



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE QUÍMICA



Avaliação Técnica e Económica de Sistemas de Ventilação e/ou Desodorização em ETAR

MÓNICA ALEXANDRA MENDES PIRES
Licenciada em Eng^a Química e Biológica

Trabalho Final de Mestrado para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia da Qualidade e Ambiente

Orientadora

Professora Doutora Ana Maria Garcia Henriques Barreiros Joanaz de Melo

Júri

Presidente: Professora Doutora Isabel Maria da Silva João
Vogais: Professor Doutor Ricardo Manuel Nunes Salgado
Professora Doutora Ana Maria Garcia Henriques Barreiros Joanaz de Melo

Fevereiro de 2022

Resumo

As Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) são instalações que contribuem para a remediação ambiental e promovem a sustentabilidade ambiental, no entanto apresentam alguns impactes ambientais indesejados, sendo frequentemente fontes de emissão de odores e apresentando elevados consumos energéticos.

Efetuiu-se uma avaliação técnica e económica do sistema de remoção de odores da ETAR de Castelo Branco de modo a avaliar a possibilidade de otimização energética e minimizar os odores, garantindo as condições de higiene e segurança nos locais de trabalho, nomeadamente nos edifícios fechados da ETAR. Analisou-se a configuração inicial e as alterações efetuadas à mesma de uma perspetiva de custos e de emissão de odores, tendo sido comparados os custos de investimento e de operação, bem como as emissões de H_2S antes e depois da alteração.

Estima-se que a configuração atual represente uma poupança de cerca de 276.000,00 € no custo total no fim do horizonte de projeto, correspondentes a 17% deste custo, garantindo os valores de H_2S pretendidos, com um retorno do investimento em menos de 1 ano. Estima-se ainda uma redução na pegada de carbono de 1.171,50 toneladas de CO_2 no mesmo período, representando uma redução de 60% relativamente ao previsto para a configuração inicial.

Foi ainda proposta uma solução alternativa, utilizando ventiladores dedicados a cada órgão, ao invés de ventilar todo o interior dos edifícios, sendo possível ter um sistema de desodorização de menor dimensão prevendo também uma redução significativa nos custos.

Palavras-chave ETAR, Odor, Sulfureto de Hidrogénio, Desodorização, Ventilação

Abstract

Wastewater Treatment Plants (WWTP) are facilities that contribute to environmental remediation and promote environmental sustainability but might have some environmental impact being frequently source of odour emissions and having a high energy consumption.

A technical and economic evaluation of the Castelo Branco WWTP's odor removal system was done in order to assess the possibility of energy optimization and minimize odors, ensuring hygiene and safety conditions in the workplace, namely in the indoor buildings of the WWTP. The initial configuration and the changes made to it were analyzed from a cost and odor emission perspective, comparing investment and operating costs, as well as H₂S emissions before and after the change.

It is estimated that the current configuration represents a saving of around €276,000.00 in the total cost at the end of the project horizon, equivalent to 17% of this cost, guaranteeing the intended values of H₂S, with a return on investment in less than 1 year. It is also estimated a reduction in the carbon footprint of 1,171.50 tons of CO₂ in the same period, representing a reduction of 60% compared to the forecast for the initial configuration.

An alternative solution was also proposed, using fans dedicated to each organ, instead of ventilating the entire interior of buildings, making it possible to have a smaller deodorization system, also providing for a significant reduction in costs.

Keywords Wastewater Management Plant, Hydrogen Sulphide, Odour, Deodorization, Ventilation

Lista de acrónimos

De modo a simplificar a leitura deste documento, lista-se de seguida todos os símbolos e acrónimos utilizados no mesmo.

Acrónimo	Significado
-----------------	--------------------

ACB	Análise de Custo-Benefício
AOV	Ácidos Orgânicos Voláteis
AR	Água Residual
ASTM	Sociedade Americana para Testes e Materiais (<i>American Society for Testing and Materials</i>)
CBO ₅	Carência Bioquímica de Oxigénio
CAPEX	Custos de Investimento (<i>Capital Expenditure</i>)
CEN	Comité Europeu de Normalização
CLMD	Concentração Limiar Mínima Detetável
CM	Concentração Máxima
CP	Curto Período de Exposição
CQO	Carência Química de Oxigénio
D/T	Limite de Detetabilidade (<i>Detectability Threshold</i>)
EBRT	Tempo de Residência (<i>Empty Bed Residence Time</i>)
EROM	Unidade de Odor Europeia de Referência (<i>European Reference Odour Mass</i>)
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
HP	Horizonte de Projeto
LOAEL	Nível Mínimo Com Efeitos Adversos Observados (<i>Lowest Observed Adverse Effect Level</i>)
MP	Média Ponderada
NAC	Nível Admissível de Concentração
NOAEL	Nível Sem Efeitos Adversos Observados (<i>No Observed Adverse Effect Level</i>)
OPEX	Custos Operacionais (<i>Operational Expenditure</i>)
PTN	Condições de Pressão e Temperatura Normais
SST	Sólidos Suspensos Totais
STEL	Limite de Exposição de Curta Duração (<i>Short Term Exposure Limit</i>)

Acrónimo **Significado**

TWA	Média Ponderada no Tempo (<i>Time Weighted Average</i>)
VCP	Valor de Concentração Perigosa
VME	Valor Médio de Exposição
VLE	Valor Limite de Exposição
VLE-CD	Valor Limite de Exposição de Curta Duração
VLE-MP	Valor Limite de Exposição para a Média Ponderada
WWTP	Estação de Tratamento de Águas Residuais (<i>Wastewater Treatment Plant</i>)

Agradecimentos

Este trabalho de projeto é mais do que uma etapa na conclusão de um mestrado. É também o resultado de uma jornada que não teria sido possível sem o apoio de algumas pessoas.

Agradeço à Professora Doutora Ana Maria Barreiros, pela ajuda, dedicação e orientação durante este projeto.

À Engenheira Lisete Epifâneo, da Direção de Engenharia da EPAL, um agradecimento pelo acompanhamento, disponibilidade e pela grande ajuda no fornecimento dos dados necessários à conclusão deste trabalho.

Um agradecimento também à Engenheira Susana Figueiredo, das Águas do Centro, por nos ter guiado na visita técnica à ETAR de Castelo Branco e por toda a disponibilidade e ajuda na obtenção dos dados necessários à elaboração deste trabalho.

Por fim, um agradecimento aos meus pais e avó, pelo apoio e incentivo ao longo de todo este percurso.

“...as pessoas podiam fechar os olhos diante da grandeza, do assustador, da beleza, e podiam tapar os ouvidos diante da melodia ou de palavras sedutoras. Mas não podiam escapar ao aroma. Pois o aroma é um irmão da respiração - ele penetra nas pessoas, elas não podem escapar-lhe caso queiram viver. E bem para dentro delas é que vai o aroma, diretamente para o coração, distinguindo lá categoricamente entre atração e menosprezo, nojo e prazer, amor e ódio. Quem dominasse os odores dominaria o coração das pessoas.”

in O Perfume (Suskind, 2015)

Índice

Resumo	i
Abstract	ii
Lista de acrónimos	iii
Agradecimentos	v
Índice	vii
Lista de tabelas	ix
Lista de figuras	xi
1 Enquadramento teórico	1
1.1 Objetivos e metodologia	2
1.2 Funcionamento de uma ETAR	2
1.3 Origem e propagação dos odores numa ETAR	4
1.4 Caracterização e monitorização dos odores emitidos numa ETAR	6
1.4.1 Amoníaco	16
1.4.2 Sulfureto de hidrogénio	16
1.4.3 Mercaptano de metilo	17
2 Tecnologias de redução e remoção de odores	18
2.1 Controlo das emissões de odores e ventilação	21
2.1.1 Minimização, contenção e ventilação	21
2.2 Processos físico-químicos	24
2.2.1 Absorção	24
2.2.2 Adsorção	27
2.2.3 Combustão	28
2.2.4 Oxidação não térmica	30
2.3 Processos biológicos	30
2.3.1 Tratamento biológico na linha de água	32
2.3.2 Biofiltros	32
2.4 Visão global das várias tecnologias de tratamento	32

3	Análise Financeira e Económica	35
3.1	Análise financeira	35
3.2	Análise económica	36
4	Caso de estudo - ETAR de Castelo Branco	38
4.1	Tratamento da fase líquida	40
4.2	Tratamento da fase sólida	42
4.3	Tratamento da fase gasosa	43
4.3.1	Caudal de ar a tratar	44
4.3.2	Configuração inicial	48
4.3.3	Configuração atual	52
4.4	Estimativa de custos na ETAR de Castelo Branco	54
5	Análise técnico-económica	56
5.1	Configuração inicial	56
5.1.1	Custos de investimento da configuração inicial	56
5.1.2	Custos de operação com a configuração inicial	56
5.1.3	Medições de H ₂ S com a configuração inicial	57
5.2	Configuração atual	58
5.2.1	Custos de investimento do <i>By-Pass</i>	59
5.2.2	Custo de operação da configuração atual	59
5.2.3	Medições de H ₂ S com a configuração atual	62
5.3	Análise comparativa	62
5.3.1	Análise financeira e económica	62
5.4	Riscos associados à configuração atual	64
5.5	Solução alternativa	65
6	Conclusões	67
	Bibliografia	69
	Anexos	73

