

Área Departamental de Engenharia Química



Avaliação de Desempenho de ETAR – Balanços de Massa

BRUNO MIGUEL DIAS DA FONTE

(Licenciado em Engenharia Química e Biológica – Ramo Ambiente)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química e Biológica – Ramo de Processos Químicos

Orientadores:

Doutora Ana Maria Garcia Henriques Barreiros Joanaz de Melo

Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos

Júri:

Presidente: Doutor Teodoro José Pereira Trindade

Vogais:

Doutor João Fernando Pereira Gomes

Doutora Ana Maria Garcia Henriques Barreiros Joanaz de Melo

Setembro 2017

Área Departamental de Engenharia Química



Avaliação de Desempenho de ETAR – Balanços de Massa

BRUNO MIGUEL DIAS DA FONTE

(Licenciado em Engenharia Química e Biológica – Ramo Ambiente)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Química e Biológica – Ramo de Processos Químicos

Orientadores:

Doutora Ana Maria Garcia Henriques Barreiros Joanaz de Melo

Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos

Júri:

Presidente: Doutor Teodoro José Pereira Trindade

Vogais:

Doutor João Fernando Pereira Gomes

Doutora Ana Maria Garcia Henriques Barreiros Joanaz de Melo

Setembro 2017

Agradecimentos

Às minhas orientadoras, Professora Ana Maria Garcia Henriques Barreiros Joanaz de Melo e Professora Maria Teresa Loureiro dos Santos, exprimo um profundo sentimento de agradecimento por toda a orientação e apoio prestados ao longo da elaboração deste trabalho.

Aos Eng.^o Luís Gomes, Eng.^o Paulo Inocêncio e à Eng.^a Rita Alves das Águas do Tejo Atlântico pelos dados fornecidos em relação às ETAR em estudo.

À minha família e amigos pela compreensão e apoio demonstrados.

Resumo

O presente trabalho pretende avaliar a eficiência de remoção de SST, CBO₅ e CQO em diferentes estações de tratamento de águas residuais (ETAR), recorrendo a balanços de massa. As ETAR analisadas cumprem os limites de concentração e de eficiências de remoção estabelecidas legalmente. As eficiências de remoção, em cada nível de tratamento, encontram-se acima dos valores bibliográficos encontrados, pelo que os diferentes órgãos de tratamento se encontram a funcionar dentro dos parâmetros previstos.

No presente trabalho foram analisadas três das grandes ETAR existentes no distrito de Lisboa, representando uma população servida de 1.671.000 hab.eq um caudal médio de cerca de 694.740 m³/d.

As três ETAR avaliadas cumprem a legislação em vigor, apresentando geralmente percentagens de remoção de sólidos e matéria orgânica superior ao legislado. A nível de toda a fileira de tratamento as eficiências globais estão genericamente acima dos 90% para remoção de sólidos e matéria orgânica.

Da análise detalhada a cada nível de tratamento e mais especificamente a cada órgão de tratamento existem diferenças entre as ETAR, nomeadamente no tratamento primário em que a ETAR de Frielas apresenta menores eficiências de remoção.

Palavras-chaves: Balanços de massa; ETAR; água residual

Abstract

The present work intends to evaluate the removal efficiency of TSS, COD and BOD₅ in different wastewater treatment plant (WWTP), using mass balances. The analyzed WWTP comply with the concentration limits and removal efficiencies established by law. The removal efficiencies, at each treatment level, are above the bibliographic values found, therefore the treatment equipment's within the WWTP are functioning within the expected parameters. In the present work, three of the largest WWTP in the Lisbon district were analyzed, representing a population served of 1,671,000 inhabitants and an average flow of about 694,740 m³/d.

The three WWTP evaluated comply with the wastewater legislation, generally presenting percentages of removal of solids and organic matter higher than the legislated. At the level of the global treatment line the overall efficiencies are generally above 90 % for solids and organic matter removals.

From the detailed analysis at each level of treatment and more specifically to each treatment equipment, there are differences between the three WWTP, namely in the primary treatment in which the Frielas WWTP presents the lowest removal efficiencies.

Key word: Mass balance; WWTP; wastewater

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	6
1.3. Metodologia	6
1.4. Estrutura.....	8
2. Águas Residuais.....	9
3. Tratamento de Águas Residuais em Portugal	17
4. Balanços de Massa às ETAR.....	20
4.1. Nota Introdutória	20
4.2. Balanços de Massa com reação	21
4.3. Balanços de Massa sem reação	23
4.4. Balanço global à ETAR.....	25
5. Casos de Estudo	27
5.1. Critérios de Seleção das ETAR.....	27
5.2. Tratamento de Águas Residuais na Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste 28	
5.3. ETAR de Beirolas	33
5.3.1. Descrição da ETAR de Beirolas.....	33
5.3.2. Balanço de Massa à ETAR de Beirolas	39
5.4. ETAR de Frielas.....	48
5.4.1. Descrição da ETAR de Frielas	48
5.4.2. Balanço de Massa à ETAR de Frielas	51
5.5. ETAR de Alcântara.....	63
5.5.1. Descrição da ETAR de Alcântara	63
5.5.2. Balanço de Massa à ETAR de Alcântara	67
6. Apresentação e Discussão de Resultados.....	74
6.1. Discussão de Resultados para a ETAR de Beirolas.....	74
6.2. Discussão de Resultados para a ETAR de Frielas	75
6.3. Discussão de Resultados para a ETAR de Alcântara	76
6.4. Comparação do Funcionamento das ETAR.....	78

7. Conclusões e Trabalhos Futuros	80
Referências Bibliográficas.....	82
Anexos	87
Anexo I – Apresentações Realizadas no Fórum de Engenharia Química e Bioquímica e no Encontro Luso-Galego de Química.....	88

Índice de Figuras

Figura 1 – Tipos de sólidos em águas residuais	10
Figura 2 –Esquema representando os diferentes níveis de tratamento numa ETAR ...	12
Figura 3 – Evolução do número de ETAR, em Portugal, no período compreendido entre 2011 e 2015	17
Figura 4 – Percentagens de ETAR por nível de tratamento em Portugal	18
Figura 5 – Variação do volume de AR, em milhões de m ³ , recolhida e tratada em Portugal no período entre 2011 e 2015	19
Figura 6 – Representação esquemática de um reator biológico de mistura completa .	21
Figura 7 – Representação esquemática de um decantador.....	23
Figura 8 – Volume de AR tratado na RH5 do Tejo	29
Figura 9 – Percentagem do volume de AR tratadas nas EG da RH5 do Tejo	30
Figura 10 – Volume de água residual tratado nas ETAR da SIMTEJO em 2014	31
Figura 11 – Percentagem de caudais anuais por subsistema da SIMTEJO no ano de 2014.....	31
Figura 12 – ETAR de Beirolas.....	33
Figura 13 – Esquema de tratamento na ETAR de Beirolas.....	34
Figura 14 – Correntes do esquema de tratamento da ETAR de Beirolas.....	35
Figura 15 – Decantador primário da ETAR de Beirolas	36
Figura 16 – Sistema de lamas ativadas da ETAR de Beirolas	36
Figura 17 – Reservatório de gás na ETAR de Beirolas	37
Figura 18 – Perfil de caudal mensal aglomerado para a ETAR de Beirolas entre 2011 e 2014.....	38
Figura 19 – Tratamento preliminar e primário da ETAR de Beirolas	41
Figura 20 – Tratamento secundário da ETAR de Beirolas	44
Figura 21 – Representação esquemática do tratamento terciário da ETAR de Beirolas	45
Figura 22 – Tratamento de lamas na ETAR de Beirolas	46
Figura 23 – Representação esquemática da ETAR de Frielas.....	48
Figura 24 – Tanques de arejamento da ETAR de Frielas	50
Figura 25 – Perfil de caudal mensal aglomerado afluente à ETAR de Frielas entre 2011 e 2014.....	50
Figura 26 – Representação esquemática do tratamento preliminar da ETAR de Frielas	52
Figura 27 – Representação esquemática do tratamento primário da ETAR de Frielas	54
Figura 28 – Representação esquemática do tratamento secundário da ETAR de Frielas.....	56
Figura 29 – Representação esquemática do tratamento de afinação da ETAR de Frielas.....	57
Figura 30 – Tratamento das lamas primárias e secundárias da ETAR de Frielas	60
Figura 31 – Bacia de entrada da ETAR de Alcântara.....	63
Figura 32 – Representação esquemática da linha de tratamento líquida e sólida da ETAR de Alcântara.....	64
Figura 33 – Tamisadores da ETAR de Alcântara: a) vista exterior e b) tambor.....	64
Figura 34 – Desarenador/desengordurador da ETAR de Alcântara	65

Figura 35 – Perfil de caudal mensal aglomerado afluente à ETAR de Alcântara entre 2011 e 2014.....	66
Figura 36 – Tratamento preliminar e primário da ETAR de Alcântara.....	67
Figura 37 – Representação esquemática do tratamento primário na ETAR de Alcântara	69
Figura 38 – Tratamento secundário e terciário da ETAR de Alcântara	70
Figura 39 – Linha de tratamento de lamas da ETAR de Alcântara.....	72

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Requisitos de SST, CBO ₅ e CQO para as descargas de ETAR em meios recetores	4
Tabela 2 – Requisitos para as descargas de ETAR em zonas consideradas sensíveis 4	
Tabela 3 – Tipos de Sólidos	10
Tabela 4 – CBO ₅ /CQO como indicador de tratamento.....	11
Tabela 5 – Concentrações típicas de ARU não tratadas	12
Tabela 6 – Eficiências típicas de remoção para os diferentes órgãos de tratamento em ETAR	16
Tabela 7 – ETAR de grandes dimensões em Portugal continental por RH.....	27
Tabela 8 – Caudais mínimos, médios e máximos para tempo seco e tempo húmido da ETAR de Beirolas	39
Tabela 9 – Concentração de SST, CBO ₅ e CQO no afluente e no efluente da ETAR em tempo húmido e seco e as eficiências de remoção	40
Tabela 10 – Cargas de SST, CBO ₅ e CQO à entrada e saída da ETAR de Beirolas para tempo seco e tempo húmido	40
Tabela 11 – Balanço de massa ao tratamento preliminar da ETAR de Beirolas em tempo seco	42
Tabela 12 – Balanço de massa ao tratamento preliminar da ETAR de Beirolas em tempo húmido	42
Tabela 13 – Balanço de massa ao tratamento primário da ETAR de Beirolas em tempo seco	43
Tabela 14 – Balanço de massa ao tratamento primário da ETAR de Beirolas em tempo húmido.....	43
Tabela 15 – Concentração de SST, CBO ₅ e CQO no afluente e no efluente do tratamento primário em tempo húmido e seco. Eficiências de remoção.....	43
Tabela 16 – Balanço de massa ao tratamento secundário da ETAR de Beirolas em tempo seco	44
Tabela 17 – Balanço de massa ao tratamento secundário da ETAR de Beirolas em tempo húmido	44
Tabela 18 – Concentração de SST, CBO ₅ e CQO no afluente e efluente ao tratamento secundário da ETAR de Beirolas. Eficiências de remoção	45
Tabela 19 – Balanço de massa ao espessamento e mistura de lamas, em tempo seco, da ETAR de Beirolas	46
Tabela 20 – Balanço de massa ao espessamento e mistura de lamas, em tempo húmido, da ETAR de Beirolas	47
Tabela 21 – Balanço de massa à digestão e à desidratação de lamas da ETAR de Beirolas em tempo seco	47
Tabela 22 – Balanço de massa à digestão e à desidratação de lamas da ETAR de Beirolas em tempo húmido	48
Tabela 23 – Caudais mínimos, médios e máximos para tempo seco e húmido na ETAR de Frielas	51
Tabela 24 – Rácios obtidos para as variáveis de entrada, em tempo seco e húmido, para a ETAR de Frielas	51
Tabela 25 – Concentração de SST, CQO e CBO ₅ no afluente e efluente, em tempo seco e húmido, à ETAR de Frielas e eficiências de remoção.....	52

Tabela 26 – Balanço de massa à gradagem da ETAR de Frielas em tempo seco	53
Tabela 27 – Balanço de massa à gradagem da ETAR de Frielas em tempo húmido ..	53
Tabela 28 – Balanço de massa à desarenação da ETAR de Frielas em tempo seco ..	53
Tabela 29 – Balanço de massa à desarenação da ETAR de Frielas em tempo húmido	54
Tabela 30 – Balanço de massa à decantação primária da ETAR de Frielas em tempo seco	54
Tabela 31 – Balanço de massa à decantação primária da ETAR de Frielas em tempo húmido.....	55
Tabela 32 – Concentração de SST, CBO ₅ e CQO no afluente e no efluente do decantador primário em tempo húmido e seco e eficiências de remoção	55
Tabela 33 – Balanço de massa à equalização da ETAR de Frielas em tempo seco....	55
Tabela 34 – Balanço de massa à equalização da ETAR de Frielas em tempo húmido	56
Tabela 35 – Balanço de massa à decantação secundária da ETAR de Frielas em tempo seco	56
Tabela 36 – Balanço de massa à decantação secundária da ETAR de Frielas em tempo húmido	57
Tabela 37 – Concentração de SST, CBO ₅ e CQO no afluente e no efluente do decantador primário em tempo húmido e seco e eficiências de remoção	57
Tabela 38 – Balanço de massa à biofiltração da ETAR de Frielas em tempo seco.....	58
Tabela 39 – Balanço de massa à biofiltração da ETAR de Frielas em tempo húmido .	58
Tabela 40 – Balanço de massa à desinfecção por UV da ETAR de Frielas em tempo seco	59
Tabela 41 – Balanço de massa à desinfecção por UV da ETAR de Frielas em tempo húmido.....	59
Tabela 42 – Balanço de massa ao espessamento gravítico e por flotação da ETAR de Frielas em tempo seco	60
Tabela 43 – Balanço de massa ao espessamento gravítico e por flotação da ETAR de Frielas em tempo húmido.....	61
Tabela 44 – Balanço de massa à digestão anaeróbia da ETAR de Frielas em tempo seco	61
Tabela 45 – Balanço de massa à digestão anaeróbia da ETAR de Frielas em tempo húmido.....	61
Tabela 46 – Balanço de massa à desidratação de lamas da ETAR de Frielas em tempo seco	62
Tabela 47 – Balanço de massa à desidratação de lamas da ETAR de Frielas em tempo húmido	62
Tabela 48 – Caudais mínimos, médios e máximos para tempo seco e húmido da ETAR de Alcântara	66
Tabela 49 – Concentrações de SST, CQO e CBO ₅ no afluente e efluente, em tempo seco e húmido, da ETAR de Alcântara e eficiências de remoção globais	67
Tabela 50 – Balanço de massa ao tratamento preliminar da ETAR de Alcântara em tempo seco	68
Tabela 51 – Balanço de massa ao tratamento preliminar da ETAR de Alcântara em tempo húmido	68

Tabela 52 – Balanço de massa ao tratamento primário da ETAR de Alcântara em tempo seco.....	69
Tabela 53 – Balanço de massa ao tratamento primário da ETAR de Alcântara em tempo húmido	69
Tabela 54 – Eficiências de remoção de SST, CBO ₅ e CQO no tratamento primário da ETAR de Alcântara.....	70
Tabela 55 – Balanço de massa à biofiltração da ETAR de Alcântara em tempo seco.	71
Tabela 56 – Balanço de massa à biofiltração da ETAR de Alcântara em tempo húmido	71
Tabela 57 – Eficiência de remoção de SST, CBO ₅ e CQO no tratamento secundário da ETAR de Alcântara.....	71
Tabela 58 – Balanço de massa ao tratamento das lamas da ETAR de Alcântara em tempo seco.....	72
Tabela 59 – Balanço de massa ao tratamento das lamas da ETAR de Alcântara em tempo húmido	73
Tabela 60 – Eficiências de remoção nos diferentes níveis de tratamento na ETAR de Beirolas.	74
Tabela 61 – Comparação das concentrações de SST, CBO ₅ e CQO no efluente da ETAR de Beirolas e as concentrações limite.....	75
Tabela 62 – Eficiências de remoção nos diferentes níveis de tratamento na ETAR de Frielas.....	75
Tabela 63 – Comparação das concentrações de SST, CBO ₅ e CQO no efluente da ETAR de Frielas e as concentrações limite	76
Tabela 64 – Eficiência de remoção nos diferentes níveis de tratamento na ETAR de Alcântara.....	76
Tabela 65 – Comparação das concentrações de SST, CBO ₅ e CQO no efluente da ETAR de Alcântara e as concentrações limite	77
Tabela 66 – Eficiências de remoção globais, em tempo seco e húmido, para as ETAR analisadas.....	78
Tabela 67 – Eficiências de remoção do tratamento primário, em tempo seco e húmido, para as ETAR analisadas	78
Tabela 68 – Eficiências de remoção do tratamento secundário, em tempo seco e húmido, para as ETAR analisadas	79

Símbolos e Abreviaturas

AdC – Águas do Centro

AdCA – Águas do Centro Alentejano

AdNA – Águas do Norte Alentejano

AdO – Águas do Oeste

AdP – Águas de Portugal

AdZC – Águas do Zêzere e Côa

AL – Água de Lavagem

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

AR – Águas Residuais

ARU – Águas Residuais Urbanas

ATA – Águas do Tejo Atlântico

BOD₅ – Biological Oxygen Demand

CBO₅ – Carência Bioquímica de Oxigénio após 5 Dias

COD – Chemical Oxygen Demand

COT – Carbono Orgânico Total

CQO – Carência Química de Oxigénio

DSRH – Direção de Serviços dos Recursos Hídricos

e.p. – equivalentes populacionais

EG – Entidade Gestora

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

FSC – Fossas Séticas Coletivas

GESAMP – United Nations Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution

INSAAR – Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais

RASARP – Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal

RB – Reator Biológico

REA – Relatório de Estado do Ambiente

RH – Região Hidrográfica

SANEST – Saneamento da Costa do Estoril, S.A.

SDF – Sólidos Dissolvidos Fixos

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

SDV – Sólidos Dissolvidos Voláteis

SIMARSUL – Sistema Integrado Multimunicipal de Águas Residuais da Península de Setúbal, S.A.

SIMTEJO – Saneamento Integrado dos Municípios do Tejo e Trancão, S.A.

SSF – Sólidos Suspensos Fixos

SST – Sólidos Suspensos Totais

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis

ST – Sólidos Totais

TSS – Total Suspended Solids

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A água é uma das substâncias das quais o ser humano mais depende para a sua sobrevivência. O Homem utiliza este recurso diariamente de modo a manter-se hidratado, cozinhar, tratar da sua higiene entre outros usos. Em adição a estes usos, a sociedade moderna utiliza ainda consideráveis recursos hídricos nos vários sectores da indústria, agricultura, produção de energia ou atividades de lazer. Como tal, atualmente este recurso tão indispensável à vida encontra-se sujeito a uma elevada pressão.

Com cada uso subsequente a qualidade da água é diminuída, tornando-se imprópria para diversos fins. Assim sendo, torna-se necessária a existência de tratamentos que renovem a sua qualidade tal como as estações de tratamento de águas residuais (ETAR).

O Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de agosto apresenta as normas, critérios e objetivos de qualidade da água. Além dos limites legais impostos pelo anterior decreto, as descargas das ETAR têm que respeitar os pressupostos do Decreto-Lei nº 152/97 de 19 de junho, alterado pelos Decreto-Lei nº 348/98 de 9 de novembro nº 133/2015 de 13 de julho. Existem ainda os limites impostos pelas licenças de descarga para cada ETAR.

A poluição pode ser definida como a introdução de substâncias ou energia em meios aquáticos, pelo Homem, que provoquem efeitos adversos no ecossistema ou nos seres vivos (GESAMP, 1969).

Os poluentes presentes nas águas residuais (AR) são essencialmente sólidos, matéria orgânica, nutrientes (N e P) e microrganismos (Metcalf & Eddy, 2014).

Os sólidos, de entre os quais se destacam os sólidos suspensos totais (SST), e a matéria orgânica, representada pela carência bioquímica de oxigénio após 5 dias a temperatura constante de 20 °C (CBO₅) e a carência química de oxigénio (CQO), são fatores importante na determinação da qualidade da água,

sendo que a sua acumulação provoca efeitos indesejáveis. As consequências do aumento da concentração destes poluentes nos cursos de água incluem aspetos estéticos, o aumento do custo do tratamento, o declínio nas populações de espécies aquáticas e a degradação ecológica dos meios aquáticos (Bilotta & Brazier, 2008).

O aumento da concentração dos sólidos afeta a qualidade da água, alterando as suas propriedades físico-químicas, como a sua temperatura ou a variação de contaminantes devido à sua acumulação nos sedimentos (Bilotta & Brazier, 2008). Os sólidos e a matéria orgânica, quando em excesso, causam a formação de aglomerados nos vários estratos do meio recetor podendo servir de suporte a microrganismos ou potenciando ambientes anaeróbios, afetando as trocas de oxigénio entre a atmosfera e o meio recetor. A matéria orgânica, em particular, ao ser oxidada por ação dos microrganismos, origina um elevado consumo de oxigénio no meio recetor o que leva à destruição da ecologia do meio (Metcalf & Eddy, 2014 e Bilotta & Brazier, 2008).

Os SST são removidos maioritariamente durante o tratamento primário, nomeadamente na operação de decantação, de modo a melhorar as operações e processos a jusante. Por exemplo, uma elevada concentração de SST no afluente ao tratamento secundário diminuída a solubilidade do oxigénio e dificulta as operações de separação e recirculação das lamas secundárias (Ferreira, 2006 citado por Encarnação, 2014).

Durante a operação de desinfecção, com recurso a radiação UV, uma elevada concentração de SST reduz a eficiência do tratamento (Liang *et al.*, 2013) devido ao aumento da turvação que cria absorção de radiação ou confere proteção aos microrganismos da radiação UV (Gaspar, 2012).

A acumulação de SST à superfície prejudica a transferência de oxigénio para o meio recetor e reflete parte da radiação solar, reduzindo a atividade dos organismos fotoautotróficos. Caso os SST depositem no sedimento do meio recetor, estes podem provocar o alagamento das zonas adjacentes ao meio, a redução da profundidade do meio, ou em casos extremos o desvio do curso do meio recetor (Bilotta & Brazier, 2008).

A presença de matéria orgânica em excesso no meio recetor provoca elevados consumos de oxigénio através da sua degradação. Se este consumo for muito elevado pode provocar a morte da fauna e flora presente (Gray, 2004). Uma quantidade assinalável da matéria orgânica presente nas AR tem origem residencial, pelo que quando estas não são tratadas apresentam um elevado número microrganismos patogénicos, alguns deles que proliferam em ambientes com elevada contaminação por matéria orgânica. Assim sendo, a remoção de matéria orgânica dá-se por questões de saúde (prevenção de doenças) e ambientais (proteção do meio recetor) (Metcalf & Eddy, 2014).

A matéria orgânica é removida maioritariamente durante o tratamento secundário, pela oxidação e posteriormente é separada sob a forma de lamas durante a decantação secundária. As ETAR apresentam diversas soluções para a sua eliminação tais como o recurso a lamas ativadas, biofiltros e lagunagem (Metcalf & Eddy, 2014).

Os nutrientes mais relevantes presentes nas águas são o azoto e o fósforo devido à promoção da eutrofização dos cursos de água, por crescimento excessivo de plantas macroscópicas e microscópicas (Marecos do Monte *et al.*, 2016). As fontes mais comuns deste tipo de poluentes são AR contaminadas com detergentes fosfatados bem como AR provenientes de matadouros, indústria de fertilizantes, químicos e lacticínios (Carvalho, 2012).

