



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO  
Universidade Técnica de Lisboa

**Avaliação do Desempenho da Decantação Secundária em  
Estações de Tratamento de Águas Residuais  
Caso de Estudo de Frielas**

**Miguel Branco dos Santos**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia do Ambiente**

**Júri**

Presidente: Prof. Júlio Maggiolly Novais  
Orientadores: Prof. Eduardo Augusto Ribeiro de Sousa  
Eng.º Paulo Jorge Inocêncio  
Vogal: Prof. José Saldanha Matos

**Novembro de 2007**



## I. Resumo

Um dos objectivos fundamentais dos serviços de exploração dos sistemas de saneamento é o cumprimento dos valores limite de emissão estabelecidos na legislação vigente, para descarga das águas residuais tratadas.

Na ETAR de Frielas os valores de descarga dos SST têm vindo a ser superiores ao VLE estabelecido no Decreto-Lei n.º 152/97. A estratégia definida pelos responsáveis da ETAR consistiu na implementação de duas “baffles” em um dos decantadores secundários (nº 12) devendo esta medida ser estendida a todos os restantes decantadores, em função dos resultados obtidos.

O estudo desenvolvido no âmbito da presente dissertação pretendeu verificar a viabilidade da estratégia, através da avaliação e comparação dos resultados da eficiência da decantação obtidos durante um período de 3 dias, para dois cenários: decantador com e sem “baffles”.

Inicialmente foi elaborado o estado da arte do funcionamento da ETAR, nomeadamente a aferição dos valores médios mensais de SST no efluente final e das eficiências médias de remoção dos SST em cada etapa do processo de tratamento. Continuou-se o diagnóstico elaborando-se uma análise criteriosa dos parâmetros mais condicionantes do desempenho da decantação secundária.

Confirmados os pressupostos que levaram à adopção destas medidas correctivas, atestou-se a validação das mesmas utilizando o modelo de simulação MOHID e os resultados da caracterização analítica das amostras colhidas no período.

Os resultados de ambos os métodos utilizados revelaram que a hidrodinâmica no decantador secundário com “baffles” se alterou significativamente, traduzindo-se em:

- 1º - melhoria da qualidade do clarificado do decantador n.º 12, em cerca de 45% na eficiência;
- 2º - ausência do arrastamento de lamas.

**Palavras – Chave:** ETAR, Decantação Secundária, Clarificado, SST, “Baffle”

## II. Abstract

One of the purposes at any WWTP is to accomplish legal effluent limits before the discharge on the environment.

At Frielas WWTP, discharge values for TSS generally surpass those established in D.L. n.º 152/97 as limits. The strategy traced by the operation team to solve the situation consists in the placement of two baffles in one of the secondary clarifiers (nº 12). If good results are obtained, these modifications will be extended to all the clarifiers.

The present work has as objective to test the viability of the proposed strategy, comparing the results of the efficiency of the clarification obtained during a period of 3 days, for the situations of the absence and the presence of the baffles.

The state of the art concerning the plant was elaborated, surveying monthly average values of TSS on the effluent and average removal efficiencies of the several steps of the treatment. The diagnosis was carried through by analysing thoroughly the most conditioning parameters of secondary clarification.

Water modeling system MOHID and results from sample collecting were used to validate the solutions proposed to correct the referred problems.

The results show that the hydrodynamics of the secondary clarifier is significantly enhanced by the presence of the baffles:

1<sup>st</sup> - a 45% improvement was achieved in the quality of the clarified effluent from clarifier n.º 12, in what TSS are concerned;

2<sup>nd</sup> - the over-carriage of sludge didn't occur in this situation.

**Key Words:** WWTP, Secondary Sedimentation, Clarified Effluent, TSS, Baffles

### **III. Agradecimentos**

Desejo expressar:

O meu agradecimento aos meus pais, por me terem proporcionado todas as condições necessárias para a realização do curso.

O meu agradecimento ao Professor Eduardo Ribeiro de Sousa, pelo apoio incondicional, pela disponibilidade, simpatia e orientação científica da dissertação.

O meu agradecimento ao Eng<sup>o</sup> António Frazão, Administrador Executivo da SIMTEJO, por ter tornado possível a realização deste trabalho.

O meu agradecimento ao Eng<sup>o</sup> José Martins e ao Eng<sup>o</sup> Paulo Inocêncio pela disponibilidade, pelo elevado conhecimento profissional, pelo excelente relacionamento e por terem tornado possível a criação das condições essenciais para realização da dissertação.

O meu agradecimento à Eng<sup>a</sup> Carla Gil, ao Eng<sup>o</sup> Pedro Póvoa e restantes funcionários da SIMTEJO, pelo acolhimento na ETAR e pela ajuda incondicional que me prestaram durante todo o trabalho.

O meu agradecimento ao Professor Ramiro Neves e Eng<sup>o</sup> David Brito, pela disponibilidade e pelo apoio científico na realização do trabalho.

O meu agradecimento à Sofia e amigos que de uma forma ou de outra me ajudaram e motivaram na realização deste trabalho.

## IV. Índice

<b>I.</b>	<b>Resumo .....</b>	<b>i</b>
<b>II.</b>	<b>Abstract .....</b>	<b>ii</b>
<b>III.</b>	<b>Agradecimentos .....</b>	<b>iii</b>
<b>IV.</b>	<b>Índice .....</b>	<b>iv</b>
<b>V.</b>	<b>Lista de Quadros .....</b>	<b>vi</b>
<b>VI.</b>	<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>vi</b>
<b>VII.</b>	<b>Lista de Abreviações .....</b>	<b>ix</b>
<b>1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Objectivos.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Descrição da ETAR de Frielas .....</b>	<b>5</b>
	<i>3.1 Descrição Geral do Processo de Tratamento da ETAR de Frielas.....</i>	<i>8</i>
	<i>3.2 Pré-Tratamento .....</i>	<i>8</i>
	<i>3.3 Tratamento Primário.....</i>	<i>10</i>
	<i>3.4 Tratamento Secundário .....</i>	<i>10</i>
	<i>3.5 Tratamento de Afinação .....</i>	<i>11</i>
	<i>3.6 Processamento e destino final de lamas.....</i>	<i>12</i>
	<i>3.7 Valorização do biogás.....</i>	<i>13</i>
<b>4</b>	<b>Diagnóstico da ETAR de Frielas .....</b>	<b>14</b>
	<i>4.1 Enquadramento Legal .....</i>	<i>14</i>
	<i>4.2 Dados de exploração nos anos de 2005 e 2006 .....</i>	<i>15</i>
	<i>4.3 Dados de exploração e eficiências de remoção: Agosto 06 – Janeiro 07.....</i>	<i>16</i>
	<i>4.4 Rendimentos das etapas de tratamento dos SST .....</i>	<i>17</i>
<b>5</b>	<b>Tratamento Biológico – Lamas activadas .....</b>	<b>22</b>
	<i>5.1 Descrição do processo .....</i>	<i>22</i>
	<i>5.2 Principais problemas operacionais.....</i>	<i>24</i>
	<i>5.3 Controlo processual do sistema .....</i>	<i>26</i>

<b>6</b>	<b>Decantação Secundária</b> .....	<b>27</b>
6.1	<i>Objectivo e Importância</i> .....	27
6.2	<i>Objectivo da remoção dos SST</i> .....	28
6.3	<i>Valores típicos de SST e CBO<sub>5</sub> no clarificado</i> .....	28
6.4	<i>Comportamento hidráulico</i> .....	28
6.5	<i>Parâmetros de projecto</i> .....	30
6.6	<i>Variáveis condicionantes na clarificação e no espessamento</i> .....	33
6.7	<i>Fenómenos comuns no processo</i> .....	35
6.8	<i>Decantação Secundária na ETAR de Frielas</i> .....	37
<b>7</b>	<b>Análise dos dados de exploração da Decantação Secundária: Agosto 06 – Janeiro 07</b> .....	<b>42</b>
7.1	<i>Valores médios mensais de CBO<sub>5</sub> e SST no clarificado</i> .....	42
7.2	<i>Controlo processual da Decantação Secundária – Linha 1 e 2</i> .....	43
<b>8</b>	<b>Simulações do comportamento hidráulico e da acumulação de sedimentos no decantador secundário</b>	<b>49</b>
8.1	<i>Dimensões da malha, condições iniciais, fronteira e gerais</i> .....	49
8.2	<i>Velocidade de queda para sedimentos coesivos e tensão de corte</i> .....	50
8.3	<i>Apresentação das simulações com base no modelo MOHID</i> .....	52
<b>9</b>	<b>Caso de estudo: introdução de dois deflectores “Baffles” no decantador n.º12 da ETAR de Frielas</b>	<b>63</b>
9.1	<i>Histórico de actividades no tanque de arejamento 5 e decantadores secundários n.11 e n.12.</i> .....	63
9.2	<i>Desenvolvimento do plano de estudo</i> .....	64
9.3	<i>Resultados</i> .....	65
9.4	<i>Ensaio em coluna – Curvas de sedimentação da lama biológica</i> .....	75
<b>10</b>	<b>Conclusões</b> .....	<b>78</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>82</b>
A.	<i>Esquema do Tratamento Biológico da ETAR de Frielas</i> .....	82
B.	<i>Evolução dos caudais e cargas afluentes à ETAR de Frielas nos meses de Agosto, Setembro, Outubro, Novembro, Dezembro de 2006 e no mês de Janeiro 2007</i> .....	84
C.	<i>Análise da decantação secundária da ETAR de Frielas – Parâmetros hidráulicos e características da lama biológica</i> .....	87
D.	<i>Aproximação dos parâmetros K<sub>1</sub> e K<sub>2</sub> para a equação da velocidade de queda do modelo MOHID</i> .....	92

<i>E. Plano de estudo para a avaliação do desempenho da Decantação Secundária</i> .....	93
<i>F. Ilustrações dos locais de medição dos caudais e recolha de amostras</i> .....	93
<i>G. Equações da Hidrodinâmica – Modelo MOHID</i> .....	96

## **V. Lista de Quadros**

Quadro 1 – Caudais de dimensionamento da ETAR de Frielas .....	6
Quadro 2 – Cargas afluentes à ETAR de Frielas.....	7
Quadro 3 – Valores limite de emissão e percentagens de remoção das águas residuais .....	14
Quadro 4 – Dados de exploração da ETAR de Frielas.....	16
Quadro 5 – Eficiências médias de remoção na ETAR de Frielas .....	16
Quadro 6 – Concentrações médias de SST nos efluentes da decantação primária e do tanque de homogeneização da ETAR de Frielas .....	21
Quadro 7 – IVL e Características da lama biológica .....	24
Quadro 8 – Fenómenos comuns no tanque de arejamento.....	26
Quadro 9 – Variáveis condicionantes na clarificação e no espessamento.....	34
Quadro 10 – Fenómenos comuns no decantador secundário .....	36
Quadro 11 – Características dos decantadores secundários da ETAR de Frielas.....	39
Quadro 12 – Características dos descarregadores dos decantadores secundários de Frielas .....	39
Quadro 13 – Características das bombas de extracção de lamas (velocidade variável) .....	40
Quadro 14 – Dados de exploração da decantação secundária na ETAR de Frielas .....	42
Quadro 15 – Valores máximo de admissão de CBO <sub>5</sub> e SST nos biofiltros.....	42
Quadro 16- Parâmetros hidráulicos do tratamento biológico e características da lama biológica (11/9/2007).....	66
Quadro 17 – Parâmetros hidráulicos do tratamento biológico e características da lama biológica (13/9/2007).....	68
Quadro 18 – Parâmetros hidráulicos do tratamento biológico e características da lama biológica (17/9/2007).....	71
Quadro 19 – Velocidade de sedimentação da lama biológica (13/9;14h30) .....	76
Quadro 20 – Velocidade de sedimentação da lama biológica (17/9;20h30) .....	77

## **VI. Lista de Figuras**

Figura 1 – Diagrama linear dos processos de tratamento da ETAR de Frielas.....	8
Figura 2 – Valores médios mensais de SST, CQO e CBO <sub>5</sub> no efluente final da ETAR de Frielas (2005) .....	15

Figura 3 – Valores médios mensais de SST, CQO e CBO <sub>5</sub> no efluente final da ETAR de Frielas (2006) .....	15
Figura 4 – Rendimento das etapas da remoção de SST (Agosto 06) .....	18
Figura 5 – Rendimento das etapas da remoção de SST (Setembro 06) .....	18
Figura 6 – Rendimento das etapas da remoção de SST (Outubro 06) .....	19
Figura 7 – Rendimento das etapas da remoção de SST (Novembro 06) .....	19
Figura 8 – Rendimento das etapas da remoção de SST (Dezembro 06) .....	20
Figura 9 – Rendimento das etapas da remoção de SST (Janeiro 07) .....	20
Figura 10 – Lamas Activadas de Frielas .....	23
Figura 11 – Presença de espumas no tanque de arejamento 5 .....	25
Figura 12 – Ensaio de coluna “Zone Settling ” [2] .....	29
Figura 13 – Vista dos decantadores secundários .....	37
Figura 14 e 15 – Pormenor da saída dos flutuantes (Fig.14) e do skimmer na posição “stand-by” (Fig.15) .....	38
Figura 16 – Caleiras de recolha do clarificado .....	38
Figura 17 – Ponte raspadora – pormenor do caixão e dos tubos de sucção. ....	40
Figura 19 – Hidrodinâmica no decantador com descarga de massa .....	52
Figura 20 – Hidrodinâmica no decantador com descarga de massa e movimento .....	52
Figura 21 – Ampliação da secção inicial do decantador referente à Figura 20 .....	53
Figura 22 – Ampliação da secção final do decantador referente à Figura 20 .....	53
Figura 23 – Hidrodinâmica no decantador com descarga de massa e movimento e extracção de lamas a 25 m .....	55
Figura 24 – Hidrodinâmica no decantador com descarga de massa e movimento e extracção de lamas a 50 m .....	55
Figura 25 – Ampliação da secção inicial do decantador referente à Figura 23 .....	56
Figura 26 – Hidrodinâmica no decantador com a introdução da “baffle” de 0,80 m de altura .....	56
Figura 27 – Ampliação da secção inicial do decantador referente à Figura 26 .....	57
Figura 28 – Ampliação da secção final do decantador referente à Figura 26 .....	57
Figura 29 – Hidrodinâmica na secção inicial do decantador com extracção de lamas nos 25 m .....	58
Figura 30 – Hidrodinâmica na secção final do decantador com extracção de lamas nos 50 m .....	58
Figura 31 – Hidrodinâmica no decantador com a “baffle” de 2,40 m de altura .....	59
Figura 32 – Hidrodinâmica no decantador com a “baffle” de 3,20 m de altura .....	59
Figura 33 – Acumulação de sedimentos no decantador sem “baffle” .....	60
Figura 34 – Acumulação de sedimentos no decantador com a “baffle” de 0,80 m altura .....	61
Figura 35 – Pormenor da secção de entrada no decantador secundário .....	63
Figura 36 – Evolução da concentração de SST e SSV e do pH no T.A.5 e na L.R. (11/9/07) .....	66
Figura 37 – Concentração de SST e CQO no efluente dos decantadores secundários 11 e 12 (11/9/07) .....	67
Figura 38 – Arrastamento parcial do manto de lamas (clarificado carregado de lamas) .....	68
Figura 39 – Evolução da concentração de SST e do pH no T.A.5 e na L.R. (13/9/07) .....	69

Figura 40 – Concentração de SST e CQO no efluente dos decantadores secundários 11 e 12 (13/9/07) .....	70
Figura 41 – Evolução da concentração de SST e do pH no T.A.5 e na L.R. (17/9/07) .....	71
Figura 42 – Concentração de SST e CQO no efluente dos decantadores secundários 11 e 12 (17/9/07) .....	73
Figura 43 – Variação da concentração de SST em função da Carga de Sólidos.....	74
Figura 44 – Variação da concentração de SST em função da Carga hidráulica .....	74
Figura 45 – Curva de sedimentação da lama biológica (13/9;14h30) .....	76
Figura 46 – Curva de sedimentação da lama biológica (17/9;20:30) .....	77

## **VII. Lista de Abreviações**

CBO<sub>5</sub> – Carência Bioquímica de Oxigênio durante um período de 5 dias e a 20° C

CQO – Carência Química de Oxigênio

D.L. – Decreto-Lei

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

IVL – Índice Volumétrico da Lama

L.R. – Linha de Recirculação

MLSS – “Mixed Liquor Suspended Solids”

PID – “Proportional-Integral-Derivative”

R – Taxa de recirculação

SST – Sólidos Suspensos Totais

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis

SVI – “Sludge Volume Index”

T.A.5 – Tanque de arejamento nº 5

U.V – Radiações Ultravioleta

VLE – Valor Limite de Emissão

# 1 INTRODUÇÃO

## Enquadramento

As comunidades produzem no seu quotidiano resíduos líquidos e sólidos e emitem poluentes para o ar. Os resíduos líquidos – águas residuais, são essencialmente as águas rejeitadas pela comunidade após terem sido usadas em diferentes aplicações. Nas Estações de Tratamento de Águas Residuais procede-se à eliminação da poluição das águas residuais transferindo-a para as lamas e outros resíduos.

Em Portugal Continental, o volume de águas residuais drenado era em 2005 de 314,921 milhões de metros cúbicos, dos quais 312,409 milhões de metros cúbicos afluíram às Estações de Tratamento de Águas Residuais. A população servida por este tipo de instalação de tratamento era de 6,143 milhões de habitantes (INSAAR/INAG 2005).

Dada a importância dos sistemas de tratamento de águas residuais, nomeadamente na minimização da pressão exercida pelas águas residuais, foi necessário o estabelecimento de indicadores de qualidade do serviço (PEAASAR 2007-2013<sup>1</sup>). Num dos objectivos operacionais estabelece-se que a percentagem de população equivalente servida por sistema público de saneamento de águas residuais que asseguram o cumprimento da legislação em termos de descargas (de acordo com a respectiva licença) seja igual ou superior a 85%.

Este valor de referência é ambicioso e exige melhorias significativas no desempenho do processo, quer através de desenvolvimento de novas tecnologias quer optimizando os rendimentos dos processos e operações unitárias já existentes.

Conscientes deste novo desafio os responsáveis das ETAR's têm reunido esforços na aquisição de novas tecnologias associadas aos melhores equipamentos. No entanto muitas vezes as eficiências globais de tratamento não melhoram consideravelmente, surgindo resultados finais inesperados.

Várias hipóteses são apontadas como explicação para estas incongruências: a) afluência à ETAR de resíduos tóxicos em concentrações elevadas, provenientes de indústrias, b) afluência à ETAR de caudais pluviais que transportam vários contaminantes, c) dimensionamento incorrecto dos órgãos e/ou sobrecarga dos mesmos, d) desconhecimento, por parte dos responsáveis, do funcionamento intrínseco dos processos de tratamento, e) exploração das ETAR's em função de fundamentos teóricos que não se adequam às características específicas de cada instalação de tratamento.

Daí que a tese de que os métodos empíricos não são os mais adequados na interpretação dos dados e na optimização do processo tem ganho força no seio dos responsáveis dos sistemas de saneamento de águas residuais.

---

<sup>1</sup> [www.aprh.pt](http://www.aprh.pt)

Hoje pretende-se que os estudos sejam realizados em laboratórios ou à escala piloto de forma a se optimizarem os parâmetros de projecto e os coeficientes cinéticos do processo de tratamento, quer de águas residuais industriais, quer de águas residuais industriais e municipais.

As maiores alterações, no futuro próximo, são esperadas no processo de tratamento, na descarga das águas residuais tratadas e sua reutilização e na colocação e reutilização das lamas.

### **Sedimentação gravítica – Decantadores Secundários**

A sedimentação gravítica é a operação unitária mais utilizada no tratamento de águas residuais. O agente que actua na remoção dos sólidos suspensos é a força de gravidade e na sua maioria os sólidos suspensos sedimentáveis podem ser removidos em condições de repouso.

Grande parte dos poluentes, as partículas orgânicas, os nutrientes e os metais pesados, estão associados aos sólidos suspensos, daí que seja fundamental a remoção dos mesmos das águas residuais.

Os decantadores secundários, também designados por decantadores finais, estão localizados a jusante dos reactores biológicos e são utilizados na remoção dos sólidos suspensos sedimentáveis originados nos processos de tratamento biológico de biomassa fixa ou de biomassa suspensa.

Os decantadores mais comuns, quanto à forma, são os circulares e os rectangulares. Ambos são usados no tratamento primário e secundário, nas estações de tratamento de águas residuais e nas estações de tratamento de águas.

De uma forma geral, os decantadores circulares necessitam de um tempo de retenção hidráulico inferior para a sedimentação das lamas, têm um sistema de colecta de lamas mais simples e necessitam de menos manutenção. No entanto, são mais sensíveis a curto-circuitos, a variação da concentração das lamas é comum no sistema de colecta e o caudal de descarga é mais limitado, pois a área de implementação é menor e daí que as cargas hidráulicas aplicadas sejam menores.

Por sua vez, os decantadores rectangulares ocupam menos espaço e o investimento inicial é menor, quando são utilizadas múltiplas unidades. A probabilidade de curto-circuitos é menor pois a distância a percorrer pelo fluído é maior e o espessamento de lamas é mais eficaz. No entanto, o tempo de retenção hidráulico tem de ser superior para a sedimentação das lamas e a eficiência de remoção é inferior, quando a carga de sólidos aplicada é elevada.

A importância dos decantadores nas ETAR`s deve-se ao facto destes serem, muitas das vezes, o processo unitário fim de linha antes da desinfecção, quer nas estações com tratamento primário ou nas estações com tratamento secundário. Desta maneira o desempenho da clarificação afecta directamente a qualidade do efluente produzido nessas estações.

Neste sentido os responsáveis técnicos das ETAR's esforçam-se por implementar soluções técnicas que permitam melhorar o desempenho da decantação, pois ao mesmo tempo também lhes é exigido, o cumprimento da legislação vigente no capítulo de descarga de águas residuais.

O tratamento de águas residuais é um sistema interactivo e deste modo a eficiência dos decantadores não depende apenas da eficácia dos mesmos, mas, nalguns casos, depende também das eficiências registadas a montante (nomeadamente no que respeita à remoção de SST).

No entanto, no caso particular dos decantadores secundários a sua eficiência está mais dependente das condições que se verificam no sistema global do tratamento biológico. Desta forma, os fenómenos que se desenvolvem no reactor biológico, as características da lama biológica, os caudais de recirculação e a hidrodinâmica que se desenvolve no interior dos decantadores são aspectos a considerar na avaliação do desempenho da decantação secundária.

Neste trabalho estudou-se com mais detalhe a hidrodinâmica que se desenvolve no interior dos decantadores secundários. Esta depende da concepção do órgão (comprimento, largura, altura de água, geometria e número de entradas, geometria e localização das saídas, etc.), da densidade e temperatura da água que se encontra no decantador e da solução que dá entrada neste. Também depende, em menor grau, dos ventos exteriores.

De um modo geral, o desempenho ao nível hidrodinâmico dos decantadores secundários, nas estações de tratamento de águas residuais, depende em primeiro lugar das correntes de densidade e da dissipação de energia na entrada e em menor grau das correntes de saída.

Na bibliografia da especialidade os fenómenos que afectam a hidrodinâmica dos decantadores são designados por curto-circuitos e são referenciados por: a) reduzirem a área transversal atravessada pelo fluido, b) aumentarem aparentemente a carga hidráulica, c) diminuírem o tempo de retenção hidráulico e d) reduzirem a eficiência de remoção de sólidos.

As soluções mais viáveis encontradas pelos responsáveis das ETAR's, na tentativa de melhorarem o desempenho dos decantadores, foram os ajustamentos operacionais e os de projecto (alteração de "design").

### **ETAR de Frielas – Introdução de dois deflectores "Baffles"**

O estudo que se desenvolve neste trabalho foca o caso específico da introdução de duas "baffles" num dos decantadores secundários da ETAR de Frielas

A ETAR de Frielas regista desde algum tempo concentrações elevadas de SST no efluente da decantação secundária. Salvo casos pontuais de "bulking" ou "foaming", o IVL é satisfatório, o arejamento, salvo uma ou outra excepção, é eficiente e a recirculação satisfatória. O problema deve-se muito mais à ineficácia dos decantadores secundários.

Os técnicos da SIMTEJO perceberam que a ineficácia dos decantadores secundários se devia a problemas na concepção dos órgãos. Resumidamente a entrada do licor misto proveniente do tanque de arejamento faz-se por uma única entrada e de secção reduzida e na zona da saída não existe uma barreira artificial que evite a fuga de sólidos.

Assim a SIMTEJO procedeu à introdução de duas “baffles” num dos decantadores secundários. A primeira foi colocada na vertical com 1 m de altura e distando um metro da zona entrada. A segunda “baffle” foi colocada na zona de saída sob as caleiras de descarga, na posição horizontal.

No entanto era indispensável atestar a validade da estratégia e desta forma, a SIMTEJO propôs a realização de um trabalho científico, fundamentado em resultados práticos verificados à escala real.

## 2 OBJECTIVOS

Esta dissertação tem como objectivo principal verificar a viabilidade da introdução das “baffles” nos decantadores secundários da ETAR de Frielas.

Numa primeira fase pretende-se avaliar o desempenho da ETAR de Frielas, no que respeita à eficiência de remoção global de SST.

Posteriormente pretende-se analisar o desempenho da decantação secundária de modo a comprovar os fundamentos técnicos que levaram os responsáveis da SIMTEJO a seleccionar esta alternativa para os decantadores secundários.

Na última fase pretende-se verificar os resultados práticos da introdução das “baffles” num dos decantadores secundários da ETAR. Inicialmente utiliza-se o modelo de simulação MOHID para simular a hidrodinâmica e acumulação de sólidos no decantador. À posteriori realiza-se uma análise comparativa da eficiência dos decantadores secundários com e sem “baffles” através dos resultados do plano analítico de caracterização do clarificado de cada decantador.

## 3 DESCRIÇÃO DA ETAR DE FRIELAS

As águas residuais, de origem doméstica e industrial, que afluem à Estação de Tratamento de Águas Residuais de Frielas provêm do concelho de Loures, Odivelas, Amadora, Vila Franca de Xira, parte dos concelhos de Lisboa e em breve dos concelhos de Mafra e Sintra. O total dos efluentes é de 350.000 hab.eq (em caudal) ou 700.000 hab.eq. (em carga CBO<sub>5</sub>)

A construção da nova estação, inaugurada em 1999, teve em conta a ampliação prevista para o futuro, tendo sido previstas três fases:

- 1ª Fase: ano horizonte **2001**, para **700.000** habitantes-equivalente;
- 2ª Fase: ano horizonte **2011**, para **900.000** habitantes-equivalente;
- 3ª Fase: ano horizonte **2021**, para **1.050.000** habitantes-equivalente.

Os caudais de dimensionamento constam na tabela seguinte [5].

Parâmetros		Unidade	Ano 2001	Ano 2011	Ano 2021
Caudal médio diário	Tempo seco	m <sup>3</sup> /d	69.984	93.312	116.640
	Tempo pluvioso	m <sup>3</sup> /d	85.536	114.048	142.560
Caudal de ponta	Tempo seco	m <sup>3</sup> /h	4.968	6.624	8.280
		m <sup>3</sup> /s	1,380	1,840	2,300
	Tempo pluvioso	m <sup>3</sup> /h	5.670	7.560	9.450
		m <sup>3</sup> /s	1,575	2,100	2,625

**Quadro 1 – Caudais de dimensionamento da ETAR de Frielas**

As cargas afluentes à ETAR constam na tabela seguinte [5].

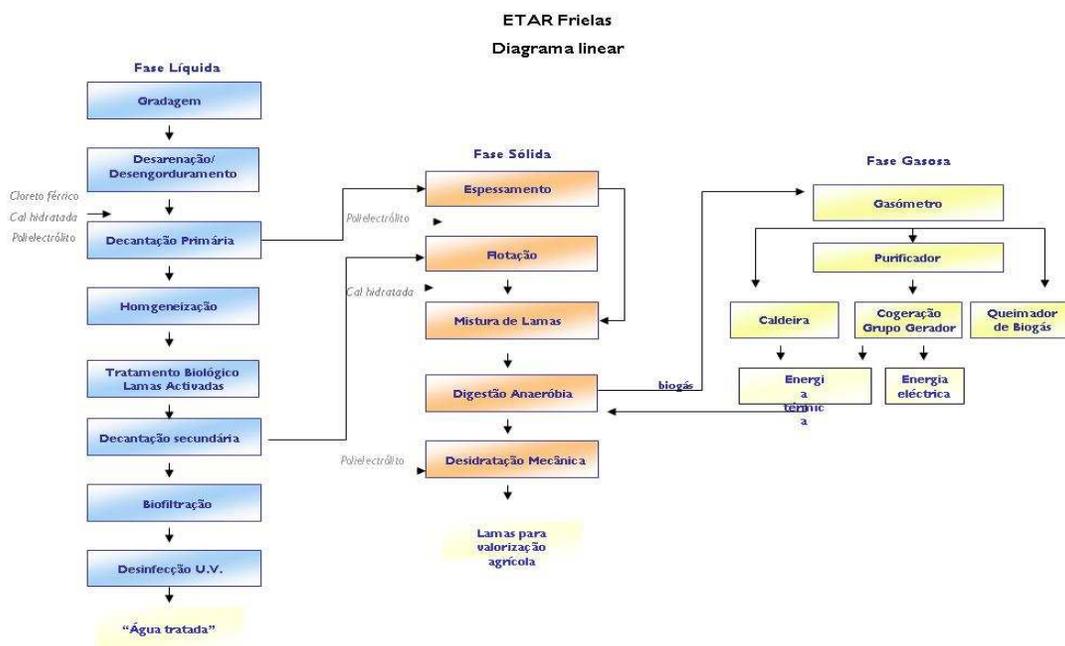
Parâmetros		Unidade	Ano 2001	Ano 2011	Ano 2021
CBO <sub>5</sub> nominal diário	tempo seco	kg/dia	38.351	48.895	56.687
		mg/l	548	524	486
	tempo pluvioso	kg/dia	37.807	48.128	55.598
		mg/l	442	422	390
CQO nominal diário	tempo seco	kg/dia	103.926	132.036	152.099
		mg/l	1.485	1.415	1.304
	tempo pluvioso	kg/dia	102.387	129.901	148.975
		mg/l	1.197	1.139	1.045
SST nominal diário	tempo seco	kg/dia	60.116	77.636	92.379
		mg/l	859	832	792
	tempo pluvioso	kg/dia	59.191	76.412	90.526
		mg/l	692	670	635

Parâmetros		Unidade	Ano 2001	Ano 2011	Ano 2021
<b>SSV diário<sup>2</sup></b>	tempo seco	kg/dia	42.081	54.345	64.665
		mg/l	601	582	554
	tempo pluvioso	kg/dia	41.434	53.489	63.368
		mg/l	484	469	445
<b>NTK nominal diário</b>	tempo seco	kg/dia	5.039	6.625	8.165
		mg/l	72	71	70
	tempo pluvioso	kg/dia	4.961	6.01	7.983
		mg/l	58	57	56
<b>P total nominal diário</b>	tempo seco	kg/dia	980	1.306	1.633
		mg/l	14	14	14
	tempo pluvioso	kg/dia	941	1.255	1.711
		mg/l	11	11	12
<b>Coliformes fecais</b>	tempo seco	U/100ml	2,4.10 <sup>7</sup>	2,4.10 <sup>7</sup>	2,4.10 <sup>7</sup>
	tempo pluvioso	U/100ml	1,9.10 <sup>7</sup>	1,9.10 <sup>7</sup>	1,9.10 <sup>7</sup>

**Quadro 2 – Cargas afluentes à ETAR de Frielas**

<sup>2</sup> Este valor não foi indicado no Caderno de Encargos. Tomaram-se os valores normais de Bibliografia:  
SSV = 0,7 x SST

### 3.1 DESCRIÇÃO GERAL DO PROCESSO DE TRATAMENTO DA ETAR DE FRIELAS



**Figura 1 – Diagrama linear dos processos de tratamento da ETAR de Frielas**

Fonte: SIMTEJO

Faz-se de seguida uma breve descrição geral de cada etapa do sistema de tratamento da ETAR.

