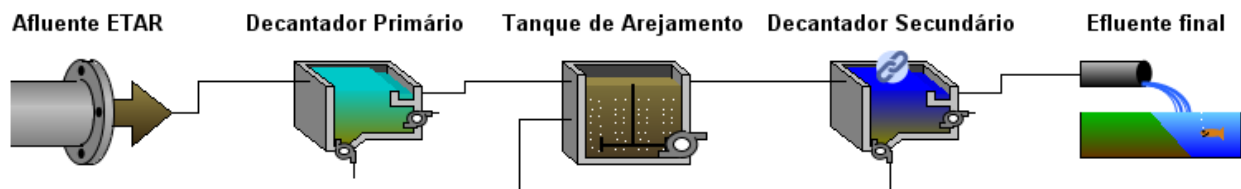


# INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil



## Modelação de sistemas de tratamento biológico com lamas ativadas para águas residuais urbanas

**OTAVIO FELIPE FERNANDES**

(Licenciado em Engenharia Civil)

Trabalho Final de Mestrado para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, área de especialização de Hidráulica.

Orientadora:

Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos

Júri:

Presidente:

Licenciado Especialista Jorge Alexandre Dias dos Reis Barros

Vogais:

Doutor Teodoro José Pereira Trindade

Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos

julho de 2021



## **Agradecimentos**

A Deus, que me deu a vida e esteve presente comigo durante todo esse período de realização desse sonho, não deixou abalar meus ânimos e acabar com minhas esperanças.

À minha orientadora Doutora Maria Teresa L. Santos, pelo incentivo e ajuda na realização deste trabalho, pela orientação e conselhos valiosos para minha formação profissional e pessoal que me proporcionaram concluir o curso com satisfação.

À minha mãe, Nelci Prato Fernandes, por ter sido meu braço direito, por ter ela como exemplo e maior fonte inspiradora, pelo seu companheirismo e confiança, principalmente pelo seu amor de mãe.

Ao meu pai, João Wilson Fernandes, pela sua forma de seriedade no jeito de me educar, pelo amor e além de tudo pela grande amizade e confiança que temos um com o outro.

Ao meu irmão, Diego Fernandes, por ser o meu melhor amigo, sempre apoiando com as minhas decisões, me incentivando nessa caminhada.

Aos meus amigos de estudos, que foram importantes na realização dos trabalhos e na preparação para os exames, em alguns momentos foram os meus professores e em outros confiaram no meu conhecimento, tenho orgulho em tê-los presentes nesta formação.

A todos meus amigos e familiares, tanto brasileiros como portugueses, que me passaram confiança e incentivo durante o período de estudo, mostrando o verdadeiro valor da amizade.

A toda comunidade do ISEL, que me recebeu agradavelmente desde o início e me forneceu uma excelente infraestrutura técnica e física para realizar o mestrado. Eu sou muito grato e honrado em ser iseliano. Meu muito obrigado.



## Resumo

O tratamento de águas residuais urbanas é uma temática atual e pertinente como medida de mitigação da poluição das águas, os processos biológicos são aplicados nas ETAR a nível secundário para remover matéria orgânica.

O estudo objetiva realizar a modelação numérica de reatores biológicos com lamas ativadas de média carga, para tratamento de águas residuais urbanas com descarga em águas superficiais.

No desenvolvimento de um modelo para o processo de lamas ativadas distinguem-se quatro etapas: seleção das características quantitativas e qualitativas do afluente, dependentes da população atendida e de fatores culturais, económicos e sociais; a configuração do esquema de tratamento, com decantador primário, tanque de arejamento e decantador secundário; o cumprimento das legislações em vigor em Portugal e no Brasil para descarga em cursos de águas; e aplicação do modelo de lamas ativadas, ASM1, sendo aplicado para as simulações o programa GPS-X 6.0.

Deste modo, foram realizadas no total 864 simulações, divididas por 4 cenários, que abrangem ETAR de pequena a grande dimensão, com população de 10.000 a 200.000 hab, sendo que para cada cenário foram consideradas 8 condições de A a H. Deste modo foram realizadas alterações nas temperaturas, caudais e cargas poluidoras ( $CBO_5$  e SST) para os anos zero, dez e vinte.

Na configuração do sistema de tratamento foram considerados 3 níveis para a operação de arejamento, recirculação de lamas e purga das lamas nos decantadores com base no  $Q_{MÍN}$ ,  $Q_{MÉD}$  e  $Q_{PTA}$ . No caso do tanque de arejamento, em que foram estudados 2 sistemas de arejamento: com difusores e agitadores superficiais, os difusores apresentaram menor requerimento de potência.

A escolha da alternativa ótima para cada cenário foi definida a partir dos resultados que apresentaram melhor qualidade no efluente final e menores custos no arejamento, recirculação e tratamento de lamas. Em Portugal, onde ocorrem maiores capitações e menores concentrações nos poluentes que no Paraná, a condição B (decantadores circulares) é superior às demais para os três primeiros cenários, exceto no cenário 4 em que a condição D, com unidades retangulares, demonstrou ser a melhor escolha. No Paraná, o formato retangular com a condição F demonstrou ser a melhor opção para os cenários 1, 2 e 3, e no cenário 4 a geometria circular foi a mais eficiente.

**Palavras-chave:** Águas residuais urbanas, ETAR, lamas ativadas, modelação, ASM1, GPS-X.

## Abstract

The treatment of urban wastewater is a current and relevant theme as a measure to mitigate water pollution, biological processes are applied in WWTP at secondary level to remove organic matter.

The study aims to perform the numerical modeling of biological reactors with activated sludge of medium load, for treatment of urban wastewater with discharge into surface waters.

In the development of a model for the activated sludge process, four stages are distinguished: selection of the quantitative and qualitative characteristics of the affluent, dependent on the population served and the cultural, economic and social factors; the configuration of the treatment scheme, with primary decanter, aeration tank and secondary decanter; compliance with the legislation in force in Portugal and Brazil for discharge into water courses; and application of the activated sludge model, ASM1, using the GPS-X 6.0 program for the simulations.

Thus, a total of 864 simulations were performed, divided into 4 scenarios, covering small to large WWTP, with a population of 10,000 to 200,000 inhabitants, with 8 conditions from A to H. Thus, changes were made in temperatures, flows and polluting loads ( $BOD_5$  and SST) for years zero, ten and twenty.

In the configuration of the treatment system, 3 levels were considered for the aeration operation, sludge recirculation and sludge purge in the decanters based on  $Q_{MÍN}$ ,  $Q_{MÉD}$  and  $Q_{PTA}$ . In the case of the aeration tank, in which 2 aeration systems were studied: with diffusers and surface agitators, the diffusers had a lower power requirement.

The choice of the optimal alternative for each scenario was defined based on the results that presented better quality in the final effluent and lower costs in aeration, recirculation and sludge treatment. In Portugal, where there are higher capitation and lower concentrations of pollutants than in Paraná, condition B (circular decanters) is higher than to the others for the first three scenarios, except in scenario 4 where condition D, with rectangular units, proved to be the best choice. In Paraná, the rectangular format with condition F proved to be the best option for scenarios 1, 2 and 3, and in scenario 4 the circular geometry was the most efficient.

**Keywords:** Urban wastewater, WWTP, activated sludge, modeling, ASM1, GPS-X.

## Índice Geral

1. Introdução .....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objetivo.....	4
1.3. Estrutura.....	5
2. Tratamento de águas residuais urbanas.....	7
2.1. Nota introdutória.....	7
2.2. Operações e processos de tratamento de águas residuais .....	8
2.3. Níveis de tratamento .....	9
2.3.1. Conceito .....	9
2.3.2. Tratamento preliminar .....	9
2.3.3. Tratamento primário .....	11
2.3.4. Tratamento secundário.....	12
2.4. Características das águas residuais .....	13
2.4.1. Nota introdutória.....	13
2.4.2. Caracterização quantitativa.....	14
2.4.2.1. Caudais de dimensionamento .....	14
2.4.2.2. Variação da carga poluente.....	18
2.4.3. Caracterização qualitativa.....	19
2.4.3.1. Definição.....	19
2.4.3.2. Características físicas.....	20
2.4.3.3. Características químicas.....	20
2.5. Legislação sobre descarga de águas residuais .....	21
2.5.1. Nota introdutória.....	21
2.5.2. Legislação sobre descarga de águas residuais em Portugal .....	21

2.5.3. Legislação sobre descarga de águas residuais no Brasil .....	23
3. Lamas ativadas .....	27
3.1. Evolução histórica.....	27
3.2. Caracterização do sistema.....	28
3.3. Cinética das reações .....	29
3.3.1. Balanço de massa .....	30
3.3.2. Estado estacionário e estado dinâmico .....	31
3.4. Hidráulica dos reatores .....	32
3.5. Princípios da remoção da matéria orgânica .....	33
3.6. Dimensionamento .....	35
3.6.1. Parâmetros do tanque de arejamento .....	35
3.6.1.1. Razão Alimento / Microrganismos .....	35
3.6.1.2. Tempo de retenção dos sólidos e recirculação.....	37
3.6.1.3. Produção de lamas .....	41
3.6.1.4. Tempo de retenção hidráulico no tanque de arejamento .....	41
3.6.1.5. Sistema de arejamento .....	42
3.6.2. Parâmetros do decantador secundário.....	51
3.6.2.1. Nota introdutória.....	51
3.6.2.2. Carga hidráulica.....	55
3.6.2.3. Carga de sólidos.....	56
3.6.2.4. Carga hidráulica sobre os descarregadores .....	58
3.7. Requisitos de operação e manutenção .....	58
4. Modelação matemática .....	65
4.1. Introdução aos modelos matemáticos .....	65
4.2. Modelos aplicados às lamas ativadas.....	65

4.3. Modelos aplicados aos decantadores .....	72
4.4. Simulação do modelo.....	74
5. Apresentação e discussão de resultados.....	75
5.1. Nota introdutória.....	75
5.2. Definição do projeto .....	75
5.3. Recolha e reconciliação dos dados .....	79
5.4. Configuração da fileira de tratamento.....	82
5.5. Calibração e validação .....	85
5.6. Simulação e interpretação dos resultados .....	86
5.6.1. Nota introdutória.....	86
5.6.2. Cenário 1 – população inicial de 10.000 habitantes .....	87
5.6.3. Cenário 2 – população inicial de 50.000 habitantes .....	94
5.6.4. Cenário 3 – população inicial de 120.000 habitantes .....	101
5.6.5. Cenário 4 – população inicial de 200.000 habitantes .....	106
5.7. Comparação dos cenários .....	112
6. Conclusões .....	117
7. Perspetivas de trabalho futuro.....	119
Referências bibliográficas.....	121
ANEXOS .....	131
Anexo A – Evolução do processo de lamas ativadas.....	133
Anexo B - Hidráulica dos reatores nos sistemas de lamas ativadas .....	137
Anexo C – Subdivisões e transformações das matérias carbonácea e azotada.....	138
Anexo D - Características químicas e físicas da água residual.....	139
Anexo E – Sistemas de arejamento.....	143
Anexo F – Resumo dos critérios de dimensionamento.....	146

Anexo G – Representação do protocolo unificado do GPM.....	148
Anexo H – Composição dos caudais e cargas poluidoras.....	149
Anexo I – Dimensionamento prévio das unidades de tratamento no Excel utilizados para o início das simulações no GPS-X.....	151
Anexo J – Resultado das simulações para o cenário 1.....	153
Anexo K – Resultado das simulações para o cenário 2 .....	170
Anexo L – Resultado das simulações para o cenário 3.....	170
Anexo M – Resultado das simulações para o cenário 4.....	204
Anexo N – Fileiras de tratamento propostas para os cenários .....	221

## Índice de Figuras

Figura 1.1 – Esquema do sistema de LA .....	4
Figura 2.1 - Esquema do tratamento da fase líquida da AR .....	9
Figura 2.2 – Esquema de tratamento preliminar .....	10
Figura 2.3 - Gradagem manual ETAR Leste .....	10
Figura 2.4 - Gradagem automática da ETAR Frielas .....	10
Figura 2.5 - Desarenador longitudinal da ETAR Leste .....	11
Figura 2.6 - Canal Parshall da ETAR Leste.....	11
Figura 2.7 - Decantador primário da ETAR Beirolas (Portugal).....	12
Figura 2.8 – Reatores biológicos de LA da ETAR Frielas .....	13
Figura 3.1 - Balanços de massas para controlo de caudal de recirculação: a) ao DS e b) ao TA. 31	
Figura 3.2 - Perfil da concentração do composto ao longo do tempo para as condições estacionárias e dinâmicas.....	32
Figura 3.3 - Difusores de ar .....	49
Figura 3.4 - Arejadores mecânicos: a) eixo vertical; b) eixo horizontal.....	50
Figura 3.5 - Representação em corte de decantadores típicos: a) retangular de fluxo horizontal, b) circular com poço central de distribuição .....	52
Figura 3.6 - Variáveis envolvidas no controlo do processo de LA.....	60
Figura 4.1 - Formatos de decantadores circulares propostos no programa GPS-X.....	72
Figura 4.2 - Modelo de sedimentação unidimensional .....	73
Figura 4.3 - Balanço de sólidos sobre as camadas do decantador .....	73
Figura 5.1 - Exemplo de fileira de tratamento no GPS-X para o cenário 1 .....	75
Figura 5.2 – Exemplo de fileira de tratamento no GPS-X para o cenário 2 .....	76
Figura 5.3 - Eficiência de remoção de CBO <sub>5</sub> no DP para os caudais do ano 20 no cenário 1.....	88
Figura 5.4 - Eficiência de remoção de SST no DP para os caudais do ano 20 no cenário 1 .....	88
Figura 5.5 – P <sub>AREJ</sub> mínima necessária no TA para o Q <sub>MÍN</sub> do ano zero a 10 °C no cenário 1 .....	90
Figura 5.6 - P <sub>AREJ</sub> máxima necessária no TA para o Q <sub>PTA</sub> do ano 20 a 25 °C no cenário 1 .....	90
Figura 5.7 - Concentração de CBO <sub>5</sub> no efluente final para o Q <sub>PTA</sub> do ano 20 para o cenário 1 ...	92
Figura 5.8 - Concentração de SST no efluente final para o Q <sub>PTA</sub> do ano 20 para o cenário 1.....	93
Figura 5.9 - Eficiência de remoção de CBO <sub>5</sub> no DP para os caudais do ano 20 no cenário 2.....	95
Figura 5.10 - Eficiência de remoção de SST no DP para os caudais do ano 20 no cenário 2 .....	95

Figura 5.11 - $P_{AREJ}$ mínima necessária para o conjunto de TA para o $Q_{MÍN}$ do ano zero a 10 °C no cenário 2.....	97
Figura 5.12 - $P_{AREJ}$ máxima necessária para o conjunto de TA para o $Q_{PTA}$ do ano vinte a 25 °C no cenário 2.....	97
Figura 5.13 - Concentração de $CBO_5$ no efluente final para o $Q_{PTA}$ do ano 20 para o cenário 2.	99
Figura 5.14 - Concentração de SST no efluente final para o $Q_{PTA}$ do ano 20 para o cenário 2..	100
Figura 5.15 - Eficiência de remoção de $CBO_5$ no DP para os caudais do ano 20 no cenário 3..	101
Figura 5.16 - Eficiência de remoção de SST no DP para os caudais do ano 20 no cenário 3 ....	102
Figura 5.17 - $P_{AREJ}$ mínima necessária para o conjunto de TA para o $Q_{MÍN}$ do ano zero a 10 °C no cenário 3.....	103
Figura 5.18 - $P_{AREJ}$ máxima necessária para o conjunto de TA para $Q_{PTA}$ do ano vinte a 25 °C no cenário 3.....	103
Figura 5.19 - Concentração de $CBO_5$ no efluente final para o $Q_{PTA}$ do ano 20 para o cenário 3	105
Figura 5.20 - Concentração de SST no efluente final para o $Q_{PTA}$ do ano 20 para o cenário 3..	106
Figura 5.21 - Eficiência de remoção de $CBO_5$ no DP para os caudais do ano 20 no cenário 4..	107
Figura 5.22 - Eficiência de remoção de SST no DP para os caudais do ano 20 no cenário 4 ....	107
Figura 5.23 - $P_{AREJ}$ mínima necessária para o conjunto de TA para o $Q_{MÍN}$ do ano zero a 10 °C no cenário 4.....	109
Figura 5.24 - $P_{AREJ}$ máxima necessária para o conjunto de TA para o $Q_{PTA}$ do ano vinte a 25 °C no cenário 4.....	109
Figura 5.25 - Concentração de $CBO_5$ no efluente final para o $Q_{PTA}$ do ano 20 para o cenário 4	111
Figura 5.26 - Concentração de SST no efluente final para o $Q_{PTA}$ do ano 20 para o cenário 4..	112

## Índice de Quadros

Quadro 2.1 – Principais processos de tratamento de água residual a nível secundário e suas eficiências de remoção de CBO.....	12
Quadro 2.2 – Dados típicos de contribuição por habitante de características físicas e químicas da ARU .....	19
Quadro 2.3 - Requisitos para as descargas das ETAR de ARU nas zonas menos sensíveis em Portugal.....	22
Quadro 2.4 - Padrões de condições de qualidade de água para águas doces Classe 2.....	25
Quadro 3.1 - Vantagens e desvantagens do sistema de LA em relação aos leitos percoladores ..	28
Quadro 3.2 - Concentrações típicas de sólidos no LM de acordo com o regime operacional.....	29
Quadro 3.3 - Razão F/M de acordo com o regime de operação .....	36
Quadro 3.4 - Valores de carga volúmica sugeridas para o TA de acordo com o regimento operacional.....	37
Quadro 3.5 - Idade das lamas sugeridas para o TA .....	38
Quadro 3.6 – Interpretação aproximada do índice volumétrico de lamas .....	39
Quadro 3.7 - Percentagens indicadas para a razão de recirculação em processos de LA com DS41	
Quadro 3.8 - Tempo de retenção hidráulico indicado para o TA .....	42
Quadro 3.9 - Taxa de transferência de oxigénio para as condições padrão e de campo.....	44
Quadro 3.10 - Valores da concentração de SST que podem ser mantidos em suspensão em função da potência de agitação .....	48
Quadro 3.11 - Valores mínimos e recomendados para a profundidade da parede lateral de decantadores secundários circulares .....	55
Quadro 3.12 - Cargas hidráulicas para decantadores secundários.....	56
Quadro 3.13 - Gamas típicas para carga de sólidos para DS .....	57
Quadro 3.14 - Escalas de tempos típicas para realizar mudanças necessárias no processo de LA .....	63
Quadro 4.1 - Visão geral dos modelos matemáticos ASM1, ASM2, ASM2d e ASM3 .....	66
Quadro 4.2 – Processos cinéticos e estequiométricos para oxidação do carbono, nitrificação e desnitrificação sugeridos no modelo ASM1 .....	68
Quadro 4.3 - Nomenclatura e descrição dos componentes importantes na estrutura da matriz do modelo ASM1 .....	69

Quadro 4.4 - Parâmetros dos processos cinéticos e estequiométricos apresentados na matriz do modelo ASM1 .....	70
Quadro 4.5 - Resumo das características de entrada e saída do modelo de sedimentação .....	74
Quadro 5.1 - Condições simuladas para cada cenário proposto .....	78
Quadro 5.2 - Dados dos caudais e cargas poluentes no Paraná e em Portugal .....	80
Quadro 5.3 - Caudais e cargas poluidoras afluentes à ETAR para população inicial de 10.000 habitantes em Portugal .....	81
Quadro 5.4 - Caudais e cargas poluidoras afluentes à ETAR para população inicial de 10.000 habitantes no Paraná .....	81
Quadro 5.5 - Valores arbitrados para o dimensionamento dos DP e DS .....	83
Quadro 5.6 - Gamas utilizadas para dimensionamento dos tanques de arejamento .....	84
Quadro 5.7 - Dimensões por unidade dos DP, TA e DS para cada condição no cenário 1 .....	84
Quadro 5.8 - Alternativas ótimas definidas para cada cenário em relação aos caudais e cargas da AR afluente .....	113
Quadro 5.9 – Dados da geometria dos tanques da fileira de tratamento para a alternativa ótima de cada região .....	114
Quadro 5.10 – Parâmetros das unidades de tratamento para a alternativa ótima de cada região em cada cenário .....	114

## Lista de Siglas e Abreviaturas

A	Área
AR	Água Residual
ARB	Água Residual Bruta
ARD	Água Residual Doméstica
ARI	Água Residual Industrial
ART	Água Residual Tratada
ARU	Água Residual Urbana
ASM	Modelo de Lamas Ativadas ( <i>Activated Sludge Model</i> )
BSDC	<i>Business and Sustainable Development Commission</i>
CBO	Carência Bioquímica de Oxigénio
CBO <sub>5</sub>	Carência Bioquímica de Oxigénio com tempo de incubação de cinco dias
CBO <sub>U</sub>	Carência Bioquímica de Oxigénio Última
CMC	Caixa Misturadora de Caudais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CQO	Carência Química de Oxigénio
C <sub>H</sub>	Carga Hidráulica
C <sub>S</sub>	Carga de Sólidos
DP	Decantador Primário
DS	Decantador Secundário
EO	Eficiência de oxigenação
e.p.	Equivalente populacional
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
F/M	Razão alimento/microrganismos ( <i>Food to Microorganisms ratio</i> )
F/V	Razão alimento/volume ( <i>Food to Volume ratio</i> )
GPM	Grupo de Boas Práticas de Modelação
hp	Horizonte de Projeto
IAWPRC	<i>International Association on Water Pollution Research and Control</i>
IPL	Instituto Politécnico de Lisboa
ISEL	Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
IVL	Índice Volumétrico de Lamas
IWA	<i>International Water Association</i>
k <sub>LA</sub>	Coefficiente de Transferência de Massas
LA	Lamas Ativadas
LAC	Lamas Ativadas Convencional
LM	Licor Misto
N	Azoto
NKT	Azoto Kjeldahl Total
OD	Oxigénio Dissolvido
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
O&M	Operação e Manutenção
P	Fósforo
P <sub>AGIT</sub>	Potência de Agitação
P <sub>AREJ</sub>	Potência de Arejamento

$Q_{AF}$	Caudal Afluente
$Q_{EF}$	Caudal Efluente
$Q_{IND}$	Caudal Industrial
$Q_{INF}$	Caudal de Infiltração
$Q_{MÉD}$	Caudal Médio
$Q_{MÍN}$	Caudal Mínimo
$Q_{PTA}$	Caudal de Ponta
$Q_R$	Caudal de Recirculação
$Q_W$	Caudal de Purga das Lamas
$R$	Razão de Recirculação
$R_O$	Requerimentos de oxigénio
$SS$	Sólidos Suspensos
$SSLM$	Sólidos Suspensos do Licor Misto
$SST$	Sólidos Suspensos Totais
$SSVLM$	Sólidos Suspensos Voláteis do Licor Misto
$SSV$	Sólidos Suspensos Voláteis
$SSV_I$	Sólidos Suspensos Voláteis Inertes
$SSV_{NB}$	Sólidos Suspensos Voláteis Não Biodegradáveis
$T$	Temperatura
$TA$	Tanque de Arejamento
$TFM$	Trabalho Final de Mestrado
$T_{RH}$	Tempo de Retenção Hidráulico
$T_{RS}$	Tempo de Retenção dos Sólidos
$TTO_C$	Taxa de Transferência de Oxigénio em condições de Campo
$TTO_R$	Taxa de Transferência de Oxigénio em condições Reais
$V$	Volume
$VMA$	Valor Máximo Admitido

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento

A Organização das Nações Unidas elaborou um plano com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) em 2015, com o intuito de acabar com a pobreza, promover a prosperidade e o bem-estar de todos, proteger o ambiente e combater as alterações climáticas, que devem ser implementados por todos os países até 2030. Um dos ODS está diretamente ligado ao saneamento, o Objetivo 6, que prevê garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos. Entre alguns itens do ODS 6 está o de reduzir pela metade a quantidade de água residual (AR) não-tratadas, melhorar a qualidade da água e alcançar o acesso ao saneamento e higiene para todos (BCSD, 2020). Sem água não há vida e nem qualidade de vida, preserve-a (CEA, 1968).

Infraestruturas sanitárias de tratamento de AR com deficiências têm influência significativa nas más condições de vida das populações e na saúde pública. Os problemas nas infraestruturas de saneamento atingem principalmente os países em desenvolvimento. Sistemas de saneamento inadequado podem facilitar o crescimento de doenças como diarreias, hepatite A, dengue, febre amarela, esquistossomose, leptospirose, tracoma, doenças de pele, helmintíases e teníases (Costa *et al.*, 2010).

As fontes de poluição da água são muitas e estão diretamente relacionadas com as atividades humanas de crescimento acelerado da população, agricultura e industrialização (Metcalf & Eddy, 1991).

Segundo Jordão & Pessôa (2014), o tratamento da água residual urbana (ARU) não é somente conectar tubagens das residências e comércio e encaminhar até à ETAR, pois é necessário conhecer o caudal a ser tratado, o meio receptor no qual o efluente será descarregado ou a reutilização da AR e as tecnologias de tratamento existentes e disponíveis. Também é necessário conhecer as legislações nacionais e regionais que protegem a saúde pública e o ambiente, já que a descarga incorreta de AR é considerada um dos maiores problemas de poluição.

Conforme Marecos do Monte, Santos, Barreiros & Albuquerque (2016), o tratamento de AR é formado pelas fases: líquida (AR), sólida (gradados, tamisados, areais e lamas) e gasosa (odores e biogás).

Em Portugal, as águas residuais tratadas (ART) nas ETAR devem cumprir o Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de junho, que transpõe a Diretiva n.º 91/271/CEE de 21 de maio do Conselho Europeu, e alterado pelo Decreto-Lei n.º 348/98 de 9 de novembro. No Decreto-Lei n.º 152/97 foram aprovadas a identificação das zonas sensíveis e menos sensíveis onde são realizadas as descargas para o território continental, sendo que a última revisão da classificação das zonas sensíveis e zonas menos sensíveis em Portugal encontra-se publicada no Decreto-Lei n.º 133/2015 de 13 de julho, sétima alteração.

Os principais documentos legais brasileiros que definem padrões para as águas superficiais de descarga de efluentes são as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente: Resolução CONAMA n.º 357/2005 e sua versão atualizada Resolução CONAMA n.º 430/2011, as quais classificam os rios de acordo com sua salinidade e determinam a qualidade que devem ser mantida no curso de água. Para realizar a descarga de efluentes tratados no Brasil é necessário conhecer o caudal mínimo de permanência dos cursos de água e realizar o balanço de massa juntamente com as características qualitativas e quantitativas das AR a serem descarregadas no meio recetor.

A principal importância da descarga de ART nos rios é o consumo de oxigénio dissolvido (OD), devido principalmente pela descarga da ART com matéria orgânica nos cursos de águas, o que resulta no consumo de OD. O défice de OD deve-se à respiração das bactérias que são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, ocasionando diversos problemas ambientais (Sperling, 2014a).

As ETAR podem ter diversos níveis de tratamento, desde o preliminar até ao terciário. Segundo Oakley (2019), o tratamento preliminar é usado para remover sólidos grosseiros e areias através da gradagem, tamisação e desarenação. O tratamento primário tem por objetivo a remoção de partículas suspensas e material orgânico flutuante (espumas, gorduras, etc.) para reduzir a carga de poluentes nos processos e/ou operações de tratamentos a jusante. Os tratamentos, preliminar e primário, não estão vocacionados para a remoção de matéria orgânica coloidal e patogénicos (bactérias, parasitas e vírus), os quais são removidos nos tratamentos secundário e terciário.

O tratamento secundário é usualmente realizado por processos biológicos, que podem ser classificados em função do local onde a biomassa (microrganismos) se desenvolve, sendo designados por biomassa suspensa, biomassa fixa (biofilme) e biomassa híbrida. Nos processos de biomassa suspensa os microrganismos são mantidos em suspensão com agitação adequada. Nos processos de biomassa fixa os microrganismos desenvolvem-se em um material inerte, criando um biofilme, tais materiais inertes usados podem ser rochas, cascalhos, escórias, areias, plásticos e outros materiais sintéticos. Os sistemas híbridos contêm biomassa suspensa e fixa, conseguindo assim aplicar as vantagens de ambas biomassas e obter equipamentos mais compactos (Metcalf & Eddy, 2003).

Os sistemas mais usuais na biomassa suspensa são os de lamas ativadas (LA). De acordo com Sperling (2016a) o tratamento com LA teve início no Reino Unido em 1914 e atualmente é muito utilizado em todo o mundo para tratamento de ARU e águas residuais industriais (ARI). O sistema de LA consiste num tanque de arejamento (TA) onde ocorre o desenvolvimento da biomassa (microrganismos) que utiliza o substrato (matéria orgânica) presente na água residual bruta (ARB) para se desenvolver, seguindo para outro tanque (decantador secundário) onde ocorre a separação sólido/líquido através da sedimentação da biomassa, formando as lamas secundárias. Por forma a manter determinada concentração de microrganismos dentro do TA, parte das lamas são recirculadas para o TA e o excesso das lamas é purgado e encaminhado para o tratamento de lamas (fase sólida).

Segundo Metcalf & Eddy (2016) o processo de LA na ETAR utiliza as atividades de vida dos microrganismos para eliminar os poluentes orgânicos das AR. O parâmetro mais importante do sistema é razão entre o alimento (substrato) e os microrganismos (biomassa), *food/microorganisms* (F/M) (referido em 3.6.1.1.), para ajustar o desempenho do sistema de LA.

O esquema do sistema de lamas ativadas convencional (LAC) tem como parte integrante o TA, o decantador primário (DP) e o decantador secundário (DS). O objetivo da instalação do DP é remover parte da matéria orgânica antes do TA, permitindo reduzir os custos de arejamento e obter menor área de implantação do reator biológico (Davis, 2010).

O presente trabalho é desenvolvido com o processo de LAC, cujo esquema da fase líquida é composto por: DP, TA, DS, recirculação das lamas e purga das lamas em excesso (Figura 1.1).

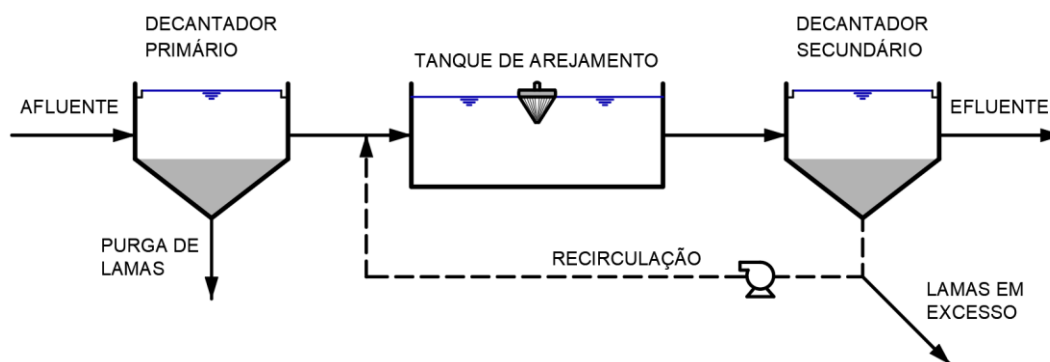


Figura 1.1 – Esquema do sistema de LA

Adaptado de Sperling (2016a)

A etapa biológica é uma das mais utilizadas para o tratamento da AR, pois a sua aplicação é essencial para permitir a descarga em meios recetores de acordo com a legislação e com menores custos possíveis. Os reatores de LA são os mais frequentemente instalados no tratamento secundário por possuir características adequadas a pequenos e grandes aglomerados populacionais, ocupar menor área e garantir elevadas eficiências de remoção no tratamento da AR, quando comparados com outros processos biológicos, como por exemplo leitos percoladores e as lagoas (Cornelli *et al.*, 2014).

Devido à relevância do tratamento secundário por processos biológicos por LAC torna o seu estudo relevante e atual, sendo importante contribuir para a sua otimização.

## 1.2. Objetivo

Face à problemática da diversidade que a área em estudo sobre o tratamento de AR apresenta, sendo abrangida pelas ciências naturais, sociais e formais, pretende-se comparar as simulações de sistemas de tratamento secundário biológico, por biomassa suspensa, como as LA de fluxo contínuo, constituído por decantador primário, tanque de arejamento e decantador secundário, com regime de operação em média carga. Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar e otimizar o sistema de LAC.

Assim, realizou-se o levantamento de dados para a composição dos caudais e cargas poluidoras na drenagem de AR, para a zona de Portugal continental e do Estado do Paraná no Brasil. Posteriormente propõe-se fazer simulações computacionais de diferentes cenários dos sistemas

que possam ser utilizados como ferramenta de gestão no processo de LAC, analisando os diferentes parâmetros que influenciam o sistema, nomeadamente caudais afluentes das ARU, temperaturas, caudais de arejamento e recirculação.

A pesquisa é enquadrada como bibliográfica, sendo realizada com base em livros, artigos científicos, teses, monografias, revistas científicas, sites nacionais e internacionais, entre outros.

Com isto, pretende-se:

- Conhecer as diferenças legais para aprovação de ETAR com descarga em cursos de águas, entre os Países de Portugal e Brasil, e respeitar o legislativo na validação dos modelos;
- Levar a cabo o estudo dos sistemas de LAC de fluxo contínuo;
- Comparar a legislação vigente em ambos os Países e a sua influência na escolha da fileira de tratamento a ser implantada;
- Projetar o sistema de tratamento biológico por LAC para as proporcionalidades de atendimento populacional de pequeno, médio e grande porte, a buscar maior eficiência energética em sua operação. O estudo prevê a classificação das infraestruturas de tratamento em relação ao numeral de população inicial em:
  - pequena capacidade: 10.000 habitantes;
  - média capacidade: 50.000 e 120.000 habitantes; e
  - grande capacidade: 200.000 habitantes.
- Definir um modelo de planta, sem considerar a área disponível de implantação e a topografia do terreno, para cada cenário proposto;
- Simular no programa GPS-X, a variação da temperatura e de caudais para condições extremas, ou seja, que reduz a qualidade do tratamento de AR e, conseqüentemente, danificar o meio recetor; e
- Desenvolver um método para otimizar a modelação de ETAR com LAC.

### **1.3. Estrutura**

O Trabalho Final de Mestrado é constituído por sete capítulos e anexos, sendo que neste primeiro capítulo é realizado o enquadramento geral sobre o tema, apresentado os objetivos pretendidos e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo aborda-se o tratamento de ARU, sendo realizada uma pesquisa bibliográfica por forma a recolher informações sobre o tratamento de AR, constituição da fileira de tratamento, apresentando as características quantitativas e qualitativas da ARU, com as legislações vigentes para a descarga de AR em Portugal e no Brasil.

No terceiro capítulo apresenta-se o sistema de LA, a sua evolução e a comparação de aspetos de dimensionamento do processo de média carga e outras opções existentes.

No quarto capítulo é abordada a introdução aos modelos matemáticos e aos programas de simulação, sendo selecionado o modelo para o reator de lamas ativadas e para a operação dos decantadores secundários no programa GPS-X.

No capítulo 5 faz-se o levantamento e análise de dados para determinar os caudais e cargas poluidoras afluentes a ETAR, realizar a calibração, validação e simulações dos modelos aplicados às LAC e apresentar e comentar os resultados obtidos na modelação.

No sexto capítulo é apresentado sumário das principais conclusões do presente trabalho.

Por último no capítulo 7 são apresentadas as perspetivas de investigações futuras a serem alcançadas em trabalhos subsequentes.

## 2. Tratamento de águas residuais urbanas

### 2.1. Nota introdutória

Para se realizar o estudo de implantação de ETAR são necessários muitos participantes, como a entidade gestora, consultores jurídicos, público, projetistas, analistas de projetos, investidores e operadores. Num único sistema pode haver a necessidade de cooperação de profissionais de diferentes áreas para definir um plano final, por exemplo, projetos: geotécnicos, de instalações elétricas, mecânicos, hidráulicos, estruturais e serviços de arquitetura (Davis, 2010).

Na escolha de uma alternativa de ETAR, em termos de localização, fileira de tratamento e tecnologias a usar, deve-se ter em conta principalmente três grupos de fatores (Jajac *et al.*, 2019):

- Ecológicos: sensibilidade da área selecionada à poluição sonora e emissão de odores, quantidade de AR transportada diariamente e conectividade com as unidades que geram a AR afluyente;
- Socioeconómicos: tempo esperado para obter licenças de construção, valor da propriedade, integração com plantas urbanas, informações sobre título de propriedade (unidade pública ou privada) e atratividade da localização; e
- Tecnológicos: construtivos (escavação, aterro e fundação), tempo necessário para construção e entrega da obra e qualidade da infraestrutura.

Segundo Sperling (2014b), deve-se aplicar critérios aos aspetos de eficiência, confiabilidade, gestão das lamas, requisitos de área, sustentabilidade, custos e simplicidade para tomar uma decisão correta na escolha de alternativa de uma ETAR, sendo que não há fórmulas generalizadas para o mesmo. Nem sempre a proposta com menores custos é a melhor alternativa.

O local de implantação da ETAR, a legislação em vigor e os sistemas disponíveis para a região são muitos importantes para conhecer qual tecnologia a ser utilizada para o tratamento. Aspetos topográficos podem gerar problemas de movimentação de terra, e conseqüentemente custos significativos. Outros fatores têm sua influência na definição do local, como o fornecimento de eletricidade, área disponível para implantação das unidades, valor de desapropriação. Uma distância curta das habitações também tem sua relevância, pois podem trazer maus odores e ruídos

aos moradores locais e uma distância longa das zonas que produzem as AR podem trazer custos significativos do sistema de drenagem de ARU, incluindo passagem da rede de coletores e restantes componentes por terrenos particulares.

## **2.2. Operações e processos de tratamento de águas residuais**

Os métodos de tratamento de AR dividem-se em operações e processos unitários, apesar de serem conhecidos como unitários é possível ocorrer simultaneamente em uma mesma unidade. Em regra geral, podem-se adotar as seguintes definições (Metcalf & Eddy, 1991):

- Operações físicas unitárias: métodos de tratamento no qual predomina a aplicação de forças físicas (exemplos: gradagem, floculação, sedimentação, mistura, flotação, filtração).
- Processos químicos unitários: métodos de tratamento nos quais a remoção ou conversão de contaminantes acontece pela adição de produtos químicos e consequentes reações químicas (exemplos: precipitação, adsorção, desinfecção).
- Processos biológicos unitários: métodos de tratamento nos quais a remoção de contaminantes ocorre por meio de atividade biológica (exemplos: remoção da matéria orgânica carbonácea, nitrificação, desnitrificação).

Conforme EPA (2004), nas ETAR as operações foram os primeiros métodos a serem utilizados para remover sólidos de AR, onde eram usadas grades e a decantação.

O processo biológico tem a presença das bactérias e outros microrganismos, que consomem a matéria orgânica e os transformam em subprodutos. Desde 1920 os cientistas perceberam que ao adicionar oxigénio na AR, os microrganismos crescem com maior velocidade e metabolizam a matéria orgânica mais rapidamente. Os produtos químicos podem ser utilizados para melhorar a eficiência no tratamento físico e biológico (EPA, 2004).

## 2.3. Níveis de tratamento

### 2.3.1. Conceito

Conforme WEF (2010), as fileiras de tratamento na ETAR apresentam diversos níveis de tratamento: preliminar, primário, secundário e terciário. Os níveis de tratamento da fase líquida da AR numa ETAR, desde a entrada da ARB, até ao produto final da ART, para a reutilização ou descarga no meio recetor, são apresentados na Figura 2.1.

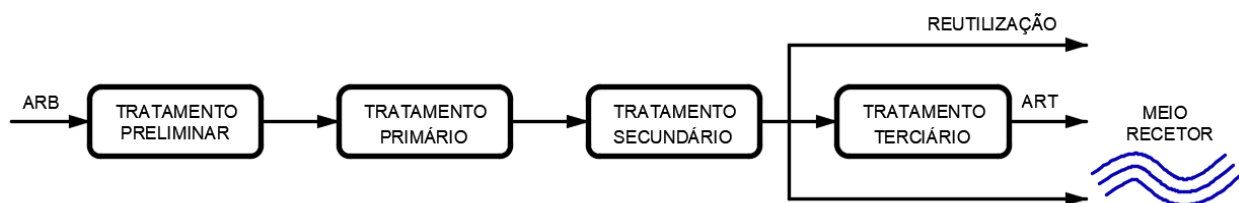


Figura 2.1 - Esquema do tratamento da fase líquida da AR

Adaptado de Marecos do Monte, Santos, Barreiros & Albuquerque (2016)

A reutilização de ART pode proporcionar benefícios ambientais, sociais e económicos. Em Portugal, o Decreto-Lei n.º 119/2019 de 21 de agosto permite a utilização de ART para regas, usos recreativos, lavagem de ruas, combate a incêndios, arrefecimento, autoclismos, lavagem de veículos, uso industrial desde que respeita as normas de qualidade para cada finalidade. No presente trabalho não é abordada a reutilização ou reciclagem das águas ARU tratadas, apenas a descarga em cursos de águas.

### 2.3.2. Tratamento preliminar

Para EPA (2004), o tratamento preliminar é de ordem física, geralmente formado por gradagem, tamisação, desarenação e medição de caudal. Na gradagem é realizada a remoção do material grosseiro contido na AR, evitando-se assim o entupimento das válvulas, tubagens, bem como a obstrução dos descarregadores e bombas de elevação. Após a gradagem a AR pode passar pela tamisação onde são removidos sólidos de pequena dimensão, as aberturas dos tamisadores podem variar entre 0,2 e 1,2 mm. A desarenação vem a seguir da tamisação, com objetivo de remover materiais minerais, como saibro fino e areia em grãos de 0,20 mm ou superiores, oriundos da rede

de drenagem, coletores e interceptores. A unidade de medição de caudal de uso mais comum é o canal Parshall e pode ser colocada a jusante da desarenação (Metcalf & Eddy, 2003).

Apresenta-se o esquema comum usado para tratamento preliminar na Figura 2.2, ao chegar na ETAR a ARB vinda da rede de drenagem passa pelo sistema de grades e a desarenação, nessas duas etapas são removidos sólidos (gradados e areias) que podem ser encaminhados para aterro sanitário. Depois a AR segue para o medidor de caudal e direciona-se para o tratamento posterior.

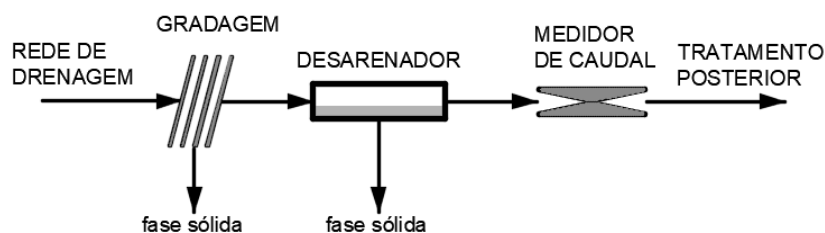


Figura 2.2 – Esquema de tratamento preliminar

Adaptado de Sperling (2014b)

Como exemplo dos órgãos de tratamento do nível preliminar é apresentado o sistema de grades finas com limpeza manual da ETAR Leste em Cascavel - Paraná (Brasil) (Figura 2.3) e o sistema de a gradagem grossa com limpeza automática da ETAR de Frielas em (Portugal) (Figura 2.4). O desarenador longitudinal em fase de construção na ETAR Leste, com dois canais para a remoção das areias, um em funcionamento e outro como reserva é apresentado na Figura 2.5. Na Figura 2.6 mostra-se o medidor de caudal - canal Parshall em fase de construção na ETAR Leste.

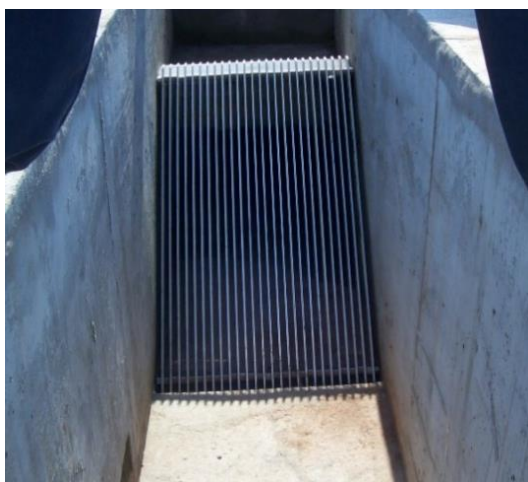


Figura 2.3 - Gradagem manual ETAR Leste



Figura 2.4 - Gradagem automática da ETAR Frielas



Figura 2.5 - Desarenador longitudinal da ETAR Leste



Figura 2.6 - Canal Parshall da ETAR Leste

### 2.3.3. Tratamento primário

De acordo com Marecos do Monte, Santos, Barreiros & Albuquerque (2016), faz parte do tratamento primário a decantação primária (DP) e mais raramente a flotação. Neste nível de tratamento também podem ocorrer a adição química e/ou filtração. A operação unitária decantação tem por finalidade conseguir a separação das partículas em suspensão nas AR através da sedimentação por ação da gravidade, por forma a obter no final um líquido clarificado. Pode se dizer que a flotação é uma operação inversa a decantação, onde a remoção das partículas ocorre pela ascensão à superfície do líquido, através da injeção de ar, ocorrendo a formação de uma camada flutuante, a qual é removida por raspagem. A flotação é mais indicada para remoção de partículas como óleos, gorduras e flocos biológicos.

Conforme Davis & Masten (2016), após o tratamento preliminar o efluente contém sólidos orgânicos em suspensão, com uma percentagem possível de remoção por gravidade no DP retangulares ou circulares, cerca de 50 a 60 % dos sólidos suspensos totais (SST) e entre 30 e 35 % da matéria orgânica da ARB. De acordo com o Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de junho, o tratamento primário deve garantir uma redução mínima de 50 % dos SST e de 20 % na matéria orgânica (expressa em  $CBO_5$ ) nas AR.

O sistema de LAC opera juntamente com o DP (Figura 2.7), com o objetivo de remover a fração de SST e carência bioquímica de oxigénio (CBO) a montante do TA, reduzindo os custos de eletricidade.



Figura 2.7 - Decantador primário da ETAR Beirolas (Portugal)

### 2.3.4. Tratamento secundário

Segundo Sperling (2016b), o tratamento biológico ocorre pela aplicação da autodepuração, ou seja, através da otimização microrganismos existentes no ambiente, em condições controladas. As bactérias são os microrganismos mais importantes no sistema pois consomem a maior parte da matéria orgânica presente na AR, na forma solúvel. Nos processos de LA, os protozoários têm função importante na formação dos flocos, onde atuam predatoriamente sobre as bactérias. Os fungos têm uma menor importância no sistema, pois apenas permitem controlar a proliferação dos protozoários. No Quadro 2.1 apresentam-se os valores de eficiência de remoção de matéria orgânica, em termos de  $CBO_5$ , para cada sistema de tratamento de AR.

Quadro 2.1 – Principais processos de tratamento de água residual a nível secundário e suas eficiências de remoção de CBO

Adaptado de Sperling (2014b)

SISTEMA DE TRATAMENTO	EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE CBO (%)
Lagoa facultativa	70 – 80
Lagoa anaeróbia - facultativa	70 - 90
Lamas ativadas convencional	85 - 93
Lamas ativadas arejamento prolongado	93 - 98
Leito percolador (baixa carga)	85 - 93
Leito percolador (alta carga)	80 - 90

A tecnologia mais comum utilizada no tratamento secundário de uma ETAR é o processo de LA. Já foi aplicada em várias configurações, por exemplo em sistemas com alimentação contínua ou descontínuos, em reatores pistão, mistura completa e com diversos regimes de funcionamento como o arejamento prolongado, entre outros (Metcalf & Eddy, 2003). Os reatores biológicos (tanque de arejamento) com sistema de arejamento com difusores de ar, que compõem o sistema de LA da ETAR Frielas, são apresentados na Figura 2.8.



Figura 2.8 – Reatores biológicos de LA da ETAR Frielas

## 2.4. Características das águas residuais

### 2.4.1. Nota introdutória

Para um estudo eficiente do processo de LA, as caracterizações do afluente e do efluente podem ser consideradas as etapas mais difíceis, sendo fundamental para determinar o desempenho do sistema de tratamento. A caracterização do perfil de variações dos caudais afluente também é importante, incluindo os dados de variações diárias, sazonais e durante períodos de chuvas. Sem uma correta caracterização do afluente, pode ocorrer o sub ou sobre dimensionamento da ETAR (Metcalf & Eddy, 2003).

O Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de junho define Águas Residuais Urbanas (ARU) como sendo Águas Residuais Domésticas (ARD) ou a mistura destas com Águas Residuais Industriais (ARI)

e/ou com pluviais. Para Jordão e Pessôa (2014), a descarga doméstica é considerada como: a água de banho, urina, fezes, restos de alimentos, detergentes, águas de lavagem.

Conforme Metcalf & Eddy (2016), os componentes mais relevantes para o estudo de sistemas de LA são: material carbonáceo, compostos de azoto e de fósforo, sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV) e alcalinidade.

## **2.4.2. Caracterização quantitativa**

### **2.4.2.1. Caudais de dimensionamento**

Segundo Metcalf & Eddy (2003), o caudal de AR afluentes à ETAR varia ao longo do dia e é reconhecido devido ao consumo de água em cada hora do dia, tendo caudais maiores em períodos comerciais e menores caudais em turnos noturnos, principalmente nas primeiras horas do dia, tais variações são conhecidas como caudal de ponta diário, caudal de ponta horário e caudal mínimo horário.

De acordo com Sperling (2014b) é necessária a análise das variações de caudais para as caracterizações quantitativa e qualitativa de AR, os dados dos caudais calculados afetam as características hidráulicas, operacionais e a concentração de poluentes da ETAR. Normalmente, calcula-se o caudal da AR em função do consumo de água da população com coeficiente de afluência à rede de drenagem e de um valor atribuído para o consumo médio de água por cada habitante, chamado de *capitação per capita*. É comum os projetos de saneamento serem calculados em um horizonte de atendimento de 20 anos, sendo necessário estimar a população de início e horizonte do projeto (hp), bem como a sua evolução ao longo do tempo.

O caudal é geralmente conhecido pela letra “Q”, sendo expresso pela relação entre o volume de AR transportado e a unidade de tempo e é medido em litros (L) ou metros cúbicos (m<sup>3</sup>) por segundos (s), horas (h), dia, pelo que as unidades mais usuais são L/s, m<sup>3</sup>/h e m<sup>3</sup>/d. Um dos principais fatores na produção dos caudais de AR é o número populacional atendido pela rede de drenagem (Jordão & Pessôa, 2014).

De acordo com IBGE (2020), a população no Estado do Paraná em 2010, quando foi elaborado a última pesquisa sobre o Censo Demográfico, era de 10.444.526 hab e a perspectiva populacional

para 2020 é de 11.516.840 hab, representando um aumento de 10 % na última década, ou seja, crescimento populacional médio de 1 % ao ano. Segundo INE (2020), a população residente em Portugal continental em 2011 era de 10.047.621 hab, já em 2019 a população de 9.798.859 hab, havendo um déficit populacional de 2,5 % neste período, com média anual de - 0,3 %. Contudo, as populações entre as duas regiões abordadas apresentaram-se próximas, principalmente na data de início, mostrando diferença apenas na sua evolução, onde o Estado paranaense teve crescimento médio anualmente de 1 % e o continente português teve um ligeiro decréscimo.

#### 2.4.2.1.1. Caudal médio

Para uma nova ETAR, onde não existem dados históricos de medição de caudal, o caudal médio ( $Q_{MÉD}$ ) é estipulado com base na evolução populacional e da capitação de AR ou do consumo de água da área de abrangência atendida com o coeficiente de afluência à rede. O  $Q_{MÉD}$  pode ser encontrado com a Expressão 1 (Azevedo Neto *et al.*, 1998; Jordão & Pessôa, 2014; Marecos do Monte, Santos, Barreiros & Albuquerque, 2016; Sperling, 2014b).

$$Q_{MÉD} = Pop \times \frac{cap_{ÁGUA}}{86400} \times C_{AF} + Q_{INF} + Q_{IND} \quad (1)$$

Onde:

$Q_{MÉD}$  – caudal médio (L/s);

Pop – população atendida (hab.);

$cap_{ÁGUA}$  – capitação de água *per capita* (L/(hab.d));

$C_{AF}$  – coeficiente de afluência à rede de drenagem (0,7 a 0,9);

$Q_{INF}$  – caudal de infiltração (L/s);

$Q_{IND}$  – caudal médio de ARI descarregadas na rede de drenagem (L/s).

O Manual de Projetos de Saneamento (MPS) elaborado pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), sugere a fixação da capitação de água *per capita* em diferentes áreas da pesquisa, que deve seguir os dados medidos em cada unidade ou verificar o consumo por inscrição imobiliária, quando houver (SANEPAR, 2018). Segundo SNIS (2019), o valor médio registado para o consumo de água no Estado do Paraná para o ano de 2018 foi de 137,9 (L/(hab.d)) e a média nacional brasileira foi de 154,9 (L/(hab.d)).

Conforme ERSAR (2019), o consumo médio diário de água em Portugal continental no ano de 2018 foi de 192,0 (L/(hab.d)).

De acordo com o Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto, o coeficiente de afluência varia geralmente entre 0,7 a 0,9 e o caudal de infiltração ( $Q_{INF}$ ) é proporcional ao diâmetro, comprimento e estado de conservação dos coletores. Segundo a NBR 9649 (1986), quando não existem dados locais comprovados oriundos de pesquisas, o coeficiente de afluência à rede, também chamado de coeficiente de retorno ( $C_{AF}$ ), podendo ser considerado igual a 0,8.

Conforme AdP (2003), os valores do  $Q_{INF}$  são estimados a partir de percentagem do caudal médio diário, que variam entre 10 a 50 % do  $Q_{MÉD}$  projetado, a percentagem escolhida deve ser baseada na conservação da rede de drenagem, condições geológicas do terreno e se pertence uma zona do litoral ou interior.

O  $Q_{INF}$  também pode ser calculado em função do diâmetro da tubagem, com valores entre 0,01 e 1,0  $m^3/(d.km.mm)$ , por exemplo, para um tubo de diâmetro de 200 mm, a taxa de infiltração variará entre 2 e 200  $m^3/(d.km)$ . Para o  $Q_{INF}$  é importante considerar a influência do nível freático, principalmente para redes posicionadas em grandes profundidades (Metcalf & Eddy, 1991).

O caudal industrial ( $Q_{IND}$ ) é estimado quando a ETAR recebe contribuição de ARI. Deve ser estudado a natureza dos efluentes industriais em cada caso de unidade industrial, para conhecer as características referente à qualidade e quantidade da AR e assim permitir a ligação direta à rede de drenagem ou se haverá a necessidade de pré-tratamento. O tratamento preliminar nas indústrias deverá ser realizado quando as descargas industriais causarem qualquer risco à segurança e operação das redes de drenagens (ReCESA, 2008). Em Portugal são aplicados os regulamentos municipais de descarga de efluentes na rede de coletores, como por exemplo o Regulamento para Lançamento de Efluentes Industriais na Rede de Coletores de Lisboa (Edital n.º 156/91).

#### **2.4.2.1.2. Caudal de ponta**

Conforme (Sperling, 2016b), as variações dos caudais ao longo do dia podem causar graves problemas de operação na ETAR, principalmente no tratamento secundário, pelo aumento dos sólidos suspensos provenientes da decantação primária e pode ainda provocar o arrastamento da biomassa nos reatores biológicos.

O caudal de ponta ( $Q_{PTA}$ ) pode ser obtido pelo  $Q_{MÉD}$  multiplicado por um fator de ponta, conforme a Expressão 2 (Azevedo Neto *et al.*, 1998; Jordão & Pessôa, 2014; Marecos do Monte, Santos, Barreiros & Albuquerque, 2016; Sperling, 2014b).

$$Q_{PTA} = Q_{MÉD} \times f_{PTA} \quad (2)$$

Onde:

$Q_{PTA}$  – caudal de ponta (L/s);

$f_{PTA}$  – fator de ponta.

Existem várias expressões para encontrar o fator de ponta utilizado no cálculo do caudal de ponta, tendo-se optado por apresentar dois exemplos. A NBR 9649 (1986) caracteriza o  $f_{PTA}$  com dois coeficientes,  $k_1$  e  $k_2$ , que maximizam o  $Q_{MÉD}$ . O  $f_{PTA}$  na legislação brasileira pode ser obtido pela Expressão 3.

$$f_{PTA} = k_1 \times k_2 \quad (3)$$

Onde:

$k_1$  – coeficiente do dia de maior consumo (adimensional);

$k_2$  – coeficiente da hora de maior consumo (adimensional);

Conforme Azevedo Neto *et al.* (1998), o  $k_1$  é a relação entre o valor do consumo máximo diário ocorrido num ano e o consumo médio diário relativo a esse ano, sendo recomendável utilizar valores entre 1,1 a 1,4, sendo que os menores valores de  $k_1$  são indicados em zonas de atendimento com pequenas variações climáticas. O  $k_2$  é a relação entre o maior caudal horário e o caudal médio do dia de maior consumo, sugerido utilizar valores entre 1,5 e 2,3, com os valores maiores para  $k_2$  decorrentes de inexistência ou de pequeno número de reservatórios domiciliares. A NBR 9649 (1986) sugere o coeficiente do dia de maior consumo ( $k_1$ ) equivalente a 1,2 e o coeficiente da hora de maior consumo ( $k_2$ ) é igual a 1,5, totalizando um valor constante de 1,8.

