

# Caracterização das comunidades de protozoários e metazoários em ETAR domésticas e industriais de São Miguel - relação de eficiência de remoção e condições de operação

Trabalho de Projeto

Maria Anjo

Mestrado em

**Engenharia e Gestão de Sistemas de  
Água**



Angra do Heroísmo  
2019

# Caracterização das comunidades de protozoários e metazoários em ETAR domésticas e industriais de São Miguel - relação de eficiência de remoção e condições de operação

Trabalho de Projeto

Maria da Costa Magalhães Alves Anjo

## Orientadores

Professora Doutora Sílvia Quadros

Professor Doutor António Rodrigues

Trabalho de Projeto submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão de Sistemas de Água

## Resumo

O tratamento de águas residuais por lamas ativadas é o processo mais utilizado em todo o mundo e consiste no fornecimento constante de matéria orgânica e oxigénio a uma comunidade de microrganismos, que através do seu metabolismo, transformam essa matéria orgânica em nova biomassa microbiana e compostos inorgânicos, dos quais se destacam o dióxido de carbono e os compostos de azoto e de fósforo. Neste processo de tratamento biológico é importante compreender a estrutura e o funcionamento da comunidade microbiológica, assim como da sua rede trófica. Além das bactérias, que são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, existem diferentes populações de protozoários e metazoários que se podem desenvolver no tanque de arejamento. A sua presença é fundamental para o bom desempenho da ETAR, pois estimulam o crescimento bacteriano e, promovem a floculação, reduzindo a turvação do efluente tratado.

Este trabalho de projeto teve como objetivo principal analisar as comunidades de protozoários e metazoários nas ETAR de Lamas Ativadas em funcionamento na ilha de São Miguel e relacionar o tipo de microrganismos com a eficiência de remoção registada e com as condições de operação (parâmetros físico-químicos no reator biológico).

Iniciou-se este trabalho fazendo o levantamento das ETAR existentes em São Miguel, contactando as entidades gestoras e dando a conhecer os objetivos do estudo pretendido. Com a lista de ETAR organizada, elaborou-se um plano de visitas e amostragens às ETAR, para recolha de amostras de licor misto, para análise de parâmetros biológicos e físico-químicos. Em cada uma das ETAR estudadas realizaram-se seis colheitas, a partir das quais se efetuaram as análises microscópicas e o cálculo do Índice Biológico de Lamas (IBL), segundo a metodologia proposta por Madoni.

De um modo geral, as comunidades microbiológicas das várias ETAR comportaram-se de acordo com os resultados relativos à comunidade de protozoários e metazoários, especialmente no que refere à associação dos grupos funcionais com a qualidade do efluente. Os ciliados sésseis, móveis de fundo e as amibas com teca foram os grupos funcionais mais frequentes nas ETAR com efluentes de boa qualidade. Por outro lado, as ETAR com uma qualidade menor da água residual tratada, apresentavam frequentemente *Opercularia* sp. e ciliados nadadores.

Para algumas ETAR estudadas, o IBL não se traduziu numa ferramenta muito eficaz para a avaliação da qualidade do efluente tratado. Contudo, o IBL forneceu sempre informações importantes sobre a abundância e a densidade da comunidade de

protozoários e metazoários, sendo uma valiosa ferramenta na análise do desempenho da ETAR.

**Palavras-chave:** Tratamento de águas residuais domésticas e industriais, lamas ativadas, comunidade microbiana, protozoários, Índice Biológico de Lamas

## **Abstract**

The activate sludge process for wastewater treatment, use the microorganisms metabolism to, transform biodegradable organic matter into microbial biomass and inorganic compounds, such as carbon dioxide, nitrogen and phosphorus compounds. In this biological treatment process, it is important to understand the structure and functioning of the microbiological community, as well as its trophic network. In addition to bacteria, which are responsible for the decomposition of organic matter, there are different populations of protozoa and metazoans that can develop in the aeration tank. Its presence is fundamental for the proper functioning of the WWTP, as it stimulates bacterial growth, promotes flocculation, reduces turbidity of the treated effluent.

This master course project had, as main objective, to analyse the communities of protozoa and metazoa in the activated sludge plant in operation in São Miguel Island and to relate the type of microorganisms with the registered removal efficiency and the operating conditions (the physical-chemical characteristics of mixed liquor).

This work was started by carrying out the existing WWTP in São Miguel, contacting the management entities and informing the objectives of the intended study. With the list of WWTPs organized, a plan of visits and samplings to the WWTP was elaborated, to measure the physical-chemical parameters of mixed liquor and collect samples for analysis of biological parameters. In each of the WWTPs, six samples were taken, from which the microscopic analysis and IBL calculation were performed, according to the methodology proposed by Madoni.

In general, the microbiological communities of the studied WWTPs behave according to the results of the protozoan and metazoan community, especially regarding the association of functional groups with effluent quality. The sessile cilia, crawling and the amibas with teak were the most frequent functional groups in WWTP with good quality effluents. On the other hand, WWTPs with a lower quality of treated wastewater often had *Opercularia* sp. and ciliates swimmers.

For some WWTPs studied, the IBL did not translate into a very effective tool for evaluating the quality of the treated effluent. However, the IBL has always provided important information on the abundance and density of the protozoa and metazoan community and is a valuable tool in the analysis of the performance of the WWTP.

**Keywords:** municipal WWTP, industrial WWTP, activated sludge, microbial community, protozoa, Sludge Biotic Index



## Agradecimentos

Ao terminar este projeto, é com uma grande emoção que olho para trás e vejo que nunca estive só. Uma enorme gratidão aquece e reconforta todo o meu ser. É o momento de agradecer toda a ajuda, todo o apoio, todo o conhecimento partilhado.

