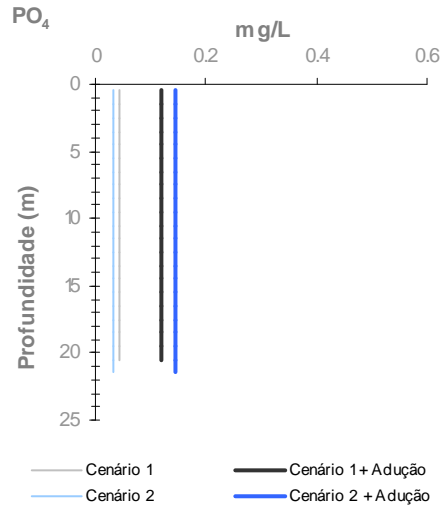


Figura 6.28 – Alb. Roxo – PO₄ Dezembro de 2004 e 2005

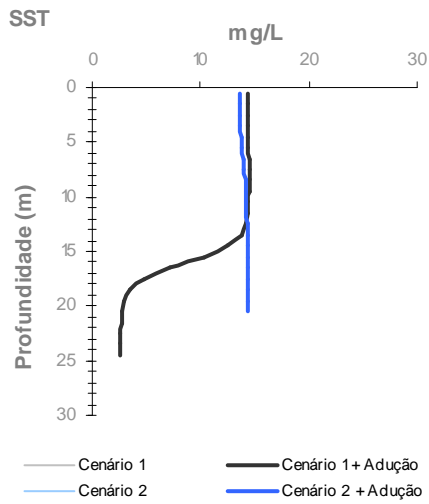


Figura 6.29 – Alb. Roxo – SST Janeiro de 2004 e 2005

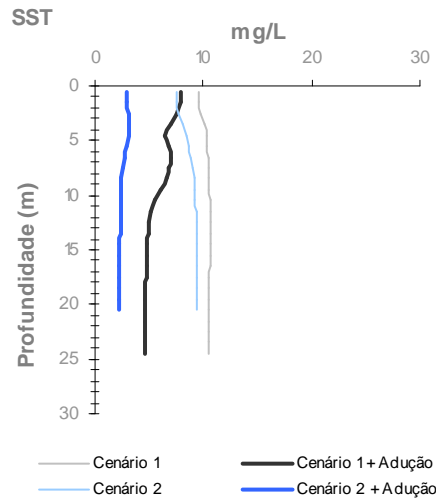


Figura 6.30 – Alb. Roxo – SST Abril de 2004 e 2005

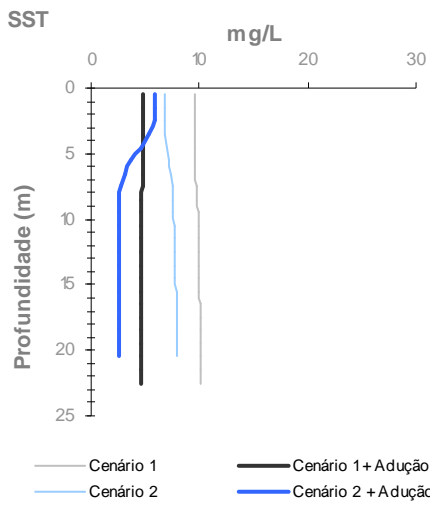


Figura 6.31 – Alb. Roxo – SST Julho de 2004 e 2005

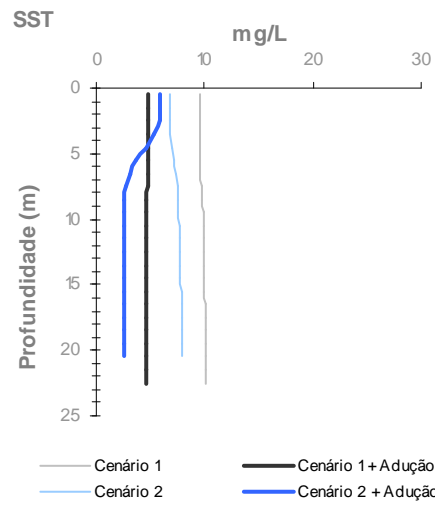


Figura 6.32 – Alb. Roxo – SST Dezembro de 2004 e 2005

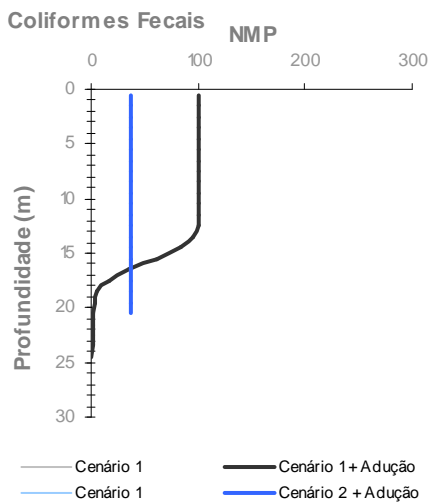


Figura 6.33 – Alb. Roxo - Col. Fec. Janeiro de 2004 e 2005

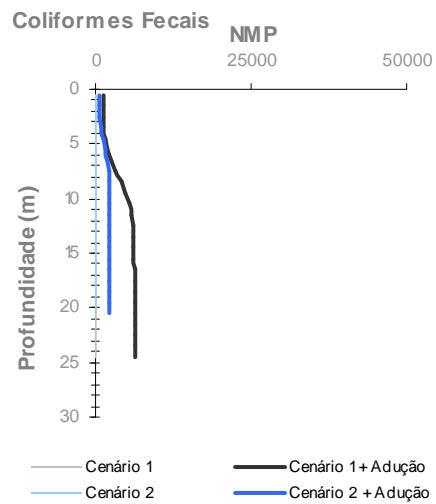


Figura 6.34 – Alb. Roxo – Col. Fec. Abril de 2004 e 2005

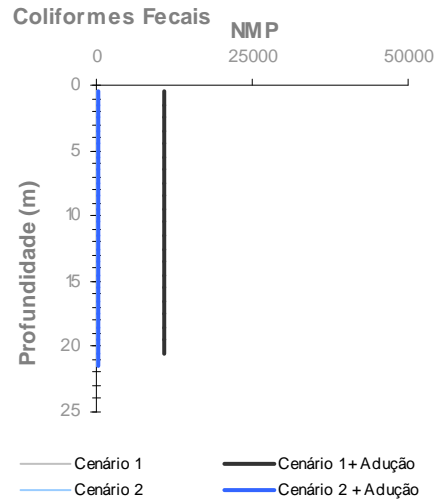
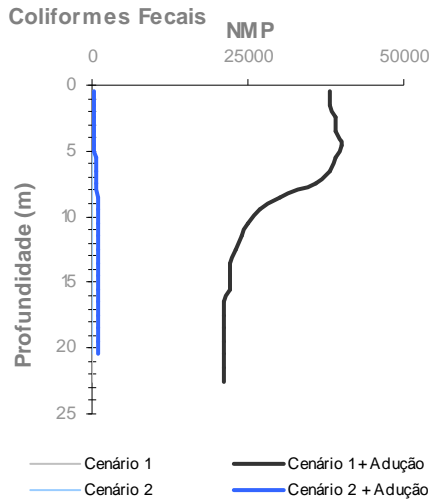


Figura 6.35 – Alb. Roxo - Col. Fec. Janeiro de 2004 e 2005 Figura 6.36 – Alb. Roxo – Col. Fec. Abril de 2004 e 2005

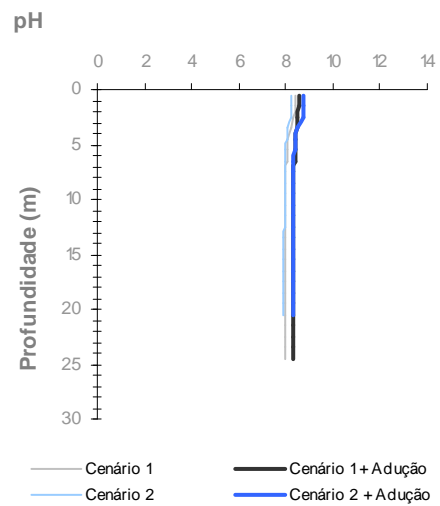
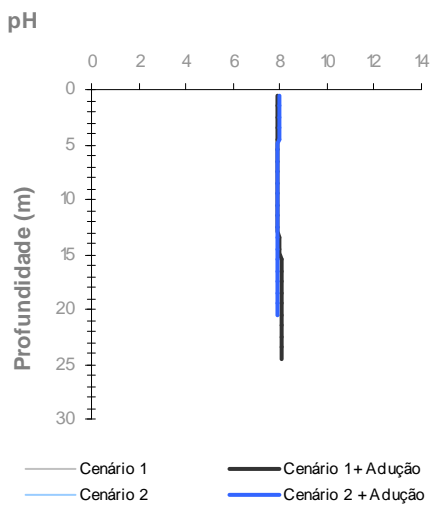