Segundo Ondeo Dégrement (2007), é sugerido encontrar o fator de ponta em função do  $Q_{MÉD}$ , com a Expressão 4.

$$f_{PTA} = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_{MÉD}}} \quad (4)$$

Em que:

$Q_{MÉD}$  – caudal médio (L/s).

### **2.4.2.1.3. Caudal mínimo**

O caudal mínimo ( $Q_{MÍN}$ ) ocorre no período noturno, onde o consumo de água é inferior. A contribuição mínima deve ser determinada a partir de dados históricos, em casos de ausência de registos pode ser utilizada a Expressão 5 (Jordão & Pessôa, 2014; Sperling, 2014b).

$$Q_{MÍN} = Q_{MÉD} \times k_3 \quad (5)$$

Em que:

$Q_{MÍN}$  – caudal mínimo (L/s);

$k_3$  – coeficiente de minoração (adimensional).

Conforme Azevedo Neto *et al.*, (1998) e NBR 9649 (1986), para encontrar o caudal mínimo, deve-se multiplicar o  $Q_{MÉD}$  por coeficiente de minoração ( $k_3$ ) no valor de 0,5. Segundo Marecos do Monte, Santos, Barreiros & Albuquerque (2016) o  $Q_{MÍN}$  pode ser considerado 30 % do  $Q_{MÉD}$ .

### **2.4.2.2. Variação da carga poluente**

A carga poluente é designada pela quantidade de poluentes que chegam na ETAR e sua variação é relativa a variação do caudal ao longo do dia. Para o dimensionamento da ETAR também é necessário conhecer os valores mínimos, médios e de ponta de afluência da carga poluente. A carga do poluente (kg/d) é obtida através da Expressão 6 (Sperling, 2014b).

$$\text{Carga}_{POL} = \frac{P_{OP} \times \text{cap}_{POL}}{1000} \quad (6)$$

Em que:

$\text{Carga}_{POL}$  – carga poluente (kg/d);

$P_{OP}$  – população atendida (hab.);

$\text{cap}_{POL}$  – capitação de poluente (g/(hab.d)).

A capitação de produção de determinado poluente é relacionada com o equivalente de população (e.p.), expressa em termos de massa do poluente por unidade de tempo. Exemplos de valores indicados para a capitação de poluente ( $\text{cap}_{POL}$ ) são apresentados no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Dados típicos de contribuição por habitante de características físicas e químicas da ARU

PARÂMETRO	CBO <sub>5</sub>	SST	NKT	P	REFERÊNCIA
<b>Contribuição per capita (g/(hab.d))</b>	60	70	12	2	Decreto-Lei n.º 152/97
	40 - 60	35 - 70	6 - 10	0,7 – 2,5	Sperling, (2014b)
	55 - 68*	55 - 68*	8 - 14*	0,6 - 1*	Metcalf & Eddy, (2016)
	50 - 12**	60 – 150**	9 - 18**	5 - 12**	

\* Dados sugeridos para o Brasil.

\*\* Dados indicados nos Estados Unidos.

Os principais fatores que influenciam a variação de poluentes na ARU são os hábitos dos aglomerados populacionais, presença de descargas industriais e condições sazonais, como o consumo *per capita* de água. Quanto menor o consumo de água, mais concentrada é a AR. A concentração do poluente de determinada descarga é descrita com a Expressão 7 (Metcalf & Eddy, 2016; Sperling, 2014b).

$$\text{Conc}_{\text{POL}} = \frac{\text{Carga}_{\text{POL}} \times 1000}{Q \times 3600 \times 24} \quad (7)$$

Em que:

$\text{Conc}_{\text{POL}}$  – concentração do poluente (g/L).

$\text{Carga}_{\text{POL}}$  – carga de poluentes (kg/dia).

### 2.4.3. Caracterização qualitativa

#### 2.4.3.1. Definição

De acordo com Sperling (2014b), os principais parâmetros a serem investigados numa análise de ARB são: temperatura, pH, alcalinidade, azoto, fósforo, organismos indicadores e matéria orgânica. Para a ART, as principais análises são: azoto, fósforo, matéria orgânica, algas, bactérias decompositoras e organismos indicadores.

A caracterização qualitativa da AR consiste na análise em termos biológicos, físicos e químicos. Neste capítulo são apresentados alguns dos principais parâmetros importantes para se definir a

qualidade da água, como a carência bioquímica de oxigénio (CBO), carência química de oxigénio (CQO), pH, temperatura, alcalinidade e sólidos.

Como o presente trabalho é aplicado ao tratamento secundário optou-se por não referir as características microbiológicas das AR.

#### **2.4.3.2. Características físicas**

Conforme Metcalf & Eddy (2016), as características físicas importantes para a AR incluem sólidos totais, temperatura, turvação, cor e condutividade. Sólidos totais, suspensos totais, voláteis e fixos.

De acordo com o Boletim Climatológico Anual Portugal Continente - IPMA (2019), os valores extremos de temperatura para o ano de 2019 no continente português variaram de -7,0 a 43,1 °C. Conforme o Boletim Climático do Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná, a temperatura no Estado para o ano de 2020 variou entre 8 e 30,4 °C (SIMEPAR, 2020).

As principais características físicas da AR estão apresentadas no Quadro D.1 (Anexo D).

#### **2.4.3.3. Características químicas**

Como o número de compostos químicos encontrados em AR é muito elevado, normalmente restringe-se a algumas classes gerais de compostos. Essas classes são mais conhecidas pelo nome analítico do procedimento utilizado para medi-los, como exemplo para os compostos orgânicos tem-se os testes de CBO e de CQO (Davis, 2010).

As principais características químicas da água residual estão apresentadas no Quadro D.2 (Anexo D).

A eficiência de remoção de determinado parâmetro, como a CBO, CQO ou SST, pode ser obtida através da expressão 8 (Sperling, 2014b).

$$EF = \left( \frac{\text{Conc}_{\text{POL}}\text{Entrada} - \text{Conc}_{\text{POL}}\text{Saída}}{\text{Conc}_{\text{POL}}\text{Entrada}} \right) \times 100 \quad (8)$$

Onde:

EF – eficiência de remoção (%);

Conc<sub>POL</sub>Entrada – concentração do parâmetro afluente ao órgão de tratamento (g/L); e

Conc<sub>POL</sub>Saída – concentração do parâmetro efluente ao órgão de tratamento (g/L).

## **2.5. Legislação sobre descarga de águas residuais**

### **2.5.1. Nota introdutória**

Em Portugal, o tratamento de AR com descargas em cursos de águas deve cumprir o Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho, alterado pelo Decreto-Lei n.º 348/98 de 9 de Novembro e pelo Decreto-Lei n.º 133/2015 de 13 de julho (sétima alteração).

No Brasil, os principais documentos legais federais que estabelecem parâmetros de qualidade para as descargas de ART nos cursos de águas são as Resoluções Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA n.º 357/2005 de 17 de março de 2005 e CONAMA n.º 430/2011 de 13 de maio de 2011. Essas Resoluções classificam as águas superficiais de acordo com a sua salinidade, onde são determinadas em cada classe a qualidade que deve ser mantida no curso de água.

### **2.5.2. Legislação sobre descarga de águas residuais em Portugal**

O Decreto-Lei n.º 152/97 transpõe a Diretiva n.º 91/271/CEE de 21 de maio do Conselho Europeu. Neste documento legal foi aprovada a identificação das zonas sensíveis e menos sensíveis onde são realizadas as descargas de águas residuais tratadas (ART) e posteriormente atualizada pelo Decreto-Lei n.º 133/2015.

Em Portugal, cada ETAR tem ainda uma licença de descarga com a indicação da fileira de tratamento e dos parâmetros a cumprir na descarga para o meio receptor.

No Decreto-Lei n.º 152/97 é apresentado o objetivo de proteger as águas superficiais dos efeitos causados pela descarga de ARU, visando a proteção do ambiente, em que classifica os meios receptores em zonas sensíveis e menos sensíveis. Para descargas em zonas sensíveis sujeitas a eutrofização com e.p. superior a 10.000 habitantes, deve ser implantado tratamento com remoção de nutrientes (terciário). A permissão para a descarga de ART em zonas menos sensíveis só pode ser licenciada quando a ETAR se submeta ao tratamento secundário.

Conforme Metcalf & Eddy (2016), o processo de LA é classificado como tratamento secundário quando o objetivo é a remoção da matéria carbonácea, quando for necessário remover os nutrientes é identificado como tratamento terciário, sendo que é possível realizar os dois níveis de tratamento no mesmo reator, mas com distintas zonas, aeróbia, anaeróbia e anóxica.

Os requisitos que devem ser atendidos para as descargas de ART em ETAR em águas superficiais classificadas como zonas menos sensíveis são apresentados no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 - Requisitos para as descargas das ETAR de ARU nas zonas menos sensíveis em Portugal

Adaptado de Decreto-Lei n.º 152/97

PARÂMETROS	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	PERCENTAGEM MÍNIMA DE REDUÇÃO (%)
<b>CBO<sub>5</sub> sem nitrificação</b>	25	70 - 90
<b>CQO</b>	125	75
<b>Total de partículas sólidas em suspensão</b>	35 - e.p. superior a 10.000)	90
	60 - e.p. de 2.000 a 10.000	70

Segundo o Decreto-Lei n.º 152/97, alterado pelo Decreto-Lei n.º 348/98, a interpretação do Quadro 2.3 faz-se da seguinte forma:

- concentração de CBO<sub>5</sub> na descarga igual ou inferior a 25 mg O<sub>2</sub>/L ou percentagem mínima de redução de 70 a 90 %;
- concentração de CQO na ART igual ou inferior a 125 mg O<sub>2</sub>/L ou percentagem mínima de redução de 75 %;
- concentração do total de partículas sólidas em suspensão na ART igual ou inferior a 35 mg SST/L ou 90 % mínimo de remoção para e.p. superior a 10.000, e igual ou inferior a 60 mg SST/L ou 70 % mínimo de remoção para e.p. entre 2.000 e 10.000;
- a percentagem de redução é em relação à carga do afluente; e
- o requisito de total de partículas sólidas em suspensão é facultativo.

O presente trabalho objetiva-se em descargas de ART em ETAR em zonas menos sensíveis, portanto não são apresentadas as condições de descargas em zonas classificadas como sensíveis.

Para atualizar as classificações das zonas sensíveis e menos sensíveis o Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de junho sofreu várias atualizações desde a sua publicação. A última modificação até a presente

data está publicada no Decreto-Lei n.º 133/2015 de 13 de julho, sendo a sétima alteração na classificação das zonas de descargas de ARU tratadas em ETAR.

Todas as atualizações alteraram apenas as classificações das águas superficiais costeiras e interiores, de acordo com a sua região hidrográfica, publicada no Decreto-Lei n.º 152/97, para descargas de ART em zonas menos sensíveis.

Com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos foi elaborado o Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de agosto, nele são definidos os requisitos de utilização das águas para o consumo humano, suporte de vida aquícola, balneares, de rega e as descargas de águas residuais na água e no solo. Para a descarga de AR em meios aquáticos o Decreto-Lei n.º 236/98 estabelece alguns parâmetros que devem ser atendidos, como o pH médio diário entre 6,0 e 9,0 podendo estar compreendido no máximo entre 5,0 e 10,0, aumento da temperatura em 3 °C no meio receptor após a descarga da AR, e parâmetros como alumínio, ferro, cor, odor, entre outros.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 236/98, a qualidade mínima das águas superficiais para receber descarga de ETAR deve possuir parâmetros de qualidade, como:

- pH: valor máximo admitido (VMA) entre 5,0 e 9,0;
- Temperatura: VMA igual a 30 °C;
- OD: VMA com 50 % de saturação;
- CBO<sub>5</sub>: VMA 5 O<sub>2</sub> mg/L;
- Azoto amoniacal: VMA 1 N mg/L;
- Fósforo total: VMA 1 P mg/L;
- Entre outros parâmetros como cloretos, sulfatos, chumbo, pesticidas.

### **2.5.3. Legislação sobre descarga de águas residuais no Brasil**

Para realizar a descarga de efluentes tratados no Brasil é necessário conhecer o caudal mínimo de permanência dos cursos de água e realizar o balanço de massa juntamente com as características qualitativas e quantitativas das AR a serem descarregadas no meio recetor.

A CONAMA n°357/2005, dispõe sobre a classificação dos cursos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Considera que o enquadramento dos meios recetores deve estar nos níveis de qualidade, atendendo as necessidades da comunidade, saúde e o bem-estar humano. A Resolução classifica os meios recetores de acordo com a sua salinidade, em águas doces, salobras e salinas, formando um total de treze classes de qualidade das águas. Os padrões de qualidade das águas estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe.

O presente estudo é desenvolvido apenas com águas doces, que possuem capacidade para consumo humano, sendo definida como aquelas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰. A classe das águas doces possui cinco subdivisões: especial, 1, 2, 3 e 4. Os destinos de efluentes tratados são comumente associados às classes 2 e 3.

O enquadramento dos cursos de águas em classes de uso no Estado do Paraná foi realizado com base na Resolução CONAMA n° 20/86, tendo sido estabelecido através de Portarias da SUREHMA (Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente), publicadas no período de 1989 a 1992 (IAT, 2020).

A Resolução CONAMA n° 20/86 revela que em ocasiões onde não há aprovação do enquadramento do curso de água, as águas doces serão consideradas como classe 2, desta maneira está apresentado apenas as condições dos parâmetros a serem obedecidas na classe 2 – águas doces. O artigo 4º descreve as águas doces da classe 2, como as águas que poder ser destinadas:

- ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- à proteção das comunidades aquáticas;
- à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme a resolução CONAMA n° 274, de 2000;
- à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de desporto e lazer, com os quais o público possa a vir ter contato direto.

As condições dos parâmetros de qualidade de água devem ser analisadas num balanço de massas entre o caudal descarregado pela ETAR e o caudal em nível crítico do meio recetor (estudo hidrológico), isto é, em condições de caudal diluído. Os valores máximos dos principais

parâmetros de condições do caudal diluído para as águas doces da Classe 2, que podem ser licenciados em descarga de ART, estão listados no Quadro 2.4.

Quadro 2.4 - Padrões de condições de qualidade de água para águas doces Classe 2

Adaptado de CONAMA n° 357/2005

PARÂMETROS	VALOR MÁXIMO
<b>CBO<sub>5</sub> (mg O<sub>2</sub>/L)</b>	5
<b>OD (mg. O<sub>2</sub>/L)</b>	5
<b>Turbidez (UNT)</b>	100
<b>pH</b>	6,0 a 9,0
<b>Sólidos dissolvidos totais (mg SST/L)</b>	500
<b>Fósforo total – ambiente lântico (mg P/L)</b>	0,03
<b>Fósforo total – ambiente intermediário (mg P/L)</b>	0,05
<b>Fósforo total – ambiente lótico (mg P/L)</b>	0,10
<b>Nitrato (mg N/L)</b>	10,0
<b>Nitrito (mg N/L)</b>	1,0
<b>Azoto amoniacal total (mg N/L)</b>	3,7 para pH ≤ 7,5
	2,0 para 7,5 < pH ≤ 8,0
	1,0 para 8,0 < pH ≤ 8,5
	0,5 para pH > 8,5

Os valores máximos estabelecidos para os parâmetros relacionados em cada uma das classes de enquadramento, deverão ser respeitados nas condições do caudal de referência do meio hídrico. Os limites de CBO podem ser elevados, caso o estudo de autodepuração do meio recetor demonstre que as concentrações mínimas de OD previstas não serão cumpridas.

A Resolução apresenta vários outros parâmetros orgânicos e inorgânicos que devem ser atendidos para descarga de AR. Para analisar todas essas condições, é necessário consultar o documento.

A CONAMA n° 430/2011, dispõe sobre as condições, padrões, parâmetros e diretrizes de lançamento de efluentes em cursos de águas, complementando e alterando parcialmente a Resolução CONAMA n° 357/2005. Para a descarga de efluentes gerados em sistema de ETAR foram alteradas e implantadas as seguintes condições:

- pH: entre 5,0 e 9,0;

- temperatura: inferior a 40 °C, sendo que a variação de temperatura do corpo recetor não deverá exceder a 3 °C no limite da zona de mistura;
- CBO<sub>5</sub>: máximo de 120 mg O<sub>2</sub>/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60 % de CBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do meio recetor;
- substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg/L; e
- ausência de materiais flutuantes.

A atualização da Resolução CONAMA n° 357/2005 aceita a descarga de AR com pH inferior, passado do mínimo 6,0 para 5,0. Outra característica em destaque é o limite máximo da temperatura da ART de 40 °C e o seu impacto no meio recetor não pode causar variação superior a 3 °C. Também estabelece um valor máximo de 120 mg O<sub>2</sub>/L de concentração de CBO<sub>5</sub> ou remoção de 60 % na fase de tratamento.

## **3. Lamas ativadas**

### **3.1. Evolução histórica**

O final do século XIX foi marcado pelo crescimento urbano e o aumento da economia causado pela revolução industrial no Reino Unido e nos Estados Unidos, ocasionando uma elevação exponencial do consumo de água e na produção de AR. O aumento da população urbana causou problemas negativos na saúde pública e no ambiente, com a média de vida inferior a 50 anos, sendo a mortalidade infantil a principal consequência da baixa expectativa de vida. Desta maneira, houve a necessidade de melhorar as tecnologias existentes sobre o tratamento de ARU, levando a invenção do processo de lamas ativadas (LA) (Daigger, 2014).

O sistema de LA foi inventado por Edward Arden e William Lockett em 1914, na cidade de Manchester, Inglaterra. Outros cientistas como Gilbert Fowler, Ernest Moore Munford, Harry Clark também tiveram grande contribuição para o desenvolvimento da pesquisa naquela época. Os químicos Arden e Lockett desenvolveram experiências em garrafas, e descobriram que ao decantar o líquido da garrafa arejada e manter as lamas formadas, ao adicionar nova dose de AR conseguia-se realizar a nitrificação completa em menos tempo. Conforme se preservava as lamas e adicionava AR fresca o tempo para a total nitrificação era reduzido, passando de seis semanas para cerca de 24 h, descobrindo assim a recirculação de lamas. Foi então que designaram estas lamas como “ativadas”, para diferenciar das lamas de AR comum (Barnard, 2014).

As primeiras abordagens sobre a investigação do processo de crescimento biológico suspenso em ETAR eram baseadas na experiência e com derivações empíricas, no tempo de retenção hidráulico ( $T_{RH}$ ), utilizando o rácio F/M e o tempo de retenção dos sólidos ( $T_{RS}$ ). Todos esses conceitos continuam a ser empregados em sistemas de LA até hoje (Lawrence & Middleton, 2014).

Alguns dos esquemas que proporcionaram a evolução do tratamento de AR pelo processo de LA ao longo de sua história são apresentados no Quadro A.1 (Anexo A).

### 3.2. Caracterização do sistema

O tratamento biológico pelo processo de LAC é formado por DP, TA, sistema de arejamento, sistema de recirculação de lamas e unidade de separação de biomassa da AR (DS). Este sistema pode ser aplicado para tratamento de ARU e ARI e ser classificado como tratamento secundário, para a remoção de matéria orgânica. Este processo é indicado para atender populações igual ou superior a 100 mil habitantes, em tanque que recebem ARU de 10 mil habitantes o sistema de LA com arejamento prolongado possui melhores resultados, sendo sugerido o estudo económico (Sperling, 2016b).

Conforme Jordão & Pessôa (2014), no TA é formado o licor misto (LM), onde a AR afluyente e as lamas recirculadas são misturadas, agitadas e arejadas, formando os flocos biológicos denominados de lamas ativadas. Em seguida a biomassa é separada da AR por sedimentação noutro tanque, sendo o mais comum o DS. No DS a maior fração da biomassa retorna para o TA com o objetivo de intensificar a biodegradação da matéria orgânica no sistema, a outra fração das lamas decantadas é encaminhada para tratamento específico ou destino final, conhecida como lamas em excesso.

O processo de LA apresenta diversas vantagens de desvantagens quando comparado com processos de biomassa fixo, como os leitos percoladores (Quadro 3.1).

Quadro 3.1 - Vantagens e desvantagens do sistema de LA em relação aos leitos percoladores

Adaptado de Metcalf & Eddy (2003)

VANTAGENS:	DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melhor eficiência de tratamento</li> <li>- Maior flexibilidade de operação</li> <li>- Menor área ocupada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operação mais delicada</li> <li>- Necessidade de completo controle de laboratório</li> <li>- Maiores custos de operação</li> </ul>

Os reatores de LA podem ser classificados conforme os seguintes parâmetros (Sperling, 2016a):

- Rácio F/M: classifica em baixa carga (arejamento prolongado), média carga (arejamento convencional) e alta carga (arejamento rápido);
- Regime de operação: reatores contínuos, descontínuos e descontínuos sequenciais.
- Regime de arejamento: ar comprimido, por turbinas superficiais e compressores.

- Tipo de escoamento hidráulico: reator com mistura completa ou reator pistão.

### 3.3. Cinética das reações

Conforme Metcalf & Eddy, (2016), a estequiometria de controlo e as taxas de reação dos processos biológicos e químicos são de grande importância nos sistemas de LA, pois determinam o desempenho do processo de tratamento. A estequiometria refere-se à definição das quantidades de compostos químicos envolvidos numa reação. A taxa de reação é definida como a taxa na qual uma substância desaparece ou é formada numa determinada reação estequiométrica.

A cinética de crescimento biológico relaciona a utilização de substrato e a produção de biomassa, que contribui para a concentração de sólidos suspensos totais (SST) num reator biológico. A biomassa é normalmente medida como SST e como sólidos suspensos voláteis (SSV). Em sistemas de LA, a mistura de lamas recirculada com a AR que formam o conteúdo do reator biológico é designada como LM sendo caracterizada pelos sólidos suspensos do licor misto (SSLM) e pelos sólidos suspensos voláteis do licor misto (SSVLM). Os sólidos compreendem biomassa, sólidos suspensos voláteis não biodegradáveis (SSV<sub>NB</sub>) e sólidos suspensos totais inertes (SSV<sub>i</sub>) (Metcalf & Eddy, 2003).

As gamas típicas para as concentrações de sólidos no LM são apresentadas no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 - Concentrações típicas de sólidos no LM de acordo com o regime operacional

BAIXA CARGA		MÉDIA CARGA		ALTA CARGA		REFERÊNCIAS
SSLM (mg SST/L)	SSVLM (mg SSV/L)	SSLM (mg SST/L)	SSVLM (mg SSV/L)	SSLM (mg SST/L)	SSVLM (mg SSV/L)	
2000 - 5000	3000 - 5000	1000 - 4000	1500 - 3000	200 - 1000	140 - 350	Metcalf & Eddy (2016)
3500 - 5000	2500 - 4000	2000 - 4000	1500 - 3500	-	-	Sperling (2016a)
3000 - 5000	2000 - 3000	1500 - 4000	1200 - 3200	-	-	CPHEEO & JICA (2013)
2000 - 6000	-	1500 - 4000	-	-	-	Spellman (2011)
3000 - 6000	-	1500 - 4000	-	-	-	Jordão & Pessôa (2014)

### 3.3.1. Balanço de massa

O balanço de massa é uma descrição quantitativa de todos os materiais que entram, saem e se acumulam num sistema com limites físicos definidos. O balanço de massa é baseado na lei da conservação da massa, ou seja, a massa nunca é criada ou destruída. A sua expressão deve ser desenvolvida num determinado volume, com os termos seguintes sobre os materiais que: entram, saem, são gerados, são consumidos e que são acumulados (Tchobanoglous e Schroeder, 1985 citado por Sperling, 2016b).

Conforme Metcalf & Eddy (2003), na preparação de balanços de massa, deve-se seguir os seguintes passos:

- preparar um esquema de fluxograma simplificado do sistema ou processo para o qual será feito o balanço de massa;
- desenhar os limites do sistema para definir onde o balanço de massa se aplicará;
- listar todos os dados pertinentes que serão usados na preparação do balanço de massa no esquema ou fluxograma elaborado;
- listar todas as equações das reações químicas ou biológicas que se julga representarem o processo; e
- seleccionar uma base conveniente na qual os cálculos numéricos serão efetuados.

Conforme Lawrence & McCarty, (1970) citado por Metcalf & Eddy (2016), a análise do balanço de massa constitui-se em uma maneira conveniente de definir o que acontece nos reatores em função do tempo. É necessário um balanço de massa de substrato para determinar a concentração da matéria orgânica no efluente em função do afluente ao reator e das condições operacionais.

O tempo de retenção dos sólidos ( $T_{RS}$ ) é um dos parâmetros mais importantes para operação do processo de LA, conforme referido no subcapítulo 3.6.1.2..Com o balanço de massa é possível controlar o  $T_{RS}$  e permitir o bom funcionamento do processo. Os balanços de massas para o controlo do caudal de recirculação em relação ao TA e ao DS são apresentados na Figura 3.1.

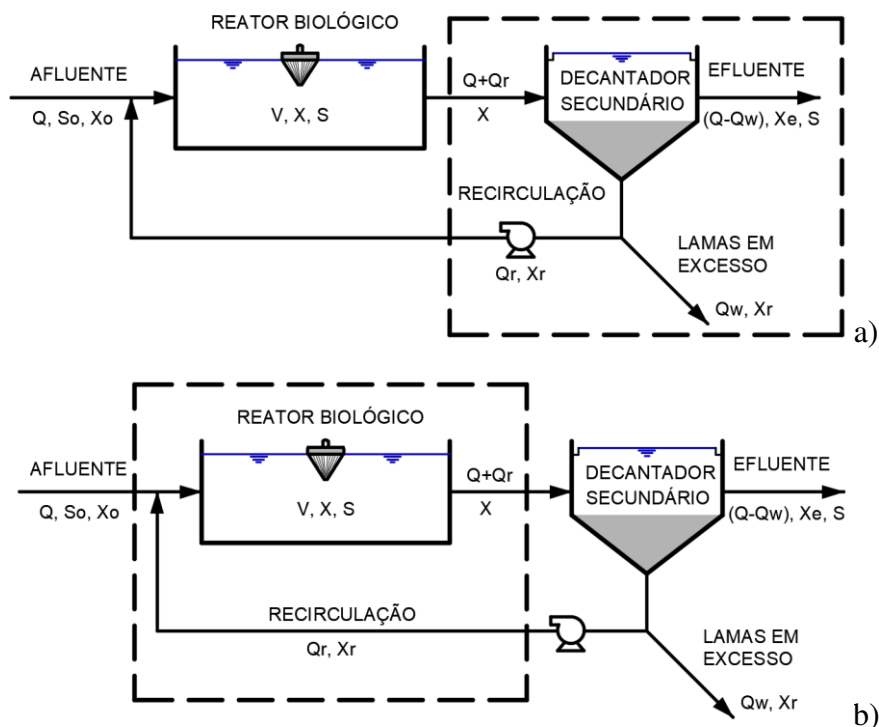


Figura 3.1 - Balanços de massas para controlo de caudal de recirculação: a) ao DS e b) ao TA

Adaptado de Marecos do Monte, Santos &amp; Barreiros (2018)

Onde:

 $Q$  – caudal de AR afluyente ao reator ( $m^3/d$ );

 $Q_w$  – caudal de purga de lamas ( $m^3/d$ );

 $Q_r$  – caudal recirculado ( $m^3/d$ );

 $V$  – volume do reator ( $m^3$ );

 $X$  – concentração de biomassa no LM ( $g\ SSV/m^3$ );

 $X_e$  – concentração de biomassa no efluente do DS ( $g\ SSV/m^3$ ); e

 $X_r$  – concentração de microrganismos na recirculação de lamas ( $g\ SSV/m^3$ ).

### 3.3.2. Estado estacionário e estado dinâmico

Conforme Sperling (2016b), o modelo matemático do sistema pode ser estruturado para duas condições: estado estacionário e estado dinâmico. O estado estacionário é aquele no qual não há acumulação do composto no volume observado, isto é, a concentração do composto é constante, nesta situação o caudal e as concentrações de entrada e saída também são constantes. O estado estacionário é mais usual para elaboração de projetos. O estado dinâmico é aquele que há variação

dos compostos no sistema. A concentração do composto no sistema é variável com o tempo, geralmente o caudal e/ou a concentração de entrada são variáveis, além da possibilidade da mudança da temperatura. Os modelos dinâmicos baseiam-se nos balanços de massas, podendo ser utilizados em projeto, porém é mais comum o uso para o controle operacional das ETAR na avaliação do seu desempenho.

De acordo com Henze *et al.* (2008), os modelos do estado estacionário são muito úteis para o cálculo das condições iniciais necessárias para começar a simulação de modelos dinâmicos, tais como volumes de reatores, recirculação de caudais e valores para as concentrações no reator. Os modelos dinâmicos são mais complexos pois exigem o fornecimento das constantes cinéticas e estequiométricas, incluindo que os caudais e as cargas são variáveis em relação ao tempo.

Numa ETAR raramente acontece a existência do modelo estacionário, a própria variação de caudal de contribuição e concentração ao longo do dia, infiltração das águas pluviais e descargas industriais levam o sistema a operar sempre no estado dinâmico (Vesilind *et al.*, 2010).

A representação da variação da concentração do composto ao longo do tempo para os estados dinâmico e estacionário é ilustrada na Figura 3.2.

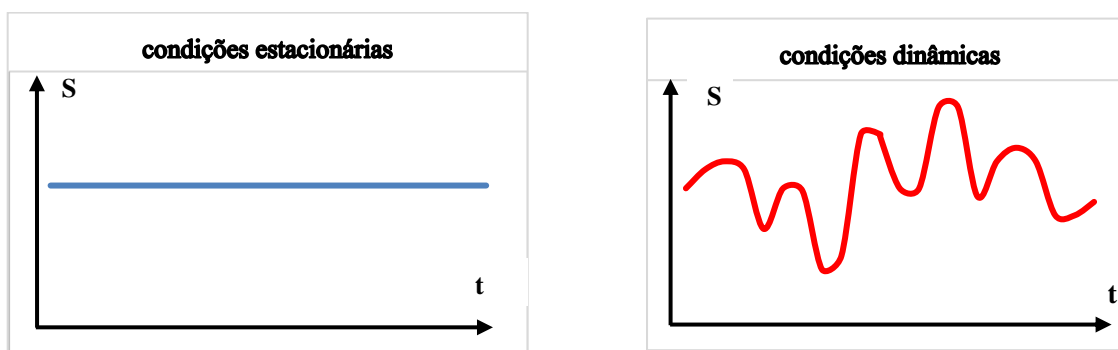


Figura 3.2 - Perfil da concentração do composto ao longo do tempo para as condições estacionárias e dinâmicas

Adaptado de Sperling (2016b)

### 3.4. Hidráulica dos reatores

Segundo Sperling (2007b), o modelo hidráulico do reator é função do tipo de alimentação e do padrão de mistura na unidade. A alimentação pode ser: descontínua ou contínua. Para o padrão de mistura existem basicamente dois termos: pistão e mistura completa.

Num reator descontínuo, não há escoamento entrando ou saindo do reator, *i.e.*, o líquido entra, é tratado, é descarregado e o ciclo é repetido (Davis, 2010).

Para Sperling (2007a), o reator pistão ideal é aquele no qual cada elemento de fluído deixa o tanque na ordem em que entrou, com nenhum elemento antecipando o outro ou sofrendo atraso no percurso. Cada elemento é exposto ao tratamento pelo mesmo período, o qual é igual ao tempo de retenção hidráulico teórico.

O reator de alimentação contínua e mistura completa ideal é aquele no qual todos os elementos que entram no reator são instantaneamente e totalmente dispersos, formando um conteúdo homogéneo, sendo a concentração efluente de igual valor em qualquer ponto do reator (Sperling, 2016b).

Os principais tipos de reatores mais frequentemente utilizados no tratamento de AR com o processo de LA são apresentados no Quadro B.1 (Anexo B).

### **3.5. Princípios da remoção da matéria orgânica**

Nos sistemas de tratamento de AR, em condições aeróbias, ocorre a oxidação da matéria orgânica e a nitrificação. Os principais fenómenos de transformação da matéria, bem como a participação da biomassa presente no reator nestes processos, encontram-se ilustradas no Quadro C.1 (Anexo C).

Segundo Sperling (2007b), a matéria orgânica biodegradável solúvel é rapidamente metabolizada, sendo usualmente representado pela CBO solúvel. A matéria orgânica biodegradável particulada não sofre metabolismo imediato: ocorre inicialmente uma floculação e adsorção à superfície dos flocos da biomassa. A seguir este material biodegradável particulado adsorvido é sujeito à hidrólise e solubilização, sendo então esta parcela sujeita ao metabolismo pelas bactérias.

A matéria carbonácea presente na AR pode ser dividida quanto à sua biodegradabilidade: em inerte (não biodegradável) ou biodegradável. A matéria orgânica inerte passa pela ETAR sem mudança em sua forma. São divididas com relação ao seu estado físico como: solúvel ou particulada (Metcalf & Eddy, 2016):

- A matéria orgânica não biodegradável solúvel não sofre transformações, deixando o sistema com a mesma concentração em que entrou, constituindo o efluente solúvel.
- A matéria orgânica não biodegradável particulada (em suspensão) é envolvida pela biomassa, sendo removida junto à purga das lamas, formando as denominadas lamas inativas.

A matéria orgânica biodegradável sofre alterações ao atravessar o sistema de tratamento, sendo também classificadas de acordo com o seu estado físico, como (Sperling, 2016b):

- Rapidamente biodegradável: apresenta-se geralmente na forma solúvel, consistindo de moléculas simples. Tais moléculas podem ser utilizadas diretamente pelas bactérias heterotróficas.
- Lentamente biodegradável: apresenta-se usualmente da forma particulada, consistindo de moléculas relativamente complexas que não são utilizadas diretamente pelas bactérias. Para que isso aconteça, é necessária a conversão em matéria solúvel através da atuação de enzimas extracelulares, com o mecanismo denominado de hidrólise.

Para continuar a se reproduzir e funcionar adequadamente, um organismo deve ter fontes de energia para a síntese de novo material celular e elementos inorgânicos (nutrientes), como azoto, fósforo, enxofre, potássio, magnésio e cálcio. Fontes de carbono são, usualmente, referidos como substratos (Davis & Masten, 2016).

Conforme Metcalf & Eddy (2016), o metabolismo é a realização dos processos químicos e bioquímicos pela biomassa, utilizando as substâncias orgânicas e formando o material celular. O metabolismo ocorre com a matéria orgânica biodegradável, solúvel e particulada. A síntese da biomassa é definida como a relação entre a quantidade de biomassa produzida e a quantidade de substrato consumido. O material gerado a partir da síntese das matérias orgânicas biodegradáveis solúvel e particulada é chamado de lama ativa.

A síntese é representada quando os seres heterotróficos realizam a oxidação da matéria orgânica, com a produção de mais material celular (crescimento e reprodução) e libertação de energia, sob o consumo de oxigénio (condições aeróbias) ou outro aceitador de eletrões (nitratos) (Sperling, 2016a).

De acordo com Sperling (2016b), no tratamento de AR quando o substrato disponível no meio começa a ficar escasso os microrganismos passam a necessitar de outras fontes de matéria orgânica, ou de energia condensada. O principal alimento diretamente disponível é o próprio protoplasma celular, do qual as células passam a fazer uso. Nesta etapa, o balanço é negativo, ou seja, há uma redução do material celular, ou da concentração bacteriana no meio, caracterizando a fase de respiração endógena.

Segundo Metcalf & Eddy (2016), se a quantidade de oxigénio disponível for suficiente, a decomposição aeróbia de uma AR orgânica continuará até que toda a AR seja consumida. No início, uma porção da AR é oxidada a produtos finais para obter energia para manutenção celular e para síntese de novos tecidos celulares. Em simultâneo, uma fração da AR é convertida em novos tecidos de células utilizando parte da energia libertada durante a oxidação. Por fim, quando a matéria orgânica é utilizada, as novas células começam a consumir seus próprios tecidos celulares para obter energia para manutenção própria, este fenómeno é chamado de respiração endógena.

Na fase de respiração endógena a matéria orgânica é utilizada para assegurar as necessidades energéticas das células, é oxidada o máximo possível, com a massa das lamas tendendo a reduzir (Metcalf & Eddy, 2003).

Há uma estreita relação entre a concentração do alimento disponível no meio e o número de bactérias. Quando a disponibilidade de matéria orgânica é suficiente, as bactérias estão em fase de crescimento, e quando se torna insuficiente, as bactérias entram em fase de decadência. O projeto e operação de ETAR faz usos destes conceitos de crescimento e decaimento bacteriano, para situar a operação dentro de uma faixa desejada (Sperling, 2016b).

## **3.6. Dimensionamento**

### **3.6.1. Parâmetros do tanque de arejamento**

#### **3.6.1.1. Razão Alimento / Microrganismos**

A razão F/M, também chamada de carga mássica, é a quantidade de alimento ou substrato disponível por unidade de massa dos microrganismos, determinando a eficiência pretendida para

o sistema, a defini-lo essencialmente em três regimes de funcionamento: alta carga, média carga (convencional) e baixa carga.

O parâmetro F/M é representado pela Expressão 9 (Vesilind *et al.*, 2010).

$$\frac{F}{M} = \frac{Q \times S_0}{V \times X} \quad (9)$$

Onde:

F/M – razão Alimento/Microrganismos (g CBO<sub>5</sub> ou CQO/(g SSV.d));

Q – caudal de AR afluente ao reator (m<sup>3</sup>/d);

S<sub>0</sub> – concentração de CBO<sub>5</sub> ou de CQO afluente (g/m<sup>3</sup>);

V – volume do reator (m<sup>3</sup>);

X – concentração de biomassa no LM (g SSV/m<sup>3</sup>).

Segundo Metcalf & Eddy (2016), o rácio F/M é útil para entender o efeito de cargas transientes num sistema. Quanto maior a carga de CBO específica (g CBO<sub>5</sub>/ (g SSV.d)), mais rápida será a taxa de utilização do substrato. Os valores típicos de F/M para o processo de LA conforme o regime de operação do sistema de arejamento são apresentados no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 - Razão F/M de acordo com o regime de operação

	PROLONGADO (BAIXA CARGA)	CONVENCIONAL (MÉDIA CARGA)	RÁPIDO (ALTA CARGA)	REFERÊNCIAS
<b>F/M</b> <b>(kg CBO/ kg SSVLM.d)</b>	0,04 - 0,10	0,2 – 0,6	1,5 – 2,0	Metcalf & Eddy (2016)
	0,07 - 0,15	0,3 – 0,5	-	Sperling (2016a)
	1,50 ≤	0,2 – 0,7	0,7 – 1,1	NBR 12209 (2011)
	0,05 – 0,15	0,2 – 0,4	0,4 – 1,5	Jordão & Pessôa (2014)
	0,10 – 0,18	0,3 – 0,4	-	CPHEEO & JICA (2013)
	0,04 – 0,15	0,2 – 0,4	0,8 – 1,5	Weiner & Matthews (2003)
	0,05 – 0,15	0,2 – 0,5	-	Spellman (2011)

De acordo com Marecos do Monte, Santos & Barreiros (2018), os reatores de baixa carga ou de arejamento prolongado são caracterizados pela escassez de alimento, neste sistema o consumo de oxigénio e a produção de lamas são mais baixos, em relação aos outros dois regimes de operação. O sistema de LAC é característico por uma menor disponibilidade de alimento que o processo de alta carga, limitando o desenvolvimento dos microrganismos, produzindo assim menos lamas com

um maior rendimento na remoção de CBO. Os reatores de alta carga caracterizam-se pela elevada abundância de alimento, a sua taxa de remoção da matéria orgânica é elevada, aumentando assim o consumo de oxigénio e, conseqüentemente, de energia elétrica.

A representação entre o substrato disponível e o removido é obtido através da carga volúmica (kg CBO<sub>5</sub>/(m<sup>3</sup>.d)), caracterizando a concentração removida do substrato, sendo representada pela Expressão 10 (Sperling, 2016a).

$$\frac{F}{V} = \frac{Q \times S_0}{V} \quad (10)$$

As gamas de F/V indicadas para os reatores biológicos de LA são apresentadas no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 - Valores de carga volúmica sugeridas para o TA de acordo com o regime operacional (Metcalf & Eddy, 2016)

	PROLONGADO (BAIXA CARGA)	CONVENCIONAL (MÉDIA CARGA)	RÁPIDO (ALTA CARGA)
<b>F/V</b> (kg CBO/kg (m <sup>3</sup> .d))	0,1 – 0,3	0,3 – 0,7	1,2 – 2,4

### **3.6.1.2. Tempo de retenção dos sólidos e recirculação**

Conforme Sperling (2016a), o tempo de retenção dos sólidos (T<sub>RS</sub>) é também conhecido com idade das lamas ou tempo de permanência de uma célula bacteriana no sistema, representa o tempo médio que uma partícula em suspensão permanece no processo. É numericamente igual à relação entre a massa de SSV, no TA, e a massa de SSV descartada por dia. A idade das lamas tem elevada importância, pois gere a sedimentação final das LA e a qualidade do efluente tratado (Henze *et al.*, 2008).

O T<sub>RS</sub> é determinado dividindo a massa de sólidos no TA pelos sólidos removidos diariamente. A separação sólido-líquido é essencial para a operação e desempenho do processo de LA, pois envolve duas funções muito importantes, como a sedimentação por gravidade para remover mais de 99,5 % dos SST no LM do efluente tratado e a compactação das lamas ativadas sedimentadas para reduzir o seu volume (Metcalf & Eddy, 2003).

O  $T_{RS}$ , em dias, para sistema com recirculação de lamas é definido pela Expressão 11 (Metcalf & Eddy, 2016).

$$T_{RS} = \frac{V \times X}{(Q - Q_W) \times X_E + Q_W \times X_R} \quad (11)$$

No Quadro 3.5 apresentam-se as recomendações de  $T_{RS}$ , para os sistemas de baixa, média e alta carga, segundo as referências citadas.

Quadro 3.5 - Idade das lamas sugeridas para o TA

	PROLONGADO (BAIXA CARGA)	CONVENCIONAL (MÉDIA CARGA)	RÁPIDO (ALTA CARGA)	REFERÊNCIAS
<b>T<sub>RS</sub></b> <b>(d)</b>	20 - 40	3 - 15	0,5 - 2	Metcalf & Eddy (2016)
	18 - 30	4 - 10	-	Sperling (2016a)
	> 18	4 - 15	2 - 4	NBR 12209 (2011)
	20 - 30	4 - 15	2 - 4	Jordão & Pessôa (2014)
	10 - 26	5 - 8	-	CPHEEO & JICA (2013)
	> 20	5 - 15	1 - 5	Henze <i>et al.</i> (2008)
	20 - 30	5 - 15	-	Spellman (2011)

Para sistemas convencionais, valores de  $T_{RS}$  inferiores a 4 dias levam à formação de flocos poucos densos para boa sedimentação (IVL elevado), e de  $T_{RS}$  acima de 15 dias formam flocos pequenos, que requerem menor taxa de caudal superficial no DS (Davis & Masten, 2016).

O índice volumétrico de lamas (IVL) é definido como o volume ocupado por 1 g de lama após uma decantação de 30 minutos, é uma avaliação simplificada da sedimentabilidade para apoio ao controlo operacional dos decantadores finais. A sua interpretação faz-se no sentido de que quanto maior o seu valor, pior é a sedimentabilidade das lamas, ou seja, as lamas ocupam um maior valor do decantador final. O IVL é utilizado para verificar a ocorrência de qualquer mudança nas propriedades do LM em função de variações operacionais, nas características do afluente ou da temperatura, podendo ser calculado a partir da Expressão 12 (Sperling, 2016a).

$$IVL = \frac{H_{30} \times 10^6}{H_0 \times SS} \quad (12)$$

Em que:

IVL - índice volumétrico de lamas (mL/g)

$H_{30}$  - altura da interface após 30 minutos (m)

$H_0$  - altura da interface no instante 0, altura da interface da lâmina de água no cilindro de decantação (m)

SS - concentração de sólidos em suspensão da amostra (mg SS/L)

Os valores típicos para a interpretação do resultado do IVL são apresentados no Quadro 3.6.

Quadro 3.6 – Interpretação aproximada do índice volumétrico de lamas

Adaptado de Sperling (2016b)

SEDIMENTABILIDADE	FAIXA DE VALORES DO IVL (mL/g)
<b>Boa</b>	50 – 100
<b>Média</b>	100 – 200
<b>Ruim</b>	200 - 300

Valores de IVL entre 50 e 100 mL/g indicam geralmente boa qualidade da lama formada. Valores acima de 200 mL/g indicam problemas de sedimentabilidade, com lamas leves. O IVL com valores elevados, acima de 150 mL/g verifica-se o surgimento do bulking (Metcalf & Eddy, 2003).

O  $T_{RS}$  pode ser utilizado para definir o volume do TA, a partir da Expressão 13 (Sperling, 2016a).

$$V = \frac{Y \times T_{RS} \times Q \times (S_0 - S)}{X \times (1 + K_D \times f_B \times T_{RS})} \quad (13)$$

Onde:

$Y$  – coeficiente de produção celular, massa de SSV produzidos por unidade de massa de CBO removida, tipicamente para CBO entre 0,4 e 0,8 e CQO entre 0,45 e 0,5 (g/g);

$S$  – concentração de CBO<sub>5</sub> ou de CQO desejada no efluente (g/m<sup>3</sup>);

$K_D$  – coeficiente de respiração endógena (típico 0,08/d);

$f_B$  – fração biodegradável dos SSV gerados no sistema submetido a um  $T_{RS}$  (mg SS<sub>B</sub>/SSV).

O valor de  $f_B$  pode ser obtido com a Expressão 14 (Sperling, 2016a).

$$f_B = \frac{f'_B}{1 + (1 - f'_B) \times K_D \times T_{RS}} \quad (14)$$

Em que:

$f_B'$  – fração biodegradável dos SSV imediatamente após a sua geração no sistema, tipicamente 0,8.

Conhecendo os valores de  $Q$  e  $S_O$ , propondo  $S$  orientados pela legislação de descarga de ART, assumindo as gamas de  $Y$  e  $K_D$ , encontrado  $f_B$  e adotando valores adequados para  $T_{RS}$  e  $X$ , pode-se calcular o volume do TA por meio da Expressão 13.

A recirculação das lamas tem como objetivos principais (Jordão & Pessôa, 2014):

- Manter constante a elevada concentração dos flocos no valor pretendido de  $F/M$  no LM.
- Estabilizar a matéria orgânica presente pela ação da biomassa que formam os flocos; e
- Inocular o meio e acelerar o trabalho de estabilização da matéria orgânica.

Conforme Motlagh & Goel (2014), um dos principais fatores para eficiência e sustentabilidade do processo de LA é a taxa de recirculação de lamas. Uma gama maior de recirculação resultará num efluente mais clarificado, com melhor sedimentação dos sólidos no DS e lamas ativadas menos concentradas. Já uma baixa recirculação torna a AR reciclada mais concentrada e maior arrastamento de sólidos no efluente tratado.

A razão de recirculação ( $R$ ) é definida como o quociente do caudal recirculado ( $Q_R$ ) pelo caudal afluente ( $Q_{AF}$ ) ao sistema de LA, segundo a Expressão 15. Os valores de  $R$  também podem ser obtidos através de balanços de massas, tanto no TA, tanto como no DS. Uma outra opção para encontrar a razão de circulação é apresentada na Expressão 16 (Davis, 2010).

$$R = \frac{Q_R}{Q_{AF}} \quad (15)$$

$$R = \frac{1 - \left(\frac{T_{RH}}{T_{RS}}\right)}{\left(\frac{X_R}{X}\right) - 1} \quad (16)$$

A ampliação da capacidade de uma ETAR com LA pode ser obtida através do aumento de  $Q_R$ , ao invés de expandir o volume do reator. Isso aplica-se no caso de o sistema possuir baixa concentração de SSV no reator. Através do aumento de  $R$  ou redução de  $Q_w$  pode-se elevar os valores de SSV no processo de LA (Henze *et al.*, 2008).

Os seguintes parâmetros merecem destaque na recirculação das lamas (Sperling, 2016a):

- a recirculação das lamas não afeta o  $T_{RH}$ , alterando apenas o  $T_{RS}$ ;
- o  $Q_R$  afeta o balanço de sólidos entre o reator e o DS; e
- o  $Q_W$  afeta a massa total de sólidos entre o DS e o reator biológico.

Os valores sugeridos para R, em percentagens, nos sistemas de LA com separação dos sólidos em DS estão listados no Quadro 3.7.

Quadro 3.7 - Percentagens indicadas para a razão de recirculação em processos de LA com DS

	PROLONGADO (BAIXA CARGA)	CONVENCIONAL (MÉDIA CARGA)	RÁPIDO (ALTA CARGA)	REFERÊNCIAS
<b>R (%)</b>	50 - 150	25 - 75	100 - 150	Metcalf & Eddy (2016)
	70 - 150	60 - 100	-	Sperling (2016a)
	25 - 100	25 - 80	-	CPHEEO & JICA (2013)
	25 - 100	25 - 100	-	Spellman (2011)
	100 - 300	25 - 50	30 - 100	Jordão & Pessôa (2014)

### **3.6.1.3. Produção de lamas**

A produção de lamas do sistema de LA é dada pelo caudal de purga das lamas ( $Q_W$ ), o qual pode ser obtido utilizando o  $T_{RS}$  de acordo com a Expressão 17 (Metcalf & Eddy, 2016).

$$Q_W = \frac{V \times X}{X_R \times T_{RS}} - \frac{Q_E \times X_E}{X_R} \quad (17)$$

Onde:

$Q_W$  – caudal de purga das lamas em excesso ( $m^3/d$ ); e

$Q_E$  – caudal efluente do DS ( $m^3/d$ ).

### **3.6.1.4. Tempo de retenção hidráulico no tanque de arejamento**

No sistema de recirculação de lamas, os sólidos são separados e concentrados no DS, retornando posteriormente ao reator biológico. O líquido, apesar da recirculação não sofre variação quantitativa, a menos na purga das lamas, a qual é desprezível. Portanto o que se retém no sistema

são os sólidos, permanecendo no processo mais tempo do que os líquidos, o que gera a necessidade de caracterizar os conceitos de  $T_{RH}$  e  $T_{RS}$  (Sperling, 2016b).

O  $T_{RH}$  representa o tempo necessário para encher o reator a um determinado caudal. O seu cálculo é importante porque os resultados podem ser utilizados para conhecer o tempo real o qual um determinado volume de líquido permanece no reator e a sua idade média. O  $T_{RH}$  é definido de acordo com a Expressão 18 (Metcalf & Eddy, 2016).

$$T_{RH} = \frac{V}{Q} \quad (18)$$

Onde:

$T_{RH}$  – tempo de retenção hidráulico (h);

$Q$  – caudal de AR afluyente ao reator ( $Q + Q_R$ ) ( $m^3/h$ );

O  $T_{RH}$  pode ser utilizado para resolver o problema de assentamento das lamas no DS. Para gerir situações em que o IVL seja superior a 250 mL/g e velocidade de assentamento inferior a 2,5 m/h faz-se necessário reduzir a carga hidráulica no decantador, conseqüentemente, aumentar o  $T_{RH}$  do sistema (Metcalf & Eddy, 2003).

O  $T_{RH}$  recomendado o sistema de LA com base nos regimes de operações de arejamento prolongado, convencional e rápido, é retratado no Quadro 3.8.

Quadro 3.8 - Tempo de retenção hidráulico indicado para o TA

	PROLONGADO (BAIXA CARGA)	CONVENCIONAL (MÉDIA CARGA)	RÁPIDO (ALTA CARGA)	REFERÊNCIAS
$T_{RH}$ (h)	20 - 30	4 - 8	1 - 2	Metcalf & Eddy (2016)
	16 - 24	6 - 8	-	Sperling (2016a)
	$\geq 15$	$\geq 1$	$\geq 1$	NBR 12209 (2011)
	16 - 36	4 - 8	1 - 2	Jordão & Pessôa (2014)
	12 - 24	4 - 6	-	CPHEEO & JICA (2013)

### **3.6.1.5. Sistema de arejamento**

O sistema de arejamento tem por finalidade satisfazer as necessidades do metabolismo dos organismos, e eliminar do líquido vários produtos voláteis do metabolismo. O seu valor deve ser assegurado na ordem mínima de 0,5 mg  $O_2/L$  para impedir a entrada em anaerobiose do LM

(Metcalf & Eddy, 2003). Se possível o sistema de arejamento também pode contribuir para manter a agitação, de modo a não permitir a sedimentação dos sólidos, caso contrário deve ser aplicado um sistema só para a agitação.

O arejamento e a mistura do LM são dois dos principais requisitos do processo de LA, representa em torno de 50 a 80% de toda a energia consumida em todo o processo, quando estão adequadamente dimensionados pode-se alcançar alta eficiência no tratamento e realizar economias no processo. Para uma eficiência energética no arejamento, é importante elaborar um banco de dados com valores para a taxa de transferência de oxigénio em condições reais ( $TTO_R$ ) em diferentes situações. (Hwang & Stenstrom, 1985; DWA, 2013 citado por Wagner & Stenstrom, 2014). Conforme Huang *et al.* (2019), a partir de um sistema de arejamento calibrado em processo de LA, em que garanta a sua otimização energética sem degradar a qualidade do efluente, é possível alcançar 17 % de economia no consumo de eletricidade.

Essencialmente, 30 % dos custos de uma ETAR estão ligados ao uso de energia elétrica. Com os crescentes níveis avançados de tratamento de AR, que resultam em maior consumo de eletricidade, estando previstos aumento de 30 % a 40 % para as próximas décadas. Desta maneira, não pode ser subestimada a importância da energia na gestão de ETAR (Metcalf & Eddy, 2016). Segundo Longo *et al.* (2016), estudos feitos na Alemanha e Itália revelam que o consumo de eletricidade em ETAR representa cerca de 1 % do consumo total do País.

O oxigénio é um gás que se dissolve mal em meio líquido, por este motivo, é necessário introduzir ar artificial em sistemas aeróbios para satisfazer o consumo das bactérias. Existem duas formas principais de produzir arejamento artificial: arejamento por ar difuso e arejamento superficial ou mecânico. Os fatores de maior influência na  $TTO_R$  são (Sperling, 2016b):

- temperatura: a elevação da temperatura causa uma redução da concentração de saturação, implicando redução da taxa de transferência;
- concentração de OD: em condições estacionárias, quanto maior a concentração de OD mantida no reator menor será a taxa de transferência.
- característica da AR: a presença de sais, matéria particulada e agentes tensoativos altera a concentração de saturação do líquido no reator;

Em sistemas de LA, a  $TTO_R$  pode variar ao longo do dia. O sistema de arejamento pode atender estas alternâncias com sistemas manuais ou automatizados, por meio de temporizadores ou sensores de OD no reator. Dentre as formas mais comuns de se variar a taxa de transferência, tem-se (Arceivala, 1981 citado por Sperling, 2007b):

- funcionamento descontinuo de determinadores arejadores;
- variação da velocidade de rotação dos arejadores; e
- variação da submersão através da atuação nos níveis do descarregador de saída e do eixo do arejador.

Os equipamentos comerciais utilizados para o sistema de arejamento são classificados de acordo com os testes de transferência de oxigénio, utilizando água limpa sob condições padrão ( $T = 20\text{ }^\circ\text{C}$  e  $P = 1\text{ atm}$ ). Para refletir os ensaios em água limpa para as características da AR, deve-se aplicar fatores de correção na quantidade real de oxigénio requerido no sistema, de forma a permitir a uniformização na apresentação dos valores, devido às diversas variáveis de transferência de oxigénio (Davis & Masten, 2016).

Os valores em condições padrão e em condições de campo, de maneira a corrigir a  $TTO_R$  são apresentados no Quadro 3.9.

Quadro 3.9 - Taxa de transferência de oxigénio para as condições padrão e de campo

Adaptado de Sperling (2016a)

CONDIÇÕES PADRÃO	CONDIÇÕES DE CAMPO
Água limpa	Água residual
Temperatura da água = $20\text{ }^\circ\text{C}$	Temperatura real da água residual
Altitude = 0 m	Altitude real da estação
Sistema de arejamento instalado num tanque de teste	Sistema de arejamento instalado no reator

O oxigénio requerido para a biodegradação do material carbonáceo para as condições padrão pode ser determinado através da Expressão 19 (Benefield & Randall, 1985 citado por Marecos do Monte, Santos & Barreiros, 2018).

$$R_O = Q \times (S_O - S) \times a' + V \times SSVLM \times b' \quad (19)$$

Onde:

$R_O$  – oxigénio requerido (kg/d);

$Q$  – caudal combinado de AR afluente ao reator (m<sup>3</sup>/d);

$S_O$  – concentração em CBO<sub>5</sub> do afluente ao reator (mg O<sub>2</sub>/L);

$S$  – concentração em CBO<sub>5</sub> do efluente do reator (mg O<sub>2</sub>/L);

$V$  – volume do LM a arejar (m<sup>3</sup>);

$a'$  – parâmetro “oxidação” (kg O<sub>2</sub>/kg CBO<sub>5</sub>);

$b'$  – parâmetro “respiração endógena (kg O<sub>2</sub>/(kg SSV.d)).