Como não podia deixar de ser, começo por Ti, meu Bom Pai... Quantas vezes foram os momentos em que senti que este mestrado era feito a dois... És o verdadeiro Espírito Santo de orelha... É-me impossível não sentir que sou a tua preferida! Obrigada meu Deus pela tua presença, pelo teu conforto e pela tua sábia forma de me dizeres “Estou aqui, confia em Mim e tudo correrá bem”.

O meu muito obrigada aos meus orientadores, Professora Sílvia Quadros e Professor António Rodrigues, pela disponibilidade, por acreditarem neste projeto, pela sábia orientação e sugestões, que muito me instruíram e ajudaram na concretização deste projeto.

A todas as entidades gestoras que aceitaram e contribuíram para que este trabalho pudesse ser realizado, seja pela cedência de dados e informações operacionais ou pela partilha de conhecimento, pela simpatia e acolhimento, o meu eterno obrigada: Eng.<sup>a</sup> Andreia Delfim, da Câmara Municipal da Lagoa; Eng.<sup>o</sup> Bruno Pimentel, da Câmara Municipal da Ribeira Grande, Eng.<sup>o</sup> Jorge Nemésio e Eng.<sup>o</sup> João Garcia, dos SMAS de Ponta Delgada; à Eng.<sup>a</sup> Darcília Santana, ao Sr. João e ao meu querido Nando, da Bel; Eng.<sup>a</sup> Catarina Botelho, da Insulac, Eng.<sup>o</sup> Luís Filipe Cardoso e o Sr. Nuno, do Matadouro de São Miguel; Eng.<sup>a</sup> Ana Marques e ao Sr. Vítor, da Salsiçor; Dr.<sup>a</sup> Délia Garcia, Tânia e ao Sr. Luís, da Unileite; Fernando e Eng.<sup>o</sup> André Gago da Câmara, da Agroleico.

Ao meu querido e amigo André, embora já te tenha agradecido, nunca é de mais agradecer novamente. Muito obrigada, pelas nossas longas conversas e pela partilha de conhecimento. É contigo que aprendo mais sobre ETAR. Que o nosso Bom Deus te abençoe sempre e te dê em triplo tudo o que fazes por mim.

À minha querida Daniela Aguiar, o meu muito obrigada. Se há prova que Deus me ajudou neste projeto foi o teu estágio. Foste uma bênção de Deus e chegaste no momento certo. Obrigada pela tua ajuda e companhia, nas colheitas, nas contagens e nas viagens. Obrigada pela tua amizade, alegria e força. Que Deus te abençoe, guie e ilumine sempre.

Aos meus Homens, pelo apoio, confiança e ânimo que me dão. Pelas brincadeiras e desabafos. Por saberem que se o licor misto tem muitas *Opercularia* sp. alguma coisa

está mal, pois prova que acreditam que este estudo é importante. Obrigada por toda a força que me dão.

À Selma e à Cátia, minhas colegas e amigas, obrigada pela partilha de conhecimento, pela força e coragem que transmitem.

Às minhas famílias de coração os PJU's e os escuteiros, agradeço a Deus por vos ter colocado na minha vida. Agradeço as vossas orações, a força, a vossa confiança em mim. Obrigada pelos abraços e pelas gargalhadas.

Às minhas Special One's, obrigada pela amizade, pela compreensão, pelas orações e cenáculos... Pelas lágrimas e gargalhas partilhadas, seja com um copo de vinho e queijos ou uma chávena de chá e biscoitos.

À minha querida Joana, pelo seu apoio, amizade, tutoriais que tanto me ajudaram. Obrigada pela tua presença e ajuda com o SPSS.

Os meus amigos de sempre e para sempre, obrigada pela amizade, pelas energias positivas e pelas vossas orações.

À minha família... Aos meus pais agradeço amor infinito e incentivo. Aos meus sogros agradeço a confiança e encorajamento. Às minhas cunhadas e amigas agradeço, a força, os abraços e as palavras certas, na hora certa e momento certo. Aos meus contracunhados agradeço todo o apoio. Aos meus queridos sobrinhos agradeço a alegria, os abraços e beijos, que me encham de energia. Ao meu irmão agradeço o seu amor e a sua fé incondicional em mim. Obrigada por acreditares que sou a Supermulher e que tenho solução para tudo. Essa tua fé em mim, faz-me querer ser sempre melhor! Espero nunca te desapontar. À Cisa e à Titi, pelo telefonema na hora certa, pelas palavras de coragem e alento.

Ao meu Lá, meu companheiro e amigo... Obrigada por embarcares nesta aventura comigo. Obrigada pelo apoio, compreensão, força, carinho e amor. Obrigada pelos jantares deliciosos que fazes quando não tenho forças. Obrigada pelo abraço e por seres luz quando tudo parece escuro.

E pensar que tudo começou, com uma conversa na praia com as minhas grandes amigas, Cheirosa e Mafarrica. Obrigada por quase me obrigarem a candidatar-me para este mestrado. Se vocês não me tivessem empurrado nesta aventura, muito conhecimento teria ficado perdido. Obrigada!