Pelas razões apresentadas anteriormente verifica-se a extrema importância em garantir a correta remoção dos sólidos e da matéria orgânica antes da descarga do efluente nos meios recetores ou antes da reutilização de modo a prevenir problemas ambientais e de saúde pública.

A Tabela 1 apresenta os requisitos legais em termos de CQO, CBO₅ e SST para as descargas de ETAR em meios recetores, de acordo com o Decreto-Lei nº 152/97.

Tabela 1 – Requisitos de SST, CBO₅ e CQO para as descargas de ETAR em meios recetores

(Decreto-Lei nº 152/97)

Poluente	Concentração (mg/L)	% mínima de redução
CBO ₅	25	70 – 90
CQO	125	75
SST ^[1]	35	90
	35* (e.p. superior a 10.000) 60* (e.p. entre 2.000 e 10.000)	90* (e.p. superior a 10.000) 70* (e.p. entre 2.000 e 10.000)

(* valor respeitante aos casos previstos no nº3 do artigo 5º.)

[1] Parâmetro facultativo.

Apesar dos SST serem um parâmetro facultativo, a sua remoção pode ser garantida pelas licenças de descarga das ETAR.

Caso a zona de descarga se encontre classificada como zona sensível, de acordo com os critérios estipulados no Anexo II do Decreto-Lei nº 152/97, terão ainda que ser respeitados limites de concentração e redução mínima para fósforo (P) e azoto (N), conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Requisitos para as descargas de ETAR em zonas consideradas sensíveis

Poluente	Concentração (mg/L)	% mínima de redução
P total	2 (e.p. entre 10.000 e 100.000) 1 (e.p. superior a 100.000)	80
N total	15 (e.p. entre 10.000 e 100.000) 10 (e.p. superior a 100.000) *	70 - 80

(* alternativamente a média diária não pode exceder os 20 mg/L N)

Conforme o Decreto-Lei nº 152/97 o N total é definido como a soma do azoto de Kjeldahl (N orgânico + N amoniacal), dos nitratos (NO_3^-) e dos nitritos (NO_2^-).

O P total é a soma dos fosfatos (PO_4^{3-}), que incluem os ortofosfatos e polifosfatos e os fosfatos orgânicos.

Em Portugal existem ETAR capazes de atingir eficiências de remoção superiores ao estipulado na legislação, por exemplo remoções de SST entre 95 e 99 % e de CBO_5 de 98 %, dependendo do nível de tratamento aplicado (Jesus, 2014 e Marecos do Monte & Albuquerque, 2010).

Face à relevância da remoção de sólidos e da matéria orgânica de uma AR, no presente trabalho pretende-se avaliar a eficiência da remoção de sólidos e da matéria orgânica em ETAR, existentes em Portugal, através da análise do balanço mássico aos diversos órgãos de tratamento existentes nas mesmas.

O presente trabalho incidirá no tratamento de AR nas ETAR nacionais, mais concretamente no estudo da eficiência de remoção de sólidos, representada pelos SST, e de matéria orgânica, representada pela CQO e CBO_5 .

1.2. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo a avaliação da eficiência da remoção de sólidos na forma de SST e de matéria orgânica representada pela CBO₅ e CQO em ETAR, através da análise por balanços de massa nos diversos órgãos de tratamento existentes nas mesmas. Com esta análise pretende-se avaliar o desempenho das ETAR, em geral, e dos respetivos órgãos de tratamento, em particular, de modo a identificar a existência de insuficiências no tratamento e sugerir possíveis soluções para a sua eliminação.

1.3. Metodologia

A metodologia aplicada no presente trabalho consistiu:

- Pesquisa bibliográfica;
- Identificação das ETAR em Portugal por RH;
- Identificação da RH mais representativa em termos de caudal de AR tratado.
- Seleção da Entidade Gestora (EG) mais representativa em termos de caudal de AR tratado na RH;
- Seleção das ETAR de determinada dimensão da EG;
- Levantamento de informação relevante sobre as ETAR selecionadas;
- Realização de balanços de massa ao sistema de tratamento e a cada órgão de 3 ETAR;
- Análise da eficiência de remoção através dos balanços de massa;
- Proposta de medidas de otimização.

De modo a enquadrar o tema a pesquisa incidiu sobre relatórios de diversas EG de saneamento, artigos, teses, sites da especialidade e outras fontes. Entre a informação relevante a pesquisa bibliográfica permitiu realizar o levantamento das principais ETAR em Portugal.

Através da consulta dos Planos Gestores das diferentes RH, foram identificadas as principais ETAR de cada RH. Após o seu levantamento assinalaram-se as ETAR que servem equivalentes populacionais (e.p.) iguais ou superiores a 150.000.

A seleção prévia permitiu identificar a RH5 como a região mais relevante, pois possui cerca de 50 % das ETAR que servem e.p. iguais ou superiores a 150.000. Verificou-se que a EG mais representativa em termos de caudal na RH5 foi a SIMTEJO, pelo que o estudo foi focado nas 3 maiores ETAR.

Após a seleção das ETAR a estudar foram enviados inquéritos às entidades gestoras das ETAR, solicitando diversas informações tais como esquemas, caudais afluentes e efluentes à ETAR e a cada órgão de tratamento e concentrações e/ou cargas de contaminantes, CQO, CBO₅ e SST.

Os dados recolhidos foram posteriormente utilizados na realização dos balanços de massa, às ETAR e a cada órgão de tratamento relevante. Seguidamente os dados obtidos foram analisados, comparando os resultados obtidos com os valores teóricos, de modo a verificar o funcionamento das ETAR.

O correto funcionamento da ETAR foi determinado através da comparação da concentração de SST, CQO e CBO₅ no efluente final com a concentração estipulada no Decreto-Lei nº 152/97 de 19 de junho, e/ou nas licenças de descarga. Pretende-se que a concentração dos poluentes supracitados no efluente final seja inferior ao estipulado quer na legislação, quer na licença de descarga, caso esteja expressa nesta última.

No âmbito do presente trabalho foram apresentadas duas comunicações em painel no Fórum de Engenharia Química e Biológica, realizado no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, entre 16 e 18 de maio e no Encontro Luso-Galego de Química 2017, realizado em Ferrol (Espanha) entre 15 e 17 de novembro, cujos resumo e posters são apresentados no Anexo I.

1.4. Estrutura

O presente trabalho está organizado em 7 capítulos, sendo o primeiro designado por introdução onde é apresentado e enquadrado o tema e se estabelecem os objetivos e a metodologia.

No Capítulo 2 são apresentados os fundamentos teóricos considerados relevantes, tais como a classificação das AR, dos poluentes, nomeadamente dos sólidos e da matéria orgânica e uma breve descrição dos diversos tratamentos encontrados em ETAR.

No Capítulo 3 é feito o levantamento das ETAR em território nacional, identificando quantas ETAR existem, a sua dimensão e distribuição por área geográfica. Com este levantamento pretende-se identificar as ETAR com maior expressão em Portugal, partindo de todo o território português e finalizando num número selecionado de ETAR a estudar posteriormente.

No Capítulo 4 é apresentado o procedimento para a realização de balanços de massa e uma vista geral do processo a aplicar às ETAR e aos respetivos órgãos de tratamento.

No Capítulo 5 procede-se a uma breve descrição das ETAR em estudo, bem como os seus balanços de massa. Os balanços de massa apresentados correspondem às ETAR no seu todo e aos diferentes órgãos de tratamento.

No Capítulo 6 são apresentados e discutidos os resultados obtidos no Capítulo 5, bem como soluções para a eliminação de possíveis problemas identificados.

No Capítulo 7 são apresentadas as principais conclusões resultantes da elaboração do trabalho e as perspetivas de trabalho futuro.

2. Águas Residuais

Uma água residual é toda aquela em que se verifica a alteração das suas características químicas, físicas ou biológicas, após utilização humana. Pelo Decreto-Lei nº 152/97 de 19 de junho as águas residuais são classificadas em três tipos:

- i) *“Águas residuais domésticas – as águas residuais originadas em serviços ou instalações residuais, maioritariamente provenientes do metabolismo humano e actividades domésticas;*
- ii) *Águas residuais industriais – as águas residuais que têm como origem qualquer tipo de actividade desde que não possam ser classificadas como águas residuais domésticas ou sejam águas pluviais;*
- iii) *Águas residuais urbanas – são as águas residuais domésticas ou a sua mistura com águas residuais industriais e ou com águas pluviais.”*

A totalidade dos sólidos presentes em AR é designada por sólidos totais (ST), que englobam as partículas orgânicas e inorgânicas, dissolvidas ou em suspensão (Metcalf & Eddy, 2014 e Marecos do Monte *et al.*, 2016). A partir dos ST, é possível obter diversas frações de sólidos, conforme ilustrado pela Figura 1.

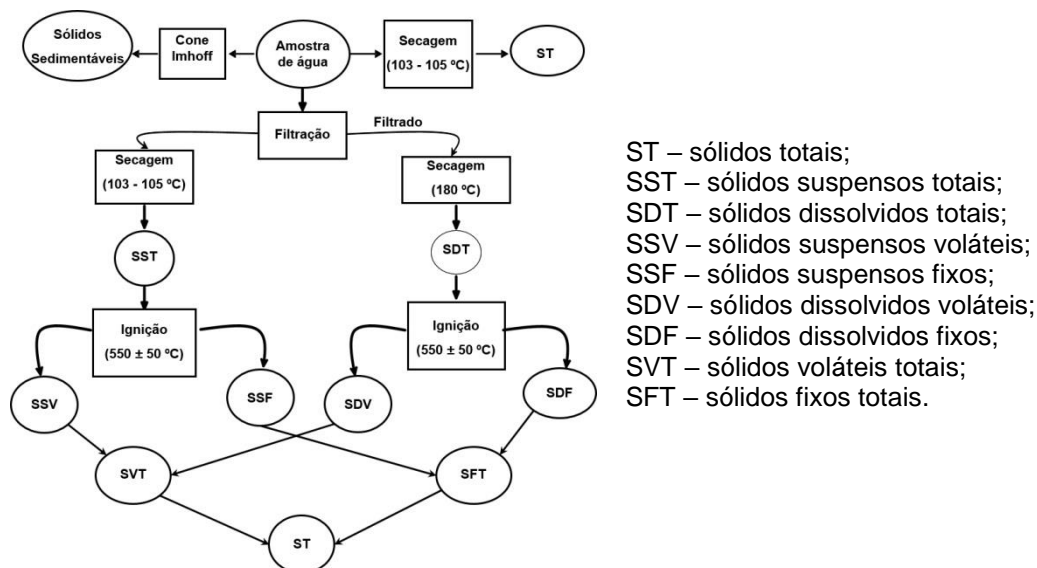


Figura 1 – Tipos de sólidos em águas residuais

(Marecos do Monte *et. al.*, 2016)

Os diferentes tipos de sólidos ilustrados na Figura 1 são definidos conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Tipos de Sólidos

(Marecos do Monte *et al.*, 2016)

Sólidos	Descrição
ST	Resíduo após evaporação da amostra e secagem na estufa a 103 – 105 °C.
SST	Retenção num filtro com poros com 0,45 µm de diâmetro médio.
SDT	Fração que atravessa o filtro com poros com 0,45 µm de diâmetro médio.
SSF/SDF	Resíduo resultante da ignição de SST/SDT em mufla a 500 ± 50 °C.
SSV/SDV	Fração eliminada resultante da ignição de SST/SDT em mufla a 500 ± 50 °C.
SS _{Sed}	Sólidos suspensos que sedimentam ao fim de 1h.

A matéria orgânica pode ser determinada através de vários parâmetros: CQO, CBO₅ ou carbono orgânico total (COT). A CQO representa toda a matéria orgânica presente no meio passível de ser oxidada, ou seja, contabiliza a matéria orgânica oxidada quimicamente. A matéria orgânica biodegradável

pode ser analisada pela CBO₅ (Metcalf & Eddy, 2014 e Marecos do Monte *et al.*, 2016).

A determinação da CQO e da CBO₅ permite ainda avaliar a biodegradabilidade da matéria orgânica presente numa AR, através do seu rácio. A Tabela 4 demonstra como o rácio CBO₅/CQO pode ser utilizado como fator de decisão do tipo de tratamento a aplicar.

Tabela 4 – CBO₅/CQO como indicador de tratamento
(Marecos do Monte *et al.*, 2016)

Rácio CBO ₅ /CQO	Descrição
> 0,5	Bom indicador para aplicação de tratamento biológico.
0,3 – 0,5	A aplicação de tratamento biológico deve ser avaliada.
< 0,3	A fração não biodegradável é muito elevada, pelo que deve ser aplicado tratamento químico.

Além da classificação e análise segundo a sua biodegradabilidade, a matéria orgânica pode ainda ser classificada em matéria orgânica dissolvida (MOD) e matéria orgânica particulada (MOP). A MOD inclui compostos orgânicos que possuem grupos funcionais como os aromáticos, alifáticos ou fenólicos, que possuem papéis importantes na interação e transporte de compostos tóxicos através do meio ambiente. Estes compostos agem ainda como precursores de produtos secundários resultantes de operações de desinfecção (Xue *et al.*, 2017).

A matéria orgânica pode ainda ser classificada em suspensa e coloidal, sendo a matéria suspensa, aquela cujas partículas apresentam diâmetros entre 0,1 e 100 µm, enquanto a matéria coloidal apresenta tamanhos inferiores (Davis, 2010).

As águas residuais urbanas (ARU) podem variar significativamente em termos de composição, dependendo por exemplo das populações servidas e do sistema drenagem. Na Tabela 5 são apresentados os intervalos típicos das concentrações de ARU.

Tabela 5 – Concentrações típicas de ARU não tratadas
(Metcalf & Eddy, 2014)

Parâmetro	Concentração (mg/L)
SST	100 – 350
CBO ₅	110 – 400
CQO	250 – 1000
N total	20 – 85
P total	4 – 15

O tratamento das águas residuais encontra-se dividido em diversos níveis: preliminar, primário, secundário e terciário, quando necessário, conforme ilustrado pela Figura 2.

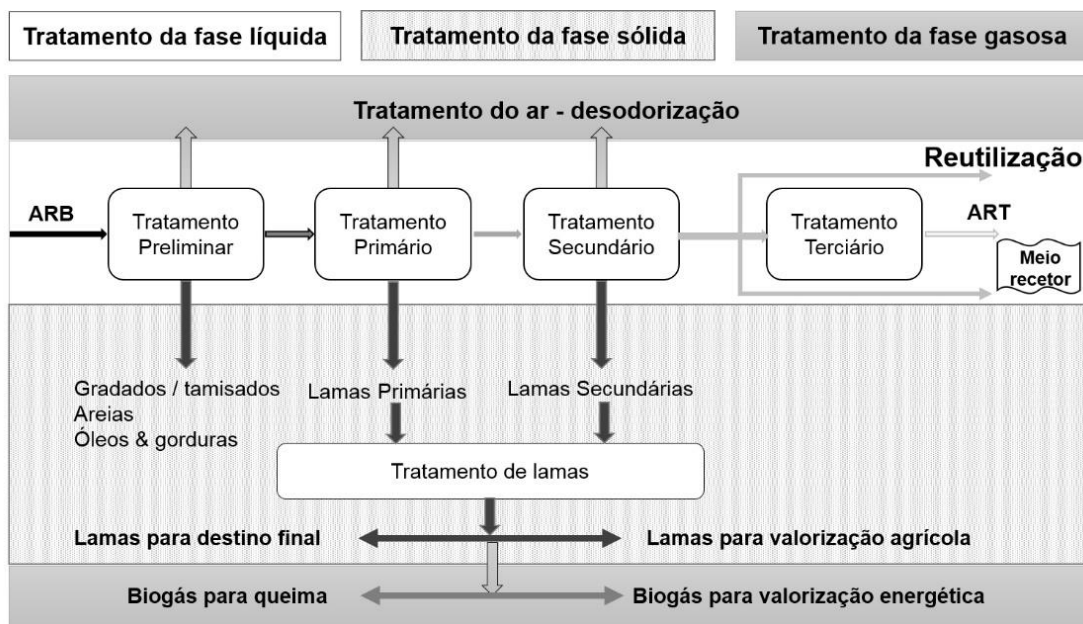


Figura 2 –Esquema representando os diferentes níveis de tratamento numa ETAR
(Marecos do Monte *et al.*, 2016)

O tratamento preliminar consiste em operações para remoção de sólidos grosseiros, areias e gorduras. Esta fase do tratamento tem ainda a função de proteger o equipamento a jusante da ETAR, removendo os sólidos passíveis de causar obstruções aos circuitos hidráulicos e problemas de manutenção ou operacionais, tais como abrasão e desgaste nas bombas nos equipamentos de tratamento a jusante. Assim, com o tratamento preliminar pretende-se melhorar

as eficiências de remoção dos tratamentos a jusante (Metcalf & Eddy, 2014, Simões *et al.*, 2008).

As operações passíveis de utilização nesta etapa do tratamento são a gradagem, a tamisação, a desarenação e a remoção de óleos e gorduras (Simões *et al.*, 2008).

A gradagem e a tamisação operam no mesmo princípio, ou seja, a colocação de grades, ou tamisadores, com um determinado espaçamento de modo a reter sólidos. A distinção entre os dois sistemas prende-se com as dimensões dos sólidos a remover, com a gradagem a remover sólidos de grandes e médias dimensões e a tamisação a remover sólidos de menores dimensões (Simões *et al.*, 2008).

A tamisação pode substituir o tratamento primário em ETAR de pequena dimensão apresentando índices de remoção de SST entre 5 e 30 % para tamisadores fixos e entre 25 e 45 % para tamisadores de tambor (Metcalf & Eddy, 2014).

A desarenação e desengorduramento focam-se na remoção de areias e óleos/gorduras, respetivamente. A desarenação pode ser feita por exemplo num tanque com uma velocidade de efluente reduzida, permitindo a deposição das areias no fundo do tanque (desarenador gravítico) ou com auxílio de injetores de ar (desarenador arejado), sendo posteriormente recolhidas para tratamento e destino final adequado. A remoção de óleos e gorduras pode ser realizada por flotação que recorre à injeção de ar, impulsionando os contaminantes para a superfície do efluente, permitindo a sua remoção. Com o correto balanço das características do desarenador arejado e do efluente é possível realizar ambas as operações no mesmo órgão de tratamento (Simões *et al.*, 2008 e Marecos do Monte *et al.*, 2016).

O tratamento primário é um conjunto de processos físico-químicos cujo objetivo é a remoção de sólidos facilmente sedimentável (Metcalf & Eddy, 2014, Simões *et al.*, 2008 e Davis, 2010). A remoção de SST contribui para a diminuição da matéria orgânica (Davis, 2010). Nesta fase do tratamento pretende-se uma remoção da CBO₅ mínima de 20 % e uma remoção dos SST de pelo menos

50 % (Decreto-Lei nº 152/97). Em termos genéricos este tratamento é realizado por decantação, promovendo a deposição dos SST (Simões *et al.*, 2008).

A decantação é realizada num decantador onde o efluente passa com velocidade reduzida, permitindo a deposição de partículas sedimentáveis por ação da gravidade. Através desta operação é possível obter percentagem de remoção entre os 50 e os 70 % para os sólidos suspensos (Metcalf & Eddy, 2014). Esta operação pode ser auxiliada por coagulação e floculação, onde são adicionados produtos químicos para facilitar a aglomeração de partículas e sua respetiva sedimentação (Simões *et al.*, 2008).

O tratamento secundário consiste num conjunto de processos predominantemente biológicos, com o objetivo de remover a matéria orgânica da AR com recurso a microrganismos. Os microrganismos removem a matéria orgânica oxidando-a e incorporando-a na sua biomassa. Os sistemas utilizados no tratamento secundário incluem os de biomassa suspensa, como sejam as lamas ativadas e lagunagem, e os de biomassa fixa, tais como os leitos percoladores, discos biológicos e biofiltros (Metcalf & Eddy, 2014, Simões *et al.*, 2008 e Encarnação, 2014).

As lamas ativadas têm como propósito transformar matéria solúvel em matéria decantável recorrendo a um processo biológico de biomassa suspensa. O efluente proveniente do tratamento primário é introduzido num tanque de arejamento onde os microrganismos degradam a matéria orgânica, sendo esta separada da água num decantador secundário. Uma fração das lamas produzidas neste processo são recirculadas de modo a garantir a estabilidade da componente microbiana (Simões *et al.*, 2008 e Davis, 2010).

No sistema de lagunagem o efluente é encaminhado para um sistema de lagoas com diferentes profundidades e dimensões, onde a degradação da matéria orgânica é realizada por microrganismos e microalgas (Simões *et al.*, 2008 e Davis, 2010).

Os sistemas de biomassa fixa como os leitos percoladores consistem em tanques circulares ou retangulares onde é introduzido um suporte para a biomassa. O efluente é introduzido através da zona superior do tanque,

passando pela biomassa fixa, onde a matéria orgânica é decomposta. Devido à natureza do tratamento, o aumento de biomassa no leito pode promover a anaerobiose dos estratos inferiores, potenciando alguma desnitrificação do efluente nesta fase (Simões *et al.*, 2008).

O sistema de discos biológicos consiste num conjunto de discos que suportam a biomassa, parcialmente imersos no efluente. Os discos giram em torno de um eixo, alternando o contacto da biomassa com o efluente e com o ar. Este é um sistema de tratamento que devido à sua elevada área superficial permite um tratamento eficaz numa área relativamente reduzida. Este tipo de unidades é geralmente coberto de modo a evitar o crescimento de algas e propagação de odores (Simões *et al.*, 2008).

Os biofiltros consistem em material filtrante compactado por onde circula a AR. Os sólidos e a matéria orgânica são removidos por adsorção, hidrólise e por metabolização por parte dos microrganismos constituintes do biofilme que se forma à superfície do material filtrante (Davis, 2010 e SIMTEJO, 2012).

O tratamento terciário é um tratamento de afinação, garantindo que o efluente se encontra em condições de ser descarregado no meio hídrico, sendo este mais comum quando a AR se destina à reutilização. É neste nível de tratamento que se procede à remoção de nutrientes, como o azoto e o fósforo ou se procede à afinação das características do efluente (Davis, 2010).

Um exemplo de afinação das características é o uso de filtros para reduzir o teor de sólidos e matéria orgânica no efluente, apesar de ambos já terem sido alvo de remoção durante os níveis de tratamento anteriores (Simões *et al.*, 2008 e Davis, 2010).

Os processos de tratamento utilizados a este nível incluem: precipitação química, filtração granular e por membrana, adsorção de carbono e desinfecção (Davis, 2010).

A precipitação química baseia-se na adição de substâncias químicas para precipitar poluentes solúveis e removendo-os deste modo. Um exemplo é a remoção do fósforo, na forma HPO_4^{2-} , recorrendo a cloreto de ferro e precipitando na forma de fosfato de ferro (FePO_4) (Davis, 2010).

A filtração granular recorre a um filtro de modo a reduzir a concentração de SST na AR, normalmente utilizado quando a concentração deste poluente no efluente não pode ser superior a 10 mg/L. Este processo pode ser acompanhado de coagulação para a remoção de fosfatos (Davis, 2010).

A filtração por membrana é utilizada mais regularmente para o pré-tratamento do efluente secundário, por osmose inversa, antes deste ser encaminhado para reutilização (Davis, 2010).

A adsorção de carbono pode ser feita recorrendo a carvão ativado para a remoção de matéria orgânica resistente à biodegradação (Davis, 2010).

Na Tabela 6 apresenta-se um resumo das eficiências típicas de remoção nos diferentes órgãos de tratamento em ETAR.