Conforme Metcalf & Eddy (2003), o parâmetro  $a'$  representa a quantidade de O<sub>2</sub> utilizada por dia para a oxidação de uma unidade de substrato, isto é, caracteriza o fator relacionado com a síntese de material celular, enquanto  $b'$  corresponde à quantidade de O<sub>2</sub> utilizada por dia para o processo de respiração endógena. Os valores indicados destes parâmetros para o sistema convencional de LA são  $a'$  igual a 0,5 e  $b'$  igual a 0,08.

Outra opção referente a obter os valores para oxidação do substrato e para respiração endógena no consumo de oxigénio no sistema é através das Expressões 20 e 21 (Sperling, 2016a).

$$a' = \left( \frac{CBO_U}{CBO_5} \right) - \left( \frac{CBO_U}{X_B} \right) \times Y \quad (20)$$

$$b' = \left( \frac{CBO_U}{X_B} \right) \times f_B \times K_D \quad (21)$$

Em que:

$X_B$  – fração da biomassa biodegradável.

De acordo com Metcalf & Eddy (2016), devem ser aplicados coeficientes de majoração para eficiência de arejamento e para a segurança no requerimento de oxigénio do sistema, que também pode ser chamado taxa de transferência de oxigénio em condições de campo (TTO<sub>C</sub>).

A correção para a operação em condições padrão é apresentada na Expressão 22.

$$TTO_R = \frac{TTO_C}{\frac{\beta \times f_H \times C^* - C_L}{C_{20}^*} \times \alpha \times F \times \theta^{(T-20)}} \quad (22)$$

Onde:

$TTO_C$  – taxa de transferência de oxigénio no campo (kg  $O_2$ h);

$TTO_R$  – taxa de transferência de oxigénio sob condições reais, 20 °C, 1 atm,  $C = 0$  mg  $O_2/L$  (kg  $O_2$ h);

$\beta$  – oxigénio dissolvido relativo de saturação em água limpa, tipicamente entre 0,95 e 0,98;

$f_H$  – fator de correção de CS para a altitude (= 1-altitude/9450);

$C^*$  – concentração de saturação de oxigénio dissolvido na superfície na temperatura e altitude de operação (mg  $O_2/L$ ) (ver Expressão 24);

$C_{20}^*$  – concentração de saturação de oxigénio dissolvido na superfície na temperatura padrão de 20 °C (mg  $O_2/L$ ) (ver Anexo E);

$C_L$  – concentração média de oxigénio dissolvido no volume total de água de processo (mg  $O_2/L$ );

$\theta$  – fator empírico de correção de temperatura (tipicamente 1,024);

$T$  – temperatura de campo (°C);

$\alpha$  – taxa relativa de transferência de oxigénio na água de processo versus água limpa (ver discussão a seguir); e

$F$  – fator de degradação dos arejadores (usualmente 0,65 a 0,90 para difusores de ar e 1,00 para arejadores superficiais).

O coeficiente de transferência de massa  $K_{L,A}$  é em função da temperatura, intensidade de mistura (tipo do arejador utilizado e da geometria da câmara de mistura) e dos constituintes presentes na água. A eficiência do sistema de arejamento é fortemente relacionada com o  $K_{L,A}$ . Em muitos casos, o equipamento de arejamento é avaliado para condições de água limpa, sendo aplicado o fator de correção ( $\alpha$ ) para estimar o valor de  $K_{L,A}$  no sistema real (Expressão 23) (Sperling, 2016a).

$$\alpha = \frac{K_{L,a} \text{ (água residual)}}{K_{L,a} \text{ (água limpa)}} \quad (23)$$

Os valores de  $\alpha$  variam com o tipo do equipamento de arejamento, a concentração de SSVLM, a geometria da bacia e o nível de mistura. Valores típicos de  $\alpha$  variam entre 0,4 a 1,2, sendo

indicados 0,6 a 1,2 para arejamento mecânico e de 0,4 a 0,8 para arejamento por ar difuso (Metcalf & Eddy, 2016).

O fator de correção  $\beta$  é utilizado para corrigir a taxa de transferência de oxigénio do sistema de teste para as diferenças de solubilidade do oxigénio, devido os constituintes presentes na água, como sais, material particulado e substâncias tenso ativas. Esta influência pode ser quantificada através da Expressão 24 (Sperling, 2016a).

$$\beta = \frac{C_s (\text{água residual})}{C_s (\text{água limpa})} \quad (24)$$

Segundo Metcalf & Eddy (2003), os valores de  $\beta$  variam de 0,80 a 0,98, sendo que o valor de 0,95 é o mais geralmente adotado.

A densidade do ar noutras temperaturas e as mudanças na pressão atmosférica devido à altitude pode ser estimada através da fórmula empírica, apresentada na Expressão 25 (Sperling, 2016b).

$$C^* = 14,652 - 4,1022 \times 10^{-1} \times T + 7,991 \times 10^{-3} \times T^2 - 7,7774 \times 10^{-5} \times T^3 \quad (25)$$

O sistema de arejamento também deve assegurar a agitação do líquido necessária para manter a biomassa em suspensão no LM do reator biológico, para garantir tal situação pode ser utilizado um agitador mecânico ou realizar a transferência de oxigénio e agitação no mesmo sistema. A mistura do líquido de forma a manter a biomassa suspensa é necessário introduzir uma potência suficiente por unidade de volume para impedir que os sólidos sedimentem. Esta relação é representada através do conceito da potência de agitação ( $P_{AGIT}$ ), de acordo com a Expressão 26 (Sperling, 2016b).

$$P_{AGIT} = \frac{P_{AREJ}}{V} \quad (26)$$

Em que:

$P_{AGIT}$  –potência de agitação (W/m<sup>3</sup>);

$P_{AREJ}$  – potência de arejamento (W); e

V – volume do reator (m<sup>3</sup>).

Conforme Metcalf & Eddy (2016), quanto maior a  $P_{AGIT}$ , maior a quantidade de SS que ficam dispersos no meio líquido. Para garantir a mistura em tanques de arejamento de LA, reatores com arejamento superficial devem possuir a  $P_{AGIT}$  mínima entre 20 e 40 W/m<sup>3</sup> e reatores com

arejamento por ar difuso devem ter um caudal de ar no mínimo entre 0,6 e 1,8 m<sup>3</sup>/h (a 20° C e 1 atm) por m<sup>3</sup> de volume do reator.

Na maioria das aplicações para ARU, ao determinar P<sub>AGIT</sub> requerida para oxigenação, cumpre-se automaticamente os requisitos da mistura, devido ao fato de os tanques de arejamento serem compactos (Sperling, 2007b).

Para diferentes P<sub>AGIT</sub>, têm-se as concentrações de SS que podem permanecer dispersas listadas no Quadro 3.10.

Quadro 3.10 - Valores da concentração de SST que podem ser mantidos em suspensão em função da potência de agitação

Adaptado de Eckenfelder (1980) citado por Sperling (2016b)

P <sub>AGIT</sub> (W/m <sup>3</sup> )	SST (mg SST/L)
0,75	50
1,75	175
2,75	300

A P<sub>AREJ</sub> necessária para arejadores superficiais pode ser relacionada com a eficiência de oxigenação, conforme a Expressão 27. No caso de arejamento por difusores de ar e compressores, a potência requerida pode ser apresentada em termos do caudal de ar e da pressão a ser vencida, a partir da Expressão 28 (Pöpel, 1979 citado por Sperling, 2016a).

$$P_{AREJ} = \frac{TTO_R}{EO} \quad (27)$$

$$P_{AREJ} = \frac{Q_{ar} \times \rho \times g \times (d_i + \Delta H)}{\eta} \quad (28)$$

Em que:

P<sub>AREJ</sub> – potência requerida para o sistema de arejamento (W);

EO – eficiência de oxigenação (kg O<sub>2</sub>/kWh);

Q<sub>ar</sub> – caudal de ar (m<sup>3</sup>/s);

ρ – peso específico do líquido (1000 kg/m<sup>3</sup>);

g – aceleração da gravidade (9,81 m/s);

d<sub>i</sub> – profundidade de imersão dos difusores dentro do TA (m);

ΔH – perda de carga no sistema de distribuição de ar (m); e

η – eficiência do motor e do soprador (entre 0,7 e 0,8) – consultar catálogos.

Segundo Sperling, (2016a), o sistema de arejamento por ar difuso é composto por difusores submersos no líquido, tubagens de distribuição de ar, sopradores e outras unidades onde passa o ar. É introduzido o oxigénio próximo ao fundo do reator, transferindo o ar ao meio líquido à medida que a bolha se eleva à superfície.

De acordo com Metcalf & Eddy (2003), a eficiência de transferência de oxigénio dos difusores é independente da sua capacidade de caudal, sendo em função do tipo, da sua porosidade, da dimensão das bolhas de ar, do tempo de detenção das bolhas no TA e da profundidade do difusor no tanque, entre outros fatores. Observa-se que quanto maior a profundidade de instalação, com maior tempo de retenção das bolhas no interior do tanque, maior será a eficiência.

A representação gráfica de difusores de ar para o processo de LA está ilustrada na Figura 3.3.

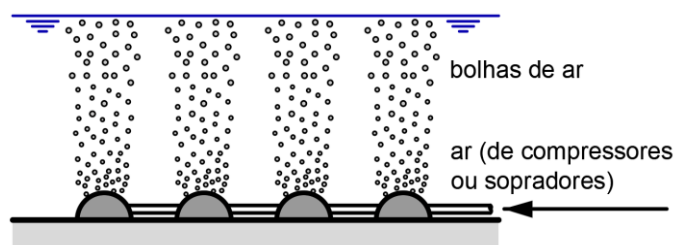


Figura 3.3 - Difusores de ar  
Adaptado de Sperling (2016a)

Para Sperling (2007b), a eficiência de transferência de oxigénio dos difusores porosos reduz-se com a utilização, devido à colmatção interna e externa. A colmatção interna é causada pelas impurezas no ar que não foram filtradas e a externa é provocada por crescimento bacteriano na superfície ou por precipitação de compostos inorgânicos associadas a efluentes industriais. Para reduzir tais colmatções é necessário, periodicamente, realizar limpeza com jatos de água ou com lavagem manual utilizando soluções ácidas, como o carbonato de cálcio, com o reator vazio.

As principais características do sistema de arejamento por ar difuso em relação as propriedades da dimensão das bolhas de oxigénio são apresentadas no Anexo E.

De acordo com Sperling (2016b), nos sistemas de arejamento superficial ou mecânico o oxigénio é introduzido no reator biológico com o auxílio de agitadores mecânicos, promovendo forte

movimentação no LM e permitindo a transferência de ar e a sua dispersão e incorporação no meio líquido.

As características dos principais tipos de arejadores superficiais para o processo de LA estão listadas no Anexo E. Dois arejadores mecânicos a partir do posicionamento do seu eixo, vertical e horizontal são apresentados na Figura 3.4.

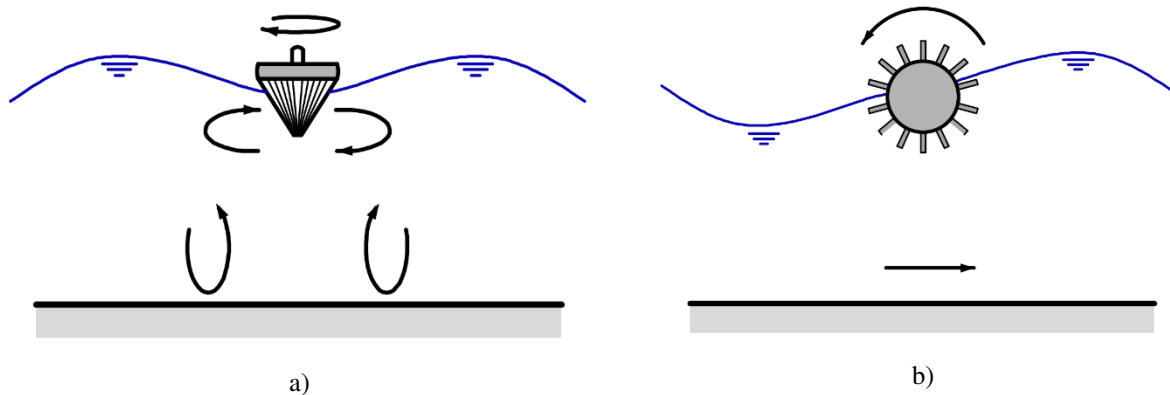


Figura 3.4 - Arejadores mecânicos: a) eixo vertical; b) eixo horizontal

Adaptado de Sperling (2016a)

A Norma Brasileira NBR 12209 (2011) recomenda o número mínimo de arejadores superficiais, por reator biológico em processos contínuos, com as seguintes unidades:

- duas unidades para caudal médio entre 20 L/s e 50 L/s; e
- três unidades para caudal médio superior a 50 L/s.

De acordo com Davis (2010), quando se utilizam múltiplos arejadores superficiais no mesmo tanque, a relação comprimento/largura do reator biológico deve resultar em múltiplos uniformes, com o arejador centralizado, para evitar a interferência hidráulica de cada arejador. A largura e a profundidade são definidas de acordo com a potência do arejador, como listado no Quadro E.4 (Anexo E).

## **3.6.2. Parâmetros do decantador secundário**

### **3.6.2.1. Nota introdutória**

Conforme Parker & Günthert (2014), já na década de 1910 começaram por realizar estudos com decantador secundário (DS) para caracterizar as propriedades de sedimentação do TA do processo de LA. No final de 1960, a teoria do fluxo de sólidos para espessamento foi introduzida para o sistema pela primeira vez, onde a área foi estimada a partir de uma análise de espessamento.

O DS tem a função de sedimentar as lamas para a recirculação para o TA e purgar as lamas em excesso. É importante que as lamas retornem rapidamente após a sua sedimentação, evitando condições de septicidade. O dimensionamento e a operação devem permitir boa separação dos sólidos provenientes do TA, compactando satisfatoriamente as lamas sedimentadas, obtendo efluente final bem clarificado, com baixa turbidez e baixa concentração de SS (Henze *et al.*, 2008).

Os formatos mais usuais dos decantadores são circular ou retangular, com remoção mecânica das lamas. Os tanques retangulares podem ser integrados com os tanques de arejamento em sistemas de LA, permitindo menor ocupação de área e conseqüentemente uma redução de custos na construção, têm maior adaptação a estruturas de coberturas e favorecem a eficiência de sedimentação. Os tanques circulares têm as vantagens de menores curtos circuitos devidos a ação do vento e da temperatura e possuem menores custos com a raspagem das lamas e de escumas (Marecos do Monte, Santos, Barreiros & Albuquerque, 2016).

Uma representação esquemática de tanques de DS com os formatos retangular de fluxo horizontal e circular com alimentação central são vistas na Figura 3.5.

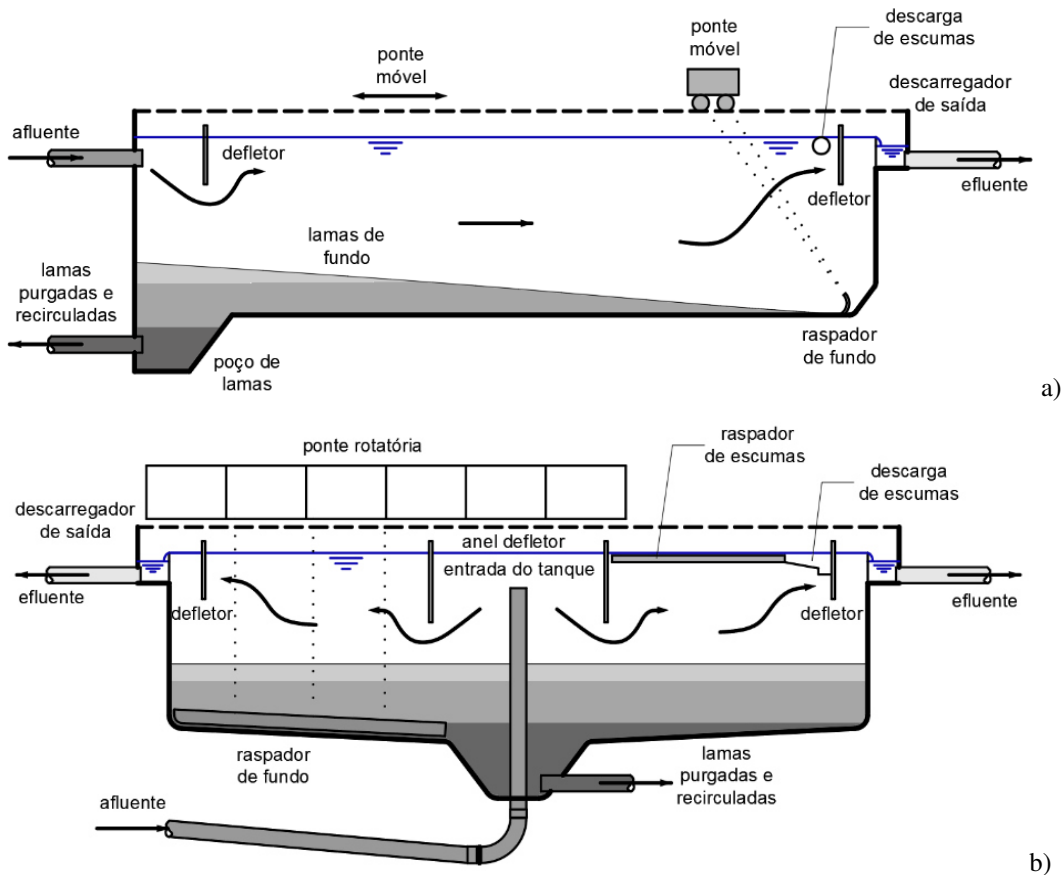


Figura 3.5 - Representação em corte de decantadores típicos: a) retangular de fluxo horizontal, b) circular com poço central de distribuição

Adaptado de Metcalf & Eddy (2016); Sperling (2016a)

Conforme Sperling (2016a), a eficiência de qualquer processo de LA está associada ao desempenho do DS. Caso haja perda dos sólidos no efluente final, haverá problemas de qualidade no tratamento, independentemente do desempenho do reator biológico. As características de sedimentação e compactação das lamas estão diretamente associadas à estrutura do floco formado no reator biológico, por esta razão, o dimensionamento e controle operacional do DS devem ser realizados em conjunto com o reator biológico. Quando ocorre sub arejamento no reator biológico pode levar ao crescimento excessivo de organismos filamentosos que deterioram a sedimentação e a espessamento no DS, por outro lado, o excesso de arejamento pode causar quebra dos flocos e arrastamento dos sólidos com o líquido decantado.

É importante a floculação dos sólidos no reator biológico para produzir flocos com massa suficiente para a sua consolidação, como também reduzir a concentração de pequenos sólidos dispersos que não têm massa suficiente para estabilizar no DS. Os fatores que influenciam a

capacidade e o desempenho dos DS pode ser classificados como (Morgan-Sagastume & Allen, 2003, e outros citado por Nopens, 2005).

- Biológicos
  - TRS baixos podem causar crescimento disperso e má formação dos flocos; e
  - baixas concentrações de substratos podem causar o surgimento de organismos filamentosos e aumentar a flutuabilidade das lamas (bulking).
- Hidráulico:
  - quando a sedimentação dos sólidos na entrada do DS acontece com velocidades altas, pode gerar uma contracorrente no meio líquido e retornar à suspensão as lamas já sedimentadas na superfície da manta de lamas.
- Físico-químicos:
  - temperaturas mais altas aumentam o metabolismo bacteriano, porém elevam a desfloculação no DS;
  - os flocos maiores de LA são encontrados em concentrações de OD de 2 a 5 mg O<sub>2</sub>/L do que em concentrações de 0,5 a 1,5 mg O<sub>2</sub>/L, o OD em menores valores eleva a turbidez do efluente; e
  - flocos grandes e menos densos ou pequenos e densos são benéficos.

Os principais fatores para o controlo operacional da formação dos flocos biológicos estão relacionados com o OD, fator F/M e TRS. A baixa razão F/M promove a formação de flocos grandes, com boa qualidade, já em condições de F/M altas ocorre o crescimento disperso de flocos. Em geral TRS mais longos (15 a 20 dias) trazem vantagens na floculação (Suresh *et al.*, 2018).

A formação dos flocos é um dos parâmetros mais importantes e de difícil compreensão nos processos de LA. Quando há uma boa floculação no sistema, a sedimentação nos DS ocorre de maneira mais eficiente, podendo assim obter uma otimização no processo. Para analisar a floculação está considerado cinco fatores mais relevantes no processo (Govoreanu, 2004):

- gradiente de velocidade média: maior formação de flocos é registada para menor intensidade de mistura;
- concentração de OD: mudanças de curto prazo na concentração de OD não tiveram um efeito significativo na formação dos flocos;

- cálcio (Ca): a adição de cálcio resultou no aumento rápido do tamanho dos flocos, porém o resultado da formação dos flocos é dependente da quantidade inicial de cálcio presente na amostra de lamas ativadas, quando há a presença de alto teor de cálcio (2,61 mEq/L) os resultados apresentaram nenhum efeito;
- temperatura: flocos maiores são formados quando a temperatura diminui, isto pode estar relacionado à atividade microbiana, que depende da temperatura; e
- concentração de lamas: maiores formações de flocos acontecem em lamas com concentrações elevadas, indicando que o aumento da taxa de colisão entre os agregados em concentração crescente de lamas é eficaz.

Os DS são dimensionados com base na carga hidráulica ( $C_H$ ), tal como os DP, alterando apenas os valores sugeridos para dimensionamento e sendo necessária a verificação da carga de sólidos (Metcalf & Eddy 1922, 1930 citado por Dick, 2014).

Para não perder sólidos no efluente, um DS não deve estar sobrecarregado em termos de clarificação e compactação das lamas, devendo atender aos seguintes critérios (Sperling, 2016b):

- não sobrecarregado em termos de clarificação: a  $C_H$  não deve exceder a velocidade de sedimentação das lamas; e
- não sobrecarregado em termos de compactação: o fluxo de sólidos aplicado não deve exceder o fluxo de sólido limite.

Como já referido, a  $C_H$  e a  $C_S$  fazem parte dos parâmetros utilizados na análise de DS. Ambos os parâmetros determinam as características do floco do LM e a quantidade de sólidos dispersos não capturados nas partículas de floco durante a etapa de sedimentação. Outros aspetos que também devem ser considerados no DS são: formato do tanque, nível de líquido, distribuição de caudal, projeto da alimentação, localização do descarregador de saída e taxas de aplicação e remoção de espuma (Metcalf & Eddy, 2016).

Os valores mínimos e recomendados para a profundidade da parede lateral do DS circular, em relação ao diâmetro do tanque, estão apresentados no Quadro 3.11.

Quadro 3.11 - Valores mínimos e recomendados para a profundidade da parede lateral de decantadores secundários circulares

Adaptado WEF/ASCE (1992) citado por Sperling (2016a)

DIÂMETRO DO TANQUE (m)	PROFUNDIDADE LATERAL (m)	
	MÍNIMO	RECOMENDADO
< 12	3,0	3,3
12 – 20	3,3	3,6
20 – 30	3,6	3,9
30 – 40	3,9	4,2
> 40	4,2	4,5

Conforme Maltos *et al.* (2020), a implantação de um seletor hidráulico pode trazer melhorias na sedimentação das lamas nos DS, sendo definido como remoção seletiva de flocos indesejados de um reator biológico por meio de forças hidrodinâmicas, ajustando para um melhor desempenho do DS com a eliminação de sólidos com propriedades de assentamentos pobres.

O projetista deve realizar os seguintes procedimentos para elaborar o dimensionamento de DS (CPHEEO & JICA, 2013):

- definir a  $C_H$  para o  $Q_{MÉD}$  e determinar a área de superfície (ver Quadro 3.12);
- escolher a  $C_H$  para o  $Q_{PTA}$  e determinar a área de superfície (ver Quadro 3.12);
- seleccionar a  $C_S$  para o  $Q_{MÉD}$  e decidir a área superficial (ver Quadro 3.13);
- definir a  $C_S$  para o  $Q_{PTA}$  e chegar à área superficial (ver Quadro 3.13);
- escolher o maior dos quatro valores acima e decidir o diâmetro; e
- seleccionar uma profundidade lateral compatível (ver Quadro 3.11).

### **3.6.2.2. Carga hidráulica**

Assim como no decantador primário, a  $C_H$  no decantador secundário pode ser calculada através do  $Q_{AF}$  ou do  $Q_{EF}$ . Quando o seu cálculo tem como base o  $Q_{AF}$ , deve ser considerado os caudais afluentes ao DS, ao invés do caudal do LM, sendo indicado utilizar o caudal de ponta horário (Metcalf & Eddy, 2016). O dimensionamento com o  $Q_{EF}$  no DS é representado com o  $Q_{AF}$  menos o caudal de recirculação ( $Q_R$ ) e o caudal de lamas purgadas no DS ( $Q_W$ ). Como o  $Q_{EF}$  é menor do que o  $Q_{AF}$ , a área superficial do DS resulta em valores menores nos tanques calculados a partir do  $Q_{EF}$  do que as unidades dimensionadas com o  $Q_{AF}$ .

Os flocos e partículas pequenas, com velocidade de sedimentação menor que a  $C_H$ , serão arrastadas com o efluente clarificado, enquanto os flocos e partículas maiores, com velocidade de sedimentação maior que a  $C_H$ , serão separadas do líquido por sedimentação gravitacional (Davis, 2010).

Os valores das cargas hidráulicas segundo algumas referências tradicionais são apresentados no Quadro 3.12.

Quadro 3.12 - Cargas hidráulicas para decantadores secundários

	PROLONGADO (BAIXA CARGA)		CONVENCIONAL (MÉDIA CARGA)		REFERÊNCIAS
	$Q_{MÉD}$	$Q_{PTA}$	$Q_{MÉD}$	$Q_{PTA}$	
$C_H$ ( $m^3/m^2.d$ )	8 - 16	24 - 32	16 - 28	36 - 56	Metcalf & Eddy (2016)
	-	-	16 - 32	40 - 48	Qasim, 1999*
			16 - 28	41 - 65	WEF, 1998**
	$8 \leq$	-	$16 \leq$	-	NBR 12209 (2011)
	8 - 15	25 - 35	15 - 35	40 - 50	CPHEEO & JICA (2013)

\* citado por Sperling (2016a).

\*\* citado por Wilson *et al.* (2005).

De acordo com Wilson *et al.* (2005), é possível operar um DS nas faixas superiores de  $C_H$  indicadas sem encontrar problemas, essas taxas máximas não causam dificuldades operacionais. Caso contrário, quando a operação do clarificador final acontece nas faixas médias de  $C_H$  sugeridas ou nas gamas inferiores, é encontrado problemas de arrastamento de sólidos no efluente.

Apesar de ser comumente utilizado como parâmetro de dimensionamento, a  $C_H$  tem pouco efeito ou quase nenhum efeito sobre a qualidade do efluente. Considerando-se uma ampla faixa de valores da  $C_H$ , o funcionamento do DS pode funcionar até valores de  $82 m^3/(m^2.d)$  para a carga hidráulica sem causar problemas operacionais. O estudo pode ser baseado na carga de sólidos, apresentada a seguir, pois é considerada um parâmetro limitante que afeta a concentração do efluente (Parker *et al.*, 2001 citado por Metcalf & Eddy, 2016).

### **3.6.2.3. Carga de sólidos**

A medida que essas partículas continuam sedimentando elas unem-se criando uma camada espessa, denominado manto de lamas, causando adensamento no fundo do tanque. Se o

adensamento ocorrer com velocidades baixas, a quantidade de sólidos que pode ser aplicada por unidade de área do DS é limitada. A carga de sólidos ( $C_S$ ) é utilizada para incluir a limitação de adensamento da manta de lamas no fundo do decantador, sendo definida pela Expressão 29 (Metcalf & Eddy, 2016).

$$C_S = \frac{(Q + Q_R) \times SSLM}{A} = (1 + R) \times (C_H) \times (SSLM) \quad (29)$$

Em que:

$C_S$  - carga de sólidos (kg SST/m<sup>2</sup>.h);

$Q$  - caudal afluente ao sistema secundário (m<sup>3</sup>/h);

$Q_R$  – caudal de retorno de LA (m<sup>3</sup>/h);

SSLM – concentração de sólidos suspensos no licor listo que entra no DS (g/m<sup>3</sup>);

$A$  – área superficial do decantador (m<sup>2</sup>); e

$R$  – taxa de recirculação de lamas ( $Q_R/Q$ ).

Segundo Sperling (2016a), a capacidade de remoção de partículas está relacionada com a  $C_H$  e a de adensamento de lamas com a  $C_S$ . Se as propriedades de adensamento das lamas se danificarem, a  $C_S$  e a concentração de SSLM devem ser reduzidas. O importante é que a  $C_S$  não seja superior ao fluxo limite de sólidos, podendo, em muitos casos, ser igual ao fluxo limite de sólidos. A lista dos valores típicos da  $C_S$  para dimensionamento de DS utilizados no processo de LA é apresentado no Quadro 3.13.

Quadro 3.13 - Gamas típicas para carga de sólidos para DS

	PROLONGADO (BAIXA CARGA)		CONVENCIONAL (MÉDIA CARGA)		REFERÊNCIAS
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	
<b>C<sub>S</sub> (kg/m<sup>2</sup>.h)</b>	1 - 5	8	4 - 6	10	Metcalf & Eddy (2016)
	-	-	2 - 6	4,2 – 9,2	Qasim, 1999*
	≤ 5	-	≤ 6		NBR 12209 (2011)
	1 - 5	7	3 - 6	8,75	CPHEEO & JICA (2013)

\* citado por Sperling (2016a).

#### **3.6.2.4. Carga hidráulica sobre os descarregadores**

De acordo com Metcalf & Eddy (2016), a carga hidráulica sobre os descarregadores ( $C_{HDESC}$ ), que corresponde ao caudal descarregado por metro linear do descarregador e se exprime em  $m^3/(m.d)$ . A  $C_{HDESC}$  tem maior importância no projeto e operação do DS do que em DP. Em geral, a  $C_{HDESC}$  tem pequena influência na eficiência de DP e não é necessário ser considerada na revisão e calibração do DP. Tanto para o DP como para o DS a  $C_{HDESC}$  sugerida compreende entre 125 – 500  $m^3/(m.d)$ , sendo o valor típico de 250  $m^3/(m.d)$ .

### **3.7. Requisitos de operação e manutenção**

Segundo Olsson & Yuan (2014), desde o início de operação do sistema de LA foi percebido que o controlo e a automação pareciam essenciais, devido às grandes variações de caudais e cargas ao longo do dia. No início realizavam-se apenas medição de OD, CQO e SST. Posteriormente surgiu a automação do processo com a ajuda de computadores, com o intuito de proporcionar os principais benefícios: manter a ETAR em funcionamento, atender aos requisitos do efluente e maximizar a eficiência de remoção.

De maneira a visar a otimização de uma ETAR, foi desenvolvido o processo de controlo em linha (*online*). Como as ETAR possuem volume fixo, grandes fatores de segurança são aplicados na fase de projeto para garantir a qualidade do efluente dentro das normas de descarga. Ao introduzir o controlo *online*, o processo de tratamento de AR pode-se adaptar dinamicamente às condições variáveis do afluente. Esta tecnologia está mais associada a ARI, pois possuem um alto grau de variabilidade na composição, mas também já é utilizada para ARU e ARD (Canziani *et al.*, 2014).

Uma das principais ferramentas utilizadas para o arranque, operação e manutenção (O&M) é o manual de O&M. Os desafios que o engenheiro projetista e o operador da ETAR devem enfrentar, relacionados com o arranque e a O&M, são (Metcalf & Eddy, 2016):

- prover a O&M da ETAR de maneira a manter, consistentemente, os requerimentos de desempenho;
- gerir os custos de O&M dentro dos níveis de desempenho requeridos;
- efetuar a manutenção dos equipamentos para garantir operação e serviços adequados; e
- formar e treinar a equipa de operação.

Para Sperling (2016b), o controlo de uma ETAR operando em condições reais é mais importante que conhecer os valores dos transientes dinâmicos. A operação do sistema requer acompanhamento de laboratório a fim de verificar os parâmetros cinéticos e as características biológicas e de sedimentabilidade das lamas.

Segundo Metcalf & Eddy (2016), as principais abordagens para manter o controlo do processo são: manter o  $T_{RS}$  definido, manter a concentração de oxigénio no reator biológico e ajustar o caudal de recirculação de lamas. Para manter o  $T_{RS}$  adequado, o excesso de lamas produzidas diariamente deve ser purgado. O controlo da concentração do OD é garantido por ajustes nos arejadores, para atender as faixas de mudanças de caudais e cargas. No controlo de recirculação de lamas é necessário prever um sistema com capacidade suficiente de bombeamento e um DS com profundidade adequada.

É importante identificar as variáveis envolvidas no processo para realizar o controle operacional, sendo possível identificar quatro tipos (Sperling, 2016a):

- variáveis de entrada: aquelas que forçam o sistema e que não podem ser diretamente controladas na maior parte das ETAR, como exemplos: caudais, CBO, SST e NTK;
- variáveis de controlo (variáveis de estado e/ou de saída): incluem o SSLM, OD e nível de manto de lamas e as variáveis de saída, como CBO, SST e N efluentes;
- variáveis medidas (variáveis de entrada e/ou de controlo): variáveis que fornecem informação para a definição da ação de controlo; e
- variáveis manipuladas: aquelas que são alteradas de forma a garantir as variáveis de controlo no nível desejado, as principais são: nível de arejamento (coeficiente de transferência de oxigénio –  $K_{LA}$ ), caudal de recirculação das lamas ( $Q_R$ ) e caudal de purga das lamas ( $Q_W$ ).

As variáveis que são envolvidas no controle operacional do sistema de LA são apresentadas na Figura 3.6.

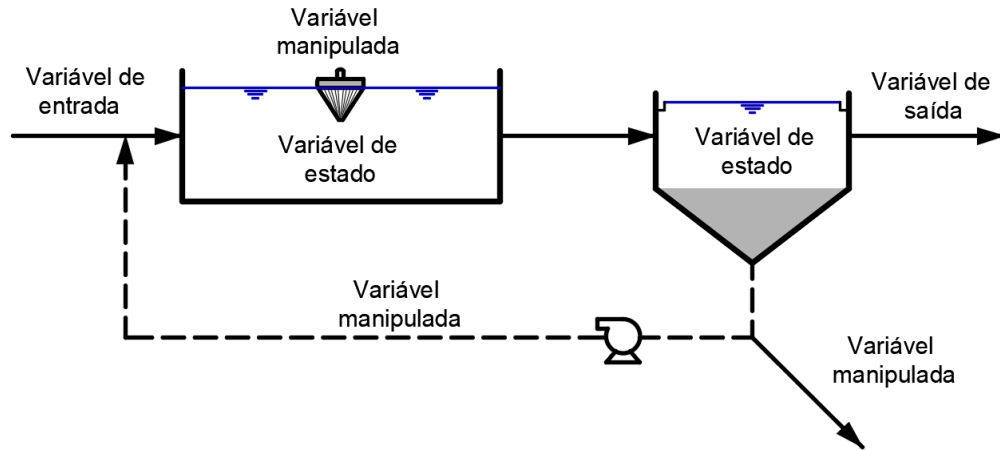


Figura 3.6 - Variáveis envolvidas no controlo do processo de LA

Adaptado de Sperling (2016a)

Ao conhecer as variáveis do sistema de LA podem-se aplicar algoritmos para auxílio no controlo operacional do processo, sendo os mais comuns (Sperling, 2016a):

- reativo: mede a variável de saída e toma uma ação corretiva com base no desvio com relação ao ponto de operação (*set point*), ex: controlo de OD.
- antecipativo: no qual as ações corretivas são baseadas na medição das variáveis de entrada e, através de um modelo dinâmico do sistema, as variáveis de controlo e os desvios do ponto de operação são estimados, conduzindo finalmente ao ajuste das variáveis manipuladas, ex: controlo de SSLM através da manipulação do caudal de purga das lamas.

Conforme Jordão & Pessôa (2014), podem-se verificar alguns problemas de operação no sistema de arejamento com as seguintes observações:

- Sistema de ar difuso:
  - verificação da ocorrência de focos ou área sem agitação na superfície do líquido: provável ocorrência de entupimento de alguns domos porosos ou a distribuição do ar nos difusores não está uniforme. A correção deve ser feita no ajuste das válvulas de controlo da distribuição de ar ou os difusores devem ser verificados.
  - verificação da ocorrência de bolhas grossas localizadas na superfície do líquido: alguns domos do sistema de apoio do fundo devem ter desprendido, sendo necessário ter acesso aos domos para realizar a correção.

- verificação da ocorrência de agitação excessiva e desigual na superfície do líquido: deverá ser reajustado o controle do caudal dos compressores e/ou da rede de distribuição de ar.
- Sistema de arejamento superficial:
  - ocorrência de amplitude de nível com submergências cíclicas, forçando o motor de forma intermitente: verificar a imersão do sistema e ajustar a crista do descarregador de saída.

A importância do controlo dos sólidos pode ser entendida como o  $Q_w$  que controla a massa total de SS no sistema e  $Q_R$  que controla o balanço entre a massa de SS no reator biológico e no DS. As estratégias mais comuns utilizadas para a manipulação de  $Q_R$  e para o controlo do  $Q_w$  são (Sperling, 2016a):

- $Q_R$  constante: Método bastante simples que pode corresponder a uma estratégia de não controlo. Geralmente adota-se o caudal de recirculação maior que o necessário para atender aos caudais de ponta.
- $Q_R$  proporcional ao caudal afluyente: Também é um método bastante simples. Essa estratégia reduz a quantidade total de lamas a ser bombeada e proporciona um melhor balanceamento das cargas nos decantadores.
- $Q_R$  em função do IVL: Os testes não são normalmente feitos *online* e as modificações são efetuadas com base na experiência do operador.
- $Q_R$  em função da manta de lamas nos DS: Oferece a maior garantia contra a perda de sólidos no efluente final. Caso o manto de lamas atinga altura elevada no decantador, o sensor instalado nesta posição deteta-o, enviando um comando que aumenta o  $Q_R$ . Este comando pode ser feito de forma automática ou manual.
- controlo de SSLM (SSLM constante): Para o seu controlo utiliza-se mais frequentemente a manipulação do  $Q_w$ , embora também possa ser utilizado o  $Q_R$ ;
- controlo de carga de lamas (razão F/M constante). O objetivo é garantir uma remoção de substrato uniforme; e
- controlo de idade das lamas: existem dois métodos clássicos de controlar a idade das lamas constante: a purga dos sólidos da linha de recirculação de lamas e remoção dos sólidos do TA ou do seu efluente (controlo hidráulico).

De acordo com Davis (2010), os principais problemas operacionais dos sistemas de LA são os chamados de *bulking*, ascensão de lamas e a formação de escumas, que formam efluente com excessiva concentração de SS e conseqüentemente baixa qualidade. O *bulking* é a quantidade excessiva de microrganismos filamentosos nos flocos biológicos, apresentando dificuldade de sedimentação. As causas podem ser diversas, devido a deficiências operacionais e composição das AR.

A ascensão de lamas à superfície do reator biológico difere do problema de *bulking* pela presença de bolhas gasosas presas nos flocos. Esse problema é mais comum em reatores com baixa idade das lamas, quando ocorre a desnitrificação no TA, em que nitratos e nitritos são convertidos em azoto molecular ( $N_2$ ), que fica retido na biomassa e a faz flutuar. Este fenómeno também pode ocorrer em condições anaeróbias, com baixa purga de lamas em excesso ou de elevado  $T_{RH}$  nos decantadores. A solução é aumentar o caudal de purga das lamas, aumentar a velocidade da raspagem do fundo do decantador e/ou reduzir a idade das lamas (Henze *et al.*, 2008).

De acordo com Metcalf & Eddy (2003), a formação de escumas dá origem a uma camada à superfície do reator biológico com altura de 0,5 a 1,0 m, provocadas por alguns espécies de bactérias filamentosas (*Nocardia* e *Microthrix parvicella*). Podem surgir mais intensas com o arejamento por ar difuso de bolha fina, como também em reatores de remoção de azoto. Para prevenir deve realizar-se a remoção de óleos e gorduras na ARB, por meio de tratamento separativo (caixa de gordura) nas unidades de contribuição, evitar descarregar as escumas do DP no reator biológico e introduzir os biosseletores nos sistemas podem ajudar. Outra solução é aplicar um desinfetante clorado para inativação das bactérias filamentosas.

Como na ETAR acontece o método dinâmico, a ação corretiva levará algum tempo para produzir a resposta, portanto é importante conhecer as escalas de tempo para realizar as mudanças necessárias no processo. A escala de tempo influencia o desenho da estratégia de controle. Uma maneira de expressar isso é fornecer a quantidade certa de ar ou adicionar a quantidade correta de produtos químicos, ou mover as lamas para o local certo para combinar com a carga de substrato, no momento correto (Olsson & Yuan, 2014).

A lista das escalas de tempos típicas em sistema de LA é apresentada no Quadro 3.14.

Quadro 3.14 - Escalas de tempos típicas para realizar mudanças necessárias no processo de LA

Adaptado de Olsson & Yuan (2014)

ESCALAS DE TEMPOS TÍPICAS PARA AÇÃO CORRETIVA NO PROCESSO		
RÁPIDA (min – h)	MÉDIA (h – d)	LENTA (d – meses)
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hidráulica e dinâmica de fluxo</li> <li>– Transferência de massa de oxigénio</li> <li>– Precipitação química</li> <li>– Dinâmica de concentração de OD</li> <li>– Separação sólidos-líquidos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dinâmica de concentração</li> <li>– Remoção de nutrientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Crescimento da biomassa</li> </ul>



## **4. Modelação matemática**

### **4.1. Introdução aos modelos matemáticos**

Segundo Aral (2010), o objetivo da construção de modelos matemáticos é utilizar ferramentas para observar, analisar, sintetizar e racionalizar o comportamento do sistema ambiental sob condições controladas. As três principais ferramentas científicas para avaliar as transformações e processos no ambiente são: observações diretas no campo, estudos laboratoriais e modelação matemática. Os estudos de campo e laboratoriais são úteis principalmente no início de pesquisa para reconhecer e entender o problema, podem receber o apoio de aparelhos eletrônicos e ser automatizados com os computadores ou podem ser feitas manualmente. A modelação matemática é adequada para resolver os problemas e manter o controlo do sistema para alcançar os objetivos, sendo realizada com o uso obrigatório de computadores, utilizando os programas de modelação.

De acordo com Sarmiento (2020a), as principais vantagens do uso de um computador para fins de realizar cálculos são a velocidade inigualável na obtenção dos resultados e imunidade aos erros comuns que acontecem aos humanos após roteiros de cálculos matemáticos longos. A execução de um modelo bem escrito e elaborado traz informações rápidas e fiáveis, sobre as quais o profissional realiza as análises intelectivas de maneira que nenhuma máquina é capaz de fazer.

Na validação de um modelo, as informações de entrada (*input*) definidas pelo projetista são de extrema importância para qualificar o trabalho. A forma mais simples de calibrar um modelo é através de tentativas e erros, alterando os parâmetros do modelo com o objetivo de ajustar os resultados, sendo que um modelo calibrado por um utilizador com uma compreensão particular de sua função pode ser muito diferente de outro modelo (Wainwright & Mark, 2013).

### **4.2. Modelos aplicados às lamas ativadas**

Segundo Sperling (2016a), a modelação computacional de LA tem um estudo avançado na série dos modelos da International Water Association (IWA), conhecidos como ASM1, ASM2, ASM2d e ASM3 – Activated Sludge Models 1, 2, 2d e 3 (Modelos de Lamas Ativadas 1, 2, 2d e 3). Com a aplicação desses modelos pode-se simular a remoção de matéria orgânica e nutrientes (N e P).

O primeiro modelo criado pelo grupo da International Association on Water Pollution Research and Control (IAWPRC, antigo nome da agora IWA), ASM1, compõem fenômenos como a oxidação de carbono, nitrificação e desnitrificação, com o objetivo de fornecer uma plataforma simples para engenheiros projetar e otimizar os processos de LA. O exemplo ASM3 está relacionado ao ASM1 e corrige algumas imprecisões incorporados no primeiro modelo, incluindo o armazenamento de substratos orgânicos como um novo processo. O modelo ASM2 foi desenvolvido para a remoção de P e permite simular os sistemas de LA para remoção de nutrientes. O modelo ASM2d é baseado no ASM2, sendo ampliado para incluir a atividade desnitrificante dos organismos acumuladores de P, apresentando remoção biológica do P com nitrificação-desnitrificação (Gujer *et al.*, 1995, 1999; Henze *et al.*, 1987, 1999).

O resumo das principais características dos modelos ASM1, ASM2, ASM2d e ASM3 estão listadas no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Visão geral dos modelos matemáticos ASM1, ASM2, ASM2d e ASM3

Adaptado de Gernaey *et al.* (2004)

MODELO	NITRIFICAÇÃO	DESNITRIFICAÇÃO	REMOÇÃO QUÍMICA DO P	REAÇÕES	VARIÁVEIS DE ESTADO
ASM1	X	X	-	8	13
ASM2	X	X	X	19	19
ASM2d	X	X	X	19	19
ASM3	X	X	-	13	13

A principal diferença entre ASM1 e ASM3 é o reconhecimento da importância dos polímeros de armazenamento nas conversões heterotróficas nos processos de LA. O armazenamento aeróbico do processo no ASM3 descreve o armazenamento do substrato prontamente biodegradável numa célula interna. Essa abordagem requer que a biomassa seja modelada com estrutura interna celular semelhante ao ASM2 (Petersen, 2000).

Segundo Hauduc *et al.* (2009), a utilização de um modelo computacional do processo de LA tem como principais objetivos a otimização (operação e controlo diário da planta), projeção e previsão de operações futuras. Entre os modelos de ASM existentes, o ASM1 é o mais utilizado na Europa e nos Estados Unidos, principalmente em empresas privadas, Universidades ou centros de pesquisas.

Existem muitos programas que permitem realizar simulações dos vários níveis de tratamento de ETAR, como por exemplo SIMBA, AQUASIM, BIOWIN, EFOR, WEST, EnviroSim e GPS-X, facilitando os cálculos e permitindo a rápida modelação dos sistemas de tratamento de AR.

O GPS-X, da empresa Hydromantis Environmental Software Solutions, Inc (Canadá), é um programa que realiza simulações deste tema. Desempenha a modelação matemática, controlo, optimização e gerenciamento de ETAR, trabalha como ferramenta de análise de sensibilidade, controladores avançados, gerenciador de cenários e análise de estatísticas. O programa possui dados desde o nível de tratamento preliminar até ao terciário (Hydromantis, 2010).

A IWA criou um Grupo de Boas Práticas de Modelação (GPM) descrito na terminologia inglesa como *Group on Good Modelling Practice* com o objetivo de padronizar o método de modelação dos ASM, criando uma modelação mais direta e conduzindo a um melhor controlo de qualidade. O protocolo consiste em cinco etapas que propõe diretrizes estruturadas em torno de conceitos: definição de projeto, recolha de dados e reconciliação, configuração das fileira de tratamento, calibração e validação e simulação e interpretação dos resultados (Rieger *et al.*, 2012).

A introdução do modelo ASM1 facilitou a transferência de conhecimento entre os pesquisadores, em que estimulou a modelação dinâmica em ETAR. O seu uso visa principalmente a optimização e operação das unidades de tratamento de AR, melhorando a qualidade dos efluentes tratados e reduzindo os custos. O ASM1 é composto apenas para condições aeróbias (Henze *et al.*, 2008).

O modelo ASM1 permite modelar o sistema de LA para a oxidação do carbono (C), nitrificação e desnitrificação, sendo representado em forma de matriz (Henze *et al.*, 1987). A CQO é selecionada como o parâmetro mais adequado para definir os substratos de C, sendo subdividida com base em: solubilidade, biodegradabilidade, taxa de biodegradação e viabilidade (biomassa). Em semelhança ao substrato, o N-total também recebe a mesma subdivisão. A matriz do modelo ASM1 e as subdivisões da CQO e N são apresentadas no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Processos cinéticos e estequiométricos para oxidação do carbono, nitrificação e desnitrificação sugeridos no modelo ASM1  
Adaptado de Henze *et al.* (1987)

Componente (i) → Processo (j)↓	1 S I	2 S <sub>S</sub>	3 X I	4 X <sub>S</sub>	5 X <sub>B</sub> H	6 X <sub>B</sub> A	7 X P	8 S <sub>O</sub>	9 S <sub>NO</sub>	10 S <sub>NH</sub>	11 S <sub>N</sub> D	12 X <sub>ND</sub>	13 S <sub>ALK</sub>	Taxa de processos (ρ <sub>j</sub> )
1 Crescimento aeróbico da biomassa heterotrófica		$-\frac{1}{Y_H}$			1			$-\frac{1 - Y_H}{Y_H}$		$-i_{XB}$			$-\frac{i_{XB}}{14}$	$\mu_H \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left( \frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) X_{BH}$
2 Crescimento anóxico da biomassa heterotrófica		$-\frac{1}{Y_H}$			1			$-\frac{1 - Y_H}{2,86Y_H}$	$-i_{XB}$				$\frac{1 - Y_H}{14,286Y_H}$ $-\frac{i_{XB}}{14}$	$\mu_H \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left( \frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} \right) \left( \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \eta_g X_{BH}$
3 Crescimento aeróbico da biomassa autotrófica						1		$-\frac{4,57 - Y_A}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$	$-\frac{i_{XB}}{Y_A}$			$-\frac{1}{7Y_A}$ $-\frac{i_{XB}}{14}$	$\mu_A \left( \frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left( \frac{S_O}{K_{OA} + S_O} \right) X_{BA}$
4 Decaimento da biomassa heterotrófica				$1 - f_P$	-1		$f_P$					$i_{XB} - f_P i_{XB}$		$b_H X_{BH}$
5 Decaimento da biomassa autotrófica				$1 - f_P$		-1	$f_P$					$i_{XB} - f_P i_{XB}$		$b_A X_{BA}$
6 Amonificação do N orgânico solúvel										1	-1		$\frac{1}{14}$	$k_a S_{ND} X_{BH}$
7 Hidrólise do substrato lentamente biodegradável		1		-1										$k_h \frac{X_S}{X_{BH}} \left[ \left( \frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) + \eta_h \left( \frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} \right) \left( \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \right] X_B$
8 Hidrólise do N orgânico											1	-1		$\rho_7 \left( \frac{X_{ND}}{X_S} \right)$

A descrição e a nomenclatura dos componentes do modelo matemático, localizados na parte superior da matriz, formando as colunas da matriz, estão apresentados no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Nomenclatura e descrição dos componentes importantes na estrutura da matriz do modelo ASM1

Adaptado de Henze *et al.* (1987)

SÍMBOLO	NOMENCLATURA	DESCRIÇÃO
$S_I$	Substrato inerte	Não possui coeficiente, porém contribui para a CQO do efluente
$S_S$	Substrato facilmente biodegradável,	É removido pelo crescimento de bactérias heterotróficas sob condições aeróbicas ou anóxicas e é formado pela hidrólise da matéria orgânica particulada presa no floco
$X_I$	Matéria orgânica suspensa inerte,	não possui coeficiente, porém torna-se parte dos SSV
$X_S$	Matéria orgânica lentamente biodegradável	É removido por hidrólise, mas é formado por decomposição da biomassa heterotrófica. A sua deterioração resulta na transformação do material celular em substrato lentamente biodegradável.
$X_{BH}$	Biomassa heterotrófica	O seu crescimento depende de condições anóxicas ou aeróbicas e é destruída pelo seu decaimento
$X_{BA}$	Biomassa autotrófica	O seu crescimento acontece apenas em condições aeróbicas e são destruídos pelo seu decaimento
$X_P$	Produtos particulados	Resultantes do decaimento da biomassa. É formado por decomposição da biomassa heterotrófica e autotrófica, mas não é destruído. Esse componente explica que nem toda a biomassa está ativa no sistema
$S_O$	Concentração de oxigénio dissolvido	Está associada apenas ao crescimento aeróbico da biomassa heterotrófica e autotrófica
$S_{NO}$	Nitrato solúvel	Produzido pelo crescimento aeróbico das bactérias autotróficas e removido durante o crescimento anóxico da biomassa heterotrófica
$S_{NH}$	Azoto amoniacal solúvel	É formado pela amonificação do azoto orgânico biodegradável e removido pelo crescimento da biomassa
$S_{ND}$	Azoto orgânico biodegradável solúvel	Formado por hidrólise de azoto orgânico particulado e convertido em azoto amoniacal por amonificação
$X_{ND}$	Azoto orgânico lentamente biodegradável	É gerado a partir da decomposição da biomassa heterotrófica e autotrófica menos a quantidade associada aos produtos particulados, e é decaído por amonificação
$S_{ALK}$	Alcalinidade total	Fornecer previsões de alterações indevidas no pH

As linhas da matriz representam os parâmetros cinéticos e estequiométricos do modelo, a classificação de cada parâmetro e sua respetiva nomenclatura estão apresentadas no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 - Parâmetros dos processos cinéticos e estequiométricos apresentados na matriz do modelo ASM1

Adaptado de Henze *et al.* (1987)

PARÂMETRO	SÍMBOLO	NOMENCLATURA
<b>Estequiométricos</b>	$Y_H$	Rendimento heterotrófico
	$Y_A$	Rendimento autotrófico
	$f_P$	Fração de biomassa que produz produtos de partículas
	$i_{XP}$	Massa N / Massa de CQO em produtos de biomassa
<b>Cinéticos</b>	$\mu_H$	Crescimento e decaimento heterotrófico
	$K_S$	
	$K_{OH}$	
	$K_{NO}$	
	$b_H$	
	$\mu_A$	Crescimento e decaimento autotrófico
	$K_{NH}$	
	$K_{NA}$	
	$b_A$	
	$\eta_g$	Fator de correção para crescimento anóxico de heterotróficos
	$k_a$	Amonificação
	$k_h$	Hidrólise
	$K_X$	
	$\eta_h$	Fator de correção para hidrólise anóxica

Basicamente, há quatro principais processos no ASM1 (Petersen *et al.*, 2003):

- crescimento de biomassa:
  - aeróbico da biomassa heterotrófica: acontece pela degradação do substrato prontamente biodegradável sob o consumo de oxigénio, a concentração de tais substâncias podem limitar a taxa para o processo de crescimento.
  - anóxico da biomassa heterotrófica (desnitrificação): os organismos são capazes de usar o nitrato como aceitador de elétron terminal com substrato prontamente biodegradável, resultando em crescimento da biomassa e gás azoto.
  - aeróbico da biomassa autotrófica (nitrificação): o azoto amoniacal é oxidado em nitrato, resultando na produção de biomassa autotrófica. A nitrificação tem um efeito considerável sobre a alcalinidade.
- decaimento da biomassa: o processo é semelhante tanto para biomassa heterotrófica quanto para a autotrófica. Uma fração deste processo é descrito pela respiração endógena, sendo que neste conceito, o oxigénio não está diretamente associado à deterioração microbiana,

resultando em um coeficiente maior para o decaimento da biomassa em comparação a respiração endógena.

- amonificação do azoto orgânico: O azoto orgânico solúvel biodegradável é convertido em azoto amoniacal em uma primeira ordem processo. Os iões hidrogênio consumidos nesse processo de conversão resultam em uma alteração na alcalinidade.
- hidrólise de material orgânico particulado: descreve a decomposição dos substratos lentamente biodegradáveis, produzindo substratos facilmente biodegradáveis

O modelo apresenta algumas restrições para a sua execução (Henze *et al.*, 1987):

- o sistema deve operar com a temperatura constante.
- o pH é constante e quase neutro.
- nenhuma consideração foi dada a alterações na natureza da matéria orgânica em qualquer fração de AR (por exemplo, o substrato facilmente biodegradável). Portanto, os parâmetros nas expressões de taxas foram assumidos como tendo valores constantes. Isso significa que apenas as cargas de entrada da AR podem ser manipuladas, enquanto mudanças na AR efluente não podem.
- os efeitos das limitações de N, P e outros nutrientes inorgânicos na remoção de substrato orgânico e no crescimento celular não foram considerados.
- os fatores de correção para desnitrificação são fixos e constantes para uma dada AR. É possível que seus valores sejam influenciados pela configuração do sistema, mas isso não é considerado.
- presume-se que os coeficientes de nitrificação sejam constantes e incorporem quaisquer efeitos inibitórios que outros constituintes de resíduos possam ter sobre eles.
- a biomassa heterotrófica é homogênea e não sofre alterações na diversidade de espécies com o tempo. Esta suposição é inerente à suposição de parâmetros cinéticos constantes. Isso também significa que os efeitos dos gradientes de concentração do substrato, da configuração do reator e na capacidade de sedimentação de lamas não são considerados.
- presume-se que o aprisionamento de matéria orgânica particulada na biomassa é instantâneo.
- a hidrólise da matéria orgânica e do azoto orgânico são acoplados e ocorrem simultaneamente com taxas iguais.

- o tipo de aceitador de elétron presente não afeta a perda de biomassa ativa por decaimento.
- o tipo de aceitador de elétron não afeta o coeficiente de rendimento heterotrófico.
- o ASM1 é desenvolvido para simulação de tratamento de ARU e, portanto, não é aconselhado a aplicar o modelo a sistemas em que as contribuições de ARI.
- o ASM1 não foi projetado para lidar com sistemas de LA de alta carga, muito alta carga ou com pequeno  $T_{RS}$  (inferior a um dia).

### 4.3. Modelos aplicados aos decantadores

Para os decantadores circulares, o programa GPS-X considera quatro formas: fundo plano, fundo inclinado, cônico e cunha circular (Figura 4.1) (Hydromantis, 2010).