Lista de tabelas

Tabela 1.1	Identificação dos locais libertadores de odor e respetivo potencial odorífico	5
Tabela 1.2	Caraterísticas dos principais compostos odoríficos numa ETAR	13
Tabela 2.1	Métodos para controlo e tratamento de gases odoríficos em sistemas de gestão de efluentes	19
Tabela 2.2	Fatores específicos de emissão	23
Tabela 2.3	Fatores de segurança	24
Tabela 2.4	Critérios de dimensionamento de torres de lavagem química com meio de enchimento em contracorrente	26
Tabela 2.5	Parâmetros de dimensionamento para biofiltros e depuradores biológicos	31
Tabela 2.6	Eficiências de remoção de poluentes por tecnologia de desodorização	33
Tabela 2.7	Custos de exploração para as várias tecnologias de desodorização	33
Tabela 3.1	Horizontes temporais por setor de atividade	36
Tabela 4.1	População equivalente da ETAR de Castelo Branco	38
Tabela 4.2	Caudais de entrada na ETAR	39
Tabela 4.3	Caudais de ar para o sistema de desodorização inicial	45
Tabela 4.4	VLE considerados em edifícios com acesso regular de pessoal	48
Tabela 4.5	VLE considerados em edifícios sem acesso regular de pessoal	48
Tabela 4.6	Caraterísticas dos ventiladores	50
Tabela 4.7	Critérios de dimensionamento da configuração inicial	51
Tabela 4.8	Custos unitários de energia e reagentes	54
Tabela 4.9	Custos com reagentes e energia	55
Tabela 5.1	Frequência de funcionamento programada nos ventiladores	59
Tabela 5.2	Conversão da frequência de funcionamento programada nos ventiladores	61

Tabela 5.3	Dados a considerar na análise financeira	63
------------	--	----

Lista de figuras

Figura 2.1	Esquema de um sistema de absorção para remoção de odores	25
Figura 2.2	Esquema de um sistema de adsorção com carvão ativado para remoção de odores	28
Figura 2.3	Esquema de um sistema de combustão térmica	29
Figura 2.4	Esquema de um sistema de combustão catalítica	30
Figura 4.1	Plano geral da ETAR de Castelo Branco	40
Figura 4.2	Esquema da linha de fase líquida na ETAR de Castelo Branco	41
Figura 4.3	Esquema da linha de fase sólida na ETAR de Castelo Branco	42
Figura 4.4	Ventiladores da ETAR de Castelo Branco	49
Figura 4.5	Desodorização da ETAR de Castelo Branco	51
Figura 4.6	<i>By-pass</i> instalado na ETAR de Castelo Branco	52
Figura 4.7	Esquema da desodorização da ETAR de Castelo Branco .	53
Figura 5.1	Frequência de funcionamento dos ventiladores para a configuração inicial (Hz)	57
Figura 5.2	Variação da Concentração de H ₂ S (ppm) em função do tempo de funcionamento sem <i>by-pass</i>	59
Figura 5.3	Frequência de funcionamento dos ventiladores para a configuração atual (Hz)	60
Figura 5.4	Curva típica do ventilador	61
Figura 5.5	Medição de H ₂ S para a configuração atual	63
Figura 5.6	Evolução do CAPEX(a) e OPEX(b) para as configurações inicial e atual	64
Figura 5.7	Comparação entre os custos das configurações inicial e atual	64

Capítulo 1

Enquadramento teórico

As Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) são instalações essenciais na remediação ambiental, no entanto podem apresentar alguns inconvenientes, nomeadamente na emissão de odores, na ocorrência de resíduos sólidos que necessitam de tratamento posterior e por norma têm associados elevados custos energéticos.

Relativamente aos custos energéticos, estes devem ser uma preocupação a considerar: de acordo com a Agência Internacional da Energia (AIE), o setor das águas é responsável por 4% do consumo mundial de eletricidade, estimando-se que este valor duplique até 2040. Em Portugal, este setor tem um consumo de energia correspondente a mais de 2% do consumo total de energia elétrica, tendo associada a emissão de mais de 470 mil toneladas de CO₂, com um consumo de energia elétrica superior a 1.000 GWh/ano (ERSAR, 2018). Ainda de acordo com Henriques e Catarino (2015), em Portugal as ETAR mostram um potencial de poupança, podendo aumentar a eficiência energética com algumas alterações às condições operacionais.

Os odores produzidos numa ETAR (como o amoníaco, o sulfureto de hidrogénio ou o mercaptano de metilo), além de serem poluentes atmosféricos e, consequentemente um problema ambiental, são também um problema social conduzindo, especialmente nas zonas próximas das ETAR, a um crescente número de reclamações e, como tal, são uma questão cada vez mais a considerar durante o dimensionamento do projeto de uma ETAR (Lewkowska, Cieslik, Dymerski, e Konieczka, 2016).

Devem ainda ser tidos em consideração os efeitos nocivos que estes poluentes podem ter, tanto a nível de corrosão nos equipamentos, como a nível de saúde e segurança no trabalho, sendo por isso necessário assegurar a qualidade do ar interior nos edifícios cobertos da ETAR (Marecos do Monte, Barreiros, Santos, e Albuquerque, 2016).

1.1 Objetivos e metodologia

Este trabalho final de mestrado tem como principal objetivo efetuar uma avaliação técnica e económica das medidas de minimização e tratamento de odores implementadas numa ETAR, através da análise dos custos de investimento e operacionais, bem como da emissão de odores para cada uma das soluções apresentadas, assegurando a qualidade do ar interior nos edifícios cobertos, tendo por base o caso particular da ETAR de Castelo Branco.

Tendo por base a solução de ventilação e desodorização implementada na ETAR em estudo e as alterações efetuadas posteriormente, utilizando como referência a memória descritiva bem como elementos do projeto, pretende-se com este trabalho efetuar uma comparação entre a configuração inicial e a implementada após a alteração que foi efetuada e comparar os custos e eficiência de cada uma das possibilidades, e ainda compreender se é possível otimizar o tratamento atualmente em vigor, do ponto de vista técnico e energético.

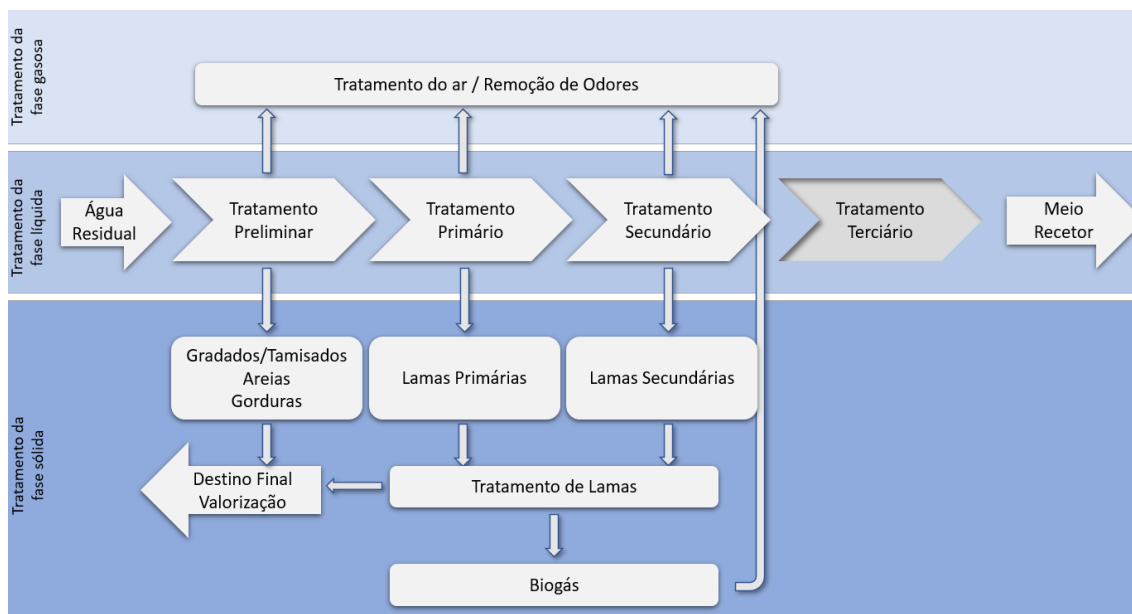
Também de um ponto de vista económico, pretende-se analisar o esquema de tratamento inicial, considerando os custos de investimento e de operação, e efetuar uma comparação com o esquema após a alteração, de modo a verificar se, otimizando tecnicamente o sistema de ventilação, é possível manter os níveis de qualidade do ar interior, minimizando a corrosão dos equipamentos.

1.2 Funcionamento de uma ETAR

Uma ETAR é, de um modo geral, constituída por operações e processos unitários. Nas operações unitárias existe uma remoção física dos poluentes, enquanto que nos processos unitários esta remoção ocorre essencialmente por via química e biológica. Estas operações e processos organizam-se em fileiras de tratamento para tratar as fases líquida, sólida e gasosa (Marecos do Monte et al., 2016).

Ainda de acordo com (Marecos do Monte et al., 2016), o tratamento de fase líquida pode dividir-se em cinco fases: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário, tratamento terciário e tratamento avançado, como esquematizado na Figura 1.1.

O tratamento preliminar consiste numa série de operações que visam a remoção de sólidos grosseiros, areias e gorduras que podem prejudicar as fases seguintes ou mesmo danificar os equipamentos. Pode ainda ocorrer uma normalização de caudais ou de carga de poluentes (Marecos do Monte et al., 2016).



(Adaptada de Marecos do Monte et al., 2016)

Figura 1.1: Esquema resumido de uma ETAR

No tratamento primário o objetivo é remover as partículas sólidas em suspensão, através de qualquer processo físico e químico que envolva a decantação destas ou por outros processos em que a matéria orgânica biodegradável (medida através da CBO_5) seja reduzida em pelo menos 20% antes da descarga e o total de partículas sólidas (SST) seja reduzido em pelo menos 50% (Decreto-Lei n.º 152/97; Marecos do Monte et al., 2016).

Já o tratamento secundário tem como objetivo a redução da matéria orgânica biodegradável dissolvida ou em suspensão coloidal ainda existente, envolvendo geralmente um tratamento biológico com decantação secundária ou outro processo que permita respeitar os valores da legislação em vigor. Pode ainda incluir a remoção de fósforo e azoto em áreas sensíveis (Decreto-Lei n.º 152/97; Marecos do Monte et al., 2016).