### 3.2 PRÉ-TRATAMENTO

#### 3.2.1 RECEPÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUAIS EM SISTEMA GRAVÍTICO PROVENIENTES DA BACIA DE EXPLORAÇÃO.

O afluente bruto é conduzido até à estação através de quatro colectores:

- O colector de Frielas de Ø 400 mm (a entrada na estação é feita através de um colector de 200 mm) e o colector do Parque Industrial de Ø 200 mm, que descarregam no poço provisório que está imediatamente a montante do 1º estágio de elevação inicial;
- O colector Rio da Costa de Ø 1500 mm e o colector P ovóide de 600 x 900 mm, que descarregam no 2º estágio de elevação inicial.

Em cada estágio, os efluentes são descarregados numa fossa de entrada na base dos parafusos para limitar as velocidades dos afluentes.

### 3.2.2 RECEPÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUAIS AFLUENTES POR BOMBAGEM (ESTACÃO ELEVATÓRIA 3).

Os afluentes descarregados no canal de repartição da gradagem são bombeados, através da Estação Elevatória 3 (EE3), para o início do sistema operativo.

### 3.2.3 ELEVAÇÃO INICIAL

O efluente bruto é elevado através de dois estágios de parafusos de Arquimedes.

### 3.2.4 GRADAGEM MÉDIA

O conjunto constituído pelo caudal elevado pelos parafusos de Arquimedes da elevação primária e o caudal proveniente da EE3 é conduzido a um primeiro estágio de grades verticais com um espessamento entre barras de 40 mm.

A remoção dos resíduos é elaborada por tapetes transportadores que encaminham os resíduos para os contentores.

### 3.2.5 GRADAGEM FINA

Corresponde ao segundo estágio de grades verticais com limpeza automática, com a particularidade de o espaçamento entre barras ser agora de 10 mm. A remoção dos resíduos faz-se de forma igual ao da gradagem média.

### 3.2.6 MEDIÇÃO DO CAUDAL DAS ÁGUAS GRADADAS.

A medição do caudal de efluente gradado é realizada através de uma sonda ultra-sónica instalada num canal do tipo *Parshall*.

### 3.2.7 DESARENAMENTO E DESENGORDURAMENTO

A remoção de areias, óleos e gorduras é conduzida num mesmo órgão combinado, de planta rectangular e com três tanques de tratamento.

Os óleos e gorduras são removidos por injeção de ar em difusores de membranas, de forma a permitir-lhes a flotação. Seguidamente são raspadas à superfície e encaminhadas para uma caleira de recolha a jusante dos tanques, onde são arrastados, por injeção de água, até aos poços de gordura.

Destes podem ser encaminhadas para um separador de flutuantes ou, em último caso, se o separador se encontrar avariado ou as instalações de gorduras estiverem em funcionamento, para o tanque de gorduras.

Quanto às areias depositam-se no fundo pela acção da gravidade, onde depois são removidas por bombas de extracção de areias para os classificadores de areias que as depositam em contentores.

### **3.3 TRATAMENTO PRIMÁRIO**

#### **3.3.1 DECANTAÇÃO PRIMÁRIA**

Os efluentes seguem agora para a etapa da decantação primária lamelar em tanques rectangulares, onde, por norma, no Verão é adicionado cloreto de ferro para favorecer a decantação.

Os efluentes obtidos prosseguem através de uma conduta, onde se realiza a medição do caudal, para a elevação intermédia e as lamas decantadas são extraídas por bombas de tipo rotor excêntrico e encaminhadas para os espessadores.

### **3.4 TRATAMENTO SECUNDÁRIO**

#### **3.4.1 ELEVAÇÃO INTERMÉDIA**

A elevação intermédia, a montante dos tanques de equalização, é assegurada por quatro parafusos de Arquimedes (3+1 de reserva) permitindo elevar a totalidade do caudal afluente para os tanques de equalização.

#### **3.4.2 HOMOGENEIZAÇÃO/EQUALIZAÇÃO**

Os três tanques que englobam a equalização asseguram, ao mesmo tempo, dois objectivos indispensáveis à regularidade do tratamento secundário. Limitam o caudal afluente ao tratamento biológico num valor máximo de 4615 m<sup>3</sup>/h e regularizam as cargas afluentes.

Ainda dão entrada nestes tanques as águas de lavagem da biofiltração e os retornos da digestão e da desidratação de lamas.

### 3.4.3 TRATAMENTO BIOLÓGICO DO TIPO LAMAS ACTIVADAS

Este tratamento compreende quatro etapas:

- Nos tanques de arejamento, em presença de oxigénio, procede-se à degradação da matéria orgânica por microrganismos aeróbios (tanques de fluxo pistão e lammas activadas em média carga).
- Nos decantadores secundários separa-se o efluente tratado das lammas activadas de forma a reutilizar a biomassa essencial ao processo de depuração.
- A recirculação das lammas, introduzidas de novo nos tanques de arejamento, constitui uma etapa fundamental na manutenção da população de microrganismos aeróbios essenciais ao processo de lammas activadas. Permite, simultaneamente, a conservação de um meio em que a relação entre o CBO afluente e a massa de lama activada corresponda à carga mássica prevista para o funcionamento do reactor agitado.
- O excesso de lammas biológicas é extraído para um posterior tratamento por flotação.

## 3.5 TRATAMENTO DE AFINAÇÃO

### 3.5.1 ELEVAÇÃO FINAL

O efluente resultante da decantação secundária é transportado para a biofiltração por intermédio de três bombas (2+1 de reserva) de tipo centrífugas instaladas em tubos.

### 3.5.2 BIOFILTRAÇÃO

Os efluentes da decantação secundária são agora sujeitos a um tratamento de biofiltração, através de 8 filtros BIOSTYR, para a afinação dos parâmetros CBO<sub>5</sub> e SST.

No mesmo órgão procede-se à diminuição da poluição solúvel bem como à clarificação do efluente por filtração, através do leito de biomassa. Este conjunto constitui um bio-reactor do tipo pistão, para a fase líquida e gasosa.

### 3.5.3 MEDIÇÃO DO CAUDAL FINAL

Esta medição é efectuada na tubagem que conduz o efluente da biofiltração para a desinfecção UV através de um medidor de caudal electromagnético aí instalado.

### 3.5.4 TRATAMENTO UV

Nesta operação unitária o efluente é desinfectado por radiação ultravioleta, removendo-se parte dos microrganismos patogénicos de forma a respeitar a qualidade biológica fixada (200 E.Coli /100ml), antes de se proceder à rejeição do efluente no meio receptor.

O efluente tratado é encaminhado para a Vala Real, que se encontra ligada à Ribeira da Póvoa por um sistema de comportas de maré que permitem isolar a Vala e descarregar o efluente mesmo que a cota da superfície líquida da Ribeira se encontre mais elevada.

## 3.6 PROCESSAMENTO E DESTINO FINAL DE LAMAS

### 3.6.1 ESPESSAMENTO

- As lamas primárias são espessadas (espessamento gravítico) em dois espessadores circulares.
- As lamas biológicas em excesso são espessadas por flotação (com ou sem adição de polielectrólito), em dois flotadores, possuindo sistemas de pressurização independentes. As lamas flotadas são recolhidas e enviadas para um tanque de desgasificação de 10 m<sup>3</sup>. Deste órgão, as lamas seguem para o tanque de lamas mistas.

### 3.6.2 DIGESTÃO ANAERÓBIA

Após o espessamento, as lamas são estabilizadas, reduzindo o teor em materiais voláteis, por digestão anaeróbia mesofílica de alta carga a 35 °C em quatro digestores de 4000 m<sup>3</sup> agitados mecanicamente. Ainda acresce, resultante do metabolismo celular, a produção de biogás, importante para a produção de calor e electricidade.

### 3.6.3 AQUECIMENTO DAS LAMAS A DIGERIR

A temperatura de digestão das lamas deve ser mantida entre os 33 °C e os 35 °C, sendo necessário aquecer as lamas.

Deste modo, as lamas mistas à entrada da digestão são pré-aquecidas num permutador de calor pelas lamas digeridas que vão para as centrífugas. De seguida, as lamas ficam em permanente recirculação passando em permutadores de calor sendo aquecidas por água quente, de modo a compensar as perdas térmicas dos digestores.

A água que vai circular nos permutadores de calor é aquecida pela própria água de arrefecimento de cada grupo de cogeração ou alternativamente por intermédio de duas caldeiras.

#### **3.6.4 DESIDRATAÇÃO**

As lamas digeridas são por fim desidratadas num conjunto de centrífugas, seguindo daqui, através dos tapetes transportadores, para o parque de lamas para posterior transporte a destino final (deposição em terrenos agrícolas).

#### **3.7 VALORIZAÇÃO DO BIOGÁS**

O biogás produzido durante a digestão anaeróbica é tratado para remoção de impurezas e armazenado em dois gasómetros de 1050 m<sup>3</sup>. Este é valorizado por queima em dois motores de cogeração. O combustível destes motores é o biogás, convertendo-se em energia eléctrica parte da energia proveniente da queima do biogás.

## 4 DIAGNÓSTICO DA ETAR DE FRIELAS

### 4.1 ENQUADRAMENTO LEGAL

O desempenho global da ETAR depende, para além das eficiências registadas nas diversas fases de tratamento, da carga de poluentes afluente à ETAR. Muitas vezes este último factor é a explicação para o incumprimento dos VLE.

Normalmente nestas circunstâncias verifica-se o cumprimento das eficiências de remoção, ou seja, a eficácia dos processos e operações unitárias foi a desejável mas insuficiente para atingir os VLE dos parâmetros de controlo.

As águas residuais tratadas em Frielas estão sujeitas às condições de descarga estipuladas na Licença de Descarga de Águas Residuais, emitida pelo Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente.

Apresentam-se no quadro seguinte, os valores limite de emissão e as percentagens de remoção dos parâmetros de maior relevância na ETAR.

Parâmetro	Valor Limite (VLE)	Percentagem de remoção
CBO <sub>5</sub>	25 (a)	70 a 90 (a)
CQO	125 (a)	75 (a)
SST	35 (a)	90 (a)
pH	6 a 9 (b)	-
Azoto <sub>total</sub>	15 (b)	-
Fósforo <sub>total</sub>	10 (b)	-
Nitratos	50 (b)	-

**Quadro 3 – Valores limite de emissão e percentagens de remoção das águas residuais**

Nota: (a) - nos termos do D.L. nº. 152/97, (b) - nos termos do D.L. nº. 236/98

## 4.2 DADOS DE EXPLORAÇÃO NOS ANOS DE 2005 E 2006

A primeira análise, de cariz generalista, contempla os valores médios mensais (anos de 2005 e 2006) de descarga para os parâmetros: CBO<sub>5</sub>, CQO e SST, os quais, na verdade, são os passíveis de serem corrigidos na ETAR.

Em ambos os anos os valores de CQO são normalmente cumpridos, face ao disposto no D.L. nº.152/97. No entanto o mesmo não se verifica para o CBO<sub>5</sub> e os SST. Facilmente se constata que os valores são cumpridos ou estiveram perto de ser cumpridos nos meses de maior pluviosidade (Outubro, Novembro e Dezembro), já que aumenta a afluência de caudal à ETAR, diluindo as concentrações de ambos os parâmetros.

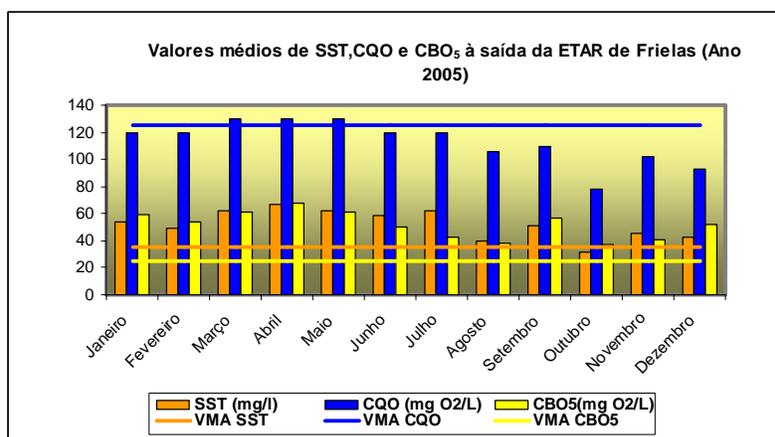


Figura 2 – Valores médios mensais de SST, CQO e CBO<sub>5</sub> no efluente final da ETAR de Frielas (2005)

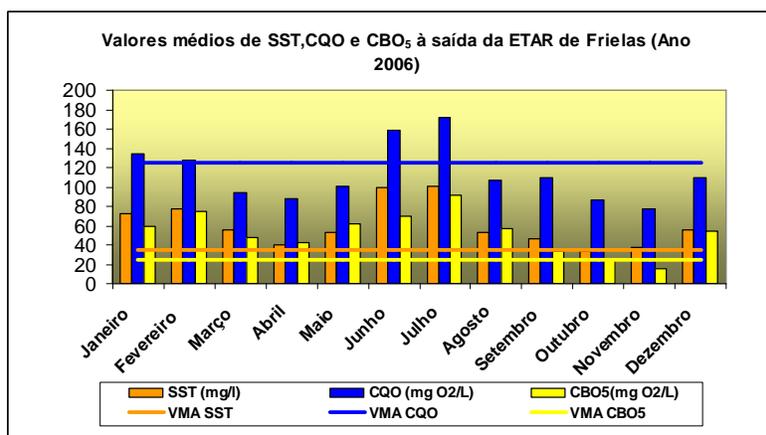


Figura 3 – Valores médios mensais de SST, CQO e CBO<sub>5</sub> no efluente final da ETAR de Frielas (2006)

Estas oscilações nas concentrações dos parâmetros e no caudal podem ser observadas nos gráficos do Anexo B. Percebe-se que nos meses mais secos o caudal médio afluente à ETAR varia entre os 1500 e 2000 m<sup>3</sup>/h e as concentrações do SST, CBO<sub>5</sub> e CQO são muito elevadas: entre 400 e 650 mg/L para os SST, entre 350 e 900 mgO<sub>2</sub>/L para o CBO<sub>5</sub> e entre 850 e 1100 mgO<sub>2</sub>/L para o CQO. Ao contrário, nos meses mais pluviosos o caudal oscila entre 2000 e 4000 m<sup>3</sup>/h e as concentrações dos parâmetros são muito mais baixas.

#### 4.3 DADOS DE EXPLORAÇÃO E EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO: AGOSTO 06 – JANEIRO 07.

Feita esta análise seguir-se-á uma mais detalhada, relativa aos seis meses de estudo, considerados suficientes para a validação de resultados.

Mês	Afluente à ETAR			Efluente da Dec.Secundária			Efluente da ETAR		
	CBO <sub>5</sub>	CQO	SST	CBO <sub>5</sub>	CQO	SST	CBO <sub>5</sub>	CQO	SST
Ago-06	416	960	525	80	107	70	57	156	53
Set-06	435	736	377	69	167	68	33	112	47
Out-06	304	633	382	53	122	61	26	86	33
Nov-06	264	577	297	63	93	45	16	77	37
Dez-06	289	581	278	115	192	78	115	113	55
Jan-07	331	690	298	100	279	107	54	153	74

Nota: valores a vermelho não respeitam a legislação.

**Quadro 4 – Dados de exploração da ETAR de Frielas**

Mês	Eficiências médias de remoção (Afluente-Dec <sup>ª</sup> .Secundária)			Eficiências médias de remoção (Afluente-Efluente)		
	CBO <sub>5</sub>	CQO	SST	CBO <sub>5</sub>	CQO	SST
Ago-06	80,8	88,8	86,7	86,3	83,7	90,0
Set-06	84,2	77,4	81,9	92,5	84,8	87,4
Out-06	82,7	80,7	84,0	91,4	86,4	91,4
Nov-06	76,1	83,9	84,9	94,1	86,6	87,6
Dez-06	60,0	66,9	72,0	60,0	80,5	80,1
Jan-07	69,8	59,6	64,2	83,7	77,8	75,2

Nota: valores em percentagem; valores a vermelho não respeitam a legislação

**Quadro 5 – Eficiências médias de remoção na ETAR de Frielas**

Relativamente às cargas que dão entrada na estação, poder-se-á dizer que a relação CQO/CBO<sub>5</sub> é aproximadamente 2:1, o que revela que o afluente à ETAR é, na maioria, de origem doméstica. Normalmente o CQO é superior a 600 mg/L enquanto que o CBO<sub>5</sub> é superior a 300 mg/L. No que respeita aos SST os valores variam entre os 300 mg/L e os 400 mg/L.

No entanto duas situações distintas são confirmadas nos quadros 4 e 5 :

- Os valores de descarga de CBO<sub>5</sub> e CQO, quando não são cumpridos, devem-se às elevadas cargas afluentes à estação, já que as eficiências globais cumprem a legislação (excepção no mês de Dezembro, no caso do CBO<sub>5</sub>).
- Os valores de descarga de SST raramente foram cumpridos, à excepção de Outubro, bem como as eficiências globais e as eficiências até à decantação secundária, o que aponta para uma ineficácia do processo de tratamento para este parâmetro.

Outro aspecto relevante é a importância da biofiltração para o afinamento da qualidade do efluente, sendo este facto comprovado nos meses de Dezembro e Janeiro, nos quais as eficiências médias de remoção, para o CQO e o CBO<sub>5</sub>, até à decantação secundária, não foram cumpridas embora as eficiências médias de remoção globais já o tivessem sido.

#### 4.4 RENDIMENTOS DAS ETAPAS DE TRATAMENTO DOS SST

Feita esta primeira análise, analisar-se-ão seguidamente as eficiências parciais de cada processo no que respeita aos SST, pois este é o parâmetro que importa analisar com mais pormenor neste estudo.

Esta análise é pertinente e adequada pois o desempenho global da ETAR, no que respeita a qualquer parâmetro, depende dos desempenhos parciais de cada processo. Desta forma pode-se determinar se a eficiência da operação ou do processo unitário depende da eficácia do tratamento ou das eficiências registadas a montante.

Os gráficos seguintes (das Figuras 4 a 9) dão a perceber a evolução da concentração de SST na fase líquida da ETAR. Os rendimentos foram calculados através da equação clássica:

$$Rendimento(\%) = \frac{SST_{in} - SST_{out}}{SST_{in}} \times 100 \quad (1)$$

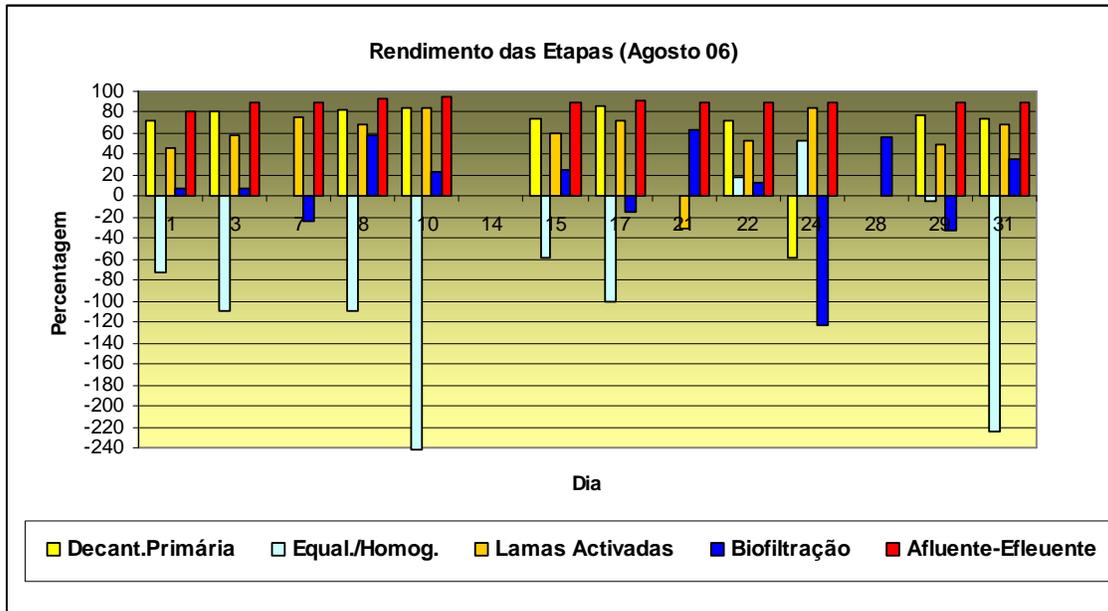


Figura 4 – Rendimento das etapas da remoção de SST (Agosto 06)

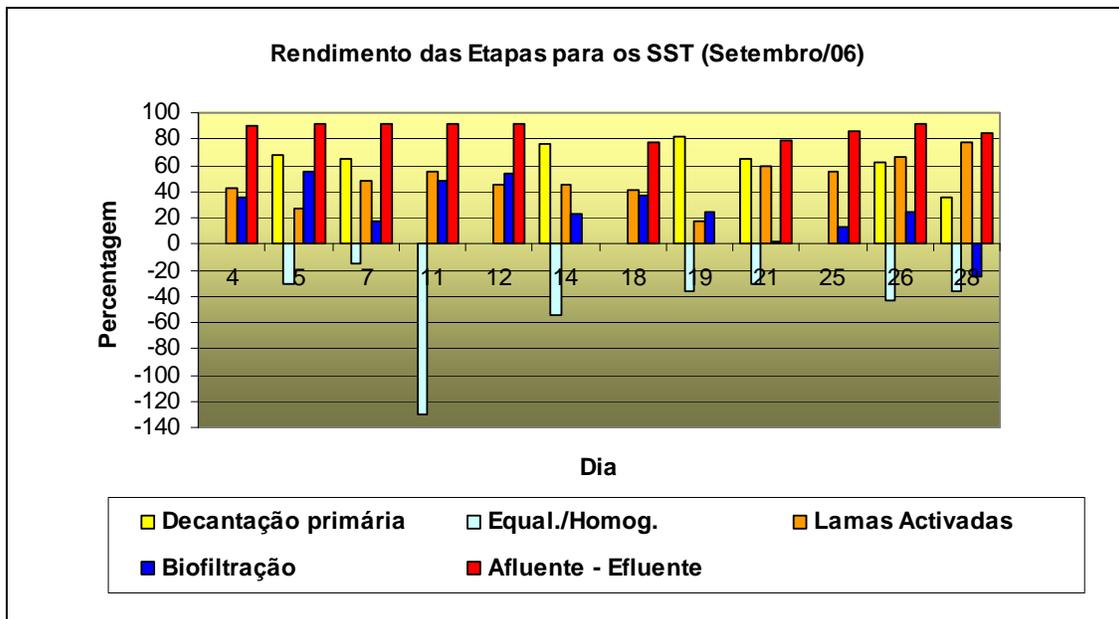
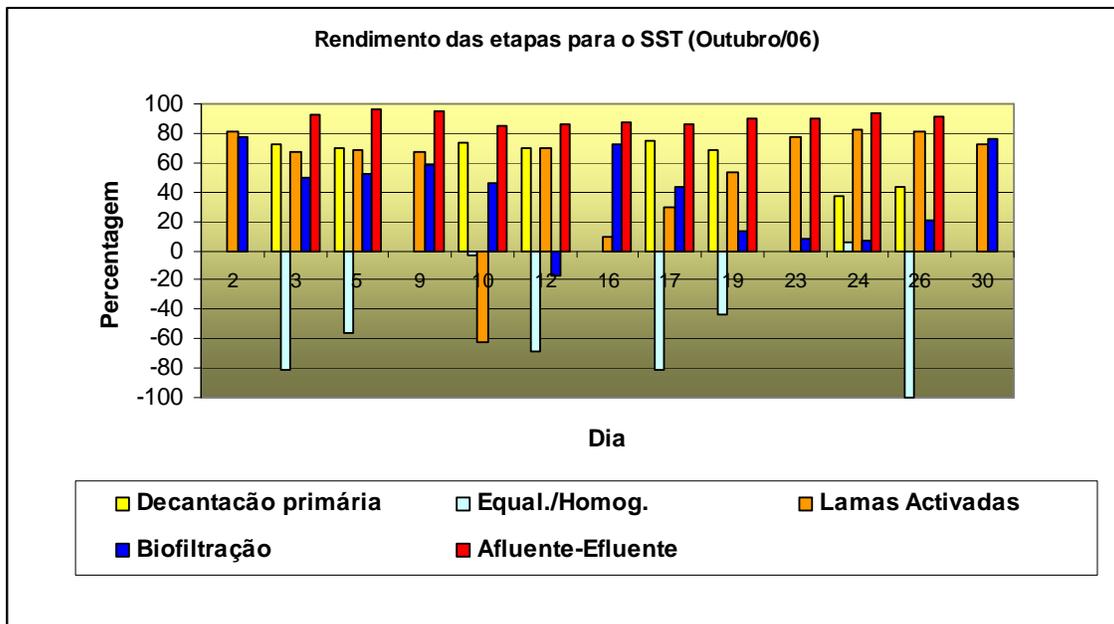
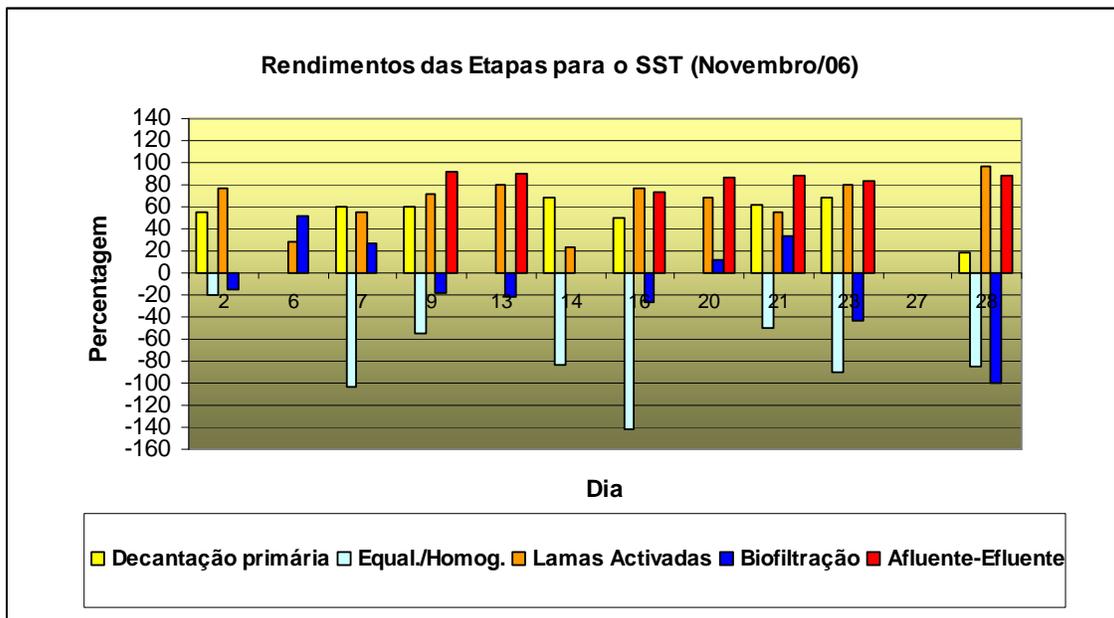


Figura 5 – Rendimento das etapas da remoção de SST (Setembro 06)



**Figura 6 – Rendimento das etapas da remoção de SST (Outubro 06)**



**Figura 7 – Rendimento das etapas da remoção de SST (Novembro 06)**

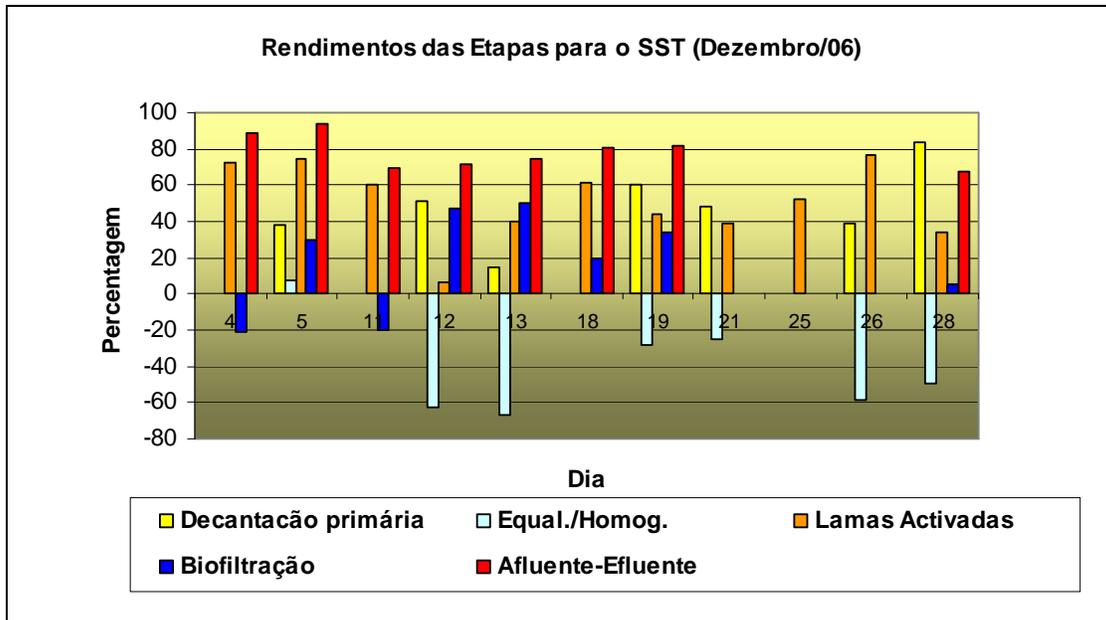


Figura 8 – Rendimento das etapas da remoção de SST (Dezembro 06)

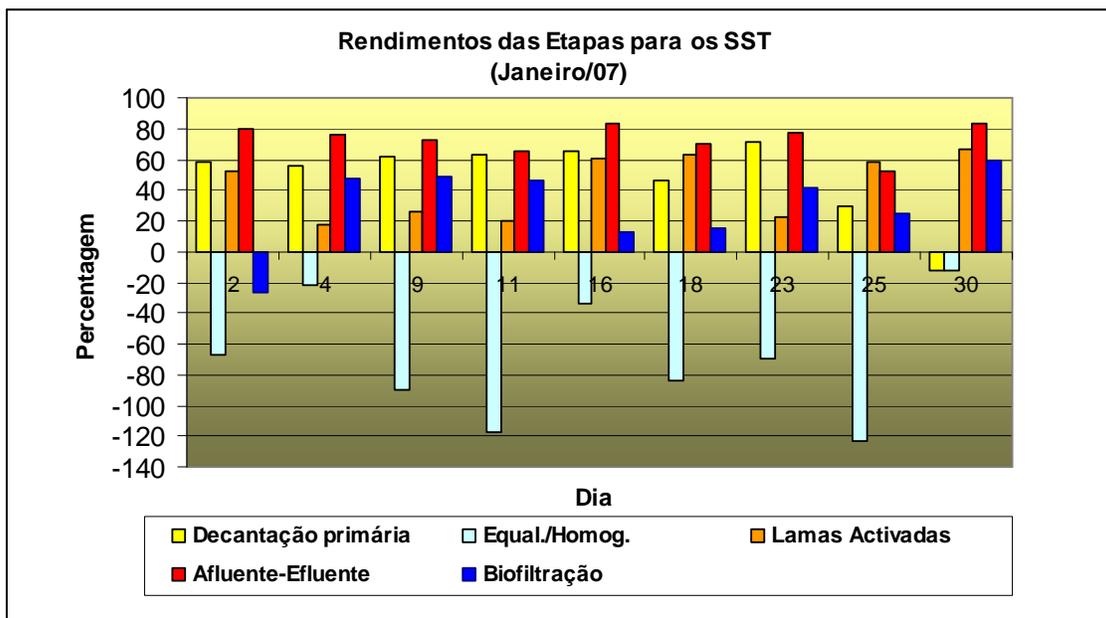


Figura 9 – Rendimento das etapas da remoção de SST (Janeiro 07)

A remoção de sólidos suspensos na decantação primária deve oscilar entre 50 a 70% [3], embora o rendimento para decantação primária de Frielas, nos meses secos e pluviosos, esteja definido em 50% [5].