Tabela 6 – Eficiências típicas de remoção para os diferentes órgãos de tratamento em ETAR

(^[1] EPA, 1999, ^[2] Metcalf & Eddy, 2014, ^[3] Santos, 2010)

Órgão	Eficiência de remoção (%)		
	SST	CBO ₅	CQO
Grades e Desarenador	0 – 1 ^[3]	0 – 0,5 ^[3]	0 – 0,5 ^[3]
Tamisador (fixo)	5 – 30 ^[2]	5 – 20 ^[2]	-
Tamisador (rotativo)	25 – 45 ^[2]	25 – 50 ^[2]	-
Decantador (s/ coag.)	50 – 70 ^[2]	25 – 40 ^[2]	30 – 40 ^[2]
Decantador (c/ coag.)	80 – 90 ^[2]	50 – 80 ^[2]	-
Discos biológicos	80 – 85 ^[3]	80 – 90 ^[3]	80 – 85 ^[3]
Leitos percoladores (alta carga)	60 – 90 ^[2]	60 – 90 ^[2]	60 – 80 ^[2]
Reator UASB	-	-	90 – 95 ^[1]
Lagoas	-	-	80 – 90 ^[2]
Lamas ativadas	85 – 90 ^[3]	80 – 95 ^[3]	80 – 90 ^[3]

3. Tratamento de Águas Residuais em Portugal

O país encontra-se dividido nas regiões hidrográficas de Minho e Lima (RH1), Cavado, Ave e Leça (RH2), Douro (RH3), Vouga, Mondego, Lis e Ribeiras do Oeste (RH4), Tejo (RH5), Sado e Mira (RH6), Guadiana (RH7), Ribeiras do Algarve (RH8), Açores (RH9) e Madeira (RH10) (INSAAR, 2011).

As regiões hidrográficas mais significativas são a RH2, RH4 e a RH5, correspondendo estas a 71 % da totalidade da AR tratada nas ETAR em território nacional (INSAAR, 2011).

Entre as RH mais relevantes, destaca-se claramente a RH5, sendo responsável por 38 % do volume de água residual tratada em ETAR. Apesar de ser a RH5 que trata maior volume de AR é a RH3 (Douro) que possui o maior número de ETAR. (INSAAR, 2011).

De acordo com os dados de 2016 existiam, em Portugal, 4258 instalações de tratamento das quais 2673 são ETAR, correspondendo a 63 % das soluções implementadas e 1585 fossas sépticas coletivas (FSC) (RASARP, 2016).

A evolução do tratamento de AR, em termos de ETAR disponíveis para o tratamento encontra-se resumida na Figura 3.

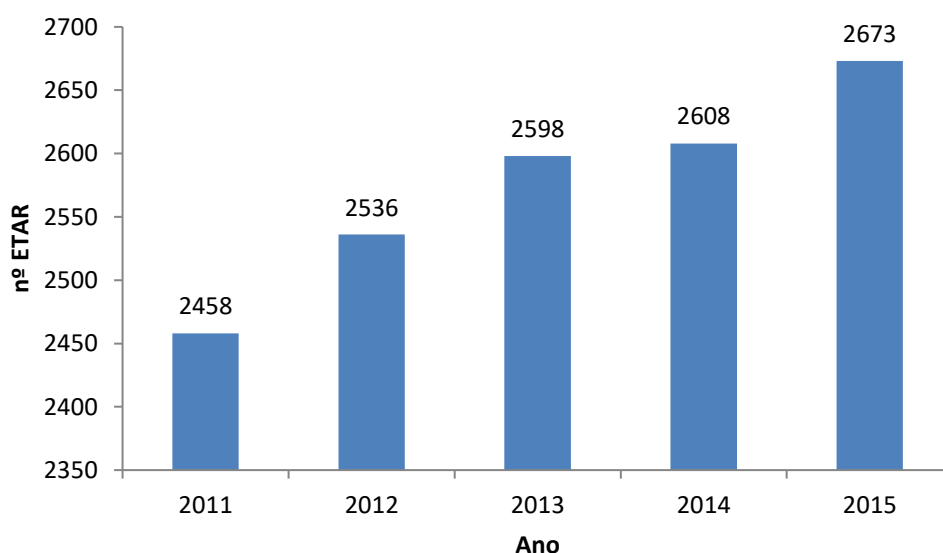


Figura 3 – Evolução do número de ETAR, em Portugal, no período compreendido entre 2011 e 2015

(RASARP, 2012-2016)

Analisando a Figura 3, verifica-se que nos últimos anos o número de ETAR em território nacional tem crescido consideravelmente, aumentando 215 unidades num período temporal de 5 anos.

O nível de tratamento ao qual a água residual é sujeito depende das suas características e do fim a que se destina. No território nacional, o tratamento secundário é o mais utilizado, correspondendo a 63 % do volume total tratado (AdP, 2016) e a 58,1 % das ETAR em funcionamento em Portugal (REA, 2016), conforme ilustrado na Figura 4.

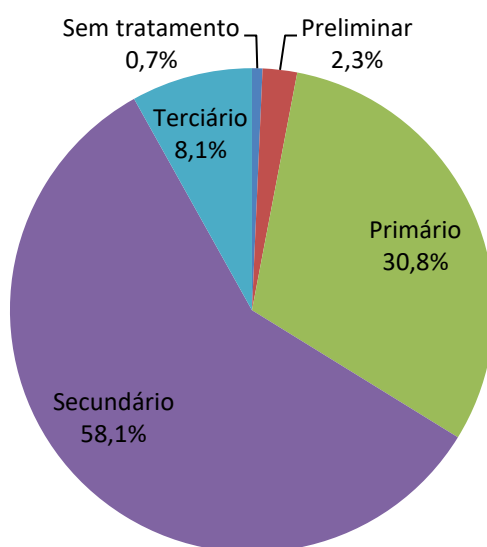


Figura 4 – Percentagens de ETAR por nível de tratamento em Portugal (REA, 2016)

Analisando a Figura 4, pode-se verificar que o tratamento mais utilizado é o secundário, indicando que a maioria das ETAR em Portugal está equipada para o tratamento de águas residuais urbanas (ARU), ou equivalentes em termos de composição.

Considerando o saneamento em Portugal, o volume de AR recolhido e tratado no período compreendido entre 2011 e 2015 encontra-se resumido na Figura 5. Apenas se encontram valores para o volume de AR tratado para os anos de

2014 e 2015, pois só passou a ser reportado pelas EG a partir de 2014 (RASARP, 2016).

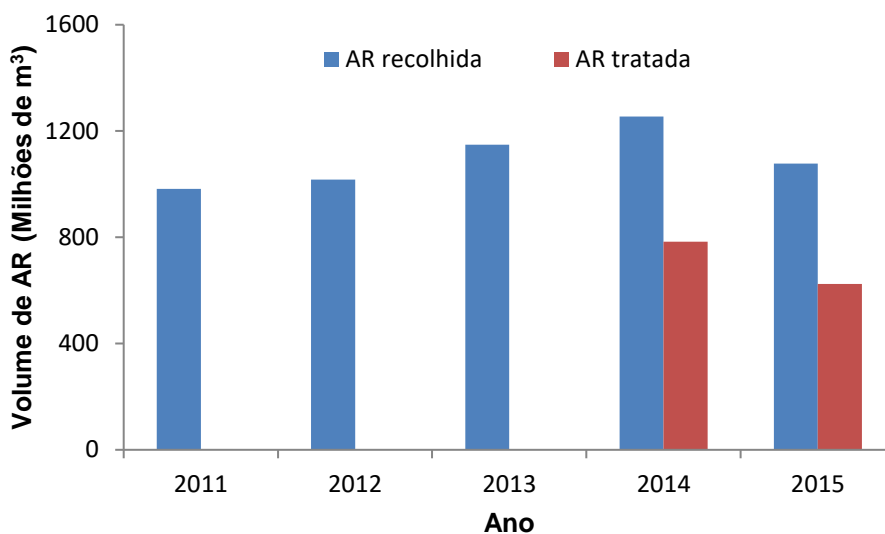


Figura 5 – Variação do volume de AR, em milhões de m³, recolhida e tratada em Portugal no período entre 2011 e 2015

(RASARP, 2016)

Analisando a Figura 5, verifica-se que o volume de AR recolhida cresce anualmente entre 2011 e 2014, sofrendo uma quebra durante o ano de 2015. De forma análoga, o volume de AR tratada sofre uma diminuição de um ano para o outro. Em 2014, 62,5 % do volume de AR recolhido foi tratado e em 2015, foi de apenas 57,9 %. A redução dos volumes recolhido e tratado pode ser explicada pela menor precipitação em 2015, quando comparada com 2014 (PORDATA, 2017).

4. Balanços de Massa às ETAR

4.1. Nota Introdutória

Os balanços de massa são uma ferramenta essencial para compreender e dimensionar as ETAR, que permitem determinar caudais e cargas de correntes reintroduzidas a montante da ETAR, permitindo assim o correto funcionamento das mesmas.

Os balanços de massa são uma aplicação do princípio da conservação de massa à análise de sistemas, tal como uma ETAR. Analisando as entradas e saídas de matéria conhecidas do sistema é possível identificar e quantificar fluxos de massa desconhecidos ou difíceis de quantificar.

De um modo geral, o balanço de massa a um conjunto de operações e processos unitários pode ser representado pela Equação 1 (Felder & Rousseau, 2000).

$$\textit{Entradas} + \textit{Produção} = \textit{Saídas} + \textit{Consumo} + \textit{Acumulação} \quad (1)$$

Nas operações, como ocorrem essencialmente fenómenos físicos, considera-se que não existe reação, pelo que a Equação 1 pode ser transformada na Equação 2.

$$\textit{Entradas} = \textit{Saídas} + \textit{Acumulação} \quad (2)$$

Em estado estacionário não ocorre variação de matéria ao longo do tempo, sendo considerado que a “Acumulação” é igual a zero (Felder & Rousseau, 2000). Embora teoricamente a consideração anterior esteja correta, na realidade por vezes tal não acontece, podendo o termo “Acumulação” ser diferente de zero devido a acumulações ou perdas dentro do sistema.

Geralmente, as ETAR após a fase de arranque, funcionam num estado semi-estacionário, dependendo das condições de afluência, em termos qualitativos e quantitativos, sendo operadas por forma a tender para o estado estacionário.

4.2. Balanços de Massa com reação

Um exemplo de balanço de massa com reação é o aplicado a um sistema de lamas ativadas (reator biológico de mistura completa – RB e decantador secundário). De acordo com Lawrence e McCarty, 1970 (citado por Davis, 2010) é proposto um modelo para o sistema de lamas ativadas baseado na cinética de Monod, sendo necessário realizar o balanço de massa à biomassa e ao substrato (Davis, 2010) (Figura 6).

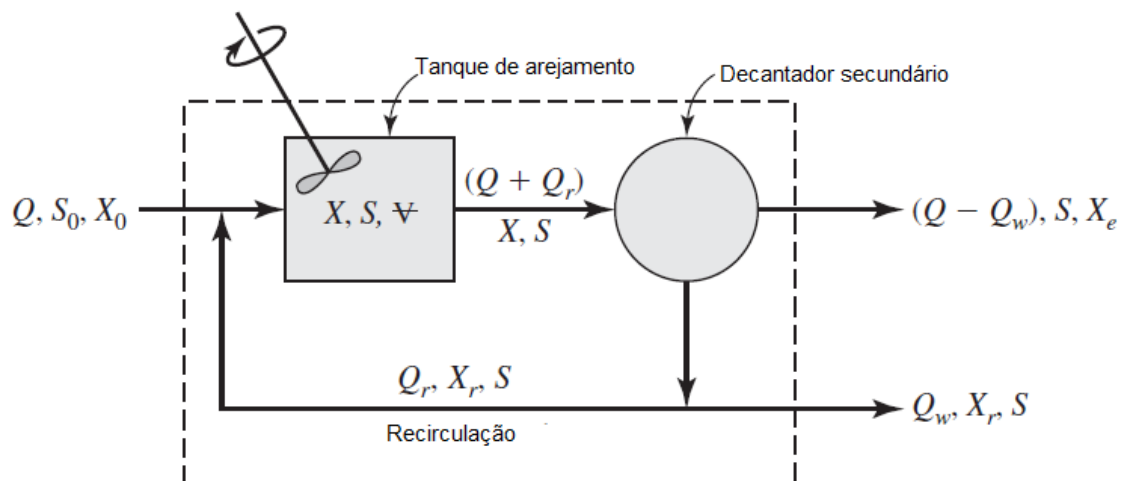


Figura 6 – Representação esquemática de um reator biológico de mistura completa (Davis, 2010)

Em condições de estado estacionário, o balanço de massa à biomassa pode ser expresso pela Equação 3.

$$\begin{aligned} \text{Biomassa do afluente} + \text{Crescimento da biomassa} \\ = \text{Biomassa do Efluente} + \text{Biomassa das Lamas} \end{aligned} \quad (3)$$

A biomassa do afluente ou efluente é expressa genericamente pela Equação 4.

$$\text{Biomassa} = X \times Q \quad (4)$$

Em que:

X – concentração de microrganismos no afluente ou efluente ($M.L^{-3}$);

Q – caudal afluente ou efluente ($L^3.T^{-1}$).

A variação da biomassa no reator é dada pelo produto do volume do tanque de arejamento com o crescimento microbiano (cinética de Monod) e o decaimento microbiano (Davis, 2010), descrito pela Equação 5.

$$\text{Variação Biomassa} = V \times \left(\frac{\mu_m \times S \times X}{K_s + S} - k_d \times X \right) \quad (5)$$

Em que:

V – volume do tanque de arejamento (L³);

X – concentração de microrganismos no tanque de arejamento (M.L⁻³);

S – concentração de substrato no tanque de arejamento (M.L⁻³);

μ_m – taxa específica máxima de crescimento microbiano (T⁻¹);

K_s – constante de velocidade, numericamente igual à concentração do substrato limitante quando μ = μ_m/2 (M.L⁻³);

k_d – constante de velocidade de morte dos microrganismos (T⁻¹).

Em estado estacionário, o balanço de massa ao substrato pode ser expresso, genericamente, pela Equação 6.

$$\begin{aligned} & \text{Substrato no afluente} + \text{Substrato da recirculação} \\ & = \text{Substrato no efluente} \\ & + \text{Substrato consumido pela biomassa} \end{aligned} \quad (6)$$

O substrato no afluente e efluente são calculados de forma análoga à biomassa no afluente e efluente. O consumo de substrato é determinado segundo a Equação 7, em que considera-se que o consumo de substrato segue uma cinética tipo Monod.

$$\text{Substrato Consumido} = V \times \left(\frac{\mu_m \times S \times X}{Y \times (K_s + S)} \right) \quad (7)$$

Em que:

Y – coeficiente de rendimento.

Segundo Davis (2010), para um processo de lamas ativadas, devem ser feitas as seguintes considerações sobre as Equações 3 e 6:

- Os valores da concentração da entrada e saída de biomassa é negligenciável quando comparados com as concentrações no interior do reator;
- O substrato que entra no reator é diluído na concentração de substrato no reator;
- Todas as reações ocorrem dentro do reator.

As equações acima indicadas podem ser rearranjadas de modo a ter a concentração de S e X (Equações 8 e 9) (Davis, 2010).

$$S = \frac{K_s \times (1 + k_d \times \theta_c)}{\theta_c \times (\mu_m - k_d) - 1} \quad (8)$$

$$X = \frac{\theta_c \times Y \times (S_0 - S)}{t_{RH} \times (1 + k_d \times \theta_c)} \quad (9)$$

Em que:

t_{RH} – tempo de retenção hidráulico (T);

θ_c – tempo de retenção de sólidos (T).

Nos balanços de massa com reação é ainda necessário tomar em consideração o equilíbrio da reação e a sua cinética, pelo que para a realização deste tipo de balanço de massa em ETAR esses dados teriam que ser fornecidos pelas EG responsáveis pelas mesmas, ou determinados laboratorialmente.

4.3. Balanços de Massa sem reação

No caso de aplicação de balanços de massa sem reação é apresentado a título de exemplo o balanço a um decantador primário (Figura 7).

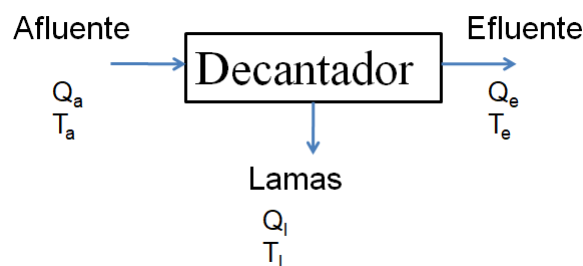


Figura 7 – Representação esquemática de um decantador

O balanço de massa é realizado, genericamente, com as Equações 10 e 11.

$$\begin{cases} Q_x = Q_y + Q_z & (10) \\ Q_x \times T_x = Q_y \times T_y + Q_z \times T_z & (11) \end{cases}$$

Em que:

Q_x – caudal da corrente x ($L^3.T^{-1}$);

Q_y – caudal da corrente y ($L^3.T^{-1}$);

Q_z – caudal da corrente z ($L^3.T^{-1}$);

T_x – concentração do poluente na corrente x ($M.L^{-3}$);

T_y – concentração do poluente na corrente y ($M.L^{-3}$);

T_z – concentração do poluente na corrente z ($M.L^{-3}$).

Considerando Q_l e T_l como incógnitas nas Equações 10 e 11 são originadas as Equações 12 e 13.

$$\begin{cases} Q_l = Q_a - Q_e & (12) \\ T_l = \frac{T_a \times Q_a - T_e \times Q_e}{Q_l} & (13) \end{cases}$$

Em que:

Q_a – caudal do afluente ($L^3.T^{-1}$);

Q_l – caudal de lamas ($L^3.T^{-1}$);

Q_e – caudal do efluente ($L^3.T^{-1}$);

T_a – concentração do poluente no afluente ($M.L^{-3}$);

T_l – concentração do poluente nas lamas ($M.L^{-3}$);

T_e – concentração do poluente no efluente ($M.L^{-3}$).

4.4. Balanço global à ETAR

O balanço de massa a realizar às ETAR tem como base a componente hidráulica e as cargas poluentes (SST, CBO₅ e CQO) afluentes. Os balanços de massa são ferramentas importantes que permitem, essencialmente, a execução de diversas funções na conceção e funcionamento de uma ETAR, o dimensionamento dos órgãos de tratamento e a sua otimização.

Na conceção de uma ETAR são efetuados balanços de massa considerando as condições do ano horizonte do projeto e do ano de arranque (ano zero). Com base na população servida são estimados os caudais e as cargas. Estas estimativas pressupõem a variação populacional e/ou industrial no período temporal do projeto. Quando as estimativas não se verificam na realidade pode ocorrer que as ETAR fiquem sobredimensionadas ou subdimensionadas, o que pode afetar o seu funcionamento. Nestes casos os balanços de massa são ferramentas importantes para aferir o seu desempenho e planeamento de ações corretivas.

A verificação do funcionamento da ETAR é feita pela análise das eficiências de remoção dos diferentes processos e operações unitárias presentes com o intuito de determinar as eficiências de remoção reais.

Por fim, o balanço de massa é utilizado para a otimização de operações e processos existentes na ETAR, ou seja, verificar se existem discrepâncias entre as eficiências de remoção teóricas e reais. Se as discrepâncias forem significativas devem ser aplicadas soluções de modo a minimizá-las.

O balanço de massa global de uma ETAR é feito, considerando as entradas e saídas de todo o sistema e para verificar o correto funcionamento de cada órgão de tratamento é possível realizar um balanço individual.

A eficiência de remoção é determinada pela Equação 14.

$$\eta(\%) = \frac{T_e - T_s}{T_e} \times 100 \quad (14)$$

Em que:

η – Eficiência de remoção (%);

T_e – Concentração do poluente à entrada (M.L⁻³);

T_s – Concentração do poluente à saída (M.L⁻³).

Uma outra grandeza a utilizar é a carga poluente, afluente e efluente, ao sistema e a cada órgão de tratamento. A carga poluente é definida como o produto entre a concentração do poluente na AR e do respetivo caudal.

A carga poluente é determinada conforme a Equação 15.

$$CA_x = T_x \times Q_x \quad (15)$$

Em que:

CA_x – Carga do poluente (M.T⁻¹);

T_x – Concentração do poluente (M.L⁻³);

Q_x – Caudal (L³.T⁻¹).

Genericamente o balanço de massa é realizado segundo o sistema composto pelas Equações 16 e 17.

$$\begin{cases} Q_x = Q_y + Q_z & (16) \\ Q_x \times T_x = Q_y \times T_y + Q_z \times T_z & (17) \end{cases}$$

Adicionalmente ainda podem ser utilizadas as Equações 18 e 19.

$$\begin{cases} T_y = (1 - \eta) \times T_x & (18) \\ Q_z = \frac{Q_x \times T_x \times \eta}{T_z - (1 - \eta) \times T_x} & (19) \end{cases}$$

Face ao elevado número de correntes e à complexidade dos sistemas analisados a sua análise deve ser feita recorrendo a folhas de cálculo ou outras ferramentas informáticas.

5. Casos de Estudo

5.1. Critérios de Seleção das ETAR

O procedimento de escolha de ETAR foi iniciado pela análise do Plano de Gestão de Região Hidrográfica para cada uma das RH presentes em Portugal continental, sendo selecionadas as ETAR dimensionadas para tratar as AR de uma população superior a 150.000 habitantes equivalentes (Tabela 7).

Tabela 7 – ETAR de grandes dimensões em Portugal continental por RH

Região Hidrográfica	ETAR	População servida (hab. eq.)	Caudal (m ³ /d)
RH2	Agra I	201.600	30.240
	Rabada	165.873	24.881
	Serzedelo II	170.513	25.577
	Frossos	230.000	34.885
	Matosinhos	169.104	25.000
RH3	Freixo	170.000	36.000
	Sobreiras	200.000	54.000
	Vila Nova de Gaia	300.000	66.700
RH5	Guia	720.000	170.000
	Alverca	154.000	47.087
	Alcântara	756.000	570.240
	Beiroas	215.000	54.000
	Chelas	211.000	52.500
	Frielas	700.000	70.000
	Barreiro/Moita	290.000	65.000
	Seixal	156.000	44.000
	Quinta da Bomba	198.290	27.350
RH6	Ribeira de Moinhos	360.000	43.200
	Setúbal	253.107	27.922

As ETAR representadas na Tabela 7 servem uma população equivalente de 5.451.383 hab/eq, tratando cerca de $1,469 \times 10^6$ m³ de AR/ano.

Os dados do RASARP (2016) indicam que no ano de 2015 foram tratados a nível nacional cerca de $5,96 \times 10^8$ m³ de AR/ano, pelo que as ETAR selecionadas representam 89,9 % do volume total.

Analisando a Tabela 7 verifica-se que a RH5 possui 47,4 % das ETAR consideradas, tornando-a a RH mais representativa. Assim sendo, a RH5 foi considerada para um estudo mais aprofundado, conforme indicado no Capítulo 5.2.

5.2. Tratamento de Águas Residuais na Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste

Na RH selecionada, Tejo e Ribeiras do Oeste (RH5), até maio de 2015 existiam os sistemas multimunicipais de abastecimento e saneamento do Norte Alentejano (AdNA), do Centro Alentejano (AdCA), do Alto Zêzere e Côa (AdZC), do Saneamento Integrado dos municípios do Tejo e Trancão (SIMTEJO), das Águas do Centro (AdC) e do Oeste (AdO), Saneamento da Costa do Estoril (SANEST) e da Península de Setúbal (SIMARSUL). O Decreto-Lei nº 94/2015 de 29 de maio definiu a criação do sistema multimunicipal de abastecimento de água e de saneamento de Lisboa e Vale do Tejo, resultando na agregação dos sistemas supracitados numa única entidade. Recentemente, através do Decreto-Lei nº 34/2017 de 24 de março cisa o sistema de Lisboa e Vale do Tejo em duas entidades: o sistema multimunicipal de saneamento de águas residuais do Tejo Atlântico, designado por ATA e o sistema multimunicipal de saneamento da Península de Setúbal, designado por SIMARSUL com as respetivas EG.