O tratamento terciário ou avançado é normalmente específico para cada uso do meio recetor e da qualidade prevista para o mesmo e serve como complemento das etapas anteriores (Marecos do Monte et al., 2016).

Do tratamento da fase líquida resultam resíduos sólidos originados em cada operação que necessitam de tratamento posterior ou ser encaminhados a um destino final adequado, nomeadamente os gradados, areias ou gorduras, com origem na fase de tratamento preliminar e lamas e flotados com origem nas fases seguintes (Marecos do Monte et al., 2016).

No caso dos gradados, e após a remoção da água destes resíduos, os mesmos são geralmente encaminhados a entidades gestoras de resíduos sólidos. No caso das areias, após serem lavadas, estas podem ser valorizadas ou então destinadas a aterro. Já as lamas, compostas por um elevado teor de matéria orgânica, podem ser sujeitas a digestão anaeróbia, ou até mesmo digestão aeróbia, compostagem ou estabilização química, podendo ainda ser utilizadas como fertilizante em terrenos agrícolas ou corretor de solos, de acordo com o Decreto-Lei n.º 276/2009 (Marecos do Monte et al., 2016).

Relativamente ao tratamento da fase gasosa, o tema será abordado em maior detalhe de seguida, no entanto importa referir que o mesmo tem como objetivo a remoção dos gases, quer os presentes na água residual quer os originados no próprio tratamento, evitando os efeitos nocivos que os mesmos podem ter tanto a nível de corrosão de equipamentos, saúde, efeito de estufa ou simplesmente na produção de odores intensos e desagradáveis (Marecos do Monte et al., 2016).

1.3 Origem e propagação dos odores numa ETAR

Numa ETAR, os odores emitidos podem ter origem na própria ETAR, como resultado das unidades de tratamento, bem como ser originados no sistema de drenagem de águas residuais com origem na decomposição anaeróbia de matéria orgânica biodegradável existente na rede de drenagem (Fan, Xu, Wang, e Meng, 2020; NP EN 12255-9:2007, 2007).

Os odores formados são transportados com o escoamento e eventualmente libertados para a atmosfera em locais de turbulência ou onde a interface água-ar seja extensa. No caso dos odores formados na rede de drenagem estes têm tendência para ser libertados durante o processo de gradagem, desarenação ou até mesmo durante a decantação primária (Fan et al., 2020; NP EN 12255-9:2007, 2007).

Já no caso dos odores gerados nas unidades de processamento da ETAR, estes têm tendência a ocorrer essencialmente nos processos de tratamento de lamas, especialmente durante a recirculação e transporte das lamas produzidas no espessamento ou na desidratação de lamas (Fan et al., 2020; NP EN 12255-9:2007, 2007).

Apresentam-se na Tabela 1.1 a origem e motivo dos odores que ocorrem em cada etapa de uma ETAR, bem como o seu potencial odorífico (Antunes e Mano, 2004):

Tabela 1.1: Identificação dos locais libertadores de odor e respetivo potencial odorífico

Local	Origem	Potencial Odorífico
Obra de entrada	Libertação de compostos odoríficos gerados no sistema de recolha e drenagem de águas residuais devido à turbulência nos canais e em pontos de transição	Elevado
Gradagem	Libertação de compostos odoríficos a partir da matéria putrescível removida nas grades	Elevado
Remoção de areia	Libertação de compostos odoríficos devido à remoção de matéria orgânica com a areia	Elevado
Tanques de equalização	Libertação de compostos odoríficos devido à acumulação de escumas e sólidos sedimentados	Elevado
Receção dos conteúdos das fossas sépticas	Libertação de compostos odoríficos	Elevado
Retorno de escorrências	Libertação de compostos odoríficos a partir das escorrências associadas aos processos de tratamento de lamas	Elevado
Decantação primária	Libertação de compostos odoríficos no espelho de água e nos descarregadores associados à presença de matéria orgânica em decomposição	Moderado / Elevado
Processos biológicos por biomassa fixa	Septicidade devido à oxigenação insuficiente, elevada carga orgânica, ou colmatação do meio filtrante	Moderado / Elevado
Tanques de arejamento	Lamas recirculadas em estado séptico, caudais de escorrências odoríficas, elevada carga orgânica, mistura deficiente, oxigénio dissolvido insuficiente, deposição de sólidos	Baixo / Moderado
Decantação secundária	Libertação de compostos odoríficos devido à presença de escumas e lamas	Baixo / Moderado
Espessamento, tanques de retenção de sólidos	Libertação de compostos odoríficos associados à presença de sólidos e de escumas na superfície dos órgãos, nos defletores e caleiras, à turbulência nos defletores e caleiras, ao aumento da temperatura	Moderado / Elevado
Digestão anaeróbia	Libertação generalizada de compostos odoríficos	Moderado / Elevado

Tabela 1.1: Identificação dos locais libertadores de odor e respetivo potencial odorífico (continuação)

Local	Origem	Potencial Odorífico
Armazenamento de lamas	Libertação de compostos odoríficos associada a uma mistura deficiente ou inexistente e à ocorrência de escumas	Moderado / Elevado
Desidratação mecânica	Libertação de compostos odoríficos a partir dos sólidos desidratados devido ao teor de matéria putrescível. A adição de químicos promove a libertação de amoníaco	Moderado / Elevado
Trasfega de lamas	Libertação de compostos odoríficos durante a trasfega das lamas armazenadas para os veículos de transporte	Elevado
Instalações de compostagem	Libertação de compostos odoríficos a partir dos sólidos compostados devido ao arejamento insuficiente e/ou à ventilação inadequada	Elevado
Estabilização química	Libertação de compostos odoríficos a partir dos sólidos estabilizados devido à produção de amoníaco resultante da reação com a cal	Moderado
Leitos de secagem de lamas	Libertação de compostos odoríficos a partir dos sólidos desidratados devido ao excesso de matéria putrescível e/ou à estabilização insuficiente	Moderado / Elevado

(Adaptada de Metcalf & Eddy, 2013)

1.4 Caracterização e monitorização dos odores emitidos numa ETAR

As ETAR são fontes de emissões gasosas que vão desde gases com efeito de estufa a compostos odoríficos que podem causar problemas a nível de saúde e segurança dos trabalhadores da ETAR, corrosão dos equipamentos gerada por estes gases ou mesmo queixas de população com origem no incómodo causado.

Os odores emitidos numa ETAR, apesar de não representarem um risco direto para as populações próximas, são uma questão de uma grande relevância dado que estes podem tornar-se um problema ambiental e social, como anteriormente

referido, e portanto devem ser minimizados (Antunes, 2006). Existem também impactes que é necessário considerar, nomeadamente o risco de explosão originado pela acumulação de gases em locais fechados, problemas de corrosão originados pelos gases emitidos e questões relacionadas com a saúde e segurança dos operadores da instalação uma vez que é necessário garantir o acesso às instalações para manutenção (NP EN 122559:2007).

Importa por isso compreender como são percecionados os odores e como evoluiu a regulamentação e monitorização dos odores, bem como quais os principais compostos odoríficos numa ETAR.

A perceção dos odores pode ser descrita como a capacidade do ser humano sentir a informação do meio ambiente e de seguida mapear esta mesma informação num estado mental que é representado num padrão de atividade cerebral (Mamlouk, Haker, e Martinetz, 2017).

Assim, o odor percecionado pelo ser humano não é apenas originado pela existência de uma determinada substância, mas é também uma combinação de fatores fisiológicos, neurológicos e psicológicos. Por este motivo, os limites que cada pessoa considera aceitáveis para um determinado odor podem variar de acordo com inúmeros fatores, como o género, fatores ambientais e ocupacionais ou até mesmo o facto de o sujeito ser ou não fumador ou o facto de já ter estado em contacto com o odor em questão (Greenberg, Curtis, e Vearrier, 2013).

De facto, o odor desagradável parece estar intrinsecamente ligado à ideia de pouca salubridade ou de perigo. Esta associação tem possivelmente origem em questões evolucionárias, e parece existir a ideia de que determinado odor pode ser o causador de algumas enfermidades. No entanto a perceção de um odor pode nem sempre ser significado de uma substância nociva e é necessário ter em conta os fatores subjetivos na perceção do odor (Greenberg et al., 2013).

De acordo com Metcalf & Eddy (2013) os odores têm um maior impacte a nível psicológico do que físico, podendo causar perda de apetite, dificuldade de respiração, náuseas e até mesmo confusão mental. Em última instância podem inclusivamente levar a consequências económicas com a desvalorização imobiliária e afastamento da população circundante. Por esse motivo, torna-se essencial poder medir e tratar o nível de odor proveniente de uma ETAR.

Foi, na realidade, o incómodo causado pelos odores às populações europeias, que esteve na origem das primeiras regulamentações criadas no sentido de tentar controlar os odores emitidos (Harreveld, 2003).

É sabido que as grandes cidades europeias como Paris e Londres nos séculos passados tinham bastantes odores desagradáveis, especialmente devido à falta de saneamento básico. Foi o odor do rio Tamisa que fez com que o Parlamento Inglês, após ter de encerrar no Verão de 1858 devido aos odores, decidisse autorizar a construção dos esgotos de Londres, sendo que até à data as cortinas das Casas do Parlamento eram tratadas com hipoclorito de cálcio de modo a combater os odores (Harreveld, 2003).

Nos finais do século XIX, com uma maior industrialização e aumento de urbanização alguns países europeus passaram a incluir a "Lei do Incómodo", cujas bases são ainda encontradas em algumas normas atuais (Harreveld, 2003).

A primeira regulamentação específica para os impactes causados pelo odor foi criada nos Países Baixos em 1971, devido ao grande número de suiniculturas, e determinava uma distância mínima entre zonas habitacionais e o local onde a suinicultura se poderia instalar, dependendo da capacidade e número de animais (Harreveld, 2003).