Os rendimentos da decantação primária, nos seis meses de estudo, são cumpridos salvo raras excepções. Existiram alguns dias em que os valores superaram os 70%, o que revela o bom funcionamento da decantação primária.

O cenário na etapa de equalização e homogeneização é bastante diferente. Um dos objectivos, nomeadamente a homogeneização das concentrações, não é cumprido, situação ilustrada nos gráficos através dos rendimentos negativos para esta etapa.

Ainda que nesta etapa não se proceda a nenhuma remoção a palavra rendimento foi utilizada no sentido de aferir a contribuição dos retornos na homogeneização. Neste sentido no cálculo do rendimento apenas se tomou em linha de conta a concentração de SST (efluente da decantação primária), não considerando as concentrações de SST das escorrências da desidratação e das águas de lavagem da biofiltração.<sup>3</sup>

O quadro seguinte concretiza este facto, ao constatar-se um aumento sistemático da concentração de SST à saída do tanque de homogeneização.

	[SST] <sub>média</sub> efluente da Dec.Primária	[SST] <sub>média</sub> efluente do tanque de Homog.
Ago-06	119	177
Set-06	91	133
Out-06	88	139
Nov-06	77	137
Dez-06	116	162
Jan-07	130	220

**Quadro 6 – Concentrações médias de SST nos efluentes da decantação primária e do tanque de homogeneização da ETAR de Frielas**

Este cenário crítico pode explicar-se enunciando um conjunto de vários factores:

- As águas de lavagem da biofiltração e as escorrências da digestão e desidratação de lamas, altamente concentradas em sólidos, afluem ao tanque de equalização;
- A localização da saída do efluente, para o tratamento biológico, está muito perto das entradas das escorrências e das águas de lavagem, transitando estas apenas neste volume;
- O controlo da concentração das escorrências da desidratação de lamas não é sempre o mais eficaz;
- Os agitadores e os hidrojactores mostram não ser eficazes.

É expectável que os rendimentos do tratamento biológico, no que respeita ao SST, sejam afectados pelas elevadas cargas que afluem aos tanques de arejamento, uma vez que a população de microrganismos degrada com maior facilidade a matéria orgânica coloidal e dissolvida.

<sup>3</sup> As concentrações destas duas linhas também não são conhecidas, pois não é feita nenhuma análise até a data do estudo.

Os valores de referência na memória descritiva são de 90,2% [5] para o tempo seco e de 88,4% [5] para o tempo chuvoso e, analisando os gráficos, constata-se que poucos são os dias em que se verificam estes rendimentos no tratamento biológico.

Os valores registados oscilam, em média, entre os 60 e os 80%, embora nalguns dias, distribuídos pelos diversos meses, os valores sejam muito baixos. Embora estes valores apontem para um deficiente funcionamento do tratamento biológico, todavia as eficiências registadas anteriormente também contribuem para os rendimentos menos positivos. O mês de Janeiro é um exemplo, ao observar-se um decréscimo da qualidade do efluente à saída do tanque de homogeneização e verificando-se valores muito baixos para o rendimento do tratamento biológico.

No que respeita à biofiltração os rendimentos previstos são de 32% para o tempo seco e 67% para o tempo chuvoso [5].

De uma forma geral, constata-se que a biofiltração é uma etapa inconstante no que respeita ao seu funcionamento.

No que respeita aos meses chuvosos, raramente se atinge o valor projectado, salvo a excepção para o mês de Outubro, onde se atingem valores superiores (por exemplo, 76,67%; 77,42%). Em Novembro ocorrem até rendimentos negativos (por exemplo, -241,46%).

No entanto o rendimento da biofiltração no tempo seco, essencialmente nos meses de Agosto e Setembro, é satisfatório atingindo nalguns dias valores superiores ao rendimento previsto (57,75%; 62,94%). Mas, neste período, mais uma vez se volta a constatar um rendimento negativo no mês de Agosto (-224,68%).

As deficiências na biofiltração devem-se essencialmente a três factores:

- o regime de lavagens não é o mais adequado;
- as unidades em serviço são insuficientes pois os compressores não funcionam;
- as cargas de SST afluentes são, em muitos casos, elevadas.

## **5 TRATAMENTO BIOLÓGICO – LAMAS ACTIVADAS**

### **5.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO**

Na ETAR de Frielas o processo unitário biológico é do tipo lamas activadas em média carga. É composto por seis tanques de arejamento convencionais do tipo fluxo-pistão “plug-flow”<sup>4</sup>. O reactor “plug-flow” pode ser visto como um infinito número de tanques em série, pequenos e de mistura completa.

---

<sup>4</sup> Consultar anexo A

O fluxo assemelha-se ao movimento de um pistão, estando o tempo de retenção hidráulico dependente da razão comprimento/largura do tanque, da mistura induzida pelo arejamento e da entrada e saída do fluido.



**Figura 10 – Lamas Activadas de Frielas**

O efluente, proveniente do tanque de equalização<sup>5</sup> entra no bioreactor, actualmente, apenas por uma comporta. No entanto é possível a passagem para uma alimentação escalonada, pois cada bioreactor está preparado para distribuir o caudal por várias entradas, processo obtido através do conjunto de válvulas e comportas existente no canal de alimentação dos efluentes (Mistura Completa).

O arejamento nos tanques é efectuado por um sistema difusor de ar de bolha fina (tipo de disco com membrana) produzido por um grupo de compressores (3 + 1 de reserva).

O sucesso da operação do sistema de lamas activadas depende do desenvolvimento de biomassa floculenta que sedimenta rapidamente e compacta no decantador.

A quantidade de biomassa é medida através da concentração do parâmetro MLSS. A concentração de MLSS depende das características do afluente, do tempo de retenção hidráulico no bioreactor e da idade das lamas. A concentração e composição de MLSS variam pouco no bioreactor, já que a Idade das Lamas é superior ao tempo de retenção hidráulico e o licor misto é reciclado várias vezes antes de ser removido do sistema.

A formação de flocos biológicos é indispensável para que ocorra a sedimentação dos sólidos. Um floco ideal é o sólido e compacto, já que sedimenta rapidamente e compacta bem. Nestes casos tem-se um IVL baixo, tipicamente inferior a 100 ml/g e um sobrenadante limpo.

A biofloculação por si só não é suficiente para formar flocos fortes e compactos, sendo necessário ter proporções equilibradas de bactérias floculantes e filamentosas nos tanques de arejamento.

---

<sup>5</sup> A saída do efluente apenas se processa na célula 1 do tanque de equalização, saindo deste três linhas independentes, alimentando cada linha dois tanques de arejamento.

Na generalidade a inadequada biofloculação e/ou a incorrecta proporção entre bactérias floculantes e as filamentosas são a principal causa dos problemas no sistema de lamas activadas.

O crescimento disperso da incompleta biofloculação gera células individuais de bactérias que ao não se depositarem são arrastadas com o efluente decantado.

A capacidade de sedimentação e compactação é medida, regra geral, segundo o Índice Volumétrico da Lama (IVL), conhecido também por “Sludge Volume Index” (SVI).<sup>6</sup>

$$IVL = \frac{(Volume\ de\ lama\ 30\ min \times 1000)}{[MLSS]} \quad (2)$$

Como o volume da lama é dividido pela concentração de sólidos, pode-se entender que o IVL é independente da concentração de sólidos. Ou seja, pequenas alterações na concentração do MLSS não afectam o valor final do IVL. O mesmo não se pode afirmar para concentrações elevadas, de tal forma que o IVL deixa de ser um teste fiável, quando as concentrações de sólidos são superiores a 4000 mg/L [7].

As vantagens do operador, na utilização do IVL, são a simplicidade do teste, a rapidez, o baixo custo e a excelente despistagem das características da sedimentabilidade da lama.

IVL (ml/g)	Sedimentação e compactação da lama
<80	Excelente
80-150	Moderada
>150	Pobre

**Quadro 7 – IVL e Características da lama biológica**

Nas ETAR`s os testes são realizados normalmente numa proveta graduada de 1000 ml, embora seja aconselhável o uso de um cilindro graduado com um mecanismo de agitação, usualmente uma ou mais varas que se estendem por todo o comprimento do cilindro [13].

## 5.2 PRINCIPAIS PROBLEMAS OPERACIONAIS

- O “bulking sludge” acontece quando estão presentes no bioreactor grandes quantidades de bactérias filamentosas, formando flocos volumosos com estrutura aberta, dando origem a uma subida do nível de lamas no sedimentador (IVL alto). O resultado é uma deficiente compactação das lamas e por sua vez uma lama reciclada muito diluída.

---

<sup>6</sup> SVI é definido como sendo o volume ocupado por uma grama de lama após 30 minutos de sedimentação.

Alguns autores apontam para a estreita relação entre o decréscimo das bactérias filamentosas e por sua vez o aumento da velocidade de sedimentação com o aumento da idade das lamas.

- O “rising sludge” conhecido pelo fenómeno dos flocos flutuantes (flocos anóxicos) ocorre quando as lamas, que até apresentam características óptimas de sedimentação, são arrastadas para a superfície e flutuam, após um curto tempo de sedimentação.

A sua origem está associada à desnitrificação, ou seja, à conversão de nitritos e nitratos em azoto gasoso<sup>7</sup>. Este fenómeno é comum quando o tempo de retenção hidráulico no decantador é elevado e ainda em sistemas que contenham uma concentração elevada de óleos e gorduras, na medida em que as lamas absorvem estas últimas.

- “Nocardia foam” é um fenómeno originado por dois géneros de bactérias – *Nocardia* e *Microthrix parvicella* – que se caracteriza pela presença de uma extensa espuma nos sistemas de lamas activadas. A espuma é espessa, de cor castanha e pode ter uma constituição de 0,5 a 1 m de espessura. A produção de espumas pode ocorrer em ambos os sistemas, arejamento mecânico ou arejamento difuso, embora seja mais comum em sistemas de arejamento difuso.
- O fenómeno dos Flocos Pequenos “Pinpoint floc” deve-se provavelmente à reduzida população de filamentosas, originando um efluente turvo.



**Figura 11 – Presença de espumas no tanque de arejamento 5**

Uma observação visual do aspecto das lamas no tanque de arejamento permite uma despistagem rápida do estado das lamas. O quadro seguinte sintetiza os fenómenos mais comuns.

---

<sup>7</sup> A formação de outros gases também podem causar este fenómeno: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>.

<b>Fenómenos comuns no Tanque de arejamento</b>		
<b>Descrição</b>	<b>Causa (s)</b>	<b>Solução (ões)</b>
Lamas activadas com cor preta e odor a "ovos cozidos" originado pelo sulfureto de hidrogénio	Oxigenação insuficiente	Aumentar o arejamento, ou, se está no máximo, baixar a concentração
Espumas brancas volumosas e expandidas	Incompleta degradação dos detergentes contidos no afluente e/ou produção de agentes de superfície que activam o rápido crescimento de bactérias filamentosas	Aumentar a idade das lammas ou remover os agentes tóxicos
Excesso de espuma viscosa e espessa (mousse) de cor castanha	Crescimento de actinomicetas tais como a Nocardia ou outras bactérias filamentosas	Redução da idade das lammas no circuito

**Quadro 8 – Fenómenos comuns no tanque de arejamento**

### 5.3 CONTROLO PROCESSUAL DO SISTEMA

Para assegurar níveis elevados de desempenho no tratamento de um sistema de lammas activadas, sujeito a um espectro amplo de condições de operação, é necessário um controlo processual eficiente, em três pontos cruciais:

- Manutenção dos níveis de oxigénio dissolvido nos tanques de arejamento;
- Regulação da quantidade de lammas recirculadas ao tanque de arejamento;
- Controlo da quantidade de lammas a serem removidas do processo.

Teoricamente, a quantidade de oxigénio que deve ser transferida para os tanques de arejamento é igual á quantidade de oxigénio requerida pelos microrganismos presentes no sistema para oxidarem a matéria orgânica. Na prática a eficiência da transferência do oxigénio do gás para o líquido é baixa e somente uma percentagem de oxigénio é usada pelos microrganismos. No geral, a concentração de oxigénio dissolvido deve ser mantido num intervalo de 1,5 a 2 mg/L, em todas as áreas do tanque de arejamento, por forma a evitar o desenvolvimento das filamentosas no caso de não serem atingidos os valores compreendidos no intervalo.

O retorno das lammas ao tanque de arejamento, provenientes do decantador secundário, é a característica essencial do processo. A capacidade nominal das bombas de recirculação deve ser ampla e é importante prevenir a perda de sólidos pelo efluente do decantador.

Nos picos transitórios de caudal, menos tempo é disponível para a sedimentação das lamas, o que conduz a um aumento da camada de sólidos “Blanket solids”.

Desta forma, é necessária uma capacidade de recirculação superior, de forma a manter a camada de sólidos abaixo dos descarregadores do efluente.

As taxas de recirculação praticadas no sistema de lamas activadas, em função do caudal médio afluente à estação, variam entre 50 a 75%, mas a capacidade média dimensionada é de 100 a 150% em relação ao caudal médio afluente à estação. A concentração da lama recirculada varia entre 4000 a 12000 mg/L (WEF1998).

As técnicas mais comuns, na determinação dos caudais de recirculação são: a sedimentabilidade, o controlo do nível da camada de sólidos, o balanço mássico ao decantador secundário e o balanço mássico ao tanque de arejamento [3].

A extracção de lamas é o processo que permite eliminar as lamas em excesso. Normalmente cabe ao operador estabelecer um plano de extracção de lamas em função da concentração de lamas no tanque e da idade das lamas. Normalmente este último parâmetro é estabelecido para cada tipo de tratamento biológico.

As lamas extraídas directamente do decantador secundário são bastantes espessas (0,5 a 1,2% de sólidos) comparativamente às extraídas nos tanques de arejamento (0,2 a 0,6% de sólidos) [14].

## 6 DECANTAÇÃO SECUNDÁRIA

### 6.1 OBJECTIVO E IMPORTÂNCIA

No processo de lamas activadas é necessário separar a biomassa da água tratada, sendo este o objectivo da decantação secundária.

A importância desta etapa assume maior relevância quando coincide com a última etapa do tratamento das águas residuais na Estação, de tal forma que uma decantação sobrecarregada conduz a uma fuga exagerada de sólidos em suspensão, deteriorando a qualidade da água tratada.

Os decantadores secundários asseguram duas funções: separação da fase sólida (MLSS) do efluente – **clarificação**, para produzir um efluente de alta qualidade e o **espessamento** das partículas sedimentáveis para manter uma concentração elevada de sólidos na recirculação. No entanto as lamas espessadas podem seguir dois destinos possíveis: recirculadas aos tanques de arejamento ou encaminhadas para espessamento (lamas em excesso). Desta forma, a operação e o controlo da recirculação são factores determinantes na optimização da decantação secundária.

## **6.2 OBJECTIVO DA REMOÇÃO DOS SST**

Os SST são uma fracção dos sólidos totais (ST) e dividem-se em duas classes: os sólidos voláteis e os sólidos fixos. Os primeiros são considerados orgânicos e os segundos são usualmente designados por sólidos inertes.

Desta forma a aferição dos sólidos suspensos voláteis é uma forma rápida, ainda que grosseira, de avaliar a quantidade de matéria orgânica na água residual.

Na ETAR de Frielas, o efluente final da decantação secundária tem na sua predominância sólidos voláteis. Como o principal objectivo do tratamento secundário é a remoção da matéria orgânica, a remoção dos SST contribui necessariamente para este objectivo.

A análise dos valores de descarga dos SST, desenvolvida mais à frente, permite aferir a eficácia da decantação secundária e, na generalidade, a quantidade de matéria orgânica presente no efluente final.

## **6.3 VALORES TÍPICOS DE SST E CBO<sub>5</sub> NO CLARIFICADO**

O desempenho dos decantadores secundários é avaliado segundo os resultados de SST e CBO<sub>5</sub>. Usualmente quando se avalia o desempenho do decantador secundário, o raciocínio é perceber se existe fuga de SST, pois neste órgão o objectivo é reter os sólidos suspensos totais, para que se produza um clarificado limpo de contaminantes desta espécie.

O valor médio mensal de SST recomendado deve ser igual ou inferior a 30 mg/L (Federal Secondary Treatment Standards) (35 mg/L à saída da ETAR<sup>8</sup>), para os sistemas de biomassa suspensa. Os valores de CBO<sub>5</sub> variam com a idade da lama e outros factores mas usualmente são metade dos valores de SST (25 mg O<sub>2</sub>/L à saída da ETAR).

## **6.4 COMPORTAMENTO HIDRÁULICO**

Os sólidos biológicos nos sistemas de lamas activadas são de natureza floculenta. Em virtude da maioria dos tanques de arejamento operar com concentrações de lama superiores a 1000 mg/L, estas suspensões são categorizadas de suspensões concentradas ("concentrated suspensions").

As partículas destas suspensões estão suficientemente próximas, de tal forma que os seus campos de velocidade sobrepõem-se aos das partículas vizinhas e verifica-se, quando ocorre a sedimentação das partículas, um movimento ascensional da água.

---

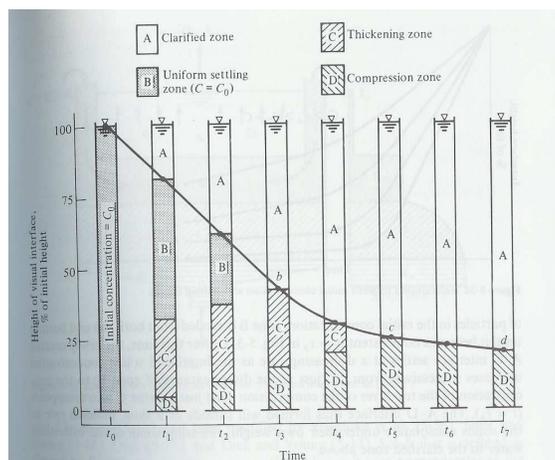
<sup>8</sup> Valor regulamentado na legislação D.L. nº. 152/97

A velocidade colectiva das partículas depende de algumas variáveis, sendo a concentração da suspensão uma delas, verificando-se que a velocidade é inversamente proporcional à concentração da suspensão.

Nos decantadores secundários ocorrem para além da sedimentação discreta e flocculenta mais dois tipos de sedimentação: “hindered or zone settling” e “compression settling”.

A designação de “hindered settling” está associada às variações da velocidade de sedimentação que por sua vez originam zonas com diferentes características de sedimentação. Este fenómeno ocorre preferencialmente nas regiões mais fundas do decantador onde a concentração de sólidos suspensos é muito maior. Como as concentrações são elevadas, o líquido tem tendência a subir através dos interstícios de contacto entre as partículas. Como resultado as partículas em contacto tendem a sedimentar numa zona “Blanket”, mantendo cada uma a mesma posição relativamente a cada uma das outras.

A figura seguinte, que ilustra a realização de um ensaio em Batch numa coluna, exemplifica o fenómeno “hindered settling”[2].



**Figura 12 – Ensaio de coluna “Zone Settling ”**

Na zona B, a concentração inicial  $C_0$  é mantida e a velocidade uniforme de sedimentação é uma característica desta concentração. A zona de clarificado resultante, zona A, é estendida à mesma velocidade.

Abaixo da zona de velocidade uniforme, são desenvolvidas duas zonas diferentes. As partículas no fundo vão-se depositando no fundo do cilindro e são suportadas mecanicamente pelo mesmo. Esta zona é designada por zona de compressão “compression zone” e nesta zona, as partículas comportam uma velocidade ligeira resultante da consolidação.

A área entre a zona B e a zona D contém um gradiente de concentração que é superior, ainda que ligeiramente, à concentração da zona B e inferior à concentração verificada no topo da zona de compressão. A velocidade conjunta das partículas da zona C, designada por zona de espessamento, decresce proporcionalmente, em função do gradiente de concentração.

À medida que o tempo avança as interfaces entre as diferentes zonas movem-se em relação uma às outras, conforme é visível na Figura 12. A interface C-D move-se para cima, uma vez que as partículas estão a descer para a zona D.

Por outro lado, enquanto o gradiente de concentração da zona C permanecer inalterado, o comprimento desta zona mantém-se constante e, desta forma, a interface B-C sobe à mesma velocidade de C-D.

A interface A-B move-se para baixo com uma velocidade de sedimentação uniforme, em função da concentração de partículas iniciais. Assim a zona B vai ser erodida, tanto a partir de baixo como de cima, até que deixa de existir ( $t=t_3$ ).

Após este tempo, a nova interface A-C criada estabelece-se a uma taxa decrescente, à medida que a concentração de sólidos da interface aumenta de  $C_0$  (no momento em que desaparece a zona B) para a concentração da camada superior da zona de compressão, até que a zona C desaparece ( $t=t_5$ ).

A interface A-D assim criada vai acomodar-se a uma taxa lenta e uniforme e à medida que os sólidos consolidam, devido ao próprio peso, liberta-se alguma água intersticial para a zona de clarificado.

Se a sedimentação ideal for assumida, uma estimativa da capacidade hidráulica do decantador pode ser obtida, calculando a taxa de sedimentação da interface A-B, o que corresponde ao declive da curva na região “hindered settling”. O caudal afluente ao decantador tem de ser limitado, isto é, inferior à velocidade de sedimentação da suspensão. Esta limitação pode ser expressa matematicamente:

$$A \geq \frac{Q}{V_s} \quad (3)$$

Onde A é área superficial do tanque, Q o caudal afluente ao decantador e  $V_s$  a velocidade de sedimentação na “hindered settling”.

## 6.5 PARÂMETROS DE PROJECTO

Os resultados dos ensaios de sedimentação em coluna (“Column settling tests”) permitem determinar a área de decantação requerida.

Este método é usado na determinação da área necessária, considerando a região de sedimentação discreta. Contudo como a área requerida para espessamento é superior à área requerida para sedimentação, a taxa de sedimentação discreta raramente é o factor determinante.

O segundo método – análise do fluxo de sólidos, admite o estado estacionário no interior do decantador, permite determinar a área requerida para a sedimentação da lama (na região da sedimentação zonal “hindered settling”), dependendo a área do fluxo de sólidos limite que pode ser transportado até ao fundo do decantador. Neste método o fluxo de sólidos descendente é devido à gravidade (hindered settling) e ao movimento induzido pela extracção de caudal que vai para recirculação (bulk movement).

A equação seguinte traduz este conceito [3].

$$SF_T = C_i \times V_i + C_i \times U_b \quad (4)$$

$SF_T$  é o fluxo total de massa de sólidos,  $C_i$  é a concentração de sólidos no ponto em questão ( $g/m^3$ ),  $V_i$  é a velocidade de sedimentação dos sólidos com a concentração  $C_i$  (m/h) e  $U_b$  é a velocidade do fluxo de lamas recirculadas (m/h).

Neste trabalho não se dá mais ênfase a estes dois métodos pois normalmente são usados aquando do projecto dos decantadores e neste estudo os decantadores estão em exploração.

Os parâmetros como a carga hidráulica superficial e a carga de sólidos são aproximações usadas no dimensionamento da decantação secundária, embora também sejam utilizados na análise da exploração da decantação secundária.

No entanto as condições de estado estacionário raramente ocorrem, devido a flutuações no caudal de água residual afluente à estação, no caudal de recirculação de lamas e na concentração de MLSS. Assim outras considerações de projecto têm de ser tomadas, tais como os picos de carga e os factores de segurança.

A selecção da carga hidráulica superficial depende dos valores limite estabelecidos na descarga do efluente e do desempenho do processo. Uma das equações que permite determinar a carga hidráulica superficial é a que se apresenta seguidamente:

$$Carga = \frac{V_s \times 24}{CFS} \quad (5)$$

A Carga é normalmente expressa em  $m^3/m^2.d$ , a  $V_s$  em m/h e o factor de segurança  $CFS$  é adimensional.

A carga hidráulica depende da velocidade de sedimentação de interface ( $V_s$ ) e do valor projectado para a concentração de MLSS. A velocidade de sedimentação da interface depende da concentração de células (MLSS) e de outras condições.

As correlações entre a velocidade de sedimentação de interface ( $V_s$ ) e as concentrações de MLSS têm sido desenvolvidas com a utilização do  $SVI$  como parâmetro adicional (*Daigger e Wahlberg, 1995*). Os resultados dessas correlações são sumariados nas seguintes equações [3].

$$\ln(v_s) = 1,871 - (0,1646 + 0,001586 \times SVI) \times X_T \quad (6)$$

$$\ln(V_s) = 2,028 - (0,1030 + 0,0025555 \times DSVI) \times X_T \quad (7)$$

$V_s$  é a velocidade de sedimentação,  $SVI$  é o equivalente ao  $IVL$ ,  $X_t$  é a concentração da lama e  $DSVI$  é o  $SVI$  diluído.

No entanto, se a  $V_s$  for conhecida, a equação (3) é a mais utilizada na análise diária da carga hidráulica aplicada aos decantadores.

As cargas hidráulicas recomendadas, para os decantadores a jusante dos sistemas de lamas activadas (excluindo as de arejamento prolongado), no manual da EPA "*Suspended Solids Removal*" são de 16 a 33  $m^3/m^2.d$ , para caudais médios e de 41 a 49  $m^3/m^2.d$  para os picos de caudal.

A carga de sólidos que representa a taxa de sólidos fornecidos ao decantador por área (área da secção transversal) além de ser um parâmetro de dimensionamento, também contribui para avaliar o desempenho do decantador, no que respeita ao espessamento de sólidos.

Segundo alguns autores ("Clarifier Design") o fluxo de sólidos limitante é função da concentração de sólidos desejados no caudal de recirculação e das características de sedimentação da lama. Isto afecta, por sua vez, a taxa de recirculação e a concentração de  $MLSS$  que deve ser mantida no tanque de arejamento.

O efeito da temperatura nos decantadores secundários também foi investigado por Reed e Murphy [1]. O tempo de sedimentação, para a temperatura de 0° C, é aumentado em 1,75 vezes face ao tempo de sedimentação para a temperatura de 20° C, para uma concentração de sólidos de 2 g/l ou menos. No entanto o efeito torna-se menos pronunciado quando a concentração de sólidos aumenta. A carga de sólidos, para os sistemas de lamas activadas arejadas por ar, varia, em média, entre 4 a 6  $kg/m^2.h$  [3], podendo atingir os 8  $kg/m^2.h$  [3] nos períodos de tempo em que se verifiquem os picos de caudal.

No entanto, alguns autores sugerem que a escolha da carga de sólidos está estritamente dependente dos valores de  $IVL$  da lama biológica. Assim para um  $IVL$  de 300 ml/g a carga de sólidos deve ser de 2  $kg/m^2.h$ , enquanto que para um  $IVL$  de 100 ml/g já é aconselhável 12  $kg/m^2.h$  [1].

A sua variabilidade pode afectar a qualidade do efluente, razão que justifica a verificação deste parâmetro, aquando do controlo processual da decantação secundária.

A selecção do nível de água no decantador depende do tamanho da unidade e do processo biológico que existe a montante. Os valores recomendados mais uma vez no manual da EPA são de 3,7 a 4,6 m para os decantadores a jusante dos sistemas de lamas activadas.

Com base no historial dos dados de operação, foi demonstrado por Parker [1] o efeito da profundidade na qualidade do efluente. Para caudais médios similares, a concentração de sólidos suspensos no clarificado diminuía enquanto aumentava a profundidade.

Em regra, a decisão de aumentar a profundidade do decantador deve depender da análise do custo versus o custo das alternativas e da antecipação da melhoria da qualidade do efluente.

A carga de descarga do clarificado deve ser aproximadamente de 124 m<sup>3</sup>/m.d para o caudal médio e de 375 m<sup>3</sup>/m.d para o caudal máximo diário [1].

No entanto, a bibliografia da especialidade, refere que a localização dos descarregadores é um factor mais importante do que o caudal de descarga admitido nos descarregadores. Ou seja, não se verifica a degradação da qualidade do efluente, nas instalações onde se verificam elevadas descargas de clarificado.

## **6.6 VARIÁVEIS CONDICIONANTES NA CLARIFICAÇÃO E NO ESPESSAMENTO**

A clarificação verifica-se sempre que a velocidade ascensional, ou seja a carga hidráulica, seja menor ou igual à velocidade de sedimentação da lama.

No entanto a clarificação ainda depende da carga de sólidos, da turbulência e da geometria dos tanques. A compactação e espessamento das lamas dependem da velocidade de sedimentação, da profundidade do tanque e de outras variáveis reunidas no quadro seguinte.

<b>Variáveis condicionantes da clarificação e do espessamento nos decantadores secundários</b>		
	<b>Clarificação</b>	<b>Espessamento</b>
<b>Água residual</b>	Caudal	Caudal do licor misto
	Temperatura da água residual	
<b>Decantador</b>	Área superficial e carga hidráulica	Área superficial
	Profundidade	Profundidade do tanque
	Comprimento da descarga, posição, e carga de descarga	Modo de recolha das lamas
	Entrada do caudal	
	Configuração do decantador	
	Tipo de recolha das lamas	
	Parâmetros hidráulicos	
Acção do vento		
<b>Lama</b>	Carga de sólidos	Velocidade de sedimentação zonal
	Características de compactação (SVI)	Características de compactação (SVI)
	Velocidade de sedimentação zonal	Concentração do licor misto e carga
	Grau de nitrificação	Razão de recirculação
		Profundidade do manto de lamas
<b>Processo Biológico</b>	Tipo de lamas activadas <sup>9</sup>	
	Carga de CBO	

Fonte: [1]

**Quadro 9 – Variáveis condicionantes na clarificação e no espessamento**

### 6.6.1 “DESIGN” DOS DECANTADORES SECUNDÁRIOS

O “design” do decantador é determinante na condução do processo de clarificação e espessamento. Além do investimento inicial no período da concepção dos decantadores, muitas das características de concepção são definidas para o tempo de vida do decantador, sendo assim importante dimensioná-las correctamente na fase de projecto.

Citam-se de seguida aquelas que se julgam ser mais determinantes na decantação, especificando-se as normas a respeitar.

