

Tratamento de águas residuais por MBR e reutilização de efluentes: aplicação a caso de estudo

Maria Antoci

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil

Orientador

Professora Doutora Filipa Maria Santos Ferreira

Júri

Presidente: Professor Doutor Rodrigo De Almada Cardoso Proença de Oliveira

Orientador: Professora Doutora Filipa Maria Santos Ferreira

Vogal: Professor Doutor António Jorge Silva Guerreiro Monteiro

maio de 2019

O que sou e o que alcancei, é graças a ela, à minha mãe.

DECLARAÇÃO

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

AGRADECIMENTOS

Ao concluir este trabalho, embora se trate de um trabalho individual, gostaria de expressar o meu reconhecimento e agradecimento a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a minha formação, quer a nível académico e profissional, quer principalmente a nível pessoal. Sendo impossível mencionar todas essas pessoas, enumero aquelas que tiveram destaque neste período final.

À minha orientadora, Eng.^a Filipa Ferreira, pela constante partilha de conhecimento científico, mas também pela paciência e dedicação ao longo desta etapa. Pela forma atenciosa e compreensiva com que sempre me orientou ao longo desta dissertação e ainda pelo encorajamento que me permitiu continuar com toda a motivação e finalizar esta etapa.

Dada a componente prática presente neste estudo, queria também deixar uma palavra de apreço aos colegas da empresa com que colaborei, por todos os conselhos e pela constante partilha de conhecimento. À empresa pela possibilidade de realizar o estágio profissional e por me ter disponibilizado os dados para os estudos efetuados no presente trabalho.

Aos meus amigos, pelo companheirismo e a importância que proporcionaram. Um agradecimento especial aos meus amigos, Mariana Oliveira, Sofia Alexandre, Mariana Alves e Jaime Pinto, que tantas ideias trocámos para que os nossos trabalhos chegassem a bom porto. Um reconhecimento nomeadamente aos meus amigos de longa data que sempre acreditaram em mim e me apoiaram nesta primeira fase da minha vida: Maria Borges, Jorge Silva e João Silva.

Aos meus primos Tatiana Cîrjă e Mihail Cîrjă pelo companheirismo, pela amizade fiel, e por me proporcionarem uma relação firme. À minha tia, Guilhermina Gomes, pelo apoio imparável e por me ensinar lidar com as mudanças da vida, quando a vontade era apenas desistir. À minha tia, Cristina Leal pelo afeto e pelo incentivo incondicional.

Ao Fábio Martinho pela paciência, fiel companheirismo e principalmente por nos momentos de maior desespero nunca deixar de acreditar em mim.

Os agradecimentos não podiam deixar de passar pela minha Mãe, por ser modelo de coragem, que me ajudou incansavelmente alcançar os meus objetivos e superar os meus problemas. A ela devo tudo o que sou. Estarei eternamente grata!

A todos, muito obrigada!

RESUMO

A água é um bem essencial para a manutenção dos meios de vida, e o desequilíbrio presente entre a procura e a sua disponibilidade torna-se cada vez mais preocupante. De forma a assegurar o acesso sustentável à água, em qualidade e em quantidade adequada, aprimoraram-se tecnologias que possibilitam a reutilização de efluentes de água residual tratados (ART) como fonte alternativa de abastecimento. Nesta vertente, preconiza-se a tecnologia de tratamento de águas residuais por reatores biológicos de membrana, que assegura a elevada qualidade do efluente final.

Em Portugal, o interesse pela reutilização de ART tem vindo a aumentar, devido às recentes secas observadas, à consciencialização de valor da água, bem como a razões de carácter político, no âmbito de desenvolvimento de soluções sustentáveis.

Conscientes da problemática da água face à situação de escassez vivida no concelho em estudo, este manifestou interesse em promover uma fonte de água alternativa à atual. Assim, a presente dissertação aborda, como caso de estudo, a reutilização de efluentes das principais ETAR do concelho, para fins industriais. Por razões de confidencialidade optou-se por não divulgar o nome do município. No âmbito deste trabalho equacionaram-se três cenários, tendo as infraestruturas sido submetidas a um pré-dimensionamento, à estimativa preliminar de investimentos e encargos, e a uma análise de viabilidade económica. Apesar dos elevados custos, considera-se que o designado Cenário 1 (que corresponde ao aproveitamento dos efluentes da ETAR “A” para satisfação parcial das necessidades de água da Indústria), é muito promissora, de ponto de vista político, ambiental e social.

Palavras-chave: ETAR, MBR, Bioreatores de membranas, Reutilização, Água residual tratada

ABSTRACT

Water is an essential asset for the maintenance of livelihoods, and the present imbalance between demand and availability is becoming increasingly worrying. In order to guarantee the sustainable access to water, in quality and quantity, technologies have been improved to enable the reuse of treated wastewater as an alternative source of supply. Thus, it is recommended the technology of wastewater treatment by membrane biological reactors, which ensures the high quality of the final effluent.

In Portugal, interest in wastewater reuse has been increasing, due to the recent droughts, awareness of water value, as well as political reasons, in the scope of developing sustainable solutions.

Aware of the situation of water scarcity lived in the county under study, this one expressed interest in promoting an alternative water source to the current one. Thus, this dissertation addresses, as a case study, the reuse of effluents from the main WWTP of the county, for industrial purposes. For reasons of confidentiality it was decided not to disclose the name of the municipality. In the scope of this work were equated three scenarios, where the infrastructures are being submitted to pre-dimensioning, preliminary estimation costs of capital and maintenance operation, as well as an economic feasibility analysis. Despite the high costs, it is considered that the Scenario 1 (which corresponds to the use of the wastewater from the "A" WWTP for partial satisfaction of the industry's water needs) is very promising from a political, environmental and social point of view.

Key-words: WWTP, MBR, Membranes bioreactor, Reuse, Treated wastewater

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS E METODOLOGIA	2
1.3. ORGANIZAÇÃO	3
2. REATORES BIOLÓGICOS POR MEMBRANAS: ESTADO DE ARTE.....	5
2.1. ASPETOS GERAIS.....	5
2.1.1. Sistema convencional	5
2.1.2. Sistema MBR.....	7
2.2. PROCESSO DE FILTRAÇÃO POR MEMBRANAS.....	8
2.3. TIPOS DE MEMBRANAS E CONFIGURAÇÕES DOS MÓDULOS	11
2.3.1. Tipos de membranas.....	11
2.3.2. Configurações	11
2.4. TIPOS DE REATORES MBR	15
2.4.1. Notas introdutórias.....	15
2.4.2. SMBR.....	15
2.4.3. EMBR.....	16
2.4.4. Comparação entre SMBR e EMBR	17
2.5. FATORES QUE INFLUENCIAM O FUNCIONAMENTO DO SISTEMA MBR.....	18
2.6. SISTEMA CONVENCIONAL VS. SISTEMA MBR	20
2.7. INVESTIMENTO E ENCARGOS TÍPICOS COM O TRATAMENTO POR MEMBRANAS.....	22
2.7.1. Notas introdutórias.....	22
2.7.2. Custo de investimento inicial.....	22
2.7.3. Custos de operação.....	24
2.7.4. Custos totais e recomendações principais.....	26
2.8. APLICAÇÃO DE MBR EM TERRITÓRIO NACIONAL	27
2.8.1. Nota introdutória.....	27
2.8.2. ETAR de Vila Nova do Ceira (Góis)	28
2.8.3. ETAR de Viseu Sul.....	31
3. IMPORTÂNCIA E POTENCIALIDADES DE REUTILIZAÇÃO DE EFLUENTES TRATADOS	35
3.1. IMPORTÂNCIA DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA.....	35
3.2. POTENCIALIDADES E PRINCIPAIS APLICAÇÕES	36
3.3. ASPETOS DE PLANEAMENTO E CONCEÇÃO DOS SISTEMAS	39
3.4. BENEFÍCIOS E RISCOS ASSOCIADOS À REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS.....	41
3.5. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ÁGUA RECICLADA	42
3.5.1. Sistema de distribuição	42
3.5.2. Infraestruturas de reserva	45
3.5.3. Sistemas elevatórios	45
4. CASO DE ESTUDO	47
4.1. ENQUADRAMENTO GERAL	47
4.2. FORNECEDORES POTENCIALMENTE INTERESSADOS EM APROVISIONAR COM ART	48
4.2.1. ETAR “A”	48
4.2.2. ETAR “B”	49
4.3. ELEMENTOS E DADOS DE BASE DE DIMENSIONAMENTO.....	51
4.4. OBJETIVOS DE QUALIDADE E NÍVEL DE TRATAMENTO A ASSEGURAR	52
4.5. PROSPEÇÃO DO MERCADO DOS UTILIZADORES	53
4.6. SISTEMA DE TRATAMENTO PROPOSTO.....	54

4.7.	CENÁRIOS EQUACIONADOS E PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS INFRAESTRUTURAS	59
4.7.1.	Aspetos gerais	59
4.7.2.	Pré-dimensionamento do circuito de adução proposto no Cenário 1.....	60
4.7.3.	Pré-dimensionamento do circuito de adução proposto no Cenário 2.....	63
4.7.4.	Pré-dimensionamento do circuito de adução proposto no Cenário 3.....	65
4.8.	ESTIMATIVA PRELIMINAR DE INVESTIMENTOS E ENCARGOS	67
4.8.1.	Custos de investimento	67
4.8.2.	Encargos de manutenção e exploração	69
4.8.3.	Análise preliminar dos benefícios	70
4.9.	ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÓMICA	71
4.9.1.	Considerações gerais	71
4.9.2.	Cenários analisados	71
4.9.3.	Resultados.....	72
4.9.4.	Alternativas à fundo perdido	74
4.9.5.	Solução recomendada	75
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	77
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Diagrama de tratamento de efluentes convencionais	5
Figura 2.2 - Diagrama de um tratamento por bioreator por membrana	8
Figura 2.3 - Representação esquemática do processo de filtração por membrana	8
Figura 2.4 - Dimensão de partículas e microrganismos removidos por processos de membranas [adaptado de EPRI (1997)]	9
Figura 2.5 - Representação esquemática: (a) filtração tangencial; (b) filtração convencional [fonte: <i>Industrial WaterWorld</i>]	10
Figura 2.6 – Representação esquemática do módulo de placa e quadro [fonte: QUA tratamento, 2018].....	12
Figura 2.7 – Representação esquemática da membrana enrolada em espiral [fonte: ECC USA, 2004].....	13
Figura 2.8 – Representação esquemática do módulo de membrana tubular [fonte: <i>STEVIA technology</i> , 2018].....	13
Figura 2.9 - Representação esquemática do módulo de membrana de fibra oca [fonte: www.imagenesmy.com].....	14
Figura 2.10 - Representação esquemática do sistema SMBR [fonte: <i>Environmental expert</i>]	15
Figura 2.11 - Representação esquemática do sistema EMBR [fonte: <i>Indiamart</i>]	17
Figura 2.12 - Fenómeno de colmatação da membrana (Adaptado Howe <i>et al.</i> , 2012).....	19
Figura 2.13 - Custo de investimento nas ETAR municipais na região Erft, Alemanha (Brepols <i>et al.</i> , 2010).....	23
Figura 2.14 – Peso dos diferentes custos de investimento inicial do sistema MBR [adaptado de DeCarolis <i>et al.</i> (2007)].....	23
Figura 2.15 - Custos de investimento em ETAR de escala diferente (Brepols <i>et al.</i> , 2010)	24
Figura 2.16 - Peso dos diferentes custos de operação e manutenção do sistema MBR [adaptado de DeCarolis <i>et al.</i> (2007)].....	24
Figura 2.17 - Distribuição dos custos de operação e manutenção em ETAR de escala diferente (Brepols <i>et al.</i> , 2010)	25
Figura 2.18 - Custo de operação das ETAR municipais na região Erft, Alemanha (Brepols <i>et al.</i> , 2010)	26
Figura 2.19 - Investimento inicial e manutenção anual (Brepols <i>et al.</i> , 2010).....	27
Figura 2.20 - Representação esquemática da bacia hidrográfica do rio Mondego e a localização aproximada das ETAR que usam MBR em território nacional [fonte: QGIS]	28
Figura 2.21 – Obra de entrada: (a) unidade compacta; (b) medidor de caudal afluente à ETAR em canal <i>Parshall</i>	29
Figura 2.22 – Reator biológico: (a) Zona anóxica; (b) zona aeróbia.....	30
Figura 2.23 – (a) Grupos eletrobomba centrífugos verticais <i>in-line</i> ; (b) Sopradores (c) Sala dos reagentes.....	30
Figura 2.24 - Diagrama de blocos do esquema de tratamento na ETAR de Viseu Sul	33
Figura 3.1 - Exemplo de identificação de redes de distribuição de água reciclada [fonte: <i>WateReuse Association</i>]	44
Figura 4.1 – Vista geral da atual ETAR “A”	48
Figura 4.2 – Vista aérea da ETAR “B” em fase de construção	49
Figura 4.3 – Diagrama de blocos do esquema de tratamento previsto para a ETAR “B”	50
Figura 4.4 - Diagrama de blocos do esquema de tratamento previsto para a ETAR “A”	55
Figura 4.5 - Módulo de membrana proposto, RW400 da marca Kubota [fonte: Kubota]	56
Figura 4.6 - Representação esquemática das intervenções propostas na ETAR “A”	57
Figura 4.7 - Módulo de membrana proposto, XS da Aquasource [fonte: Suez]	58
Figura 4.8 - Representação esquemática das intervenções efetuadas na ETAR “B”	59

Figura 4.9 - Sistema de adução proposto no Cenário 1	61
Figura 4.10 - Linhas piezométricas do circuito de adução proposto no Cenário 1	62
Figura 4.11 - Sistema de adução proposto no Cenário 2	63
Figura 4.12 - Linhas piezométricas do circuito de adução proposto no Cenário 2	65
Figura 4.13 - Sistema de adução proposto no Cenário 3	66
Figura 4.14 - Linhas piezométricas do circuito de adução proposto no Cenário 3	67

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 - Classes de água reciclada, usos e métodos de irrigação.....	37
Quadro 3.2 - Requisitos de qualidade para cada classe de água definida	38
Quadro 3.3 - Requisitos gerais de qualidade de água para usos industriais.....	38
Quadro 3.4 - Requisitos de qualidade de águas residuais tratadas a reutilizar para diversos usos urbanos [adaptado de Monte e Albuquerque, 2010]	39
Quadro 4.1 - Bases quantitativas de projeto da ETAR “A” em tempo húmido e tempo seco	52
Quadro 4.2 - Bases quantitativas de projeto da ETAR “B” em tempo húmido e tempo seco	52
Quadro 4.3 - Qualidade pretendida do efluente tratado, parâmetros de descarga das ETAR em meio sensível	53
Quadro 4.4 - Qualidade pretendida do efluente tratado, para reutilização	53
Quadro 4.5 - Volumes necessário na Indústria	54
Quadro 4.6 - Estimativa dos volumes disponíveis para abastecimento à indústria em tempo húmido	54
Quadro 4.7 - Dados do sistema adutor apresentado no Cenário 1	61
Quadro 4.8 - Diâmetros equacionados para a conduta elevatória (Cenário 1)	61
Quadro 4.9 - Diâmetros equacionados para a conduta gravítica (Cenário 1).....	62
Quadro 4.10 - Dados do sistema adutor apresentado no Cenário 2	63
Quadro 4.11 - Diâmetros equacionados para a conduta elevatória (Cenário 2)	64
Quadro 4.12 - Diâmetros equacionados para a conduta gravítica (Cenário 2).....	65
Quadro 4.13 - Diâmetros equacionados para a conduta elevatória (Cenário 3)	66
Quadro 4.14 - Diâmetros equacionados para a conduta gravítica (Cenário 3).....	67
Quadro 4.15 - Investimento inicial de execução dos circuitos equacionados	68
Quadro 4.16 - Encargos de operação e manutenção dos sistemas de reutilização.....	70
Quadro 4.17 - Benefícios anuais associados à implementação dos sistemas de adução	70
Quadro 4.18 - Resultados da análise de viabilidade económica	73
Quadro 4.19 - Resultados da análise de viabilidade económica com apoio a fundo perdido	74

SIMBOLOGIA

C_i	€	Custo de construção no ano i
DN	mm	Diâmetro Nominal
H_{elev}	m	Altura de elevação
Q	L/s	Caudal
V	m^3	Volume
γ	kN/m^3	Peso volúmico da água

LISTA DE ACRÓNIMOS

AR	Águas Residuais
ART	Água Residual Tratada
BGRI	Base Geográfica de Referenciação da Informação
CBO_5	Carência bioquímica de oxigénio ao fim de cinco dias de incubação, a 20 °C
CQO	Carência química de oxigénio
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
FFD	Ferro Fundido Dúctil
IST	Instituto Superior Técnico
$K_2Cr_2O_7$	Dicromato de potássio
MBR	<i>Membrane Biological Reactors</i> (bioreator de membranas)
MLSS	Licor misto
N_2	Azoto não reativo
NaClO	Hipoclorito de sódio
NH_4^+	Amónia
NO_3^-	Nitrato
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
SIG	Sistema de Informação Georreferenciada
SST	Sólidos Suspensos Totais
SRT	<i>Solids Retention Time</i> (idade das lamas)
TPM	Pressão transmembranar
RART	Reutilização de Água Residual Tratada

GLOSSÁRIO

Aerossóis	Partículas aquosas de diâmetro inferior a 50 µm em suspensão no ar
Arejamento	Operação através da qual o oxigénio molecular (O ₂) é transformado da fase gasosa (atmosfera ou oxigénio puro) para a fase líquida (água residual)
<i>Backwash</i>	Lavagem em contracorrente com água permeada. Inversão do fluxo do permeado por curto tempo através das membranas para remoção de agentes bloqueantes
Biomassa	Microrganismos vivos utilizados para remoção de constituintes orgânicos em tratamento biológico
CBO ₅	O teste CBO ₅ mede a quantidade de oxigénio consumido pelos microrganismos na oxidação biológica da matéria orgânica presente numa água, em condições aeróbias ao fim de cinco dias
Colmatação	Acumulação de sólidos nos poros das membranas
Concentrado	Partículas removidas, incluindo coloides biológicos e não-biológicos e macromoléculas
CQO	O teste CQO mede a quantidade de oxigénio necessária para oxidar quimicamente a matéria orgânica presente numa determinada água. O agente oxidante químico utilizado na determinação do oxigénio equivalente à matéria orgânica é o dicromato de potássio (K ₂ Cr ₂ O ₇)
Decantação	Operação de separação das partículas em suspensão da água residual, através da sua sedimentação por ação da gravidade, obtendo-se um líquido clarificado
Desarenação	Operação de remoção de partículas sólidas inorgânicas (areias e
Desenvolvimento sustentável	Processo que visa a satisfazer as necessidades da geração atual sem comprometer a possibilidades de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades
Desinfecção	Processo unitário com finalidade de reduzir a quantidade de microrganismos patogénicos presentes na água residual, eliminando-os ou reduzindo-os até um nível compatível com a proteção da saúde pública antes da sua descarga no meio recetor ou da sua reutilização
Desnitrificação	Conversão dos nitratos a azoto gasoso (N ₂), que se processa em condições anaeróbias, isto é, na ausência de oxigénio
Equalização	Retenção das águas residuais em bacias/tanques, a curto prazo, de forma a amortecer flutuações de caudal e/ou de carga poluente
<i>Fouling</i>	Processo que leva à diminuição do fluxo devido à colmatação dos poros das membranas
Hidrofílico	Superfície com afinidade à água
Hidrofóbico	Superfície que repela a água

<i>Nitrificação</i>	Conversão da amónia (NH_4^+) a nitritos e depois nitratos (NO_3^-), a qual ocorre em condições aeróbias
Seletividade da membrana	Capacidade de uma membrana reter determinados constituintes à superfície
SRT	Idade das lamas, ou seja, tempo de permanência dos microrganismos no sistema, dado pela razão entre a quantidade de sólidos no sistema e a massa de sólidos removidos diariamente
Transferência de oxigénio	Operação necessária para manter viva a biomassa e para assegurar condições aeróbias da massa líquida
Transvase entre bacias	Desvio de água de um rio para o outro
Relaxamento	Paragem de filtração mantendo a injeção de ar para limpeza das
Respiração endógena	Auto-oxidação do próprio plasma microbiano para obter energia para as suas reações celulares

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A água é um bem essencial para a manutenção da vida humana, e o desequilíbrio presente entre a procura de água e a sua disponibilidade torna-se cada vez mais preocupante. Esta diferença evidencia-se em resultado dos efeitos das alterações climáticas, de crescimento demográfico e de utilização insustentável deste recurso, provocando a escassez e deterioração da sua qualidade. Para mitigar a adversidade emergente, é fundamental procurar soluções que levem à redução dos riscos associados a eventos críticos. De forma a assegurar o acesso sustentável à água, em qualidade e em quantidade adequada à manutenção dos meios de vida, do bem-estar humano e do desenvolvimento socioeconómico, aprimoram-se tecnologias que possibilitem a reutilização de efluentes de água residual tratados como fonte alternativa de abastecimento, ou para outros fins compatíveis.

A reutilização de água é uma atividade relativamente antiga. Até metade do século XX a água residual (AR) com uso reservado à rega agrícola não sofria tratamento, mas devido às consequências em termos de risco para a saúde pública e para o ambiente, a partir desta altura, começou a ser tratada em estações apropriadas a fim de ser usada em múltiplos domínios, tais como a rega agrícola, a rega paisagística, a indústria, a recarga de aquíferos, usos ambientais e recreativos e usos urbanos não potáveis (Monte e Albuquerque, 2010). A água pode ser reutilizada inúmeras vezes e para diversos fins, desde que seja tratada de modo a adquirir a qualidade compatível com esses usos e que a utilização seja economicamente viável, ambientalmente segura e aceite pela opinião pública (Monte e Albuquerque, 2010). Salienta-se que, na grande maioria das novas infraestruturas, um reduzido volume de efluente tratado é armazenado num tanque dentro da instalação para reutilização interna designadamente como para água de serviço, para a lavagem de equipamentos, para a rega dos terrenos circundantes e para preparação de soluções de reagentes.

Em território nacional, o interesse pela reutilização de águas residuais tratadas (RART) tem vindo a aumentar, devido à escassez da água de boa qualidade para consumo público, à consciencialização de valor da água, bem como a razão de carácter político, no âmbito de formação de soluções sustentáveis. Adicionalmente, num quadro de crescentes exigências legais referentes à qualidade da água residual tratada, é cada vez mais justificável, técnica e economicamente, a opção pela reutilização dos efluentes tratados.

A AR é a fonte primária de agentes patogénicos como bactérias e parasitas, tornando-se essencial para a saúde humana o controlo deles no efluente tratado. De forma a evitar a ameaça à saúde pública e ao meio ambiente, preconiza-se a tecnologia de tratamento de águas residuais por reatores biológicos de membrana (MBR, "*Membrane Biological Reactors*" na terminologia anglo-saxónica), que assegura a elevada qualidade do efluente final, com remoção da carga orgânica e dos nutrientes.

Com a necessidade atual de processos mais eficientes e confiáveis para o tratamento de efluentes municipais e industriais, a tecnologia de bioreatores por membrana tornou-se uma solução bastante procurada. Em apenas algumas décadas de existência, o sistema MBR pode ser considerado o sistema

mais adequado de tratamento de águas residuais, competindo diretamente com os processos convencionais, como por exemplo o tratamento por lamas ativadas. Os MBR estão a ter uma utilização bastante ampla devido às importantes vantagens que apresentam relativamente às tecnologias convencionais (Le-Clech, 2010), nomeadamente, pequena área de implantação, alta qualidade de efluentes, boa retenção de agentes patogénicos e reduzida produção de lamas. Recentemente, o decréscimo dos custos de membranas expandiu a aplicação deste sistema, no entanto, os elevados encargos de operação (para manter as condições sustentáveis de filtração), nomeadamente o alto consumo de energia e necessidade de limpeza de membrana, dificultam a sua ampla aplicação. Na utilização desta tecnologia deve ser tida em conta a necessidade de um pré-tratamento rigoroso, e de um tanque de regularização a montante do tanque de equalização, por forma a que as membranas possam atuar a caudal constante, sem alteração significativa da qualidade do efluente.

A tecnologia por reatores de membrana é um processo que inclui a filtração de membranas associado ao tratamento biológico por lamas ativadas com arejamento prolongado, fornecendo uma barreira física de partículas com diâmetros superiores aos dos respetivos poros, e permitindo a passagem livre de água tratada biologicamente. A filtração tem como objetivo a separação da água de poluentes dissolvidos e em suspensão coloidal, nomeadamente metais, nutrientes, sais, poluentes orgânicos e microrganismos.

Em determinadas circunstâncias, com custos de construção de infraestruturas de tratamento elevados, os sistemas MBR podem ser mais competitivos do que os sistemas convencionais, visto que são necessárias menores quantidades de materiais de construção e trabalhos de instalação. Estes sistemas podem ainda ser adotados quando o meio recetor do efluente for classificado como sensível, sendo o grau de tratamento efetuado na instalação mais exigente, e o sistema por membranas revela-se mais adequado, causando menor impacto ambiental no meio recetor e garantindo uma qualidade suficientemente elevada para a reutilização do efluente tratado. Em contrapartida, quando os requisitos de tratamento são menos rigorosos, os sistemas tradicionais são mais aconselháveis pois não apresentam custos de investimento e de Operação e Manutenção (O&M) tão elevados como os MBR.

De forma a aplicar estes conceitos, num contexto de escassez de água e numa ótica de resiliência hídrica e de sustentabilidade na exploração dos recursos naturais, desenvolveu-se um caso de estudo que pretende promover a reutilização de efluentes das principais ETAR do concelho em estudo para diversos fins, destacando-se os fins industriais, designadamente na indústria de produção de derivados de madeira. Os efluentes tratados poderão também ser reutilizados na agricultura e em atividades urbanas compatíveis, como a rega de jardins e espaços verdes e a lavagem de arruamentos. As soluções apresentadas abrangem a adequação do tratamento de águas residuais domésticas das ETAR à reutilização de efluentes, bem como a construção de um sistema de distribuição de água reciclada (incluindo estações elevatórias, adutoras e reservatórios).

1.2. OBJETIVOS E METODOLOGIA

O principal objetivo desta dissertação consiste numa análise das potencialidades, vantagens e desvantagens da utilização de tratamento de águas residuais domésticas com recurso a MBR. Este estudo visa a utilização desta tecnologia tanto em ETAR novas como na reabilitação de ETAR

existentes, em situações de descarga em zonas sensíveis (remoção de nutrientes), ou caso se pretenda a reutilização dos efluentes tratados.

O outro objetivo significativo desta dissertação resume-se ao desenvolvimento de um estudo de implementação desta tecnologia num plano de reutilização de efluentes tratados provenientes de duas ETAR, do concelho em estudo, num contexto de escassez de água e numa ótica de resiliência hídrica e de sustentabilidade na exploração dos recursos naturais. Pretende-se com esta dissertação promover a reutilização de efluentes das principais ETAR do concelho para fins industriais, designadamente na indústria de produção de derivados de madeira. Este caso de estudo baseado em dados reais, permite avaliar a aplicação de MBR como forma de tratamento de AR tendo em vista a sua reutilização.

O presente trabalho pretende promover o processo constituído pelo sistema MBR como alternativa ao tratamento convencional, divulgando o conceito da tecnologia e incentivando de forma indireta, a RART e ainda apresentar a potencialidade de reutilização do efluente tratado.

A metodologia adotada no desenvolvimento desta dissertação abrange várias etapas. Numa primeira fase, procede-se à revisão do estado atual de conhecimentos no âmbito do tratamento por membranas, sendo analisada com a sua aplicação ao setor da drenagem e do tratamento de águas residuais e a situação em território nacional.

Verifica-se que, em termos de ETAR municipais, até a data, existem duas ETAR em funcionamento com este sistema. Para melhor entendimento do modo de funcionamento e operação das mesmas, foi realizada uma visita de estudo ao local de uma infraestrutura que dispõe do sistema de bioreatores de membrana - ETAR de Vila Nova do Ceira.

No âmbito do caso de estudo, foi avaliado o potencial de reutilização dos efluentes, foi estudada a possibilidade de reabilitação da ETAR pela implementação deste tipo de sistema e avaliadas as infraestruturas necessárias para a implementação de um sistema de adução de efluentes reutilizados, abastecendo uma indústria com elevado consumo de água.

Por fim, foi realizado um estudo de viabilidade financeira para verificar se as alternativas analisadas apresentam mais vantagens do que o fornecimento de água através da rede pública.

1.3. ORGANIZAÇÃO

A presente dissertação desenvolve-se ao longo de cinco capítulos distintos. O presente capítulo apresenta o tema a desenvolver, a finalidade da utilização do sistema MBR, a importância da reutilização da água, descreve sucintamente o objetivo da dissertação e finaliza com o desenvolvimento da estrutura adotada para o trabalho.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica, onde é definida a filtração por bioreatores de membranas, os tipos de membranas e as configurações dos módulos, como também os tipos de reatores existentes no mercado. No mesmo capítulo, descreve-se o investimento e os encargos típicos que este tratamento requer, enumeram-se os fatores que influenciam o bom funcionamento do sistema, e são apresentadas as principais vantagens e inconvenientes deste sistema relativamente aos sistemas utilizados convencionalmente. Este capítulo finaliza com uma descrição sintetizada das ETAR em operação, em território nacional, que utilizam a tecnologia por MBR.

No Capítulo 3, refere-se a importância e potencialidades de reutilização de água residual tratada (RART) e aos aspetos de planeamento e conceção dos sistemas adutores. Os benefícios e os riscos associados à reutilização de águas residuais tratadas (ART) também estão descritos no mesmo capítulo. Finaliza-se o mesmo com os aspetos de dimensionamento do sistema de água reciclada.

No Capítulo 4 preconiza-se a elaboração de um plano de sustentabilidade e eficiência para a RART das principais ETAR do concelho, atualmente uma em fase de concurso para reabilitação futura e outra em fase de construção. Apresenta-se uma breve descrição dos sistemas de adução equacionados, de modo a abastecer uma indústria local de madeira. Da mesma forma, são descritas as estimativas para a determinação dos custos de investimento inicial e de manutenção e operação dos sistemas. Por fim, apresenta-se o estudo e análise de viabilidade técnica e económica de soluções de reutilização segura, com a salvaguarda da saúde pública dos efluentes tratados nas ETAR.

Por fim, no Capítulo 5, sintetizam-se as principais conclusões do estudo efetuado com verificação do cumprimento dos objetivos da presente dissertação. Apresentam-se sugestões de desenvolvimentos futuros no domínio deste estudo.

2. REATORES BIOLÓGICOS POR MEMBRANAS: ESTADO DE ARTE

2.1. ASPETOS GERAIS

A filtração por membranas em bioreatores é a conjugação da filtração constituída por membranas com um reator biológico que garante a elevada qualidade do permeado produzido, com baixas concentrações de SST, de compostos orgânicos e de nutrientes. A legislação em vigor impõe a remoção de uma grande percentagem de SST, CBO₅, CQO, bem como de nutrientes (azoto e fósforo), no caso de o efluente da ETAR ser descarregado num meio recetor classificado como sensível. Quando se pretende reutilizar o efluente tratado, é também importante remover microrganismos patogénicos.

2.1.1. SISTEMA CONVENCIONAL

A linha da fase líquida do sistema convencional de tratamento de águas residuais é constituída tipicamente por quatro processos de tratamento: preliminar, primário, secundário e terciário. O diagrama deste sistema de tratamento pode ser observado na Figura 2.1.

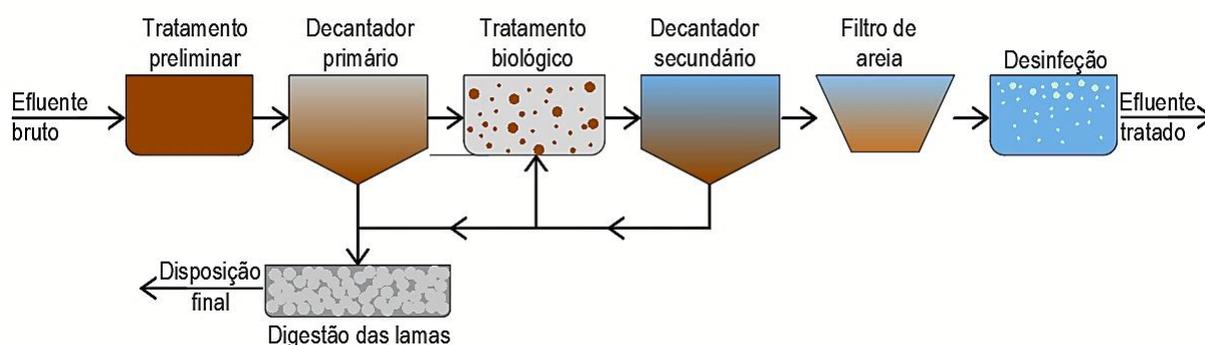


Figura 2.1 - Diagrama de tratamento de efluentes convencionais

O tratamento preliminar inclui a primeira fase da depuração do afluente por meio de processos físicos e inclui as operações de gradagem (separação de sólidos grosseiros através de grades), tamisagem (remoção de sólidos suspensos com dimensão igual ou superior a 6 mm, de modo a evitar sedimentação ou bloqueios nas fases posteriores de tratamento), desarenação (remoção de areias), desengorduramento (remoção de óleos e gorduras) e, em alguns casos, equalização/neutralização (que adiciona ácido clorídrico (HCl), por exemplo, consoante se revele necessário corrigir o valor do pH no afluente). De seguida é medido o caudal afluente num descarregador tipo *Parshall* ou num medidor eletromagnético. Quando se justificar, é instalada uma estação elevatória inicial para garantir o transporte da AR nas operações seguintes do tratamento da fase líquida. É importante referir que, para infraestruturas de pequena dimensão, com população equivalente inferior a 1 000 habitantes, poderá ser utilizada uma gradagem manual, recomendando-se para populações servidas de dimensões superiores uma gradagem mecânica e uma grade manual de recurso (Matos e Ferreira, 2017).

O tratamento primário consiste na separação da matéria poluente da fração líquida por sedimentação. Os sistemas convencionais apresentam uma eficiência de remoção dos sólidos suspensos de 50 a

60 %, e uma eficiência de remoção da carga orgânica entre 20 e 30 %, dependendo do tipo de tratamento e do nível de operação da estação. De forma a aumentar a eficiência do processo, podem ser adicionados reagentes químicos que promovem a criação de flocos de maior dimensão, para facilitar a sua remoção.

Posteriormente, o efluente é encaminhado para o tratamento biológico, realizado com auxílio de microrganismos, onde a matéria orgânica poluente é depurada. Como os microrganismos são, na sua maioria aeróbios, é essencial arejar as águas de forma a assegurar as condições aeróbias. Este pode ser realizado em sistemas extensivos, baseado em processos naturais, e apresenta como principal vantagem o consumo energético reduzido ou até nulo (sistemas lagunares e leitos de macrófitas), ou em sistemas intensivos, que apresentam uma ocupação reduzida da área de implantação e, uma elevada eficiência de remoção da matéria orgânica poluente (fossa séptica, leitos percoladores e lamas ativadas). Na Tabela 2.1 apresentam-se as vantagens e os inconvenientes de ambos os sistemas. O processo é usualmente realizado em reatores biológicos de biomassa suspensa (lamas ativadas) ou biomassa fixa (leitos percoladores e biofiltros ou discos biológicos), que depois é submetido a um processo de separação das lamas biológicas do fluido, por sedimentação (decantador secundário) ou por filtração (sistema MBR).

Tabela 2.1 – Vantagens e inconvenientes do sistema extensivo e intensivo [adaptado de Matos e Ferreira (2017)]

Parâmetro		Vantagens	Desvantagens	
SISTEMA EXTENSIVO	Lagunagem	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo energético reduzido ou até nulo • Bom comportamento face a variação de qualidade e quantidade das afluentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Ocupação de elevada área de implantação da infraestrutura • Eficiência de remoção baixa 	
	Leito percolador	BAIXA CARGA	<ul style="list-style-type: none"> • Encargos de energia reduzidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Colmatação do leito, odores e mosquitos
		ALTA CARGA	<ul style="list-style-type: none"> • Sem problemas de colmatação do leito, odores, mosquitos • Produção de lamas inferior ao processo de lamas ativadas média carga • Dispensa, geralmente, o espessamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessita de recirculação • Necessita de estabilização de lamas
SISTEMA INTENSIVO	Lamas ativadas	BAIXA CARGA (arejamento prolongado)	<ul style="list-style-type: none"> • Dispensa tratamento primário • Produção de lamas inferior ao processo de lamas ativadas de media carga • Lamas já estabilizadas • Sem problemas de odores e mosquitos, são protegidas pela água sobrenadante • Bom comportamento face a variação de qualidade e quantidade da afluência 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevados consumos energéticos • Área ocupada
		MÉDIA CARGA	<ul style="list-style-type: none"> • Área mais reduzida, em comparação com a de baixa carga 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensível às variações de carga orgânica • Necessita de tratamento primário • Necessita de estabilizar as lamas

Geralmente, em sistemas intensivos, a eficiência de remoção da matéria orgânica poluente apresenta valores que rondam os 80 ou até 98 %, dependendo do tipo de tratamento e da operação da estação. Se se tratar de meios recetores classificados como menos sensíveis, antes do efluente tratado ser devolvido à natureza não necessita de tratamentos adicionais. Se o recetor for classificado como sensível, poderá ser fundamental complementar a operação com um tratamento terciário que consiste na remoção de nutrientes – azoto e fósforo – e/ou desinfecção do efluente final. A remoção dos agentes patogénicos realiza-se utilizando a radiação Ultra-Violeta ou por adição do cloro, sendo a segunda técnica mais utilizada por ser menos onerosa.