No entanto, esta regulamentação baseava-se essencialmente na perceção dos inspetores, sendo que apenas em 1984 foram publicadas normas relativamente à qualidade do ar industrial. Estas normas utilizavam a olfatometria juntamente com modelos de dispersão para prever as concentrações de exposição dos odores (Harreveld, 2003).

Foram estas normas e modelos que serviram de base às normas atualmente em vigor e que determinam os métodos científicos e práticas de medição de odores, sendo que estes métodos devem ser objetivos, quantitativos, confiáveis e reproduzíveis (St. Croix Sensory, Inc., 2005).

Em Portugal não existe legislação específica sobre emissão de poluentes odoríferos. A legislação existente que regula a emissão de gases poluentes é constituída entre outra legislação, pelo Decreto-Lei n.º 84/2018 de 23 de outubro, que fixa os compromissos nacionais de redução de emissão de certos poluentes atmosféricos e o compromisso de estabelecer o Programa Nacional de Controlo da Poluição Atmosférica, e pelo Decreto-Lei n.º 127/2013, de 30 de agosto, que estabelece o regime de emissões industriais aplicável à prevenção e ao controlo integrados da poluição, bem como as regras destinadas a evitar e ou reduzir as emissões para o ar, a água e o solo e a produção de resíduos.

Apesar de não existir legislação específica para a emissão de compostos odorífero existe uma norma referente ao controlo de odores e ventilação em ETAR, a norma NP EN 12255-9:2007, referente ao controlo de odores e ventilação em

ETAR. Além desta norma, existem duas normas do Comité Europeu de Normalização (CEN) diretamente relacionadas com o controlo e medição de odores: EN 13725:2003: *Air Quality - Determination of Odour Concentration by Dynamic Olfactometry* e EN 16841:2016: *Ambient air - Determination of odour in ambient air by using field inspection - Part 1: Grid method* (Izquierdo, Diaz, Capelli, Arias, e Seoane, 2019; St. Croix Sensory, Inc., 2005).

Existem ainda duas normas da ASTM (American Society for Testing and Materials) relativas ao mesmo tema: ASTM E679-04: *Standard Practice for Determination of Odor and Taste Threshold by a Forced-Choice Ascending Concentration Series Method of Limit* e ASTM E544-99: *Standard Practice for Referencing Suprathreshold Odor Intensity* (Izquierdo et al., 2019; St. Croix Sensory, Inc., 2005).

Foi a norma europeia EN 13725:2003 que introduziu o conceito de Unidade de Odor Europeia de Referência (EROM ou *European Reference Odour Mass*). Esta unidade refere-se à massa de uma substância que é detetável quando evaporada em 1 m³ de ar, equivalente a 123 µg de n-butanol, o que significa também que 1 uo_E/m³ = 40 ppm_v¹ (Harreveld, 2003).

Existe também o conceito de detetabilidade (threshold), definido pela expressão 1.1 que está relacionado com a quantidade de ar sem odor necessário adicionar ao ar com odor, de modo a atingir uma concentração limiar mínima detetável (CLMD). Isto significa que, a título de exemplo, se for necessário adicionar quatro volumes de ar sem odor a um volume de ar com odor para reduzir o odor à CLMD, a concentração de odor pode dizer-se igual a 4 D/T Metcalf & Eddy (2013).

$$D/T = \frac{\text{Volume de ar isento de odor}}{\text{Volume de ar com odor}} \quad (1.1)$$

Segundo Metcalf & Eddy (2013), de modo a caracterizar completamente um odor, devem ser considerados os seguintes parâmetros (Metcalf & Eddy, 2013):

- **Caráter** - Determinação subjetiva sobre as associações mentais efetuadas ao sentir o odor;
- **Detetabilidade** - O número de diluições necessárias até atingir a CLMD;
- **Prazer** - A satisfação ou insatisfação causada ao sentir o odor;
- **Intensidade** - Medida por um olfatómetro de butanol ou calculada em D/T (relação entre diluições e o limiar) e representa a força relativa do odor;
- **Persistência** - Modo como a intensidade do odor se altera com a concentração.

¹partes por milhão volumétrico

No entanto, o método mais divulgado para caracterização de odores é o método **FIDOL**, sendo que este deve ser visto de uma forma holística e considera as cinco características abaixo (Auckland Council, n/d; IAQM, 2018):

- **F**requência - Quantas vezes o evento ocorre num determinado período de tempo (num ano, mês ou semana)
- **I**ntensidade - pode definir-se como a perceção que se tem da força do odor. A resposta humana a este estímulo tem um crescimento logarítmico, de acordo com as expressões 1.2 e/ou 1.3:

$$s = k \cdot \log i \quad (1.2)$$

$$i = k \cdot s^\alpha \quad (1.3)$$

Onde:

i - intensidade percebida;

s - magnitude do estímulo (concentração de odor);

k e α - constantes (dependentes do estímulo).

A norma alemã VDI 3882:1997 regula a escala de intensidade do odor:

0. Impercetível;
 1. Muito fraco;
 2. Fraco;
 3. Nítido;
 4. Forte;
 5. Muito forte;
 6. Extremamente forte.
- **D**uração - entende-se como duração a quantidade de tempo que uma pessoa está exposta a um efeito
 - **O**dor agradável ou desagradável - ou tom hedónico do odor, é a avaliação subjetiva do quanto um efeito é agradável ou desagradável. Também referente ao quanto um odor é ofensivo.
 - **L**ocalização - refere-se ao local onde o efeito ocorre, quais as atividades que ocorrem nas imediações e quem vai estar exposto ao efeito.

Estas medidas sensoriais ou organoléticas, são avaliadas por um observador, e por esse motivo podem ser subjetivas. Como complemento a estas medidas existem ainda métodos analíticos como análises de cromatografia gasosa ou espectrometria de massa. Ainda assim, apesar de as medidas sensoriais serem avaliadas por um observador, podem ser consideradas fiáveis e significativas e como tal este método é bastante utilizado em ETAR para medir as emissões de odores (Antunes, 2006).

No entanto, tendo em conta que os compostos emitidos na ETAR podem colocar em causa a saúde e a segurança dos trabalhadores existe legislação em vigor destinada a proteger os trabalhadores nos locais onde exista a sua emissão: a Portaria n.º 762/2002 de 1 de julho, que aprova o regulamento de segurança, higiene e saúde no trabalho na exploração dos sistemas públicos de distribuição de água e de drenagem de águas residuais; o Decreto-Lei n.º 24/2012 de 6 de fevereiro, que consolida as prescrições mínimas em matéria de proteção dos trabalhadores contra riscos químicos para a segurança e saúde devido à exposição a agentes químicos no trabalho e o Decreto-Lei n.º 1/2021 de 6 de janeiro, que estabelece uma quinta lista de valores limite de exposição profissional indicativos para os agentes químicos.

Os efeitos indesejados que os odores de uma ETAR podem ter na saúde dos trabalhadores das ETAR ou das pessoas que eventualmente se possam deslocar até às mesmas devem ser aferidos por parâmetros de exposição como o **valor limite de exposição profissional obrigatório**, sendo este o *limite da concentração média ponderada de um agente químico presente no ar do local de trabalho, na zona de respiração de um trabalhador, em relação a um período de referência determinado, sem prejuízo de especificação em contrário, que não deve ser ultrapassado em condições normais de funcionamento* (Decreto-Lei n.º 24/2012 de 6 de fevereiro).

Este valor limite pode ser medido ou calculado em relação a uma **média ponderada no tempo (VLE-MP ou na nomenclatura em inglês TWA)** para um período de referência de oito horas ou para o **limite de exposição de curta duração (VLE-CD ou na nomenclatura em inglês STEL)**, sendo este o valor limite acima do qual não deve haver exposição e que se refere a um período de 15 minutos, salvo indicação em contrário (Decreto-Lei n.º 24/2012).

A determinação do VLE para um determinado composto tem usualmente por base os conceitos de NOAEL (*No Observed Adverse Effect Level*) e LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level*) determinados com um grupo de indivíduos:

- NOAEL (Nível Sem Efeitos Adversos Observados) - refere-se à dose mais alta até à qual não são observados efeitos tóxicos ou adversos;
- LOAEL (Nível Mínimo com Efeitos Observados) - menor dose a partir da qual se observam efeitos tóxicos ou adversos.

Segundo a NP 1796:2014 os efeitos na saúde podem ser agrupados nos períodos de exposição:

- Exposição aguda: quando a duração é igual ou inferior a 14 dias;

- Exposição intermédia: quando a duração é entre 15 a 364 dias;
- Exposição crónica: quando a duração é igual ou superior a 365 dias.

Tendo em conta que habitualmente as águas residuais apresentam uma matriz bastante heterogénea devido às suas fontes distintas de afluentes, também os gases emitidos serão distintos como por exemplo os álcoois, os ácidos orgânicos voláteis (AOV), os aldeídos e as cetonas. Além dos gases presentes nas águas residuais há que considerar os gases que são produtos de decomposição, como o sulfureto de hidrogénio (H_2S), que tem geralmente origem na decomposição anaeróbia de produtos com enxofre, os mercaptanos originados na decomposição de vegetais e a etilamina, trimetilamina e indol provenientes da decomposição de produtos animais (Lewkowska et al., 2016).

Além dos compostos mencionados, há que ter em conta ainda a possibilidade de resíduos industriais que podem resultar em vários compostos odoríficos ou nos seus precursores (Lewkowska et al., 2016).

Na Tabela 1.2 apresentam-se alguns dos compostos odoríficos associados a águas residuais urbanas (Antunes, 2006; Metcalf & Eddy, 2013).

Os compostos odoríficos com mais impacte numa ETAR, bem como os efeitos adversos causados por cada um deles e os valores limite a considerar são detalhados em seguida nos pontos 1.4.1 a 1.4.3, considerando-se apenas o amoníaco, sulfureto de hidrogénio e mercaptano de metilo uma vez que são os compostos presentes em maior quantidade numa ETAR e com mais efeitos nocivos, quer a nível de saúde e segurança no trabalho, quer a nível de corrosão de equipamentos.