- **Profundidade** – O local do decantador por onde se dá a saída do clarificado deve ter uma profundidade mínima de 4 metros. Este parâmetro já foi abordado anteriormente.
- **Comprimento** – A razão comprimento/largura deve variar entre 1,5:1 a 15:1, embora a razão mínima a ser usada, seja a 3:1, de forma a evitar curto – circuitos.
- **Entradas** – As entradas devem ser projectadas por forma a dissipar a energia inicial do caudal de entrada, a distribuir o caudal uniformemente pela secção transversal do tanque, a

<sup>9</sup> Estes dois factores afectam as características de sedimentação da lama biológica.

evitar os curto-circuitos, a minimizar as perturbações do manto de sólidos e a promover a floculação.

As comportas de entrada não devem ter dimensões muito reduzidas, de maneira a evitar velocidades excessivas. Ainda é aconselhável que a distância entre as comportas seja inferior a 3 metros.

São comuns comportas deslizantes nas entradas dos decantadores para ajustar ou cessar a operação e ainda “baffles” compactos ou perfurados, colocados segundo a largura do decantador, para diminuir a velocidade inicial do fluído. Por norma, a velocidade inicial do caudal de entrada deve estar compreendida no intervalo 0,15 a 0,60 m/s [4], para manter os flocos em suspensão e a velocidade horizontal nunca deve ser superior a 20 mm/s para evitar o arrastamento dos sedimentos [4].

- **Descarregadores** – A sua localização e o seu tipo são mais importantes do que a carga de descarga. A localização não deve coincidir com a zona das correntes de densidade<sup>10</sup> e devem estar na parte dianteira da parede de fundo do decantador para evitar a perda de lamas activadas, originada pelas correntes de densidade.

O tipo de saída no decantador causa um aumento da velocidade horizontal e vertical enquanto o fluido é forçado a subir para alcançar a saída, junto à parede. Aumentando a área superficial de colecta, a velocidade vertical diminui.

A carga hidráulica de descarga, em tanques de grandes dimensões, não deve exceder 375 m<sup>3</sup>/m.d, quando os descarregadores se encontram afastados da zona de subida das correntes de densidade e, no caso em que os descarregadores estejam instalados na zona de subida, não deve exceder os 250 m<sup>3</sup>/m.d [1].

- **Deflectores “Baffles”** – A utilização de “baffles” junto à entrada (inlet baffles) é estritamente necessária para dissipar a energia contida no caudal afluente e para distribuir o caudal uniformemente por toda a secção transversal do decantador. A inclusão de “outlet baffles” na zona final dos decantadores é comum aquando da utilização de descarregadores na zona final dos decantadores para evitar a fuga de sólidos causada pelas correntes de densidade, comuns no sistema de lamas activadas.

## 6.7 FENÓMENOS COMUNS NO PROCESSO

Uma das formas de avaliar o desempenho da decantação secundária passa pela observação da fase líquida nos decantadores e do clarificado à saída do decantador. Trata-se de uma operação rápida e eficaz e permite aos responsáveis do sistema inverterem o cenário prontamente, ao invés das análises laboratoriais.

Descrevem-se no quadro seguinte alguns fenómenos, as suas causas e as soluções para a resolução desses.

---

<sup>10</sup> As correntes de densidade caracterizam-se por terem velocidades horizontais excessivas reduzindo o tempo de retenção hidráulico das partículas.

<b>Fenómenos comuns no Decantador</b>		
<b>Descrição</b>	<b>Causa (s)</b>	<b>Solução (s)</b>
Sólidos suspensos à superfície "clumping"	Presença de nitrogénio (desnitrificação), carência de oxigénio dissolvido no topo do manto de lamas e elevada permanência das lamas na zona de sedimentação.	Alterar a idade das lamas e/ou aumentar a R das lamas para reduzir o tamanho e a permanência do manto de lamas
Sólidos compactos e granulares acinzentados no decantador (clarificado turvo)	Lamas sobre oxidadas, lamas com idades elevadas e excesso de potência no arejamento	Diminuir a idade das lamas e/ou a concentração de oxigénio dissolvido para fomentar o crescimento de bactérias filamentosas
Flocos volumosos (espumas estáveis, densas e acastanhadas) /Efluente limpo/Perda de flocos	Baixos valores de F/M; afluente com reduzidas concentrações de N e P; teor baixos de O <sub>2</sub> dissolvido; proporção incorrecta de C:N:P; idade das lamas elevada; afluentes sépticos (quantidades excessivas de bactérias filamentosas)	Corrigir parâmetros, adição de polímeros ou coagulantes e aplicar peróxido de hidrogénio ou hipoclorito às lamas recicladas

Fonte:[6], [18]

**Quadro 10 – Fenómenos comuns no decantador secundário**

No entanto existem os fenómenos de natureza hidráulica que condicionam a sedimentação e a clarificação e normalmente não são perceptíveis de imediato aos operadores da estação.

Estes são usualmente designados pelo termo "Nonideal Flow" e contribuem, a par do "design" dos órgãos e da forma como estes são explorados, para o desempenho do órgão.

O termo "Nonideal Flow" é utilizado para definir os curto-circuitos que ocorrem nos órgãos hidráulicos. Estes ocorrem quando uma porção de fluido que entra no reactor tem um tempo de permanência inferior ao tempo de chegada de uma nova porção de fluido ao reactor, o que se deve ao desvio do percurso hidráulico do fluxo que atravessa o decantador.

Alguns factores são apontados como justificação deste fenómeno e outros deles já foram referenciados aquando da análise das características dos órgãos.

- As densidades relativas do caudal de alimentação e da água no decantador, assim como a diferença de temperatura verificada entre ambos, origina correntes de densidade, de modo que a porção de fluido que entra no órgão dirige-se para a saída, pelo fundo ou pelo topo do órgão.
- "Wind-driven circulation" pode ocorrer em tanques rasos, levando a que uma porção do fluido tenha um tempo de permanência inferior ao que estaria designado.

- Dimensionamento deficiente dos órgãos, que depende, em norma, da entrada e saída do órgão relativamente à razão comprimento/largura do mesmo, originando zonas de volume morto.
- O aumento da velocidade vertical junto à parede enquanto o fluido é forçado a subir para alcançar a saída arrastando consigo partículas sedimentadas e outras que não dispuseram de tempo para sedimentar.

## 6.8 DECANTAÇÃO SECUNDÁRIA NA ETAR DE FRIELAS

A decantação secundária na ETAR de Frielas é assegurada por 12 decantadores secundários rectangulares, estando cada par de decantadores associado a uma linha de tratamento (6 linhas – 6 tanques de arejamento)<sup>11</sup>.



**Figura 13 – Vista dos decantadores secundários**

A remoção das lamas sedimentadas, que se depositam no manto de lamas, e dos flutuantes é realizada por uma ponte raspadora que possui um sistema de sucção e um “skimmer”, existindo uma por cada par de decantadores. As lamas extraídas seguem para os poços de lama recirculada e os flutuantes para a elevação inicial.

---

<sup>11</sup> Consultar anexo A



**Figuras 14 e 15 – Pormenor da saída dos flutuantes (Fig.14) e do skimmer na posição “stand-by” (Fig.15)**

Por sua vez, o clarificado é recolhido nas caleiras e daí segue para a unidade de biofiltração.



**Figura 16 – Caleiras de recolha do clarificado**

A área da decantação foi calculada de forma a conseguir:

- Uma carga superficial  $\leq 1,0$  m/h para o caudal de ponta máximo admissível<sup>12</sup> (4650 m<sup>3</sup>/h a repartir por 12 decantadores);
- Um tempo de retenção hidráulico  $\leq 4$ h para o caudal de ponta máximo admissível.

<sup>12</sup> O caudal de ponta máximo admissível tem em conta o caudal máximo regularizado à saída dos tanques de equalização, bem como todos os retornos que devem transitar nos tanques de arejamento.

Para o dimensionamento destes órgãos, conforme a memória descritiva, foi considerada uma velocidade ascensional de 1,0 m/h para o caudal máximo admissível (limitando a 1,2 m/h em caso de uma ponte raspadora ter uma avaria ou no caso de se estar a trabalhar apenas com 10 decantadores). Por outro lado, para permitir uma altura de água decantada suficiente, acima do manto de lamas, foi estabelecida uma altura de água periférica de 4,0 m.

<b>Tipo</b>	Longitudinal Rectangular
<b>Largura interior unitária</b>	7 m
<b>Comprimento total interior</b>	60,20 m
<b>Comprimento útil interior</b>	59,00 m
<b>Área total unitária</b>	421,4 m <sup>2</sup>
<b>Área unitária útil (nível líquido)</b>	407 m <sup>2</sup>
<b>Área ocupada pelos descarregadores</b>	14,4 m <sup>2</sup>
<b>Volume unitário</b>	1686 m <sup>3</sup>

**Quadro 11 – Características dos decantadores secundários da ETAR de Frielas**

As águas decantadas são recolhidas em caleiras, à superfície dos decantadores, com as características definidas na tabela seguinte.

<b>Tipo</b>	Duplo
<b>Tipo de descarregadores</b>	Triangular
<b>Nº de unidades por descarregador</b>	6
<b>Comprimento útil unitário</b>	7 m
<b>Material</b>	Metal
<b>Espessura</b>	0,003 m
<b>Largura interior</b>	0,40 m
<b>Altura</b>	0,40 m
<b>Comprimento do descarregador/decantador</b>	84 m
<b>Caudal admitido nos descarregadores<sup>13</sup></b>	4,61 m <sup>3</sup> /h.m

**Quadro 12 – Características dos descarregadores dos decantadores secundários de Frielas**

<sup>13</sup> Com o caudal máximo afluente aos tanques de arejamento de 4650 m<sup>3</sup>/h, os valores aconselhados variam entre 124 m<sup>3</sup>/m.d, para o caudal médio, e 375 m<sup>3</sup>/m.d nos picos de caudal [1]

### 6.8.1 RECIRCULAÇÃO DAS LAMAS BIOLÓGICAS

O processo seguido na recirculação de lamas é complexo, razão pela qual será feita uma descrição sumária.

Em cada par de decantadores existe uma ponte raspadora que contem dois caixões semi-imersos que recebem as lamas de fundo através dos tubos de sucção (4 tubos por meia ponte) de 200 mm de diâmetro. Cada caixaõ possui duas bombas submersas que permitem a recolha das lamas de fundo, sendo uma de velocidade variável (P-16.01-04 a P-16.12-04) e outra de velocidade fixa (P-16.01-500 a P-16.12-500).[5]



**Figura 17 – Ponte raspadora – pormenor do caixaõ e dos tubos de sucção.**

Actualmente as duas bombas de cada decantador, em automático, funcionam em contínuo, arrancando inicialmente a de velocidade constante. A de velocidade variável será controlada por um PID de nível do poço de lamas. O “set-point” deste PID será um valor fixo por poço a ajustar durante o arranque, com indicação desse valor na supervisão. (varia entre 50 a 90% do nível do tanque).

<b>Número total de unidades (1 por tanque)</b>	12 U
<b>Caudal unitário</b>	424 m <sup>3</sup> /h
<b>Altura geométrica a elevar</b>	1,5 m
<b>Altura manométrica total</b>	2,0 m
<b>Diâmetro de compressão</b>	300 mm

**Quadro 13 – Características das bombas de extracção de lamas (velocidade variável)**

Por sua vez as lamas seguem a caleira longitudinal até chegarem ao poço de lamas, sendo este comum a um par de decantadores. Em cada poço existem duas bombas de recirculação<sup>14</sup> (P-16.0x-007/008) e duas de extracção de lamas em excesso (P-16.0x-009/010), medidores de níveis hidrostáticos e uma bóia de nível baixo para proteger as bombas. As bombas de recirculação conduzem as lamas aos tanques de arejamento, enquanto as bombas de extracção conduzem-nas aos flotores.

#### **6.8.1.1 REGULAÇÃO DA RECIRCULAÇÃO DE LAMAS BIOLÓGICAS**

O caudal de lamas recirculadas é constante, nesta fase da ETAR, estando a taxa de recirculação próxima dos 100 %. Normalmente funciona uma bomba, no entanto quando é necessário aumentar o caudal de recirculação aos tanques de arejamento é colocada a segunda bomba a funcionar.

Este procedimento está prestes a ser alterado, estando já montadas as válvulas de guilhotina pneumáticas. A partir dessa alteração, o caudal bombeado pelas bombas de recirculação é regulado pelas válvulas de guilhotina (Y-16.01-500 a Y-16.06-500) instaladas a jusante dos poços de recirculação. Estas válvulas de regulação do caudal são controladas por um PID de caudal. As duas bombas, em automático, funcionarão sempre em contínuo, sendo o caudal de recirculação controlado pela abertura da válvula de regulação. O “set-point” do PID é o maior dos dois valores seguintes:

- Produto do caudal de entrada de efluente na linha de tratamento biológico pela taxa de recirculação, que será parametrizável na supervisão;
- Caudal mínimo de recirculação<sup>15</sup>.

O procedimento é resumidamente este: se o caudal afluente ao tanque de arejamento aumentar, no período pre-estabelecido de 10 minutos<sup>16</sup>, então a válvula de guilhotina pneumática abre, de forma a ser debitado um caudal de recirculação superior.

---

<sup>14</sup> Bombas de velocidade fixa – 270 a 404 m<sup>3</sup>/h (de acordo com a variação da altura de elevação)

<sup>15</sup> O valor considerado foi de 450 m<sup>3</sup>/h, o que corresponde ao volume de lamas espessadas com altura de 1 metro, por cada par de decantadores. Este valor garante uma recirculação mínima evitando assim anaerobiose das lamas existentes na decantação e mantém uma biologia estável no arejamento.

<sup>16</sup> O volume de lamas a serem recirculadas é actualizado de 10 em 10 minutos, e corresponde ao total de impulsões recebidas do medidor do caudal de esgoto (V esgoto) durante a última hora de funcionamento multiplicado pela taxa de recirculação introduzida pelo pessoal da manutenção na supervisão.

## 7 ANÁLISE DOS DADOS DE EXPLORAÇÃO DA DECANTAÇÃO SECUNDÁRIA: AGOSTO 06 – JANEIRO 07

### 7.1 VALORES MÉDIOS MENSIS DE CBO<sub>5</sub> E SST NO CLARIFICADO

No sub capítulo 4.4 aferiram-se as percentagens de remoção dos SST no tratamento biológico e, por norma, estiveram abaixo das eficiências de remoção recomendadas.

Como seria de esperar os valores médios mensais de CBO<sub>5</sub> e dos SST são muito elevados no efluente da decantação secundária. Estes valores são representativos do clarificado global dos 8 decantadores secundários, pois a amostra é recolhida no poço comum (FA7), onde afluem todos os clarificados.

Efluente da Dec.Secundária		
Mês	CBO <sub>5</sub> (mg/L)	SST (mg/L)
Ago-06	80	70
Set-06	69	68
Out-06	53	61
Nov-06	71	45
Dez-06	115	78
Jan-07	99	107

**Quadro 14 – Dados de exploração da decantação secundária na ETAR de Frielas**

Os valores, ainda que reflectam a média mensal, nunca são cumpridos em termos da legislação vigente. Após a biofiltração o cenário repete-se, com excepção para o CBO<sub>5</sub> em Novembro e para os SST em Outubro (ver Quadro 5), o que seria expectável uma vez que as concentrações afluentes à biofiltração são muito elevadas.

	Concentração média	Concentração máxima
CBO <sub>5</sub>	<40	<60
SST	<40	<60

**Quadro 15 – Valores máximos de admissão de CBO<sub>5</sub> e SST nos biofiltros**

Como se verifica no Quadro 14 os valores médios mensais de CBO<sub>5</sub> e SST normalmente ultrapassam a concentração máxima admitida nos biofiltros. Assim mesmo que se verifiquem as percentagens de remoção recomendadas para a biofiltração, a remoção não é suficiente para garantir o cumprimento dos valores limite de descarga do efluente da ETAR.

## 7.2 CONTROLO PROCESSUAL DA DECANTAÇÃO SECUNDÁRIA – LINHA 1 E 2

### 7.2.1 PARÂMETROS ANALISADOS E EQUAÇÕES UTILIZADAS

Atendendo a um dos objectivos do trabalho, realizou-se uma análise pormenorizada de cada par de decantadores, durante um período de tempo representativo do tempo seco e pluvioso.

Na análise foram verificados os seguintes parâmetros hidráulicos: tempo de retenção hidráulico, velocidade horizontal do escoamento, carga hidráulica superficial, carga de sólidos, velocidade de interface (velocidade de sedimentação dos flocos) e taxa de recirculação de lamas.

A análise da lama foi feita através do IVL usando a equação (2) definida no subcapítulo 5.1.

Apresentam-se as equações que permitiram calcular os parâmetros hidráulicos.

$$T_r = \frac{V}{Q} \quad (8)$$

$T_r$  é o tempo de retenção hidráulico,  $V$  é o volume do decantador e  $Q$  é o caudal afluyente ao decantador.

$$V_H = \frac{Q_{afluyente}}{L \times h} \quad (9)$$

$V_H$  é a velocidade horizontal do fluído,  $L$  é a largura do decantador e  $h$  a altura de água no mesmo.

$$V_i = e[1,871 - (0,1646 + 0,001586 \times SVI) \times X_T] \quad (10)$$

$V_i$  é a velocidade de interface da lama biológica e  $X_T$  a concentração da lama no tanque de arejamento.

$$C \arg a_{hidráulica} = \frac{Q_{afluyente}}{A_{superficial}} \quad (11)$$

A carga hidráulica é a razão entre o caudal afluyente ao decantador e a área superficial do mesmo.

$$C \arg a_{sólidos} = \frac{Q_{afluyente} \times [SST]}{A_{superficial}} \quad (12)$$

A carga de sólidos é a razão entre o produto do caudal afluyente ao decantador e a concentração de sólidos ([SST]) e a área superficial do decantador.

$$R_{recirculação} = \frac{V_L}{(1000 - V_L)} \times \frac{Q_{afluyente}}{Q_{afluyente}} \times 100 \quad (13)$$

$R_{recirculação}$  é a razão de recirculação entre o caudal recirculado e o caudal afluyente,  $V_L$  é o volume de lama que sedimentou após trinta minutos e  $Q_{afluyente}$  é o caudal afluyente ao decantador.

$$R_{recirculação} = \frac{100}{\left( \left( \frac{100}{P_w \times SVI} \right) - 1 \right)} \quad (14)$$

$R_{recirculação}$  é a razão de recirculação entre o caudal recirculado e o caudal afluyente ao decantador,  $P_w$  é a concentração de MLSS expressa como percentagem e SVI já foi definido na equação 2.

## 7.2.2 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### ➤ LINHA 1 – DECANTADORES 1,2

O IVL está, normalmente, compreendido no intervalo 80-150 mL/g durante os seis meses<sup>17</sup>. No entanto são mais os dias que o IVL se situa acima deste intervalo do que abaixo deste, o que favorece a fuga de flocos na zona das caleiras, comprometendo o funcionamento dos decantadores secundários 1 e 2.

Quando comparadas entre si, as razões de recirculação teóricas são semelhantes. Todavia muitas das vezes os valores teóricos de R são muito diferentes dos valores reais de R.

Assim, a R teórica em função da sedimentabilidade evidencia que lamas com uma sedimentabilidade baixa dão origem a taxas de recirculação elevadas (para 800 mL a recirculação deve ser de 400%<sup>18</sup>), ao invés de lamas com uma sedimentabilidade elevada (para 180 mL a recirculação deve ser 22%<sup>19</sup>). Em nenhum destes dias a R real (95% e 97%) se aproximou da R teórica, embora não seja possível operacionalmente atingir uma R de 400 %.

Esta comparação não pretende sistematizar alterações diárias na recirculação, pois o plano de recirculação depende de outras variáveis. No entanto, sempre que se verifiquem valores díspares entre a R teórica e a R prática, dever-se-á adequar a R real para que se possa otimizar o processo de decantação.

A R teórica em função do IVL e da concentração de MLSS apresenta valores muito elevados, nos dias em que se verifica uma concentração elevada de MLSS ou um IVL elevado.

<sup>17</sup> Ver Anexo C

<sup>18</sup> Para o dia 31/9

<sup>19</sup> Para o dia 26/10

Como ambas as taxas de recirculação teóricas têm valores semelhantes, qualquer uma pode ser utilizada no controlo processual da recirculação com vista à optimização do processo.

A carga hidráulica superficial apenas ultrapassa o valor dimensionado de 1,0 m/h no mês de Janeiro, oscilando entre 0,55 m/h e 0,75 m/h nos restantes meses. No mês de Janeiro o caudal afluente aos decantadores duplicou, conforme se constata na tabela em anexo (página 84).

No entanto, ainda no mês de Janeiro os valores da velocidade de interface, que não é mais que a velocidade de queda dos flocos, superam maioritariamente os valores da carga hidráulica. Nos dias em que a velocidade de interface é inferior, é expectável que o clarificado esteja carregado de sólidos suspensos.

A carga de sólidos (CS) aplicada está normalmente dentro dos valores recomendados<sup>20</sup>, registando-se um ou outro valor superior a 6 kg/m<sup>2</sup>.h nos períodos que se verificam picos de caudal.

O tempo de residência das partículas é sempre inferior a 4 horas, o que está de acordo com o valor definido no Manual de Funcionamento da ETAR. Normalmente o tempo de residência da partícula são três horas, embora no mês de Janeiro seja de duas horas, pois o caudal afluente aos decantadores (Q recirculação + Q afluente) foi muito elevado.

Embora algumas agências regulamentares (por exemplo., Great Lakes, 1992) proponham 4 horas, em decantadores modernos como os de Frielas, com remoção mecânica das lamas, são aceitáveis valores de 1,5 a 2 horas [8], o que permite concluir que os tempos de residência são aceitáveis para os decantadores 1 e 2.

A velocidade horizontal do fluxo nos decantadores, não considerando os volumes mortos induzidos pelos curto-circuitos, é bastante satisfatória – 6E-03 m/s (média dos dias de estudo), pois é inferior a 0,01[8].

Esta velocidade possivelmente só será verificada após a primeira metade do decantador, pois antes a velocidade do fluxo é muito elevada, uma vez que o caudal não é distribuído uniformemente por toda a secção transversal do decantador e não encontra nenhuma barreira artificial que favoreça a dissipação da energia inicial.

➤ LINHA 1 – DECANTADORES 3,4

O IVL também se situa maioritariamente no intervalo 80-150 mL/g, sendo mais os dias em que o IVL ultrapassa os 150 ml/g do aqueles em que se regista o IVL inferior a 80 mL/g, conforme se verificou no par de decantadores 1 e 2.

Quanto às taxas de recirculação o cenário é semelhante ao que ocorre no par de decantadores 1 e 2.

---

<sup>20</sup> Valores detalhados na secção 6.5

Relativamente aos valores da carga hidráulica superficial nada há a acrescentar ao que foi dito anteriormente para os decantadores 1 e 2, uma vez que o caudal de cada linha é distribuído equitativamente pelos dois tanques de arejamento assim como o caudal efluente do tanque de arejamento o é pelos dois decantadores.

A carga de sólidos normalmente respeita os valores da bibliografia<sup>21</sup>, atingindo pontualmente valores superiores aos normais para caudais médios quando se verificam caudais elevados, mas ainda assim respeitam o valor máximo para caudais máximos.

Os tempos de residência são muito semelhantes aos que se verificam no par de decantadores 1 e 2, podendo-se aceitar as conclusões retiradas para o par 1 e 2.

As velocidades horizontais são baixas, na ordem dos 6E-03 m/s, sendo válidas aqui as mesmas conclusões retiradas para o par de decantadores 1 e 2.

➤ LINHA 2 – DECANTADORES 5, 6

O IVL é, em regra, superior a 150 ml/g, indiciando fenómenos de “bulking” ou “foaming” no tanque de arejamento nº 3. Em cinco dias de amostra verifica-se o IVL inferior a 80 mL/g e em 13 dias superior a 150 mL/g.

Embora não se disponha de análises microbiológicas, poder-se-á afirmar que a população de filamentosas no tanque de arejamento 3 não deve estar controlada, e é em muito superior à população de bactérias floculentas, o que se pode dever a um défice de oxigénio ou a uma extracção insuficiente.

É expectável que nestes dias a lama recirculada seja muito diluída e que ocorram mais flocos no clarificado de ambos os decantadores, pois, de facto, o manto de lamas tem tendência a subir estando mais exposto à erosão.

Quanto aos valores díspares entre a razão de recirculação prática e a razão de recirculação teórica, as conclusões retiradas na discussão do par de decantadores 1 e 2 podem também ser aqui aplicadas.

A carga hidráulica superficial é em todos os meses inferior a 1,0 m/h, não se registando valores da velocidade de interface inferiores à carga hidráulica. Dadas as condições da lama seria expectável que a clarificação estivesse comprometida. No entanto os valores da carga hidráulica são baixos e daí que nunca superem as velocidades de sedimentação, mesmo quando estas estão abaixo de 1m/h.

---

<sup>21</sup> Valores detalhados na secção 6.5

A carga de sólidos aplicada nos decantadores é concordante com os valores para caudais médios (4 a 6 kg/m<sup>2</sup>.h).

O tempo de residência está conforme o dimensionado para a decantação secundário, igual ao inferior a 4 horas.

As velocidades horizontais de 5E-03 m/s neste conjunto decantadores estão dentro do conforme, embora se volte a chamar a atenção para a irrealidade deste valor nalgumas secções do tanque.

➤ LINHA 2 – DECANTADOR 7,8

Os valores do IVL neste conjunto de decantadores são os mais satisfatórios de todos os decantadores. Estão compreendidos normalmente no intervalo 80-150 mL/g e são mais os dias em que os valores do IVL estão abaixo dos 80 mL/g do que acima dos 150 mL/g. Ou seja, a sedimentação e a compactação da lama, neste par de decantadores, é satisfatória e nalguns dias até excelente.

Quanto às razões de recirculação, uma particularidade: no mês de Janeiro, onde se verificam valores do IVL excelentes, as taxas de recirculação teórica oscilam entre os 40 e 50%, embora as praticadas sejam de 100%. Esta situação pode ser corrigida com a entrada das válvulas de guilhotina pneumática que regulam o caudal recirculado ao tanque de arejamento. No caso de se diminuir o caudal recirculado reduz-se a velocidade de entrada no decantador.

Relativamente aos valores da carga hidráulica podem-se aplicar as mesmas conclusões que se obtiveram para os decantadores 5 e 6.

A carga de sólidos aplicados está mais uma vez dentro dos valores recomendados para os caudais médios afluentes ao decantador.

Como seria de esperar o tempo de residência é superior a 4 horas nos dias em que se registaram cargas hidráulicas inferiores a 1m/s. Não é um episódio negativo para o desempenho da decantação secundária.

Mais uma vez as velocidades horizontais calculadas são baixas, na ordem dos 5E-03 m/s, embora esta não seja a realidade em todas as secções dos decantadores, como se conclui no capítulo seguinte.

➤ Decantação Secundária (Análise Global)

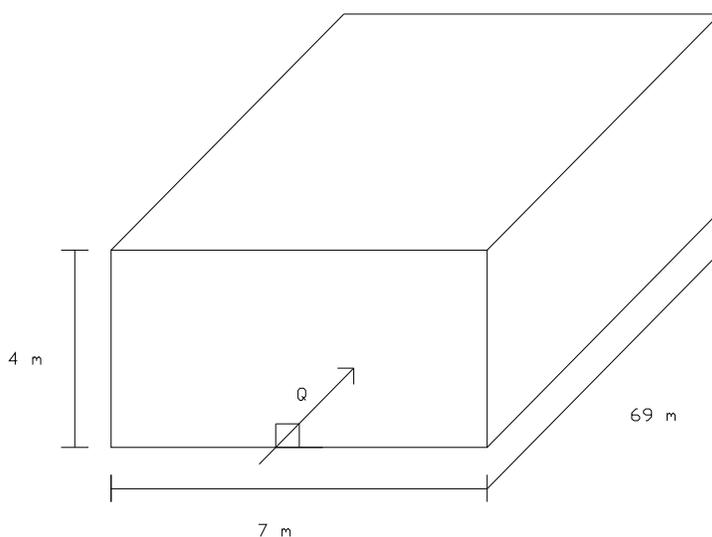
De um modo geral, os parâmetros hidráulicos estão em conformidade com os valores de bibliografia e de dimensionamento da decantação secundária. Apenas a qualidade da lama, nos dias em que o IVL é superior a 150 ml/g, pode comprometer o desempenho da decantação secundária.

No entanto, nos relatórios de exploração são descritos episódios pontuais de foaming, o que agudiza o problema dos SST elevados à saída dos decantadores secundários.

## 8 SIMULAÇÕES DO COMPORTAMENTO HIDRÁULICO E DA ACUMULAÇÃO DE SEDIMENTOS NO DECANTADOR SECUNDÁRIO

### 8.1 DIMENSÕES DA MALHA, CONDIÇÕES INICIAIS, FRONTEIRA E GERAIS

As simulações numéricas que seguidamente serão apresentadas foram elaboradas à escala real, tendo se usado o modelo MOHID Water<sup>22</sup> “Water Modelling System” [9], [22]. Todas as simulações aqui apresentadas são bidimensionais (2D) e a evolução dá-se apenas na direcção do eixo dos xx e dos zz.



**Figura 18 – Dimensões do decantador secundário**

As dimensões espaciais da malha são as seguintes:

- de 1 m para o  $\Delta x$ ;
- de 7 m para o  $\Delta y$ ;
- de 0,4 m para o  $\Delta z$ .

---

<sup>22</sup> Para maior detalhe consultar o Anexo G

As condições iniciais consideradas foram:

- Nível inicial no topo do tanque.
- Velocidades nulas no tanque.

As condições fronteira consideradas foram:

- Para o cenário sem extração de lamas do fundo, o caudal de saída é igual ao caudal de entrada-500 m<sup>3</sup>/h.
- Para o cenário com extração de lamas no fundo o caudal de saída é metade do caudal de entrada-250 m<sup>3</sup>/h.
- Na simulação A ocorre apenas descarga de massa enquanto nas restantes dá-se a descarga de massa e quantidade de movimento.
- Nas simulações onde se dá descarga de massa e quantidade de movimento a velocidade de entrada das lamas é de 0.56 m/s<sup>23</sup>.
- Valores nulos de velocidade na fronteira com as paredes.
- Ausência de troca de calor com a atmosfera e de ventos.
- Valor numérico da Rugosidade de fundo – 2,5 mm.

As condições gerais consideradas foram:

- Valor numérico da viscosidade horizontal inicial – 0,1 m<sup>2</sup>/s.
- No modelo de turbulência<sup>24</sup> a temperatura e a salinidade adoptadas foram de 20° e 0 psu, respectivamente.

## 8.2 VELOCIDADE DE QUEDA PARA SEDIMENTOS COESIVOS E TENSÃO DE CORTE

Nas simulações da deposição da lama foram utilizadas duas equações para a velocidade de queda<sup>25</sup> “Settling velocity”, conforme o intervalo de sedimentação (“free settling” ou “hindered settling”) [10].