Salienta-se que, quando o afluente é de origem industrial, o mesmo necessita de um pré-tratamento adequado para se eliminar as eventuais substâncias tóxicas.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por processo de redução da humidade e aumento da concentração, por espessamento e desidratação, para assegurar a qualidade compatível com o seu destino final - aterro sanitário, deposição em solos agrícolas devido a sua elevada concentração de nutrientes, em compostagem, etc. A título de exemplo, e de forma muito simplificada, refere-se que, em instalações de grande escala, antes da desidratação, as lamas são frequentemente submetidas a digestão anaeróbia de forma a estabilizar e reduzir a matéria sólida volátil. Do ponto de vista económico e ambiental, é um processo vantajoso porque permite a recuperação de biogás produzido, para produção de calor e de energia eléctrica. Quando se trata de estações de pequenas dimensões, geralmente efetua-se o espessamento gravítico das lamas e de seguida são transportadas em veículos dedicados para uma ETAR de maior escala, mais próxima, por forma a sofrerem o tratamento adicional - desidratação.

2.1.2.SISTEMA MBR

O funcionamento dum sistema MBR é semelhante a um sistema convencional por lamas ativadas, apresentando algumas diferenças, nomeadamente, a dispensa de um decantador secundário e de filtração terciária, assegurando uma solução mais compacta. Assim como em qualquer processo biológico aeróbico, a transferência contínua de oxigénio é necessária para sustentar a existência de biomassa viva e degradar os poluentes biodegradáveis e outros compostos à base de nitrogénio (Wilf, 2010). O pré-tratamento do afluente é um processo crucial no sucesso da operação de MBR, e é aplicado de modo a reduzir a colmatação, a incrustação, e a degradação da membrana, prolongando assim a sua vida útil (Marecos *et al.*, 2016). O afluente necessita de uma tamisagem adequada e eficiente. De acordo com estes autores, de modo a que o pré-tratamento seja eficiente o tamisador mais fino deve apresentar grelha inferior a 0,5 mm.

Após o tratamento preliminar, o afluente é encaminhado para o tratamento biológico, constituído por um tanque anóxico (para desnitrificação), um tanque aeróbio (arejamento do processo biológico) e um reator biológico com os módulos de membranas. Posteriormente, passa por um sistema de barreiras físicas porosas (membranas) onde se realiza o processo de filtração, impedindo a passagem de bactérias e vírus. O efluente tratado será extraído a partir das membranas, enquanto que a biomassa fica retida no interior do reator biológico. Na Figura 2.2 representa-se o diagrama de um bioreator com membranas.

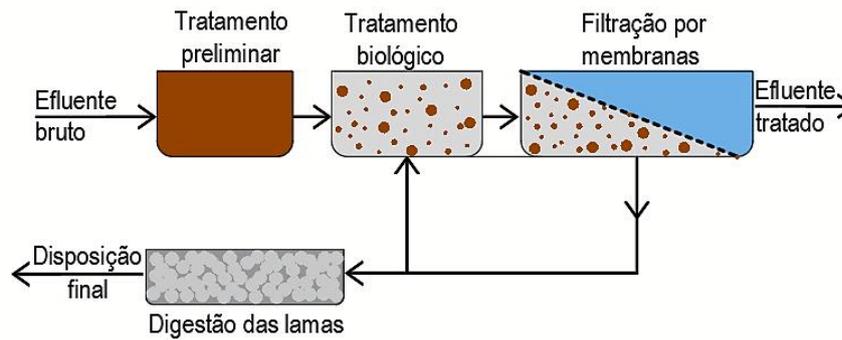


Figura 2.2 - Diagrama de um tratamento por bioreator por membrana

2.2. PROCESSO DE FILTRAÇÃO POR MEMBRANAS

A filtração é um processo físico que consiste na separação de misturas heterogêneas. Os processos de membranas utilizam a combinação de um filtro – camada semipermeável de espessura fina - com a ação de uma força motriz – gradiente de pressão. A membrana permite a passagem de alguns constituintes das águas residuais através dos poros, impedindo a passagem de partículas que tenham um diâmetro superiores à do orifício da mesma. A força motriz que impulsiona a passagem do fluxo de alimentação através da membrana é o gradiente de pressão entre ambos os lados da membrana, designada por pressão transmembranar (PTM).

A seletividade da membrana caracteriza-se pelo fluxo de alimentação dividir-se em duas correntes distintas, permeado e concentrado (Figura 2.3). Permeado é a água tratada que é conduzida pelo interior da membrana e encaminhada para diferentes fins, enquanto que o concentrado é o constituinte que fica retido à superfície da membrana e contém as substâncias removidas (partículas biológicas, coloides não biológicos e macromoléculas).

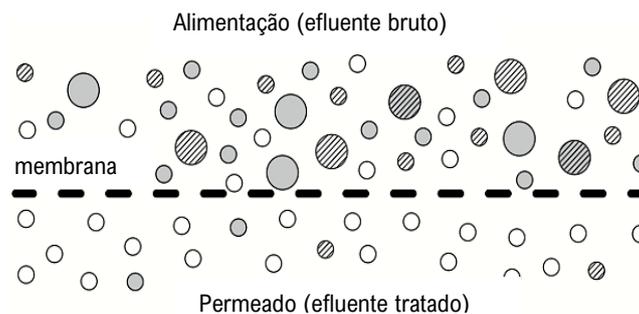


Figura 2.3 - Representação esquemática do processo de filtração por membrana

De acordo com o tamanho das partículas retidas nas membranas e os constituintes removidos, as operações de tratamento do processo de membranas classificam-se em microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose inversa (IO). As características gerais destes processos de filtração apresentam-se na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Características gerais dos processos de filtração por membranas [adaptado de Metcalf e Eddy (2003)]

Parâmetro	Processos de filtração			
	Microfiltração	Ultrafiltração	Nanofiltração	Osmose inversa
TAMANHO DOS POROS [nm]	macroporos (<50)	mesoporos (2 -50)	microporos (< 2)	compactos (< 2)
INTERVALO DE OPERAÇÃO [µm]	0,08 – 2,0	0,005 – 0,2	0,001 – 0,01	0,0001 – 0,001
DESCRIÇÃO DO PERMEADO	água e solutos dissolvidos	água e pequenas moléculas	água, moléculas muito pequenas e solutos iônicos	água, moléculas muito pequenas e solutos iônicos
CONSTITUINTES REMOVIDOS	<ul style="list-style-type: none"> • SS; • matéria coloidal; • matéria orgânica; • bactérias 	<ul style="list-style-type: none"> • SS; • matéria coloidal; • matéria orgânica; • bactérias; • vírus 	<ul style="list-style-type: none"> • matéria orgânica; • SD; • bactérias; • vírus 	<ul style="list-style-type: none"> • matéria orgânica; • azoto e fósforo • SD; • bactérias; • vírus

É importante referir que quanto menor for a dimensão dos poros, mais constituintes ficarão retidos ou maior será a pressão necessária a exercer para realizar o processo de filtração e, conseqüentemente, maiores serão os consumos de energia associados. As diferenças observadas na intensidade do gradiente e nos mecanismos de separação conduz a uma aplicação seletiva na remoção de diferentes constituintes da água residual. Torna-se possível adotar o processo mais adequado à remoção de determinados poluentes, conforme apresentado na Figura 2.4, a qual evidencia que a MF e a UF são utilizadas para a remoção de Sólidos em Suspensão, SS, enquanto a NF e a OI se destinam à remoção de Sólidos Dissolvidos - SD (Marecos *et al.*, 2016).

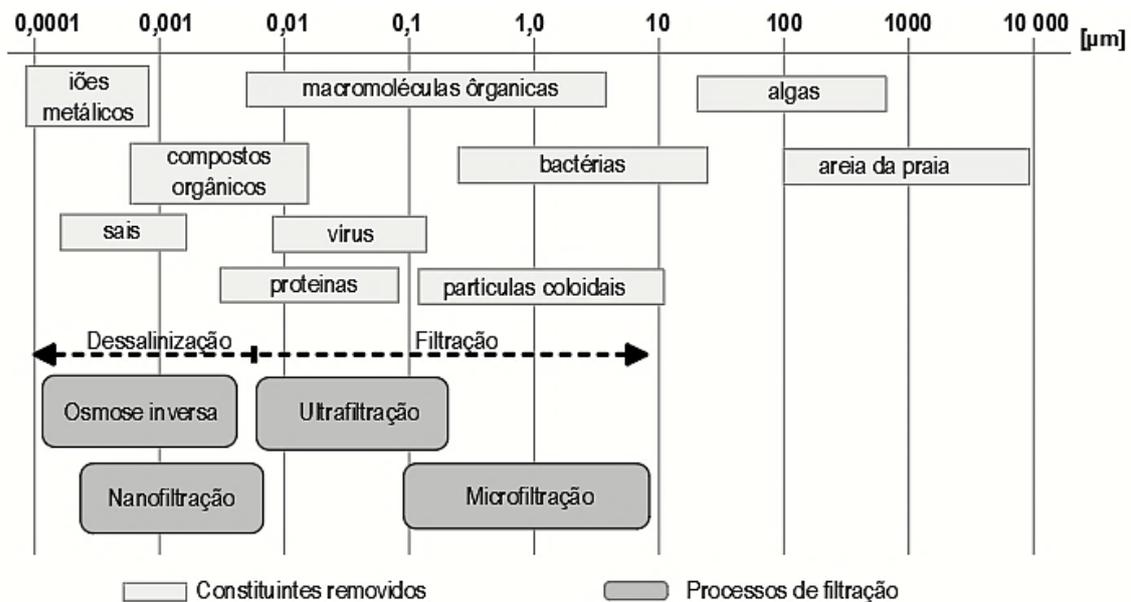


Figura 2.4 - Dimensão de partículas e microrganismos removidos por processos de membranas [adaptado de EPRI (1997)]

Na presente dissertação serão abordados unicamente os processos de membrana mais apropriados nas aplicações no tratamento de AR que requerem efluente de qualidade elevada – ultrafiltração e microfiltração.

O processo avançado por microfiltração (MF) é aplicado para remoção de sólidos em suspensão fina e coloidal, protozoários e algumas bactérias. É o processo que apresenta maior dimensão dos poros o que leva a uma pressão de operação mais reduzida, 0,1 a 3,0 Bar e, conseqüentemente, a um consumo de energia mais reduzido, cerca de 0,4 kWh/m³.

O processo de ultrafiltração (UF) é utilizado na separação, purificação ou concentração de várias partículas como partículas suspensas, bactérias e vírus. As membranas apresentam poros com diâmetro mais reduzido que a MF, garantindo, deste modo a remoção dos sólidos de dimensão microscópica (< 0,2 µm). Na presença de poros reduzidos a pressão necessária para operação terá de ser superior, compreendendo valores de 0,2 a 8,0 Bar, promovendo consumos energéticos superiores, sensivelmente 3,0 kWh/m³.

A configuração das membranas não é um parâmetro relevante na escolha do tipo de tratamento. Os parâmetros a considerar durante a escolha do processo apropriada à remoção de teores residuais de sólidos são a disponibilidade da área em planta, o processo de desinfecção, o consumo energético e as exigências a nível de manutenção.

A redução do fluxo do permeado é influenciado por vários fatores, nomeadamente, a composição do afluente, a geometria, configuração e material das membranas, e operação (Gander *et al.*, 2000).

A filtração por membranas pode ser operada por filtração convencional ou por filtração tangencial. Na filtração convencional ou por impacto (“*dead-end filtration*”, em terminologia anglo-saxónica) o afluente é transportado perpendicularmente ao plano da membrana, promovendo o aumento da concentração do material retido à superfície da membrana, provocando assim eventuais problemas como *fouling*. Na filtração tangencial (“*cross flow filtration*”, na terminologia de língua inglesa) o afluente é conduzido paralelamente à superfície da membrana, removendo continuamente o material retido, sendo necessário proceder à recirculação. Na representação esquemática da Figura 2.5 observa-se a diferença entre uma filtração convencional e tangencial.

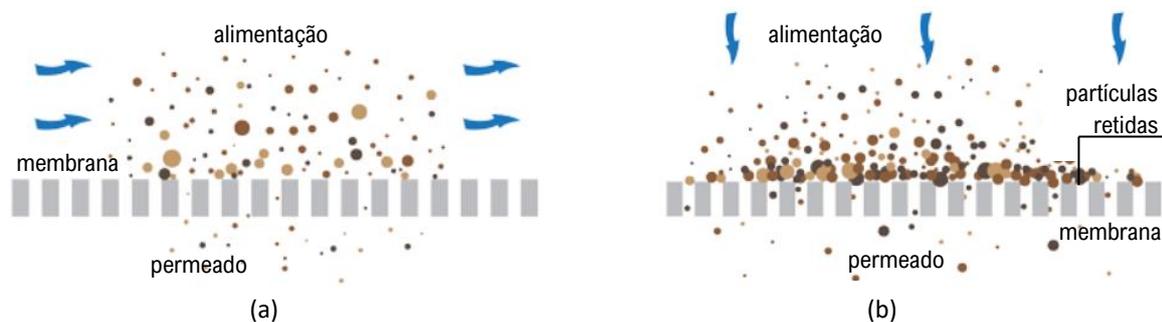


Figura 2.5 - Representação esquemática: (a) filtração tangencial; (b) filtração convencional [fonte: *Industrial WaterWorld*]

A filtração tangencial é utilizada em sistemas em que o afluente apresenta concentrações mais elevadas de sólidos que possam obstruir os poros das membranas bloqueando o fluxo. Devido ao facto do concentrado ser removido continuamente apresentam um fluxo maior e tem como grande vantagem o elevado tempo de operação da membrana.

Relativamente aos encargos de exploração, a filtração tangencial apresenta valores mais elevados devido à energia necessária para a recirculação do afluente.

2.3. TIPOS DE MEMBRANAS E CONFIGURAÇÕES DOS MÓDULOS

2.3.1. TIPOS DE MEMBRANAS

A membrana define-se como uma barreira seletiva que permite a passagem de alguns constituintes e impede a passagem de outros. As membranas podem ser classificadas relativamente ao material de fabrico e a nível morfológico. De acordo com a sua natureza, as membranas classificam-se como sintéticas (orgânica e inorgânica) e biológicas (viva e não viva). As membranas sintéticas podem ser fabricadas a partir de materiais orgânicos, como por exemplo os polímeros, ou por materiais inorgânicos, como cerâmicos e metais. As membranas mais comercializadas são as de materiais orgânicos, porque apresentam maior variedade e revelam um custo de fabrico mais reduzido. As membranas de cerâmica, são aproximadamente 10 vezes mais caras que as orgânicas, mas apresentam como grande vantagem a elevada resistência química, térmica e hidráulica (Owen *et al.*, 1995). No entanto, estas e as membranas inorgânicas, em geral, apresentam uma maior vida útil e permitem limpezas mais eficientes (Habert, 2006).

Em relação à sua morfologia categorizam-se como isotrópicas (simétricas) e anisotrópicas (assimétricas). As membranas isotrópicas apresentam uma estrutura uniforme com poros de diâmetros regulares ao longo da espessura da membrana e podem ser de dois tipos, porosa e densa.

Quanto às membranas anisotrópicas, estas possuem uma estrutura variada com poros de diâmetros diferentes ao longo da sua extensão. Em comparação com o suporte, a camada superior é caracterizada por uma área muito fina e com poros de diâmetros reduzidos ou até inexistentes – tipo pele. A membrana anisotrópica, por sua vez, pode ser dividida em duas categorias, sendo denominada como anisotrópica integral, quando ambas as camadas apresentam o mesmo material ou por anisotrópica composta, quando os materiais são diferentes.

As membranas de cerâmica exigem uma área menor e PTM menores para produzir um fluxo de permeado semelhante as que produzem as membranas poliméricas devido à maior resistência à incrustação (Gander *et al.*, 2000).

2.3.2. CONFIGURAÇÕES

As membranas podem ser agrupadas em módulos e apresentam diversos tipos de configurações: módulo de membrana planar e módulo de membrana tubular. De forma a aprimorar a relação entre a área por unidade de volume, as membranas são acopladas em módulos, atingindo diferentes configurações.

MÓDULOS DE MEMBRANAS PLANAS

As membranas planas (“flat sheet membrane”) apresentam uma estrutura simples de diversas dimensões e são as mais utilizadas em ETAR. Os módulos são constituídos por uma placa plana rígida e por duas membranas que são instaladas em cada uma das faces da mesma. Entre os suportes é instalada uma rede de drenagem (espaçador) que é responsável pelo encaminhamento do permeado. As membranas planas agrupadas em módulos, podem apresentar-se em módulos de placa e quadro (Figura 2.6), como também em módulos enrolados em espiral (Figura 2.7). Esta configuração tem a

vantagem de facilitar a substituição das membranas danificadas durante a operação, sem perda do módulo.

i. Módulos de placa e quadros

Os módulos de placa e quadros são semelhantes aos filtros convencionais. Os constituintes do módulo podem ser colocados na vertical ou na horizontal e selados nas periferias, de forma que o afluente não entre em contacto com o permeado. A solução a filtrar atravessa as membranas com fluxo tangencial e o permeado é encaminhado para o tubo da recolha.



Figura 2.6 – Representação esquemática do módulo de placa e quadro [fonte: QUA tratamento, 2018]

As membranas com esta configuração são as mais utilizadas nas instalações de MBR, por apresentarem as melhores condições de operação e manutenção.

Em comparação com outras configurações, esta oferece maior resistência à incrustação e não necessita de um sistema de retrolavagem para operar de forma confiável. Devido aos difusores incorporados no sistema, estes maximizam a eficiência da lavagem local e até faz com que a frequência da mesma seja mais reduzida. Devido à sua configuração, apresenta fácil separação dos sólidos e a fácil remoção e/ou limpeza das superfícies de filtro, apresentando reduzido consumo de energia. Como desvantagem apresentam um custo de fabricação elevado.

ii. Módulo enrolado em espiral

Os módulos enrolados em espiral são constituídos por membranas planas associadas em série. As membranas ficam enroladas a um tubo coletor central que tem como função receber e encaminhar o permeado para o destino final. Entre as membranas são colocados os espaçadores de alimentação, assegurando espaço para o fluido escoar uniformemente entre as folhas da membrana. Entre o espaçador de alimentação e o tubo do permeado é colocado e selado com cola o espaçador de permeado, que tem como finalidade encaminhar o permeado para o tubo de recolha. O escoamento da solução a filtrar e da solução tratada são realizadas no interior da tubagem, que apresenta características rígidas. A solução a filtrar atravessa o módulo com fluxo tangencial ao longo do comprimento do elemento. O concentrado fica retido no final do corpo da unidade.

As membranas enroladas em espiral adaptam-se a diversas aplicações por poder fazer variar o número de espaçadores, o tipo de membrana, o comprimento e os diâmetros.

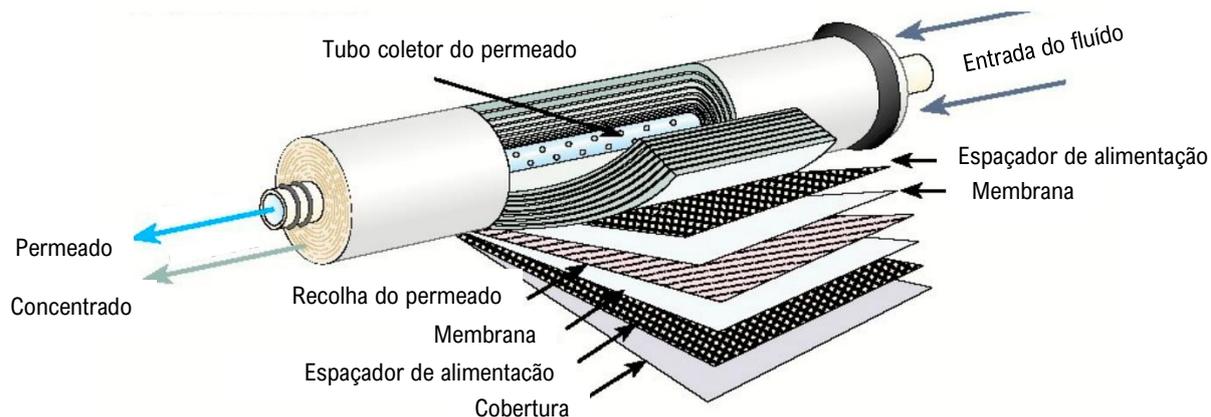


Figura 2.7 – Representação esquemática da membrana enrolada em espiral [fonte: ECC USA, 2004]

Pode-se afirmar que apresentam uma limpeza relativamente simples, através da limpeza *in-situ* e da retrolavagem. A grande desvantagem deste tipo de módulo é a necessidade de limpeza com uma determinada frequência e também por apresentar algumas zonas de difícil acesso, o que dificulta as limpezas. Como vantagem apresentam um baixo consumo de energia e um custo de fabricação baixo. Estas podem ser aplicadas em NF e OI.

MÓDULOS DE MEMBRANAS TUBULARES

Nos módulos de membranas tubulares, as membranas encontram-se no interior de um tubo que as suportam. Este tipo de membranas subdivide-se em módulos tubulares (Figura 2.8) e módulos de fibra oca (Figura 2.9).

i. Módulos tubulares

Nesta configuração as membranas são inseridas no interior de uns tubos porosos, geralmente fabricados por PVC ou aço inox. É a configuração mais simples no mercado e só é utilizada em microfiltração, quando há necessidade de um elevado controlo do escoamento ou quando a alimentação contém um elevado número de partículas em suspensão e/ou gorduras, que poderiam danificar outros tipos de módulos. O afluente escoar pelo interior da tubagem dando origem ao permeado à medida que é filtrado pelas membranas, sendo depois encaminhado para o exterior através de uma tubagem adjacente.

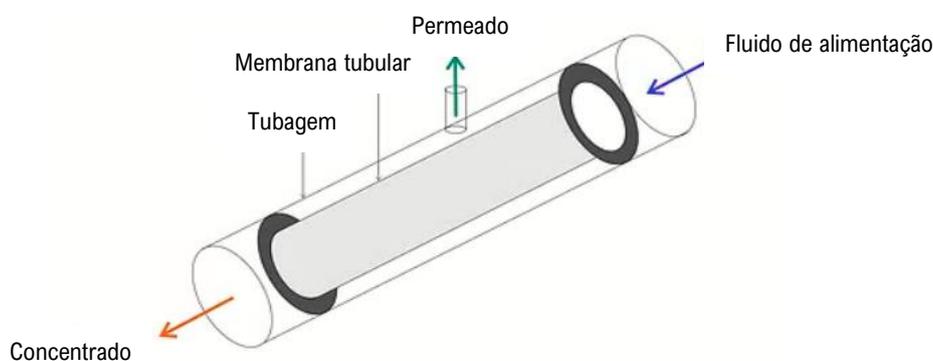


Figura 2.8 – Representação esquemática do módulo de membrana tubular [fonte: STEVIA technology, 2018]

As membranas em módulo tubular, apresentam uma vantagem em comparação com as configurações supracitadas por apresentarem incrustações reduzidas. Dada a sua configuração é essencial a realização de retrolavagem e de limpeza química regulares para o bom funcionamento das mesmas. Como inconveniente, apresenta o elevado custo de fabrico e elevado consumo de energia.

ii. Módulos de membrana de fibras ocas

Os módulos de membrana de fibras ocas são constituídos por um tubo coletor, membranas de fibra oca e uma tubagem exterior. As fibras são introduzidas num tubo de revestimento e soldadas na extremidade, de forma a que o caudal circule axialmente no interior das fibras e o permeado seja recolhido no tubo coletor. Geralmente, o escoamento é efetuado do interior para o exterior.

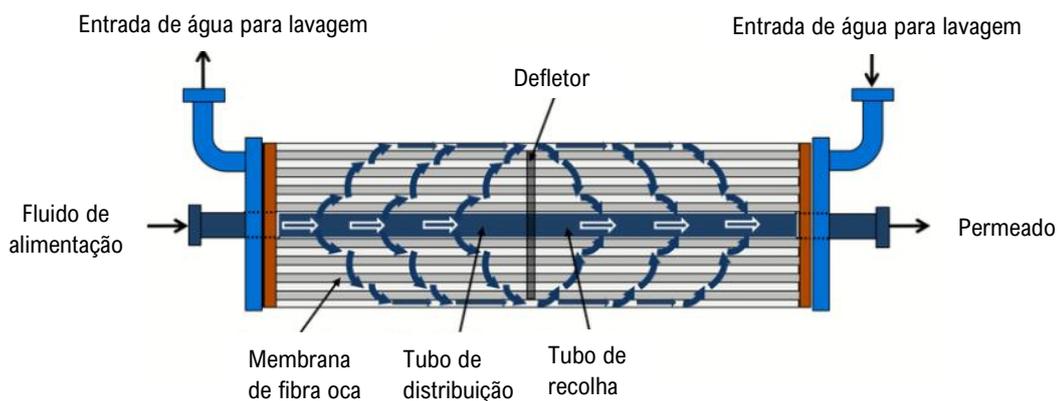


Figura 2.9 - Representação esquemática do módulo de membrana de fibra oca [fonte: www.imagenesmy.com]

Esta configuração utiliza tubos de diâmetro reduzido. A densidade de empacotamento é uma das características mais importantes, pois neste formato consegue-se obter uma elevada área de permeação num módulo com um volume reduzido.

Salienta-se a importância de tratamento preliminar e o facto de, como apresenta poros muito reduzidos, existir uma maior probabilidade de entupimento, realizando-se a lavagem contra-corrente. Em comparação com as membranas enroladas em espiral ou tubulares, estas apresentam a desvantagem de serem mais suscetíveis a romperem quando submetidas a pressões elevadas. As grandes vantagens das membranas com esta configuração devem-se ao facto do consumo de energia ser relativamente reduzido, mas em contrapartida apresentam um custo elevado de substituição.

Importante referir que as membranas devem ser suficientemente resistentes às forças de pressão, quando o fluxo é normal, e às forças de tensão, quando ocorre inversão do fluxo (*“backflash”* na terminologia anglo-saxónica).

No caso de haver défice de espaço para implantação duma nova ETAR ou da ampliação de uma existente, como solução para beneficiar as instalações de tratamento, recomenda-se a ligação dos módulos em bateria, pois proporciona um volume maior de água a tratar. As baterias em módulos podem ser associadas em paralelo, em série ou em árvores.

As membranas de fibra oca operam com um fluxo de permeado baixo e necessitam de pré-tratamento mais exigente, em comparação com as tubulares, devido à elevada tendência de incrustação.

2.4. TIPOS DE REATORES MBR

2.4.1. NOTAS INTRODUTÓRIAS

O funcionamento do sistema MBR varia com o tipo de reatores por membrana. Se o módulo de membranas for colocado no interior do reator biológico, este denomina-se por bioreator de membranas submersas (SMBR), em contrapartida, se o módulo for instalado no exterior, é chamado de bioreator de membranas externo (EMBR).

2.4.2. SMBR

O bioreator de membranas submerso (designados em terminologia anglo-saxónica por “submerged”) é aplicado em águas residuais pouco concentradas, ou seja, domésticas e que são facilmente biodegradáveis. A primeira geração de MBR utilizou as membranas imersas diretamente no tanque de lamas ativadas (Wilf, 2010). As membranas apresentam baixa pressão tangencial e baixa taxa de permeabilidade, sendo dimensionadas para operarem com elevadas concentrações de sólidos (MLSS) e com tempo de retenção das lamas (SRT) relativamente longo (Wilf, 2010). Operar com valores elevados de MLSS origina uma eficiência baixa de transferência de oxigénio, o que é essencial para o processo biológico. Uma eficiência baixa de transferência de oxigénio requer um arejamento mais intenso e, conseqüentemente, aumenta o consumo de energia. Devido ao facto de serem submersas, durante a manutenção, o acesso às membranas é mais difícil, o que requer o arejamento sistemático destas de forma a prevenir a incrustação. Para limpar as membranas, estas têm que ser retiradas do bioreator e limpas fora dele. Geralmente, este tipo de reator apresenta um consumo de energia reduzido quando está em funcionamento normal, mas devido à grande possibilidade de obstrução, este torna-se relevante. Recomenda-se que os valores MLSS estejam compreendidos entre 8 000 e 12 000 mg/L e o limite do SRT compreendido entre 10 a 20 dias (Wilf, 2010). Com base em informação fornecida a matéria orgânica é geralmente superior a 95%, mesmo com tempos de retenção hidráulicos curtos, de 4 a 7,5 h (Gander *et al.*, 2000).

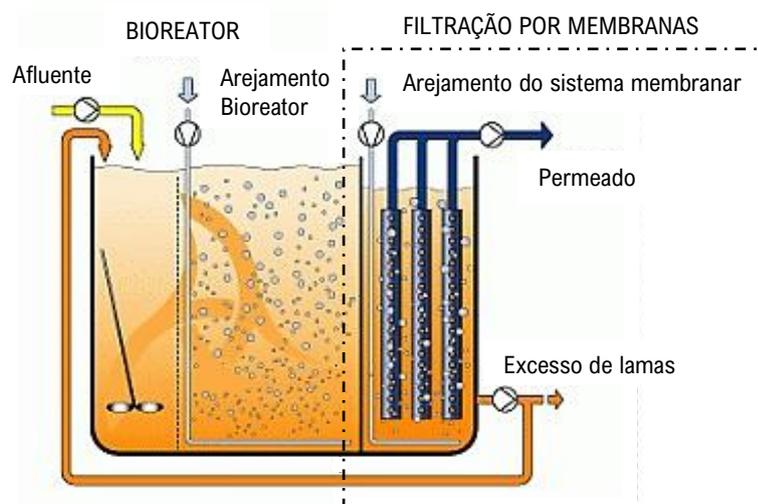


Figura 2.10 - Representação esquemática do sistema SMBR [fonte: *Environmental expert*]

O processo biológico no tanque aeróbio requer uma transferência de oxigénio contínua de forma a manter a atividade biológica. A elevada eficiência de transferência de oxigénio é alcançada com o arejamento de bolha fina. Contudo, para a lavagem das membranas, o arejamento de bolha grossa fornece melhores resultados no que se refere à limpeza e à manutenção da permeabilidade das mesmas (Wilf, 2010). Os arejadores de bolha grossa são menos eficientes em comparação com os de bolha fina no fornecimento de oxigénio à biomassa, mas têm o benefício de serem de baixo custo (Gander *et al.*, 2000). Quando ambos os sistemas de arejamento estão colocados no mesmo tanque é necessário o fornecimento adicional de ar (Wilf, 2010). De forma a otimizar os custos de energia e superar o conflito entre as bolhas de dimensão fina ou grossa, apresentou-se uma nova vertente desta configuração, que consiste na construção de uma parede entre o tanque biológico e o das membranas. A passagem do efluente de um compartimento para o outro realiza-se por intermédio de rasgos submersos na parede que os divide.

Quando as membranas são colocadas dentro do reator biológico, uma das técnicas mais eficazes para a recuperação do desempenho das membranas resume-se na utilização de solução com pH alto e usando hipoclorito de sódio (Wilf, 2010).

Tabela 2.3 - Vantagens e inconvenientes do sistema SMBR

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • A limpeza química é realizada com menor frequência • Realização da limpeza em contra-corrente • Redução de <i>fouling</i> irreversível, por operar a menor pressão • Baixo consumo energético durante a operação • Baixo custo de reagentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado consumo de energia de forma a fornecer ar para limpeza das membranas e para o processo biológico • Necessidade de arejamento rigoroso e contínuo • Limpeza das membranas fora do reator • O permeado é extraído por sucção • Utilizado para infraestruturas de escala reduzida • Difícil acesso as membranas

O sistema SMBR, em comparação com o sistema convencional por lamas ativadas, ocupa apenas metade da área, sendo a produção de lamas inferior, cerca de um quarto (Gander *et al.*, 2000).

2.4.3.EMBR

O bioreator de membranas externo (*Side-stream* em terminologia anglo-saxónica) é aplicado em águas residuais concentradas e que não são facilmente biodegradáveis. As membranas apresentam poros pequenos e uma elevada taxa de permeabilidade. Devido ao facto de serem externas, durante a manutenção, o fácil acesso às membranas permite a sua limpeza periódica e identificação de eventuais fugas. As lavagens químicas com concentrações baixas de reagentes terão de ser realizadas com uma determinada frequência. A representação esquemática deste sistema ilustra-se na Figura 2.11. Este tipo de reator inclui bomba de recirculação das lamas ativadas do tanque biológico para o tanque das membranas, ou vice-versa. O desnível entre o nível de água do tanque biológico com o do tanque das membranas tem de ser aproximadamente 0,9 m (Wilf, 2010). A presença deste equipamento de bombagem aumenta a flexibilidade do processo de tratamento.

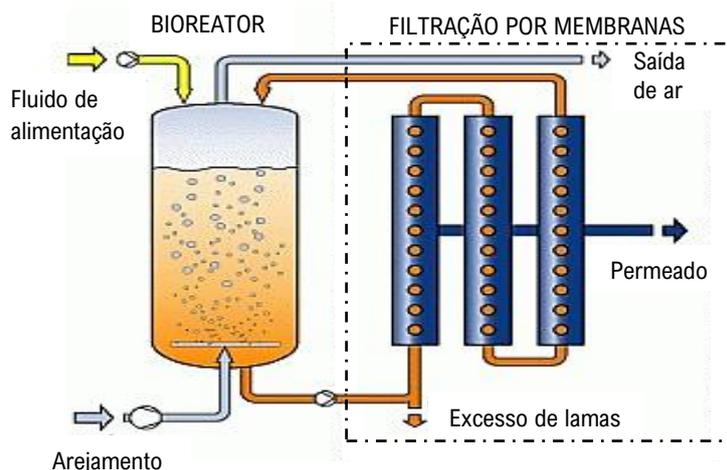


Figura 2.11 - Representação esquemática do sistema EMBR [fonte: *Indiamart*]

A configuração externa (EMBR) que opera com pressões mais elevadas, provoca maior incrustação. De facto, no sistema externo, o fluxo e concomitante o índice do *fouling* é maior, o que gera maior frequência e uma limpeza mais agressiva, alcançada por *backwashing* ou limpeza química. Por exemplo, para uma configuração externa, com membranas cerâmicas, a limpeza das mesmas é efetuada semanalmente, usando aproximadamente 5% de NaClO, com duração de 2h. Este tipo de condições de limpeza requer um material das membranas relativamente resistente (Gander *et al.*, 2000).

Como grande vantagem apresentam o facto de não necessitarem de arejamento. Como inconveniente, e para garantir um determinado nível de turbulência, estas apresentam um elevado consumo de energia. O resumo das vantagens e os inconvenientes deste sistema apresenta-se na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Vantagens e inconvenientes do sistema EMBR

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> Alta resistência da membrana Fácil manutenção Apresenta sopradores de bolha fina e bolha grossa separadamente, não sendo necessário assim remover as membranas e interromper a operação do sistema todo Não necessita de remover as membranas nem interromper a operação do sistema todo para efeitos de manutenção 	<ul style="list-style-type: none"> Aumento do <i>fouling</i> por operação a maiores pressões Necessidade de limpeza frequente Necessidade de bomba de recirculação Elevados custos de operação Diferença entre o nível de água de 0,9 m Consumo de energia significativa

2.4.4.COMPARAÇÃO ENTRE SMBR E EMBR

Num sistema EMBR o arejamento é garantido no bioreator através de arejamento de bolha fina que é altamente eficiente para fornecer oxigénio à biomassa. No SMBR é o arejamento turbulento que gera o fluxo tangencial, cerca de 1 m/s (em comparação com o sistema EMBR com aproximadamente 2-4 m/s), bem como a limpeza das membranas e fornecimento de oxigénio à biomassa. No que diz respeito ao fornecimento de oxigénio à biomassa, os arejadores de bolha grossa são menos eficientes em comparação com os de bolha fina, no entanto, apresentam o benefício de apresentarem um custo

mais reduzido (Gil *et al.*, 2010). Em algumas das operações torna-se vantajoso utilizar ambos os arejadores em conjunto, tornando o sistema mais eficiente.

Através de um estudo realizado por Gander *et al.* (2000), com membranas planas, com tempo de retenção hidráulico de 8h, em diferentes tipos de reatores MBR, conclui-se que o sistema SMBR consegue remover uma percentagem maior de matéria orgânica, cerca de 98%, enquanto que o EMBR apenas remove entre 88 a 95%.

O fluxo membranar instantâneo está compreendido entre 25,5 a 32,3 L/m²/dia para os sistemas submersos e ronda os 50 L/m²/dia para os sistemas externos (DeCarolis *et al.*, 2007). O valor elevado do sistema externo deve-se à limpeza das membranas, que resulta da alta recirculação de MLSS através da superfície da membrana, evitando assim a acumulação de sólidos à superfície da mesma.

Os requisitos de limpeza das duas configurações diferem significativamente. Num sistema submerso o fluxo do permeado é relativamente baixo podendo ser mantido por períodos prolongados sem diminuição do fluxo. Algumas configurações submersas sofrem limpezas químicas das membranas duas vezes ao ano com 0,1% de solução de hipoclorito de sódio (Gander *et al.*, 2000).

2.5. FATORES QUE INFLUENCIAM O FUNCIONAMENTO DO SISTEMA MBR

As alterações no desempenho das membranas podem ser causadas por diversos fenómenos que induzem resistência adicional ao transporte através da membrana: a deterioração da membrana, a polarização por concentração e o *fouling*.

- **Deterioração da membrana**

O fenómeno de deterioração consiste na alteração das propriedades da membrana por ação de agentes físicos e químicos. Entre os agentes físicos causadores, destacam-se as elevadas pressões que conduzem a uma compactação dos poros, ou a temperatura incontrolada que leva a alterações irreversíveis. A deterioração química pode ser originada por valores de pH incompatíveis com os valores de referência fornecidos pelo fabricante ou pela presença de substâncias tóxicas que podem inibir os processos biológicos no bioreator com alteração das características finais do efluente. Os valores recomendáveis para pH estão compreendidos no intervalo de 6,0 a 8,0 para um bom funcionamento do processo biológico.

- **Polarização de concentração**

Nos processos de separação onde a força motriz é a pressão transmembranar, verifica-se que a rejeição parcial do concentrado promove a acumulação do material retido à superfície da membrana, formando-se um gradiente de concentração de soluto (ou de partículas em suspensão) adjacente ao plano da membrana, que constitui uma barreira física ao fluxo – partículas retidas. Por norma, este fenómeno observa-se num intervalo de curto prazo, no início de operação, promovendo um decréscimo do fluxo do permeado. Este fenómeno é mais frequente na filtração convencional e depende das condições hidrodinâmicas do escoamento, da concentração e das propriedades físico-químicas dos poluentes e do tipo de membrana.