## Índice de texto

|                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| Resumo .....                                                           | i   |
| Abstract.....                                                          | iii |
| Agradecimentos .....                                                   | v   |
| Índice de texto .....                                                  | vii |
| Índice de figuras .....                                                | xi  |
| Índice de tabelas .....                                                | xv  |
| Abreviaturas.....                                                      | xix |
| 1. Introdução .....                                                    | 1   |
| 1.1 Enquadramento e oportunidade de tema .....                         | 1   |
| 1.2 Objetivo .....                                                     | 2   |
| 2. Revisão bibliográfica .....                                         | 3   |
| 2.1 Caracterização de águas residuais .....                            | 3   |
| 2.2 Tratamento de águas residuais.....                                 | 6   |
| 2.2.1 Fase líquida .....                                               | 6   |
| 2.2.1.1 Tratamento preliminar ou pré-tratamento.....                   | 6   |
| 2.2.1.2 Tratamento primário .....                                      | 8   |
| 2.2.1.3 Tratamento secundário .....                                    | 8   |
| 2.2.1.4 Tratamento terciário .....                                     | 8   |
| 2.2.2 Fase sólida.....                                                 | 9   |
| 2.2.2.1 Tratamento de lamas.....                                       | 9   |
| 2.3 Tratamento biológico.....                                          | 9   |
| 2.3.1 Lamas ativadas.....                                              | 10  |
| 2.3.2 Microfauna.....                                                  | 12  |
| 2.3.2.1 Bactérias .....                                                | 13  |
| 2.3.2.1.1 Bactérias filamentosas .....                                 | 14  |
| 2.3.2.2 Protozoários.....                                              | 15  |
| 2.3.2.3 Metazoários .....                                              | 18  |
| 2.4 Avaliação do desempenho de ETAR, por observação microscópica ..... | 18  |
| 2.4.1 Observação e identificação de bactérias filamentosas.....        | 18  |
| 2.4.1.1 Índice filamentoso .....                                       | 19  |
| 2.4.2 Observação de protozoários.....                                  | 20  |
| 2.4.2.1 Índice biológico de lamas .....                                | 22  |
| 3. Tratamento de águas residuais em São Miguel .....                   | 25  |
| 3.1 Enquadramento geográfico.....                                      | 25  |

|         |                                                                          |    |
|---------|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2     | Sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais em São Miguel ..... | 26 |
| 4.      | Metodologia .....                                                        | 27 |
| 4.1     | Levantamento das ETAR existentes em São Miguel .....                     | 27 |
| 4.2     | Recolha e transporte das amostras .....                                  | 27 |
| 4.3     | Análises biológicas .....                                                | 28 |
| 4.3.1   | Índice filamentososo (IF) .....                                          | 28 |
| 4.3.2   | Identificação e contagem de protozoários e metazoários .....             | 28 |
| 4.3.3   | Contagem de pequenos flagelados.....                                     | 29 |
| 4.4     | Cálculo de IBL .....                                                     | 29 |
| 4.5     | Parâmetros físico-químicos .....                                         | 29 |
| 4.6     | Tratamento de dados.....                                                 | 30 |
| 5.      | Resultados do levantamento das ETAR em São Miguel .....                  | 31 |
| 5.1     | Caracterização individual das ETAR domésticas.....                       | 31 |
| 5.1.1   | ETAR da Caloura.....                                                     | 31 |
| 5.1.2   | ETAR da Lomba da Maia .....                                              | 33 |
| 5.1.3   | ETAR da Maia .....                                                       | 35 |
| 5.1.4   | ETAR das Milícias.....                                                   | 36 |
| 5.1.5   | ETAR dos Mosteiros .....                                                 | 37 |
| 5.1.6   | ETAR da Pranchinha .....                                                 | 39 |
| 5.1.7   | ETAR de Rabo de Peixe .....                                              | 41 |
| 5.1.8   | Compilação das informações das ETAR domésticas .....                     | 44 |
| 5.2     | Caracterização individual das ETAR Industriais.....                      | 46 |
| 5.2.1   | ETARI da Bel .....                                                       | 46 |
| 5.2.2   | ETARI da Insulac .....                                                   | 48 |
| 5.2.3   | ETARI do Matadouro .....                                                 | 51 |
| 5.2.4   | ETARI da Salsiçor .....                                                  | 53 |
| 5.2.5   | ETARI da Unileite .....                                                  | 55 |
| 5.2.6   | Compilação das informações das ETAR Industriais .....                    | 57 |
| 6.      | Resultados e discussão .....                                             | 59 |
| 6.1     | ETAR domésticas .....                                                    | 59 |
| 6.1.1   | ETAR da Caloura.....                                                     | 59 |
| 6.1.1.1 | Caracterização do afluente e efluente .....                              | 59 |
| 6.1.1.2 | Caracterização do licor misto .....                                      | 60 |
| 6.1.1.3 | Caracterização/evolução da comunidade microbológica .....                | 61 |
| 6.1.1.4 | Influência dos parâmetros na comunidade microbológica .....              | 65 |

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1.2 ETAR da Lomba da Maia .....                                    | 66  |
| 6.1.2.1 Caracterização do afluente e efluente .....                  | 66  |
| 6.1.2.2 Caracterização do licor misto .....                          | 67  |
| 6.1.2.3 Caracterização/evolução da comunidade microbiológica .....   | 69  |
| 6.1.2.4 Influência dos parâmetros na comunidade microbiológica ..... | 73  |
| 6.1.3 ETAR da Maia .....                                             | 74  |
| 6.1.3.1 Caracterização do afluente e efluente .....                  | 74  |
| 6.1.3.2 Caracterização do licor misto .....                          | 75  |
| 6.1.3.3 Caracterização/evolução da comunidade microbiológica .....   | 76  |
| 6.1.3.4 Influência dos parâmetros na comunidade microbiológica ..... | 80  |
| 6.1.4 ETAR das Milícias.....                                         | 81  |
| 6.1.4.1 Caracterização do afluente e efluente .....                  | 81  |
| 6.1.4.2 Caracterização do licor misto .....                          | 82  |
| 6.1.4.3 Caracterização/evolução da comunidade microbiológica .....   | 84  |
| 6.1.4.4 Influência dos parâmetros na comunidade microbiológica ..... | 89  |
| 6.1.5 ETAR dos Mosteiros .....                                       | 90  |
| 6.1.5.1 Caracterização do afluente e efluente .....                  | 90  |
| 6.1.5.2 Caracterização do licor misto .....                          | 91  |
| 6.1.5.3 Caracterização/evolução da comunidade microbiológica .....   | 92  |
| 6.1.5.4 Influência dos parâmetros na comunidade microbiológica ..... | 96  |
| 6.1.6 ETAR da Pranchinha .....                                       | 97  |
| 6.1.6.1 Caracterização do afluente e efluente .....                  | 97  |
| 6.1.6.2 Caracterização do licor misto .....                          | 98  |
| 6.1.6.3 Caracterização/evolução da comunidade microbiológica .....   | 99  |
| 6.1.6.4 Influência dos parâmetros na comunidade microbiológica ..... | 103 |
| 6.1.7 ETAR de Rabo de Peixe .....                                    | 104 |
| 6.1.7.1 Caracterização do afluente e efluente .....                  | 104 |
| 6.1.7.2 Caracterização do licor misto .....                          | 105 |
| 6.1.7.3 Caracterização/evolução da comunidade microbiológica .....   | 106 |
| 6.1.7.4 Influência dos parâmetros na comunidade microbiológica ..... | 110 |
| 6.2 ETAR industriais .....                                           | 110 |
| 6.2.1 ETARI da Bel .....                                             | 110 |
| 6.2.1.1 Caracterização do afluente e efluente .....                  | 110 |
| 6.2.1.2 Caracterização do licor misto .....                          | 111 |
| 6.2.1.3 Caracterização/evolução da comunidade microbiológica .....   | 113 |