Para a sedimentação discreta “free settling” a equação da velocidade de queda é a seguinte:

$$W_S = K_1 C^m \quad (15)$$

$$\text{para } C < C_{HS}$$

---

<sup>23</sup> A velocidade é a razão entre o caudal de entrada e a área do orifício de entrada ( $l_{\text{quadrado}}=0,5\text{m}$ )

<sup>24</sup> Resolução da equação de turbulência baseado no Global Ocean Turbulence Model

<sup>25</sup> Velocidade de sedimentação

E para a sedimentação por zonas “hindered settling” [10] é:

$$W_s = K_1 C_{HS}^m [1.0 - K_2 (C - C_{HS})]^{m_1} \quad (16)$$

para  $C > C_{HS}$

onde  $W_s$  (m/s) é a velocidade de sedimentação,  $C$  (kg/m<sup>3</sup>) é a concentração e o subscrito  $HS$  refere-se ao início da “hindered settling” (considerou-se 1 kg/m<sup>3</sup>). Os coeficientes  $K_1$  (m<sup>4</sup>/kg.s) e  $K_2$  (m<sup>3</sup>/kg) foram aproximados para este tipo de partículas (flocos de lama activada) tendo-se chegado aos valores seguintes:  $k_1=0,0012$ ;  $k_2=0,07555$  (consultar anexo D). Os valores dos expoentes  $m$  e  $m_1$  são os considerados nos sedimentos coesivos ( $m=1$ ;  $m_1=4,65$ ) [9].

Nas simulações da deposição da lama o utilizador tem de fornecer os valores das tensões de corte críticas de erosão e de deposição<sup>26</sup>. Considerou-se que para velocidades horizontais superiores a 0,020 m/s [1] ocorria arrastamento das partículas e conseqüente resuspensão dos sedimentos do fundo. Assim, através da equação seguinte, determinou-se o valor da tensão de corte crítica de erosão para essa velocidade no tanque: 3.31E-03 N/m<sup>2</sup>.

$$\text{Tensão de corte} = \text{Chezy} \times \text{velocidade}^2 \times \text{densidade}(\text{água})$$

O *Chezy* é um factor que tem em conta a rugosidade do fundo e o efeito desta na tensão de corte que para o tanque em causa tem o valor de 8,29 E-03. A densidade da água são 1000 kg/m<sup>3</sup>.

O valor atribuído à tensão crítica de deposição foi metade do valor da tensão crítica de erosão<sup>27</sup>.

Em suma, o que o modelo faz é calcular a tensão de corte real para todas as células do fundo do decantador em todos os instantes e comparar os valores com as tensões críticas de erosão e deposição.

Assim:

- Se a tensão de corte no fundo for superior à tensão de corte crítica de erosão então ocorre erosão.
- Se a tensão de corte no fundo for inferior à tensão de corte crítica de deposição então ocorre deposição.

Entre estes valores não sucede nada, a erosão balança a deposição<sup>28</sup>.

---

<sup>26</sup> O utilizador deve conhecer a gama de tensões de corte críticas de erosão e deposição para cada sistema em estudo.

<sup>27</sup> Aproximação já utilizada na simulação da acumulação de sedimentos no estuário do Tejo [10]

<sup>28</sup> Análise mais detalhada a partir da página 48 do ponto [9] da bibliografia.

### 8.3 APRESENTAÇÃO DAS SIMULAÇÕES COM BASE NO MODELO MOHID

#### 8.3.1 HIDRODINÂMICA NOS DECANTADORES

- SIMULAÇÃO A – SEM EXTRACÇÃO DE LAMAS E APENAS DESCARGA DE MASSA

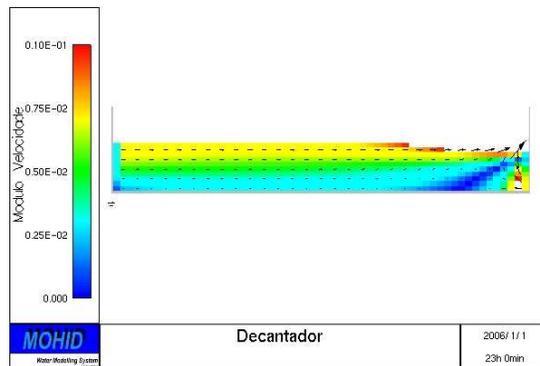


Figura 19 – Hidrodinâmica no decantador com descarga de massa

Como se observa há uma tendência da massa de água subir, o que faz com que se verifiquem velocidades superiores no topo do tanque. De salientar o aumento da velocidade horizontal e vertical no final do decantador, originado pelas correntes de saída, e ainda e a existência de um vórtice que pode contribuir para a resuspensão da matéria sedimentada.

Esta simulação não traduz o comportamento hidráulico dos decantadores secundários de Frielas.

- SIMULAÇÃO B – SEM EXTRACÇÃO DE LAMAS, DESCARGA DE MASSA E MOVIMENTO NO FUNDO DO DECANTADOR (SEM BAFFLE)

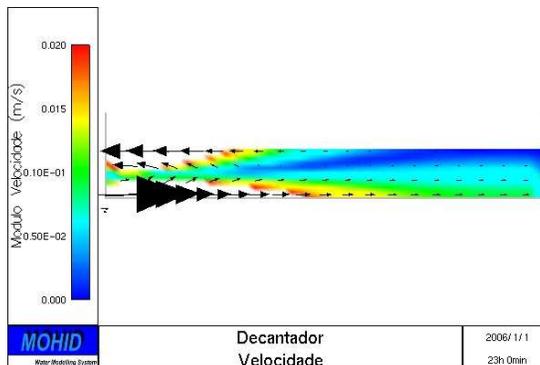


Figura 20 – Hidrodinâmica no decantador com descarga de massa e movimento

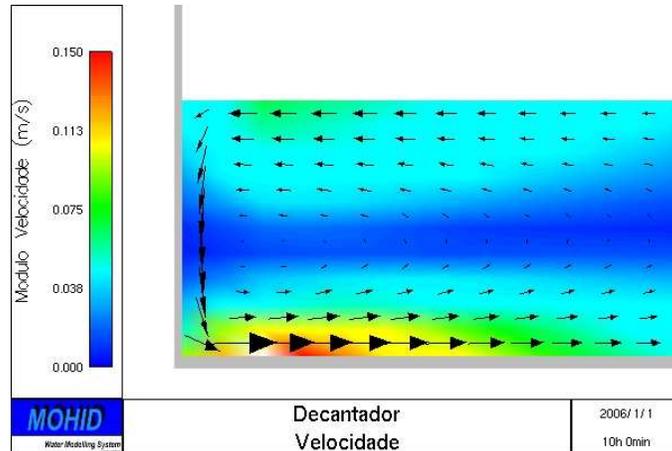


Figura 21 – Ampliação da secção inicial do decantador referente à Figura 20

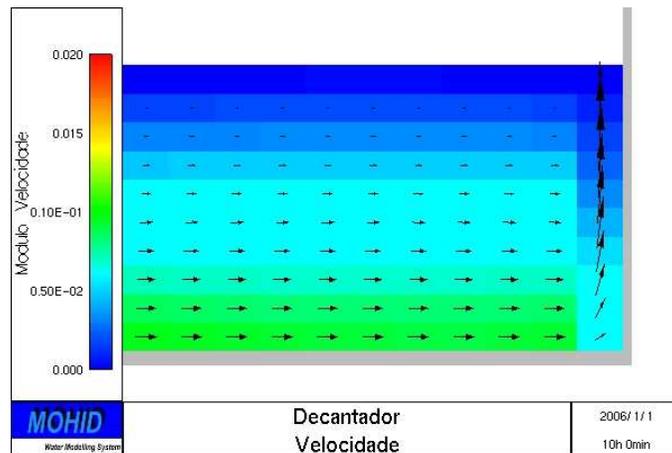


Figura 22 – Ampliação da secção final do decantador referente à Figura 20

Esta simulação é representativa da hidrodinâmica dos decantadores secundários de Frielas. Como se constata a velocidade horizontal, na primeira metade do decantador, ultrapassa os 20 mm/s (zona a branco) contribuindo para o arrastamento dos flocos sedimentados e dificultando a sedimentação dos flocos, já que estes são arrastados, pela corrente de densidade, até à saída do decantador.

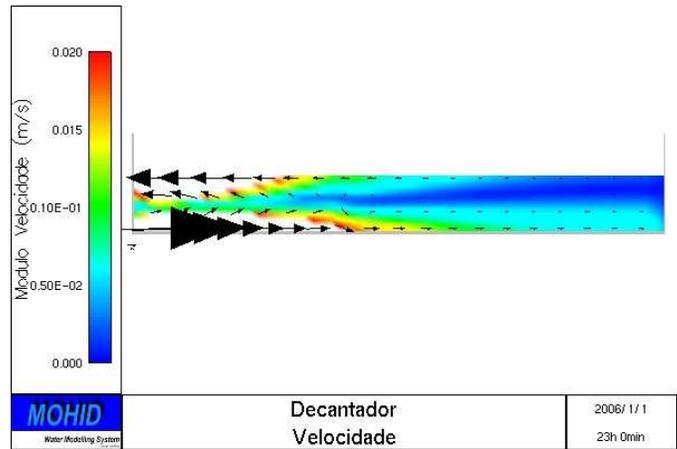
Para perceber melhor a hidrodinâmica do decantador fizeram-se duas ampliações: uma na entrada e outra na saída do decantador. Na entrada a elevada velocidade do fluido origina uma zona de turbulência criando-se um vórtice bastante acentuado com velocidades na ordem dos 50 mm/s. Este vórtice que ocupa cerca de 1/3 do tanque não satisfaz as condições normais de floculação e sedimentação o que prejudica significativamente a eficácia do decantador.

Na zona de saída, ou seja, no último terço do decantador, ainda existem discrepâncias nas velocidades horizontais (ao longo da altura da lâmina líquida). Este facto demonstra que o caudal de

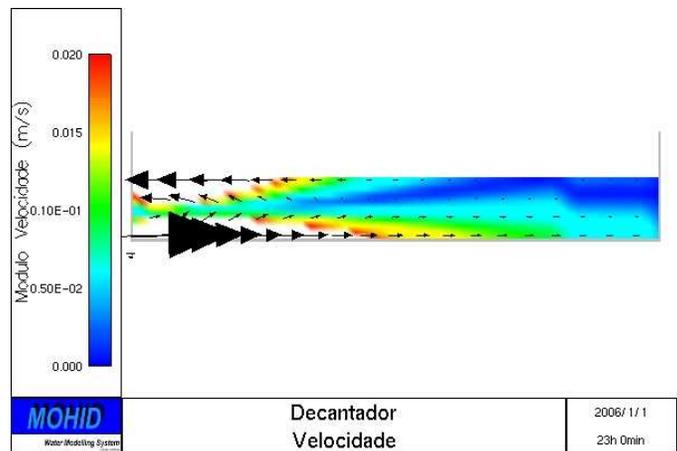
entrada não foi distribuído equitativamente pela secção transversal do decantador, pois o desejável era uma velocidade horizontal uniforme ao longo de toda a secção do decantador.

As velocidades horizontais elevadas que se verificam no fundo do decantador e ao longo do comprimento do mesmo, vão erodindo o manto de lamas e contribuindo desta forma para a fuga de sólidos que se verifica nestas unidades.

- SIMULAÇÃO C E D – COM EXTRACÇÃO DE LAMAS (25 M E 50 M<sup>29</sup>), DESCARGA DE MASSA E MOVIMENTO NO FUNDO DO DECANTADOR (SEM BAFFLE)

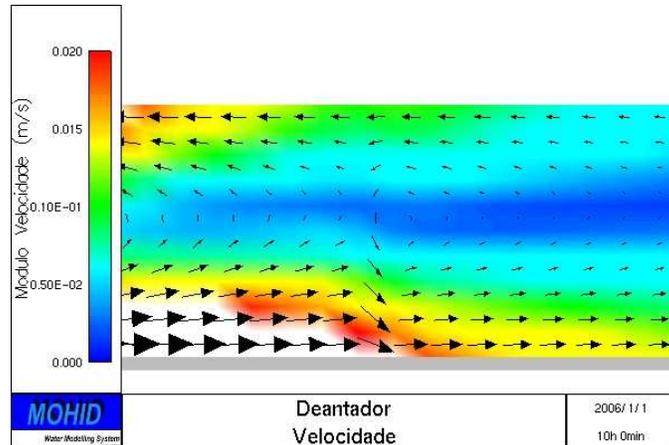


**Figura 23 – Hidrodinâmica no decantador com descarga de massa e movimento e extração de lamas a 25 m**



**Figura 24 – Hidrodinâmica no decantador com descarga de massa e movimento e extração de lamas a 50 m**

<sup>29</sup> Distâncias à entrada do decantador.

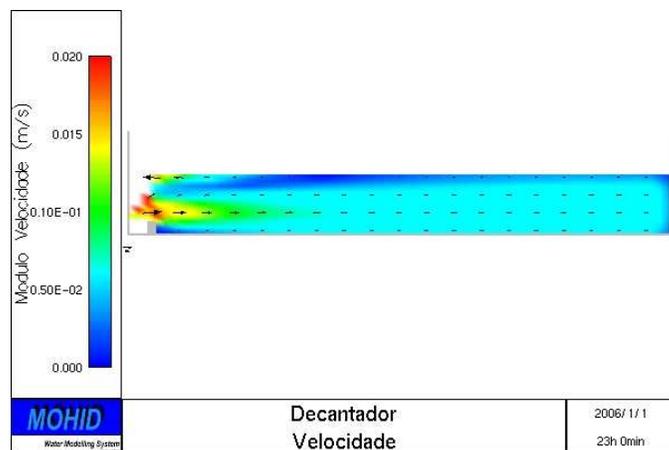


**Figura 25 – Ampliação da secção inicial do decantador referente à Figura 23**

Esta simulação pretende representar a extracção de lamas gradual que se verifica nos decantadores de Frielas, ou seja, em cada ponto ( $X_i$ ) do comprimento do decantador extrai-se um caudal de lamas. Em ambas as simulações, no ponto onde se verifica a extracção das lamas dá-se um decréscimo da velocidade horizontal e uma mudança na direcção da velocidade, obrigando as partículas a “afundarem-se”, como facilmente se constata nas setas representadas nas figuras. De facto o fluxo descendente de sólidos no decantador é devido à gravidade e à velocidade de extracção das lamas. O movimento descendente das partículas, devido à extracção de lamas, é designado por “bulk movement”.

A velocidade de extracção contribui para baixar a velocidade horizontal mas ainda assim não é suficiente para assegurar velocidades horizontais inferiores a 10 mm/s.

- SIMULAÇÃO E – SEM EXTRACÇÃO DE LAMAS, DESCARGA DE MASSA E MOVIMENTO NO FUNDO DO DECANTADOR (COM BAFFLE À ENTRADA DE 0, 80 M DE ALTURA)



**Figura 26 – Hidrodinâmica no decantador com a introdução da “baffle” de 0,80 m de altura**

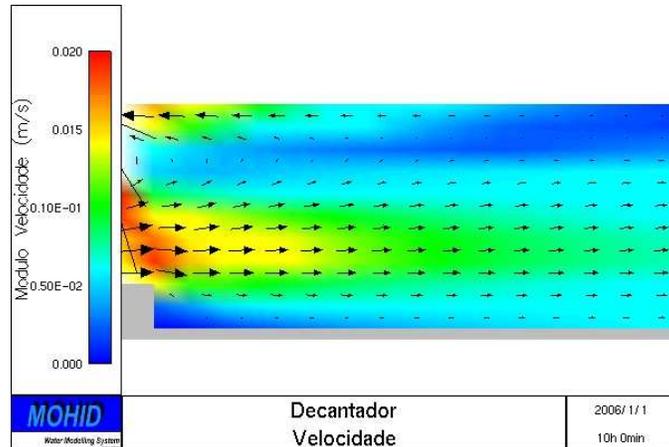


Figura 27 – Ampliação da secção inicial do decantador referente à Figura 26

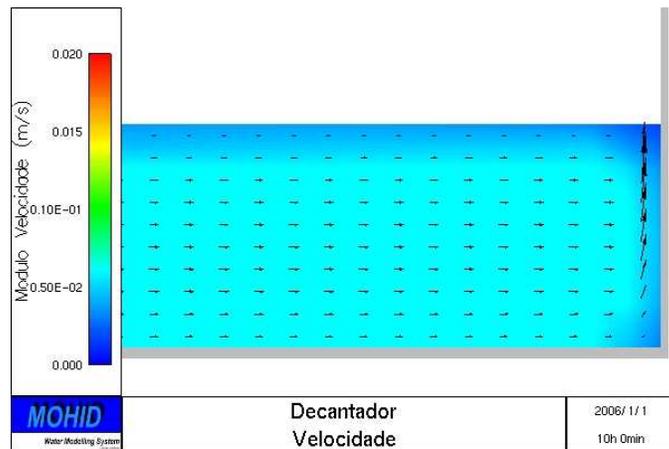


Figura 28 – Ampliação da secção final do decantador referente à Figura 26

Esta simulação tem como objectivo avaliar uma das alterações efectuadas no decantador secundário nº 12, designadamente a “baffle” vertical junto à entrada.

O cenário é bastante diferente do obtido na simulação B (ver Figura 20) e a única diferença é a presença da “baffle”, pois todas as outras condições são mantidas. Logo na primeira metade do decantador as velocidades horizontais não superam os 20 mm/s e o cone de velocidades elevadas após vencer o obstáculo dispersa-se estabelecendo-se a partir daí uma velocidade baixa e uniforme – 5 mm/s em toda a secção do tanque.

A turbulência que antecede a “baffle” não prejudica a dinâmica do decantador e o mesmo se conclui para o vórtice que se cria sobre a “baffle”, porque estes fenómenos ocorrem no início do decantador e nesta área não seria expectável a sedimentação de sólidos.

As velocidades horizontais são baixas e uniformes, na ordem dos 5 mm/s, e estendem-se por toda a secção transversal do decantador. Este aspecto é fundamental pois reúne as condições excelentes para a sedimentação dos sólidos e evita que haja interferências no manto de lamas.

- SIMULAÇÃO F E G – COM EXTRACÇÃO DE LAMAS (25 E 50 M), DESCARGA DE MASSA E MOVIMENTO NO FUNDO DO DECANTADOR (COM BAFFLE À ENTRADA DE 0,80 M DE ALTURA)

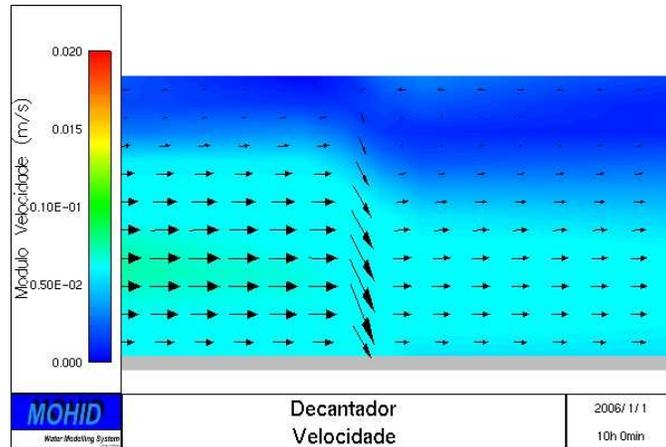


Figura 29 – Hidrodinâmica na secção inicial do decantador com extracção de lamas nos 25 m

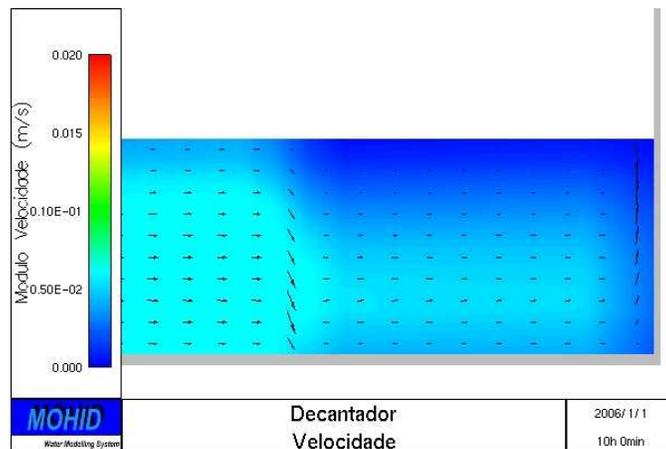


Figura 30 – Hidrodinâmica na secção final do decantador com extracção de lamas nos 50 m

Estas simulações apenas diferem da anterior por se ter considerado a extracção de lamas do fundo do decantador, em dois pontos  $X_i$  distintos – 25m e 50m. Deste modo apenas se apresentam as ampliações da zona do decantador onde ocorre a extracção.

É visível uma alteração da direcção da velocidade (como ilustram os vectores), e as partículas têm tendência para se afundarem. Este fenómeno deve-se à velocidade vertical induzida pela extracção das lammas, a que as partículas estão sujeitas.

Como a ponte raspadora extrai lammas em todos os pontos  $X_i$  do comprimento do decantador, a hidromecânica do decantador depende também das correntes de velocidade induzidas pelo mecanismo de sucção<sup>30</sup>, como aliás é considerada em todas as análises de fluxo de sólidos para decantações deste tipo [1].

- SIMULAÇÃO H E I – SEM EXTRACÇÃO DE LAMAS, DESCARGA DE MASSA E MOVIMENTO NO FUNDO DO DECANTADOR (COM BAFFLE À ENTRADA DE 240 E 320 CM DE ALTURA)

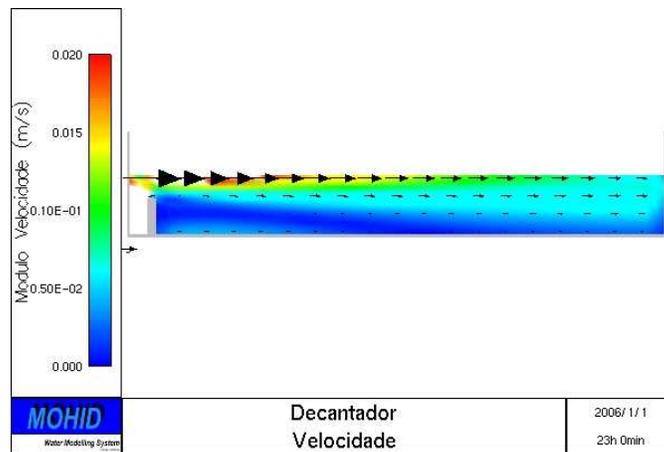


Figura 31 – Hidrodinâmica no decantador com a “baffle”de 2,40 m de altura

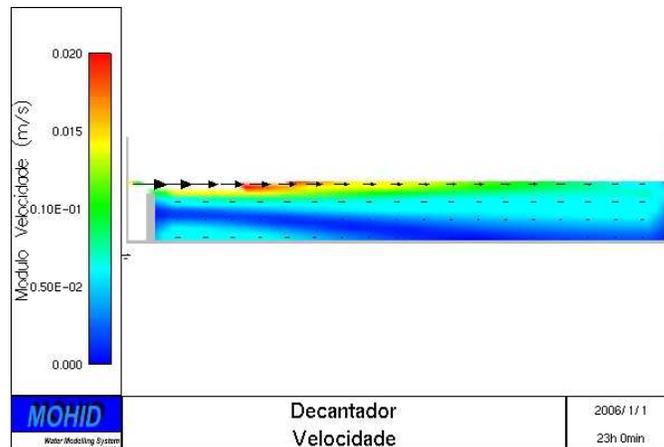


Figura 32 – Hidrodinâmica no decantador com a “baffle”de 3,20 m de altura

<sup>30</sup> Velocidade designada na bibliografia por “bulk downward velocity”, equivalente ao quociente entre o caudal extraído e a área.

Nestas duas simulações tentou-se perceber se a altura das “baffles” era um factor determinante na forma como era conduzido o caudal, após a passagem pela “baffle”.

Deste modo foram consideradas duas alturas – 2,40 m e 3,20 m, esperando-se resultados diferentes para as duas.

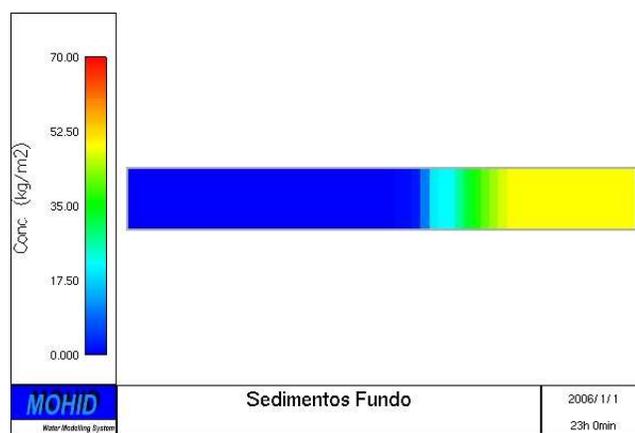
Como se constata o caudal de entrada é forçado a subir até ao topo do tanque gerando-se um escoamento acelerado com velocidades horizontais muito elevadas.

A velocidade horizontal na simulação com a placa de 3,20 m ainda é maior, pois mantém-se uma zona de cor branca<sup>31</sup> por muito mais tempo.

As velocidades horizontais elevadas predominam até muito perto da saída do decantador não permitindo que estas se desloquem para as zonas de sedimentação e espessamento. É provável que nestes cenários haja uma significativa perda de sólidos para o efluente. Por outro lado o caudal apenas se distribui na direcção horizontal, originando um volume morto que compreende todo o volume abaixo do escoamento acelerado. Assim o tempo de residência das partículas no tanque é muito menor, não garantindo a sedimentação de todas as partículas no tanque.

### 8.3.2 ACUMULAÇÃO DOS SÓLIDOS NOS DECANTADORES

- SIMULAÇÃO A – SEM EXTRACÇÃO DE LAMAS, DESCARGA DE MASSA E MOVIMENTO NO FUNDO DO DECANTADOR (SEM BAFFLE)



**Figura 33 – Acumulação de sedimentos no decantador sem “baffle”**

<sup>31</sup> A cor branca significa que a velocidade horizontal é superior à velocidade máxima da escala

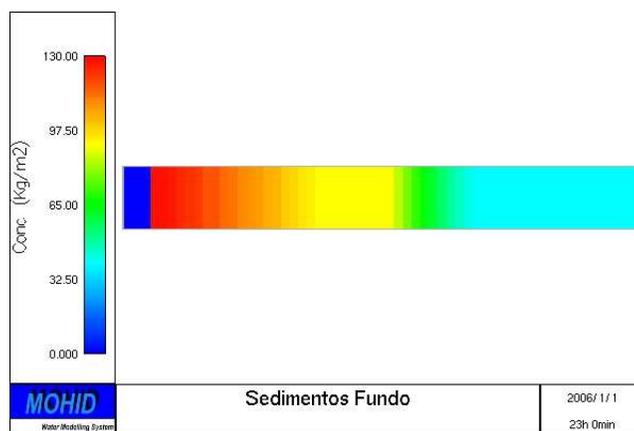
A hidrodinâmica que se verifica nesta simulação é a mesma da Figura 20. Como se esperava, as velocidades horizontais elevadas (superiores a 20 mm/s) fazem com que as partículas não se depositem na primeira metade do decantador, uma vez que são arrastadas pelas correntes de densidade que atravessam o decantador, preferencialmente pelo fundo deste. Nesta primeira metade do decantador a tensão de corte é superior à tensão de corte crítica de erosão.

Os sólidos apenas começam a depositar-se a partir da segunda metade do decantador sendo a secção final a que apresenta maior quantidade de sólidos por unidade de área, o que se deve à considerável diminuição da velocidade horizontal (os valores são agora na ordem dos 10 mm/s).

Os valores são apenas qualitativos, pois não se considerou nestas simulações a extracção de lamas do fundo<sup>32</sup>.

A deposição dos sólidos na secção final do decantador e a corrente de fundo, gerada pela quantidade de movimento acelerado, são motivos mais que suficientes para que os sólidos sejam arrastados até as caleiras dos decantadores, originando um efluente turvo e de fraca qualidade.

- SIMULAÇÃO B - SEM EXTRACÇÃO DE LAMAS, COM DESCARGA DE MASSA E MOVIMENTO NO FUNDO DO DECANTADOR (COM BAFFLE À ENTRADA DE 0,80 M DE ALTURA)



**Figura 34 – Acumulação de sedimentos no decantador com a “baffle” de 0,80 m altura**

A inserção da “inlet baffle” na entrada do decantador modifica em muito a hidrodinâmica do decantador, estando este facto ilustrado na Figura 26. A deposição dos sólidos, com esta modificação, ocorre logo após a “inlet baffle” como se observa na Figura 34. Voltando a observar-se a Figura 26, é perceptível a dissipação de energia inicial do caudal ao vencer a “inlet baffle” o que permite que as velocidades horizontais sejam inferiores a 20 mm/s.

Como as velocidades horizontais, no fundo do decantador, são baixas (na ordem dos 5 mm/s) as tensões de corte são inferiores à tensão de corte crítica de deposição e deste modo ocorre a deposição de lamas.

<sup>32</sup> A extracção de lamas de fundo é um factor a considerar no balanço de massa.

Esta situação é vantajosa pois permite que a acumulação de sólidos ocorra preferencialmente longe dos descarregadores, evitando que as partículas depositadas no manto de lamas possam ser resuspendidas nos cenários em que as cargas hidráulicas aplicadas sejam elevadas.

## 9 CASO DE ESTUDO: INTRODUÇÃO DE DOIS DEFLECTORES “BAFFLES” NO DECANTADOR Nº.12 DA ETAR DE FRIELAS

### 9.1 HISTÓRICO DE ACTIVIDADES NO TANQUE DE AREJAMENTO 5 E DECANTADORES SECUNDÁRIOS N.11 E N.12.

As primeiras intervenções, planeadas pela SIMTEJO, foram operadas no decantador secundário n.º 12, nomeadamente:

- A inserção de uma “baffle” vertical de 1 m de altura designado por “Inlet Baffle” e distando aproximadamente 1 m da entrada do decantador;
- E a inserção de outra “baffle” sob as caleiras de descarga do decantador designado por “McKinney baffle” [16] com uma área superficial igual à área ocupada pelos descarregadores.



**Figura 35 Pormenor da secção de entrada no decantador secundário**

A aquisição e colocação das “baffles” representou um investimento de 2500 euros para a SIMTEJO. A eficácia da “inletbaffle” já foi verificada nas simulações com base no modelo MOHID.

No entanto, para verificar até que ponto ambas as alterações foram positivas, não se procedeu a qualquer alteração no decantador n.º 11, para que os resultados pudessem ser efectivamente comparados. Isto porque ambos os decantadores, 11 e 12, recebem as lamas biológicas do mesmo tanque de arejamento (tanque 5), o caudal e a carga de sólidos afluentes a cada um deles são aproximadamente iguais e o caudal extraído para recirculação também é igual. Assim conclui-se que ambos têm as mesmas condições de exploração.

Antes de o processo dar início, foi verificado, por parte do responsável da ETAR, todo o sistema de arejamento do tanque 5 tendo sido substituídos parte dos discos difusores de ar.

Seguiu-se a reparação da válvula mural do tanque de arejamento 6, pois esta não estancava o caudal da linha 3<sup>33</sup>, o que inviabilizava a chegada do caudal desejado ao tanque de arejamento 5. Seguidamente foi verificado o estado das bombas de extracção, das bombas de recirculação e da ponte raspadora do par de decantadores 11 e 12, tendo sido efectuadas as diligências necessárias para reparar as avarias detectadas.

No entanto um último imprevisto – a ruptura da conduta da linha 3 – prorrogou o início da exploração por mais um mês e meio, para a reparação da mesma.

O início da exploração do tanque de arejamento 5 ocorreu no dia 3 de Setembro de 2007. Para que o crescimento da população de microrganismos no tanque 5 fosse célere inoculou-se o mesmo, durante quatro dias com lamas biológicas provenientes do tanque 3.