Este fenómeno é um processo reversível e pode muitas vezes ser minimizado, ou até mesmo eliminado, pois a alteração dos parâmetros operacionais (velocidade de recirculação, concentração do fluxo de alimentação, pressão transmembranar, temperatura e agitação) podem levar a uma dispersão dos solutos armazenados à superfície da membrana, levando a uma diminuição do gradiente de concentração.

- **Colmatação das membranas - *Fouling***

“*Fouling*” é o termo geral dado aos fenómenos responsáveis pelo aumento da resistência hidráulica da membrana. Pode ser reduzido, mantendo condições turbulentas, operando no caudal subcrítico e/ou pela seleção de um material de membrana resistente à incrustação adequado (Gander *et al.*, 2000).

O *fouling* é um processo que conduz a uma diminuição gradual do fluxo de permeado e ocorre devido à acumulação de partículas à superfície da membrana, que pode ser caracterizado como fenómeno reversível ou irreversível. Este fenómeno é provocado pela interação físico-química entre a membrana e os vários componentes presentes no afluente. Os efeitos são geralmente semelhantes aos efeitos da polarização por concentração. Durante a operação dos processos de membrana, vai ocorrendo a colmatação da membrana devido a retenções de partículas, deposição de precipitados, adsorção de material e formação de biofilmes na superfície e nos poros da membrana, bloqueando-os total ou parcialmente.

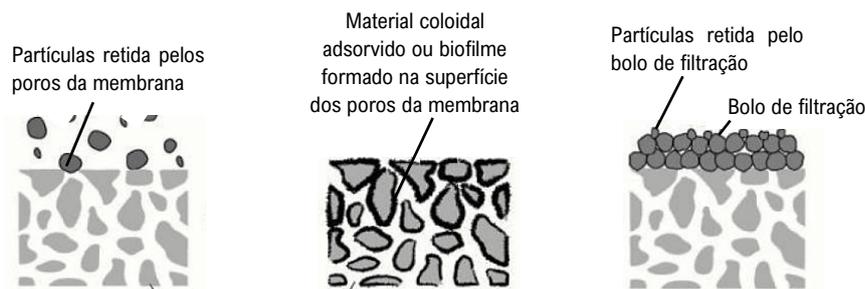


Figura 2.12 - Fenómeno de colmatação da membrana (Adaptado Howe *et al.*, 2012)

Tanto na polarização de concentração, tal como no *fouling*, existem três processos que, eventualmente, poderão provocar a colmatação - o estreitamento dos poros da membrana, a obstrução dos poros ou a formação de uma camada devido à polarização de concentração.

As características da membrana que condicionam a colmatação são as seguintes

- tamanho e forma dos poros
- porosidade superficial
- rugosidade superficial
- afinidade com a água (hidrófilas ou hidrofóbicas – consoante a membrana seja ou não permeável a água)
- resistência química (ácidos, bases e desinfetantes)
- resistência mecânica (a elevada pressão)
- resistência térmica (temperaturas baixas ou altas)

O grau de colmatação depende de diversos parâmetros - as interações entre as partículas com a superfície da membrana, as condições hidrodinâmicas do escoamento e a temperatura. Para se evitar

a rápida colmatação da membrana, deve-se minimizar as forças de atração das partículas em suspensão para a superfície da mesma. As membranas hidrófilas são as mais indicadas para o tratamento das águas residuais porque são menos sensíveis à redução do fluxo (Gander *et al.*, 2000).

De uma forma geral, afirma-se que a eficiência dos processos de membranas é avaliada pelo fluxo de permeado e pela seletividade da membrana (Mulder, 1997).

O decréscimo do permeado é criticamente determinado pela tendência da membrana ser colmatada pelos compostos do fluido de alimentação, devido à acumulação na estrutura da membrana. Este fenómeno provoca resistência à filtração, aumentando dessa forma a necessidade de energia (Gander *et al.*, 2000). Com base na informação facultada por Gander *et al.* (2000), concluiu-se que a incrustação das membranas é mais crítica no início da operação de filtração, ou quando a mudança na pressão ou fluxo é mais rápida.

Uma estratégia anti-incrustação consiste no arejamento de bolha grossa, tendo por base a turbulência criada pelas próprias bolhas. A limpeza física por relaxamento ou retrolavagem é usada com frequência, mas a sua eficiência tende a diminuir com o tempo. À medida que se acumulam incrustações irreversíveis na superfície, podem ser aplicadas limpezas químicas de várias intensidades, numa base semanal a anual (Le-Clech, 2010).

O hipoclorito de sódio é usado como principal agente químico na maioria das ETAR por MBR para remover compostos orgânicos. Em contrapartida, quando é necessário remover as incrustações inorgânicas, aplica-se geralmente o ácido cítrico (Le-Clech, 2010).

O entupimento, geralmente, é um fator irrecuperável cuja única função é substituir os módulos de membrana afetados. As estratégias usadas para limitar o entupimento dos arejadores incluem fornecimento de ar e/ou líquido regular e a monitorização da concentração de MLSS (geralmente, entre 6-18 g/L) (Le-Clech, 2010). Como estratégias anti-incrustação refere-se à operação em baixo fluxo, o relaxamento das membranas e o *backwash*. O *fouling* pode ser solucionado se se fizer a manutenção adequada (Gander *et al.*, 2000).

2.6.SISTEMA CONVENCIONAL VS. SISTEMA MBR

O tratamento de água residual por bioreatores por membrana apresenta uma gama de benefícios relativamente ao tratamento convencional. Das principais vantagens evidencia-se o facto do sistema MBR dispensar, eventualmente, o tratamento terciário e não necessitar de um decantador secundário, sendo este indispensável nos processos de tratamento de todos os sistemas convencionais. Torna-se importante referir, que o sistema MBR apresenta concentrações de Sólidos Suspensos Totais no Licor Misto (MLSS) elevadas (o que permite a redução do tamanho do bioreator) e elevado tempo de retenção (leva a minimização excessiva do lodo e desenvolvimento dos microrganismos de crescimento lento, responsáveis pela degradação de poluentes orgânicos específicos, como o nitrogénio). A desnecessidade de colocação dos órgãos e realização do processo de tratamento supracitados, torna o custo de construção e a área de implantação da ETAR com sistema MBR mais reduzido em relação ao convencional.

Devido ao déficit de água para o consumo humano e com os regulamentos em vigor a exigirem uma qualidade elevada dos efluentes, é necessário realizar uma análise de características da água residual, sendo o sistema de tratamento com MBR um dos processos que se identifica mais neste aspeto. Este apresenta como vantagem principal a **elevada qualidade do efluente e a elevada possibilidade de reutilização das águas residuais tratadas**. Este sistema de tratamento tem capacidade de remoção de constituintes de dimensão reduzida ou dissolvidos no efluente, resultando em um efluente livre de microrganismos patogénicos, de difícil remoção por outros tipos de operações e processos de tratamento (Marecos *et al.*, 2016). Desta forma, pode-se concluir que o sistema MBR poderá substituir o tratamento convencional, como também a maioria das linhas de tratamento terciário. Por ser um sistema relativamente novo, apresenta um elevado grau de automatização.

O aumento demográfico e o déficit de espaço apresentado, são outras adversidades desafiantes no setor das ETAR o que torna o sistema MBR bastante favorável por ter a possibilidade de **fácil adaptação** e ampliação das estações de tratamento existentes sem necessitar de mais espaço de implantação e conseguir tratar todo o afluente produzido pelo crescimento populacional. MBR é um sistema instalado em unidades compactas, ideais para situações de reduzida disponibilidades de espaço, como por exemplo das remodelações de estações existentes ou sobrecarregadas.

Quanto ao tratamento sólido, o sistema MBR apresenta menor produção do lodo, cerca de metade, em comparação com o sistema convencional (Gander *et al.*, 2000).

Relativamente aos inconvenientes apresentados por este sistema, que ainda criam algum conflito entre os autores, deve-se aos elevados consumos energéticos. Com base na experiência realizada por Cornel (2003) e (Gil *et al.*, 2010), conclui-se que para o tratamento da água municipal, em termos energéticos, um sistema MBR apresenta valores com ordem de grandeza de 2 a 4 vezes superiores do que no tratamento convencional por lamas ativadas. Dado que a filtração do afluente é realizada através das membranas, e para garantir a qualidade desejada do efluente, estas têm que ser substituídas periodicamente, apresentando assim uma vida útil limitada. A redução dos encargos de exploração e a diminuição do custo das membranas com aumento da vida útil das mesmas, torna cada vez mais favorável a aplicação generalizada de MBR (Engelhardt, 1998).

As consequências mencionadas no capítulo 2.5 originam uma diminuição do fluxo do permeado gradualmente ao longo do tempo (Gil *et al.*, 2010). O fenómeno pode ser reduzido mantendo as condições de turbulência, operando em regime subcrítico ou colocar material adequado à resistência ao entupimento das membranas.

Uma outra grande desvantagem, é a necessidade de pré-tratamento mais exigente de forma a não sofrer as consequências referidas no capítulo 2.5. A instalação deste sistema apresenta maior complexidade de manutenção e operação requerendo assim pessoas especializadas, mas cada vez mais, tem vindo a diminuir a mão de obra solicitada.

2.7. INVESTIMENTO E ENCARGOS TÍPICOS COM O TRATAMENTO POR MEMBRANAS

2.7.1. NOTAS INTRODUTÓRIAS

Desde a concepção da tecnologia de tratamento por bioreatores por membranas, este processo foi considerado oneroso devido ao elevado custo das membranas, o que o tornou pouco utilizado. Com o crescimento exponencial do mercado e o desenvolvimento das tecnologias, este valor tem vindo a diminuir com o tempo, tornando a tecnologia uma concorrente ao tratamento convencional.

As estimativas de custo para as instalações de tratamento de águas residuais devem incluir os custos de investimento, como também os encargos de operação e manutenção (O&M). Estes últimos estão associados ao consumo de energia, mão-de-obra, reparação e substituição dos equipamentos, limpeza química e física das membranas, desinfecção e a reposição das membranas. O consumo de energia devem atender aos requisitos de energia para o bombeamento do afluente, recirculação do concentrado, sucção do permeado (ocasionalmente) e arejamento (Gander *et al.*, 2000). O investimento inicial da instalação MBR deve incluir vários órgãos, nomeadamente, a obra de entrada, os tanques, o sistema de membranas e o edifício de exploração (preparação dos reagente, sopradores e bombas). Os sistemas de membranas incluem as membranas, as bombas, os compressores e outros equipamentos ao longo da instalação.

Geralmente, torna-se difícil comparar dados operacionais e custos do sistema MBR em locais ou países diferentes, pois estes são influenciados por diversos parâmetros, que variam com as diferentes práticas de projeto e construção (Brepols *et al.*, 2010) ou com a configuração dos módulos de membrana, tipo de membrana e tipo de reator.

2.7.2. CUSTO DE INVESTIMENTO INICIAL

Devido à complexidade do processo, torna-se difícil definir um valor exato sobre os custos de investimento. Na ausência de informação relativamente ao custo dos órgãos necessários a instalar, uma estimativa pode ser efetuada consultando os projetos anteriormente realizados em condições semelhantes, devidamente atualizados. Em relação ao valor do equipamento, este é influenciado diretamente pelas características específicas de cada módulo. O preço referente ao sistema de membranas é tipicamente estimado com dados disponibilizados pelos fornecedores especializados nesta área.

A construção civil e a área de implantação de um sistema MBR podem ser significativamente mais reduzidas em relação ao tratamento convencional por lamas ativadas (TCLA) em condições de tratamento semelhantes, atingindo, por vezes, requisitos a 50% no que se refere à área necessária. Contudo, a instalação dos filtros por membranas requer equipamento adicional, resultando, nesta vertente, numa compensação entre o custo da construção e do equipamento mecânico e elétrico (Brepols, 2011).

Tendo por base a experiência realizada por Brepols *et al.* (2010), ilustrada na Figura 2.13, que compara o investimento inicial de infraestruturas com capacidade de tratamento diferente (i – TCLA sem tratamento terciário, ii - TCLA com tratamento terciário e iii - MBR), conclui-se que o TCLA com

tratamento terciário apresenta valores mais elevados. Tornou-se possível, do mesmo modo, determinar o intervalo de aplicação em que uma ETAR baseada em tecnologia MBR conduza a um custo inferior ao do TCLA, apresentando assim uma vantagem. Neste caso, o custo adicional do sistema de filtração por membranas é compensado pela economia do custo da construção civil.

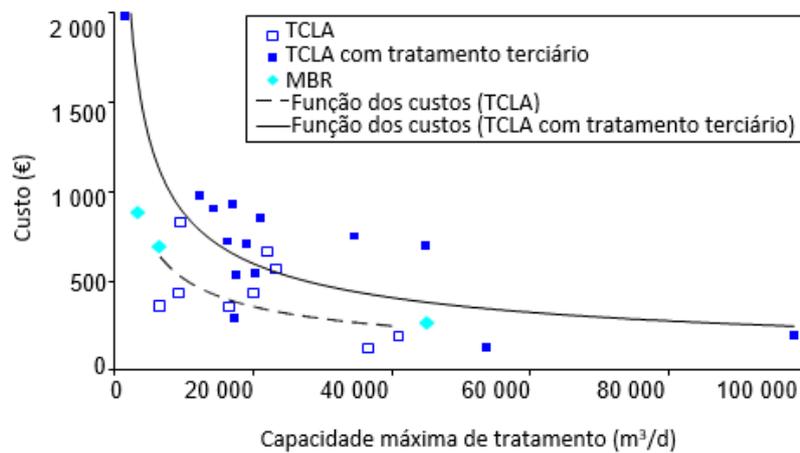


Figura 2.13 - Custo de investimento nas ETAR municipais na região Erft, Alemanha (Brepols *et al.*, 2010)

Assim, pode concluir-se que as instalações convencionais apresentam maior custo de investimento inicial na componente da construção civil, enquanto que os sistemas com MBR ficam mais onerosos devido aos equipamentos necessários.

Segundo DeCarolis *et al.* (2007), na realização de uma estimativa de custo para instalações MBR em grande escala, de 44 a 220 L/s, pode-se concluir que o custo de instalação dos componentes que não as membranas (ex: obra de entrada, edifício de exploração, etc.) diminuem até 16,5% e que os componentes do sistema de membranas se reduzem até 23,6%, quando comparado com uma solução por lamas ativadas. Nos anos entre 2000-2006 observou-se uma diminuição constante do valor do sistema de membranas, justificando-se com os avanços da tecnologia de fabricação e do aumento da concorrência no mercado. Por outro lado, o custo dos componentes não membranares aumentou, o que é atribuído ao elevado custo do betão e outras matérias-primas necessárias à realização da construção da instalação. Em conformidade com o mesmo estudo, observa-se, em termos do custo de investimento inicial, uma redução do valor de, aproximadamente, 17 %, quando se trata de uma infraestrutura com capacidade de tratamento 5 vezes superior à capacidade base (=44 L/s).

Em estações por MBR, o valor dos equipamentos elétricos e mecânicos representa aproximadamente 15 e 13 % do valor global da construção civil (DeCarolis *et al.*, 2007), assim como se ilustra na Figura 2.14.

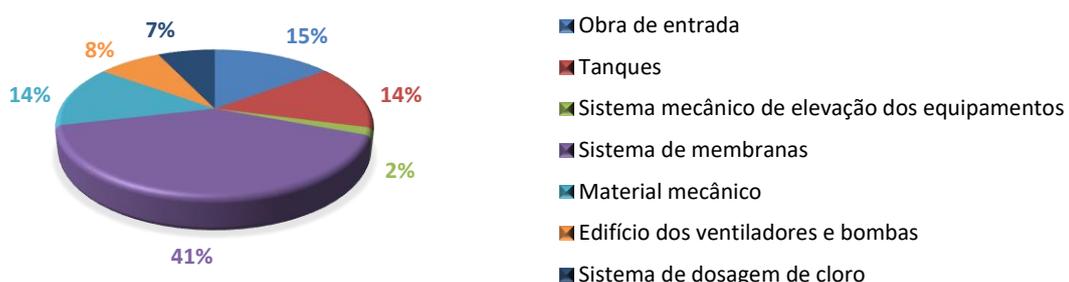


Figura 2.14 – Peso dos diferentes custos de investimento inicial do sistema MBR [adaptado de DeCarolis *et al.* (2007)]

De seguida, apresentam-se os custos de duas ETAR em escalas diferente estudadas por Brepols *et al.* (2010); do lado esquerdo, uma infraestrutura de escala pequena, com um caudal médio de 560 m³/dia, enquanto que a do lado direito, é uma ETAR de larga escala com capacidade de tratamento de 12 000 m³/dia, por MBR (Figura 2.15).

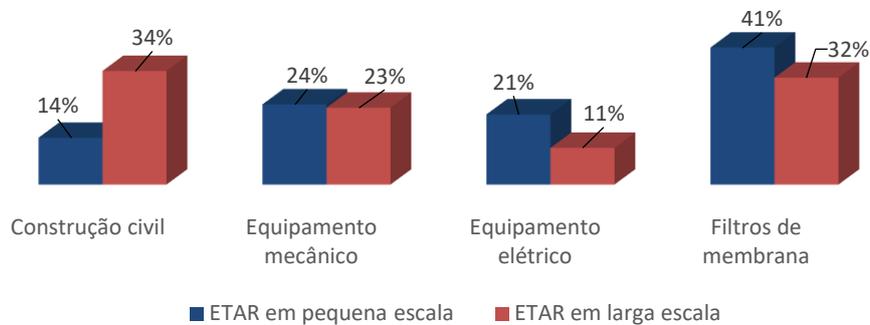


Figura 2.15 - Custos de investimento em ETAR de escala diferente (Brepols *et al.*, 2010)

Da análise do gráfico da Figura 2.15 conclui-se que a construção civil representa maior percentagem num sistema em grande escala. O valor do custo de construção e matéria-prima diminui com o tamanho e com o aumento da quantidade dos mesmos (DeCarolis *et al.*, 2007).

2.7.3. CUSTOS DE OPERAÇÃO

Definir os custos de operação deste sistema é ainda mais exigente, uma vez que depende diretamente dos equipamentos utilizados. Os valores podem variar com diversos fatores envolvidos na sua determinação, nomeadamente o tipo de filtração, o sistema adotado e o caudal permeado. DeCarolis *et al.* (2007) verificou, como se ilustra na Figura 2.16, que os custos dos consumos de energia e os custos associados à reposição das membranas, apresentam um peso mais elevado nos custos totais de operação e manutenção. A vida útil das membranas considerada por este autor foi de cerca de 8 anos.

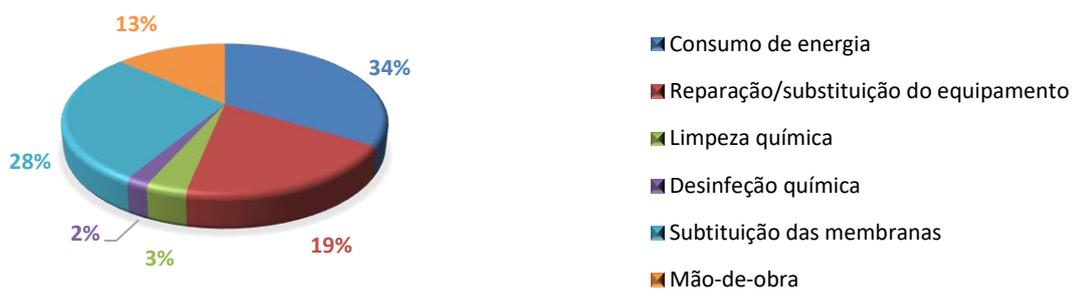


Figura 2.16 - Peso dos diferentes custos de operação e manutenção do sistema MBR [adaptado de DeCarolis *et al.* (2007)]

Desta forma, pode concluir-se que o consumo de energia é o fator dominante nos custos de operação da instalação por MBR e é responsável por cerca de 34 % (DeCarolis *et al.*, 2007), ou por 25 a 33 % (Brepols *et al.*, 2010) do custo total de O&M. O elevado consumo de energia deve-se, essencialmente, ao arejamento (com cerca de 30% no consumo total de energia) e à limpeza das membranas.

O custo total de O&M do sistema fica inflacionado devido aos requisitos de limpeza e da substituição das membranas quando a limpeza não produz uma recuperação adequada do fluxo e a sua operação

não for mais sustentável (Gander *et al.*, 2000). Desta forma, recomendam-se as limpezas químicas regulares e as estratégias anti incrustantes. As membranas de fibra oca são mais suscetíveis à incrustação e conseqüentemente requerem lavagens e tratamentos químicos mais frequentemente.

O custo de operação é afetado significativamente pela frequência da substituição das membranas, sendo o prolongamento da vida útil das membranas uma forma eficaz de reduzir os custos (Gander *et al.*, 2000).

As membranas a seco apresentam uma vida útil compreendida entre 3 a 10 anos. As membranas submersas apresentam uma vida útil, em regra inferior, na ordem dos 5 anos, ambas dependendo diretamente do material e das condições de funcionamento.

Assim como apresentado no subcapítulo 2.7.2, torna-se importante também apresentar os efeitos de escala nos encargos em ETAR, experiência realizada pelo mesmo autor. Da análise do gráfico da Figura 2.17 conclui-se que os encargos de O&M, de modo geral, têm um peso maior num sistema em grande escala, exceto na vertente dos funcionários e de manutenção. Este facto verifica-se dado que a tecnologia por MBR é um sistema bastante automatizado.

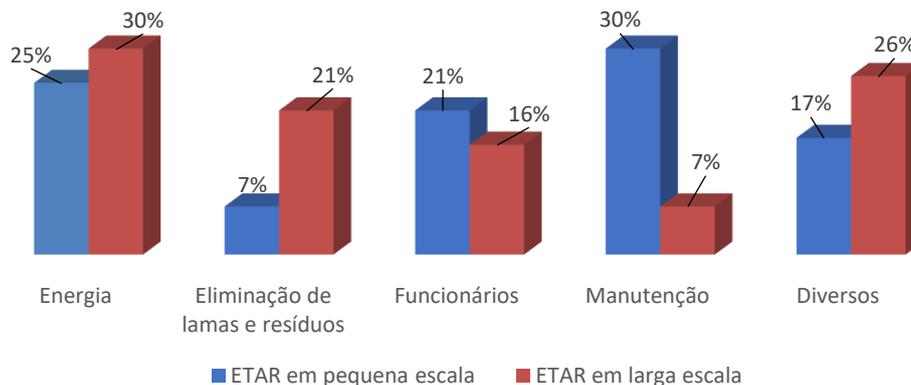


Figura 2.17 - Distribuição dos custos de operação e manutenção em ETAR de escala diferente (Brepols *et al.*, 2010)

A energia requerida pelos bioreatores por membrana, no tratamento das AR municipais apresenta uma ordem de grandeza de 2 a 4 vezes superior, quando comparada com o processo convencional por lamas ativadas (Gil *et al.*, 2010). Como resultado, a elevada necessidade de energia continua a ser uma possível fragilidade para o desenvolvimento futuro (Le-Clech, 2010).

Num contexto de funcionamento do sistema MBR, que varia com o tipo de reatores por membrana, pode concluir-se que para as mesmas condições de carga orgânica, o sistema EMBR exige, geralmente, maior consumo energético em comparação com um sistema SMBR, devido à limpeza física da membrana que resulta da elevada necessidade de recirculação do MLSS em toda a superfície da membrana, evitando a deposição dos sólidos à superfície da mesma (DeCarolis *et al.*, 2007).

A maioria dos custos surge do arejamento, e o consumo total de energia tende a ser reduzido nos sistemas SMBR resultando numa eficiência energética elevada. Os bioreatores de módulo submerso, geralmente, não apresentam custos associados à elevação do líquido, a não ser que o permeado seja extraído com uma bomba de sucção, e neste caso, pode contribuir para o aumento de até 28% dos custos (Gander *et al.*, 2000). No caso do sistema EMBR, geralmente, é a elevação do fluxo de recirculação do concentrado que torna elevados os custos de energia, contribuindo com 60 a 80 % do

custo total. Nesta vertente, a configuração externa, opera de uma forma mais dispendiosa, apresentando um custo de energia total até duas ordens de grandeza mais elevado em comparação com o sistema submerso devido ao componente de recirculação (Gander *et al.*, 2000).

Segundo a experiência de Brepols *et al.* (2010), conclui-se que o consumo de energia do sistema com MBR com capacidade baixa ou média está compreendido no mesmo intervalo de um sistema convencional de lamas ativadas com tratamento terciário (Figura 2.18). O custo de energia é determinado com devida atenção ao processo de arejamento e ao custo das bombas de recirculação (Gander *et al.*, 2000).

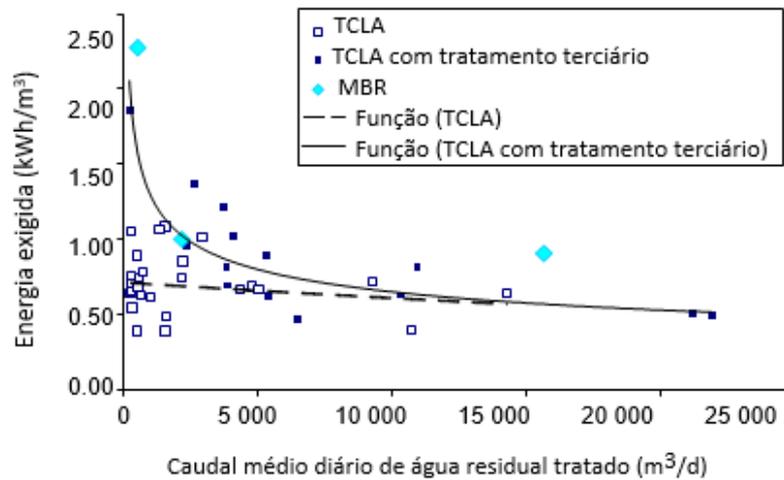


Figura 2.18 - Custo de operação das ETAR municipais na região Erft, Alemanha (Brepols *et al.*, 2010)

Relativamente ao consumo de energia, o equipamento mais exigente é o areador de bolha grossa, seguido do misturador. O arejamento constitui aproximadamente 50% da energia total requerida pelo sistema. Um bom arejamento conduz à diminuição da energia requerida e otimiza o custo da ART (Gil *et al.*, 2010). Saliencia-se que muitas das experiências são realizadas em ETAR piloto, sendo que, normalmente, os valores do consumo de energia para as mesmas são mais elevados quando comparadas com as municipais, à escala real.

2.7.4. CUSTOS TOTAIS E RECOMENDAÇÕES PRINCIPAIS

O custo total do sistema MBR é mais reduzido do que TCLA quando se pretende melhorar a remoção dos nutrientes ou reutilização da ART, pois elevados custos de O&M associados ao sistema MBR são compensados pelo reduzido investimento inicial comparando com o sistema convencional (Young *et al.*, 2013).

Numa situação usual, apesar do custo dos módulos de membranas continuar a diminuir com a evolução da tecnologia, o investimento inicial de implantação de uma instalação com MBR mantém-se superior ao de um sistema de tratamento convencional. Dada a elevada necessidade de energia, o sistema MBR está associado a elevados custos de O&M, quando comparado com os sistemas convencionais (Le-Clech, 2010). Em termos globais, o custo total de um sistema por bioreatores por membranas varia devido a vários parâmetros, tais como, a situação de cada zona ou país, o tipo de membranas a utilizar e respetiva vida útil das mesmas

Antes de se decidir o sistema de tratamento a adotar, é essencial um estudo pormenorizado relativamente às condições de implantação, assim como à qualidade do efluente. O valor de investimento da construção civil é mais reduzido num MBR devido à menor dimensão dos órgãos, mas este é compensado pelo grande investimento das membranas e, posteriormente pelos encargos associados às mesmas.

Um exemplo de comparação de custos mostra que o custo do ciclo de vida de um MBR e de um TCLA com tratamento terciário pode ser igual ao das membranas com uma vida útil de sete a oito anos (Brepols *et al.*, 2010). Embora vários fatores tornem o sistema MBR vantajoso quando comparado com os sistemas convencionais, existem muitas barreiras que limitam o desenvolvimento mais rápido desta tecnologia (Le-Clech, 2010) O custo de construção civil e de matéria prima diminui com a dimensão e grandes quantidades (DeCarolis *et al.*, 2007).

As amostras, da Figura 2.19 apresentam um horizonte de projeto de 30 anos com substituição do equipamento eletromecânico ao fim de 15 dias e com vida útil das membranas de 5, 7,5 e 10 anos (Brepols *et al.*, 2010).

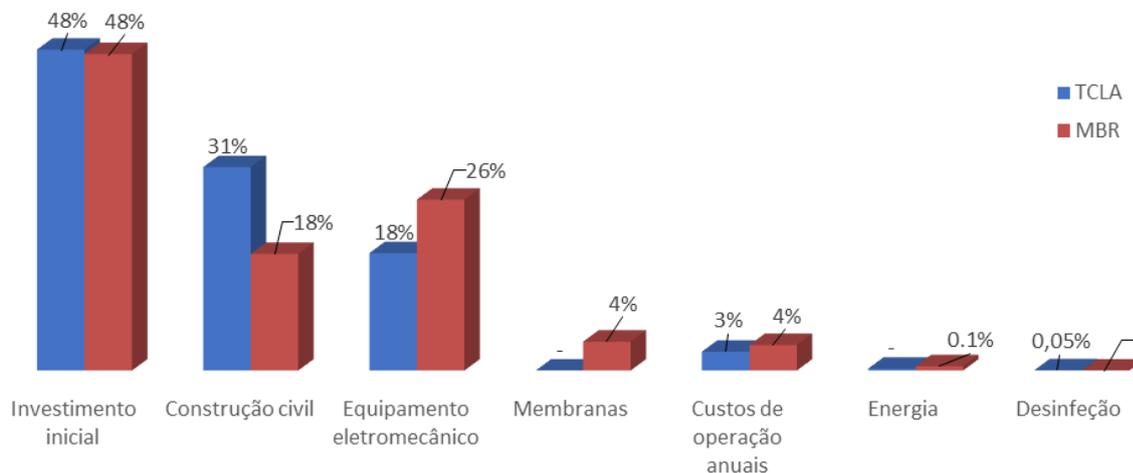


Figura 2.19 - Investimento inicial e manutenção anual (Brepols *et al.*, 2010)

Após a análise da experiência realizada por Brepols *et al.* (2010) conclui-se que com a implantação dum sistema MBR existe uma redução do custo total até 26,5 %. Esta análise realizou-se com o intuito de avaliar a vida útil das membranas, concluindo-se assim que o *break-even point* é atingido quando as membranas apresentam uma vida útil de 7,1 anos.

2.8. APLICAÇÃO DE MBR EM TERRITÓRIO NACIONAL

2.8.1. NOTA INTRODUTÓRIA

Em território nacional, até à data, tem-se conhecimento de duas ETAR em funcionamento que utilizam o processo de tratamento de águas residuais urbanas com sistema MBR. O sistema por bioreatores por membrana, é uma solução inovadora no tratamento de águas residuais urbanas que responde às exigências de qualidade definidas para o meio recetor, nomeadamente a remoção da matéria orgânica, carbonatada, azoto e fósforo e a desinfeção da totalidade das águas residuais.

A primeira ETAR a operar, foi construída em Vila Nova de Ceira, no concelho de Góis, em 2009. Após 4 anos, em 2013, foi construída a ETAR de Viseu Sul, um dos maiores projetos ambientais a nível nacional. O efluente proveniente da ETAR de Vila Nova do Ceira e da ETAR de Viseu Sul é lançado nas linhas de água, designadas por rio Ceira (afluente do rio Mondego) e por rio Pavia (afluente do rio Dão), respetivamente, que drenam para a albufeira da Barragem da Aguieira, inserida na bacia hidrográfica do rio Mondego. De acordo com o Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho, a albufeira da Aguieira – rio Mondego e a respetiva bacia hidrográfica encontram-se classificados como zona sensível. A Figura 2.20 ilustra a representação esquemática da bacia hidrográfica do meio recetor de ambas as ETAR e respetiva localização aproximada das mesmas.

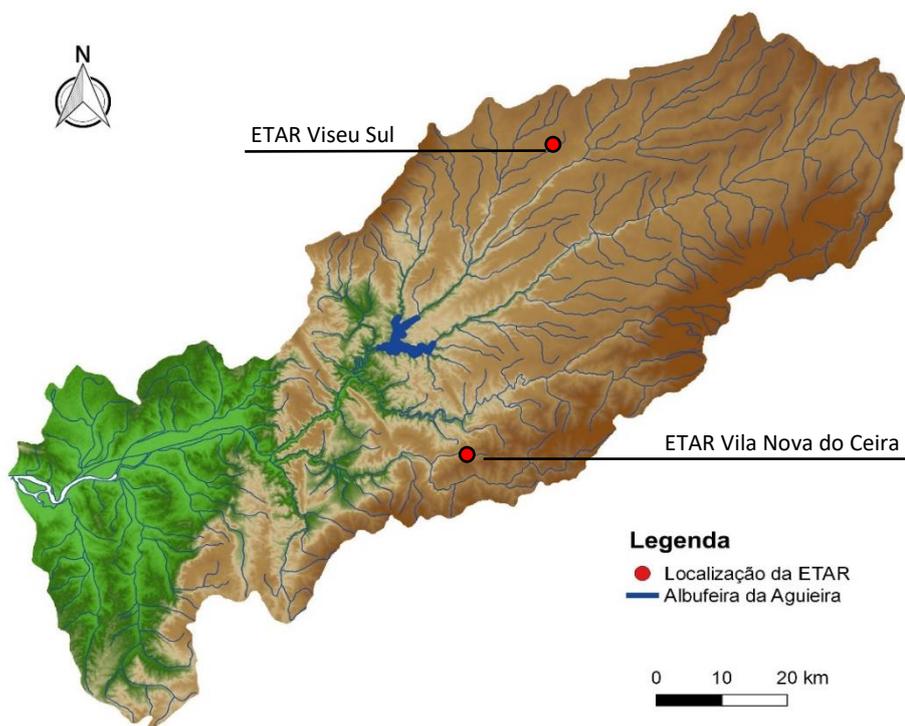


Figura 2.20 - Representação esquemática da bacia hidrográfica do rio Mondego e a localização aproximada das ETAR que usam MBR em território nacional [fonte: QGIS]

Atendendo às circunstâncias de localização do ponto de descarga e de modo a satisfazer os requisitos de descarga em meio sensível, é essencial que o processo de tratamento seja mais exigente antes da descarga, incluindo a remoção do CBO₅, CQO, SST, óleos e gorduras, a remoção biológica do azoto e a precipitação química de fósforo, e Coliformes Fecais, sendo assegurado facilmente através do MBR.

2.8.2. ETAR DE VILA NOVA DO CEIRA (GÓIS)

O terreno de implantação da estação de tratamento de águas residuais de Vila Nova do Ceira localiza-se no concelho de Góis na margem direita do rio Ceira, afluente sul do rio Mondego, que drena para a albufeira da barragem da Aguieira.

A nova estrutura foi construída em 2009, para servir uma população de 1 500 habitantes equivalentes no ano horizonte de projeto 2029, que abrange as povoações de Barreiro, Várzea Grande e Várzea Pequena, pertencentes à freguesia de Vila Nova do Ceira. A instalação apresenta uma capacidade de tratamento de 240 m³/dia.

Antes da conceção da nova instalação, no mesmo local, já funcionava uma estação de tratamento, mas sem condições devidas, causando consequências na saúde pública e ambiente (contaminação no solo e no meio hídrico originadas pelo esgoto). Devido à obsolescência e sobrelotação da ETAR, esta não assegurava as exigências de qualidade dos efluentes tratados definidas para o meio recetor, rio Ceira. Tornou-se premente a reabilitação da estação por motivo de haver captação próxima e uma praia fluvial, a jusante da descarga.

Propôs-se, deste modo, reabilitar e ampliar a instalação. A reabilitação, por apresentar órgãos em mau estado de conservação e a ampliação devido à incapacidade para responder ao acréscimo de população verificada na freguesia.

Existem vários critérios de limitação na escolha do processo de tratamento, tais como, a mesma área de implantação, mas com evolução da população e caudais produzidos no lugar servido, a qualidade exigente do efluente por haver uma captação de água a jusante da descarga. Estes parâmetros fizeram com que se escolhesse uma infraestrutura de última geração, que se baseia no princípio de lamas ativadas do tipo MBR. A ETAR de Ceira foi a primeira instalação, no território nacional, dotada com este sistema, e que até hoje em dia funciona em ótimas condições.

A linha de tratamento da ETAR da fase líquida, inclui o tratamento preliminar, secundário e terciário. O tratamento preliminar integra dois órgãos, a obra de entrada e o tanque de equalização. A obra de entrada tem como objetivo a remoção de sólidos de grande dimensão e é constituída por quatro zonas: uma gradagem mecânica sub-vertical; uma unidade compacta (Figura 2.21.a) composta pela operação de tamisagem fina, desarenamento, desengorduramento, compactação e desidratação de gradados e classificação de areias; medidor do caudal afluente à ETAR em canal *Parshall* (Figura 2.21.b) e um *bypass*.

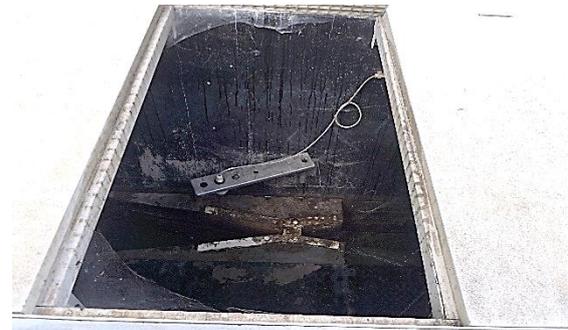


Figura 2.21 – Obra de entrada: (a) unidade compacta; (b) medidor de caudal afluente à ETAR em canal *Parshall*

O tanque de equalização recebe o efluente proveniente da obra de entrada como também as escorrências internas do processo que depois são elevados para o tratamento secundário através de dois grupos elevatórios submersíveis.