|         |                                                                                            |     |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.2.1.4 | Influência dos parâmetros na comunidade microbiológica .....                               | 117 |
| 6.2.2   | ETARI da Insulac .....                                                                     | 117 |
| 6.2.2.1 | Caracterização do afluente e efluente .....                                                | 117 |
| 6.2.2.2 | Caracterização do licor misto .....                                                        | 118 |
| 6.2.2.3 | Caracterização/evolução da comunidade microbiológica .....                                 | 119 |
| 6.2.2.4 | Influência dos parâmetros na comunidade microbiológica .....                               | 123 |
| 6.2.3   | ETARI do Matadouro .....                                                                   | 124 |
| 6.2.3.1 | Caracterização do afluente e efluente .....                                                | 124 |
| 6.2.3.2 | Caracterização do licor misto .....                                                        | 124 |
| 6.2.3.3 | Caracterização/evolução da comunidade microbiológica .....                                 | 126 |
| 6.2.3.4 | Influência dos parâmetros na comunidade microbiológica .....                               | 130 |
| 6.2.4   | ETARI da Salsiçor .....                                                                    | 131 |
| 6.2.4.1 | Caracterização do afluente e efluente .....                                                | 131 |
| 6.2.4.2 | Caracterização do licor misto .....                                                        | 131 |
| 6.2.4.3 | Caracterização/evolução da comunidade microbiológica .....                                 | 133 |
| 6.2.4.4 | Influência dos parâmetros na comunidade microbiológica .....                               | 137 |
| 6.2.5   | ETARI da Unileite .....                                                                    | 138 |
| 6.2.5.1 | Caracterização do afluente e efluente .....                                                | 138 |
| 6.2.5.2 | Caracterização do licor misto .....                                                        | 138 |
| 6.2.5.3 | Caracterização/evolução da comunidade microbiológica .....                                 | 140 |
| 6.2.5.4 | Influência dos parâmetros na comunidade microbiológica .....                               | 144 |
| 6.3     | Análise conjunta das ETAR e ETARI estudadas .....                                          | 145 |
| 6.3.1   | Caracterização dos vários afluentes e efluentes das ETAR e ETARI estudadas .....           | 145 |
| 6.3.2   | Caracterização dos licores mistos das ETAR e ETARI estudadas .....                         | 147 |
| 6.3.3   | Caracterização das comunidades microbiológicas das ETAR e ETARI estudadas .....            | 149 |
| 7.      | Conclusão.....                                                                             | 153 |
| 8.      | Referências bibliográficas.....                                                            | 157 |
| 9.      | Anexos .....                                                                               | 161 |
|         | Anexo I – Folha de registo .....                                                           | 161 |
|         | Anexo II – Tabela resumo de CBO/CQO/SST.....                                               | 162 |
|         | Anexo III – Tabela de parâmetros do Licor Misto das ETAR domésticas.....                   | 163 |
|         | Anexo IV – Tabela de parâmetros do Licor Misto das ETAR Industriais .....                  | 164 |
|         | Anexo V – Tabelas de abundância absoluta dos <i>taxa</i> identificados no licor misto..... | 165 |

## Índice de figuras

|                                                                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> - Processo de tratamento de água residual, por lamas ativadas...                                                                                                                  | 11 |
| <b>Figura 2</b> - Relação existente entre a taxa de metabolismo dos microrganismos do tanque de arejamento e a razão A/M.                                                                         | 12 |
| <b>Figura 3</b> - Rede trófica e relações entre os grupos de microrganismos presentes no tanque de arejamento.                                                                                    | 13 |
| <b>Figura 4</b> - Bactérias filamentosas, ETAR da Unileite                                                                                                                                        | 14 |
| <b>Figura 5</b> - Índice Filamentoso (IF): a) IF=0, b) IF=1; c) IF=2, filamentosos robustos (150X) e d) IF=2, filamentosos finos (300X).                                                          | 19 |
| <b>Figura 6</b> - Índice Filamentoso (IF): a) IF=3, filamentosos robustos (150X), b) IF=3, filamentosos finos (300X), c) IF=4, filamentosos robustos (150X) e d) IF=4, filamentosos finos (300X). | 20 |
| <b>Figura 7</b> - Índice Filamentoso (IF): a) IF=5, filamentosos robustos (150X), b) IF=5, filamentosos finos (300X).                                                                             | 20 |
| <b>Figura 8</b> - Localização do arquipélago dos Açores. Fonte: Google imagens                                                                                                                    | 25 |
| <b>Figura 9</b> - Ilha de São Miguel. Fonte: Google imagens                                                                                                                                       | 26 |
| <b>Figura 10</b> - Esquema representativo do procedimento correto de contagem da microfauna.                                                                                                      | 28 |
| <b>Figura 11</b> - Esquema da câmara de Fuchs-Rosenthal para a contagem de pequenos flagelados (a cinza estão marcadas as 16 quadrículas da diagonal).                                            | 29 |
| <b>Figura 12</b> - Localização das ETAR estudadas.                                                                                                                                                | 31 |
| <b>Figura 13</b> - Grade de limpeza mecânica e tanque de contacto da ETAR da Caloura....                                                                                                          | 32 |
| <b>Figura 14</b> - Tanque de arejamento e decantador secundário da ETAR da Caloura                                                                                                                | 33 |
| <b>Figura 15</b> - Exterior da ETAR compacta da Lomba da Maia                                                                                                                                     | 34 |
| <b>Figura 16</b> - Reator biológico e decantador da ETAR da Lomba da Maia                                                                                                                         | 34 |
| <b>Figura 17</b> - Tanque de arejamento e decantador da ETAR da Maia                                                                                                                              | 35 |
| <b>Figura 18</b> - Exterior da ETAR compacta das Milícias                                                                                                                                         | 36 |
| <b>Figura 19</b> - Interior do reator biológico da ETAR das Milícias                                                                                                                              | 37 |
| <b>Figura 20</b> - Pré-tratamento da ETAR dos Mosteiros.                                                                                                                                          | 38 |
| <b>Figura 21</b> - Reator e decantador circulares e tanque de contacto da ETAR dos Mosteiros                                                                                                      | 39 |
| <b>Figura 22</b> - Exterior ETAR da Pranchinha                                                                                                                                                    | 39 |
| <b>Figura 23</b> - Equipamento compacto de pré-tratamento da ETAR da Pranchinha                                                                                                                   | 40 |