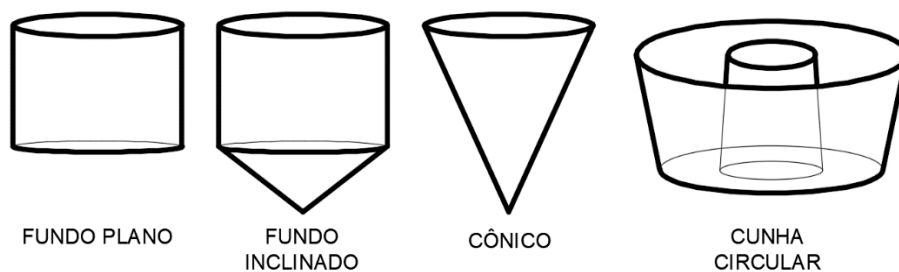


Figura 4.1 - Formatos de decantadores circulares propostos no programa GPS-X

Adaptado de Hydromantis (2010)

Os modelos de cálculos para o DP e DS propostos pelo GPS-X são unidimensionais e classificados em reativos (mantis, ASM1, ASM2d, ASM3 e new general) e não reativos (simple1d). O modelo reativo é indicado para a simulação dos DS, onde se tem biomassa com crescimento suspenso (como o processo de LA), pois são inclusas reações biológicas. O processo não reativo é utilizado para o DP. O modelo unidimensional é dividido em um número padronizado de dez camadas de espessuras iguais, em que as seguintes suposições são feitas (Hydromantis, 2019):

- os sólidos de entrada são distribuídos instantaneamente e uniformemente em toda a área da secção transversal da camada de alimentação; e
- somente o fluxo vertical é considerado.

Segundo Hydromantis (2019), os modelos realizam um balanço de massas ao redor de cada camada que proporcionam a simulação do perfil de sólidos ao longo da coluna de sedimentação

sob condições estacionárias e estado dinâmico. No decantador, existem camadas diferentes que são resultantes do seu ponto de alimentação.

Apresenta-se o fluxo no tanque e as camadas para a modelação no modelo unidimensional (Figura 4.2) e o balanço de sólidos sobre as camadas do decantador é mostrado na Figura 4.3.

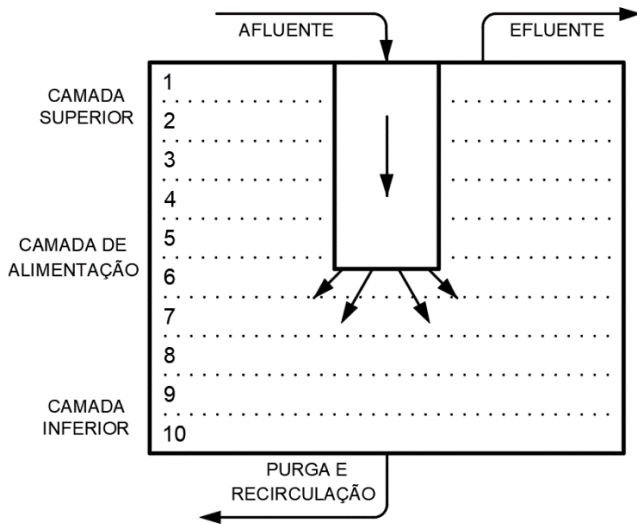


Figura 4.2 - Modelo de sedimentação unidimensional  
Adaptado de Hydromantis (2019)

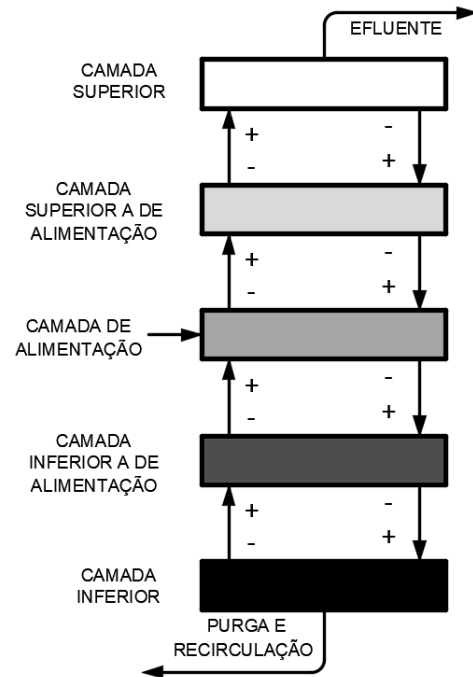


Figura 4.3 - Balanço de sólidos sobre as camadas do decantador

Adaptado de Hydromantis (2019)

O dimensionamento dos DP está considerado o modelo não reativo simple 1d, enquanto os DS seguem o modelo utilizado para o TA, o ASM1. O resumo das características afluente e efluente da modelação dos decantadores no GPS-X está apresentado no Quadro 4.5.

Quadro 4.5 - Resumo das características de entrada e saída do modelo de sedimentação

Adaptado de Hydromantis (2019)

CAMADA	ENTRADA			SAÍDA	
	ALIMENTAÇÃO	AJUSTE	FLUXO DA MASSA LÍQUIDA	AJUSTE	FLUXO DA MASSA LÍQUIDA
Superior	-	-	Sobe	+	Sobe
Superior a alimentação	-	+	Sobe	+	Sobe
Alimentação	+	+	-	+	Sobe-desce
Inferior a alimentação	-	+	Desce	+	Desce
Inferior	-	+	desce	-	Desce

+ = fenómeno considerado;

- = fenómeno não considerado.

#### 4.4. Simulação do modelo

Para Liwarska-Bizukojc *et al.* (2011), a calibração é realizada alterando os valores dos parâmetros do modelo e enquadrando os resultados obtidos de acordo com os valores desejados. Na validação, os resultados das simulações são comparados com um conjunto independente de observações.

De acordo com Petersen *et al.* (2003), a estimativa dos parâmetros para validação de projeto consiste em determinar os valores ideais de um modelo com a ajuda de dados fornecidos. A calibração do modelo da ASM1 é baseada em procedimento sequenciais, alterando apenas alguns dos muitos parâmetros em vez de aplicar uma rotina automática de otimização matemática.

As soluções de engenharia atraem a responsabilidade de exibir máxima racionalidade, traduzida pela otimização com que os engenheiros devem harmonizar a segurança com a economia. A falta de aprimorar um sistema levaria ao desastre ou ao desperdício, podendo comprometer as condições de segurança por excesso de economia ou exagerar nos recursos financeiros ao exceder-se o necessário à garantia das condições de segurança. Otimizar significa buscar realizar algo utilizando o mínimo de recursos para auferir o máximo em termos de resultados (Sarmiento, 2020b).

## 5. Apresentação e discussão de resultados

### 5.1. Nota introdutória

O desenvolvimento dos estudos de simulação segue as orientações do GPM da IWA para elaboração do modelo a ser aplicado e utiliza o programa GPS-X 6.0, para auxiliar no projeto e otimização dos sistemas propostos. O GPM divide o processo de modelação em 5 etapas: definição de projeto, recolha e reconciliação de dados, configuração do modelo de planta, calibração e validação, e por último simulação e interpretação dos resultados.

A representação esquemática do protocolo sugerido pelo GPM unificado está ilustrada no Anexo G de forma completa com os itens a serem seguidos para a otimizar a eficácia da modelação.

### 5.2. Definição do projeto

O estudo das simulações visa calibrar sistemas de LAC, composto por DP, TA e DS, com o modelo matemático ASM1, implementado no programa GPS-X, para ETAR consideradas de pequena a grande dimensão, analisando a variação dos caudais afluentes e da temperatura na qualidade do efluente. Ilustra-se duas fileiras de tratamento esquematizadas no programa GPS-X, a primeira imagem representa uma fileira de tratamento para o cenário 1 (Figura 5.1), outro exemplo de fileira de tratamento é apresentado para o cenário 2 na Figura 5.2.

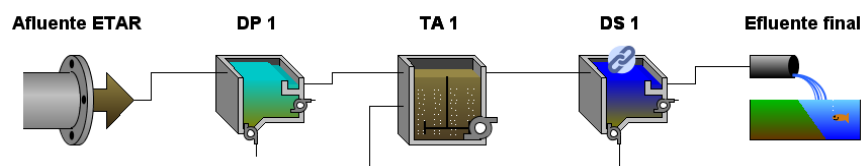


Figura 5.1 - Exemplo de fileira de tratamento no GPS-X para o cenário 1

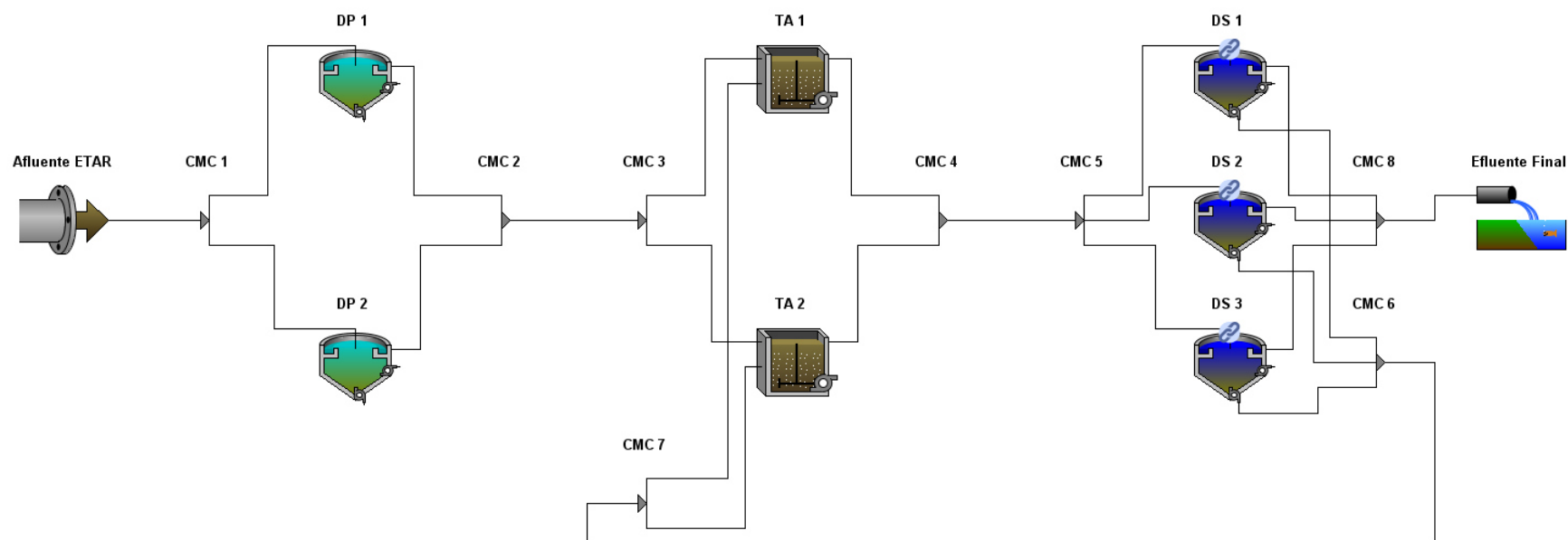


Figura 5.2 – Exemplo de fileira de tratamento no GPS-X para o cenário 2

O número após a nomenclatura de cada unidade de tratamento ilustrada nas Figuras 5.1 e 5.2 representa a quantidade de equipamentos existente na fileira, por exemplo TA 1, um tanque de arejamento.

Para realizar a conexão das unidades de tratamento no GPS-X em cenários com mais de uma unidade de tratamento, é necessário utilizar a ferramenta de caixa misturadora de caudais (CMC), com o objetivo de interligação entre as múltiplas unidades de tratamento. Mesmo em situações em que se tem a mesma quantidade de unidades, como por exemplo apresentado na Figura 5.2, é importante implantar uma CMC para melhorar a operação da fileira de tratamento, em caso de avaria ou manutenção do tanque a montante da CMC, sendo possível através de *by-pass* manter em funcionamento o tanque a jusante.

Consideram-se os seguintes cenários em função da população servida pela ETAR:

- cenário 1: pequena capacidade - população inicial com 10.000 habitantes;
- cenário 2: média capacidade - população inicial com 50.000 habitantes;
- cenário 3: média capacidade- população inicial com 120.000 habitantes; e
- cenário 4: grande capacidade - população inicial com 200.000 habitantes.

No estudo considera-se a implantação de ETAR em Portugal Continental e no Estado do Paraná, recebendo a contribuição de AR de origem de aglomerados maioritariamente urbanos.

As variáveis de um sistema de LA são muitas e classificar um sistema com base apenas no número populacional seria simples, principalmente quando abordado regiões geográficas diferentes. Desta maneira com o objetivo de ampliar as simulações para cada aglomerado populacional, considera-se para cada cenário oito condições de simulações, conforme apresentado o Quadro 5.1.

Quadro 5.1 - Condições simuladas para cada cenário proposto

CONDIÇÃO	REGIÃO	DECANTADORES		TANQUE DE AREJAMENTO	
		FORMATO	CÁLCULO DA ÁREA	ALTURA LATERAL EM RELAÇÃO AO $Q_{MÉD}$ (m)	
				$Q_{MÍN}$	$Q_{PTA}$
A	Portugal	Circular	$Q_{EF}$	- 0,5	+ 0,5
B	Portugal	Circular	$Q_{AF}$	- 0,5	+ 0,5
C	Portugal	Retangular	$Q_{EF}$	- 0,5	+ 0,5
D	Portugal	Retangular	$Q_{AF}$	- 0,5	+ 0,5
E	Paraná	Circular	$Q_{AF}$	- 0,5	+ 0,5
F	Paraná	Retangular	$Q_{AF}$	- 0,5	+ 0,5
G	Paraná	Circular	$Q_{AF}$	Constante	
H	Paraná	Retangular	$Q_{AF}$	Constante	

Entre as condições A, B, C e D as simulações visam as diferenças entre a modelação dos decantadores com o cálculo da área a partir do  $Q_{EF}$  e pelo processo de cálculo da área a partir do  $Q_{AF}$ , como também a aplicação de formatos circulares (condições A e B) e retangulares (condições C e D) para os decantadores, nos caudais projetados em Portugal.

Nas condições E e F ocorre a simulação para situações do Paraná, em que a composição de caudais e cargas poluidoras são diferentes de Portugal, além disso visa modelar o sistema em função da geometria dos decantadores, circulares na condição E e retangulares na condição F.

O objetivo das condições G e H é manter fixa a altura do nível de líquido do TA, diferente das outras condições onde as alturas úteis dos TA reduzem 0,5 m no  $Q_{MÍN}$  e elevam 0,5 m no  $Q_{PTA}$ .

As condições propostas são descritas individualmente da seguinte maneira:

- condição A: propõe a composição dos caudais e cargas em Portugal, com DP e DS circulares e modelação de cálculo da área pelo  $Q_{EF}$ , em função do caudal efluente, e altura do TA calculada com o  $Q_{MÉD}$ , sendo reduzida de 0,5 m no  $Q_{MÍN}$  e acrescida de 0,5 m no  $Q_{PTA}$ .
- condição B: difere da condição A apenas na modelação de cálculo da área, sendo nesta opção realizada pelo método  $Q_{AF}$ .

- condição C: sugere a composição dos caudais e cargas em Portugal, com DP e DS retangulares e modelação de cálculo da área pelo  $Q_{EF}$ , e altura do TA calculada no  $Q_{MÉD}$  sendo reduzida 0,5 m no  $Q_{MÍN}$  e elevada 0,5 m no  $Q_{PTA}$ .
- condição D: distingue-se da condição C apenas na modelação de cálculo da área, sendo nesta opção realizada pelo  $Q_{AF}$ .
- condição E: sugere a composição dos caudais e cargas no Paraná, com DP e DS circulares e modelação de cálculo da área sugerida pelo  $Q_{AF}$ , e altura do TA calculada no  $Q_{MÉD}$  sendo reduzida 0,5 m no  $Q_{MÍN}$  e elevada 0,5 m no  $Q_{PTA}$ .
- condição F: distingue-se da condição E, apenas pelos decantadores retangulares.
- condição G: Propõe a mesma condição E, mas com o nível do TA operando com valores constantes.
- condição H: Propõe a mesma Condição F, mas com o nível do TA operando com valores constantes.

Foram realizadas 864 simulações na pesquisa, sendo 4 cenários e 8 condições, considerando 3 períodos (ano zero, ano dez e horizonte de projeto), 3 temperaturas médias (10, 20 e 25 °C) e 3 caudais ( $Q_{MÍN}$ ,  $Q_{MÉD}$  e  $Q_{PTA}$ ).

### 5.3. Recolha e reconciliação dos dados

A segunda etapa compreende a recolha de dados, que teve como base referências bibliográficas, de acordo com os principais autores da área de tratamento de AR. Os caudais afluentes, CBO e SST foram determinados segundo as orientações para a implantação de nova ETAR, sem históricos de dados existentes.

Em todas as etapas do GPM está destacado o acordo com as partes interessadas, porém nesta fase merece uma atenção especial. São muito os coeficientes e as gamas a serem adotadas que podem influenciar toda a sua posterior simulação. Como o objetivo da pesquisa é conhecer o comportamento do processo de LAC, são simuladas situações em que se consideram diferentes gamas para algumas situações. Os parâmetros utilizados para a composição dos caudais e cargas poluidoras em Portugal e no Paraná para todos os cenários estão apresentados no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 - Dados dos caudais e cargas poluentes no Paraná e em Portugal

PARÂMETROS	PARANÁ	PORTUGAL
$C_{AF}$ (cte)	0,8	0,8
cap <sub>ÁGUA</sub> (L/hab.d)	137,9	192,0
$Q_{INF}$ (%)	10	10
$Q_{MÍN}$ (%)	50	30
Taxa de crescimento populacional anual (%)	1	1
$k_1$ (cte)	1,2	-
$k_2$ (cte)	1,5	-
Fator de ponta	-	*
Capitação $CBO_5$ (g/(hab.d))	54	60
Capitação SST (g/(hab.d))	62	70

\* em Portugal dado pela Expressão 2 com base no  $Q_{MÉD}$

O valor para o coeficiente de afluência à rede de drenagem ( $C_{AF}$ ) considerado é de 0,8, isto representa que 80 % da água consumida é transformada em AR. Devido a taxa de crescimento populacional ser a mesma para ambas regiões, em todos os cenários, as populações de hp (20 anos) apresentam-se iguais na perspectiva populacional, porém os  $Q_{MÉD}$  e  $Q_{PTA}$  mostram ser superiores em Portugal, isto ocorre devido ao consumo de água de abastecimento com 192,0 L/hab.d (ERSAR, 2019), ser superior ao registado no Paraná com 137,9 L/hab.d (SNIS, 2019). Já para o  $Q_{MÍN}$ , os resultados em Portugal continental apresentam-se menores por motivo de ser considerado 30 % do  $Q_{MÉD}$  e no Paraná a indicação da NBR 9649 (1986) é de 50 %.

Para o  $Q_{INF}$  existem várias condições que afetam a sua composição, a mais indicada é o sugerido por Metcalf & Eddy, ao relacionar a extensão da rede de afluência com o diâmetro das tubagens. Como neste trabalho não existem estas informações, foi considerado o caudal de infiltração igual a 10 % do  $Q_{MÉD}$ . A taxa de crescimento populacional anual considerada no Paraná é de 1 %, de acordo com a sua evolução na última década (IBGE, 2020). Para Portugal também se projeta um aumento de 1 % anualmente na população, apesar o decaimento no número de habitantes nos últimos anos (INE, 2020).

A NBR 9649 (1986) sugere que para encontrar os caudais de ponta devem ser aplicados coeficientes de maior consumo diário ( $k_1$ ) e horário ( $k_2$ ). Os valores constantes de  $k_1$  é igual a 1,2

e de  $k_2$  igual a 1,5. Os fatores de ponta para Portugal são determinados de acordo com a Expressão 5 (item 2.4.1.1.3.).

Nos cálculos das cargas poluidoras, os valores utilizados para Portugal obedecem integralmente ao Decreto-Lei n.º 152/97, sendo a  $CBO_5$  de 60 g/(hab.d) e SST de 70 g/(hab.d). Para o Paraná, a  $CBO_5$  utilizada é de 54 g/(hab.d), valor indicado como ideal de acordo com as características da AR na região (Sperling, 2016a). Os dados utilizados para as outras características da AR no Paraná são os SST igual a 62 g/(hab.d).

A partir da utilização dos parâmetros listados no Quadro 5.2, as populações e as respetivas composições dos caudais e cargas poluidoras, para o ano zero, ano dez (etapa média) e hp foram estabelecidas para a população inicial de 10.000, 50.000, 120.000 e 200.000 habitantes em Portugal e no Estado do Paraná, no Brasil.

O Quadro 5.3 lista os caudais e cargas poluentes para o cenário 1 com população de 10.000 habitantes em Portugal, o Quadro 5.4 apresenta os caudais e cargas com os parâmetros do Paraná para o cenário 1. Os caudais afluentes, cargas e concentrações dos cenários 2, 3 e 4 são apresentados no Anexo H.

Quadro 5.3 - Caudais e cargas poluidoras afluentes à ETAR para população inicial de 10.000 habitantes em Portugal

ANO	POP. (hab.)	$Q_{MÉD}$ (m <sup>3</sup> /d)	$Q_{MÉD}$ + $Q_{INF}$ (m <sup>3</sup> /d)	$Q_{PTA}$ (m <sup>3</sup> /d)	$Q_{MÍN}$ (m <sup>3</sup> /d)	CARGAS $Q_{MÉD}$ (kg/d)		CONCENTRAÇÕES $Q_{MÉD}$ (mg/L)	
						$CBO_5$	SST	$CBO_5$	SST
0	10.000	1.536	1.690	2.637	507	600	700	355	414
10	11.046	1.697	1.866	2.908	560	663	773		
20	12.202	1.874	2.062	3.206	619	732	854		

Quadro 5.4 - Caudais e cargas poluidoras afluentes à ETAR para população inicial de 10.000 habitantes no Paraná

ANO	POP. (hab.)	$Q_{MÉD}$ (m <sup>3</sup> /d)	$Q_{MÉD}$ + $Q_{INF}$ (m <sup>3</sup> /d)	$Q_{PTA}$ (m <sup>3</sup> /d)	$Q_{MÍN}$ (m <sup>3</sup> /d)	CARGAS $Q_{MÉD}$ (kg/d)		CONCENTRAÇÕES $Q_{MÉD}$ (mg/L)	
						$CBO_5$	SST	$CBO_5$	SST
0	10.000	1.103	1.214	2.184	607	540	620	445	511
10	11.046	1.219	1.341	2.413	670	597	685		
20	12.202	1.346	1.481	2.665	740	659	757		

As cargas dos poluentes são maiores nas condições portuguesas, em consequência de que as condições do Decreto-Lei n.º 152/97 para a capitação dos poluentes por habitante são superiores. Apesar de Portugal ter apresentado cargas maiores, a AR no Paraná é mais concentrada, a concentração do poluente é resultado da divisão entre a carga do poluente pelo seu  $Q_{MÉD}$ , como o  $Q_{MÉD}$  no Paraná é inferior ao de Portugal devido à capitação de AR ser mais baixa, mesmo com cargas menores, o grau de concentração apresenta-se mais elevado.

Os resultados obtidos em todos os cenários foram introduzidos no programa GPS-X para iniciar a modelação, conforme descrito no ponto 5.4.

#### **5.4. Configuração da fileira de tratamento**

Os cenários e condições propostas foram elaboradas para atender a legislação em vigor, preservando principalmente a qualidade do efluente final, como também encontrar solução para o menor consumo de potência no sistema de arejamento e agitação. No processo de LA os principais custos estão relacionados com o arejamento e agitação do reator biológico, bombagem para a recirculação de lamas e a separação de sólidos nos decantadores.

O dimensionamento prévio das unidades que compõem a fileira de tratamento (DP, TA e DS) foram realizadas no programa Excel, conforme apresenta o Anexo I, em condições estacionárias para hp, com o objetivo de gerar dados de entrada necessários para executar os cálculos no simulador. Os dados utilizados para o dimensionamento dos decantadores estão apresentados no Quadro 5.5.

Quadro 5.5 - Valores arbitrados para o dimensionamento dos DP e DS

PARÂMETRO	DP	DS
$C_H Q_{MÉD}$ ( $m^3/(m^2.d)$ )	40	24
$C_H Q_{PTA}$ ( $m^3/(m^2.d)$ )	100	48
$C_{HDESC} Q_{PTA}$ ( $m^3/(m.d)$ )	250	250
<b>Inclinação fundo (%)</b>	8	8
$SST_{LP}$ (%)*	6	-
$\rho_L$ ( $kg/m^3$ )*	1030	-
$X$ ( $g\ SSV/m^3$ )**	-	2500
$X_R$ ( $kg\ SSV/m^3$ )**	-	10
$X_E$ ( $g/m^3$ )**	-	20
$T_{RS}$ (d)**	-	6

\* Dados utilizados para  $Q_L$  no DP.

\*\* Dados utilizados para  $Q_w$  no DS.

Os parâmetros utilizados para o dimensionamento dos reatores biológicos estão listados no Quadro 5.6. As dimensões das unidades de tratamento encontradas para o cenário 1, com população inicial de 10.000 habitantes, em todas as condições propostas são apresentadas no Quadro 5.7.

Quadro 5.6 - Gamas utilizadas para dimensionamento dos tanques de arejamento

ARBITRADOS		CINÉTICOS E ESTEQUIOMÉTRICOS				SISTEMA DE AREJAMENTO			
<b>X</b> (kg/m <sup>3</sup> SSLM)	2500	<b>Y</b> (g SSV / gCBO <sub>5</sub> )	0,6	<b>SSV/SS</b>	0,8	<b>Eficiência do sistema (%)</b>	75	<b>EO (kg O<sub>2</sub>/kWh)</b>	1,8 **
<b>Comp. / Larg.(m)</b>	2	<b>K<sub>D</sub></b> (/d 20 °C)	0,08	<b>SSB/SSV</b>	0,6	<b>Segurança</b>	1,5	<b>β</b>	0,95
<b>T<sub>RS</sub> (d)</b>	6					<b>Altitude (m)</b>	400		
<b>X<sub>R</sub></b> (kg SSV/m <sup>3</sup> )	10	<b>Θ</b>	1,07	<b>SSV/SS gerados</b>	0,9	<b>T + fria (°C)</b>	10	<b>α</b>	0,6 *
						<b>T + quente (°C)</b>	25		1,0 **
<b>X<sub>EF</sub></b> (mg/L)	20	<b>O<sub>2</sub>/SS<sub>B</sub></b> (g O <sub>2</sub> /g SS <sub>B</sub> )	1,42	<b>X<sub>SSVEF</sub></b> (mg/L)	16	<b>Coef. da temp. para K<sub>LA</sub></b>	1,024	<b>F</b>	0,8 *
									1,0 **
<b>SST<sub>EF</sub></b> (mg SST/L)	30	<b>CBO<sub>U</sub>/CBO<sub>5</sub></b>	1,46	<b>f<sub>B</sub>'</b>	0,8	<b>Conc. O<sub>2</sub> média</b> (mg O <sub>2</sub> /L)	2,0	<b>Tipo de bolhas</b>	finas *
								<b>ΔH (m)</b>	1,0 *

\* Para o sistema de arejamento com difusores.

\*\* Para o sistema de arejamento superficial.

Quadro 5.7 - Dimensões por unidade dos DP, TA e DS para cada condição no cenário 1

CONDIÇÃO	DECANTADOR PRIMÁRIO				TANQUE DE AREJAMENTO					DECANTADOR SECUNDÁRIO			
	Formato	QTD (und)	A <sub>UND</sub> (m <sup>2</sup> )	h (m)	QTD (und)	A <sub>UND</sub> (m <sup>2</sup> )	Altura (m)			Formato	QTD (und)	A <sub>UND</sub> (m <sup>2</sup> )	h (m)
							Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>				
A	Circular	1	39	4,5	1	225	3,5	4,0	4,5	Circular	1	95	4,2
B	Circular		50	3,8		187				Circular		133	3,5
C	Retangular		38	4,5		188				Retangular		90	4,5
D	Retangular		52	3,5						Retangular		128	3,5
E	Circular		39	3,8		141	4,0	4,0	Circular	113		3,8	
F	Retangular		37	4,0					Retangular	110			
G	Circular		39	3,8			4,0	4,0	Circular	113			
H	Retangular		37	4,0					Retangular	110			

Os decantadores serão modelados na geometria circular e retangular, o formato escolhido para os tanques circulares é o com fundo inclinado, devido a sua maior eficácia na raspagem das lamas em relação ao tanque com fundo plano e menor profundidade de escavação quando comparado com a forma cônica. O sistema de arejamento será observado operando com sistema superficial ou com difusores de ar com bolhas finas.

Os dimensionamentos das unidades para os outros cenários estão apresentados nos Quadro I.1 a I.3 (Anexo I).

## 5.5. Calibração e validação

Nesta fase são inseridas no campo de modelação do programa as informações obtidas nas primeiras etapas, formando a planta para a execução inicial do modelo. Para o sistema de LAC os dados necessários para o início das simulações são:

- AR afluente: definir o modelo de cálculo baseado na CBO, adicionar o caudal e concentrações de CBO<sub>5</sub> e SST obtidas.
- decantador Primário: escolher o modelo de cálculo *Simple Id*, definir a geometria do tanque entre circular ou retangular, adicionar as características físicas da área superficial e profundidade lateral e o caudal a ser purgado de lamas. Nos casos do DP circular, é preciso escolher o tipo do decantador, que neste caso é com inclinação no fundo, e a sua altura em relação ao centro.
- tanque de Arejamento: estabelecer o modelo de cálculo ASM1, adicionar o volume calculado para o Q<sub>MÉD</sub>, altura proposta para o tanque, ligar a influência da temperatura e altitude no sistema de arejamento.
- decantador Secundário: seleccionar o modelo de cálculo ASM1 e anexar o DS operando junto com o TA, adicionar a área superficial, altura lateral, caudal a ser purgado de lamas e o caudal de recirculação. Assim como no DP, no DS circular é preciso escolher o tipo do decantador com inclinação no fundo e a sua altura em relação ao centro.
- efluente final: adicionar os limites de concentrações permitidas.

Na área de simulação do GPS-X, o modelo deve ser simulado com o  $Q_{PTA}$  de  $hp$ , na temperatura de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para um determinado tempo de partida de operação, que nestes casos de estudos o tempo definido é de 10 dias.

Após a primeira simulação devem ser analisados os resultados e verificar se os critérios foram alcançados, como: eficiência de remoção de  $\text{CBO}_5$  e SST no DP, rácio F/M e concentrações de poluentes no efluente final. Se os objetivos foram atingidos devem ser realizadas as simulações para o  $Q_{MÉD}$  e  $Q_{MÍN}$  nas mesmas condições. Caso seja encontrado qualquer problema nos critérios desejados, o sistema deve ser redimensionado, calibrando e ajustando os parâmetros utilizando dados independentes.

No caso de a planta operar sem apresentar erros, o sistema deve ser considerado como validado e realizar as simulações para os diferentes cenários propostos, apresentando e interpretando os resultados.

## **5.6. Simulação e interpretação dos resultados**

### **5.6.1. Nota introdutória**

As simulações foram executadas após a validação e calibração de cada modelo proposto com a finalidade de analisar a operação do sistema em diferentes condições e conferir o enquadramento nos objetivos definidos, realizando alterações nas temperaturas, caudais e cargas poluidoras ao longo das 24 h, para o ano de arranque (ano zero) e  $hp$ , observando a sua interferência no sistema de arejamento e no efluente final, a definir a operação da fileira de tratamento com DP, TA e DS em três pontos, sendo cada um deles relacionados com o  $Q_{MÍN}$ ,  $Q_{MÉD}$  e  $Q_{PTA}$ .

Os resultados seguem uma padronização em sua apresentação, como o  $Q_{MÉD}$  é o primeiro parâmetro encontrado, os valores são revelados inicialmente e na sequência o  $Q_{PTA}$  e o  $Q_{MÍN}$ , assim como ocorre em seu dimensionamento (ver subcapítulo 2.4.2.1.). Da mesma maneira acontece com a apresentação da temperatura, o valor padrão de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  é mostrado por primeiro e na sequência as temperaturas médias no mês mais frio e no mês mais quente, 10 e  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respetivamente.

Para todos os cenários está previsto o crescimento populacional de 1 % ao ano, sendo a mesma população para todas as condições de cada cenário. A diferença para cada cenário está nos caudais, cargas e concentrações entre Portugal e Paraná.

Optou-se por representar graficamente, para todos os cenários, os resultados mais críticos em cada nível do tratamento, nomeadamente para:

- DP: eficiência de remoção de CBO<sub>5</sub> e SST para os caudais de hp (ano 20);
- TA: P<sub>AREJ</sub> para o período de menor consumo com a temperatura média mais baixa e P<sub>AREJ</sub> na situação mais elevada, na temperatura média mais alta no Q<sub>PTA</sub> do ano 20; e
- efluente final: concentração de CBO<sub>5</sub> e SST para os caudais do ano 20.

Os resultados das simulações são apresentados para cada cenário nos tópicos descritos a seguir.

### **5.6.2. Cenário 1 – população inicial de 10.000 habitantes**

O cenário 1 considera ETAR de pequena capacidade, com população inicial de 10.000 hab, ano dez com 11.046 hab e para hp 12.202 hab para Portugal e Paraná. Sendo que para Portugal os dados afluentes à ETAR são Q<sub>PTA</sub> do hp 3.206 m<sup>3</sup>/d, concentrações de CBO<sub>5</sub> de 355 mg O<sub>2</sub>/L e SST igual a 414 mg SST/L, já para o Paraná o Q<sub>PTA</sub> do hp é de 2.665 m<sup>3</sup>/d e concentrações de CBO<sub>5</sub> igual a 455 mg O<sub>2</sub>/L e SST de 511 mg SST/L.

No DP, as eficiências de remoção de CBO<sub>5</sub> e de SST para todas as condições do ano 20 são ilustradas nas Figuras 5.3 e 5.4, respetivamente.

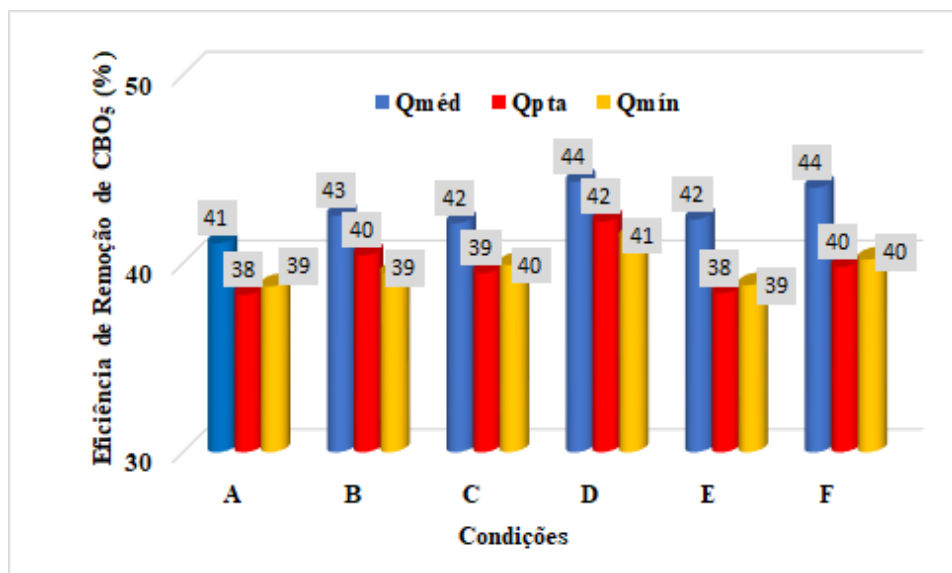


Figura 5.3 - Eficiência de remoção de CBO<sub>5</sub> no DP para os caudais do ano 20 no cenário 1

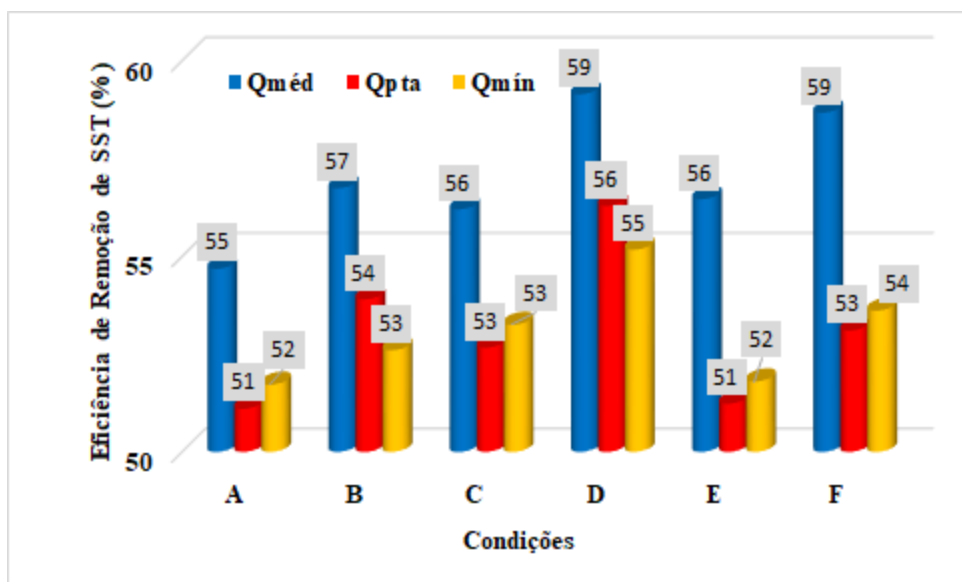


Figura 5.4 - Eficiência de remoção de SST no DP para os caudais do ano 20 no cenário 1

Em algumas condições, as eficiências de remoção tanto para CBO<sub>5</sub> quanto para os SST no DP apresentaram menores valores para o Q<sub>MÍN</sub> do que para o Q<sub>MÉD</sub> e Q<sub>PTA</sub> (Figuras 5.3 e 5.4), isto deve-se ao caudal de lamas purgadas no DP (Q<sub>L</sub>) variar ao longo do dia. Conforme o Anexo J, o modelo apresenta três Q<sub>L</sub> de acordo com os caudais, sendo valores mais baixos nos caudais reduzidos, com o intuito de garantir a eficiência de tratamento na unidade como também de reduzir

as lamas primárias a serem tratadas. Para aumentar a eficiência de tratamento no DP é necessário elevar o  $Q_L$ , porém eleva-se os custos de operação.

Nas condições de Portugal os DP dimensionados pelo  $Q_{AF}$  (condições B e D) apresentam maior remoção dos poluentes em comparação com o cálculo pelo  $Q_{EF}$  (condições A e C). A condição A (circular e  $Q_{EF}$ ) apresentou os piores resultados nas eficiências de remoção de poluentes, onde tem-se no  $Q_{PTA}$  do hp a remoção de  $CBO_5$  igual 38 % e para SST de 51 %. Os melhores resultados, para Portugal está na condição D (retangular e  $Q_{AF}$ ), com eficiências de remoção para a  $CBO_5$  em 42 % e SST de 56 % para o  $Q_{PTA}$  do hp.

Ao analisar as condições do Paraná (E e F), onde tem-se menores caudais e maiores concentrações que em Portugal, o decantador retangular (condição F) revelou melhor eficiência de remoção de poluentes com  $CBO_5$  igual a 39 % e SST de 53 % no  $Q_{PTA}$  do hp do que os circulares (condição E) com eficiência de remoção na  $CBO_5$  de 38 % e SST de 51 % no  $Q_{PTA}$  do ano 20.

Segundo Metcalf & Eddy (2016), o DP quando operado de forma eficiente pode remover de 25 % a 40 % da  $CBO_5$  e de 50 % a 70 % de SST, desta maneira todas as condições do cenário 1 apresentam valores superiores aos referidos para a eficiência de remoção de  $CBO_5$  e dentro do intervalo de valores para a eficiência de remoção de SST para todos os caudais do hp. Também se verifica que todas as condições cumprem o Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de junho para o tratamento primário, garantindo a redução mínima de 50 % dos SST e de 20 % na matéria orgânica da AR.

Com o propósito de conhecer a variação da  $P_{AREJ}$  no TA em função da temperatura, são apresentadas as condições extremas, ou seja, para o  $Q_{MÍN}$  ano zero à temperatura de 10 °C e para o  $Q_{PTA}$  do ano 20 na temperatura de 25 °C, respetivamente nas Figuras 5.5 e 5.6.

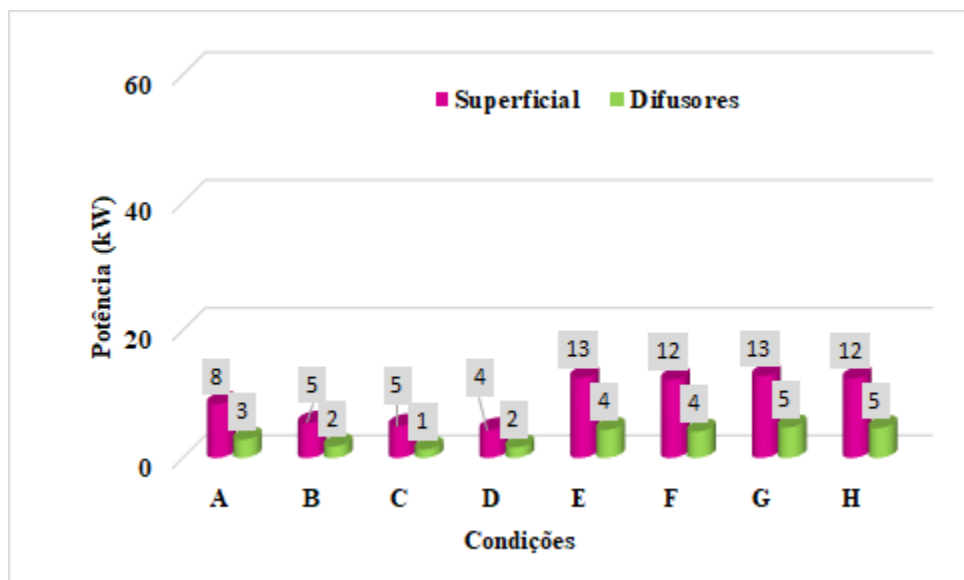


Figura 5.5 – PAREJ mínima necessária no TA para o  $Q_{MÍN}$  do ano zero a 10 °C no cenário 1

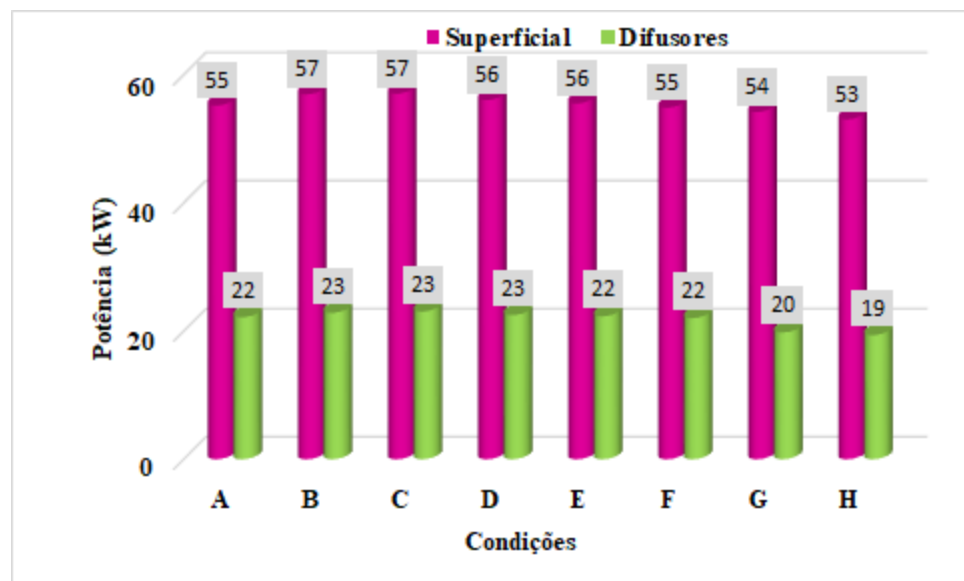


Figura 5.6 - PAREJ máxima necessária no TA para o  $Q_{PTA}$  do ano 20 a 25 °C no cenário 1

Entre as condições de Portugal, a opção A (circulares e  $Q_{EF}$ ) revelou os piores resultados para a situação mínima ( $Q_{MÍN}$ , ano zero e 10 °C) com  $P_{AREJ}$  de 8 kW para o sistema com arejamento superficial e 3 kW para o arejamento com difusores (Figura 5.5). Os melhores resultados para a  $P_{AREJ}$  nas condições máximas ( $Q_{PTA}$ , hp e 25 °C) com 53 kW para o arejamento superficial também foram encontrados na condição A (Figura 5.6), entre os difusores os resultados apresentaram equitativos na potência máxima requerida com valores próximos a 23 kW.

Nas condições do Paraná (condições E a H da Figura 5.5) as simulações apresentaram-se semelhantes na  $P_{AREJ}$  para as situações mínimas, porém superiores às condições de Portugal, em que possui  $P_{AREJ}$  próximas a 13 kW para o sistema superficial e 5 kW para os difusores de ar. A condição H (retangular,  $Q_{AF}$  e nível constante) demonstrou ser a menor  $P_{AREJ}$  para as condições máximas (Figura 5.6), com 53 kW no sistema superficial e 19 kW para os difusores. A pior situação no Paraná foi a condição E (circular,  $Q_{AF}$  e nível variado), com requerimento de potência em 56 kW no superficial e 22 kW para os difusores.

A  $P_{AREJ}$  na condição mínima do sistema pode ser até cerca de 10 % da  $P_{AREJ}$  nas condições máximas (Figuras 5.5 e 5.6), tanto para o sistema superficial quanto para os difusores. Possivelmente tal facto está relacionado com as maiores velocidades de conversão para temperaturas mais elevadas, o que tem como consequência maior consumo de oxigénio, acarretando maior potência. Conforme Metcalf & Eddy (2016), as reações biológicas apresentam aumento com a elevação da temperatura, no entanto existe uma temperatura ótima, acima e abaixo de qual existe uma redução da taxa de conversão da matéria orgânica, as temperaturas ótimas para atividades biológicas estão entre 25 °C e 35 °C.

Os arejadores superficiais requerem mais que o dobro da potência para arejamento que os sistemas com difusores, no entanto estes últimos têm maior deficiência na  $P_{AGIT}$ .

Considerando uma variação da  $P_{AREJ}$ , de acordo com o caudal afluente ao TA e a temperatura da AR, com o objetivo de alcançar a eficiência energética, sugere-se que o sistema de arejamento funcione com três pontos de regulação na potência, um nível alto para potência máxima, um médio para potência média e um nível baixo para potência baixa (Anexo J).

Ao analisar a  $P_{AREJ}$  com a  $P_{AGIT}$  necessária para manter em suspensão os sólidos no reator biológico, no sistema superficial a  $P_{AGIT}$  é atendida no  $Q_{PTA}$ , ficando próxima do sugerido no  $Q_{MÉD}$  (superior a 40 W/m<sup>3</sup>) (Metcalf & Eddy, 2016), sendo necessário agitação apenas no  $Q_{MÍN}$  em todas as condições deste cenário, em que tem valores inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>, ou seja, embora seja necessária menor  $P_{AREJ}$  no  $Q_{MÍN}$  é essencial utilizar uma maior  $P_{AGIT}$  para garantir um licor misto homogéneo com os sólidos em suspensão. Nos difusores, apesar de requererem menor  $P_{AREJ}$  do que os arejadores superficiais, a  $P_{AGIT}$  não cumpre o valor de 40 W/m<sup>3</sup> em nenhuma situação de temperatura e caudais, sendo necessário ter também agitação no TA.

De acordo com Rosso *et al* (2008) citado por Sperling (2016a), há uma maior tendência de utilização de difusores em sistema de arejamento de LA, comparados com o arejamento superficial.

No DS o modelo proposto também sugere a operação em três pontos de acordo com o  $Q_{MÍN}$ ,  $Q_{MÉD}$  e  $Q_{PTA}$  para o caudal de recirculação ( $Q_R$ ) e o caudal de lamas purgadas no DS ( $Q_W$ ) em todos os anos de operação do sistema. A percentagem definida de  $Q_R$  para este cenário é de 50 % para o  $Q_{MÍN}$  e  $Q_{MÉD}$  com base no caudal no ano de arranque e 75 % para o  $Q_{PTA}$  do hp, isto é, a percentagem definida para os caudais de cada ano é utilizada em todos os anos (20 anos).

Os valores de  $Q_W$  simulados foram definidos de acordo com a Expressão 17 (subcapítulo 3.6.1.3) com base nos caudais do hp e também utilizados para os demais períodos.

No efluente final, os parâmetros a serem considerados na pesquisa são a qualidade referente à concentração de  $CBO_5$  e aos SST. Apresenta-se a concentração de  $CBO_5$  para a variação de temperatura na AR descarregada no meio recetor na Figura 5.7.

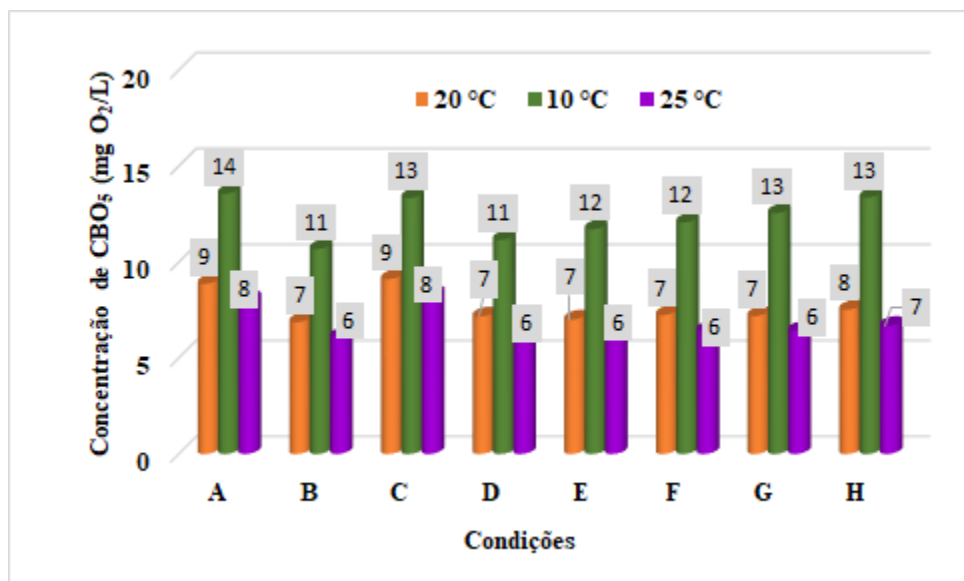


Figura 5.7 - Concentração de  $CBO_5$  no efluente final para o  $Q_{PTA}$  do ano 20 para o cenário 1

As concentrações de  $CBO_5$  são maiores para a temperatura mais baixa (10 °C), verificando-se uma redução conforme aumenta a temperatura, o que origina um efluente final de maior qualidade para a temperatura de 25 °C.

A atividade dos organismos diminui simultaneamente com o declínio da temperatura, as temperaturas mais baixas também exigem um tempo de recuperação mais longo para sistemas que foram danificados (Spellman, 2011).

Entre as condições do País luso, a opção B com decantadores circulares apresentou-se ligeiramente superior para a concentração de CBO<sub>5</sub> em Portugal com 11 mg O<sub>2</sub>/L, no hp, mas necessita um pouco mais de P<sub>AREJ</sub> que a alternativa com decantadores retangulares. O pior resultado é para a condição A com 14 mg O<sub>2</sub>/L de CBO<sub>5</sub>, justamente a opção que teve a menor potência no sistema de arejamento.

Nos caudais do Paraná, as condições com o TA operando em nível constante (G e H) demonstraram maiores concentrações de CBO<sub>5</sub> a 10 °C, no efluente final com 13 mg O<sub>2</sub>/L, do que as condições E e F que operam com nível variado, onde apresentaram 12 mg O<sub>2</sub>/L para a mesma temperatura, sendo a alternativa F uma leve vantagem na P<sub>AREJ</sub> que a condição E.

Todas as condições deste cenário cumprem os requisitos para a CBO<sub>5</sub> do Decreto-Lei n.º 152/97 para descargas de AR em Portugal, com concentração, no momento mais crítico, inferior ou igual a 25 mg O<sub>2</sub>/L.

As concentrações de SST nas piores condições, Q<sub>PTA</sub> do hp, presente no efluente final são apresentadas na Figura 5.8.

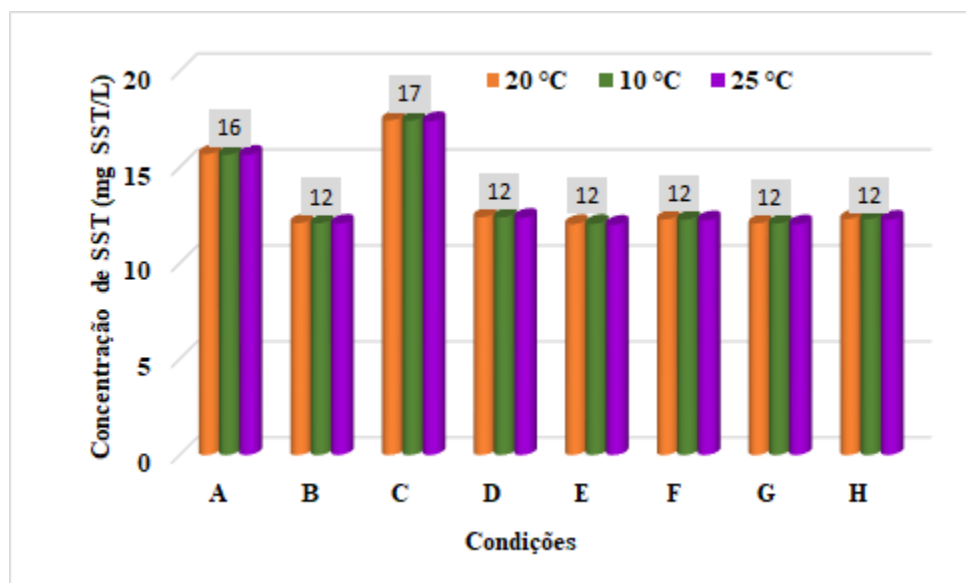


Figura 5.8 - Concentração de SST no efluente final para o Q<sub>PTA</sub> do ano 20 para o cenário 1

Ao contrário da  $CBO_5$ , a concentração de SST não sofre interferência da temperatura. Para os caudais e cargas de Portugal, as condições A e C (calculadas pelo  $Q_{EF}$ ) mostraram 16 e 17 mg SST/L, respetivamente, no efluente final, demonstrando piores resultados do que os decantadores dimensionados pelo  $Q_{AF}$ , onde ambas condições B e D obtiveram 12 mg SST/L.

Entre as alternativas do Paraná, todas mostraram resultados semelhantes para a concentração de SST na descarga de ART, com 12 mg SST/L, sendo assim possível escolher a condição mais económica em termos de custos de implantação, manutenção e operação da fileira de tratamento.

Contudo, todas as condições atendem aos requisitos para a descarga de SST do Decreto-Lei n.º 152/97 em Portugal, com concentração inferior ou igual a 35 mg  $O_2$ /L para e.p. superior a 10.000, apesar deste ser um parâmetro facultativo.

Realizando uma análise na qualidade dos parâmetros no efluente final e potência no sistema de arejamento, a condição B demonstrou ser mais viável em Portugal e para o Paraná a melhor escolha é a opção F.

Os restantes resultados para o cenário 1 são apresentados nos Quadros J1 a J38 do Anexo J.

### **5.6.3. Cenário 2 – população inicial de 50.000 habitantes**

O segundo cenário aplica-se a ETAR de capacidade média, em que o e.p. para o ano zero é de 50.000, ano dez de 55.231 e para hp e.p. de 61.010, sendo a mesma projeção populacional para Portugal e Paraná. Para Portugal os dados da AR a montante da ETAR são  $Q_{PTA}$  igual a 15.716  $m^3/d$  no hp, concentrações de  $CBO_5$  de 355 mg  $O_2/L$  e SST igual a 414 mg SST/L. Para o Paraná o  $Q_{PTA}$  do hp é de 13.327  $m^3/d$  e as concentrações de  $CBO_5$  igual a 455 mg  $O_2/L$  e SST de 511 mg SST/L. As concentrações de  $CBO_5$  e SST apresentaram o mesmo resultado do cenário 1.

Os resultados obtidos nas simulações para as eficiências de remoção de  $CBO_5$  e de SST no DP para todos os caudais do hp são apresentados nas Figuras 5.9 e 5.10, respetivamente.

