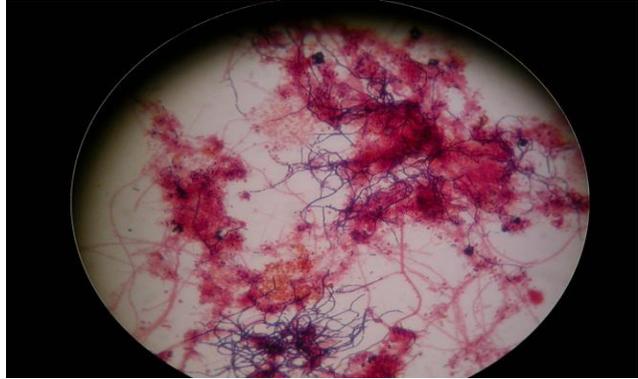




INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa



Monitorização de desempenho da ETAR da Mutela no contexto de acções de controlo de microrganismos filamentosos nos tanques de arejamento

Carina Andreia da Costa Cruz Afonso Nunes

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Biológica

Júri

Presidente: Prof^a Maria Raquel Murias dos Santos Aires Barros (IST)

Orientadores: Prof^a Helena Maria Rodrigues Vasconcelos Pinheiro (IST)

Doutora Nídia Lourenço de Almeida (IST)

Vogais: Eng^a Ana Cristina Furtado (SMAS Almada)

Prof^a Ana Cristina Anjinho Madeira Viegas (IST)

Dezembro 2011

Resumo

De Abril a Setembro de 2011, foram estudadas as populações de protozoários e de bactérias filamentosas presentes nos tanques de arejamento da ETAR da Mutela. Foram também realizadas análises espectrofotométricas às amostras da fase líquida do processo de tratamento, com o objectivo de submeter os espectros obtidos a várias análises de componentes principais (PCA, *Principal Components Analysis*).

Os principais objectivos foram encontrar correlações entre as observações microscópicas, as análises espectrofotométricas e o estado diário de funcionamento da ETAR.

Observou-se uma grande variabilidade de protozoários nos tanques de arejamento, variando a sua predominância ao longo dos meses. Os valores de IBL obtidos foram maioritariamente elevados.

As principais bactérias filamentosas detectadas foram a *Nocardia*, 1863 e *Nostocoida I*. Corroborou-se a relação existente entre a filamentosa presente e o tipo e quantidade de espuma.

Foi testada a estabilidade das amostras, tendo-se chegado à conclusão que um espectro de uma amostra fresca é completamente distinto do de uma amostra não fresca. Assim e de modo a se poder correlacionar as análises espectrofotométricas com os parâmetros analíticos é fulcral utilizar as amostras frescas, na análise espectrofotométrica.

Os PCAs realizados permitiram identificar espectros correspondentes a dias em que ocorreram problemas no processo de tratamento. Possibilitaram ainda, verificar que apesar da variabilidade existente na entrada da estação, o processo de tratamento consegue eliminá-la, produzindo um efluente de qualidade constante.

Conclui-se que a ETAR da Mutela, apesar de todos os problemas que ocorreram no processo ao longo dos meses de trabalho, possui um sistema de tratamento robusto, cumprindo os objectivos de qualidade e produzindo assim um bom efluente final.

Palavras-Chave: protozoários, bactérias filamentosas, lamas activadas, espectroscopia UV-Visível, PCA

Abstract

From April to September 2011, populations of protozoa and filamentous bacteria present in the activated sludge aeration tanks of the wastewater treatment plant of Mutela (Almada) were studied. Spectroscopic analysis was performed on samples in the liquid phase of the treatment process, and the acquired spectra were subsequently studied using Principal Components Analysis (PCA).

The main objective was to find correlations between the microscopic observations, the spectrophotometric analysis, and the operating status of the WWTP.

There was a large variability in protozoa populations in the aerations tanks, the predominant types varying over the study months. Nevertheless, Sludge Biotic Index values were always high.

The dominant filamentous bacteria detected were *Nocardia*, *Nostocoida I* and type 1863. A relation between the dominant filamentous bacteria and the type and amount of foam in the aeration tanks was found and confirmed.

The storage stability of liquid samples was tested, giving the conclusion that a spectrum of a fresh sample is completely different from that of the same sample stored for 4-5 hours at room temperature. Therefore, in order to be able to correlate the spectroscopic analysis with the analytical parameters it is crucial to use fresh samples in the spectral analysis.

PCA made it possible to identify spectra that corresponded to days when there were problems in the treatment process. They also confirmed that, despite the quality variability in the wastewater at the plant's entrance, at the exit there is very little quality variation.

The treatment plant of Mutela, despite all the problems that occurred in the process over the last months of this study, showed treatment robustness, consistently meeting the quality objectives and thus producing a final effluent of good quality.

Keywords: protozoa, filamentous bacteria, activated sludge, UV-visible spectroscopy, PCA

Índice Geral

1. Introdução	1
1.1 Estação de Tratamento de Águas Residuais da Mutela	1
1.1.1. Tratamento da fase líquida	2
1.1.2. Tratamento da fase sólida	5
1.1.3. Tratamento da fase gasosa	6
1.2 Comunidade de protozoários	6
1.3 Comunidade de bactérias filamentosas	8
1.4 Espectroscopia UV-Visível	10
1.5 Objectivos da dissertação	11
2. Materiais utilizados	12
3. Procedimentos Experimentais	14
3.1 Amostragem e vistoria	14
3.2 Plano de amostragem	14
3.3 Transmitância das amostras EUV e SUV	16
3.4 Espectroscopia UV-Visível	16
3.5 Microscopia óptica	18
3.5.1 Contagem de Protozoários e IBL	18
3.5.2 Identificação de Bactérias filamentosas	22
3.6 Análise de Componentes Principais (PCA)	23
4. Apresentação e discussão de resultados	26
4.1 Comunidade de protozoários	26
4.2 Comunidade de bactérias filamentosas	36
4.3 Tratamento por Bio-Suplementação	41
4.4 Espuma nos Tanques de Arejamento	41
4.5 Concentração de oxigénio dissolvido	44
4.6 Parâmetros analíticos nos pontos CEM, DPM, SUV	46

4.7	Parâmetros analíticos nos TAMs e LRB	51
4.8	Espectroscopia UV-Visível	53
4.8.1	Teste à estabilidade das amostras	56
4.8.2	Análise de Componentes Principais (PCA)	58
4.8.2.1	PCA TAMs, amostras tal qual	59
4.8.2.2	PCA TAMs, (amostras tal qual) excluindo os “outliers”	61
4.8.2.3	PCA TAMs, (amostras tal qual), com pré-processamento SNV	62
4.8.2.4	PCA amostras filtradas e diluídas dos TAMs	64
4.8.2.5	PCA amostras tal qual diluídas dos TAMs	65
4.8.2.6	PCA CEMs (amostras tal qual)	68
4.8.2.7	PCA CEMs (amostras diluídas)	68
4.8.2.8	PCA CEMs (amostras tal qual) com pré-processamento SNV	69
4.8.2.9	PCA DPMs (amostras diluídas)	71
4.8.2.10	PCA DPMs (amostras tal qual)	72
4.8.2.11	PCA DPMs (amostras tal qual) com pré-processamento SNV	73
4.8.2.12	PCA SUVs tal qual	75
4.8.2.13	PCA SUVs (amostras diluídas)	76
4.8.2.14	PCA SUVs (amostras tal qual) com pré-processamento SNV	77
4.8.3	Transmitância das amostras EUV e SUV	78
6.	Referências Bibliográficas	83
7.	Anexos	85
7.1	Folheto dos SMAS de Almada - ETAR da Mutela	85
7.2	Tabelas de identificação de bactérias filamentosas	87

Índice de Tabelas

Tabela 1- Objectivos de qualidade da ETAR da Mutela [3].....	2
Tabela 2- Situações particulares de funcionamento do sistema de lamas activadas indicada pela microfauna presente (adaptado de [16])	7
Tabela 3- Equipamentos utilizados ao longo da realização deste trabalho.	12
Tabela 4- Materiais utilizados na realização deste trabalho.....	12
Tabela 5- Reagentes utilizados na realização deste trabalho.....	13
Tabela 6- Plano de amostragem dos pontos da fase líquida da ETAR da Mutela (disponibilizado pelo LABAR).....	15
Tabela 7- Métodos utilizados na determinação dos parâmetros analíticos (disponibilizado pelo LABAR).....	16
Tabela 8- Regras de contagem para a determinação do IBL, de espécies observadas durante o rastreio inicial [2].....	19
Tabela 9- Tabela de determinação do Índice Biótico de Lamas (Adaptado de [16]).	21
Tabela 10- Tabela de conversão do valor de IBL em classes de qualidade biológica das lamas activadas e de avaliação da eficiência depuradora do tratamento [16].	21
Tabela 11- Valores de SST obtidos em amostras dos TAMs, nos dias 3, 5 e 6 de Maio.....	62
Tabela 12- Tabela de identificação das bactérias filamentosas evidenciando as principais características das mesmas [5].....	87
Tabela 13- Tabela de identificação das bactérias filamentosas evidenciando as principais características das mesmas (continuação) [5].	88

Índice de Figuras

Figura 1- Diagrama de processo da ETAR da Mutela evidenciando os pontos de recolha das amostras da fase líquida [19].	14
Figura 2- Representação esquemática do procedimento correcto de contagem da microfauna: partindo da posição A, inspecciona-se toda a lâmina, seguindo o percurso indicado até B (Adaptado de [2].)	19
Figura 3- Representação esquemática da câmara de Fuchs-Rosenthal: são contabilizados apenas os pequenos flagelados contidos nas quadrículas assinaladas na diagonal [2].	20
Figura 4- Exemplos da microfauna observada: A) <i>Opercularia</i> ; B) <i>Epistylis</i> ; C) <i>Tokophyra</i> ; D) <i>Carchesium</i> ; E) Rotífero; F) <i>Carchesium</i> , <i>Arcella</i> e <i>Euplotes</i> .	28
Figura 5- Comunidade de protozoários presente no mês de Junho: A)TAM1; B)TAM2.	30
Figura 6- Comunidade de protozoários presente no mês de Julho: A)TAM1; B)TAM2.	32
Figura 7- Comunidade de protozoários presente no mês de Agosto: A)TAM1; B)TAM2.	33
Figura 8- Comunidade de protozoários presente no mês de Setembro: A)TAM1; B)TAM2.	35
Figura 9- Valores de IBL ao longo dos meses de trabalho nos TAMs 1 e 2.	36
Figura 10- Observação microscópica em campo claro com coloração de Gram onde é visível a filamentosa <i>O21N</i> (Ampliação 200x).	37
Figuras 11 A e B- Observação microscópica em campo claro com coloração de Gram onde é visível a filamentosa <i>Nocardia</i> (Ampliação 200x).	38
Figura 12- Comunidade de bactérias filamentosas presente no sistema de lamas activadas ao longo dos meses.	40
Figura 13- Espuma branca presente nos tanques de arejamento.	41
Figura 14- Espuma branca acastanhada presente nos tanques de arejamento.	42
Figura 15- Espuma castanha presente nos tanques de arejamento.	42
Figura 16- Tipo (A,B,C) e quantidade de espuma presente nos tanques de arejamento ao longo dos meses de trabalho no TAM1.	43
Figura 17- Tipo (A,B,C) e quantidade de espuma presente nos tanques de arejamento ao longo dos meses.	43
Figura 18- Variação da concentração de oxigénio dissolvido nos TAMs de Abril a Setembro.	44
Figura 19- Variação de SST de Abril a Setembro nos pontos CEM, DPM e SUV.	46
Figura 20- Variação de CQO de Abril a Setembro nos pontos CEM, DPM e SUV.	47
Figura 21- Variação de CBO ₅ de Abril a Setembro nos pontos CEM, DPM e SUV.	47

Figura 22- Comparação entre as variações dos valores de CQO e de CBO ₅ de Abril a Setembro nos pontos CEM, DPM e SUV.....	48
Figura 23- Variação de N-NH ₃ de Abril a Setembro nos pontos CEM, DPM e SUV.....	48
Figura 24- Variação de N-Org de Abril a Setembro nos pontos CEM, DPM e SUV.	49
Figura 25- Variação de P _{total} de Abril a Setembro nos pontos CEM, DPM e SUV.	50
Figura 26- Percentagens de remoção de CQO e de CBO ₅ do processo biológico de Abril a Setembro.	51
Figura 27- Variação de SST nos TAMs de Abril a Setembro.	51
Figura 28- Variação de SSed nos TAMs de Abril a Setembro.	52
Figura 29- Variação de SSed e de Sflot no LRB de Abril a Setembro.	52
Figura 30- Espectros UV-Visível das amostras tal qual do TAM1.....	53
Figura 31- Espectros UV-Visível das amostras diluídas do TAM1.	53
Figura 32- Espectros UV-Visível das amostras filtradas do TAM1.	54
Figura 33- Espectros UV-Visível das amostras filtradas e diluídas do TAM1.....	54
Figura 34- Espectros UV-Visível das amostras tal qual do CEM.	54
Figura 35- Espectros UV-Visível das amostras diluídas do CEM.	55
Figura 36- Espectros UV-Visível das amostras tal qual do DPM.	55
Figura 37- Espectros UV-Visível das amostras diluídas do DPM.	55
Figura 38- Espectros UV-Visível das amostras tal qual do SUV.....	56
Figura 39- Espectros UV-Visível das amostras diluídas do SUV.....	56
Figura 40- Comparação dos espectros UV-Visível obtidos com a amostra fresca e não fresca do TAM1 do dia 16 de Maio.....	57
Figura 41- Comparação dos espectros UV-Visível obtidos com a amostra fresca e não fresca filtrada do TAM1 do dia 16 de Maio.....	57
Figura 42- Comparação dos espectros UV-Visível obtidos com a amostra fresca e não fresca filtrada e diluída do TAM1 do dia 16 de Maio.	57
Figura 43- Comparação dos espectros UV-Visível obtidos com a amostra fresca e não fresca diluída do TAM1 do dia 16 de Maio.....	58
Figura 44- Componentes Principais obtidos no PCA efectuado com as amostras tal qual dos TAMs. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	59
Figura 45- Mapa de Scores obtido no PCA efectuado com as amostras tal qual dos TAMs. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	60

Figura 46- Espectros UV-Visível das amostras dos TAMs tal qual evidenciando dois completamente distintos (“outliers”).	61
Figura 47- Mapa de <i>Scores</i> obtido no novo PCA efectuado com as amostras tal qual dos TAMs. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	61
Figura 48- Componentes Principais obtidos no PCA com SNV efectuado com as amostras tal qual dos TAMs. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	63
Figura 49- Mapa de <i>Scores</i> obtido no PCA com SNV efectuado com as amostras tal qual dos TAMs. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	63
Figura 50- Mapa de <i>Scores</i> obtido no PCA efectuado com as amostras filtradas e diluídas dos TAMs. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	64
Figura 51- Componentes Principais obtidos no PCA efectuado com as amostras diluídas tal qual dos TAMs. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	65
Figura 52- Mapa de <i>Scores</i> PC1 vs PC2 obtido no PCA efectuado com as amostras diluídas dos TAMs tal qual. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	66
Figura 53- Mapa de <i>Scores</i> PC1 vs PC3 obtido no PCA efectuado com as amostras diluídas dos TAMs tal qual. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	66
Figura 54- Mapa de <i>Scores</i> obtido no PCA efectuado com as amostras tal qual do ponto CEM. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	68
Figura 55- Mapa de <i>Scores</i> obtido no PCA efectuado com as amostras diluídas do ponto CEM. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	68
Figura 56- Mapa de <i>Scores</i> PC1 vs PC2 obtido no PCA com pré-processamento SNV efectuado com as amostras tal qual do ponto CEM. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	70
Figura 57- Mapa de <i>Scores</i> PC1 vs PC3 obtido no PCA com pré-processamento SNV efectuado com as amostras tal qual do ponto CEM. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	70
Figura 58- Mapa de <i>Scores</i> obtido no PCA efectuado com as amostras diluídas do ponto DPM. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	71
Figura 59- Mapa de <i>scores</i> obtido no PCA efectuado com as amostras tal qual do ponto DPM. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	72
Figura 60- Mapa de <i>Scores</i> PC1 vs PC2 obtido no PCA com pré-processamento SNV efectuado com as amostras tal qual do ponto DPM. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	73
Figura 61- Mapa de <i>Scores</i> PC1 vs PC3 obtido no novo PCA efectuado com as amostras tal qual do ponto DPM. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	74
Figura 62- Mapa de <i>scores</i> obtido no PCA efectuado com as amostras tal qual de SUV. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	75

Figura 63- Mapa de <i>Scores</i> obtido no PCA efectuado com as amostras tal qual do ponto SUV (escala idêntica à do PCA efectuado com amostras do ponto CEM). São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	75
Figura 64- Mapa de <i>Scores</i> obtido no PCA efectuado com as amostras diluídas do ponto SUV. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.	76
Figura 65- Mapa de <i>Scores</i> PC1 vs PC2 obtido no novo PCA efectuado com as amostras tal qual do ponto SUV. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.....	77
Figura 66- Mapa de <i>Scores</i> PC1 vs PC3 obtido no novo PCA efectuado com as amostras tal qual do ponto SUV. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.....	77
Figura 67- Valores de transmitância obtidos de Maio a Setembro nas amostras SUV e EUV.....	78
Figura 68- Folheto do SMAS de Almada- ETAR da Mutela [6].....	85
Figura 69- Folheto do SMAS de Almada- ETAR da Mutela (continuação) [6].....	86

Lista de Abreviaturas

ART- Água Residual Tratada

CF- Coliformes Fecais

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

LABAR- Laboratório de Águas Residuais

TAM1 e 2 – Tanques de Arejamento da Mutela 1 e 2

LRB- Lamas Recirculadas ao Biológico

CEM – Colector de Entrada da Mutela

DPM – Saída de um Decantador Primário da Mutela

SUV- Saída dos Ultravioletas

EUV- Entrada dos Ultravioletas

CBO₅ – Carência Bioquímica de Oxigénio após cinco dias

CQO – Carência Química de Oxigénio

IBL- Índice Biótico de Lamas

IVL- Índice Volumétrico de Lamas

MS- Matéria Seca

N-NH₃- Azoto Amoniacal

N-Org- Azoto Orgânico

O&G- Óleos e Gorduras

pH- Potencial de Hidrogénio

PT- Fósforo Total

SST- Sólidos Suspensos Totais

SSed- Sólidos Sedimentáveis

PCA- Principal Component Analysis (Análise de Componentes Principais)

PLS- Partial Least Squares (Mínimos de Quadrados Parciais)

Razão A/M- Razão Alimentação/ Microrganismos

UV-Visível- Ultravioleta Visível

%Rem CQO- Eficiência de Remoção de Carência Química de Oxigénio

%Rem CBO₅ – Eficiência de Remoção de Carência Bioquímica de Oxigénio após cinco dias

Razão A/M – Razão Alimentação/Microrganismo

1. Introdução

1.1 Estação de Tratamento de Águas Residuais da Mutela

Devido à actividade humana, quer doméstica quer industrial, as águas sofrem alterações nas suas características originais, passando a ter sólidos suspensos, matérias orgânicas biodegradáveis, microrganismos patogénicos, nutrientes, metais pesados e substâncias orgânicas dissolvidas. De modo a defender os ecossistemas e todos os recursos naturais bem como a salvaguardar a saúde pública, a qualidade de vida e o conforto das pessoas, as águas residuais têm de ser tratadas [1]. É assim fulcral a existência de estações de tratamento de águas residuais (ETARs).

O concelho de Almada possui sete grandes bacias de drenagem de águas residuais [6]:

- Bacia da Caparica
- Bacia da Trafaria
- Bacia Norte
- Bacia da Aroeira
- Bacia do Alfeite
- Bacia de Corroios
- Bacia de Almada

A ETAR da Mutela integra o subsistema de tratamento de Almada. Está localizada na freguesia da Cova da Piedade e opera desde Julho de 2003. Recebe as águas residuais, maioritariamente de origem doméstica, de Almada e parte das do Alfeite [6]. Estas águas são tratadas através de uma sequência de operações físicas e processos químicos e biológicos para posteriormente serem descarregadas no rio Tejo, junto ao limite do estaleiro naval do Alfeite, com um nível de poluição inofensivo para o meio ambiente. Deste modo, ocorre a remoção/redução de matéria orgânica, de nutrientes, de compostos tóxicos ou carcinogénicos e remoção/inactivação de parasitas e microrganismos patogénicos [1]. De forma a avaliar a qualidade do efluente final e conseqüentemente a eficiência do tratamento, é fundamental monitorizar alguns parâmetros tais como, a Carência Química de Oxigénio (CQO), a Carência Bioquímica de Oxigénio aos 5 dias (CBO₅) e os Sólidos Suspensos Totais (SST). Estão definidos para as ETARs, valores destes parâmetros, que constituem os objectivos de qualidade [1][17].

A CQO consiste na quantidade de oxigénio susceptível de oxidação por um oxidante químico forte. Representa a maior parte dos compostos orgânicos e dos sais minerais oxidáveis presentes numa água residual, permitindo avaliar o consumo global de oxigénio. É determinado após oxidação em condições controladas, utilizando-se um oxidante forte em meio ácido, a uma temperatura elevada (100°C) [1] [17].

A CBO₅ representa a quantidade de oxigénio necessário para transformação biológica da matéria orgânica existente na água residual. É determinada em condições aeróbias e controladas, durante 5 dias a 20°C [1] [17].

Os SST constituem os sólidos que se encontram nas águas residuais na forma suspensa. São determinados através de gravimetria [1] [17].

Os objectivos de qualidade da ETAR da Mutela encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1- Objectivos de qualidade da ETAR da Mutela [3].

CBO₅ a 20° (mg O₂/L)	25
CQO (mg O₂/L)	125
SST (mg/L)	35
Coliformes Fecais (N/100 mL)	200
Odor desagradável	Não detectável

Na ETAR da Mutela realizam-se três tipos de tratamento [3]:

- Tratamento da fase líquida
- Tratamento da fase sólida
- Tratamento da fase gasosa

1.1.1. Tratamento da fase líquida

O primeiro passo consiste em tirar da água os materiais de grandes dimensões, óleos/gorduras e materiais arenosos. Faz-se assim um pré-tratamento, o qual inclui as seguintes etapas [3]:

- **Poço de grossos:** funciona como uma pré-gradagem, separando sólidos de maiores dimensões que posteriormente vão para aterro sanitário;
- **Bombagem:** consiste na elevação do caudal de águas residuais para os canais de gradagem através de cinco bombas submersíveis;
- **Gradagem de 3mm:** remoção de sólidos de dimensões superiores a 3 mm, que posteriormente são encaminhados para aterro sanitário;
- **Desarenação/Desengorduramento:** consiste na remoção de areias e de óleos/gorduras. As areias sedimentam no fundo dos tanques por acção da gravidade e são removidas em contínuo por sucção através de bombas nas pontes raspadoras. São posteriormente separadas da água através de um classificador tipo parafuso que inclui sistema de lavagem. Estas areias podem ser posteriormente aproveitadas em trabalhos de implantação de colectores. O desengorduramento é feito simultaneamente. Os óleos permanecem à superfície, uma vez que são insolúveis e são retirados pelas pontes raspadoras que os arrastam para um canal na extremidade dos tanques. Seguidamente vão para um separador

de gorduras onde é removida a água. Como são considerados perigosos, são colocados em contentores para serem fornecidos a uma empresa certificada pelo Ministério do Ambiente [3].

A etapa seguinte consiste na decantação primária, que tem a finalidade de eliminar a maior parte dos sólidos facilmente sedimentáveis que depositam no fundo por acção da gravidade. A ETAR da Mutela possui 4 decantadores primários que têm pontes raspadoras com movimento vaivém. Geralmente só três estão a funcionar. Os raspadores de fundo conduzem os sólidos sedimentados (lamas) para os poços de lamas, de onde são removidas por pressão hidrostática para a elevatória de lamas primárias. Existem também raspadores de superfície que removem os sólidos flutuantes que não foram removidos no desengorduramento. Estes sólidos vão para a elevatória dos flutuantes primários que os conduz posteriormente para o separador de gorduras [3].

Geralmente, a decantação primária por si só não é suficiente. É necessário adicionar-se reagentes químicos de forma a melhorar a eficiência da decantação. Estes reagentes têm como funções principais neutralizar as cargas eléctricas (coagulação) e promover colisão entre as partículas para formar flocos (floculação). A coagulação ocorre nas câmaras de mistura rápida (possuem um agitador de mistura rápida) enquanto a floculação dá-se nos tanques de floculação, os quais possuem um agitador lento. Nesta fase do tratamento, é necessária a presença de um alcalinizante para conferir a alcalinidade necessária à coagulação. No presente caso utiliza-se a cal. Necessita-se ainda de um coagulante para aumentar o número de contactos entre as partículas e a adesão, reduzir as barreiras de energia e aumentar a atracção mútua. Na ETAR da Mutela, o coagulante utilizado é o cloreto férrico. Por fim, recorre-se a um floculante para aumentar a eficiência do coagulante, tornar o floco mais volumoso, diminuir o consumo de coagulante e o volume de lamas formado [3]. No caso desta ETAR, utiliza-se polielectrólito. Para uma precipitação química bem sucedida é importante utilizar a quantidade certa de coagulante. Uma quantidade insuficiente fará com que as partículas permaneçam individualizadas e dispersas, promovendo uma má coagulação. Uma quantidade excessiva desfavorece a agregação, conduzindo a uma má coagulação e a uma má floculação. Por sua vez, a agitação muito forte ou prolongada fará com que se dê quebra das pontes entre as partículas, conduzindo a uma floculação e coagulação mal sucedidas [3].

Posteriormente as águas residuais seguem para o tratamento secundário ou biológico. Esta etapa consiste em retirar matéria orgânica coloidal e/ou dissolvida através do crescimento controlado de microrganismos aeróbios. Existe portanto a necessidade de um sistema de arejamento. Os microrganismos crescem sob a forma de flocos e alimentam-se à custa da matéria orgânica e de outros nutrientes das águas, degradando-os em CO₂, H₂O, minerais e formando nova biomassa celular [2]. Produz-se assim lamas biológicas, que se mantêm em suspensão no efluente arejado. Este processo designa-se por lamas activadas.

O sistema de arejamento promove a dissolução do oxigénio atmosférico na água residual e a agitação necessária para manter os flocos em suspensão. A difusão do ar (ar comprimido sob a

forma de bolha fina) é efectuada através de uma malha de discos porosos, sendo o ar comprimido, produzido por sopradores rotativos [3].

O tratamento biológico tem lugar em dois tanques de arejamento. De modo a manter nos tanques de arejamento uma quantidade suficiente de microrganismos, necessários para que a relação alimentação/microrganismos seja suficiente para assegurar a depuração e para promover a formação de flocos biológicos pesados de modo a facilitar a separação nos decantadores secundários, é fundamental a existência de um sistema de recirculação de lamas. Este sistema possibilita o aumento do tempo de residência das lamas. A recirculação é assegurada por uma estação elevatória que contém grupos electrobomba submersíveis [3]. É de se referir, que em sistemas contínuos, o processo de lamas activadas é mais eficiente se operar em condições estáveis, uma vez que variações no processo tais como temperatura e condições climáticas afectam o desempenho do sistema [1] [3].

Embora na ETAR da Mutela não exista uma fase de anaerobiose nos tanques de arejamento, outras ETARs possuem implementada uma estratégia que inclui esta fase. Nutrientes como fosfatos e compostos azotados aceleram a eutrofização nas águas que recebem os efluentes. Assim, a remoção destes nutrientes é fundamental. De modo a integrar esta remoção no processo de lamas activadas, fazendo com que esta seja biológica, é necessária a implementação de ciclos de anaerobiose e aerobiose [11]. Foram realizados vários estudos acerca da influência da anaerobiose na sedimentabilidade dos flocos e na comunidade de protozoários [11]. Alguns estudos concluíram que em reactores expostos a longos períodos de anaerobiose, se produzem flocos com uma má sedimentabilidade. No entanto, outros estudos demonstraram o contrário, concluindo que a agregação é um mecanismo protector dos microrganismos à presença de compostos tóxicos e/ou ambientes de stress como a anaerobiose, conduzindo a uma melhor sedimentabilidade dos flocos [11].

Relativamente, à comunidade de protozoários, a maioria dos estudos demonstrou que as condições de arejamento desempenham um papel fundamental no desenvolvimento da mesma. Os protozoários ciliados possuem diferentes graus de tolerância à anaerobiose, sendo umas espécies mais tolerantes do que outras. Apesar de a presença de um curto espaço de anaerobiose no reactor criar um novo nicho e aumentar a complexidade da comunidade biológica, o aumento destas condições, leva à redução da referida complexidade [11]. Uma redução radical na abundância de protozoários produz geralmente um efluente de má qualidade, com um nível de CBO_5 elevado. No entanto, nestes sistemas como a remoção de fósforo só ocorre em condições de anaerobiose, é necessário estabelecer um compromisso entre esta remoção e a diversidade da comunidade de protozoários, mantendo o período de anaerobiose o mais curto possível [11].

A próxima etapa é a decantação secundária. Nesta fase, a biomassa e a água são separadas, produzindo-se uma lama biológica decantada e um efluente final clarificado. Esta fase ocorre em quatro decantadores, estando normalmente apenas a funcionar três, os quais semelhantemente aos decantadores primários possuem pontes raspadoras de superfície para remover matéria flutuante que

é posteriormente encaminhada para o separador de gorduras, e raspadores de lamas [3]. As lamas sedimentadas são conduzidas para um canal que dá acesso a dois poços de bombagem: o poço de recirculação de lamas e o poço de lamas em excesso. As lamas em excesso são posteriormente enviadas para os flutuadores [3].

Por fim, existe o tratamento terciário, o qual consiste na desinfecção do efluente através de radiação ultravioleta (UV). Esta etapa tem como objectivo reduzir o teor de organismos viáveis para níveis permitidos legalmente. Este sistema de tratamento é constituído por um canal com dois módulos de lâmpadas UV [3]. Posteriormente, o efluente segue para a câmara anti-escumas, que está ligada a uma câmara de descarga onde estão instaladas duas válvulas de maré que impedem o retorno de águas provenientes do rio em situação de maré alta. Na ETAR da Mutela a água residual tratada é aproveitada para rega dos espaços verdes e lavagens das instalações [3].

1.1.2. Tratamento da fase sólida

A primeira etapa do tratamento da fase sólida é o espessamento. Consiste em reduzir o volume de lamas a processar e a transportar. O espessamento das lamas é feito individualmente devido às diferenças de sedimentação das mesmas e ao facto de desta forma se conseguir obter um menor volume de lamas do que o que se obteria se se fizesse o espessamento simultâneo. As lamas primárias sedimentam por gravidade, sendo realizado um espessamento gravítico [3]. Neste espessamento, as lamas sedimentam no fundo e o líquido sobrenadante é evacuado pela parte superior. Seguidamente, as lamas são conduzidas através de uma tubagem para um tanque de homogeneização [3]. Por sua vez, as lamas secundárias não sedimentam bem por gravidade, sendo realizada uma flotação. Na flotação ocorre uma injeção de uma mistura de água pressurizada e de ar, que faz com que os flocos de lama ascendam à superfície. As lamas são extraídas do fundo e da superfície através de um sistema de raspadores, sendo encaminhadas graviticamente para o tanque de homogeneização. É neste tanque que se dá a mistura das lamas, sendo posteriormente bombadas para os digestores [3].

As lamas produzidas na fase líquida de tratamento possuem impactos negativos quer para o meio ambiente quer para o Homem, tais como libertação de gases, contaminação subterrânea de solos e águas com microrganismos patogénicos e metais pesados, odor desagradável e proliferação de doenças. É fundamental torná-las inócuas [3]. Para tal, pode-se recorrer ao uso de cal viva ou a digestão anaeróbia. Na ETAR da Mutela utiliza-se a digestão anaeróbia. Neste processo, microrganismos anaeróbios ou facultativos destroem a matéria orgânica num processo semelhante à fermentação, produzindo metano, dióxido de carbono e água. Este processo apesar de ser mais complexo e exigente conduz à produção de biogás (metano), a partir do qual se produz energia eléctrica e ao contrário da utilização da cal viva, permite o aproveitamento das lamas para uso agrícola [3]. Dois factores fundamentais para que a digestão ocorra sem problemas são a temperatura e o pH. A temperatura óptima das bactérias mesófilas é 35°C. Para fornecer a energia térmica necessária ao pré-aquecimento das lamas e à compensação das perdas térmicas para o exterior e para manter a temperatura no digestor no valor pretendido recorre-se a dois permutadores

de calor e a duas caldeiras. Relativamente ao pH, o pH óptimo deste processo é 7, sendo corrigido com a adição de um produto básico forte (cal) [3].

Seguidamente, as lamas digeridas chegam graviticamente ao depósito tampão, com agitação em contínuo, o qual tem a finalidade de homogeneizar e armazenar estas lamas antes da desidratação. Posteriormente, as lamas saem por bombas de alimentação às centrífugas [3]. O biogás produzido é após tratamento, armazenado num gasómetro flexível de dupla membrana. De modo a aproveitar o biogás recorre-se à co-geração, onde se produz energia eléctrica que pode ser utilizada na ETAR [3].

A etapa seguinte consiste na desidratação, que tem a finalidade de remover a água das lamas digeridas de forma a obter um resíduo mais manuseável. As lamas digeridas não são compressíveis, sendo impossível quebrar mecanicamente as ligações químicas entre a água e os sólidos. Desta forma é necessário adicionar polielectrólito às lamas, o qual consiste num agente floculante que facilita a separação das partículas sólidas da água [3]. A adição de polielectrólito é feita na tubagem que conduz as lamas às centrífugas. A desidratação ocorre nas centrífugas e a lama desidratada é transportada através de bombas para o silo de lamas, onde é armazenada. As lamas desidratadas são posteriormente aproveitadas em fertilização agrícola [3].

1.1.3. Tratamento da fase gasosa

Na ETAR da Mutela ocorre ainda tratamento de odores produzidos nas zonas de pré-tratamento, tratamento primário, espessamento e desidratação de lamas, em filtros de carvão activado [3].

1.2 Comunidade de protozoários

A biomassa existente nos tanques de arejamento tem um papel fundamental no tratamento das águas residuais e a estrutura da sua comunidade é um importante meio de diagnosticar e avaliar o desempenho de uma ETAR [2][16].

Num sistema de lamas activadas existe uma cadeia trófica, na base da qual se encontram os decompositores (bactérias e fungos), os quais obtêm a energia necessária ao seu desenvolvimento através da degradação da matéria orgânica [2][16]. Todos aqueles que se alimentam das bactérias e de outros microrganismos constituem os consumidores ou predadores. É neste grupo que se incluem os protozoários. Os protozoários alimentam-se maioritariamente de bactérias (bacterívoros). No entanto, existem alguns que se alimentam de flagelados e ciliados (carnívoros). Dividem-se em três principais grupos [2][16]:

- **Nadadores:** nadam na fracção líquida, permanecendo em suspensão no tanque de sedimentação. Não são recirculados ao tanque de arejamento. Filtram a água, retendo maioritariamente bactérias dispersas.
- **Móveis de Fundo:** localizam-se na superfície dos flocos e alimentam-se maioritariamente de bactérias agregadas aos flocos. Têm um nicho ecológico distinto.

- **Sésseis:** encontram-se fixos aos flocos por meio de um pedúnculo. Podem constituir colónias e precipitam com os flocos no sedimentador, sendo posteriormente recirculados ao tanque de arejamento.

Os ciliados nadadores e sésseis competem pelas bactérias dispersas. No entanto, os sésseis tendem a ser melhores filtradores do que os nadadores [2][16]. Uma vez que a maior parte das bactérias dispersas é predada pelos protozoários, estes desempenham um papel fundamental na melhoria da qualidade do efluente, estando provado que na sua ausência, obter-se-ia um efluente com um CBO₅ e uma turbidez demasiado elevadas [2][16].

Um sistema de tratamento eficiente é normalmente caracterizado pelas seguintes características [2][16]:

- Elevada densidade de organismos ($\geq 10^6$ organismos/L)
- Comunidade constituída maioritariamente por móveis de fundo e sésseis, onde praticamente não existem flagelados.
- Comunidade diversificada, onde nenhuma espécie ou grupo domine numericamente em mais do que um factor de 10.

Quando existe um grupo que predomina sobre os outros, este fornece indicações que possibilitam diagnosticar o estado de funcionamento da ETAR, tal como se pode verificar na tabela seguinte.