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 24</b> - Reator biológico 2 da ETAR da Pranchinha.....                                                                        | 41 |
| <b>Figura 25</b> - Desarenador / desgordurador da ETAR de Rabo de Peixe .....                                                           | 42 |
| <b>Figura 26</b> - Esquema do tanque de arejamento da ETAR de Rabo de Peixe .....                                                       | 43 |
| <b>Figura 27</b> - Tanque de arejamento da ETAR de Rabo de Peixe.....                                                                   | 43 |
| <b>Figura 28</b> - Decantador secundário da ETAR de Rabo de Peixe .....                                                                 | 44 |
| <b>Figura 29</b> - ETARI da Bel .....                                                                                                   | 46 |
| <b>Figura 30</b> - Tanque de homogeneização e tanque de arejamento da ETARI da Bel....                                                  | 47 |
| <b>Figura 31</b> - Decantador secundário ETARI da Bel .....                                                                             | 47 |
| <b>Figura 32</b> - Fluxograma da ETARI da Bel .....                                                                                     | 48 |
| <b>Figura 33</b> - ETARI da Insulac .....                                                                                               | 49 |
| <b>Figura 34</b> - Decantador biológico e tanque de arejamento da ETARI da Insulac .....                                                | 50 |
| <b>Figura 35</b> – Modelo explicativo do processo da ETARI da Insulac .....                                                             | 51 |
| <b>Figura 36</b> - ETARI do Matadouro em reformulação.....                                                                              | 52 |
| <b>Figura 37</b> - Afluente, após remoção de gradados da ETARI do Matadouro .....                                                       | 53 |
| <b>Figura 38</b> - Tratamento biológico da ETARI da Salsiçor .....                                                                      | 54 |
| <b>Figura 39</b> - Gradagem e desgordurador da ETARI da Salsiçor.....                                                                   | 54 |
| <b>Figura 40</b> - Digestor anaeróbio 1 da ETARI da Unileite.....                                                                       | 55 |
| <b>Figura 41</b> - Digestor anaeróbio 2 e tanque de arejamento da ETARI da Unileite.....                                                | 56 |
| <b>Figura 42</b> – Fluxograma da ETARI da Unileite .....                                                                                | 56 |
| <b>Figura 43</b> – Valores de CBO <sub>5</sub> , CQO e SST da ETAR da Caloura (média com intervalo de confiança de 95%, n=3) .....      | 59 |
| <b>Figura 44</b> - Valores de temperatura e % de saturação de OD da ETAR da Caloura.....                                                | 61 |
| <b>Figura 45</b> - Abundância relativa dos grupos funcionais da ETAR da Caloura .....                                                   | 62 |
| <b>Figura 46</b> - Abundância relativa dos taxa, na ETAR da Caloura .....                                                               | 63 |
| <b>Figura 47</b> - Índice de filamentosas, da ETAR da Caloura.....                                                                      | 65 |
| <b>Figura 48</b> - Valores de CBO <sub>5</sub> , CQO e SST da ETAR da Lomba da Maia (média com intervalo de confiança de 95%, n=3)..... | 67 |
| <b>Figura 49</b> - Valores de temperatura e % de saturação de OD da ETAR da Lomba da Maia .....                                         | 68 |
| <b>Figura 50</b> - Abundância relativa dos grupos funcionais da ETAR da Lomba da Maia. 70                                               |    |
| <b>Figura 51</b> - Abundância relativa dos taxa, na ETAR da Lomba da Maia .....                                                         | 71 |
| <b>Figura 52</b> - Índice de filamentosas, da ETAR da Lomba da Maia .....                                                               | 73 |
| <b>Figura 53</b> - Valores de CBO <sub>5</sub> , CQO e SST da ETAR da Maia (média com intervalo de confiança de 95%, n=3).....          | 74 |