Figura 6.37 – Alb. Roxo -pH Janeiro de 2004 e 2005

Figura 6.38 – Alb. Roxo – pH. Abril de 2004 e 2005

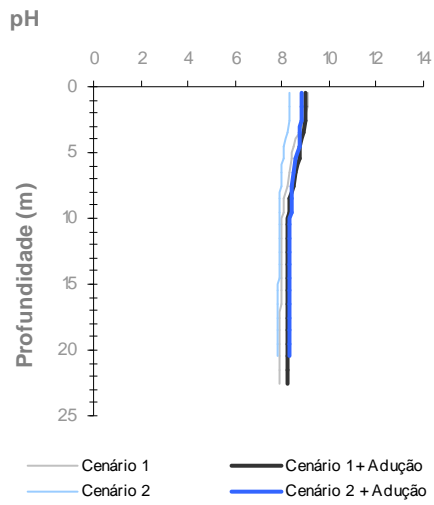


Figura 6.39 – Alb. Roxo -pH Julho de 2004 e 2005

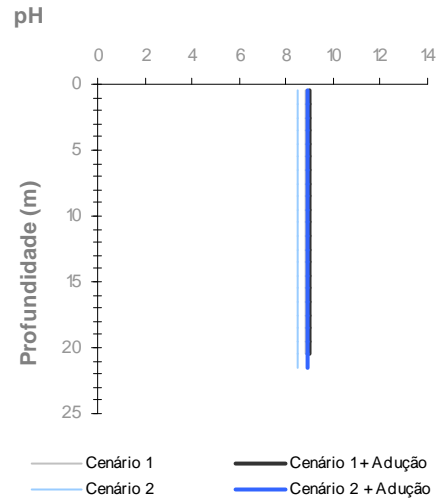


Figura 6.40 – Alb. Roxo – pH. Dezembro de 2004 e 2005



7. BIBLIOGRAFIA

Brow e Barnwell, 1987 – “QUAL2E, Water Quality Model”, Center for Environmental Research Information (CERI), United States Environmental Protection Agency.

EPA, 1985 - “Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling (Second Edition)”, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia 30613.

Metcalf e Eddy, 1995 – “Wastewater engineering, Treatment Disposal Reuse”, Third Edition, Mackgraw-Hill.

WQRRS, 1978 - *Water Quality for River - Reservoir Systems*, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Centre.

Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos (SNIRH), <http://www.inag.pt>.

Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG), <http://snig.igeo.pt>