Tabela 1.2: Características dos principais compostos odoríficos numa ETAR

Composto	Fórmula Química	Massa Molecular (g.mol ⁻¹)	Massa Volúmica (g.m ⁻³)	Pressão de Vapor (mmHg, 25°C)	Volatilidade (ppm _v , 25°C)	Ponto de Ebulição (°C, 1 atm)	Limiar de Odor (ppm _v)	Odor Característico
Amoníaco	NH ₃	17,03	-	-	gás	-33,34	46,8	Acre, irritante
Metilamina	CH ₃ NH ₂	31,06	1,15	1.520,00	gás	-6,4	21,0	Peixe em putrefação
Etilamina	C ₂ H ₅ NH ₂	45,08	1,15	1.057,35	gás	17,0	-	Peixe em putrefação
Dimetilamina	(CH ₃) ₃ NH	45,08	1,15	1.520,00	gás	7,0	-	Peixe em putrefação
Trimetilamina	(CH ₃) ₃ N	59,11	-	-	gás	2,9	0,0004	Peixe em putrefação
Butilamina	C ₄ H ₉ NH	72,13	0,7327	72,00	93.000	77,9	-	-
Dietilamina	(C ₂ H ₅) ₂ NH	73,14	-	192 (20°C)	-	55,5	-	-
Piridina	C ₅ H ₅ N	79,10	0,978	20,00	27.000	115,0	-	Pungente (irritante)
Indol	C ₆ H ₄ (CH) ₂ NH	117,15	1,220	-	360	254,0	0,0001	Fecal, repulsivo
Escatol	C ₈ H ₅ CH ₃ NH	131,18	-	-	200	265,0	0,019	Fecal, repulsivo

Compostos Azotados

Tabela 1.2: Características dos principais compostos odoríficos numa ETAR (continuação)

Composto	Fórmula Química	Massa Molecular (g.mol ⁻¹)	Massa Volúmica (g.m ⁻³)	Pressão de Vapor (mmHg, 25°C)	Volatilidade (ppm _v , 25°C)	Ponto de Ebulição (°C, 1 atm)	Limiar de Odor (ppm _v)	Odor Característico
Sulfureto de Hidrogénio	H ₂ S	34,08	1,41	15.200,00	gás	-59,6	0,00047	Ovos podres
Dióxido de Enxofre	SO ₂	64,06	-	-	gás	-	0,009	Pungente (irritante)
Sulfureto de Dimetilo	(CH ₃) ₂ S	62,14	1,26	420,00	830.000	37,0	-	Vegetais em decomposição
Disulfureto de Dimetilo	(CH ₃) ₂ S ₂	94,20	1,046	29,49	-	110,0	-	Putrefacção
Mercaptano de Metilo	CH ₃ SH	48,11	0,999	1.728,82	gás	6,0	0,0021	Couve ou alho em decomposição
Mercaptano de Etilo	C ₂ H ₅ SH	52,14	-	-	710.000	35,0	0,00019	Couve em decomposição
Mercaptano de n-Propilo	C ₃ H ₇ SH	76,16	-	-	220.000	-	-	Pútrido
Mercaptano de n-Butilo	C ₄ H ₉ SH	90,19	-	-	-	-	-	-
Mercaptano de Fenilo	C ₆ H ₅ SH	110,18	-	-	-	-	-	Alhos em decomposição

Compostos Sulfurados

Tabela 1.2: Características dos principais compostos odoríficos numa ETAR (continuação)

Composto	Fórmula Química	Massa Molecular (g.mol ⁻¹)	Massa Volúmica (g.m ⁻³)	Pressão de Vapor (mmHg, 25°C)	Volatilidade (ppm _v , 25°C)	Ponto de Ebulição (°C, 1 atm)	Limiar de Odor (ppm _v)	Odor Característico
Ácidos Orgânicos Voláteis	Ác. Fórmico	COOH	46,03	1,22	42,00	-	100,7	-
	Ác. Acético	CH ₃ COOH	60,05	1,05	15,40	-	118,0	- Vinagre
	Ác. Propiónico	C ₂ H ₅ COOH	74,08	0,97	10,00	-	-	-
	Ác. Butírico	C ₃ H ₇ COOH	88,11	0,97	0,84	-	162,0	- Ranço
	Ác. Valérico	C ₄ H ₉ COOH	102,13	-	-	-	185,0	- Suor
Aldeídos e Cetonas	Formaldeído	HCHO	70,03	0,97	3.500,0	gás	-14,0	-
	Acetaldeído	CH ₃ CHO	44,05	0,788	870,0	gás	21,0	- Pungente (irritante), frutado
	Butiraldeído	C ₃ H ₇ CHO	72,11	0,97	0,14	-	76,0	- Suor, ranço
	Acetona	CH ₃ COCH ₃	58,08	0,79	266,0	-	56,0	- Frutado
	Butanona	C ₂ H ₅ COCH ₃	72,11	-	-	-	80,0	- Maçã verde
Outros	Cloro	Cl ₂	71,0	-	-	-	0,314	Pungente, sufocante
	Clorofenol	ClC ₆ H ₄ OH	128,51	-	-	-	0,00018	Medicamentos

(Adaptada de Metcalf & Eddy, 2013 e Antunes, 2006)

1.4.1 Amoníaco

O amoníaco é um gás incolor, cujo odor é largamente conhecido devido ao seu uso em produtos de limpeza doméstica, tendo um odor acre que pode ser detetado a partir de uma concentração de 50 ppm. O amoníaco pode causar irritação da pele, olhos, nariz, garganta e pulmões, sendo estes efeitos causados normalmente por concentrações superiores ou tempos de exposição prolongados (Antunes e Mano, 2004).

O VLE para a exposição aguda à inalação de amoníaco é de 1,7 ppm relativamente a irritação dos olhos nariz e garganta, tendo este valor sido determinado a partir do valor mínimo de 50 ppm para o LOAEL num estudo com voluntários, não tendo sido identificado o NOAEL (ATSDR, 2004; ToxTutor, 2021). É de notar que o valor mínimo é ligeiramente superior ao limiar de odor apresentado na tabela 1.2. Este facto justifica que seja possível que exista odor percecionado apesar de não se registarem efeitos nocivos (ATSDR, 2004).

Já relativamente à perda de olfato, sintomas respiratórios (tosse, bronquite, espirros, etc.), irritação ocular e da garganta e parâmetros da função pulmonar, o VLE para inalação de longa duração é de 0,1 ppm, com base num NOAEL de 9,2 ppm medido em trabalhadores durante cerca de 12 anos numa fábrica de produção de soda (ATSDR, 2004).

O Decreto-Lei n.º 1/2021 define como VLE-MP o valor 20 ppm e para o VLE-CD o valor de 50 ppm. Este valor manteve-se idêntico ao já previsto no Decreto-Lei n.º 24/2012.

1.4.2 Sulfureto de hidrogénio

O sulfureto de hidrogénio apresenta-se na forma de um gás, sendo a sua forma de exposição mais comum a inalação. Este gás afeta particularmente o sistema nervoso, podendo, no entanto afetar todos os órgãos, dependendo do tempo de exposição e da concentração (Antunes e Mano, 2004; ATSDR, 2016).

Relativamente aos VLE, o valor do VLE consta no Decreto-Lei n.º 1/2021 de 6 de janeiro sendo de 5 ppm para a exposição média de 8 horas (VLE-MP ou TWA) e de 10 ppm para a exposição de curta duração (VLE-CD ou STEL).

É importante mencionar que o H_2S é geralmente o composto odorífico presente em maior quantidade numa ETAR. Além das implicações do H_2S na saúde dos trabalhadores, este compromete o bom estado dos equipamentos, uma vez que um dos principais efeitos da presença deste composto numa ETAR é a corrosão

dos equipamentos, sendo por isso importante reduzir ao mínimo a presença do H₂S (Antunes, 2006).

1.4.3 Mercaptano de metilo

O mercaptano de metilo apresenta-se na forma de um gás incolor, com um odor a couves em decomposição, sendo a sua ocorrência no ar resultante da decomposição de matéria orgânica. Dado o seu odor desagradável e devido ao facto de ser detetado a concentrações muito baixas (o limite de deteção é de cerca de 0,0016 ppm), este gás é utilizado para adicionar odor a alguns gases inodoros perigosos (Antunes e Mano, 2004).

Dado que este composto não consta no Decreto-Lei n.º 1/2021 de 6 de janeiro, temos como referência a NP 1796:2014 que refere como VLE para o mercaptano de metilo, o valor de 0,5 ppm. A título comparativo apresentam-se de seguida os valores de referência da ATSDR (1992):

- VLE-MP: 0,5 ppm;
- VLE - CP: 10 ppm.

Capítulo 2

Tecnologias de redução e remoção de odores

De modo a evitar a emissão de compostos odoríferos e a garantir a segurança dos trabalhadores e dos equipamentos, existem várias tecnologias de remoção de odores, que podem ser divididas do seguinte modo (Alfonsín et al., 2014; Antunes e Mano, 2004):

- **Controlo das Emissões de Odores e Ventilação** - o controlo das emissões tem como objetivo otimizar as soluções de tratamento e reduzir os custos de exploração. Este controlo pode incluir a instalação de coberturas, bocas de recolha e equipamento de ventilação para encaminhamento dos gases odoríferos para o respetivo processo de tratamento, sendo prática comum a cobertura da obra de entrada, tanques de equalização e/ou homogeneização, decantadores primários, espessadores de lamas e restantes instalações de processamento de lamas.
- **Processos Físico-Químicos** - baseiam-se na transferência e/ou na reação química de substâncias odoríferas da fase gasosa para uma fase sólida (adsorção) ou líquida (absorção). São largamente utilizadas devido ao facto de existir um conhecimento consolidado sobre estas tecnologia e também por terem um baixo tempo de residência (EBRT - *Empty Bed Residence Time*).
- **Processos Biológicos** - nas últimas décadas têm vindo a ser mais utilizadas devido à sua eficiência na remoção de odores, apresentando menores custos de operação, além de que apresentam menor quantidade de subprodutos. Ainda assim apresentam maiores EBRT e maiores custos de instalação do que os processos físico-químicos com eficiências semelhantes.