|                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 54</b> - Valores de temperatura e % de saturação de OD da ETAR da Maia .....                                                     | 76  |
| <b>Figura 55</b> - Abundância relativa dos grupos funcionais da ETAR da Maia.....                                                          | 77  |
| <b>Figura 56</b> - Abundância relativa dos taxa, na ETAR da Maia.....                                                                      | 78  |
| <b>Figura 57</b> - Índice de filamentosas, da ETAR da Maia .....                                                                           | 80  |
| <b>Figura 58</b> - Valores de CBO <sub>5</sub> , CQO e SST da ETAR das Milícias (média com intervalo de confiança de 95%, n=3) .....       | 81  |
| <b>Figura 59</b> - Valores de T - % de saturação de OD e pH – POR, da ETAR das Milícias .....                                              | 84  |
| <b>Figura 60</b> - Abundância relativa dos grupos funcionais da ETAR das Milícias .....                                                    | 85  |
| <b>Figura 61</b> - Abundância relativa dos taxa, na ETAR das Milícias .....                                                                | 86  |
| <b>Figura 62</b> – Índice de filamentosas, da ETAR das Milícias .....                                                                      | 88  |
| <b>Figura 63</b> - Valores de CBO <sub>5</sub> , CQO e SST da ETAR dos Mosteiros (média com intervalo de confiança de 95%, n=3).....       | 90  |
| <b>Figura 64</b> - Valores de T - % de saturação de OD e pH - POR, da ETAR dos Mosteiros .....                                             | 92  |
| <b>Figura 65</b> - Abundância relativa dos grupos funcionais da ETAR dos Mosteiros .....                                                   | 93  |
| <b>Figura 66</b> - Abundância relativa dos taxa, na ETAR dos Mosteiros .....                                                               | 94  |
| <b>Figura 67</b> – Índice de filamentosas, da ETAR dos Mosteiros.....                                                                      | 96  |
| <b>Figura 68</b> - Resultados de CBO <sub>5</sub> , CQO e SST da ETAR da Pranchinha (média com intervalo de confiança de 95%, n=3).....    | 97  |
| <b>Figura 69</b> - Valores T - % de saturação de OD e pH - POR da ETAR da Pranchinha .                                                     | 99  |
| <b>Figura 70</b> - Abundância relativa dos grupos funcionais da ETAR da Pranchinha.....                                                    | 100 |
| <b>Figura 71</b> - Abundância relativa dos taxa, na ETAR da Pranchinha.....                                                                | 101 |
| <b>Figura 72</b> – Índice de filamentosas, da ETAR da Pranchinha.....                                                                      | 102 |
| <b>Figura 73</b> - Resultados de CBO <sub>5</sub> , CQO e SST da ETAR de Rabo de Peixe (média com intervalo de confiança de 95%, n=3)..... | 104 |
| <b>Figura 74</b> - Valores de temperatura e % de saturação de OD da ETAR de Rabo de Peixe .....                                            | 106 |
| <b>Figura 75</b> - Abundância relativa dos grupos funcionais da ETAR de Rabo de Peixe .                                                    | 107 |
| <b>Figura 76</b> - Abundância relativa dos taxa, na ETAR de Rabo de Peixe.....                                                             | 108 |
| <b>Figura 77</b> - Índice de filamentosas, da ETAR de Rabo de Peixe .....                                                                  | 109 |
| <b>Figura 78</b> - Resultados de CBO <sub>5</sub> , CQO e SST da ETARI da Bel (média com intervalo de confiança de 95%, n=3) .....         | 111 |
| <b>Figura 79</b> - Valores T - % de saturação de OD e pH - POR da ETARI da Bel.....                                                        | 113 |

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 80</b> - Abundância relativa dos grupos funcionais da ETARI da Bel .....        | 114 |
| <b>Figura 81</b> - Abundância relativa dos taxa, na ETARI da Bel .....                    | 115 |
| <b>Figura 82</b> - Índice de filamentosas, da ETARI da Bel .....                          | 116 |
| <b>Figura 83</b> - Valores T - % de saturação de OD e pH - POR da ETARI da Insulac.....   | 119 |
| <b>Figura 84</b> - Abundância relativa dos grupos funcionais da ETARI da Insulac .....    | 120 |
| <b>Figura 85</b> - Abundância relativa dos taxa, na ETARI da Insulac .....                | 121 |
| <b>Figura 86</b> - Índice de filamentosas, da ETARI da Insulac .....                      | 123 |
| <b>Figura 87</b> - Valores T - % de saturação de OD e pH - POR da ETARI do Matadouro..... | 125 |
| <b>Figura 88</b> - Abundância relativa dos grupos funcionais da ETARI do Matadouro.....   | 127 |
| <b>Figura 89</b> - Abundância relativa dos taxa, na ETARI do Matadouro.....               | 128 |
| <b>Figura 90</b> - Índice de filamentosas, da ETARI do Matadouro .....                    | 129 |
| <b>Figura 91</b> - Valores T - % de saturação de OD e pH - POR da ETARI da Salsiçor ...   | 133 |
| <b>Figura 92</b> - Abundância relativa dos grupos funcionais da ETARI da Salsiçor.....    | 134 |
| <b>Figura 93</b> - Abundância relativa dos taxa, na ETARI da Salsiçor.....                | 135 |
| <b>Figura 94</b> - Índice de filamentosas, da ETARI da Salsiçor .....                     | 136 |
| <b>Figura 95</b> - Valores T - % de saturação de OD e pH - POR da ETARI da Unileite ...   | 139 |
| <b>Figura 96</b> - Abundância relativa dos grupos funcionais da ETARI da Unileite.....    | 141 |
| <b>Figura 97</b> - Abundância relativa dos taxa, na ETARI da Unileite.....                | 142 |
| <b>Figura 98</b> - Índice de filamentosas, da ETARI da Unileite .....                     | 144 |
| <b>Figura 99</b> - Análise de <i>clusters</i> .....                                       | 152 |