A oxidação biológica processa-se num reator biológico, com uma sequência reator anóxico – reator aeróbio. De modo a garantir suspensão da massa, o reator anóxico está equipado com um agitador de fluxo. A zona aeróbia tem um agitador de fluxo e um sistema por ar difuso de modo a assegurar o fornecimento de oxigénio necessários ao processo de síntese celular, respiração endógena e nitrificação. A recirculação do nitrato realiza-se do final do tanque aeróbio para o anóxico através de um grupo eletrobomba submersível. A remoção de fósforo é efetuada através de precipitação química,

com o doseamento de cloreto férrico no reator aeróbio. O efluente aflui para o sistema membranar. Para este tratamento foram preconizadas as membranas planas por microfiltração imersas diretamente no reator biológico, na zona aeróbia.



Figura 2.22 – Reator biológico: (a) Zona anóxica; (b) zona aeróbia

Quanto ao edifício de exploração, este tem dois pisos. No piso inferior, do lado esquerdo, encontra-se a sala de sopradores e a sala das bombas. Na sala das bombas encontram-se os quatro grupos eletrobomba centrífugos verticais *in-line* (Figura 2.23.a) a operar na aspiração do permeado e um grupo hidropressor para a água de serviço. A sala de sopradores está equipada com três sopradores de êmbolos rotativos (Figura 2.23.b) para produção de ar utilizado no sistema de arejamento e na limpeza da superfície das membranas. Do lado direito, situa-se a sala dos reagentes (Figura 2.23.c) que é constituída por duas estações de preparação, armazenamento e dosagem de reagentes utilizados na limpeza química *in-situ* do sistema membranar e precipitação do fósforo. O reagente utilizado para limpeza química é hipoclorito de sódio.

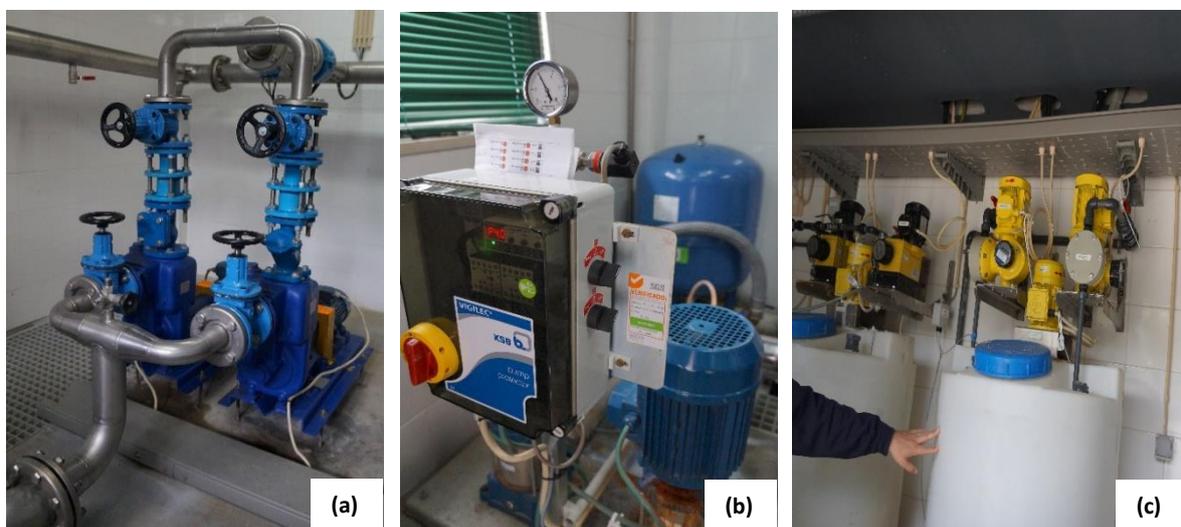


Figura 2.23 – (a) Grupos eletrobomba centrífugos verticais *in-line*; (b) Sopradores (c) Sala dos reagentes

No piso superior, do lado esquerdo, de forma a que seja visível a ETAR toda, encontra-se a sala de operação e comando, enquanto que à direita existe o laboratório de análises químicas.

O efluente depois de ser tratado, é armazenado num reservatório de betão coberto – Tanque de efluente tratado – a partir do qual, alguma parte do efluente é armazenado para reutilização nas operações de serviço na própria ETAR, enquanto que o restante é rejeitado no meio recetor em condições

ambientalmente seguras. A medição final do caudal tratado é realizada em canal *Parshall*, apresentando uma cor translúcida.

2.8.3. ETAR DE VISEU SUL

A ETAR de Viseu Sul localiza-se na freguesia de Fail, a sudoeste da cidade de Viseu, na margem esquerda do rio Pavia, afluente do rio Douro, que drena para a albufeira da barragem da Aguieira. O terreno de implantação ocupa cerca de 4,5 hectares e apresenta uma orografia acentuada com formações rochosas. O grande desafio deste projeto foi tentar, na medida do possível, reduzir o impacto ambiental e os movimentos de terra devido ao terreno duro.

A construção desta ETAR é uma revolução histórica no sistema ambiental do concelho, que efetua o tratamento de mais de 70% das águas residuais de Viseu, o que se traduz na melhoria de qualidade das águas do meio recetor, rio Pavia. Esta apresenta um sistema de gestão automatizado, eficiente e controlado resultando num tratamento de purificação de águas residuais mais evoluído.

A construção da nova infraestrutura e dos emissários foi finalizada no ano 2015, e foi dimensionada para servir uma população de projeto equivalente até 90 000 habitantes no ano horizonte de projeto de 2055. A ETAR apresenta uma capacidade de tratamento de 30 320 m³/dia. Com a edificação da atual ETAR Viseu Sul, foram desativadas seis ETAR menos avançadas, designadamente, a ETAR de Teivas, São Salvador, Vila Chã de Sá, Póvoa dos Sobrinhos, Repeses e Parque Industrial de Coimbrões, Ranhados. Dada a orografia, os intercetores drenam naturalmente para o sistema de saneamento da nova infraestrutura.

Face às características da água residual a tratar na ETAR Viseu Sul e aos objetivos de qualidade do efluente tratado, a instalação dispõe de um tratamento biológico por membranas, satisfazendo os requisitos de qualidade para o caudal máximo diário. Parte do efluente tratado, 10% do caudal médio de projeto em tempo seco, é tratado complementarmente, em termos de desinfecção, para reutilização em usos compatíveis, nomeadamente, limpeza na ETAR, lavagem de equipamentos, arruamentos e regas dos espaços verdes.

Devido ao grande desnível existente, os órgãos constituintes da ETAR foram colocados em 3 plataformas. A primeira plataforma, a plataforma superior situa-se no ponto mais alto da área de implantação, logo à entrada da ETAR e é composta pelas tubagens de chegada, edifício de pré-tratamento, edifício de receção de fossas sépticas, o tanque de regularização, o primeiro sistema de odores e o edifício de controlo. A plataforma intermédia, que se encontra a 3 m abaixo da primeira, é plana e engloba o edifício elétrico, edifício de água potável e proteção contra incêndios, o segundo tratamento de odores e por fim, o edifício de armazenamento de reativos. Relativamente à plataforma interior, esta é inclinada, com desnível em relação à intermédia entre 1,50 a 3,00 m. Dada a inclinação, a ETAR não necessita de sistemas de bombagem, nem tanques de regularização intermédio.

O sistema de tratamento da água residual é constituído pelas operações e processos unitários, nomeadamente, tratamento preliminar, sistema de controlo de caudal, sistema de regularização/igualização de caudal, tratamento físico-químico, tratamento biológico, disposição final, tratamento terciário para água de serviço, tratamento de lamas e por fim o tratamento de odores.

O tratamento preliminar realiza-se no interior do edifício da obra de entrada, e inclui as operações de gradagem grosseira em grades de limpeza mecânica espaçadas de 30 mm, tamisagem fina com uma malha inferior a 7 mm, desarenamento e desengorduramento. Esta última, permite a remoção de areias, óleos e gorduras de forma a facilitar o tratamento, nomeadamente, protegendo os equipamentos eletromecânicos instalados a jusante, evitando possíveis obstruções nos coletores, e protegendo as membranas localizadas nos reatores biológicos. A presença de um poço de grossos, a montante da operação de gradagem, destina-se a reter os sólidos de grande dimensão afluentes à ETAR que podem prejudicar a eficiência do tratamento ou danificar, eventualmente, os equipamentos.

Após o tratamento preliminar, adicionam-se os reagentes que têm como finalidade a remoção química do fósforo, recorrendo ao cloreto férrico ou sulfato de alumínio.

A instalação tem um tanque de regulação para regularização de caudal de ponta em tempo seco e em época de chuva. A jusante deste, e de forma a assegurar uma mistura homogénea dos líquidos, a infraestrutura apresenta um tanque de homogeneização para caudal de ponta previsto para o reator biológico. De seguida, encontra-se um tamisador específico para tratamento com bio membranas.

O tratamento secundário consiste numa ventilação prolongada e realiza-se num reator biológico por membranas, composto por uma zona anóxica, onde se realiza o fenómeno de desnitrificação, uma zona facultativa, que pode funcionar como zona anóxica ou aeróbia, e três zonas aeróbias. A remoção de fósforo é efetuada através de precipitação química, com o doseamento de cloreto férrico no reator aeróbio. O efluente aflui para o sistema membranar. Para este tratamento foram preconizadas as membranas de ultrafiltração do modelo comercial ZENON ZEEWEED 500D com configuração de fibra oca e um diâmetro nominal de passagem de 0,04 μm , devido ao facto de apresentarem um menor custo energético para a limpeza da membrana em comparação com as membranas planas.

Parte do efluente tratado, cerca de 10%, é desinfetado adicionalmente e elevado para o reservatório de água de serviço, nomeadamente para rega dos espaços verdes do interior da estação, lavagem de pavimentos, água de diluição de reagente. A desinfecção do efluente conseguida pelo sistema MBR necessita de ser complementada por injeção de hipoclorito de sódio na tubagem de adução ao reservatório, de modo a cumprir os níveis de desinfecção compatíveis com a reutilização de efluentes - coliformes fecais inferiores a 100CF/100mL. A forma líquida do hipoclorito de sódio contém, em geral, 3 a 15% de cloro disponível. O hipoclorito de sódio pode ser armazenado na estação de tratamento, a temperaturas inferiores a 30 °C e em cubas de parede dupla resistentes à corrosão. O manuseamento deste composto é mais seguro do que o do cloro gasoso. A desinfecção realiza-se mediante dosagem de hipoclorito de sódio na zona de descarga do efluente a purificar. Para uma melhor compreensão da conceção adotada, ilustra-se na Figura 2.24 o diagrama de blocos da solução de tratamento preconizada na ETAR Viseu Sul.

FASE LÍQUIDA

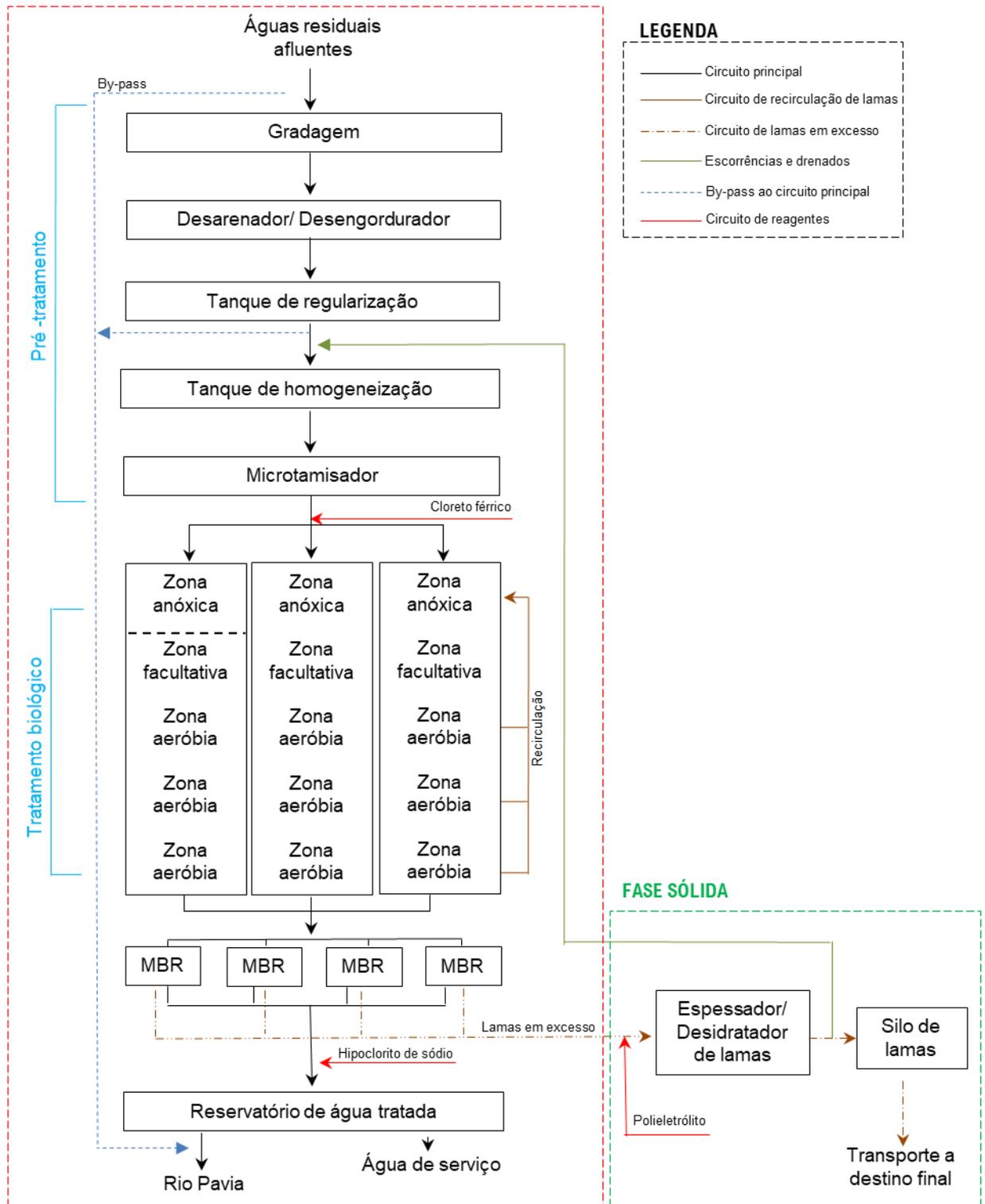


Figura 2.24 - Diagrama de blocos do esquema de tratamento na ETAR de Viseu Sul

3. IMPORTÂNCIA E POTENCIALIDADES DE REUTILIZAÇÃO DE EFLUENTES TRATADOS

3.1. IMPORTÂNCIA DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA

A nível global, o aumento das necessidades de água bruta em termos de quantidade e qualidade, em parte motivada pelo crescimento demográfico, desenvolvimento económico e novos padrões de consumo, aliam-se os riscos de degradação das origens de água resultantes da descarga de efluentes nos meios recetores, bem como os efeitos das alterações climáticas. No caso de Portugal, a variabilidade climática ao longo do território resulta numa desequilibrada distribuição da disponibilidade dos recursos hídricos, no tempo e no espaço.

Estima-se que os eventos de escassez de água e seca serão mais severos e frequentes no futuro, principalmente devido às alterações climáticas e ao aumento demográfico. Com base nos dados da *European Commission*, cerca de 17 % do território europeu foi afetado pela escassez de água, devido ao aumento das secas drásticas em número e em intensidade, registadas nas últimas três décadas.

A água captada nos meios hídricos (subterrâneos ou superficiais), após transformada em água residual e, desejavelmente após tratamento, retorna ao meio natural através da sua descarga em linhas de água superficiais, ou através da infiltração no solo. A água captada pode, desta forma, conter água residual, o que corresponde a uma reciclagem indireta, não planeada, mas de ocorrência frequente.

A utilização de água reciclada para usos diferentes dos de consumo humano é vista como uma estratégia promissora para fazer face ao risco de indisponibilidade de água em quantidade e com a qualidade adequada. O aproveitamento deste recurso traz benefícios importantes nas vertentes económica, ambiental e social, reservando o aproveitamento da água potável tratada, que apresenta maior custo, para usos exclusivamente de consumo humano. A reciclagem da água, geralmente, necessita de custos de investimento e energia mais reduzidos, em comparação com a dessalinização ou o transvase entre bacias hidrográficas, contribuindo deste modo para a redução das emissões de gases com efeito de estufa (EU, 2018). Do ponto de vista económico, refere-se ainda o reaproveitamento de nutrientes presentes no efluente tratado, para fins de melhoramento de produções agrícolas.

Diariamente, são produzidas águas residuais que, depois de um tratamento adequado, poderão servir como uma fonte alternativa de abastecimento de água para usos não potáveis, como a rega, a indústria, a recarga de aquíferos ou usos recreativos, que representam uma parte significativa dos consumos de água, e cujos requisitos de qualidade são inferiores, contribuindo para o aumento da resiliência e sustentabilidade dos serviços.

A reutilização de efluentes tratados pode ser considerada um abastecimento de água fiável, sendo capaz de cobrir os picos de consumo de água uma vez que é completamente independente da seca sazonal e das variações climáticas. Assim, a possibilidade de fornecimento de água contínuo durante o período de irrigação e processos industriais é benéfica para as atividades agrícolas e industriais, respetivamente.

Embora o aproveitamento de água reciclada ainda não constitua uma prática generalizada, trata-se de uma temática de grande relevância e sensibilidade, por se enquadrar em objetivos internacionais direcionados aos serviços de abastecimento público, drenagem e tratamento de água, fixando padrões mínimos de proteção ambiental. No caso da cidade de Lisboa, a crescente preocupação com a salubridade e qualidade do ar, aliada à criação de espaços e corredores verdes para usufruto da população, poderá encontrar grandes benefícios no aproveitamento deste recurso, vendo o seu uso potenciado pela criação de uma rede de distribuição dedicada, desenvolvida de acordo com os usos e objetivos estratégicos da cidade.

A nível da União Europeia, estas preocupações foram incluídas em planos de trabalhos e documentos estratégicos, por exemplo, no âmbito do Horizonte 2020, reforçando o aproveitamento de águas recicladas através de um plano de ação enquadrado nas metas da economia circular. O plano de ação adotado pela União Europeia tem-se materializado através da publicação de legislação específica, incentivando os usos de água reciclada e definindo os requisitos mínimos de qualidade em função dos diferentes usos. Foram ainda disponibilizados fundos avultados para investigação e inovação neste setor.

Com a realização desta dissertação pretende-se apresentar uma solução ambientalmente adequada e financeiramente atrativa de modo a fazer face aos desequilíbrios presentes nos recursos hídricos.

3.2. POTENCIALIDADES E PRINCIPAIS APLICAÇÕES

As águas residuais tratadas podem ser utilizadas em distintos setores, particularmente, na rega agrícola e paisagística, na indústria (água de arrefecimento, água do processo, água para lavagens), nos usos urbanos (lavagem de ruas, de contentores, autoclismos, combate a incêndios, lavagem de veículos),

Utilizações tão diversas requerem águas com características de qualidade adequada, nem sempre compatíveis com as características dos efluentes típicos das ETAR (efluentes secundários e terciários), o que pode implicar a necessidade de um tratamento específico para permitir a reutilização do efluente tratado (Monte e Albuquerque, 2010).

Face aos benefícios e riscos enumerados no subcapítulo anterior, a utilização de águas recicladas podem ter diferentes aplicações. Os aspetos mais significativos a avaliar na sua implementação são, segundo Monte e Albuquerque (2010) os seguintes:

- a qualidade da água reciclada, que depende do grau de tratamento;
- o tipo de tecnologia associada ao tratamento nas fábricas de água;
- o equilíbrio entre a procura e a oferta de água para reciclar, ou seja, entre o volume de água necessário para determinada utilização e o volume disponível de água reciclada;
- as infraestruturas necessárias à implementação de um sistema de água reutilizada, como reservatórios para armazenamento e sistemas de transporte e distribuição;
- a sustentabilidade económica e financeira do projeto de reutilização;
- a mitigação dos impactes ambientais e dos riscos de saúde pública associados aos diferentes usos e diferentes qualidades da água reciclada.

A qualidade da água reciclada é o fator mais importante na análise das possíveis aplicações de reutilização. As aplicações podem ser várias, no entanto, estas são preferencialmente utilizadas em práticas que requerem maior consumo de água e que sejam compatíveis com a qualidade dos efluentes tratados nas instalações de tratamento.

As utilizações de águas residuais tratadas, com aplicação em território nacional, afiguram interesse mais provável no setor com maior procura de água, na rega (agrícola e paisagística), seguida do setor industrial, recarga de aquíferos, usos ambientais e paisagísticos, utilizações urbanas, entre outros (Monte e Albuquerque, 2010). O tipo de aplicações alarga à medida que a escassez de recursos hídricos se acentuar.

De acordo com Catarino (2018) o uso da água reciclada tratada no setor da rega, presentemente, apresenta maiores consumos, tanto nos países com a atividade agrícola mais desenvolvida ou em desenvolvimento. A utilização é importante e útil, pois permite a reciclagem de substâncias benéficas ao desenvolvimento das plantas, entre os quais o fósforo que é um elemento químico essencial, mas de difícil recuperação. Torna-se importante referir que devem ser respeitadas as necessidades agronómicas da cultura, isto é, que a quantidade de alguns elementos como o azoto, o fósforo e o potássio presentes na água de rega durante o ciclo vegetativo de uma cultura não deve exceder as quantidades que satisfaçam as necessidades da mesma. Este recurso poderá ser aplicado na rega agrícola, para fornecer água a viveiros de árvores e plantas, a culturas alimentares de cereais e fibras e forragens, e ainda ser utilizado como proteção contra geadas e na silvicultura. Na rega paisagística, poderá ser usada em campos de golfe, faixas separadoras e margens de autoestradas, parques públicos, campos escolares, cemitérios e jardins residenciais. Dependendo da qualidade, a utilização de água reciclada na rega tem algumas condicionantes como a necessidade de criar uma zona tampão no local irrigado, nomeadamente, uma barreira física e zonas de atividades fora da mesma, como por exemplo uma faixa de terreno não regado. Esta estratégia é também uma forma de promover o controlo à exposição de eventuais aerossóis formados na rega por aspersão. É obrigatório salvaguardar qualquer risco de saúde pública e evitar qualquer ligação cruzada com a rede de água potável.

No Quadro 3.1 apresentam-se as várias classes de água reciclada, associados aos usos diversos.

Quadro 3.1 - Classes de água reciclada, usos e métodos de irrigação

Classe de água reciclada	Tipo de cultura
A	Todas as culturas, incluindo tubérculos para consumo cru, e culturas cuja parte edível se encontra em contato direto com o solo.
B	Culturas para o consumo cru, nas quais a parte edível cresce acima do solo e não se encontra com contato direto com a água reciclada.
C	Culturas para consumo após processamento, ou culturas de pasto para pecuária.
D	Culturas para elaboração industrial. Culturas destinadas à produção de matéria prima ou culturas florestais e relvados situados em locais de difícil acesso ao público ou com acesso controlado.

No Quadro 3.2 apresentam-se os requisitos mínimos de qualidade propostos neste documento para cada classe de água reciclada.

Quadro 3.2 - Requisitos de qualidade para cada classe de água definida

Classe de água reciclada	Processo de tratamento indicado	<i>E. Coli</i> UFC/100mL	CBO ₅ mg/L	SST mg/L	Turvação NTU
A	Tratamento secundário, filtração e desinfecção	≤ 10 ou abaixo do limiar de detecção	≤ 10	≤ 10	≤ 10
B	Tratamento secundário e desinfecção	≤ 100	de acordo com Diretiva 91/271/EEC	de acordo com Diretiva 91/271/EEC	-
C	Tratamento secundário e desinfecção	≤ 1 000			-
D	Tratamento secundário e desinfecção	≤ 10 000			-

Em termos quantitativos, a reutilização industrial representa a terceira principal aplicação de reutilização de águas. De um modo geral os requisitos de qualidade da água são específicos para cada tipo de indústria. Porém, alguns requisitos de qualidade são transversais a qualquer indústria, pois correspondem à prevenção de consequências indesejáveis, como a corrosão dos materiais, incrustações e desenvolvimento de algas e/ou de biofilmes, induzidas pela presença de teores residuais de constituintes usuais das águas residuais. Tratando-se de reutilização de águas residuais, importa ainda especificar critérios de qualidade que protejam a saúde pública em função da medida de exposição a que são sujeitos os operadores dessa indústria e outros grupos. Na indústria, frequentemente, a água é reutilizada para a mesma utilização, sem necessidade de ser submetida a qualquer tipo de tratamento, quanto muito uma adição de um certo volume da mesma água, para repor perdas por evaporação (reciclagem de água). A água tratada tem aplicação nos sistemas de água para arrefecimento/aquecimento, na lavagem de equipamentos e no combate a incêndios. Neste tipo de aplicação pode existir o risco da criação de incrustações, corrosões e formação de filmes biológicos nas tubagens da instalação (Catarino, 2018). As principais causas apresentam-se no Quadro 3.3. Além da qualidade da água, tem de se ter em conta o balanço entre as necessidades da indústria e a disponibilidade.

Quadro 3.3 - Requisitos gerais de qualidade de água para usos industriais

Consequência indesejável	Principal causa
Corrosão	Cloretos, sulfatos, sólidos dissolvidos e em suspensão, amoníaco (agressivo para ligas com cobre), metais com elevado potencial de oxidação, pH e temperatura
Incrustações	Fósforo, cálcio, magnésio, ferro, sílica, sulfatos, sólidos dissolvidos, pH e temperatura
Desenvolvimento de algas, bactérias e biofilmes	Matéria orgânica, azoto amoniacal, fósforo
Escumas	Matéria orgânica

A água residual tratada pode ser aproveitada para a recarga de aquíferos com o objetivo de impedir ou atenuar o rebaixamento do nível freático, de proteger os aquíferos nas zonas costeiras contra a intrusão salina e de armazenar água no solo para utilizações futuras (Catarino, 2018). Constitui uma forma de aumentar a disponibilidade de águas subterrâneas, configurando, na maioria dos casos, uma forma indireta de reutilização para produção de água potável.

Já a valorização de água reciclada para uso recreativo e ambiental consiste no seu uso como massas de águas naturais e/ou artificiais, com vista à prática de atividades recreativas como a pesca e desportos náuticos e à preservação/desenvolvimento de habitats (Catarino, 2018). A qualidade das águas depende essencialmente da massa de água onde são lançadas e do tipo de contacto humano com essas águas. A turvação, o teor de SST e coliformes fecais são parâmetros de qualidade relevantes neste tipo de reutilização.

A reutilização da AR para usos urbanos não potáveis, apresenta algumas aplicações no âmbito da construção podendo ser compatíveis com efluentes secundários, desde que utilizados de acordo com práticas corretas para proteção dos operadores, enquanto outras, como água reciclada para combate a incêndios, são mais restritivas do ponto de vista da qualidade, pois devem apresentar características que não coloquem riscos para a saúde pública. Referem-se, como exemplos de aplicações de uso com menores restrições, a lavagem de pavimentos, passeios e vias, a lavagem de coletores, a lavagem de espaços e equipamentos de apoio à construção, para o controlo de poeiras, produção de cimentos e lavagem de veículos. Os fatores condicionantes da reutilização da água para fins urbanos não potáveis estão relacionados com o custo e com a qualidade da água, e consequentemente com o tratamento das águas residuais. Por razões económicas a reutilização para usos urbanos não potáveis pratica-se nas proximidades da ETAR. A este respeito, Monte e Albuquerque (2010), citando *United States Environmental Agency* (EPA), propõe os requisitos de qualidade apresentados no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 - Requisitos de qualidade de águas residuais tratadas a reutilizar para diversos usos urbanos [adaptado de Monte e Albuquerque, 2010]

Parâmetro	CBO ₅ mg/L	Cloro residual		Coliformes fecais UFC/100mL	Odor	pH	SST mg/L	Turvação NTU	Tratamento mínimo necessário
		livre mg/L	combinado mg/L						
Lavagem de pavimento	10	0,1	0,3	não detetável	não detetável	6-9	-	2	secundário, desinfecção
Rega de espaços verdes	10	0,1	0,3				20	2	secundário, terciário, desinfecção
Sanitários	45	0,1	1,0				45	2	secundário, desinfecção

Face ao caso de estudo da presente dissertação, dá-se foco à reutilização de ART para uso industrial, apresentando-se com mais detalhe os aspetos relevantes para aplicabilidades do mesmo.

3.3. ASPETOS DE PLANEAMENTO E CONCEÇÃO DOS SISTEMAS

Os sistemas de reutilização de água residual tratada, também designados por sistemas de água reciclada, integram todas as infraestruturas que tratam os efluentes a um nível adequado para subseqüentes utilizações e os conduzem aos respetivos utilizadores (Monte e Albuquerque, 2010), designadamente:

- reservatório de regularização do efluente a submeter ao tratamento complementar para posterior reutilização;
- instalação de tratamento de águas residuais (destinada a afinar algumas características de qualidade do efluente da ETAR);

- reservatórios de armazenamento da água a reutilizar;
- instalações sobreprensoras ou sistemas elevatórios;
- sistema de distribuição da água reutilizável;
- medidores de caudal abastecido.

A metodologia de conceção destes sistemas, não diferencia substancialmente do praticado em infraestruturas de abastecimento de água. As fases de planeamento, de acordo com o Monte e Albuquerque (2010), são:

- definição dos objetos;
- informação de base;
- mercado de utilizadores;
- alternativas do projeto;
- avaliação das alternativas;
- alternativa selecionada.

Em regra, o objetivo geral de um sistema de água reciclada visa providenciar uma fonte de água alternativa, reutilizando o efluente de uma ou várias ETAR existentes na área compreendida no projeto, assegurando um abastecimento apropriado em termos quantitativos (caudal e pressão) e qualitativos (com satisfação de critérios regulamentares), de forma economicamente sustentável. Deve avaliar-se a área a abranger, os possíveis utilizadores, as infraestruturas existentes e planeadas, a qualidade da água para o(s) uso(s) pretendido(s), e as infraestruturas a implementar. Paralelamente, deve atender-se às entidades oficiais com intervenção no desenvolvimento do sistema, procedendo ao envolvimento do público através de divulgação, por diferentes formas de comunicação.

As alternativas a equacionar e avaliar, no planeamento e conceção dos sistemas de água reciclada, devem integrar aspetos como os níveis de tratamento a atingir e a seleção dos processos de tratamento, o traçado dos sistemas de distribuição, a localizações de reservatórios e de estações elevatórias, os investimentos e encargos (de operação e manutenção).

Os sistemas de armazenamento e de distribuição de água reciclada devem assegurar a disponibilidade da quantidade de água requerida, atendendo aos volumes necessários sazonalmente ou em eventuais situações de emergência, bem como ao controlo de caudais. Caso o sistema não tenha capacidade de armazenamento para fazer face a situações de emergências (como as decorrentes de um incremento de consumo resultante de períodos de seca, ou em caso de paragem do funcionamento da ETAR ou de interrupção no funcionamento das tubagens de alimentação), deverá ter, pelo menos, uma origem de água alternativa, com origem no aquífero local ou através da rede de água para consumo humano, para satisfazer os consumos.

As redes de distribuição devem ser projetadas de modo a permitirem uma utilização em função das necessidades, de forma tendencialmente contínua, mas também devem prever o funcionamento intermitente do sistema, pois consumos para diferentes aplicações de reutilização apresentam restrições de época ou períodos do dia, caracterizados assim por solicitações diversas ao longo do dia, da semana, do mês e do ano (fatores de ponta característicos).

Adicionalmente, devem ser equacionadas medidas de gestão de forma a controlar o tempo de retenção nos sistemas, para que não tenha lugar deterioração da qualidade da água. Do ponto de vista construtivo, deve ser previsto o destino final das águas retidas no interior das condutas e reservatórios, através de descargas de fundo, caso a sua qualidade sofra degradação e seja imprópria para utilização.

3.4. BENEFÍCIOS E RISCOS ASSOCIADOS À REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS

A utilização de água reciclada para usos diferentes dos de consumo humano, é vista como uma estratégia promissora para fazer face à crescente indisponibilidade de água. A reutilização de efluentes tratados poderá ser considerada uma solução inteligente, incorporada nas estratégias nacionais e internacionais, face aos problemas causados pela falta de água, em quantidade e qualidade, trazendo deste modo benefícios relevantes na vertente ambiental, social e económica. De acordo com o Messias (2012), as vantagens e os riscos associados à água residual tratada são:

BENEFÍCIOS AMBIENTAIS

- permite reduzir o consumo de água de qualidade superior, contribuindo para a conservação dos recursos hídricos, com particular interesse nos locais em que a procura por habitante, é maior que a capacidade de oferta do corpo hídrico;
- redução das descargas de ART nas linhas de água, diminuindo desta forma a poluição das mesmas;
- os nutrientes presentes na água residual tratada reutilizadas para a rega agrícola conduzem a uma diminuição da utilização de fertilizantes artificiais, prejudiciais ao meio ambiente;
- de forma que os consumidores tenham confiança na utilização de água reciclada, a qualidade da mesma deveria se manter com critérios satisfatórios. Quando a água é descarregada nas linhas de água, podem ocorrer, eventualmente, descargas de efluente com qualidade inferior ao desejável, sem garantia das características estabelecidas. A reutilização contribui também para mitigar situações de efluentes com tratamento inferior ao estipulado.

BENEFÍCIOS SOCIAIS

- o uso de água residual tratada na rega de produtos agrícolas, pode ser benéfico para a saúde pública, pois exige um controlo de qualidade mais rigoroso para a sua aplicação;
- em zonas com quantidades reduzidas de água, a reutilização aumenta essa disponibilidade, podendo contribuir para o desenvolvimento económico local.

BENEFÍCIOS ECONÓMICOS

- comparativamente às origens de águas superficiais e subterrâneas, o efluente de uma ETAR garante menos variações de qualidade e quantidade. Esta consistência pode conduzir a uma diminuição de custos associados à garantia de água para a indústria e a agricultura em particular, e em cenários de escassez de água (anos de seca);
- a possibilidade de utilizar água reciclada em utilizações específicas como a rega, contribui para a sustentabilidade dos recursos hídricos;

- a utilização de ART na rega agrícola e paisagística permite uma diminuição da utilização de fertilizantes devido à presença de diversos nutrientes na mesma;
- em casos onde seja necessário construir infraestruturas com elevados encargos associados, como as captações de grande profundidade, dessalinização ou mesmo a construção de barragens, a reutilização poderá ter redução de custos associados à utilização de água;
- a utilização crescente de recursos hídricos nos grandes centros urbanos, levará à construção de mais infraestruturas tanto para captação como para transporte, assim a reutilização poderá também reduzir os investimentos ou mesmo eliminá-los.

Mesmo que apresente vários benefícios de utilização, esta prática ainda não é muito utilizada em território nacional, apresentando um certo receio, associado à falta de conhecimento, não só dos utilizadores, mas também dos próprios promotores de projetos de reutilização e das entidades envolvidas na sua aprovação e licenciamento (Marecos, 2009). Os fatores em destaque que afetam a viabilidade desta reutilização, são

- dificuldades de aceitação pública ou até negação por parte deles em utilizar ART;
- a localização da fábrica de água reciclada a grande distância dos potenciais utilizadores;
- custos de instalação de sistemas de adução;
- qualidade da água face ao uso final;
- impactes ambientais:
 - a descarga de efluentes contendo substâncias tóxicas e perigosas, provenientes das indústrias, podem condicionar a qualidade dos efluentes e conduzir a problemas de saúde pública e ambientais;
 - o efluente tratado pode conter matéria particulada, associada ao tratamento na ETAR, e posteriormente colmatar o sistema de rega;
- custos adicionais de tratamento para usos pretendidos, visto que as ETAR atuais estão dimensionadas para descarga em meio hídrico – tratamento secundário;
- necessidade de criar um serviço diferenciado do abastecimento de água de reutilização e de água potável.

3.5. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ÁGUA RECICLADA

3.5.1. SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

Os sistemas de distribuição de água reciclada devem ser concebidos e dimensionados à semelhança das redes de distribuição de água para consumo humano, com base nos caudais de ponta horária, sendo os volumes de armazenamento estimados com base nas necessidades de água (Monte e Albuquerque, 2010).

A definição dos traçados das condutas deve ter como objetivo a minimização dos custos de investimento e operação e manutenção. Deste modo, sempre que possível, deve optar-se pela implantação das condutas na berma das estradas existentes, preferencialmente estradas secundárias, assegurando um melhor acesso às obras que permita uma adequada manutenção e evitando os inconvenientes das expropriações. Quando tal não for viável deverão procurar-se outros caminhos, eventualmente com

traçados mais longos, mas que, por um lado, à partida não necessitem de licenciamentos de outras entidades e, por outro lado, sejam mais económicos por metro linear, por apresentarem custos das valas menores devido ao tipo de revestimentos desses caminhos. Deverá ainda optar-se por traçados que minimizem os atravessamentos de linhas de caminhos-de-ferro, IP e IC e linhas de água importantes.

O traçado em planta deve apresentar um desenvolvimento o mais curto possível e raios de curvatura tais que permitam evitar a construção de maciços de amarração. Em soluções com recurso a bombagem, a escolha do traçado mais curto é particularmente importante pois, para além de reduzir o investimento inicial, mitiga os encargos de exploração uma vez que as perdas de carga, a altura de elevação e, portanto, a energia consumida, aumentam com o comprimento da conduta adutora.

O traçado em perfil longitudinal deve ser regular, evitando, na medida do possível, as contra inclinações que, em virtude dos pontos altos, podem vir a criar problemas de exploração do sistema (acumulação de ar naqueles pontos). De forma a evitar estes problemas, será necessário instalar ventosas nos pontos altos e válvulas de descarga de fundo nos pontos baixos.

A implantação das condutas de água reciclada deve ser efetuada num plano inferior às condutas de água potável e superior aos coletores de águas residuais, sendo as distâncias entre estas no mínimo de 1 m, de forma a garantir proteção eficaz contra possível contaminação. Caso tal não seja viável, devem ser adotadas proteções especiais, de forma a garantir proteção eficaz contra possível contaminação. Apesar da lei portuguesa ser omissa em relação às redes de abastecimento de águas residuais tratadas, existem regulamentações noutros países para o efeito. Refere-se, a título de exemplo, os valores de referência utilizados em São Francisco, nos EUA (AWWA, 2005), segundo os quais não são permitidas instalações de tubagens de águas residuais tratadas a menos de 1,2 m das tubagens de água potável, impondo a necessidade de proteção para tubagens que se encontrem entre 1,2 e 3,0 m de distância daquelas condutas.