De acordo com Alfonsín et al. (2014) os biofiltros, filtros percoladores, os lavadores de gases, a adsorção em carvão ativado e as torres de extração biológica

são as tecnologias mais utilizadas, no entanto na literatura existem outros métodos que são também descritos como sendo largamente utilizados. Deste modo, descrevem-se alguns dos métodos mencionados com mais detalhe no capítulo 2.1.

Há várias formas de classificar os métodos de controlo e tratamento de odores, sendo que a NP EN 12255-9/2007 só considera 4 tipos de métodos, classificando os vários tratamentos como:

- Oxidação biológica;
- Limpeza (lavagem) química do via húmida;
- Leito de adsorção fixa, onde é mencionado especificamente o carvão ativado;
- Oxidação térmica.

Já Metcalf & Eddy (2013) classifica estes métodos de acordo com a Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Métodos para controlo e tratamento de gases odoríficos em sistemas de gestão de efluentes

Método	Descrição e/ou Aplicação
Métodos físico-químicos	
Adsorção	Os gases odoríficos são passados num leito de uma substância adsorvente (por exemplo carvão ativado) para remoção dos compostos odoríficos. Como modo de redução de custos, o adsorvente pode ser posteriormente regenerado.
Combustão	Os gases podem ser eliminados pela combustão, podendo esta ser direta, catalítica ou térmica. Estes gases podem ser processados juntamente com os sólidos da instalação ou separadamente, numa unidade de incineração de gases.
Injeção de oxigénio	A injeção de oxigénio puro ou atmosférico no efluente tem demonstrado ser eficaz no controlo de ocorrência de condições anaeróbias, podendo assim reduzir a produção de compostos odoríficos como o sulfureto de hidrogénio.
Absorção gasosa	Os gases odoríficos podem também ser tratados em lavadores de gases especificamente projetados para a remoção destes compostos, onde a solução de lavagem deve conter produtos específicos ou agentes biológicos para possibilitar a remoção eficaz de odores.
Oxidação química	Os compostos odoríficos podem ser oxidados quimicamente, sendo o cloro, ozono ou permanganato de potássio alguns dos oxidantes mais utilizados. Ao utilizar o cloro não só existe oxidação dos compostos odoríficos como é evitada a formação de biofilmes. Este é um dos métodos mais utilizados para controlo de odores.

Capítulo 2. Tecnologias de redução e remoção de odores

Tabela 2.1: Métodos para controlo e tratamento de gases odoríficos em sistemas de gestão de efluentes (continuação)

Método	Descrição e/ou Aplicação
Precipitação química	Este é o método utilizado para precipitação do sulfureto com sais metálicos, geralmente de ferro.
Métodos biológicos	
Torres de extração biológica	Estas torres normalmente são preenchidas com um enchimento plástico de vários tipos, de modo a permitir o crescimento de microrganismos, permitindo a remoção dos compostos odoríficos por estes microrganismos.
Biofiltros	Os biofiltros são compostos por leitos biologicamente ativados, que são atravessados pela corrente gasosa, como por exemplo composto biologicamente ativado, areia ou solo para remoção de odores.
Tratamento biológico na linha de água	
Filtros percoladores	Os gases podem ser passados através de um filtro percolador para remoção de odores.
Tratamento biológico no reator de lamas ativadas	Os gases odoríficos podem ser combinados com o ar de processo utilizado no arejamento dos reatores de lamas ativadas, de modo a remover os compostos odoríficos.
Outros métodos de redução de odor	
Confinamento	Instalação de coberturas, exaustores e equipamentos para movimentação de ar com o objetivo de confinar e direcionar os gases odoríficos para o sistema de tratamento ou deposição.
Diluição em ar isento de odor	Os gases odoríficos podem ser diluídos em ar isento de odores, de modo a reduzir a intensidade do odor. Outra alternativa será lançar os gases na atmosfera numa chaminé alta para que exista diluição e dispersão dos compostos odoríficos.
Agentes de "mascaramento"	Podem ser utilizadas essências ou aromas na forma de spray nas zonas próximas às unidades onde existe emissão de odores de modo a mascarar os odores desagradáveis. É de notar que a eficácia deste método pode ser limitada e por vezes a mistura de odores com as essências pode resultar numa condição pior que a tida inicialmente.

Tabela 2.1: Métodos para controlo e tratamento de gases odoríficos em sistemas de gestão de efluentes (continuação)

Método	Descrição e/ou Aplicação
Dispositivos para induzir turbulência	Podem utilizar-se anteparas para bloquear o fluxo de ar, como cercas altas ou árvores, ou utilizar ventiladores para aumentar a turbulência e melhorar a dispersão de gases odoríficos.

(Adaptada de Metcalf & Eddy, 2013)

2.1 Controlo das emissões de odores e ventilação

2.1.1 Minimização, contenção e ventilação

O controlo de emissões e a ventilação têm como objetivo otimizar as soluções de tratamento e reduzir os custos de exploração. De modo a minimizar a produção de odores, é necessário considerar que, quer o sobredimensionamento quer o subdimensionamento das operações e processos podem potenciar a formação de odores (por exemplo os tempos de retenção excessivos nos poços de bombagem e tanques de retenção, ou a deposição de sólidos resultante de velocidades baixas). O aumento de odores pode ainda dever-se à sobrecarga orgânica, ao fornecimento inadequado de ar e a uma ventilação inapropriada dos espaços confinados (Antunes e Mano, 2004).

Por esses motivos devem garantir-se as velocidades de autolimpeza de todos os circuitos hidráulicos de modo a evitar a deposição de sólidos, bem como evitar a turbulência em qualquer fluxo processual que possa ser séptico ou conter compostos odoríficos (Antunes e Mano, 2004).

Além da minimização dos odores através da adequação das condições operacionais, a redução dos odores em ETAR pode passar pelo confinamento destes odores, direcionando os gases odoríficos posteriormente para o sistema de tratamento ou até mesmo por dispositivos para induzir turbulência, como a colocação de ventiladores e através do aumento de renovações do ar. Assim, no caso dos métodos de confinamento, existe a possibilidade de ter uma cobertura órgão a órgão, ou confinando zonas específicas de tratamento (Metcalf & Eddy, 2013).

Já no caso dos sistemas de ventilação, estes podem ter vários objetivos, desde renovar o ar de edifícios fechados, para garantir a saúde e segurança dos trabalhadores, a eliminar os poluentes encaminhando os mesmos a sistemas de tratamento ou através da difusão atmosférica. De um modo geral podem ter-se três tipos de ventilação (Suez, 2021b):

- Ventilação natural: através de convecção natural, vento, efeito de chaminé, sem recorrer ao uso de ventiladores;
- Ventilação de fluxo simples: através de entrada de ar mecânica e saída natural ou entrada de ar natural e saída mecânica;
- Ventilação de fluxo duplo: através de entrada e saída de ar mecânicas.

Podem ainda classificar-se os sistemas de ventilação de acordo com a localização, como ventilação geral, efetuando a ventilação na totalidade de um espaço, ou ventilação local, utilizando métodos de contenção (Suez, 2021b). Tendo como objetivo a renovação do ar de uma forma frequente opta-se habitualmente por ter sistemas independentes de ventilação para a atmosfera dos órgãos e zonas de operação, dado que os custos específicos de tratamento são inversamente proporcionais às concentrações dos poluentes no ar viciado (Antunes, 2006).

De modo a calcular o caudal de ar a tratar é necessário ter em consideração o fluxo mássico associado a cada órgão, podendo o caudal ser estimado a partir das expressões 2.1 e 2.2 (Antunes e Mano, 2004):

$$F_m = F_{em} \times A \quad (2.1)$$

$$Q_{ar} = F_m / C_a \quad (2.2)$$

Onde:

F_m - fluxo mássico ($\text{mg} \cdot \text{h}^{-1}$)

F_{em} - fatores específicos de emissão ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)

A - área emissora (m^2)

Q_{ar} - caudal do ar a captar ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)

C_a - concentração aceitável no ar ambiente ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)

Apresentam-se na Tabela 2.2 os fatores específicos para os vários órgãos de tratamento (Antunes e Mano, 2004).

De um modo geral, o H_2S é o composto odorífico mais frequente numa ETAR e por esse motivo é normalmente utilizado a quantidade de H_2S presente para calcular o caudal de ar a extrair. Este composto tem como consequência, além dos problemas de saúde, problemas de corrosão dos equipamentos em betão (Antunes e Mano, 2004).

Tabela 2.2: Fatores específicos de emissão

Órgão	Fatores específicos de emissão (mg.m ⁻² plano de água.h ⁻¹)		
	NH ₃	H ₂ S	CH ₃ SH
Desengorduramento			
Espelho de Água	1	160	2
Caleira	10	300	20
Decantação Primária			
Espelho de Água	-	3	-
Caleira	-	10	0,3
Câmaras de distribuição de caudais	-	10	0,3
Estações elevatórias de lamas primárias	10	300	20
Espessador			
Espelho de Água	1	160	2
Caleira	10	300	20
Trasfega de lamas e do conteúdo de fossas sépticas	10	300	20
Edifício de desidratação	1	160	2

(Adaptada de Antunes e Mano, 2004)

O caudal de ar a extrair, obtido com os fatores específicos de emissão, deve ainda ser afetado de um fator de segurança, que varia conforme o tipo de ventilação, de acordo com a Tabela 2.3, ou pode ser calculado de uma forma alternativa através do número de renovações por hora (T_{ren}), de acordo com a expressão 2.3 (Antunes e Mano, 2004).

$$Q_{ar} = T_{ren} \times V \quad (2.3)$$

Onde:

Q_{ar} - Caudal de ar;

T_{ren} - Número de renovações por hora;

V - Volume do espaço.