## Índice de tabelas

|                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> - Composição típica de águas residuais brutas de origem doméstica e industrial (Matadouros, Salas de desmanche e Laticínios).....                                                         | 4  |
| <b>Tabela 2</b> - Características físicas, químicas e biológicas das AR.....                                                                                                                              | 5  |
| <b>Tabela 3</b> – Operações e processos em cada fase de tratamento de águas residuais.....                                                                                                                | 7  |
| <b>Tabela 4</b> - Lista dos protozoários ciliados mais frequentes nas lamas ativadas e respetivos grupos tróficos .....                                                                                   | 17 |
| <b>Tabela 5</b> - Situações particulares do funcionamento de sistemas de tratamento de águas residuais por lamas ativadas .....                                                                           | 21 |
| <b>Tabela 6</b> - Tabela de duas entradas para o cálculo do IBL (S - nº de espécies da microfauna, excluindo os flagelados e F - nº de pequenos flagelados na diagonal da Câmara de Fuchs-Rosenthal)..... | 22 |
| <b>Tabela 7</b> - Conversão do valor do IBL em classes de qualidade biológica das lamas ativadas e avaliação da eficiência depuradora do tratamento .....                                                 | 23 |
| <b>Tabela 8</b> - Compilação das informações mais relevantes das ETAR domésticas estudadas na Ilha de São Miguel .....                                                                                    | 45 |
| <b>Tabela 9</b> - Compilação das informações das ETARI estudadas na Ilha de São Miguel .....                                                                                                              | 57 |
| <b>Tabela 10</b> – Parâmetros físico-químicos do licor misto da ETAR da Caloura.....                                                                                                                      | 60 |
| <b>Tabela 11</b> - Valores de IBL, da ETAR da Caloura.....                                                                                                                                                | 64 |
| <b>Tabela 12</b> – Correlações dos parâmetros físico-químicos/ biológicos, para a ETAR ...                                                                                                                | 66 |
| <b>Tabela 13</b> - Parâmetros físico-químicos do licor misto da ETAR da Lomba da Maia..                                                                                                                   | 68 |
| <b>Tabela 14</b> - Valores de IBL, da ETAR da Lomba da Maia .....                                                                                                                                         | 72 |
| <b>Tabela 15</b> – Correlações dos parâmetros físico-químicos/ biológicos, para a ETAR da Lomba da Maia.....                                                                                              | 73 |
| <b>Tabela 16</b> - Parâmetros físico-químicos do licor misto da ETAR da Maia.....                                                                                                                         | 75 |
| <b>Tabela 17</b> - Valores de IBL, da ETAR da Maia .....                                                                                                                                                  | 79 |
| <b>Tabela 18</b> - Correlações dos parâmetros físico-químicos/ biológicos, para a ETAR da Maia.....                                                                                                       | 80 |
| <b>Tabela 19</b> - Parâmetros físico-químicos do licor misto da ETAR das Milícias .....                                                                                                                   | 83 |
| <b>Tabela 20</b> - Valores de IBL, da ETAR das Milícias.....                                                                                                                                              | 87 |
| <b>Tabela 21</b> - Correlações dos parâmetros físico-químicos/ biológicos, para a ETAR das Milícias .....                                                                                                 | 89 |
| <b>Tabela 22</b> - Parâmetros físico-químicos do licor misto da ETAR dos Mosteiros .....                                                                                                                  | 91 |

|                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabela 23</b> - Valores de IBL, da ETAR dos Mosteiros.....                                                 | 95  |
| <b>Tabela 24</b> - Correlações dos parâmetros físico-químicos/ biológicos, para a ETAR dos Mosteiros .....    | 96  |
| <b>Tabela 25</b> - Parâmetros físico-químicos do licor misto da ETAR da Pranchinha .....                      | 98  |
| <b>Tabela 26</b> - Valores de IBL, da ETAR da Pranchinha .....                                                | 102 |
| <b>Tabela 27</b> - Correlações dos parâmetros físico-químicos/ biológicos, para a ETAR da Pranchinha .....    | 103 |
| <b>Tabela 28</b> - Parâmetros físico-químicos do licor misto da ETAR de Rabo de Peixe..                       | 105 |
| <b>Tabela 29</b> - Valores de IBL, da ETAR de Rabo de Peixe .....                                             | 109 |
| <b>Tabela 30</b> - Correlações dos parâmetros físico-químicos/ biológicos, para a ETAR de Rabo de Peixe ..... | 110 |
| <b>Tabela 31</b> - Parâmetros físico-químicos do licor misto da ETARI da Bel .....                            | 112 |
| <b>Tabela 32</b> - Valores de IBL, da ETARI da Bel .....                                                      | 116 |
| <b>Tabela 33</b> - Correlações dos parâmetros físico-químicos/ biológicos, para a ETARI da Bel.....           | 117 |
| <b>Tabela 34</b> - Parâmetros físico-químicos do licor misto da ETARI da Insulac .....                        | 118 |
| <b>Tabela 35</b> - Valores de IBL, da ETARI da Insulac.....                                                   | 122 |
| <b>Tabela 36</b> - Correlações dos parâmetros físico-químicos/ biológicos, para a ETARI da Insulac.....       | 123 |
| <b>Tabela 37</b> - Concentrações do efluente tratado da ETARI do Matadouro .....                              | 124 |
| <b>Tabela 38</b> - Parâmetros físico-químicos do licor misto da ETARI do Matadouro.....                       | 125 |
| <b>Tabela 39</b> - Valores de IBL, da ETARI do Matadouro .....                                                | 129 |
| <b>Tabela 40</b> - Correlações dos parâmetros físico-químicos/ biológicos, para a ETARI do Matadouro.....     | 130 |
| <b>Tabela 41</b> - Concentrações do efluente tratado da ETARI da Salsiçor .....                               | 131 |
| <b>Tabela 42</b> - Parâmetros físico-químicos do licor misto da ETARI da Salsiçor.....                        | 132 |
| <b>Tabela 43</b> - Valores de IBL, da ETARI da Salsiçor .....                                                 | 136 |
| <b>Tabela 44</b> - Correlações dos parâmetros físico-químicos/ biológicos, para a ETARI da Salsiçor .....     | 137 |
| <b>Tabela 45</b> - Concentrações do efluente tratado da ETARI Unileite .....                                  | 138 |
| <b>Tabela 46</b> - Parâmetros físico-químicos do licor misto da ETARI da Unileite.....                        | 138 |
| <b>Tabela 47</b> - Valores de IBL, da ETARI da Unileite .....                                                 | 143 |
| <b>Tabela 48</b> - Correlações dos parâmetros físico-químicos/ biológicos, para a ETARI da Unileite .....     | 144 |

|                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabela 49</b> - Compilação da caracterização das AR brutas e das AR tratadas das ETAR e ETARI estudadas na Ilha de São Miguel..... | 146 |
| <b>Tabela 50</b> - Compilação da caracterização do licor misto das ETAR e ETARI estudadas na Ilha de São Miguel.....                  | 148 |
| <b>Tabela 51</b> - Compilação da caracterização microbiológica das ETAR e ETARI estudadas na Ilha de São Miguel .....                 | 150 |