A profundidade de assentamento das condutas de água reciclada não deve ser inferior a 0,8 m, medida entre a geratriz exterior superior da conduta e o nível do pavimento. Pode aceitar-se um valor inferior ao indicado desde que se protejam convenientemente as condutas para resistir a sobrecargas ou a temperaturas extremas. Em situações excecionais, admitem-se condutas exteriores ao pavimento desde que sejam convenientemente protegidas mecânica, térmica e sanitariamente.

Salienta-se ainda a importância de adotar medidas de segurança de modo a salvaguardar a saúde pública, impedindo a utilização indevida da rede de água reciclada por parte da população, ou mesmo a eventual contaminação da rede de abastecimento de água para consumo humano. A clara identificação das tubagens, aliada ao referido afastamento entre tubagens de diferentes redes e a limitação de acessos à rede de distribuição de água reciclada, são cuidados que se devem ter aquando o planeamento da rede de distribuição.

As tubagens e acessórios do sistema de abastecimento de ART devem ser identificados de forma clara, recorrendo à utilização de uma única cor, marcação e etiquetagem. Na Figura 3.1, ilustra-se o tipo de identificação das tubagens e acessórios, que deve apresentar com uma cor distinta da tubagem de água potável. Por uma questão de uniformização tendente à padronização, adota-se a cor utilizada nos EUA, a cor púrpura, com a inscrição do fluido transportado “Água reutilizada, não beber”, em lados opostos das

tubagens. Todos os dispositivos de fecho de câmaras de válvulas, da mesma cor, devem conter uma inscrição moldada na superfície da tampa.



Figura 3.1 - Exemplo de identificação de redes de distribuição de água reciclada [fonte: WateReuse Association]

O material seleccionado para as tubagens das adutoras foi o polietileno de alta densidade (PEAD). As juntas de ligação entre tubos de PEAD e acessórios em FFD, designadamente tês, combi-T, cones de redução, curvas e juntas cegas serão preferencialmente em elementos anti-tracção, que dispensam a construção de maciços de amarração.

HORIZONTE DE PROJETO

Como é usual em sistemas de abastecimento de água, recomenda-se que se considere um tempo de vida útil das obras de construção civil 40 anos, e de 20 anos no que se refere a equipamento eletromecânico.

CAUDAIS E PRESSÕES

Na conceção geral da rede de água reciclada podem considerar-se, em parte, critérios adaptados das redes de abastecimento público, constantes no Decreto-Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto.

Os fatores de ponta podem ser diários, mensais ou instantâneos. O fator de ponta mensal é caracterizado por um valor constante de 1,3 e o de ponta diária de 1,5. Na determinação do caudal de dimensionamento usa-se um ou outro, consoante o que se pretende. Uma adução para o fator de ponta diária garante que os caudais transportados são mais elevados, e o consumo é mais facilmente satisfeito pela adução, o que se traduz por uma redução de custos nos reservatórios de armazenamento. Ao optar por utilizar o fator de ponta mais elevado é expetável que os diâmetros viáveis sejam superiores, provocando custos mais elevados da tubagem, no entanto como não se dispõe de uma grande extensão de tubagem, não é uma situação preocupante.

Para efeitos de projeto, sugere-se que sejam consideradas perdas na adução de cerca de 5%, considerando desta forma um fator de perdas igual a 1,05.

O fator de duração de transporte calcula-se através da relação $24h/n^{\circ}$ de horas de transporte, tendo-se considerado 16h no caso de adução por bombagem, e 24h no caso de adução gravítica.

VELOCIDADES

A verificação da adequação da capacidade de transporte das condutas adutoras deve ser realizada tendo em consideração o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (aprovado pelo Decreto Regulamentar n.º23/95 de 23 de agosto). Recomenda-se, tal como usual em sistemas de adução, que a velocidade de escoamento mínima para o caudal de ponta não seja inferior a 0,3 m/s, no caso de adutoras gravíticas, ou a 0,6 m/s, no caso de adutoras elevatórias, sendo o limite máximo de 1,5 m/s.

3.5.2. INFRAESTRUTURAS DE RESERVA

As infraestruturas de reserva devem estar devidamente sinalizadas por questões de saúde pública, uma vez que, contêm água não potável. No âmbito da gestão do sistema, os principais aspetos a acautelar e monitorizar prendem-se com a necessidade de manutenção de cloro residual no interior dos reservatórios e na rede de distribuição, para além de evitar situações de estagnação do efluente. Usualmente, opta-se pela cloragem, que controla o crescimento de microrganismos (mantendo um residual de cloro livre), e promove a recirculação, evitando zonas mortas (Metcalf e Eddy, 2003). A aplicação de sistemas de arejamento constitui outra estratégia de atuação.

De forma a manter a qualidade do efluente, as células dos reservatórios devem ser periodicamente lavadas e desinfetadas com auxílio de soluções de hipoclorito de sódio.

Os volumes de reserva devem ser determinados em função das disponibilidades de água reciclada e dos consumos estimados. Os volumes adotados deverão ser tais que permitam um abastecimento ininterrupto, fazendo frente a períodos de maior indisponibilidade de caudal, quer seja por insuficiência de efluente, quer seja por falta de qualidade do mesmo. De forma simplificada, pode admitir-se, como reserva nas indústrias, o volume diário no dia de maior consumo do ano. No âmbito do presente estudo este tipo de reservatório, associado às indústrias, não foi avaliado, por se considerar que deve constituir um investimento das próprias indústrias (e, possivelmente, até será já existente). Foram apenas considerados os reservatórios nas ETAR ou de percurso, localizados em pontos altos, de transição entre troços bombados e gravíticos, que foram dimensionados atendendo à diferença horária de funcionamento entre troços de montante e jusante, majorada de 20%.

3.5.3. SISTEMAS ELEVATÓRIOS

No dimensionamento das estações elevatórias e sobrepessoras, é importante definir a capacidade nominal dos grupos eletrobomba através do par de valores altura de elevação (H) e caudal (Q) para o rendimento máximo (para caudais superiores ou inferiores a Q, o rendimento da bomba será menor ao valor máximo). Deve ainda estipular-se a curva característica da bomba, que relaciona a altura de elevação e o caudal, $H = f(Q)$, para o número de rotações do motor. Para determinar o ponto de funcionamento da bomba, é necessário determinar a altura manométrica que a bomba deve vencer, que depende do caudal escoado. Assim, deve ser definida a curva característica do sistema, que representa a relação entre o caudal e a energia necessária para elevar a água, vencer as perdas de carga nas tubagens de aspiração e impulsão e, ainda, para manter as pressões desejadas a jusante ou atingir as cotas em reservatórios.

Em sistemas de distribuição de água, são raras as situações em que na estação elevatória ou sobrepressora apenas existe instalado um grupo eletrobomba. De facto, para além de se dever instalar grupos de reserva, a situação mais corrente consiste em associar duas ou mais bombas funcionando em paralelo, sendo o seu número seleccionado, em cada caso, não só em termos de custo, mas também da fiabilidade do sistema. Em situações especiais, principalmente para vencer grandes alturas de elevação, ainda se podem associar bombas em série.

4. CASO DE ESTUDO

4.1. ENQUADRAMENTO GERAL

O presente estudo, com base em dados reais, foi efetuado no âmbito de um estágio profissional, numa empresa do setor, com contrato para elaboração de um plano geral integrado de reutilização de efluentes para o município em causa. Por razões políticas e de forma a não pôr em causa a informação facultada, optou-se por manter em sigilo os nomes das infraestruturas, do município e das indústrias, denominando-as por ETAR “A” e por ETAR “B”, ou com outras designações genéricas.

O concelho em estudo, apresenta uma população de cerca 19 800 habitantes equivalentes, distribuída por 12 freguesias. Maioritariamente, é constituído por áreas rurais, apresentando extensos campos agrícolas e zonas de pasto. A região é ainda caracterizada por uma atividade industrial considerável, em particular indústria automóvel, de produção e comercialização de derivados de madeira e de produção de queijos, mirtilos e avelã.

A principal fonte de abastecimento de água do município é uma barragem, a partir da qual a água é captada. Uma parte da água bruta é transportada para tratamento para a ETA, com vista a tratamento para consumo humano, e a restante é encaminhada para uma empresa de derivados de madeira, através de uma conduta em ferro fundido com diâmetro de 200 mm, com um desenvolvimento aproximado de 7,2 km.

Consciente da problemática da água, face à situação de escassez vivida no final de 2017, em que a barragem que abastece o concelho atingiu níveis muito reduzidos e, como alternativa de abastecimento, e de forma que a água continuasse a chegar às torneiras dos consumidores, foi tomada a decisão de aprovisionar a albufeira através do transporte da água efetuado em camiões. A situação perdurou várias semanas, apresentando um custo incomportável.

Neste contexto de escassez de água, o presente caso de estudo tem como objetivo aumentar a resiliência à falta de água, apresentando nesta vertente um plano geral integrado para a reutilização de efluentes tratados. Deste modo, analisa a viabilidade de implementação de um sistema de reutilização segura, com a salvaguarda da saúde pública, dos efluentes tratados nas principais instalações para a depuração da água residual do concelho, promovendo uma fonte de água alternativa à atual. Pretende-se reutilizar a água residual tratada pelo sistema com bioreator de membrana para rega de jardins e espaços verdes, lavagem de arruamentos, mas essencialmente, para fins industriais, designadamente numa das indústrias locais que consome grandes quantidades de água bruta na sua aplicação. As soluções apresentadas abrangem a adequação do tratamento de água residual de duas ETAR do concelho à reutilização de efluentes, a construção de um sistema de distribuição de água reciclada, incluindo estações elevatórias, adutoras e reservatórios, bem como a estimativa de custos, assegurando um abastecimento garantido, em termos quantitativos e qualitativos, através de um tratamento eficaz e acessível.

Grande parte da área do concelho é servida por redes de drenagem de águas residuais, conduzindo o efluente às ETAR do município. Das principais infraestruturas situadas no concelho, que apresentam interesse para o atual projeto de abastecimento da Indústria, consideraram-se duas estações de tratamento, ETAR “A” e ETAR “B”. Atualmente, a instalação “A” encontra-se em processo de estudo para reabilitação futura, e a infraestrutura “B” em fase de construção. De modo a encontrar a solução tecnicamente viável, realizaram-se várias soluções de forma a que se encontre a mais favorável em termos técnicos e económicos. O objetivo de criar e analisar diferentes alternativas viáveis é obter uma solução otimizada, fiável e financeiramente apelativa, que sirva os propostos de adução de água para abastecer a entidade em causa. Depois do dimensionamento das infraestruturas necessárias ao armazenamento e adução dos efluentes provenientes de ambas as estações, pretende-se determinar os custos de investimento desta solução, bem como as de exploração e manutenção.

4.2.FORNECEDORES POTENCIALMENTE INTERESSADOS EM APROVISIONAR COM ART

4.2.1.ETAR “A”

O terreno de implantação da estação de tratamento “A” tem uma área de cerca 5 000 m² e apresenta formação rochosa, com um conjunto de árvores (oliveiras e carvalhos), pequenos muros de suporte em alvenaria de pedra e socalcos. Situa-se na margem de uma ribeira, estando classificada como zona sensível.

A água residual proveniente de três povoações está a ser tratada na atual ETAR, dimensionada para servir uma população equivalente de 5 000 habitantes, a operar desde 1998 e que dispõe de uma obra de entrada, um tanque de arejamento com dois decantadores secundários integrados, uma lagoa de sedimentação e um edifício de exploração, assim como se ilustra na Figura 4.1.



Figura 4.1 – Vista geral da atual ETAR “A”

A linha de tratamento da instalação, atualmente, é constituída pelas duas fases - líquida e sólida, e realiza-se através de um sistema biológico por lamas ativadas de baixa carga com nitrificação/desnitrificação, seguido de uma lagoa de sedimentação. A fase líquida inclui o tratamento preliminar que integra a obra de entrada, tratamento secundário que é constituído por tanque de arejamento em regime de arejamento prolongado, com dois decantadores secundários integrados, com recirculação de lamas e por fim o

tratamento terciário que consiste na nitrificação/desnitrificação (remoção do azoto). Como se trata de um sistema de lamas ativadas de baixa carga, dispensou-se a decantação primária, sendo a estabilização das lamas asseguradas pelo processo aeróbio.

Tendo por base uma infraestrutura com capacidade hidráulica limitada para os caudais produzidos pela população servida, redes de drenagem obsoletas, e uma expansão populacional na zona, propõe-se a reabilitação e a ampliação da ETAR “A” existente, uma vez que esta não tem capacidade para dar resposta ao acréscimo populacional verificado, não garantindo, assim, um tratamento adequado dos afluentes.

4.2.2. ETAR “B”

O terreno de implantação da ETAR “B” situa-se na margem de uma ribeira que, também, está classificada como zona sensível.

A infraestrutura, que está, presentemente, em processo de construção (Figura 4.2) foi dimensionada para servir uma população equivalente de 12 200 habitantes, abrangendo seis aglomerados.



Figura 4.2 – Vista aérea da ETAR “B” em fase de construção

O sistema de tratamento da ETAR da fase líquida é composto por um tratamento preliminar, tratamento secundário biológico por biomassa em suspensão, na variante de arejamento prolongado com processo de nitrificação/desnitrificação e consequentemente pela redução de azoto. A fase sólida por um espessador e desnitrificação. O diagrama de blocos do esquema de tratamento previsto para ETAR “B” apresenta-se na Figura 4.3.

O tratamento preliminar integra a obra de entrada que é constituída por quatro zonas: um canal de gradagem de limpeza mecânica equipado com malha fina de 6 mm com remoção dos gradados por meio de parafuso transportador; uma unidade compacta composta pela operação de desarenamento, desengorduramento, classificador de areias e concentrador de gorduras; um medidor de caudal através de medidor eletromecânico e, por fim, por um canal de *bypass* dotado com grade de limpeza manual com malha de 20 mm.

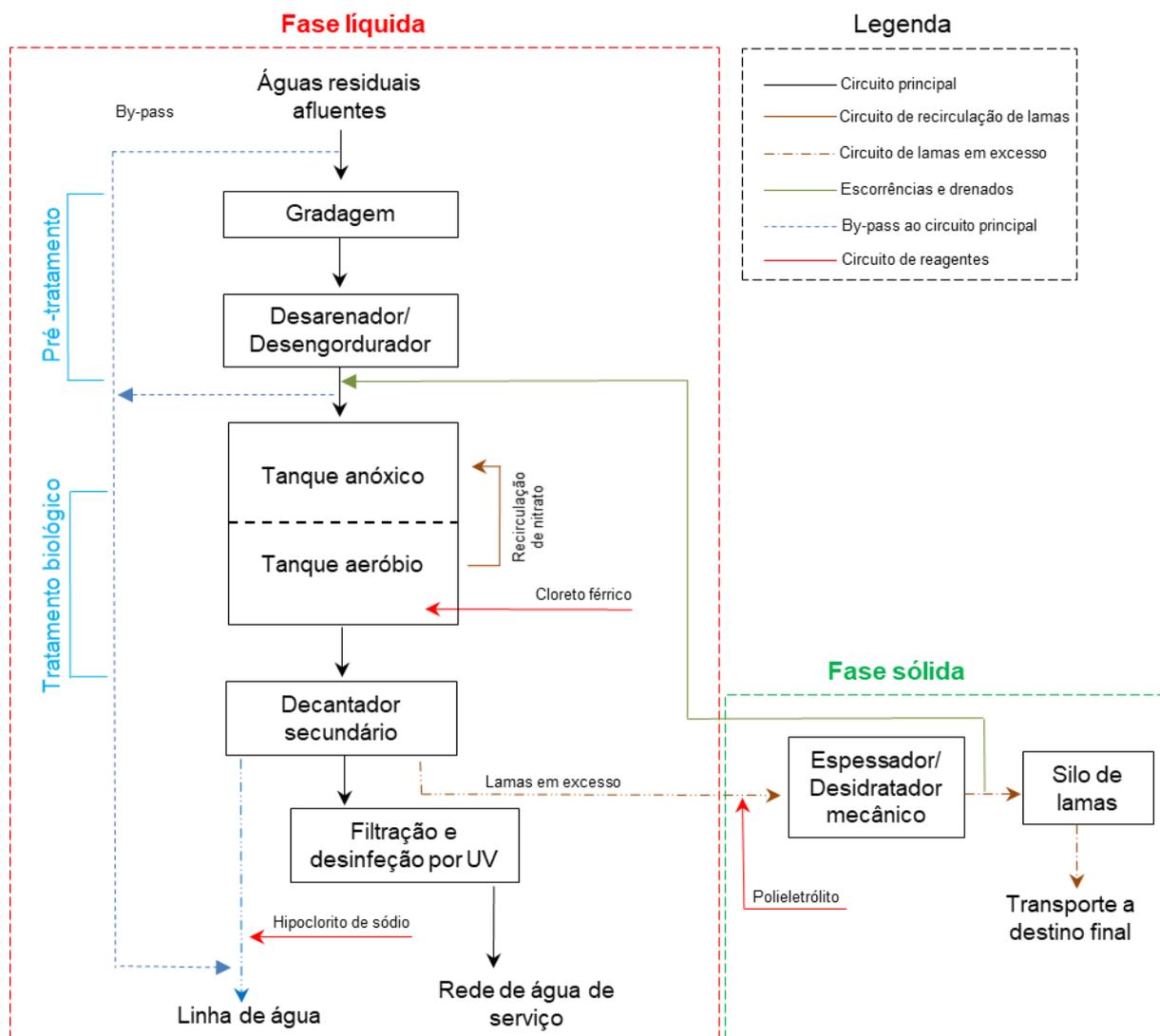


Figura 4.3 – Diagrama de blocos do esquema de tratamento previsto para a ETAR “B”

O tratamento secundário adotado é realizado por um sistema de lamas ativadas em regime de baixa carga. Nesta vertente, a decantação primária é dispensada, porque a estabilização das lamas é assegurada pelo processo aeróbio. O tanque inclui uma primeira zona anóxica para desnitrificação, seguida de uma zona aeróbia para oxidação biológica da matéria carbonácea e nitrificação do azoto amoniacal, com recirculação do efluente nitrificado da zona aeróbia para anóxica como medição do respetivo caudal. Os agitadores de biomassa serão instalados em ambas as zonas, enquanto que a zona aeróbia será equipada também com um sistema de arejamento por ar difuso. Com a utilização do elevado número de micro-organismos, o afluente passa para o tanque decantador com planta circular onde ocorre a decantação mecanizada, com ponte raspador de fundo e de superfície. O excesso de lamas biológicas é transportado para montante do tanque de arejamento. A remoção do fósforo realiza-se através de precipitação química, com o doseamento de cloreto férrico no reator aeróbio para precipitação química do fósforo no decantador secundário

Por fim, realiza-se a desinfecção de aproximadamente 30% do efluente total com remoção dos nutrientes (azoto e fosforo), poluentes e bactérias existentes para reutilização de água para usos compatíveis no interior da instalação. O tratamento terciário realiza-se a partir de um pequeno reservatório de água tratada,

seguida de uma operação de filtração em pressão, à qual está associada uma central de pressurização e uma unidade de desinfecção dedicada, por radiação ultravioleta em reator fechado.

O tratamento da fase sólida inclui o espessamento e a desidratação das lamas. As lamas em excesso são elevadas e tratadas no espessador gravítico com ponte raspadora. As lamas a desidratar, depois de adicionado o polieletrólito, sofrem a desidratação mecânica através de centrifuga de alto rendimento. Depois da desidratação são armazenadas em tanque que descarga diretamente para as viaturas de transporte de lamas a destino final. O sobrenadante e as escorrências da desidratação são transportados para a linha de tratamento da fase líquida onde serão novamente tratados.

De forma a potenciar a reutilização de efluente tratado, deverá ainda ser instalada na ETAR uma etapa de tratamento de afinação assegurada por membranas seguida de desinfecção por cloragem. Os efluentes tratados serão então armazenados por forma a serem adequados à reutilização.

4.3. ELEMENTOS E DADOS DE BASE DE DIMENSIONAMENTO

De forma a poder estimar os caudais afluentes às ETAR, que constituirão, após tratamento terciário caudais potencialmente disponíveis para reutilização, analisou-se a situação demográfica da área em estudo e avaliou-se a evolução populacional previsível. A população residente, no ano 0, foi estimada com base no Recenseamento Geral da População relativamente aos anos 1991, 2001 e 2011. Verifica-se que desde 1991 até 2011, a evolução populacional não foi homogénea, seguindo uma lei geométrica com diferentes taxas de crescimento anuais. No que diz respeito à população flutuante, esta foi estimada atendendo aos dados fornecidos pela Base Geográfica de Referência da Informação (BGRI) entre o número de alojamentos totais e os ocupados. Na determinação dos caudais de projeto foi tida em conta a população flutuante, bem como a população equivalente presente na área em estudo (indústrias, escolas, hospitais, etc.), que apresentam valores significativos.

As capitações de projeto consideradas foram estimadas com base nos caudais atualmente afluentes às ETAR. Foi admitido um fator de afluência à rede de drenagem de águas residuais de 0.8.

Os caudais de projeto, determinaram-se considerando a população de projeto e as capitações admitidas, através das expressões que se apresentam:

$$Q_m = \frac{Pop \times Cap \times f_{afl}}{86400} \quad [1]$$

$$Q_p = (Q_m \times f_p) + Q_{inf} \quad [2]$$

sendo, Q_m o caudal médio (L/s), Pop a população de projeto (hab.), Cap a capitação de água de projeto (L/hab/dia), f_{afl} o coeficiente de afluência (-), Q_p o caudal de ponta (L/s), f_p o fator de ponta instantâneo (-), determinado através na expressão $f_p = 1,5 + 60/\sqrt{Pop}$ sendo $f_p \leq 5$, definido no artigo 125 do decreto regulamentar nº 23/95, de 23 de agosto, Q_i o caudal de infiltração (L/s).

Para além dos caudais domésticos é necessário contabilizar os caudais de infiltração, que correspondem às características hidrogeológicas do solo, como também ao tipo e estado de conservação das tubagens

e das juntas das mesmas. De acordo com a informação recolhida, a contribuição de água pluvial afluente à rede de drenagem é significativa em tempo húmido, pelo que foi considerado um valor do caudal de infiltração entre 60 a 100% do caudal médio diário afluente.

No Quadro 4.1 e Quadro 4.2 estão resumidos os dados de base quantitativos de projeto, incluindo a população, a capitação de água residual e os caudais de projeto obtidos para a ETAR “A” e para a ETAR “B”, respetivamente, em tempo húmido e seco. Em tempo húmido, considerou-se a população residente na zona em estudo e o caudal de infiltração. Em tempo seco, contabilizou-se a população residente, a população flutuante (assumindo-se que existe uma oscilação de habitantes no verão) e um caudal de infiltração nulo.

Quadro 4.1 - Bases quantitativas de projeto da ETAR “A” em tempo húmido e tempo seco

Parâmetro	Unidade	Tempo húmido			Tempo seco		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
População de projeto	hab.	4 500	5 000	5 600	5 800	6 500	7 300
Capitação de água residual	L/(hab.dia)	96	104	112	96	104	112
Caudal médio diário	m ³ /dia	432	520	627	557	676	818
Caudal de ponta	L/s	17	20	24	15	18	21
Caudal afluente à ETAR	m ³ /dia	864	1 040	1 254	557	676	818

Quadro 4.2 - Bases quantitativas de projeto da ETAR “B” em tempo húmido e tempo seco

Parâmetro	Unidade	Tempo húmido			Tempo seco		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
População de projeto	hab.	10 800	11 800	12 950	12 500	13 750	15 150
Capitação de água residual	L/(hab.dia)	136	136	136	136	136	136
Caudal médio diário	m ³ /dia	1 469	1 605	1 761	1 700	1 870	2 060
Caudal de ponta	L/s	46	49	54	40	44	47
Caudal afluente à ETAR	m ³ /dia	2 350	2 568	2 818	1 700	1 870	2 060

No que se refere ao dimensionamento do sistema adutor de efluentes tratados, os fatores de ponta considerados podem ser diários, mensais ou instantâneos. O fator de ponta mensal é caracterizado por um valor constante de 1,3 e o de ponta diária de 1,5. Na determinação do caudal de dimensionamento pode ser utilizado um ou o outro, consoante o que se pretende. Uma adução para o fator de ponta diária garante que os caudais transportados são mais elevados, e o consumo da empresa é mais facilmente satisfeito pela adução, o que se traduz por uma redução de custos nos reservatórios de armazenamento. Ao optar por utilizar o fator de ponta mais elevado é exetável que os diâmetros viáveis sejam superiores, provocando custos mais elevados da tubagem, no entanto como não se dispõe de uma grande extensão de tubagem, admite-se que conduz à solução mais económica,

4.4. OBJETIVOS DE QUALIDADE E NÍVEL DE TRATAMENTO A ASSEGURAR

Na legislação define-se que, em regra, a descarga de águas residuais urbanas terá de se submeter pelo menos a um tratamento secundário (e que inclui, geralmente, um tratamento biológico). Verifica-se, neste caso, que o meio recetor corresponde a uma zona sensível, pelo que, o efluente deve apresentar redução

de nutrientes (azoto total e fósforo total). Adicionalmente, prevê-se redução de coliformes (microrganismos patogénicos). Assim, é necessário que o processo de tratamento inclua a remoção biológica do azoto e a precipitação química de fósforo, e que as concentrações dos principais parâmetros de qualidade à saída da ETAR respeitem os valores ou percentagem mínima de redução, ao abrigo da alínea D) do Anexo I, do Decreto-lei n.º 152797, de 19 de junho. No Quadro 4.3 apresentam-se os objetivos de qualidade a satisfazer pelas águas residuais tratadas nas ETAR, de acordo com as exigências do meio recetor e reutilização do efluente tratado.

Quadro 4.3 - Qualidade pretendida do efluente tratado, parâmetros de descarga das ETAR em meio sensível

Parâmetros	Unidade	Concentrações
CBO ₅	mg/L	25
CQO	mg/L	125
SST	mg/L	35
Azoto total	mg/L	15
Fósforo total	mg/L	2
Óleos e gorduras	mg/L	15

No Quadro 4.4, encontram-se os critérios de qualidade recomendados para a reutilização de água residual tratada em Portugal para usos urbanos não potáveis. Estes valores foram adaptados da Constituição da República Portuguesa (1998) e Instituto Português da Qualidade (2005) (Catarino, 2018).

Quadro 4.4 - Qualidade pretendida do efluente tratado, para reutilização

Parâmetros	Unidade	Concentrações
CBO ₅	mg/L	10
CQO	mg/L	125
SST	mg/L	20
Azoto total	mg/L	15
Fósforo total	mg/L	2
Óleos e gorduras	mg/L	15
Coliformes fecais	NMP/100mL	100
Turvação	UNT	10

4.5. PROSPEÇÃO DO MERCADO DOS UTILIZADORES

Dado que ainda não existem legislações que determinem o uso obrigatório de efluente reciclado para determinadas aplicações, o processo de identificação de potenciais utilizadores de água deste tipo, baseia-se na comparação que o utilizador faz entre o custo unitário da água que consome e o custo unitário que passará a pagar usando efluentes devidamente tratados.

ESTIMATIVA DAS NECESSIDADES DE ÁGUA DA EMPRESA

De acordo com informação facultada sobre os consumos mensais de água da Indústria, dos últimos três anos, verifica-se que os volumes de água consumidos por esta indústria foram variáveis ao longo do ano, o que se pode justificar atendendo à alteração de produção e/ou à interrupção de operação decorrente de um incêndio. Em todo o caso, o valor médio mensal registado ascende a cerca de 27 706 m³/mês,

apresentando um consumo de água significativo. Realizou-se uma aproximação grosseira relativamente ao crescimento anual do consumo de água de 1,0 % para o ano 0 a 20, e de 0,5 % do ano 21 ao ano 40, valores estes em concordância com várias literaturas. Os valores obtidos apresentam-se no Quadro 4.5.

Quadro 4.5 - Volumes necessário na Indústria

Parâmetros	Unidade	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Consumo médio diário	m ³ /dia	1 279	1 561	1 725
Volume médio anual	m ³	467 007	569 837	629 611

VOLUMES AFLUENTES ÀS ETAR E VOLUMES DISPONÍVEIS PARA ABASTECIMENTO À INDÚSTRIA

Pelas estimativas elaboradas no âmbito do presente estudo, prevê-se que a evolução dos volumes afluentes às estações, ao longo do horizonte de projeto (40 anos) seja a apresentada no Quadro 4.6. Considerou-se que os volumes máximos disponíveis para reutilização e abastecimento à indústria sejam de 90% do volume afluente, admitindo que os remanescentes 10% correspondem às perdas e ao volume reutilizado no recinto da própria estação de tratamento. No Quadro 4.6 resumem-se as estimativas dos volumes disponíveis para abastecimento em tempo húmido à indústria.

Quadro 4.6 - Estimativa dos volumes disponíveis para abastecimento à indústria em tempo húmido

Parâmetros	Unidade	ETAR "A"			ETAR "B"		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Consumo médio diário	m ³ /dia	778	936	1 129	2 115	2 311	2 536
Volume médio anual	m ³	283 824	341 640	412 070	772 001	843 483	925 687

4.6.SISTEMA DE TRATAMENTO PROPOSTO

Como forma de racionalizar o consumo de água, preconiza-se a reutilização de parte do efluente tratado em usos compatíveis. Uma reduzida parte do efluente deve ser utilizado para consumo interno das ETAR como água de serviço, nomeadamente na lavagem de equipamentos e arruamentos, e na rega dos espaços verdes enquanto que o restante seja utilizado para fins industriais. De modo a concluir a resolução dos problemas de tratamento das águas residuais no referido município, pretende-se estudar as ETAR que necessitam de serem reabilitadas.

ETAR "A"

Tendo-se por base uma infraestrutura com capacidade hidráulica limitada para os caudais produzidos pela população servida, redes de drenagem obsoletas, e uma expansão populacional na zona, no âmbito desta dissertação propõe-se a reabilitação e a ampliação da ETAR "A" existente, uma vez que não tem capacidade para dar resposta ao acréscimo populacional verificado, não garantindo, assim, um tratamento adequado dos afluentes.

A existência de uma ETAR antes da conceção da nova, facilita a execução devido às infraestruturas de construção civil presentes para eventuais reaproveitamentos. Em contrapartida, durante o período de construção das novas infraestruturas, é essencial manter um nível mínimo de tratamento adequado dos

efluentes e minimizar eventuais descargas e paragens dos equipamentos existentes, requerendo um cuidado especial e um bom planeamento do processo de execução.

A nova infraestrutura destina-se a servir quatro aglomerados, e disporá de um sistema inovador em tratamento de efluentes residuais de última geração constituído por tecnologia MBR, o que permite a utilização dos efluentes tratados compatíveis com usos diversos do efluente tratado. O diagrama de blocos do esquema de tratamento proposto para ETAR "A" apresenta-se na Figura 4.4.

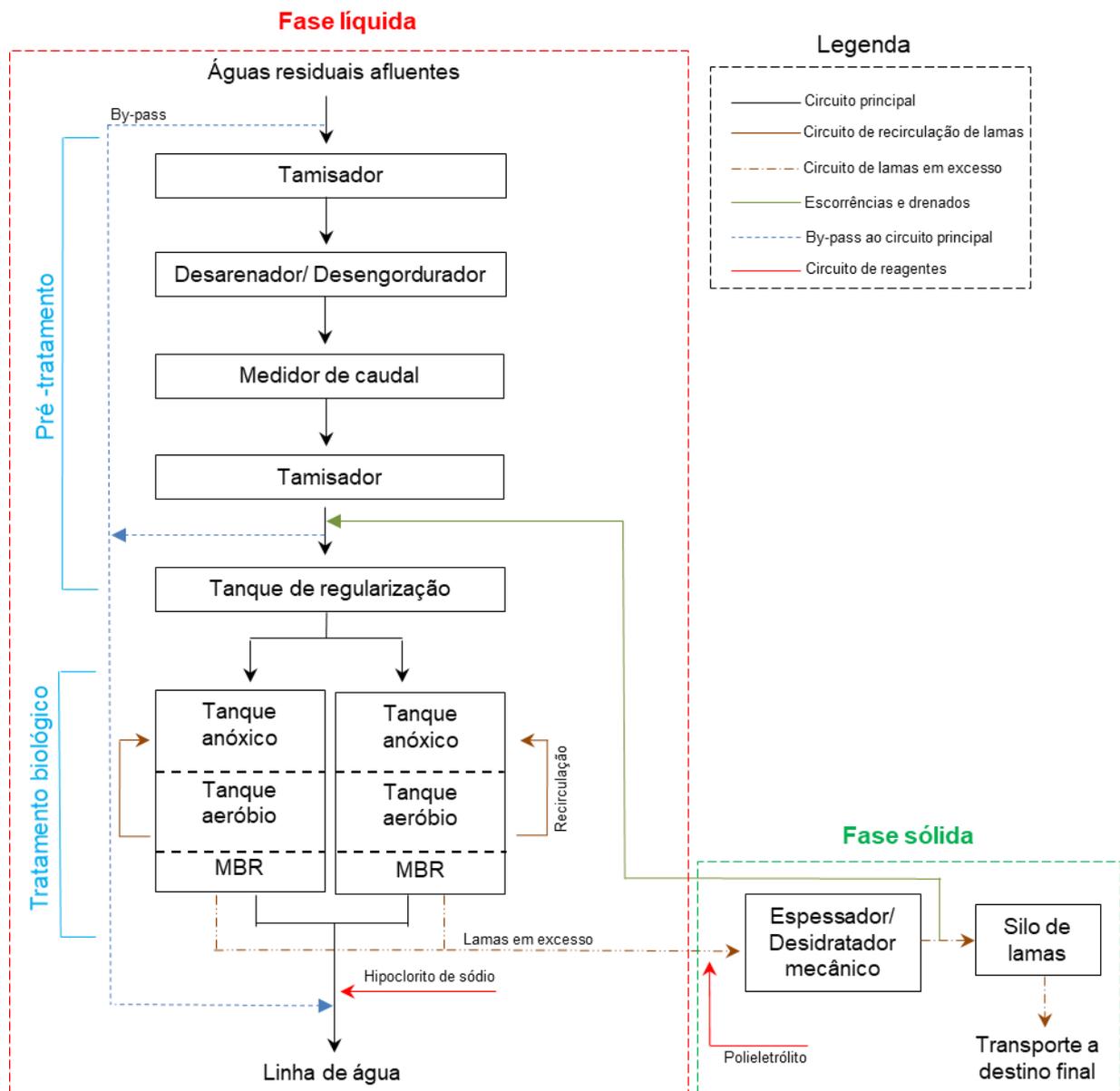


Figura 4.4 - Diagrama de blocos do esquema de tratamento previsto para a ETAR "A"

O tratamento preliminar destina-se à remoção das matérias sólidas, areias e gorduras que afluem à ETAR, conjuntamente com as águas residuais, que podem prejudicar a eficiência do tratamento e/ou danificar alguns equipamentos. O caudal afluyente à ETAR será conduzido a uma estação compacta de tratamento preliminar que inclui um tamisador com malha de 6 mm, um desarenador e um desengordurador. A medição de caudal afluyente à ETAR será efetuada a jusante do equipamento compacto, por meio de um medidor de caudal eletromagnético. A estação será dotada de um *bypass* para isolar o órgão, equipado

com grade de limpeza manual, com espaçamento entre barras de 20-30 mm. Os gradados recolhidos serão compactados e lavados de modo a reduzir substancialmente o seu volume e teor de humidade, sendo posteriormente armazenados em contentores e transportados até ao destino final. A jusante do medidor de caudal serão instalados dois tamisadores (1 + 1 de reserva) com malha igual ou inferior a 3 mm.

Para proporcionar uma regularização dos caudais afluentes ao tratamento biológico, está prevista a construção de um taque de regularização, equipado com agitadores, e uma estação elevatória equipada com grupos eletrobomba submersíveis, de velocidade variável, para elevação do caudal afluente para os reatores biológicos.

O tratamento secundário adotado será efetuado em reatores de biomassa em suspensão com sistemas de MBR. De forma a dotar maior versatilidade de operação à ETAR, optou-se por duas linhas de tratamento instaladas em paralelo. O tanque biológico inclui uma primeira zona anóxica para desnitrificação, seguida de uma zona aeróbia para oxidação da matéria carbonácea e nitrificação do azoto amoniacal, com recirculação do efluente nitrificado da zona aeróbia para a anóxica (com medição do respetivo caudal). Ao fim de cada linha, prevê-se a instalação de um tanque de membranas onde se desenvolverá a separação do permeado da biomassa através das membranas submersas. Optou-se por membranas de microfiltração, modelo RW 400 da "Kubota" (Figura 4.5). De acordo com o fornecedor, este módulo tem a vantagem de apresentar um menor consumo de ar para a limpeza das membranas. A jusante do medidor de caudal de extração do permeado, serão instalados quatro grupos de eletrobomba (1 + 1 de reserva) equipados com variador de velocidade para extração de água tratada através das membranas.



Figura 4.5 - Módulo de membrana proposto, RW400 da marca Kubota [fonte: Kubota]

A desinfecção do efluente tratado deve proporcionar uma concentração de coliformes fecais igual ou inferior a 100 CF/100 mL. Prevê-se que a desinfecção do efluente, conseguida pela tecnologia MBR (mínimo de 2000CF/100 mL), seja complementada por injeção de hipoclorito de sódio, por forma a serem atingidos níveis de desinfecção compatíveis com a reutilização de efluentes. Assim, deverá ainda ser instalada na ETAR uma etapa de tratamento de afinação, constituída por um sistema de cloragem para a manutenção de cloro residual mínimo de modo a manter a água segura para reutilização e para a formulação da solução de limpeza das membranas, um tanque de armazenamento de água tratada (potencialmente numa das atuais valas de oxidação, após conservação do reservatório, mediante limpeza, beneficiação e cobertura), e posterior elevação dos efluentes tratados.