Tabela 2- Situações particulares de funcionamento do sistema de lamas activadas indicada pela microfauna presente (adaptado de [16])

Grupo dominante	Eficiência	Causa Possível
Pequenos flagelados	Má	Lamas pouco oxigenadas; entrada de substâncias facilmente fermentáveis
Pequenas amibas nuas e flageladas	Má	Carga elevada e/ou dificilmente degradável
Pequenos ciliados nadadores (<50µm)	Medíocre	Tempo de permanência baixo; lamas pouco oxigenadas
Grandes ciliados nadadores (>50µm)	Medíocre	Carga demasiado alta
Ciliados Sésseis	Baixa	Fenómenos transitórios (inibitórios)
Ciliados Móveis de Fundo	Boa	
Ciliados Sésseis + Móveis de Fundo	Boa	
Amibas com Teca	Boa	Carga baixa e/ou diluída; grau de nitrificação elevado

Num sistema eficiente, os móveis de fundo e os sésseis são os ciliados dominantes, variando a relação entre as suas abundâncias com a carga orgânica do efluente. Normalmente, a abundância

dos móveis de fundo diminui com o aumento da carga orgânica. Os sésseis por sua vez, são mais resistentes a este aumento [2][16].

Existe um parâmetro que permite avaliar numericamente o tratamento biológico, possibilitando a comparação da qualidade biológica das lamas no tanque ao longo do tempo e avaliar as condições operacionais da estação. Este parâmetro denomina-se Índice Biótico de Lamas (IBL) e resulta da quantificação da abundância e diversidade da comunidade biótica. Varia entre 0-10, sendo que de 0-3 corresponde uma má eficiência, de 4-7 média e de 8-10 uma boa eficiência do tratamento. O modo como este parâmetro é determinado será explicado mais à frente (Capítulo 3.5.1). É de se notar que este parâmetro apenas permite avaliar o funcionamento dos tanques de arejamento [2][15][16].

1.3 Comunidade de bactérias filamentosas

Outros microrganismos que surgem nos tanques de arejamento são as bactérias filamentosas. Estas bactérias desempenham um papel importante na formação e manutenção dos flocos com boas propriedades de sedimentabilidade [7]. Os flocos com um esqueleto filamentoso são normalmente mais resistentes à turbulência causada pelo arejamento e mais pesados, tendo assim uma maior capacidade de sedimentação. Estes flocos funcionam igualmente como uma espécie de filtro, detendo as partículas suspensas na água [5][7]. No entanto, quando ocorre proliferação exagerada destes microrganismos, formam-se pontes entre os agregados e os flocos irregulares com espaços vazios, que dificilmente sedimentarão. Surgem assim problemas como o “bulking” e o “foaming”. Todas as ETARs deveriam ter implementada uma análise microscópica diária, na qual se identificaria a estrutura dos flocos e composição da comunidade biológica, de modo que qualquer alteração repentina serviria com um pré-aviso, dando tempo para prevenir alguns factores associados [5][7].

Existem essencialmente dois tipos de técnicas para se proceder à identificação das espécies das bactérias filamentosas. A técnica clássica é baseada na morfologia das bactérias e na resposta às colorações de Gram e de Neisser. Esta técnica é de fácil aplicação e de rápida implementação. No entanto, apresenta limitações no que diz respeito à subjectividade da observação e às variações de reacção à coloração originadas pelos factores ambientais inerentes [5]. Por outro lado, os manuais existentes para a sua identificação contêm algumas imprecisões, variando em alguns casos de autor para autor. A outra técnica de identificação consiste na hibridização *in situ* de fluorescência (FISH) [7]. Para aplicar esta técnica é necessário conhecer quais são as bactérias filamentosas dominantes nos tanques de arejamento numa dada altura. Para tal recorre-se à técnica clássica de identificação. Posteriormente, após selecção das bactérias alvo, há que escolher as sondas a utilizar, específicas para os microrganismos em estudo [7]. Este passo acarreta grandes dificuldades, uma vez que ainda muito trabalho necessita de ser desenvolvido na identificação e classificação filogenética das bactérias filamentosas, para desenvolvimento posterior de novas sondas mais específicas. Esta técnica requer uma metodologia não muito fácil de aplicar de forma rotineira numa ETAR, para além do custo elevado da microscopia de fluorescência [7]. Deste modo, a sua implementação como análise de rotina em ETARs não é fácil, pelo que na maioria das ETARs, em que se procede à identificação de bactérias filamentosas, se recorre às técnicas clássicas [5][7].

O “bulking” consiste no aumento de volume específico do floco. Este problema interfere com a sedimentabilidade dos flocos, fazendo com que as lamas saiam muitas vezes com o efluente, diminuindo conseqüentemente o tempo de permanência ou idade das lamas no sistema [5]. Deste modo, os valores de CQO, CBO₅ e SST no efluente final aumentam, diminuindo a sua qualidade e sobrecarregando hidráulicamente a fase de tratamento das lamas, que as recebe mais diluídas. Existem dois tipos de “bulking”, o referido anteriormente, de natureza filamentososa e o de natureza viscosa ou zoogleica. Este último deve-se a fenômenos de hidratação dos colóides constituintes dos flocos, provocando um “inchaço” nestes e conduzindo assim a problemas de sedimentabilidade. Este tipo de “bulking” deve-se sobretudo a um microrganismo, *Zooglea*, que forma uma película extracelular englobando até 4 partes de água para 1 de matéria seca e surge sobretudo quando há um desequilíbrio de nutrientes, especialmente deficiência em azoto [5]. É mais fácil de eliminar através de um tratamento com hipoclorito, de modo a libertar a água ligada ao floco ou através do ajuste do teor de azoto na alimentação [5].

O parâmetro mais utilizado para avaliar a sedimentabilidade das lamas é o Índice Volumétrico de Lamas (IVL). Este é determinado através do quociente entre o volume de sólidos sedimentados e a concentração de SST na amostra. Geralmente, valores de IVL inferiores a 150 mL/g são indicadores de um efluente final com baixos valores de SST e baixa turbidez, possuindo o sistema, lamas com uma boa sedimentabilidade. Por outro lado, valores de IVL superiores a 150 mL/g sugerem lamas com uma sedimentabilidade deficiente [1][5][7].

O “foaming” consiste no aparecimento de espuma quer nos tanques de arejamento quer nos decantadores secundários. As espumas podem ser originadas pela colocação em funcionamento dos tanques de arejamento, pela presença de detergentes, por fenômenos de desnitrificação e pelo crescimento excessivo de bactérias filamentosas [5]. As espumas originadas pela presença de bactérias filamentosas são geralmente densas, espessas e de cor castanha. Estas espumas dificultam a separação da biomassa do efluente, reduzindo assim a qualidade deste. Reduzem igualmente a transferência de oxigénio e dificultam as tarefas de manutenção dos tanques de arejamento. As bactérias filamentosas que são maioritariamente responsáveis por este fenómeno são a *Nocardia* e a *Miclothrix Parvicella* [5][7].

Existem várias medidas que permitem reduzir os problemas de “bulking” e “foaming”. As principais são [5][7]:

- Variação da taxa de recirculação das lamas;
- Variação da purga de lamas;
- Esvaziamento e limpeza dos tanques;
- Introdução de arejamento intermitente;
- Adição de um inibidor químico selectivo;

1.4 Espectroscopia UV-Visível

Nos dias de hoje, a preocupação ambiental é cada vez mais relevante. A exigência para que se cumpram os requisitos legais é cada vez maior. Assim, numa ETAR é fundamental realizar uma monitorização regular da qualidade das águas residuais tratadas [14]. Como já foi mencionado anteriormente, numa ETAR, as técnicas-padrão utilizadas para o controlo da qualidade das águas baseiam-se na determinação de parâmetros como o CQO, CBO₅ e SST. No entanto, estas técnicas apresentam algumas limitações. Alguns dos métodos utilizados na determinação dos parâmetros referidos são demorados, utilizam reagentes caros e tóxicos, produzem resíduos que necessitam de tratamento e por vezes são pouco reprodutíveis. Existe ainda o problema da amostragem e conservação das amostras. Desta forma, as técnicas utilizadas maioritariamente hoje em dia, não permitem o controlo em tempo real de uma ETAR (14). Como alternativa, foi proposta a instalação de sensores para a realização de medidas *on-line* [8][9][14]. No entanto, a complexidade da matriz das águas residuais, o ambiente hostil em que as medidas são elaboradas e a indisponibilidade de sensores fiáveis e resistentes tem trazido dificuldades na implementação deste método [9][10][13][14]. Tendo em conta, o grande potencial para o desenvolvimento e aplicação de medidas *on-line* na monitorização da qualidade das águas residuais, a espectroscopia de UV-Visível pode revelar-se de grande utilidade [8][9][10][14].

A espectroscopia de UV-Visível é uma técnica relativamente simples e rápida, que ajuda a avaliar a qualidade do efluente e identificar a presença de alguns componentes da matriz orgânica. A maioria dos compostos orgânicos e alguns compostos minerais solúveis, como os nitratos, absorvem radiação na zona UV-Visível [17]. Na zona do visível (350-800 nm) são principalmente detectados alguns corantes e propriedades relacionadas com a presença de SST. Por sua vez, na região do UV (190-350 nm) são detectados especialmente solutos orgânicos, incluídos nas medidas de CQO e CBO₅ e nitratos [17].

Os espectros de UV-Visível de amostras recolhidas numa ETAR podem ser sujeitos a uma Análise de Componentes Principais (Principal Components Analysis, PCA) para a sua caracterização. Esta análise transforma o sistema de coordenadas dos dados originais num sistema mais relevante, capturando as características mais significativas, independentes entre si, do conjunto inicial de dados. Reduz igualmente a dimensão do sistema inicial através do uso de um número limitado de componentes principais (Principal Components, PC's), que traduzem as características mais marcantes dos dados. Esta análise possui um poder discriminativo, possibilitando detectar diferenças entre as amostras [14][18].

Os espectros de UV-Visível obtidos a partir das amostras recolhidas numa ETAR podem ainda ser sujeitos a um modelo de calibração PLS (Partial Least Squares). Este modelo permite estimar em tempo real os valores de CQO, SST e CBO₅ da água residual tratada, uma vez que o método analítico padrão é demorado e de difícil implementação no local de descarga, não se adequando ao controlo em tempo real da conformidade da água tratada. Para tal, é necessário para além dos

espectros obtidos, os dados analíticos de CQO, CBO₅ e SST determinados pelo laboratório de Águas Residuais [14][18].

1.5 Objectivos da dissertação

O objectivo da presente dissertação consistiu em, a partir de amostras dos tanques de arejamento retiradas diariamente pelos operadores da ETAR da Mutela, realizar uma análise microscópica diária, com identificação e quantificação das espécies de protozoários presentes para determinação posterior do IBL, e identificação de bactérias filamentosas através da realização de colorações de Neisser e de Gram. Realizou-se ainda diariamente uma análise espectroscópica na gama UV-Visível (190-800 nm) das amostras provenientes dos tanques de arejamento, as quais eram analisadas, tal e qual, filtradas e ainda diluídas, sendo que as amostras filtradas também eram alvo de diluição. Foram também analisadas espectroscopicamente as amostras do colector de entrada da estação (CEM), do decantador primário (DPM) e da saída do canal das lâmpadas UV (SUV), retiradas duas vezes por semana pelos operadores. Durante os seis meses de trabalho, de Abril a Setembro de 2011, foram compilados os valores dos parâmetros analíticos determinados pelo Laboratório de Águas Residuais (LABAR) para os vários pontos de recolha da fase líquida. Pretendia-se encontrar correlações entre as observações microscópicas quer a nível de protozoários quer a nível de bactérias filamentosas e a caracterização espectroscópica realizada. Pretendia-se ainda correlacionar as observações microscópicas e a análise espectroscópica com os valores dos parâmetros determinados pelo LABAR e o estado diário de funcionamento da ETAR. Por fim, pretendia-se realizar análises de componentes principais (PCA) de modo a avaliar o desempenho da ETAR.

2. Materiais utilizados

Os equipamentos, reagentes e materiais utilizados na realização deste trabalho encontram-se listados nas tabelas 3 a 5.

Tabela 3- Equipamentos utilizados ao longo da realização deste trabalho.

Equipamento	Marca	Modelo
Espectrofotómetro UV-Visível	Perkin Elmer	Lambda 35
Microscópio Óptico	Nikon	Eclipse E400
Máquina Fotográfica com adaptador para o Microscópio óptico	Nikon	Coolpix 4500

Tabela 4- Materiais utilizados na realização deste trabalho.

Material	Marca	Propriedades
Células de precisão de Quartzo	Helma	Percurso óptico de 10 mm
Filtros de fibra de vidro	Whatman	D_{poro} de 0,45 μm e d_{filtro} de 150 mm
Lamelas de vidro	Marienfeld	Área de 18 x18 mm
Lâminas de vidro	Marienfeld	Área de 75 x 25 mm
Câmara de contagem de Fuchs-Rosenthal	Marienfeld	0,200 mm de profundidade e área de 0,0625 m ²
Erlenmeyers	VWR	Volume = 50 mL
Gobelés	VWR	Volumes de 100 e 50 mL
Funis de plástico	VWR	–
Micropipetas e respectivas pontas	VWR	Volumes de 5000,1000 e 100 μL
Pompetes	VWR	–
Pipetas	VWR	Volumes de 2 e 5 mL
Cronómetro	VWR	–

Tabela 5- Reagentes utilizados na realização deste trabalho.

Reagente	Fórmula Química/Constituintes	Marca
Solução de Safranina	–	Merck
Solução de Lugol Estabilizada	Iodo/Iodeto	Merck
Solução de Violeta de Cristal	–	Merck
Oxalato de Amônio monohidratado	$(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Merck
Iodo	I_2	Merck
Solução Neisser Ia	Azul de Metileno	Merck
Solução Neisser Ib	Violeta de Cristal	Merck
Solução Neisser II	Solução crisóide	Merck
Etanol a 70% e a 95%	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	–
Biodigestor	Estirpes bacterianas para consumo de resíduos orgânicos	Atlas Seis
Anti-Espuma	Estirpes bacterianas, enzimas e nutrientes específicos para eliminação de espumas	Atlas Seis

3. Procedimentos Experimentais

3.1 Amostragem e vistoria

As amostras utilizadas ao longo deste trabalho foram colhidas entre 4 de Abril e 23 de Setembro pelos operadores da ETAR da Mutela nos seguintes pontos de amostragem (figura 1):

- CEM, Colector de Entrada da Mutela
- DPM, Decantador Primário da Mutela
- TAM 1, Tanque de Arejamento da Mutela 1
- TAM 2, Tanque de Arejamento da Mutela 2
- LRB, Lamas Recirculadas ao Biológico
- SUV, Saída das lâmpadas ultravioleta

De notar que o ponto SUV, apesar do nome é recolhido antes das lâmpadas UV.

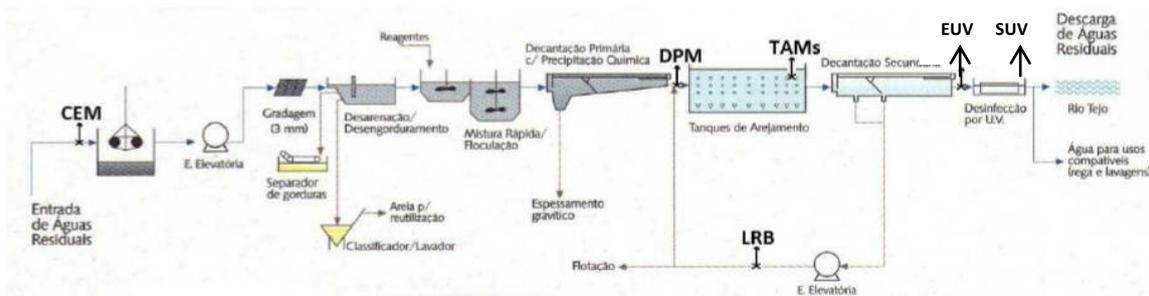


Figura 1- Diagrama de processo da ETAR da Mutela evidenciando os pontos de recolha das amostras da fase líquida [19].

Todos os dias era efectuada uma ronda ao processo de tratamento da fase líquida, desde o pré-tratamento aos decantadores secundários e aos espessadores, de modo a avaliar diariamente o estado das várias etapas de tratamento, e consequentemente da estação.

3.2 Plano de amostragem

O plano de amostragem da ETAR da Mutela, indica para cada amostra recolhida de um ponto de amostragem específico, qual é o tipo de amostra, que análises se devem efectuar a essa amostra e qual a frequência das mesmas. As amostras são recolhidas diariamente no período da manhã pelos operadores da ETAR, sendo transportadas até ao LABAR, onde são analisadas de acordo com protocolos padronizados. Na tabela 6 encontra-se representado o plano de amostragem da ETAR da Mutela para a fase líquida de tratamento e os métodos utilizados na determinação dos parâmetros

analíticos. É de salientar, que no caso das amostras de SUV e de DPM, são utilizados amostradores automáticos, os quais recolhem continuamente a amostra durante 24 horas (amostra composta).

Tabela 6- Plano de amostragem dos pontos da fase líquida da ETAR da Mutela (disponibilizado pelo LABAR).

Tipo de amostra	Ponto de amostragem	Análises a efectuar	Frequência da análise	Dias da semana
Pontual	CEM	pH, CQO, CBO5, SST, SSV	2x semana	Terça e Quinta
		PT, N-NH3, N-Org	semanal	Terça
		O&G	2x mês	Terça
Composta	DPM	pH, CQO, CBO5, SST	2x semana	Terça e Quinta
		PT, N-NH3, N-Org	semanal	Terça
Composta	SUV	pH, CQO, CBO5, SST	2x semana	Terça e Quinta
		O&G	2x mês	Terça
		PT, N-NH3, N-Org	Semanal	Terça
		CF	2x semana	Terça e Quinta
Pontual	EUV	CF	2x semana	Terça e Quinta
Pontual	ART	CF	2x semana	Terça e Quinta
Pontual	TAMs 1 e 2	SST, SSed, pH, SSV	5x semana	Dias úteis
		PT, NT, N-NH3, N-Org	mensal	2ª semana
		Análise microscópica	2 a 5x semana	Dias úteis (opcional)
Pontual	LRB	pH, SSed, MS	5x semana	Dias úteis

Tabela 7- Métodos utilizados na determinação dos parâmetros analíticos (disponibilizado pelo LABAR).

Análise a efectuar	Método
pH	Potenciométrico
CQO	Volumétrico com pré-tratamento da amostra através de digestão em microondas
CBO₅	Manométrico
SST	Gravimétrico
SSed	Volumétrico
MS	Evaporação e secagem
PT	Espectrofotométrico com digestão preliminar da amostra em meio ácido
N-NH₃	Acidimétrico com destilação preliminar da amostra
N-Org	Obtido a partir do N-Kjeldhal por digestão
O&G	Gravimétrico por partição
CF	Clássico de placas e Colilert

Os resultados obtidos pelo LABAR para todos os parâmetros mencionados foram compilados ao longo dos 6 meses de trabalho, encontrando-se tabelados em anexo (Capítulo 7.2).

3.3 Transmitância das amostras EUV e SUV

A transmitância é o parâmetro que possibilita avaliar a clareza da amostra. Quanto maior é a transmitância mais limpa é a água.

Para se obter os valores de transmitância efectuaram-se leituras de absorvância a 254nm e com base na equação 1 determinaram-se os valores. Foram lidos os valores de transmitância apenas das amostras microbiológicas EUV e SUV.

Equação 1

$$\text{Transmitância} = (10^{-\text{absorvância}}) \times 100$$

3.4 Espectroscopia UV-Visível

A obtenção de espectros UV-Visível foi feita no período 2 de Maio a 23 de Setembro de 2011. Esta aquisição foi efectuada diariamente, retirando uma pequena toma das amostras recolhidas pelos operadores. As amostras analisadas espectroscopicamente foram de CEM, DPM, SUV, TAM1 e TAM2, sendo que as amostras de CEM, SUV e DPM eram analisadas apenas duas vezes por

semana, terças e quintas e as amostras dos tanques de arejamento eram analisadas todos os dias úteis.

As amostras dos tanques de arejamento eram analisadas tal e qual e devido à grande quantidade de biomassa em suspensão, que dificultaria as leituras espectrofotométricas, foram também filtradas. Estas amostras quer tal e qual quer filtradas, foram ainda sujeitas a diluições. É de se referir que inicialmente, como não se sabia qual a diluição correcta a cada caso, se experimentaram diversas diluições. Chegou-se à conclusão que a diluição mais correcta de entre as várias experimentadas para os TAMs tal e qual é uma diluição de 1:30 com água destilada. Assim, a partir de 11 de Maio efectuou-se sempre esta diluição para as amostras tal e qual dos TAMs. Relativamente às amostras filtradas dos TAMs concluiu-se que a melhor diluição a utilizar é de 1:10 com água destilada. Desta forma, a partir de 30 de Maio (sendo que até lá se estava a utilizar uma diluição de 1:8 com água destilada), efectuou-se sempre esta diluição para as amostras filtradas dos TAMs.

As amostras CEM, DPM e SUV eram analisadas tal e qual e com diluição. De igual forma, concluiu-se que a diluição mais apropriada às amostras CEM e DPM é uma diluição de 1:30 com água destilada e à amostra SUV é uma diluição de 1:10 também com água destilada.

A filtração das amostras era feita através de um filtro de fibra de vidro colocado num funil, dispondo-o sobre um erlenmeyer de 50 mL e escoando a amostra por gravidade.

A leitura das amostras foi feita num espectrofotómetro UV-Visível entre os 190 e os 800 nm. O zero do aparelho era feito diariamente com água destilada, antes da leitura das amostras. O branco utilizado na leitura foi também água destilada. A leitura efectuava-se colocando a amostra na célula de quartzo, efectuando-se sempre uma agitação imediatamente antes. Os espectros obtidos ao longo do trabalho foram arquivados em formato Excel para posteriormente serem sujeitos a uma análise de componentes principais.

Inicialmente os espectros foram obtidos com as amostras, já não frescas, passadas entre 4 a 6 horas da altura em que estas eram colhidas. As amostras eram colhidas de manhã entre as 9 e as 10 horas, e ficavam a repousar nos frascos de colheita à temperatura ambiente até serem analisadas espectroscopicamente, por volta das 14-15 horas da tarde.

Entre 11 a 18 de Maio, realizaram-se leituras espectrofotométricas duas vezes por dia, uma logo após a colheita das amostras e outra passadas 4-5 horas após a colheita. As amostras ficavam a repousar em gobelés na bancada à temperatura ambiente até serem analisadas novamente. É de se notar que a realização destas duas leituras foi apenas efectuada com as amostras dos tanques de arejamento, tal e qual, filtradas e diluídas. A partir de 19 de Maio, as leituras foram sempre executadas logo de manhã com as amostras frescas recolhidas pelos operadores.

3.5 Microscopia óptica

3.5.1 Contagem de Protozoários e IBL

As observações microscópicas iniciaram-se no mês de Abril e foram efectuadas até 23 de Setembro. Inicialmente e até 13 de Maio, não foram realizadas contagens de protozoários. Durante este período foram feitas observações diárias com o objectivo de conhecer e identificar as espécies presentes, de modo a que quando as contagens fossem iniciadas, a identificação de protozoários fosse rápida, minimizando erros posteriores nas mesmas. A identificação das diferentes espécies foi feita com base na informação existente na bibliografia, sendo que estas eram observadas com diferentes ampliações, de modo a se efectuar uma identificação correcta [2][16]. É de se referir que até 18 de Maio as observações eram sempre feitas de manhã com a amostra trazida pelos operadores da ETAR. A partir de 19 de Maio, estas observações passaram a ser realizadas no período da tarde, com amostras retiradas ou pelos operadores ou pela autora da presente tese.

Devido a problemas de visualização das quadrículas da câmara de Fuchs-Rosenthal no microscópio óptico, é de se referir que só a partir do mês de Junho é que se iniciaram as contagens para a determinação do IBL.

A determinação do IBL implica duas etapas. Numa primeira fase é necessário realizar um rastreio da amostra numa gota de 0,5 mL com a finalidade de se identificar as espécies presentes. Nesta etapa poderá ser necessário utilizar diferentes ampliações para a correcta identificação das espécies. Na segunda fase, faz-se duas contagens utilizando gotas de 25 μ L, numa lamela de 18x18mm. Posteriormente somam-se as contagens efectuadas e multiplicam-se os valores obtidos por 20, de modo a obter os resultados por litro. É de se notar, que quando apenas se realiza uma contagem, dever-se-á multiplicar por 40 e não por 20. As espécies identificadas devem ser organizadas em grupos funcionais: ciliados nadadores, ciliados móveis, ciliados sésseis e amibas com teca são os grupos principais. Ainda se avaliam os pequenos flagelados e duas espécies de sésseis *Opercularia spp* e a *Vorticella microstoma*. É importante referir que num ciliado sésseil colonial deve-se contar todos os indivíduos [2][16].

O varrimento na lâmina deve ser efectuado de acordo com a figura 2.

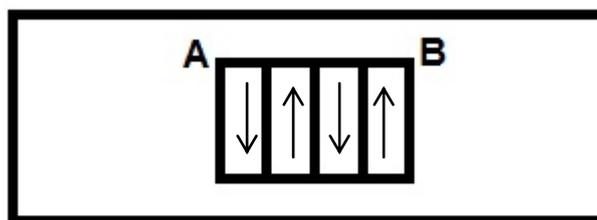


Figura 2- Representação esquemática do procedimento correcto de contagem da microfauna: partindo da posição A, inspecciona-se toda a lâmina, seguindo o percurso indicado até B (Adaptado de [2].)

Durante a contagem deve-se abranger toda a amostra mesmo que esta esteja fora da lamela. As regras de contagem para as espécies identificadas no rastreio inicial encontram-se na tabela 8.

Tabela 8- Regras de contagem para a determinação do IBL, de espécies observadas durante o rastreio inicial [2].

"Screening"	Contagem	Conclusão	
Observada $\geq 2x$	Não observada	Espécie presente	1 ind/mL
	Observada 1 x	Espécie presente	1 x 20 ind/mL
	Observada n x	Espécie presente	n x 20 ind/mL
Observada 1x	Não observada	Espécie ausente	Não contabilizada
	Observada 1 x	Espécie presente	1 x 20 ind/mL
	Observada n x	Espécie presente	n x 20 ind/mL
Não observada	Não observada	Espécie ausente	Não contabilizada
	Observada 1 x	Espécie presente	1 x 20 ind/mL
	Observada n x	Espécie presente	n x 20 ind/mL

É importante salientar que para a contagem não contam:

- Indivíduos mortos;
- Formas móveis de ciliados coloniais;
- Ciliados nadadores que venham de zonas já contabilizadas;
- Células degradadas.

Quando surgem muitos ciliados coloniais numa contagem e poucos na réplica, deve-se realizar uma terceira contagem e fazer uma média.

Como já foi referido, após ter as espécies separadas em grupos funcionais, somam-se as duas contagens e multiplica-se por 20. Posteriormente, calcula-se a percentagem relativa de cada grupo em relação ao total e selecciona-se o grupo predominante. É considerado grupo dominante aquele

que possui uma percentagem superior a 50%. No caso dos ciliados sésseis, estes apenas são considerados dominantes se a sua presença for superior a 80%. Se dois grupos compartilharem a dominância da amostra escolhe-se a pior hipótese, ou seja, o grupo que ocupa a posição mais baixa na tabela de cálculo do IBL. É de salientar que a correcta identificação é fundamental para obter um correcto IBL [2][16].

Para se determinar o IBL é ainda necessário contar os pequenos flagelados presentes na amostra. Para tal recorre-se a uma câmara de Fuchs-Rosenthal, realizando-se duas contagens nas quadrículas diagonais. Contam somente os pequenos flagelados que se encontram dentro das quadrículas ou em cima das linhas. Para esta contagem deve-se utilizar uma ampliação de 200x [2][16].

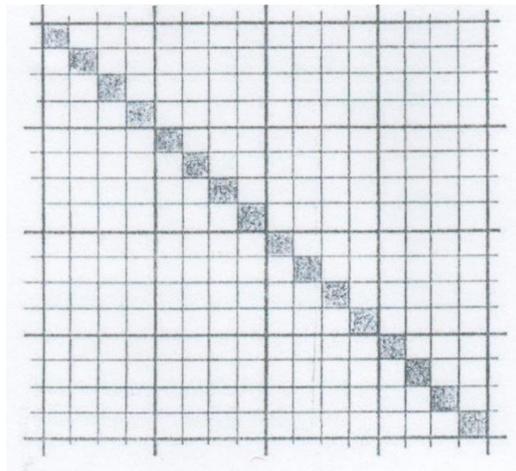


Figura 3- Representação esquemática da câmara de Fuchs-Rosenthal: são contabilizados apenas os pequenos flagelados contidos nas quadrículas assinaladas na diagonal [2].

Deste modo, com o número de pequenos flagelados (F), com o número de espécies diferentes (S) e com a densidade do grupo dominante, que ou é superior ou inferior a 10^6 , determina-se o valor de IBL (tabela 9).

Tabela 9- Tabela de determinação do Índice Biótico de Lamas (Adaptado de [16]).

Grupo Dominante	Densidade (ind/L)	S > 10		8 ≤ S ≤ 10		8 ≤ S ≤ 10		S < 5	
		F < 10	10 < F < 100	F < 10	10 < F < 100	F < 10	10 < F < 100	F < 10	10 < F < 100
Móveis + Sésseis e/ou Amibas com teca	≥ 10 ⁶	10	8	9	7	8	6	7	5
	< 10 ⁶	9	7	8	6	7	5	6	4
Sésseis*	≥ 10 ⁶	9	7	8	6	7	5	6	4
	< 10 ⁶	8	6	7	5	6	4	5	3
Opercularia spp	≥ 10 ⁶	7	5	6	4	5	3	4	2
	< 10 ⁶	6	4	5	3	4	2	3	1
V. microstoma	≥ 10 ⁶	6	4	5	3	4	2	3	1
	< 10 ⁶	5	3	4	2	3	1	2	0
Nadadores	≥ 10 ⁶	5	3	4	2	3	1	2	0
	< 10 ⁶	4	2	6	1	2	0	1	0
Pequenos Flagelados	≥ 10 ⁶	4		3		2		1	
	< 10 ⁶	3		2		1		0	

*Opercularia spp e V. microstoma não dominantes

Após se ter calculado o valor de IBL, determina-se a classe de qualidade biológica, a qual permite avaliar a eficiência depuradora do sistema de tratamento.

Tabela 10- Tabela de conversão do valor de IBL em classes de qualidade biológica das lamas activadas e de avaliação da eficiência depuradora do tratamento [16].

IBL	Classe	Avaliação
8-10	I	Lamas bem colonizadas e estáveis; actividade biológica óptima; elevada eficiência depuradora.
6-7	II	Lamas bem colonizadas e estáveis; actividade biológica sub-optimal; eficiência depuradora suficiente.
4-5	III	Actividade biológica insuficiente; eficiência depuradora medíocre.
0-3	IV	Actividade biológica muito baixa; eficiência depuradora baixa.

Diariamente, quando se efectuavam as contagens, procedia-se igualmente à caracterização das amostras dos tanques de arejamento quanto à presença de espumas, cor, odor, aspecto do floco e do clarificado a olho nu. Esta caracterização foi efectuada com base em observações directas.

3.5.2 Identificação de Bactérias filamentosas

Para se identificar as bactérias filamentosas recorreu-se às técnicas de coloração de Neisser e de Gram [5][12].

O procedimento da técnica de coloração de Gram realizado neste trabalho foi o seguinte [5][12]:

1. Colocar as amostras numa lâmina e deixar secar durante 15-20 minutos.
2. Cobrir a amostra com a solução de Violeta de Cristal, deixar actuar durante 1 minuto e enxaguar à torneira.
3. Cobrir a amostra com a solução de Lugol, deixar actuar durante 1 minuto e enxaguar à torneira.
4. Com a lâmina inclinada, descolorar a amostra, deitando gota a gota, etanol a 95%. Esta operação não deve exceder os 25 segundos. Em caso de pouca biomassa, só deverá efectuar-se esta etapa durante 20 segundos. Enxaguar bem à torneira e secar com papel absorvente.
5. Cobrir a amostra com a solução de Safranina durante 1 minuto e enxaguar bem à torneira.
6. Examinar a preparação ao microscópio com uma ampliação de 1000x, com óleo de imersão e luz directa.

O procedimento da técnica de coloração de *Neisser* foi [5][12]:

1. Colocar as amostras numa lâmina e deixar secar durante 15-20 minutos.
2. Cobrir a amostra com a solução de Azul de Metileno, deixar actuar durante 30 segundos e enxaguar à torneira.
3. Cobrir a amostra com a solução de Castanho Bismark, deixar actuar durante 1 minuto e enxaguar bem.
4. Secar com papel absorvente.
5. Examinar a preparação ao microscópio com uma ampliação de 1000x, com óleo de imersão e luz directa.

A identificação das bactérias filamentosas foi então baseada na resposta das mesmas às colorações de Gram e de Neisser. Assim, as bactérias que na coloração de Gram coram de azul/roxo são Gram positivas e as que coram de vermelho/rosa são Gram negativas. Por sua vez, as bactérias que na coloração de Neisser coram de azul/roxo/negro são Neisser positivas e as que coram de

castanho/amarelo são Neisser negativas. Nesta coloração, quer os grânulos intracelulares quer os filamentos podem corar de forma diferente [5][12].

De modo a identificar as bactérias filamentosas presentes nas amostras existem na bibliografia tabelas de identificação (Capítulo 7.4). Estas tabelas para além de se basearem nas respostas das bactérias filamentosas às colorações de Gram e de Neisser baseiam-se ainda numa série de factores morfológicos, tais como [4][5][12][15]:

- Dimensões do filamento: diâmetro e comprimento
- Forma do filamento: direito, levemente curvo, dobrado, enrolado, irregular, ramalhete
- Forma da célula que compõe o filamento: quadrada, rectangular, bastonete
- Localização do filamento: interna ou externa aos flocos
- Presença de bainha
- Crescimento de bactérias sésseis
- Presença de inclusões de enxofre
- Presença de outras inclusões
- Presença e indentação do septo
- Presença de ramificações
- Mobilidade

3.6 Análise de Componentes Principais (PCA)

A análise de componentes principais é uma técnica de análise exploratória multivariada que consiste em transformar um conjunto de variáveis correlacionadas num conjunto menor de variáveis independentes, combinações lineares das variáveis originais, designadas por componentes principais (Principal Components, PC's). Assim o objectivo principal desta técnica é resumir a informação de várias variáveis correlacionadas em uma ou mais combinações lineares independentes que representa a maior parte da informação presente nas variáveis originais. As componentes principais são desta forma individualmente responsáveis pela variância das observações, e neste sentido, representam-nas mais claramente. Geralmente grande parte da variância dos dados é explicada por um número reduzido de componentes, sendo possível descartar os restantes sem grande perda de informação.

O modelo PCA pode ser representado pela seguinte equação [14]:

Equação 2

$$X(n \times p) = T(n \times d)L^T(d \times p) + E(n \times p)$$

em que “n” representa o número de objectos (amostras), “p” o número de variáveis, “d” o número de componentes principais, “T” a matriz de *scores*, “L” a matriz de *loadings*, “L^T” a transposta da matriz de *loadings* e “E” a matriz dos resíduos. O *score* quantifica a contribuição de cada componente

principal para um determinado objecto e o *loading* caracteriza cada componente principal por um conjunto de valores de cada uma das variáveis [14].

No caso do presente trabalho, a matriz de dados originais tem, para cada objecto “n” (amostra analisada), um valor de absorvância para cada um dos comprimentos de onda “p” analisados. São assim identificadas as principais fontes de variância nos espectros adquiridos, sendo definido um número de componentes principais, cada um com a dimensão de um espectro [14]. É assim possível obter cada um dos espectros das amostras originais, através da combinação linear dos PC's ponderados pelos respectivos *scores*. Os dados podem ser reduzidos de uma representação multidimensional complexa a um espaço bi ou tri-dimensional, em que cada eixo representa a escala de *scores* de um dos PC's, constituindo deste modo um mapa de componentes principais. Neste mapa, cada espectro surge como um ponto cujas coordenadas são os valores de *score* para o qual os PCs representados nos eixos contribuem. Desta forma, os espectros com perfil semelhante surgem como pontos agrupados [14].

O software utilizado na aplicação desta análise aos dados adquiridos nesta dissertação foi o Matlab R2007a (MathWorks, EUA) com o suplemento PLS-toolbox 4.2.1 (Eigenvector Research, EUA).