Os sistemas multimunicipais indicados foram responsáveis pelo tratamento de 297,77 milhões de m³ de águas residuais em 2014 (SIMTEJO, 2015), cuja distribuição se encontra indicada na Figura 8.

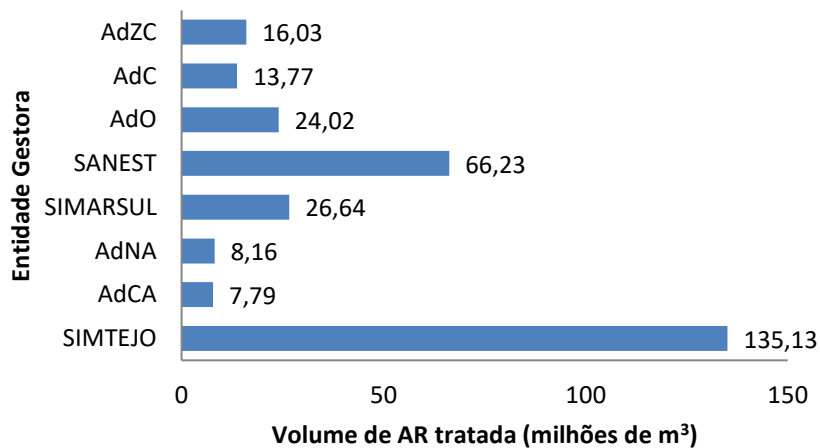


Figura 8 – Volume de AR tratada na RH5 do Tejo
(SIMTEJO, 2015)

O sistema multimunicipal sob a alçada da SIMTEJO destaca-se claramente com 135,13 milhões de m³ de águas residuais tratados durante o ano de 2014 (SIMTEJO, 2015), correspondendo a 45,4 % do total tratado na RH5, apresentando ainda uma distância considerável do volume tratado pela SANEST que corresponde a 22,2 % do volume total tratado.

A elevada densidade populacional e forte presença industrial na região provocam um elevado consumo de água e consequentemente geram um elevado volume de água residual que é necessário tratar. A distribuição dos caudais tratados na região, em percentagem, pelas EG é indicada na Figura 9.

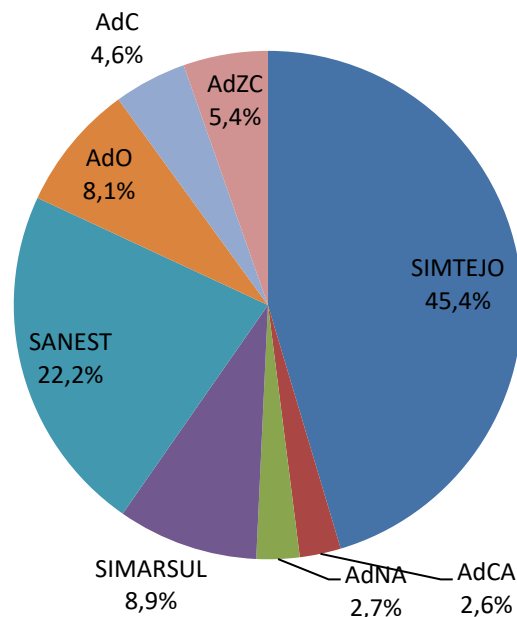


Figura 9 – Percentagem do volume de AR tratadas nas EG da RH5 do Tejo
(SIMTEJO, 2015)

Sendo a SIMTEJO o sistema multimunicipal predominante, em termos de volume de água residual tratado, na região nacional predominante, as ETAR que o compõem serão responsáveis por um maior volume de águas residuais tratado.

As principais ETAR sob a jurisdição da SIMTEJO eram as ETAR de Alcântara, Beirolas, Chelas, Frielas, São João da Talha, Mafra, Bucelas, Vila Franca de Xira e Alverca, com a ETAR de Alcântara a maior responsável pelo volume de água residual tratada, em 2014, com 60,37 milhões de m³ tratados. A distribuição do volume de AR tratada nas principais ETAR da SIMTEJO, em 2014 é apresentada na Figura 10 (SIMTEJO, 2015).

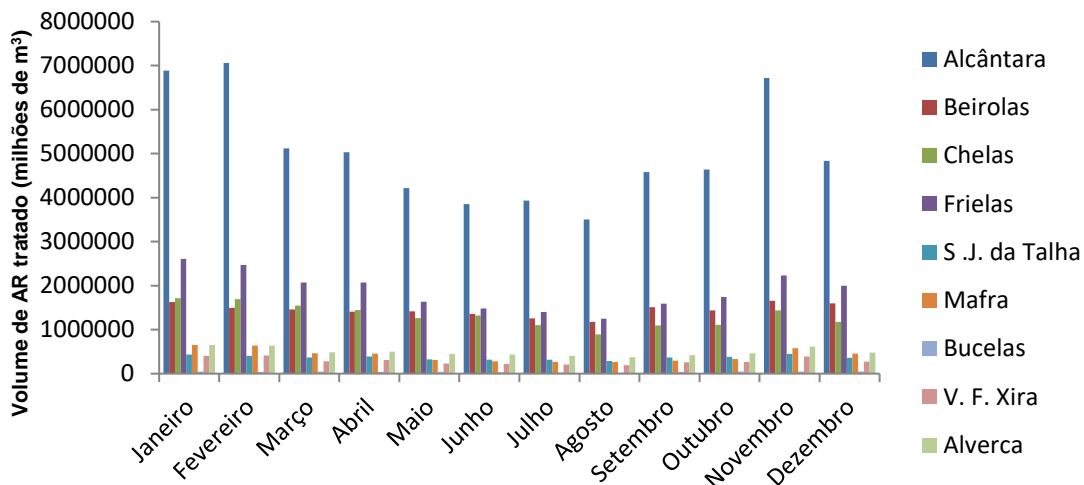


Figura 10 – Volume de água residual tratado nas ETAR da SIMTEJO em 2014
(SIMTEJO, 2015)

Com os caudais afluentes mensais verifica-se que o volume tratado pela ETAR de Alcântara se destaca, recebendo o maior volume de AR durante todos os meses do ano. Devido a este fenómeno, esta ETAR é responsável por 44,7 % do volume de água residual tratado pelos subsistemas da SIMTEJO, conforme verificado na Figura 11 (SIMTEJO, 2015).

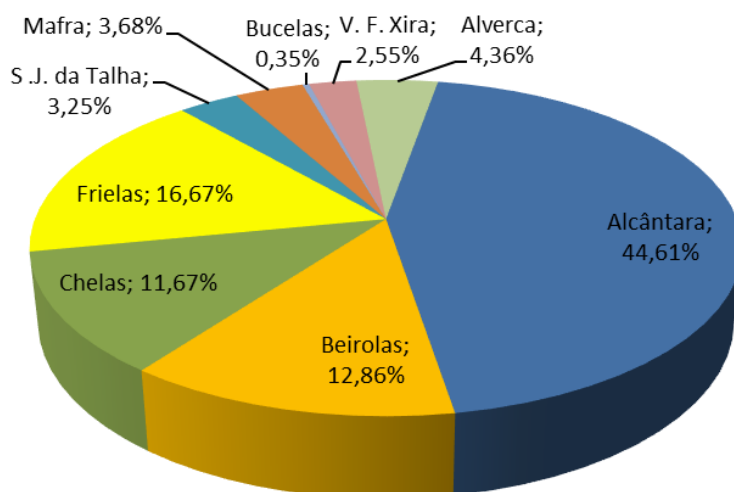


Figura 11 – Percentagem de caudais anuais por subsistema da SIMTEJO no ano de 2014

(SIMTEJO, 2015)

Analisando a Figura 11 verifica-se que as principais ETAR do sistema da SIMTEJO, em termos de caudais anuais, são as ETAR de Alcântara, Frielas e Beirolas, providenciando tratamento a 74,1 % do total do volume de AR tratado.

Sendo as ETAR de Alcântara, Frielas e Beirolas as mais representativas da RH5, estas foram seleccionadas para análise no âmbito do presente trabalho.

5.3. ETAR de Beirolas

5.3.1. Descrição da ETAR de Beirolas

A ETAR de Beirolas situa-se na zona oriental do município de Lisboa, próxima da Ponte Vasco da Gama, conforme ilustrado na Figura 12, servindo as populações da zona oriental de Lisboa e partes do conselho de Loures e integra o sistema multimunicipal das Águas do Tejo Atlântico, servindo uma população de 213.510 hab/eq e concebida para receber um caudal diário de 54.500 m³ de AR (ATA, 2017).



Figura 12 – ETAR de Beirolas

(ATA, 2017)

Esta ETAR entrou em funcionamento em 1989 estando equipada com tratamento secundário. Em 1998 foram realizadas obras de ampliação que serviram para a construção de um tanque de equalização, com um volume de 12.200 m³, após o tratamento primário, a ampliação, em 16.400 m³, do tratamento secundário e mudança do sistema de arejadores de superfície por difusores de bolha-fina. A construção de um novo decantador secundário permitiu o aumento do volume do tratamento secundário em 30 % (Somague, 1998). Sofreu obras de melhoria no ano 2000 de modo a introduzir tratamento terciário, nomeadamente, remoção de azoto, filtração e desinfeção por radiação UV (Ariscrinã, 2012).

O esquema de tratamento da ETAR encontra-se ilustrado nas Figuras 13 e 14.

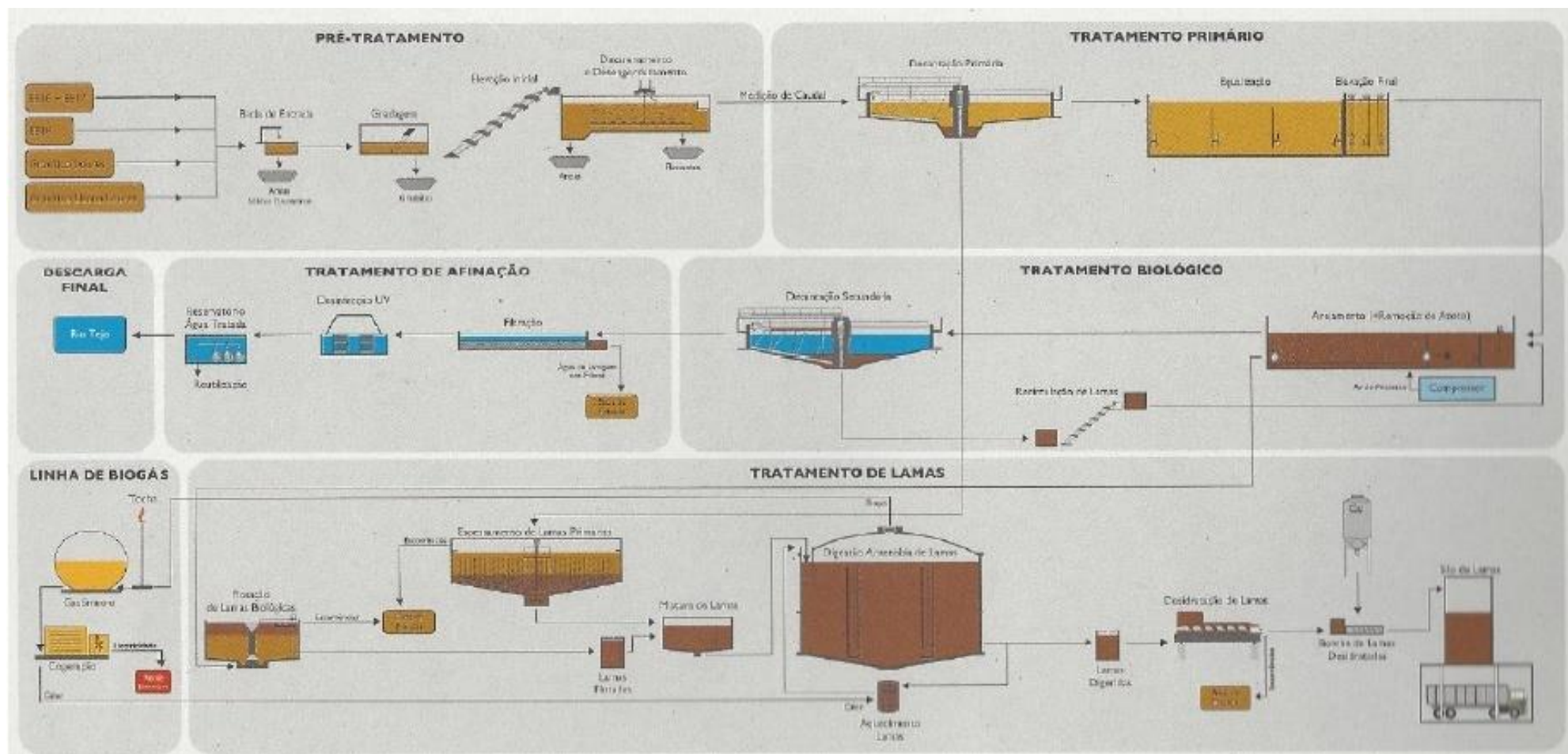


Figura 13 – Esquema de tratamento na ETAR de Beirolos (SIMTEJO, 2012)

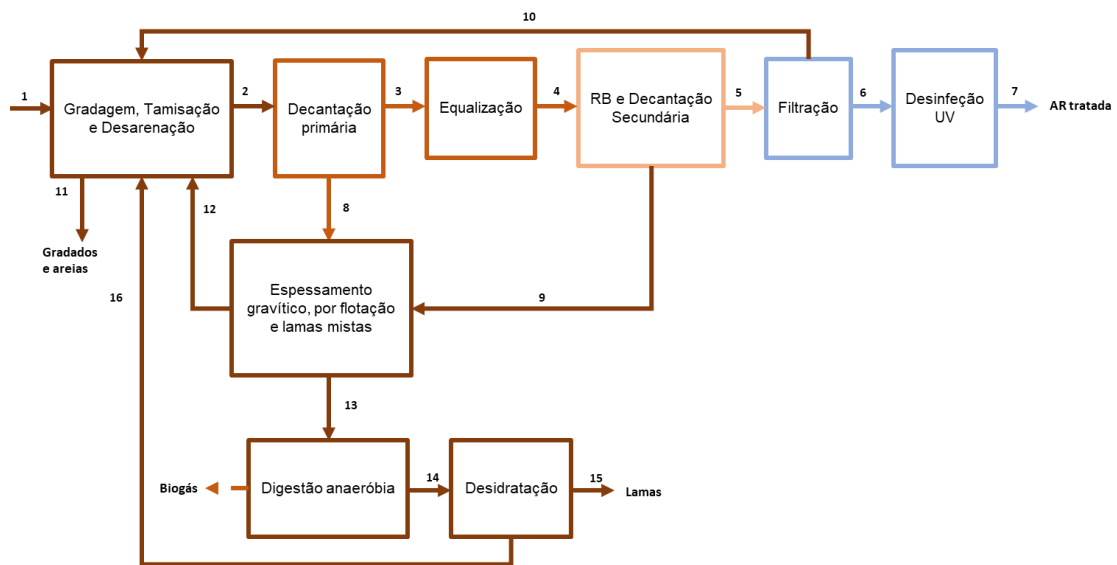


Figura 14 – Correntes do esquema de tratamento da ETAR de Beirolas

A afluência das AR à ETAR de Beirolas é feita por um sistema de bombas e por via gravítica (Mendes, 2014).

Na ETAR existe um tratamento preliminar que consiste em gradagem, tamisação e desarenação, de modo a preservar o bom funcionamento da ETAR.

A gradagem inclui um conjunto de grades com diferentes espaçamentos e a tamisação é realizada por tamisadores do tipo *Step-Screen* com aberturas de 6 mm (Mendes, 2014).

O desarenador arejado tem como função a remoção de areias do afluente antes da sua entrada no tratamento primário (Ariscrinã, 2012).

Após o desarenador, as AR são elevadas até aos decantadores primários por um sistema de 3 parafusos de Arquimedes, onde 2 se encontram em funcionamento com 1 de reserva a ser utilizado em caso de avaria e/ou manutenção ou variação do caudal. Cada um dos parafusos tem capacidade para descolar um caudal máximo de 46.570 m³/d (Mendes, 2014).

O tratamento primário é realizado por dois decantadores (Figura 15) de forma circular com um diâmetro de 32 m e uma altura de líquido de 3,15 m. (Oliveira, 2014).

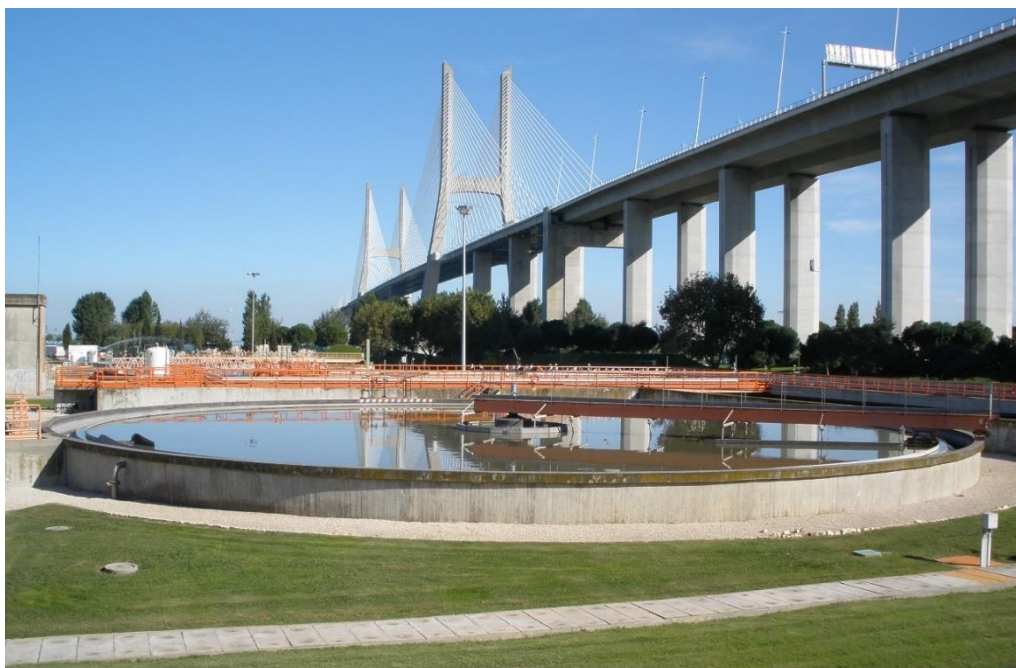


Figura 15 – Decantador primário da ETAR de Beirolas

Após a operação de decantação existe um tanque de equalização com um volume útil de 10.230 m³, operado com um tempo de retenção de 4 horas (Ariscrinã, 2012). As AR são posteriormente elevadas até ao RB que no presente caso é um sistema de lamas ativadas modificado (Figura 16), onde se inicia o tratamento secundário para a remoção de matéria orgânica (Mendes, 2014).



Figura 16 – Sistema de lamas ativadas da ETAR de Beirolas

O RB é constituído por três zonas: aeróbia, anóxica e anaeróbia. As três zonas permitem remover carbono, azoto e fósforo. Devido às elevadas quantidades de oxigénio consumidas durante a atividade biológica nos reatores secundários é introduzido ar pelo fundo dos reatores recorrendo a um conjunto de 5 turbo compressores, com 4 a funcionar em simultâneo e 1 de reserva. Cada compressor tem capacidade para alimentar um caudal de ar entre 4.400 e 9.700 Nm³/h (Ariscrinã, 2012 e Mendes, 2014).

A decantação secundária é realizada por 3 decantadores, cada um com uma capacidade de 11.725 m³ (Mendes, 2014).

As lamas provenientes da decantação secundária são recirculadas para o RB e o excesso é purgado, sendo enviado para espessamento por flotação (Mendes, 2014).

O tratamento terciário, ou de afinação, na ETAR consiste na filtração e desinfecção por radiação UV (Mendes, 2014).

As lamas, após espessamento, são enviadas para um digestor anaeróbio onde a sua carga orgânica é reduzida e o biogás resultante armazenado num reservatório (Figura 17).



Figura 17 – Reservatório de gás na ETAR de Beirolas

Na Figura 18 apresentam-se os perfis de caudal da ETAR de Beirolas para 2011 a 2014 (SIMTEJO, 2012 – 2015).

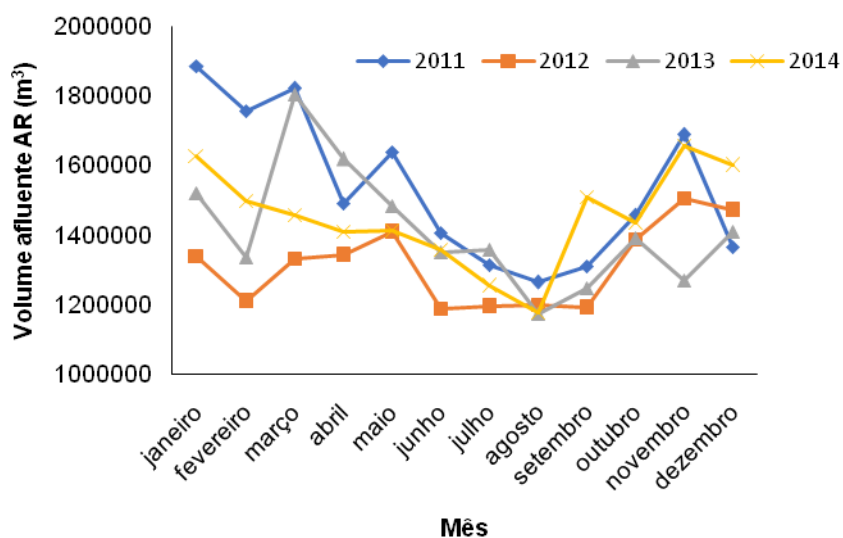


Figura 18 – Perfil de caudal mensal aglomerado para a ETAR de Beirolas entre 2011 e 2014

(SIMTEJO, 2012 – 2015)

Analisando a Figura 18 verifica-se que ao longo dos anos ocorre uma diminuição do volume de AR afluente à ETAR de Beirolas nos meses de junho a setembro, com exceção do mês de setembro de 2014 onde se verifica um pico significativo. Assim sendo os caudais de tempo seco verificam-se entre os meses de junho e setembro e os caudais para tempo húmido entre outubro e maio.

Considerando os meses referidos acima e os caudais apresentados na Figura 18 foram determinados os caudais mínimos, médios e máximos para tempo seco e húmido (Tabela 8).

Tabela 8 – Caudais mínimos, médios e máximos para tempo seco e tempo húmido da ETAR de Beirolas

Caudal (m ³ /d)	Tempo seco			Tempo húmido		
	mínimo	médio	máximo	mínimo	médio	máximo
	37.863	42.021	50.326	41.698	49.374	60.786

5.3.2. Balanço de Massa à ETAR de Beirolas

O balanço de massas realizado à ETAR de Beirolas é referente ao funcionamento em tempo seco e húmido considerando os caudais e concentrações médios dos dados fornecidos para EG de janeiro a maio de 2017. Os resultados das análises das correntes da ETAR fornecidos correspondem a novembro de 2016 e abril de 2017. Relativamente aos caudais utilizados nos balanços de massa, como não foram disponibilizados os dados do ano inteiro, foi necessário comparar os caudais calculados com os apresentados na Tabela 8. Verificou-se que o caudal médio de abril de 2017 (38.173 m³/d) é concordante com os caudais para tempo seco e o de novembro de 2016 (42.072 m³/d) concordante com os caudais para tempo húmido apresentados na Tabela 8.