Relativamente ao tratamento da fase sólida, as lamas em excesso serão conduzidas por grupos eletrobomba para um equipamento compacto de espessamento e desidratação mecânica, situado no interior do edifício de tratamento de lamas. Os drenados e escorrências das operações de processamento de lamas serão reconduzidos ao tanque de regularização de modo a serem devidamente depurados.

Por forma a dotar a ETAR "A" de um sistema de reutilização da água residual tratada adequado às necessidades da indústria, propõe-se algumas intervenções, designadamente:

- sistema MBR, instalado no reator biológico, incluindo as membranas, os compressores, as bombas, os coletores de permeado, coletores de arejamento, portas de injeção da solução de limpeza, bem como todos os acessórios complementares necessários ao longo da instalação;
- edifício de desinfecção final (cloragem), combinado por uma sala de reagente bruto (armazenado em bilhas) e uma sala com o reagente diluído. O sistema de doseamento de hipoclorito de sódio composto por reservatório de produto bomba doseadora, sonda de nível, válvula injetora e demais acessórios ao correto funcionamento do sistema. Recomenda-se o fornecimento do hipoclorito de sódio em bilhas com capacidade de 75 kg;
- tanque de armazenamento de água tratada. Como para o efeito será aproveitada a atual vala de oxidação, mediante limpeza, beneficiação e cobertura, contabilizou-se com o custo da cobertura e dos equipamentos necessários a instalar ao bom funcionamento do sistema;
- sistema de adução, incluindo a elevação do efluente tratado, a conduta elevatória, o reservatório de regularização e a conduta gravítica até ao ponto de entrega na Indústria.

Na Figura 4.6, apresenta-se, esquematicamente, uma possível solução de implantação dos órgãos na ETAR "A", destacando-se as intervenções estritamente necessárias à reutilização do efluente tratado.

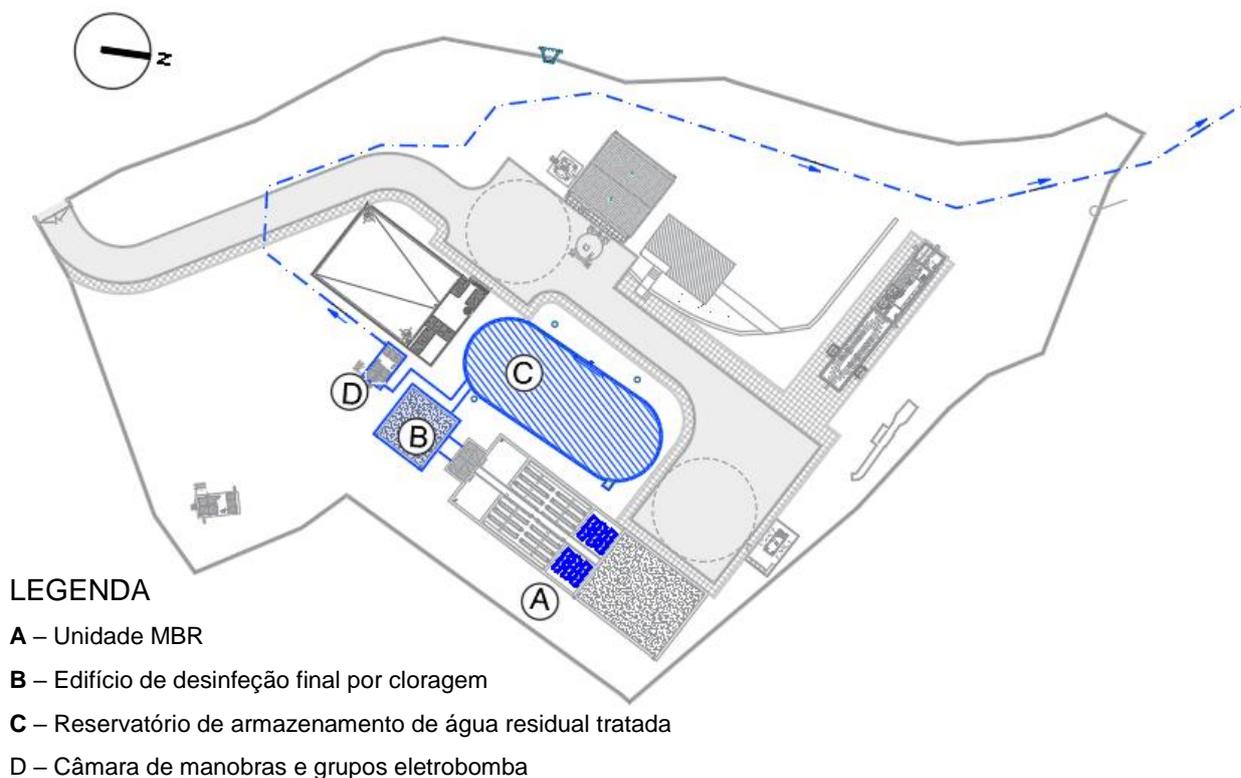


Figura 4.6 - Representação esquemática das intervenções propostas na ETAR "A"

ETAR “B”

Assim como foi referido anteriormente, para a ETAR “B”, que está atualmente em fase de construção, foi proposto um processo de tratamento convencional – lamas ativadas em regime de baixa carga, numa sequência reator anóxico – reator aeróbio, ocorrendo os processos de nitrificação e desnitrificação (remoção biológica do azoto), bem como a precipitação química de fósforo. A ETAR disporá ainda de uma operação final de filtração seguida de desinfecção por radiação ultravioleta, de modo a reutilizar parte do efluente para usos compatíveis, no interior da ETAR.

Neste contexto, poderá ser equacionada a ampliação do tratamento terciário por forma a ter capacidade para abastecer a indústria. Esta solução apresenta, contudo, algumas limitações, nomeadamente decorrentes do reduzido espaço disponível na área em causa.

Uma alternativa que se considera mais viável consiste na instalação de uma solução autónoma, baseada em MBR externos, a instalar num edifício dedicado, para filtração e desinfecção do efluente. Optou-se por membranas de fibra oca numa unidade *aquasource* XS com 4 módulos de ultrafiltração da Suez (Figura 4.7). De acordo com o fornecedor, esta unidade tem a vantagem de ser uma solução muito compacta e de simples instalação.



Figura 4.7 - Módulo de membrana proposto, XS da Aquasource [fonte: Suez]

Dado ao desnível apresentado no território da instalação, sugere-se a colocação de duas bombas submersíveis no interior do edifício de filtração e desinfecção do projeto em execução.

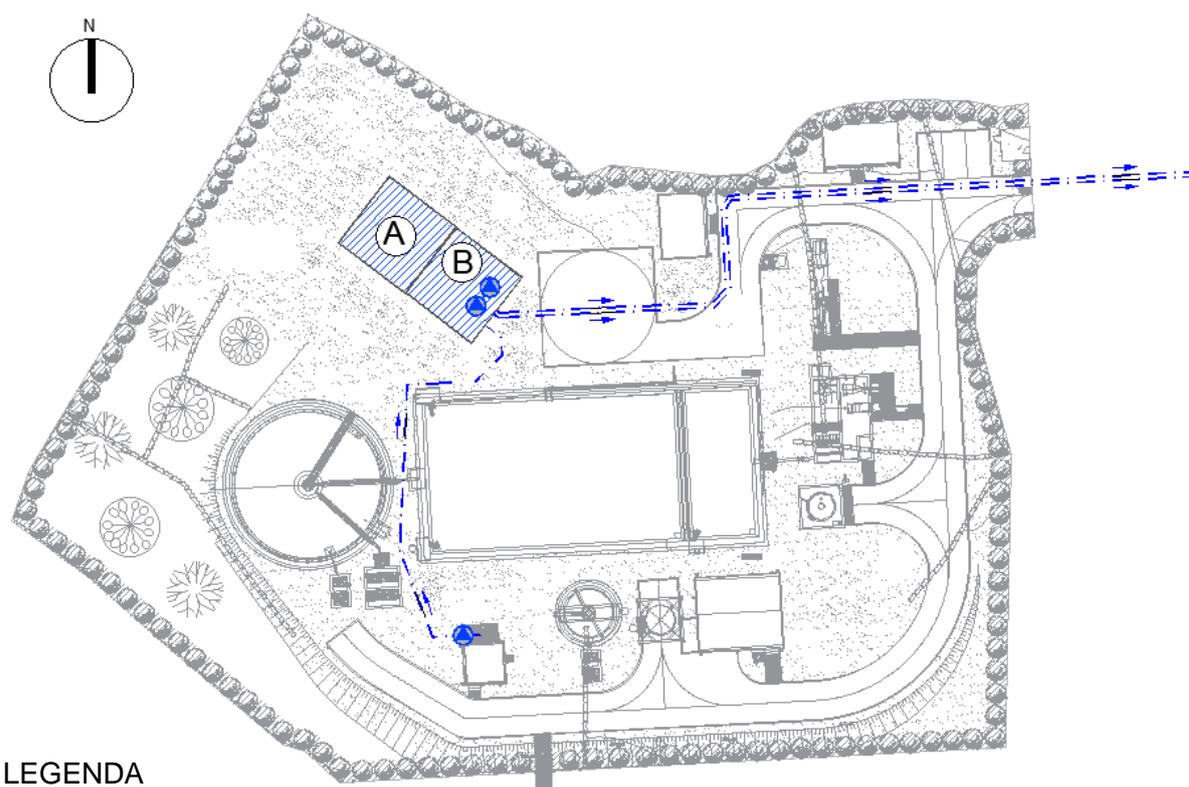
Assim, deverá ainda ser instalada na ETAR uma etapa de tratamento de afinação constituída por um tanque de cloragem para a manutenção de cloro residual mínimo para garantia da eficiência de remoção de microrganismos patogénicos, assegurando um teor de cloro residual compatível com a reutilização de efluentes e para a formulação da solução de limpeza das membranas, um tanque de armazenamento de água tratada, e posterior elevação dos efluentes tratados.

Por forma a dotar a ETAR “B” de um sistema de reutilização da água residual tratada adequado às necessidades da indústria, propõe-se algumas intervenções, designadamente:

- sistema de filtração através do sistema MBR, incluindo as membranas e a instalação eletromecânica;
- unidade de desinfecção final por cloragem, composta por uma sala de reagente bruto (armazenado em bilhas) e uma sala com o reagente diluído. Recomenda-se o fornecimento do hipoclorito de sódio em bilhas com capacidade de 75 kg;

- o tanque de armazenamento de água tratada, incluindo a construção civil e os equipamentos eletromecânicos;
- o sistema de adução, incluindo a elevação do efluente tratado, a conduta elevatória, o reservatório de regularização e a conduta gravítica até ao ponto de entrega na Indústria.

Na Figura 4.8, apresenta-se, esquematicamente, uma possível solução de implantação geral dos órgãos na ETAR “B”, destacando-se as intervenções estritamente necessárias à reutilização do efluente tratado.



LEGENDA

- A** – Edifício de filtração, desinfecção final e reserva de água para reutilização
B – Câmara de manobras e grupos eletrobomba

Figura 4.8 - Representação esquemática das intervenções efetuadas na ETAR “B”

4.7. CENÁRIOS EQUACIONADOS E PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS INFRAESTRUTURAS

4.7.1. ASPETOS GERAIS

Nos subcapítulos seguintes apresentam-se três alternativas, ou cenários, referentes à reutilização de efluentes tratados no município em estudo, com base nas ETAR “A” e/ou “B”, com vista ao abastecimento da principal indústria de aglomerados de madeira do concelho, em particular, mas também atendendo aos potenciais consumidores agrícolas e à utilização da água reciclada pelo próprio município, em fins compatíveis como a higienização urbana.

No que se refere ao traçado em planta, as condutas foram implantadas ao longo de vias existentes, sempre que possível na berma das mesmas. O traçado foi selecionado de modo a minimizar a necessidade de instalação de acessórios (como curvas e maciços de amarração) e órgãos de segurança e controlo (e.g., descarga de fundo ou válvulas de secionamento), bem como os encargos energéticos.

É também apresentado o pré-dimensionamento das principais infraestruturas que integram o sistema de distribuição de água reciclada, nomeadamente condutas, sistemas elevatórios e reservatórios. O pré-dimensionamento hidráulico das condutas adutoras foi efetuado para o caudal máximo diário, tendo em conta as perdas de carga contínuas, estimadas por aplicação da expressão de Manning-Strickler (em que se admitiu um coeficiente de rugosidade das tubagens de $110 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$), incrementadas de 15% para se ter em conta as perdas de carga localizadas. No que se refere a sistemas elevatórios e reservatórios, foram determinadas as alturas de elevação e caudais elevados, no primeiro caso, e os respetivos volumes, no segundo caso.

No âmbito do presente documento são propostas três soluções distintas, também designadas por cenários. No Cenário 1 é equacionada a solução de abastecimento da Indústria reutilizando o efluente tratado na ETAR "A", que disporá de tratamento secundário por MBR, admitindo e a manutenção do abastecimento de água bruta existente, para assegurar o volume remanescente necessário para o processo industrial. O Cenário 2 tem por base o princípio de maximizar a reutilização de efluentes tratados, sem que seja necessário que a principal indústria do concelho continue a consumir água bruta do sistema atual. Assim, o abastecimento da Indústria é assegurada, exclusivamente, por efluentes tratados na ETAR "B". No Cenário 3 propõe-se a implantação conjunta dos dois sistemas de adução autónomos apresentados nos cenários precedente. A ETAR "A" abastece com 90% do caudal afluente à mesma, sendo o restante efluente fornecido com base em efluente tratado proveniente da ETAR "B".

No Anexo I apresenta-se um resumo com os dados de cada Cenário questionado, bem como a análise económica com as contas realizadas, de forma pormenorizada, para a seleção dos diâmetros das condutas adutoras.

4.7.2. PRÉ-DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO DE ADUÇÃO PROPOSTO NO CENÁRIO 1

DESCRIÇÃO SUMÁRIA DA SOLUÇÃO

Tendo em conta a proximidade da Indústria à ETAR "A", e dado que a ETAR disporá de tratamento por MBR, foi equacionada a solução de abastecimento desta indústria considerando como origem principal o efluente tratado na instalação. Contudo, esta estação de tratamento, mesmo após a ampliação, não apresenta capacidade suficiente para fornecer o volume total necessário ao consumo diário da indústria, pelo que neste cenário se admite a manutenção do abastecimento atual de água bruta para assegurar o volume remanescente.

Assim, propõe-se no Cenário 1 a implantação de um sistema de adução autónomo, com origem no efluente tratado da ETAR "A". Considera-se, conservativamente, que 95% dos caudais afluentes à ETAR poderão ser reutilizados na indústria (de forma a possibilitar, também, a reutilização de água na própria ETAR e a atender a alguns consumos de higienização urbana). O restante caudal a fornecer à indústria continuará a ser, neste cenário, fornecido pela rede existente.

O sistema de reutilização proposto integra, na ETAR, um edifício de desinfecção final por cloragem, um reservatório de armazenamento do efluente tratado e um sistema elevatório que elevará o caudal até ao reservatório intermédio, como representado na Figura 4.9. Posteriormente, seguirá por condutas gravíticas até à indústria em questão.



Figura 4.9 - Sistema de adução proposto no Cenário 1

As características globais do sistema adutor, em termos altimétricos, e com base na informação constante da carta militar, apresentam-se no Quadro 4.7.

Quadro 4.7 - Dados do sistema adutor apresentado no Cenário 1

Parâmetro	Unidade	Troço bombado		Troço gravítico	
		ETAR "A"	Reservatório "A"	Indústria	
Cota do terreno	m	418	469	434	
Comprimento	m	1 081		1 959	
Desnível geométrico	m	56		30	

SISTEMA ELEVATÓRIO E CONDUTAS ASSOCIADAS

No que respeita ao primeiro trecho do sistema de adução (conduta elevatória), considerou-se um período diário de bombagem de 16 horas. Por forma a assegurar os critérios de velocidade estabelecidos e atendendo aos consumos médios diários apresentados, avaliaram-se os caudais de dimensionamento da conduta elevatória e analisaram-se os diâmetros tecnicamente viáveis (DN200, DN225 e DN250, em PEAD.). No Quadro 4.8 encontram-se os resultados obtidos para os diâmetros estudados, no que se refere ao caudal de dimensionamento, velocidades de escoamento, perdas de carga (unitárias e totais), alturas de elevação e potência requerida pelos grupos eletrobomba. Face aos resultados obtidos, optou-se pelo PEAD DN225, por ser tecnicamente viável e apresentar menores custos de instalação. A tubagem a instalar será, em grande parte do seu desenvolvimento da classe PN6, contudo, devido à sua altura de elevação, prevê-se a colocação de PN10 a montante, adjacente à estação elevatória.

Quadro 4.8 - Diâmetros equacionados para a conduta elevatória (Cenário 1)

Parâmetro	Unidade	PEAD DN200 PN10			PEAD DN225 PN10			PEAD DN250 PN10		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Caudal de dimensionamento	m ³ /dia	1 837	2 211	2 667	1 837	2 211	2 667	1 837	2 211	2 667
Velocidade de escoamento	m/s	0.9	1.0	1.3	0.7	0.8	1.0	0.6	0.7	0.8
Perda de carga unitária	m/m	0.0040	0.0059	0.0085	0.0022	0.0031	0.0045	0.0012	0.0018	0.0026
Perda de carga total	m	5.0	7.3	10.6	2.7	3.9	5.6	1.5	2.2	3.2
Altura de elevação da bomba	m	61.3	63.5	66.8	58.9	60.1	61.9	57.8	58.5	59.5
Potência dos grupos da EE	kW	17.0	21.3	27.0	16.4	20.1	25.0	16.1	19.6	24.0
Energia anual consumida	kW.h	99 512	124 188	157 590	95 713	117 562	145 962	93 831	114 280	140 203

RESERVATÓRIO

A capacidade de armazenamento do reservatório de regularização de transporte, a implantar no ponto alto de transição do sistema elevatório para o sistema gravítico, foi determinada de forma a assegurar uma reserva de 8h (correspondentes à diferença entre as 24 h de funcionamento gravítico e as 16h de

funcionamento das bombas) e admitindo um acréscimo de 20% (de modo a ter em conta o volume morto, entre outros fatores). Desta forma, estima-se um volume total de armazenamento para o reservatório "A" de 1 100 m³.

CONDUTAS GRAVÍTICAS

De modo a flexibilizar a operação do sistema de adução e otimizar a sua adaptação ao padrão de consumos da Indústria, a adutora gravítica foi dimensionada para o caudal máximo diário, admitindo funcionamento em 24 horas.

A seleção do diâmetro da conduta gravítica teve em conta, para além do cumprimento dos critérios de velocidade estabelecidos, o nível de água no reservatório de regularização e a necessidade de assegurar uma pressão mínima de 5 m.c.a. no ponto de entrega da Indústria. Foram equacionados os diâmetros tecnicamente viáveis, DN160, DN180 e DN200, em PEAD. No Quadro 4.9 encontram-se os resultados obtidos para cada diâmetro estudado, no que se refere ao caudal de dimensionamento, velocidades de escoamento, perdas de carga (unitárias e totais) e pressão na indústria. Da sua análise, optou-se pelo PEAD DN160 da classe PN6 ao longo do seu desenvolvimento.

Quadro 4.9 - Diâmetros equacionados para a conduta gravítica (Cenário 1)

Parâmetro	Unidade	PEAD DN160 PN6			PEAD DN180 PN6			PEAD DN200 PN6		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Caudal de dimensionamento	m ³ /dia	1 225	1 474	1 778	1 225	1 474	1 778	1 225	1 474	1 778
Velocidade de escoamento	m/s	0.8	1.0	1.2	0.6	0.8	0.9	0.5	0.6	0.8
Perda de carga unitária	m/m	0.0045	0.0065	0.0095	0.0024	0.0035	0.0050	0.0014	0.0020	0.0029
Perda de carga total	m	10.1	14.6	21.3	5.4	7.8	11.3	3.1	4.4	6.5
Pressão na indústria	m	24.9	20.4	13.7	29.6	27.2	23.7	31.9	30.6	28.5

ESQUEMA ALTIMÉTRICO

Na Figura 4.10 apresenta-se o esquema altimétrico do sistema de adução proposto no Cenário 1, incluindo o traçado preliminar das linhas de energia dinâmicas.

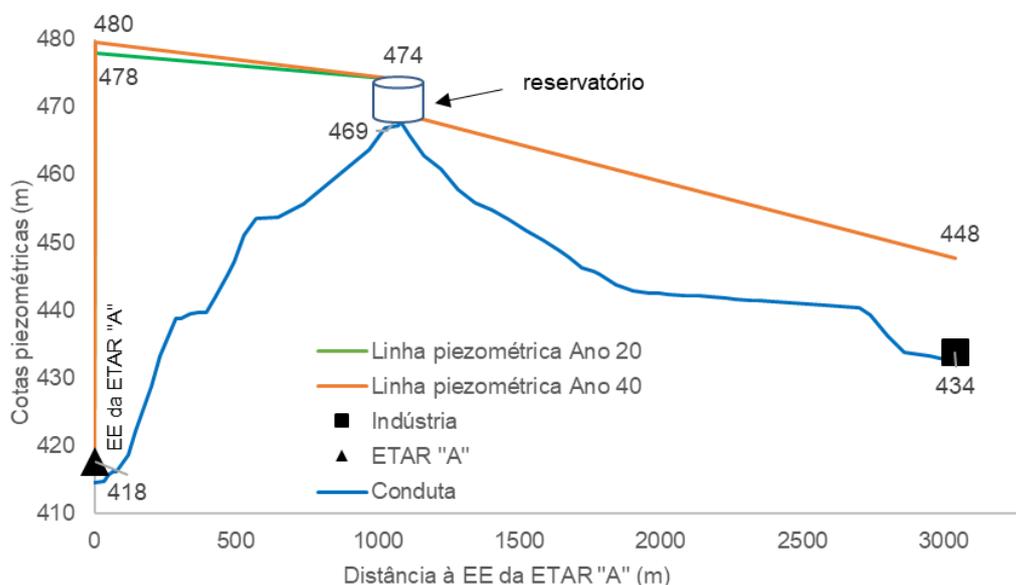


Figura 4.10 - Linhas piezométricas do circuito de adução proposto no Cenário 1

4.7.3. PRÉ-DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO DE ADUÇÃO PROPOSTO NO CENÁRIO 2

DESCRIÇÃO SUMÁRIA DA SOLUÇÃO

A segunda solução equacionada tem por base o princípio de maximizar a reutilização de efluentes tratados, sem que seja necessário que a principal indústria do concelho continue a consumir água bruta proveniente da barragem.

Assim, propõe-se que no Cenário 2 o abastecimento da Indústrias seja assegurado, exclusivamente, por efluentes tratados na ETAR "B". De acordo com o supracitado na secção 4.6, a instalação disporá de uma operação final de filtração seguida de desinfecção com capacidade de tratar 108 m³/dia. Devido ao novo sistema de tratamento, prevê-se a desativação da mesma, sendo que este caudal seja assegurado pelo novo sistema. O sistema de reutilização proposto integra, na ETAR, após o tratamento de afinação, um reservatório de armazenamento do efluente tratado e um sistema elevatório que elevará o caudal até aos reservatórios intermédios, como representado na Figura 4.11. Posteriormente, seguirá por condutas gravíticas até à Indústria.

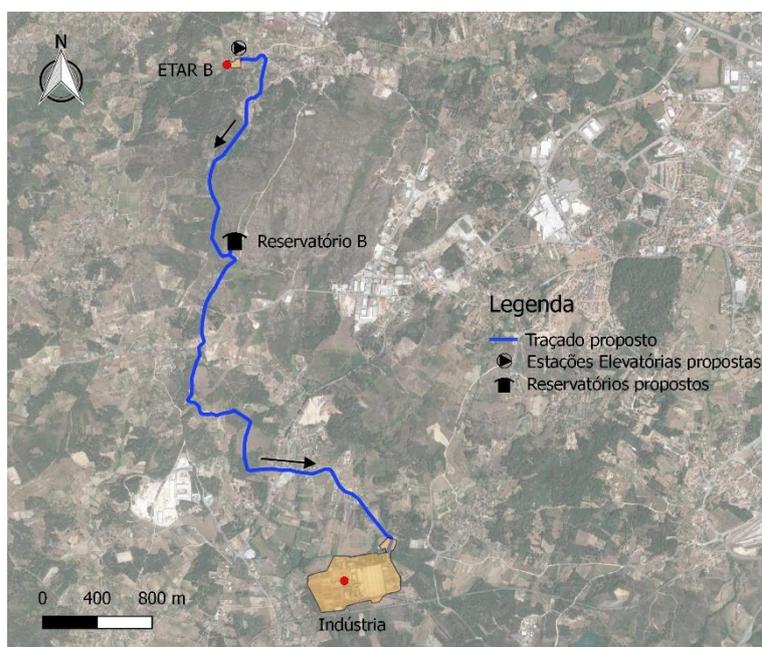


Figura 4.11 - Sistema de adução proposto no Cenário 2

As características globais do sistema adutor, em termos altimétricos, apresentam-se no Quadro 4.10.

Quadro 4.10 - Dados do sistema adutor apresentado no Cenário 2

Parâmetro	Unidade	Troço bombado		Troço gravítico
		ETAR "B"	Reservatório "B"	Indústria
Cota do terreno	m	404	521	434
Comprimento	m	2 011		3 570
Desnível geométrico	m	122		82

No presente cenário, não se prevê a utilização dos efluentes tratados com origem na ETAR "A" para fins industriais. Dada a tecnologia MBR que será implementada para o tratamento na ETAR "A", recomenda-se

que seja equacionada, a reutilização do efluente tratado, designadamente para a rega de campos de cultivo de mirtilos, situados na proximidade da ETAR

SISTEMA ELEVATÓRIO E CONDUTAS ASSOCIADAS

No que respeita ao primeiro trecho do sistema de adução (conduta elevatória), considerou-se um período diário de bombagem de 16 horas. Por forma a assegurar os critérios de velocidade estabelecidos e atendendo aos consumos médios diários apresentados, avaliaram-se os caudais de dimensionamento da conduta elevatória e analisaram-se os diâmetros tecnicamente viáveis (DN250, DN280 e DN315, em PEAD.). No Quadro 4.11 encontram-se os resultados obtidos para os diâmetros estudados, no que se refere ao caudal de dimensionamento, velocidades de escoamento, perdas de carga (unitárias e totais), alturas de elevação e potência requerida pelos grupos eletrobomba. Da sua análise, o diâmetro selecionado para a conduta elevatória foi de PEAD DN280, por ser tecnicamente viável e apresentar menores custos de instalação. Em grande parte do seu desenvolvimento, a tubagem será da classe PN6 e PN10, embora se preveja a instalação de PN16 na zona de montante, adjacente à estação elevatória.

Quadro 4.11 - Diâmetros equacionados para a conduta elevatória (Cenário 2)

Parâmetro	Unidade	PEAD DN250 PN16			PEAD DN280 PN16			PEAD DN315 PN16		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Caudal de dimensionamento	m ³ /dia	3 167	3 864	4 269	3 167	3 864	4 269	3 167	3 864	4 269
Velocidade de escoamento	m/s	1.1	1.4	1.5	0.9	1.1	1.2	0.7	0.9	0.9
Perda de carga unitária	m/m	0.0054	0.0081	0.0098	0.0030	0.0044	0.0054	0.0016	0.0023	0.0029
Perda de carga total	m	12.5	18.6	22.7	6.8	10.2	12.4	3.6	5.4	6.6
Altura de elevação da bomba	m	134.7	140.8	145.0	129.0	132.4	134.6	125.9	127.7	128.8
Potência dos grupos da EE	kW	64.6	82.4	93.7	61.9	77.4	87.0	60.3	74.7	83.3
Energia anual consumida	kW.h	377 211	481 164	547 162	361 299	452 258	508 171	352 392	436 077	486 345

RESERVATÓRIO

A capacidade de armazenamento do reservatório de regularização de transporte, a implantar no ponto alto de transição do sistema elevatório para o sistema gravítico, foi determinada de forma a assegurar uma reserva de 8h e admitindo um acréscimo de 20%. Desta forma, estima-se um volume total de armazenamento para o reservatório "B" de 1 800 m³.

CONDUTAS GRAVÍTICAS

De modo a flexibilizar a operação do sistema de adução e otimizar a sua adaptação ao padrão de consumos da Indústria, a adutora gravítica foi dimensionada para o caudal máximo diário, admitindo funcionamento em 24 horas.

A seleção do diâmetro da conduta gravítica teve em conta, para além do cumprimento dos critérios de velocidade estabelecidos, o nível de água no reservatório de regularização (à cota 521.22 m) e a necessidade de assegurar uma pressão mínima de 5 m.c.a. no ponto de entrega da Indústria (implantado à cota 434 m). foram equacionados os diâmetros tecnicamente viáveis DN200, DN225 e DN250, em PEAD. No Quadro 4.12 encontram-se os resultados obtidos para cada diâmetro estudado, no que se refere ao caudal de dimensionamento, velocidades de escoamento, perdas de carga (unitárias e totais) e pressão na indústria. Face aos resultados obtidos, optou-se pelo PEAD DN225, da classe PN10 à montante da EE.

Quadro 4.12 - Diâmetros equacionados para a conduta gravítica (Cenário 2)

Parâmetro	Unidade	PEAD DN200 PN10			PEAD DN225 PN10			PEAD DN250 PN10		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Caudal de dimensionamento	m ³ /dia	2 111	2 576	2 846	2 111	2 576	2 846	2 111	2 576	2 846
Velocidade de escoamento	m/s	1.0	1.2	1.4	0.8	1.0	1.1	0.6	0.8	0.9
Perda de carga unitária	m/m	0.0053	0.0079	0.0097	0.0028	0.0042	0.0052	0.0016	0.0024	0.0029
Perda de carga total	m	21.9	32.6	39.8	11.7	17.4	21.3	6.6	9.9	12.1
Pressão na indústria	m	65.3	54.6	47.4	75.5	69.8	66.0	80.6	77.3	75.2

ESQUEMA ALTIMÉTRICO

Na Figura 4.12 apresenta-se o esquema altimétrico do sistema de adução proposto no Cenário 2, incluindo o traçado preliminar das linhas de energia dinâmicas.

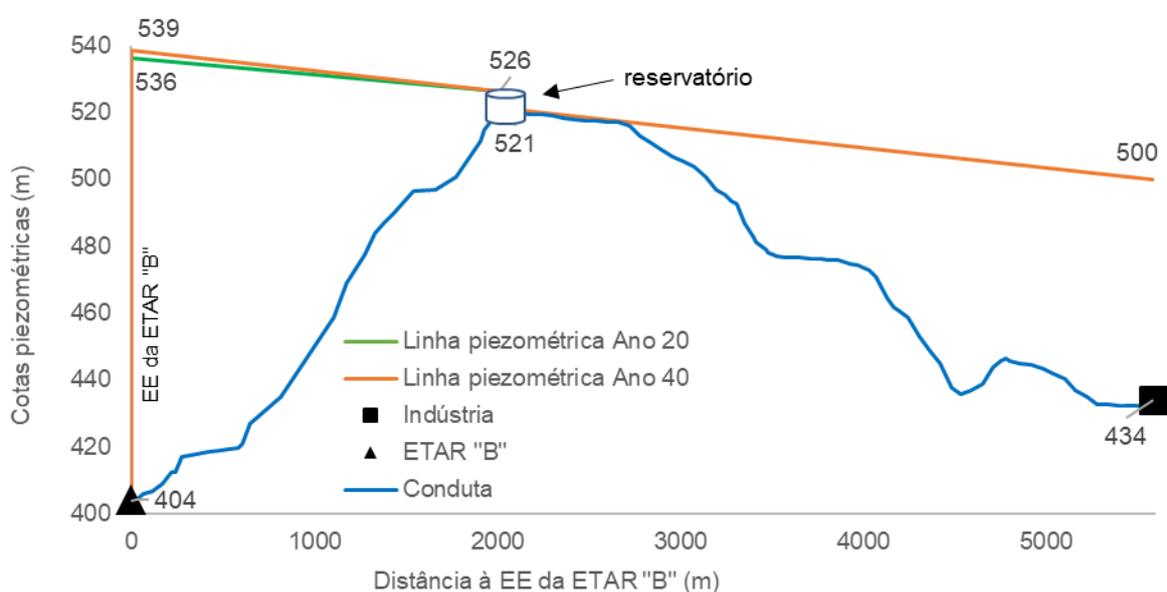


Figura 4.12 - Linhas piezométricas do circuito de adução proposto no Cenário 2

4.7.4. PRÉ-DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO DE ADUÇÃO PROPOSTO NO CENÁRIO 3

DESCRIÇÃO SUMÁRIA DA SOLUÇÃO

A terceira solução analisada tem por base a implementação conjunta dos sistemas de adução autónomos apresentados anteriormente. Dada a proximidade da Indústria à ETAR "A", e dado que a ETAR disporá de tratamento por MBR, foi equacionada a solução de abastecimento desta indústria considerando como origem principal o efluente tratado na instalação. Como não apresenta capacidade suficiente para fornecer o volume total necessário que a indústria consome diariamente, e de modo a assegurar o volume remanescente, propõe-se o abastecimento com água residual tratada com origem da ETAR "B". Os traçados mantêm-se iguais aos cenários precedentes, modificando, meramente, os caudais fornecidos pela ETAR "B".

Os sistemas de reutilização propostos são iguais aos cenários anteriores, e integra em cada ETAR, após o sistema de afinação, um reservatório de armazenamento do efluente tratado e um sistema elevatório que elevará o caudal até ao reservatório intermédio, como representado na Figura 4.13. Posteriormente, seguirá por condutas gravíticas até à indústria em questão.

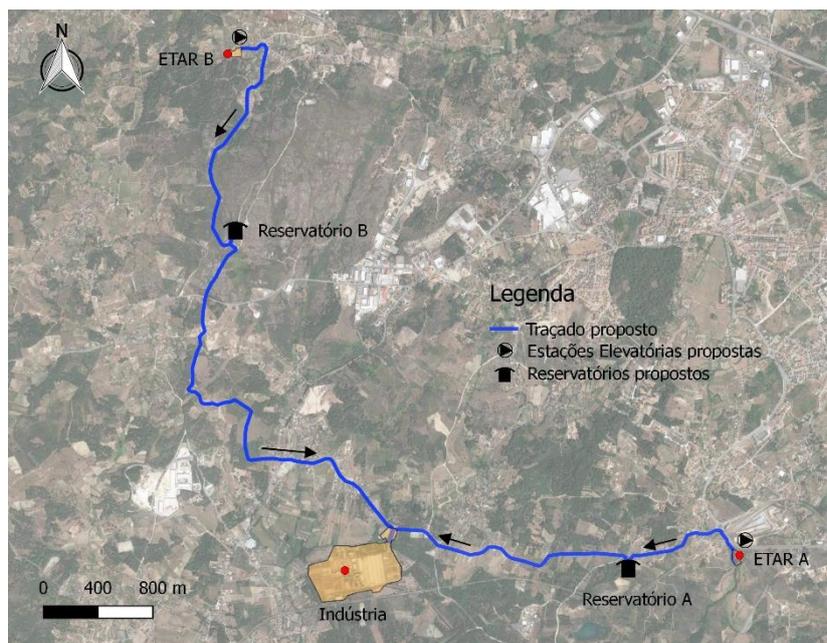


Figura 4.13 - Sistema de adução proposto no Cenário 3

SISTEMA ELEVATÓRIO E CONDUTAS ASSOCIADAS

A metodologia seguida à implantação do traçado, mantém-se igual à dos cenários precedentes. De modo a evitar informação repetitiva, no presente subcapítulo serão apresentados meramente os novos dados. Avaliaram-se os caudais de dimensionamento da conduta elevatória e analisaram-se os diâmetros tecnicamente viáveis (DN160, DN180 e DN200, em PEAD.). No Quadro 4.13 encontram-se os resultados obtidos. Da sua análise, o diâmetro selecionado para a conduta elevatória é PEAD DN180. Apesar de não ser o diâmetro mais económico, apresenta parâmetros hidráulicos favoráveis. Devido a sua altura de elevação, prevê-se a colocação de PN16 à saída da estação elevatória.

Quadro 4.13 - Diâmetros equacionados para a conduta elevatória (Cenário 3)

Parâmetro	Unidade	PEAD DN160 PN16			PEAD DN180 PN16			PEAD DN200 PN16		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Caudal de dimensionamento	m ³ /dia	1 242	1 547	1 547	1 242	1 547	1 547	1 242	1 547	1 547
Velocidade de escoamento	m/s	1.1	1.3	1.3	0.8	1.1	1.1	0.7	0.9	0.9
Perda de carga unitária	m/m	0.0090	0.0140	0.0140	0.0048	0.0075	0.0075	0.0027	0.0043	0.0043
Perda de carga total	m	20.9	32.5	32.5	11.1	17.3	17.3	6.3	9.8	9.8
Altura de elevação da bomba	m	143.1	154.7	154.7	133.4	139.5	139.5	128.6	132.1	132.1
Potência dos grupos da EE	kW	26.9	36.2	36.2	25.1	32.7	32.7	24.2	30.9	30.9
Energia anual consumida	kW.h	157 202	211 631	211 631	146 460	190 865	190 865	141 188	180 673	180 673

RESERVATÓRIO

A capacidade de armazenamento do reservatório de regularização de transporte, a implantar no ponto alto de transição do sistema elevatório para o sistema gravítico, foi determinada de forma a assegurar uma reserva de 8h e admitindo um acréscimo de 20%. Desta forma, estima-se um volume total de armazenamento para o reservatório "B" de 700 m³.

CONDUTAS GRAVÍTICAS

A metodologia seguida nos subcapítulos 4.7.2 e 4.7.3 mantém-se. Assim, foram equacionados os diâmetros tecnicamente viáveis DN140, DN160 e DN180, em PEAD. No Quadro 4.14 encontram-se os resultados obtidos para cada diâmetro estudado. Face aos resultados obtidos, optou-se pelo PEAD DN140, da classe PN10 à montante da EE.