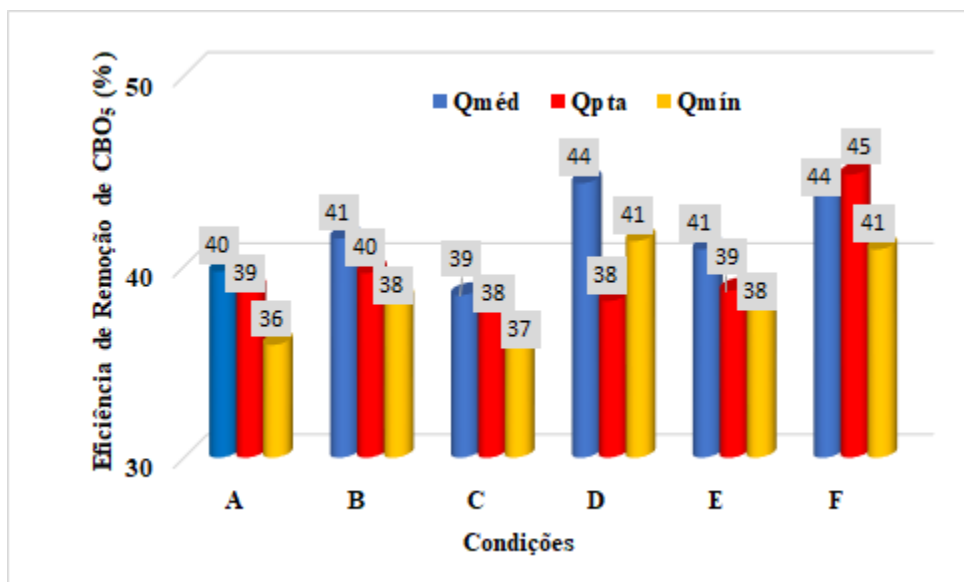


Figura 5.9 - Eficiência de remoção de CBO<sub>5</sub> no DP para os caudais do ano 20 no cenário 2

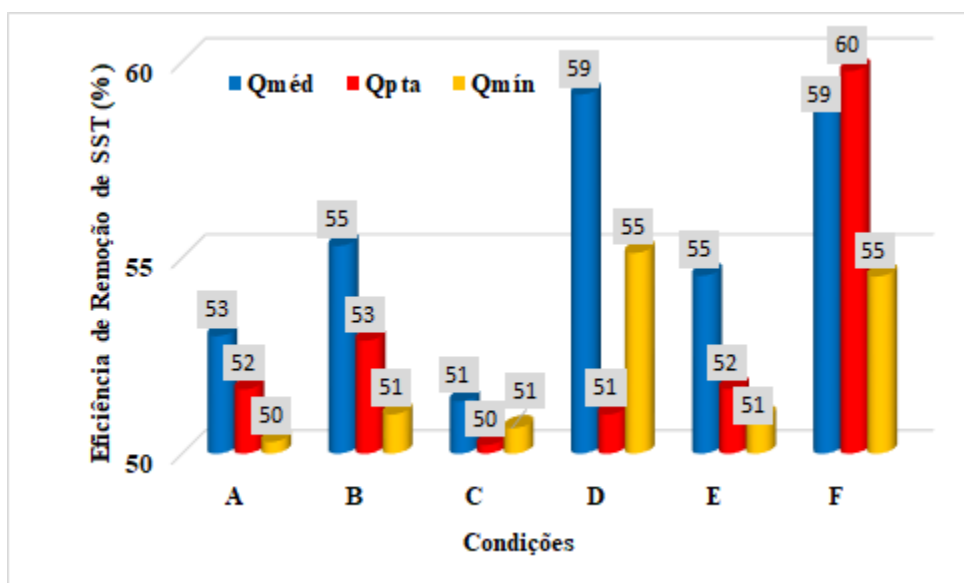


Figura 5.10 - Eficiência de remoção de SST no DP para os caudais do ano 20 no cenário 2

Assim como no primeiro cenário, as eficiências de remoção de CBO<sub>5</sub> e SST no DP apresentaram valores inferiores para a maior parte das condições de Q<sub>MÍN</sub>, quando comparadas com o Q<sub>MÉD</sub> e o Q<sub>PTA</sub> (Figuras 5.9 e 5.10), exceto para a condição D (CBO<sub>5</sub>) e condições C e D (SST). Tal facto deve-se ao modelo apresentado reduzir o Q<sub>L</sub> em função da diminuição do caudal afluente, de maneira a garantir a qualidade de remoção dos poluentes como também de diminuir o caudal de lamas tratadas. Se mantivesse o Q<sub>L</sub> constante projetado para o Q<sub>PTA</sub> haveria excesso de lamas

primárias geradas para  $Q_{MÉD}$  e principalmente para  $Q_{MÍN}$ , elevando os custos de tratamento destas lamas.

Nas condições de Portugal os DP dimensionados pelo  $Q_{AF}$  (condições B e D) apresentam superioridade de remoção dos poluentes em comparação com os calculados pelo  $Q_{EF}$  (condições A e C), principalmente para a remoção dos SST, o mesmo ocorrido no cenário 1. A condição C (retangulares e  $Q_{EF}$ ) apresentou os piores resultados nas eficiências de remoção de poluentes, para o  $Q_{PTA}$  com  $CBO_5$  de 38 % e para SST de 50 %. Porém a geometria retangular apresentou os melhores resultados entre as condições de Portugal quando o DP é calculado pelo  $Q_{AF}$  (condição D), com eficiências de remoção para o  $Q_{PTA}$  na  $CBO_5$  em 38 % e SST de 51 %. A condição D teve resultados inferiores à condição B no  $Q_{PTA}$ , devido ao  $Q_L$  ser de 82 m<sup>3</sup>/d e a condição B possuir maior  $Q_L$  com 96 m<sup>3</sup>/d.

Para as condições do Paraná (E e F), o DP retangular (condição F) mostrou resultados significativos na qualidade de remoção de poluentes em todos os caudais, com eficiências de remoção de  $CBO_5$  igual a 45 % e SST de 60 % para  $Q_{PTA}$  do hp. Os DP circulares (condição E) apresentaram valores inferiores, com eficiências de remoção para a  $CBO_5$  de 39 % e SST de 52 % no  $Q_{PTA}$  do ano 20.

Como no primeiro cenário, os DP com formatos retangulares demonstraram melhores resultados para o cenário 2, tanto para os caudais e cargas de Portugal quanto para os dados afluentes do Paraná. Conforme Wilson *et al.* (2005), os DP retangulares podem apresentar melhor eficiência na remoção dos poluentes e possuir a vantagem de requerer menor área de implantação quando são construídos várias unidades (aproveitamento da parede para 2 ou mais unidades), reduzindo os custos iniciais, embora necessitam de maiores custos para a remoção das lamas.

Todas as condições de hp deste cenário atendem ao Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de junho para o tratamento primário, garantindo a redução mínima de 50 % dos SST e de 20 % na matéria orgânica da AR.

A  $P_{AREJ}$  requerida para o conjunto de reatores biológicos para os caudais no ano zero na temperatura de 10 °C é apresentada na Figura 5.11. A  $P_{AREJ}$  necessária, também para o conjunto de TA, no mês mais quente do ano 20 é ilustrada na Figura 5.12.

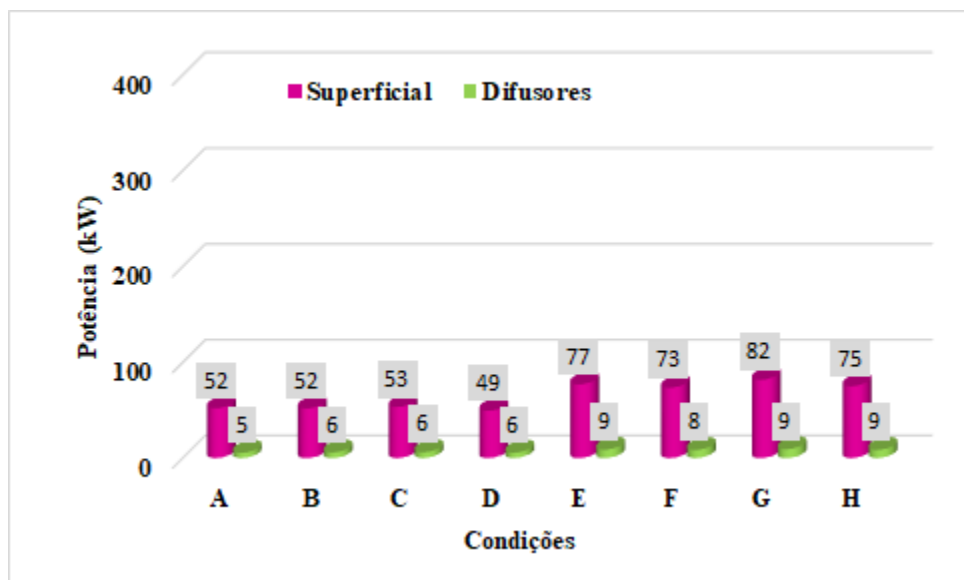


Figura 5.11 - P<sub>AREJ</sub> mínima necessária para o conjunto de TA para o Q<sub>MÍN</sub> do ano zero a 10 °C no cenário 2

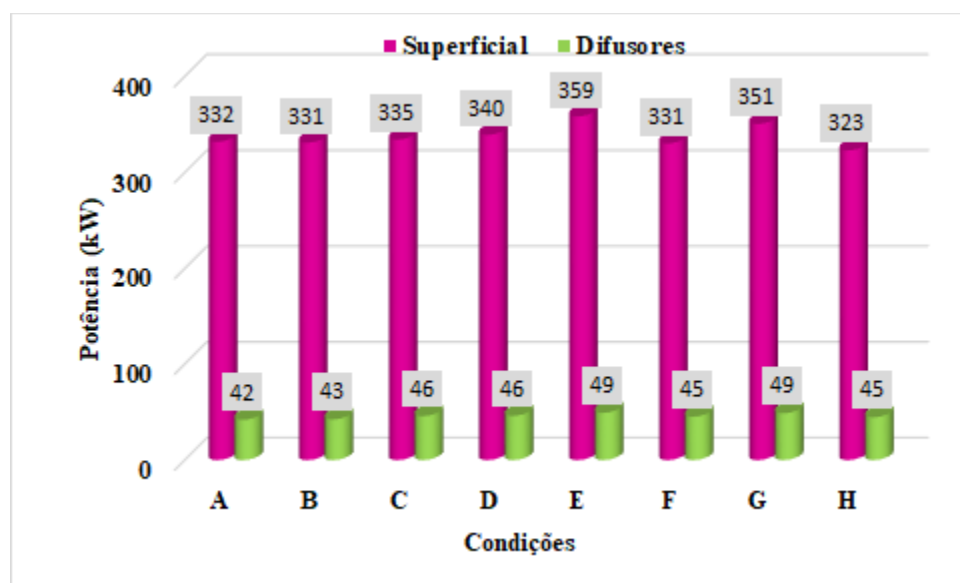


Figura 5.12 - P<sub>AREJ</sub> máxima necessária para o conjunto de TA para o Q<sub>PTA</sub> do ano vinte a 25 °C no cenário 2

Analisando as condições de Portugal, a opção C (retangulares e Q<sub>EF</sub>) revelou os piores resultados para a situação mínima com P<sub>AREJ</sub> de 54 kW para o sistema com arejamento superficial e para o sistema com difusores de ar as condições demonstraram equivalentes com 6 kW (Figura 5.11). Os melhores resultados para a P<sub>AREJ</sub> para o Q<sub>PTA</sub>, hp e 25 °C foram encontrados na condição B (circulares e Q<sub>AF</sub>) com 331 kW para o conjunto de arejadores superficiais e 43 kW para difusores de ar (Figura 5.12).

Nas condições do Paraná a melhor alternativa de  $P_{AREJ}$  para as situações mínimas foi encontrada na condição F (retangulares e  $Q_{AF}$ ) com 74 kW para os arejadores superficiais e 9 kW para os difusores de ar. Bem como no primeiro cenário, a condição H (retangular,  $Q_{AF}$  e nível constante) revelou os melhores resultados da  $P_{AREJ}$  para as condições máximas (Figura 5.11), com 323 kW no sistema superficial e 45 kW para os difusores. A pior situação no Paraná foi a condição E, o mesmo encontrado no cenário 1, com requerimento de potência para o conjunto de tanques em 369 kW no superficial e 50 kW para os difusores.

Observando a  $P_{AREJ}$  necessária para as condições mínimas e a  $P_{AREJ}$  exigida nas condições máximas, revela que em todo o hp o sistema de arejamento requer aproximadamente 15 % do arejamento máximo para as condições mínimas, sendo possível encontrar uma eficiência energética, evitando desperdícios, ao longo do hp com atuação do operador sobre o sistema de arejamento. Dentre as formas mais comuns de se variar a taxa de transferência de oxigénio no reator biológico, tem-se: variação da velocidade de rotação dos arejadores, funcionamento intermitente (liga-desliga) de determinados arejadores e variação da submersão através da atuação dos níveis do descarregador de saída e do eixo do arejador (Arceivala, 1981, citado por Sperling, 2007b).

Neste cenário, a operação do  $Q_R$  no DS foi atribuída com 25 % para o  $Q_{MÍN}$ , 75 % para o  $Q_{MÉD}$  e 100 % para o  $Q_{PTA}$  em relação ao  $Q_{AF}$  do hp., ou seja, faz-se necessário alternar o  $Q_R$  para manter o sistema de LA em operação e assim conseguir economizar nos períodos de caudais inferiores. Segundo Metcalf & Eddy (2016), uma das principais abordagens para manter o controlo do processo é a manipulação do  $Q_R$ , sendo necessário prever um sistema com capacidade suficiente de bombeamento e um DS com profundidade adequada.

A concentração de  $CBO_5$  no efluente final de acordo com a variação de temperatura na AR descarregada no meio recetor é apresentada na Figura 5.13.

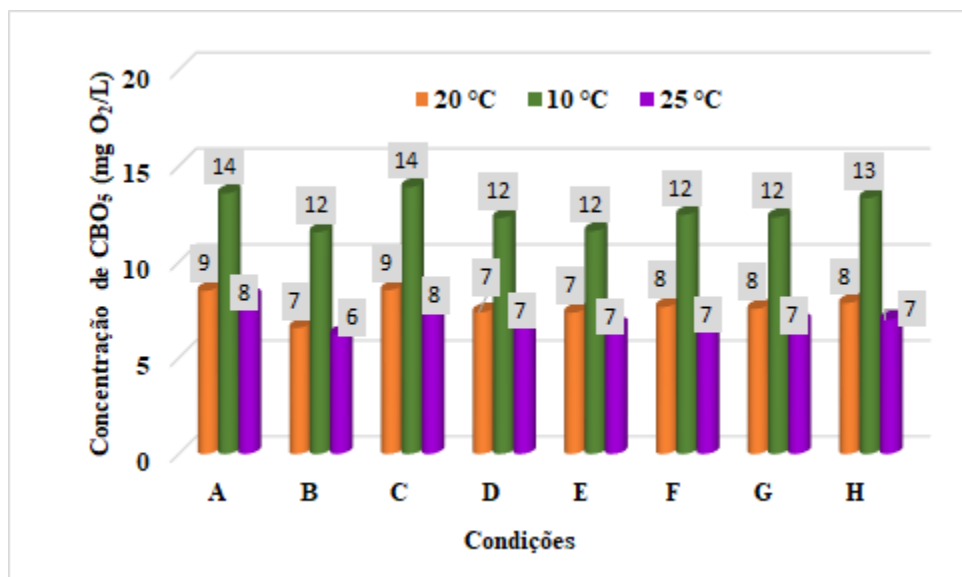


Figura 5.13 - Concentração de CBO<sub>5</sub> no efluente final para o Q<sub>PTA</sub> do ano 20 para o cenário 2

Para as condições de Portugal, a opção B (circulares e Q<sub>AF</sub>), como o primeiro cenário, demonstrou os melhores resultados para remoção de CBO<sub>5</sub> com 6 mg O<sub>2</sub>/L a 25 °C no hp e 12 mg O<sub>2</sub>/L a 10 °C no ano 20, e necessita menor P<sub>AREJ</sub> que as outras opções, tornando a melhor alternativa.

Nas opções do Paraná, as melhores situações foram encontradas nas condições E e F, como no cenário 1, ambas com concentrações de CBO<sub>5</sub> no efluente final de 12 mg O<sub>2</sub>/L a 10 °C e 7 mg O<sub>2</sub>/L a 25 °C, porém a condição F (retangulares, Q<sub>AF</sub> e nível variado) precisa de menor P<sub>AREJ</sub> que a condição E (circulares, Q<sub>AF</sub> e nível variado), sucedendo como a melhor alternativa em termos de concentração de CBO<sub>5</sub> no efluente final.

O Decreto-Lei n.º 152/97 para descargas de AR em Portugal é atendido em todas as condições do cenário 2, com concentração, no momento mais crítico (Q<sub>PTA</sub>, hp, 10°C), inferior ou igual a 25 mg O<sub>2</sub>/L

As concentrações dos SST no efluente final são apresentadas na Figura 5.14.

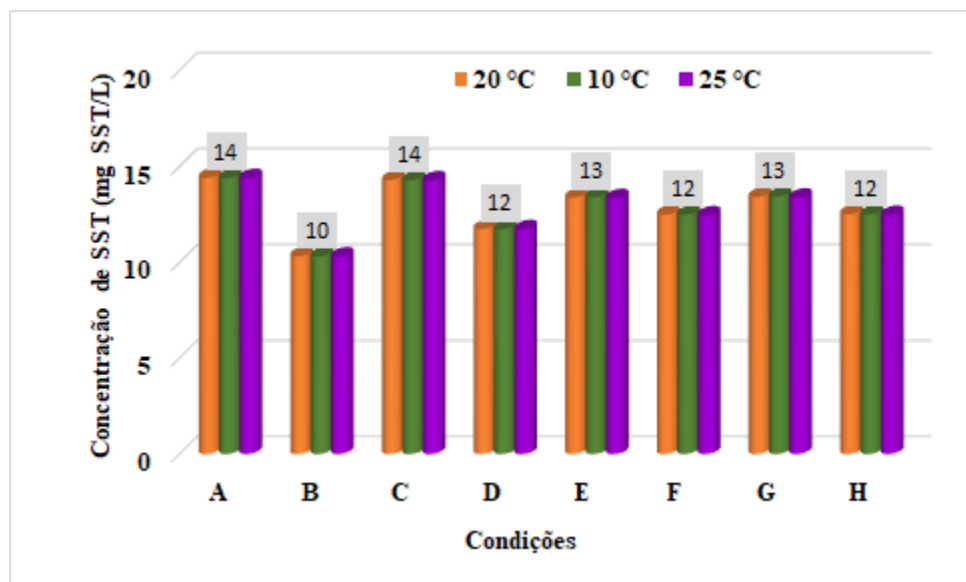


Figura 5.14 - Concentração de SST no efluente final para o QPTA do ano 20 para o cenário 2

Para as situações de Portugal, as condições A e C revelaram os piores resultados em relação a concentração de SST no efluente final, o mesmo ocorreu no cenário 1, ambas com 14 mg SST/L. O melhor resultado foi encontrado na condição B com 10 mg SST/L no efluente final.

Nas condições do Paraná, as melhores análises para a qualidade da ART em termos de concentração de SST, é assegurada nas condições F e H, ambas com 12 mg SST/L.

Apesar de os SST serem um fator parâmetro facultativo do Decreto-Lei n.º 152/97, todas as condições atendem aos requisitos para a descarga, com concentração inferior ou igual a 35 mg O<sub>2</sub>/L para e.p. superior a 10.000.

Num balanço final onde são analisados a qualidade dos parâmetros no efluente final e potência no sistema de arejamento, assim como no primeiro cenário, a alternativa B revelou ser mais viável em Portugal e para o Paraná a opção F é a favorável.

Os quadros com as informações obtidas para gerar os gráficos do cenário 2 são apresentados nos Quadros K1 a K38 do Anexo K.

### 5.6.4. Cenário 3 – população inicial de 120.000 habitantes

O terceiro cenário é enquadrado para ETAR de capacidade média, a população do ano zero é de 120.000 hab., ano dez de 132.555 hab. e para o hp igual a 146.423 hab. O  $Q_{PTA}$  afluente a ETAR no ano 20 em Portugal é de os 37.503 m<sup>3</sup>/d e para o Paraná igual a 31.984 m<sup>3</sup>/d. Assim como nos cenários anteriores, as concentrações de CBO<sub>5</sub> com 355 mg O<sub>2</sub>/L e SST igual a 414 mg SST/L representam a AR em Portugal e no Paraná os valores são de CBO<sub>5</sub> igual a 455 mg O<sub>2</sub>/L e SST de 511 mg SST/L.

No DP, as eficiências de remoção de CBO<sub>5</sub> e SST para todas as condições do hp são apresentadas nas Figuras 5.15 e 5.16, respetivamente.

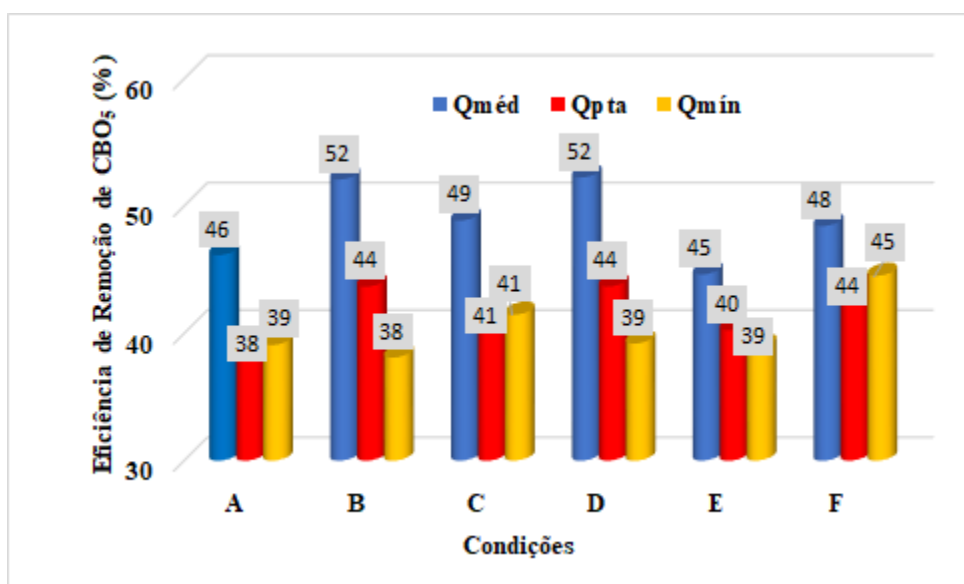


Figura 5.15 - Eficiência de remoção de CBO<sub>5</sub> no DP para os caudais do ano 20 no cenário 3

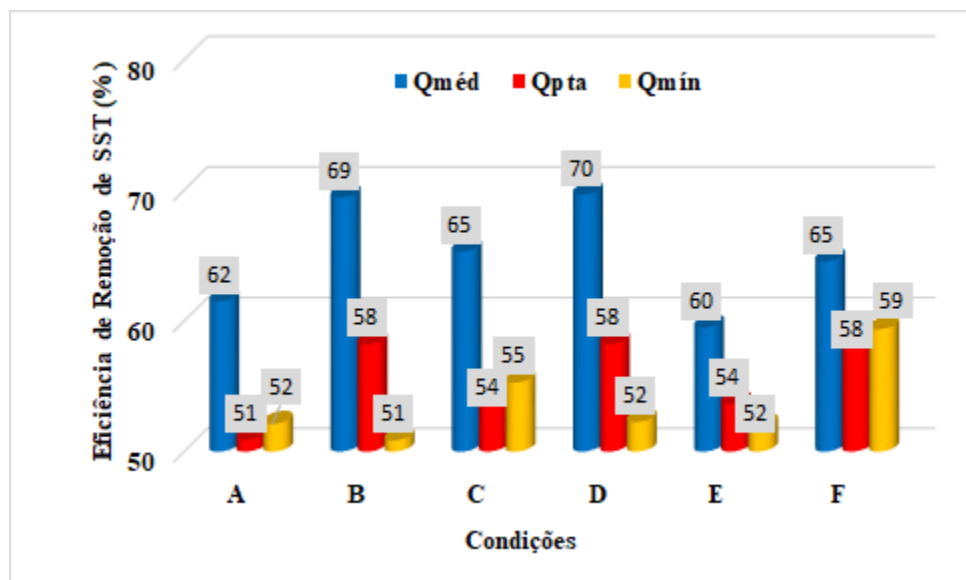


Figura 5.16 - Eficiência de remoção de SST no DP para os caudais do ano 20 no cenário 3

Os DP dimensionados pelo  $Q_{AF}$  (condições B e D) apresentam maiores eficiências de remoção dos poluentes em comparação com os calculados pelo  $Q_{EF}$  (condições A e C) para as condições em Portugal, seguindo os mesmos resultados dos cenários 1 e 2. A condição A (circulares e  $Q_{EF}$ ) apresentou os piores resultados nas eficiências de remoção de poluentes, para o  $Q_{PTA}$  com  $CBO_5$  em 38 % e para SST de 51 %. Os melhores resultados foram obtidos nos DP calculados pelo  $Q_{AF}$  (condições B e D), com eficiências de remoção para o  $Q_{PTA}$  na  $CBO_5$  em 44 % e SST de 58 %.

Entre as condições E e F (Paraná), a alternativa F com DP retangulares demonstrou resultados mais expressivos, com eficiência de remoção de  $CBO_5$  de 44 % e SST de 58 % para o  $Q_{PTA}$  do hp.

A  $P_{AREJ}$  requerida para o conjunto de TA para os caudais do ano zero na temperatura de 10 °C e a  $P_{AREJ}$  necessária no mês mais quente do ano 20 são ilustradas nas Figuras 5.17 e 5.18, respetivamente.

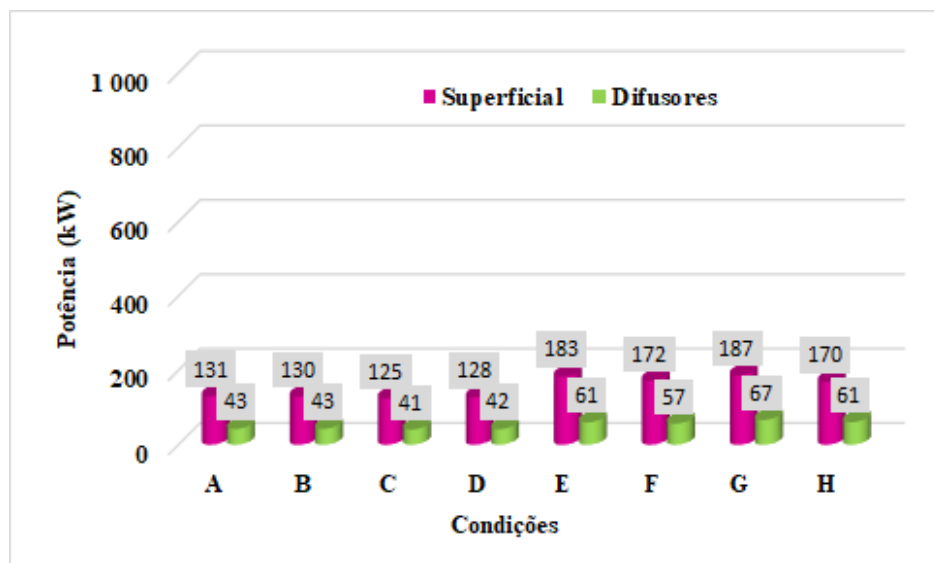


Figura 5.17 -  $P_{AREJ}$  mínima necessária para o conjunto de TA para o  $Q_{MÍN}$  do ano zero a 10 °C no cenário 3

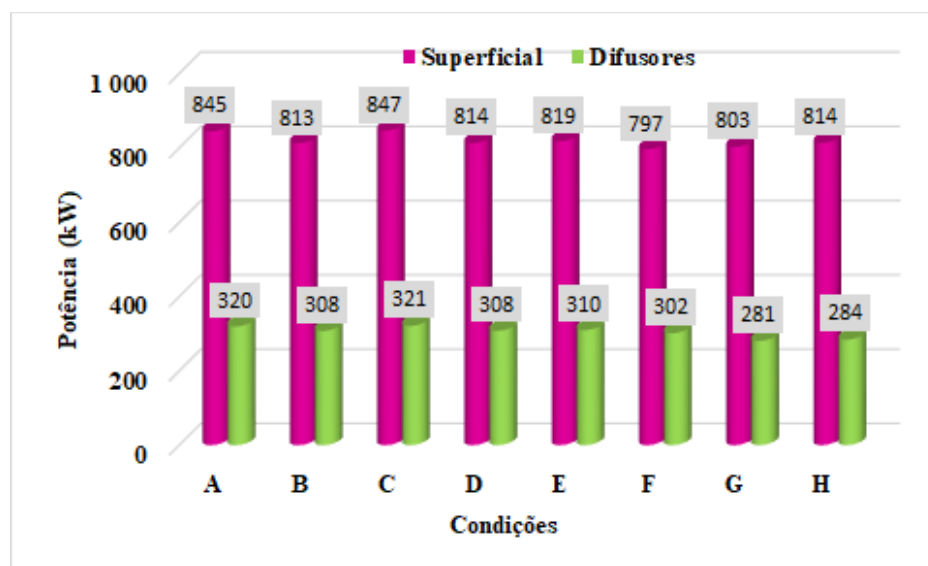


Figura 5.18 -  $P_{AREJ}$  máxima necessária para o conjunto de TA para  $Q_{PTA}$  do ano vinte a 25 °C no cenário 3

Para as condições de Portugal, a opção C apresentou os melhores resultados para a situação mínima nos arejadores superficiais e nos difusores de ar, com  $P_{AREJ}$  de 125 kW e 41 kW, respetivamente (Figura 5.17). Os melhores resultados para a  $P_{AREJ}$  para o  $Q_{PTA}$ , hp e 25 °C, condições mais elevadas de arejamento, foram encontrados nas condições B e D, ambas com 813 kW para o conjunto de arejadores superficiais e 308 kW para difusores de ar (Figura 5.18).

Nas condições do Paraná a melhor alternativa de  $P_{AREJ}$  para as situações mínimas foi encontrada na condição F, onde os arejadores superficiais requerem 172 kW e os difusores 57 kW. Para a

situação de maior  $P_{AREJ}$  em todo o hp (Figura 5.18), a melhor condição de consumo energético foi a opção F para os arejadores superficiais com 797 kW e na opção G para os difusores com 281 kW.

Neste cenário a  $P_{AREJ}$  necessária para as condições mínimas representa cerca de 15 % da  $P_{AREJ}$  exigida nas condições máximas para Portugal e 20 % para o Paraná, tanto para o sistema com arejadores superficiais quanto com difusores. Segundo Sperling (2014b), a elevação da temperatura implica no aumento das reações químicas e biológicas nos reatores, influenciando no metabolismo microbiano e interferindo nas taxas de oxidação da matéria orgânica.

De acordo com as Figuras 5.17 e 5.18, os arejadores superficiais requerem mais que o dobro da  $P_{AREJ}$  que os sistemas com difusores, no entanto estes últimos têm maior deficiência na  $P_{AGIT}$ . Conforme Jordão & Pessôa (2014), as maiores ETAR com o processo de LA operam com o sistema de difusores de ar.

No cenário 3, a operação do  $Q_R$  no DS foi modelada com 50 % para o  $Q_{MÍN}$ , 75 % para o  $Q_{MÉD}$  e 100 % para o  $Q_{PTA}$  em relação ao  $Q_{AF}$  do hp. Os valores de  $Q_W$  simulados foram definidos de acordo com a Expressão 17 ( subcapítulo 3.6.1.3), baseados nos caudais do ano 20 e também utilizados para os demais períodos.

No efluente final, os parâmetros referentes a concentração de  $CBO_5$  para a variação de temperatura na AR descarregada no meio recetor é apresentado na Figura 5.19.

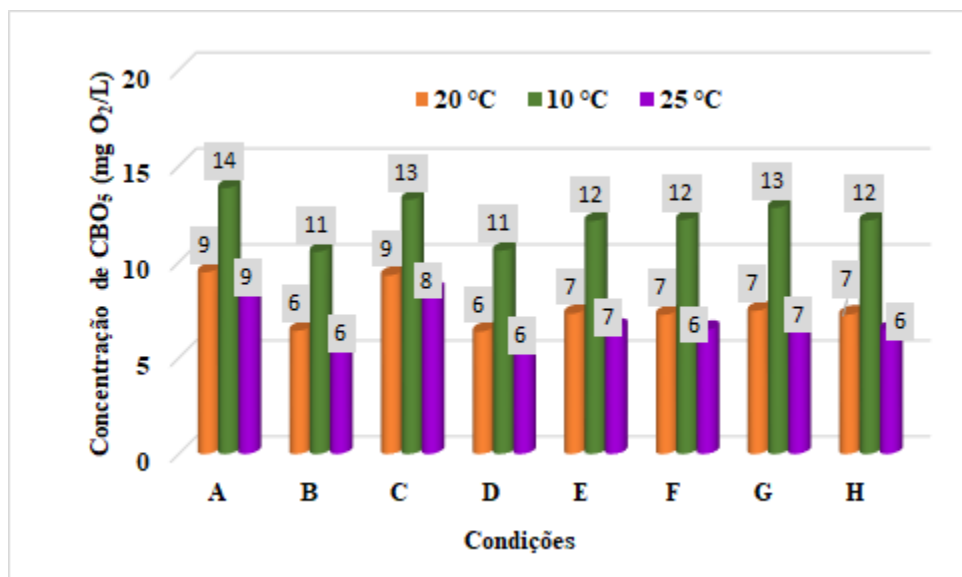


Figura 5.19 - Concentração de CBO<sub>5</sub> no efluente final para o Q<sub>PTA</sub> do ano 20 para o cenário 3

Para as condições de Portugal, as opções B e D demonstraram os melhores resultados na concentração de CBO<sub>5</sub> no efluente final com 6 mg O<sub>2</sub>/L a 25 °C no hp e 11 mg O<sub>2</sub>/L a 10 °C no hp, tais condições também possuem semelhança na demanda de P<sub>AREJ</sub>.

Nas opções do Paraná, todas as condições apresentaram resultados semelhantes para a concentração de CBO<sub>5</sub> no efluente final, com concentrações de 12 mg O<sub>2</sub>/L a 10 °C e 7 mg O<sub>2</sub>/L a 25 °C.

Todas as condições do cenário 3 cumprem os requisitos para a CBO<sub>5</sub> do Decreto-Lei n.º 152/97 para descargas de AR em Portugal, com concentração em todo o hp inferior ou igual a 25 mg O<sub>2</sub>/L.

As concentrações em relação aos SST no efluente final são ilustradas na Figura 5.20.

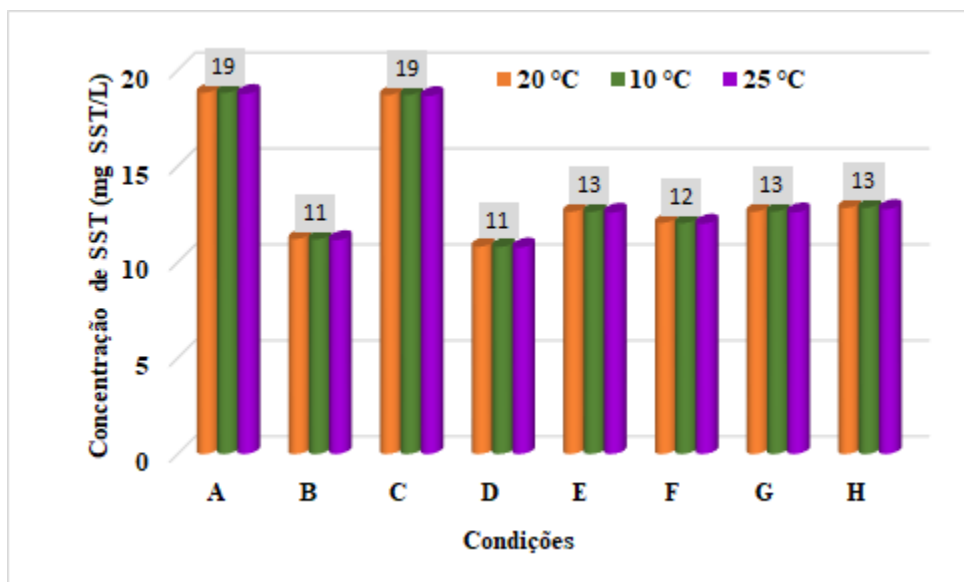


Figura 5.20 - Concentração de SST no efluente final para o  $Q_{PTA}$  do ano 20 para o cenário 3

Assim como nos cenários anteriores, a concentração de SST não sofre interferência da temperatura. Para os caudais e cargas de Portugal, as condições B e D revelaram os resultados mais qualitativos na concentração dos SST no efluente final com 11 mg SST/L. Nas simulações dos caudais e das cargas do Paraná, a melhor condição para este item foi a F, com 12 mg SST/L presente na AR descarregada no meio recetor.

Ao considerar uma alternativa ótima para o cenário 3, os principais parâmetros a serem analisados foram a qualidade dos parâmetros no efluente final e potência no sistema de arejamento, deste modo, as alternativas B e D revelaram serem melhor aplicáveis em Portugal e para o Paraná a opção F é a preferível.

Todos quadros com os resultados das simulações para o cenário 3 estão apresentados nos Quadros L1 a L38 do Anexo L.

### 5.6.5. Cenário 4 – população inicial de 200.000 habitantes

O quarto cenário considera ETAR de grande capacidade, a população do ano zero é de 200.000 hab., ano dez de 220.924 hab. e para o hp igual a 244.038 hab. O  $Q_{PTA}$  afluente a ETAR no ano 20 em Portugal é de os 62.357 m<sup>3</sup>/d e para o Paraná igual a 53.306 m<sup>3</sup>/d. As concentrações na AR afluente são para a CBO<sub>5</sub> de 355 mg O<sub>2</sub>/L e SST igual a 414 mg SST/L em Portugal e na AR do

Paraná os valores são de CBO<sub>5</sub> igual a 455 mg O<sub>2</sub>/L e SST de 511 mg SST/L. Independentemente da população e dos caudais diferentes, em todos os cenários a AR afluente apresentou as mesmas concentrações dos poluentes em cada região.

No DP, os resultados alcançados nas simulações para as eficiências de remoção de CBO<sub>5</sub> e de SST para todas as condições do hp são apresentadas nas Figuras 5.21 e 5.22, respetivamente.

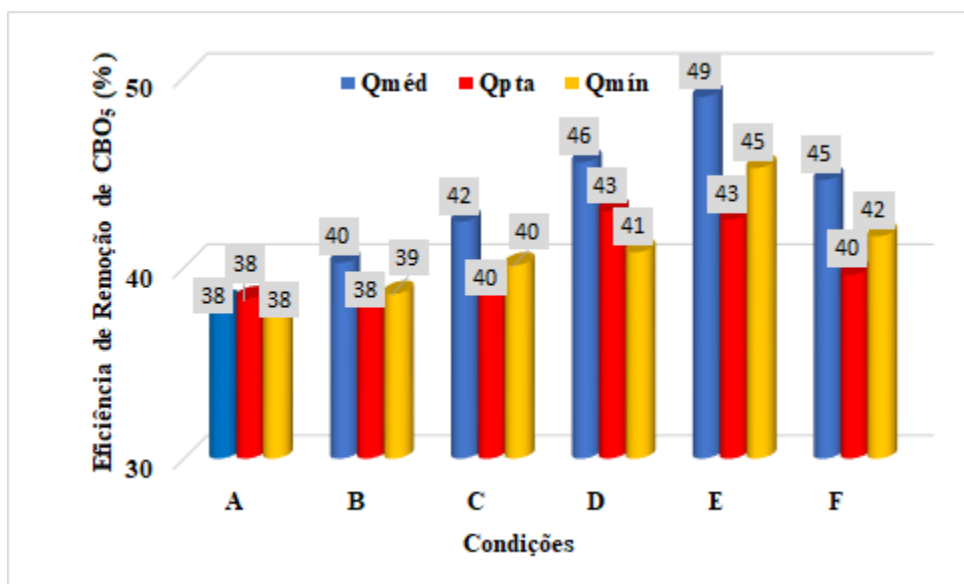


Figura 5.21 - Eficiência de remoção de CBO<sub>5</sub> no DP para os caudais do ano 20 no cenário 4

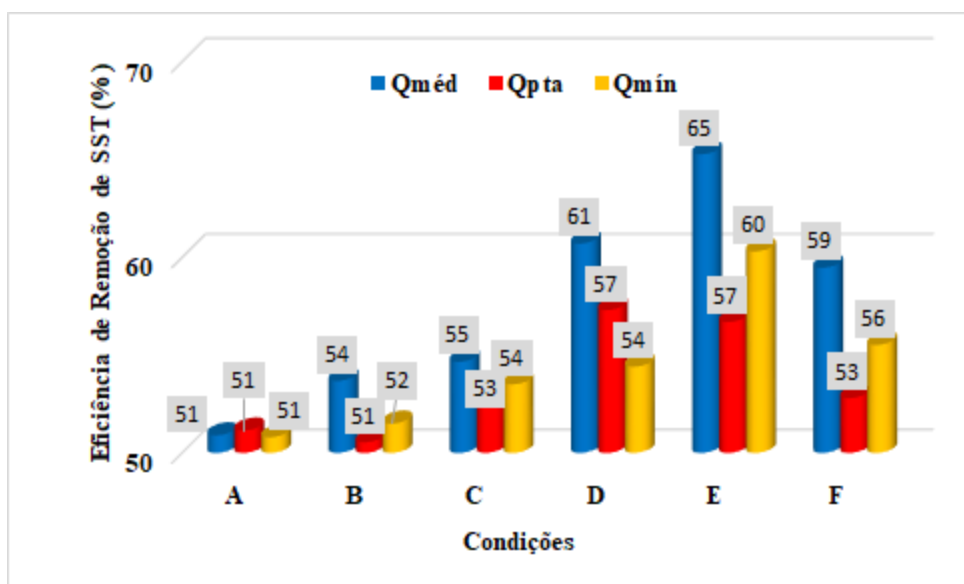


Figura 5.22 - Eficiência de remoção de SST no DP para os caudais do ano 20 no cenário 4

Em todos os cenários deste estudo, o  $Q_L$  acompanha os caudais, sendo obtidos valores mais baixos nos caudais inferiores, isto é, o caudal de lamas purgadas no DP é inferior no  $Q_{MÍN}$  em relação ao  $Q_{MÉD}$  e  $Q_{PTA}$ . Esta definição de variar o  $Q_L$  em três pontos ao longo do dia tem a finalidade de garantir a eficiência de tratamento na unidade, como também de reduzir as lamas primárias a serem tratadas. Um método encontrado para melhorar a eficiência de tratamento dos poluentes no DP é aumentar o  $Q_L$ , porém aumentam os custos de tratamento das lamas primárias.

Para as condições de Portugal, os DP retangulares (condições C e D) apresentam melhores resultados para a remoção dos poluentes do que os DP circulares, sendo a condição D, dimensionada pelo  $Q_{AF}$ , a alternativa mais viável com eficiência de tratamento para a  $CBO_5$  em 43 % e para SST de 57 % no  $Q_{PTA}$  do hp. Em todos os cenários simulados a condição D com DP retangulares e calculados pelo  $Q_{AF}$  demonstrou ser a melhor escolha para a AR afluyente em Portugal.

Para as condições do Paraná, a condição E, com DP circulares, demonstrou os melhores resultados para a eficiência na remoção de  $CBO_5$  com a 43 % e SST de 57 % no  $Q_{PTA}$  do hp. Este é o único cenário que o DP circular obteve melhores resultados que o DP com geometria retangular, ficando difícil definir a melhor geometria com base nestes dados.

As  $P_{AREJ}$  requeridas para o conjunto de reatores biológicos para os caudais no ano zero com a temperatura de 10 °C são apresentadas na Figura 5.23. As  $P_{AREJ}$  necessárias, também para o conjunto de TA, no mês mais quente do ano 20 são ilustradas na Figura 5.24.

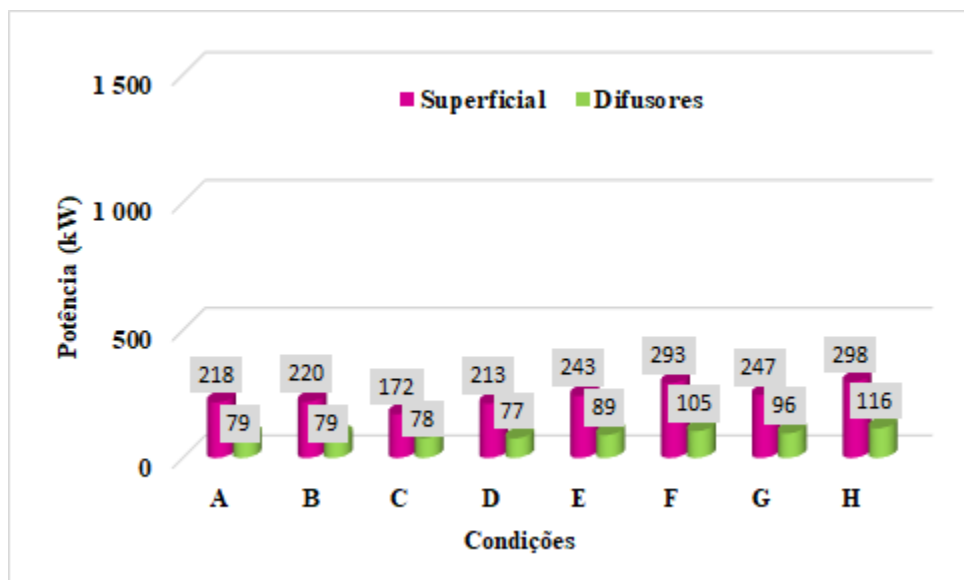


Figura 5.23 - P<sub>AREJ</sub> mínima necessária para o conjunto de TA para o Q<sub>MÍN</sub> do ano zero a 10 °C no cenário 4

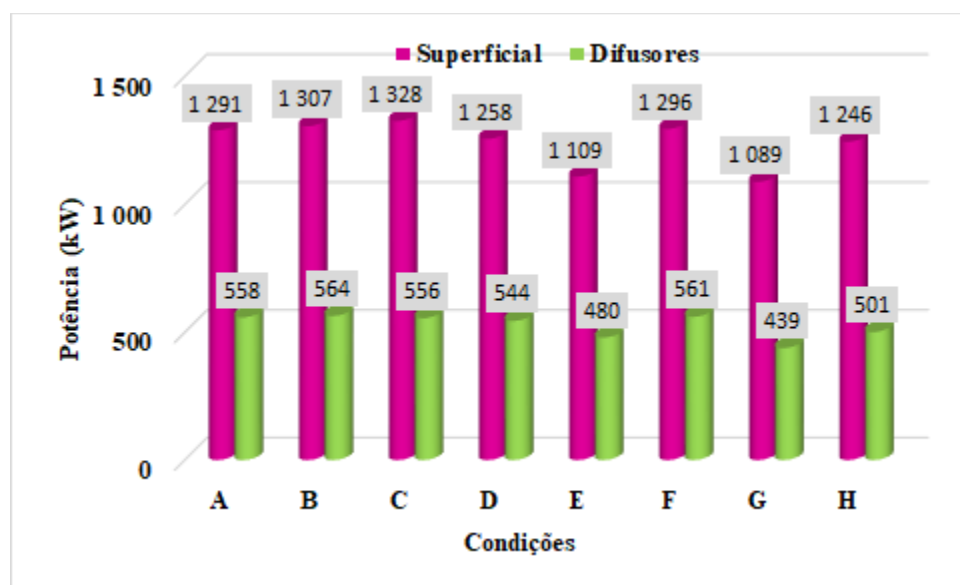


Figura 5.24 - P<sub>AREJ</sub> máxima necessária para o conjunto de TA para o Q<sub>PTA</sub> do ano vinte a 25 °C no cenário 4

Entre as condições de Portugal, a opção C (circulares e Q<sub>AF</sub>) apresentou os melhores resultados para a situação mínima (Q<sub>MÍN</sub>, ano zero e 10 °C) com P<sub>AREJ</sub> de 172 kW para o sistema com arejamento superficial e a condição D a mais económica com 77 kW para o arejamento com difusores (Figura 5.23). Os melhores resultados para a P<sub>AREJ</sub> nas condições máximas (Q<sub>PTA</sub>, hp e 25 °C) com 1258 kW para o arejamento superficial e 544 kW para os difusores de ar foram obtidos na condição D.

Para as condições do Paraná a melhor alternativa de  $P_{AREJ}$  para as situações mínimas foi encontrada na condição E (circulares,  $Q_{AF}$  e nível variado) com 243 kW para os arejadores superficiais e 90 kW para os difusores de ar, com 323 kW no sistema superficial e 45 kW para os difusores. A melhor condição de consumo energético para as situações máximas foi encontrada na opção G (circular,  $Q_{AF}$  e nível constante) para os arejadores superficiais com 1.090 kW e para os difusores com 439 kW.

Assim como nos outros cenários, os arejadores superficiais requerem mais que o dobro da  $P_{AREJ}$  que os sistemas com difusores, no entanto estes últimos têm maior deficiência na  $P_{AGIT}$ .

Analisando a  $P_{AREJ}$  com a  $P_{AGIT}$  necessária para manter em suspensão os sólidos no TA, o sistema superficial atende a  $P_{AGIT}$  nos  $Q_{PTA}$  e no  $Q_{MÉD}$  (superior a 40 W/m<sup>3</sup>) (Metcalf & Eddy, 2016), sendo necessário agitação apenas no  $Q_{MÍN}$  em todas as condições deste cenário. Nos difusores, apesar de requererem menor  $P_{AREJ}$  do que os arejadores superficiais, a  $P_{AGIT}$  não cumpre o valor de 40 W/m<sup>3</sup> em nenhuma situação de temperatura e caudais, sendo necessário ter também agitação no TA.

Seguindo a mesma posição dos cenários anteriores e também do modelo aplicado no DP e sistema de arejamento, o DS opera em três pontos de acordo com o  $Q_{MÍN}$ ,  $Q_{MÉD}$  e  $Q_{PTA}$  para o caudal de recirculação ( $Q_R$ ) e o caudal de lamas purgadas no DS ( $Q_W$ ) em todos os anos de operação do sistema. A percentagem definida de  $Q_R$  para o cenário 4 é de 30 % para o  $Q_{MÍN}$ , 75 % para o  $Q_{MÉD}$  e 100 % para o  $Q_{PTA}$  do hp, isto é, a percentagem definida para os caudais de hp é utilizada em todos os anos (20 anos).

A concentração de  $CBO_5$  no efluente final de acordo com a variação de temperatura na AR descarregada no meio recetor é apresentada na Figura 5.25.

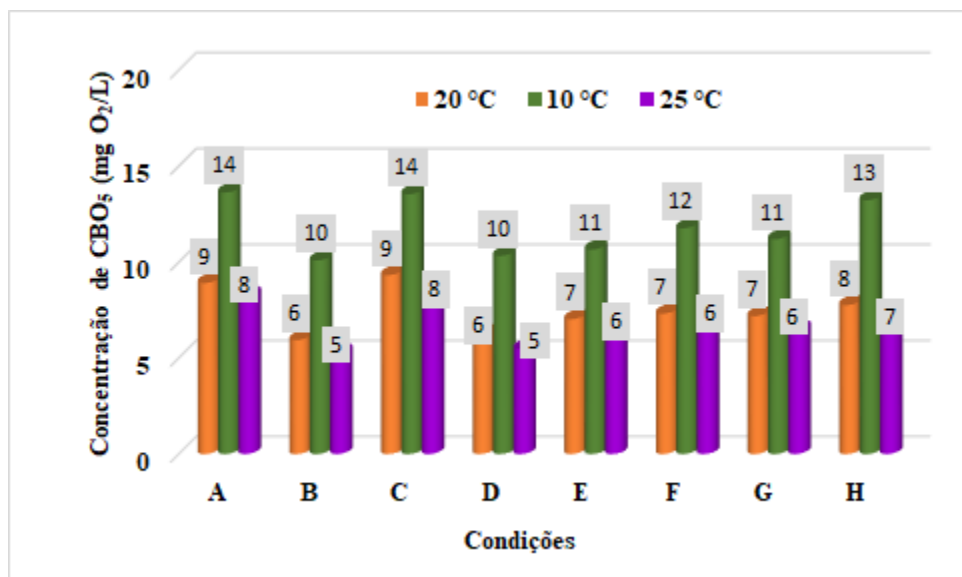


Figura 5.25 - Concentração de CBO<sub>5</sub> no efluente final para o Q<sub>PTA</sub> do ano 20 para o cenário 4

Nas condições de Portugal, as opções B e D demonstraram os melhores resultados na concentração de CBO<sub>5</sub> no efluente final com 5 mg O<sub>2</sub>/L a 25 °C no hp e 10 mg O<sub>2</sub>/L a 10 °C no hp,

Nas opções do Paraná, a melhor situação foi encontrada na condição E, com concentrações de CBO<sub>5</sub> no efluente final de 11 mg O<sub>2</sub>/L a 10 °C e 6 mg O<sub>2</sub>/L a 25 °C. A condição F também apresentou bons resultados, perdendo levemente para a temperatura de 10 °C com concentração de CBO<sub>5</sub> de 12 mg O<sub>2</sub>/L na AR descarregada no meio recetor.

O Decreto-Lei n.º 152/97 para descargas de AR em Portugal é atendido em todas as condições do cenário 4, com concentração, no momento mais crítico, inferior ou igual a 25 mg O<sub>2</sub>/L

Ilustra-se a concentração dos SST no efluente final na Figura 5.26.

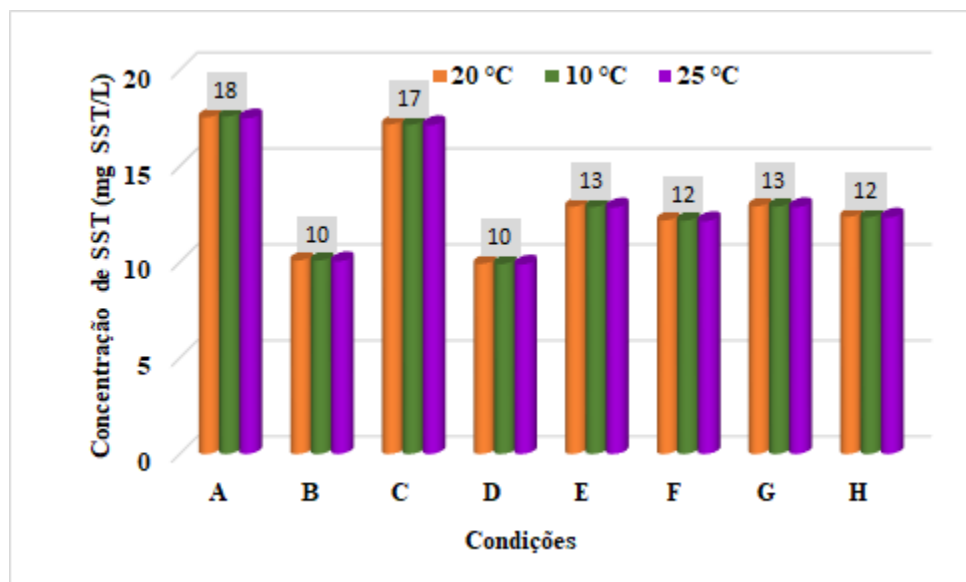


Figura 5.26 - Concentração de SST no efluente final para o Q<sub>PTA</sub> do ano 20 para o cenário 4

Para os caudais e cargas de Portugal, as condições B e D revelaram os resultados superiores na concentração dos SST no efluente final com 10 mg SST/L. Nas simulações dos caudais e cargas do Paraná, as melhores condições para este item foram a F e H, ambas com 12 mg SST/L presente no efluente final.

Definindo a alternativa ideal para o cenário 4, os principais parâmetros a serem analisados foram a qualidade dos parâmetros no efluente final e potência no sistema de arejamento, deste modo, a alternativa D demonstrou ser a melhor opção em Portugal devido ao menor consumo de potência no arejamento que a opção B. Para o Paraná as opções E e G são as melhores escolhas.

Todos quadros com os resultados das simulações para o cenário 4 estão apresentados nos Quadros M1 a M38 do Anexo M.

## 5.7. Comparação dos cenários

A partir dos resultados das simulações realizadas entre os itens 5.6.2. e 5.6.5. foram definidas alternativas em cada cenário que proporcionaram um efluente final com maior qualidade em relação às concentrações de CBO<sub>5</sub> e de SST, juntamente com a condição em que foi necessário a menor potência para o sistema de arejamento, em ETAR com o processo de LAC para Portugal e Paraná.

As alternativas ótimas estabelecidas para cada cenário e região são apresentadas no Quadro 5.8.

Quadro 5.8 - Alternativas ótimas definidas para cada cenário em relação aos caudais e cargas da AR afluyente

CENÁRIO	REGIÃO	CONDIÇÃO	DECANTADORES	
			FORMATO	CÁLCULO DA ÁREA
1	Portugal	B	Circular	Q <sub>AF</sub>
	Paraná	F	Retangular	
2	Portugal	B	Circular	
	Paraná	F	Retangular	
3	Portugal	B	Circular	
	Paraná	F	Retangular	
4	Portugal	D	Retangular	
	Paraná	E	Circular	

Entre todos os cenários, o modelo de cálculo dos decantadores através do Q<sub>AF</sub> obteve os melhores resultados nas simulações.

Para Portugal, onde ocorrem maiores caudais e menores concentrações nos poluentes que o Paraná, a condição B (decantadores circulares) revelou ser superior às demais para os três primeiros cenários, exceto no cenário 4 em que a condição D, com unidades retangulares, demonstrou ser a melhor escolha.

Na AR afluyente às ETAR no Paraná, o formato retangular com a condição F demonstrou ser a melhor opção para os cenários 1, 2 e 3. Assim como nas condições de Portugal, no cenário 4 os papéis inverteram-se na geometria dos decantadores para o Paraná, com os tanques de sedimentação com o formato circular escolhido como a alternativa ótima.