Como os espectros adquiridos foram compilados no formato Excel o primeiro passo consiste em extraí-los do Excel. A função que permite extrair os espectros do Excel é *getspectrafromxls*. Para utilizar esta função é necessário colocar no *workspace* do Matlab a seguinte informação:

```
[spectra, flist, w]= getspectrafromxls (folder);
```

em que “*spectra*” é a coluna que contém as absorvâncias dos espectros, “*flist*” a coluna que contém a informação de cada espectro, nomeadamente, o dia da sua aquisição e o tipo de amostra que lhe corresponde e “*w*” é a coluna que contém os comprimentos de onda.

Numa primeira abordagem é possível observar todos os dados sem qualquer tratamento. Para tal utiliza-se o comando *plot (w, spectra)*.

Para se efectuar a análise de componentes principais escreve-se no *workspace*, *pca*. No menu *File*, selecciona-se a opção *load data, load, spectra*. No menu *Edit*, selecciona-se *x-block data, row labels, load label, flist, load*. Ainda neste menu, selecciona-se *column labels*, botão direito do rato, *load, axis scale, w, load*, de modo a carregar a coluna que contém os comprimentos de onda. Seguidamente há que realizar um pré-processamento dos dados. Existem vários métodos de pré-processamento, tais como *mean-center*, *MSC (Multiplicative Scatter Correction)*, *SNV (Standard Normal Variate)*, *derivative*, entre outros. No caso do presente trabalho, o método de pré-processamento utilizado maioritariamente foi o *mean-center*, uma vez que as variáveis possuem as mesmas unidades. Foram usados também o *SNV*, *MSC* e *derivative*. Os referidos métodos permitem eliminar problemas de ruído e efeitos de difracção nas amostras. É de se notar que caso sejam escolhidos outros métodos, o *mean-center* deverá ocupar a última posição.

Um aspecto importante no PCA é a escolha do número de componentes principais. Este representa uma medida da complexidade dos dados e pode ser encarado como o número de fenómenos independentes subjacentes. Existem vários métodos que permitem determinar o número de componentes principais. Na presente dissertação, este número foi determinado pela análise da fracção de variância capturada por cada componente principal. Após o número de PC's ter sido determinado, selecciona-se *build model*, *review scores*, *view labels*, de modo a obter as representações gráficas dos dados (mapa de componentes principais). Posteriormente, tanto os *scores* como os *loadings* podem ser extraídos para formato Excel.

4. Apresentação e discussão de resultados

4.1 Comunidade de protozoários

Como foi mencionado, caracterizaram-se os flocos presentes nas amostras provenientes dos tanques de arejamento. Os flocos tinham sempre formas e consistências variáveis, existindo quer flocos regulares quer irregulares, pequenos e grandes, compactos e pouco compactos, com crescimento disperso e com uma grande diversidade de microfauna. Maioritariamente não se observou a presença de bactérias helicoidais e de colónias nitrificantes. No entanto, verificou-se a presença ocasional de colónias de *Zooglea* e a presença quase assídua de partículas e de fibras inorgânicas.

Seguidamente vão ser caracterizadas as espécies que surgiram quase diariamente nas contagens.

Ciliados Nadadores

Cyclidium: Ciliado pequeno (15-60µm) que se move maioritariamente através de saltos. Possui o corpo coberto por cílios, sendo um dos cílios caudais maior do que os restantes [2][12][16].

Ciliados Móveis de Fundo

Aspidisca cicada: Móvel de Fundo de pequenas dimensões (30-50µm) de forma arredondada. Desloca-se sobre os flocos a grande velocidade. Possui um conjunto de cílios agregados que se assemelham a pequenos pés [2][12][16].

Acineria uncinata: Ciliado pequeno e alongado. Tem a superfície coberta de cílios e possui um vacúolo contráctil na ponta. Devido à sua enorme flexibilidade move-se com facilidade por entre os flocos e mesmo no seu interior [2][12][16].

Chilodonella: Ciliado de forma oval e achatada, cujo comprimento varia entre os 40-90µm. A sua superfície ventral encontra-se coberta de cílios enquanto a dorsal está desprovida dos mesmos. Apresenta uma grande flexibilidade [2][12][16].

Euplotes: Ciliado muito semelhante à *Aspidisca* mas de maiores dimensões (até 100µm). Geralmente não se move sobre os flocos [2][12][16].

Ciliados Sésseis

Vorticella convallaria: Consiste na maior das *Vorticellas*. Tem um comprimento de 40-120µm e um pedúnculo de 200-500µm. Possui um corpo em forma de sino e um macronúcleo em forma de “C”. Apresenta-se sob a forma de um organismo solitário com mionema que lhe possibilita a contração [2][12][16].

Vorticella microstoma: Possui um comprimento de 35-80µm e um pedúnculo até 400µm. Tem um macronúcleo longitudinal e o seu peristoma é mais estreito que o maior diâmetro celular [2][12][16].

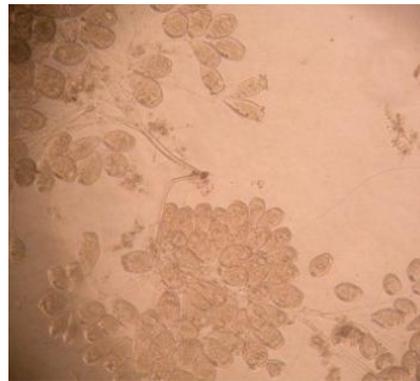
Outras *Vorticellas*: Existem muitas mais espécies de *Vorticellas*, tais como a *Vorticella aquadulcis*, a qual é mais estriada, possui um peristoma mais pequeno e um macronúcleo transversal; a *Vorticella banatica*, a qual consiste num sésil solitário e que possui um peristoma convexo; a *Vorticella alpestris*, que é pequena, possui um macronúcleo em forma de “J” e tem um vacúolo contráctil e a *Vorticella gracilis* que se inclina de forma característica sobre o pedúnculo. Estas espécies de *Vorticellas* foram todas agrupadas no conjunto Outras *Vorticellas* [2][12][16].

***Carchesium*:** Ciliados coloniais (80-140µm), cujos organismos possuem a forma de sino e um macronúcleo em forma de “C”. O mionema de cada pedúnculo é único e portanto cada indivíduo contrai por si [2][12][16].

***Opercularia spp.*:** Ciliados coloniais com um tamanho médio de 140µm, que possuem um pedúnculo ramificado mas sem mionema, não sendo portanto contráctil. Não apresenta o lábio típico em redor do peristoma. Possui no seu lugar uma estrutura designada opérculo [2][12][16].



A



B



C



D

E**F**

Figura 4- Exemplos da microfauna observada: A) *Opercularia*; B) *Epistylis*; C) *Tokophyra*; D) *Carchesium*; E) Rotífero; F) *Carchesium*, *Arcella* e *Euplotes*.

***Epistylis*:** Ciliados coloniais de dimensões entre os 100-300µm. Semelhantes a *Opercularia*. No entanto, possuem lábio em redor do peristoma. Possuem pedúnculos mais largos e as colónias podem atingir grandes dimensões [2][12][16].

Carnívoros

***Podophyra*:** Indivíduos de forma esférica (10-100µm), que possuem um pedúnculo, através do qual se ligam aos flocos. Possuem tentáculos repartidos por toda a sua superfície [2][12][16].

***Tokophyra*:** Indivíduos que possuem normalmente dois grupos de tentáculos sugadores (50-175µm). Semelhantes a *Podophyra* mas de forma diferente [2][12][16].

***Litonotus*:** Ciliado que possui um corpo flexível, achatado, alongado e afunilado na parte anterior (100µm). Possui um vacúolo contráctil terminal e move-se pela água de maneira fluida [2][12][16].

Amibas com teca

***Arcella*:** Amiba de forma discoidal (50-200µm). Possui uma carapaça lisa. Vista de cima é arredondada enquanto de lado faz lembrar uma “tartaruga”. A carapaça é praticamente transparente permitindo ver o citoplasma, que em lamas activadas toma uma cor amarelo-acastanhada devido à precipitação de compostos de ferro na sua superfície [2][12][16].

***Diffugia*:** Amiba de tamanho variável, desde os 15 até aos 500µm. Possui uma carapaça aglutinada com um terminal redondo ou oval. Desloca-se através de pseudópodes [2][12][16].

***Centropyxis*:** Amiba semelhante à *Arcella*. Possui carapaça e geralmente apresenta espinhos numa das superfícies [2][12][16].

Metazoários- Consistem em animais pluricelulares, que se alimentam de protozoários e bactérias. Possuem uma maior complexidade biológica que os protozoários e o seu ciclo reprodutivo é mais lento.

Rotíferos: Metazoário de forma variável. Alongados e extensíveis, com um comprimento de 200-500µm. Têm um aparelho rotativo com o qual filtram a água, sendo que o aparelho bucal trabalha continuamente. Movem-se fixando a ponta da cauda, esticando-se de seguida e libertando a cauda para que esta siga o movimento do corpo na direcção da cabeça, semelhante a uma lesma [2][12][16].

Nemátodos: Metazoário de corpo cilíndrico, alongado e não segmentado. Possui tamanho variável e sistema digestivo completo [2][12][16].

Grandes Flagelados

São indivíduos de grandes dimensões dotados de flagelos, que lhes permitem a locomoção. As espécies mais frequentes são a *Euglena* e a *Peranema*, sendo que a maioritariamente observada foi a *Peranema* [2][12][16].

Como já foi referido, a contagem das espécies para determinação do IBL iniciou-se em Junho e terminou em Setembro. Seguidamente são apresentados os gráficos relativos às contagens das espécies em cada mês e nos respectivos tanques.

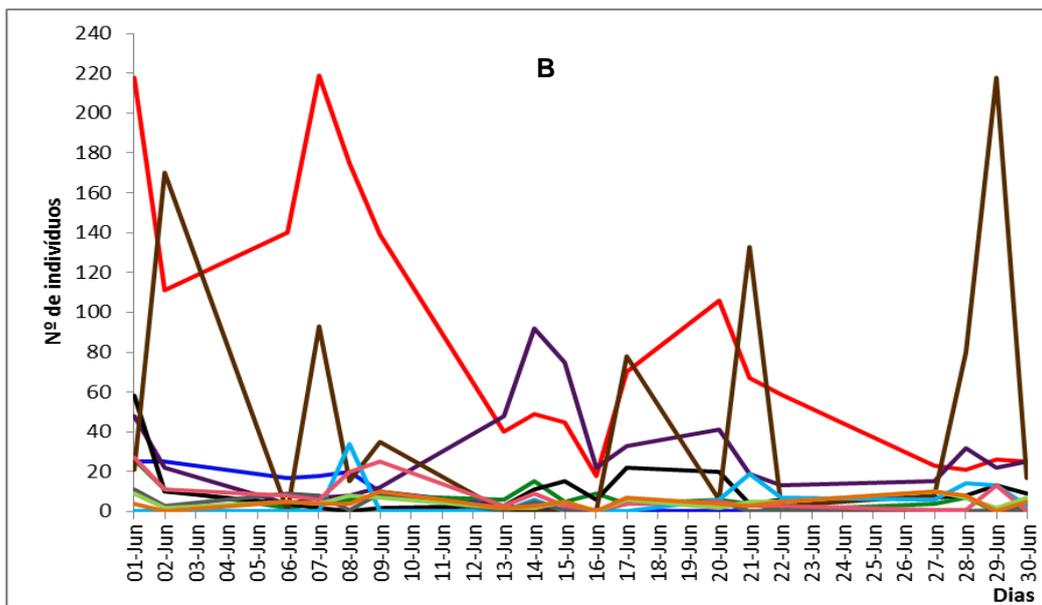
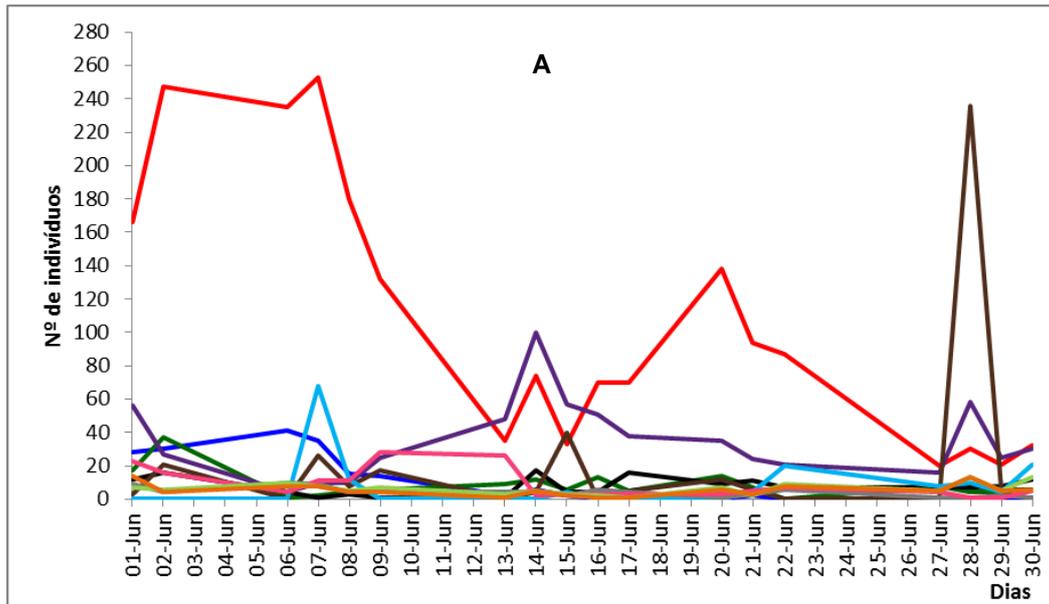


Figura 5- Comunidade de protozoários presente no mês de Junho: A)TAM1; B)TAM2.

No início do mês, no TAM1, os móveis de fundo estavam presentes em quantidades elevadas, tendo atingido no dia 7 de Junho, o seu máximo com 219 indivíduos (figura 5A). A sua abundância foi decrescendo ao longo do mês, tendo ainda atingido um valor elevado no dia 20. Por sua vez, a

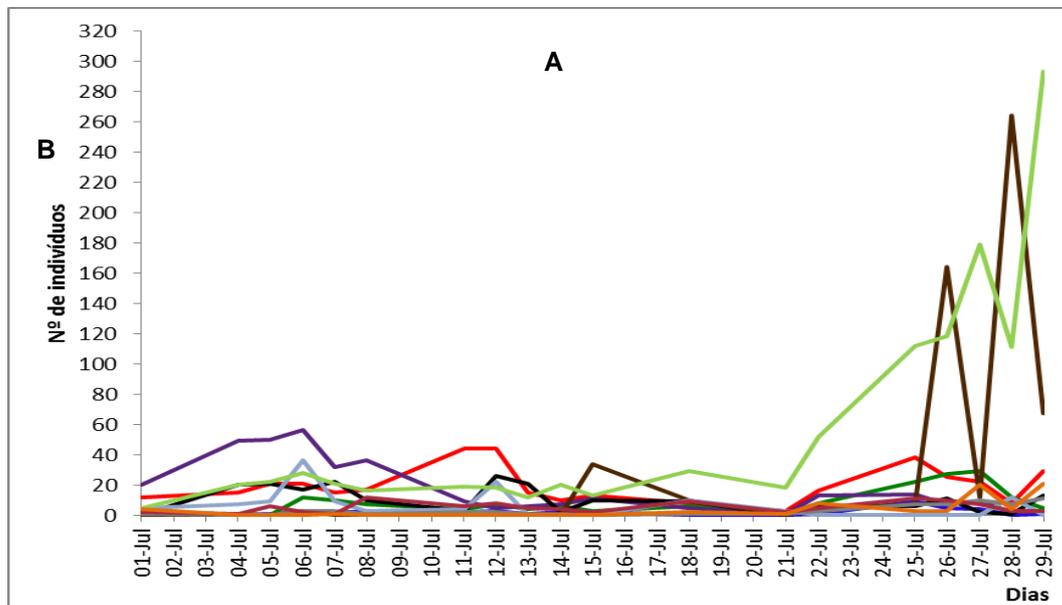
Vorticella microstoma esteve presente em quantidades não muito elevadas ao longo do mês. No entanto, esta espécie apresentou uma maior abundância no meio do mês. Quanto a *Carchesium*, esteve praticamente ausente, apesar de no dia 28 terem sido contados 236 indivíduos (figura 5A). À semelhança do TAM1, no TAM2, os móveis de fundo eram sobretudo dominantes no início do mês, tendo a sua incidência diminuído nos restantes dias (figura 5B). A *Vorticella microstoma*, no início do mês estava presente em quantidades baixas, tendo atingido tal como no TAM1 o seu máximo no dia 14 de Junho, com 92 indivíduos. Ao contrário do que se sucedeu no TAM1, a presença de *Carchesium* durante o mês foi uma constante, tendo esta espécie atingido os valores máximos nos dias 2 e 29 de Junho (figura 5B). Comparando os dois tanques de arejamento, verifica-se que apenas diferem na abundância de *Carchesium*. A presença dos móveis de fundo indica boa estabilidade e eficiência biológica. A abundância de *Vorticella microstoma* está associada a períodos de baixo rendimento depurativo, sobretudo devido a carência de oxigénio. Pela análise da concentração de oxigénio dissolvido nos tanques de arejamento (figura 18, capítulo 4.5), verifica-se que apesar de no dia 14 de Junho ter havido grande quantidade desta espécie, a concentração de oxigénio dissolvido esteve dentro dos valores normais, mesmo nos dias seguintes, o que contraria aquilo que seria de esperar. É de referir que no dia 12 de Junho a concentração de oxigénio dissolvido atingiu um valor extremamente baixo no TAM2. Apesar de nesse dia a quantidade de *Vorticella microstoma* observada não ter sido muito elevada, verifica-se que esta teve um aumento em relação aos dias anteriores. No dia 27 de Junho, a concentração de oxigénio atingiu um valor demasiado baixo nos dois tanques de arejamento. Analisando a figura 5, nota-se que apesar da quantidade de *Vorticella microstoma* não ter sido muito elevada neste dia, esta sofreu um aumento. A abundância de *Carchesium* indica boa qualidade do efluente e boa eficiência de tratamento. De um modo geral, conclui-se que os tanques possuíam uma boa estabilidade e eficiência biológica durante o mês de Junho, tendo ambos tido uma pior fase a meio do mês.

Relativamente ao TAM1, no início do mês de Julho, observou-se a presença de *Vorticella microstoma* em quantidade considerável, tendo atingido o seu máximo no dia 6 com 56 indivíduos (figura 6A). No entanto, esta abundância decresceu no resto do mês, tendo a espécie estado presente em quantidades baixas. A presença de *Arcella*, a partir do dia 21 de Julho, teve um grande crescimento, atingindo no dia 29, 293 indivíduos. Quanto a *Carchesium*, esta espécie esteve praticamente ausente, tendo no fim do mês a sua abundância máxima (figura 6A).

No TAM2, no início do mês de Julho, a *Opercularia* teve um máximo de abundância, tendo estado presente em quantidades muito baixas no resto do mês (figura 6B). No dia 11, os móveis de fundo atingiram o seu máximo, com 49 organismos. No entanto, permaneceram em quantidades baixas nos restantes dias. Tal como no TAM1, a partir do dia 21 observou-se um crescimento muito grande da presença de *Arcella*, atingindo no dia 29, 258 organismos (figura 6B).

Comparando os dois tanques, verifica-se algumas diferenças quanto à abundância das espécies, sendo as mais notáveis, o pico de *Vorticella microstoma* no TAM1 e o pico de *Opercularia* no TAM2. Esta espécie indica uma má depuração biológica, uma vez que é tolerante a condições de stress como presença de metais pesados e oxigenação deficiente. Analisando a figura 18 (capítulo 4.5) verifica-se que no início do mês de Julho, a concentração de oxigénio dissolvido apresentou um valor

baixo no dia 1 de Julho no TAM2, que pode ter potenciado o aparecimento de *Opercularia*. Outra diferença considerável foi a abundância de *Carchesium* no fim do mês no TAM1 e a sua baixa presença no TAM2. Relativamente à *Arcella*, é indicadora de boas condições de nitrificação e aparece sobretudo em lamas com pouca matéria orgânica, com elevada concentração de oxigénio no tanque de arejamento e em lamas com grandes tempos de retenção.



- Nadadores
- Móveis de Fundo
- Outras Vorticéllas
- Vorticella microstoma
- Opercularia
- Carchesium
- Epistylis
- Rotíferos
- Carnívoros
- Arcella
- Outras amibas

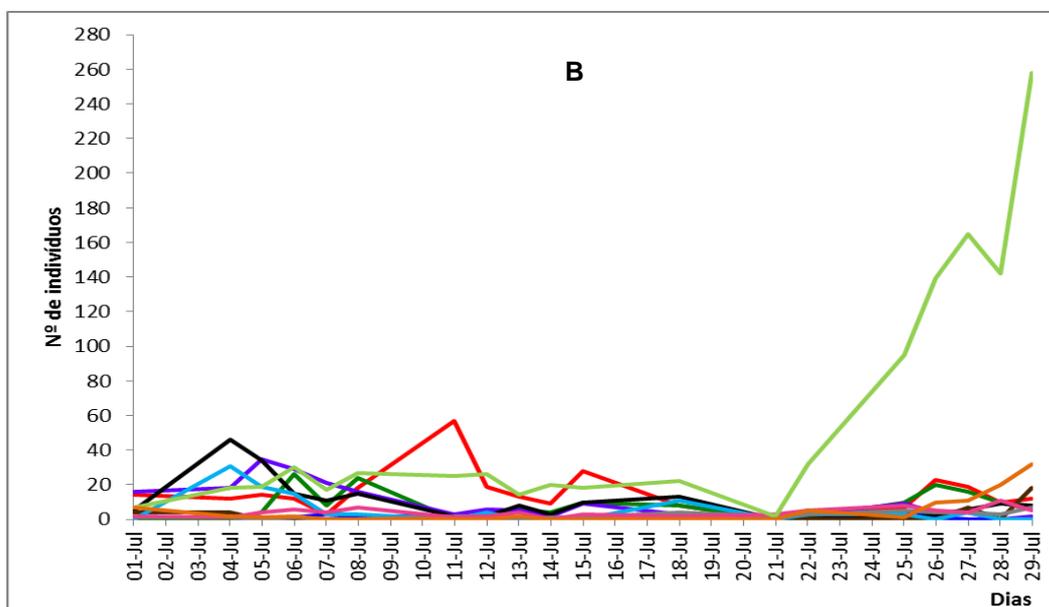


Figura 6- Comunidade de protozoários presente no mês de Julho: A) TAM1; B) TAM2.

Ao analisar a figura 18 (capítulo 4.5), verifica-se que a partir do dia 14 de Julho a concentração de oxigénio dissolvido começou a aumentar em ambos os tanques de arejamento atingindo o máximo no dia 20 e tendo permanecido com valores bastante elevados. Tal facto é coerente com o aumento da abundância de *Arcella* por volta desta altura. A sua presença indica uma boa estabilidade e eficiência biológica.

De um modo geral conclui-se que os dois tanques de arejamento possuíam neste mês boas condições de estabilidade, tendo passado por uma pior fase logo no início do mês.

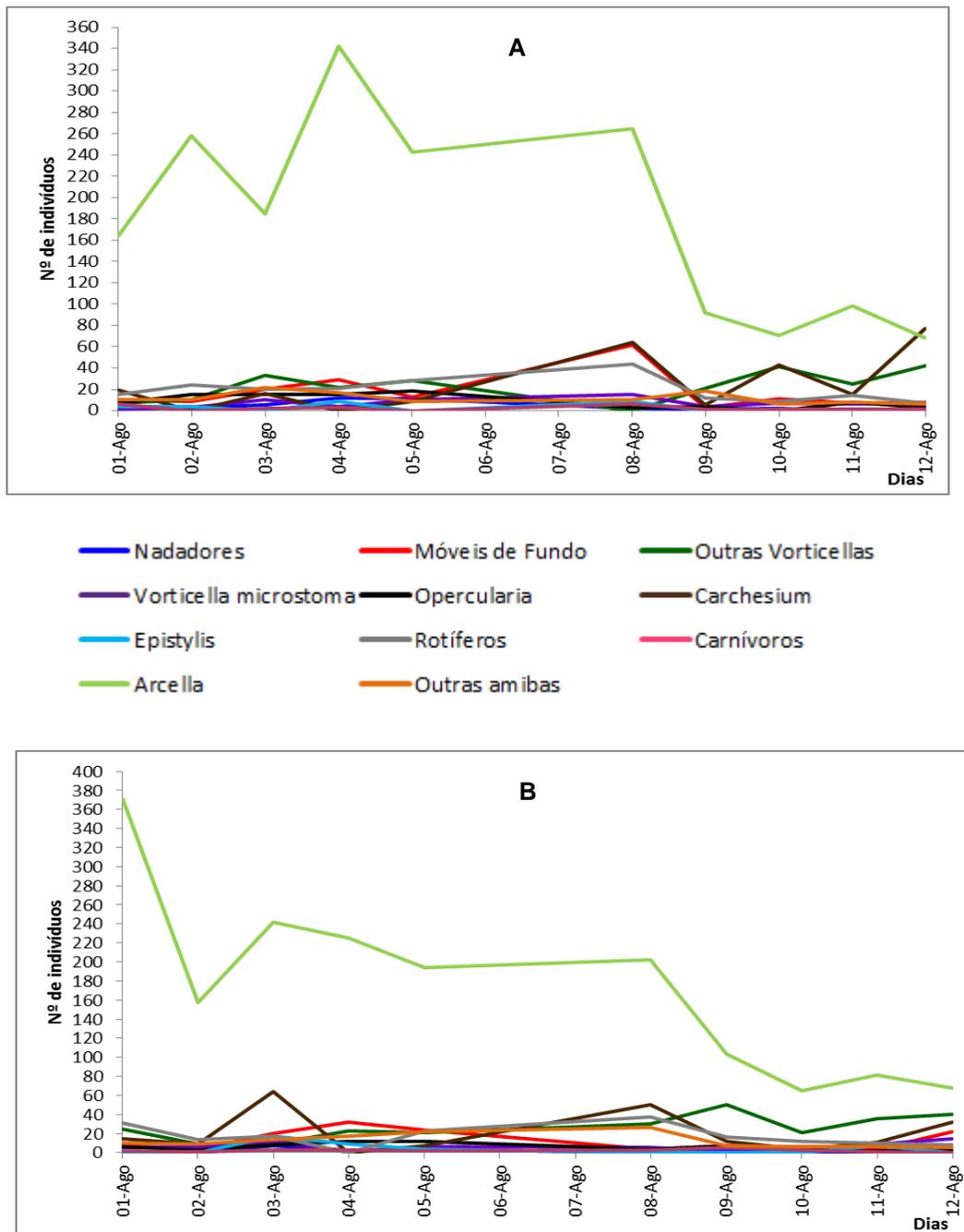


Figura 7- Comunidade de protozoários presente no mês de Agosto: A)TAM1; B)TAM2.

É de se referir que nos meses de Junho e Julho, a presença de rotíferos, carnívoros, outras *Vorticellas* e outras amibas com teca foi praticamente irrelevante, tendo surgido pouquíssimos indivíduos das mesmas.

Relativamente ao mês de Agosto, no TAM1, a *Arcella* esteve presente em grande quantidade até ao dia 8, a partir do qual a sua abundância começou a diminuir mais significativamente. A espécie *Carchesium* atingiu o seu máximo no dia 8, tendo estado presente nos restantes dias em menor quantidade (figura 7A). É de se notar que as *Vorticellas* e os rotíferos estiveram presentes em quantidades consideráveis. A presença de *Vorticellas* indica um sistema de lamas activadas estabilizado e a presença de rotíferos, que são espécies mais desenvolvidas, indica a existência de lamas velhas, baixa carga e bons níveis de oxigénio. Analisando a figura 18 (capítulo 4.5) verifica-se que a concentração de oxigénio dissolvido neste mês esteve com valores normalmente elevados. Tendo em conta que durante alguns meses e até 2 de Agosto a ETAR só tinha um espessador a funcionar e sendo que cada vez era mais difícil dar vazão a tantas lamas, extraíndo cada vez menos, a idade destas começou a aumentar progressivamente, o que justifica o aparecimento de espécies mais evoluídas.

Relativamente ao mês de Setembro, no TAM1, a *Arcella* estava sobretudo presente em quantidades mais elevadas no início do mês (figura 8A). No entanto, comparada com a sua abundancia em Julho e Agosto, em Setembro esta era bem mais fraca. Presença em quantidade considerável de *Vorticellas*. O *Carchesium* atingiu a sua abundância máxima nos dias 9 e 20. A espécie *Epistylis* atingiu no meio do mês uma quantidade considerável (figura 8A). Apesar de nesta altura, os valores de concentração de oxigénio dissolvido terem estado normais, no dia 6 atingiu-se um valor demasiado baixo, que poderá ter potenciado o aparecimento desta espécie. Os móveis de fundo tiveram uma maior incidência no início e fim do mês. Os rotíferos estiveram praticamente ausentes. Quanto ao TAM2, as *Arcellas* estiveram presentes maioritariamente no início do mês, tendo a sua abundância decrescido a partir do dia 12. As *Vorticellas* e o *Carchesium* estiveram presentes em quantidades consideráveis (figura 8B). O *Centropyxis*, que consiste numa amiba com teca, surgiu com uma abundância elevada neste mês, tendo atingido o seu máximo no dia 21 com 152 indivíduos. Os rotíferos estiveram quase ausentes. Os móveis de fundo tiveram presentes em maior quantidade no início e no fim do mês (figura 8B).

Comparando os dois tanques de arejamento, as principais diferenças é a maior abundância de *Carchesium* no TAM1, o pico de *Epistylis* no TAM1 e a presença maioritária de *Centropyxis* no TAM2. A presença de *Epistylis* indica geralmente um défice de oxigénio e idade das lamas elevada. Os rotíferos tal como em Junho e Julho voltaram a ter uma abundância muito baixa, o que se compreende já que a partir do dia 2 de Agosto o espessador nº2 começou a funcionar, e conseqüentemente a idade das lamas baixou.

É de salientar que devido ao facto de os nemátodos e os grandes flagelados terem um aparecimento muito esporádico, se omitiram estas espécies na apresentação de resultados.

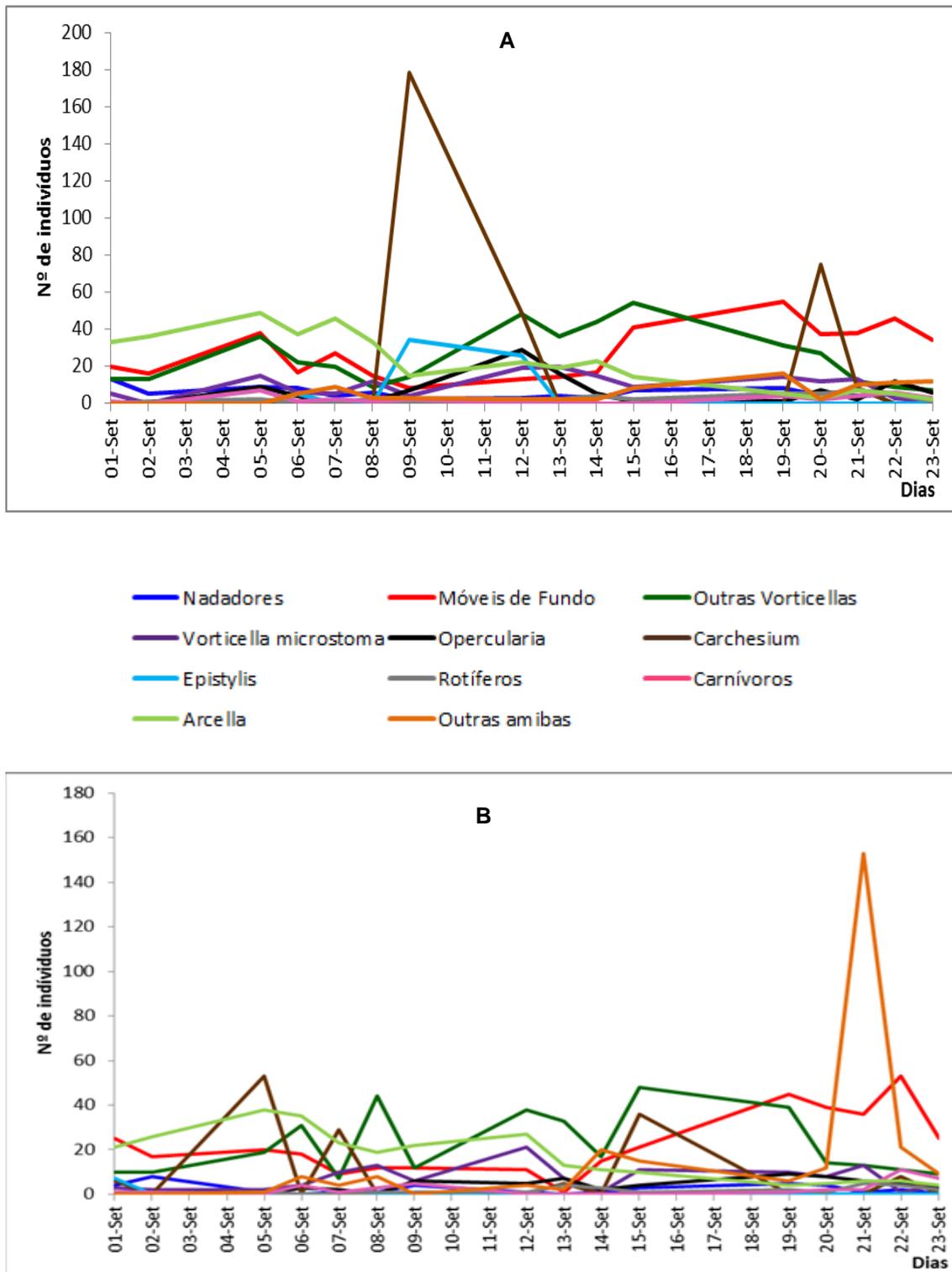


Figura 8- Comunidade de protozoários presente no mês de Setembro: A)TAM1; B)TAM2.

Após a realização das contagens dos protozoários, foi então determinado o IBL.

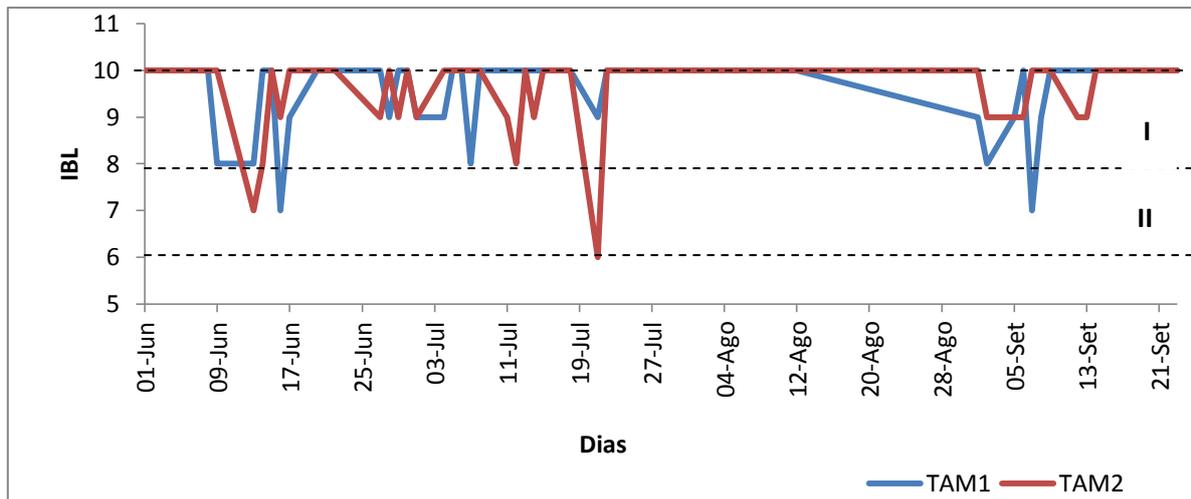


Figura 9- Valores de IBL ao longo dos meses de trabalho nos TAMs 1 e 2.

O valor de IBL no TAM1 variou entre 7 e 10. No mês de Junho, os valores de IBL mais baixos foram atingidos entre o dia 9 e 16. No mês de Agosto os valores de IBL foram sempre de 10. Por sua vez em Setembro, os valores mais baixos foram atingidos no início do mês, tendo-se obtido um valor de IBL de 7 no dia 7.