Este número de renovações por hora é estabelecido de acordo com a classificação do espaço a ventilar: para zonas onde operam trabalhadores recomendam-se 8 a 10 renovações por hora e 2 a 5 renovações por hora nas restantes zonas. Este cálculo é um processo iterativo, até que se obtenham os valores necessários a garantir a saúde dos trabalhadores no local (Antunes e Mano, 2004).

Tabela 2.3: Fatores de segurança

Tipo de ventilação	Fator de Segurança
Inclui extração	3
Inclui insuflação / extração	1,5 a 2

(Adaptada de Antunes e Mano, 2004)

2.2 Processos físico-químicos

2.2.1 Absorção

A absorção gasosa é um processo baseado na transferência de massa entre duas fases em contacto e encontra-se entre as mais utilizadas na remoção de odores. No caso concreto da remoção de odores por absorção gasosa, a transferência do composto a remover é efetuada da fase gasosa para a fase líquida.

O objetivo principal da absorção gasosa é fazer com que os compostos odoríficos que estão na fase gasosa passem a estar absorvidos na fase líquida, sendo posteriormente oxidados, por via química ou biológica, a compostos com menos odor (Antunes, 2006).

Nos sistemas gás-líquido, a solubilidade de um gás num solvente líquido é influenciada pela temperatura e pela pressão parcial desse gás na mistura gasosa: em condições de pressão e temperatura normais (PTN) e a temperatura constante, a concentração de um gás dissolvido num volume de líquido é diretamente proporcional à pressão parcial desse gás na mistura gasosa ¹, de acordo com a lei de Henry, apresentada na equação 2.4 (Antunes, 2006; Seader et al., 2011):

$$C_A = H_A \cdot p_A \quad (2.4)$$

Onde:

C_A - Concentração molar do composto A na fase líquida, em equilíbrio ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$);

H_A - Constante de Henry para o composto A ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Pa}^{-1}$);

p_A - Pressão parcial de A na fase gasosa (Pa).

Assim, a transferência entre as fases é afetada quer pela composição e concentração dos compostos na fase líquida, quer pela pressão parcial na fase gasosa.

¹A pressão parcial de um gás é definida pela lei de Dalton e é proporcional à quantidade desse gás na mistura gasosa (Antunes, 2006; Seader, Henley, e Roper, 2011)

Apesar de existirem várias configurações possíveis, a mais comum é a que se apresenta na Figura 2.1, onde a corrente gasosa percorre uma coluna no sentido ascendente, através de um leito, enquanto o líquido absorvente é introduzido através de um sistema de pulverização no topo da coluna (Antunes, 2006; Ren, Zhao, Lyczko, e Nzihou, 2019).



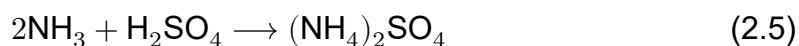
(Adaptada de Ren et al., 2019)

Figura 2.1: Esquema de um sistema de absorção para remoção de odores

De um modo geral, a lavagem com água permite a absorção de parte dos compostos químicos como o amoníaco ou outros compostos solúveis em água, no entanto é habitual utilizarem-se solventes que não só potenciam a absorção como permitem a oxidação dos compostos odoríficos. A seleção do solvente a utilizar pode depender da facilidade de uso, questões de segurança ou velocidade de reação com o composto a remover (Antunes, 2006).

De modo a remover os compostos ácidos, como os sulfuretos, utilizam-se solventes básicos enquanto que substâncias como o amoníaco são habitualmente removidos com lavagem ácida. Podem ainda utilizar-se solventes oxidantes, como o hipoclorito de sódio, peróxido de hidrogénio ou permanganato de potássio, uma vez que estes aumentam o desempenho do sistema, diminuindo a água de entrada no processo (Antunes, 2006).

No caso da remoção de amoníaco, deve considerar-se a reação 2.5. (Metcalf & Eddy, 2013):

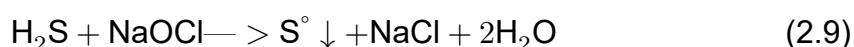


No caso do composto odorífico a remover ser o H₂S, as equações aplicáveis são as equações de 2.6 a 2.12.

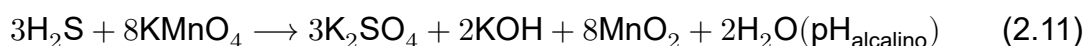
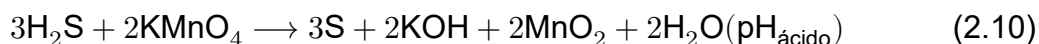
Com Cloro:



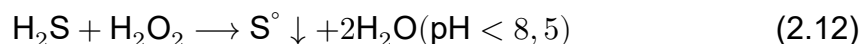
Com hipoclorito de sódio:



Com permanganato de potássio:



Com peróxido de hidrogénio:



Tendo em conta que é necessário adicionar continuamente compostos químicos, bem como água, este método apresenta alguns pontos fracos a nível ambiental, tendo impactes a nível de eutrofização, formação de oxidantes fotoquímicos, toxicidade humana e ecotoxicidade (Ren et al., 2019).

Apresentam-se na Tabela 2.4 os critérios de dimensionamento usuais em torres de absorção química (Antunes e Mano, 2004).

Tabela 2.4: Critérios de dimensionamento de torres de lavagem química com meio de enchimento em contracorrente

Parâmetro	Valor
Profundidade do meio de enchimento (m)	1,8 - 3
Velocidade de passagem máxima (m ³ .m ⁻² .s ⁻¹)	2,1
Velocidade de saída nas chaminés (m ³ .m ⁻² .s ⁻¹)	5
Tempo de retenção do gás (s)	1,3 - 2,0
Tempo de contacto mínimo com o meio de enchimento (s)	1,2
Caudal de recirculação das soluções de lavagem (m ³ .h ⁻¹ .m ⁻² de área de coluna)	20

Tabela 2.4: Critérios de dimensionamento de torres de lavagem química com meio de enchimento em contracorrente (continuação)

Parâmetro	Valor
Taxa do líquido na lavagem (kg H ₂ O.kg ⁻¹ ar)	1,5 - 2,5
Caudal de água a pH11 (L.s ⁻¹ .kg ⁻¹ H ₂ S)	0,075
Caudal de água a pH12,5 (L.s ⁻¹ .kg ⁻¹ H ₂ S)	0,004
pH	11 - 12,5
Temperatura (°C)	15 - 40
Consumo específico de reagentes	
Ácido sulfúrico (g.g ⁻¹ NH ₃)	2 - 4
Hipoclorito de Sódio (g.g ⁻¹ H ₂ S)	8 - 10
Hidróxido de Sódio (g.g ⁻¹ H ₂ S)	2 - 3

(Adaptada de Antunes e Mano, 2004)

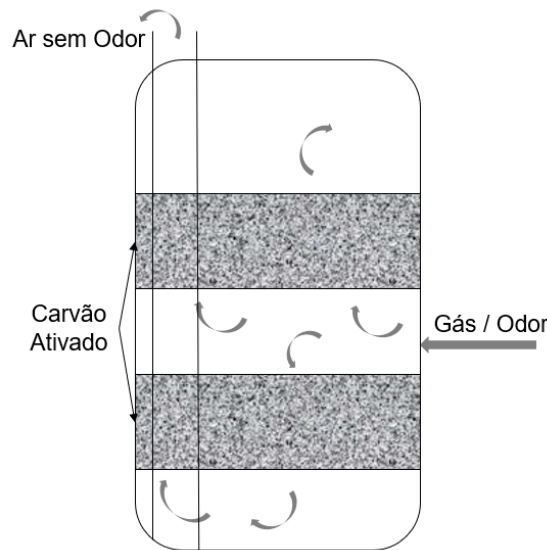
2.2.2 Adsorção

A adsorção é um processo através de o qual uma substância fica retida na superfície de um adsorvente sólido. Esta pode ser uma adsorção química, onde o adsorvente forma uma ligação química intermolecular com a substância adsorvida, ou física, onde as forças intermoleculares são forças de van der Waals (Wysocka, Gebicki, e Namiesnik, 2019).

A capacidade de adsorção é influenciada pelo tipo de estrutura porosa, pelo tamanho do adsorvente e pelas propriedades da substância adsorvida, como a pressão parcial ou a temperatura de processo. Por norma, a superfície específica do adsorvente deve ser elevada, até cerca de 1000 m².g⁻¹ (Wysocka et al., 2019).

Como adsorventes são usualmente utilizados óxidos de alumínio, géis de sílica e zeólitos, no entanto o mais comum é o carvão ativado, cujo esquema se mostra na Figura 2.2 (Wysocka et al., 2019).

De acordo com Metcalf & Eddy (2013), a taxa de adsorção dos compostos depende do facto de a sua estrutura ser polar ou apolar, bem como da concentração de hidrocarbonetos da corrente de gás. De um modo geral pode dizer-se que, dado que o carvão ativado é apolar, este adsorve preferencialmente hidrocarbonetos, não sendo tão eficaz a adsorver H₂S.



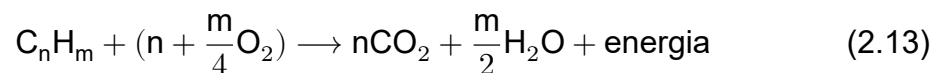
(Adaptada de Ren et al., 2019)

Figura 2.2: Esquema de um sistema de adsorção com carvão ativado para remoção de odores

O adsorvente, no final do processo, pode ser regenerado, através de dessorção ou então reutilizado, caso a regeneração não seja possível. Deve ter-se em atenção que o processo de dessorção pode consumir quantidades significativas de energia, podendo o mesmo ser efetuado com ar quente, azoto ou vapor de água (Ren et al., 2019).