O período de recolha de amostras e registo de caudais foi de três dias não consecutivos, tendo tido início no dia 11 de Setembro, seguindo-se 13 de Setembro e 17 de Setembro.

## 9.2 DESENVOLVIMENTO DO PLANO DE ESTUDO

O plano de estudo, que consta no anexo C, foi o mais adequado na prossecução de resultados que permitissem comparar os dois cenários existentes: um decantador secundário sem “baffles” e outro com “baffles”. Faz-se seguintemente uma breve justificação da opção pelos parâmetros que constam no plano.

- Caudal afluente ao tanque 5 ( $Q_{in}$ ) – a sua medição afere o caudal que aflui aos dois decantadores, pois considera-se que o caudal no tanque de arejamento segue o regime de *fluxo-pistão* e deste modo o caudal que entra é idêntico ao que sai. Desde logo permite verificar a carga hidráulica de cada decantador.
- Caudal efluente do decantador n.º11 e n.º12 ( $Q_{out}$ ) – a sua medição permite (a) aferir se o caudal que sai é igual ao caudal que entra no decantador e (b) se o caudal que provem do T.A. 5 é distribuído igualmente pelos dois decantadores.
- Sólidos Suspensos Totais no tanque 5 ( $SST_{in}$ ) – a sua análise permite verificar a estabilidade da população de microrganismos no tanque e determinar a carga de sólidos que aflui a cada decantador.
- Sólidos Suspensos Totais no efluente do decantador n.º11 e n.º12 ( $SST_{out}$ ) – a sua análise determina se os valores de descarga de sólidos são cumpridos e permite ainda avaliar a eficácia de cada órgão hidráulico.
- Sólidos Suspensos Voláteis no tanque 5 ( $SSV_{in}$ ) – a análise deste parâmetro permite avaliar a percentagem de matéria orgânica presente no tanque de arejamento 5, ou seja, a quantidade de sólidos biológicos.
- pH no tanque 5 ( $pH_{in}$ ) – a análise deste parâmetro é uma forma de despistar a presença de bactérias nitrificantes no tanque para além de indicar a acidez do meio.

---

<sup>33</sup> Linha que transporta o efluente do tanque de homogeneização.

- Carência química de oxigénio no efluente do decantador n.º11 e n.º12 ( $CQO_{out}$ ) – a sua medição permite avaliar a quantidade de matéria orgânica oxidável existente à saída dos decantadores e assim avaliar o desempenho do tratamento biológico.
- Sedimentabilidade da lama biológica ( $V_{30}$ ) – a aferição deste parâmetro indica a volumosidade da lama, podendo assim inferir acerca da sedimentação da mesma no decantador.
- Caudal de recirculação ao tanque 5 ( $Q_{rec.}$ ) – a medição deste caudal permite calcular a taxa de recirculação e desta forma é possível comparar o valor com os valores teóricos, obtidos em função do IVL.
- Sólidos Suspensos Totais na linha de recirculação ( $SST_{rec.}$ ) – a análise deste parâmetro determina a concentração da lama decantada, valor esse que afere as condições de espessamento do decantador.

O intervalo de medições foi ajustado para 6 horas pois assim foram representadas todas as fases diárias, tomando em consideração as oscilações que cada uma envolve, obtendo desta forma resultados representativos e elucidativos da exploração desta linha de tratamento biológico.

Em cada dia testaram-se condições de exploração diferentes. No primeiro dia regulou-se o caudal para valores pouco abaixo do caudal máximo dimensionado<sup>34</sup>, no segundo dia testaram-se as condições limite regulando o caudal de forma a este superar o valor máximo admitido e, por fim, no último dia regulou-se o caudal para valores muito inferiores ao caudal máximo.

As amostras recolhidas nos diferentes locais foram posteriormente analisadas no laboratório da SIMTEJO existente na ETAR de Frielas.

### 9.3 RESULTADOS

Os resultados da colheita de amostras estão agrupados por dia para mais fácil compreensão.

Não foi possível a medição da temperatura no tanque de arejamento e nos decantadores pois a sonda multiparamétrica não estava disponível.

A aferição dos valores do caudal à saída da decantação não foi uma tarefa fácil visto que o caudalímetro saiu várias vezes da conduta. O caudalímetro tem uma secção reduzida para o caudal debitado na saída do decantador.

Os dados não são aqui apresentados pois não foi possível a migração dos valores do Data Log para o computador. No entanto, aquando a medição dos caudais não se notaram grandes diferenças nos valores de cada decantador.

---

<sup>34</sup> O caudal máximo admitido por cada par de decantadores - 770 m<sup>3</sup>/h

➤ 11/9/07

Hora	Parâmetros Hidráulicos							Caract. da lama	
	Q. afluente m <sup>3</sup> /h	Q. recirc. m <sup>3</sup> /h	r (real)	r (teórica)	Carga Hidrául. m/h	Carga sólidos kg/m <sup>2</sup> .h	Vs m/h	Sedim. ml	IVL ml/g
8:30	625	477	76,3	37,0	0,77	3,1	2,17	270	67
14:30	600	456	76,0	43,9	0,74	3,2	1,94	305	69
20:30	575	550	95,7	47,1	0,71	2,5	2,20	320	92
2:30	587	454	77,3	61,3	0,72	4,7	1,23	380	59 (a)

a) Este valor não deve ser considerado pois a concentração de sólidos era bastante superior a 4 g/L

#### Quadro 16- Parâmetros hidráulicos do tratamento biológico e características da lama biológica (11/9/2007)

No primeiro dia o caudal afluente aos decantadores secundários, assim como a carga hidráulica, não sofreu oscilações. Importa salientar que a carga hidráulica foi sempre inferior a 1m/h, conforme estava previsto no dimensionamento destes órgãos.

A taxa de recirculação teórica é sempre inferior à real pois a lama biológica apresenta boas características de sedimentação e compactação (IVL < 100).

A carga de sólidos aplicada por unidade de área é sempre inferior ao valor máximo estabelecido para caudais médios afluentes – 6 kg/m<sup>2</sup>.h<sup>35</sup>.

A velocidade de sedimentação é elevada, o que já era esperado face à concentração da lama e à boa sedimentação da mesma.

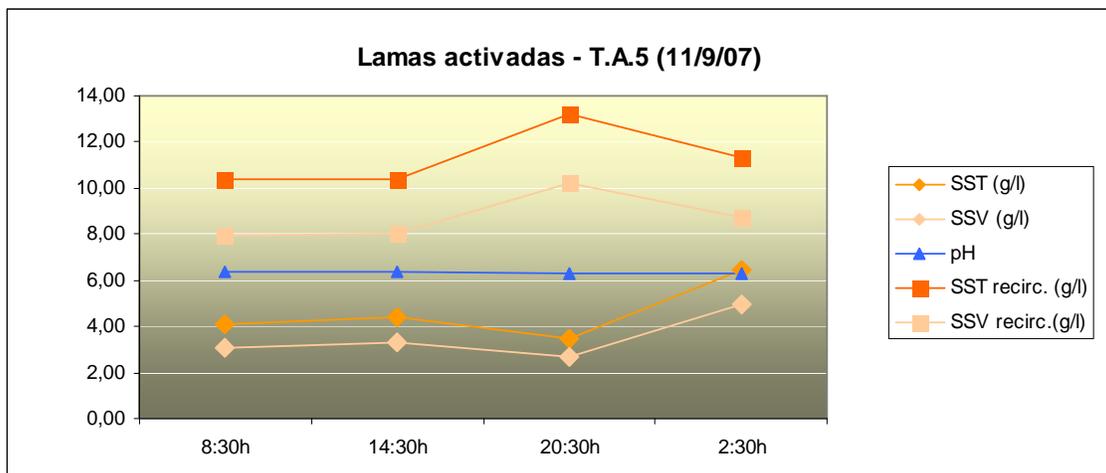


Figura 36 - Evolução da concentração de SST e SSV e do pH no T.A.5 e na L.R. (11/9/07)

<sup>35</sup> Considera-se a área dos dois decantadores.

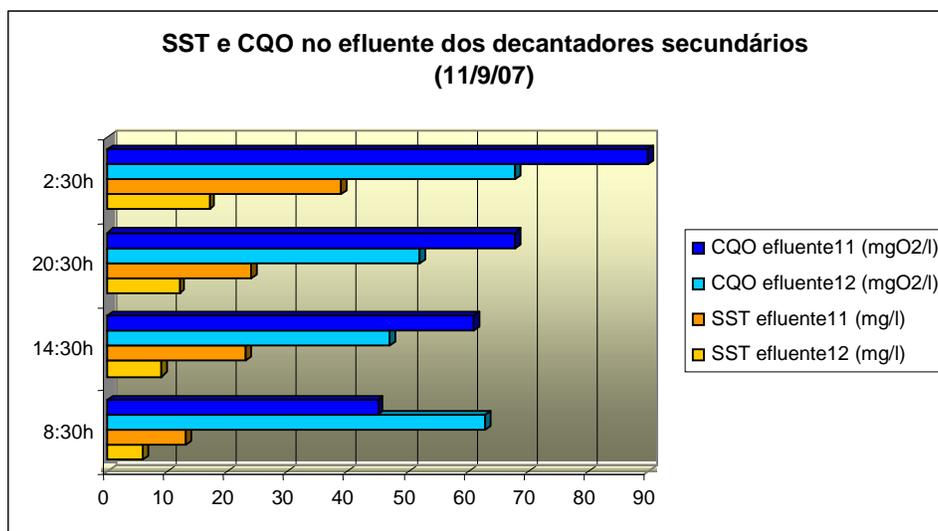
A concentração de SST no T.A.5 situa-se aproximadamente nos 4 g/L, valor recomendado para as lamas activadas. No entanto às 2:30 ocorre um pico de concentração que se pode dever à taxa elevada de recirculação de lamas concentradas face ao caudal afluente, que se repercutiu na transferência de quase a totalidade de sólidos do decantador para o T.A5.

A concentração de SST na linha de recirculação é estável e mantém-se na gama de valores desejada (8 a 12 g/L).

A componente orgânica no licor misto e nas lamas recirculadas é de aproximadamente 75%, ou seja, o valor da razão de concentração entre os SSV e os SST. A evolução da concentração de SSV é linear relativamente à concentração de SST.

A matéria fixa (sólidos suspensos fixos) representa 25% dos SST sendo este valor normal para um sistema de lamas activadas em média carga.

O pH encontra-se um pouco ácido pois deveria ser neutro. Este facto pode estar relacionado com a eventual nitrificação parcial do efluente no T.A.5 levada a cabo pelas bactérias nitrificantes (por exemplo, *Nitrobacter* e *Nitrosomonas*).



**Figura 37 Concentração de SST e CQO no efluente dos decantadores secundários 11 e 12 (11/9/07)**

No que respeita aos valores de SST no clarificado da decantação secundária, o decantador n.º12 apresenta em média metade dos SST do decantador n.º11. Este facto comprova a eficácia da implementação dos “baffles” interiores no decantador n.º12.

Importa ainda referir que, à excepção do clarificado do decantador n.º11 (2h30), a concentração de SST no clarificado de ambos os decantadores respeita o valor limite de emissão imposto no D.L. n.º.152/97 que também está concordante com o valor recomendado pelo Federal Secondary Treatment Standards.

A concentração de CQO também é mais elevada no clarificado do decantador n.º11, o que seria expectável uma vez que é o clarificado que apresenta maior carga de SST e, como se aferiu anteriormente, 75 % da sua composição é matéria orgânica.

No entanto em todas as amostras a concentração de CQO respeita o valor de 125 mg/l imposta no D.L. n.º 152/97.

➤ 13/9/07

	<b>Parâmetros Hidráulicos</b>							<b>Caract. da lama</b>	
	<b>Q.afluente</b>	<b>Q.recirc.</b>	<b>r (real)</b>	<b>r (teórica)</b>	<b>Carga Hidráulica.</b>	<b>Carga sólidos</b>	<b>Vs</b>	<b>Sedim.</b>	<b>IVL</b>
<b>Hora</b>	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	-	-	m/h	kg/m <sup>2</sup> .h	m/h	mL	mL/g
8:30	305	477	156,4	53,8	0,37	1,55	1,89	350	85
14:30	1130	467	41,3	63,9	1,39	6,59	1,60	390	82
20:30	693	452	65,2	122,2	0,85	5,69	0,90	550	82 (a)
2:30	738	441	59,8	233,3	0,91	6,15	0,70	700	103 (a)

a) Estes valores não devem ser considerados pois a concentração de sólidos é superior a 4 g/L

**Quadro 17 – Parâmetros hidráulicos do tratamento biológico e características da lama biológica (13/9/2007)**

Neste dia são visíveis oscilações no caudal afluente aos decantadores e na carga hidráulica aplicada nos mesmos. O caudal máximo foi de 1130 m<sup>3</sup>, ou seja, quatro vezes superior ao caudal mínimo verificado às 8h30. Esta condição fez com que a carga hidráulica superasse o valor de 1 m/h e a partir daí os decantadores operam em condições limite de exploração. O cenário é crítico pois a clarificação deixa de se verificar e assiste-se ao arrastamento do manto de lamas.



**Figura 38 – Arrastamento parcial do manto de lamas (clarificado carregado de lamas)**

No fim do dia reduziu-se o caudal afluyente aos decantadores mas mesmo assim situou-se acima do valor registado às 8h30. As cargas hidráulicas continuaram altas, aproximadamente nos 0,90 m/h, mas abaixo do valor dimensionado para estes decantadores

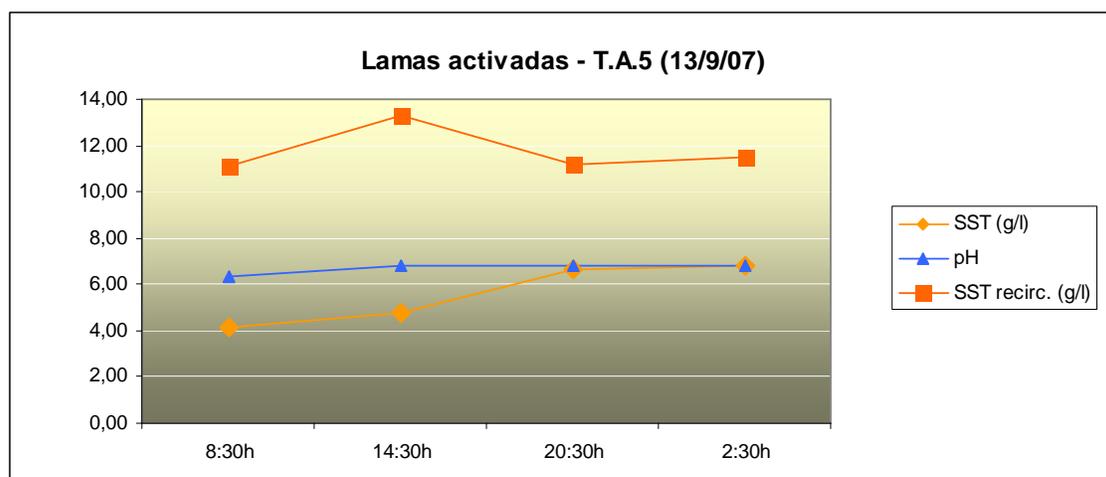
As taxas de recirculação evoluíram em concordância com o caudal, uma vez que o caudal de recirculação é aproximadamente constante. No entanto os valores teóricos sugerem que a taxa real de recirculação deveria ter sido superior, já que os valores de sedimentação da lama elevaram-se a partir das 14h30. No entanto as bombas de recirculação não têm capacidade de bombear o caudal de recirculação exigido às 2h30, ou seja, o equivalente a 1700 m<sup>3</sup>/h e os valores teóricos instantâneos da taxa de recirculação não devem reflectir mudanças sucessivas nas taxas de recirculação.

A carga de sólidos nos decantadores subiu consideravelmente mas não ultrapassou o valor máximo referenciado quando se verifica picos de caudal – 8 kg/m<sup>2</sup>.h.

As velocidades de sedimentação vão decrescendo à medida que o volume de lama na proveta, ao fim de 30 minutos, aumenta (Sedimentabilidade). Às 2h30 não se verifica a condição essencial para que ocorra a clarificação já que a velocidade de sedimentação é inferior à carga hidráulica.

Os dois primeiros valores do IVL são satisfatórios – 85 e 82 ml/g, o que indica que a lama biológica sedimenta e compacta bem.

No entanto os dois últimos valores do IVL não devem ser considerados na análise da lama pois o teste deixa de ser fiável para concentrações superiores a 4 g/l e verificou-se que a amostra recolhida no T.A.5, nesses dois tempos, apresentava concentrações muito elevadas (detalhe observável na figura seguinte).



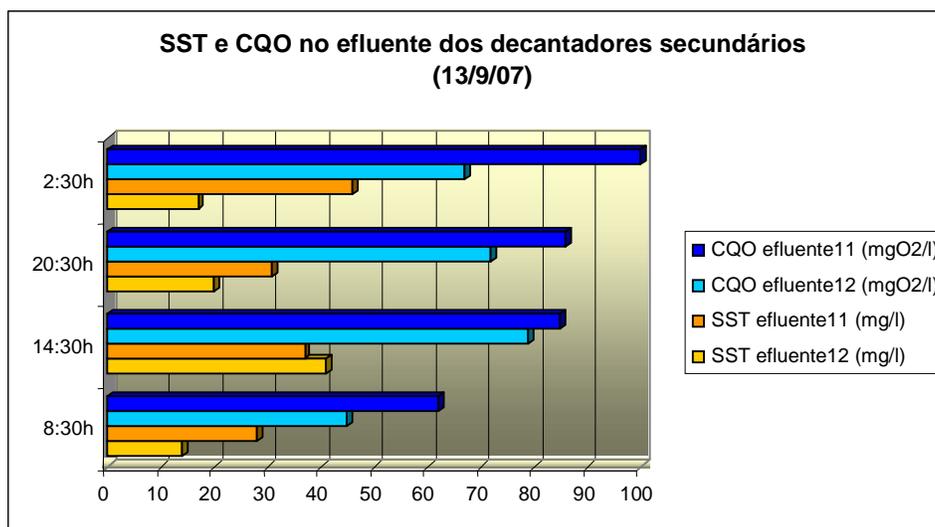
**Figura 39 – Evolução da concentração de SST e do pH no T.A.5 e na L.R. (13/9/07)**

A concentração de MLSS ou SST aumentou bastante no decorrer do dia alcançando mesmo valores superiores a 6 g/L. Duas hipóteses se podem colocar a) as lamas recirculadas ao T.A.5, às 14h30, estão muito concentradas contribuindo para o aumento progressivo da concentração de SST no

tanque de arejamento; ou b) o caudal de entrada no tanque de arejamento foi mais baixo a partir das 14h30 o que contribuiu para uma menor diluição.

Os valores da concentração de SST nas lamas recirculadas não sofreram grandes alterações estando conformes com o desejável no processo de lamas activadas.

O pH está mais básico face ao primeiro dia aproximando-se do pH neutro, o que é desejável neste tipo de processo.



**Figura 40 – Concentração de SST e CQO no efluente dos decantadores secundários 11 e 12 (13/9/07)**

Relativamente à descarga de SST o cenário volta-se a repetir neste dia, à excepção da amostra das 14h30. Isto é o clarificado do decantador n.º12 está mais carregado em SST do que o do decantador n.º11.

Apenas se encontra uma explicação para este facto: a recolha da amostra não foi realizada à saída do colectador de recolha de clarificado, não sendo assim o valor representativo.

Nas amostras, recolhidas às 20h30 e 2h30, notou-se um aumento da concentração de SST em ambos os clarificados, visto que as cargas hidráulicas se mantiveram elevadas e a carga de sólidos aplicada ao par de decantadores também aumentou, fruto do aumento da concentração dos SST no T.A.5.

Os valores de CQO nos clarificados de ambos os decantadores aumentaram embora tenham respeitado o valor de 125 mg O<sub>2</sub>/L regulamentado no D.L.n.º.152/97. Este aumento parece justificável face às condições de operação descritas anteriormente.

Continuam a ser mais elevados os valores de CQO no clarificado do decantador n.º11.

➤ 17/9/07

Hora	Parâmetros Hidráulicos						Caract. da lama		
	Q.afluente m <sup>3</sup> /h	Q.recirc. m <sup>3</sup> /h	r (real)	r (teórica)	Carga Hidráulica. m/h	Carga sólidos kg/m <sup>2</sup> .h	Vs m/h	Sedim. ml	IVL ml/g
8:30	210	456	217,1	66,7	0,26	1,1	1,73	400	96
14:30	330	447	135,5	61,3	0,41	1,5	1,97	380	106
20:30	224	447	199,6	47,1	0,28	1,0	2,19	320	91
2:30	250	445	178,0	-	0,31	1,2	-	-	-

**Quadro 18 – Parâmetros hidráulicos do tratamento biológico e características da lama biológica (17/9/2007)**

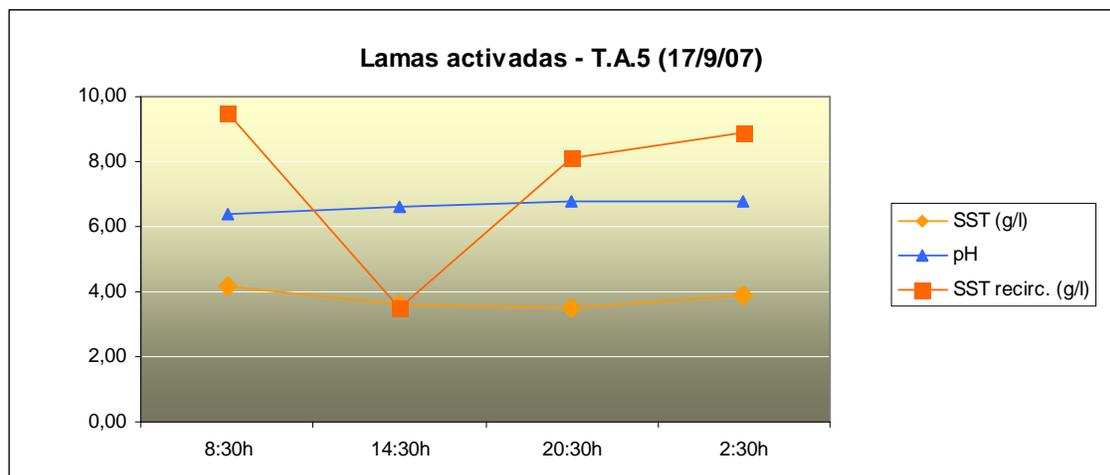
No último dia o caudal afluente aos decantadores diminuiu para que se instalasse o caudalímetro portátil à saída dos decantadores<sup>36</sup>, oscilando entre os 200 e os 350 m<sup>3</sup>/h.

Como o caudal de recirculação continuou inalterável verificou-se um aumento significativo das taxas de recirculação. Posto isto é aceitável a divergência entre as taxas de recirculação teórica e real.

A carga hidráulica aplicada aos decantadores foi baixa permitindo assim aumentar o tempo de permanência e a eficiência de sedimentação das partículas nos decantadores.

A carga de sólidos diminuiu significativamente sendo expectável um decréscimo da altura do manto de lamas.

Os valores do IVL são satisfatórios traduzindo a boa sedimentação da lama biológica. Esta característica reflecte-se nos valores elevados da velocidade de sedimentação, superiores a 1 m/h.



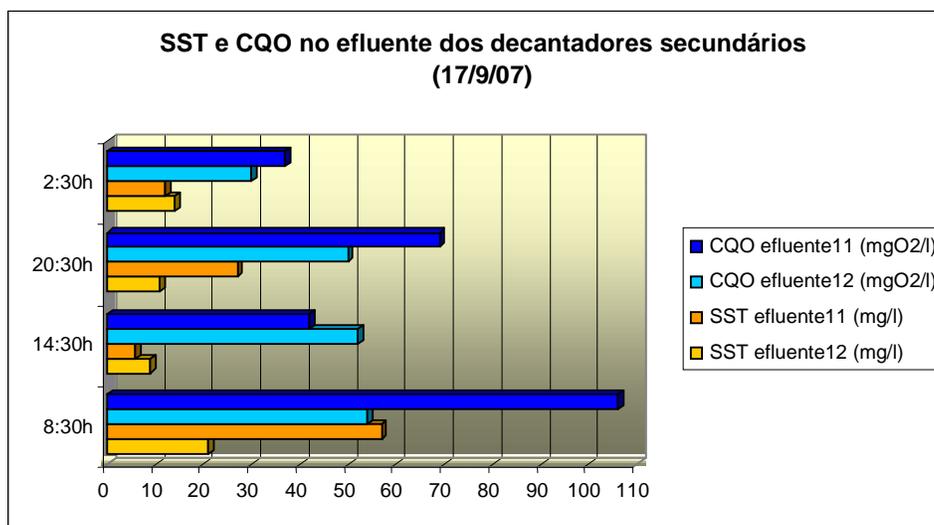
**Figura 41 – Evolução da concentração de SST e do pH no T.A.5 e na L.R. (17/9/07)**

<sup>36</sup> A secção do caudalímetro é inferior à secção da conduta daí ser necessário reduzir o caudal que entra nos decantadores.

Neste último dia do estudo a concentração da lama no T.A.5 permaneceu estável, aproximadamente 4 g/L, estando concordante com os valores que se pretendem num sistema de lamas activadas de média carga.

Os valores de concentração da lama recirculada foram bastante divergentes, algo que não se verificou nos outros dois dias de estudo. O valor das 14h30 é muito baixo, estando longe dos valores que se pretendem nas lamas recirculadas. Duas hipóteses podem justificar este fenómeno: a) a recolha de amostra foi feita casualmente no período de tempo em que a ponte se situa perto da saída dos decantadores e parecendo óbvio que nessa zona o manto de lamas seja reduzido, a lama extraída é muito diluída; b) o caudal que afluiu aos decantadores foi reduzido e por esta via a carga de sólidos aplicada foi muito menor dando origem a lamas menos concentradas.

O pH está perto do pH neutro mas ainda se justificava um pH mais básico.



**Figura 42 – Concentração de SST e CQO no efluente dos decantadores secundários 11 e 12  
(17/9/07)**

Na figura anterior é evidente um decréscimo dos SST no clarificado de ambos os decantadores comparativamente ao segundo dia, no qual se testaram as condições limite, ou seja, as cargas hidráulicas aplicadas foram muito elevadas.

Apenas se infringe o valor máximo de SST – 35 mg/L<sup>37</sup> na amostragem das 8h30 e este facto sucede no clarificado do decantador n.º11, aquele que não foi alvo de qualquer modificação.

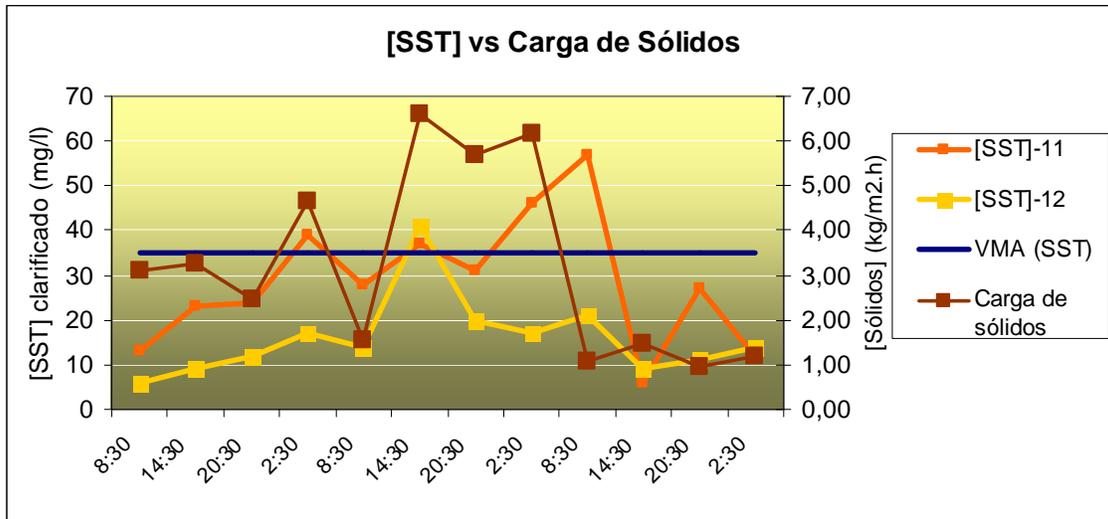
Na amostragem das 8h30 e das 20h30 é clara a superioridade de SST (mais do dobro) no clarificado do decantador n.º 11 face ao do decantador n.º12 registando-se melhorias de 63 % e 59 %, respectivamente.

A superioridade ligeira de SST, nas amostras do decantador n.º12 face às do decantador n.º11, não compromete os resultados. Esta diferença é justificável pois nestas condições, caudal afluente, carga de sólidos e carga hidráulica baixos, os dois decantadores funcionam de forma muito análoga não permitindo avaliar a eficiência das “baffles”.

Como seria de esperar, o teor de CQO, na amostragem onde se verificou maior concentração de SST, também aumentou. Regra geral o CQO no clarificado do decantador n.º11 é superior mas não chega a ultrapassar o valor limite de emissão – 125 mg O<sub>2</sub>/L<sup>38</sup>. Ou seja, a fuga de flocos biológicos implica também um efluente com matéria orgânica na sua composição.

<sup>37</sup>, <sup>37</sup> Limite de descarga imposto no quadro 1 do D.L.nº 152/97 para o tratamento secundário

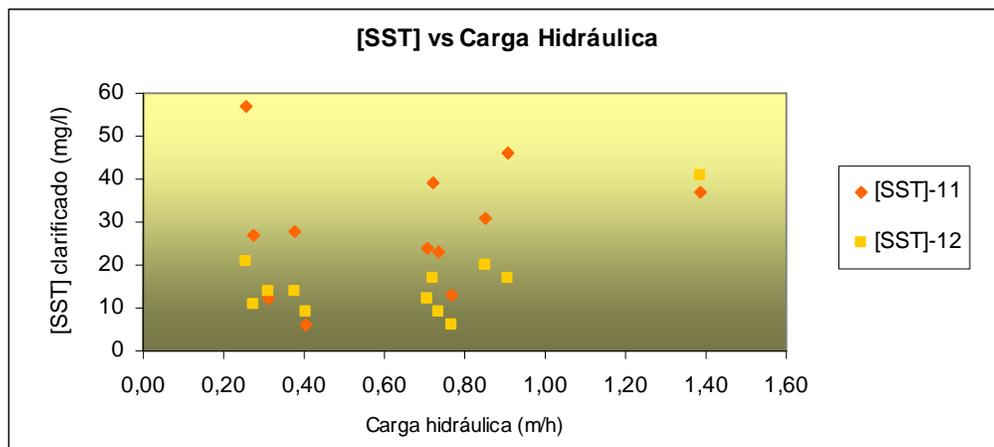
- VARIACÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SST NOS CLARIFICADOS DOS DECANTADORES Nº.11 E Nº.12 DURANTE O PERÍODO DE AMOSTRAGEM



**Figura 43 – Variação da concentração de SST em função da Carga de Sólidos**

A Figura 43 ilustra a variação da concentração dos SST, nos clarificados de ambos os decantadores, com a oscilação da carga de sólidos.