Relativamente ao TAM2, no mês de Junho, os valores de IBL mais baixos foram atingidos nos dias 13 e 14. No mês de Julho, o valor de IBL mais baixo foi atingido no dia 21. No mês de Agosto o IBL determinado foi sempre de 10 e no mês de Setembro os valores variaram entre 9 e 10.

De um modo geral os meses em que se atingiram valores mais baixos de IBL foram Junho e Julho. É de salientar que os tanques de arejamento, quase sempre possuíam valores de IBL distintos.

4.2 Comunidade de bactérias filamentosas

Através das colorações de Gram e de Neisser e utilizando as tabelas de identificação de espécies de bactérias filamentosas, foi possível identificar as bactérias filamentosas presentes nos tanques de arejamento ao longo do trabalho. As colorações foram efectuadas maioritariamente uma vez por semana, exceptuando os dias em que se notavam grandes diferenças nos tanques de arejamento nomeadamente em relação à cor da espuma presente e à sua quantidade.

Foram identificadas 9 espécies de bactérias filamentosas:

Espécie 021N: Esta espécie possui 0,8-2,2µm de diâmetro e comprimentos acima de 100µm. Não possui ramificações e quanto à mobilidade apresenta uns ligeiros movimentos vibrantes. Os seus filamentos são normalmente direitos ou ligeiramente curvos. Encontram-se maioritariamente livres no líquido, podendo formar pontes floculares. Associam-se frequentemente várias cadeias formando uma espécie de “corda”. Uma característica típica desta espécie é a existência de células de

diferentes formas numa mesma cadeia. Surge em ambientes com carência de nutrientes, ambientes sépticos e onde se verifique baixas razões A/M (alimentação/microrganismos). Raramente provoca o aparecimento de espumas. No entanto, origina problemas de “bulking” em estações sem remoção avançada de nutrientes. É responsável por valores elevados de IVL devido ao seu comprimento elevado e à sua capacidade de crescimento [4][5][12][15].

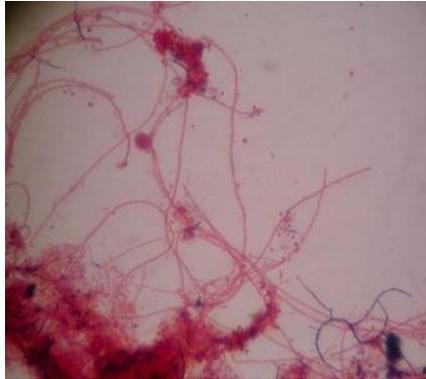
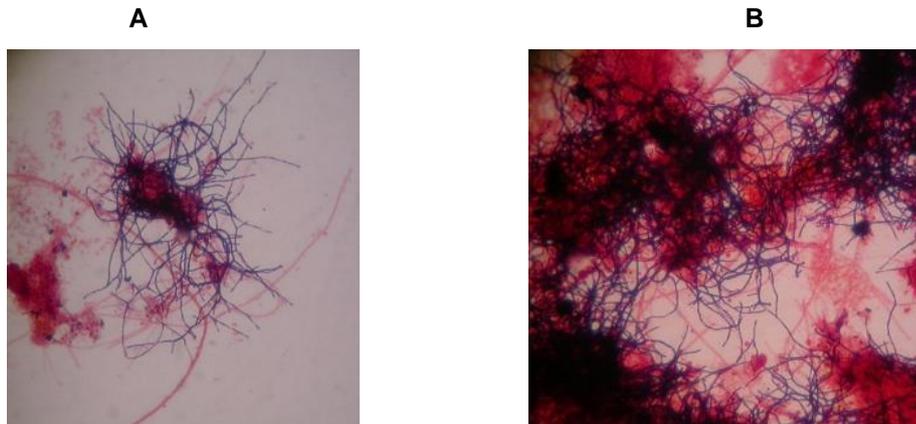


Figura 10- Observação microscópica em campo claro com coloração de Gram onde é visível a filamentosa 021N (Ampliação 200x).

Espécie 1863: Esta espécie possui um diâmetro pequeno (0,5-0,8 μ m) e um comprimento que pode atingir os 50 μ m. Os seus filamentos são maioritariamente curvos e constituídos por células de forma arredondada ou oval, que se assemelham a “chouricinhos”. Encontram-se livres no líquido. Surgem associadas ao arranque, baixas razões A/M (alimentação/microrganismos) e tempos de residência inferiores a 5 dias. O seu aparecimento/crescimento é favorecido em situações de baixas concentrações de oxigénio dissolvido, baixos valores de pH e presença de gorduras. Originam espumas brancas e densas. Podem ser combatidas através de um aumento de oxigénio dissolvido e um aumento de carga orgânica conseguido por exemplo através da realização de um *by-pass* à decantação primária durante 1 hora [4][5][12][15]

Nocardia spp: Esta espécie possui um diâmetro médio de 1 μ m e o seu comprimento varia entre os 10 e os 30 μ m. É a única espécie de bactérias filamentosas que possui ramificações verdadeiras, que formam aleatoriamente ângulos rectos. Surge maioritariamente dentro dos flocos mas também pode se encontrar livre nos espaços interfloculares. Devido ao efeito filtrante que exerce durante a decantação sobre as partículas em suspensão existentes, permite obtenção de valores razoáveis de IVL (100-200 mL/g) e de efluentes de boa qualidade. No entanto, quando o seu crescimento é excessivo origina problemas de “bulking” e de “foaming”, levando ao aparecimento de camadas oleosas grossas de cor castanha no sobrenadante dos decantadores secundários e espumas castanhas e densas nos tanques de arejamento. Esta espécie prolifera com baixas razões A/M, idade das lamas elevadas (superior a 9 dias), temperaturas elevadas, presença de gorduras e baixos valores de pH, embora todas as causas ainda não sejam claras. As estratégias de resolução dos problemas de *Nocardia* assentam essencialmente na redução dos tempos de residência da

biomassa, utilização de selectores anóxicos e paragem da recirculação das lammas dos decantadores secundários para os tanques de arejamento [4][59][12][15].



Figuras 11 A e B- Observação microscópica em campo claro com coloração de Gram onde é visível a filamentosa *Nocardia* (Ampliação 200x).

***Sphaerotilus natans*:** Possui filamentos com diâmetros que variam entre 1,2 e 2,5 μ m e com comprimentos superiores a 200 μ m. Os filamentos são geralmente direitos ou ligeiramente curvos e formam falsas ramificações. Estão localizados sobretudo fora dos flocos e podem formar pontes interfloculares. Crescem geralmente em sistemas com carência de nutrientes e/ou baixa concentração de oxigénio dissolvido. A sua proliferação está ainda relacionada com a presença de matéria orgânica facilmente biodegradável e boa agitação no tanque de arejamento. A medida de controlo mais eficaz é o aumento do arejamento [4][5][12][15].

***Nostocoida limicola I*:** Espécie que possui filamentos enrolados/irregulares com um diâmetro variável entre 0,6-0,8 μ m e comprimento entre os 100-200 μ m. Pode localizar-se no interior ou exterior dos flocos e as suas células possuem uma forma esférica/discóide. Esta espécie não possui indentação do septo, sendo geralmente responsável por graves problemas de espumas. A sua incidência encontra-se relacionada com baixa concentração de oxigénio dissolvido, baixa razão A/M e presença de substâncias facilmente biodegradáveis e compostos orgânicos como amido. A medida de controlo mais eficaz é a utilização de selectores anóxicos [4][5][12][15].

***Nostocoida limicola II*:** Espécie que possui filamentos enrolados/irregulares com um diâmetro variável entre 1,2-1,4 μ m e comprimento entre os 100-200 μ m. Pode localizar-se no interior ou exterior dos flocos e as suas células possuem uma forma oval/esférica/discóide. Possui indentação do septo. Os problemas originados por esta espécie e as medidas de controlo são idênticas às da espécie anterior [4][5][12][15].

***Nostocoida limicola III*:** Espécie que possui filamentos enrolados/irregulares com um diâmetro variável entre 1,6-2 μ m e comprimento entre os 200-300 μ m. Pode localizar-se no interior ou exterior dos flocos e as suas células possuem uma forma esférica/oval/discóide. Possui indentação do septo.

Os problemas originados por esta espécie e as medidas de controlo são idênticas às da espécie anterior [4][5][12][15].

Na figura 12 é apresentada a incidência destas espécies ao longo dos meses de trabalho.

As espécies dominantes foram a 1863, a *Nostocoida I* e a *Nocardia*. Comparando as bactérias filamentosas presentes nos dois tanques de arejamento verifica-se que não existem praticamente diferenças entre os dois tanques.

Com a dissertação de mestrado efectuada no ano anterior nesta mesma ETAR, foram testadas várias estratégias de combate à filamentosa *Nocardia*. Essas estratégias envolveram a manipulação do tempo de paragem da recirculação das lamas, a introdução de pontos de arejamento no canal de recirculação das lamas e tratamento por Bio-Suplementação [19]. Chegou-se à conclusão que a estratégia mais eficaz é a de parar a recirculação das lamas no período diário 23:00-7:00 horas [19]. Esta paragem fez com que a *Nocardia* estivesse controlada, conduziu a baixos níveis de sujidade nos decantadores primários e secundários e quantidade de espuma nos tanques de arejamento mais baixa. Foi ainda adoptada a estratégia da introdução de pontos de arejamento no canal da recirculação das lamas através da colocação de mangueira, uma próxima das bombas para remoção de lamas em excesso e outra próxima das bombas de recirculação de lamas para os TAMs [19].

A ETAR, durante o período de realização da presente dissertação encontrava-se a funcionar com a recirculação das lamas parada diariamente no período diário 1:00-7:00 horas, correspondente a um menor caudal de entrada. A introdução dos pontos de arejamento no canal de recirculação de lamas continuou a ser efectuada por mangueiras até Agosto, tendo nessa altura as mangueiras sido substituídas por tubagens, de carácter permanente. No capítulo 4.4 analisar-se-á a incidência de espuma nos tanques de arejamento ao longo dos meses de trabalho, correlacionando-a com a população de bactérias filamentosas observada (figura 12).

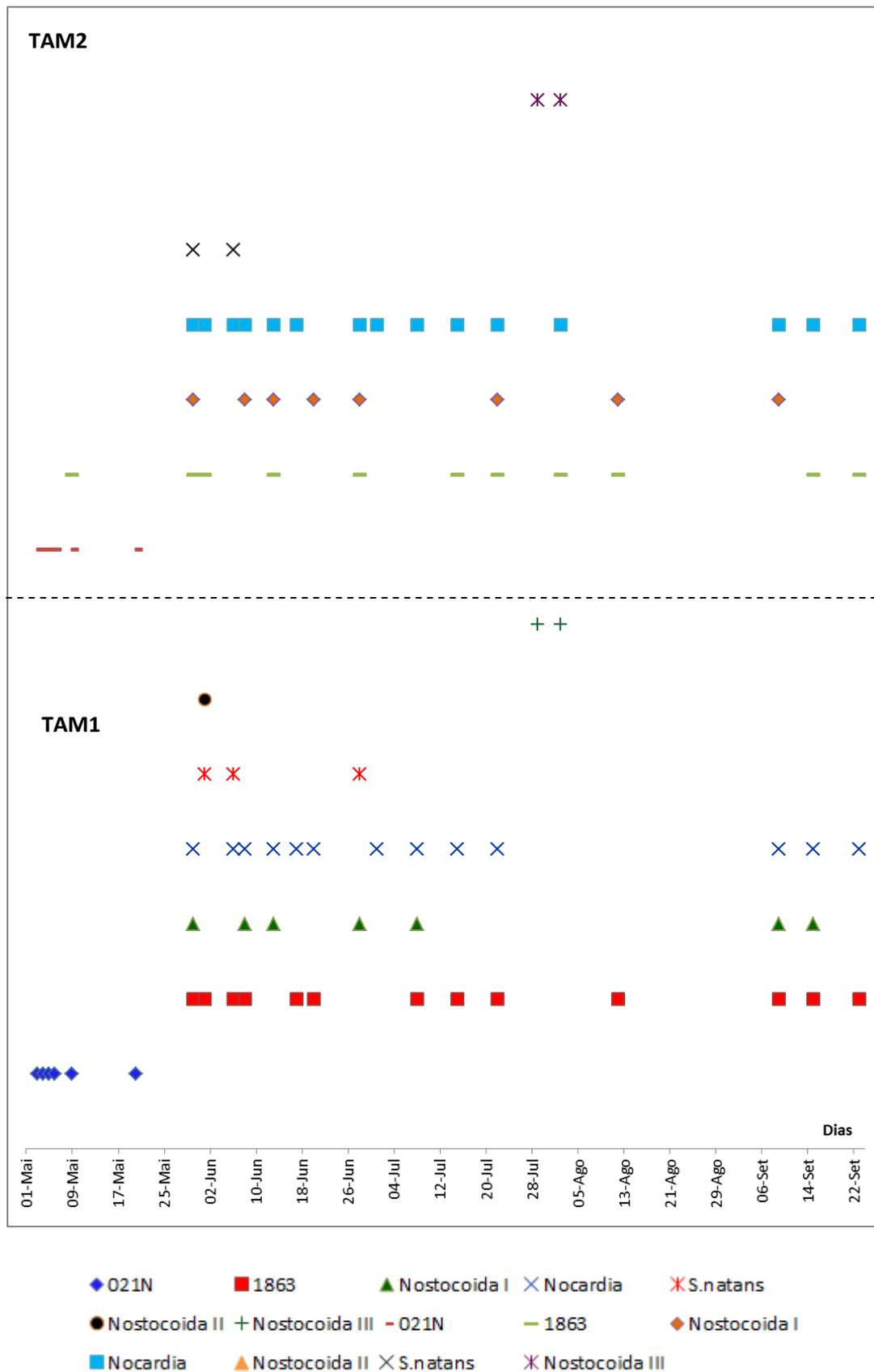


Figura 12- Comunidade de bactérias filamentosas presente no sistema de lamas activadas ao longo dos meses.

4.3 Tratamento por Bio-Suplementação

Este tratamento consiste na suplementação do meio com diversas estirpes de bactérias, seleccionadas de meios naturais e específicas para metabolizar o efluente a tratar. Os produtos utilizados foram um biodigestor que promove a estabilidade nas lamas activadas e é constituído por estirpes de bactérias especialmente seleccionadas para liquefazer e consumir resíduos orgânicos e um agente anti-espuma, que contém várias estirpes bacterianas, enzimas e nutrientes específicos para promover a eliminação de espumas originadas por bactérias filamentosas [19]. Ambos os produtos são do fabricante Alken-Murray (EUA), com representação em Portugal pela empresa Atlas-Seis [19]

O tratamento teve início a 11 de Maio e era efectuado semanalmente, à quarta-feira de manhã. A partir do dia 22 de Junho, a inoculação passou a ser efectuada às segundas, quartas e sextas, até esgotar os reagentes, o que aconteceu na primeira semana de Julho (anti-espuma). No entanto sobrou uma dose de biodigestor que foi aplicada somente a 8 de Agosto. A quantidade utilizada foi 2,5L de anti-espuma e 2 L de biodigestor, em cada aplicação, efectuada nos tanques de arejamento.

Analisando os valores de IBL nos meses de Junho e Julho (figura 9), nos quais o tratamento por Bio-Suplementação estava a ser aplicado verifica-se que foram os meses onde se obtiveram os piores valores, o que contraria o que era de se esperar. A utilização de biodigestor deveria enriquecer os tanques de arejamento relativamente a espécies presentes e à sua quantidade e tal não foi verificado neste estudo.

4.4 Espuma nos Tanques de Arejamento

Ao longo dos meses de estágio, foram anotados diariamente o tipo de espuma presente nos tanques de arejamento e a respectiva quantidade. Surgiram essencialmente três tipos de espuma:

- Espuma branca, alta e densa: A



Figura 13- Espuma branca presente nos tanques de arejamento.

- Espuma branca acastanhada não muito densa: B



Figura 14- Espuma branca acastanhada presente nos tanques de arejamento.

- Espuma castanha, bastante densa e compacta: C



Figura 15- Espuma castanha presente nos tanques de arejamento.

Nas figuras 16 e 17, é apresentada a incidência da espuma ao longo dos seis meses de estudo.

Analisando as figuras referidas, verifica-se que os meses em que os tanques de arejamento estiveram piores relativamente ao tipo e quantidade de espuma presente foram os meses de Junho e Julho. Estes meses foram caracterizados pela presença de uma espuma castanha escura, extremamente densa. É de referir que foi nos meses de Junho e Julho que se aplicou o tratamento por Bio-Suplementação. Seria de esperar que nestes meses o anti-espuma tivesse evitado o aparecimento deste tipo de espumas. No entanto, como tal não aconteceu conclui-se que o tratamento por Bio-Suplementação foi ineficaz.

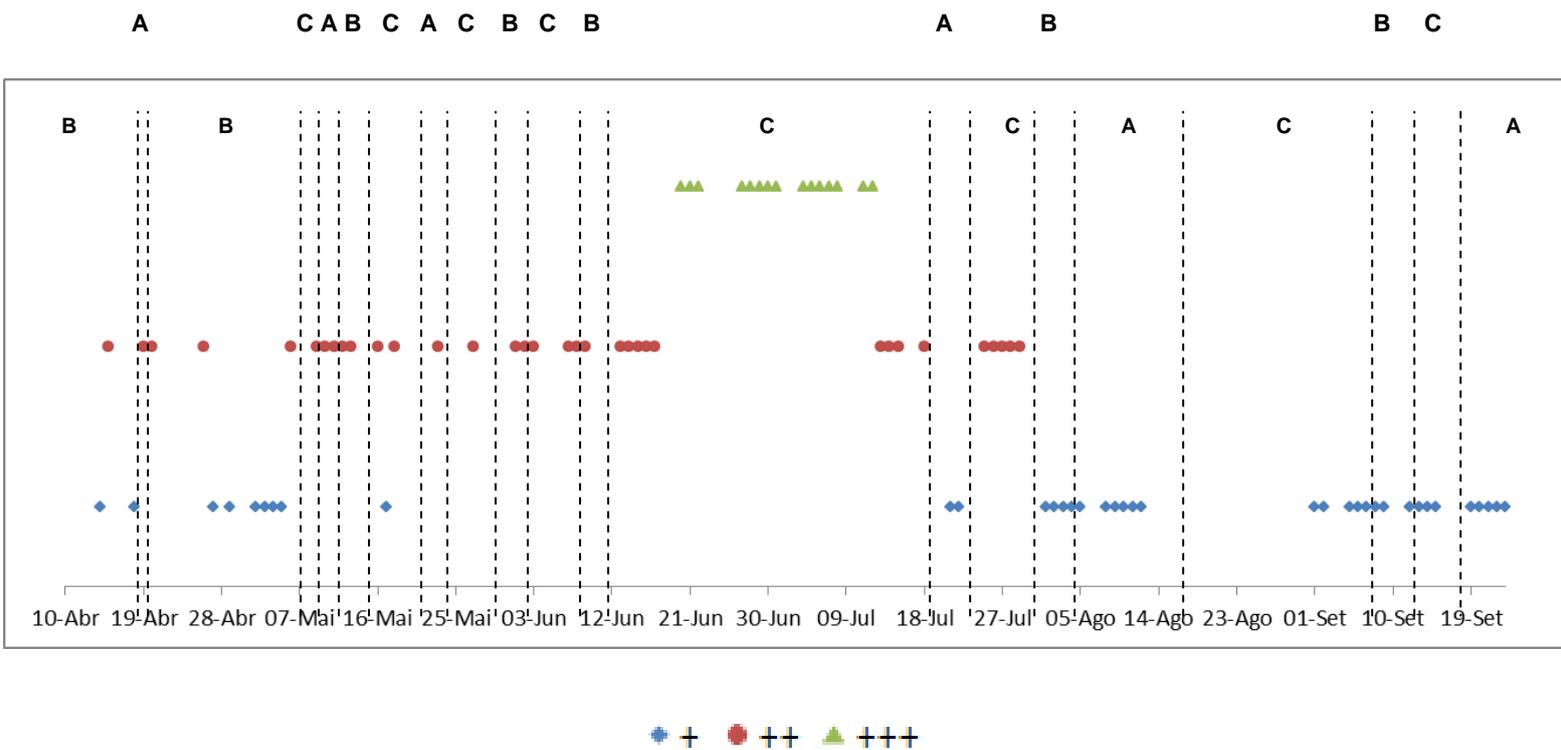


Figura 16- Tipo (A,B,C) e quantidade de espuma presente nos tanques de arejamento ao longo dos meses de trabalho no TAM1.

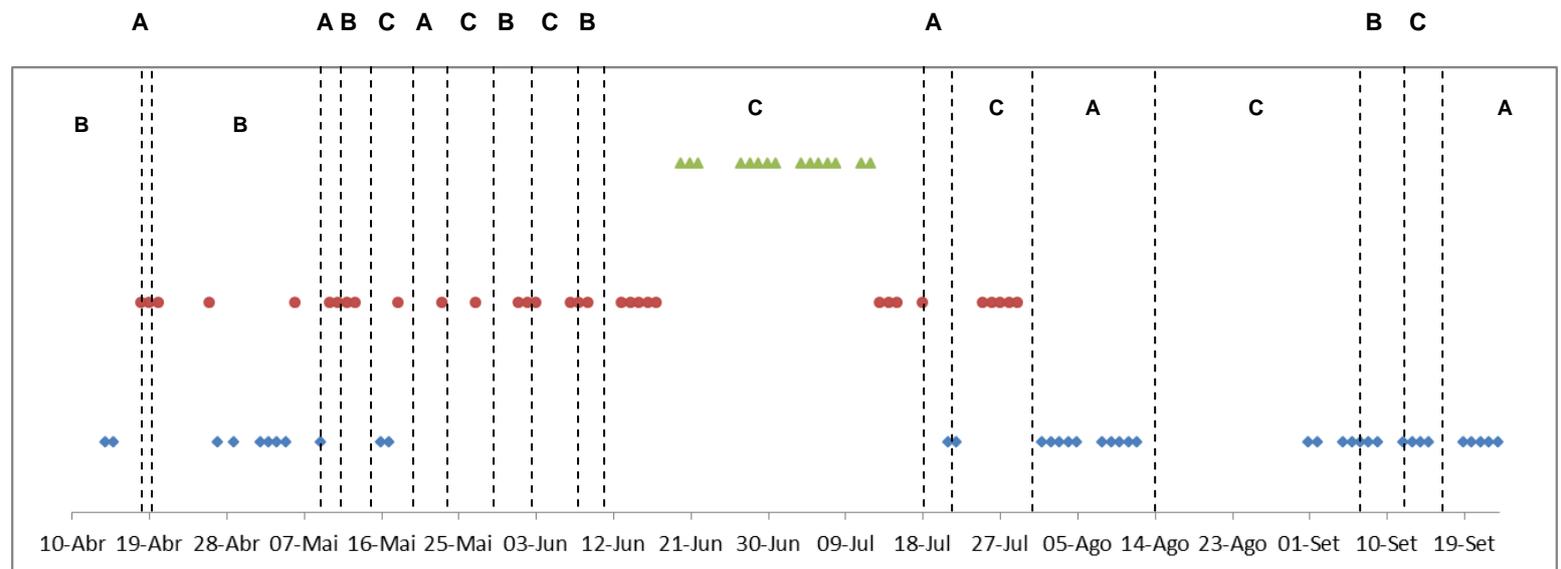


Figura 17- Tipo (A,B,C) e quantidade de espuma presente nos tanques de arejamento ao longo dos meses de trabalho no TAM2.

Analisando a figura 12, verifica-se que nos meses de Junho e Julho a filamentosa dominante foi quase sempre a *Nocardia*, confirmando que a presença desta filamentosa origina espumas castanhas.

Relativamente ao primeiro tipo de espuma mencionado, este deve-se sobretudo à presença da filamentosa 1863, a qual esteve quase sempre presente nos meses de trabalho, embora normalmente não fosse a filamentosa dominante (figura 12). Verificou-se que sempre que existia espuma branca ou branca acastanhada, a 1863 estava presente.

4.5 Concentração de oxigénio dissolvido

A concentração de oxigénio dissolvida nos tanques de arejamento é uma das medidas importantes a ter em conta. Existe no programa da central de comando da ETAR um procedimento que permite controlar esta concentração. Este procedimento consiste em definir como *set-point* a concentração média de oxigénio dissolvido pretendida nos dois tanques de arejamento pretendida. A concentração de oxigénio presente em cada tanque é medida por uma sonda em contínuo. O programa estabelece a comparação entre o valor mínimo de concentração de oxigénio nos dois tanques e o *set-point* escolhido (normalmente entre 2 e 3 mg/L) e se esta for inferior, aumenta a velocidade de um dos sopradores existentes até 100%. Se o valor continuar a ser inferior durante o tempo definido pelo utilizador que é geralmente de 3 minutos, arranca outro soprador com a velocidade mínima e que vai aumentando até 100%. Raramente é necessário funcionarem os dois sopradores a 100%. Quando os tanques de arejamento diferem muito em termos de concentração de oxigénio dissolvido e a média entre ambos é superior ao valor de *set-point* definido, é necessário aumentar este último valor no sistema de comando, até os valores dos dois tanques se aproximarem.

Na figura 18 encontra-se a variação da concentração de oxigénio dissolvido nos TAM's ao longo dos meses de trabalho. Estes valores foram determinados através de leituras pontuais, sempre efectuadas por volta das 9:30 horas.

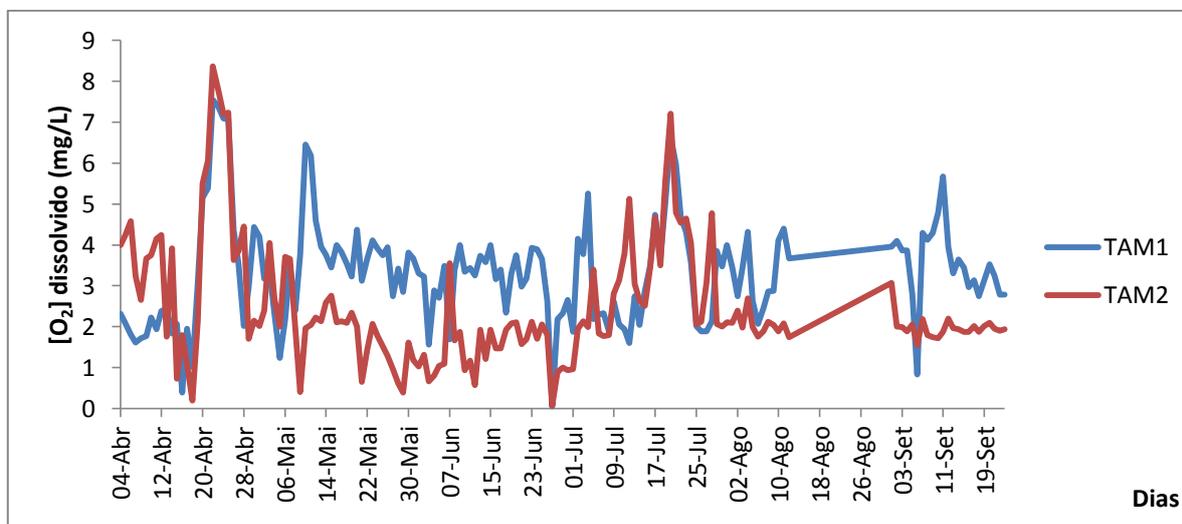


Figura 18- Variação da concentração de oxigénio dissolvido nos TAMs de Abril a Setembro.

Durante o mês de Abril a concentração de oxigénio dissolvido nos tanques variou muito, tendo havido dias em que esta esteve demasiado baixa (inferior a 1 mg/L) e dias em que esteve demasiado elevada (superior a 7 mg/L). De um modo geral, verifica-se que a concentração de oxigénio no TAM2 é quase sempre superior à do TAM1. De 19 a 26 de Abril, os dois tanques tiveram um comportamento muito semelhante, tendo a concentração de oxigénio começado a aumentar no dia 19, atingindo os valores mais elevados no dia 22 e tendo decrescido seguidamente até ao dia 26.

No mês de Maio, a concentração de oxigénio dissolvido foi quase sempre superior no TAM1 excepto entre os dias 3 e 7 de Maio. A concentração média no TAM1 rondou os 3,5-4 mg/L enquanto no TAM2 rondou os 1,5-2 mg/L. A concentração no TAM1 atingiu o seu valor máximo no dia 10 (6,45 mg/L) e no TAM2 no dia 3 (405 mg/L). Durante este mês o comportamento dos dois tanques em relação à concentração de oxigénio foi muito distinto.

No mês de Junho, os dois tanques de arejamento apresentaram grandes diferenças em relação à concentração de oxigénio dissolvido. O TAM1 teve a concentração de oxigénio sempre mais elevada que o TAM2, exceptuando no dia 7, em que esta situação inverteu. A concentração média no TAM1 situou-se entre os 3 mg/L enquanto no TAM2 situou-se entre os 2 mg/L. Entre o dia 26 e 27 de Junho, a concentração de oxigénio nos dois tanques teve uma descida abrupta, atingindo valores praticamente nulos.

No mês de Julho, a concentração de oxigénio dissolvido no TAM2 foi quase sempre superior à do TAM1, excepto no início e no fim do mês. Durante este mês voltaram a atingir-se valores muito elevados de concentração de oxigénio dissolvido, em ambos os tanques. Entre o dia 15 e o dia 25 os tanques tiveram um comportamento muito idêntico, tendo a concentração de oxigénio aumentado a partir do dia 15, atingido o seu valor máximo no dia 20 e decrescido logo de seguida até ao dia 25.

Durante o mês de Agosto, a concentração de oxigénio dissolvido no TAM1 foi sempre superior à do TAM2, sendo que a concentração média no TAM1 rondou os 3-3,5 mg/L enquanto no TAM2 rondou os 2 mg/L. É de se notar que a concentração no TAM1 variou mais ao longo dos dias, tendo atingido o valor mínimo no dia 6 (2,07 mg/L) e o máximo no dia 11 (4,4 mg/L) enquanto no TAM2 a concentração permaneceu sempre perto dos 2 mg/L, tendo atingido o valor máximo no dia 4 (2,69 mg/L) e o mínimo no dia 12 (1,74 mg/L).

Relativamente ao mês de Setembro, a concentração de oxigénio dissolvido foi quase sempre superior no TAM1, exceptuando no dia 6. A concentração média no TAM1 rondou os 3mg/L enquanto no TAM2 rondou os 2 mg/L. É de se notar que a concentração no TAM1 variou mais ao longo dos dias, tendo atingido o valor mínimo no dia 6 (0,84 mg/L) e o máximo no dia 11 (5,67 mg/L) enquanto no TAM2 a concentração permaneceu sempre perto dos 2 mg/L, tendo atingido o valor máximo no dia 1 (3,07 mg/L) e o mínimo no dia 6 (1,55 mg/L).

Da análise da figura 18, pode-se concluir que, apesar do sistema de controlo referido anteriormente, os dois tanques de arejamento possuem maioritariamente valores muito distintos de concentração de oxigénio dissolvido.

4.6 Parâmetros analíticos nos pontos CEM, DPM, SUV

Seguidamente são apresentados a variação dos parâmetros analíticos determinados pelo LABAR ao longo dos seis meses de trabalho nos pontos CEM, DPM e SUV.

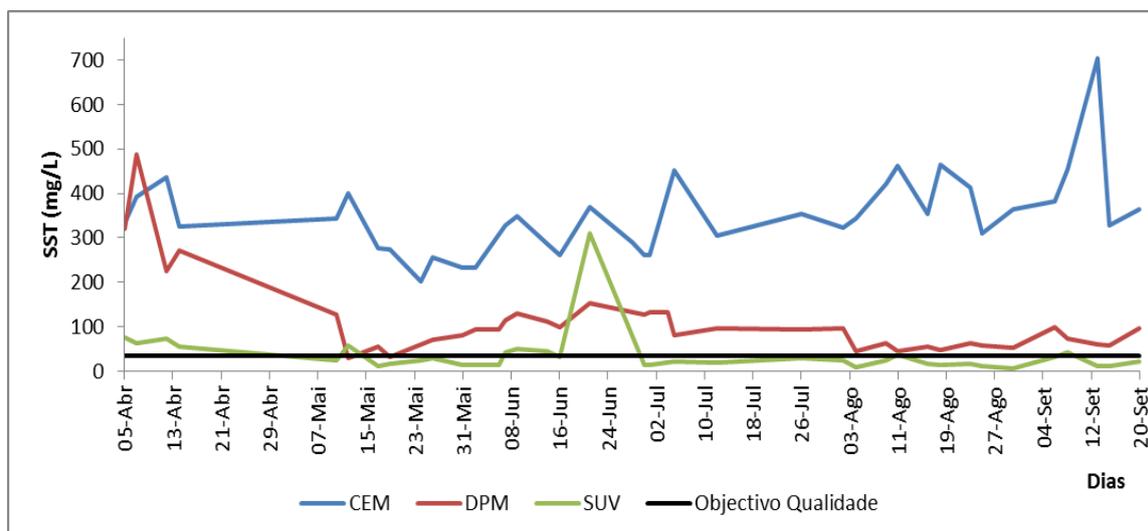


Figura 19- Variação de SST de Abril a Setembro nos pontos CEM, DPM e SUV.

Como seria de esperar os valores de SST mais elevados obtiveram-se no ponto CEM, onde ainda não se efectuou qualquer tratamento, e os valores mais baixos ocorreram no ponto SUV, onde termina o tratamento da fase líquida (figura 19). Conclui-se assim que a ETAR possui uma remoção eficiente de SST. No entanto, verifica-se que no início de Abril, os valores de SST no ponto DPM estavam um pouco elevados para o normal, tendo mesmo sido superior ao valor de SST no ponto CEM no dia 7 de Abril. Este valor pode ser devido ao facto de existir uma sobrecarga nos decantadores primários devido ao funcionamento de um espessador apenas. No entanto apesar de na maior parte dos meses de trabalho, só ter estado a funcionar um espessador apenas, não se detectou mais nenhum valor de SST anormal no DPM. Nota-se ainda que no dia 21 de Junho, verificou-se um valor de SST bastante elevado no SUV, que poderá dever-se a erros analíticos.

Sendo o objectivo de qualidade estabelecido para os SST de 35 mg/L verifica-se que de um modo geral este limite é cumprido. No entanto, no início do mês de Abril e no dia 21 de Junho este objectivo não foi cumprido pelos motivos já mencionados.

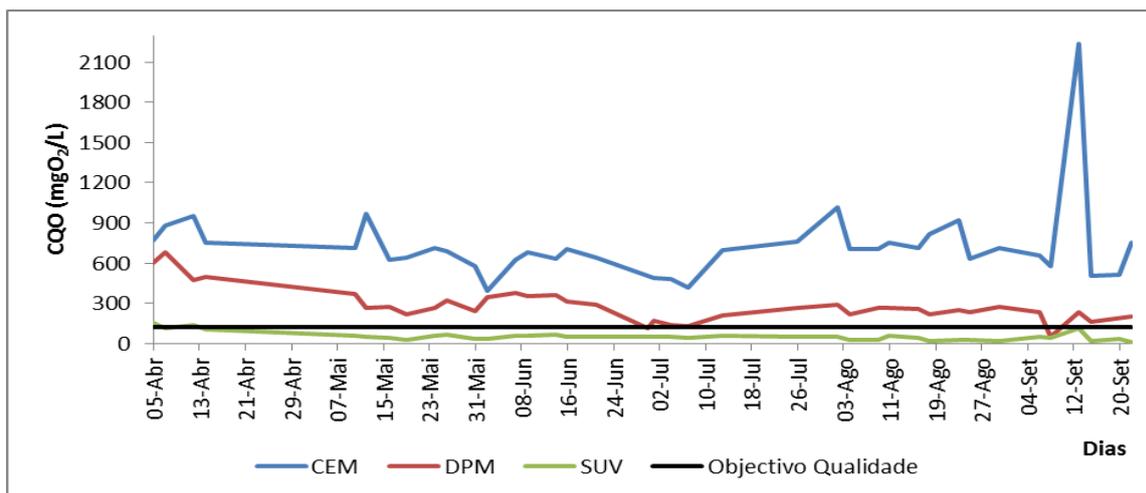


Figura 20- Variação de CQO de Abril a Setembro nos pontos CEM, DPM e SUV.

Tal como no caso dos SST, os valores de CQO mais elevados verificaram-se no ponto CEM e os valores mais baixos foram obtidos no ponto SUV (figura 20). Conclui-se desta forma que a ETAR possui uma remoção eficiente de matéria orgânica, cumprindo quase sempre o objectivo de qualidade estabelecido, 125 mg O₂/L.