Os dados de partida para a elaboração do balanço de massa à ETAR de Beirolas foram os seguintes:

- caudais afluentes diários à ETAR e ao tratamento primário;
- concentrações de SST, CBO₅ e CQO do afluente à ETAR e dos efluentes dos tratamentos preliminar, primário e secundário e da ETAR;
- concentrações de ST das lamas primárias, primárias espessadas, biológicas espessadas e mistas;
- concentrações de SST dos retornos do tanque de mistura de lamas e da desidratação de lamas.

As concentrações de SST, CBO₅ e CQO do afluente e do efluente à ETAR, com respetivas eficiências de remoção, encontram-se na Tabela 9. As eficiências de remoção desses poluentes foram calculadas tendo em conta a Equação 14.

Tabela 9 – Concentração de SST, CBO₅ e CQO no afluente e no efluente da ETAR em tempo húmido e seco e as eficiências de remoção

Poluente	Concentração no afluente (mg/L)		Concentração no efluente (mg/L)		Eficiência de remoção (%)	
	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}
SST	270	280	6,8	3,8	97,5	98,6
CBO ₅	250	240	7	6	97,2	97,5
CQO	610	600	35	40	94,3	93,3

As cargas de SST, CBO₅ e CQO foram determinadas à entrada e à saída da ETAR para tempo seco e húmido através da Equação 15, estando os resultados apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Cargas de SST, CBO₅ e CQO à entrada e saída da ETAR de Beirolas para tempo seco e tempo húmido

Poluente	Carga no afluente (kg/d)		Carga no efluente (kg/d)	
	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}
SST	13.552	10.848	280	145
CBO ₅	12.548	9.298	360	229
CQO	30.617	23.246	1.639	1.527

Os balanços de massa aos órgãos de tratamento são feitos de forma análoga ao balanço de massa global da ETAR. Através dos balanços de massa parciais, pretende-se obter informação sobre os caudais e as concentrações das correntes de modo a fechar o balanço de massa à ETAR e determinar as eficiências de remoção de cada nível de tratamento.

Os tratamentos preliminar e primário da ETAR encontram-se ilustrados na Figura 19.

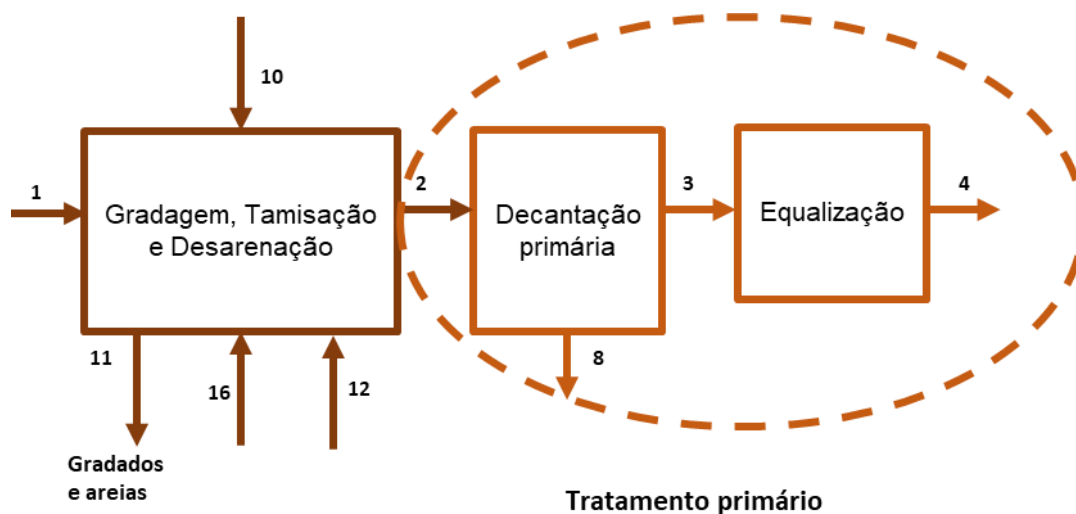


Figura 19 – Tratamento preliminar e primário da ETAR de Beirolas

O tratamento preliminar inclui a bacia de entrada que recebe os caudais e cargas provenientes do afluente à ETAR (corrente 1) e dos retornos provenientes: do espessador de lamas (corrente 12), da desidratação de lamas (corrente 16) e da lavagem dos filtros (corrente 10). Estas correntes são reunidas numa caixa antes da sua passagem pelas grades, tamisador e desarenador/desengordurador, onde são removidos os gradados, areias, óleos e gorduras que saem na corrente 11. O efluente preliminar afluí ao decantador primário (corrente 2).

Os resultados dos balanços de massa ao tratamento preliminar, para tempo seco e húmido, encontram-se resumidos nas Tabelas 11 e 12, respetivamente. Por forma a simplificar os balanços e por nem sempre estarem os filtros em funcionamento foi desprezada a corrente 10, correspondente à água de lavagem. Como a maior parte da matéria removida na corrente 11 é material inerte, despreza-se a carga orgânica (CQO e CBO₅).

Tabela 11 – Balanço de massa ao tratamento preliminar da ETAR de Beirolas em tempo seco

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
1	38.743	280	240	600	10.848	9.298	23.246
10	0	0	0	0	0	0	0
11	1	34.587.239	0	0	41.540	0	0
12	2.338	3.700	n.d.	n.d.	8.650	n.d.	n.d.
16	1.871	8.700	n.d.	n.d.	16.277	n.d.	n.d.
2	42.953	1.800	1.300	2.600	77.315	55.839	111.678

(n.d. – não disponível)

Tabela 12 – Balanço de massa ao tratamento preliminar da ETAR de Beirolas em tempo húmido

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
1	42.702	270	250	610	11.530	10.676	26.048
10	0	0	0	0	0	0	0
11	1	32.302.033	0	0	42.760	0	0
12	1.361	3.700	n.d.	n.d.	5.036	n.d.	n.d.
16	1.314	3.200	n.d.	n.d.	4.204	n.d.	n.d.
2	45.378	1.400	900	2.300	63.529	40.840	104.369

(n.d. – não disponível)

Conforme indicado na Figura 19 o tratamento primário é constituído por decantação primária e equalização. Como não foi possível obter informação sobre a corrente 3, realizou-se o balanço de massa ao tratamento primário, englobando o decantador primário e o tanque de equalização. Os balanços de massa ao tratamento primário, para tempo seco e húmido, encontram-se resumidos nas Tabelas 13 e 14, respetivamente.

Tabela 13 – Balanço de massa ao tratamento primário da ETAR de Beirolas em tempo seco

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
2	42.953	1.800	1.300	2.600	77.315	55.839	111.678
8	3.970	18.000	12.395	23.709	71.468	49.208	94.125
4	38.983	150	170	450	5.847	6.627	17.553

Tabela 14 – Balanço de massa ao tratamento primário da ETAR de Beirolas em tempo húmido

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
2	45.378	1.400	900	2.300	63.529	40.840	104.369
8	2.450	24.000	14.215	36.288	58.807	34.830	88.915
4	42.928	110	140	360	4.722	6.010	15.454

A eficiência de remoção ao tratamento primário da ETAR de Beirolas, para tempo húmido e seco, é apresentada na Tabela 15.

Tabela 15 – Concentração de SST, CBO₅ e CQO no afluente e no efluente do tratamento primário em tempo húmido e seco. Eficiências de remoção

Poluente	Concentração no afluente (mg/L)		Concentração no efluente (mg/L)		Eficiência de redução (%)	
	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}
SST	1.400	1.800	110	150	92,1	91,7
CBO ₅	900	1.300	140	170	84,4	86,9
CQO	2.300	2.600	360	450	84,3	82,7

A Figura 20 ilustra o tratamento secundário da ETAR de Beirolas.

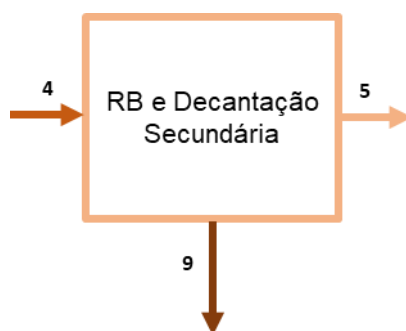


Figura 20 – Tratamento secundário da ETAR de Beirolas

O tratamento secundário é constituído pelo RB e decantador secundário onde é degradada a matéria orgânica, por via biológica, e separada sobre a forma de lamas (corrente 9) do efluente ao tratamento terciário (corrente 5). O balanço de massa ao tratamento secundário, para tempo seco e húmido, encontra-se resumido nas Tabelas 16 e 17, respetivamente.

Tabela 16 – Balanço de massa ao tratamento secundário da ETAR de Beirolas em tempo seco

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
4	38.983	150	170	450	5.847	6.627	17.542
9	815	7.000	7.854	19.847	5.702	6.398	16.015
5	38.168	3,8	6	36	145	229	1.527

Tabela 17 – Balanço de massa ao tratamento secundário da ETAR de Beirolas em tempo húmido

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
4	42.928	110	140	360	4.722	6.010	15.454
9	887	5.000	6.442	15.760	4.436	5.716	13.983
5	42.040	7	7	35	286	294	1.471

A eficiência de remoção do tratamento secundário da ETAR de Beirolas, para tempo húmido e seco, é apresentada na Tabela 18.

Tabela 18 – Concentração de SST, CBO₅ e CQO no afluente e efluente ao tratamento secundário da ETAR de Beirolas. Eficiências de remoção

Poluente	Concentração no afluente (mg/L)		Concentração no efluente (mg/L)		Eficiência de redução (%)	
	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}
SST	110	150	5,8	3,8	94,7	97,5
CBO ₅	140	170	8	6	94,3	96,5
CQO	360	450	34	36	90,6	92,0

O tratamento terciário da ETAR de Beirolas é ilustrado na Figura 21.

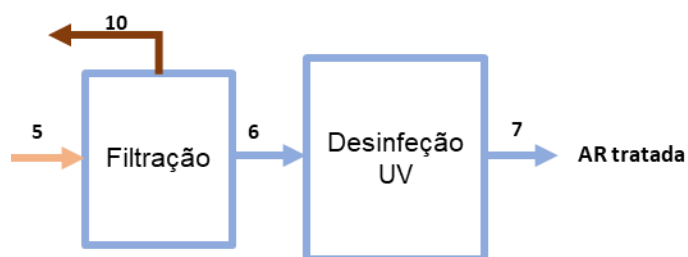


Figura 21 – Representação esquemática do tratamento terciário da ETAR de Beirolas. Conforme referido anteriormente os filtros encontravam-se em manutenção no período temporal considerado para os balanços de massa, pelo que não influenciam os mesmos.

O tratamento de lamas na ETAR de Beirolas é ilustrado pela Figura 22.

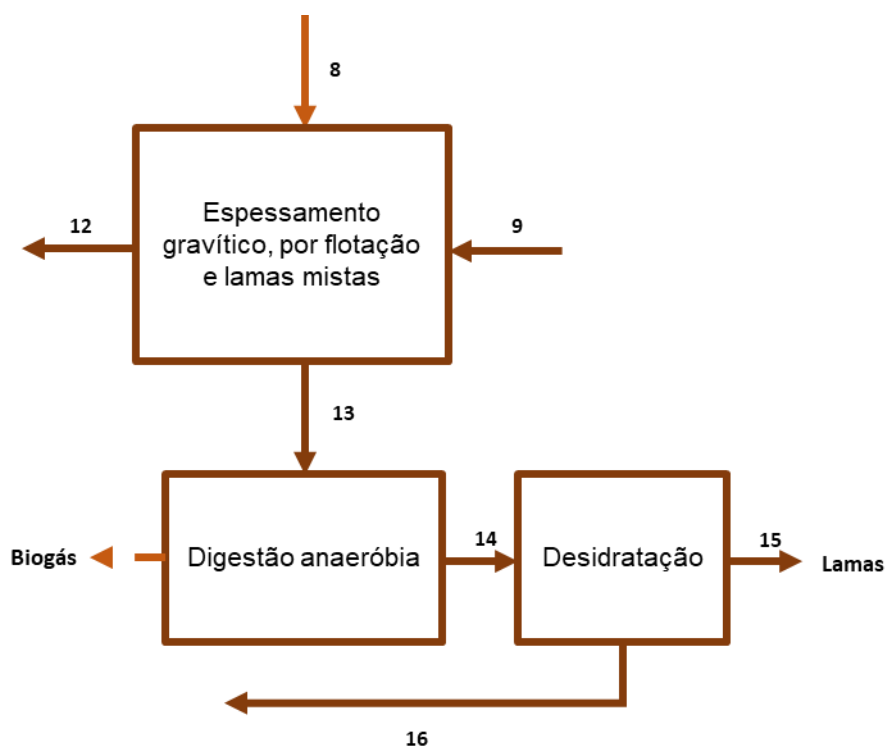


Figura 22 – Tratamento de lamas na ETAR de Beirolas

O tratamento das lamas primárias (corrente 8) e secundárias (corrente 9) inicia-se com o seu espessamento e mistura. O retorno do espessamento (corrente 12) é encaminhado para a obra de entrada enquanto as lamas espessadas (corrente 13) são enviadas para mistura e tratamento. O balanço de massa ao espessamento e mistura de lamas, em tempo seco e húmido, encontra-se resumido nas Tabelas 19 e 20.

Tabela 19 – Balanço de massa ao espessamento e mistura de lamas, em tempo seco, da ETAR de Beirolas

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
8	3.970	18.000	12.395	23.709	71.468	49.212	94.136
9	815	7.000	7.854	19.660	5.702	6.398	16.015
12	2.338	3.700	n.d.	n.d.	8.650	n.d.	n.d.
13	2.447	28.000	n.d.	n.d.	68.520	n.d.	n.d.

(n.d. – não disponível)

Tabela 20 – Balanço de massa ao espessamento e mistura de lamas, em tempo húmido, da ETAR de Beirolas

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
8	2.450	24.000	14.215	36.288	58.807	34.830	88.915
9	887	5.000	6.442	15.760	4.436	5.716	13.983
12	1.361	2.900	n.d.	n.d.	3.947	n.d.	n.d.
13	1.977	30.000	n.d.	n.d.	59.296	n.d.	n.d.

(n.d. – não disponível)

As lamas mistas são sujeitas a digestão anaeróbia para redução de matéria orgânica originando lamas digeridas (corrente 14) e biogás. No entanto por forma a simplificar o balanço, o contributo da corrente do biogás foi desprezado.

O balanço de massa à digestão anaeróbia e à desidratação de lamas, em tempo seco e húmido, encontra-se resumido nas Tabelas 21 e 22, respetivamente.

Tabela 21 – Balanço de massa à digestão e à desidratação de lamas da ETAR de Beirolas em tempo seco

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
14	2.447	28.000	n.d.	n.d.	68.520	n.d.	n.d.
16	1.871	8.700	n.d.	n.d.	16.278	n.d.	n.d.
15	576	90.686	n.d.	n.d.	52.242	n.d.	n.d.

(n.d. – não disponível)

Tabela 22 – Balanço de massa à digestão e à desidratação de lamas da ETAR de Beirolas em tempo húmido

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
14	1.977	30.000	n.d.	n.d.	59.296	n.d.	n.d.
16	1.314	3.200	n.d.	n.d.	4.204	n.d.	n.d.
15	663	83.114	n.d.	n.d.	55.093	n.d.	n.d.

(n.d. – não disponível)

5.4. ETAR de Frielas

5.4.1. Descrição da ETAR de Frielas

A ETAR de Frielas recebe as AR de parte dos municípios da Amadora, Lisboa, Loures, e Vila Franca de Xira, servindo uma população de cerca de 700.000 hab/eq, com o potencial de tratar caudais até 70.000 m³/d (Salgueiro, 2012).

O tratamento de AR na ETAR de Frielas consiste em tratamento preliminar (gradagem, tamisação e desarenação), tratamento primário (decantação primária e equalização), tratamento secundário (RB e decantação secundária) e tratamento de afinação (biofiltração e desinfecção por UV), conforme ilustrado na Figura 23.

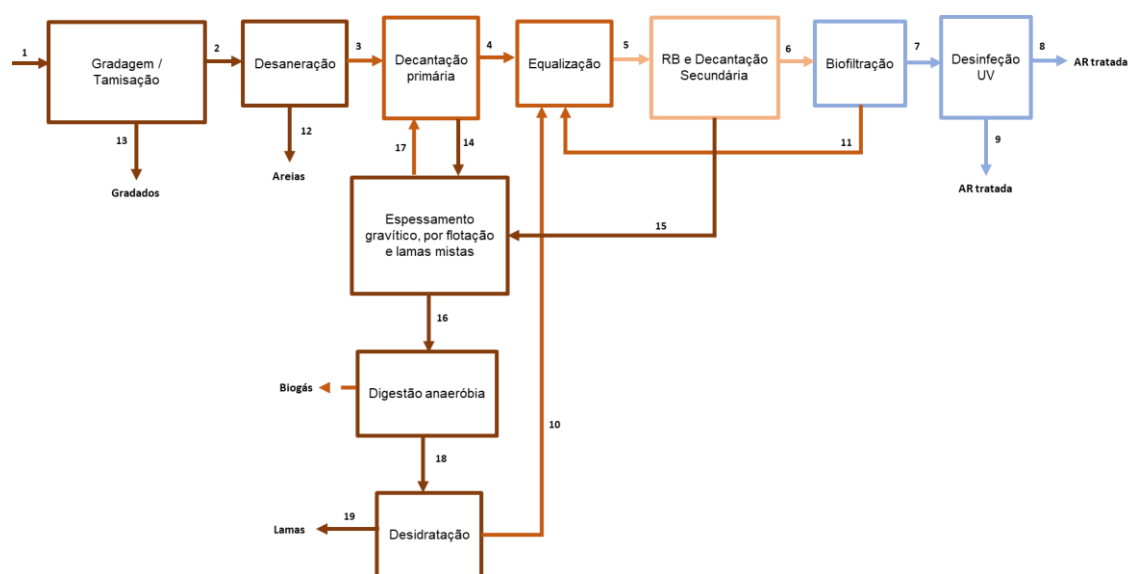


Figura 23 – Representação esquemática da ETAR de Frielas

As AR são elevadas desde a obra de entrada até à gradagem recorrendo a parafusos de Arquimedes em 2 estágios. O primeiro estágio recorre a 3 parafusos, estando 2 em funcionamento com 1 de reserva e o segundo estágio recorre a 4 parafusos, com 3 em funcionamento e 1 de reserva (Salgueiro, 2012).

O tratamento preliminar consiste em gradagem grossa e tamisação. A gradagem grossa utiliza 4 grades com espaçamento de 100 mm para retenção de sólidos grosseiros, sendo a sua remoção feita com uma garra mecânica. A tamisação é feita recorrendo a 4 tamisadores do tipo *Step-Screen*, com aberturas de 6 mm (Salgueiro, 2012).

Após a tamisação encontra-se o desarenador/desengordurador. Na ETAR de Frielas a remoção de areias e óleos e gorduras é realizada num único órgão de tratamento, onde ocorre flotação e decantação (Salgueiro, 2012).

O tratamento primário consiste em 4 linhas de decantação lamelar, possuindo cada uma 1 tanque de mistura rápida para adição de coagulante, 1 tanque de mistura rápida para ajuste de pH com recurso a leite de cal, 1 tanque de mistura lenta para adição de floculante e 1 decantador lamelar onde os poluentes são removidos por ação da gravidade. Após o tratamento primário, as AR são elevadas até ao tanque de equalização por sistema de 4 parafusos, 3 a funcionar em simultâneo e 1 de reserva (Salgueiro, 2012).

A ETAR de Frielas encontra-se equipada com 3 tanques de equalização, com um volume nominal de 16.465 m³. Os tanques de equalização limitam o caudal afluente ao tratamento secundário a um caudal máximo de 4.650 m³/h. Cada tanque encontra-se equipado com agitadores e arejadores de modo a homogeneizar e arejar as AR (Salgueiro, 2012).

O tratamento secundário é realizado em 6 tanques de arejamento, encontrando-se 3 em funcionamento e 3 de reserva (Figura 24) e 3 decantadores secundários, onde as lamas são recolhidas para tratamento. Ocorre recirculação de lamas para os tanques de arejamento (Salgueiro, 2012).



Figura 24 – Tanques de arejamento da ETAR de Frielas

O efluente do decantador secundário é elevado para os biofiltros por um sistema de 3 parafusos, 2 em funcionamento e 1 de reserva, onde ocorre a clarificação do efluente e remoção da poluição solúvel. Seguidamente, o efluente é desinfetado antes da sua descarga no meio recetor (Salgueiro, 2012).

Na Figura 25 apresentam-se os perfis de caudal da ETAR de Frielas ao longo dos anos de 2011 a 2014 (SIMTEJO, 2012 – 2015).

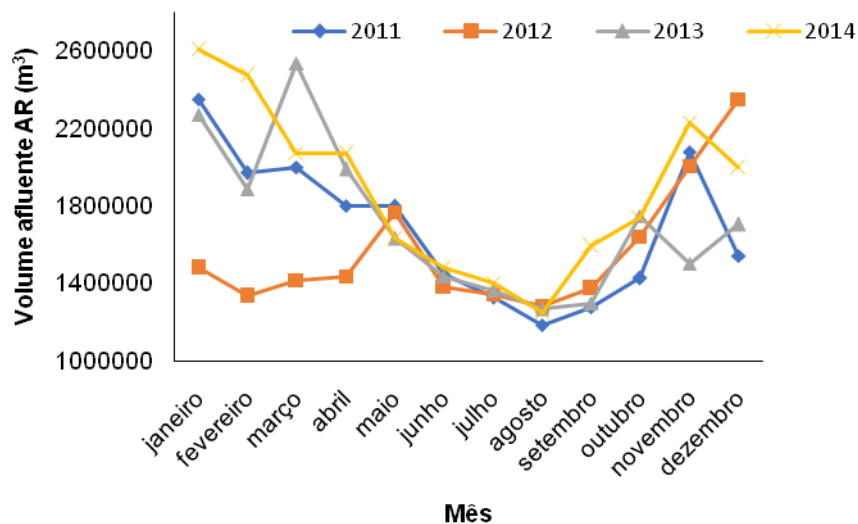


Figura 25 – Perfil de caudal mensal aglomerado afluente à ETAR de Frielas entre 2011 e 2014

(SIMTEJO 2012 – 2015)

Analisando a Figura 25 verifica-se que o caudal afluente à ETAR de Frielas apresenta valores mais reduzidos entre os meses de junho e setembro quando comparados com os restantes meses do ano. Consideram-se os meses de tempo seco como sendo o período entre junho e setembro e os meses de tempo húmido o período entre outubro e maio.

Considerando os intervalos temporais mencionados acima e os caudais representados na Figura 25 apresentam-se, na Tabela 23, os caudais mínimos, médios e máximos para os períodos considerados como tempo seco e húmido.

Tabela 23 – Caudais mínimos, médios e máximos para tempo seco e húmido na ETAR de Frielas

Caudal (m ³ /d)	Tempo seco			Tempo húmido		
	mínimo	médio	máximo	mínimo	médio	máximo
	38.214	44.473	53.021	45.993	62.179	84.051

5.4.2. Balanço de Massa à ETAR de Frielas

Para a realização dos balanços de massa à ETAR de Frielas foram solicitados os dados necessários à EG, no entanto os dados enviados eram os de projeto. Assim foi necessário recorrer aos relatórios e contas da SIMTEJO (2012 – 2015), tendo-se determinado os caudais médios para tempo seco (44.473 m³/d) e húmido (62.179 m³/d), conforme indicado na Tabela 23.