As informações geométricas da fileira de tratamento proposta e os parâmetros dimensionados para as unidades de tratamento com base no Q<sub>MÉD</sub> do hp para Portugal e Paraná em cada cenário são apresentados nos Quadros 5.9 e 5.10, respetivamente.

Quadro 5.9 – Dados da geometria dos tanques da fileira de tratamento para a alternativa ótima de cada região

CENÁRIO	REGIÃO	DECANTADOR PRIMÁRIO			TANQUE DE AREJAMENTO			DECANTADOR SECUNDÁRIO		
		QTD (und)	A <sub>TOTAL</sub> * (m <sup>2</sup> )	V <sub>TOTAL</sub> * (m <sup>3</sup> )	QTD (und)	A <sub>TOTAL</sub> * (m <sup>2</sup> )	V <sub>TOTAL</sub> * (m <sup>3</sup> )	QTD (und)	A <sub>TOTAL</sub> * (m <sup>2</sup> )	V <sub>TOTAL</sub> * (m <sup>3</sup> )
1	Portugal	1	50	190	1	187	748	1	133	466
	Paraná		37	148		141	564		110	418
2	Portugal	2	266	1.010	2	800	3.200	3	762	2.514
	Paraná		186	720		598	2.392		552	1.932
3	Portugal	4	616	2.156	4	1.484	7.420	5	1.730	6.055
	Paraná	2	444	1.688	3	1.440	7.200		1.320	5.280
4	Portugal	6	1.032	3.924	4	3.368	18.524	8	2.992	8.312
	Paraná	3	762	3.048		2.548	14.016		2.032	8.128

\* Os valores apresentados representam as áreas e volumes totais de cada alternativa, para conhecer a área ou volume individual de cada unidade de tratamento é necessário dividir o valor total da área ou volume pela quantidade de unidades.

Quadro 5.10 – Parâmetros das unidades de tratamento para a alternativa ótima de cada região em cada cenário

CENÁRIO	REGIÃO	Q <sub>MÉD</sub> ANO 20 (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R MÉD</sub> * ANO 20 (m <sup>3</sup> /d)	DECANTADOR PRIMÁRIO		TANQUE DE AREJAMENTO	DECANTADOR SECUNDÁRIO		
				T <sub>RH</sub> (h)	C <sub>H</sub> (m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .d))	T <sub>RH</sub> ** (h)	T <sub>RH</sub> ** (h)	C <sub>H</sub> ** (m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .d))	C <sub>S</sub> ** (kg/(m <sup>2</sup> .h))
1	Portugal	2.062	1.025	2	41	6	3	23	6
	Paraná	1.481	735		40			20	5
2	Portugal	10.308	7.685		39	4	4	23	4
	Paraná	7.404	5.513		40			23	
3	Portugal	24.740	18.413		40	6	4	25	5
	Paraná	17.769	13.218		40			23	4
4	Portugal	41.233	30.741		40	7	4	24	3
	Paraná	29.615	22.044		39			25	

\* Considera o Q<sub>L</sub> no DP para caudal afluente ao TA.

\*\* Considera o Q<sub>R</sub> do DS para composição do caudal afluente a unidade de tratamento.

De acordo com o Quadro 5.9, mesmo com idêntica população atendida, as unidades de tratamento em Portugal possuem área e volume superiores aos tanques do Paraná, esta diferença é mais visível para os decantadores primários e secundários.

Conforme apresentado no Quadro 5.10, no DP, todos os cenários apresentaram valores para o  $T_{RH}$  de 2 h e para  $C_H$  entre 39 e 41  $m^3/(m^2.d)$ . De acordo com Sperling (2016a), o DP seguidos de DS deve possuir  $T_{RH}$  entre 1,5 e 2,5 h para operar em condições ideais. Segundo Metcalf & Eddy (2003), para uma operação em ótimas condições, a  $C_H$  dos decantadores primários devem operar entre o intervalo de 30 e 50  $m^3/(m^2.d)$ , para o caudal médio.

No TA, o  $T_{RH}$  variou entre 4 e 7 h. Para Jordão & Pessôa (2014), o  $T_{RH}$  no reator biológico do sistema de LAC deve operar entre 4 e 8 h.

Para o DS, os parâmetros simulados nas opções definidas como a melhor escolha em cada cenário resultaram  $T_{RH}$  entre 3 e 4 h,  $C_H$  entre 20 e 25  $m^3/(m^2.d)$ , e  $C_S$  entre 3 e 6  $kg/(m^2.h)$ . Conforme Metcalf & Eddy (2016), a  $C_H$  para o processo convencional de LA em relação ao  $Q_{MÉD}$  deve compreender entre 16 e 32  $m^3/(m^2.d)$ . De acordo com Qasim (1999), citado por Sperling (2016a), a faixa típica para a  $C_S$  situa entre 2 e 6  $kg/(m^2.h)$  para o  $Q_{MÉD}$  e o  $T_{RH}$  entre 2 e 4 h.



## 6. Conclusões

A geração dos caudais de águas residuais em Portugal é superior quando comparada com o Paraná, devido à capitação de água residual por habitante ser maior, resultando em unidades de tratamento com volumes maiores para a mesma população atendida. A legislação para a descarga de águas residuais tratadas entre os dois locais (Portugal e Paraná) é divergente, tornando uma difícil resposta de enquadramento para ambas situações. Em Portugal as concentrações dos poluentes estão pré-definidas para a descarga em águas superficiais menos sensíveis e no Paraná é necessário realizar um estudo de diluição para o curso de água que receberá o efluente tratado da ETAR.

O dimensionamento dos parâmetros físicos e operacionais de cada unidade de tratamento proposto apresentou resultados que permitem cumprir a legislação, com as dimensões dos decantadores calculadas pelo  $Q_{PTA}$  e as dos reatores biológicos obtidas com o  $Q_{MÉD}$ .

No processo de LAC, o sistema de arejamento com difusores de ar demonstrou maior economia no requerimento de potência do que o sistema de arejamento superficial. Um dos parâmetros mais importantes no reator biológico é o controlo da razão F/M, quanto menor for o rácio F/M maior será a eficiência no tratamento e maior será o consumo de energia requerido para o sistema de arejamento.

A temperatura da água residual influi basicamente no sistema de arejamento e na concentração de  $CBO_5$  no efluente final, porém, não tem influência na concentração SST. No sistema de arejamento as temperaturas mais elevadas exigem maior  $P_{AREJ}$  e as mais baixas requerem menor  $P_{AREJ}$ , sendo assim o sistema deve ser projetado para alternar entre a potência mínima no  $Q_{MÍN}$  do mês mais frio e a máxima no  $Q_{PTA}$  do mês mais quente.

O modelo de cálculo da área dos decantadores pelo  $Q_{EF}$  resulta em tanques com áreas superficiais inferiores e com profundidade lateral maiores que ao modelo dimensionado pelo  $Q_{AF}$ . O modelo dimensionado pelo  $Q_{AF}$  apresentou resultados mais eficientes em todos os parâmetros, geometrias, níveis de tratamento e condições, porém é possível garantir a operação dos decantadores dimensionados pelo  $Q_{EF}$  cumprindo a legislação em vigor, entretanto com maiores custos de arejamento e parâmetros de  $CBO_5$  e SST mais elevados no efluente final.

Contudo, o programa GPS-X apresentou ser uma ferramenta válida para simular o modelo ASM1. A modelação numérica no tratamento de água residual surge como proposta para atender a otimização do sistema, com resultados que trazem boa previsibilidade, flexibilidade e custos baixos. É muito importante trazer o avanço da tecnologia digital para projetos e operações de ETAR, onde pode se criar um modelo bem elaborado que resolva com maior rapidez os riscos provocados pelas variações repentinas de caudais e cargas poluidoras.

## 7. Perspetivas de trabalho futuro

Em relação às investigações futuras, seria interessante acompanhar a operação de um sistema desde a sua etapa de partida até a sua operação, podendo identificar as gamas que foram aplicadas no dimensionamento inicial com as análises coletadas em campo.

Verificar os resultados alcançados nas simulações dos cenários com as bases de dados de ETAR existentes em Portugal e no Paraná, relacionando os parâmetros do afluente (população, caudais e concentrações) e do efluente final (CBO<sub>5</sub> e SST).

Substituir o DP por reatores anaeróbios e comparar os resultados obtidos nas simulações.

No reator biológico, foram simulados difusores operando apenas com bolhas finas, entretanto, simulações com as outras opções de dimensões de bolhas podem trazer melhorias no arejamento em cenários e caudais diferentes.

Realizar o dimensionamento da  $P_{AREJ}$  no reator biológico com a  $P_{AGIT}$  necessária para manter o licor misto em suspensão no sistema de arejamento com difusores e comparar com o sistema de arejamento superficial, conhecendo assim a real diferença no consumo de potência entre as duas opções.

Testar os cenários em diferentes regimes de operação do processo de LA, como os sistemas de baixa carga (arejamento prolongado) e alta carga (arejamento rápido).

Aplicar os custos de implantação, operação e manutenção do sistema, como por exemplo: área necessária para a fileira de tratamento, manutenção dos aparelhos, consumo energético no arejamento, recirculação de lamas e os gastos para o tratamento de lamas primárias e secundárias.



## Referências bibliográficas

- AdP, (2003). Elementos de Base para o Dimensionamento de Infraestruturas, DT 01-06 - Caudais de Infiltração e Caudais Pluviais - Lisboa. Águas de Portugal.
- Aral, M. M. (2010). *Environmental Modeling and Health Risk Analysis (Acst/Risk)*, Editora Springer, Georgia - USA. ISBN: 978-90-481-8607-5 . Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-90-481-8608-2>
- Azevedo Neto, J. M. , Fernandez, M. Fernandez y, A., R. de, & Ito, A. Eiji (1998). *Manual de Hidráulica*, Editora Edgard Blücher Ltda, 8ª edição - São Paulo.
- Barnard, J. L. (2014). *Phosphorus removal in the activated sludge process - 100th Anniversary of the Activated Sludge Process: 1914-2014 - Environmental Engineer & Scientist*, Volume 50, Number 1, Annapolis - USA.
- BCSD, (2020). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Business Council for Sustainable Development. Acedido em: 15/12/2020. Disponível em: <https://doi.org/https://www.ods.pt/>
- Canziani, R., Fatone, F., & Katsou, E. (2014). *Conferente Proceedings - EcoTechnologies for Wastewater Treatment - 2nd IWA Specialized International Conference, ecoSTP2014*, Verona, Italy, Editora IWA. ISBN: 9788869250026.
- CEA. (1968). Carta Europeia da Água. Acedido em: 16/12/2020. Disponível em: <https://doi.org/https://www.epal.pt/EPAL/menu/epal/comunica%C3%A7%C3%A3o-ambiental/carta-europeia-da-%C3%A1gua>
- CONAMA n° 357/2005. (2005). CONAMA 357 , 17 de março de 2005 - Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial da União. Acedido em: 25/11/2020. Disponível em: [http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round9/sismica\\_R9/Legisla%C3%A7%C3%A3o/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20CONAMA%20357-05.pdf](http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round9/sismica_R9/Legisla%C3%A7%C3%A3o/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20CONAMA%20357-05.pdf).
- CONAMA n° 430/2011. (2011). CONAMA 430 , 13 de maio de 2011 - Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial da União. Acedido em: 25/11/2020. Disponível em: <http://www.ctpconsultoria.com.br/pdf/Resolucao-CONAMA-430-de-13-05-2011.pdf>

Cornelli, R., Amaral, F. G., Danilevicz, Â. de M. F., & Guimarães, L. B. de M. (2014). Métodos de tratamento de esgotos domésticos: uma revisão sistemática. *Revista de Estudos Ambientais* (online).

Costa, A. M., Pontes, C. A. A., Gonçalves, F. R., Lucena, R. C. de, Castro, C. C. L. de, & Galindo, E. F. (2010). *Impactos na saúde e no sistema único de saúde decorrentes de agravos relacionados a um saneamento ambiental inadequado - Funasa*, Ministério da Saúde, Brasília.

CPHEEO, & JICA. (2013). *Manual on Sewerage and Sewage Treatment - Second Edition*, The Central Public Health and Environmental Engineering Organization Ministry of Urban Development, New Delhi, in collaboration with Japan International Cooperation Agency. Acedido em: 08/12/2020. Disponível em: <https://doi.org/http://cpheeo.gov.in/cms/manual-on-sewerage-and-sewage-treatment.php>

Daigger, G. T. (2014). *Arden and Lockett remembrance - Chapter 1, Activated Sludge - 100 years and counting*, coord. Jenkins & Wanner, Editora IWA, London. ISBN: 9781780404943.

Davis, M. L. (2010). *Water and Wastewater Engineering - design principles and practice* Editora McGraw-Hill, Michigan - USA. ISBN: 978-0-07-171385-6.

Davis, M. L., & Masten, S. J. (2016). *Princípios de Engenharia Ambiental*, Editora McGraw-Hill & AMGH; 3ª edição, Porto Alegre - Brasil. ISBN: 978-85-8055-590-5.

Decreto-Lei n.º 119/2019 de 21 de agosto. (2019). Diário da República - 1.ª Série, N.º 159. Acedido em: 16/02/2021. Disponível em: <https://dre.pt/application/conteudo/124097549>.

Decreto-Lei n.º 133/2015 de 13 de julho. (2015). Ministério do Ambiente. Diário da República - 1.ª Série, N.º 134. Acedido em: 17/02/2021. Disponível em: <https://dre.pt/application/file/69773354>

Decreto-Lei n.º 198/2008 de 8 de outubro. (2008). Ministério do Ambiente. Diário da República - 1.ª Série, N.º 195. Acedido em: 16/02/2021. Disponível em: <http://dre.pt/pdf1sdip/2008/10/19500/0713007133.pdf>.

Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de agosto. (1998). Ministério do Ambiente. Diário da República - 1.ª

Série, N.º 176. Acedido em: 16/02/2021. Disponível em: <http://dre.pt/pesquisa/-/search/430457/details/maximized>

Decreto-Lei n.º 348/98 de 9 de novembro. (1998). Ministério do Ambiente. Diário da República - I Série-A, N.º 259, 5982. Acedido em: 18/02/2021. Disponível em: <http://dre.pt/pdf1sdip/1998/11/259A00/59825983.pdf>.

Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de junho. (1997). Ministério do Ambiente. Diário da República - I Série A, N.º 139, 2959. Acedido em: 16/02/2021. Disponível em: <https://dre.pt/application/%0Afile/365412>

Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto. (1995). Ministério do Ambiente. Diário da República - I Série-B, N.º 194. Acedido em: 18/02/2021. Disponível em: <https://doi.org/https://dre.pt/application/conteudo/431873>

Dick, R. I. (2014). *Solids separation in the activated sludge process - the first 100 years - 100th Anniversary of the Activated Sludge Process: 1914-2014* - Environmental Engineer & Scientist, Volume 50, Number 1, Annapolis - USA.

Diretiva n.º 91/271/CEE de 21 de maio. (1991). Conselho Europeu. Acedido em: 19/02/2021. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31991L0271:PT:HTML>

Edital n.º 156/91 de 11 de abril (1991), Regulamento para Lançamento de Efluentes Industriais na Rede de Colectores de Lisboa. Câmara Municipal de Lisboa. Acedido em: 12/05/2021. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/483841572/RLancEfluntesIndustRCL-Ed156-91>

EPA. (2004). *Primer for Municipal Wastewater Treatment Systems* Vol. 22, Washington. ISBN: 9789380179049. United States Environmental Protection Agency. Acedido em: 04/05/2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.154>

ERSAR. (2019). *Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal 2019*, Vol. 1 - Caracterização do Setor de Águas e Resíduos (Vol. 1). ISBN: 9789898360380. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. Acedido em: 11/12/2020. Disponível em:

<https://doi.org/http://www.ersar.pt/pt/site-comunicacao/site-noticias/Paginas/A-ERSAR-publica-o-relat%C3%B3rio-de-carateriza%C3%A7%C3%A3o-dos-servi%C3%A7os-de-%C3%A1guas-e-res%C3%ADduos-em-20181128-3618.aspx>

Gernaey, K. V., Loosdrech, M. C. M. van, Henze, M., Lind, Mo., & Jørgensen, S. B. (2004). *Activated sludge wastewater treatment plant modelling and simulation: State of the art*. *Environmental Modelling and Software*, 19 (9), 763–783. ISSN: 13648152. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2003.03.005>

Govoreanu, R. (2004). *Activated sludge flocculation dynamics: on-line measurement methodology and modeling*. Environmental Technology PhD thesis, Department Applied Biological Sciences, University Gent. ISBN 90-5989-031-0.

Gujer, Henze, M., Mino, T., & Loosdrech, M. van. (1999). *Activated Sludge Model No. 3*, Editora IAWQ.

Gujer, Henze, M., Mino, T., Matsuo, T., Wentzel, M. C., & Marais, G. v. R. (1995). *The activated sludge model No. 2: biological phosphorus removal*, Editora IAWQ.

Hauduc, H., Gillot, S., Rieger, L., Ohtsuki, T., Shaw, A., Takács, I., & Winkler, S. (2009). *Activated sludge modelling in practice: An international survey*. *Water Science and Technology*, 60(8), 1943–1951. ISSN: 02731223. Acedido em: 11/12/2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wst.2009.223>

Henze, Grady Jr, C. P. L., Gujer, W., Marais, G. v. R., & Matsuo, T. (1987). *Activated sludge model No. 1*. Editora IAWPRC.

Henze, Gujer, W., Mino, T., Matsuo, T., Wentzel, M. C., Marais, Gerrit v. R., & Loosdrech, Mark C. M. Van. (1999). *Activated sludge model No. 2d*. Editora IAWQ.

Henze, Mogens, Loosdrech, Mark C. M. van, Ekama, G. A., & Brdjanovic, D. (2008). *Biological Wastewater Treatment - Principles, Modelling and Design*. Editora IWA, London. ISBN: 1843391880.

Huang, S., Zhang, L., Guo, H., Chen, P., Xia, W., & Hu, Cong (2019). *Modeling and optimization of the activated sludge process*. Chinese Control Conference, CCC, 2019-July, 6481–6486.

Technical Committee on Control Theory, Chinese Association of Automation. ISBN: 9789881563972. Acedido em: 07/04/2021. Disponível em: <https://doi.org/10.23919/ChiCC.2019.8866516>

Hydromantis. (2010). GPS-X Tutorial Guide, A Step-By-Step Guide For Learning and Getting Familiar With GPS-X - Version 6.0 - Hydromantis Environmental Software Solutions, Inc.

Hydromantis. (2019). GPS-X Technical Reference - Version 8.0 - Hydromantis Environmental Software Solutions, Inc.

IAT, (2020). Política Estadual de Recursos Hídricos. Instituto Água e Terra. Acedido em: 12/12/2020. Disponível em: <https://doi.org/http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Politica-Estadual-de-Recursos-Hidricos>

IBGE. (2020). População total no Estado do Paraná. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Acedido em: 12/12/2020. Disponível em: <https://doi.org/https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/panorama>

INE, (2020). População residente em Portugal continente. Instituto Nacional de Estatísticas. Acedido em: 12/12/2020. Disponível em: [https://doi.org/https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_main](https://doi.org/https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_main)

IPMA. (2019). Boletim Climatológico Anual Portugal Continente 2019 - Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Acedido em: 21/09/2020. Disponível em: [https://doi.org/http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20200318/piMisHmKRkiueuXQgHpM/cli\\_20191201\\_20191231\\_pcl\\_aa\\_co\\_pt.pdf](https://doi.org/http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20200318/piMisHmKRkiueuXQgHpM/cli_20191201_20191231_pcl_aa_co_pt.pdf)

Jajac, N., Marović, I., Rogulj, K., & Kilić, J. (2019). *Decision support concept to selection of wastewater treatment plant location-the case study of Town of Kutina, Croatia*. Water (Switzerland). ISSN: 20734441. Acedido em: 09/12/2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w11040717>

Jordão, E. P., & Pessôa, C. A. (2014). *Tratamento de esgotos domésticos*. Editora ABES; 7ª edição, Rio de Janeiro.

Lawrence, A. W., & Middleton, A. C. (2014). *The sludge age concept and the activated sludge*

*process a 45 year retrospective commentary- 100th Anniversary of the Activated Sludge Process: 1914-2014* - Environmental Engineer & Scientist, Volume 50, Number 1. Annapolis - USA.

Liwerska-Bizukojc, E., Olejnik, D., Biernacki, R., & Ledakowicz, S. (2011). *Calibration of a complex activated sludge model for the full-scale wastewater treatment plant. Bioprocess and Biosystems Engineering* (Vol. 34, Número 6, pp. 659–670). ISSN: 16157591. Acedido em: 19/05/2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00449-011-0515-1>

Longo, S., d'Antoni, B. M., Bongards, M., Chaparro, A., Cronrath, A., Fatone, F., Lema, J. M., Mauricio-Iglesias, M., Soares, A., & Hospido, A. (2016). *Monitoring and diagnosis of energy consumption in wastewater treatment plants. A state of the art and proposals for improvement. Applied Energy*, 179, 1251–1268. Editora Elsevier. ISSN: 03062619. Acedido em: 19/05/2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.07.043>

Maltos, R. A., Holloway, R. W., & Cath, T. Y. (2020). *Enhancement of activated sludge wastewater treatment with hydraulic selection. Separation and Purification Technology*. Editora Elsevier. ISSN: 198733794. Acedido em: 06/03/2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117214>

Marecos do Monte, H., Santos, M. T., & Barreiros, A. M. (2018). *Cursos técnicos 6 - Tratamento de águas Residuais - processos de tratamento biológico*. Editoras ERSAR & ISEL, Lisboa. ISBN: 9789729899676. Acedido em: 30/06/2021. Disponível em: <http://www.ersar.pt/pt/publicacoes/publicacoes-tecnicas/cursos>

Marecos do Monte, H., Santos, M. T., Barreiros, A. M., & Albuquerque, A. (2016). *Cursos Técnicos 05 - Tratamento de águas residuais - operações e processos do tratamento físico e químico*. Editoras ERSAR & ISEL, Lisboa. ISBN: 9789898360328. Acedido em: 30/06/2021. Disponível em: <http://www.ersar.pt/pt/publicacoes/publicacoes-tecnicas/cursos>

Metcalf, & Eddy. (1991). *Wastewater engineering - treatment and reuse*. Editora McGraw-Hill; 3ª edição, New York. ISBN: 978-007-0416-90-1.

Metcalf, & Eddy. (2003). *Wastewater engineering - treatment and reuse*. Ediotra McGraw-Hill; 4ª edição, New York. ISBN: 978-007-0416-90-1.

- Metcalf, & Eddy. (2016). *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos*. Editora McGraw-Hill & AMGH; 5ª edição, Porto Alegre - Brasil. ISBN: 978-85-8055-524-0.
- Mota, F. S. B., & Sperling, M. von. (2009). *Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção* - Volume 2 esgoto - PROSAB - Edital 5. Editora ABES; Rio de Janeiro. ISBN: 978-85-7022-164-3.
- Motlagh, A. M., & Goel, R. K. (2014). *Sustainability of Activated Sludge Processes - University of UTAH, Salt Lake City - USA*. 391–414. ISBN: 9780124116450.
- NBR 12209, (2011). ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários, segunda edição. Norma Técnica Brasileira. Acedido em: 30/06/2021. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-12.209-Projeto-de-Esta%C3%A7%C3%B5es-de-Tratamento-de-Esgoto-Sanit%C3%A1rios.pdf>.
- NBR 9649. (1986). ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Norma Técnica Brasileira. Acedido em: 30/06/2021. Disponível em: <https://doi.org/http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-9.649-Projeto-de-Redes-de-Esgoto.pdf>
- Nopens, I. (2005). *Modelling the activated sludge flocculation process: a population balance approach, PhD thesis* University Gent. ISBN 90-5989-067-1. Disponível em: [https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/294291952\\_Modelling\\_the\\_activated\\_sludge\\_flocculation\\_process\\_a\\_population\\_balance\\_approach\\_door\\_Ingmar\\_Nopens](https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/294291952_Modelling_the_activated_sludge_flocculation_process_a_population_balance_approach_door_Ingmar_Nopens)
- Oakley, S. (2019). *Preliminary Treatment and Primary Sedimentation*. Global Water Pathogen Project. Disponível em: <https://doi.org/10.14321/waterpathogens.60>
- Olsson, G., & Yuan, Z. (2014). *Automation and control - Chapter 13, Activated Sludge - 100 years and counting, coord. Jenkins & Wanner*. Editora IWA, London. ISBN: 9781780404943.
- Ondeo Dégremont. (2007). *Water Treatment Handbook*. Disponível em: <https://doi.org/http://pt.scribd.com/doc/18177606/Water-Treatment-Handbook-Ondeo-Degremont-II#scribd>

Parker, D. S., & Günthert, W., (2014). *Secondary Clarifiers - Chapter 11, Activated Sludge - 100 years and counting, coord. Jenkins & Wanner*. Editora IWA; London. ISBN: 9781780404943.

Petersen, B. (2000). *Calibration, Identifiability and Optimal Experimental Design of Activated Sludge Models, PhD thesis*. University Gent, Department Applied Biological Sciences.

Petersen, Gernaey, K., Henze, M., & Vanrolleghem, P. A. (2003). *Calibration of Activated Sludge Models: A Critical Review of Experimental Designs*. 101–186. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-94-017-0932-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-017-0932-3_5)

ReCESA, (2008). *Esgotamento sanitário - Processos de tratamento de esgotos, Nível 2*. Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. Editoras Ministério das Cidades & Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília.

Rieger, L., Gillot, S., Langergraber, G., Ohtsuki, T., Shaw, A., & Takács, I. (2012). *Good modelling practice – realizing the full benefits of wastewater treatment modelling*. Water21, August 2017, 28–29.

SANEPAR, (2018). *MPS - Manual de Projetos de Saneamento - Módulo 1, Prescrições para Elaboração e Apresentação de Estudo Técnico Preliminar*. Companhia de Saneamento do Paraná. Acedido em: 30/06/2021. Disponível em: [https://doi.org/http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/informacoes-tecnicas/mps-versao-2018/modulo\\_01\\_-\\_prescicoes\\_para\\_elaboracao\\_e\\_apresentacao\\_de\\_etp.pdf](https://doi.org/http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/informacoes-tecnicas/mps-versao-2018/modulo_01_-_prescicoes_para_elaboracao_e_apresentacao_de_etp.pdf)

Sarmiento, F. J. (2020a). *Engenharia Civil e Ambiental: uma abordagem computacional - Volume 1 - Programação com Visual Basic*, 1ª edição. João Pessoa - Paraíba. ISBN: 978-85-924138-2-8.

Sarmiento, F. J. (2020b). *Engenharia Civil e Ambiental: uma abordagem computacional - Volume 4 - Modelos de otimização*, 1ª edição. João Pessoa - Paraíba. ISBN: 978-85-824138-5-9.

SIMEPAR, (2020). *Boletim Climático do Paraná 2020 - SIMEPAR. Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná*. Disponível em:

- [https://doi.org/http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/timeline/boletim\\_climatologico](https://doi.org/http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/timeline/boletim_climatologico)
- SNIS, (2019). 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Editoras Ministério do Desenvolvimento Regional & Secretaria Nacional de Saneamento. Acedido em: 16/12/2020. Disponível em: <https://doi.org/http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2018>
- Spellman, F. R. (2011). *Standard Handbook for Wastewater Operators - Volume II - Intermediate Level*. Editora CRC Press; 2ª edição, Boca Raton - USA. ISBN: 978-1-4398-1886-2.
- Sperling, M. von. (2007a). *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors - Volume 5 - Biological Wastewater Treatment Series*. Editoras IWA & DESA. ISBN: 1843391651.
- Sperling, M. von. (2007b). *Basic Principles of Wastewater Treatment - Volume 2 - Biological Wastewater Treatment Series*. Editoras IWA & DESA. ISBN: 1943391627.
- Sperling, M. von. (2014a). *Estudos e modelagem da qualidade da água de rios - Volume 7 série princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Editora UFMG; 2ª edição, Belo Horizonte - Brasil. ISBN: 978-85-423-0080-2.
- Sperling, M. von. (2014b). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos - Volume 1 série princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Editora UFMG; 4ª edição, Belo Horizonte - Brasil. ISBN: 978-85-423-0053-6.
- Sperling, M. von. (2016a). *Lodos ativados - volume 4 série princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Editora UFMG; 4ª edição, Belo Horizonte - Brasil. ISBN: 978-85-423-0173-1.
- Sperling, M. von. (2016b). *Princípios básicos do tratamento de esgotos - Volume 2 série princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Editora UFMG; 2ª edição, Belo Horizonte - Brasil. ISBN: 978-85-423-0174-8.
- Stensel, D. H., & Makinia, J. (2014). *activated sludge process development - Chapter 3, Activated Sludge - 100 years and counting, coord. Jenkins & Wanner*. Editora IWA, London. ISBN: 9781780404943.

- Suresh, A., Grygolowicz-Pawlak, E., Pathak, S., Poh, L. S., Abdul Majid, M. bin, Dominiak, D., Bugge, T. V., Gao, X., & Ng, W. J. (2018). *Understanding and optimization of the flocculation process in biological wastewater treatment processes: A review*. *Chemosphere*, 210, 401–416. Editora Elsevier. ISSN: 18791298. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.07.021>
- Vesilind, P. A., Morgan, S. M., & Heine, L. G. (2010). *Introduction to Environmental Engineering*. Editora C. Learning; 3ª edition, Stamford - USA. ISBN: 978-0-495-29583-9.
- Wagner, M., & Stenstrom, M. (2014). *Aeration and mixing - Chapter 8, Activated Sludge - 100 years and counting, coord. Jenkins & Wanner*. Editora IWA, London. ISBN: 9781780404943.
- Wainwright, J., & Mark, M. (2013). *Environmental Modelling: Finding, simplicity in Complexity - Second Edition*. Editora Wiley-Blackwell. Disponível em: [https://doi.org/https://is.muni.cz/el/sci/jaro2015/Z8877/um/Environmental\\_Modelling.\\_Finding\\_Simplicity\\_in\\_Complexity.\\_2nd.ed.pdf](https://doi.org/https://is.muni.cz/el/sci/jaro2015/Z8877/um/Environmental_Modelling._Finding_Simplicity_in_Complexity._2nd.ed.pdf)
- Wang, L. K., Tay, J., Lee Tay, S. T., & Hung, Y. (2010). *Environmental Bioengineering - Volume 11 - Handbook of Environmental Engineering*. Editora H. Press, London. ISBN: 978-1-588-29-493-7. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-60327-031-1>
- Wang, N. K., & Hung, Y.. (2009). *Advacend Biological Treatment Processes - Volume 9 - Handbood od Environmental Engineering*. Editora H. Press, London. ISBN: 978-1-58829-360-2. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-60327-170-7>
- WEF. (2010). *Design of municipal wastewater treatment plants*. Water Environment Federation. Editora McGrawHill; 5ª edition, Alexandria - USA. ISBN: 9780071663601.
- Weiner, R. F., & Matthews, R. (2003). *Environmental Engineering*. Editora B. Heinemann; 4ª edição, Oxford.
- Wilson, T. E., Applegate, C., Atoulikian, R. G., Boyle, W. H., Boyle, W. C., Chapman, D., & Outros. (2005). *Clarifier design*. Editora McGraw-Hill; 2ª edição, Alexandria - USA. Disponível em: <https://doi.org/10.1036/0071464166>

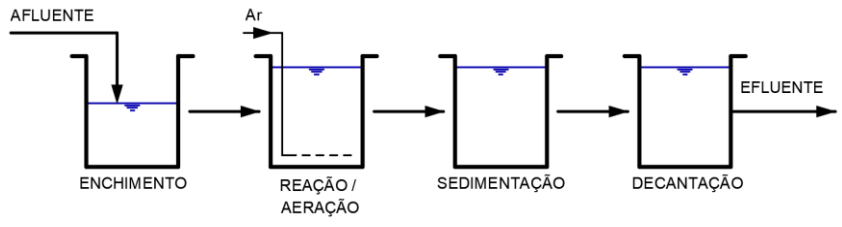
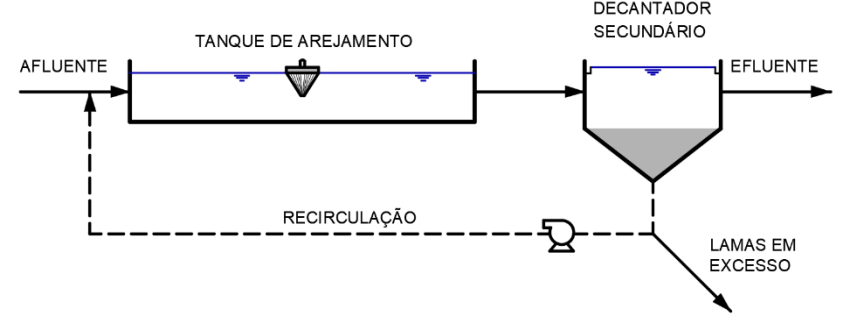
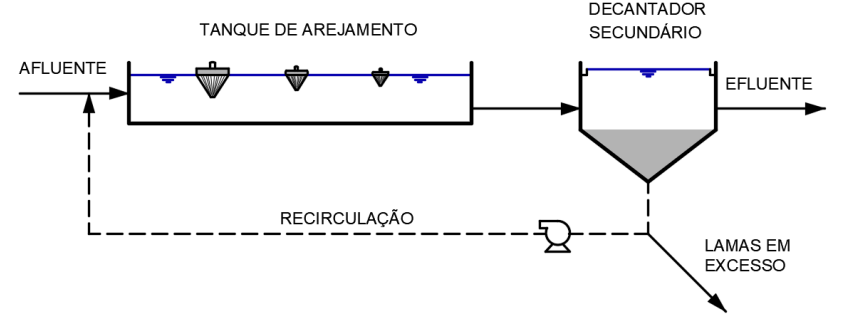
## **ANEXOS**



## Anexo A – Evolução do processo de lamas ativadas

Quadro A.1 - Evolução do processo de lamas ativadas

Adaptado de Davis (2010); Metcalf & Eddy (2016); Stensel & Makinia (2014)

ANO	PROCESSO	ESQUEMA
1914	Reator descontínuo sequencial	 <p>AFLUENTE</p> <p>Ar</p> <p>ENCHIMENTO</p> <p>REAÇÃO / AERAÇÃO</p> <p>SEDIMENTAÇÃO</p> <p>DECANTAÇÃO</p> <p>EFLUENTE</p>
1916	Fluxo pistão	 <p>AFLUENTE</p> <p>TANQUE DE AREJAMENTO</p> <p>DECANTADOR SECUNDÁRIO</p> <p>EFLUENTE</p> <p>RECIRCULAÇÃO</p> <p>LAMAS EM EXCESSO</p>
1936	Arejamento decrescente	 <p>AFLUENTE</p> <p>TANQUE DE AREJAMENTO</p> <p>DECANTADOR SECUNDÁRIO</p> <p>EFLUENTE</p> <p>RECIRCULAÇÃO</p> <p>LAMAS EM EXCESSO</p>

Quadro A.1 - Continuação

ANO	PROCESSO	ESQUEMA
1942	Alimentação / arejamento escalonados	
1956	Mistura completa	
1959	Valos de oxidação	

Quadro A.1 - Continuação

ANO	PROCESSO	ESQUEMA
1962	<b>Pós-anóxica desnitrificação</b>	
1962	<b>Ludzack-Ettinger</b>	
1973	<b>Biosseletores</b>	


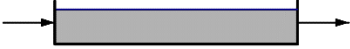
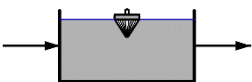
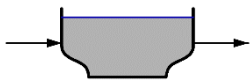
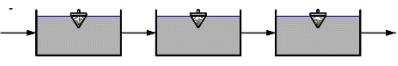
Quadro A.1 - Continuação

ANO	PROCESSO	ESQUEMA
1974	Bardenpho modificado	
1990	Reator biológico de membranas	
2002	Filme fixo integrado	

## Anexo B - Hidráulica dos reatores nos sistemas de lamas ativadas

Quadro B.1 - Características dos reatores mais utilizados no tratamento de águas residuais com os sistemas de lamas ativadas

Adaptado de Tchobanoglous &amp; Schroeder (1985); Metcalf &amp; Eddy (1991) citado por Sperling (2016b)

MODELO HIDRÁULICO	ESQUEMA	CARACTERÍSTICAS
<b>Descontínuo</b>		A sua alimentação é descontínua. O conteúdo do reator é misturado completamente. Todos os elementos estão expostos ao tratamento por um tempo igual à permanência do substrato no reator. Este reator se comporta como um volume discreto de um reator de fluxo em pistão. No processo de LA, uma das variantes é a da operação intermitente, através dos reatores em descontínuos.
<b>Fluxo pistão</b>		As partículas de fluido entram no tanque continuamente em uma extremidade, passam através do reator e são descarregados na outra ponta. As partículas de fluido movem-se como um pistão, sem qualquer mistura longitudinal. As partículas mantêm sua identidade e permanecem no tanque por um período igual ao $T_{RH}$ . Este tipo de fluxo é reproduzido em tanques longos, com uma elevada relação comprimento/largura, em que a dispersão longitudinal é mínima.
<b>Mistura completa</b>		As partículas que entram no tanque são imediatamente misturadas em todo o corpo do reator. O fluxo de entrada e saída são contínuos. A mistura completa pode ser obtida em tanques circulares ou quadrados, em qual o conteúdo do tanque é continuamente e uniformemente distribuído.
<b>Fluxo disperso</b>		Fluxo disperso ou arbitrário é obtido em qualquer reator com um grau de mistura intermediário entre os dois extremos idealizados de fluxo em pistão e mistura completa. Na realidade, a maioria dos reatores apresentam condições de fluxo disperso. No entanto, devido à maior dificuldade em sua modelação, o padrão de fluxo é geralmente representado por um dos modelos hidráulicos ideais.
<b>Mistura completa em série</b>		Os reatores de mistura completa em série são usados para modelar o regime hidráulico que existe entre os regimes ideais de fluxo em pistão e mistura completa. Se a série for composta por apenas um reator, o sistema reproduz um reator de mistura completa. Se o sistema tem um infinito número de reatores em série, o fluxo em pistão é reproduzido.

### Anexo C – Subdivisões e transformações das matérias carbonácea e azotada

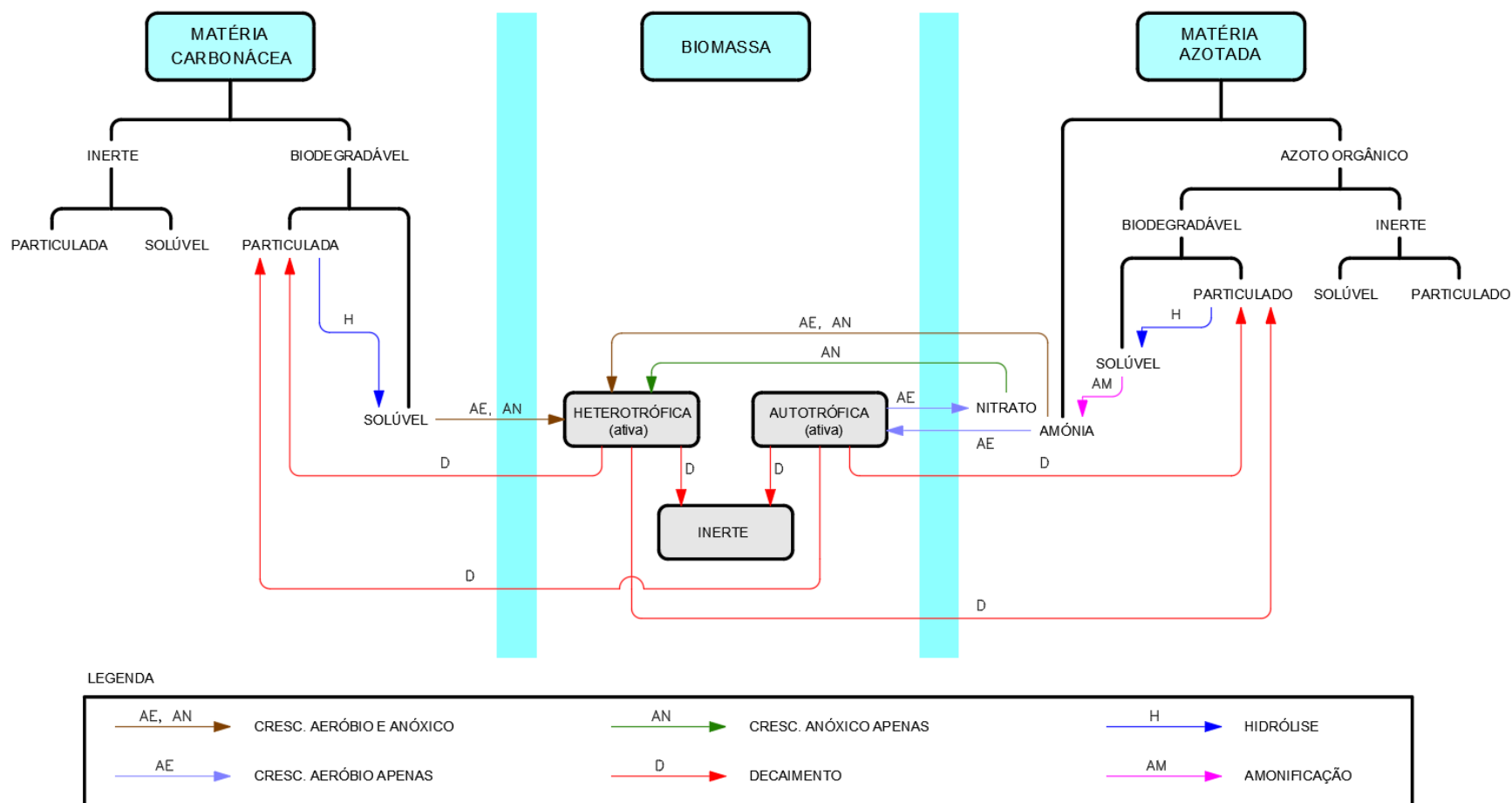


Figura B.1 - Subdivisões e transformações da matéria carbonácea e azotada

Adaptado de Sperling (2016b)

## Anexo D - Características químicas e físicas da água residual

Quadro D.1 - Principais características químicas da água residual

Adaptado de CPHEEO & JICA (2013); Davis (2010); Davis & Masten (2016); Henze *et al.* (2008); Jordão & Pessôa (2014); Marecos do Monte, Santos, Barreiros & Albuquerque (2016); Metcalf & Eddy (2003) (2016); Mota & Sperling (2009); Spellman (2011); Sperling (2014a) (2014b) (2016a) (2016b); Vesilind *et al.* (2010); Wang *et al.* (2009); Weiner & Matthews (2003)

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	
ITEM.	DESCRIÇÃO
<b>Matéria orgânica</b>	A matéria orgânica presente na AR é umas das principais causadoras da poluição das águas, pois é responsável pelo consumo do OD através dos processos metabólicos dos microrganismos. A matéria carbonácea, com base no carbono orgânico, divide-se nas seguintes frações: não biodegradável e biodegradável, ambas em suspensão e dissolvida. Os principais parâmetros a serem utilizados na caracterização da matéria orgânica são a CBO e a CQO.
<b>CBO</b>	Entre os materiais sólidos, o mais poluidor é a matéria orgânica. Para separar o material orgânico do líquido precisa saber a quantidade de oxigénio a inserir no reator em um determinado tempo e temperatura para os microrganismos consumirem os SS e assim acontecer a autodepuração nos sistemas biológicos de tratamento de AR. Tal mede a quantidade de oxigénio necessário para tratar biologicamente o efluente doméstico, definindo o grau de poluição da AR. Quanto mais elevada CBO, maior a poluição. A CBO mais utilizada é a de cinco dias (CBO <sub>5</sub> ). O teste de CBO também pode ser aplicado para medir a eficiência de alguns processos de tratamento e determinar o atendimento às permissões de descarga de AR.
<b>pH</b>	É o parâmetro que avalia a concentração de iões H <sup>+</sup> na água, traduzindo assim o seu carácter ácido, neutro ou básico. O seu valor varia entre 0 e 14, sendo 7 o valor da neutralidade. Valores abaixo de 7 indica soluções ácidas e valores superiores a 7 indica soluções básicas ou alcalinas. O pH é um parâmetro muito importante, pois influencia o desenvolvimento da vida aquática e reações nos processos químicos e biológicos. A maior parte dos constituintes químicos é dependente da concentração de iões de hidrogénio em solução. Geralmente, o valor de pH ótimo para o crescimento de bactérias está entre 6,5 e 7,5. Uma vez que o pH do reator biológico sai fora da faixa ideal, a atividade microbiana cairia significativamente, causando problemas sérios de operação e podendo resultar em falha do sistema. Consequentemente, é recomendado uma monitorização regularmente do pH do sistema e ter atenção às suas variações.

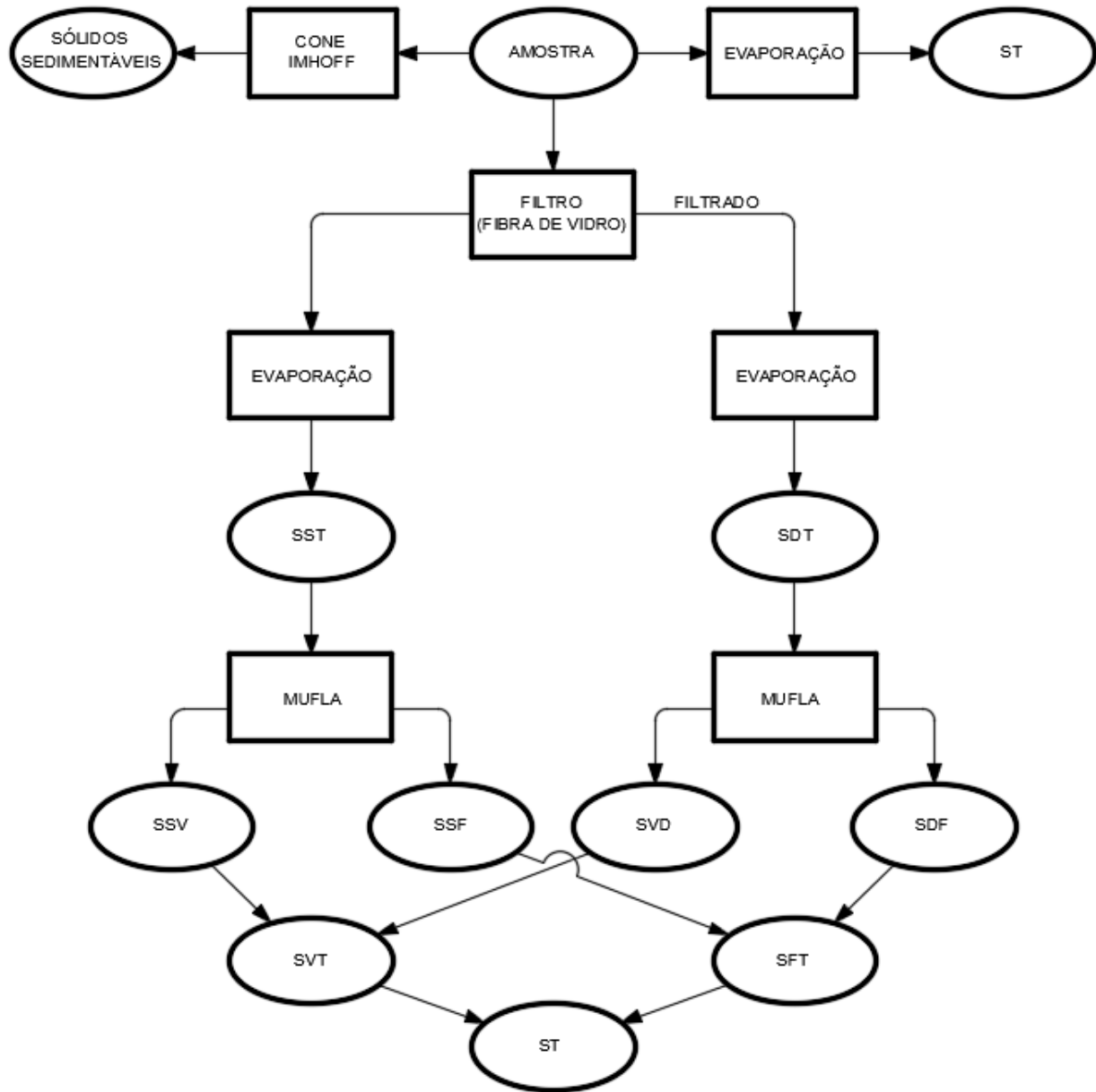
Quadro D.1 - Continuação

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	
ITEM	DESCRIÇÃO
<b>COT</b>	O teste mede todo o carbono liberado na forma de CO <sub>2</sub> . Este teste tem sido utilizado, principalmente, em pesquisas e avaliações mais aprofundadas das características do líquido, devido aos custos mais elevados dos equipamentos. O COT de uma AR pode ser utilizado como uma medida de suas características de poluição, sendo possível relacionar COT a valores de CBO e CQO em alguns casos. Uma grande vantagem do teste de COT é o seu tempo de realização, podendo ser executável em 5 a 10 minutos.
<b>CQO</b>	A CQO é utilizada para estabelecer a quantidade de oxigénio da matéria orgânica oxidável em meio ácido, geralmente utilizado o dicromato de potássio. O teste de CQO é normalmente maior do que o CBO <sub>5</sub> , porque mais compostos podem ser oxidados quimicamente do que podem ser oxidados biologicamente, e também, porque o CBO <sub>5</sub> não é igual ao CBO última.
<b>Alcalinidade</b>	A alcalinidade mede a capacidade de tamponamento da água contra mudanças no pH. Água que tem uma alta alcalinidade pode aceitar grandes doses de ácidos ou bases sem alterar o pH significativamente. A concentração de álcali é uma característica relevante do efluente e afeta o desempenho dos processos biológicos de nitrificação. A alcalinidade é determinada por titulação contra um ácido padrão, os resultados são expressos em termos de carbonato de cálcio (mg/L) como o CaCO <sub>3</sub> . O processo de LA requer alcalinidade suficiente para garantir que o pH permaneça na faixa aceitável de 6,5 a 9,0. Se ocorre a nitrificação, a alcalinidade deve estar disponível para suportar esse processo.
<b>Nutrientes</b>	Os nutrientes mais importantes na AR são o azoto (N) e o fósforo (P), pois são necessários para o crescimento biológico dos microrganismos. As formas mais comuns e importantes do N na AR são: iões nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) e azoto amoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), na forma orgânica como aminas e proteínas e sob forma de azoto molecular dissolvido (N <sub>2</sub> ). O P pode ser encontrado em várias formas na AR, entre elas estão os: ortofosfatos, polifosfatos e fosfato orgânico, formando o denominado P total. A composição elementar típica de células bacterianas com base no peso seco é de 50% de carbono, 20% de oxigénio, 15% de azoto, 8% de hidrogénio, 3% de P e menos de 1% de enxofre, potássio, cálcio, sódio, ferro e magnésio. O nitrito é extremamente tóxico à maior parte dos peixes e outras espécies aquáticas, mesmo em baixas concentrações. Assumindo que ocorra a nitrificação completa, a concentração típica de nitrato em efluentes tratados varia entre 15 e 25 mg/L N. O azoto Kjeldahl total (NKT) é uma medida dos azotos orgânico e amoniacal total na AR, representando a disponibilidade de azoto para a construção de células microbianas. O P é essencial para o crescimento de algas, para a produção agrícola e para outros organismos biológicos. Devido ao crescimento prejudicial de algas em águas superficial, há interesse de controlo destes nutrientes na descarga de AR.

Quadro D.2 - Principais características físicas da água residual

Adaptado de Davis & Masten (2016); Marecos do Monte, Santos, Barreiros & Albuquerque 2016; Metcalf & Eddy (2003) (2016); Spellman (2011); Sperling (2007b) (2014a) (2014b) (2016b); Vesilind *et al.* (2010); Wang *et al.* (2009) (2010); Weiner & Matthews (2003)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
ITEM	DESCRIÇÃO
<b>Temperatura</b>	Na AR normalmente variam entre 10 °C e 20 °C, diferindo da temperatura ambiente devido as descargas recebidas. A elevação da temperatura implica no aumento das reações químicas e biológicas nos reatores, influenciando no metabolismo microbiano e interferindo nas taxas de oxidação da matéria orgânica. Uma regra aproximada para reações químicas é que a velocidade de reação química dobra para cada aumento de 10 °C. Existe uma temperatura ótima, acima e abaixo de tal há uma redução em sua taxa, a faixa ótima para atividades biológicas estão entre 25 °C e 35 °C. A digestão anaeróbia e a nitrificação são interrompidas quando chega a 50 °C. Quando desce até 15 °C, as bactérias produtoras de metano se tornam inativas. A aproximadamente 5 °C, as bactérias nitrificantes autotróficas praticamente param de funcionar.
<b>Sólidos</b>	É o de maior importância em termos de dimensionamento e controle de operações da ETAR, ainda que represente apenas cerca de 0,08% dos esgotos. Os Sólidos Suspensos (SS) são as partículas orgânicas e inorgânicas carregadas por AR. Os SS orgânicos afetam a carência de oxigênio. Os SS inorgânicos têm a principal fonte a erosão do solo. Quando sedimentam no fundo do corpo hídrico formam lamas e criam condições anaeróbias. A fração orgânica da biomassa é denominada Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), já que a matéria orgânica pode ser volatilizada, isto é, convertida a gás por oxidação. Os SSV ainda são divididos em fração ativa e inativa, sendo a fração ativa responsável pela estabilização da matéria orgânica
<b>Turvação</b>	Muitos materiais podem causar a turvação do líquido, incluindo argilas e outras partículas inorgânicas de pequenas dimensões, algas e matéria orgânica. A turbidez é uma medida das propriedades de reflexão de luz de uma solução contendo partículas suspensas e coloidais, expressa em unidades nefelométricas de turbidez (UNT).



LEGENDA

ST = SÓLIDOS TOTAIS	SVD = SÓLIDOS VOLÁTEIS DISSOLVIDOS
SST = SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	SDF = SÓLIDOS DISSOLVIDOS FIXOS
SDT = SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	SVT = SÓLIDOS VOLÁTEIS TOTAIS
SSV = SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS	SFT = SÓLIDOS FIXOS TOTAIS
SSF = SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS	

Figura D.1 - Relação entre sólidos encontrados na água e água residual

Adaptado de Metcalf & Eddy (2016)

## Anexo E – Sistemas de arejamento

Quadro E.1 - Características dos principais sistemas de arejamento por ar difuso em sistemas de lamas ativadas

Adaptado de Metcalf & Eddy (2003); Qasim (1999) citado por Sperling (2016a); Malina (1992); WEF & ASCE (1992); Aire-O<sub>2</sub> (1992)

CLASSIFICAÇÃO DAS BOLHAS DE AREJAMENTO	CARACTERÍSTICAS	VANTAGENS	DESvantagens	EFICIÊNCIA DE TRANSFERÊNCIA DE O <sub>2</sub> PADRÃO MÉDIA (%)	EFICIÊNCIA DE O <sub>2</sub> PADRÃO (kg O <sub>2</sub> /kWh)
<b>Finas</b>	São geradas através de pratos, discos, tubos, domos ou membranas, feitos de um meio cerâmico, vítreo ou de resinas.	Elevada transferência de oxigénio. Boa capacidade de mistura. Elevada flexibilidade operacional através da variação do caudal de ar.	Custos de implantação e manutenção elevados. Possibilidades de colmatção dos difusores. Necessidade de filtros de ar.	15 - 30	1,2 – 2,0
<b>Médias</b>	São obtidas através de membranas perfuradas ou tubos (aço inoxidável coberto ou de plástico) perfurados.	Boa capacidade de mistura. Reduzidos custos de manutenção.	Custos de implantação elevados. Filtros de ar podem ser necessários.	6 – 15	1,0 – 1,6
<b>Grossas</b>	São reproduzidas através de orifícios, bocais ou injetores.	Não colmatção. Filtros de ar podem ser dispensados. Simplicidade conceitual. Manutenção relativamente simples.	Baixa transferência de oxigénio. Elevados requisitos de energia.	4 – 8	0,6 – 1,2

Quadro E.2 - Características dos principais sistemas de arejamento superficial para o processo de lamas ativadas

Adaptado de Arceivala (1981), Qasim (1985) (1999); Metcalf & Eddy (1991) (2003) (2014); Malina (1992); WEF & ASCE (1992) citado por Sperling (2016a)

TIPO DE AREJADOR	CARACTERÍSTICAS	COMPONENTES	VANTAGENS	DESVANTAGENS	EFICIÊNCIA DE OXIGENAÇÃO PADRÃO (kg O <sub>2</sub> /kWh)
<b>Baixa rotação, fluxo radial</b>	Similar a uma bomba de elevado caudal e baixa carga. O fluxo do líquido no tanque é radial em relação ao eixo do motor. A maior parte da absorção de oxigénio ocorre devido ao ressalto hidráulico criado. Velocidade de rotação: 20 – 60 rpm.	Motor, redutor, hélice (impulsor). Unidades de fixação (pontes ou passarelas) nos arejadores fixos.	Elevada transferência de oxigénio. Boa capacidade de mistura. Flexibilidade no projeto do tanque. Elevada capacidade de bombeamento. Fácil acesso para manutenção.	Custos iniciais elevados. Necessidade de manutenção cuidadosa nos redutores.	1,2 – 2,1
<b>Alta rotação, fluxo axial</b>	Similar a uma bomba de elevado caudal e baixa carga. O fluxo do líquido bombeado é ascensional segundo o eixo do motor, atingindo um difusor. A maior parte da absorção de oxigénio ocorre devido à aspersão e à turbulência. Velocidade de rotação: 900 – 1400 rpm.	Motor, hélice (impulsor), flutuador (não necessita redutor).	Custos iniciais mais reduzidos. Facilmente ajustável a variações do nível de água. Operação flexível.	Difícil acesso para manutenção. Menor capacidade de mistura.	1,1 – 1,4
<b>Rotor de eixo horizontal</b>	A rotação é em torno de um eixo horizontal. Ao rodar, o rotor, com um grande número de aletas perpendiculares ao eixo, causa o arejamento por aspersão e incorporação do ar, além de proporcionar o movimento circulatório do líquido do reator. Velocidade de rotação: 20 – 60 rpm.	Motor, redutor, rotor, passarelas.	Custo inicial moderado. Fácil de fabricar localmente. Fácil acesso para manutenção.	Geometria do tanque limitada. Requisito de baixas profundidades. Possíveis problemas em rotores com eixos longos.	1,0 – 2,0

Quadro E.3 - Faixas típicas de capacidades de transferência de oxigénio por diversos tipos de arejadores superficiais

Adaptado de Metcalf & Eddy (2016)

AREJAMENTO MECÂNICO	TAXA DE TRANSFERÊNCIA (kg O <sub>2</sub> /kW.h)	
	PADRÃO <sup>1</sup>	CAMPO <sup>2</sup>
De superfície com baixa rotação	1,5 – 2,1	0,7 – 1,5
De superfície com baixa rotação e tubo de sucção	1,2 – 2,8	0,7 – 1,3
De superfície com alta rotação	1,1 – 1,4	0,7 – 1,2
Turbina submersa com tubo de sucção	1,2 – 2,0	0,6 – 1,1
Turbina submersa	1,1 – 2,1	-
Turbina submersa com espalhador	1,2 – 2,0	0,7 – 1,0
Rotor horizontal	1,5 – 2,1	0,5 -1,1

<sup>1</sup> Condições padrão: água limpa 20 °C; 101,325 kN/m<sup>2</sup>; e oxigénio dissolvido inicial = 0 mg O<sub>2</sub>/L.