Verifica-se uma maior sensibilidade do decantador n.º11 (sem “baffles”) quando a este lhe é aplicada uma maior carga de sólidos, ou seja, a concentração de SST no clarificado aumenta bastante, superando nalgumas amostras o VMA de 35 mg/L. Por sua vez no decantador n.º12 (com “baffles”) quando se verifica um aumento substancial na carga de sólidos a concentração de SST no clarificado não se altera muito, em virtude da eficiência adicional das duas “baffles”



**Figura 44 – Variação da concentração de SST em função da Carga hidráulica**

A Figura 44 relaciona a concentração de SST no efluente da decantação secundária com a carga hidráulica aplicada aos decantadores. Esta relação é usada na análise da clarificação.

A presença das “baffles” no decantador n.º12 faz com que os SST no clarificado deste decantador não variem significativamente, quando se aumenta a carga hidráulica para o dobro. Pelo contrário, no clarificado do decantador n.º11 nota-se um aumento considerável no teor de sólidos quando se aumenta a carga hidráulica e mesmo quando a carga hidráulica é baixa.

Em suma, a clarificação no decantador n.º11 é muito mais sensível a oscilações na carga hidráulica, limitando deste modo o desempenho do decantador.

#### 9.4 ENSAIOS EM COLUNA – CURVAS DE SEDIMENTAÇÃO DA LAMA BIOLÓGICA

A curva de sedimentação da lama biológica já foi ilustrada na Figura 12. As que se ilustram seguidamente foram obtidas aquando da determinação do IVL, numa proveta graduada de 1L.

Não sendo o dispositivo mais aconselhável, pois o ideal seria o “settling vessel” [12] tentou-se comparar as velocidades de sedimentação experimental e a teórica.

Comprova-se assim o andamento mais acelerado da interface A/B na região “hindered settling” que após o ponto de inflexão diminui significativamente até que se há-de iniciar a sedimentação por compressão e extinguir-se a interface A/B.<sup>39</sup>.

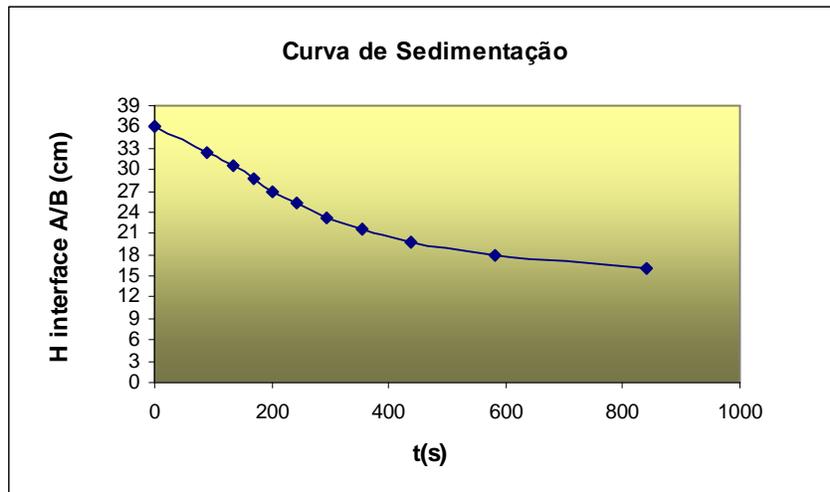
O declive da curva, na região designada por “hindered settling”, corresponde à velocidade de sedimentação da lama, ou seja, a velocidade da interface A/B.

A velocidade de sedimentação da partícula pode ser calculada através da equação clássica do declive entre dois pontos.

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad (17)$$

---

<sup>39</sup> Estes dois fenómenos não são visíveis no ensaio pois a coluna não respeita as normas seguidas no “Standard Methods for Examination of Water and WasteWater”)



**Figura 45 – Curva de sedimentação da lama biológica (13/9;14h30)**

A altura inicial para  $t=0$  é 36 cm e corresponde ao comprimento da proveta que está graduado. A partir do instante inicial começa-se a subtrair as distâncias percorridas pela interface visível A/B.

Os efeitos de parede são um factor considerável na determinação da velocidade de sedimentação em virtude do diâmetro da coluna ser pequeno – de 5 cm.

No quadro seguinte os valores a laranja correspondem às velocidades de sedimentação na região com maior declive “ hindered settling” e admite-se que a partir do último valor a laranja haja uma inflexão no declive da curva.

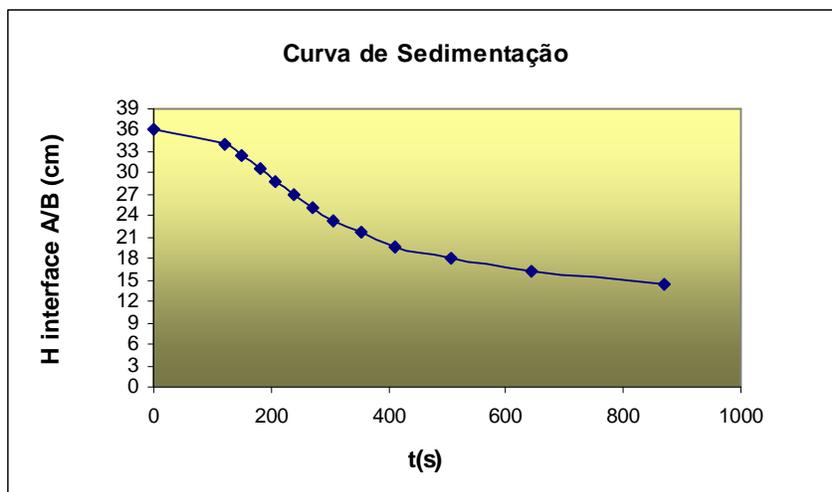
Tempo (s)	X (cm)	$V_s$ (m/h)
0	36	0,00
90	32,4	-1,44
134	30,5	-1,55
168	28,8	-1,80
200	26,9	-2,14
244	25,2	-1,39
295	23,3	-1,34
356	21,6	-1,00
438	19,7	-0,83
580	18	-0,43
840	16,1	-0,26

**Quadro 19 – Velocidade de sedimentação da lama biológica (13/9;14h30)**

Se for feita uma média dos valores da velocidade<sup>40</sup> que constam no quadro 19 a laranja o valor obtido é 1,61 m/s. De outra forma a velocidade de sedimentação teórica em função do IVL e da

<sup>40</sup> Dado que o declive é negativo a velocidade aparece em valor negativo. Considera-se o módulo dos valores de velocidade

concentração da lama (equação 5) desta lama biológica é de 1,60 m/h. A diferença é insignificante e apenas comprova que a equação da velocidade usada está ajustada às condições reais.



**Figura 46 – Curva de sedimentação da lama biológica (17/9;20:30)**

Tempo (s)	X (cm)	V <sub>s</sub> (m/h)
0	36	0,00
120	34,1	-0,57
149	32,4	-2,11
180	30,5	-2,21
208	28,8	-2,19
238	26,9	-2,28
270	25,2	-1,91
306	23,3	-1,90
352	21,6	-1,33
410	19,7	-1,18
505	18	-0,64
643	16,1	-0,50
871	14,4	-0,27

**Quadro 20 – Velocidade de sedimentação da lama biológica (17/9;20h30)**

Neste ensaio a velocidade média de sedimentação é 1,88 m/h enquanto a velocidade de sedimentação teórica é 2,02 m/h. A diferença neste ensaio é mais significativa, mas a mesma se pode dever a múltiplas razões: erro de leitura, dificuldade de percepção da interface A/B no início da contagem e utilização de uma coluna que não obedece às normas específicas.

Mesmo assim as conclusões retiradas, no que respeita ao comportamento da lama, com base no valor experimental, não comprometeriam a análise.

## 10 CONCLUSÕES

Este trabalho permitiu comprovar os fundamentos teóricos que levaram à adopção desta alternativa – a instalação da “inlet baffle” e da “outlet baffle”, como também comprovou a viabilidade da estratégia traçada pelos responsáveis da SIMTEJO.

O sucesso deste trabalho foi fruto de uma conjugação entre o conhecimento técnico e experimental dos processos da ETAR e os alicerces teóricos baseados na bibliografia da especialidade.

Na primeira fase do estudo comprovaram-se as concentrações elevadas de SST e CBO<sub>5</sub> no clarificado da decantação secundária. Salvo algumas excepções, como no mês de Janeiro, os parâmetros hidráulicos estão compreendidos no intervalo definido para este tipo de decantadores secundários a operar em conjunto com um sistema de lamas activadas de média carga.

A ocorrência pontual de valores de IVL superiores a 150 mg/L também pode justificar um efluente com um teor de SST superior, visto que a velocidade de sedimentação da lama tende a diminuir. Nestes casos, se as cargas hidráulicas forem superior à velocidade de sedimentação do floco, o desempenho da clarificação é prejudicado.

Contudo a deterioração do efluente deve-se essencialmente à elevada fuga de sólidos na zona final do decantador, cenário explicado essencialmente por dois motivos: a) as características de concepção dos decantadores não são as mais indicadas: apenas uma entrada de caudal e de secção reduzida e ausência de “baffles” no início e na saída dos decantadores, b) a “baffe” que protege a primeira caleira está muito baixa e, quando a presença de espumas no decantador, estas transbordam para a caleira implicando um aumento de SST no clarificado.

As simulações obtidas através do MOHID Water foram esclarecedoras quanto à relevância das características conceptionais no desempenho do processo. Na ausência da “inlet baffle” e considerando que a entrada do caudal se faz por uma única entrada de secção reduzida, o fluxo de caudal atravessa o decantador junto ao fundo do mesmo verificando-se um arrastamento do manto de lamas. As velocidades horizontais superiores a 20 mm/s na primeira metade do decantador não permitem a deposição de sólidos pois as tensões de corte são superiores à tensão de corte crítica de erosão, ocorrendo a resuspensão dos sólidos. Apenas na segunda metade do decantador ocorre a acumulação de lamas pois as tensões de corte são inferiores à tensão de corte crítica de deposição.

Pelo contrário, no decantador com a “inlet baffle” vertical, as velocidades são muito menores após o fluxo vencer o obstáculo, atingindo-se velocidades horizontais na ordem dos 5 mm/s, em toda a secção transversal do decantador.

A dissipação de energia do movimento inicial e a distribuição, quer na vertical como na horizontal, do fluxo permitem a deposição dos sólidos no fundo do decantador, logo na primeira metade do mesmo.

Foi constatado que a altura eficaz da “baffle” inicial deve ser de 1 m, pois a hidrodinâmica dos decantadores foi completamente modificada quando se alterou a altura da placa para 2,40 m e 3,20 m, mantendo todas as outras condições da simulação com a placa de 0,80 m. Verificou-se em ambos os cenários que o fluxo de caudal tende a dirigir-se para o topo do tanque originando um movimento acelerado que atravessa todo o seu comprimento, não permitindo a sedimentação dos sólidos e favorecendo a fuga destes para o clarificado.

Os resultados obtidos na colheita de amostras da decantação secundária foram esclarecedores quanto à melhoria proporcionada pela introdução das “baffles” inicial e final. A concentração média de SST nas doze amostras do clarificado do decantador com “baffles” foi de 15,9 mg/L, enquanto que no clarificado do decantador sem “baffles” foi de 28,9 mg/L.

Em concreto, obteve-se uma melhoria de 45% na qualidade do efluente final do decantador com “baffles” (decantador n.º 12).

Por outro lado, ficou demonstrado que o decantador sem “baffles” é muito mais sensível a flutuações na carga hidráulica e na carga de sólidos. Nas condições limite este decantador compromete a qualidade do efluente, não porque esteja sub-dimensionado. O que se verifica é que na ausência das “baffles” as correntes de densidade não são dissipadas, favorecendo a ocorrência de curto-circuitos que vão aumentar aparentemente a carga hidráulica e reduzir a eficiência de remoção dos SST.

Pode-se concluir que o principal impacto da adição das “baffles” nos decantadores secundários é a melhoria no desempenho da clarificação visto que se atingiram níveis de qualidade satisfatórios no clarificado quando simultaneamente as cargas hidráulicas eram elevadas.

No entanto, é importante referir que a adição de “baffles” nos decantadores não melhora o desempenho ou a capacidade dos mesmos quando os problemas no clarificado são devido à subida excessiva do manto de sólidos (devido às características intrínsecas da lama). O problema neste caso é que a carga de sólidos aplicada aos decantadores excede a capacidade de espessamento dos mesmos e a capacidade nominal de recirculação de lamas.

A solução nestes casos passa por reduzir a carga de sólidos e por melhorar as características da sedimentabilidade da lama biológica.

Sugere-se também, do que foi concluído, que se estenda esta modificação a todos os decantadores secundários da ETAR de Frielas, pois o desempenho dos decantadores seria bastante melhorado e a relação custo – benefício seria claramente positiva, uma vez que um investimento de 2500 euros por cada decantador seria insignificante face aos benefícios obtidos (efluentes de qualidade que cumpririam o VLE para os SST).

Na análise do desempenho de cada etapa de tratamento da ETAR de Frielas constatou-se a deterioração do efluente da decantação primária na passagem pelo tanque de homogeneização, contribuindo para a afluência de cargas elevadas de SST e CBO<sub>5</sub> ao tratamento biológico. Deste modo sugerem-se duas modificações estruturais: alterar o circuito hidráulico da linha que transporta as águas de lavagem dos biofiltros direccionando-o para o tratamento primário e proceder da mesma forma com a linha que transporta as escorrências da digestão e desidratação de lamas.

No entanto, nesta última linha, também se pode diminuir a carga de sólidos se for feita uma gestão mais adequada do concentrado, otimizando os processos de desidratação e digestão de lamas.

Considera-se o trabalho desenvolvido um primeiro passo no estudo da decantação secundária de Frielas, nomeadamente do desempenho dos decantadores secundários rectangulares, que normalmente são aqueles que funcionam em piores condições e que são também menos estudados.

Espera-se que este estudo seja motivador de outros trabalhos mais aprofundados nesta área, pois na verdade a decantação secundária é, quase na sua totalidade, o tratamento de fim de linha da fase líquida das águas residuais e o mais importante ao nível da eficiência global de uma ETAR com tratamento biológico.

Embora os resultados confirmem a validade desta medida seria desejável a realização de mais uma colheita de amostras, para comprovar de uma forma mais fundamentada os resultados obtidos. Sugere-se um intervalo de amostragem mais curto, entre 15 minutos a 1 hora, representativo de todas as oscilações diárias, quer de caudais quer de concentração de sólidos [17].

No futuro próximo seria capital um desenvolvimento mais aprofundado do modelo MOHID para este tipo de decantadores acoplados a sistemas de lamas activadas. Seria desejável a substituição da equação da velocidade de queda dos sedimentos do modelo pela equação da velocidade de sedimentação de Daigger e Wahlberg, de modo a que os valores da velocidade sejam dependentes da concentração de lama biológica e do IVL.

Estas alterações seriam mais consistentes, na medida em que as simulações da deposição de sólidos no decantador se aproximariam mais da realidade.

Seria também interessante poder simular outras configurações de “baffles”, uma delas já utilizada no decantador n.º 12 – “baffle” horizontal, de forma a encontrar a solução mais eficiente e económica.

Globalmente, seria fundamental antever eventuais efeitos na eficiência dos decantadores, principalmente em ETAR's como a de Frielas onde afluem águas residuais industriais e águas pluviais, devido a flutuações na carga hidráulica, na carga de sólidos e na qualidade da lama biológica.

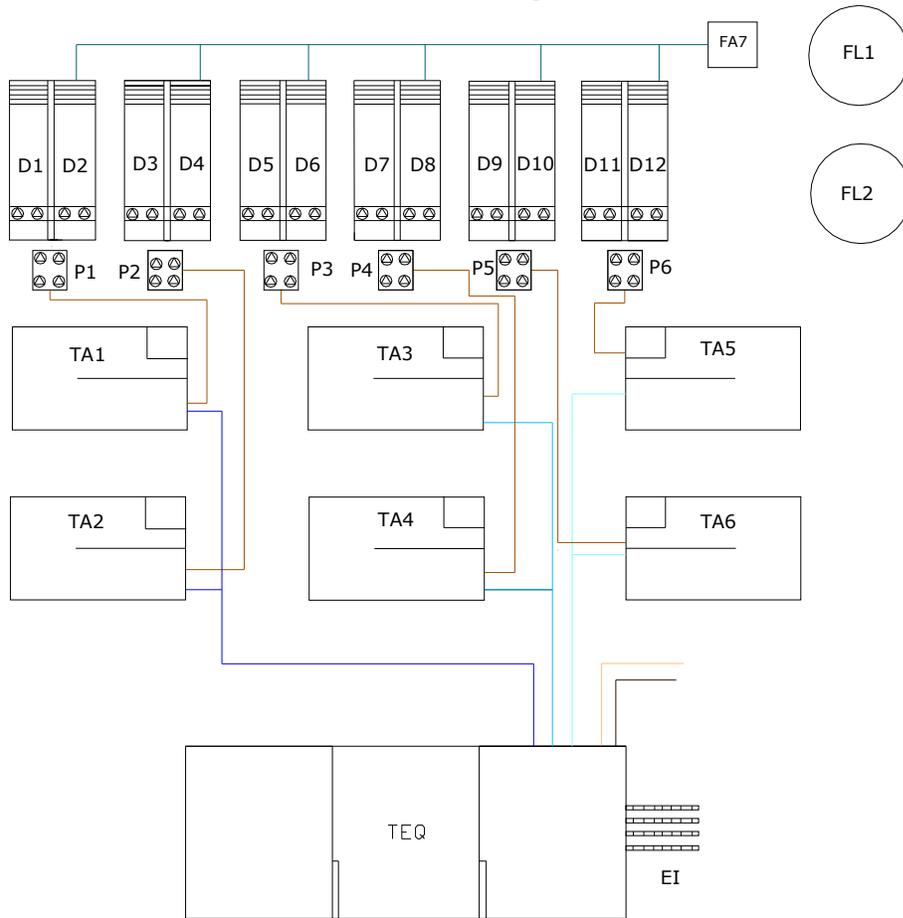
## Referências Bibliográficas

1. Water Pollution Control Federation (1985), "Clarifier Design", Manual of Practice FD-8.
2. Peavy, H.S., Donald R.R., Tchobannoglous, G. (1985), "Environmental Engineering", McGRAW-Hill International Editions.
3. Metcalf & Eddy, INC. (2003), "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", International Edition, McGraw-Hill, New York.
4. Montgomery, J.M. (1987), "Water Principal Treatments and Design".
5. Rodrigues, R., Rodrigues, A.P. (2006), "Manual de Funcionamento do Subsistema de Frielas".
6. Ronzano, E.; Dapena, J.L. (2002) "Tratamiento Biológico De Las Aguas Residuales", Pridesa.
7. Vesilind, P.A. "Wastewater Treatment Plant Design", WEF.
8. Sousa, E.R. – Sebenta da cadeira de Características e Tratamento de Água (Extracto AWWA/ASCE "Water Treatment Plant Design" 3ª Edição: Págs. 111 a 145).
9. Fernandes, L.D.F. (2005), "Modelling of Arsenic Dynamics in the Tagus Estuary". Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ecologia, Gestão e Modelação dos Recursos Marinhos, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa.
10. Pina, P., (2001), "An Integrated Approach to Study the Tagus Estuary Water Quality". Tese de Mestrado para a Obtenção de Grau de Mestre em Ecologia Gestão e Modelação dos Recursos Marinhos, Instituto Superior Técnico-Universidade Técnica de Lisboa.
11. "Water Treatment – Principles and design", MWH Second Edition
12. Santos, M. et al. (2006), "Estudo Metodológico da ETAR de São João da Talha"
13. Clesceri, L.S. et al., "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater"
14. Qasim, S.R. (1999), "Wastewater Treatment Plants – Planning, Design and Operation", Technomic Publication
15. Quintela, A. de C. (2002), "Hidráulica", Fundação Calouste Gulbenkian.
16. WEF Manual of Practice No.8, "Design of Municipal Wastewater Treatment Plants", Volume I
17. Daigger, G.T., Buttz, J.A. (1992), "Upgrading Wastewater Treatment Plants", Water Quality Management Library.
18. Grady, C.P.L., Daigger, G.T, Lim H.C. (1999), "Biological Wastewater Treatment", Second Edition.
19. Ekama, G.A. et al. "Secondary Settling Tanks". Acedido em [www.hydro.ntua.gr/labs/sanitary/postgraduate/secondary\\_settling\\_tanks.pdf](http://www.hydro.ntua.gr/labs/sanitary/postgraduate/secondary_settling_tanks.pdf)
20. Rodrigues, R. et al. (2006), "Estudo Metodológico de uma Estação de Tratamento de Águas Residuais"
21. Schaller, E. (1995), "Density Currents in Activated Sludge Clarifiers", Florida Water Resources Journal. Acedido em <http://www.fwrj.com/articles/9510.pdf>.
22. *MOHID Water Modelling System*. Acedido em [www.mohid.com](http://www.mohid.com)

## **VIII. ANEXOS**

### **A. Esquema do Tratamento Biológico da ETAR de Frielas**

## Etar de Frielas Tratamento Biológico

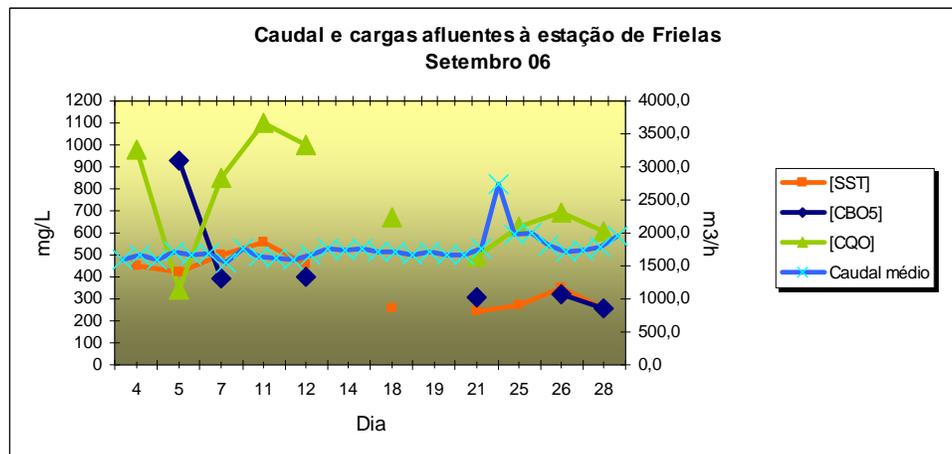
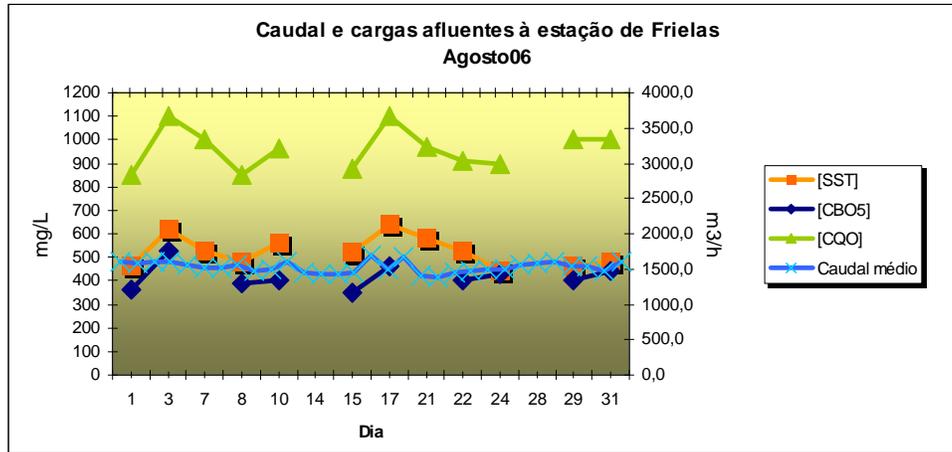


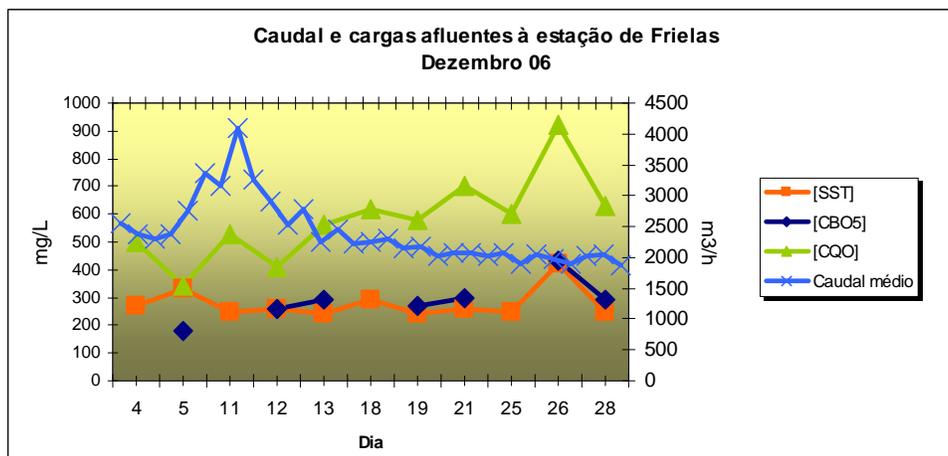
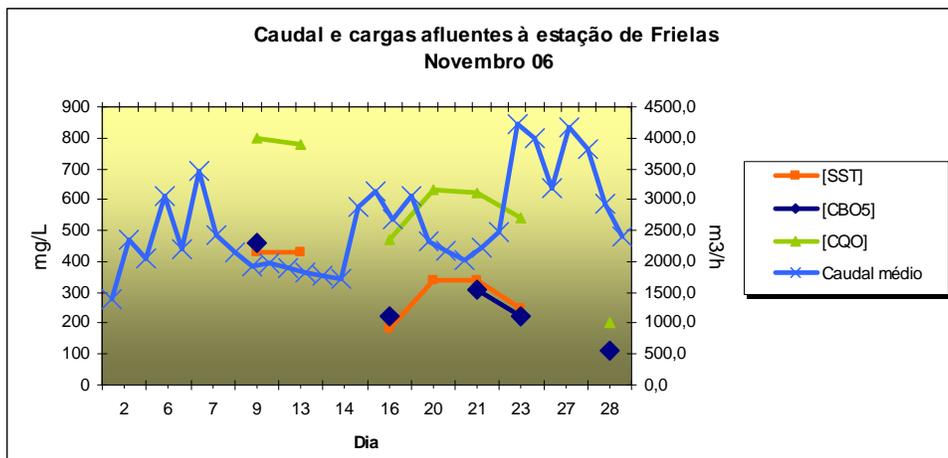
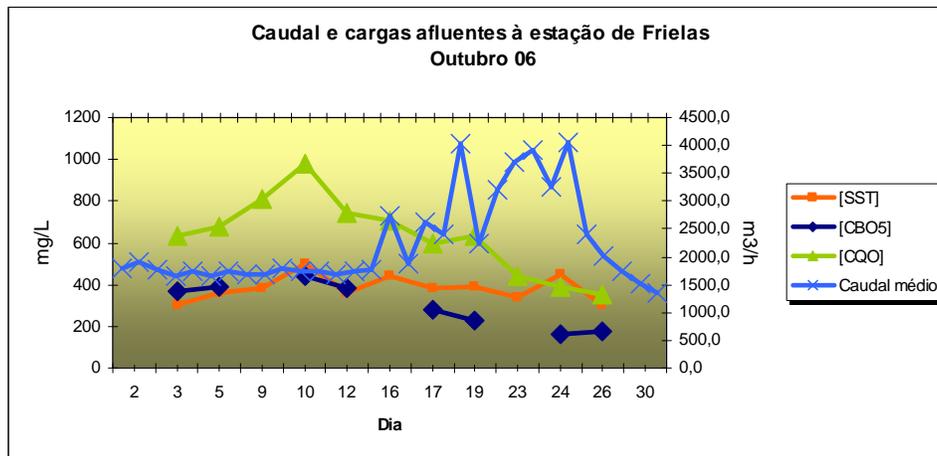
**LEGENDA:**

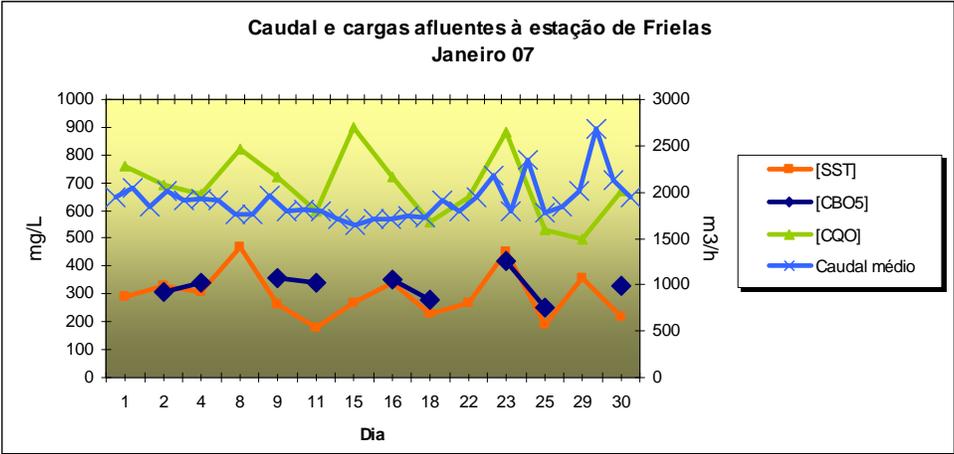
D1 a D12	Decantadores Secundários
EI	Elevação Intermédia
FA 7	Tanque do Efluente da Decantação Secundária
FL1 e FL2	Flotador 1 e 2
P1 a P6	Poços de lamas extraídas
TA1 a TA6	Tanques de arejamento
TEQ	Tanque de Equalização

<span style="color: blue;">—</span>	Linha 1
<span style="color: cyan;">—</span>	Linha 2
<span style="color: orange;">—</span>	Linha 3
<span style="color: orange;">—</span>	Águas de lavagem da Biofiltração
<span style="color: grey;">—</span>	Escorrências da digestão e da desidratação

**B. Evolução dos caudais e cargas afluentes à ETAR de Frielas nos meses de Agosto, Setembro, Outubro, Novembro, Dezembro de 2006 e no mês de Janeiro 2007.**