Relativamente às concentrações de CBO₅, CQO e SST foi necessário recorrer a fontes bibliográficas, nomeadamente Doutor (2008) e Caroço (2009). Como os valores reais de concentrações de SST e de CBO₅, assim obtidos são muito inferiores aos de projeto foi necessário estimar rácios entre os valores de projeto e os valores de funcionamento real. Os referidos rácios encontram-se na Tabela 24.

Tabela 24 – Rácios obtidos para as variáveis de entrada, em tempo seco e húmido, para a ETAR de Frielas

Rácio	t _{hum}	t _{sec}
Caudal	0,71	0,62
SST	0,33	0,30
CBO ₅	0,42	0,54

Os valores de CQO foram determinados através do rácio CQO/CBO₅ (2,71) determinado a partir das informações do projeto da ETAR de Frielas fornecidos pela EG.

As concentrações de SST e CBO₅ nas correntes afluentes e efluentes à ETAR, bem como a respetiva eficiência de remoção global encontram-se resumidas na Tabela 26.

Tabela 25 – Concentração de SST, CQO e CBO₅ no afluente e efluente, em tempo seco e húmido, à ETAR de Frielas e eficiências de remoção

Poluente	Concentração no afluente (mg/L)		Concentração no efluente (mg/L)		Eficiência de redução (%)	
	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}
SST	321	413	7	8	97,8	98,1
CBO ₅	262	476	6	9	97,7	98,2
CQO	709	1.289	16	24	97,7	98,2

A Figura 26 representa esquematicamente o tratamento preliminar na ETAR de Frielas.

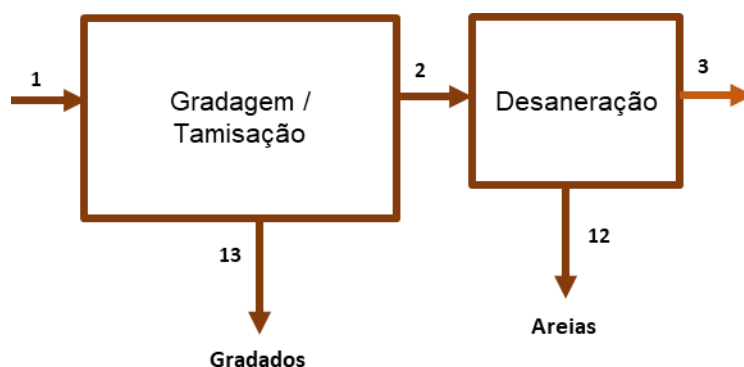


Figura 26 – Representação esquemática do tratamento preliminar da ETAR de Frielas. O balanço de massa à gradagem, em tempo seco e húmido, encontra-se resumido nas Tabelas 26 e 27, respetivamente.

Tabela 26 – Balanço de massa à gradagem da ETAR de Frielas em tempo seco

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
1	44.325	413	476	1.289	18.302	21.090	57.151
2	44.321	413	476	1.289	18.298	21.084	57.135
13	4	887	1.597	4.327	3	6	16

Tabela 27 – Balanço de massa à gradagem da ETAR de Frielas em tempo húmido

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
1	61.801	321	262	709	19.826	16.175	43.832
2	61.797	321	262	709	19.823	16.170	43.819
13	4	852	1.085	2.939	4	5	13

A desarenação separa as areias (corrente 12) do efluente à decantação primária (corrente 3). O balanço de massa à desarenação, em tempo seco e húmido, encontra-se resumido nas Tabelas 28 e 29, respetivamente.

Tabela 28 – Balanço de massa à desarenação da ETAR de Frielas em tempo seco

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
2	44.321	413	476	1.289	18.298	21.084	57.135
3	43.538	385	443	1.201	16.772	19.296	52.290
12	784	1.947	2.281	6.182	1.526	1.788	4.845

Tabela 29 – Balanço de massa à desarenação da ETAR de Frielas em tempo húmido

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
2	61.797	321	262	709	19.823	16.170	43.819
3	60.900	298	238	645	18.166	14.506	39.308
12	897	1.846	1.855	5.027	1.657	1.665	4.512

O tratamento primário na ETAR de Frielas consiste num decantador lamelar primário, cuja representação esquemática se encontra na Figura 27.

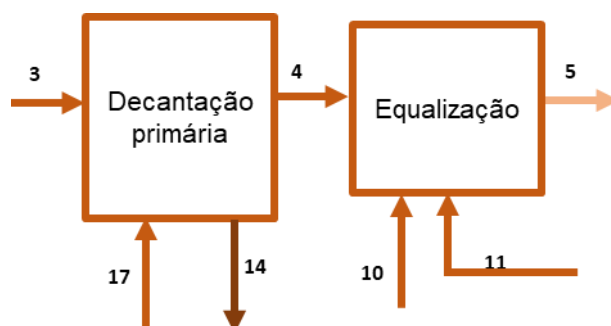


Figura 27 – Representação esquemática do tratamento primário da ETAR de Frielas

O balanço de massa à decantação primária, em tempo seco e húmido encontra-se resumido nas Tabelas 30 e 31, respetivamente.

Tabela 30 – Balanço de massa à decantação primária da ETAR de Frielas em tempo seco

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
3	43.538	385	443	1.201	16.772	19.296	52.290
4	45.060	192	293	794	8.671	13.209	35.796
14	896	9.679	7.939	21.515	8.671	7.113	19.275
17	2.418	236	424	1.150	570	1.026	2.780

Tabela 31 – Balanço de massa à decantação primária da ETAR de Frielas em tempo húmido

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
3	60.900	298	238	645	18.166	14.506	39.308
4	62.658	150	163	441	9.396	10.191	27.617
14	1.011	9.294	5.056	13.702	9.396	5.112	13.853
17	2.769	226	288	781	627	798	2.162

A eficiência de remoção do decantador primário da ETAR de Frielas, para tempo húmido seco, é apresentada na Tabela 32.

Tabela 32 – Concentração de SST, CBO₅ e CQO no afluente e no efluente do decantador primário em tempo húmido e seco e eficiências de remoção

Poluente	Concentração no afluente (mg/L)		Concentração no efluente (mg/L)		Eficiência de redução (%)	
	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}
SST	298	385	150	192	49,7	50,0
CBO ₅	238	443	163	293	31,7	33,9
CQO	645	1.201	441	794	31,7	33,9

O balanço de massa à equalização, em tempo seco e húmido encontra-se nas Tabelas 33 e 34, respetivamente.

Tabela 33 – Balanço de massa à equalização da ETAR de Frielas em tempo seco

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
4	45.060	192	293	794	8.671	13.209	35.796
5	54.819	190	301	816	10.411	16.503	44.722
10	2.170	492	857	2.321	1.068	1.859	5.037
11	7.589	89	189	513	672	1.435	3.890

Tabela 34 – Balanço de massa à equalização da ETAR de Frielas em tempo húmido

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
4	62.658	150	163	441	9.396	10.191	27.617
5	73.833	155	172	465	11.475	12.677	34.354
10	2.485	480	472	1.279	1.192	1.173	3.178
11	8.690	102	151	410	887	1.313	3.559

O tratamento secundário é composto por RB (tanque de arejamento) e decantador secundário, conforme ilustrado na Figura 28.

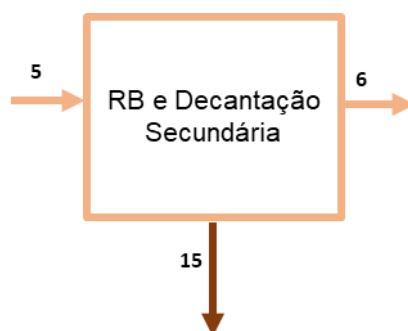


Figura 28 – Representação esquemática do tratamento secundário da ETAR de Frielas

O balanço de massa ao tratamento secundário, em tempo seco e húmido, encontra-se nas Tabelas 35 e 36, respetivamente.

Tabela 35 – Balanço de massa à decantação secundária da ETAR de Frielas em tempo seco

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
5	54.819	190	301	816	10.411	16.503	44.722
6	52.436	19	35	94	1.015	1.826	4.949
15	2.383	3.944	6.160	16.693	9.397	14.677	39.773

Tabela 36 – Balanço de massa à decantação secundária da ETAR de Frielas em tempo húmido

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
5	73.833	155	172	465	11.475	12.677	34.354
6	71.089	19	24	64	1.322	1.683	4.559
15	2.743	3.701	4.008	10.860	10.154	10.995	29.794

A eficiência de remoção do decantador secundário da ETAR de Frielas, para tempo húmido e seco, é apresentada na Tabela 37.

Tabela 37 – Concentração de SST, CBO₅ e CQO no afluente e no efluente do decantador primário em tempo húmido e seco e eficiências de remoção

Poluente	Concentração no afluente (mg/L)		Concentração no efluente (mg/L)		Eficiência de redução (%)	
	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}
SST	155	190	19	19	88,0	89,8
CBO ₅	172	301	24	35	86,2	88,4
CQO	465	816	64	94	86,2	88,4

O tratamento de afinação na ETAR de Frielas consiste em biofiltração e desinfecção por UV antes da descarga da AR no meio recetor. A representação esquemática do tratamento de afinação encontra-se ilustrada na Figura 29.

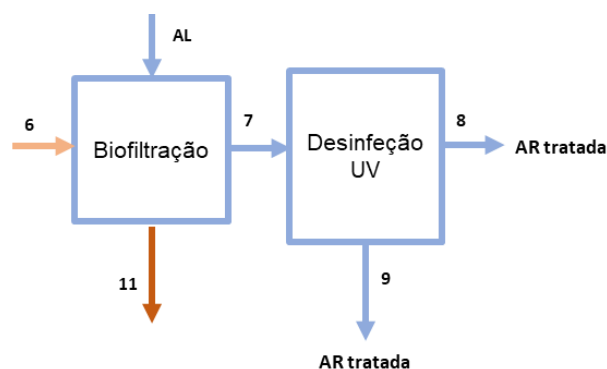


Figura 29 – Representação esquemática do tratamento de afinação da ETAR de Frielas

O balanço de massa à biofiltração, em tempo seco e húmido, encontra-se resumido nas Tabelas 38 e 39, respetivamente. O caudal de água de lavagem (AL) pode variar entre 1 e 50 % do caudal afluente à ETAR (Alves, 2010). Para o calculo do balanço de massa, esse caudal foi definido como 4 % do caudal afluente.

Tabela 38 – Balanço de massa à biofiltração da ETAR de Frielas em tempo seco

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
6	52.436	19	35	94	1.015	1.826	4.949
7	44.847	8	9	24	343	391	1.059
11	7.589	89	189	513	672	1.435	3.890
AL	1.773	0	0	0	0	0	0

Tabela 39 – Balanço de massa à biofiltração da ETAR de Frielas em tempo húmido

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
6	71.089	19	24	64	1.322	1.683	4.559
7	62.399	7	6	16	435	369	1.000
11	8.690	102	151	410	887	1.313	3.559
AL	2.472	0	0	0	0	0	0

A desinfecção por UV elimina microrganismos patogénicos da linha líquida antes da sua descarga no meio recetor (corrente 8). A ETAR de Frielas envia um certo caudal para reutilização (corrente 9). O balanço de massa à desinfecção, em tempo seco e húmido, por UV encontra-se resumido nas Tabelas 40 e 41, respetivamente.

Tabela 40 – Balanço de massa à desinfeção por UV da ETAR de Frielas em tempo seco

Corrente	Caudal (m³/d)	[SST] (mg/L)	[CBO₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
7	44.847	8	9	24	343	391	1.059
8	43.390	8	9	24	332	378	1.024
9	1.457	8	9	24	11	13	35

Tabela 41 – Balanço de massa à desinfeção por UV da ETAR de Frielas em tempo húmido

Corrente	Caudal (m³/d)	[SST] (mg/L)	[CBO₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
7	62.399	7	6	16	435	369	1.000
8	60.731	7	6	16	423	360	974
9	1.669	7	6	16	12	9	26

O tratamento de lamas na ETAR de Frielas consiste em espessamento gravítico das lamas primárias e por flotação das secundárias, seguido de digestão anaeróbia e desidratação. A Figura 30 ilustra o tratamento das lamas.

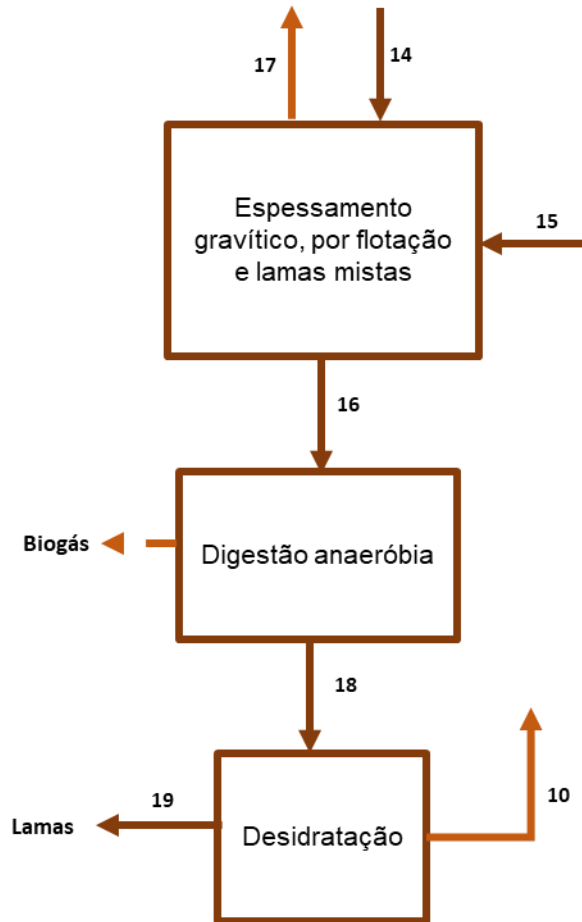


Figura 30 – Tratamento das lamas primárias e secundárias da ETAR de Frielas

O balanço de massa do espessamento gravítico e por flotação, em tempo seco e húmido, encontra-se resumido nas Tabelas 42 e 43, respetivamente.

Tabela 42 – Balanço de massa ao espessamento gravítico e por flotação da ETAR de Frielas em tempo seco

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
14	896	9.679	7.939	21.515	8.671	7.113	19.275
15	2.383	3.944	6.160	16.693	9.397	14.677	39.773
16	861	20.333	24.129	65.385	17.498	20.764	56.268
17	2.418	236	424	1.150	570	1.026	2.780

Tabela 43 – Balanço de massa ao espessamento gravítico e por flotação da ETAR de Frielas em tempo húmido

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
14	1.011	9.294	5.056	13.702	9.396	5.112	13.853
15	2.743	3.701	4.008	10.860	10.154	10.995	29.794
16	985	19.202	15.535	42.096	18.923	15.309	41.485
17	2.769	226	288	781	627	798	2.162

As lamas mistas são sujeitas a digestão anaeróbia para eliminação de matéria orgânica originando lamas digeridas (corrente 18) e biogás, considerando-se que a CBO₅ e a CQO são convertidas em 50 %. O balanço de massa à digestão anaeróbia, em tempo seco e húmido, encontra-se resumido nas Tabelas 44 e 45, respetivamente.

Tabela 44 – Balanço de massa à digestão anaeróbia da ETAR de Frielas em tempo seco

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
16	861	20.333	24.129	65.385	17.498	20.764	56.268
18	2.634	6.644	3.942	10.683	17.498	10.382	28.134
biogás	0	0	0	0	0	10.382	28.134
AL	1.773	0	0	0	0	0	0

Tabela 45 – Balanço de massa à digestão anaeróbia da ETAR de Frielas em tempo húmido

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
16	985	19.202	15.535	42.096	18.923	15.309	41.485
18	3.458	5.473	2.214	5.999	18.923	7.655	20.743
biogás	0	0	0	0	0	7.655	20.743
AL	2.472	0	0	0	0	0	0

O balanço de massa à desidratação de lamas, em tempo seco e húmido, encontra-se resumido nas Tabelas 46 e 47, respetivamente.

Tabela 46 – Balanço de massa à desidratação de lamas da ETAR de Frielas em tempo seco

Corrente	Caudal (m³/d)	[SST] (mg/L)	[CBO₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
10	2.170	492	857	2.321	1.068	1.859	5.037
18	2.634	6.644	3.942	10.683	17.498	10.382	28.134
19	464	35.442	18.387	49.825	16.430	8.523	23.097

Tabela 47 – Balanço de massa à desidratação de lamas da ETAR de Frielas em tempo húmido

Corrente	Caudal (m³/d)	[SST] (mg/L)	[CBO₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
10	2.485	480	472	1.279	1.192	1.173	3.178
18	3.458	5.473	2.214	5.999	18.923	7.655	20.743
19	973	18.232	6.665	18.061	17.731	6.482	17.565

5.5. ETAR de Alcântara

5.5.1. Descrição da ETAR de Alcântara

A ETAR de Alcântara recebe AR vindas dos municípios de Amadora, Lisboa e Oeiras, encontrando-se dimensionada para uma população equivalente a 756.000 hab.eq., e para receber um caudal máximo de 570.240 m³/d (ATA, 2017). A bacia de entrada da ETAR é ilustrada na Figura 31.

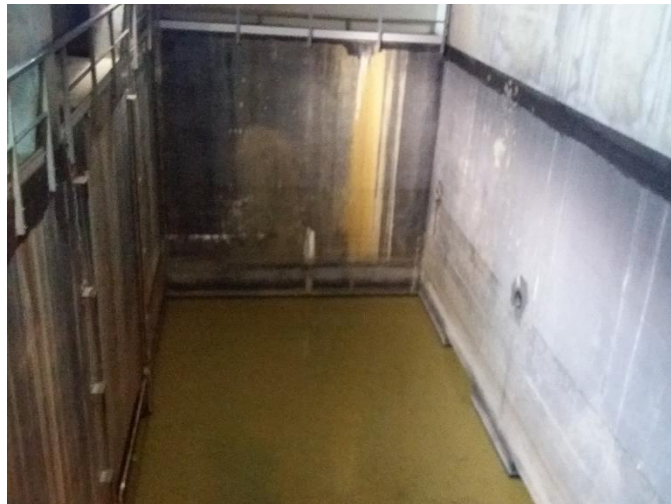


Figura 31 – Bacia de entrada da ETAR de Alcântara

Inicialmente a ETAR de Alcântara apenas possuía tratamento primário, tendo tratamento primário avançado de 2003 a 2009 e tratamento terciário a partir de 2009.

O tratamento de AR na ETAR de Alcântara consiste em tratamento preliminar, primário, secundário e de terciário, conforme ilustrado na Figura 32.

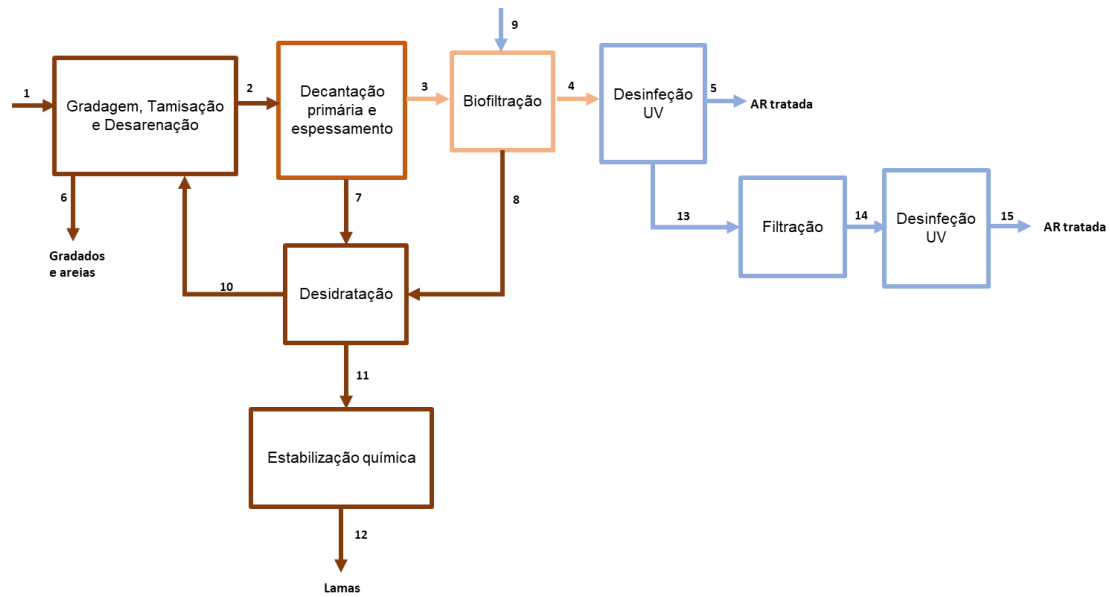


Figura 32 – Representação esquemática da linha de tratamento líquida e sólida da ETAR de Alcântara

O tratamento preliminar consiste em gradagem e tamisação (Figura 33), que impede a passagem de sólidos com diâmetro superior a 6 mm (SIMTEJO, 2012).

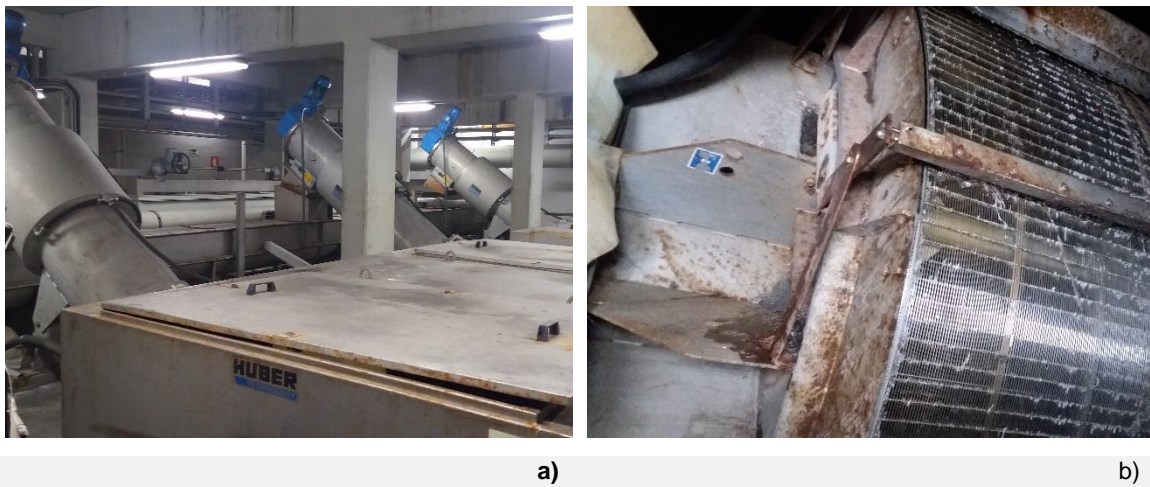


Figura 33 – Tamisadores da ETAR de Alcântara: a) vista exterior e b) tambor

Após as operações de gradagem e tamisação as AR são elevadas por parafusos de Arquimedes até ao desarenador/desengordurador (Figura 34), onde se procede à remoção de areias, óleos e gorduras (SIMTEJO, 2012).



Figura 34 – Desarenador/desengordurador da ETAR de Alcântara

O tratamento primário consiste em decantação primária lamelar, cujo funcionamento varia consoante o caudal admitido. Quando o caudal afluente é igual ou inferior a $3,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (tempo seco) funcionam os decantadores e espessadores MULTIFLO, sem adição de reagentes. Se o caudal for superior a $3,3 \text{ m}^3/\text{s}$ o caudal excedentário é desviado para os decantadores ACTIFLO onde a decantação é auxiliada pela adição de microareias para a formação de flocos de alta densidade (SIMTEJO, 2012 e ATA, 2017).