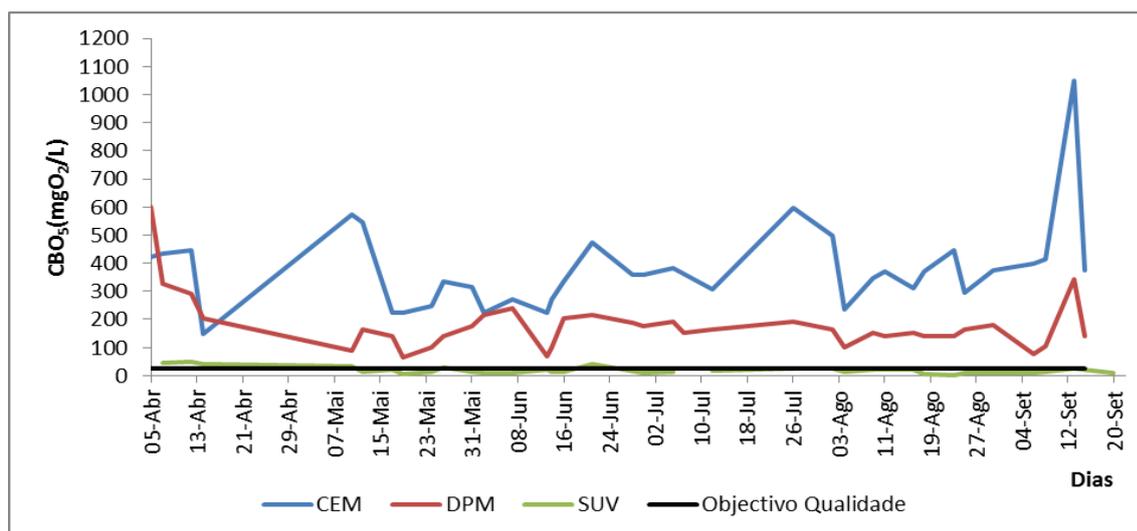


Figura 21- Variação de CBO₅ de Abril a Setembro nos pontos CEM, DPM e SUV.

Os valores de CBO₅ no geral foram mais elevados no CEM e mais baixos no SUV. No entanto, nos dias 5 e 14 de Abril obtiveram-se valores de CBO₅ mais elevados no DPM (figura 21). Este facto pode dever-se à sobrecarga dos decantadores primários devido ao funcionamento de um espessador apenas. No entanto apesar de na maior parte dos meses de trabalho, só ter estado a funcionar um

espessador apenas, não se detectou mais nenhum valor de CBO₅ anormal no DPM. No resto dos meses, verificou-se um comportamento normal pelo que se conclui que a ETAR possui uma remoção eficiente de CBO₅, apresentando quase sempre no SUV valores inferiores ao objectivo de qualidade, 25 mg O₂/L.

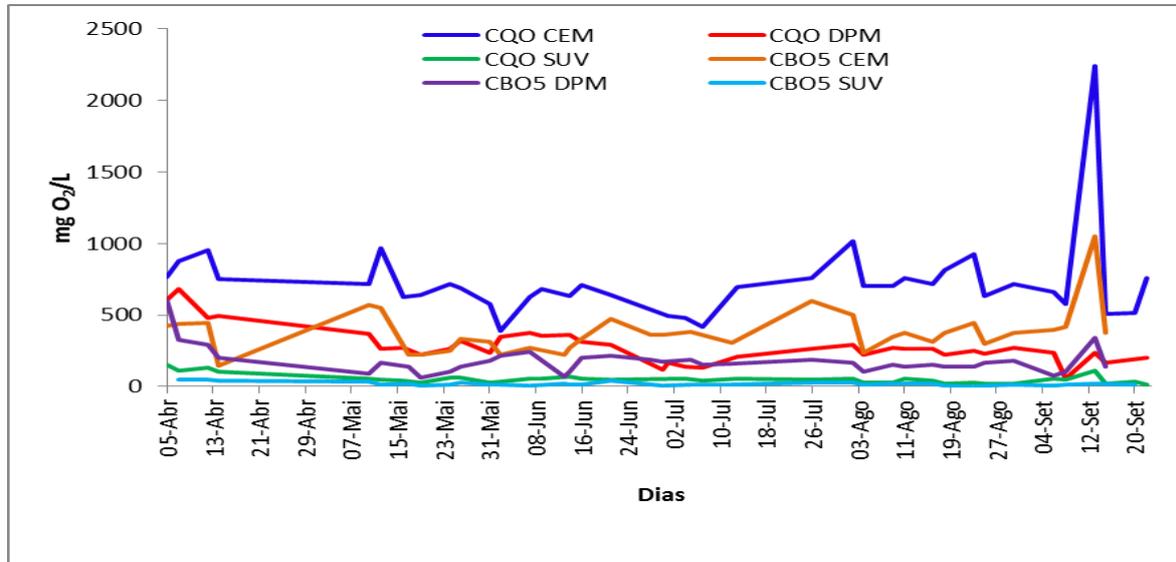


Figura 22- Comparação entre as variações dos valores de CQO e de CBO₅ de Abril a Setembro nos pontos CEM, DPM e SUV.

Comparando os valores de CQO e CBO₅ no ponto CEM verifica-se que como era de esperar, os valores de CQO são superiores aos de CBO₅ (figura 22). Tal também se verifica no ponto SUV. No entanto no ponto DPM por vezes verifica-se que o CQO é inferior ao CBO₅, o que é naturalmente impossível, pelo que tal se deverá a erros analíticos.

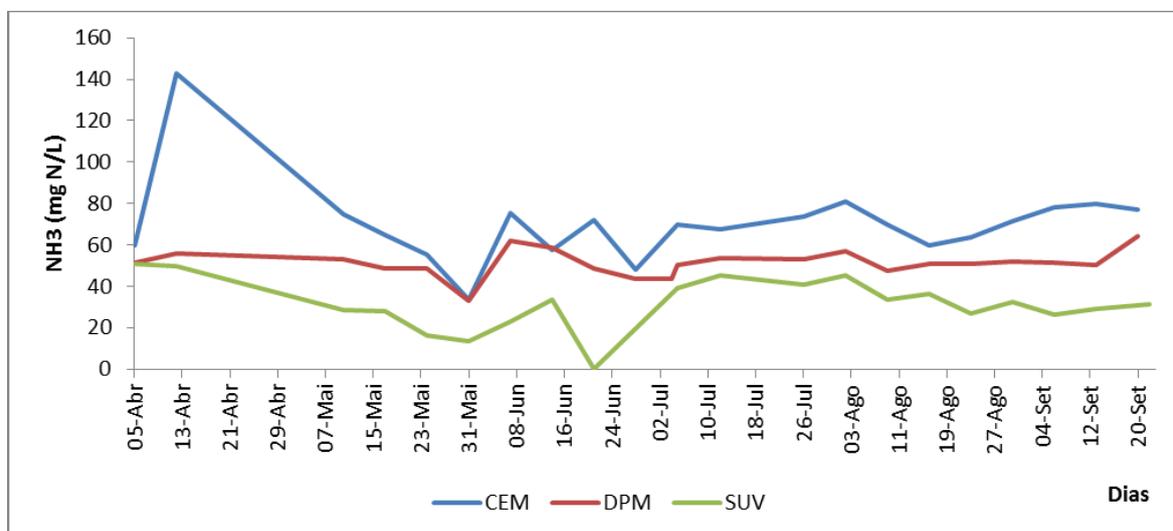


Figura 23- Variação de N-NH₃ de Abril a Setembro nos pontos CEM, DPM e SUV.

De um modo geral, os valores de N-NH₃ foram superiores no CEM e inferiores no SUV. Conclui-se assim que a ETAR possui uma remoção eficiente de N- NH₃ (figura 23). É de salientar um valor muito elevado no CEM no dia 12 de Abril que se encontra relacionado com a composição do esgoto nesse dia. De um modo geral, os valores de N-NH₃ no SUV são elevados, o que indica a ausência de nitrificação. No entanto, no dia 21 de Junho verificou-se um valor muito baixo no SUV, o que indica a existência de nitrificação.

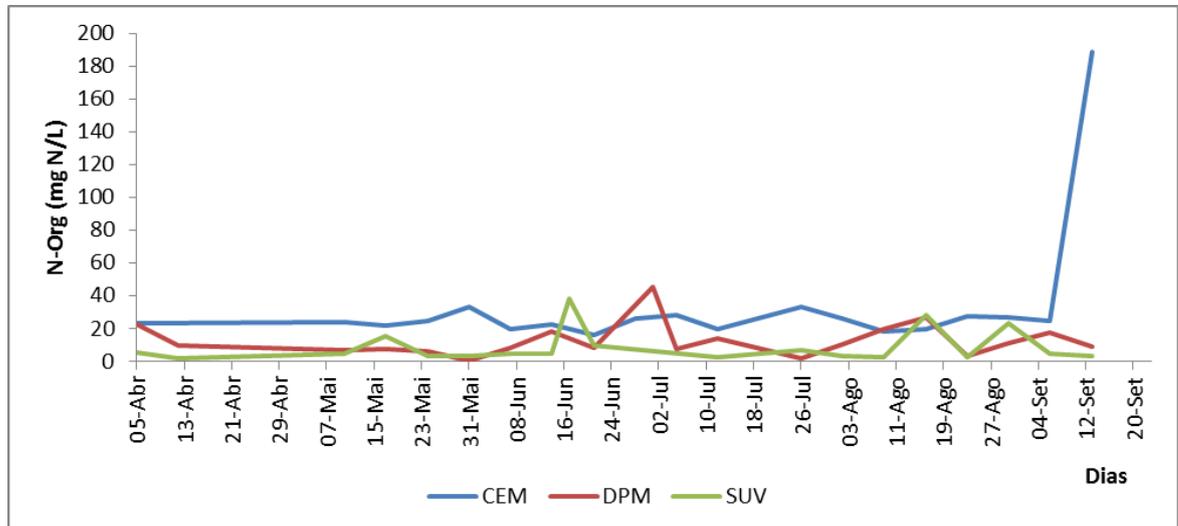


Figura 24- Variação de N-Org de Abril a Setembro nos pontos CEM, DPM e SUV.

Dado que as Arcellas são indicadoras de boas condições de nitrificação, dever-se-ia ter notado a presença desta espécie por volta desta altura. No entanto, analisando a figura 5 verifica-se que na altura referida, as Arcellas estavam presentes em quantidades muito baixas não permitindo estabelecer qualquer correlação com a nitrificação verificada.

De um modo geral, os valores de N-Org foram superiores no CEM e inferiores no SUV. É de salientar um valor muito elevado no CEM no dia 13 de Setembro que se encontra relacionado com a composição do esgoto nesse dia (figura 24). Analisando a figura 8, é possível verificar que a partir do dia 9 a quantidade de *Vorticellas* começou a aumentar, apresentando valores elevados nos dias 12 e 13. Poderá ou não existir alguma correlação entre estes dados, uma vez que de um modo geral a quantidade de N-Org foi baixa ao longo dos meses de estudo e existiu alturas em que a quantidade de *Vorticellas* foi significativa como por exemplo a meio do mês de Agosto (Figura 7). Nos dias 1 de Julho e 16 de Agosto o ponto DPM possuiu um valor de N-Org superior ao ponto CEM. Nos dias 17 de Maio, 17 de Junho, 16 de Agosto e 30 de Agosto o SUV possuiu valores de N-Org demasiado elevados, o que poderá dever-se a erros analíticos, uma vez que esses valores eram superiores aos valores no DPM para os mesmos dias. Conclui-se assim que de um modo geral, a ETAR possui uma remoção eficiente de N- Org.

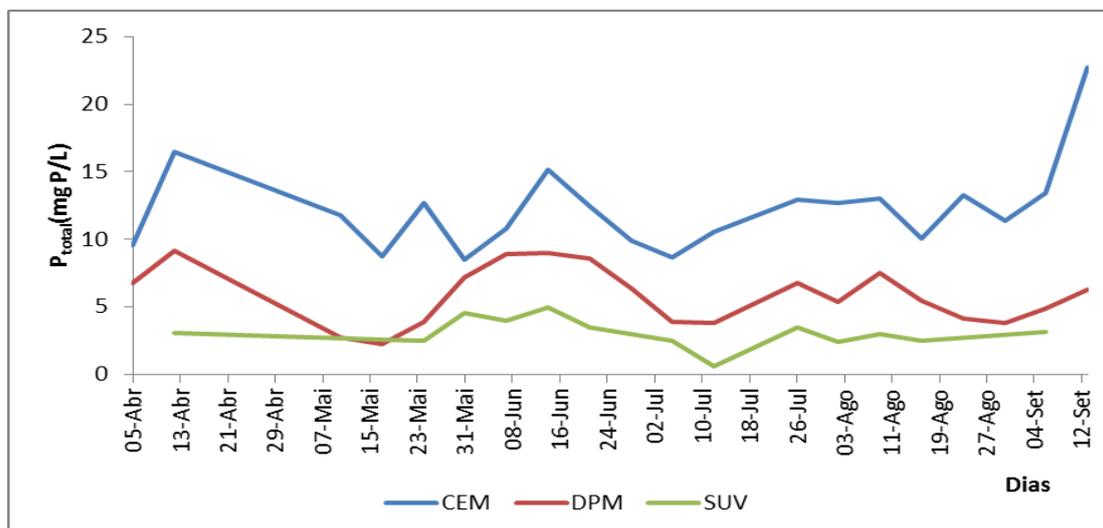


Figura 25- Variação de P_{total} de Abril a Setembro nos pontos CEM, DPM e SUV.

De um modo geral, os valores de P_{Total} foram superiores no CEM e inferiores no SUV. É de salientar um valor muito elevado no CEM no dia 13 de Setembro que se encontra relacionado com a composição do esgoto nesse dia (figura 25). Nos dias 12 de Abril e 12 de Julho verificou-se um valor muito baixo no SUV. Conclui-se assim que a ETAR possui uma remoção eficiente de P_{Total} .

Relativamente aos óleos e gorduras como existem poucos dados ao longo deste estudo, não se apresentam os resultados.

De modo a avaliar a eficiência do processo de remoção da matéria orgânica no processo biológico recorreu-se às seguintes equações:

Equação 3

$$\% \text{ Remoção } CQO = \left(\frac{CQO_{entrada} - CQO_{saída}}{CQO_{entrada}} \right) \times 100$$

Equação 4

$$\% \text{ Remoção } CBO_5 = \left(\frac{CBO_{5entrada} - CBO_{5saída}}{CBO_{5entrada}} \right) \times 100$$

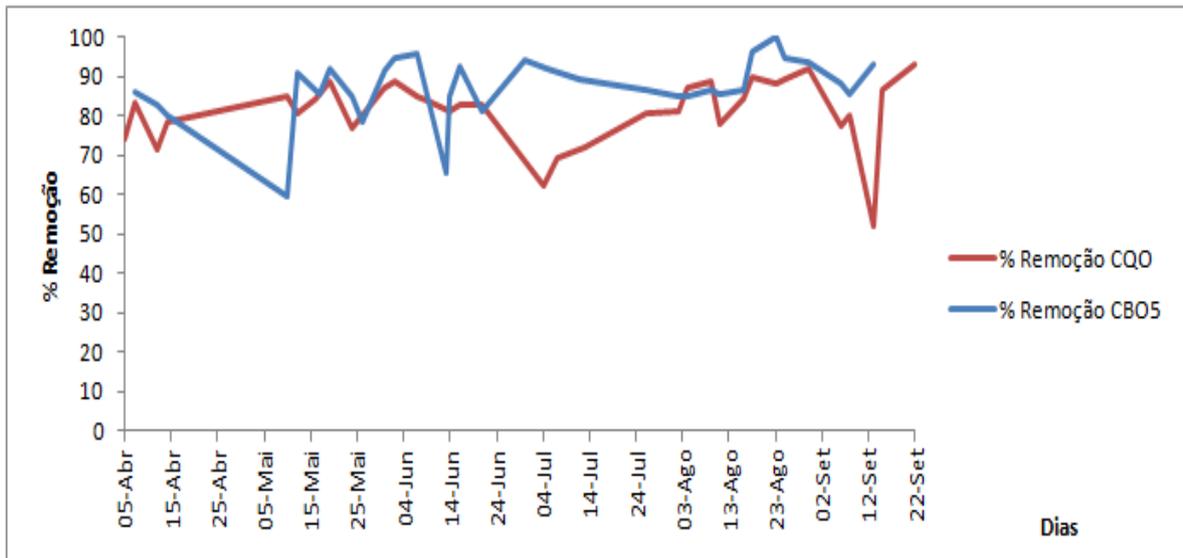


Figura 26- Percentagens de remoção de CQO e de CBO₅ do processo biológico de Abril a Setembro.

Relativamente à remoção de CQO verifica-se que geralmente varia entre os 70-90% (figura 26). Quanto à remoção de CBO₅ geralmente os valores variam entre 80-100%, tendo-se obtido os valores mais baixos nos dias 10 de Maio e 13 de Junho (figura 26). De um modo geral conclui-se que existe uma boa eficiência na remoção de CQO e CBO₅.

4.7 Parâmetros analíticos nos TAMs e LRB

Seguidamente são apresentados a variação dos parâmetros analíticos determinados pelo LABAR ao longo dos seis meses de trabalho nos tanques de arejamento.

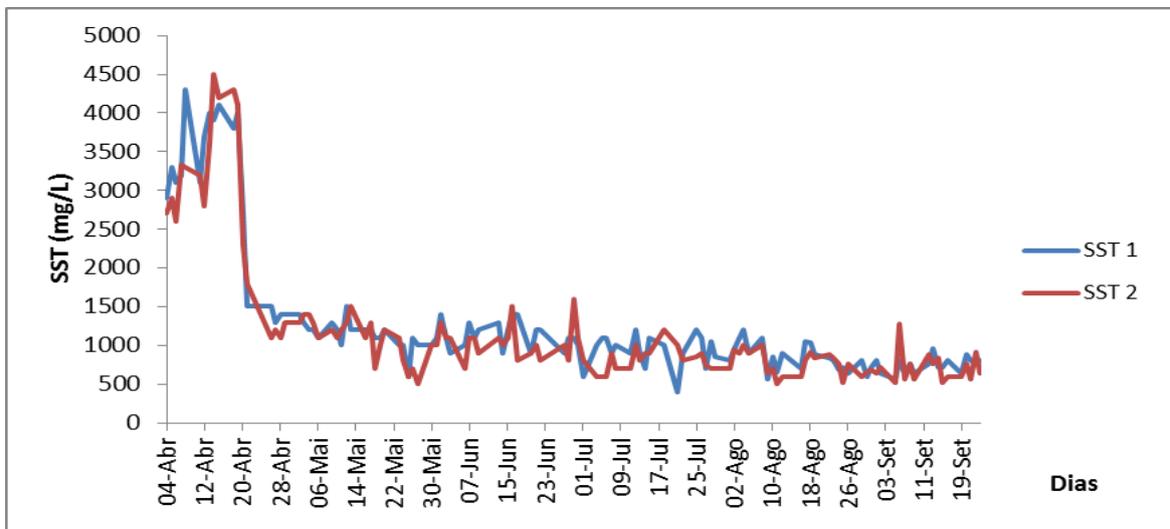


Figura 27- Variação de SST nos TAMs de Abril a Setembro.

Verifica-se que os SST nos tanques de arejamento estavam muito elevados no mês de Abril, atingindo valores na ordem dos 4000 mg/L (figura 27). Nos restantes meses, os valores estiveram na ordem dos 1000 mg/L, havendo dias em que este valor era ultrapassado e dias em que os valores verificados eram bem mais baixos, chegando por vezes a atingir os 500 mg/L.

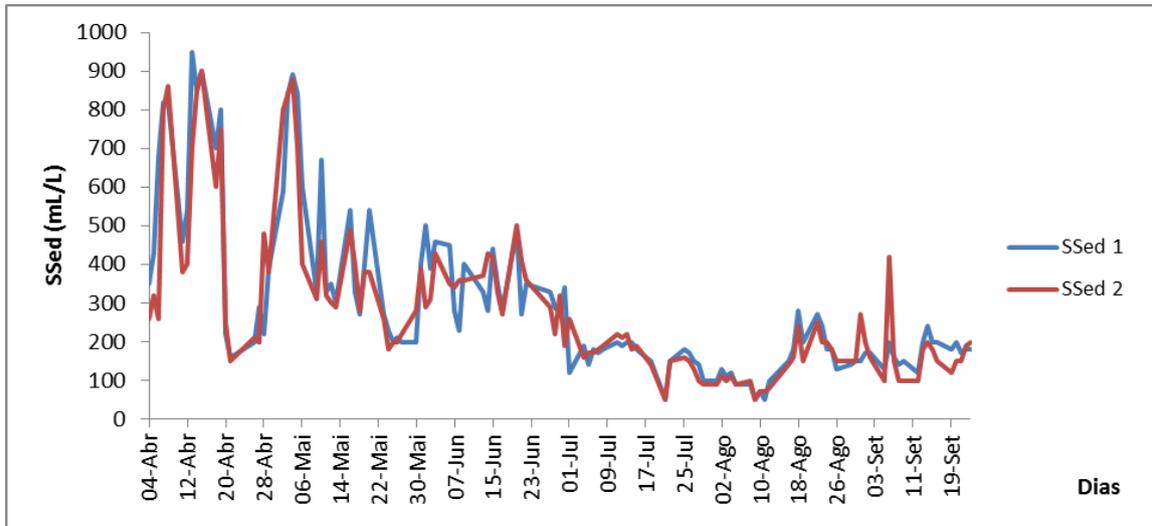


Figura 28- Variação de SSed nos TAMs de Abril a Setembro.

Relativamente aos sólidos sedimentáveis, estes também estiveram mais elevados no mês de Abril, atingindo valores na ordem dos 900 mL/L (figura 28). Nos restantes meses estes valores tiveram mais baixos, estando na ordem dos 500-400 mL/L nos meses de Maio e Junho e na ordem dos 200-300 mL/L nos restantes meses.

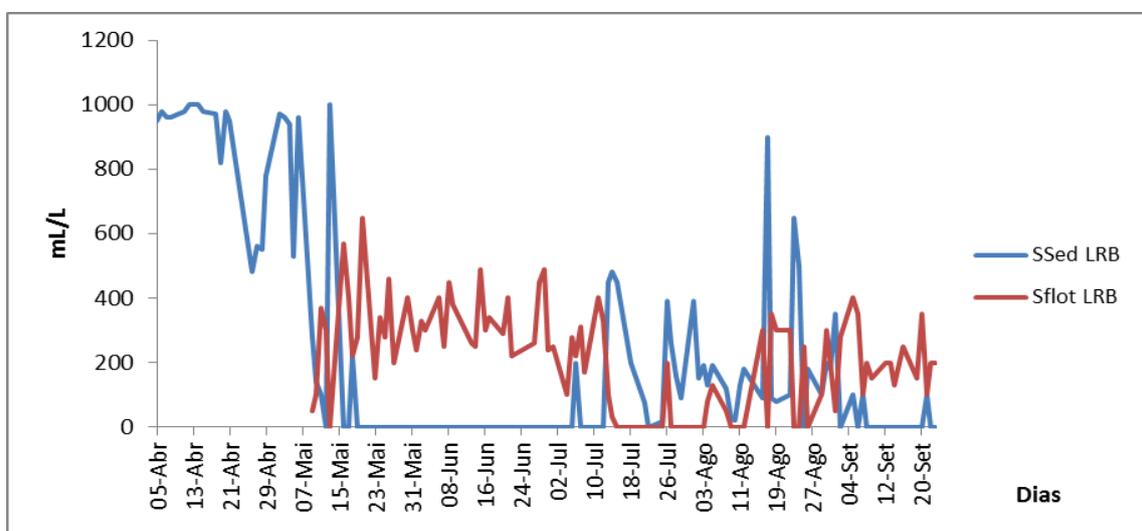


Figura 29- Variação de SSed e de Sflot no LRB de Abril a Setembro.

Relativamente aos sólidos sedimentáveis no LRB verifica-se uma grande variabilidade nos valores, existindo valores na ordem dos 800-900 mL/L no mês de Abril, valores nulos nos meses de Maio e Junho e na ordem dos 200-400 no mês de Julho (figura 29). No mês de Agosto observaram-se novamente valores bastantes elevados e no mês de Setembro valores bem mais baixos. Valores de sólidos sedimentáveis elevados indicam uma boa eficiência de tratamento. Por seu lado, valores mais baixos sugerem uma eficiência mais baixa. Quanto aos sólidos flutuantes verifica-se que estiveram na ordem dos 400-500 ml/L nos meses de Maio e Junho e na ordem dos 200-300 mL/L nos meses de Agosto e Setembro, tendo os valores mais baixos em Julho.

4.8 Espectroscopia UV-Visível

Como já foi mencionado, ao longo dos meses de trabalho foram adquiridos espectros UV-Visível das amostras dos TAMs tal qual, filtrados, tal qual diluídos e filtrados diluídos. Foram ainda obtidos espectros das amostras de CEM, DPM e SUV bem como das respectivas diluições. Seguidamente apresentam-se todos os espectros obtidos para o TAM1, CEM, DPM e SUV (figuras 30-39). Dado que os espectros obtidos para o TAM2 são idênticos aos do TAM1, só se apresentam os do TAM1.

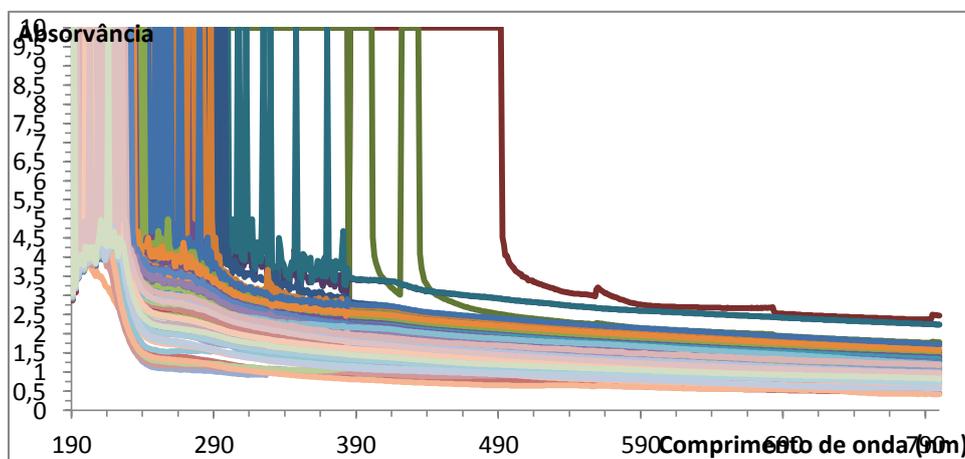


Figura 30- Espectros UV-Visível das amostras tal qual do TAM1.

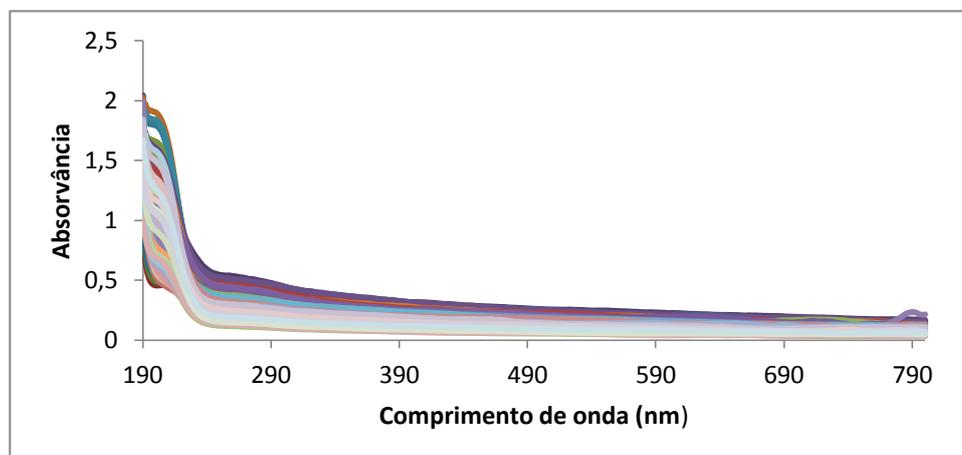


Figura 31- Espectros UV-Visível das amostras diluídas do TAM1.

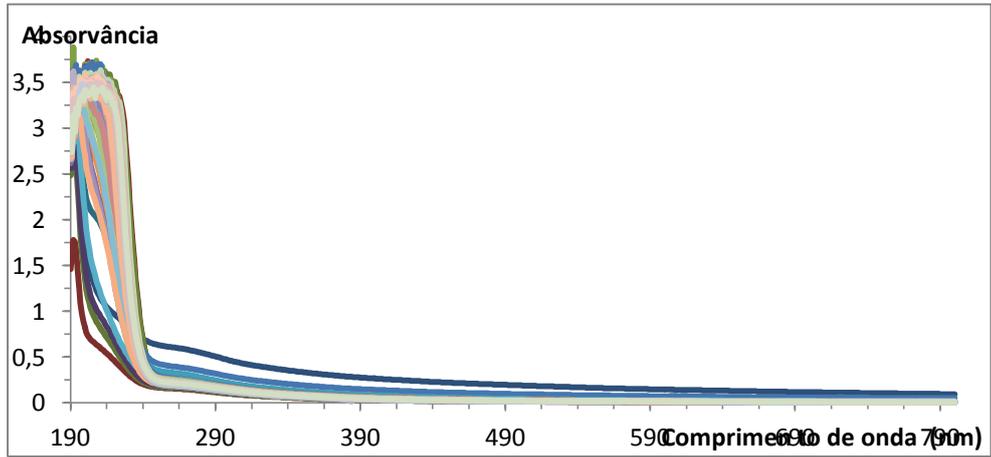


Figura 32- Espectros UV-Visível das amostras filtradas do TAM1.

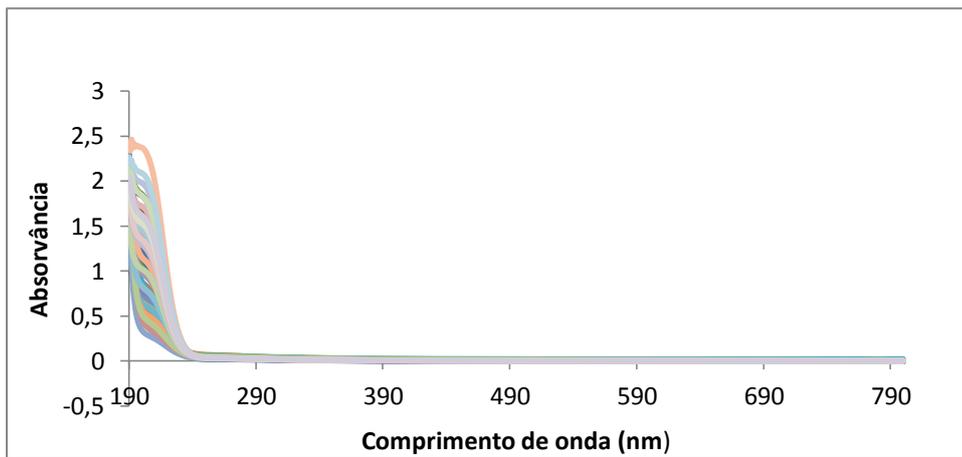


Figura 33- Espectros UV-Visível das amostras filtradas e diluídas do TAM1.

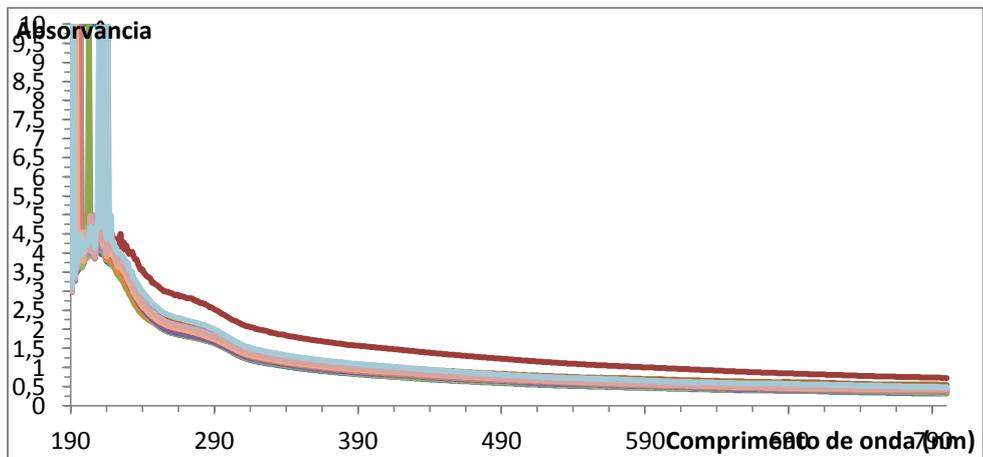


Figura 34- Espectros UV-Visível das amostras tal qual do CEM.

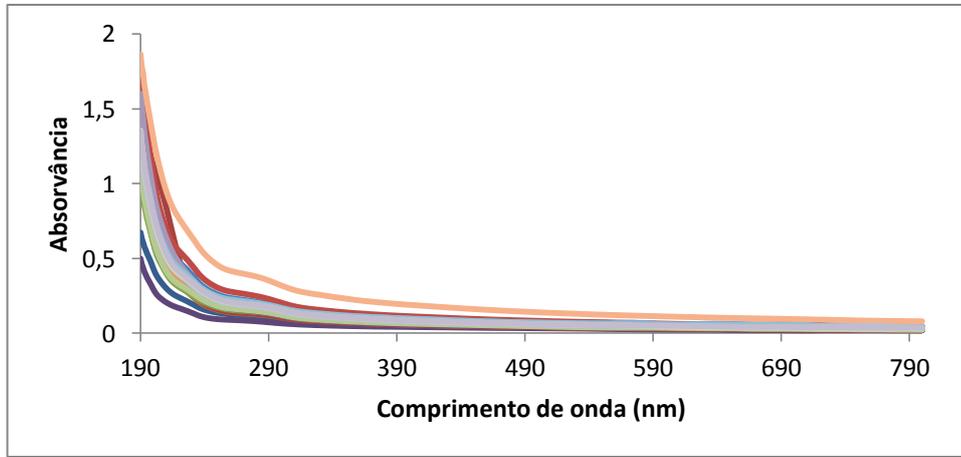


Figura 35- Espectros UV-Visível das amostras diluídas do CEM.

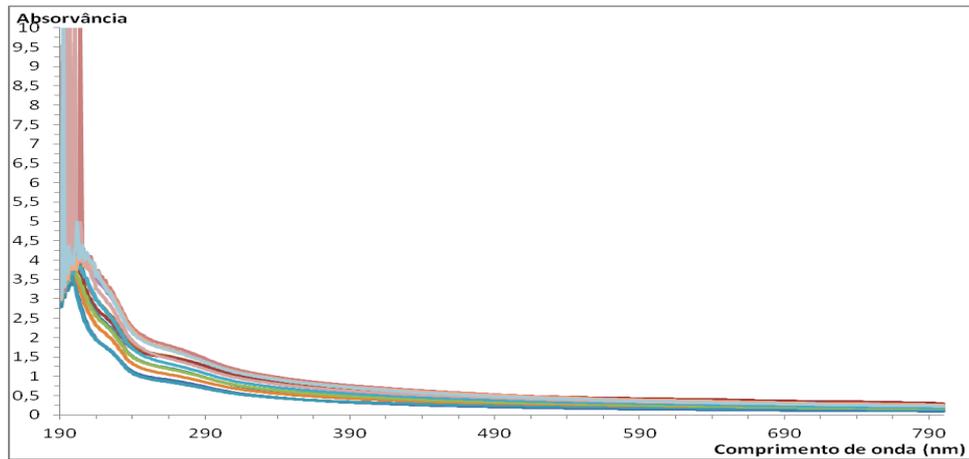


Figura 36- Espectros UV-Visível das amostras tal qual do DPM.