**C. Análise da decantação secundária da ETAR de Frielas – Parâmetros hidráulicos e características da lama biológica.**

Linha 1- Decantador 1,2

		Valores registrados						Valores calculados							
Da	Q <sub>efluente</sub> (m³/d)	Q <sub>recirc</sub> (m³/d)	R	[MSS] (g/L)	IVL (mL/g)	Decantabilidade (30min)	Remf (Decantabilidade)	Rem f(SM)	Carga Hidráulica Superficial	Carga de sólidos(kg/m².h)	Tempo de retenção	V <sub>horizontal</sub> (m/s)	Vi (m/h)		
Agosto	3	11271,5	13187,0	117,0	6,93	95	660	194,1	192,7	0,56	3,9	3,31	0,0051	0,73	
	7	11489,5	13020,0	113,3	4,32	-	500	100,0	-	0,57	2,5	3,30	0,0051	-	
	10	11525,0	13250,0	115,0	4,8	167	800	400,0	404,0	0,57	2,7	3,27	0,0051	0,83	
	14	13148,5	9789,0	74,4	3,73	-	-	-	-	0,65	2,4	3,53	0,0047	-	
	17	11833,0	13280,0	112,2	4,35	120	520	108,3	109,2	0,59	2,5	3,22	0,0052	1,39	
	21	11342,0	13689,0	120,5	4,48	-	700	233,3	-	0,56	2,5	3,24	0,0052	-	
	24	12146,5	13646,0	112,3	4,14	145	600	150,0	150,2	0,60	2,5	3,14	0,0053	1,27	
	28	12478,0	13140,0	105,3	3,68	-	600	150,0	-	0,62	2,3	3,16	0,0053	-	
	31	11924,0	11364,0	95,3	3,94	203	800	400,0	399,6	0,59	2,3	3,48	0,0048	0,96	
	Setembro	1	12530,5	10505	83,8	-	-	450	81,8	-	0,62	-	3,51	0,0048	-
4		12889	10293	82,1	3,67	-	400	66,7	-	0,64	2,3	3,49	0,0048	-	
7		-	-	0,0	4,08	147	600	-	149,9	-	-	-	-	1,28	
11		11283,5	12804	102,2	-	-	-	-	-	0,56	-	3,36	0,0050	-	
12		13088,5	12555	100,2	4,01	-	320	47,1	-	0,65	2,6	3,16	0,0053	-	
14		13025	12574	100,3	3,9	77	350	53,8	42,9	0,64	2,5	3,16	0,0053	2,12	
18		12093	12638	100,9	4,36	-	470	88,7	-	0,60	2,6	3,27	0,0051	-	
21		12100,5	12579	100,4	4,97	105	520	108,3	109,1	0,60	3,0	3,28	0,0051	1,25	
25		13809,5	12731	101,6	3,51	-	360	56,3	-	0,68	2,4	3,05	0,0055	-	
28		12589,5	12613	100,7	4,26	139	540	117,4	145,2	0,62	2,7	3,21	0,0052	1,26	
Outubro	2	13366,5	12593	97,2	3,78	-	700	233,3	-	0,66	2,5	3,12	0,0054	-	
	6	12606,5	12710	98,1	3,73	129	480	92,3	92,7	0,62	2,3	3,20	0,0052	1,64	
	9	-	-	-	3,99	-	540	-	-	-	-	-	-	-	
	12	9625	13049	100,7	3,16	190	600	150,0	150,3	0,48	1,5	3,57	0,0047	1,49	
	16	13204,5	13004	100,3	4,17	-	740	284,6	-	0,65	2,7	3,09	0,0054	-	
	19	12718,5	10200	78,7	2,97	236	700	233,3	234,4	0,63	1,9	3,53	0,0047	1,31	
	23	13672	12268	94,7	1,84	-	200	25,0	-	0,68	1,2	3,12	0,0054	-	
	26	12663,5	12580	97,1	1,94	93	180	22,0	22,0	0,63	1,2	3,21	0,0052	3,54	
	30	12280	12578	97,1	2,63	-	270	37,0	-	0,61	1,6	3,26	0,0051	-	
	Novembro	2	11300	12550	121,4	2,28	110	-	-	33,5	0,56	1,3	3,39	0,0049	3,00
6		13065	12494	120,9	1,42	-	-	-	-	0,65	0,9	3,17	0,0053	-	
9		14256,5	12618	122,1	7,12	98	-	-	230,9	0,70	5,0	3,01	0,0056	0,67	
15		14820	12596	121,9	2,64	133	-	-	54,1	0,73	1,9	2,95	0,0057	2,41	
20		14216	12593	121,8	1,85	-	-	-	-	0,70	1,3	3,02	0,0055	-	
23		14524,5	12415	120,1	1,6	63	-	-	11,2	0,72	1,1	3,00	0,0056	4,25	
27		-	12570	121,6	1,42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30		14976	12570	121,6	1,93	52	-	-	11,2	0,74	1,4	2,94	0,0057	4,03	
Dezembro		4	13730	12205	85,7	2,18	-	150	17,6	-	0,68	1,5	3,12	0,0054	-
		7	14109,5	13113	92,1	2,54	79	200	25,0	25,1	0,70	1,8	2,97	0,0056	3,11
	11	14336,5	12614	88,6	2,92	-	260	35,1	-	0,71	2,1	3,00	0,0056	-	
	14	14928,5	12897	90,6	3,05	141	430	75,4	75,5	0,74	2,3	2,91	0,0058	1,99	
	18	14800	12980	91,2	3,18	-	-	-	-	0,73	2,3	2,91	0,0057	-	
	21	14612,5	12836	90,1	2,68	160	430	75,4	75,1	0,72	1,9	2,95	0,0057	2,12	
	27	14021	12847	90,2	2,34	167	390	63,9	64,1	0,69	1,6	3,01	0,0056	2,38	
	28	13699,5	12868	90,4	-	-	330	49,3	-	0,68	-	3,05	0,0055	-	
	Janeiro	2	23125	12773	55,2	2,73	132	360	56,3	56,3	1,14	3,1	2,25	0,0074	2,34
		4	24523,5	12714	51,8	2,37	169	400	66,7	66,7	1,21	2,9	2,17	0,0077	2,33
8		22365,5	12916	57,7	1,88	160	300	42,9	42,9	1,11	2,1	2,29	0,0073	2,96	
11		23410	12900	55,1	3,34	81	270	37,0	37,0	1,16	3,9	2,23	0,0075	2,44	
15		22008	12854	58,4	2,26	199	450	81,8	81,8	1,09	2,5	2,32	0,0072	2,19	
18		22847	12957	56,7	2,8	-	-	-	-	1,13	3,2	2,26	0,0074	-	
22		25000	12900	51,6	2,54	177	450	81,8	81,8	1,24	3,1	2,14	0,0078	2,09	
25		23035	12847	44,2	3,07	169	520	108,3	108,3	1,44	4,4	1,93	0,0087	1,72	
29		32916,5	12005	36,5	3,93	163	640	177,8	177,8	1,63	6,4	1,80	0,0083	1,23	

[Nota: os valores do IVL a laranja não devem ser considerados, pois a concentração de lammas é superior a 4g/L.]

Linha 1-Decantador 3,4

Da	Valores registrados						Valores calculados								
	Q <sub>efluente</sub> (m³/d)	Q <sub>recirc</sub> (m³/d)	R	[MLSS] (g/L)	SM (mL/g)	Decantabilidade (30 min)	Rem f(Decantabilidade)	Rem f(SM)	Carga Hidráulica Superficial	Carga de sólidos(kg/m².h)	Tempo de retenção hidráulico	V <sub>transet</sub> (m/s)	Vi (m/h)		
Agosto	3	11271,5	11960	106,1	5,06	115	580	138,1	139,2	0,56	2,8	3,48	0,0048	1,12	
	7	11489,5	11920	103,7	4,18	-	480	92,3	-	0,57	2,4	3,46	0,0048	-	
	10	11525,0	11941	104,3	4,77	180	860	614,3	607,2	0,57	2,7	3,45	0,0048	0,76	
	14	13148,5	11941	90,8	3,28	-	-	-	-	0,65	2,1	3,23	0,0052	-	
	17	11833,0	11840	100,1	3,93	132	520	108,3	107,8	0,59	2,3	3,42	0,0049	1,49	
	21	11342,0	11999	105,8	4,05	-	660	194,1	-	0,56	2,3	3,47	0,0048	-	
	24	12146,5	12016	98,9	3,76	144	540	117,4	118,1	0,60	2,3	3,35	0,0050	1,48	
	28	12478,0	11834	94,8	3,86	-	640	177,8	-	0,62	2,4	3,33	0,0050	-	
	31	11924,0	11643	97,6	3,86	155	600	150,0	148,9	0,59	2,3	3,43	0,0049	1,33	
	Setembro	1	12530,5	11671	93,1	-	-	400	66,7	-	0,62	-	3,34	0,0050	-
4		12889,0	11751	93,8	3,93	-	450	81,8	-	0,64	2,5	3,28	0,0051	-	
7		-	-	0,0	4,47	101	450	-	82,3	-	-	-	-	1,52	
11		11283,5	11844	94,5	4,07	-	490	96,1	-	0,56	2,3	3,50	0,0048	-	
12		13086,5	11822	94,3	-	-	360	53,8	-	0,65	-	3,25	0,0051	-	
14		13025,0	11777	94,0	3,85	86	330	49,3	49,5	0,64	2,5	3,26	0,0051	2,04	
18		12093,0	11811	100,9	4,08	-	440	78,6	-	0,60	2,4	3,39	0,0049	-	
21		12100,5	11754	100,4	3,85	104	400	66,7	66,8	0,60	2,3	3,39	0,0049	1,83	
25		13809,5	11952	95,4	3,29	-	380	61,3	-	0,68	2,2	3,14	0,0053	-	
28		12589,5	11895	94,9	3,66	120	440	78,6	78,3	0,62	2,3	3,31	0,0051	1,77	
Outubro	2	13366,5	11831	112,9	4,65	-	800	400,0	-	0,66	3,1	3,21	0,0052	-	
	6	12606,5	11904	105,9	3,32	154	510	104,1	104,6	0,62	2,1	3,30	0,0051	1,67	
	9	-	-	-	3,91	-	720	-	-	-	-	-	-	-	
	12	9625,0	11862	81,1	6,89	142	980	4800,0	4525,3	0,48	3,3	3,77	0,0044	0,44	
	16	13204,5	12459	106,0	2,68	-	390	63,9	-	0,65	1,7	3,15	0,0053	-	
	19	12718,5	12910	98,5	4,89	205	-	-	-	0,63	3,1	3,16	0,0053	0,59	
	23	13672,0	12839	106,5	2,65	-	420	72,4	-	0,68	1,8	3,05	0,0055	-	
	26	12653,5	11622	108,9	1,94	77	150	17,6	17,6	0,63	1,2	3,33	0,0050	3,72	
	30	12280,0	11592	105,9	2,13	-	260	35,1	-	0,61	1,3	3,39	0,0049	-	
	Novembro	2	11300,0	12820	113,5	2,4	166	-	-	66,2	0,56	1,3	3,36	0,0050	2,33
6		13065,0	12785	97,9	2,29	-	-	-	-	0,65	1,5	3,13	0,0053	-	
9		14256,5	12717	89,2	2,87	122	-	-	53,9	0,70	2,0	3,00	0,0056	2,32	
15		14820,0	13070	88,2	4,3	93	-	-	66,6	0,73	3,2	2,90	0,0058	1,70	
20		14216,0	12853	90,4	3,95	-	-	-	-	0,70	2,8	2,99	0,0056	-	
23		14524,5	12721	87,6	2,56	98	-	-	33,5	0,72	1,8	2,97	0,0056	2,86	
27		-	12830	-	1,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30		14976,0	12792	85,4	2,18	92	-	-	25,1	0,74	1,6	2,91	0,0057	3,30	
Dezembro		4	13730,0	11970	87,2	2,09	-	180	22,0	-	0,68	1,4	3,15	0,0053	-
		7	14109,5	11614	82,3	2,52	190	240	31,6	91,9	0,70	1,8	3,15	0,0053	2,01
	11	14336,5	13302	92,8	-	-	-	-	-	0,71	0,0	2,93	0,0057	-	
	14	14928,5	12488	83,7	3,57	157	560	127,3	127,5	0,74	2,6	2,95	0,0057	1,48	
	18	14800,0	12335	83,3	2,81	-	-	-	-	0,73	2,1	2,98	0,0056	-	
	21	14612,5	12212	83,6	3,37	128	430	75,4	75,9	0,72	2,4	3,02	0,0055	1,88	
	27	14021,0	11981	85,5	-	-	-	-	-	0,69	-	3,11	0,0054	-	
	28	13699,5	10632	77,6	2,28	-	330	49,3	-	0,68	1,5	3,33	0,0050	-	
	Janeiro	2	23125,0	10494	45,4	2,88	128	370	58,7	58,7	1,14	3,3	2,41	0,0069	2,25
		4	24523,5	8535	34,8	1,43	140	200	25,0	25,0	1,21	1,7	2,45	0,0068	3,74
8		22385,5	12821	57,3	3,21	93	300	42,9	42,9	1,11	3,6	2,30	0,0073	2,38	
11		23410,0	12800	54,7	2,09	139	290	40,8	40,8	1,16	2,4	2,23	0,0075	2,91	
15		22008,0	12730	57,8	3,69	95	360	53,8	53,8	1,09	4,0	2,33	0,0072	2,03	
18		22847,0	12798	56,0	4,61	87	400	66,7	66,7	1,13	5,2	2,27	0,0074	1,61	
22		25000,0	12800	51,2	3,84	91	360	53,8	53,8	1,24	4,7	2,14	0,0078	1,98	
25		29095,0	12670	43,6	4,74	63	300	42,9	42,9	1,44	6,8	1,94	0,0086	1,85	
29	32916,5	11883	36,1	4,45	-	-	-	-	1,63	7,2	1,81	0,0088	-		

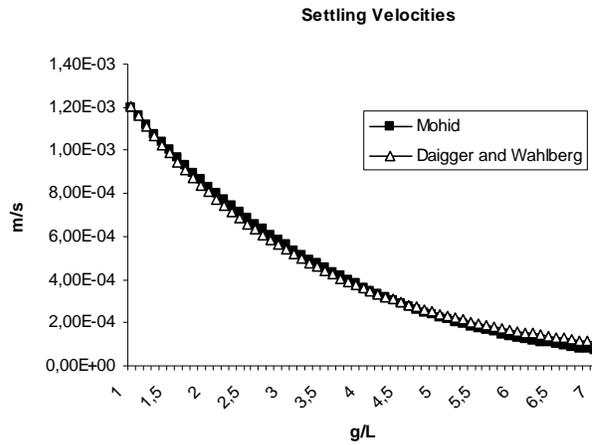
Linha 2- Decantador 56

Dia	Valores registrados						Valores calculados							
	Q <sub>efluente</sub> (m³/d)	Q <sub>recirc</sub> (m³/d)	R	[MSS](g/L)	SM (mL/g)	Decantabilidade (30min)	Remf (Decantabilidade)	Remf(SM)	Carga Hidráulica Superficial	Tempo de retenção hidráulico(h)	Carga de sólidos(kg/m²)	V <sub>razão</sub> (m/s)	Vi (m/h)	
Agosto	3	10745	13475	125,4	4,72	110	520	108,3	108,0	0,53	3,34	2,51	0,005	1,31
	7	11401	13437	117,9	2,55	-	480	92,3	-	0,56	3,26	1,44	0,005	-
	10	11475	13500	117,6	4,54	194	880	733,3	738,6	0,57	3,24	2,58	0,005	0,76
	14	9803	13505	137,8	3,77	-	-	-	-	0,48	3,47	1,83	0,005	-
	17	11410	13140	115,2	3,95	137	540	117,4	117,9	0,56	3,30	2,23	0,005	1,44
	21	10858	13526	124,6	3,85	-	900	900,0	-	0,54	3,32	2,07	0,005	-
	24	12197	13488	110,6	3,4	165	580	127,3	127,8	0,60	3,15	2,05	0,005	1,52
	28	12551	13152	104,8	3,14	-	700	233,3	-	0,62	3,15	1,95	0,005	-
	31	11816	12995	109,5	3,73	188	700	233,3	234,7	0,58	3,27	2,18	0,005	1,16
Setembro	1	12506	12990	103,9	-	-	800	400,0	-	0,62	3,17	#VALUE!	0,005	-
	4	12972	13100	101,0	3,48	-	700	233,3	-	0,64	3,10	2,23	0,005	-
	7	-	-	-	3,96	202	800	-	399,8	0,00	-	0,00	0,000	0,95
	11	12697	13039	102,7	3,76	-	680	194,1	-	0,63	3,14	2,36	0,005	-
	12	12978	13016	100,3	-	-	840	525,0	-	0,64	3,11	-	0,005	-
	14	11478	13027	113,5	4,29	154	680	194,1	194,7	0,57	3,30	2,43	0,005	1,12
	18	12289	13086	106,5	3,66	-	-	-	-	0,61	3,19	2,22	0,005	-
	21	12283	12999	105,8	2,89	139	400	66,7	67,1	0,61	3,20	1,75	0,005	2,13
	25	12398	13306	107,3	2,57	-	240	31,6	-	0,61	3,15	1,58	0,005	-
	28	12902	13080	101,4	3,17	190	600	150,0	151,4	0,64	3,11	2,02	0,005	1,48
Outubro	2	13415	13040	97,2	3,21	-	350	53,8	-	0,66	3,06	2,13	0,005	-
	6	12835	13117	102,2	3,81	134	510	104,1	104,3	0,63	3,12	2,42	0,005	1,54
	9	-	-	-	3,4	-	320	-	-	-	-	-	-	-
	12	13486	13086	98,8	4,04	119	480	92,3	92,6	0,67	3,05	2,70	0,005	1,56
	16	13046	13129	100,6	4,39	-	240	31,6	-	0,64	3,09	2,83	0,005	-
	19	13238	13010	98,3	1,55	65	100	11,1	11,2	0,65	3,08	1,01	0,005	4,29
	23	13785	12950	93,9	1,64	-	150	17,6	-	0,68	3,03	1,12	0,006	-
	26	10431	12974	124,4	1,93	78	150	17,6	17,7	0,52	3,46	1,00	0,005	3,72
30	12146	13076	107,7	2,48	-	200	25,0	-	0,60	3,21	1,49	0,005	-	
Novembro	2	11375	13000	114,3	2,43	-	-	-	-	0,56	3,32	1,37	0,005	-
	6	12821	12995	101,4	1,73	-	-	-	-	0,63	3,13	1,10	0,005	-
	9	14052	13114	93,3	3,14	-	-	-	-	0,69	2,98	2,18	0,006	-
	15	14350	13171	91,8	2,48	-	-	-	-	0,71	2,94	1,76	0,006	-
	20	14046	13105	93,3	1,81	-	-	-	-	0,69	2,98	1,26	0,006	-
	23	14653	12971	88,5	1,92	-	-	-	-	0,72	2,93	1,39	0,006	-
	27	-	12905	-	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30	14652	13073	89,2	2,37	-	-	-	-	0,72	2,92	1,72	0,006	-
Dezembro	4	14415	12350	85,7	2,57	62	160	19,0	19,0	0,71	3,02	1,83	0,006	3,30
	7	14830	12379	83,5	3,65	66	240	31,6	31,6	0,73	2,97	2,68	0,006	2,43
	11	14525	13038	89,8	3,12	61	190	23,5	23,5	0,72	2,94	2,24	0,006	2,88
	14	14802	12971	87,6	3,31	91	300	42,9	42,9	0,73	2,91	2,42	0,006	2,34
	18	14770	13120	88,8	4,32	-	-	-	-	0,73	2,90	3,15	0,006	-
	21	14569	12961	89,0	3,76	223	840	525,0	525,0	0,72	2,94	2,71	0,006	0,92
	27	13913	13049	93,8	3,55	231	820	455,6	455,6	0,69	3,00	2,44	0,006	0,99
	28	13569	13076	95,4	-	-	420	72,4	-	0,67	3,04	-	0,006	-
	29	13244	12995	98,1	3,9	159	620	163,2	163,2	0,65	3,08	2,55	0,005	1,28
Janeiro	4	13707	13027	95,0	3,97	176	700	233,3	233,3	0,68	3,03	2,69	0,006	1,11
	8	13463	13130	97,5	4,01	229	920	1150,0	1150,0	0,67	3,04	2,67	0,005	0,78
	11	12920	13100	101,4	4,72	127	600	150,0	150,0	0,64	3,11	3,01	0,005	1,15
	15	11607	13080	112,5	4,13	169	700	233,3	233,3	0,57	3,28	2,37	0,005	1,08
	18	12396	10143	81,8	4,67	150	700	233,3	233,3	0,61	3,59	2,86	0,005	0,99
	22	13850	13100	94,6	4,05	198	800	400,0	400,0	0,68	3,00	2,77	0,006	0,94
	25	14181	12980	91,5	4,11	122	500	100,0	100,0	0,70	2,98	2,88	0,006	1,49
	29	13794	12202	88,5	3,97	-	-	-	-	0,68	3,11	2,71	0,005	-

Linha 2- Decantador 7,8

Dia	Valores registrados						Valores calculados							
	Q <sub>efluente</sub> (m³/d)	Q <sub>recirc</sub> (m³/d)	R	[MLSS](g/L)	SM (mL/g)	Decantabilidade (30min)	Remf (Decantabil)	Remf(SM)	Carga Hidráulica Superficial (m³/m².h)	Tempo de retenção hidráulico	Carga de sólidos(kg/m².h)	V <sub>horizontal</sub> (m/s)	V <sub>i</sub> (m/h)	
Agosto	3	10745	13730	127,8	3,12	135	420	72,4	72,8	0,53	3,3	1,66	0,005	1,99
	7	11401	13747	120,6	3,91	-	260	35,1	-	0,56	3,2	2,20	0,0052	-
	10	11475	13780	120,1	2,67	116	310	44,9	44,9	0,57	3,2	1,51	0,0052	2,56
	14	9803	6880	70,2	2,78	-	-	-	-	0,48	4,9	1,35	0,0034	-
	17	11410	13570	118,9	3,05	79	220	28,2	31,7	0,56	3,2	1,72	0,0052	2,68
	21	10658	13845	127,5	2,48	-	370	58,7	-	0,54	3,3	1,33	0,0051	-
	24	12197	13803	113,2	1,84	77	190	23,5	16,5	0,60	3,1	1,11	0,0054	3,83
	28	12551	13443	107,1	-	-	260	35,1	-	0,62	3,1	-	0,0054	-
	31	11816	13215	111,8	-	-	-	-	-	0,58	3,2	-	0,0052	-
Setembro	1	12506	13060	104,4	2,71	92	250	33,3	33,2	0,62	3,2	1,68	0,0053	2,80
	4	12972	13119	101,1	3,23	-	300	42,9	-	0,64	3,1	2,07	0,0054	-
	7	-	-	-	3,87	90	350	-	53,4	-	-	-	-	1,98
	11	12697	13114	103,3	3,74	-	360	56,3	-	0,63	3,1	2,35	0,0053	-
	12	12978	13080	100,8	-	-	300	42,9	-	0,64	3,1	-	0,0054	-
	14	11478	8960	78,0	3,75	101	380	61,3	61,0	0,57	4,0	2,13	0,0042	1,92
	18	12269	13212	107,7	3,91	-	400	66,7	-	0,61	3,2	2,37	0,0053	-
	21	12283	13127	106,9	3,84	91	350	53,8	53,7	0,61	3,2	2,33	0,0053	1,98
	25	12398	13306	107,3	3,17	-	320	47,1	-	0,61	3,1	1,94	0,0053	-
	28	12902	13240	102,6	3,94	198	780	354,5	354,8	0,64	3,1	2,51	0,0054	0,99
Outubro	2	13415	13154	98,1	3,65	-	400	66,7	-	0,66	3,0	2,42	0,0055	-
	6	12835	13255	103,3	3,43	111	380	61,3	61,5	0,63	3,1	2,18	0,0054	2,02
	9	-	-	-	3,35	-	430	-	-	-	-	-	-	-
	12	13496	13192	97,8	2,53	138	350	53,8	53,6	0,67	3,0	1,69	0,0055	2,46
	16	13046	13264	101,7	2,87	-	390	63,9	-	0,64	3,1	1,85	0,0054	-
	19	13238	13170	99,5	2,89	104	300	42,9	43,0	0,65	3,1	1,89	0,0055	2,51
	23	13785	13131	95,3	3,2	-	320	47,1	-	0,68	3,0	2,18	0,0056	-
	26	10431	9759	93,6	-	-	-	-	-	0,52	4,0	-	0,0042	-
	30	12146	13301	109,5	3,03	-	370	58,7	-	0,60	3,2	1,82	0,0053	-
	Novembro	2	11375	13227	116,3	5,78	87	-	-	101,2	0,56	3,3	3,25	0,0051
6		12821	13175	102,8	2,65	-	-	-	-	0,63	3,1	1,68	0,0054	-
9		14052	13300	94,7	4,13	107	-	-	79,2	0,69	3,0	2,87	0,0057	1,63
15		14350	13200	92,0	3,42	158	-	-	117,6	0,71	2,9	2,43	0,0057	1,57
20		14046	13295	94,7	4,03	-	-	-	-	0,69	3,0	2,80	0,0057	-
23		14653	12445	84,9	3,09	175	-	-	117,7	0,72	3,0	2,24	0,0056	1,66
27		-	12766	-	3,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30		14662	13219	90,2	4,04	149	-	-	151,2	0,72	2,9	2,93	0,0058	1,29
Dezembro		4	14415	12638	87,7	4,01	-	580	127,3	-	0,71	3,0	2,86	0,0056
	7	14830	13112	88,4	3,89	206	800	400,0	403,4	0,73	2,9	2,85	0,0058	0,96
	11	14525	13167	90,7	3,63	-	700	233,3	-	0,72	2,9	2,61	0,0057	-
	14	14802	13124	88,7	2,74	182	500	100,0	99,5	0,73	2,9	2,01	0,0058	1,88
	18	14770	13270	89,8	4,31	-	-	-	-	0,73	2,9	3,15	0,0058	-
	21	14569	13137	90,2	3,23	112	360	56,3	56,7	0,72	2,9	2,33	0,0057	2,15
	27	13913	13131	94,4	3,65	110	400	66,7	67,1	0,69	3,0	2,51	0,0056	1,88
	28	13569	13163	97,0	-	-	220	28,2	-	0,67	3,0	-	0,0055	-
	Janeiro	2	13244	13070	98,7	3,51	88	310	44,9	44,9	0,65	3,1	2,30	0,0054
4		13707	13117	95,7	3,52	85	300	42,9	42,9	0,68	3,0	2,39	0,0055	2,26
8		13463	13050	96,9	3,62	72	280	35,1	35,1	0,67	3,1	2,41	0,0055	2,37
11		12920	13200	102,2	4,14	72	300	42,9	42,9	0,64	3,1	2,64	0,0054	2,04
15		11607	13119	113,0	4,23	71	300	42,9	42,9	0,57	3,3	2,43	0,0051	2,01
18		12396	13200	106,5	4,69	75	350	53,8	53,8	0,61	3,2	2,87	0,0053	1,72
22		13860	13200	95,3	4,14	72	300	42,9	42,9	0,68	3,0	2,83	0,0056	2,04
25		14181	13062	92,1	5,15	85	440	78,6	78,6	0,70	3,0	3,61	0,0056	1,38
29		13794	7271	52,7	2,73	-	-	-	-	0,68	3,8	1,86	0,0044	-

**D. Aproximação dos parâmetros  $K_1$  e  $K_2$  para a equação da velocidade de queda do modelo MOHID**



O coeficiente de correlação das velocidades das duas séries no intervalo entre 1g/L e 6g/L é próximo de 1 (0,9990). O RMSE (root mean squared error)<sup>41</sup> calculado para este intervalo foi de 1,88 E -05 m/s. A proporção do erro das velocidades de sedimentação relativamente à média dos valores de velocidade da equação de Daigger e Wahlberg não é significativo (4%). Isto significa que as velocidades de sedimentação obtidas através do modelo MOHID são semelhantes às obtidas através daquela equação.

---

<sup>41</sup>  $RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\theta_j - \theta)^2}$

**E. Plano de estudo para a avaliação do desempenho da Decantação Secundária**

<b>Plano de estudo para avaliação do desempenho da Decantação Secundária</b>				
	<i>Parâmetro</i>	<i>Unidade</i>	<i>Periodicidade</i>	<i>Observações</i>
<b>Tanque de arejamento 5 Decantadores 11 e 12</b>	$Q_{in}$	$m^3/h$	6 em 6 horas	Caudalímetro
	$Q_{out}$	$m^3/h$	6 em 6 horas	Caudalímetro portátil
	$SST_{in}$	g/l	6 em 6 horas	Recolha de amostra
	$SST_{out}$	g/l	6 em 6 horas	"
	$SSV_{in}$	g/l	Diário	"
	$pH_{in}$		Diário	"
	$pH_{out}$		Diário	"
	$CQO_{out}$	mg $O_2/L$	6 em 6 horas	"
	$V_{30}$	ml/g	6 em 6 horas	"
	$T^a$ efluente	$^{\circ}C$	Diário	Sonda multiparamétrica
	$T^a$ decantador	$^{\circ}C$	Diário	"
<b>Recirculação</b>				
	Q rec.	$m^3/h$	med.contínua	Caudalímetro
	SST	g/L	6 em 6 horas	Recolha de amostra

**F. Ilustrações dos locais de medição dos caudais e recolha de amostras**



**Medidores dos caudais efluentes do tanque de homogeneização (Linha 1, 2 e 3)**



**Caudalímetro portátil instalado na conduta de descarga do decantador secundário**



**Data LOG do caudalímetro portátil**



**Local de recolha da amostra no tanque de arejamento 5**



**Recolha de amostra na caleira de lamas recirculadas**



**Recolha da amostra no clarificado do decantador secundário**



**Medição do volume de lama biológica sedimentada**

## G. Equações da Hidrodinâmica – Modelo MOHID

MOHID é um sistema de modelação (ou sistema de modelos) designado usualmente em inglês por Modelling System. Esta nova versão do sistema MOHID foi desenvolvida recorrendo à programação orientada por objectos.

Um programa desenvolvido desta forma está subdividido em classes, designadamente: *Hydrodynamics*, *WaterProperties* e *AdvectionDiffusion*.

A primeira classe é responsável pela evolução das propriedades não-turbulentas do escoamento enquanto que a segunda gere os processos que fazem evoluir as propriedades da água. A última classe tem como única função calcular o transporte das propriedades da água num referencial euleriano.

### Hidrodinâmica – propriedades não turbulentas

O cálculo da evolução das propriedades não-turbulentas do escoamento é resolvido a partir de balanços de quantidade de movimento e continuidade em volumes de controle 3D num sistema cartesiano de coordenadas. A decomposição à Reynolds destes balanços é admitida tal como o equilíbrio hidrostático e a aproximação de Boussinesq. As equações da evolução de massa e da quantidade de movimento são [10]<sup>42</sup>:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} + \frac{\partial (u_j u_1)}{\partial x_j} = -f u_2 - g \frac{\rho_\eta}{\rho_0} \frac{\partial \eta}{\partial x_1} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_s}{\partial x_1} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho'}{\partial x_1} dx_3 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( A_j \frac{\partial u_1}{\partial x_j} \right)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} + \frac{\partial (u_j u_2)}{\partial x_j} = f u_1 - g \frac{\rho_\eta}{\rho_0} \frac{\partial \eta}{\partial x_2} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_s}{\partial x_2} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho'}{\partial x_2} dx_3 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( A_j \frac{\partial u_2}{\partial x_j} \right)$$

$$\frac{\partial p}{\partial x_3} = -\rho g$$

Onde  $u_i$  é a componente na direcção cartesiana  $x_i$  do vector da velocidade,  $\eta$  é a cota da superfície livre,  $f$  é o parâmetro de Coriolis,  $A_j$  é a viscosidade turbulenta e  $p_s$  é a pressão atmosférica,  $\rho$  é a densidade e  $\rho'$  é uma massa volúmica de referência.

O campo de escoamento dado pela classe hidrodinâmica é usado na equação de advecção-difusão:

<sup>42</sup> A equação da evolução da massa é utilizada para calcular a evolução da superfície livre e as velocidades verticais. A equação da quantidade de movimento é utilizada para quantificar as duas componentes horizontais da velocidade.

$$\frac{\partial P}{\partial t} + u_i \frac{\partial P}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( K_i \frac{\partial P}{\partial x_i} \right) + Fontes - Poços$$

A densidade é calculada como uma função da temperatura e da salinidade pela equação de estado:

$$\rho = \frac{(5890 + 38T - 0.375T^2 + 3S)}{((1779.5 + 11.25T - 0.0745T^2) - (3.8 + 0.01T)S + 0.698(5890 + 38T - 0.375T^2 + 3S))}$$