Quadro 4.14 - Diâmetros equacionados para a conduta gravítica (Cenário 3)

Parâmetro	Unidade	PEAD DN140 PN10			PEAD DN160 PN10			PEAD DN180 PN10		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Caudal de dimensionamento	m ³ /dia	828	1 032	1 032	828	1 032	1 032	828	1 032	1 032
Velocidade de escoamento	m/s	0.8	1.0	1.0	0.6	0.8	0.8	0.5	0.6	0.6
Perda de carga unitária	m/m	0.0055	0.0085	0.0085	0.0027	0.0042	0.0042	0.0014	0.0022	0.0022
Perda de carga total	m	22.5	34.9	34.9	11.1	17.2	17.2	5.9	9.2	9.2
Pressão na indústria	m	64.7	52.3	52.3	76.2	70.1	70.1	81.3	78.1	78.1

ESQUEMA ALTIMÉTRICO

Na Figura 4.14 apresenta-se o esquema altimétrico do sistema de adução da ETAR "B" proposto no Cenário 3, incluindo o traçado preliminar das linhas de energia dinâmicas.

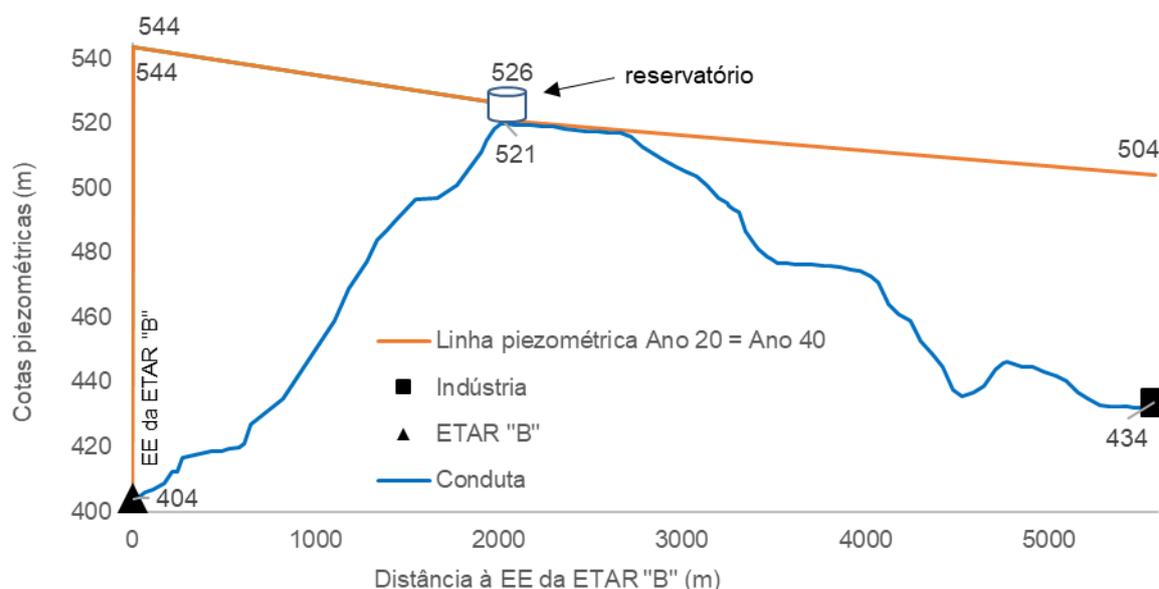


Figura 4.14 - Linhas piezométricas do circuito de adução proposto no Cenário 3

4.8. ESTIMATIVA PRELIMINAR DE INVESTIMENTOS E ENCARGOS

4.8.1. CUSTOS DE INVESTIMENTO

O investimento em capital fixo reflete os custos de construção civil das condutas adutoras, dos reservatórios e das estações elevatórias, bem como a instalação dos equipamentos. Estes custos foram determinados com base no "Guia técnico n.º 23" elaborado pela Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos - ERSAR, com base em valores de obras adjudicadas pelo grupo AdP Serviços. S.A. – Direção de Engenharia, entre 2005 a 2016. Os dados consultados apresentam-se no Anexo II.

Os investimentos decorrentes do tratamento de afinação a implementar em cada ETAR, foram estimados, neste plano, através de orçamentos fornecidos por empresas especializadas no domínio.

O custo de construção das condutas adutoras, incluindo construção civil (tubagens e órgãos acessórios e de segurança) e pavimentação, foi determinado utilizando a expressão seguinte, em função do diâmetro nominal das tubagens. A expressão foi determinada com base nas funções da Figura 1 do Anexo II.

$$C_{CC+Pav.} = 0,00056DN^2 + 0.0433DN + 30 \quad [3]$$

onde C_{CC+Pav} corresponde ao custo de construção civil e pavimentação (€/m), DN diâmetro nominal (mm).

O valor do custo das estações elevatórias foi avaliado através de duas parcelas distintas, uma referente à construção civil e outra ao fornecimento e montagem do equipamento eletromecânico e instalações elétricas, em conformidade com as expressões:

$$C_{CC} = 21\,846 P_e^{-0.689} \quad [4]$$

$$C_{Eq.} = 37\,655 P_e^{-0.559} \quad [5]$$

em que C_{CC} é o custo de construção civil (€), $C_{Eq.}$ é o custo do equipamento eletromecânico (€), P_e é a potência hidráulica de escamento (W) e determina-se através de $P_e = \gamma QH/\eta$, onde γ é o peso volumétrico da água (N/m³); Q é o caudal nominal total (m³/s); H é a altura nominal de elevação (m) e η o rendimento do grupo eletrobomba.

O custo dos equipamentos e o custo total de construção dos reservatórios apoiados sem estação elevatória foram determinados com base no volume de armazenamento, através da expressão

$$C_{Eq.} = 3\,479 V^{-0.533} \quad [6]$$

$$C_{TOT} = 5\,958 V^{0.574} \quad [7]$$

sendo, C_{TOT} o custo total (€) e V o volume de armazenamento (m³).

No Quadro 4.15 encontra-se um resumo dos custos de investimento de execução dos circuitos propostos para os vários cenários analisados, incluindo as intervenções complementares a realizar nas ETAR e a execução do respetivo circuito de adução.

Quadro 4.15 - Investimento inicial de execução dos circuitos equacionados

Parâmetro	Unidade	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Sistema MBR	€	300 500	640 000	620 500
Desinfecção final (cloragem)	€	30 000	30 000	60 000
Reservatório de efluente tratado	€	136 500	149 500	286 000
Estação elevatória				
Construção civil	€	54 400	80 200	113 500
Equipamento	€	124 700	225 900	279 100
Conduta elevatória	€	73 600	173 100	186 200
Reservatório de regularização	€	331 800	440 200	587 800
Conduta gravítica	€	100 500	243 100	268 500
Investimento inicial	€	1 152 000	1 982 000	2 401 600

Os valores representados e com maior relevância, estão apresentados de forma mais detalhada no Anexo III. O valor da unidade de desinfecção final foi determinado com base em projetos semelhantes.

4.8.2. ENCARGOS DE MANUTENÇÃO E EXPLORAÇÃO

Para a estimativa dos encargos anuais de operação e manutenção, tiveram-se em conta os diferentes tipos de infraestruturas e suas características, com base num histórico de encargos reais observados em sistemas similares nacionais abrangendo os anos de 2012 a 2016. Estes custos foram determinados com base no “Relatório Final” elaborado pela Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, intitulado “Determinação de custos de exploração de referência para infraestruturas do ciclo urbanos da água”.

Os encargos de exploração variam com diversos parâmetros, nomeadamente com as características do afluente, com o tipo de tratamento e exigências do meio receptor e, dimensão e gestão das instalações. Assim, para a avaliação dos encargos de operação e manutenção dos circuitos de adução (tubagens e órgãos acessórios), estimou-se um custo de 1,7 €/m, por ano, de conduta instalada.

No que respeita a reservatórios, recorreu-se a uma função, baseada em dados nacionais, dependente da respetiva capacidade de armazenamento. O custo unitário para encargos de O&M foi determinado através da seguinte expressão:

$$C_{Res.} = 267,644 V^{-0,659} \quad [8]$$

em que $C_{Res.}$ é o custo unitário (€/m³.ano), V é capacidade de armazenamento do reservatório (m³).

Os encargos de manutenção e operação de estações elevatórias foram também estimados com base numa expressão empírica baseada em dados nacionais e dependente do volume bombado e da respetiva altura de elevação, variável ao longo do período temporal de análise.

$$C_{EE} = 22,048 Q_d^{0,710} H^{0,456} \quad [9]$$

em que C_{EE} é o custo total (€/ano), Q_d é o caudal elevado (m³/dia), H é a altura manométrica (m).

A desinfecção da ART tratada por MBR será feita por cloração utilizando uma solução diluída de hipoclorito de sódio (NaClO). Na versão comercial, cada litro de hipoclorito tem cerca de 130 g Cl₂, pelo que em média a quantidade diária necessária de NaClO concentrado para diluição, foi determinada utilizando a expressão [10]. Para o efeito, considerou-se uma concentração máxima de doseamento de cloro de 2 g/m³ e um período de funcionamento diário de 16 horas. O hipoclorito de sódio pode ser fornecido de várias formas, designadamente, em contentores de 1000 kg, em bilhas de 75 kg ou em garrafas de 5 L. Para o efeito e devido a qualidade elevada do efluente antes da desinfecção, optou-se por bilhas, que apresentam um custo unitário de 0,34 €/kg.

$$C_{NaClO} = \frac{Q \times C \times P}{130 \text{ g Cl}_2} \times C_u \quad [10]$$

em que Q é o caudal a desinfetar (m³/h), C é a concentração máxima de doseamento de cloro (g/m³), P é o período de funcionamento diário (h), C_u é o custo unitário (€/kg).

Com base na literatura, os encargos de operação e manutenção de ETAR com tratamento convencional, apresenta valores próximo de 0,06 €/m³. Como foi supracitado, o sistema MBR apresenta um consumo de energia de 2 a 4 vezes superior à do sistema convencional. Assim, admitiu-se que o custo de exploração e manutenção por cada metro cúbico tratado por MBR seria de 0,12 €/m³.

No Quadro 4.16 encontram-se os encargos anuais de operação e manutenção dos sistemas de reutilização das ETAR, nos anos 0 e 20. Ao longo do horizonte de projeto, admitiu-se um crescimento uniforme.

Quadro 4.16 - Encargos de operação e manutenção dos sistemas de reutilização

Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
Ano 0	Ano 20	Ano 0	Ano 20	Ano 0	Ano 20
66 600 €	69 000 €	113 000 €	118 400 €	161 200 €	166 900 €

Todas as contas realizadas para obtenção dos valores apresentados no Quadro 4.16, apresentam-se no Anexo IV.

Os valores de investimento e de operação e manutenção apresentados não se consideram conservativos, pelo que se devem promover análises de sensibilidade para cenários diversos, no que respeita aos estudos de viabilidade.

4.8.3. ANÁLISE PRELIMINAR DOS BENEFÍCIOS

Os benefícios gerados pela implementação dos sistemas de adução da ETAR “A” e ETAR “B” correspondem à venda de água para abastecimento à Indústria.

De acordo com o tarifário em vigor, e para além de uma tarifa fixa de 0,0757 €/dia, a cobrança pelo serviço de abastecimento de água bruta é de 0,45 €/m³ ao qual acresce a taxa de utilização de recursos hídricos de 0,0234 €/m³. A tarifa fixa corresponde a um benefício anual muito reduzido pelo que, e por segurança, foi desprezada. Por outro lado, não se afigura razoável a aplicação da taxa de utilização de recursos hídricos, uma vez que se trata de sistemas de reutilização de efluentes de ETAR.

Desta forma, os benefícios considerados, correspondem ao volume de água fornecido à indústria multiplicado pela tarifa variável cobrado pelo serviço de abastecimento de água bruta (0,45 €/m³). No Quadro 4.17 encontram-se os benefícios anuais diretos nos anos 0 e 20. Ao longo do horizonte de projeto, admitiu-se um crescimento uniforme.

Quadro 4.17 - Benefícios anuais associados à implementação dos sistemas de adução

Parâmetro	Unidade	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
		Ano 0	Ano 20	Ano 0	Ano 20	Ano 0	Ano 20
Volume bombado	m ³	283 824	341 640	467 007	569 837	467 007	569 837
Tarifa água bruta	€/m ³	0.45					
Benefícios	€	127 800	153 800	210 200	256 500	210 200	256 500

4.9. ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÓMICA

4.9.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A viabilidade económica das intervenções propostas para o abastecimento à empresa a partir dos efluentes tratados depende do balanço entre custos e benefícios. Os custos das intervenções propostas correspondem aos investimentos necessários para a sua execução (construção civil, equipamentos, automatismos e instalações elétricas).

Foram ainda considerados nestes custos os encargos de manutenção no horizonte de estudo de 20 anos. Os encargos de exploração englobam os custos energéticos (bombagem), dos reagentes de limpeza e as operações de desinfecção dos efluentes à saída das ETAR.

Os benefícios diretos gerados pelas intervenções propostas correspondem ao serviço de abastecimento de água à indústria.

Os investimentos e os benefícios ocorrem ao longo do tempo e não são diretamente comparáveis. De facto, por um lado a inflação tende a diminuir o valor do dinheiro ao longo do tempo mas, por outro lado, se se dispõe de dinheiro hoje, este pode ser aplicado noutras ações alternativas e recuperar, não só o dinheiro investido, mas também obter os benefícios gerados pelas respetivas ações alternativas – é o vulgarmente designado custo de oportunidade do investimento.

No que respeita à inflação, se é certo que os custos das intervenções aumentam com o tempo (o valor do dinheiro diminui), é também certo que este aumento de custos é acompanhado pela subida dos benefícios (neste caso o aumento da tarifa de venda de água bruta). Se se admitir que a inflação é semelhante a todos os outros fatores de produção (construção, energia), o efeito da inflação é nulo em termos económicos. Assim, adotou-se uma análise de viabilidade a preços constantes, na qual todos os fatores de produção mantêm o valor atual.

Relativamente ao custo de oportunidade do investimento, este depende do investidor e do tipo e risco do investimento: os investidores privados esperam, normalmente, taxas de rentabilidade superiores a cerca de 8%, enquanto o investimento público exige taxas inferiores, da ordem de 4% ou menos.

Para o caso dos sistemas de reutilização de efluentes, representando um investimento estruturante em termos de eficiência e uso sustentável da água, na prática corrente podem ser aceitáveis taxas de atualização de 2%.

Tendo em consideração o exposto, foram analisadas estas três alternativas para a taxa de atualização de 2, 3 e 4%. A taxa de atualização representa uma taxa de juros sem risco acrescida por um prémio exigido pelos investidores como forma de compensação do risco e da incerteza quanto ao recebimento dos benefícios futuros.

4.9.2. CENÁRIOS ANALISADOS

Na seleção dos cenários a analisar procurou-se abranger um leque de situações realistas, com análises de sensibilidade, quer aos custos de investimento associados aos sistemas de reutilização de efluentes das ETAR “A” e “B”, quer aos benefícios anuais ao serviço de abastecimento de água à empresa.

A análise de viabilidade económica foi efetuada para cada um dos sistemas de reutilização de efluentes (Cenário 1 referente ao circuito com origem na ETAR “A” e Cenário 2 associado ao circuito com origem na ETAR “B”) e ainda para a implementação conjunta dos circuitos (Cenário 3). Como já referido, para cada cenário foram admitidas três taxas de atualização.

O Cenário C1.a corresponde ao cenário base de implementação do circuito com origem na ETAR “A”, com custos iniciais de investimento de 1 152 000 € (nos anos -1 e 0) e benefícios gerados de 129 100 € no “ano 1”. O Cenário C1.b é a situação mais pessimista, em que se consideram custos iniciais de investimento de 1 209 600 € (acréscimo de 5%) e benefícios anuais de 116 200 € (no ano 1) gerados pelo funcionamento do circuito com origem na ETAR “A” (decréscimo de 10%).

O Cenário C2.a corresponde ao cenário base de implementação do circuito com origem na ETAR “B”, com custos iniciais de investimento de 1 982 000 € (nos anos -1 e 0) e benefícios gerados de 212 600 € “ano 1”. O Cenário C2.b é a situação mais pessimista, em que se consideram custos iniciais de investimento de 2 081 100 € (acréscimo de 5%) e benefícios anuais de 191 300 € (no ano 1) gerados pelo funcionamento dos circuitos com origem na ETAR “B” (decréscimo de 10%).

O Cenário C3.a corresponde ao cenário base de implementação de ambos os circuitos, com custos iniciais de investimento de 2 401 600 € (nos anos -1 e 0) e benefícios gerados de 212 600 € no “ano 1”. O Cenário C3.b é a situação mais pessimista, em que se consideram custos iniciais de investimento de 2 521 700 € (acréscimo de 5%) e benefícios anuais de 191 300 € (no ano 1) gerados pelo funcionamento conjunta dos circuitos (decréscimo de 10%).

Para a análise da viabilidade económica considerou-se, para todos os cenários, que:

- O período de análise é de 20 anos, correspondendo os anos “-1” e “0” à realização das intervenções propostas (70% dos investimentos no ano -1 e 30% dos investimentos no ano 0);
- Durante estes 20 anos não se prevê substituição do equipamento instalado;
- Nos “anos -1 e 0”, os benefícios gerados são nulos;
- No final do período de análise considerou-se que os equipamentos instalados não têm qualquer um valor residual.

4.9.3.RESULTADOS

Para cada cenário de adução e para as diferentes taxas de atualização admitidas, foi analisada a viabilidade económica das intervenções, através de três indicadores:

- Valor atual líquido (VAL)
- Taxa interna de rentabilidade (TIR)
- Tempo de retorno do investimento (TR).

O valor atual líquido (VAL) representa a soma total dos investimentos (valores negativos) e de todos os benefícios (valores positivos) durante a vida útil do projeto, atualizados ao momento presente (por aplicação da taxa de atualização adotada). Quanto maior for o VAL, mais interessante é o investimento.

A taxa interna de rentabilidade (TIR) é a taxa de atualização para a qual o VAL é nulo, isto é, representa a rentabilidade efetiva do investimento. Quanto mais elevada é a TIR, maior a rentabilidade do projeto.

Finalmente, o prazo de recuperação do investimento (PRI) é o tempo necessário para recuperar o montante investido, para uma dada taxa de atualização, ou seja, representa o prazo para que o VAL atinja valores positivos. Este parâmetro só é válido se o VAL for positivo.

Para todos os casos, a análise económica baseia-se na atualização da série de custos e de benefícios estimados ao longo do período de análise, cuja duração, e tendo em consideração que se trata maioritariamente de estruturas em construção e a construir, foi considerada igual a 40 anos.

No Quadro 4.18 encontram-se os resultados obtidos, nomeadamente, o valor atual líquido (VAL), a taxa interna de rentabilidade (TIR) e o período de recuperação do investimento (PRI).

Quadro 4.18 - Resultados da análise de viabilidade económica

Cenário	Investimento inicial	Taxa de atualização	VAL	TIR	PRI
C1.a	1 152 000 €	2%	-43 233 €	1.7%	17 anos
		3%	-160 304 €		
		4%	-261 005 €		
C1.b	1 209 600 €	2%	-100 494 €	1.2%	18 anos
		3%	-217 400 €		
		4%	-317 940 €		
C2.a	1 982 000 €	2%	-200 238 €	1.1%	18 anos
		3%	-389 130 €		
		4%	-551 514 €		
C2.b	2 081 100 €	2%	-672 252 €	-1.2%	>20 anos
		3%	-822 823 €		
		4%	-952 011 €		
C3.a	2 401 600 €	2%	-1 439 677 €	-4.6%	>20 anos
		3%	-1 550 131 €		
		4%	-1 644 283 €		
C3.b	2 521 700 €	2%	-1 559 070 €	-4.9%	>20 anos
		3%	-1 669 181 €		
		4%	-1 762 997 €		

Da análise dos resultados obtidos, destaca-se que o VAL é negativo em todos os cenários, o que significa que nenhuma das alternativas de adução de água reutilizada apresenta viabilidade económica para as taxas de atualização admitidas, a menos que se considere um financiamento a fundo perdido.

Tendo em consideração os resultados da análise preliminar de viabilidade económica, o Cenário 1 com circuito da ETAR “A” é o que apresenta melhores indicadores económicos, desse modo seria o mais vantajoso. Contudo, esta estação de tratamento, mesmo após a ampliação, não apresenta capacidade suficiente para fornecer o volume total necessário que a indústria consome diariamente, pelo que neste cenário se admite a manutenção do abastecimento atual para assegurar o volume remanescente.

A execução do circuito do Cenário 2 ultrapassa esta situação e apresenta valores favoráveis no cenário base, onde se pressupõe que as expetativas corresponderão à realidade. Com um agravamento de 5% nos custos de investimento e uma redução de 10% no volume de água reutilizada na empresa a servir, os indicadores económicos são muito desfavoráveis, o que torna este cenário irrealizável. Optar-se-ia,

eventualmente, por esta opção caso houvesse mais interessados na proximidade da fábrica de água de forma a trazer mais benefícios à mesma.

Quanto ao Cenário 3, este não apresenta qualquer atratividade económica. Na hipótese de um dia a Indústria aumentar o consumo de água, eventualmente esta poderia ser uma boa opção, dado que tem potencial em assegurar um aumento máximo de 2,3 vezes do consumo atual.

Independentemente do cenário escolhido, a indústria continuaria a ser alimentada pela rede pública existente, nos períodos em que se verificar uma incompatibilidade da qualidade do efluente tratado na instalação com o uso a que se destina, designadamente nos períodos de arranque e de funcionamento anómalo da instalação.

4.9.4. ALTERNATIVAS À FUNDO PERDIDO

Uma vez que o estudo de viabilidade económica das alternativas questionadas não se demonstrou viável, optou-se por analisar os mesmos cenários, mas desta vez, recorrendo à financiamento não reembolsável. Esta decisão teve por base os prejuízos decorrentes da escassez de água num concelho que é maioritariamente constituído por extensos campos agrícolas e zonas de pasto e ainda caracterizado por uma atividade industrial considerável. A indústria em estudo é o empregador principal na região, e apresenta uma expressão significativa quanto aos trabalhadores que emprega. A falta do recurso necessário na realização do processo industrial, a água, pode reduzir a produção ou até levar ao encerramento da indústria, aumentando a taxa de desemprego e conseqüentemente o decréscimo demográfico na região. Ainda que o financiamento a fundo perdido seja de difícil obtenção real, optou-se por estudar seis alternativas com percentagens diferentes, de forma que o sistema de reutilização apresente retorno financeiro e social à região.

No Quadro 4.19 apresentam-se os resultados no que diz respeito ao investimento inicial à cargo da câmara municipal, TIR e PRI, caso o investimento inicial tenha apoio a fundo perdido de 20, 30, 40, 50, 60 e 70 %.

Quadro 4.19 - Resultados da análise de viabilidade económica com apoio a fundo perdido

Apoio a fundo perdido %	Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3		
	Investimento inicial €	TIR %	PRI anos	Investimento inicial €	TIR %	PRI anos	Investimento inicial €	TIR %	PRI anos
20	921 600 €	3.7%	15	1 585 600 €	3.0%	15	1 921 280 €	-3.1%	> 20
	967 700 €	3.2%	15	1 664 900 €	0.6%	17	2 017 400 €	-3.4%	> 20
30	806 400 €	4.9%	13	1 387 400 €	4.2%	14	1 681 120 €	-2.1%	> 20
	846 800 €	4.4%	14	1 456 800 €	1.7%	17	1 765 200 €	-2.5%	> 20
40	691 200 €	6.4%	12	1 189 200 €	5.7%	12	1 440 960 €	-1.1%	> 20
	725 800 €	5.9%	12	1 248 700 €	3.0%	16	1 513 100 €	-1.4%	> 20
50	576 000 €	8.3%	10	991 000 €	7.6%	11	1 200 800 €	0.3%	19
	604 800 €	7.8%	10	1 040 600 €	4.7%	13	1 260 900 €	-0.1%	> 20
60	460 800 €	10.8%	8	792 800 €	10.0%	9	960 640 €	1.9%	17
	483 900 €	10.3%	9	832 500 €	6.8%	11	1 008 700 €	1.6%	18
70	345 600 €	14.4%	7	594 600 €	13.3%	7	720 480 €	4.2%	14
	362 900 €	13.7%	7	624 400 €	9.7%	9	756 600 €	3.8%	15

Da análise do quadro anterior, pode concluir-se que mesmo para o Cenário 1, seria necessário assegurar um financiamento a fundo perdido superior a 50% para que o mesmo seja interessante. Tal não deve ser

impossível dado que se trata de um projeto de sustentabilidade que traz inúmeros benefícios a nível político, social e ambiental, pelo que se acredita que a obtenção de financiamento a fundo perdido recorrendo a programas nacionais e/ou europeus.

4.9.5. SOLUÇÃO RECOMENDADA

Como estratégia de conservação de água no concelho em estudo onde o recurso hídrico é escasso, mas também por motivos ambientais, para preservar a qualidade da água de meios recetores, reduzindo a descarga de efluentes de estações de tratamento, afigura-se recomendável a execução do circuito de reutilização do efluente tratado na ETAR "A" para abastecimento parcial das necessidades de água prevista para a Indústria. Para esta alternativa, será necessária tratar o caudal total afluente à ETAR, no horizonte de projeto, permitindo que cerca de 95% dos mesmos serão transportados para a indústria. Assim, a indústria teria de continuar a ser abastecida com o volume remanescente que a ETAR não tem capacidade de fornecer.

Embora os resultados apresentem custos elevados, realça-se que os cenários estudados de abastecimento à indústria a partir de água reutilizada das ETAR têm associado benefícios intangíveis e de difícil quantificação, quer com a valorização ambiental e uso sustentável da água, quer com o aumento da fiabilidade e resiliência dos sistemas de abastecimento de água (com origens alternativas de água para abastecimento à indústria). Assim, com todas as benesses imensuráveis que a reutilização apresenta, consegue-se ultrapassar os riscos de investimento por muito que as taxas internas de rentabilidade sejam reduzidas, justificando o financiamento parcial a fundo perdido do capital inicial.

Uma vez que se trata de sistemas de reutilização de efluentes de ETAR, a indústria terá o benefício de não suportar o montante da tarifa fixa, nem da taxa de utilização de recursos hídricos. Este facto constitui também uma vantagem para a indústria, que será beneficiada pelo facto de contribuírem para o uso eficiente e sustentável da água.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A presente dissertação desenvolveu o tema de utilização de tratamento de águas residuais domésticas com recurso a reatores biológicos por membrana. O tratamento biológico intensivo de AR que combina o tratamento biológico por lamas ativadas com o inovador sistema de filtração por membranas, tornou-se uma escolha de preferência no tratamento e reutilização das águas residuais.

Este sistema tem vindo a ser cada vez mais utilizado como solução de tratamento, devido as suas vantagens face ao tratamento convencional, nomeadamente a elevada qualidade do efluente e a elevada possibilidade de reutilização das ART, a reduzida área ocupada, fácil adaptação e ampliação das estações de tratamento existente, elevado grau de automatização, produção de quantidade reduzida de lama (cerca de metade em comparação com o sistema convencional), degradação biológica intensa (isto é, maior taxa de captação de poluentes em menor volume) versatilidade nas variações bruscas e de elevada amplitude nas condições de afluência (quer variações de caudal, quer da carga afluente). Tem capacidade de remoção de constituintes de dimensão reduzida ou dissolvidos no efluente, resultando em um efluente livre de microrganismos patogénicos seguro para o contato humano, de difícil remoção por outros tipos de operações e processos de tratamento.

O tratamento biológico por MBR constitui uma solução técnica especialmente indicada para o tratamento de águas residuais em áreas limitadas, por se dispensar a decantação secundária e, frequentemente, a decantação primária. Devido ao elevado custo de implantação, na maioria dos casos, é utilizado quando os requisitos rigorosos de qualidade do efluente tratado forem impostos. Normalmente, aplica-se quando se pretende descarregar o efluente em meio ambiente classificado como sensível ou quando se pretende reutilizar a ART. As zonas classificadas como sensíveis têm vindo a aumentar em território nacional, o que implica o aumento de número de ETAR com tratamento terciário, nomeadamente por remodelação/beneficiação de ETAR existente. Nesta vertente, torna-se expetável que num futuro próximo, a utilização das tecnologias de tratamento mais compactas, designadamente os reatores biológicos por MBR, terão expressão significativa em Portugal, no âmbito de uma política de gestão eficiente dos recursos hídricos com recomendação de reutilização do efluente final.

Ainda assim, este tipo de solução apresenta elevados encargos de energia, existindo ainda a necessidade de substituir as membranas com frequência. Os estudos atuais focam-se na redução do consumo de energia e aumento da vida útil das membranas., sendo que a vida útil das mesmas é tanto maior quanto mais cuidado com a limpeza e tipo de operação se tiver.

O stress hídrico pode afetar a saúde pública, a qualidade do ambiente, o desenvolvimento e a competitividade. Nesse contexto, a reutilização de efluentes constitui uma alternativa interessante de abastecimento de água, fiável e constante, que não depende de situações de seca sazonal nem das variações climáticas, com potencial uso em atividades agrícolas e industriais, de higienização urbana ou rega de espaços verdes.

As águas residuais tratadas podem ser utilizadas em diversas aplicações, como a rega agrícola e paisagística, usos industriais (água de arrefecimento, água do processo, água para lavagens), usos urbanos (lavagem de ruas, de contentores, autoclismos, combate a incêndios, lavagem de veículos), recarga de aquíferos, aplicações recreativas e ambientais.

A reutilização de ART em território nacional ainda é pouco praticada, contudo devido as recentes secas observadas, à consciencialização de valor da água, bem como as razões de carácter político e institucional, no âmbito de desenvolvimento de soluções sustentáveis tem vindo a aumentar nos últimos tempos. Adicionalmente, num quadro de crescentes exigências legais no que se refere à qualidade da água residual tratada, é cada vez mais justificável, técnica e economicamente a opção pela reutilização dos efluentes tratados.

A utilização de água reciclada para usos diferentes dos de consumo humano é vista como uma estratégia promissora para fazer face ao risco de indisponibilidade de água em quantidade e com a qualidade adequada. O aproveitamento deste recurso traz benefícios importantes nas vertentes económica, ambiental e social, reservando o aproveitamento da água potável tratada, que apresenta maior custo, para usos exclusivamente de consumo humano. Refere-se ainda o reaproveitamento de nutrientes presentes no efluente tratado, para fins de melhoramento de produções agrícolas.

A reutilização da água é praticada, na maioria dos casos, como uma estratégia de conservação de água em regiões onde os recursos hídricos são escassos, mas também por motivos ambientais, para preservar a qualidade da água de meios recetores, reduzindo a descarga de efluentes de estações de tratamento.

Com a realização deste trabalho pretendeu-se melhorar o conhecimento relativamente as tecnologias de tratamento avançado e contribuir para intervenções de mitigação de escassez de água e proteção dos recursos hídricos. Da revisão da literatura, reuniu-se a informação necessária para conceção dos sistemas de água reciclada, incluindo os critérios de dimensionamento, fundamentais na definição do sistema de adução adotado na reutilização de efluentes tratados. A utilização do sistema por MBR apresenta uma forte aposta na defesa do meio ambiente e essencialmente na proteção das linhas de água.

De forma a aplicar estes conceitos, num contexto de escassez de água e numa ótica de resiliência hídrica e de sustentabilidade na exploração dos recursos naturais, desenvolveu-se um caso de estudo que pretende promover a reutilização de efluentes das principais ETAR do concelho em estudo para diversos fins, destacando-se os fins industriais, designadamente na indústria de produção de derivados de madeira. Os efluentes tratados poderão também ser reutilizados na agricultura e em atividades urbanas compatíveis, como a rega de jardins e espaços verdes e a lavagem de arruamentos. As soluções apresentadas abrangem a adequação do tratamento de águas residuais domésticas das ETAR à reutilização de efluentes, bem como a construção de um sistema de distribuição de água reciclada (incluindo estações elevatórias, adutoras e reservatórios).

Apesar dos elevados custos deste tipo de sistema (de investimento inicial e exploração), a utilização de água reciclada para usos diferentes dos de consumo humano é vista como uma estratégia promissora para fazer face ao risco de indisponibilidade de água em quantidade e com a qualidade adequada. O

aproveitamento deste recurso traz benefícios importantes nas vertentes económica, ambiental e social, reservando o aproveitamento da água tratada (maior custo) para usos exclusivamente de consumo humano.

Embora existem diversos fatores que tornam o sistema MBR muito vantajoso em comparação ao sistema convencional, existem barreiras que limitam o desenvolvimento mais rápido dessa tecnologia. Como sugestão de trabalhos futuros, recomenda-se maior investigação na otimização dos custos de investimento em sistemas membranares, e nos encargos de energia, de forma a tornar a tecnologia uma perspectiva de desenvolvimento social e económico, tendo em vista a preservação dos recursos hídricos.

A dificuldade de aceitação pública é outra questão que afeta a viabilidade dos projetos de reutilização de ART, sugerindo-se, nesta vertente, investimento na educação ambiental.

O custo de produção da água reutilizável apresenta-se pouco competitivo em comparação ao custo da água potável. Caso se implementassem novas tarifas de abastecimento de água, o balanço entre ambas seria mais discrepante o que levaria a um incentivo de reutilização de água residual.

Por último, como propostas de estudo futuros ao caso em estudo, numa ótica de maximizar a reutilização de efluentes tratados, recomenda-se que se avalie os potenciais consumidores a pequena distância das ETAR, de forma a que o sistema de adução proposto não fique dependente apenas de um consumidor, reduzindo assim os riscos de investimento iniciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AWWA (2005). *Rules and regulations for design and operation of on-site recycled water facilities*. Program South Bay Water Recycling. San Francisco Bay Regional Water Quality Board.

Brepols, C. (2011). *Operating Large Scale Membrane Bioreactors for Municipal Wastewater Treatment*. Londres: IWA Publishing.

Brepols *et al.* (2010). "Considerations on the design and financial feasibility of full-scale membrane bioreactors for municipal applications". *Water Science & Technology - WST*.

Catarino, A. (2018). Reutilização de águas residuais tratadas para rega paisagística: o caso de estudo do Parque Tejo. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior Técnico. Lisboa.

Ceriz, I. (2018). Desenvolvimento de uma Ferramenta Automatizada para a Estimativa de Custos de Construção e Exploração em Infraestruturas do Ciclo Urbano da Água - Baseada em dados de entidades gestoras nacionais. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior Técnico. Lisboa.

Cornel *et al.* (2003). Investigation of Oxygen Transfer Rates in Full Scale Membrane Bioreactors. *Water Science and Technology* 47, 313-319.

DeCarolis, J. *et al.* (2007). Cost trends of MBR system for municipal wastewater treatment. WEFTEC

Decreto – Lei n.º 152/97, de 19 de junho: Recolha, tratamento e descarga de águas residuais urbana no meio aquático. Diário da República, 1.ª Série-A, n.º 139.

Engelhardt *et al.* (1998). Integration of membrane filtration into the activated sludge process in municipal wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 429-436.

EPRI. (1997). Membrane Technologies for Water and Wastewater Treatment. *Electric Power Research Institute - Community Environmental Center*.

ERSAR (2010). Guia Técnico nº 14. Reutilização de Águas Residuais. Lisboa.

ERSAR (2018). Determinação de custos de exploração de referência para infraestruturas do ciclo urbano da água. Relatório final.

ERSAR (2018). Guia Técnico nº 23. Custos de Construção de Infraestruturas Associadas ao Ciclo Urbano da Água. Lisboa.

European Commission (2018). *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on minimum requirements for water reuse*.

Evenblij, H. (2006). *Filtration Characteristics in Membrane Bioreactors*. Delft.

Gander, M., Jefferson, B., Judd, S. (2000). Aerobic MBRs for domestic wastewater treatment: a review with cost considerations. *Separation and Purification Technology*, p. 119-130.

Gil, J.A. *et al.* (2010). Monitoring and analysis of the energy cost of an MBR. *Desalination*, p. 997-1001.

Habert, A. C. (2006). Processos de Separação por Membranas. Rio de Janeiro: e-papers.

Henriques, C. (2009). Reabilitação da ETAR de Magoito recorrendo a Reatores Biológicos por Membranas. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. Lisboa.

Hernandez Rojas *et al.* (2004). Role and variations of supernatant compounds in submerged membrane bioreactor fouling. *Desalination* 179, 95-107.

Industrial WaterWorld, W. (s.d.). How Advanced Self-Cleaning Technology is Unlocking Value in Food & Beverage Wastewater Treatment Applications. Estados Unidos.

INE (1991). Censos 91 - XIII Recenseamento Geral da População. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística

INE (2001). Censos 01 - XIV Recenseamento Geral da População. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística

INE (2011). Censos 2011 - XV Recenseamento Geral da População. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística

Kipper da Silva, M. (2009). Biorreatores com Membranas: uma Alternativa para o Tratamento de Efluentes. Universidade Federal do Rio Grande do sul, Escola de engenharia, Porto Alegre.

Le-Clech, P. (2010). Membrane bioreactors and their uses in wastewater treatments. *Applied Microbiology and Biotechnology*, p. 1253-1260.

Marecos, H. (2009). Perspectivas de Desenvolvimento da Reutilização de Águas Residuais em Portugal. *Indústria e ambiente*, 12-15.

Marecos, H. (2012). *Os desafios da implementação de projetos de reutilização de águas residuais em Portugal. Conclusões do workshop*. Évora.

Marecos et al. (2016). Tratamento de Águas Residuais, Operações e processos de tratamento físico e químico. Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos; Instituto Superior de Engenharia de Lisboa; Universidade da Beira Interior.

Mascarenhas, F. (2017). Tratamento de Águas Residuais pelo Processo de Membranas - Método de Cálculo. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa.

Matos, J. e Ferreira, F. (2017). *Instalações de Tratamento*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.

Messias, M. (2012). Análise da viabilidade de reutilização do efluente da ETAR de Beirolas para rega paisagística da área do Parque do Tejo. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa.

Metcalf e Eddy (2003). *Wastewater Engineering - Treatment and Reuse*. New York: International Edition: McGraw-Hill.

Monte, H. e Albuquerque, A. (2010). *Reutilização de Águas Residuais*. Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos; Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

Monteiro, A. e Matos, J. (2018). *Reutilização de Águas Residuais*. Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos; Associação para a Formação e o Desenvolvimento em Engenharia Civil e Arquitetura

Mulder, M. (1997). *Basic Principles of Membrane Technology*. Dordrecht/Boston/London: Kluwer academic publishers.