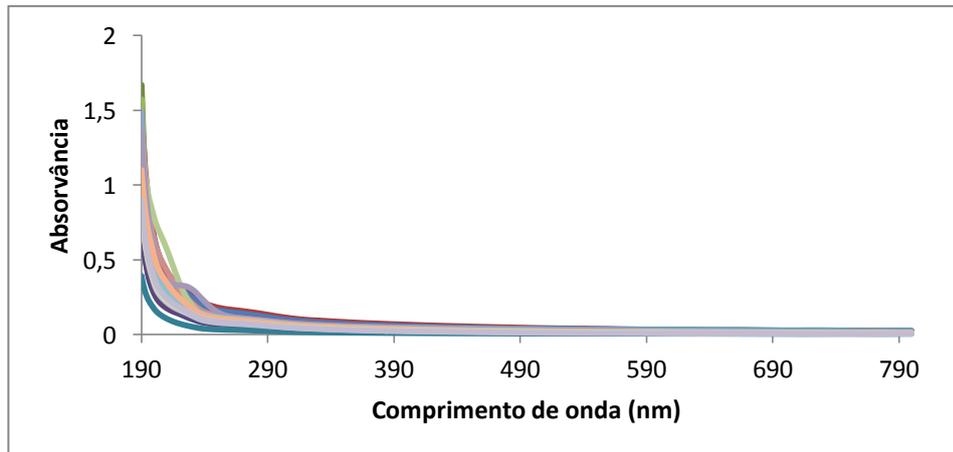


Figura 37- Espectros UV-Visível das amostras diluídas do DPM.

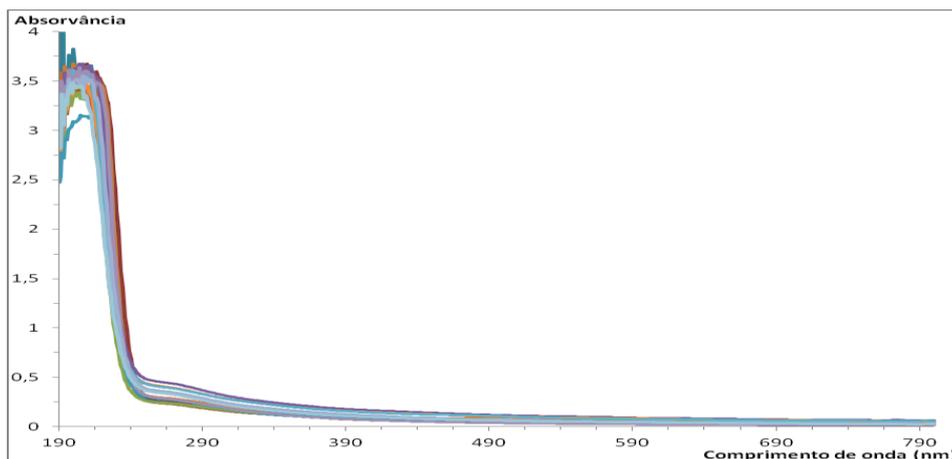


Figura 38- Espectros UV-Visível das amostras tal qual do SUV.

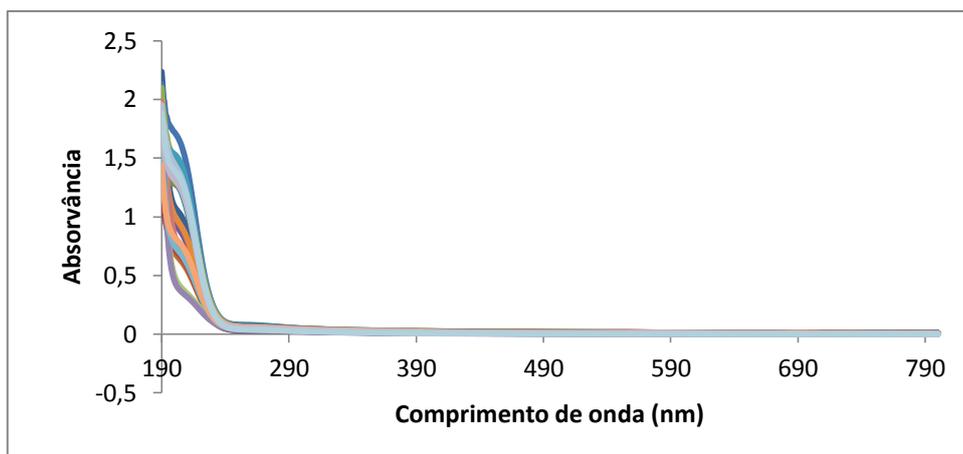


Figura 39- Espectros UV-Visível das amostras diluídas do SUV.

4.8.1 Teste à estabilidade das amostras

Como já foi mencionado no capítulo 3.4, entre 11 a 18 de Maio, realizaram-se leituras espectrofotométricas duas vezes por dia, uma logo após a colheita das amostras e outra passadas 4-5 horas após a colheita. A realização destas duas leituras foi apenas efectuada com as amostras dos tanques de arejamento, tal e qual, filtradas e diluídas. Com este procedimento pretendeu-se testar a estabilidade das amostras. Seguidamente apresentam-se alguns espectros obtidos.

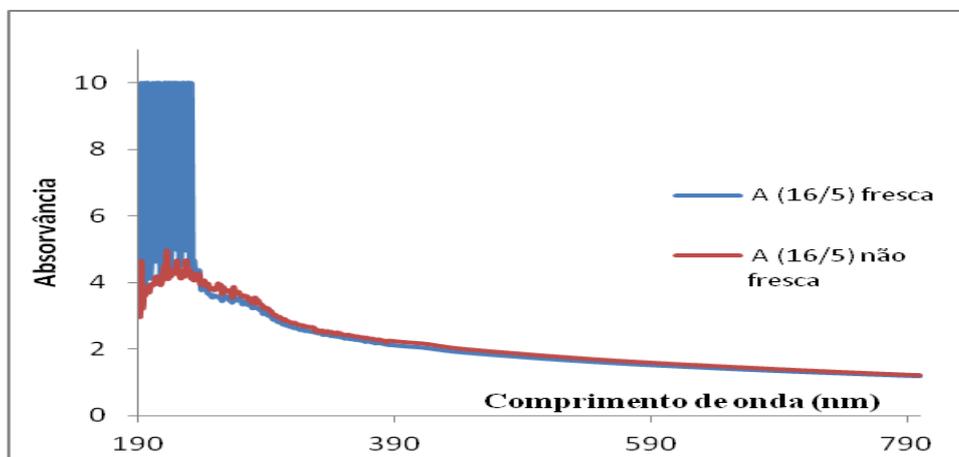


Figura 40- Comparação dos espectros UV-Visível obtidos com a amostra fresca e não fresca do TAM1 do dia 16 de Maio.

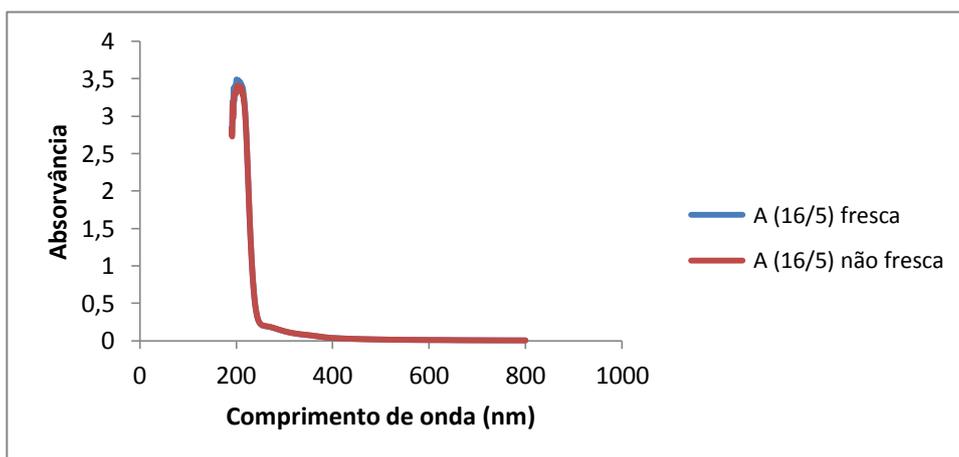


Figura 41- Comparação dos espectros UV-Visível obtidos com a amostra fresca e não fresca filtrada do TAM1 do dia 16 de Maio.

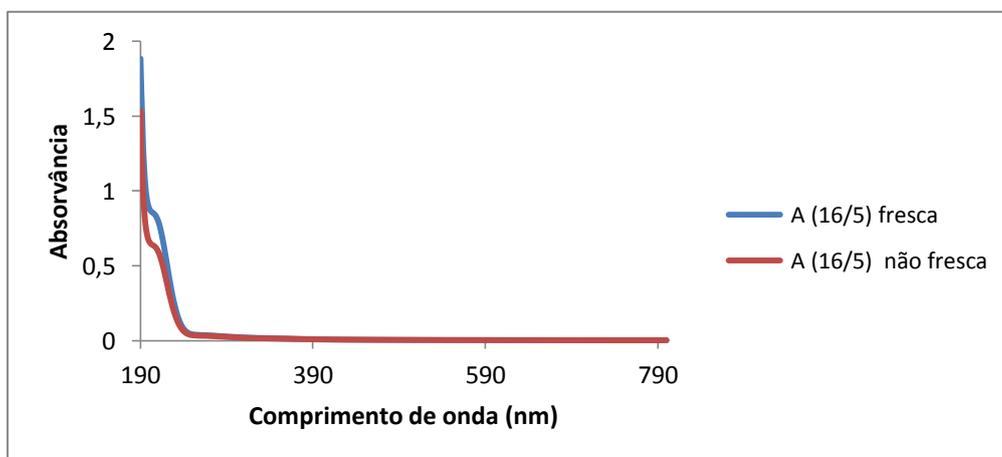


Figura 42- Comparação dos espectros UV-Visível obtidos com a amostra fresca e não fresca filtrada e diluída do TAM1 do dia 16 de Maio.

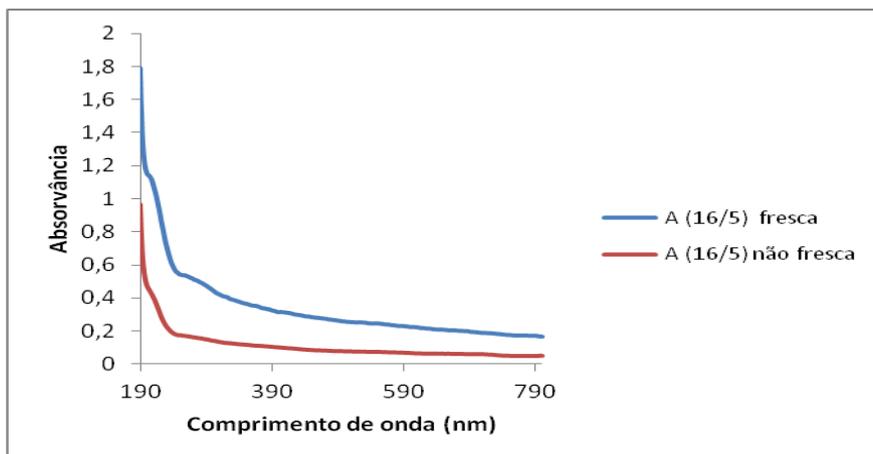


Figura 43- Comparação dos espectros UV-Visível obtidos com a amostra fresca e não fresca diluída do TAM1 do dia 16 de Maio.

Da análise das figuras 40-43 pode-se concluir que um espectro obtido a partir de uma amostra fresca é claramente distinto de um espectro obtido com uma amostra não fresca. Como se pode verificar, as amostras onde as diferenças são bem visíveis são as dos TAMs tal qual e as respectivas diluições. Nas amostras dos TAMs filtradas e nas respectivas diluições também se nota a diferença entre os espectros. No entanto, não são tão evidentes. As amostras dos TAMs têm um grande teor de sólidos em suspensão e de biomassa. Quando a amostra está fresca a maior parte das células presentes encontra-se intacta. No entanto, com o passar das horas, começam a ocorrer naturalmente fenómenos de lise celular, libertando-se o conteúdo celular. Começam também a ocorrer fenómenos de excreção, alguns deles induzidos pelo stress da biomassa à ausência de oxigénio. Este conteúdo possui inúmeras biomoléculas, tais como lípidos, proteínas, e outros compostos que vão também absorver radiação. Deste modo, se compreende que uma amostra não fresca tenha um espectro distinto de uma amostra fresca.

Após se terem detectado as diferenças mencionadas, passou-se a realizar as análises espectrofotométricas sempre de manhã com as amostras frescas trazidas pelos operadores. É de referir que na dissertação realizada no ano anterior nesta ETAR, foram obtidos também espectros das amostras dos TAMS tal qual e filtradas e de CEM, DPM e SUV [19]. Estes espectros foram compilados numa base de dados com o objectivo de serem utilizados nesta dissertação. No entanto, como os referidos espectros foram obtidos com amostras não frescas, decidiu-se não utilizar os mesmos. Eventualmente, as amostras filtradas poder-se-iam utilizar, uma vez que a parte não filtrada é onde se observam maioritariamente as diferenças, sendo a biomassa presente a principal responsável pelas diferenças observadas entre as amostras frescas e não frescas.

4.8.2 Análise de Componentes Principais (PCA)

A análise de componentes principais foi feita às seguintes amostras:

- Tanques de arejamento, amostras tal qual;
- Tanques de arejamento, amostras filtradas e diluídas;
- Tanques de arejamento, amostras diluídas;
- CEM;
- CEM, amostras diluídas;
- DPM;
- DPM, amostras diluídas;
- SUV;
- SUV, amostras diluídas.

Na realização da análise de componentes principais, obtêm-se fundamentalmente dois resultados: os *loadings* que consiste na distribuição espectral dos componentes principais a partir dos quais se conseguem obter todos os outros e o mapa de *scores*, onde espectros semelhantes aparecem como pontos agrupados e espectros completamente diferentes aparecem como pontos isolados. É de se referir que para a realização dos PCA dos TAMs tal qual, do CEM, DPM e SUV, uma vez que os espectros possuíam muito ruído na zona do ultravioleta, foram excluídos todos os comprimentos de onda inferiores a 385 nm (inclusivé). De modo a se obter o limite de confiança dos resultados foi utilizada análise estatística. É ainda de salientar que todos os pontos a vermelho estão fora do limite de confiança de 95%.

Seguidamente apresentam-se os *loadings* e os mapas de *score* mais relevantes.

4.8.2.1 PCA TAMs, amostras tal qual

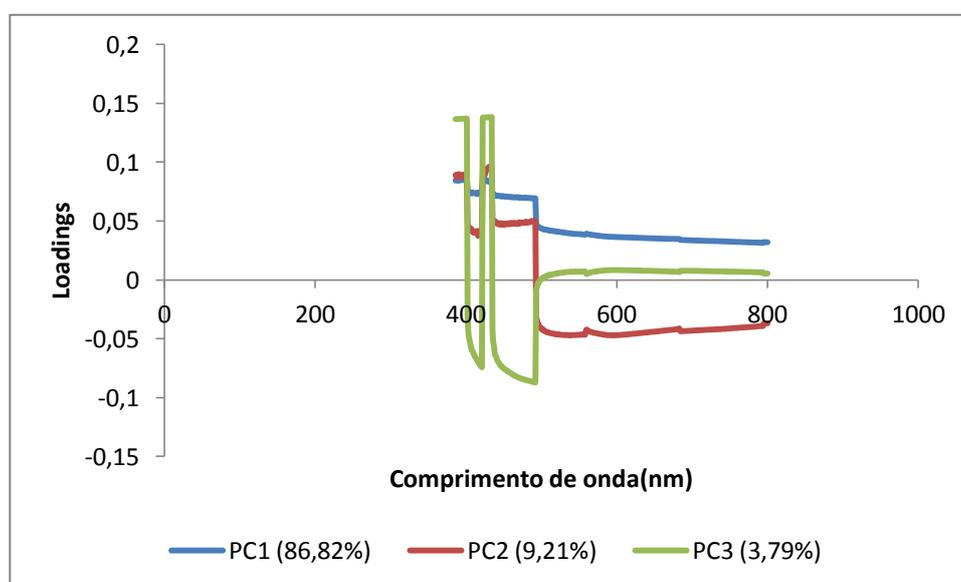


Figura 44- Componentes Principais obtidos no PCA efectuado com as amostras tal qual dos TAMs. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

O número de componentes principais retido no PCA com amostras tal qual dos TAMs foi 3. Pela análise dos loadings principais (figura 44) pode-se verificar que o PC1 e o PC2 estão relacionados principalmente com a quantidade de SST presente nas amostras. Quanto ao PC3 não é clara a sua influência, mas parece estar relacionada com a presença de matéria orgânica. No entanto, é de salientar que este componente representa uma percentagem muito baixa da variância total (3,79%), pelo que a sua contribuição para os espectros não é muito significativa.

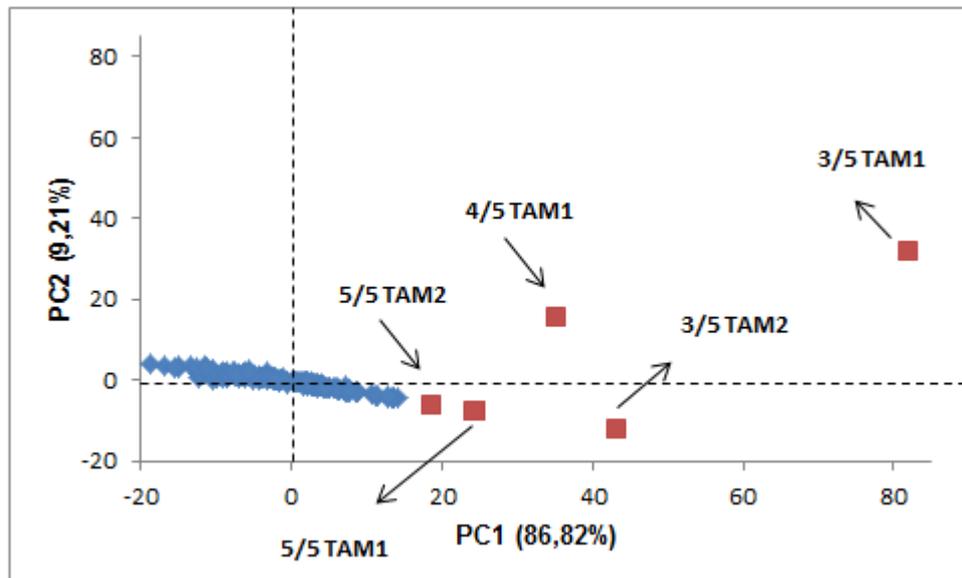


Figura 45- Mapa de Scores obtido no PCA efectuado com as amostras tal qual dos TAMs. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

Os mapas de scores, PC1 vs PC2 e PC1 vs PC3 dão exactamente o mesmo resultado em termos de amostras, pelo que só se apresenta um deles (figura 45). Os espectros que são considerados “outliers” correspondem aos dias 3/5 (TAM1 e 2), 4/5 (TAM1), 5/5 (TAM1 E TAM2) e 6/5 (TAM1 e 2). Verificando a representação gráfica de todos os espectros são visíveis dois completamente distintos de todos os outros (figura 46). Assim, retiraram-se estas duas amostras (3 e 4 /5 relativas ao TAM1) e voltou-se a realizar uma análise de componentes principais.

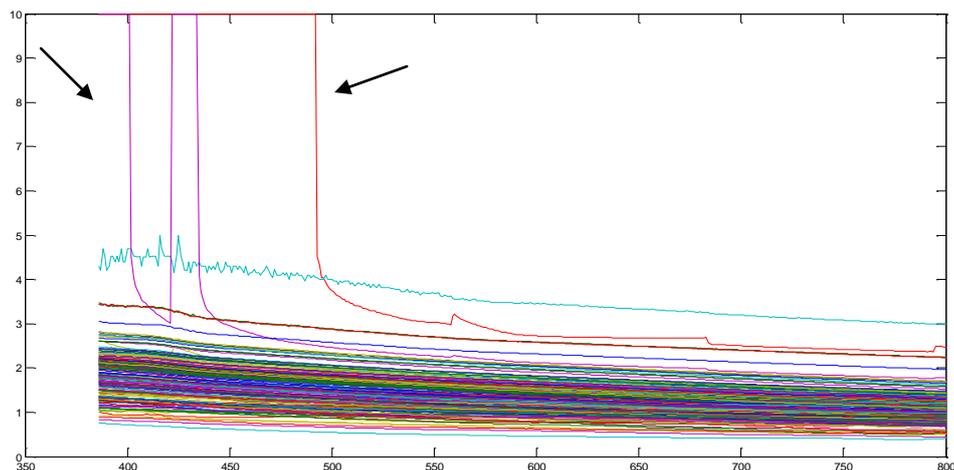


Figura 46- Espectros UV-Visível das amostras dos TAMs tal qual evidenciando dois completamente distintos (“outliers”).

4.8.2.2 PCA TAMs, (amostras tal qual) excluindo os “outliers”

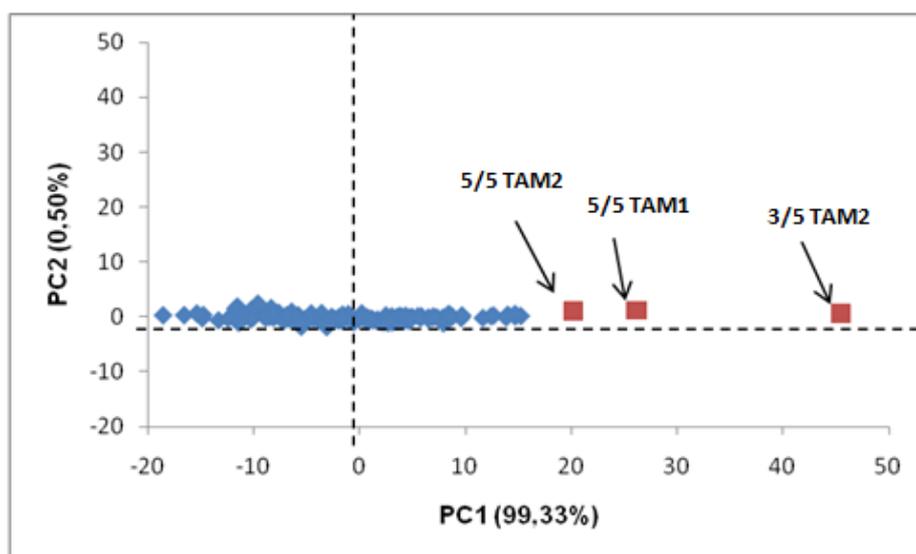


Figura 47- Mapa de Scores obtido no novo PCA efectuado com as amostras tal qual dos TAMs. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

No PCA efectuado excluindo “outliers”, a maior parte da variância existente encontra-se representada pelo PC1 (figura 47). Neste novo mapa de scores identificam-se como distintas as amostras relativas aos dias 3/5 (TAM2), 5/5 (TAMS 1 e 2) e 6/5 (TAMS 1 e 2). Os SST obtidos nestes dias foram os da tabela 11:

Tabela 11- Valores de SST obtidos em amostras dos TAMs, nos dias 3, 5 e 6 de Maio.

Dia	TAM	SST (mg/L)
3/5	2	1400
5/5	1	1200
5/5	2	1300
6/5	1	1100
6/5	2	1100

Embora nos dias mencionados, os valores de SST tenham sido mais elevados do que na maioria dos dias, também houve outros dias em que se obtiveram valores da mesma ordem de grandeza ou até superiores e que não foram identificados como distintos no PCA. Conclui-se desta forma que as diferenças observadas não se devem somente à quantidade de SST mas também à qualidade dos mesmos. Nos dias referidos, havia o problema de só estar a funcionar um espessador, que estava virado e de as lammas estarem a retornar à cabeça do processo. No entanto na maior parte do trabalho só esteve a funcionar um espessador, tendo o segundo espessador começado a funcionar apenas a 2 de Agosto. É de referir também que o espessador virou a 11 de Abril e o problema só foi resolvido a 16 de Maio, para além de ter havido outras alturas em que o espessador estava virado e as lammas estavam à cabeça (Capítulo 7.3). Assim, não se pode concluir igualmente que a anormalidade dos espectros mencionados se deva exclusivamente a estes problemas. Relativamente à espuma presente nos TAMs nesses dias, era pouca e branca acastanhada e a bactéria filamentosa predominante era a *021N*. Este padrão esteve presente noutros dias, sobretudo no restante mês de Maio mas não foram identificadas mais anormalidades nos espectros nesse mês. Em relação às contagens de protozoários estas só tiveram início no mês de Junho, pelo que não se pode tirar quaisquer conclusões.

Seguidamente foi realizado um novo PCA às amostras dos TAMs excluindo os cinco espectros mencionados na tabela 11. No entanto, este novo PCA não permitiu detectar outros espectros distintos.

4.8.2.3 PCA TAMs, (amostras tal qual), com pré-processamento SNV

De modo a anular o efeito da dispersão da luz, foram feitos outros dois PCAs utilizando como pré-processamento para além do *mean-center*, o SNV e o MSC, respectivamente. Ambos os PCAs deram resultados muito semelhantes, pelo que só se apresentam os obtidos com o pré-processamento SNV.

O número de componentes principais seleccionados neste PCA foi de 6. No entanto, só se apresentam os resultados dos três primeiros componentes, dado serem os mais relevantes.

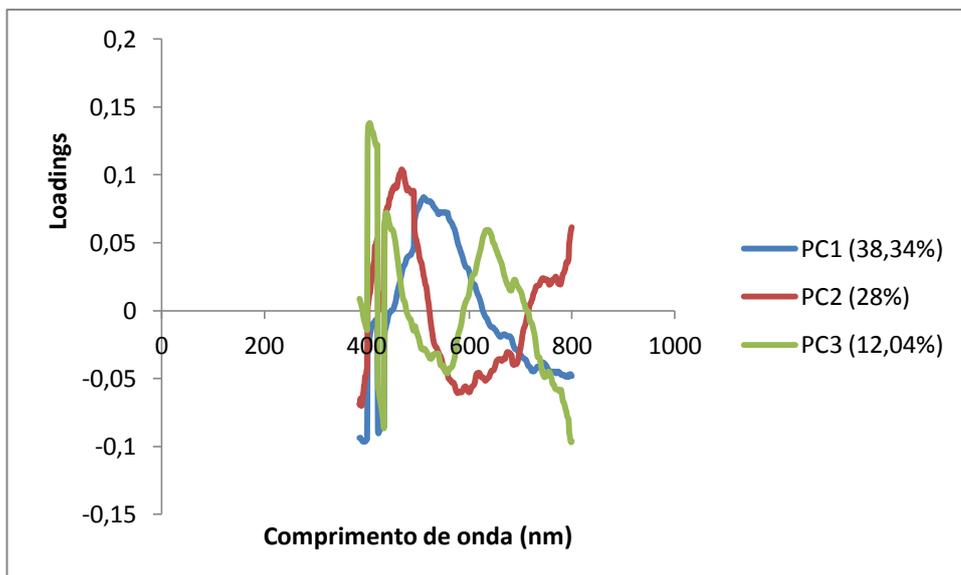


Figura 48- Componentes Principais obtidos no PCA com SNV efectuado com as amostras tal qual dos TAMs. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

Com a aplicação deste pré-processamento, os *loadings* obtidos (figura 48) são mais pormenorizados no que diz respeito à forma do espectro, uma vez que o efeito de dispersão da luz é anulado. A influência destes PC's, encontra-se relacionada quer com a presença de SST quer com a de matéria orgânica dissolvida, não sendo clara a individualização das duas influências nos três PCs.

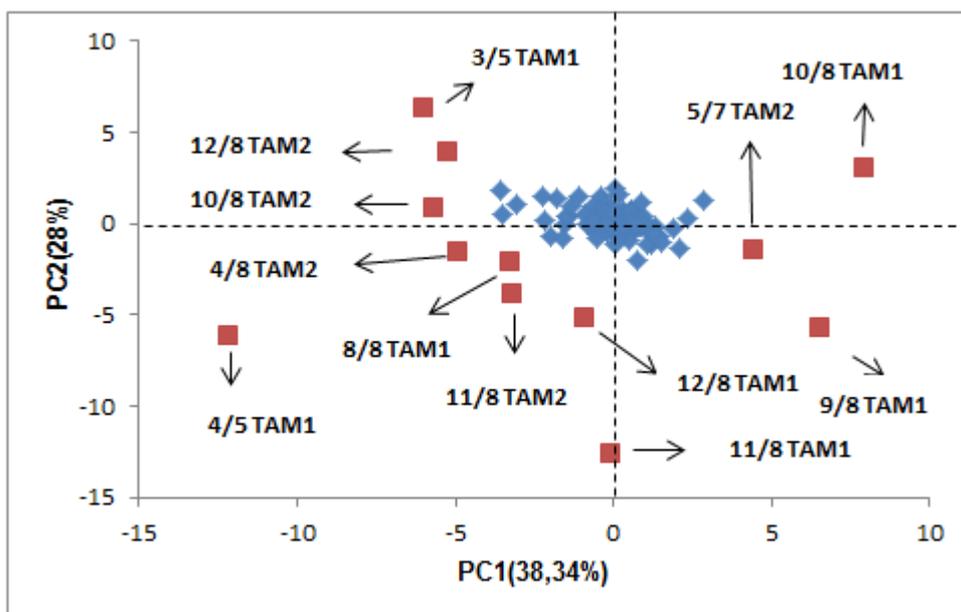


Figura 49- Mapa de Scores obtido no PCA com SNV efectuado com as amostras tal qual dos TAMs. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

Com este novo PCA, foi possível a identificação de mais espectros distintos. Identificou-se novamente os espectros dos dias 3/5 e 4/5, ambos relativos ao TAM1 e dos dias 5/7 (TAM2), 4/8 (TAM2), 8/8 (TAM1), 9/8 (TAM1), 10/8 (TAM 1 e 2), 11/8 (TAM1 e 2) e 12/8 (TAM 1 e 2). No dia 5/7 a entrada da estação encontrava-se negra e os decantadores secundários tinham lama à superfície. Havia muita espuma castanha, as bactérias filamentosas predominantes foram a *Nocardia* e a 1863 e relativamente aos protozoários havia *Vorticellas microstoma* e *Opercularia* em quantidade considerável. No dia 4/8, a recirculação das lamas e a extração estiveram paradas, tendo esse facto aparentemente contribuído para a identificação deste espectro como distinto. Relativamente ao dia 8/8 não se observou a ocorrência de nada que justificasse essa distinção. Do dia 9 ao dia 12 de Agosto, os tanques de arejamento possuíam pouca espuma branca e as bactérias filamentosas foram essencialmente a 1863 e a *Nostocoida I*. Quanto aos protozoários as espécies dominantes foram o *Carchesium*, as *Vorticellas* e as *Arcellas* (a sua abundância diminuiu de 9 a 12 de Agosto). É de se referir que no dia 9, as pontes raspadoras do decantador primário nº3 e do decantador secundário nº2 avariaram. A do decantador primário foi logo arranjada nesse dia. No entanto, a do decantador secundário teve uma avaria mais grave, tendo sido este decantador substituído pelo decantador secundário nº4. Muito provavelmente estas avarias tiveram repercussões nos tanques de arejamento, possivelmente originando as diferenças identificadas nos espectros desses dias.

4.8.2.4 PCA amostras filtradas e diluídas dos TAMs

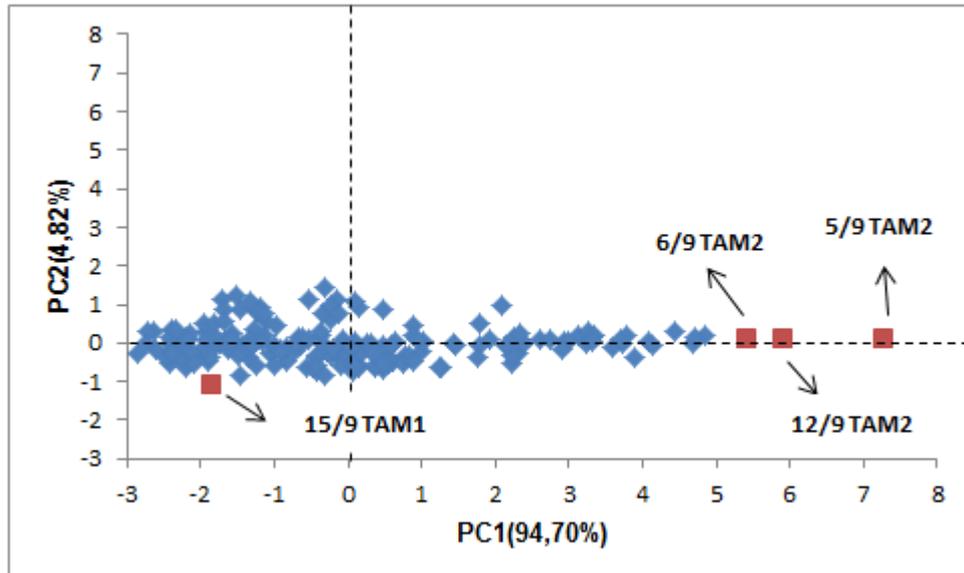


Figura 50- Mapa de Scores obtido no PCA efectuado com as amostras filtradas e diluídas dos TAMs. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

Analisando o mapa de scores da análise PCA com espectros das amostras filtradas e diluídas dos TAMs (figura 50), verifica-se que os dias 5/9 (TAM2 diluição 1:10), 6/9 (TAM2 diluição 1:30), 12/9

(TAM2 diluição 1:30) e 15/9 (TAM1 diluição 1:10) foram os espectros identificados como distintos. É de referir que a maior parte da variância existente nos espectros é representada no PC1. Nos dias 5 e 6 de Setembro, os decantadores secundários estavam com lama à superfície e odores desagradáveis e no dia 6 a bomba de remoção de lamas em excesso estava desligada. Tais factos poderiam ter tido repercursões nas amostras. Relativamente à espuma presente nos tanques, esta era pouca e castanha e as bactérias filamentosas presentes eram a *Nocardia*, 1863 e *Nostocoida I*. No entanto este padrão esteve presente noutros dias mas não foram identificadas mais anormalidades nos espectros. Em relação aos protozoários, no dia 5 houve uma quantidade considerável de *Carchesium*. Notou-se também a presença de *Vorticellas* e de *Arcellas* em ambos os dias. No entanto, os valores obtidos não justificam as diferenças observadas. No dia 12 de Setembro não houve drenados provenientes da centrífuga e no dia 15 ocorreram problemas na bomba de um dos digestores. Tais factos poderiam ter eventualmente causado as diferenças notadas nos espectros. A quantidade de espuma presente nesta altura era baixa e as bactérias filamentosas eram a *Nocardia*, 1863 e a *Nostocoida I*. Do mesmo modo, este padrão esteve presente noutras alturas que não foram identificadas como anómalas na análise PCA. Em relação aos protozoários estavam presentes maioritariamente *Vorticellas* e *Arcellas* mas os valores não justificam as diferenças espectrais.

Posteriormente foi realizado um novo PCA apenas com as amostras dos TAMs filtradas diluídas de um factor de 1:10, excluindo as diluídas de um factor de 1:30. Este PCA apenas possibilitou a identificação de mais dois espectros anómalos: 7/9 (TAM1) e 13/9 (TAM1), pelo que não é apresentado. No dia 7 de Setembro, os decantadores primários estavam negros e os decantadores secundários tinham lama à superfície. No dia 13 não houve drenados provenientes da centrífuga.

4.8.2.5 PCA amostras tal qual diluídas dos TAMs

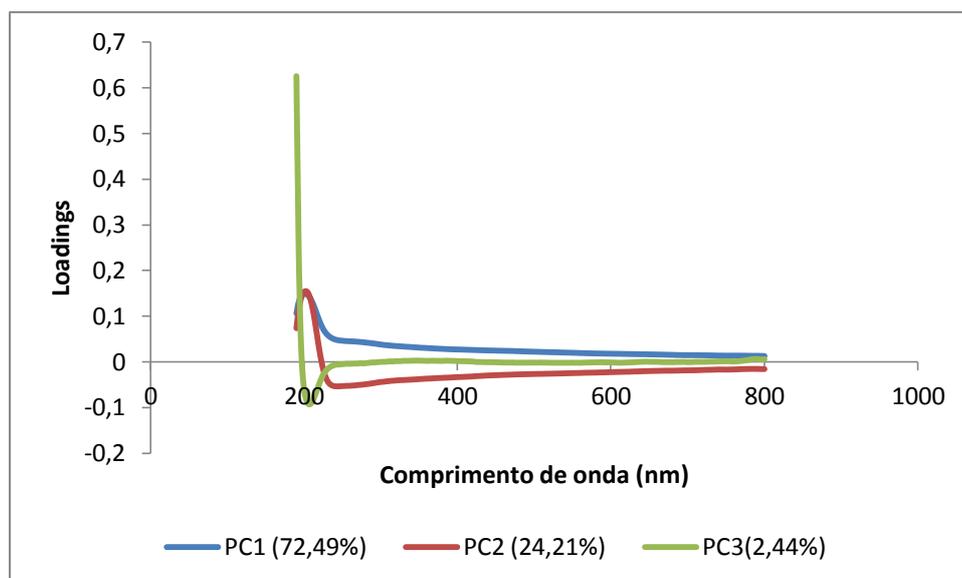


Figura 51- Componentes Principais obtidos no PCA efectuado com as amostras diluídas tal qual dos TAMs. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

Pela análise dos loadings dos componentes principais (figura 51) pode-se verificar que os todos os componentes principais estão relacionados quer com a quantidade de SST presente nas amostras quer com a matéria orgânica dissolvida.