## Abreviaturas

A/M - Razão alimento/microrganismo

AR – Águas residuais

ARB – Água residuais brutas

ARD – Águas residuais domésticas

ARI - Águas residuais industriais

ART - Água residual tratada

ARU - Águas residuais urbanas

CBO<sub>5</sub> - Carência bioquímica de oxigénio ao fim de 5 dias

CQO - Carência química de oxigénio

EBI - Extended Biotic Index (Índice biótico estendido)

ETAR - Estação de tratamento de águas residuais

ETARI - Estação de tratamento de águas residuais industriais

DP – Desvio padrão

IC – Intervalo de confiança

IBL - Índice biológico de lamas

MBBR - Moving Bed Biologic Reactor (Reator biológico de leito móvel)

OD - Oxigénio dissolvido

OPU - Operações/processos unitários de tratamento

POR – Potencial de oxidação redução /Potencial-redox

SBI - Sludge Biotic Index (Índice biológico de lamas)

SDTAR – Sistema de drenagem e tratamento de águas residuais

V<sub>30</sub> – Volume de lamas sedimentáveis em 30 minutos

SST - Sólidos suspensos totais

VLE – Valor limite de emissão



## **1. Introdução**

### **1.1 Enquadramento e oportunidade de tema**

A água tem uma função vital e primordial para o equilíbrio ecológico, sendo um recurso natural imprescindível para a Vida na Terra (Projecto dQa). Devido à utilização generalizada da água em todos os setores, é do conhecimento geral que a água é um bem natural de elevado valor económico e social. Tendo, também, consciência da vulnerabilidade deste recurso essencial, após o seu uso e antes de voltar ao ciclo natural, a água deverá ser devidamente tratada de modo a não danificar e/ou contaminar o meio recetor. Neste sentido, no início do século XX, entraram em operação as primeiras estações de tratamento de águas residuais (ETAR) na Alemanha (do Monte, *et al.*, 2016). Uma ETAR é uma instalação que engloba uma fileira de operações e processos unitários de tratamento destinados a remover as substâncias poluentes e também, em certos casos, os microrganismos patogénicos presentes nas águas residuais (AR), de modo a produzir um efluente – água residual tratada (ART) – com a qualidade pretendida. Tratar efluentes consiste basicamente em transformar os compostos orgânicos em substâncias mais simples (sais minerais e gás carbónico) através do processo da respiração aeróbia ou anaeróbia. No caso de presença de compostos inorgânicos tóxicos, como metais pesados, o objetivo é removê-los ou transformá-los em formas menos nocivas.

Poder-se-á afirmar que não existem duas ETAR iguais, visto que, a conceção de uma ETAR depende do tipo de afluentes, do tipo de sistema de drenagem, do meio recetor e da sua classificação (zona sensível ou zona pouco sensível), dos fatores climáticos e local de implantação da obra.

Existem vários tipos de tratamento de AR, no entanto, as lamas ativadas são o processo mais utilizado em todo mundo (Jenkins et al., 2004). O sistema de lamas ativadas baseia-se na oxidação da matéria orgânica, por ação de bactérias aeróbias, em tanques de arejamento, dando origem a uma rede trófica neste órgão de tratamento e a substâncias inorgânicas simples. A componente biótica é representada pelos organismos decompositores (bactérias e fungos que obtêm a energia diretamente da matéria orgânica dissolvida) e pelos consumidores (flagelados heterotróficos, protozoários ciliados, e pequenos metazoários) que se alimentam de bactérias, de outros organismos e ainda de matéria orgânica particulada morta.

Após vários anos de estudos, e de entre outros métodos de análise, surgiu o Índice Biótico das Lamas (IBL), proposto por Madoni em 1994 (Nicolau, 2011). Este índice é inspirado no “Extended Biotic Index” (EBI) de Woodiwiss (1980) e baseia-se na

abundância e na diversidade específica da comunidade e nas diferentes sensibilidades reveladas por alguns grupos da microfauna aos fatores físico-químicos prevalentes no sistema. A análise da microfauna tem-se tornado cada vez mais comum como indicadora do desempenho de ETAR, pois permite avaliar de uma forma prática e imediata as condições de operação do reator biológico de lamas ativadas, a partir da atividade biológica.

Visto não haver registo do estudo da comunidade biológica em ETAR de Lamas Ativadas no arquipélago dos Açores, considerou-se oportuno desenvolver este estudo e em simultâneo atualizar o registo das ETAR urbanas e industriais em funcionamento, na ilha de São Miguel.

## **1.2 Objetivo**

Este projeto tem como principal objetivo analisar as comunidades de protozoários e metazoários nas ETAR de Lamas Ativadas em funcionamento na ilha de São Miguel. Pretende-se também relacionar o tipo de microrganismos com a eficiência de remoção registada e com as condições de operação (os parâmetros físico-químicos no reator biológico), comparar a microfauna entre os três tipos de ETAR estudadas (domésticas, indústria de laticínios e indústria transformadora de carne) e por último, criar uma ferramenta de apoio à gestão das ETAR com base na composição microbiana do reator biológico.