Nieuwenhuijzen *et al.* (2008). Review on the state of science on membrane bioreactors for municipal wastewater treatment. *Water Science & Technology- WST*.

SNIG: Sistema Nacional de Informação Geográfica. Base Geográfica de Referenciação da Informação

Tavares, N. (2008). Reatores Biológicos de Membranas no tratamento de águas residuais: estudo prévio – MBR compacto. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova. Lisboa

Verrecht, B., Maere, T., Nopens, I., Brepols, C., Judd, S. (2010). The cost of a large-scale hollow fibre MBR. *Water Research*.

Wilf, M. (2010). *The Guidebook to Membrane Technology for Wastewater Reclamation*. EUA: Balaban Desalination Publications.

Yoon, S., Kim, H., Yeom, I. (2003). The optimum operational condition of membrane bioreactor (MBR): cost estimation of aeration and sludge treatment. *Water Research*, p. 37-46.

Young, T., Smoot, S., Peeters, J., Côté, P. (2013). When does building an MBR make sense? How variations of local construction and operating cost parameters impact overall project economics. *Proceedings of the Water Environment Federation*.

https://www.apambiente.pt/_zdata/PPublica/ARHCentro/WS_OBJETIVOS/Apresentacao_WT3.pdf (consultado em 29/11/2018)

<http://ec.europa.eu/environment/water/reuse.htm> (consultado em 08/12/2018)

ANEXOS

LISTA DE ANEXOS

- Anexo I Análise económica dos diâmetros das condutas adutoras
- Anexo II Custos de investimento inicial. Informação consultada
- Anexo III Custos de investimento inicial. Dados obtidos
- Anexo IV Encargos de operação e manutenção. Dados obtidos

ANEXO I

ANÁLISE ECONÓMICA. SELEÇÃO DOS DIÂMETROS DAS CONDUTAS

CENÁRIO 1

1 - Dados do sistema de adução

Parâmetro	Unidade	Troço bombado		Troço gravítico	
		ETAR "A"	Reservatório "A"	Indústria	
Cota do terreno	m	418	469		434
Comprimento	m	1 081		1 959	
Desnível geométrico	m	56		33	

2 - Dados de dimensionamento

2.1 - Volumes de água disponíveis na ETAR "A"

Parâmetro	Unidade	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Tempo húmido				
Volume anual	m ³	315 360	379 600	457 856
Caudal médio diário	L/s	10.0	12.0	14.5
Tempo seco				
Volume anual	m ³	203 232	246 740	298 424
Caudal médio diário	L/s	6.4	7.8	9.5

2.2 - Caudais de dimensionamento

Parâmetro	Unidade	Troço bombado			Troço gravítico		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Caudal dimensionamento	L/s	21.3	25.6	30.9	14.2	17.1	20.6

2.3 - Volume de regularização no reservatório

Parâmetro	Unidade	Reservatório
Volume de regularização	m ³	1 100

3 - Estimativa do diâmetro economicamente mais favorável - Troço gravítico

3.1 - Gama de diâmetros comerciais possíveis

Parâmetro	Unidade	Troço gravítico		
Diâmetro Nominal	mm	160	180	200
Diâmetro interior	mm	148.4	167.0	185.6
Pressão Nominal	m.c.a.	6	6	6

3.2 - Parâmetros hidráulicos

Parâmetro	Unidade	PEAD DN160 PN6			PEAD DN180 PN6			PEAD DN200 PN6		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Caudal de dimensionamento	m ³ /dia	1 225	1 474	1 778	1 225	1 474	1 778	1 225	1 474	1 778
Velocidade de escoamento	m/s	0.8	1.0	1.2	0.6	0.8	0.9	0.5	0.6	0.8
Perda de carga unitária	m/m	0.0045	0.0065	0.0095	0.0024	0.0035	0.0050	0.0014	0.0020	0.0029
Perda de carga total	m	10.1	14.6	21.3	5.4	7.8	11.3	3.1	4.4	6.5
Pressão na indústria	m	24.9	20.4	13.7	29.6	27.2	23.7	31.9	30.6	28.5

3.3 - Custos de investimento

Parâmetro	Unidade	DN160	DN180	DN200
Construção civil da conduta gravítica	€	125 552	136 999	149 544

4 - Estimativa do diâmetro economicamente mais favorável - Troço bombado

4.1 - Gama de diâmetros comerciais possíveis

Parâmetro	Unidade	Troço bombado		
Diâmetro Nominal	mm	200	225	250
Diâmetro interior	mm	176.2	198.2	220.4
Pressão Nominal	m.c.a.	10	10	10

4.2 - Parâmetros hidráulicos

Parâmetro	Unidade	PEAD DN200 PN10			PEAD DN225 PN10			PEAD DN250 PN10		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Caudal de dimensionamento	m ³ /dia	1 837	2 211	2 667	1 837	2 211	2 667	1 837	2 211	2 667
Velocidade de escoamento	m/s	0.9	1.0	1.3	0.7	0.8	1.0	0.6	0.7	0.8
Perda de carga unitária	m/m	0.0040	0.0059	0.0085	0.0022	0.0031	0.0045	0.0012	0.0018	0.0026
Perda de carga total	m	5.0	7.3	10.6	2.7	3.9	5.6	1.5	2.2	3.2
Altura de elevação da bomba	m	61.3	63.5	66.8	58.9	60.1	61.9	57.8	58.5	59.5
Potência dos grupos da EE	kW	17.0	21.3	27.0	16.4	20.1	25.0	16.1	19.6	24.0
Energia anual consumida	kW.h	99 512	124 188	157 590	95 713	117 562	145 962	93 831	114 280	140 203

4.3 - Custos de investimento

Parâmetro	Unidade	DN200	DN225	DN250
Construção civil				
Condução elevatória	€	82 500	92 000	102 500
Estação Elevatória	€	70 000	68 000	67 500
Reservatório	€	415 000	415 000	415 000
Equipamentos				
Estação Elevatória (Ano 0)	€	160 000	156 000	154 000
Estação Elevatória (Ano 20)	€	142 000	137 500	135 000
Investimentos inicial	€	727 500	731 000	739 000
Investimentos ano 20 atualizado ao ano 0	€	44 500	43 000	42 500
Investimento total atualizado ao ano 0	€	772 000	774 000	781 500

4.4 - Encargos anuais de exploração (energia na EE)

Parâmetro	Unidade	PEAD DN200 PN10			PEAD DN225 PN10			PEAD DN250 PN10		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Consumo energético anual	€/ano	9 500	12 000	15 000	9 500	11 500	14 000	9 000	11 000	13 500

NOTA: Tarifa energética (8 horas de vazio e 8 horas de cheia) = 0.95 €/kW.h

Não se consideraram encargos de tratamento adicional na ETAR nem de manutenção, que são semelhantes para as alternativas analisadas.

4.5 - Estudo económico a taxa de atualização de 6 %

Parâmetro	Unidade	DN200	DN225	DN250
Valor atualizado líquido	€	-925 156	-922 533	-922 092

NOTA: Não se consideraram os benefícios gerados (venda da água) que são iguais nas alternativas estudadas

CENÁRIO 2

1 - Dados do sistema de adução

Parâmetro	Unidade	Troço bombado		Troço gravítico
		ETAR "B"	Reservatório "B"	Indústria
Cota do terreno	m	404	521	434
Comprimento	m	2 011		3 570
Desnível geométrico	m	122		85

2 - Dados de dimensionamento

2.1 - Volumes de água disponíveis na ETAR "B"

Parâmetro	Unidade	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Tempo húmido				
Volume anual	m ³	857 779	937 203	1 028 541
Caudal médio diário	L/s	27.2	29.7	32.6
Tempo seco				
Volume anual	m ³	620 500	682 550	752 046
Caudal médio diário	L/s	19.7	21.6	23.8

2.2 - Caudais de dimensionamento

Parâmetro	Unidade	Troço bombado			Troço gravítico		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Caudal dimensionamento	L/s	36.7	44.7	49.4	24.4	29.8	32.9

2.3 - Volume de regularização no reservatório

Parâmetro	Unidade	Reservatório
Volume de regularização	m ³	1 800

3 - Estimativa do diâmetro economicamente mais favorável - Troço gravítico

3.1 - Gama de diâmetros comerciais possíveis

Parâmetro	Unidade	Troço gravítico		
Diâmetro Nominal	mm	200	225	250
Diâmetro interior	mm	176.2	198.2	220.4
Pressão Nominal	m.c.a.	10	10	10

3.2 - Parâmetros hidráulicos

Parâmetro	Unidade	PEAD DN200 PN10			PEAD DN225 PN10			PEAD DN250 PN10		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Caudal de dimensionamento	m ³ /dia	2 111	2 576	2 846	2 111	2 576	2 846	2 111	2 576	2 846
Velocidade de escoamento	m/s	1.0	1.2	1.4	0.8	1.0	1.1	0.6	0.8	0.9
Perda de carga unitária	m/m	0.0053	0.0079	0.0097	0.0028	0.0042	0.0052	0.0016	0.0024	0.0029
Perda de carga total	m	21.9	32.6	39.8	11.7	17.4	21.3	6.6	9.9	12.1
Pressão na indústria	m	65.3	54.6	47.4	75.5	69.8	66.0	80.6	77.3	75.2

3.3 - Custos de investimento

Parâmetro	Unidade	DN200	DN225	DN250
Construção civil da conduta gravítica	€	272 473	303 854	338 360

4 - Estimativa do diâmetro economicamente mais favorável - Troço bombado

4.1 - Gama de diâmetros comerciais possíveis

Parâmetro	Unidade	Troço bombado		
Diâmetro Nominal	mm	250	280	315
Diâmetro interior	mm	204.6	229.2	257.8
Pressão Nominal	m.c.a.	16	16	16

4.2 - Parâmetros hidráulicos

Parâmetro	Unidade	PEAD DN250 PN16			PEAD DN280 PN16			PEAD DN315 PN16		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Caudal de dimensionamento	m ³ /dia	3 167	3 864	4 269	3 167	3 864	4 269	3 167	3 864	4 269
Velocidade de escoamento	m/s	1.1	1.4	1.5	0.9	1.1	1.2	0.7	0.9	0.9
Perda de carga unitária	m/m	0.0054	0.0081	0.0098	0.0030	0.0044	0.0054	0.0016	0.0023	0.0029
Perda de carga total	m	12.5	18.6	22.7	6.8	10.2	12.4	3.6	5.4	6.6
Altura de elevação da bomba	m	134.7	140.8	145.0	129.0	132.4	134.6	125.9	127.7	128.8
Potência dos grupos da EE	kW	64.6	82.4	93.7	61.9	77.4	87.0	60.3	74.7	83.3
Energia anual consumida	kW.h	377 211	481 164	547 162	361 299	452 258	508 171	352 392	436 077	486 345

4.3 - Custos de investimento

Parâmetro	Unidade	DN250	DN280	DN315
Construção civil				
Conduta elevatória	€	191 000	216 500	249 500
Estação Elevatória	€	102 500	100 500	99 000
Reservatório	€	550 500	550 500	550 500
Equipamentos				
Estação Elevatória (Ano 0)	€	290 500	282 500	278 000
Estação Elevatória (Ano 20)	€	246 000	238 000	233 500
Investimentos inicial	€	1 134 500	1 150 000	1 177 000
Investimentos ano 20 atualizado ao ano 0	€	77 000	74 500	73 000
Investimento total atualizado ao ano 0	€	1 211 500	1 224 500	1 250 000

4.4 - Encargos anuais de exploração (energia na EE)

Parâmetro	Unidade	PEAD DN250 PN16			PEAD DN280 PN16			PEAD DN315 PN16		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Consumo energético anual	€/ano	36 000	46 000	52 500	34 500	43 500	48 500	34 000	41 500	46 500

NOTA: Tarifa energética (8 horas de vazio e 8 horas de cheia) = 0.95 €/kW.h

Não se consideraram encargos de tratamento adicional na ETAR nem de manutenção, que são semelhantes para as alternativas analisadas.

4.5 - Estudo económico a taxa de atualização de 6 %

Parâmetro	Unidade	DN250	DN280	DN315
Valor atualizado líquido	€	-1 822 298	-1 802 267	-1 807 871

NOTA: Não se consideraram os benefícios gerados (venda da água) que são iguais nas alternativas estudadas

CENÁRIO 3

1 - Dados do sistema de adução

Parâmetro	Unidade	Troço bombado		Troço gravítico
		ETAR "B"	Reservatório "B"	Indústria
Cota do terreno	m	404	521	434
Comprimento	m	2 011		3 570
Desnível geométrico	m	122	85	

2 - Dados de dimensionamento

2.1 - Volumes de água disponíveis na ETAR "B"

Parâmetro	Unidade	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Tempo húmido				
Volume anual	m ³	857 779	937 203	1 028 541
Caudal médio diário	L/s	27.2	29.7	32.6
Tempo seco				
Volume anual	m ³	620 500	682 550	752 046
Caudal médio diário	L/s	19.7	21.6	23.8

2.2 - Caudais de dimensionamento

Parâmetro	Unidade	Troço bombado			Troço gravítico		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Caudal dimensionamento	L/s	14.4	17.9	17.9	9.6	11.9	11.9

2.3 - Volume de regularização no reservatório

Parâmetro	Unidade	Reservatório
Volume de regularização	m ³	700

3 - Estimativa do diâmetro economicamente mais favorável - Troço gravítico

3.1 - Gama de diâmetros comerciais possíveis

Parâmetro	Unidade	Troço gravítico		
Diâmetro Nominal	mm	140	160	180
Diâmetro interior	mm	123.4	141.0	158.6
Pressão Nominal	m.c.a.	10	10	10

3.2 - Parâmetros hidráulicos

Parâmetro	Unidade	PEAD DN140 PN10			PEAD DN160 PN10			PEAD DN180 PN10		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Caudal de dimensionamento	m ³ /dia	828	1 032	1 032	828	1 032	1 032	828	1 032	1 032
Velocidade de escoamento	m/s	0.8	1.0	1.0	0.6	0.8	0.8	0.5	0.6	0.6
Perda de carga unitária	m/m	0.0055	0.0085	0.0085	0.0027	0.0042	0.0042	0.0014	0.0022	0.0022
Perda de carga total	m	22.5	34.9	34.9	11.1	17.2	17.2	5.9	9.2	9.2
Pressão na indústria	m	64.7	52.3	52.3	76.2	70.1	70.1	81.3	78.1	78.1

3.3 - Custos de investimento

Parâmetro	Unidade	DN140	DN160	DN180
Construção civil da conduta gravítica	€	210 000	229 000	250 000

4 - Estimativa do diâmetro economicamente mais favorável - Troço bombado

4.1 - Gama de diâmetros comerciais possíveis

Parâmetro	Unidade	Troço bombado		
Diâmetro Nominal	mm	160	180	200
Diâmetro interior	mm	130.8	147.2	163.6
Pressão Nominal	m.c.a.	16	16	16

4.2 - Parâmetros hidráulicos

Parâmetro	Unidade	PEAD DN160 PN16			PEAD DN180 PN16			PEAD DN200 PN16		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Caudal de dimensionamento	m ³ /dia	1 242	1 547	1 547	1 242	1 547	1 547	1 242	1 547	1 547
Velocidade de escoamento	m/s	1.1	1.3	1.3	0.8	1.1	1.1	0.7	0.9	0.9
Perda de carga unitária	m/m	0.0090	0.0140	0.0140	0.0048	0.0075	0.0075	0.0027	0.0043	0.0043
Perda de carga total	m	20.9	32.5	32.5	11.1	17.3	17.3	6.3	9.8	9.8
Altura de elevação da bomba	m	143.1	154.7	154.7	133.4	139.5	139.5	128.6	132.1	132.1
Potência dos grupos da EE	kW	26.9	36.2	36.2	25.1	32.7	32.7	24.2	30.9	30.9
Energia anual consumida	kW.h	157 202	211 631	211 631	146 460	190 865	190 865	141 188	180 673	180 673

4.3 - Custos de investimento

Parâmetro	Unidade	DN160	DN180	DN200
Construção civil				
Conduto elevatória	€	129 000	141 000	154 000
Estação Elevatória	€	76 500	74 000	73 000
Reservatório	€	320 000	320 000	320 000
Equipamentos				
Estação Elevatória (Ano 0)	€	202 000	193 000	188 500
Estação Elevatória (Ano 20)	€	162 000	154 500	151 000
Investimentos inicial	€	727 500	728 000	735 500
Investimentos ano 20 atualizado ao ano 0	€	51 000	48 500	47 500
Investimento total atualizado ao ano 0	€	778 500	776 500	783 000

4.4 - Encargos anuais de exploração (energia na EE)

Parâmetro	Unidade	PEAD DN160 PN16			PEAD DN180 PN16			PEAD DN200 PN16		
		Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40	Ano 0	Ano 20	Ano 40
Encargos anuais de exploração	€/ano	15 000	20 500	20 500	14 000	18 500	18 500	13 500	17 500	17 500

NOTA: Tarifa energética (8 horas de vazio e 8 horas de cheia) = 0.95 €/kW.h

Não se consideraram encargos de tratamento adicional na ETAR nem de manutenção, que são semelhantes para as alternativas analisadas.

4.5 - Estudo económico a taxa de atualização de 6 %

Parâmetro	Unidade	DN160	DN180	DN200
Valor atualizado líquido	€	-1 030 109	-1 005 218	-999 681

NOTA: Não se consideraram os benefícios gerados (venda da água) que são iguais nas alternativas estudadas.

ANEXO II

**CUSTOS DE INVESTIMENTO INICIAL
(INFORMAÇÃO CONSULTADA)**

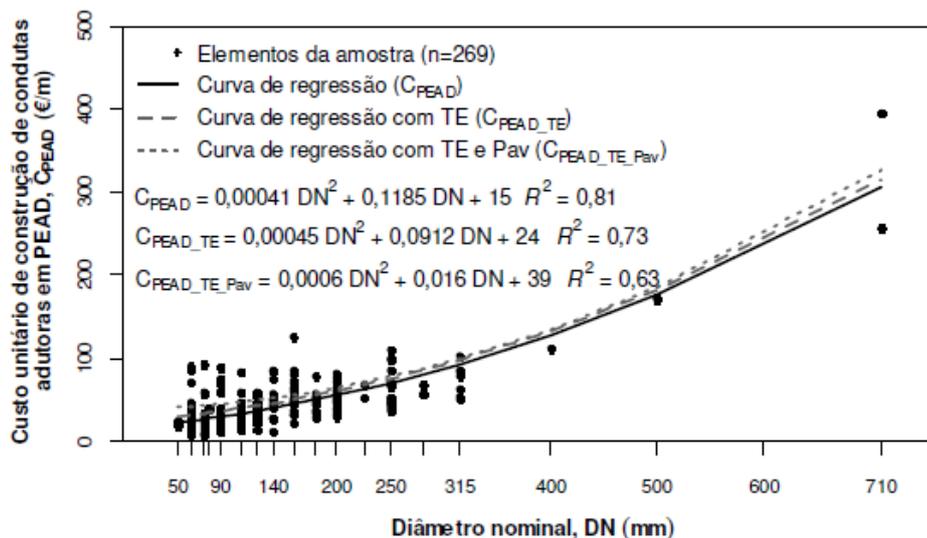


Figura 15 – Custo unitário de construção de condutas adutoras com trabalhos especiais e pavimentação em PEAD

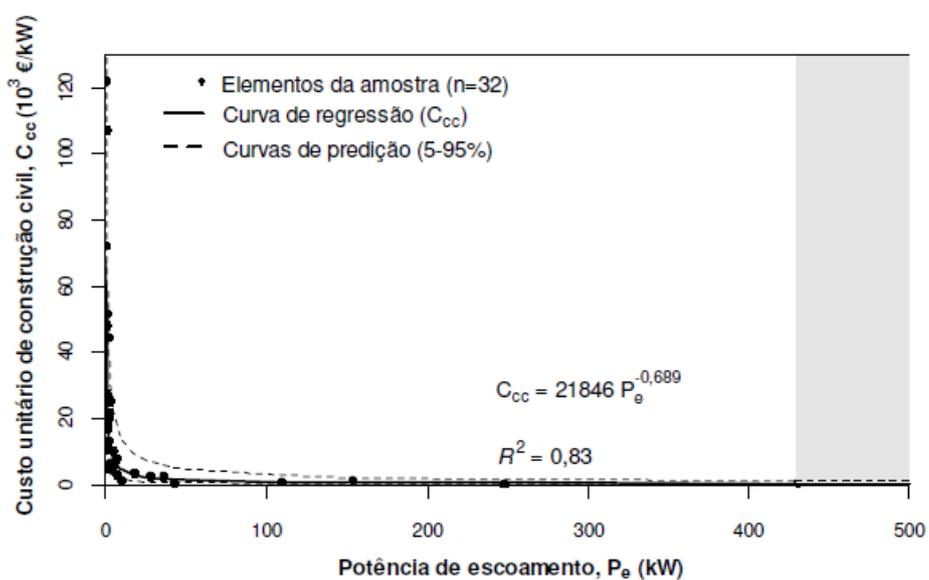


Figura 16 - Custo unitário de construção de estações elevatórias de água: construção civil

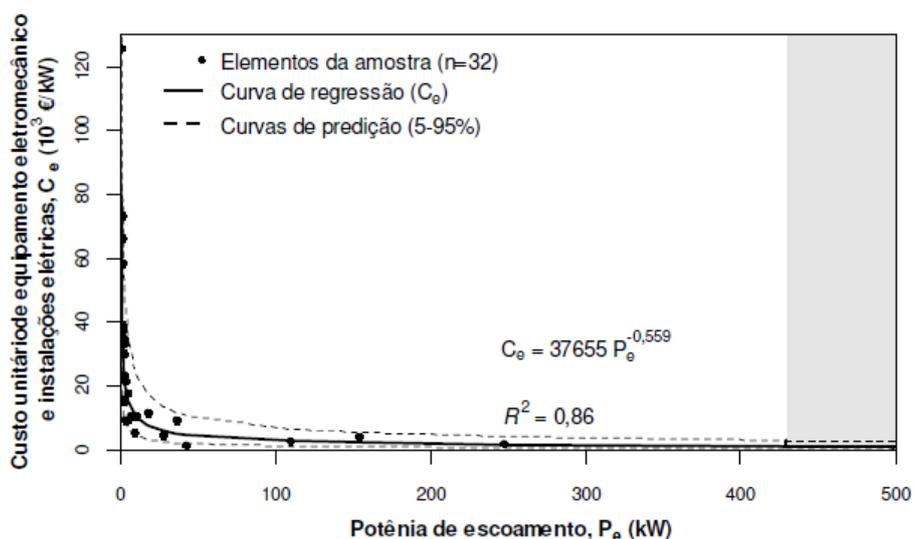


Figura 17 – Custo unitário de construção de estações elevatórias de água: equipamento eletromecânico e instalações elétricas

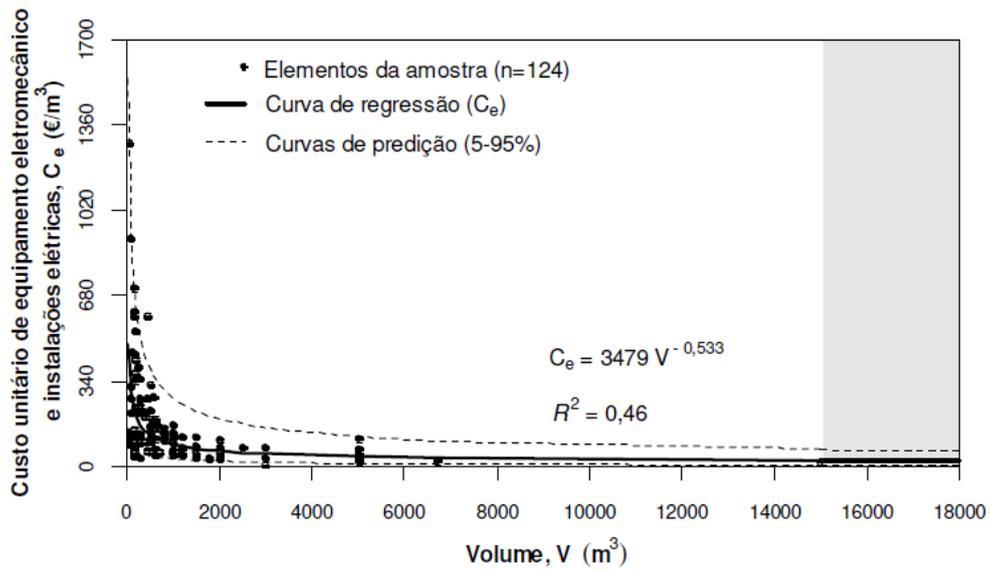


Figura 18 – Custo unitário de construção de reservatórios apoiados sem estação elevatória: equipamento eletromecânico e instalações elétricas

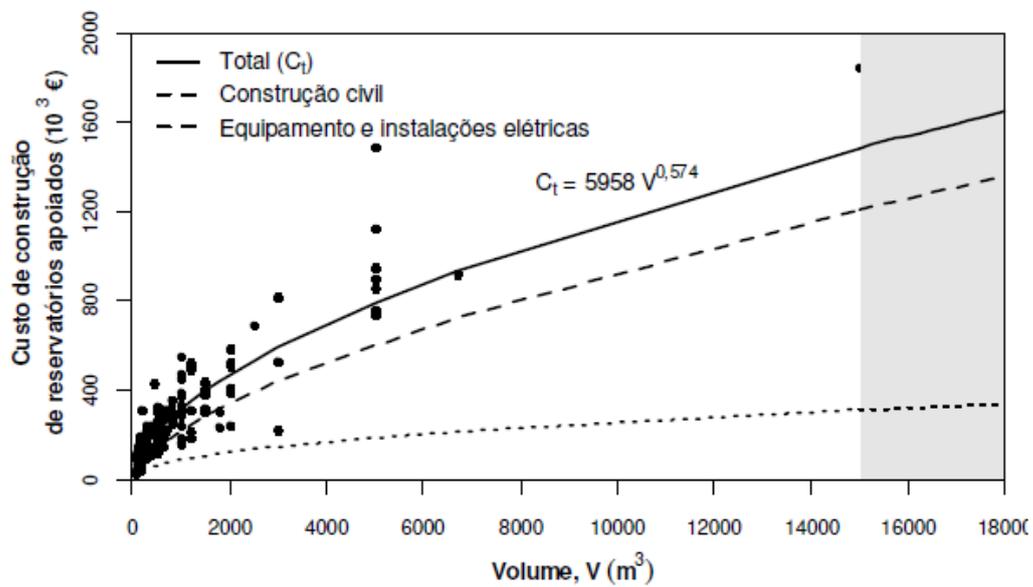


Figura 19 – Reservatórios apoiados sem estação elevatória: custo de construção

ANEXO III

**CUSTOS DE INVESTIMENTO INICIAL
(DADOS OBTIDOS)**

INVESTIMENTO INICIAL CONSIDERADO NO CENÁRIO 1

Quadro 20 – Custo de investimento da unidade MBR

Parâmetros	Unidade	ano 0	ano 20
Caudal médio que chega à ETAR	m ³ /dia	864	1 040
	m ³ /h	36.0	43.3
Caudal fornecido à indústria	m ³ /dia	778	936
Caudal a tratar para fornecer à indústria (+5% do Q _{SOLICITADO})	m ³ /dia	816	983
Caudal a tratar para uso interno (+5.5% do Q _{TOTAL AFLUENTE})	m ³ /dia	48	57
Caudal necessário a tratar (=100% Q _{AFLUENTE})	m ³ /dia	864	1 040
Caudal de dimensionamento	m ³ /dia	1 296	1 560
	(24h) m ³ /h	54	65.0
Caudal bombado para a indústria	(16h) m ³ /h	51	61.4
	(16h) m ³ /s	0.01418	0.01706
	(16h) L/s	14.2	17.1
Número de módulos de membrana	un.		6
Custo unitário do módulo de membranas	€	-	50 043
Custo total da unidade MBR a instalar na ETAR	€		300 500

Quadro 21 - Custo de investimento do reservatório de armazenamento de ART

Parâmetros	Unidade	Valor
Volume de armazenamento	m ³	965
Custo da cobertura	€	50 000
Custo dos equipamentos	€	86 500
Custo total do reservatório	€	136 500

Quadro 22 - Custo total de investimento das condutas adutoras

Parâmetro	Unidade	Conduta elevatória	Coletor gravítico
Diâmetro Nominal	mm	225	160
Custo unitário de CC + Pav	€/m	68	51
Comprimento da tubagem	m	1 080.5	1 959.3
Custo total	€	73 600	100 500

Quadro 23 - Custo de construção civil e dos equipamentos eletromecânicos da Estação Elevatória de água

Parâmetro	Unidade	Construção civil	Equipamento eletromecânico
Caudal dimensionamento	m ³ /s ; L/s	0.03087	25.6
Altura de elevação	m	61.90	60.13
Potência hidráulica	kW	18.75	15.10
Custo de construção civil	€	54 400	124 700

Quadro 24 – Custo total de investimento do reservatório de regularização

Parâmetro	Unidade	Valor
Caudal de dimensionamento	m ³ /h	111.1
Horas de armazenamento	h	8
Volume do reservatório	m ³	889
Volume Adoptado	m ³	1100
Custo total do reservatório	€	331 800

INVESTIMENTO INICIAL CONSIDERADO NO CENÁRIO 2

Quadro 25 – Custo de investimento da unidade MBR

Parâmetros	Unidade	ano 0	ano 20
Caudal médio que chega a ETAR (24h/dia)	m ³ /dia	2 350	2 568
	m ³ /h	97.9	107.0
Caudal solicitado pelas indústrias	m ³ /dia	1 279	1 561
Caudal necessário fornecer as indústrias (+10% do Q _{SOLICITADO})	m ³ /dia	1 407	1 717
Caudal a usar na própria ETAR (+5% do Q _{TOTAL AFLUENTE})	m ³ /dia	118	128
Caudal necessário a tratar	m ³ /dia	1 525	1 846
Caudal de dimensionamento	m ³ /dia	2 287	2 769
	(24h) m ³ /h	95	115.4
Caudal bombado para as indústrias	(16h) m ³ /h	117	143.1
	(16h) m ³ /s	0.03258	0.03975
	(16h) L/s	32.6	39.8
Número de módulos de membrana	un.		8
Custo do módulo de membranas	€	-	80 000
Custo do sistema MBR a instalar na ETAR	€		640 000

Quadro 26 - Custo de investimento do reservatório de armazenamento de ART

Parâmetros	Unidade	Valor
Volume de armazenamento (x1.5)	m ³	200
Custo da construção civil	€	78 200
Custo dos equipamentos instalados	€	41 400
Custo total do reservatório	€	149 500

Quadro 27 - Custo total de investimento das condutas adutoras

Parâmetro	Unidade	Conduta elevatória	Coletor gravítico
Diâmetro Nominal	mm	280	225
Custo unitário de CC + Pav	€/m	86	68
Comprimento da tubagem	m	2 011.4	3 569.9
Custo total	€	173 100	243 100

Quadro 28 - Custo de construção civil e dos equipamentos eletromecânicos da Estação Elevatória de água

Parâmetro	Unidade	Construção civil	Equipamento eletromecânico
Caudal dimensionamento	m ³ /s ; L/s	0.04941	44.7
Altura de elevação	m	134.63	132.39
Potência hidráulica	kW	65.26	58.08
Custo de construção civil	€	80 200	225 900

Quadro 29 – Custo total de investimento do reservatório de regularização

Parâmetro	Unidade	Valor
Caudal de dimensionamento	m ³ /h	177.9
Horas de armazenamento	h	8
Volume do reservatório	m ³	1 423
Volume Adoptado	m ³	1 800
Custo total do reservatório	€	440 200

INVESTIMENTO INICIAL CONSIDERADO NO CENÁRIO 3

Quadro 30 – Custo de investimento da unidade MBR

Parâmetros	Unidade	ano 0	ano 20
Caudal médio que chega a ETAR (24h/dia)	m ³ /dia	2 350	2 568
	m ³ /h	97.9	107.0
Caudal solicitado pelas indústrias	m ³ /dia	502	625
Caudal necessário fornecer as indústrias (+10% do Q _{SOLICITADO})	m ³ /dia	552	688
Caudal a usar na própria ETAR (+5% do Q _{TOTAL AFLUENTE})	m ³ /dia	118	128
Caudal necessário a tratar	m ³ /dia	670	816
Caudal de dimensionamento	m ³ /dia	1 004	1 224
	(24h) m ³ /h	42	51.0
Caudal bombado para as indústrias	(16h) m ³ /h	46	57.3
	(16h) m ³ /s	0.01278	0.01592
	(16h) L/s	12.8	15.9
Número de módulos de membrana	un.		4
Custo do módulo de membranas	€	-	80 000
Custo do sistema MBR a instalar na ETAR	€		320 000

Quadro 31 - Custo de investimento do reservatório de armazenamento de ART

Parâmetros	Unidade	Valor
Volume de armazenamento (x1.5)	m ³	200
Custo da construção civil	€	78 200
Custo dos equipamentos instalados	€	41 400
Custo total do reservatório	€	149 500

Quadro 32 - Custo total de investimento das condutas adutoras

Parâmetro	Unidade	Conduta elevatória	Coletor gravítico
Diâmetro Nominal	mm	180	140
Custo unitário de CC + Pav	€/m	56	47
Comprimento da tubagem	m	2 011.4	3 569.9
Custo total	€	112 600	168 000

Quadro 33 - Custo de construção civil e dos equipamentos eletromecânicos da Estação Elevatória de água

Parâmetro	Unidade	Construção civil	Equipamento eletromecânico
Caudal dimensionamento	m ³ /s ; L/s	0.01791	17.9
Altura de elevação	m	139.52	139.52
Potência hidráulica	kW	24.51	24.51
Custo de construção civil	€	59 100	154 400

Quadro 34 – Custo total de investimento do reservatório de regularização

Parâmetro	Unidade	Valor
Caudal de dimensionamento	m ³ /h	70.3
Horas de armazenamento	h	8
Volume do reservatório	m ³	563
Volume Adoptado	m ³	700
Custo total do reservatório	€	256 000

RESUMO DOS INVESTIMENTOS INICIAIS CONSIDERADOS PARA CADA CENÁRIO EQUACIONADO

Quadro 35 - Investimento inicial de execução do circuito equacionados

Parâmetro	Unidade	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	
		PEAD DN225 PN10 PEAD DN160 PN6	PEAD DN280 PN16 PEAD DN225 PN10	PEAD DN225 PN10 PEAD DN160 PN6	PEAD DN180 PN16 PEAD DN140 PN10
Unidade MBR	€	300 500	640 000	300 500	320 000
Desinfecção final (cloragem)	€	30 000	30 000	30 000	30 000
Reservatório de efluente tratado	€	136 500	149 500	136 500	149 500
Estação elevatória					
Construção civil	€	54 400	80 200	54 400	59 100
Equipamento	€	124 700	225 900	124 700	154 400
Conduto elevatória	€	73 600	173 100	73 600	112 600
Reservatório de regularização	€	331 800	440 200	331 800	256 000
Conduto gravítica	€	100 500	243 100	100 500	168 000
Investimento inicial	€	1 152 000	1 982 000	1 152 000	1 249 600

ANEXO IV

**ENCARGOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO
(DADOS OBTIDOS)**

ENCARGOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Quadro 36 – Encargos de manutenção com a implementação do Cenário 1

Parâmetro	Unidade	ETAR "A" - Indústria	
		Ano 0	Ano 20
Volume tratado pelo sistema MBR	m ³	312 732	
Custo do sistema MBR	€/ano	37 600 €	
Desinfecção final por cloragem	€/ano	2 000 €	
Capacidade do RES_RECINTO	m ³	965	
Custo do RES_RECINTO	€/ano	2 800 €	
Comprimento total das condutas	km	3.040	
Custo total das condutas	€/ano	5 200 €	
Capacidade do RES_REGULARIZAÇÃO	m ³	1 100	
Custo do RES_REGULARIZAÇÃO	€/ano	3 000 €	
Caudal elevado pela EE	m ³ /dia	778	936
Altura manométrica da EE	m	59	60
Custo da estação elevatória	€/ano	16 000 €	18 400 €
TOTAL	€/ano	66 600 €	69 000 €

Quadro 37 – Encargos de manutenção com a implementação do Cenário 2

Parâmetro	Unidade	ETAR "B" - Indústria	
		Ano 0	Ano 20
Volume tratado pelo sistema MBR	m ³	518 422	
Custo do sistema MBR	€/ano	62 300 €	
Desinfecção final por cloragem	€/ano	3 500 €	
Capacidade do RES_RECINTO	m ³	200	
Custo do RES_RECINTO	€/ano	1 700 €	
Comprimento total das condutas	km	5.6	
Custo total das condutas	€/ano	9 500 €	
Capacidade do RES_REGULARIZAÇÃO	m ³	1 800	
Custo do RES_REGULARIZAÇÃO	€/ano	3 500 €	
Caudal elevado pela EE	m ³ /dia	1 279	1 561
Altura manométrica da EE	m	129	132
Custo da estação elevatória	€/ano	32 500 €	37 900 €
TOTAL	€/ano	113 000 €	118 400 €

Quadro 38 - Encargos de manutenção com a implementação do Cenário 3

Parâmetro	Unidade	ETAR "A" - Indústria		ETAR "B" - Indústria	
		Ano 0	Ano 20	Ano 0	Ano 20
Volume tratado pelo sistema MBR	m ³	312 732		518 422	
Custo do sistema MBR	€/ano	37 600 €		62 300 €	
Desinfecção final por cloragem	m ³	2 000		1 600	
Capacidade do RES_RECINTO		965		200	
Custo do RES_RECINTO	€/ano	2 800 €		1 700 €	
Comprimento total das condutas	km	3.0		5.6	
Custo total das condutas	€/ano	5 200 €		9 500 €	
Capacidade do RES_REGULARIZAÇÃO	m ³	1 100		700	
Custo do RES_REGULARIZAÇÃO	€/ano	3 000 €		2 500 €	
Caudal elevado pela EE	m ³ /dia	778	936	502	625
Altura manométrica da EE	m	59	60	133	140
Custo da estação elevatória	€/ano	16 000 €	18 400 €	17 000 €	20 300 €
TOTAL	€/ano	66 600 €	69 000 €	94 600 €	97 900 €