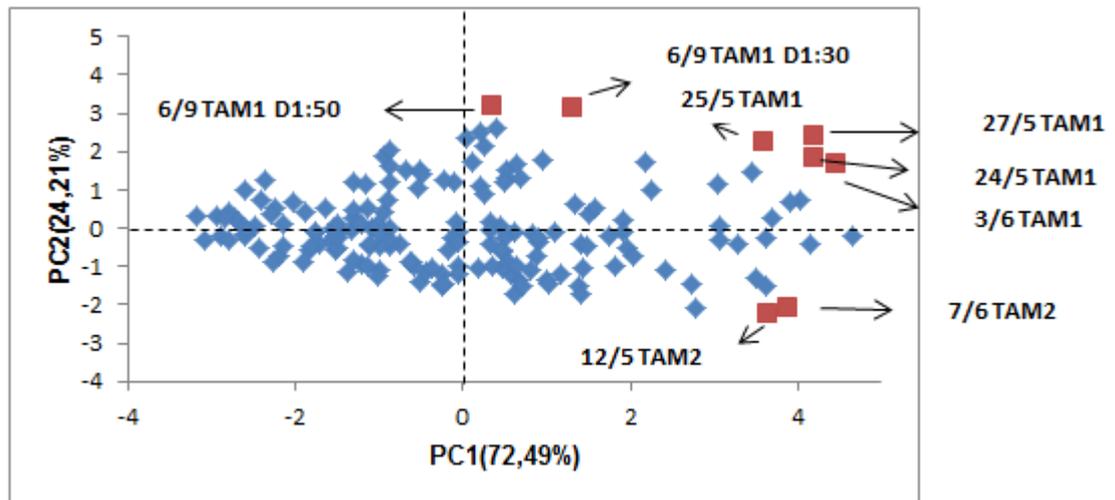


Figura 52- Mapa de Scores PC1 vs PC2 obtido no PCA efectuado com as amostras diluídas dos TAMs tal qual. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

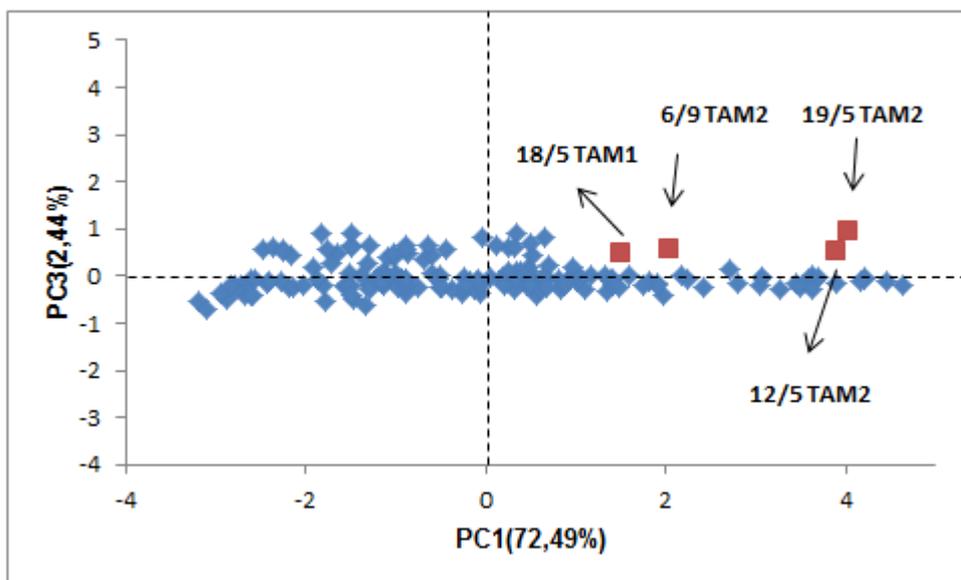


Figura 53- Mapa de Scores PC1 vs PC3 obtido no PCA efectuado com as amostras diluídas dos TAMs tal qual. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

O número de componentes principais usado neste PCA foi de 3. Analisando os dois mapas de scores (figuras 52 e 53) verifica-se que o obtido com o PC1 e o PC2 permite identificar uma maior quantidade de espectros distintos. Se bem que em nenhum dos mapas, estes sejam muito evidentes. Com o primeiro mapa foram identificados os dias 12/5 (TAM2 diluição 1:30), 24/5 (TAM1 diluição 1:30), 25/5 (TAM1 diluição 1:30), 27/5 (TAM1 diluição 1:30), 3/6 (TAM1 diluição 1:30), 7/6 (TAM2 diluição 1:30) e 6/9 (TAM1 diluições 1:30 e 1:50). No dia 12 de Maio, havia o problema de só estar a funcionar um espessador, que estava virado e de as lamas estarem à cabeça do processo. No entanto, na maior parte do trabalho só esteve a funcionar um espessador. Nos dias 24, 25 e 27 de Maio os decantadores secundários estavam com lama à superfície e no dia 25 houve a paragem do sistema de adição de reagentes, excepto o de cal. Tais factos poderiam ter tido repercussões nas amostras. Relativamente à espuma, não havia uma quantidade considerável da mesma. As bactérias filamentosas presentes eram a *Nocardia*, 1863, 021 N e *Nostocoida I*. No dia 2 de Junho houve um problema com a desidratação que pode ter provocado algum efeito na amostra do dia 3. No dia 7 de Junho, as amostras microbiológicas SUV, EUV e ART foram anuladas pelo LABAR devido a estarem em muito mau estado. Estava presente alguma espuma castanha nos TAMs e as bactérias filamentosas dominantes eram a *Nocardia* e a *Nostocoida I*. Em relação aos protozoários verificou-se uma grande quantidade de móveis de fundo e uma quantidade considerável de *Carchesium*. Tais factos possivelmente foram responsáveis pelas diferenças visíveis neste dia. Relativamente ao dia 6/9, os decantadores secundários estavam com lama à superfície e odores desagradáveis e a bomba de remoção de lamas em excesso estava desligada. Tais factos poderiam ter tido alguma influência nas amostras. Relativamente à espuma presente no tanque, esta era pouca e castanha e as bactérias filamentosas presentes eram a *Nocardia*, 1863 e *Nostocoida I*. Este padrão esteve presente noutros dias mas não foram identificadas mais anormalidades nos espectros. Em relação aos protozoários estavam presentes maioritariamente *Vorticellas* e *Arcellas* mas os valores não justificam as diferenças.

Relativamente ao mapa de scores PC1 vs PC3 foram identificados os dias 12/5 (TAM2 diluição 1:30), 18/5 (TAM1 diluição 1:30), 19/5 (TAM1 diluição 1:30) e 6/9 (TAM2 diluição 1:30). Nos dias 18 e 19 de Maio os decantadores secundários estavam cobertos de lama à superfície. Este facto poderá ter provocado as diferenças observadas.

É de se referir que foi realizado outro PCA com as amostras dos TAMs diluídas apenas de um factor de 1:30, tendo-se excluído as diluídas de um factor de 1:50. No entanto, não se identificaram mais nenhuns espectros anómalos para além dos já mencionados.

De modo a tentar identificar mais alguns espectros anómalos das amostras diluídas dos TAMs realizaram-se dois PCAs aplicando um pré-processamento derivativo de 1ª e de 2ª ordem, (antes do pré-processamento *mean center*). O PCA realizado com o pré-processamento derivativo de 1ª ordem apenas permitiu identificar mais três espectros anómalos: 1/6 (TAM1) e 3/8 (TAMs 1 e 2). No entanto, nestes dias não se observou a ocorrência de nada que justificasse a identificação destes espectros como distintos. Por sua vez o PCA feito com o pré-processamento derivativo de 2ª ordem não permitiu identificar mais nenhum espectro anómalo.

4.8.2.6 PCA CEMs (amostras tal qual)

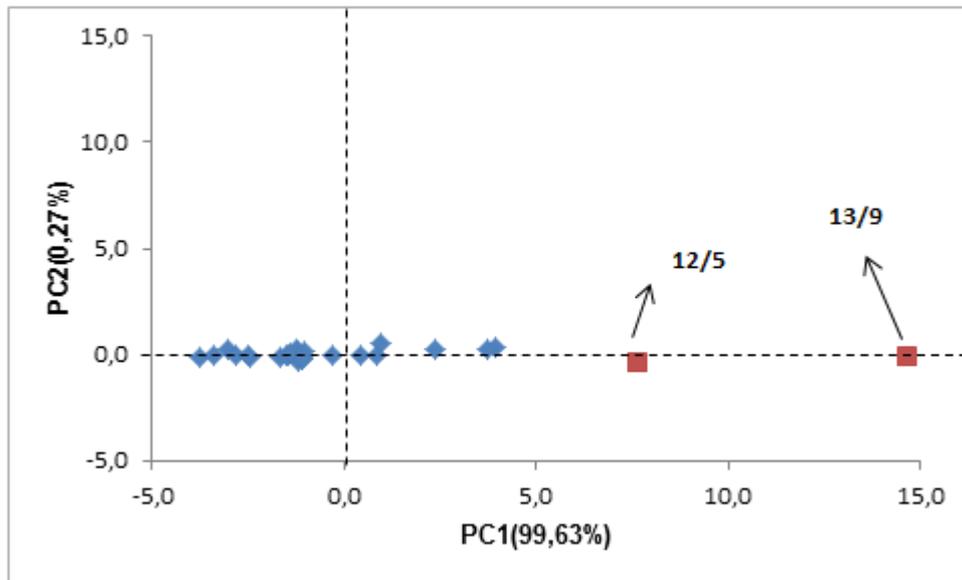


Figura 54- Mapa de Scores obtido no PCA efectuado com as amostras tal qual do ponto CEM. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

A principal fonte de variância na análise com espectros de amostras tal qual do ponto CEM, encontra-se representada essencialmente no PC1. Neste mapa de scores (figura 54) identificam-se apenas dois espectros, os dos dias 12 de Maio e 13 de Setembro. A influência preponderante dos SST nestas amostras não permite identificar mais nenhum espectro distinto. Ao efectuar-se diluição destas amostras é possível atenuar o efeito dos SST e conseguir uma melhor identificação dos espectros.

4.8.2.7 PCA CEMs (amostras diluídas)

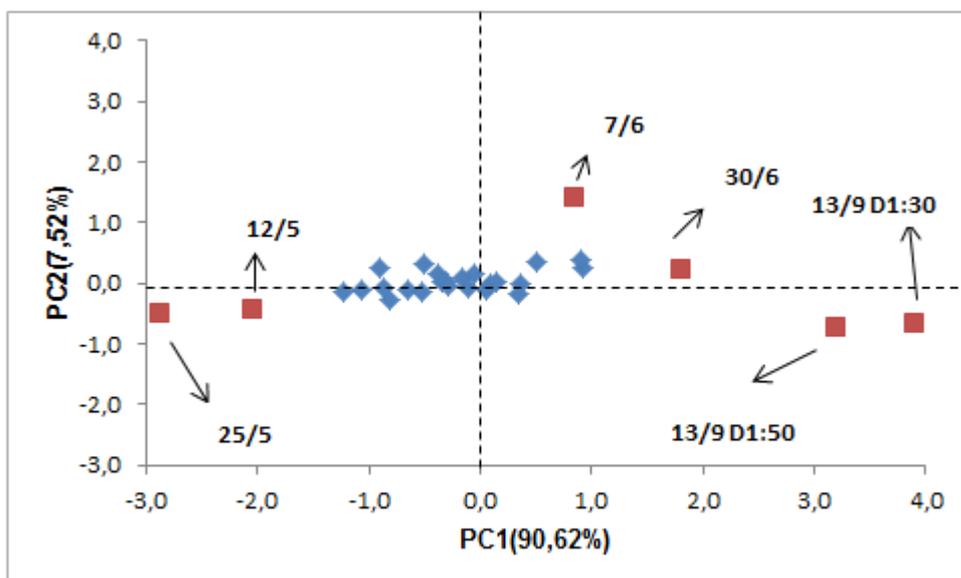


Figura 55- Mapa de Scores obtido no PCA efectuado com as amostras diluídas do ponto CEM. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

Primeiramente é de salientar que os espectros já identificados como anómalos no PCA com as amostras do ponto CEM tal qual foram novamente identificados no PCA com amostras diluídas do ponto CEM e que como foi mencionado a atenuação do efeito dos SST permitiu identificar mais espectros distintos (figuras 54 e 55).

Neste PCA foram seleccionados três componentes principais. Como os dois mapas de scores obtidos permitiram identificar exactamente os mesmos espectros, apenas se apresenta o mapa PC1 vs PC2 (figura 55). Os espectros identificados como anómalos foram 12/5, 25/5, 7/6, 30/6, todos de diluição 1:30 e 13/9 (diluições 1:30 e 1:50). Os dias 12 e 25 de Maio e 7 de Junho também foram identificados no PCA realizado com as amostras diluídas dos TAMs. Assim conclui-se que a detecção destes últimos espectros como anómalos acompanhada por anomalias também nos espectros de amostras colhidas já eram observadas no canal de entrada da estação, pelo que as mesmas poderão dever-se à presença de qualquer componente/contaminante distinto no esgoto ou a alguma alteração no CEM provocada por algum problema na ETAR (por exemplo, lamas à cabeça dos decantadores). No dia 13 de Setembro, não houve drenados provenientes das centrífugas. Tal facto poderá ter tido repercussões nas amostras.

4.8.2.8 PCA CEMs (amostras tal qual) com pré-processamento SNV

Realizou-se outro PCA com as amostras do ponto CEM (tal qual) mas aplicando, para além do pré-processamento *mean center*, um pré-processamento de SNV. Esta análise foi feita com seis componentes principais. No entanto, apenas se apresentam os mapas de scores de PC1 vs PC2 e PC1 vs PC3 (figuras 56 e 57).

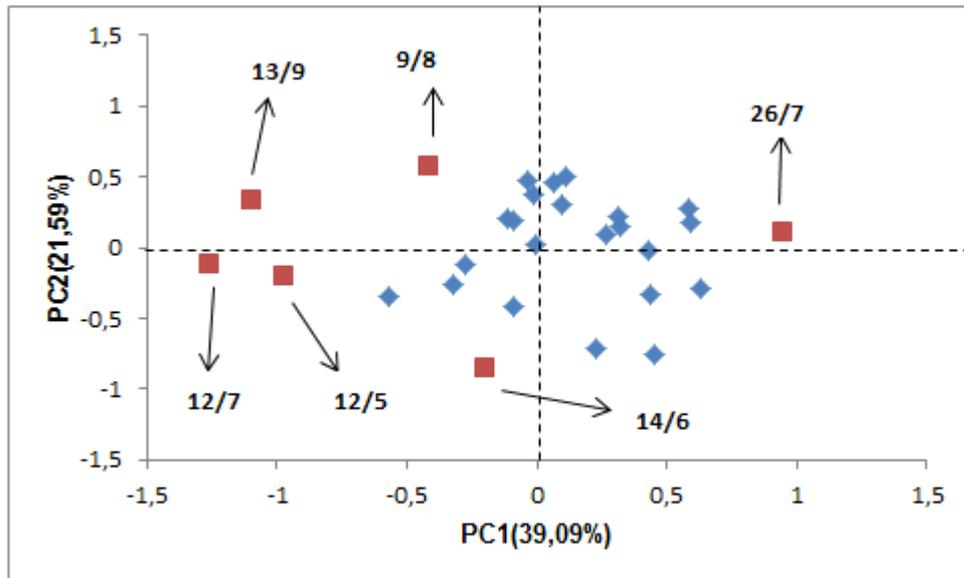


Figura 56- Mapa de Scores PC1 vs PC2 obtido no PCA com pré-processamento SNV efectuado com as amostras tal qual do ponto CEM. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

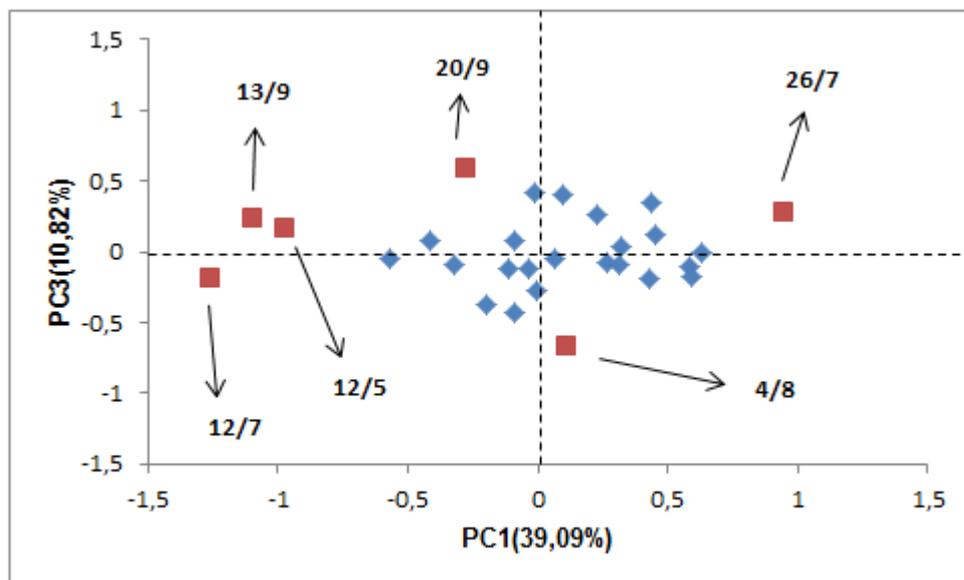


Figura 57- Mapa de Scores PC1 vs PC3 obtido no PCA com pré-processamento SNV efectuado com as amostras tal qual do ponto CEM. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

O primeiro mapa permitiu identificar como distintos os espectros dos dias 12/5, 14/6, 12/7, 26/7, 9/8 e 13/9. Os dias 12/7 e 13/9 já tinham sido identificados anteriormente no PCA realizado às amostras do ponto CEM diluídas. No dia 14 de Junho, não se detectou nada que justificasse a identificação deste espectro como anómalo. Nos dias 12 e 26 de Julho o espessador encontrava-se virado e a entrada estava negra. Este facto poderá ser responsável pelas diferenças observadas. No dia 4 de Agosto, a

recirculação e a extração de lamas estavam paradas. No dia 9/8 ocorreu a avaria com as pontes raspadoras do decantador secundário nº2 e do primário nº3. No dia 19/9, a fase sólida de tratamento esteve parada devido a trabalhos de manutenção. É de referir que o PCA elaborado com pré-processamento SNV permitiu identificar um maior número de espectros do que o PCA efectuado somente com um pré-processamento *mean center*.

4.8.2.9 PCA DPMs (amostras diluídas)

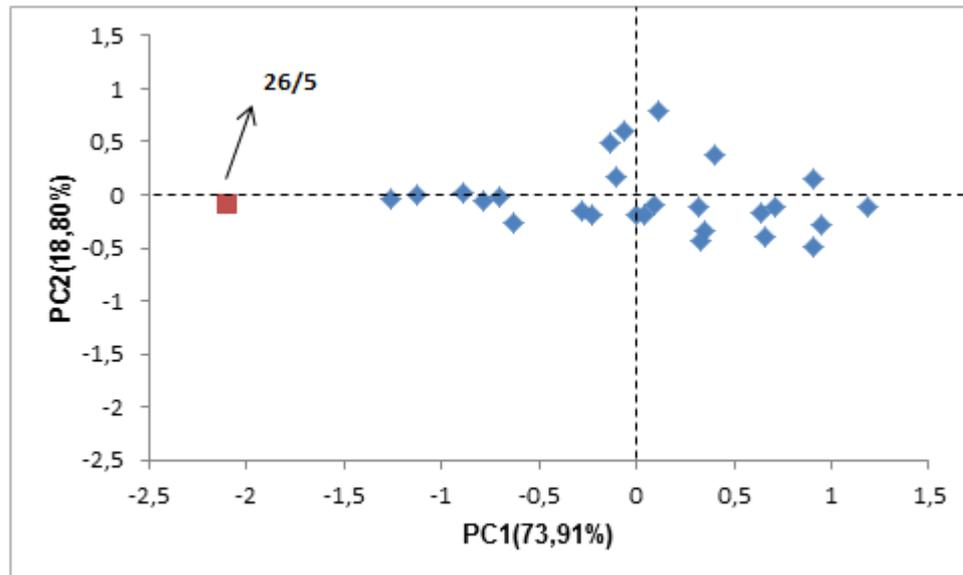


Figura 58- Mapa de Scores obtido no PCA efectuado com as amostras diluídas do ponto DPM. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

Com a realização da análise PCA a espectros de amostras diluídas do ponto DPM, apenas foi possível identificar um espectro claramente distinto dos outros, o relativo ao dia 26 de Maio (figura 58). Neste dia, os decantadores secundários estavam cobertos de lama à superfície. Relativamente aos decantadores primários estes estavam normais. Não foram identificadas anormalidades na entrada, nem ao nível dos tanques nem à saída (lâmpadas UV), pelo que não se pode tirar quaisquer conclusões da identificação deste espectro como anómalo.

4.8.2.10 PCA DPMs (amostras tal qual)

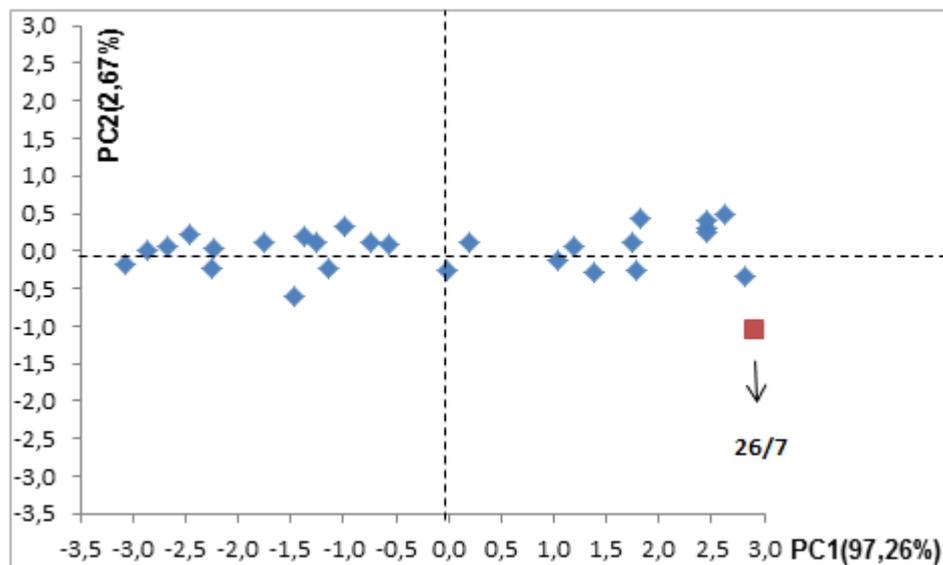


Figura 59- Mapa de scores obtido no PCA efectuado com as amostras tal qual do ponto DPM. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

Na análise PCA a espectros de amostras tal qual do ponto DPM, também só se identificou um espectro distinto (figura 59) mas ao contrário do que seria de esperar não coincide com o identificado no PCA realizado a amostras diluídas do ponto DPM. Foi identificado o espectro relativo ao dia 26 de Julho. Neste dia, a entrada, os desarenadores/desengorduradores e os decantadores primários estavam negros. O PCA realizado com amostras do ponto CEM permitiu igualmente identificar este dia como anormal. Não havia uma grande quantidade de espuma nos tanques de arejamento. As bactérias filamentosas presentes eram a *Nocardia*, a *Nostocoida I* e a 1863. Relativamente aos protozoários detectou-se uma grande quantidade de *Arcellas* neste dia. É de se notar que em quase todo o mês de Julho os decantadores primários estiveram fora da normalidade sobretudo no que diz respeito à sua cor mais escura. Através das contagens, detectou-se que a partir do dia 22 de Julho e até meio de Agosto o número de *Arcellas* permaneceu bastante elevado. Considerando que a quantidade de *Arcellas* começou a aumentar já depois de os decantadores primários estarem negros, e não em simultâneo, e estes valores terem permanecido altos, mesmo após os decantadores terem voltado ao normal, poderá levar a concluir que pode ou não existir alguma correlação entre estes dados. No entanto é importante referir, pela experiência adquirida ao longo deste trabalho, que qualquer alteração, positiva ou negativa que se verifique no processo num dado dia, só bem mais tarde é que manifesta qualquer repercussão ao nível dos tanques de arejamento. O aparecimento desta espécie (*Arcella*) está relacionado com a presença de baixas cargas, idade das lamas elevadas e presença de iões como o ferro. Desde o dia 1 de Julho e até ao meio desse mês, a carga orgânica na entrada da estação esteve mais baixa do que o normal, rondando os 450-500 mgO₂ / L em CQO. É de salientar que devido ao funcionamento de somente um espessador em vez de dois, durante um período demasiado prolongado, e o facto de serem extraídas as lamas menos frequentemente,

contribuiu para que a idade das lamas tenha gradualmente aumentado. O facto de a entrada e os decantadores primários estarem negros indica igualmente a presença de iões de ferro que acompanham a presença de microrganismos anaeróbios que reduzem sulfatos, originando sulfuretos de ferro. Todos os factores em conjunto poderão ter potenciado o aparecimento e as quantidades extremamente elevadas de *Arcella* observadas nesta altura. É importante referir que existe sempre um atraso no tempo no impacto de fenómenos ao longo da linha de tratamento. Apesar de as cargas terem estado mais baixas no início de Julho e até meio do mês, as repercussões no sistema biológico só se manifestam mais tarde.

4.8.2.11 PCA DPMs (amostras tal qual) com pré-processamento SNV

Posteriormente foi elaborado um outro PCA com as amostras do ponto DPM recorrendo para além do pré-processamento *mean center* ao pré-processamento SNV. Este PCA foi feito com 6 componentes principais. No entanto, só se apresentam os mapas de score obtidos com os 3 primeiros componentes (figuras 60 e 61).

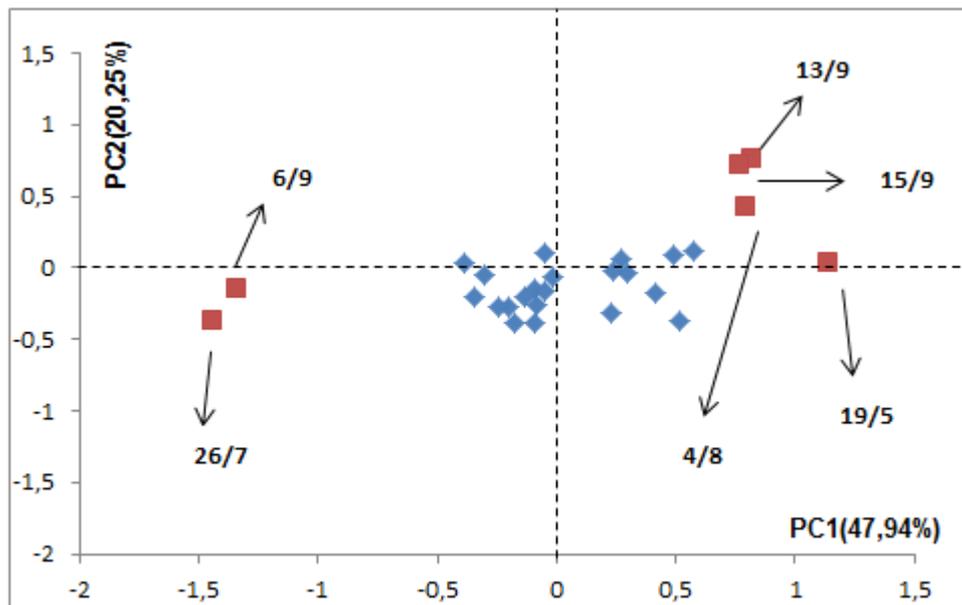


Figura 60- Mapa de Scores PC1 vs PC2 obtido no PCA com pré-processamento SNV efectuado com as amostras tal qual do ponto DPM. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

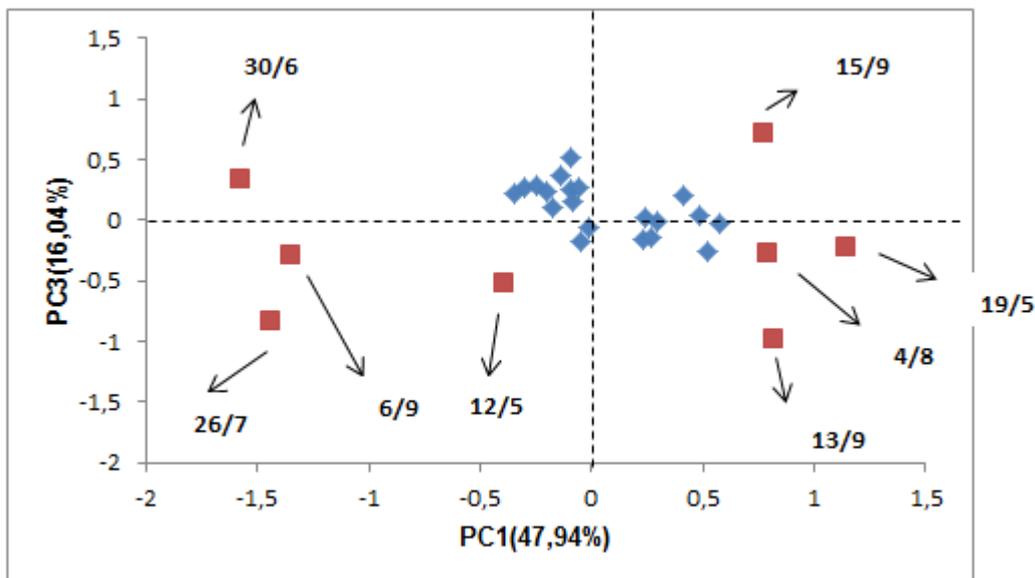


Figura 61- Mapa de Scores PC1 vs PC3 obtido no novo PCA efectuado com as amostras tal qual do ponto DPM. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

O mapa PC1 vs PC2 permitiu identificar como anómalos os dias 19/5, 26/7, 4/8, 6/9, 13/9 e 15/9. O dia 19/5 tinha já sido identificado no PCA efectuado a amostras diluídas dos TAMs. A identificação deste dia novamente permite concluir que já nos decantadores primários se notavam alterações neste dia. O dia 4/8 tinha já sido identificado no PCA realizado a amostras dos TAMs, permitindo concluir que as alterações verificadas neste dia foram acompanhadas de anomalias ao nível dos decantadores primários. O dia 6/9 foi anteriormente identificado nos PCAs realizados a amostras filtradas e diluídas dos TAMs e a amostra diluídas dos TAMs e o dia 15/9 foi identificado no PCA efectuado a amostras filtradas e diluídas dos TAMs. Nestes dias, as alterações observadas foram acompanhadas por anomalias ao nível dos decantadores primários. O dia 13/9 para além de também ter sido identificado no PCA realizado com as amostras filtradas e diluídas dos TAMs foi também identificado no PCA efectuado às amostras do ponto CEM e de amostras diluídas do ponto CEM, o que permite concluir que se notaram anomalias no mesmo dia no ponto DPM, nos TAMs e na entrada da estação. Estas alterações poderão estar relacionadas com o facto de não ter havido drenados provenientes da centrifuga neste dia.

Por sua vez o mapa de scores PC1 vs PC3 desta mesma análise PCA, para além dos dias já mencionados permitiu identificar como anómalos ainda os dias 12/5 e 30/6. Ambos estes dias foram também identificados no PCA feito com as amostras do ponto CEM, pelo que se conclui que já na entrada eram notadas as anomalias.

4.8.2.12 PCA SUVs tal qual

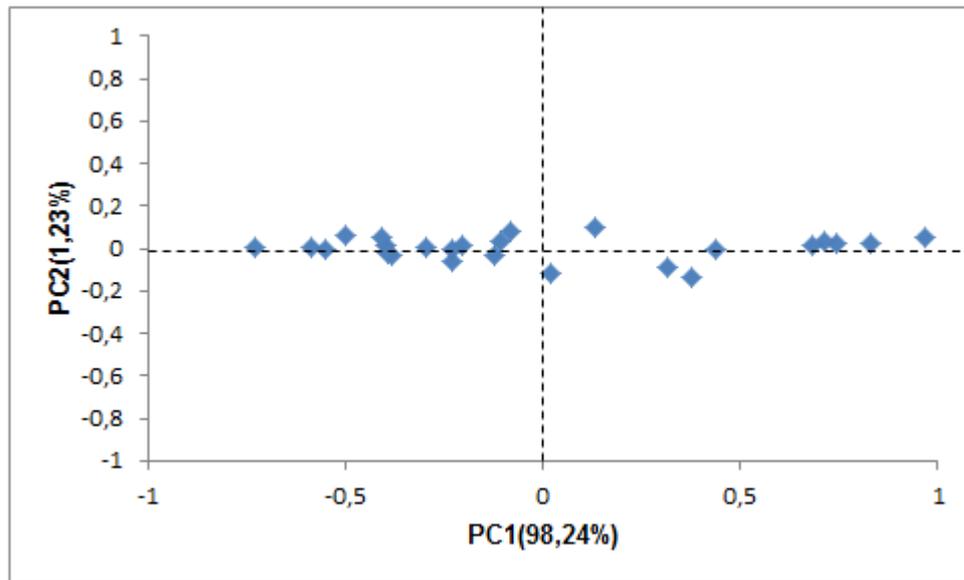


Figura 62- Mapa de scores obtido no PCA efectuado com as amostras tal qual de SUV. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

Através da realização da análise PCA a amostras tal qual do ponto SUV não se conseguiu identificar nenhum espectro fora do limite de confiança a 95% (figura 62). A variância presente é principalmente capturada pelo PC1.

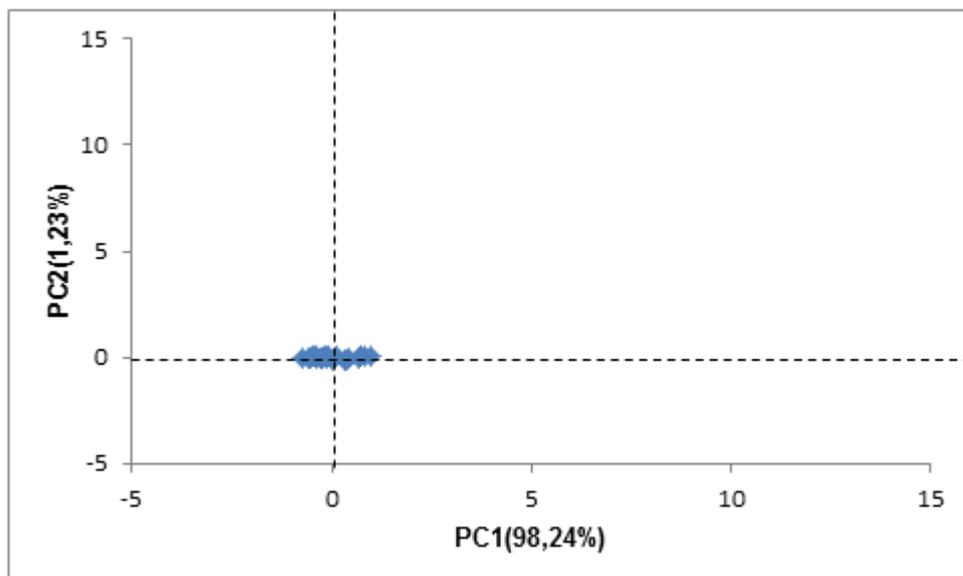


Figura 63- Mapa de Scores obtido no PCA efectuado com as amostras tal qual do ponto SUV (escala idêntica à do PCA efectuado com amostras do ponto CEM). São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

No entanto, comparando as amostras da entrada (figura 60) com as da saída (figura 63) (é importante serem representadas na mesma escala), nota-se que na entrada há uma maior variabilidade de qualidade espectral do que na saída, o que permite concluir que a ETAR, de um modo geral funciona correctamente.