<sup>2</sup> Condições de campo: AR 15 °C; altitude 150 m,  $\alpha = 0,85$ ;  $\beta = 0,9$ ; oxigénio dissolvido de operação = 2 mg O<sub>2</sub>/L.

Quadro E.4 – Dimensões típicas de tanques de arejamento para arejadores superficiais

Adaptado de Metcalf & Eddy (2016)

POTÊNCIA DO AREJADOR	DIMENSÕES DO TANQUE	
	PROFUNDIDADE (m)	LARGURA (m)
kW		
7,5	3 – 3,6	9 – 12
15	3,6 – 4,2	10,5 – 15
22,5	3,9 – 4,5	12 – 18
30	3,6 – 5,1	13,5 – 20
37,5	4,5 – 5,5	13,5 – 23
55	4,5 – 6	15 – 26
75	4,5 - 6	18 - 27

Quadro E.5 - Principais vantagens dos sistemas de arejamento mecânico sobre os difusores de ar

Adaptado de Jordão & Pessôa (2014)

VANTAGENS	DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não há partes submersas</li> <li>- Não apresenta riscos de entupimentos, em que não é necessário realizar limpeza periodicamente</li> <li>- Não requer sistema de tubagens e distribuição de ar</li> <li>- Maior turbulência ao meio líquido</li> <li>- Maior facilidade de instalação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor flexibilidade em relação ao controlo de OD no TA</li> <li>- Possibilidade de maior formação de aerossóis</li> <li>- Para ETAR de grande porte, necessita maior manutenção preventiva das unidades</li> <li>- Problemas de poluição sonora, principalmente no caso de muitos motores instalados</li> </ul>

## Anexo F – Resumo dos critérios de dimensionamento

Quadro F.1 - Critérios dimensionamento de decantadores primários e secundários

 Adaptado de CPHEEO & JICA (2013); Metcalf & Eddy (2016); NBR 12209 (2011); Sperling (2016a); Wilson *et al.* (2005)

ITEM	DECANTADOR PRIMÁRIO		DECANTADOR SECUNDÁRIO	
	INTERVALO	TÍPICO	INTERVALO	TÍPICO
<b>T<sub>RH</sub> (h)</b>	1,5 – 2,5	2	2 - 4	3
<b>C<sub>H</sub> Q<sub>MÉD</sub> (m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.d))</b>	30 - 50	40	16 – 32	24
<b>C<sub>H</sub> Q<sub>PTA</sub> (m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.d))</b>	80 - 120	100	36 – 56	44
<b>C<sub>HDESC</sub> (m<sup>3</sup>/(m.d))</b>	125 - 500	250	125 - 500	250
<b>C<sub>S</sub> Q<sub>MÉD</sub> (kg/(m<sup>2</sup>.h))</b>	-	-	2 - 6	4
<b>C<sub>S</sub> Q<sub>PTA</sub> (kg/(m<sup>2</sup>.h))</b>			4,2 - 10	8

Quadro F.2 - Dimensões para decantadores primários e secundários de acordo com o seu formato

 Adaptado de Metcalf & Eddy (2016); Sperling (2016a); Wilson *et al.* (2005)

ITEM	DECANTADOR PRIMÁRIO		DECANTADOR SECUNDÁRIO	
	INTERVALO	TÍPICO	INTERVALO	TÍPICO
<i>Retangular</i>				
<b>Profundidade (m)</b>	3 – 5	4,3	3,5 - 6	4 - 5
<b>Comprimento (m)</b>	15 - 90	24 – 40	15 - 90	-
<b>Largura (m)</b>	3 - 24	5 - 10	6 - 24	
<i>Circular</i>				
<b>Profundidade (m)</b>	3 - 5	4,3	3 – 6	4
<b>Diâmetro (m)</b>	3 - 60	12 – 45	10 - 60	-
<b>Inclinação<sub>FUNDO</sub> (%)</b>	6 - 16	8	6 - 16	8

Quadro F.3 - Principais critérios para o dimensionamento de sistemas de lamas ativadas

Adaptado de CPHEEO & JICA (2013); Henze *et al.* (2008); Jordão & Pessôa (2014); Metcalf & Eddy (2016); NBR 12209 (2011); Spellman (2011); Sperling (2016a); Weiner & Matthews (2003)

TIPOLOGIA	F/M (kg CBO <sub>5</sub> / (kg SSVLM.d))	F/V (kg CBO <sub>5</sub> / (m <sup>3</sup> .d))	T <sub>RS</sub> (d)	T <sub>RH</sub> (h)	SSLM (mg SST/L)	SSVLM (mg SSV/L)	R (%)
<b>Arejamento prolongado (baixa carga)</b>	0,04 – 0,18	0,1 – 0,3	10 – 40	12 – 36	2000 - 6000	2000 – 5000	25 – 150
<b>Arejamento convencional (média carga)</b>	0,2 – 0,7	0,3 – 0,7	3 – 15	4 – 8	1000 - 4000	1200 – 3500	25 – 100
<b>Arejamento rápido (alta carga)</b>	0,4 – 2,0	1,2 – 2,4	0,5 – 5,0	1 - 2	200 - 1000	140 - 350	100 - 150

## Anexo G – Representação do protocolo unificado do GPM

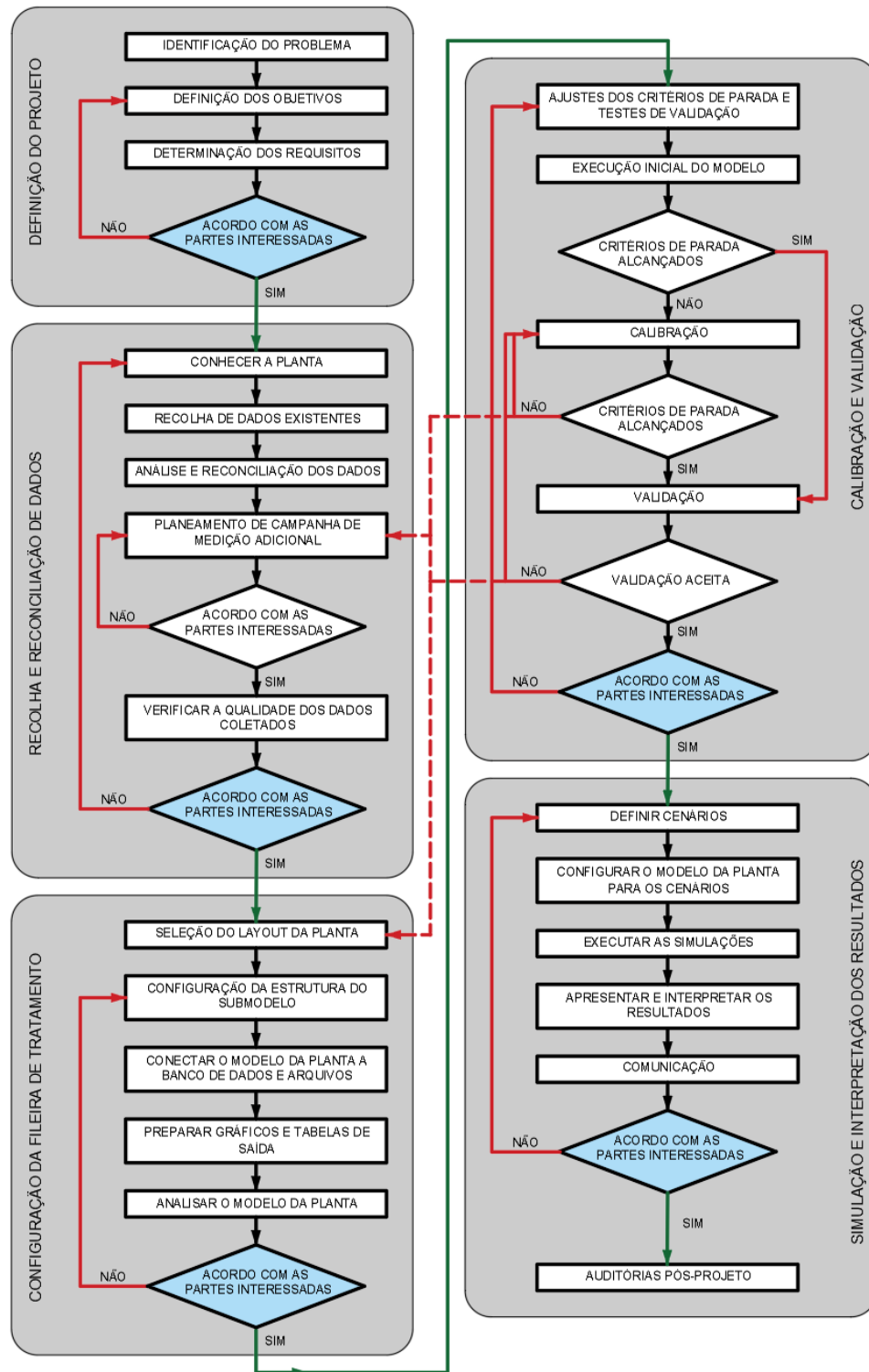


Figura G.1 - Representação esquemática do protocolo unificado proposto pelo GPM

Adaptado de Rieger *et al.* (2012)

## Anexo H – Composição dos caudais e cargas poluidoras

### Portugal Continental

Quadro H.1 - Caudais e cargas poluidoras afluentes à ETAR para população inicial de 50.000 hab em Portugal

ANO	POP. (hab.)	Q <sub>MÉD</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>MÉD</sub> + Q <sub>INF</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>PTA</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>MÍN</sub> (m <sup>3</sup> /d)	CARGAS		CONCENTRAÇÕES	
						Q <sub>MÉD</sub> (kg/d)		Q <sub>MÉD</sub> (mg/L)	
						CBO <sub>5</sub>	SST	CBO <sub>5</sub>	SST
0	50.000	7.680	8.448	12.902	2.534	3.000	3.500	355	414
10	55.231	8.484	9.332	14.239	2.800	3.314	3.866		
20	61.010	9.371	9.371	15.716	3.092	3.661	4.271		

Quadro H.2 - Caudais e cargas poluidoras afluentes à ETAR para população inicial de 120.000 hab em Portugal

ANO	POP. (hab.)	Q <sub>MÉD</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>MÉD</sub> + Q <sub>INF</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>PTA</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>MÍN</sub> (m <sup>3</sup> /d)	CARGAS		CONCENTRAÇÕES	
						Q <sub>MÉD</sub> (kg/d)		Q <sub>MÉD</sub> (mg/L)	
						CBO <sub>5</sub>	SST	CBO <sub>5</sub>	SST
0	120.000	18.432	20.275	30.769	6.083	7.200	8.400	355	414
10	132.555	20.360	22.394	33.969	6.719	7.953	9.279		
20	146.423	22.491	24.740	37.503	7.422	8.785	10.250		

Quadro H.3 - Caudais e cargas poluidoras afluentes à ETAR para população inicial de 200.000 hab em Portugal

ANO	POP. (hab.)	Q <sub>MÉD</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>MÉD</sub> + Q <sub>INF</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>PTA</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>MÍN</sub> (m <sup>3</sup> /d)	CARGAS		CONCENTRAÇÕES	
						Q <sub>MÉD</sub> (kg/d)		Q <sub>MÉD</sub> (mg/L)	
						CBO <sub>5</sub>	SST	CBO <sub>5</sub>	SST
0	200.000	30.720	33.792	51.148	10.138	12.000	14.000	355	414
10	220.924	33.934	37.327	56.474	11.198	13.256	15.465		
20	244.038	37.484	41.233	62.357	12.370	14.642	17.083		

## **Paraná / Brasil**

Quadro H.4 - Caudais e cargas poluidoras afluentes à ETAR para população inicial de 50.000 hab no Paraná

ANO	POP. (hab.)	Q <sub>MÉD</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>MÉD</sub> + Q <sub>INF</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>PTA</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>MÍN</sub> (m <sup>3</sup> /d)	CARGAS		CONCENTRAÇÕES	
						Q <sub>MÉD</sub> (kg/d)		Q <sub>MÉD</sub> (mg/L)	
						CBO <sub>5</sub>	SST	CBO <sub>5</sub>	SST
0	50.000	5.516	6.067	10.922	3.034	2.700	3.100	445	511
10	55.231	6.093	6.702	12.064	3.351	2.983	3.424		
20	61.010	6.731	7.404	13.327	3.702	3.295	3.783		

Quadro H.5 - Caudais e cargas poluidoras afluentes à ETAR para população inicial de 120.000 hab no Paraná

ANO	POP. (hab.)	Q <sub>MÉD</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>MÉD</sub> + Q <sub>INF</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>PTA</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>MÍN</sub> (m <sup>3</sup> /d)	CARGAS		CONCENTRAÇÕES	
						Q <sub>MÉD</sub> (kg/d)		Q <sub>MÉD</sub> (mg/L)	
						CBO <sub>5</sub>	SST	CBO <sub>5</sub>	SST
0	120.000	13.238	14.562	26.212	7.281	6.480	7.440	445	511
10	132.555	14.623	16.086	28.954	8.043	7.158	8.218		
20	146.423	16.153	17.769	31.984	8.884	7.907	9.078		

Quadro H.6 - Caudais e cargas poluidoras afluentes à ETAR para população inicial de 200.000 hab no Paraná

ANO	POP. (hab.)	Q <sub>MÉD</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>MÉD</sub> + Q <sub>INF</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>PTA</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>MÍN</sub> (m <sup>3</sup> /d)	CARGAS		CONCENTRAÇÕES	
						Q <sub>MÉD</sub> (kg/d)		Q <sub>MÉD</sub> (mg/L)	
						CBO <sub>5</sub>	SST	CBO <sub>5</sub>	SST
0	200.000	22.064	24.270	43.687	12.135	10.800	12.400	445	511
10	220.924	24.372	26.810	48.257	13.405	11.930	13.697		
20	244.038	26.922	29.614	53.306	14.807	13.178	15.130		

## Anexo I – Dimensionamento prévio das unidades de tratamento no Excel utilizados para o início das simulações no GPS-X

Quadro I.1 – Dimensões por unidade dos DP, TA e DS para cada condição no cenário 2

CONDIÇÃO	DECANTADOR PRIMÁRIO				TANQUE DE AREJAMENTO					DECANTADOR SECUNDÁRIO			
	Formato	QTD (und)	A <sub>UND</sub> (m <sup>2</sup> )	h (m)	QTD (und)	A <sub>UND</sub> (m <sup>2</sup> )	Altura (m)			Formato	QTD (und)	A <sub>UND</sub> (m <sup>2</sup> )	h (m)
							Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>				
A	Circular	2	95	4,5	2	400	3,5	4,0	4,5	Circular	3	177	4,0
B	Circular		133	3,8						Circular		254	3,3
C	Retangular		94	5,0						Retangular		178	4,0
D	Retangular		129	3,5						Retangular		249	3,3
E	Circular		95	3,8		343	177	3,5					
F	Retangular		93	4,0		298			184				
G	Circular		95	3,8		343	177	3,5					
H	Retangular		93	4,0		298			184				

Quadro I.2 – Dimensões por unidade dos DP, TA e DS para cada condição no cenário 3

CONDIÇÃO	DECANTADOR PRIMÁRIO				TANQUE DE AREJAMENTO					DECANTADOR SECUNDÁRIO			
	Formato	QTD (und)	A <sub>UND</sub> (m <sup>2</sup> )	h (m)	QTD (und)	A <sub>UND</sub> (m <sup>2</sup> )	Altura (m)			Formato	QTD (und)	A <sub>UND</sub> (m <sup>2</sup> )	h (m)
							Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>				
A	Circular	4	95	4,2	4	376	4,5	5,0	5,5	Circular	5	201	4,5
B	Circular		154	3,5						371		346	3,5
C	Retangular		101	4,0						376		204	4,5
D	Retangular		129	3,5						374		358	3,5
E	Circular	2	227	3,8	3	479	5,0	5,0	Circular	5	254	4,0	
F	Retangular		222	3,8					480		264		3,5
G	Circular		227	3,8					479		254		4,0
H	Retangular		222	3,8					480		264		3,5

Quadro I.3 - Dimensões por unidade dos DP, TA e DS para cada condição no cenário 4

CONDIÇÃO	DECANTADOR PRIMÁRIO				TANQUE DE AREJAMENTO					DECANTADOR SECUNDÁRIO			
	Formato	QTD (und)	A <sub>UND</sub> (m <sup>2</sup> )	h (m)	QTD (und)	A <sub>UND</sub> (m <sup>2</sup> )	Altura (m)			Formato	QTD (und)	A <sub>UND</sub> (m <sup>2</sup> )	h (m)
							Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>				
A	Circular	6	133	5,0	4	840	5,0	5,5	6,0	Circular	8	201	4,5
B	Circular		177	3,5						842		380	3,3
C	Retangular		125	4,5						847		212	4,5
D	Retangular		172	3,8						842		374	3,5
E	Circular	3	254	4,0	4	637	5,5	5,5	Circular	8	254	4,0	
F	Retangular		247						3,5		640	268	3,5
G	Circular		254						4,0		637	254	4,0
H	Retangular		247						3,5		640	268	3,5

## Anexo J – Resultado das simulações para o cenário 1

### Condição 1A

#### Decantadores

Quadro J.1 - Eficiência do decantador primário no cenário 1A

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	50	47	47	67	62	63
10	45	42	43	61	56	57
20	41	38	39	55	51	52

Quadro J.2 – Caudais dos decantadores no cenário 1A

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>w</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
Q <sub>MÉD</sub>	12	52	840
Q <sub>PTA</sub>	19	197	1.967
Q <sub>MÍN</sub>	3	56	308

#### Tanque de Arejamento

Quadro J.3 – Taxa de transferência de oxigénio para as condições reais no cenário 1A

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	563	764	175	529	346	164	576	800	179
10	642	856	199	601	406	187	658	903	204
20	728	950	225	677	470	210	747	1.012	231

Quadro J.4 – Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 1A

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	33	30	30	12	11	11
		10	38	34	34	14	13	13
		20	43	38	38	16	14	14
	Q <sub>PTA</sub>	0	40	40	40	16	16	16
		10	45	45	45	18	19	19
		20	49	50	50	20	21	21
	Q <sub>MÍN</sub>	0	12	9	9	4	3	3
		10	13	11	11	5	4	4
		20	15	12	12	5	4	4
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	30	27	27	11	10	10
		10	34	31	31	13	12	12
		20	39	35	35	14	13	13
	Q <sub>PTA</sub>	0	18	18	18	7	7	7
		10	21	21	21	9	9	9
		20	24	24	24	10	10	10
	Q <sub>MÍN</sub>	0	11	8	8	3	3	3
		10	12	10	10	4	3	3
		20	14	11	11	5	4	4
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	35	31	31	13	11	11
		10	40	36	36	15	13	13
		20	45	41	41	17	15	15
	Q <sub>PTA</sub>	0	43	44	44	17	18	18
		10	49	49	49	20	20	20
		20	55	55	55	22	22	22
	Q <sub>MÍN</sub>	0	12	10	10	4	3	3
		10	14	11	11	5	4	4
		20	16	13	13	5	4	4

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente Final

Quadro J.5 – Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 1A

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
CBO <sub>5</sub>	0	5	8	2	6	11	4	4	7	2
	10	5	8	2	7	12	4	4	7	2
	20	5	9	2	7	14	4	5	8	2
SST	0	9	12	2	9	12	3	9	12	2
	10	10	14	3	10	14	3	10	14	3
	20	11	16	3	11	16	3	11	16	3

## Condição 1B

### Decantadores

Quadro J.6 - Eficiência do decantador primário no cenário 1B

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	52	49	48	70	65	64
10	47	45	44	63	59	58
20	43	40	40	57	54	53

Quadro J.7 - Caudais dos decantadores no cenário 1B

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>W</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
QMÉD	12	51	840
QPTA	19	125	1.967
QMÍN	3	93	308

### Tanque de Arejamento

Quadro J.8 - Taxa de transferência de oxigénio para as condições reais no cenário 1B

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	539	791	158	501	352	106	553	818	163
10	617	893	179	568	417	86	633	926	185
20	700	1.004	202	636	487	100	720	1.044	209

Quadro J.9 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 1B

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	38	29	29	14	11	11
		10	43	32	32	16	12	12
		20	49	37	37	19	14	14
	Q <sub>PTA</sub>	0	49	42	42	21	17	17
		10	56	47	47	23	20	20
		20	63	53	53	26	22	22
	Q <sub>MÍN</sub>	0	13	8	8	4	3	3
		10	14	9	9	5	3	3
		20	16	11	11	6	4	4
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	34	26	26	13	10	10
		10	39	29	29	15	11	11
		20	44	33	33	16	12	12
	Q <sub>PTA</sub>	0	22	18	18	9	8	8
		10	25	21	21	11	9	9
		20	30	25	25	12	10	10
	Q <sub>MÍN</sub>	0	8	5	5	3	2	2
		10	7	4	4	2	1	1
		20	8	5	5	3	2	2
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	40	30	30	15	11	11
		10	46	35	34	17	13	13
		20	53	39	39	19	14	14
	Q <sub>PTA</sub>	0	53	45	45	21	18	18
		10	60	51	51	24	20	20
		20	68	57	57	27	23	23
	Q <sub>MÍN</sub>	0	14	9	9	5	3	3
		10	15	10	10	5	3	3
		20	17	11	11	6	4	4

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro J.10 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 1B

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
CBO <sub>5</sub>	0	4	6	2	6	9	4	3	5	2
	10	4	6	2	6	10	5	4	6	2
	20	5	7	2	7	11	5	4	6	2
SST	0	7	9	2	7	10	2	7	10	2
	10	7	11	2	7	11	2	7	11	2
	20	8	12	2	8	12	2	8	12	2

## Condição 1C

### Decantadores

Quadro J.11 - Eficiência do decantador primário no cenário 1C

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	51	48	49	68	64	65
10	47	44	44	62	58	59
20	42	40	40	56	53	53

Quadro J.12 - Caudais dos decantadores no cenário 1C

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>W</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
QMÉD	12	52	840
QPTA	19	126	1.968
QMÍN	3	94	308

### Tanque de Arejamento

Quadro J.13 - Taxa de transferência de oxigénio para as condições reais no cenário 1C

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	540	794	157	501	361	97	553	821	162
10	616	896	178	566	426	85	631	930	184
20	698	1.005	201	632	496	100	717	1.046	208

Quadro J.14 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 1C

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	38	28	28	14	11	11
		10	43	32	32	16	12	12
		20	49	37	37	18	14	14
	Q <sub>PTA</sub>	0	49	42	42	20	17	17
		10	56	47	47	23	20	20
		20	62	53	53	26	22	22
	Q <sub>MÍN</sub>	0	13	8	8	4	3	3
		10	14	9	9	5	3	3
		20	16	11	11	5	4	4
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	34	26	26	13	10	10
		10	39	29	29	14	11	11
		20	43	32	32	16	12	12
	Q <sub>PTA</sub>	0	22	19	19	9	8	8
		10	26	22	22	11	9	9
		20	30	25	25	12	11	11
	Q <sub>MÍN</sub>	0	7	5	5	2	1	1
		10	7	4	4	2	2	2
		20	8	5	5	3	2	2
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	40	30	30	15	11	11
		10	46	34	34	17	13	13
		20	52	39	39	19	14	14
	Q <sub>PTA</sub>	0	53	45	45	21	18	18
		10	50	51	51	24	20	20
		20	67	57	57	27	23	23
	Q <sub>MÍN</sub>	0	13	9	9	4	3	3
		10	15	10	10	5	3	3
		20	17	11	11	6	4	4

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro J.15 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 1C

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
CBO <sub>5</sub>	0	5	8	2	7	11	4	4	7	2
	10	5	8	3	8	12	6	5	8	2
	20	6	9	3	8	13	6,	5	8	2
SST	0	9	14	2	9	14	2	9	14	2
	10	10	16	3	10	16	3	10	16	3
	20	12	17	3	12	17	3	12	17	3

## Condição 1D

### Decantadores

Quadro J.16 - Eficiência do decantador primário no cenário 1D

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	54	51	51	72	68	68
10	49	47	46	65	62	61
20	44	42	41	59	56	55

Quadro J.17 - Caudais dos decantadores no cenário 1D

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>w</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
Q <sub>MÉD</sub>	12	51	840
Q <sub>PTA</sub>	19	126	1.967
Q <sub>MÍN</sub>	3	94	308

### Tanque de Arejamento

Quadro J.18 - Taxa de transferência de oxigénio para as condições reais no cenário 1D

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	526	776	155	489	341	86	538	802	159
10	603	904	176	555	406	93	618	911	182
20	686	989	199	623	477	98	704	1.028	206

Quadro J.19 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 1D

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	37	28	28	14	11	11
		10	42	32	32	16	12	12
		20	48	36	36	18	14	14
	Q <sub>PTA</sub>	0	48	41	41	20	17	17
		10	56	48	48	23	20	20
		20	62	52	52	26	22	22
	Q <sub>MÍN</sub>	0	12	8	8	4	3	3
		10	14	9	9	5	3	3
		20	16	11	11	5	4	4
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	33	2	2	13	9	9
		10	38	29	29	14	11	11
		20	43	32	32	16	12	12
	Q <sub>PTA</sub>	0	21	18	18	9	7	7
		10	25	21	21	10	9	9
		20	29	25	25	12	10	10
	Q <sub>MÍN</sub>	0	7	4	4	3	2	2
		10	7	5	5	3	2	2
		20	8	5	5	3	2	2
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	39	29	29	14	11	11
		10	45	34	34	16	12	12
		20	51	38	38	19	14	14
	Q <sub>PTA</sub>	0	52	44	44	21	18	18
		10	59	50	50	24	20	20
		20	66	56	56	27	23	23
	Q <sub>MÍN</sub>	0	13	9	9	4	3	3
		10	15	10	10	5	3	3
		20	17	11	11	6	4	4

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro J.20 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 1D

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
CBO <sub>5</sub>	0	4	6	2	6	10	4	4	5	2
	10	4	7	2	7	10	5	4	6	2
	20	5	7	3	7	11	6	4	6	2
SST	0	7	10	2	7	10	2	7	10	2
	10	8	11	2	8	11	2	7	11	2
	20	8	12	2	9	12	2	8	12	2

## Condição 1E

### Decantadores

Quadro J.21 - Eficiência do decantador primário no cenário 1E

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	52	47	48	69	63	63
10	47	43	43	63	57	57
20	42	38	39	57	51	52

Quadro J.22 - Caudais dos decantadores no cenário 1E

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>W</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
QMÉD	11	38	602
QPTA	19	132	2.170
QMÍN	4	25	369

### Tanque de Arejamento

Quadro J.23 - Taxa de transferência de oxigénio para as condições reais no cenário 1E

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	464	765	258	433	366	245	475	795	263
10	531	865	295	492	433	279	544	902	301
20	602	971	335	553	505	316	619	1.018	342

Quadro J.24 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 1E

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	43	24	24	16	9	9
		10	50	28	28	19	11	11
		20	56	32	32	21	12	12
	Q <sub>PTA</sub>	0	64	40	40	26	17	17
		10	72	45	45	30	19	19
		20	81	51	51	33	21	21
	Q <sub>MÍN</sub>	0	28	14	14	9	5	5
		10	31	16	16	11	5	5
		20	36	18	18	12	6	6
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	40	22	22	15	8	8
		10	45	25	25	17	10	10
		20	50	28	28	19	11	11
	Q <sub>PTA</sub>	0	30	19	19	12	8	8
		10	35	22	22	15	9	9
		20	41	26	26	17	11	11
	Q <sub>MÍN</sub>	0	26	13	13	9	4	4
		10	29	14	14	10	5	5
		20	33	16	16	11	5	5
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	46	26	26	17	10	10
		10	53	30	30	19	11	11
		20	60	34	34	22	12	12
	Q <sub>PTA</sub>	0	69	43	43	28	17	17
		10	78	49	49	31	20	20
		20	88	56	56	35	22	22
	Q <sub>MÍN</sub>	0	29	14	14	10	5	5
		10	33	16	16	11	5	5
		20	38	19	19	12	6	6

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro J.25 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 1E

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
CBO <sub>5</sub>	0	4	6	2	5	10	4	3	5	2
	10	4	6	2	6	11	4	3	6	2
	20	4	7	3	6	12	4	4	6	2
SST	0	6	10	3	6	10	3	6	9	3
	10	7	11	4	7	11	4	7	11	4
	20	7	12	4	7	12	4	7	12	4

## Condição 1F

### Decantadores

Quadro J.26 - Eficiência do decantador primário no cenário 1F

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	54	49	49	72	65	66
10	49	44	45	65	59	59
20	44	40	40	59	53	54

Quadro J.27 - Caudais dos decantadores no cenário 1F

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>W</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
QMÉD	11	38	602
QPTA	19	132	2.170
QMÍN	4	25	369

### Tanque de Arejamento

Quadro J.28 - Taxa de transferência de oxigénio para as condições reais no cenário 1F

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	449	755	251	418	358	240	459	785	256
10	515	854	287	475	425	274	527	891	293
20	586	959	327	532	497	210	601	1.006	333

Quadro J.29 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 1F

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	42	24	24	16	9	9
		10	48	27	27	18	10	10
		20	55	31	31	21	12	12
	Q <sub>PTA</sub>	0	63	40	40	26	16	16
		10	71	45	45	29	19	19
		20	80	50	50	33	21	21
	Q <sub>MÍN</sub>	0	27	13	13	9	4	4
		10	31	15	15	10	5	5
		20	35	17	17	12	6	6
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	38	22	22	14	8	8
		10	43	24	24	16	9	9
		20	49	27	27	18	10	10
	Q <sub>PTA</sub>	0	29	18	18	12	8	8
		10	34	22	22	14	9	9
		20	40	26	26	17	11	11
	Q <sub>MÍN</sub>	0	25	12	12	8	4	4
		10	29	14	14	10	5	5
		20	32	16	16	11	5	5
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	45	25	25	16	9	9
		10	51	29	29	19	11	11
		20	58	33	33	21	12	12
	Q <sub>PTA</sub>	0	68	43	43	27	17	17
		10	77	49	49	31	20	20
		20	87	55	55	35	22	22
	Q <sub>MÍN</sub>	0	28	14	14	9	5	5
		10	32	16	16	11	5	5
		20	37	18	18	12	6	6

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro J.30 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 1F

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
CBO <sub>5</sub>	0	4	6	2	6	10	4	3	5	2
	10	4	7	3	6	11	4	3	6	2
	20	4	7	3	7	12	4	4	6	2
SST	0	6	10	3	6	10	3	6	10	3
	10	7	11	4	7	11	4	7	11	4
	20	7	12	4	8	12	4	7	12	4

### Condição 1G

#### Decantadores

Quadro J.31 Caudais dos decantadores no cenário 1G

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>w</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
Q <sub>MÉD</sub>	11	38	602
Q <sub>PTA</sub>	19	132	2.170
Q <sub>MÍN</sub>	4	25	369

#### Tanque de Arejamento

Quadro J.32 - Taxa de transferência de oxigénio para as condições reais no cenário 1G

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	464	742	262	433	355	250	475	778	267
10	531	882	300	492	419	286	544	882	306
20	602	930	341	553	489	324	619	994	348

Quadro J.33 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 1G

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	43	24	24	16	9	9
		10	50	28	28	19	11	11
		20	56	32	32	21	12	12
	Q <sub>PTA</sub>	0	69	39	39	26	15	15
		10	82	46	46	31	18	18
		20	87	49	49	33	18	18
	Q <sub>MÍN</sub>	0	25	14	14	9	5	5
		10	28	16	16	11	6	6
		20	32	18	18	12	7	7
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	40	22	22	15	8	8
		10	45	25	25	17	10	10
		20	50	28	28	19	11	11
	Q <sub>PTA</sub>	0	32	18	18	12	7	7
		10	38	22	22	14	8	8
		20	45	25	25	17	9	9
	Q <sub>MÍN</sub>	0	23	13	13	9	5	5
		10	26	15	15	10	6	6
		20	30	17	17	11	6	6
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	46	26	26	17	10	10
		10	53	30	30	19	11	11
		20	60	34	34	22	12	12
	Q <sub>PTA</sub>	0	75	43	43	28	16	16
		10	85	48	48	31	18	18
		20	96	54	54	35	20	20
	Q <sub>MÍN</sub>	0	26	15	15	10	5	5
		10	30	17	17	11	6	6
		20	34	19	19	12	7	7

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro J.34 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 1G

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
CBO <sub>5</sub>	0	4	6	2	5	11	4	3	5	2
	10	4	6	2	6	11	4	3	6	2
	20	4	7	3	6	13	4	4	6	2
SST	0	6	10	3	6	10	3	6	10	3
	10	7	11	4	7	11	4	7	11	4
	20	7	12	4	7	12	4	7	12	4

### Condição 1H

#### Decantadores

Quadro J.35 - Caudais dos decantadores no cenário 1H

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>w</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
Q <sub>MÉD</sub>	11	38	602
Q <sub>PTA</sub>	19	132	2.170
Q <sub>MÍN</sub>	4	25	369

#### Tanque de Arejamento

Quadro J.36 - Taxa de transferência de oxigénio para as condições reais no cenário 1H

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	449	721	254	418	343	243	459	761	258
10	515	807	291	475	406	277	528	863	296
20	586	891	331	532	473	315	601	972	337

Quadro J.37 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 1H

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	42	24	24	16	9	9
		10	48	27	27	18	10	10
		20	55	31	31	21	12	12
	Q <sub>PTA</sub>	0	67	38	38	25	14	14
		10	75	42	42	28	16	16
		20	83	47	47	31	18	18
	Q <sub>MÍN</sub>	0	24	13	13	9	5	5
		10	27	15	15	10	6	6
		20	31	17	17	12	7	7
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	38	22	22	14	8	8
		10	43	24	24	16	9	9
		20	49	27	27	18	10	10
	Q <sub>PTA</sub>	0	31	17	17	12	7	7
		10	37	21	21	14	8	8
		20	43	24	24	16	9	9
	Q <sub>MÍN</sub>	0	22	12	12	8	5	5
		10	25	14	14	10	5	5
		20	29	16	16	11	6	6
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	45	25	25	16	9	9
		10	51	29	29	19	11	11
		20	58	33	33	21	12	12
	Q <sub>PTA</sub>	0	74	42	42	27	15	15
		10	84	47	47	30	17	17
		20	94	53	53	34	19	19
	Q <sub>MÍN</sub>	0	25	14	14	9	5	5
		10	29	16	16	11	6	6
		20	33	18	18	1	7	7

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

**Efluente final**

Quadro J.38 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 1H

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
CBO <sub>5</sub>	0	4	6	2	6	11	4	3	6	2
	10	4	7	3	6	12	4	3	6	2
	20	4	8	3	7	13	4	4	7	2
SST	0	6	10	3	6	10	3	6	10	3
	10	7	11	4	7	11	4	7	11	4
	20	7	12	4	8	12	4	7	12	4

## Anexo K – Resultado das simulações para o cenário 2

### Condição 2A

#### Decantadores

Quadro K.1 - Eficiência do decantador primário no cenário 2A

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	49	47	43	65	63	57
10	44	43	39	59	57	54
20	40	39	36	53	52	50

Quadro K.2 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 2A

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>W</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
Q <sub>MÉD</sub>	59	472	6.298
Q <sub>PTA</sub>	96	840	12.832
Q <sub>MÍN</sub>	14	133	771

#### Tanque de Arejamento

Quadro K.3 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 2A

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	1.272	1.820	446	578	830	406	1.314	1.918	443
10	1.443	2.040	504	687	879	458	1.493	2.168	503
20	1.625	2.259	542	803	1.036	512	1.686	2.436	568

Quadro K.4 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 2A

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	52	84	167	6	10	20
		10	59	95	190	7	11	23
		20	67	107	213	8	13	26
	Q <sub>PTA</sub>	0	66	120	239	9	16	32
		10	75	134	268	10	18	36
		20	83	148	297	11	20	39
	Q <sub>MÍN</sub>	0	21	29	59	2	3	7
		10	24	33	66	3	4	8
		20	26	36	71	3	4	8
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	23	37	74	3	4	9
		10	28	44	88	3	5	11
		20	32	52	103	4	6	12
	Q <sub>PTA</sub>	0	30	53	107	4	7	14
		10	31	56	113	5	8	16
		20	37	66	133	5	10	19
	Q <sub>MÍN</sub>	0	19	26	52	2	3	6
		10	21	29	59	2	3	6
		20	24	33	66	2	3	7
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	36	90	179	7	11	21
		10	54	102	204	7	12	23
		20	72	115	230	9	14	27
	Q <sub>PTA</sub>	0	73	131	262	9	16	33
		10	82	148	296	11	19	38
		20	92	166	332	12	21	42
	Q <sub>MÍN</sub>	0	22	30	60	2	3	7
		10	25	34	69	3	4	7
		20	28	39	78	3	5	9

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro K.5 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 2A

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
CBO <sub>5</sub>	0	5	7	2	8	11	3	5	7	2
	10	5	8	2	9	13	3	5	7	2
	20	6	9	3	9	14	3	6	8	2
SST	0	8	11	3	8	11	3	8	11	3
	10	9	13	3	9	13	3	9	13	3
	20	10	14	3	10	14	3	10	14	3

## Condição 2B

### Decantadores

Quadro K.6 - Eficiência do decantador primário no cenário 2B

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	51	48	47	68	64	62
10	46	44	42	61	58	56
20	42	40	38	55	53	51

Quadro K.7 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 2B

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>w</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
QMÉD	61	470	6.297
QPTA	96	840	12.828
QMÍN	14	133	770

### Tanque de Arejamento

Quadro K.8 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 2B

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	1.253	1.815	431	555	818	405	1.293	1.908	441
10	1.425	2.037	490	665	966	457	1.474	2.158	502
20	1.609	2.264	552	783	1.126	512	1.668	2.429	567

Quadro K.9 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 2B

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	52	82	165	7	11	21
		10	59	94	187	8	12	24
		20	66	106	211	9	14	27
	Q <sub>PTA</sub>	0	66	119	239	9	17	34
		10	74	134	268	11	19	38
		20	83	149	298	12	21	42
	Q <sub>MÍN</sub>	0	20	28	57	2	3	7
		10	23	32	64	3	4	8
		20	26	36	73	3	4	9
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	22	36	71	3	5	9
		10	27	43	85	3	6	11
		20	31	50	100	4	7	13
	Q <sub>PTA</sub>	0	29	52	105	4	7	15
		10	34	62	124	5	9	18
		20	40	72	144	6	10	20
	Q <sub>MÍN</sub>	0	19	26	52	2	3	6
		10	21	29	59	2	3	7
		20	23	33	66	3	4	8
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	55	88	176	7	11	22
		10	63	101	201	8	13	25
		20	71	114	228	8	13	27
	Q <sub>PTA</sub>	0	72	130	260	10	18	36
		10	82	143	294	11	20	40
		20	92	166	331	12	21	43
	Q <sub>MÍN</sub>	0	22	30	60	2	3	7
		10	25	34	69	3	4	8
		20	28	39	77	3	4	9

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro K.10 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 2B

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
CBO <sub>5</sub>	0	4	6	2	7	10	2	4	5	2
	10	4	6	2	8	11	3	4	6	2
	20	5	7	2	8	12	3	4	6	2
SST	0	6	8	2	6	8	2	6	8	2
	10	6	9	2	6	9	2	6	9	2
	20	7	10	2	7	10	2	7	10	2

## Condição 2C

### Decantadores

Quadro K.11 - Eficiência do decantador primário no cenário 2C

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	47	46	43	63	61	62
10	43	42	41	57	56	56
20	39	38	37	51	50	51

Quadro K.12 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 2C

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>W</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
QMÉD	66	471	6.298
QPTA	110	840	12.830
QMÍN	16	133	771

### Tanque de Arejamento

Quadro K.13 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 2C

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	1.284	1.837	441	603	858	417	1.327	1.936	450
10	1.455	2.055	502	714	1.005	473	1.506	2.185	513
20	1.637	2.273	567	833	1.161	533	1.699	2.453	581

Quadro K.14 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 2C

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	53	84	169	7	11	22
		10	60	96	191	8	12	25
		20	67	108	215	9	14	28
	Q <sub>PTA</sub>	0	67	121	241	10	17	34
		10	75	135	270	11	19	38
		20	83	149	299	12	21	42
	Q <sub>MÍN</sub>	0	21	29	58	2	3	7
		10	24	33	66	3	4	8
		20	27	37	75	3	4	9
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	24	39	77	3	5	10
		10	29	46	92	4	6	12
		20	33	53	107	4	7	14
	Q <sub>PTA</sub>	0	31	55	110	4	8	16
		10	36	65	129	5	9	18
		20	41	75	149	6	11	21
	Q <sub>MÍN</sub>	0	19	27	54	2	3	6
		10	22	30	61	3	4	7
		20	24	34	68	3	4	8
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	57	91	181	7	11	23
		10	64	103	205	8	13	26
		20	72	116	232	9	14	29
	Q <sub>PTA</sub>	0	73	132	264	10	18	36
		10	83	149	298	11	21	41
		20	93	167	335	13	23	46
	Q <sub>MÍN</sub>	0	22	31	61	3	4	7
		10	25	35	70	3	4	8
		20	28	40	79	3	4	8

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro K.15 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 2C

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
CBO <sub>5</sub>	0	5	7	2	8	12	3	5	7	2
	10	5	8	2	9	13	3	5	7	2
	20	6	9	3	10	14	3	6	8	2
SST	0	8	11	3	8	11	3	8	11	3
	10	9	13	3	9	13	3	9	13	3
	20	10	14	3	10	14	3	10	14	3

## Condição 2D

### Decantadores

Quadro K.16 - Eficiência do decantador primário no cenário 2D

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	54	47	51	72	62	67
10	49	42	46	65	56	61
20	44	38	41	59	51	55

Quadro K.17 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 2D

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>W</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
Q <sub>MÉD</sub>	60	471	6.298
Q <sub>PTA</sub>	82	776	12.831
Q <sub>MÍN</sub>	14	132	771

### Tanque de Arejamento

Quadro K.18 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 2D

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	1.214	1.874	411	526	873	385	1.252	1.958	421
10	1.385	2.107	469	639	1.026	438	1.432	2.213	480
20	1.568	2.352	532	759	1.189	497	1.626	2.489	545

Quadro K.19 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 2D

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	50	80	160	7	10	21
		10	57	91	182	7	12	24
		20	64	103	206	8	13	27
	Q <sub>PTA</sub>	0	68	123	246	10	18	35
		10	77	138	277	11	20	39
		20	86	155	309	12	22	44
	Q <sub>MÍN</sub>	0	19	27	54	2	3	6
		10	22	31	62	3	4	7
		20	25	35	70	3	4	8
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	21	34	68	3	4	9
		10	26	41	82	3	5	11
		20	30	49	97	4	6	12
	Q <sub>PTA</sub>	0	31	56	112	4	8	16
		10	37	66	132	5	9	19
		20	42	76	153	6	11	22
	Q <sub>MÍN</sub>	0	18	25	49	2	3	6
		10	20	28	56	2	3	7
		20	23	32	64	3	4	7
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	53	85	171	7	11	21
		10	61	98	195	8	12	25
		20	69	111	222	8	13	26
	Q <sub>PTA</sub>	0	74	134	267	10	18	37
		10	84	151	302	12	21	52
		20	94	170	340	13	23	46
	Q <sub>MÍN</sub>	0	21	29	57	2	3	7
		10	23	33	66	3	4	7
		20	27	37	74	3	4	8

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro K.20 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 2D

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
CBO <sub>5</sub>	0	5	6	2	8	10	3	4	6	2
	10	5	7	2	9	11	3	5	6	2
	20	5	7	3	9	12	4	5	7	2
SST	0	6	9	2	6	9	2	6	9	2
	10	7	10	2	7	10	2	7	10	2
	20	8	12	3	8	12	3	8	12	3

## Condição 2E

### Decantadores

Quadro K.21 - Eficiência do decantador primário no cenário 2E

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	50	47	47	67	63	62
10	45	43	42	60	57	56
20	41	39	38	55	52	51

Quadro K.22 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 2E

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>W</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
QMÉD	54	350	5.512
QPTA	102	502	10.848
QMÍN	22	88	921

### Tanque de Arejamento

Quadro K.23 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 2E

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	1.154	1.985	633	1.068	965	600	1.184	2.048	646
10	1.322	2.251	720	1.215	1.145	680	1.358	2.327	734
20	1.503	2.539	811	1.368	1.342	762	1.546	2.630	831

Quadro K.24 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 2E

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	55	76	152	7	10	20
		10	63	87	174	8	11	23
		20	72	99	198	9	13	26
	Q <sub>PTA</sub>	0	85	130	261	12	19	37
		10	96	148	296	14	21	42
		20	108	167	334	15	24	48
	Q <sub>MÍN</sub>	0	35	42	83	4	5	10
		10	39	47	95	5	6	11
		20	44	53	107	5	6	12
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	43	69	137	6	9	18
		10	57	78	156	7	10	20
		20	54	88	176	8	11	23
	Q <sub>PTA</sub>	0	40	62	124	6	9	18
		10	48	73	147	7	10	21
		20	56	86	172	8	12	25
	Q <sub>MÍN</sub>	0	32	38	77	4	4	9
		10	36	44	87	4	5	10
		20	41	49	98	5	6	11
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	51	81	162	6	10	20
		10	68	93	185	8	12	23
		20	77	105	211	10	13	26
	Q <sub>PTA</sub>	0	91	140	279	13	19	39
		10	103	159	317	14	22	44
		20	116	179	359	16	25	49
	Q <sub>MÍN</sub>	0	37	44	88	4	5	10
		10	42	50	100	5	6	11
		20	47	57	113	5	6	13

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro K.25 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 2E

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
CBO <sub>5</sub>	0	4	6	3	6	10	4	3	6	2
	10	4	7	3	6	11	4	4	6	2
	20	5	7	3	7	12	5	4	7	2
SST	0	6	11	3	6	11	4	6	11	3
	10	7	12	4	7	12	4	7	12	4
	20	8	13	4	8	13	4	8	13	4

## Condição 2F

### Decantadores

Quadro K.26 - Eficiência do decantador primário no cenário 2F

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	54	55	50	72	73	67
10	49	50	45	65	66	60
20	44	45	41	59	60	55

Quadro K.27 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 2F

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>w</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
QMÉD	54	315	5.512
QPTA	111	527	10.848
QMÍN	22	75	921

### Tanque de Arejamento

Quadro K.28 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 2F

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	1.075	1.799	601	909	926	573	1.103	1.865	612
10	1.232	2.051	691	922	980	655	1.267	2.134	706
20	1.401	2.320	793	941	1.055	746	1.443	2.423	811

Quadro K.29 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 2F

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	59	71	141	7	9	18
		10	68	81	162	9	11	21
		20	77	92	184	10	12	24
	Q <sub>PTA</sub>	0	88	118	236	13	17	34
		10	101	135	270	14	19	38
		20	114	152	305	16	22	43
	Q <sub>MÍN</sub>	0	38	40	79	4	5	9
		10	44	45	91	5	5	10
		20	50	52	104	6	6	12
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	49	58	117	6	7	15
		10	50	59	118	6	8	15
		20	51	60	121	7	8	16
	Q <sub>PTA</sub>	0	44	59	119	5	7	14
		10	47	63	126	7	9	18
		20	51	68	135	8	11	21
	Q <sub>MÍN</sub>	0	35	37	74	4	4	9
		10	40	42	84	5	5	10
		20	46	48	96	5	6	11
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	63	75	151	8	9	19
		10	73	86	173	9	11	22
		20	83	98	197	10	12	25
	Q <sub>PTA</sub>	0	95	127	254	13	18	35
		10	109	146	291	15	20	40
		20	123	165	331	17	23	45
	Q <sub>MÍN</sub>	0	40	42	83	5	5	9
		10	46	48	96	5	6	11
		20	53	55	111	6	6	12

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro K.30 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 2F

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
CBO <sub>5</sub>	0	44	7	3	6	11	4	4	6	2
	10	4	7	3	7	12	5	4	6	2
	20	5	8	3	8	12	5	4	7	2
SST	0	6	10	3	6	10	3	6	10	3
	10	6	11	4	7	11	4	6	11	4
	20	7	12	4	7	12	4	7	12	4

## Condição 2G

### Decantadores

Quadro K.31 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 2G

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>w</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
Q <sub>MÉD</sub>	54	350	5.512
Q <sub>PTA</sub>	102	502	10.848
Q <sub>MÍN</sub>	22	88	921

### Tanque de Arejamento

Quadro K.32 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 2G

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	1.154	1.940	666	1.068	936	637	1.184	2.008	678
10	1.322	2.197	762	1.215	1.112	727	1.358	2.279	776
20	1.503	2.473	859	1.368	1.303	819	1.546	2.573	877

Quadro K.33 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 2G

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	55	76	152	7	10	20
		10	63	87	174	8	11	23
		20	72	100	198	9	13	26
	Q <sub>PTA</sub>	0	93	128	255	12	17	33
		10	105	144	289	14	19	37
		20	118	163	325	15	21	42
	Q <sub>MÍN</sub>	0	32	44	88	4	6	11
		10	37	50	100	5	7	13
		20	41	57	113	5	7	15
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	43	69	137	6	9	18
		10	57	78	156	7	10	20
		20	64	88	176	8	11	23
	Q <sub>PTA</sub>	0	39	60	120	6	9	17
		10	46	71	143	7	10	20
		20	54	84	167	8	12	24
	Q <sub>MÍN</sub>	0	34	41	82	4	5	9
		10	39	47	93	5	5	11
		20	44	53	105	5	6	12
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	51	81	162	6	10	20
		10	68	93	185	8	12	23
		20	77	105	211	10	13	26
	Q <sub>PTA</sub>	0	89	137	274	12	19	38
		10	101	155	311	14	22	43
		20	114	176	351	16	25	49
	Q <sub>MÍN</sub>	0	39	46	93	4	5	10
		10	44	53	106	5	6	12
		20	50	60	120	6	7	13

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro K.34 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 2G

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
CBO <sub>5</sub>	0	4	6	2	6	10	4	3	6	2
	10	4	7	3	6	11	4	4	6	2
	20	5	8	3	7	12	4	4	7	2
SST	0	6	11	4	6	11	4	6	11	4
	10	7	12	4	7	12	4	7	12	4
	20	8	13	5	8	13	5	8	13	5

## Condição 2H

### Decantadores

Quadro K.35 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 2H

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>w</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
Q <sub>MÉD</sub>	54	315	5.512
Q <sub>PTA</sub>	111	527	10.848
Q <sub>MÍN</sub>	22	75	921

### Tanque de Arejamento

Quadro K.36 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 2H

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	1.075	1.751	611	909	776	585	1.103	1.830	622
10	1.232	1.988	702	912	942	668	1.267	2.090	716
20	1.401	2.234	805	941	1.119	762	1.443	2.370	822

Quadro K.37 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 2H

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	59	71	141	8	9	18
		10	68	81	162	9	11	21
		20	77	92	184	10	12	24
	Q <sub>PTA</sub>	0	97	115	230	13	15	30
		10	110	131	261	14	17	34
		20	123	147	294	16	19	38
	Q <sub>MÍN</sub>	0	34	40	80	4	5	10
		10	39	46	92	5	6	12
		20	44	53	106	6	7	14
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	49	58	117	6	7	15
		10	49	59	117	6	8	15
		20	51	60	121	7	8	16
	Q <sub>PTA</sub>	0	37	50	100	5	7	14
		10	45	60	121	6	9	17
		20	54	72	144	7	10	20
	Q <sub>MÍN</sub>	0	36	38	75	4	4	9
		10	41	43	86	5	5	10
		20	47	49	98	5	6	11
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	63	75	151	8	9	19
		10	73	86	173	9	11	22
		20	83	98	197	10	12	25
	Q <sub>PTA</sub>	0	93	125	150	13	17	35
		10	106	143	285	15	20	41
		20	121	162	323	17	22	45
	Q <sub>MÍN</sub>	0	41	42	85	5	5	9
		10	47	49	98	5	6	11
		20	54	56	112	6	6	13

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

**Efluente final**

Quadro K.38 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 2H

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
CBO <sub>5</sub>	0	4	7	3	6	11	4	4	6	2
	10	4	7	3	7	12	4	4	6	2
	20	5	8	3	8	13	5	4	7	2
SST	0	6	10	3	6	10	3	6	10	3
	10	6	11	4	7	11	4	6	11	4
	20	7	12	4	7	12	4	7	12	4

## Anexo L – Resultado das simulações para o cenário 3

### Condição 3A

#### Decantadores

Quadro L.1 - Eficiência do decantador primário no cenário 3A

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	54	45	48	72	59	54
10	51	42	43	67	56	58
20	46	38	39	62	51	52

Quadro L.2 – Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 3A

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>W</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
Q <sub>MÉD</sub>	174	602	15.093
Q <sub>PTA</sub>	228	1.190	22.925
Q <sub>MÍN</sub>	35	499	5.560

#### Tanque de Arejamento

Quadro L.3 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 3A

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	1.599	2.291	540	1.473	1.124	509	1.647	2.474	548
10	1.799	2.662	615	1.648	1.280	581	1.855	2.760	628
20	2.056	2.977	699	1.869	1.485	660	2.122	3.098	715

Quadro L.4 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 3A

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	56	105	420	20	38	152
		10	63	118	473	23	43	171
		20	72	135	540	26	49	196
	Q <sub>PTA</sub>	0	73	151	602	30	62	246
		10	85	175	700	33	68	274
		20	95	196	783	37	77	306
	Q <sub>MÍN</sub>	0	21	35	141	7	12	47
		10	24	40	162	8	14	54
		20	27	46	184	10	16	65
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	50	95	378	18	34	136
		10	56	106	423	20	38	152
		20	64	120	479	23	43	173
	Q <sub>PTA</sub>	0	35	72	288	14	28	113
		10	40	82	328	16	32	128
		20	46,0	95	381	18	37	149
	Q <sub>MÍN</sub>	0	19	33	131	6	11	43
		10	22	37	149	7	12	49
		20	25	42	169	8	14	56
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	60	112	449	21	39	157
		10	67	127	506	24	44	177
		20	77	145	579	27	51	203
	Q <sub>PTA</sub>	0	82	169	675	31	64	256
		10	91	188	753	35	71	285
		20	102	211	845	39	80	320
	Q <sub>MÍN</sub>	0	22	37	149	7	12	48
		10	25	43	171	8	14	55
		20	29	49	195	9	16	63

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro L.5 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 3A

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
CBO <sub>5</sub>	0	5	7	2	7	12	4	5	7	2
	10	6	9	2	7	13	4	5	8	2
	20	6	9	3	8	14	4	6	9	2
SST	0	10	15	3	10	15	3	10	15	3
	10	11	17	4	11	17	4	11	17	4
	20	13	19	4	13	19	4	13	19	4

### Condição 3B

#### Decantadores

Quadro L.6 - Eficiência do decantador primário no cenário 3B

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	61	53	47	82	71	62
10	57	48	42	76	64	56
20	52	44	38	70	58	51

Quadro L.7 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 3B

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>W</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
QMÉD	190	595	15.084
QPTA	256	1.182	22.909
QMÍN	33	491	5.561