O tratamento secundário é realizado num conjunto de 15 biofiltros BIOSTYR com uma área de 215 m^2 e um volume útil de 750 m^3 , cada. Os biofiltros possuem esferas de poliestireno, com $3,5 \text{ mm}$ de diâmetro, como material filtrante. A remoção de sólidos e matéria orgânica é feita devido aos processos de adsorção, hidrólise e metabolização pelos microrganismos presentes no biofilme que se forma à superfície do material filtrante (SIMTEJO, 2012 e ATA, 2017).

O tratamento terciário consiste num sistema de desinfecção por UV. A ETAR possui ainda um sistema de reciclagem de água, no qual as AR desviadas para essa linha são submetidas a filtração e desinfecção por UV (SIMTEJO, 2012).

Na Figura 35 apresentam-se os perfis de caudal da ETAR de Alcântara ao longo dos anos de 2011 a 2014 (SIMTEJO, 2012 – 2015).

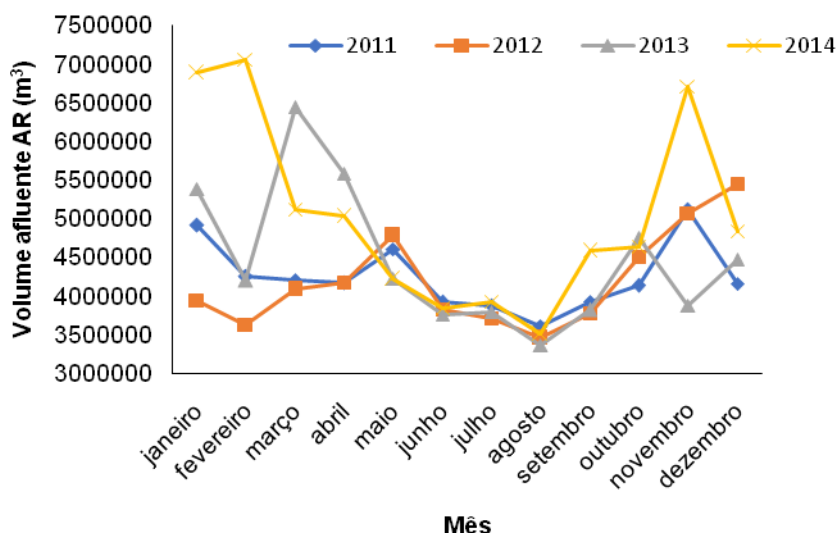


Figura 35 – Perfil de caudal mensal aglomerado afluente à ETAR de Alcântara entre 2011 e 2014

(SIMTEJO 2012 – 2015)

Analisando a Figura 35 verifica-se que os meses com menores volumes afluentes à ETAR de Alcântara são normalmente entre junho e setembro para os anos considerados, com exceção de setembro de 2014. Pode-se considerar que os meses de tempo seco se encontram no período entre junho e setembro e os meses de tempo húmido entre outubro e maio.

Com os valores dos caudais mensais aglomerados da Figura 35, são obtidos caudais inferiores a 3,3 m³/s. Apesar de serem obtidos caudais inferiores a 3,3 m³/s o sistema ACTIFLO pode ter entrado em funcionamento, no período temporal considerado, aquando da ocorrência de picos de afluência de caudal.

Considerando os intervalos temporais mencionados acima e os caudais representados na Figura 35 apresentam-se, na Tabela 48, os caudais mínimos, médios e máximos para os períodos considerados como tempo seco e húmido.

Tabela 48 – Caudais mínimos, médios e máximos para tempo seco e húmido da ETAR de Alcântara

Caudal (m ³ /d)	Tempo seco			Tempo húmido		
	mínimo	médio	máximo	mínimo	médio	máximo
	108.588	124.455	152.675	125.159	158.980	252.100

5.5.2. Balanço de Massa à ETAR de Alcântara

Os caudais afluentes à ETAR, em tempo seco e em tempo húmido, serão considerados como os caudais médios considerados na Tabela 48. Os dados fornecidos para a realização do balanço de massa incluem os caudais diários afluentes aos componentes ACTIFLO e MULTIFLO da decantação primária, caudais de lamas produzidos e concentrações de sólidos nas lamas desidratadas e escorrências resultantes do processo. Foram ainda fornecidas as concentrações de SST, CBO₅ e CQO do afluente e efluente da ETAR.

As concentrações de SST, CQO e CBO₅ nas correntes afluentes e efluentes à ETAR, para tempo seco e húmido, bem como a respetiva eficiência de remoção global encontram-se resumidas na Tabela 49.

Tabela 49 – Concentrações de SST, CQO e CBO₅ no afluente e efluente, em tempo seco e húmido, da ETAR de Alcântara e eficiências de remoção globais

Poluente	Concentração no afluente (mg/L)		Concentração no efluente (mg/L)		Eficiência de redução (%)	
	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}
SST	306	330	24	20	92,2	93,9
CBO ₅	250	273	16	17	93,6	93,8
CQO	530	617	68	73	87,2	88,2

A Figura 36 representa esquematicamente o tratamento preliminar da ETAR de Alcântara.

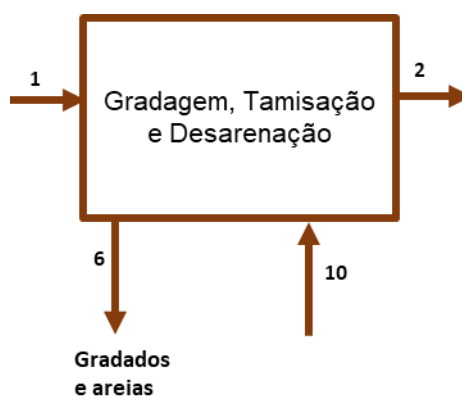


Figura 36 – Tratamento preliminar e primário da ETAR de Alcântara

Ao tratamento preliminar aflui o afluente à ETAR (corrente 1) e as escorrências provenientes da desidratação de lamas (corrente 10), saindo do mesmo os gradados e areias (corrente 6) e o afluente ao tratamento primário (corrente 2). Considera-se que a carga orgânica (CQO e CBO₅) na corrente 6 é nula. O balanço de massa à gradagem, em tempo seco e húmido, encontra-se resumido nas Tabelas 50 e 51, respetivamente.

Tabela 50 – Balanço de massa ao tratamento preliminar da ETAR de Alcântara em tempo seco

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
1	124.455	330	273	617	45.363	33.976	76.789
6	3	35.594.600	0.	0	115.178	0	0
10	36.160	3.432	251	639	124.102	9.068	23.112
2	160.612	338	268	622	52.287	43.044	99.901

Tabela 51 – Balanço de massa ao tratamento preliminar da ETAR de Alcântara em tempo húmido

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
1	158.980	306	250	530	48.648	39.745	84.259
6	4	53.136.001	0	0	219.637	0	0
10	42.302	7.000	704	1.416	296.114	29.769	59.910
2	190.449	657	365	757	125.125	69.514	144.170

O tratamento da ETAR de Alcântara encontra-se ilustrado na Figura 37.



Figura 37 – Representação esquemática do tratamento primário na ETAR de Alcântara

A decantação primária e espessamento das lamas primárias é feito num sistema que recorre às tecnologias MULTIFLO e ACTIFLO. As lamas primárias (corrente 7) são encaminhadas para desidratação enquanto a linha líquida afluí ao tratamento secundário (corrente 3). O balanço de massa ao tratamento primário, em tempo seco e húmido, encontra-se resumido nas Tabelas 52 e 53, respetivamente.

Tabela 52 – Balanço de massa ao tratamento primário da ETAR de Alcântara em tempo seco

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
2	160.612	338	268	622	54.287	43.044	99.901
7	1.165	31.817	19.155	42.502	37.067	22.316	49.515
3	159.447	108	130	316	17.220	20.728	50.385

Tabela 53 – Balanço de massa ao tratamento primário da ETAR de Alcântara em tempo húmido

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
2	190.449	657	365	757	125.125	69.514	144.170
7	1.384	76.338	34.107	66.329	105.651	47.204	91.799
3	189.065	103	118	277	19.474	22.310	52.371

A eficiência de remoção do tratamento primário da ETAR de Alcântara, para tempo seco e húmido, encontra-se resumida na Tabela 54.

Tabela 54 – Eficiências de remoção de SST, CBO₅ e CQO no tratamento primário da ETAR de Alcântara

Poluente	Concentração no afluente (mg/L)		Concentração no efluente (mg/L)		Eficiência de redução (%)	
	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}
SST	657	338	103	108	84,3	68,0
CBO ₅	365	268	118	130	67,8	51,5
CQO	757	622	277	316	63,4	49,2

O tratamento secundário e terciário da ETAR de Alcântara encontra-se ilustrado na Figura 38.

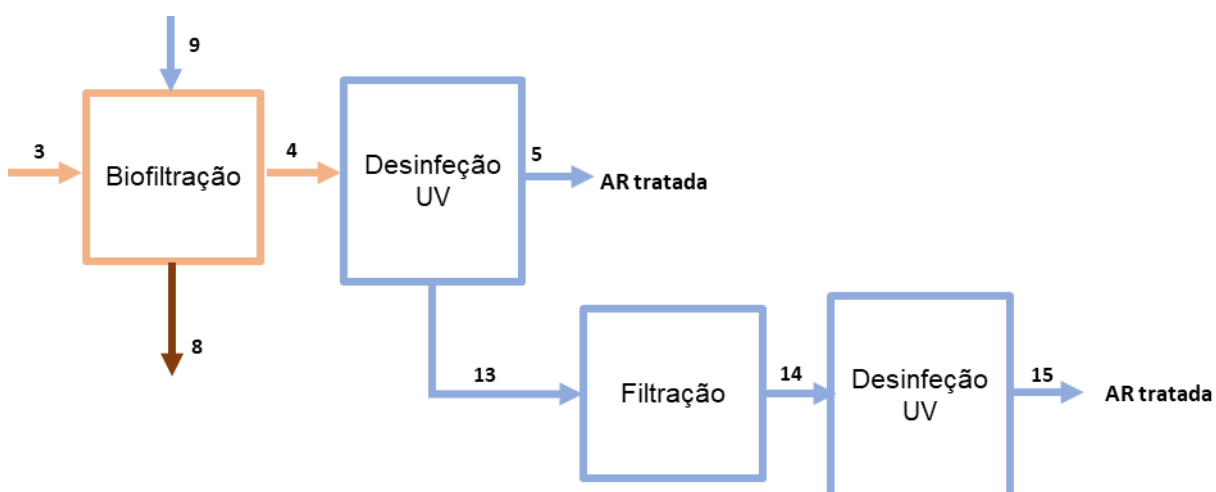


Figura 38 – Tratamento secundário e terciário da ETAR de Alcântara

O tratamento secundário é realizado recorrendo a biofiltração, com as lamas secundárias (corrente 8) a serem separadas do afluente ao tratamento de afinação (corrente 4). Nesta fase é adicionado um caudal de água de lavagem dos filtros (corrente 9) igual a 2.000 m³/d. O balanço de massa à biofiltração, em tempo seco e húmido, encontra-se resumido nas Tabelas 55 e 56, respetivamente.

Tabela 55 – Balanço de massa à biofiltração da ETAR de Alcântara em tempo seco

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
3	159.447	108	130	316	17.220	20.728	50.385
8	40.735	363	458	1.021	14.806	18.676	41.573
9	2.000	0	0	0	0	0	0
4	120.712	20	17	73	2.414	2.052	8.812

Tabela 56 – Balanço de massa à biofiltração da ETAR de Alcântara em tempo húmido

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
3	189.065	103	118	277	19.474	22.310	52.371
8	43.008	370	464	984	15.920	19.941	42.303
9	2000	0	0	0	0	0	0
4	148.057	24	16	68	3.554	2.369	10.068

A eficiência de remoção do tratamento secundário da ETAR de Alcântara, para tempo seco e húmido, encontra-se resumida na Tabela 57.

Tabela 57 – Eficiência de remoção de SST, CBO₅ e CQO no tratamento secundário da ETAR de Alcântara

Poluente	Concentração no afluente (mg/L)		Concentração no efluente (mg/L)		Eficiência de redução (%)	
	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}
SST	103	108	24	20	76,7	81,5
CBO ₅	118	130	16	17	86,4	86,9
CQO	277	316	68	73	75,4	76,9

O efluente a descarregar no meio recetor (corrente 6) é sujeito apenas a desinfecção por UV, enquanto a AR encaminhada para reutilização (corrente 13) é sujeita a filtração antes de desinfecção por UV.

A linha de tratamento de lamas na ETAR de Alcântara encontra-se ilustrada na Figura 39.

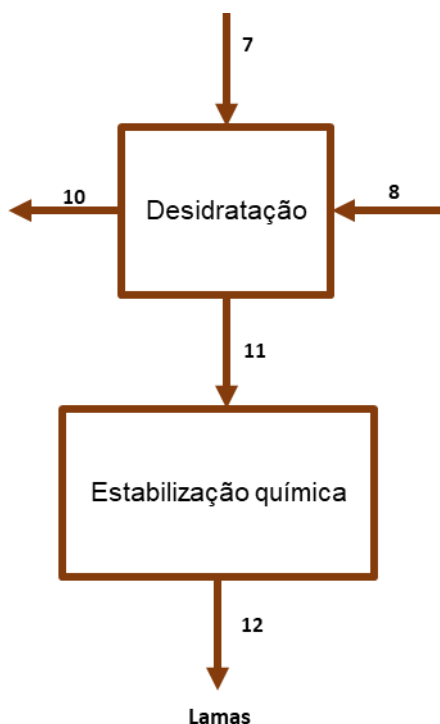


Figura 39 – Linha de tratamento de lamas da ETAR de Alcântara

Como não foi possível obter informação sobre a corrente 11, realizou-se o balanço de massa ao tratamento das lamas, englobando as operações de desidratação e de estabilização química. O balanço de massa ao tratamento das lamas, em tempo seco e húmido, encontra-se resumido nas Tabelas 58 e 59, respetivamente.

Tabela 58 – Balanço de massa ao tratamento das lamas da ETAR de Alcântara em tempo seco

Corrente	Caudal (m ³ /d)	[SST] (mg/L)	[CBO ₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO ₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
7	1.165	31.817	19.155	42.502	37.067	22.316	49.515
10	36.160	3.432	251	639	124.102	9.068	23.112
12	5.740	30.000	5.562	11.843	172.193	31.924	67.977
8	40.735	363	458	1.021	14.806	18.676	41.573

Tabela 59 – Balanço de massa ao tratamento das lamas da ETAR de Alcântara em tempo húmido

Corrente	Caudal (m³/d)	[SST] (mg/L)	[CBO₅] (mg/L)	[CQO] (mg/L)	Carga SST (kg/d)	Carga CBO₅ (kg/d)	Carga CQO (kg/d)
7	1.384	76.338	34.107	66.329	105.651	47.204	91.799
10	42.302	7.000	704	1.416	296.114	29.769	59.910
12	2.090	35.000	17.883	35.498	73.151	37.376	74.192
8	43.008	370	464	984	15.920	19.941	42.303

6. Apresentação e Discussão de Resultados

6.1. Discussão de Resultados para a ETAR de Beirolas

A ETAR de Beirolas apresenta decantação gravítica sem uso de coagulantes ou floculantes como tratamento primário, e um reator biológico (funciona como sistema de lamas ativadas) seguida de decantação tratamento secundário. As eficiências de remoção para o tratamento primário são calculadas utilizando a entrada e saída do decantador primário e para o tratamento secundário recorre-se à entrada e saída do conjunto RB mais decantador secundário. Os resultados encontram-se resumidos na Tabela 60.

Tabela 60 – Eficiências de remoção nos diferentes níveis de tratamento na ETAR de Beirolas.

Poluente	% remoção tratamento primário			% remoção tratamento secundário		
	t _{hum}	t _{sec}	teórico *	t _{hum}	t _{sec}	teórico *
SST	92,1	91,7	50 – 70	94,7	97,5	85 – 90
CBO ₅	84,4	86,9	25 – 40	94,3	96,5	80 – 95
CQO	84,3	82,7	30 – 40	90,6	92,0	80 – 90

(* referente à Tabela 6)

Analisando a Tabela 60 verifica-se que as eficiências de remoção no tratamento primário, tanto para tempo seco como para tempo húmido, se encontram consideravelmente acima das eficiências de remoção esperadas. Tal pode dever-se ao facto que nesta ETAR ocorre a adição de escorrências provenientes do tratamento ao afluente, aumentando a concentração dos poluentes anteriormente à sua entrada no decantador primário.

Quando se comparam as eficiências de remoção para tempo seco e tempo húmido, verifica-se que as eficiências de remoção não sofrem variações significativas de um tipo de tempo para outro, ou seja, a variação de caudal não tem um efeito relevante na eficiência de remoção de sólidos e matéria orgânica na ETAR de Beirolas.

As eficiências de remoção do tratamento secundário são relativamente elevadas quando comparadas com as eficiências de remoção esperadas. Comparando as eficiências de remoção entre tempo seco e húmido verifica-se que as eficiências de remoção para tempo seco são superiores às eficiências

de remoção em tempo húmido, pelo que o caudal poderá ter um efeito maior nas eficiências de remoção do tratamento secundário.

A Tabela 61 resume as concentrações de SST, CBO₅ e CQO no efluente da ETAR e comparação com limites estabelecidos.

Tabela 61 – Comparação das concentrações de SST, CBO₅ e CQO no efluente da ETAR de Beirolas e as concentrações limite

Poluente	Concentração no efluente (mg/L)		Concentração limite (mg/L) *
	t _{hum}	t _{sec}	
SST	5,8	3,8	35
CBO ₅	8	6	25
CQO	34	40	125

(* Decreto-Lei nº 152/97)

Analisando a Tabela 61 verifica-se que as concentrações dos poluentes cumprem as concentrações limite de descarga, tanto em tempo seco como em tempo húmido.

6.2. Discussão de Resultados para a ETAR de Frielas

A ETAR de Frielas apresenta um decantador lamelar gravítico como tratamento primário e um conjunto de tanques de arejamento seguidos de decantadores como tratamento secundário. As eficiências de remoção para o tratamento primário são calculadas utilizando a entrada e saída do decantador primário e para o tratamento secundário recorre-se à entrada e saída do conjunto constituído pelo RB e o decantador secundário. Os resultados apresentam-se resumidos na Tabela 62.

Tabela 62 – Eficiências de remoção nos diferentes níveis de tratamento na ETAR de Frielas

Poluente	% remoção tratamento primário			% remoção tratamento secundário		
	t _{hum}	t _{sec}	teórico *	t _{hum}	t _{sec}	teórico *
SST	49,7	50,0	50 – 70	88,0	89,8	85 – 90
CBO ₅	31,7	33,9	25 – 40	86,2	88,4	80 – 95
CQO **	31,7	33,9	30 – 40	86,2	88,4	80 – 90

(* referente à Tabela 6)

(** estimado a partir da CBO)

Analisando a Tabela 62 verifica-se que quer para o tratamento primário, quer para o tratamento secundário e independentemente do tempo (seco e húmido) as eficiências de remoção obtidas se encontram dentro dos valores esperados. Comparando as eficiências de remoção em tempo seco e húmido, não se verificam diferenças significativas.

A Tabela 63 resume as concentrações de SST, CBO₅ e CQO no efluente da ETAR e comparação com limites estabelecidos.

Tabela 63 – Comparação das concentrações de SST, CBO₅ e CQO no efluente da ETAR de Frielas e as concentrações limite

Poluente	Concentração no efluente (mg/L)		Concentração limite (mg/L) *
	t _{hum}	t _{sec}	
SST	7	8	35
CBO ₅	6	9	25
CQO	16	24	125

(* Decreto-Lei nº 152/97)

Analisando a Tabela 63 verifica-se que a ETAR de Frielas cumpre os limites de descarga para a concentração de sólidos e matéria orgânica, tanto em tempo seco como em húmido.

6.3. Discussão de Resultados para a ETAR de Alcântara

A ETAR de Alcântara apresenta um sistema de decantação assistida com coagulantes/floculantes como tratamento primário e um conjunto de biofiltros como tratamento secundário, sendo as eficiências de remoção determinadas recorrendo à entrada e à saída dos respetivos órgãos de tratamento. Os resultados encontram-se resumidos na Tabela 64.

Tabela 64 – Eficiência de remoção nos diferentes níveis de tratamento na ETAR de Alcântara

Poluente	% remoção tratamento primário			% remoção tratamento secundário		
	t _{hum}	t _{sec}	teórico *	t _{hum}	t _{sec}	teórico *
SST	84,3	68,0	80 – 90	76,7	81,5	60 – 90
CBO ₅	67,7	51,5	50 – 80	86,4	86,9	60 – 90
CQO **	63,4	49,2	-	75,5	76,9	60 – 80

(* referente à Tabela 6)

Analisando a Tabela 64 verifica-se que, para o tratamento primário, a eficiência de remoção de SST em tempo seco encontra-se abaixo do esperado. Verifica-se ainda que as eficiências de remoção de sólidos e matéria orgânica, em tempo seco, apresentam valores significativamente inferiores aos verificados em tempo húmido.

As eficiências de remoção para o tratamento secundário, tanto em tempo seco como em tempo húmido, encontram-se dentro das gamas de valores esperados. Verifica-se ainda que a eficiência de remoção de SST apresenta melhores resultados em tempo seco, quando comparado com a eficiência de remoção em tempo húmido.

A Tabela 65 resume as concentrações de SST, CBO₅ e CQO no efluente da ETAR e comparação com limites estabelecidos.

Tabela 65 – Comparação das concentrações de SST, CBO₅ e CQO no efluente da ETAR de Alcântara e as concentrações limite

Poluente	Concentração no efluente (mg/L)		Concentração limite (mg/L) *
	t _{hum}	t _{sec}	
SST	24	20	35
CBO ₅	16	17	25
CQO	68	73	125

(* Decreto-Lei nº 152/97)

Analisando a Tabela 65 verifica-se que a ETAR de Alcântara cumpre com os limites de descarga para as concentrações de sólidos e matéria orgânica, tanto em tempo seco como em húmido.

6.4. Comparação do Funcionamento das ETAR

As eficiências de remoção globais para as ETAR estudadas encontram-se resumidas na Tabela 66.

Tabela 66 – Eficiências de remoção globais, em tempo seco e húmido, para as ETAR analisadas

Poluente	% remoção Beirolas		% remoção Frielas		% remoção Alcântara	
	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}
SST	97,9	98,6	97,8	98,1	92,2	93,9
CBO ₅	96,8	97,5	97,7	98,2	93,6	93,8
CQO	94,4	93,3	97,7	98,2	87,2	88,2

Analisando a Tabela 66 verifica-se que a ETAR de Beirolas apresenta as eficiências de remoção globais de sólidos mais elevadas, quer em tempo seco, quer em tempo húmido. A ETAR de Frielas, por sua vez, apresenta as melhores eficiências de remoção para matéria orgânica, em tempo seco e tempo húmido.

As eficiências de remoção do tratamento primário nas ETAR analisadas são apresentadas na Tabela 67.

Tabela 67 – Eficiências de remoção do tratamento primário, em tempo seco e húmido, para as ETAR analisadas

Poluente	% remoção Beirolas		% remoção Frielas		% remoção Alcântara	
	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}
SST	92,1	91,7	49,7	50,0	84,3	68,0
CBO ₅	84,4	86,9	31,7	33,9	67,7	51,5
CQO	84,3	82,7	31,7	33,9	63,4	49,2

Analisando a Tabela 67 verifica-se que a ETAR de Beirolas apresenta eficiências de remoção para o tratamento primário mais elevadas, quando comparada com as outras duas ETAR. A ETAR de Frielas apresenta as eficiências de remoção, a nível do tratamento primário, mais baixas de entre as

ETAR analisadas. Verifica-se que, neste nível de tratamento, a eficiência de remoção varia proporcionalmente com a concentração do poluente à entrada.