4.8.2.13 PCA SUVs (amostras diluídas)

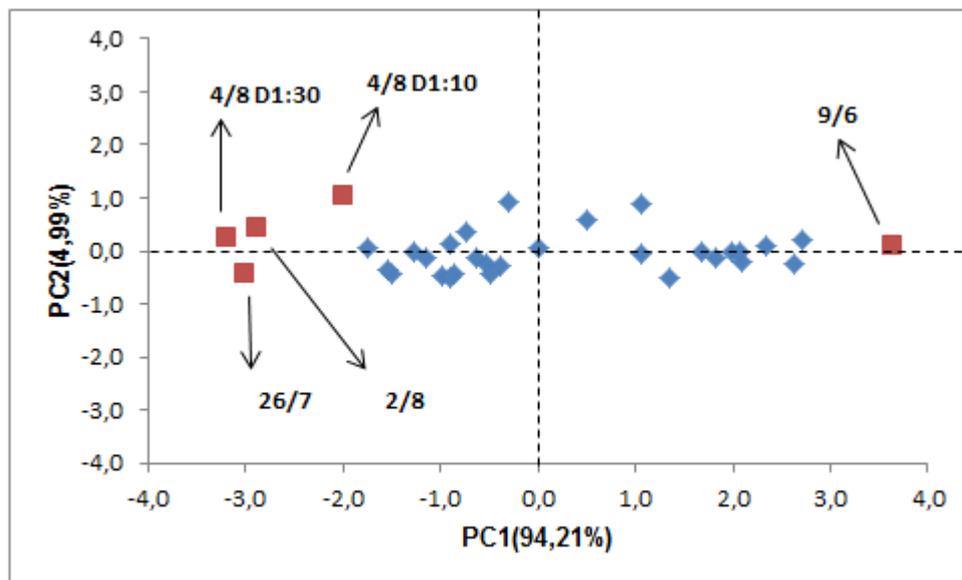


Figura 64- Mapa de Scores obtido no PCA efectuado com as amostras diluídas do ponto SUV. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

Com a realização da análise PCA com amostras diluídas do ponto SUV, foi possível identificar como distintos, os espectros relativos aos dias 9/6, 26/7, 2/8 e 4/8. No dia 7/6 as amostras microbiológicas SUV, EUV e ART estavam com uma turbidez demasiado elevada. Possivelmente este facto contribuiu para a identificação do espectro do dia 9/6 como anómalo. É de se referir que também se deveria ter identificado o espectro do dia 7/6 como estranho. No entanto, qualquer alteração no sistema tem repercussões somente mais tarde, em unidades a jusante. O dia 26/7 foi igualmente identificado nos PCAs realizados com as amostras dos pontos CEM e DPM. Conclui-se assim que as alterações observadas neste dia já eram acompanhadas por anomalias na entrada da estação. Relativamente aos dias 2 e 4 de Agosto, nos dias que os antecederam as lâmpadas UV estiveram paradas. No dia 4 voltaram a funcionar mas estavam extremamente sujas. Os PCAs realizados com amostras dos TAMs e dos pontos CEM e DPM não identificaram anormalidades no dia 2 mas identificaram-nas no dia 4. Assim a diferença observada no dia 2 poderá mesmo dever-se ao problema com as lâmpadas, embora este problema existisse desde o dia 22 de Julho e nenhuma anormalidade foi detectada nesses dias. Relativamente ao dia 4 como já tinha sido identificado as perturbações já vinham aparentemente de etapas anteriores.

4.8.2.14 PCA SUVs (amostras tal qual) com pré-processamento SNV

Realizou-se um último PCA com amostras tal qual do ponto SUV utilizando para além do pré-processamento *mean center* um pré-processamento SNV.

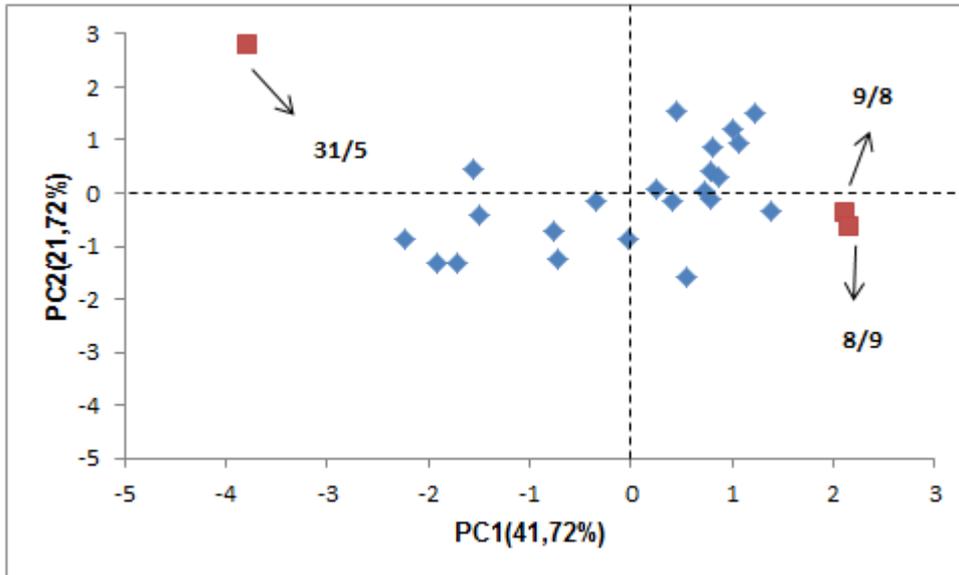


Figura 65- Mapa de Scores PC1 vs PC2 obtido no novo PCA efectuado com as amostras tal qual do ponto SUV. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

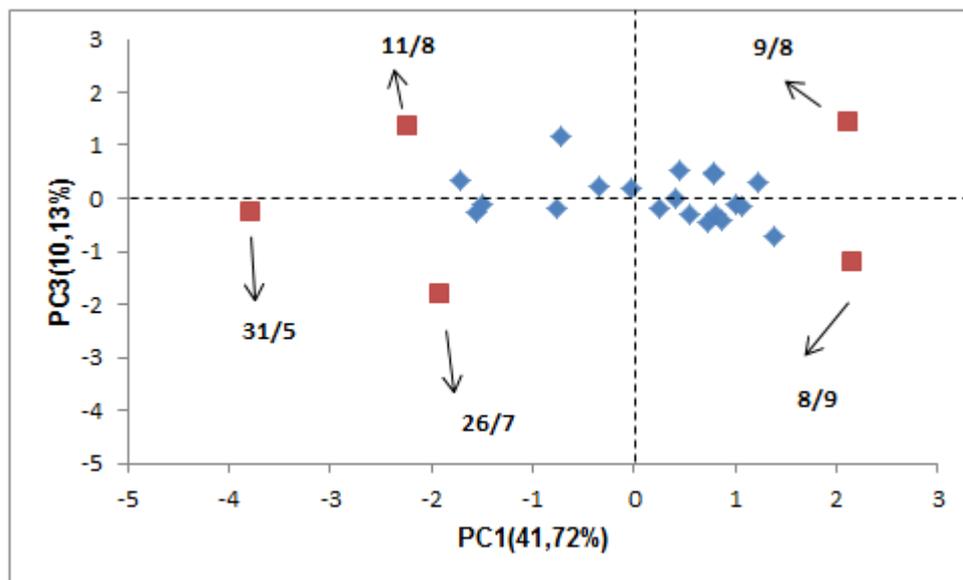


Figura 66- Mapa de Scores PC1 vs PC3 obtido no novo PCA efectuado com as amostras tal qual do ponto SUV. São indicadas as percentagens da variância total capturada por cada PC.

Foram identificados como anómalos, para além do dia 26/7, os dias 31/5, 9/8, 11/8 e 8/9 (figuras 65 e 66). Os dias 31/5 e 8/9 não foram identificados em mais nenhum PCA. Relativamente a estes dias não se conseguem tirar conclusões. Os dias 9 e 11 de Agosto foram igualmente identificados no PCA efectuado com os TAMs. No dia 9 as pontes raspadoras do decantador secundário nº2 e do primário nº3 avariaram. A avaria da ponte do decantador primário foi rapidamente solucionada mas a do secundário demorou mais tempo. Estas avarias tiveram sobretudo repercussões nos decantadores secundários e pela identificação destes espectros pode-se concluir que também afectaram a qualidade do efluente no canal de saída.

4.8.3 Transmitância das amostras EUV e SUV

Como já foi mencionado no capítulo 1, na ETAR da Mutela, a fase final do tratamento da fase líquida consiste na desinfecção do efluente com radiação UV. Este tipo de desinfecção tem, contrariamente à cloração, a vantagem de não originar subprodutos nocivos para o meio ambiente.

A radiação UV, ao incidir nos microrganismos, provoca alterações celulares nomeadamente ao nível dos ácidos nucleicos, impedindo que se reproduzam ou mesmo causando a sua morte.

A eficiência desta etapa depende essencialmente da eficiência de remoção de sólidos nas fases anteriores e do estado de limpeza das lâmpadas UV. Quanto menor for a concentração de sólidos no efluente maior será a eficiência da desinfecção. As partículas que estão em suspensão absorvem igualmente a radiação UV, fazendo deste modo com que a quantidade de radiação que chega aos microrganismos seja inferior. Assim a eficácia da desinfecção fica comprometida. Por outro lado, a presença de partículas em suspensão pode proteger os microrganismos da radiação, comprometendo mais uma vez a desinfecção.

Ao longo dos meses de trabalho foram lidos os valores da transmitância a 254 nm das amostras colhidas para testes microbiológicos dos pontos SUV e EUV.

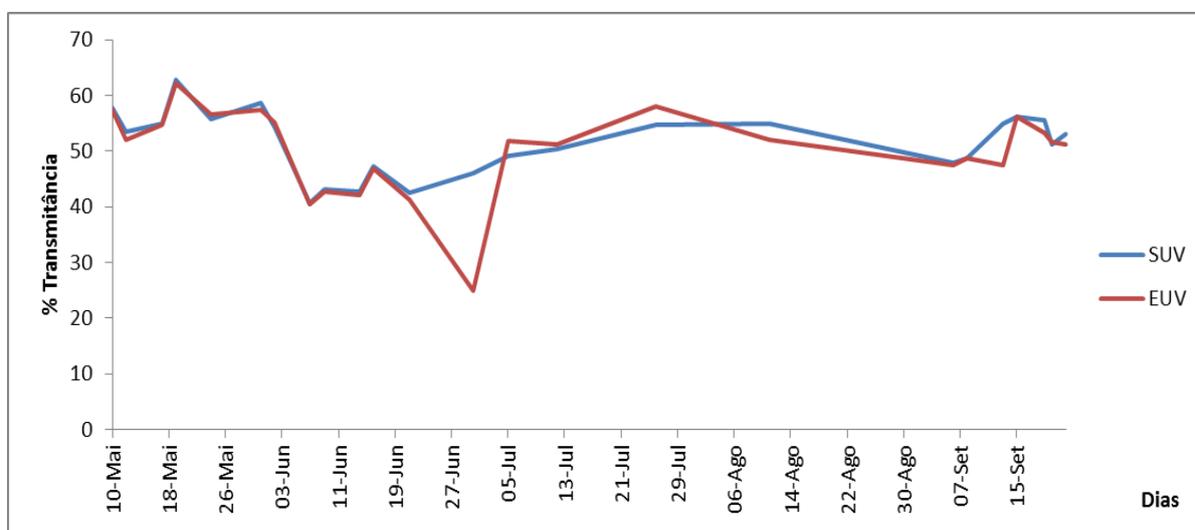


Figura 67- Valores de transmitância obtidos de Maio a Setembro nas amostras SUV e EUV.

Os valores de transmitância obtidos (figura 67) variaram geralmente entre os 40 e os 60%. Os dias em que foram obtidos valores de transmitância mais baixos foram dias em que os decantadores secundários se encontravam com lama à superfície e em que os tanques de arejamento possuíam espuma maioritariamente castanha e uma das bactérias filamentosas dominantes era a *Nocardia*. Nestes dias obtiveram-se valores de transmitância mais baixos porque havia uma maior concentração de sólidos em suspensão e conseqüentemente uma maior turbidez no efluente tratado. Nestes dias, tal como seria de esperar, os valores dos sólidos sedimentáveis ao nível dos tanques de arejamento estiveram relativamente baixos (figura 28, capítulo 4.7).

Analisando a figura 67 pode constatar-se que os valores da transmitância, das amostras dos pontos SUV e EUV eram quase sempre muito semelhantes. No entanto, no dia 30 de Junho, estes valores diferiram significativamente, o que poderá dever-se a variabilidade das amostras.

5. Discussão final e conclusões

Durante a realização deste estudo foram efectuadas diariamente análises microscópicas para identificação e contagem das comunidades de protozoários presentes nos tanques de arejamento com posterior determinação do Índice Biótico de Lamas. A microfauna existente era extremamente variada, sendo que o número de espécies observado foi quase sempre superior a 10. A predominância das espécies não foi a mesma ao longo dos meses, sendo que em cada mês surgiam espécies dominantes distintas. Os protozoários que surgiram com uma maior frequência foram os móveis de fundo, o *Carchesium*, as *Vorticellas* e as amibas com teca. A observação mais significativa foi a quantidade elevada de *Arcella* observada nos meses de Julho e Agosto, em ambos os tanques. É de referir a presença em alturas mais críticas de *Vorticella microstoma* e de *Opercularia*, a qual indica baixo rendimento depurativo. Outro aspecto a salientar é o aparecimento em maior quantidade de espécies mais evoluídas como os rotíferos, numa altura em que devido ao funcionamento de apenas um espessador, a idade das lamas estava gradualmente a aumentar. Os valores de IBL obtidos variaram essencialmente entre 6 e 10. No entanto, maioritariamente estiveram bastante elevados.

Foram realizadas também observações microscópicas para caracterização da população de bactérias filamentosas presente nos tanques de arejamento, com base em colorações de Gram e de Neisser. Identificaram-se 9 espécies de bactérias filamentosas. No entanto, apenas 3 foram dominantes: *Nocardia*, 1863 e *Nostocoida I*. Corroborou-se a existência de uma relação directa entre a espécie de filamentosa presente nos tanques de arejamento e a cor e quantidade de espuma. A presença de *Nocardia* conduziu à formação de espumas de coloração castanha, densas e compactas. A presença de 1863 por sua vez conduziu à formação de pouca espuma branca e densa. Relativamente à *Nostocoida I*, esta surgia quase sempre acompanhada pela *Nocardia*, o que corrobora o facto de esta espécie contribuir igualmente para o aparecimento de graves problemas de espumas.

Durante a realização desta dissertação foi também testado um tratamento por Bio-Suplementação. Os resultados obtidos contrariam o que seria de esperar, uma vez que no período em que decorreu o tratamento foram obtidos os valores de IBL mais baixos e foi quando foram observadas maiores quantidades de espuma de coloração castanha.

Foram obtidos espectros UV-Visível das amostras tal e qual e filtradas dos TAMs, tendo-se efectuado ainda diluições em ambos os casos. Obtiveram-se igualmente espectros das amostras dos pontos CEM, DPM e SUV, tendo-se também efectuado diluições. Foi testada a estabilidade das amostras, tendo-se chegado à conclusão que um espectro de uma amostra fresca é completamente distinto do de uma amostra não fresca. Sendo assim e de modo a poder-se tirar ilações correctas e correlacionar as análises espectrofotométricas com os parâmetros analíticos determinados pelo LABAR é fulcral utilizar as amostras frescas na análise espectrofotométrica.

Foram efectuadas análises de componentes principais às amostras tal qual, filtradas, diluídas e filtradas diluídas dos TAMs, tal qual e diluídas dos pontos CEM, DPM e SUV. O número de

componentes principais seleccionados diferiu para cada caso. No entanto, variou entre 2 e 7. O pré-processamento maioritariamente utilizado foi o *mean-center*. Nas amostras tal qual dos TAMs e dos pontos CEM, DPM e SUV foi também testado o pré-processamento SNV. É de referir que os PCAs realizados com pré-processamento SNV, uma vez que este minimiza o efeito de dispersão da luz, permitiram identificar mais espectros com anomalias do que os efectuados somente com pré-processamento *mean-center*. Não se conseguiu estabelecer correlações directas entre a presença de certas espécies de protozoários e de bactérias filamentosas e a presença de espuma e as análises espectrofotométricas. De um modo geral, todos os PCAs realizados permitiram identificar espectros correspondentes a dias em que se verificou a existência de problemas na ETAR. Foi assim possível associar a maior parte dos espectros identificados como anómalos a determinado tipo de problemas ocorridos ao nível do processo de tratamento. No entanto, é de salientar que houve dias em que se verificaram problemas no processo de tratamento e para os quais não foram identificadas anomalias nos PCAs efectuados. O aspecto mais significativo que a análise de componentes principais permitiu deduzir foi a possível correlação entre a cor negra observada nos decantadores primários e as quantidades elevadas de *Arcellas* nos TAMs. Com esta análise foi ainda possível, sempre que eram detectados simultaneamente como anómalos os espectros correspondentes aos mesmos dias em PCAs distintos, prever de onde vinham as alterações. Se um espectro, foi identificado como anómalo simultaneamente no PCA efectuado com as amostras dos TAMs e do ponto CEM, as perturbações observadas já eram notadas na entrada da estação.

Outra conclusão importante obtida através dos PCAs efectuados foi que, apesar da ETAR possuir uma grande variabilidade no canal de entrada, o sistema de tratamento é extremamente eficiente originando um efluente em que esta variabilidade é praticamente inexistente.

A espectroscopia UV-Visível prova ser assim uma importante ferramenta que possibilita a identificação de anomalias, mesmo antes da realização das análises dos parâmetros analíticos permitindo actuar mais rapidamente na resolução de problemas.

Outro aspecto a referir é que a ocorrência de determinados problemas nos pontos CEM e DPM numa dada altura só mais tarde manifesta as repercussões ao nível dos tanques de arejamento mais tarde.

Os valores de transmitância obtidos a partir das amostras colhidas nos pontos SUV e EUV para análise microbiológica permitiram concluir que o sistema de desinfecção por radiação UV se encontrava a funcionar sem grande variabilidade de qualidade, originando quase sempre valores muito semelhantes à entrada e à saída. É de se referir que estes valores estiveram na gama dos 40-60%, sendo que as percentagens de transmitância mais baixas foram atingidas em dias em que os decantadores secundários possuíam lama à superfície. Apesar de as descargas dos decantadores secundários se situarem a 1 m da superfície, o efluente final acaba sempre por ser um pouco afectado pela flutuação das lammas.

Os valores dos parâmetros analíticos obtidos pelo LABAR de um modo geral cumpriram os requisitos de qualidade, exceptuando o mês de Abril em que se obtiveram os piores resultados. Relativamente

às eficiências de remoção de CQO e CBO₅, estas foram maioritariamente boas, permitindo concluir que existe uma boa depuração biológica nos tanques de arejamento.

Outro aspecto importante a considerar é a aparente robustez apresentada pelo sistema de tratamento da ETAR da Mutela. Apesar de todos os problemas que surgiram, durante os meses de realização deste estágio, nas várias etapas do processo e das elevadas quantidades de espuma e da presença de *Nocardia*, o sistema de tratamento permitiu a obtenção de resultados de remoção de carga orgânica estáveis, originando efluentes finais de boa qualidade.

Apesar de se terem conseguido tirar algumas conclusões com a realização deste trabalho, um estudo mais aprofundado seria adequado. Uma proposta seria a realização de um estudo mais longo, por exemplo de um ano ou 2, mais centrado nas análises espectrofotométricas das amostras. Neste estudo, seriam anotados todos os tipos de problemas observados no processo de tratamento e agrupados os espectros obtidos na presença de cada um dos problemas. Assim, seria construída uma base de dados de espectros, existindo espectros para todos os problemas detectados. No futuro, sempre que se traçasse o espectro de uma amostra seria possível compará-lo com os espectros presentes na base de dados e conseguir estabelecer uma correspondência entre este e um dos grupos presentes. Assim, saber-se-ia imediatamente que tipo de problema a ETAR tinha ou teria brevemente, permitindo actuar o mais rapidamente possível. Posteriormente, seria também interessante tentar estabelecer correspondência entre cada tipo de problema e as populações de protozoários e de bactérias filamentosas presentes nos tanques de arejamento. Outro aspecto importante, que seria de incluir em estudos posteriores era a influência da temperatura e da pluviosidade no processo. Seria interessante tentar perceber se estes parâmetros afectam as análises espectrofotométricas, ou seja, se consoante a temperatura e a pluviosidade estejam altas ou baixas se obtêm espectros distintos. Para tal seria necessário um estudo de um ano, em que todos os dias se registavam as temperaturas, a percentagem de humidade e a pluviosidade e se realizavam análises espectrofotométricas. Posteriormente, submeter-se-iam os resultados, a análises de componentes principais, para ver se era possível a obtenção de grupos distintos, correspondentes a baixas e altas temperaturas, respectivamente e a dias com maior e menor pluviosidade, respectivamente.

6. Referências Bibliográficas

1. Bitton, Gabriel. "Wasterwater Microbiology", Wiley- Liss, USA, 1994.
2. "Avaliação do desempenho das ETAR's através da observação das comunidades de protozoários das lamas activadas", Biotempo(Consultoria em Biotecnologia), Jun 2006.
3. Folhetos dos SMAS de Almada, Edição 2005.
4. "Microorganismos Filamentosos en el Fango Activo", Empresa Municipal de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla, S.A. (EMASESA), España, Out 1997.
5. "Processo de identificação e controlo de microrganismos filamentosos nas lamas activadas", Biotempo(Consultoria em Biotecnologia), Out 2004.
6. Página dos SMAS de Almada, www.smasalmada.pt. [Online]
7. Abreu, Ângela. "Identificação de Bactérias filamentosas em processos de lamas activadas através da técnica de Hibridação in-situ de Fluorescência (FISH)", Tese de Mestrado de Tecnologia do Ambiente, Universidade do Minho, 2004.
8. Baylor, L. C., O'Rourke, P. E. Chapter 6- "UV-Vis for On-Line Analysis", Process Analytical Technology, pp.171-186. Blackwell Publishing, Nov 2007
9. Broeke, Joep van den. "On line and In-situ UV/VIS Spectroscopy", AWE International pp.55-59, 2007.
10. Broeke, J.V.D., Langergraber, G., Weingartner, A. "On-line and in situ UV/vis spectroscopy for multi-parameter measurements:a brief review". Austria. Spectroscopy Europe, 2006, Vol 18 N°4, pp.15-18
11. Dubber, D., Gray, N.F. "The effect of anoxia and anaerobia on ciliate community in biological nutrient removal systems using laboratory-scale sequencing batch reactors (SBRs)", Water Research vol 45, 2011, pp 2213-2226.
12. Eikelboom, D. H." Process Control of Activated Sludge Plants by Microscopic Investigation". ASIS, UK 2000.
13. Langergraber, G. , Gupta, J.K., Pressl, A., Hofstaedter, F."On-line monitoring for control of a pilot-scale sequencing batch reactor using a submersible UV/VIS spectrometer". Institute for Sanitary Engineering and Water Pollution Control. IWA Publishing, 2004
14. Lourenço, N.D., Pinheiro, H.M., Chaves, Catarina, Menzes, José Cardoso, Diniz, David."Espectroscopia Ultravioleta-Visível: a espectroscopia Ultravioleta Visível na prevenção de descargas não conformes de águas residuais industriais", Engenharia Química 4, 2006, pp.56-62.
15. Madoni, Paolo. "Depurazione Biologica Nei Fanghi Attivi", Enìa, 2005.
16. Nicolau, A., Lima, N., Mota, M., Madoni, P. "Os protozoários como Indicadores da Qualidade Biológica das Lamas Activadas", Boletim de Biotecnologia, Set 2007, pp.14-19.
17. Santos, Maria de Fátima. "Monitorização Analítica das ETARs do Concelho de Almada- Técnicas Espectrofotométricas e Tratamento Quimiométrico", Dez 2005.

18. Lourenço, N.D., Chaves, C.L., Novais, J.M., Menezes, J.C., Pinheiro, H.M., Diniz, D. "UV spectra analysis for water quality monitoring in a fuel park wastewater treatment plant", *Chemosphere* vol 65, 2006, pp.786-791

19. Freire, Mário Daniel. "Monitorização da unidade de lamas activadas da ETAR da Mutela por análise da população microbiana e espectroscopia UV-Visível", Tese de Mestrado de Engenharia Biológica, IST, Dez 2010, Lisboa.

7. Anexos

7.1 Folheto dos SMAS de Almada - ETAR da Mutela



Dados Gerais		Dados de Base	
Localização	Mutela	Capacidade Nominal	147 900 hab. eq.
Área Ocupada	Freguesia da Cova da Piedade	Caudal Médio Anual	25 992 m ³ /dia
Freguesias Servidas	3 ha Almada, Pragal, Cova da Piedade, Cacilhas, Laranjeiro (parte) e Feijó (parte)	Caudal de Dimensionamento Hidráulico	51 480 m ³ /dia
		Carga Orgânica Afluente	8 874 kg O ₂ /dia
		Objectivos de Qualidade	
		CB05 a 20°C	25 mg O ₂ /L
		COO	125 mg O ₂ /L
		SST	35 mg/L
		Coliformes fecais	200 N/100 ml
		Odor Desagradável	Não detectável

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Fase Líquida	
Elevação de Águas Residuais	• 3+1 bombas submersíveis (900 m ³ /h a 11,5 m.c.a.)
Pré-Tratamento	• 2 grades mecânicas (malha 3mm) • 2 unidades de desarenação/desengorduramento • 1 classificador/lavador de areias • 1 separador de gorduras
Tratamento Físico-Químico	• 2 câmaras de mistura rápida • 2 câmaras de floculação • 4 decantadores primários rectangulares
Tratamento Biológico/Lamas Activadas (arejamento por bolha fina)	• 2 tanques de arejamento (2142 m ³) • 2+1 compressores (3375 Nm ³ /h) • 1 cisterna de água tratada
Decantação Secundária	• 4 decantadores secundários rectangulares • 2+1 bombas submersíveis de recirculação de lamas (583 m ³ /h)
Desinfecção	• 1 canal com 2 módulos de lâmpadas U.V. (17,3 kW)
Destino Final das Águas Residuais	• Lançamento em emissário de superfície no estuário do Tejo
Fase Sólida	
Elevação de Lamas Primárias	• 2+1 bombas submersíveis (60 m ³ /h)
Espessamento de Lamas Primárias	• 2 espessadores gravíticos (350 m ³)
Elevação de Lamas Secun. em Excesso	• 2+1 grupos electrobomba submersíveis (23 m ³ /h)
Flotação de Lamas Secun. em Excesso	• 2 flotadores (83,2 m ³)



www.smasalmada.pt



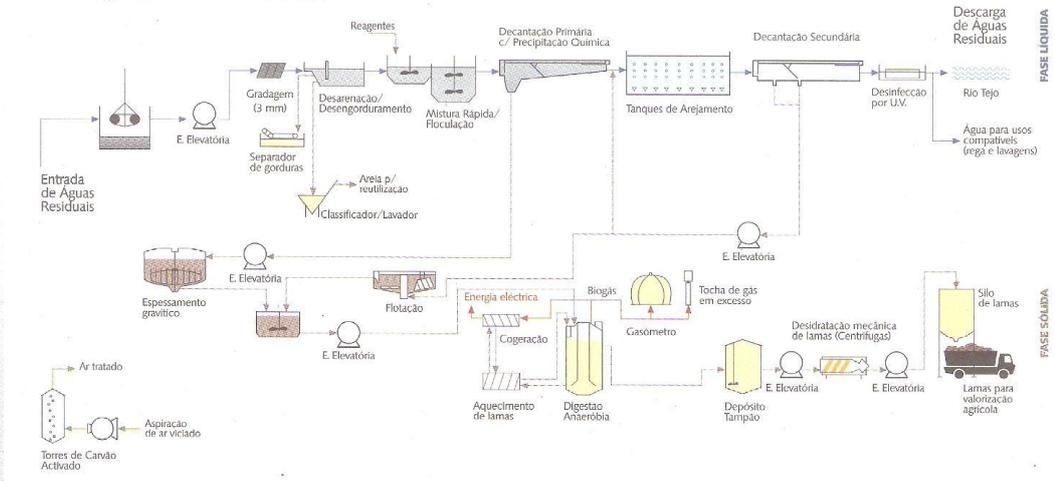
Figura 68- Folheto do SMAS de Almada- ETAR da Mutela [6].

Homogeneização de Lamas Espessadas	• 1 câmara de homogeneização (30 m ³)
Elevação de Lamas à Digestão	• 2+1 bombas parafuso excêntrico (5-10 m ³ /h)
Digestão Anaeróbia	• 2 digestores anaeróbios mesófilos (2500 m ³) • 2 caldeiras (400 kW) • 2 permutadores de calor
Depósito Tampão	• 1 Depósito (850 m ³)
Elevação de Lamas à Desidratação	• 2+1 bombas parafuso excêntrico (5-18 m ³ /h)
Armazenamento de Biogás	• 1 gasómetro insuflável (1720 m ³) • 2+1 compressores de biogás • 1 tocha para queima de gás em excesso
Desidratação de Lamas	• 2 centrífugas (20 m ³ /h)
Elevação de Lamas ao Silo	• 1 bomba parafuso excêntrico (2-8 m ³ /h)
Armazenamento de Lamas Desidratadas	• 1 silo de lamas (150 m ³)
Destino Final das Lamas	• Valorização agrícola

Serviços

Produção de Energia	• 2 unidades de cogeração (314 kW Pe)
Tratamento de Odores	• 2 torres de desodorização por carvão activado
Água de Serviços	• 1 hidropressor (20 m ³ /h) • 1 filtro metálico

Diagrama de Processo



A água no bom caminho

www.smasalmada.pt

Figura 69- Folheto do SMAS de Almada- ETAR da Mutela (continuação) [6]

7.2 Tabelas de identificação de bactérias filamentosas

Tabela 12- Tabela de identificação das bactérias filamentosas evidenciando as principais características das mesmas [5].

Espécies	Dimensões filamento		Forma do filamento	Forma da célula	Localização do filamento	Bainha	Crescimento de bactérias sésseis	Inclusões de enxofre	Outras inclusões (*)	Coloração de Gram	Coloração de Neisser		Endentação do septo	Ramificações	Mobilidade
	Diâmetro (µm)	Comprimento (µm)									Filam.	Grânulo			
<i>Nostocoida limicola</i> I	0.6 - 0.8	100 - 200	enrolado / irregular	esférica / discoide	externa / interna / livre	não	não	não	não	+	+	-	não	não	não
<i>Nostocoida limicola</i> II	1.2 - 1.4	100 - 200	enrolado / irregular	bastonete oval/esférica / discoide	externa / interna / livre	não	não	não	sim	+, -, +/-	+, -	-	sim	não	não
<i>Nostocoida limicola</i> III	1.6 - 2.0	200 - 300	enrolado / irregular	bastonete oval/esférica / discoide	externa / interna	não	não	não	sim	+, -, +/-	+, -	-	sim	não	não
Tipo 1851	0.8	100 - 300	direito / lev. curvo	rectangular	externa	sim	sim	não	não	+ débil	-	-	não	não	não
Tipo 0961	0.8 - 1.4	> 500	direito	rectangular	externa	não	não	não	não	não	-	-	não	não	não
Tipo 0092	0.8 - 1.0	10 - 60	direito/dobrado	rectangular	interna	não	não	não	sim	-	-	-	não	não	não
Tipo 0803	0.8	50 - 150	direito / lev. curvo	rectangular	externa / livre	não	não	não	não	-	-	-	não	não	não
<i>H. hydraxis</i>	0.5	20 - 100	direito/dobrado	célula não visível	externa / livre	sim	sim	não	não	-	-	-	não	não	não
Tipo 0411	0.8	50 - 150	dobrado / lev. curvo/irregular	bastonete oval	externa	não	não	não	não	-	-	-	sim	não	não
Tipo 1702	0.6 - 0.7	20 - 80	direito/dobrado	célula não visível	externa / interna	sim	sim	não	não	-	-	-	não	não	não
Tipo 1852	0.6 - 0.8	20 - 80	direito / lev. curvo	rectangular	externa	não	não	não	não	-	-	-	não	não	não
Tipo 0211	0.3 - 0.5	20 - 100	dobrado / lev. curvo/irregular	esférica	externa	não	não	não	não	-	-	-	sim	não	não
Fungos	> 2.0	300 - 1000	irregular	bast. oval / rectangular	externa / interna	não	não	não	sim	-	-	-	sim	sim (verdadeira)	não
<i>Flexibacter</i>	1.0	20 - 40	direito / lev. curvo	bast. extrem arredondada / células não visíveis	livre	não	não	não	sim	-	-	-	não	não	sim
<i>Streptococco</i>	0.6 - 1.0	20 - 50	irregular	bast. oval / esférica	livre	não	não	não	não	+	-	-	sim	não	não
Cianofícias	2.0 - 5.0	100 - 500	direito / lev. curvo	quadrada / rectangular	livre	não	não	não	sim	-, +	-	-	não	não	sim

(*) consideram-se os grânulos de poli-P (resposta positiva na coloração de Neisser) e grânulos de PHB (não adquirem coloração)

Tabela 13 - Tabela de identificação das bactérias filamentosas evidenciando as principais características das mesmas (continuação) [5].

Espécies	Dimensões filamento		Forma do filamento	Forma da célula	Localização do filamento	Banheira	Crescimento de bactérias sésseis	Inclusões de enxofre	Outras inclusões (*)	Coloração de Gram	Coloração de Neisser		Indentação do septo	Ramificações	Mobilidade
	Diâmetro (µm)	Comprimento (µm)									Filam.	Grânulo			
<i>Sphaerotilus natans</i>	1.2 - 2.5	200 - 1000	direito/levemente curvo	bastonete de extremidade arredondada	externa	sim	não / sim	não	sim	-	-	-	sim/não	sim (falsa)	não
Tipo 1701	0.6 - 1.0	20 - 200	dobrado / levemente curvo	bastonete de extremidade arredondada	externa / interna	sim, pouco visível	sim	não	sim	-	-	-	não (sim, no fim dos filamentos)	não	não
Tipo 0041	1.2 - 1.9	100 - 500	direito/dobrado / lev. curvo	quadrada/retangular	externa / interna	sim	sim	não	sim	+, + / -	- , +	- , +	não	não	não
Tipo 0675	0.7 - 1.0	30 - 150	direito / lev. curvo	quadrada/retangular	externa / interna	sim	sim	não	sim	+, + / -	- , +	- , +	não	não	não
Tipo 021N	0.8 - 2.2	100 - >1000	direito / lev. curvo / enrolado	discóide / quadrada / retangular / em barril	externa	não	não	sim (esférica)	sim	- , + / - (associada a enxofre)	-	+, -	sim	não	vibrante
<i>Thiotrix I</i>	1.4 - 2.5	100 - 500	direito / lev. curvo	rectangular	externa	sim	não / sim	sim (esférica)	sim	- , +	-	+, -	não	não	vibrante
<i>Thiotrix II</i>	0.7 - 1.4	50 - 200	direito / lev. curvo	rectangular	externa	sim	não / sim	sim (esférica)	sim	- , +	-	+, -	não	não	vibrante
Tipo 0914	0.7 - 1.0	50 - 200	direito / lev. curvo	quadrada	externa / livre	não	não	sim (irregular)	sim	- , +	-	+, -	não	não	sim
<i>Beggiatoa piccola</i>	0.6 - 1.0	50 - 100	direito / lev. curvo	rectangular / célula não visível	externa / livre	não	não	não	sim	-	-	+, -	não	não	sim
<i>Beggiatoa</i> spp.	1.0 - 3.0	100 - 500	direito / lev. curvo	rectangular / célula não visível	externa / livre	não	não	sim (esférica)	sim	- , + com raras de núcleo quadrado S	-	+, -	não	não	não
<i>Micobrix parvicella</i>	0.6 - 1.0	100 - 400	enrolado / irregular	célula não visível	interna / livre	não	não	não	sim	+	-	+, -	não	não	não
Tipo 0581	0.4 - 0.7	100 - 200	enrolado	célula não visível	interna / livre	não	não	não	não	-	-	-	não	não	não
<i>Nocardia</i> spp. e semelhantes	1.0	10 - 20	ramallete	célula não visível	interna / livre	não	não	não	sim	+	-	+, -	não	sim (verdadeira)	não
Tipo 1863	0.8	20 - 50	irregular	bastonete oval	externa / interna / livre	não	não	não	sim	-	-	+, -	sim	não	não