#### Tanque de Arejamento

Quadro L.8 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 3B

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	1.493	2.235	537	1.398	952	508	1.527	2.309	549
10	1.709	2.542	613	1.590	1.145	578	1.750	2.633	627
20	1.956	2.870	695	1.806	1.362	653	2.005	2.981	711

Quadro L.9 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 3B

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	53	98	392,4	19	36	142
		10	61	112	449,2	22	41	163
		20	69	129	514,1	25	46	186
	Q <sub>PTA</sub>	0	72	147	587,4	28	58	120
		10	82	167	668,1	32	65	262
		20	93	189	754,3	36	74	295
	Q <sub>MÍN</sub>	0	21	35	141,1	7	12	47
		10	24	40	161,0	8	13	53
		20	27	46	182,6	9	15	60
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	48	90	358,6	17	32	129
		10	55	102	407,9	20	37	147
		20	63	116	463,3	23	42	167
	Q <sub>PTA</sub>	0	30	61	244,3	12	24	94
		10	36	73	293,7	14	29	115
		20	43	87	349,4	17	34	136
	Q <sub>MÍN</sub>	0	20	33	130,2	6	11	43
		10	22	37	148,1	7	12	49
		20	25	42	167,5	8	14	55
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	56	104	416,6	20	37	146
		10	64	119	477,4	21	42	167
		20	74	137	547,0	26	48	192
	Q <sub>PTA</sub>	0	77	158	629,9	29	60	238
		10	88	180	718,3	33	68	272
		20	100	203	813,3	38	77	308
	Q <sub>MÍN</sub>	0	22	37	149,7	7	12	48
		10	26	43	171,0	8	14	54
		20	29	49	194,0	9	16	62

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro L.10 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 3B

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
CBO <sub>5</sub>	0	4	6	2	6	9	3	3	5	2
	10	4	6	2	6	10	4	4	5	2
	20	4	6	2	6	11	4	4	6	2
SST	0	6	9	2	6	9	2	6	9	2
	10	7	10	2	7	10	2	7	10	2
	20	8	11	3	8	11	3	8	11	3

### Condição 3C

#### Decantadores

Quadro L.11 - Eficiência do decantador primário no cenário 3C

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	55	46	51	73	61	68
10	53	44	46	71	58	61
20	49	41	42	65	54	55

Quadro L.12 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 3C

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>W</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
QMÉD	174	602	15.093
QPTA	227	1.190	22.926
QMÍN	36	499	5.560

#### Tanque de Arejamento

Quadro L.13 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 3C

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	1.578	2.409	514	1.474	1.141	487	1.615	2.485	524
10	1.760	2.687	589	1.633	1.292	557	1.802	2.776	602
20	2.000	2.999	671	1.840	1.477	632	2.050	3.105	686

Quadro L.14 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 3C

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	55	104	415	19	37	146
		10	62	116	463	22	42	167
		20	70	131	526	25	48	190
	Q <sub>PTA</sub>	0	77	158	633	30	62	248
		10	85	177	706	33	69	276
		20	95	197	788	37	77	309
	Q <sub>MÍN</sub>	0	20	34	135	7	11	45
		10	23	39	155	8	13	51
		20	26	44	176	9	15	59
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	50	95	378	18	34	136
		10	56	105	419	20	38	151
		20	63	118	472	23	43	170
	Q <sub>PTA</sub>	0	35	73	293	14	29	114
		10	40	83	331	16	32	130
		20	46	95	379	18	37	148
	Q <sub>MÍN</sub>	0	18	31	125	6	10	41
		10	21	36	143	7	12	47
		20	24	41	162	8	13	53
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	59	110	441	21	39	154
		10	65	123	492	23	43	172
		20	74	140	559	26	49	196
	Q <sub>PTA</sub>	0	82	170	678	31	64	257
		10	92	189	757	35	72	289
		20	102	212	847	39	80	321
	Q <sub>MÍN</sub>	0	21	36	143	7	12	46
		10	24	41	164	8	13	53
		20	28	47	187	9	15	60

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro L.15 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 3C

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
CBO <sub>5</sub>	0	5	8	2	7	11	4	5	7	2
	10	6	9	2	8	12	4	5	8	2
	20	6	9	3	8	13	4	6	8	2
SST	0	10	15	3	10	15	3	10	15	3
	10	11	17	3	11	17	3	11	17	3
	20	12	19	4	13	19	4	12	19	4

### Condição 3D

#### Decantadores

Quadro L.16 - Eficiência do decantador primário no cenário 3D

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	59	52	48	79	69	54
10	57	48	43	75	64	58
20	52	44	39	70	58	52

Quadro L.17 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 3D

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>W</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
Q <sub>MÉD</sub>	180	600	15.090
Q <sub>PTA</sub>	237	1.187	22.920
Q <sub>MÍN</sub>	32	496	5.560

#### Tanque de Arejamento

Quadro L.18 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 3D

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	1.523	2.264	530	1.426	1.001	499	1.556	2.338	537
10	1.694	2.542	601	1.577	1.164	568	1.732	2.632	614
20	1.946	2.872	682	1.797	1.378	643	1.993	2.982	697

Quadro L.19 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 3D

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	54	100	400	19	36	145
		10	60	111	445	22	41	163
		20	68	128	512	25	46	185
	Q <sub>PTA</sub>	0	72	149	595	28	58	233
		10	81	167	668	32	65	262
		20	92	189	755	36	74	296
	Q <sub>MÍN</sub>	0	21	35	138	7	11	46
		10	23	40	158	8	13	52
		20	27	45	179	9	15	60
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	49	92	366	18	33	132
		10	54	101	405	19	36	146
		20	62	115	461	22	42	166
	Q <sub>PTA</sub>	0	31	64	257	12	25	100
		10	36	75	299	14	29	117
		20	43	88	354	17	35	138
	Q <sub>MÍN</sub>	0	19	32	128	6	11	42
		10	22	36	146	7	12	48
		20	25	41	165	8	14	54
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	57	106	425	20	37	149
		10	63	118	473	22	41	165
		20	73	136	544	25	48	190
	Q <sub>PTA</sub>	0	77	160	638	29	60	241
		10	87	180	718	33	68	272
		20	99	203	814	37	77	308
	Q <sub>MÍN</sub>	0	22	37	146	7	12	47
		10	25	42	167	8	14	44
		20	28	48	190	9	15	61

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro L.20 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 3D

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
CBO <sub>5</sub>	0	4	5	2	6	9	4	3	5	2
	10	4	6	2	6	10	4	4	5	2
	20	4	6	2	6	11	4	4	6	2
SST	0	6	9	2	6	9	2	6	9	2
	10	7	10	2	7	10	2	7	10	2
	20	7	11	3	8	11	3	7	11	3

### Condição 3E

#### Decantadores

Quadro L.21 - Eficiência do decantador primário no cenário 3E

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	55	49	48	73	66	64
10	49	45	43	66	59	58
20	45	40	39	60	54	52

Quadro L.22 – Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 3E

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>W</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
QMÉD	147	811	10.811
QPTA	264	1.418	19.486
QMÍN	56	482	6.653

#### Tanque de Arejamento

Quadro L.23 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 3E

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	1.738	3.006	1.008	1.554	1.404	954	1.785	3.125	1.031
10	1.996	3.396	1.153	1.721	1.665	1.088	2.053	3.545	1.180
20	2.273	3.810	1.310	1.761	1.953	1.232	2.343	4.001	1.342

Quadro L.24 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 3E

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	48	114	343	17	41	124
		10	55	131	394	20	47	142
		20	62	149	448	23	54	162
	Q <sub>PTA</sub>	0	75	198	593	29	77	232
		10	85	223	669	33	88	263
		20	95	250	751	37	98	294
	Q <sub>MÍN</sub>	0	31	66	199	10	22	66
		10	35	76	227	12	25	76
		20	40	86	258	13	29	86
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	42	100	299	15	36	108
		10	46	110	331	17	40	119
		20	47	113	339	17	41	122
	Q <sub>PTA</sub>	0	34	90	270	13	35	105
		10	41	107	320	16	42	125
		20	48	125	376	19	49	147
	Q <sub>MÍN</sub>	0	28	61	184	9	20	61
		10	32	70	209	11	23	69
		20	37	79	237	12	26	78
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	51	122	365	18	43	128
		10	59	140	420	21	49	147
		20	67	160	479	23	56	168
	Q <sub>PTA</sub>	0	81	213	639	31	81	242
		10	92	242	725	35	92	274
		20	104	273	819	39	103	310
	Q <sub>MÍN</sub>	0	33	70	211	11	23	68
		10	37	81	241	12	26	78
		20	43	92	275	14	29	88

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro L.25 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 3E

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
CBO <sub>5</sub>	0	4	6	2	6	10	4	3	6	2
	10	4	7	3	6	11	4	4	6	2
	20	4	7	3	7	12	4	4	7	2
SST	0	6	10	3	6	10	3	6	10	3
	10	6	11	4	7	11	4	6	11	4
	20	7	13	4	7	13	4	7	13	4

### Condição 3F

#### Decantadores

Quadro L.26 - Eficiência do decantador primário no cenário 3F

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	59	53	55	79	71	73
10	54	48	49	72	64	66
20	48	44	45	65	58	59

Quadro L.27 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 3F

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>W</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
QMÉD	145	651	10.812
QPTA	258	1.420	19.490
QMÍN	59	484	6.652

#### Tanque de Arejamento

Quadro L.28 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 3F

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	1.671	2.904	942	1.512	1.304	896	1.711	3.017	961
10	1.931	3.297	1.087	1.703	1.572	1.031	1.981	3.440	1.110
20	2.178	3.710	1.245	1.831	1.858	1.177	2.272	3.895	1.272

Quadro L.29 – Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 3F

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	46	110	329	17	40	119
		10	53	127	381	19	46	138
		20	60	143	429	22	52	155
	Q <sub>PTA</sub>	0	72	191	573	28	75	224
		10	82	217	650	32	85	256
		20	92	244	731	36	86	287
	Q <sub>MÍN</sub>	0	29	62	186	10	21	62
		10	33	71	214	11	24	71
		20	38	82	245	13	27	81
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	40	97	291	15	35	105
		10	46	109	328	16	39	118
		20	49	117	352	18	42	127
	Q <sub>PTA</sub>	0	32	84	251	12	33	98
		10	38	101	302	15	39	118
		20	45	119	358	18	47	139
	Q <sub>MÍN</sub>	0	27	58	172	9	19	57
		10	31	66	198	10	22	65
		20	35	76	226	12	25	75
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	49	117	350	17	41	123
		10	56	135	405	20	47	142
		20	65	155	465	23	54	163
	Q <sub>PTA</sub>	0	78	206	617	30	78	235
		10	89	235	704	34	89	266
		20	101	266	797	38	101	302
	Q <sub>MÍN</sub>	0	30	66	197	10	21	63
		10	35	76	227	11	25	74
		20	40	89	260	13	28	84

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro L.30 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 3F

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
CBO <sub>5</sub>	0	4	6	2	6	10	4	3	6	2
	10	4	7	3	6	11	4	4	6	2
	20	5	7	3	7	12	4	4	6	2
SST	0	6	10	3	6	9	3	5	9	3
	10	6	11	3	6	11	4	6	11	3
	20	7	12	4	7	12	4	7	12	4

### Condição 3G

#### Decantadores

Quadro L.31 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 3G

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>w</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
Q <sub>MÉD</sub>	147	811	10.811
Q <sub>PTA</sub>	264	1.418	19.486
Q <sub>MÍN</sub>	56	482	6.653

#### Tanque de Arejamento

Quadro L.32 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 3G

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	1.738	2.936	1.023	1.554	1.370	971	1.785	3.072	1.045
10	1.996	3.303	1.171	1.721	1.624	1.109	2.053	3.481	1.198
20	2.273	3.679	1.332	1.761	1.902	1.257	2.343	3.925	1.363

Quadro L.33 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 3G

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	48	114	343	17	41	124
		10	55	131	394	20	47	142
		20	62	149	448	23	54	162
	Q <sub>PTA</sub>	0	81	193	579	29	70	209
		10	91	217	651	33	79	236
		20	101	242	725	37	88	262
	Q <sub>MÍN</sub>	0	28	67	202	10	24	73
		10	32	77	231	12	28	84
		20	37	88	263	13	32	95
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	42	100	299	15	36	108
		10	46	110	331	17	40	119
		20	47	113	339	17	41	122
	Q <sub>PTA</sub>	0	37	88	264	13	32	95
		10	43	104	312	16	38	113
		20	51	122	366	18	44	132
	Q <sub>MÍN</sub>	0	26	62	187	9	22	67
		10	30	71	213	11	26	77
		20	34	81	242	12	29	87
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	51	122	122	18	43	128
		10	59	140	140	21	49	147
		20	67	160	160	23	56	168
	Q <sub>PTA</sub>	0	88	210	210	31	73	220
		10	99	237	237	35	83	249
		20	112	268	268	39	84	281
	Q <sub>MÍN</sub>	0	30	71	71	10	25	75
		10	34	82	82	12	29	86
		20	39	93	93	14	33	98

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro L.34 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 3G

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
CBO <sub>5</sub>	0	4	6	2	6	11	4	3	6	2
	10	4	7	2	6	12	4	4	6	2
	20	4	7	3	7	13	4	4	7	2
SST	0	6	10	3	6	10	3	6	10	3
	10	6	11	4	7	11	4	6	11	4
	20	7	13	4	7	13	4	7	13	4

### Condição 3H

#### Decantadores

Quadro L.35 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 3H

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>w</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
Q <sub>MÉD</sub>	145	651	10.812
Q <sub>PTA</sub>	258	947	19.490
Q <sub>MÍN</sub>	59	484	6.652

#### Tanque de Arejamento

Quadro L.36 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 3H

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	1.671	2.974	930	1.512	1.357	882	1.711	3.073	950
10	1.931	3.386	1.073	1.703	1.635	1.014	1.981	3.509	1.096
20	2.17	3.825	1.227	1.831	1.935	1.156	2.272	3.979	1.255

Quadro L.37 - n Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 3H

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	46	110	329	17	40	119
		10	53	127	381	19	46	138
		20	60	143	429	22	52	155
	Q <sub>PTA</sub>	0	81	195	586	29	71	212
		10	93	223	668	34	81	242
		20	105	251	754	38	91	273
	Q <sub>MÍN</sub>	0	25	61	183	9	22	66
		10	29	71	212	11	26	77
		20	34	81	242	12	29	88
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	40	97	291	15	35	105
		10	46	109	328	16	39	118
		20	49	117	352	18	42	127
	Q <sub>PTA</sub>	0	36	87	261	13	31	94
		10	44	105	315	16	38	113
		20	52	124	372	19	45	134
	Q <sub>MÍN</sub>	0	24	57	170	9	20	61
		10	27	65	195	10	23	70
		20	31	74	222	11	27	80
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	49	117	350	17	41	123
		10	56	135	405	20	47	142
		20	65	155	465	23	54	163
	Q <sub>PTA</sub>	0	87	210	629	31	73	220
		10	100	239	718	35	84	251
		20	113	271	814	39	95	284
	Q <sub>MÍN</sub>	0	27	65	194	9	23	68
		10	31	75	224	11	26	79
		20	36	86	257	13	30	90

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

**Efluente final**

Quadro L.38 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 3H

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
CBO <sub>5</sub>	0	4	6	2	6	10	4	3	6	2
	10	4	7	3	6	11	4	4	6	2
	20	5	7	3	7	12	4	4	6	2
SST	0	6	10	3	6	10	3	6	10	3
	10	6	11	3	6	11	3	7	11	3
	20	7	13	4	7	13	4	7	13	4

## Anexo M – Resultado das simulações para o cenário 4

### Condição 4A

#### Decantadores

Quadro M.1 - Eficiência do decantador primário no cenário 4A

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	47	47	47	63	62	62
10	42	42	42	57	57	56
20	38	38	38	51	51	51

Quadro M.2 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 4A

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>w</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
Q <sub>MÉD</sub>	309	2.971	25.187
Q <sub>PTA</sub>	550	3.949	50.853
Q <sub>MÍN</sub>	72	700	3.699

#### Tanque de Arejamento

Quadro M.3 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 4A

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	2.563	3.801	906	1.161	1.719	851	2.652	3.948	925
10	2.902	4.287	1.033	1.375	2.025	967	3.011	4.467	1.056
20	3.264	4.809	1.170	1.605	2.358	1.103	3.396	5.032	1.197

Quadro M.4 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 4A

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	36	168	674	14	66	264
		10	41	191	763	16	75	298
		20	46	215	858	18	84	336
	Q <sub>PTA</sub>	0	50	250	999	21	105	421
		10	56	282	1.127	24	118	473
		20	63	316	1.264	26	133	533
	Q <sub>MÍN</sub>	0	14	60	238	5	22	86
		10	16	68	272	6	25	98
		20	18	77	308	7	28	111
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	16	75	298	6	29	116
		10	19	88	353	7	34	138
		20	22	103	412	9	40	161
	Q <sub>PTA</sub>	0	22	110	441	9	46	185
		10	26	130	520	11	55	218
		20	30	151	605	13	64	254
	Q <sub>MÍN</sub>	0	13	55	218	5	20	79
		10	15	62	248	5	22	90
		20	17	71	283	6	25	101
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	37	170	680	15	68	274
		10	42	193	772	17	78	311
		20	47	218	871	19	88	350
	Q <sub>PTA</sub>	0	50	253	1.013	22	110	438
		10	57	287	1.146	25	124	496
		20	64	323	1.291	28	140	558
	Q <sub>MÍN</sub>	0	14	59	237	5	22	88
		10	16	68	271	6	25	101
		20	18	77	307	7	29	114

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro M.5 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 4A

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
CBO <sub>5</sub>	0	4	7	2	9	11	3	5	7	2
	10	6	8	2	10	12	3	5	8	2
	20	6	9	2	10	14	4	6	8	2
SST	0	9	14	3	9	14	3	9	14	3
	10	10	16	3	10	16	3	10	16	3
	20	11	18	4	11	18	4	11	17	4

## Condição 4B

### Decantadores

Quadro M.6 - Eficiência do decantador primário no cenário 4B

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	49	46	47	66	62	63
10	45	42	43	59	56	57
20	40	38	39	54	51	52

Quadro M.7 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 4B

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>W</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
Q <sub>MÉD</sub>	245	2.976	25.188
Q <sub>PTA</sub>	374	3.953	50.856
Q <sub>MÍN</sub>	58	671	3.699

### Tanque de Arejamento

Quadro M.8 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 4B

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	2.529	3.846	904	1.119	1.752	858	2.615	3.991	923
10	2.869	4.344	1.032	1.333	2.067	976	2.974	4.521	1.054
20	3.232	4.878	1.168	1.562	2.407	1.101	3.361	5.095	1.195

Quadro M.9 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 4B

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	36	166	665	14	65	260
		10	41	189	754	16	74	295
		20	46	212	850	18	83	333
	Q <sub>PTA</sub>	0	50	253	1.011	21	106	426
		10	57	285	1.142	24	120	481
		20	63	321	1.282	27	135	540
	Q <sub>MÍN</sub>	0	14	59	237	5	22	86
		10	16	68	271	6	25	98
		20	18	77	307	7	28	111
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	16	72	287	6	28	112
		10	19	86	342	7	33	133
		20	22	100	401	8	39	156
	Q <sub>PTA</sub>	0	22	112	449	9	47	189
		10	26	133	530	11	56	223
		20	31	154	618	13	65	259
	Q <sub>MÍN</sub>	0	13	55	220	5	20	79
		10	15	63	250	5	23	90
		20	17	71	282	6	25	102
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	36	168	671	15	68	271
		10	41	191	763	17	77	307
		20	47	216	862	19	87	347
	Q <sub>PTA</sub>	0	51	256	1.024	22	111	443
		10	57	290	1.160	25	125	502
		20	65	327	1.307	28	141	564
	Q <sub>MÍN</sub>	0	14	59	237	5	22	88
		10	16	68	270	6	25	100
		20	18	77	307	7	29	114

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro M.10 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 4B

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
CBO <sub>5</sub>	0	4	5	2	7	9	3	3	4	1
	10	4	5	2	8	9	3	3	5	2
	20	4	6	2	8	10	3	4	5	2
SST	0	5	8	2	5	8	2	5	8	2
	10	6	9	2	6	9	2	6	9	2
	20	7	10	2	7	10	2	7	10	2

### Condição 4C

#### Decantadores

Quadro M.11 - Eficiência do decantador primário no cenário 4C

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	52	48	49	69	64	65
10	47	44	44	62	58	59
20	42	40	40	55	53	54

Quadro M.12 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 4C

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>w</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
QMÉD	238	2.991	25.192
QPTA	359	3.967	50.866
QMÍN	56	677	3.698

#### Tanque de Arejamento

Quadro M.13 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 4C

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	2.475	3.767	881	1.076	1.689	838	2.560	3.914	899
10	2.808	4.260	1.006	1.285	2.002	955	2.912	4.440	1.027
20	3.167	4.783	1.141	1.514	2.338	1.079	3.295	5.007	1.166

Quadro M.14 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 4C

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	28	130	520	14	64	255
		10	32	150	590	16	72	289
		20	36	167	656	17	81	324
	Q <sub>PTA</sub>	0	39	198	792	21	104	417
		10	44	224	896	23	118	472
		20	50	251	1.006	26	132	530
	Q <sub>MÍN</sub>	0	11	46	185	5	21	84
		10	13	53	212	6	24	95
		20	14	60	240	6	27	109
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	12	55	221	6	27	108
		10	14	66	264	7	32	130
		20	17	78	311	8	38	152
	Q <sub>PTA</sub>	0	17	87	347	9	46	182
		10	20	103	411	11	54	216
		20	24	120	480	12	63	252
	Q <sub>MÍN</sub>	0	10	43	172	5	19	78
		10	12	49	196	5	22	88
		20	13	55	221	6	25	100
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	28	131	525	14	66	264
		10	32	149	598	16	75	301
		20	36	169	676	18	83	331
	Q <sub>PTA</sub>	0	40	201	803	21	109	434
		10	45	228	911	24	123	493
		20	51	257	1.328	27	139	556
	Q <sub>MÍN</sub>	0	11	46	184	5	22	86
		10	12	53	211	6	25	98
		20	14	60	239	7	28	111

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro M.15 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 4C

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
CBO <sub>5</sub>	0	56	8	2	9	12	4	5	7	2
	10	6	9	2	10	12	4	5	8	2
	20	7	9	3	10	14	4	6	8	2
SST	0	9	14	3	9	14	3	9	14	3
	10	10	15	3	10	15	3	10	15	3
	20	11	17	4	11	17	4	11	17	4

## Condição 4D

### Decantadores

Quadro M.16 - Eficiência do decantador primário no cenário 4D

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	56	52	50	74	70	67
10	50	47	45	67	63	60
20	46	43	41	61	57	54

Quadro M.17 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 4D

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>w</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
QMÉD	245	2.976	25.188
QPTA	374	3.953	50.856
QMÍN	55	671	3.699

### Tanque de Arejamento

Quadro M.18 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 4D

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	2.396	3.664	871	991	1.573	830	2.475	3.801	888
10	2.737	4.162	996	1.210	1.890	946	2.835	4.331	1.016
20	3.102	4.694	1.131	1.445	2.232	1.071	3.224	4.903	1.155

Quadro M.19 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 4D

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	34	157	630	13	62	247
		10	39	180	719	15	71	282
		20	44	204	815	17	80	319
	Q <sub>PTA</sub>	0	48	241	963	20	102	407
		10	54	274	1.094	23	115	461
		20	61	308	1.234	26	130	520
	Q <sub>MÍN</sub>	0	14	57	229	5	21	83
		10	16	66	262	6	24	95
		20	18	74	297	6	27	107
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	14	64	254	5	25	99
		10	17	78	310	7	30	121
		20	20	93	371	8	37	148
	Q <sub>PTA</sub>	0	20	101	404	8	42	170
		10	24	121	485	10	51	204
		20	28	143	573	12	60	241
	Q <sub>MÍN</sub>	0	13	53	213	5	19	77
		10	14	61	243	5	22	87
		20	16	69	275	6	25	99
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	34	159	635	14	64	256
		10	39	182	727	16	73	292
		20	45	207	827	18	84	334
	Q <sub>PTA</sub>	0	48	244	975	21	105	421
		10	55	278	1.111	24	120	480
		20	62	314	1.258	27	136	544
	Q <sub>MÍN</sub>	0	14	57	228	5	21	85
		10	16	65	261	6	24	87
		20	18	74	296	7	28	110

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro M.20 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 4D

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
CBO <sub>5</sub>	0	4	5	2	7	9	3	3	5	2
	10	4	6	2	8	10	4	4	5	2
	20	5	6	2	8	10	4	4	5	2
SST	0	5	8	2	5	8	2	5	8	2
	10	6	9	2	6	9	2	6	9	2
	20	6	10	2	6	10	2	6	10	2

### Condição 4E

#### Decantadores

Quadro M.21 - Eficiência do decantador primário no cenário 4E

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	59	52	55	78	69	74
10	54	47	50	72	63	67
20	49	43	45	65	57	60

Quadro M.22 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 4E

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>W</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
QMÉD	223	1.881	18.062
QPTA	390	2.488	43.382
QMÍN	90	473	4.423

#### Tanque de Arejamento

Quadro M.23 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 4E

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
0	1.721	3.236	997	683	1.403	948	1.770	3.339	1.016
10	1.959	3.688	1.150	824	1.685	1.090	2.019	3.813	1.174
20	2.239	4.174	1.315	1.000	1.992	1.242	2.313	4.325	1.344

Quadro M.24 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 4E

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	32	113	452	13	45	178
		10	37	129	515	14	50	201
		20	42	147	589	16	58	230
	Q <sub>PTA</sub>	0	56	213	851	23	90	358
		10	63	242	968	27	102	408
		20	72	274	1.097	30	115	462
	Q <sub>MÍN</sub>	0	21	66	262	7	24	95
		10	24	76	302	9	27	109
		20	27	86	346	10	31	125
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	13	44	175	5	17	68
		10	15	53	211	6	21	82
		20	18	61	257	7	25	100
	Q <sub>PTA</sub>	0	24	90	360	10	36	145
		10	28	108	432	12	45	182
		20	33	128	511	14	54	214
	Q <sub>MÍN</sub>	0	19	61	243	7	22	90
		10	22	70	280	8	25	101
		20	25	80	319	9	29	115
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	32	114	454	12	43	174
		10	37	130	518	15	52	209
		20	42	148	593	17	60	239
	Q <sub>PTA</sub>	0	56	214	857	24	93	371
		10	64	245	978	28	106	424
		20	73	277	1.110	31	120	480
	Q <sub>MÍN</sub>	0	21	65	261	8	24	97
		10	24	75	301	8	27	106
		20	27	86	345	10	32	128

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro M.25 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 4E

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
CBO <sub>5</sub>	0	4	6	2	7	9	4	3	5	2
	10	4	7	2	7	10	4	4	6	2
	20	5	7	3	8	11	4	4	6	2
SST	0	5	10	3	5	10	3	5	10	3
	10	6	11	3	6	11	4	6	11	3
	20	7	13	4	7	13	4	7	13	4

### Condição 4F

#### Decantadores

Quadro M.26 - Eficiência do decantador primário no cenário 4F

ANO	CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)			SST (mg SST/L)		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	55	48	51	73	65	68
10	49	44	46	66	58	61
20	45	40	42	60	53	56

Quadro M.27 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 4F

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>W</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
Q <sub>MÉD</sub>	219	1.888	18.064
Q <sub>PTA</sub>	382	3.193	43.388
Q <sub>MÍN</sub>	92	594	4.423

#### Tanque de Arejamento

Quadro M.28 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 4F

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	2.127	3.794	1.203	933	1.796	1.141	2.187	3.942	1.228
10	2.436	4.292	1.376	1.170	2.130	1.300	2.510	4.476	1.406
20	2.768	4.824	1.563	1.387	2.491	1.470	2.858	5.054	1.599

Quadro M.29 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 4F

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	40	140	559	16	55	219
		10	46	160	640	18	62	250
		20	52	182	728	20	71	285
	Q <sub>PTA</sub>	0	65	249	997	27	105	421
		10	74	282	1.128	31	119	475
		20	83	317	1.268	35	133	533
	Q <sub>MÍN</sub>	0	25	79	316	9	29	115
		10	28	90	362	10	33	131
		20	32	103	411	12	37	149
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	17	60	239	7	25	101
		10	21	75	300	8	29	117
		20	25	89	356	10	35	139
	Q <sub>PTA</sub>	0	30	115	461	12	47	189
		10	36	137	546	15	57	230
		20	42	160	639	18	67	269
	Q <sub>MÍN</sub>	0	23	73	293	8	26	105
		10	26	83	334	9	30	120
		20	30	94	377	11	34	136
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	40	140	561	16	56	226
		10	46	161	644	18	65	260
		20	52	183	733	21	74	295
	Q <sub>PTA</sub>	0	66	253	1.011	29	109	438
		10	75	287	1.148	32	124	497
		20	84	324	1.297	37	140	561
	Q <sub>MÍN</sub>	0	25	79	315	9	29	117
		10	28	90	361	11	34	134
		20	32	103	410	12	38	153

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro M.30 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 4F

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
CBO <sub>5</sub>	0	4	6	2	6	10	4	3	6	2
	10	4	7	3	7	11	4	4	6	2
	20	5	7	3	8	12	5	4	6	2
SST	0	5	10	3	5	10	3	5	10	3
	10	6	11	3	6	11	3	6	11	3
	20	7	12	4	7	12	4	7	12	4

### Condição 4G

#### Decantadores

Quadro M.31 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 4G

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>w</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
Q <sub>MÉD</sub>	223	1.881	18.062
Q <sub>PTA</sub>	390	2.488	43.382
Q <sub>MÍN</sub>	90	473	4.423

#### Tanque de Arejamento

Quadro M.32 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 4G

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	1.721	3.175	1.008	683	1.365	962	1.770	3.285	1.027
10	1.959	3.613	1.164	824	1.642	1.107	2.019	3.748	1.188
20	2.239	4.082	1.333	1.000	1.941	1.263	2.313	4.247	1.361

Quadro M.33 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 4G

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	32	113	452	13	45	178
		10	37	129	515	14	50	201
		20	42	147	589	16	58	230
	Q <sub>PTA</sub>	0	60	209	834	23	81	324
		10	68	237	950	27	93	372
		20	77	268	1.073	30	105	420
	Q <sub>MÍN</sub>	0	19	66	265	7	26	104
		10	22	77	306	9	30	120
		20	25	88	350	10	34	137
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	13	44	175	5	17	68
		10	15	53	211	6	21	82
		20	18	64	257	7	25	100
	Q <sub>PTA</sub>	0	25	88	350	10	34	137
		10	30	105	421	12	41	165
		20	36	125	498	14	49	194
	Q <sub>MÍN</sub>	0	18	62	247	7	24	96
		10	20	71	284	8	28	111
		20	23	81	324	9	32	127
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	32	114	454	12	43	174
		10	37	130	518	15	52	209
		20	42	148	583	17	60	239
	Q <sub>PTA</sub>	0	60	211	843	24	85	339
		10	69	240	962	28	97	387
		20	78	272	1.090	31	110	439
	Q <sub>MÍN</sub>	0	19	66	264	8	27	106
		10	22	76	305	9	31	123
		20	25	87	349	10	35	141

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

## Efluente final

Quadro M.34 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 4G

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
CBO <sub>5</sub>	0	4	6	2	7	10	4	3	6	2
	10	4	7	2	7	10	4	4	6	2
	20	5	7	3	8	11	4	4	6	2
SST	0	5	10	3	5	10	3	5	10	3
	10	6	11	3	6	11	3	6	11	3
	20	7	13	4	7	13	4	7	13	4

## Condição 4H

### Decantadores

Quadro M.35 - Caudais para o conjunto de decantadores no cenário 4H

Q	DP	DS	
	Q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>W</sub> (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>R</sub> (m <sup>3</sup> /d)
Q <sub>MÉD</sub>	219	1.888	18.064
Q <sub>PTA</sub>	382	3.193	43.388
Q <sub>MÍN</sub>	92	594	4.423

### Tanque de Arejamento

Quadro M.36 - Taxa de transferência de oxigénio por tanque de arejamento para as condições reais no cenário 4H

ANO	TEMPERATURA								
	20 °C			10 °C			25 °C		
	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>PTA</sub>	Q <sub>MÍN</sub>
0	2.127	3.600	1.219	933	1.710	1.160	2.187	3.808	1.243
10	2.436	4.027	1.396	1.170	2.023	1.323	2.510	4.313	1.425
20	2.768	4.428	1.586	1.387	2.355	1.498	2.858	4.858	1.622

Quadro M.37 - Potência requerida para o sistema de arejamento superficial e difusores no cenário 4H

TEMP. (°C)	Q	ANO	SUPERFICIAL			DIFUSORES		
			P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)		P <sub>AGIT</sub> * (W/m <sup>3</sup> )	P <sub>AREJ</sub> (kW)	
				Unidade	Total		Unidade	Total
20	Q <sub>MÉD</sub>	0	40	140	559	16	55	219
		10	46	160	640	18	62	250
		20	52	182	728	20	71	285
	Q <sub>PTA</sub>	0	67	237	946	26	92	370
		10	75	265	1.058	30	104	415
		20	83	291	1.164	32	114	456
	Q <sub>MÍN</sub>	0	23	80	320	9	32	129
		10	26	92	367	10	36	143
		20	30	104	417	12	41	163
10	Q <sub>MÉD</sub>	0	17	60	239	7	25	101
		10	21	75	300	8	29	117
		20	25	89	356	10	35	139
	Q <sub>PTA</sub>	0	31	110	439	12	43	171
		10	37	130	519	14	51	202
		20	43	151	604	17	59	236
	Q <sub>MÍN</sub>	0	21	74	298	8	29	116
		10	24	85	339	9	33	132
		20	27	96	384	11	37	149
25	Q <sub>MÉD</sub>	0	40	140	561	16	56	226
		10	46	161	644	18	65	260
		20	52	183	733	21	74	295
	Q <sub>PTA</sub>	0	69	244	977	28	98	393
		10	79	277	1.106	32	111	445
		20	89	312	1.246	36	125	502
	Q <sub>MÍN</sub>	0	23	80	319	9	32	129
		10	26	91	366	11	37	147
		20	30	104	416	12	42	167

\* Números destacados em vermelho não cumprem a potência de agitação requerida no TA (inferiores a 40 W/m<sup>3</sup>).

**Efluente final**

Quadro M.38 - Concentrações dos poluentes no efluente final no cenário 4H

POL.	ANO	TEMPERATURA								
		20 °C			10 °C			25 °C		
		QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN	QMÉD	QPTA	QMÍN
CBO <sub>5</sub>	0	4	7	2	6	11	4	3	6	2
	10	4	7	3	7	12	4	4	6	2
	20	5	8	3	8	13	4	4	7	2
SST	0	5	10	3	5	10	3	5	10	3
	10	6	11	3	6	11	3	6	11	3
	20	7	12	4	7	12	4	7	12	4

## Anexo N – Fileiras de tratamento propostas para os cenários

### Cenário 1

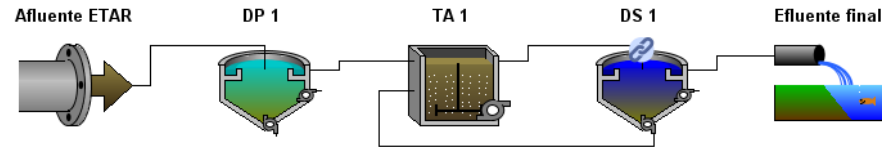


Figura N.1 – Fileira de tratamento proposta para a alternativa ótima no cenário 1 com caudais e cargas de Portugal

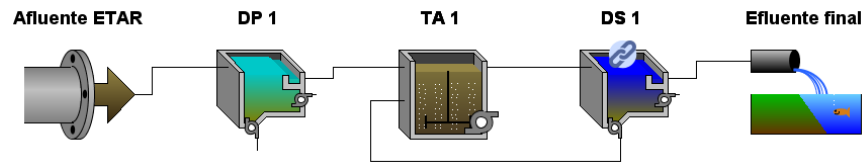


Figura N.2 - Fileira de tratamento proposta para a alternativa ótima no cenário 1 com caudais e cargas do Paraná

### Cenário 2

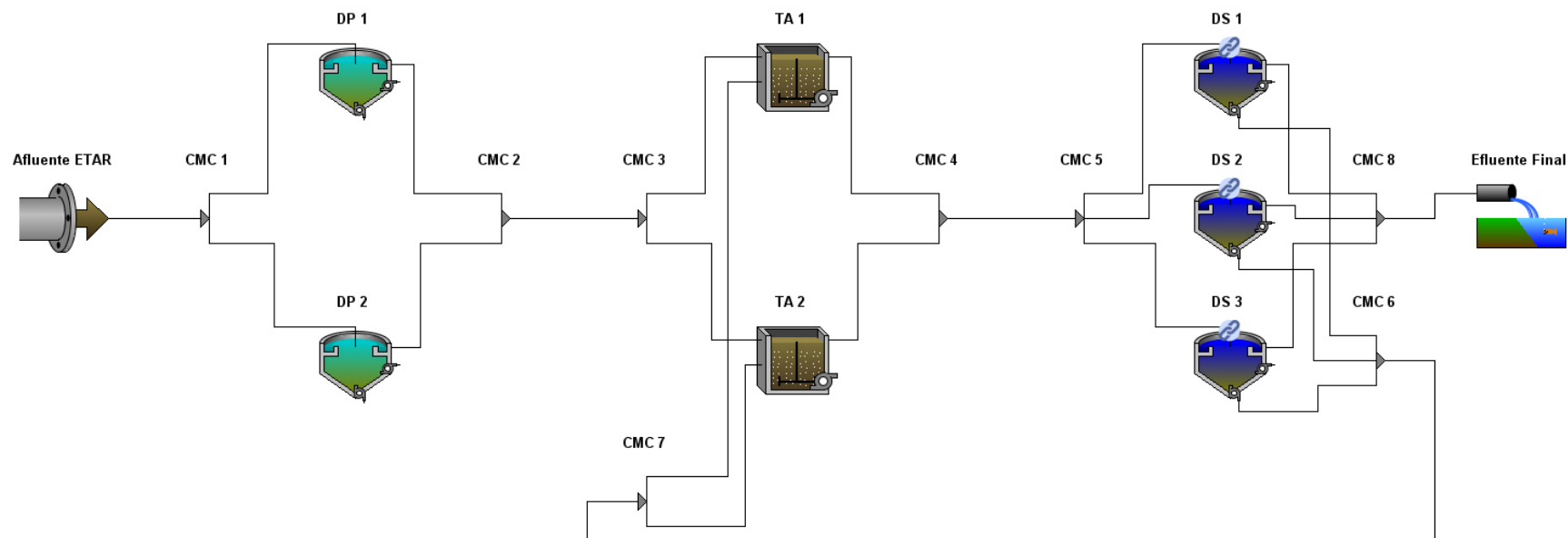


Figura N.3 - Fileira de tratamento proposta para a alternativa ótima no cenário 2 com caudais e cargas de Portugal

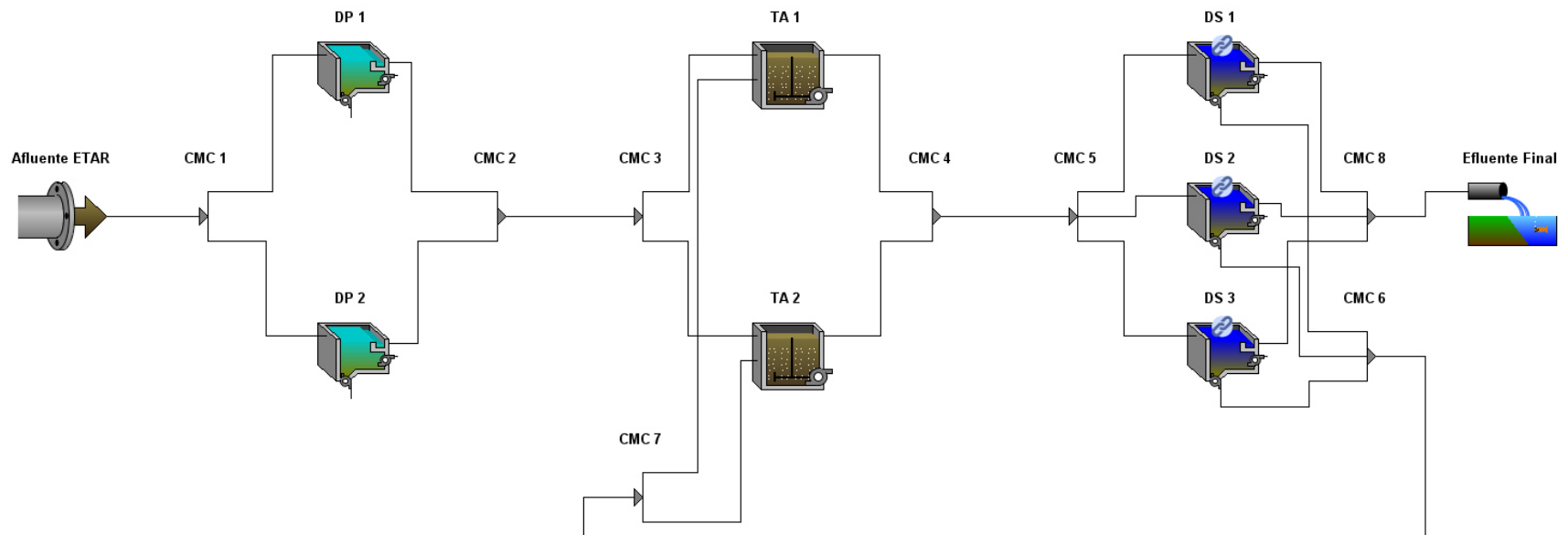


Figura N.4 - Fileira de tratamento proposta para a alternativa ótima no cenário 2 com caudais e cargas do Paraná

### Cenário 3

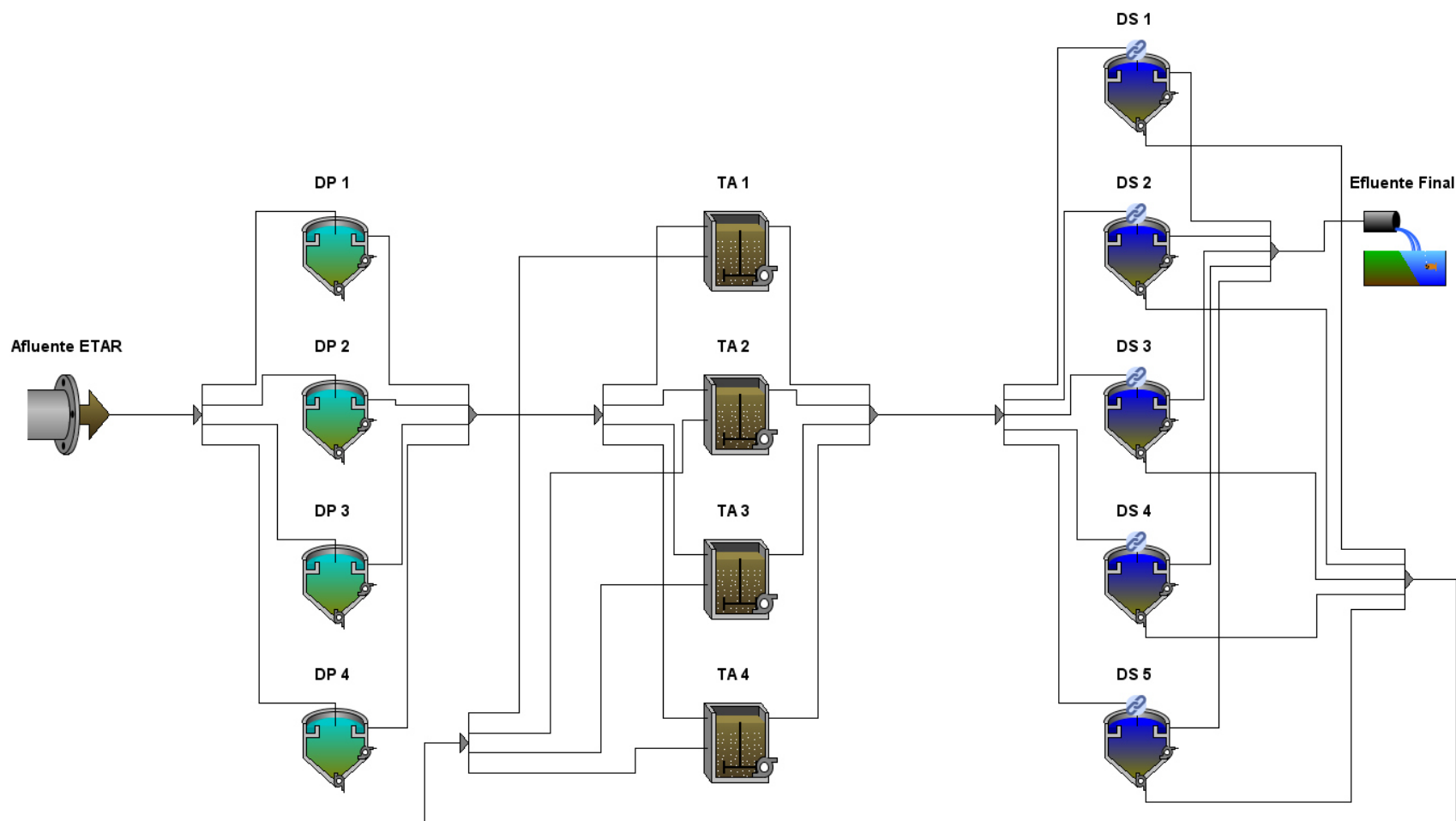


Figura N.5 - Fileira de tratamento proposta para a alternativa ótima no cenário 3 com caudais e cargas de Portugal

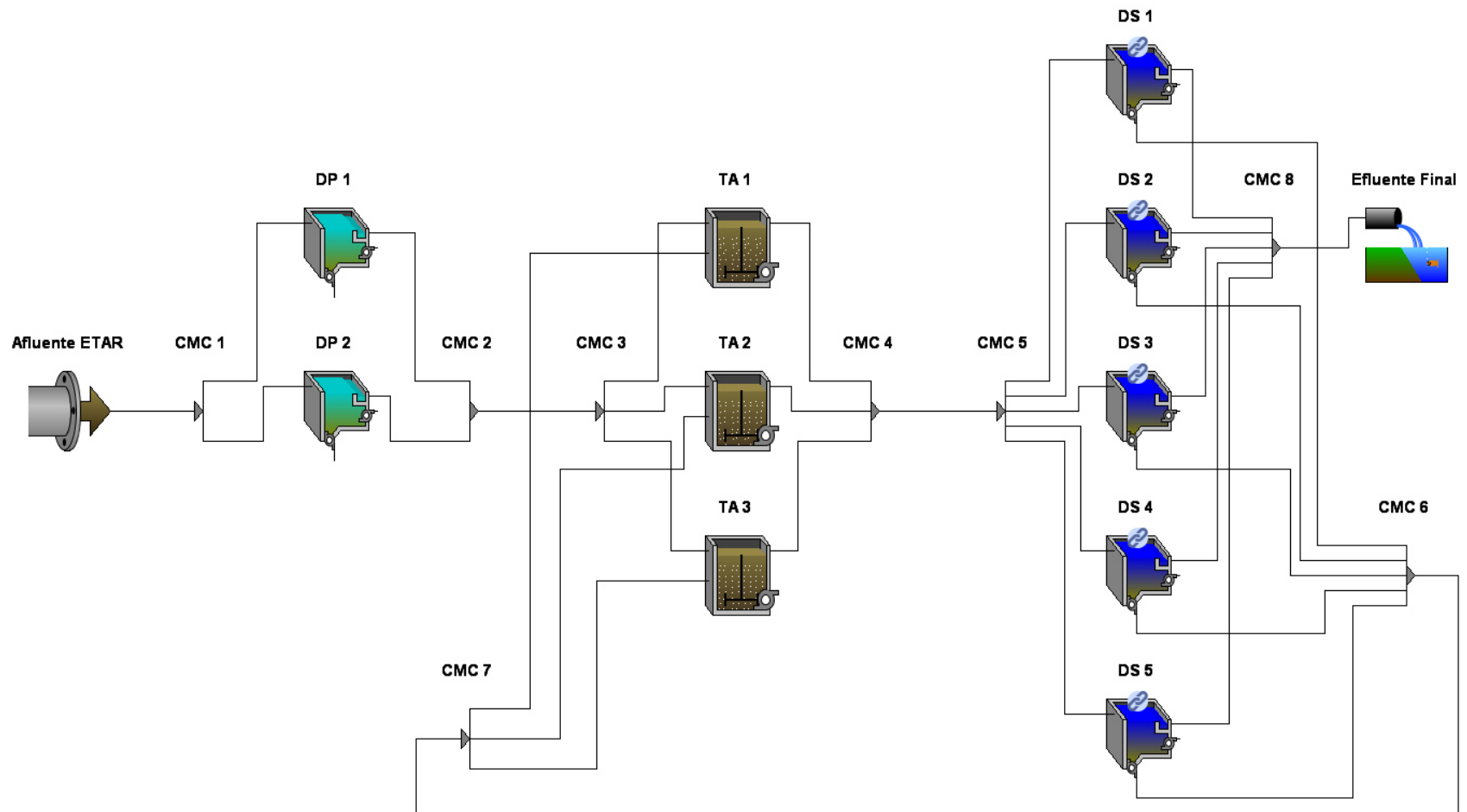


Figura N.6 - Fileira de tratamento proposta para a alternativa ótima no cenário 3 com caudais e cargas do Paraná

### Cenário 4

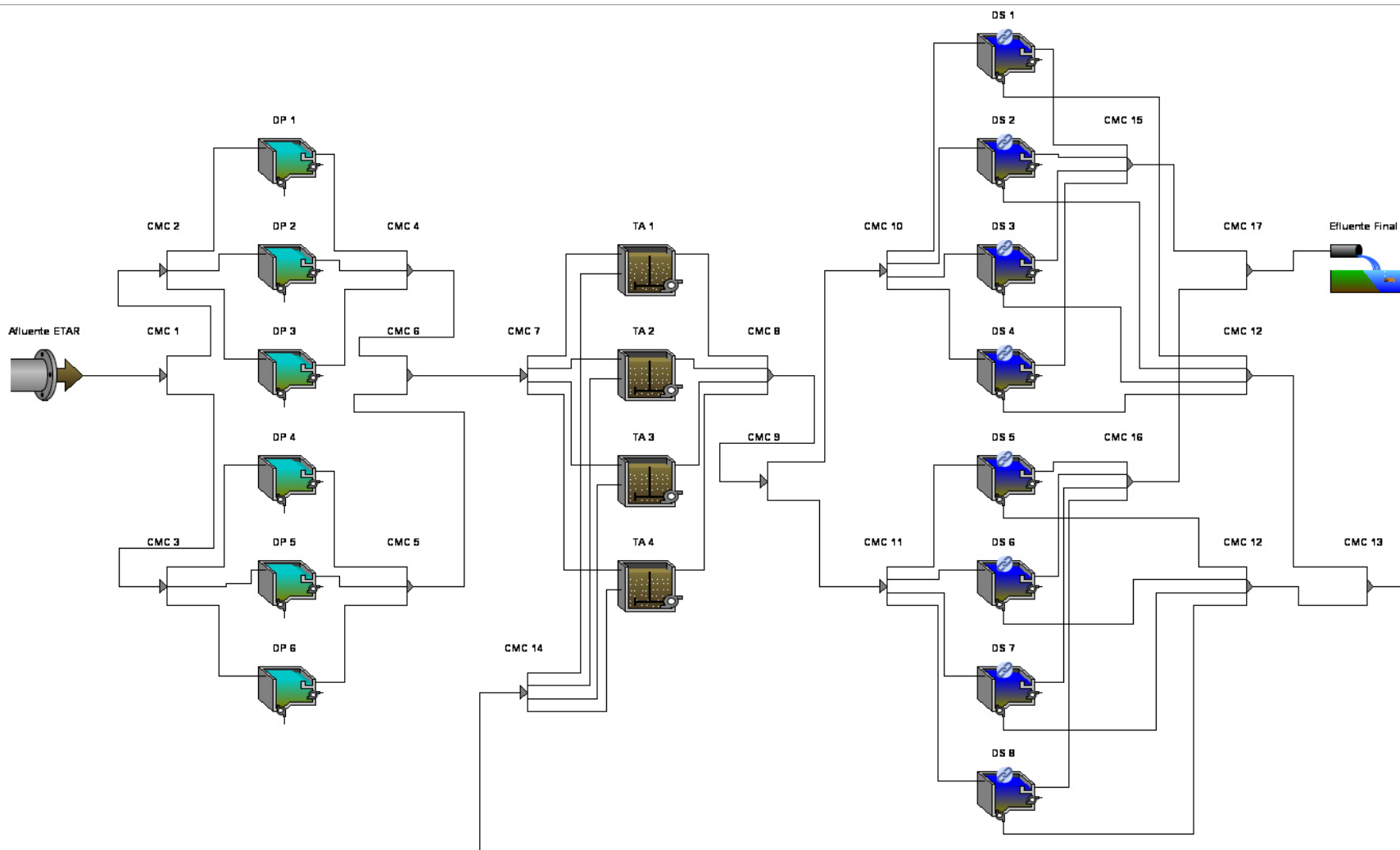


Figura N.7 - Fileira de tratamento proposta para a alternativa ótima no cenário 4 com caudais e cargas de Portugal

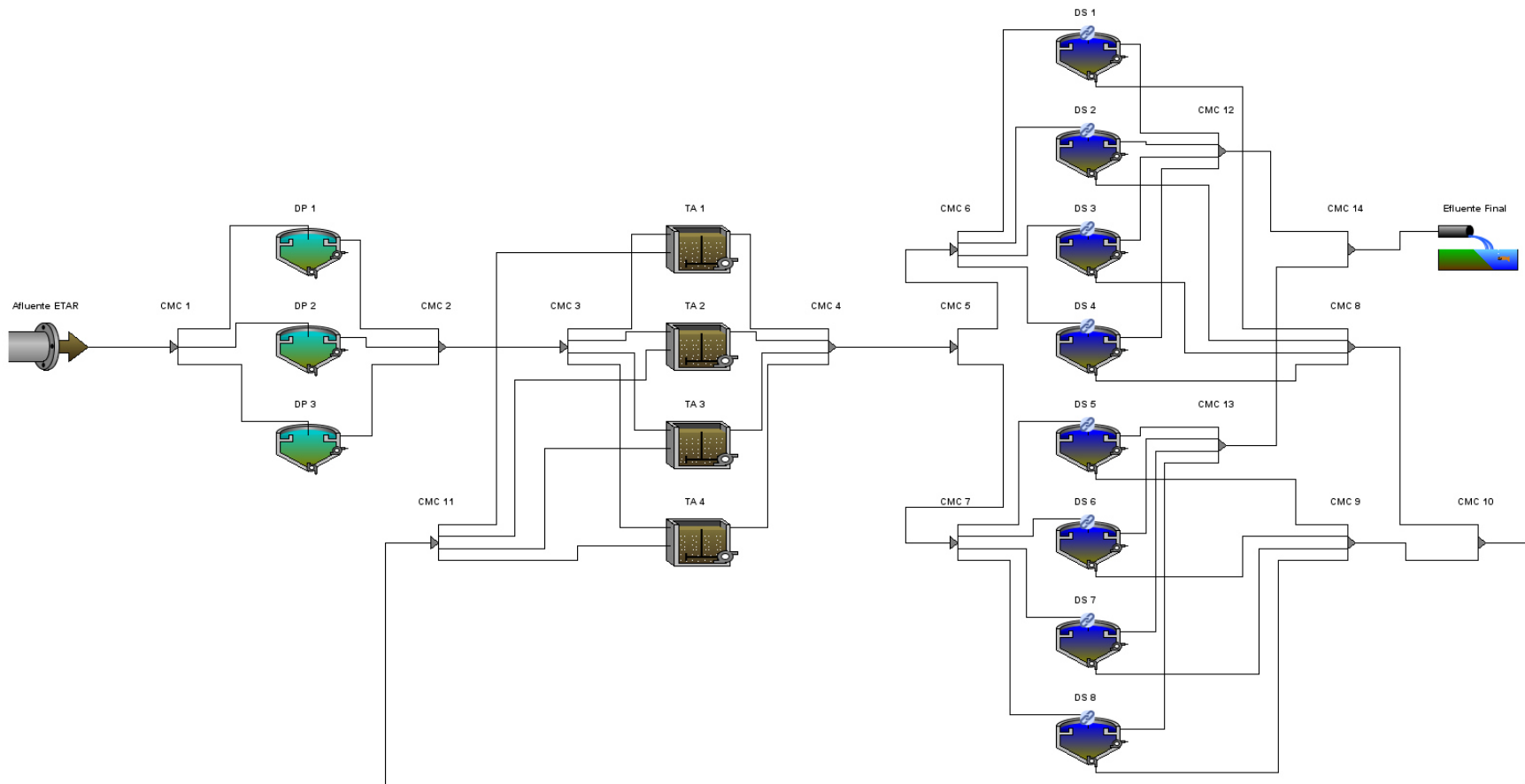


Figura N.8 - Fileira de tratamento proposta para a alternativa ótima no cenário 4 com caudais e cargas do Paraná