As eficiências de remoção do tratamento secundário nas ETAR analisadas são apresentadas na Tabela 68.

Tabela 68 – Eficiências de remoção do tratamento secundário, em tempo seco e húmido, para as ETAR analisadas

Poluente	% remoção Beirolas		% remoção Frielas		% remoção Alcântara	
	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}	t _{hum}	t _{sec}
SST	94,7	97,5	88,0	89,8	76,7	81,5
CBO ₅	94,3	96,5	86,2	88,4	86,4	86,9
CQO	90,6	91,1	86,2	88,4	75,5	76,9

Analisando a Tabela 68 verifica-se que, de um modo geral, a ETAR de Alcântara apresenta as eficiências de remoção mais baixas, tanto para sólidos como para matéria orgânica. Verifica-se ainda que, para a ETAR de Alcântara, existe um aumento significativo da eficiência de remoção dos SST em tempo seco, quando comparada com a eficiência de remoção em tempo húmido.

7. Conclusões e Trabalhos Futuros

O tratamento de águas residuais é fundamental e pertinente para uma gestão sustentável do recurso água.

Os balanços de massa são uma ferramenta importante no dimensionamento, diagnóstico e gestão de ETAR.

No presente trabalho foram analisadas três das grandes ETAR existentes no distrito de Lisboa, representando uma população servida de 1.671.000 hab.eq um caudal médio de cerca de 694.740 m³/d.

Os balanços de massa efetuados às referidas ETAR focaram-se principalmente na linha de tratamento da fase líquida, sendo necessário assumir conversões teóricas para as fases sólida e gasosa.

As três ETAR avaliadas cumprem a legislação em vigor, apresentado geralmente percentagens de remoção de sólidos e de matéria orgânica superior ao legislado. A nível de toda fileira de tratamento as eficiências globais estão genericamente acima dos 90 % para remoção de sólidos e matéria orgânica, tanto em tempo seco como em húmido.

A nível do tratamento primário verificou-se que na ETAR de Alcântara as eficiências de remoção, para sólidos e matéria orgânica, são significativamente menores em tempo seco quando comparadas com as eficiências de remoção em tempo húmido, o que não se verificou nas restantes ETAR.

Verificando as eficiências de remoção para sólidos e matéria orgânica, a nível do tratamento secundário, nota-se que a eficiência de remoção de sólidos na ETAR de Alcântara apresenta uma eficiência menor em tempo húmido quando comparada com a eficiência de remoção em tempo seco.

As eficiências de remoção, em cada órgão de tratamento, obtidas encontram-se de acordo com as eficiências de remoção encontradas na literatura.

Em cada nível de tratamento e mais especificamente a cada órgão de tratamento, foi necessário agrupar algumas correntes e fazer simplificações na elaboração dos balanços de massa face ao elevado número de correntes em cada ETAR.

Pela análise dos resultados, verificou-se que: a ETAR de Frielas apresenta menores eficiências de remoção de sólidos e de matéria orgânica no tratamento primário e a ETAR de Alcântara apresenta menores eficiências de remoção de sólidos e de matéria orgânica no tratamento secundário. Estas diferenças são justificadas pelas distintas opções de tratamento aplicadas.

Como trabalho futuro podem ser estudados mais detalhadamente os processos biológicos, tanto a nível secundário como a nível do tratamento de lamas e os processos e operações do tratamento da fase gasosa (desodorização e tratamento do biogás).

A análise dos processos biológicos faz uso dos balanços de massa com reação e, como tal, torna-se necessária uma análise mais aprofundada das condições dos órgãos de tratamento onde estes processos se realizam, tais como os equilíbrios estabelecidos e as constantes cinéticas próprias às reações específicas para a ETAR. A utilização de constantes cinéticas encontradas na literatura pode não ser aplicável, devido à sua determinação para as condições específicas do trabalho a que diz respeito, pelo que se deve recorrer às constantes cinéticas determinadas nas condições reais das próprias ETAR.

Como as ETAR são “fábricas” que recebem matéria-prima em constante variação, devem ser adaptadas às circunstâncias diárias de modo a produzir água de elevada qualidade cumprindo os requisitos legais, permitindo a valorização de todos os subprodutos desde a água até às lamas, areias e gradados.

Referências Bibliográficas

AdP, Relatório de Sustentabilidade 2015, Águas de Portugal, 2016.

Águas do Tejo Atlântico, Beirolas, disponível em <https://www.aguasdotejoatlantico.adp.pt/content/beirolas>, última visualização 10 de dezembro de 2017.

APA, Relatório do Estado do Ambiente 2016, Agência Portuguesa do Ambiente, 2016.

Ariscrinã, P., Simulação Numérica Aplicada ao Tratamento de Efluentes, trabalho final de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2012.

Bilotta, G., Brazier, R., Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota, *Water Research*, 42, 2008, 2849 – 2861.

Carapeto, C., Poluição das Águas, Universidade Aberta, Lisboa, 1999.

Caroço, L., Contribuição para o Estudo dos Aspectos da Separação Sólido-líquido em Processos de Lamas Activadas, trabalho final de mestrado, Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2009

Carvalho, N., Avaliação da Contribuição das Descargas das ETARs de Castelo Branco no Rio Ocreza – Distrito de Castelo Branco, trabalho final de mestrado, Instituto Politécnico de Castelo Branco, 2012.

Davis, M., *Water and Wastewater Engineering – Design Principles and Practice*, McGraw – Hill, 2010.

Decreto-Lei nº 133/2015, Diário da Republica – 1ª Série, nº 134, disponível em <https://dre.pt/application/file/a/69773354>, última visualização 11 de dezembro de 2017.

Decreto-Lei nº 152/97, Diário da Republica – I Série-A, nº 139, disponível em <https://dre.pt/application/file/a/365412>, última visualização 11 de dezembro de 2017.

Decreto-Lei nº 236/98, Diário da Republica – I Série-A, nº 176, disponível em <https://dre.pt/application/file/a/430505>, última visualização 11 de dezembro de 2017.

Decreto-Lei nº 34/2017, Diário da Republica – 1ª Série, nº 60, disponível em <https://dre.pt/application/file/a/106653442>, última visualização 11 de dezembro de 2017.

Decreto-Lei nº 348/98, Diário da Republica – I Série-A, nº 259 disponível em <https://dre.pt/application/file/a/223362>, última visualização 11 de dezembro de 2017.

Decreto-Lei nº 94/2015, Diário da Republica – nº 104, disponível em <https://dre.pt/application/file/a/67344770>, última visualização 28 de janeiro de 2018.

Doutor, J., Tecnologia Nereda™ aplicada à ETAR de Frielas, trabalho final de mestrado, Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2008

Encarnação, N., Respirometria aplicada à modelação de uma ETAR descentralizada, trabalho final de mestrado, Instituto Superior Técnico, 2014.

EPA, Wastewater Technology Fact Sheet – Sequencing Batch Reactors, Office of Water, Washington D.C., 1999.

ERSAR, Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (2012) Volume 1 – Caracterização do setor de águas e resíduos, 2012.

ERSAR, Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (2013) Volume 1 – Caracterização do setor de águas e resíduos, 2013.

ERSAR, Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (2014) Volume 1 – Caracterização do setor de águas e resíduos, 2014.

ERSAR, Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (2015) Volume 1 – Caracterização do setor de águas e resíduos, 2015.

ERSAR, Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (2016) Volume 1 – Caracterização do setor de águas e resíduos, 2016.

Felder, R., Rousseau, R., Elementary Principles of Chemical Processes, 3rd edition, John Wiley and Sons, Inc., 2000.

Gaspar, A., Influência dos Sólidos em Suspensão Sobre a Eficiência de Desinfecção de Águas Residuais Tratadas por Radiação Ultravioleta, trabalho final de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2012.

GESAMP, Joint IMCO/FAO/UNESCO/WMO Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution – Report of the First Session, London, 1969.

INSAAR, Relatório do Estado do Abastecimento de Água e do Tratamento de Águas Residuais, 2011.

Jesus, A., Avaliação e otimização da ETAR de Celourico de Basto, trabalho final de mestrado Instituto Politécnico de Bragança, 2014.

Liang, Y., Effect of Suspended Solids on the Sequential Disinfection of Secondary Effluent by UV Irradiation and Chlorination, Journal of Environmental Engineering, Vol. 139, nº 12, 2013, 1482 – 1487.

Marecos do Monte, H., Albuquerque, A, Série Guias Técnicos 14, Reutilização de Águas Residuais, ERSAR, ISEL, 2010.

Marecos do Monte, H., Barreiros, A., Santos, M., Albuquerque, A., Cursos Técnicos 5 – Tratamento de Águas Residuais: Operações e Processos de Tratamento Físico e Químico, ERSAR, ISEL, 2016.

Mendes, S., Valorização de lamas de tratamento de águas residuais urbanas para utilização agrícola, tese final de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2014.

Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 5th ed., Mc Graw Hill, 2014.

Oliveira, S., Ensaio Exploratório de Otimização do Tratamento Primário da ETAR de Beirolas para Incrementar a Eficiência Energética, tese final de mestrado, Instituto Superior de Agronomia, 2014.

PORDATA, Poluição Atmosférica e Clima – Precipitação Total, Fundação Francisco Manuel dos Santos, disponível em <https://www.pordata.pt/Portugal/Precipita%C3%A7%C3%A3o+total-1070>, última visualização em 10 de dezembro de 2017.

Salgueiro, S., Estudo Ecotoxicológico de Afluentes e Efluentes do Sistema de Tratamento Biológico da ETAR de Frielas, trabalho final de mestrado, Instituto Superior de Setúbal, 2012.

Santos, N., Estudo da Influência de Caudais Pluviais na Capacidade de Tratamento do Leito de Macrófitas da ETAR de Vila Fernando, trabalho final de mestrado, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2010

Simões, C., Rosmaninho, I., Henriques, A., Guia para a Avaliação de Impacte Ambiental de Estações de Tratamento de Águas Residuais, APA, 2008.

SIMTEJO, Relatório e Contas 2011, Lisboa, Portugal, 2012.

SIMTEJO, Relatório e Contas 2012, Lisboa, Portugal, 2013.

SIMTEJO, Relatório e Contas 2013, Lisboa, Portugal, 2014.

SIMTEJO, Relatório e Contas 2014, Lisboa, Portugal, 2015.

SIMTEJO, Visita à ETAR de Alcântara – A SIMTEJO e a ETAR de Alcântara, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=kvK0eVfbvrE>, última visualização 10 de dezembro de 2017.

Somague, Execução da adaptação e complemento da estação de tratamento de águas residuais de Beirolas, disponível em http://www.somague.pt/portfolio_detail/execucao-da-adaptacao-e-complemento-da-estacao-de-tratamento-de-aguas-residuais-de-beirolas/, última visualização 10 de dezembro de 2017.

Xue, S., Jin, W., Zhang, Z., Liu, H., Reductions of dissolved organic matter and disinfection by-product precursors in full-scale wastewater treatment plants in winter, *Chemosphere* 179, 2017, 395-404.

Anexos

Anexo I – Apresentações Realizadas no Fórum de Engenharia Química e Bioquímica e no Encontro Luso-Galego de Química



Remoção de sólidos e matéria orgânica em ETAR

B. M. Fonte*, A. M. Barreiros, M. T. Santos

Área Departamental de Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), Instituto Politécnico de Lisboa, R. Conselheiro Sá Earra 1, 1959-007 Lisboa, Portugal.
*bruno_fonte@isep.pt



Resumo

Os recursos hídricos encontram-se atualmente sobre uma crescente pressão devido ao elevado consumo e contaminação. O recurso às ETAR faz parte das estratégias utilizadas para reduzir a carga poluente das águas residuais antes da sua descarga nos meios recetores. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência de remoção de sólidos suspensos totais (SST) e matéria orgânica, representada por cartância química de oxigénio (CQO) e cartância bioquímica de oxigénio (CBO₅) em ETAR, com base no balanço de massa em cada órgão de tratamento e ao sistema. Pretende-se ainda propor medidas que levem à melhoria da eficiência de remoção da ETAR.

Introdução

Em Portugal existem 4258 instalações de tratamento das quais 2673 são ETAR (correspondendo a 63 % das soluções) e 1585 são fossas sépticas coletivas. Na Figura 1 representa-se a evolução das ETAR em Portugal de 2011 a 2015 [1].

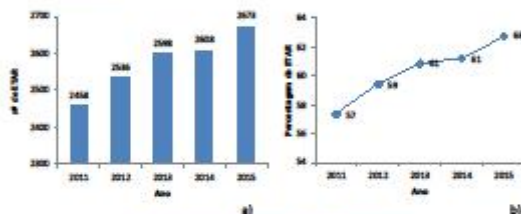


Figura 1. ETAR em Portugal: a) número e b) percentagem

O nível de tratamento mais comum das águas residuais urbanas (ARU) nas ETAR portuguesas é o secundário (Figura 2) [2].

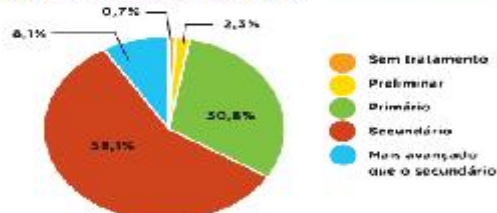


Figura 2. Percentagem de ETAR em Portugal por nível de tratamento

Legalmente as concentrações máximas e/ou percentagens mínimas de remoção permitidas na descarga de ARU das ETAR são definidas legalmente [3] (Tabela 1).

Tabela 1. Concentrações máximas e percentagens mínimas de remoção na descarga de ARU

Parâmetro	Concentração	Percentagem mínima de remoção
SST	35 mg/L	90
CBO ₅	25 mg/L O ₂	70–90
CQO	125 mg/L O ₂	75

Os SST podem ser compostos por parte inorgânica e parte orgânica, pelo que a sua remoção contribui para a remoção de CBO₅ e CQO.

Referências Bibliográficas

- [1] ERSAR, BASAEP, vol. 1 – Caracterização do setor de Águas e Resíduos, 2012 - 2016
- [2] APA, Relatório do Estado do Ambiente Portugal 2016, 2016
- [3] Decreto-Lei nº 152/97 de 19 de junho, 1997
- [4] AdP, Saneamento de Águas Residuais, 2017 <http://www.adp.pt>
- [5] Marcos do Monte, H. e Albuquerque, A., OT-14 – Reutilização de Águas Residuais, ERSAR, ISEL, 2014
- [6] Mendes, R., Valorização de lamas de tratamento de ARU para utilização agrícola, ISEL, TFM, 2014

Atualmente a maior parte das ETAR (Figura 3) [4] são capazes de remover 95 % dos SST [5].



Figura 3. ETAR: a) de Beirolos, b) de Frelães, c) de Olibaas e d) do Ave

Metodologia e Resultados

Foi realizado o levantamento das ETAR mais significativas em termos de caudal e remoção de SST, CQO e CBO₅, bem como os respetivos esquemas de tratamento em diversas fontes bibliográficas, nomeadamente artigos, teses e outros. Para determinação da eficiência de remoção foi ainda necessário recolher as condições de entrada e saída em cada órgão de tratamento e do sistema total. Na Figura 4 apresenta-se a filiaira de tratamento da ETAR de Beirolos, como exemplo [6].

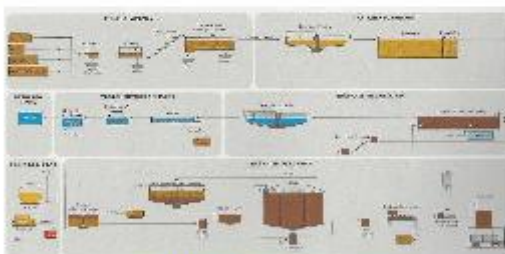


Figura 4. Filiaira de tratamento da ETAR de Beirolos

Para completar a informação recolhida foi efetuado um inquérito, às entidades gestoras das ETAR selecionadas, dos seguintes dados: caudais afluentes e efluentes, SST, CQO e CBO₅, da ETAR e de cada órgão de tratamento. Seguidamente serão elaborados balanços de massa em termos de sólidos e matéria orgânica para comparação dos valores reais e teóricos. Posteriormente pretende-se propor medidas que melhorem a eficiência de remoção das ETAR, quer sejam alterações no tratamento já existente ou a adição de órgãos de tratamento.

Conclusões

Em geral numa ETAR a maior parte dos SST são removidos no decantador primário, com eficiências entre 50 e 70 %. A matéria orgânica é removida essencialmente no tratamento secundário, onde ocorrem remoções superiores a 80 %. O presente trabalho ainda se encontra em desenvolvimento.

Agradecimentos

Entidades Gestoras das ETAR

Avaliação da Eficiência de Remoção de Sólidos e Matéria Orgânica em ETAR

B. M. Fonte^{1*}, M. T. Santos¹, A. M. Barreiros¹

¹Área Departamental de Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, R. Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa, Portugal

*bruno_fonte@sapo.pt

O correto funcionamento das Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) é de vital importância para a correta preservação dos recursos hídricos. Tem-se verificado um esforço nacional na proteção destes recursos, nomeadamente no aumento do número de ETAR em funcionamento [1].

O objetivo principal deste trabalho é proceder à avaliação do funcionamento das ETAR, através da determinação das eficiências de remoção, em termos de sólidos e matéria orgânica, de toda a fileira de tratamento e de cada órgão. Assim foram recolhidos dados de sólidos suspensos totais (SST), carência bioquímica de oxigénio (CBO₅) e carência química de oxigénio (CQO) do afluente e do efluente da ETAR e de cada órgão de tratamento. O balanço de massa é ferramenta indispensável para a análise pretendida [2].

Face ao elevado número de ETAR existentes em Portugal e à sua variabilidade em termos de dimensão foi necessário realizar um levantamento das principais ETAR em cada região hidrográfica (RH), sendo selecionadas as ETAR de dimensão igual ou superior a uma população equivalente de 150.000 hab/eq. Assim, do total das ETAR selecionadas a RH 5 – do Tejo e Ribeiros do Oeste apresenta cerca de 50 % [3]. Para a recolha dos dados necessários foram consultados os relatórios e contas das diversas entidades gestoras envolvidas e enviados inquéritos para as ETAR. A recolha de dados envolveu os seguintes parâmetros: caudais tratados e concentrações dos poluentes supracitados nas correntes afluentes e efluentes aos órgãos de tratamento e à própria ETAR.

Com os dados obtidos foi realizado um balanço de massa às ETAR visadas, tendo sido possível calcular as eficiências de remoção à entrada e à saída de cada órgão de tratamento, bem como à ETAR no seu todo. Na Figura 1 é apresentado um exemplo de balanço de massa a um órgão de tratamento.

Após a análise das eficiências de remoção obtidas pretende-se ainda identificar possíveis insuficiências no tratamento e sugerir medidas minimizadoras dos problemas detetados.



Fig.1.Exemplo de balanço de massa a um órgão de tratamento – Decantador

Agradecimentos

Agradece-se ao Eng. Luís Gomes e a todas as Entidades Gestoras do saneamento de águas residuais.

Referencias

- [1] ERSAR, Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal 2016 Vol. 1 – Caracterização do Setor de Águas e Resíduos, 2016.
- [2] Santos, J., Metodologia de Tratamento de Lamas e Organização do Balanço de Massas, ISEL, 2012, tese de Mestrado.
- [3] APA, Plano de Gestão de Região Hidrográfica – Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiros do Oeste (RH5), 2016.

Avaliação da Eficiência de Remoção de Sólidos e
Matéria Orgânica em ETAR

B. M. Fonte*, A. M. Barreiros, M. T. Santos

Área Departamental de Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), Instituto Politécnico de Lisboa, R. Conselheiro Emílio Navarro 1, 1959-007 Lisboa, Portugal.

*bmafo@isep.pt

ISEL
INSTITUTO SUPERIOR DE
ENGENHARIA DE LISBOA

Resumo

As ETAR fazem parte da estratégia nacional para tratamento e preservação dos recursos hídricos naturais.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência de remoção em ETAR de sólidos suspensos totais (SST) e matéria orgânica, representada pela cartância química de oxigénio (CQO) e cartância bioquímica de oxigénio (CBO₅). Assim efetuou-se o balanço de massa em cada órgão de tratamento e ao sistema, para comparação dos valores reais e teóricos. Pretende-se ainda propor medidas que levam à melhoria da eficiência de remoção da ETAR.

Introdução

No últimos anos ocorreu uma evolução positiva do saneamento em Portugal, existindo 2673 ETAR, com nível de cobertura do serviço de saneamento de 82 % [1].

Faço ao elevado número de ETAR existentes em Portugal e a sua variabilidade em termos de dimensão foi necessário realizar um levantamento das principais ETAR em cada região hidrográfica (RH), sendo selecionadas as ETAR de dimensão ≥ 150.000 hab.eq. Assim, a RH 5 - do Tejo e Ribeiros do Oeste representa cerca de 50 % das ETAR com $n.p. \geq 150.000$ hab.eq [2].

Metodologia

Foram selecionadas 3 ETAR com diferentes tipologias de tratamento, quer a nível primário e quer a nível secundário, nomeadamente lamas ativadas (LA) e biofiltração.

Para a recolha dos dados necessários foram consultados os relatórios e contas e enviados inquiridos às diversas entidades gestoras. A recolha de dados envolveu os seguintes parâmetros: caudais tratados e concentrações dos poluentes em termos de SST, CQO e CBO₅, nas correntes afluente e efluente a cada órgão de tratamento e a própria ETAR.

Apresentação e discussão de resultados

Para determinação das eficiências de remoção globais foram utilizadas as condições de entrada e saída. Na Figura 1 apresenta-se um exemplo típico de uma flúea de tratamento de uma ETAR com a fase líquida e sólida.

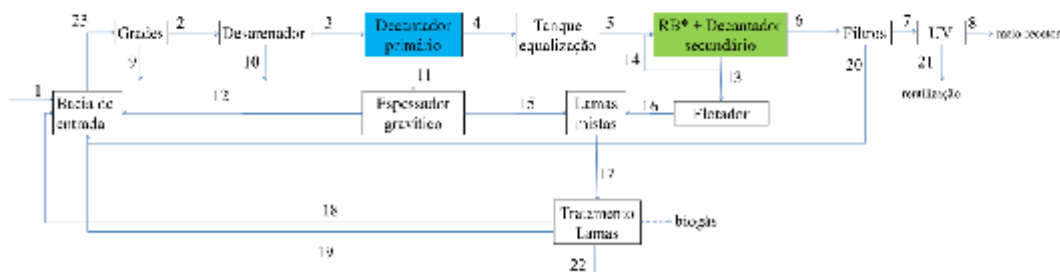


Figura 1. Flúea de tratamento da ETAR 1

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 1) verifica-se que as 3 ETAR apresentam valores semelhantes e cumprem a legislação em vigor [3].

Referências Bibliográficas

- [1] ERSAR, BASARF, vol.1 - Caracterização do setor de águas e resíduos, 2006
- [2] APA, Plano de Gestão de Região Hidrográfica - Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiros do Oeste (RHO), 2016
- [3] Decreto-Lei nº 152/97 de 19 de junho, 1997
- [4] Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, 4ª edição, McGraw Hill Companies Inc., 2003
- [5] EPA, Wastewater Technology Fact Sheet Sequencing Batch Reactors, Washington D.C., 1999

Agradecimentos

Aos Eng.º Luis Gomes e Paulo Inocência e à Eng.º Rita Alves das Águas do Tejo Alentejo



Associação Portuguesa de Engenharia Química
Associação Portuguesa de Engenharia Química
Associação Portuguesa de Engenharia Química

Associação Portuguesa de Engenharia Química

Associação Portuguesa de Engenharia Química

Associação Portuguesa de Engenharia Química

Associação Portuguesa de Engenharia Química