2.2.3 Combustão

O processo de combustão é um processo químico onde existe uma reação de oxidação do combustível por parte de um agente oxidante. De um modo geral, a reação é descrita pela equação 2.13 (Wysocka et al., 2019).



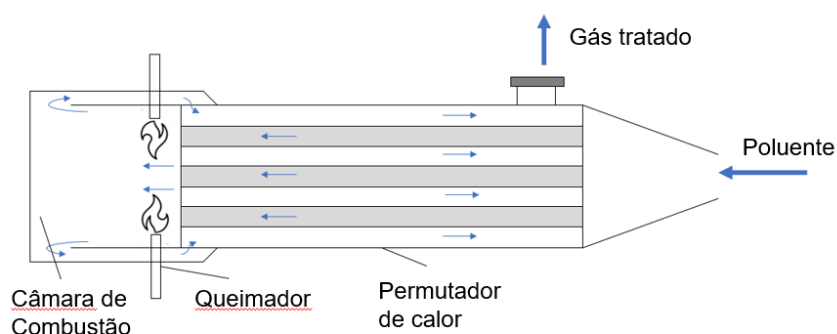
Existem três abordagens a este processo: (Wysocka et al., 2019):

- Combustão direta com chama;
- Combustão catalítica;
- Combustão térmica.

No caso da combustão direta com chama são usualmente utilizadas temperaturas de aproximadamente 1500 K. Este processo, após iniciado é mantido de forma espontânea, sendo que é difícil assegurar que não existem reações secundárias. Frequentemente existem a formação de óxidos de azoto, dioxinas,

hidrocarbonetos aromáticos e monóxido de carbono. É de notar também que este processo é usado essencialmente para gases com elevado teor em poluentes inflamáveis (Wysocka et al., 2019).

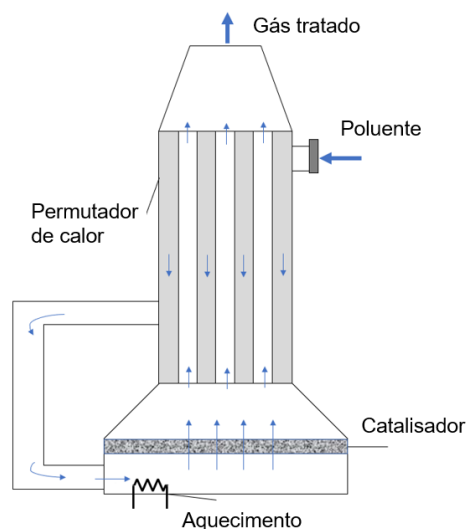
No caso da combustão térmica, cujo esquema se apresenta na Figura 2.3, esta é realizada a altas temperaturas, geralmente mantida através da adição de gás natural, e é utilizada nos casos onde o uso de um catalisador não é viável e, por exemplo, a composição do gás é variável. Este processo, além de requer uma elevada quantidade de energia também um processo demorado (Wysocka et al., 2019).



(Adaptada de Wysocka et al., 2019)

Figura 2.3: Esquema de um sistema de combustão térmica

Já no caso da combustão catalítica, que se apresenta na Figura 2.4, é utilizado um catalisador como forma de reduzir a energia de ativação, o que significa que a combustão pode ocorrer a temperaturas mais baixas. Assim, as temperaturas típicas para este processo estão entre os 400 K e os 900 K. Este processo é utilizado para gases com baixa concentração de hidrocarbonetos (Wysocka et al., 2019).



(Adaptada de Wysocka et al., 2019)

Figura 2.4: Esquema de um sistema de combustão catalítica

2.2.4 Oxidação não térmica

Os processos de oxidação não térmica utilizam habitualmente oxidantes fortes como superóxido de hidrogénio², hipocloritos, ozono ou cloro. Pode ainda ser utilizada radiação UV ou plasma (Wysocka et al., 2019).

A oxidação das substâncias odoríficas pode ser efetuada de duas formas: por oxidação direta, onde a corrente de gases é colocada diretamente em contacto com o oxidante, ou através de absorção com reação química, onde existe oxidação das substâncias absorvidas pelo solvente, resultante da absorção gasosa. (Wysocka et al., 2019).

2.3 Processos biológicos

O processo de tratamento das substâncias odoríficas é composto pela absorção dos gases poluentes e depois pela sua decomposição biológica. Na fase da absorção os componentes odoríficos são removidos da corrente gasosa e transferidos para a fase líquida, sendo que de seguida o solvente é regenerado. Já a decomposição biológica é obtida através da ação de microrganismos (Wysocka et al., 2019).

²Superóxidos são substâncias que contêm o grupo O_2^- (Fernández-Castro, Vallejo, Román, e Ortiz, 2015)

Os processos biológicos podem utilizar-se desde que o gás a tratar contenha componentes biodegradáveis e não tenha substâncias tóxicas para os microrganismos utilizados no processo biológico (Wysocka et al., 2019).

Além disso, deve ainda utilizar-se um solvente que solubilize bem os poluentes a remover. Para isso usualmente é utilizada a água como solvente, no entanto podem ser utilizados solventes lipídicos, que são constituintes da membrana celular das bactérias (Wysocka et al., 2019).

Os microrganismos a utilizar podem variar, dependendo de qual o composto odorífero a remover. Dependendo também do processo biológico os microrganismos podem estar suspensos no solvente (depuradores biológicos) ou contidos numa superfície de um material sólido (biofiltros) (Wysocka et al., 2019). Na Tabela 2.5 indicam-se os parâmetros de dimensionamento para os biofiltros e para os depuradores biológicos (Antunes e Mano, 2004).

Tabela 2.5: Parâmetros de dimensionamento para biofiltros e depuradores biológicos

Parâmetro	Biofiltros	Biodepuradores
Concentração em oxigénio (p O ₂ /p gás oxidado)	100	100
Humidade (%)		
Filtro com húmus	50 - 65	50 - 65
Filtro com meio sintético	50 - 65	50 - 65
Temperatura ótima (°C)	15 - 35	15 - 35
pH	6 - 8	6 - 8
Porosidade (%)	35 - 50	35 - 50
Tempo de retenção real (s)	30 - 60	30 - 60
Profundidade do meio (m)	1 - 1,25	1 - 1,25
Concentração do gás odorífero afluente (g.m ⁻³)	0,01 - 0,5	0,01 - 0,5
Carga hidráulica superficial (m ³ .m ⁻² .h ⁻¹)	10 - 100	10 - 100
Carga hidráulica volúmica (m ³ .m ⁻² .h ⁻¹)	10 - 100	10 - 100
Taxa de aplicação de líquido (m ³ .m ⁻³ .h ⁻¹)	-	0,75 - 1,25
Capacidade de remoção (g.m ⁻³ .h ⁻¹)		
H ₂ S (em filtro com húmus)	80 - 100	80 - 100
Outros compostos odoríferos	20 - 100	20 - 100
Pressão máxima (mm coluna de água)	50 - 100	50 - 100

Tabela 2.5: Parâmetros de dimensionamento para biofiltros e depuradores biológicos (continuação)

Parâmetro	Biofiltros	Biodepuradores
-----------	------------	----------------

(Adaptado de Antunes e Mano, 2004)

2.3.1 Tratamento biológico na linha de água

À semelhança dos lavadores químicos, no tratamento biológico na linha de água existe transferência de massa do poluente da fase gasosa para a fase líquida. É nesta fase líquida que estão suspensos os microrganismos, sendo esta fase normalmente uma suspensão aquosa de lamas ativadas (Wysocka et al., 2019).

No caso dos depuradores biológicos, este processo decorre usualmente em contracorrente e, de modo a aumentar a superfície de contacto entre as fases é utilizado enchimento, que é coberto com o biofilme contendo os microrganismos. São estes microrganismos em suspensão que degradam o(s) poluente(s) a remover (Wysocka et al., 2019).

2.3.2 Biofiltros

No caso dos biofiltros, os microrganismos estão contidos no material filtrante, geralmente um material poroso (Wysocka et al., 2019).

O biofilme absorve os poluentes contidos na corrente gasosa que atravessa o biofiltro. Como resultado do processo biológico os microrganismos degradam o poluente para substâncias sem odor (preferencialmente CO₂ e H₂O) (Wysocka et al., 2019).

2.4 Visão global das várias tecnologias de tratamento

Uma vez que as ETAR são consumidoras intensivas de energia (estima-se que na Europa o consumo total de energia seja de 27 TWh/ano), de modo a ter-se uma visão global das várias tecnologias é necessário considerar além da perspectiva tecnológica, já abordada entre os capítulos 2.1 e 2.3, é também necessário considerar a perspectiva económica (Torregrossa, Castellet-Viciano, e Hernández-Sancho, 2019).

Capítulo 2. Tecnologias de redução e remoção de odores

Considerando apenas a perspectiva tecnológica, é possível avaliar as várias tecnologias de acordo com a sua eficiência de remoção. Na Tabela 2.6 apresentam-se as eficiências para as várias tecnologias de desodorização e verifica-se que a absorção gasosa e a biofiltração apresentam os melhores desempenhos.

Tabela 2.6: Eficiências de remoção de poluentes por tecnologia de desodorização

	Sulfureto de hidrogénio	Amónia	Sulfitos reduzidos	Odor	COV
Absorção gasosa	99%	99%	20-50%	50-75%	Desprezável
Adsorção (carvão ativado)	98-99%	60-70%	50-85%	>90%	>95%
Combustão	98%	98%	98%	>95%	98%
Oxidação não térmica	>99%	Desprezável	20%	75-90%	Desprezável se insolúvel em água
Biofiltração	>99%	90%	75-98%	90%	Até 95%

(Adaptada de Wysocka et al., 2019)

Em relação aos custos de cada tecnologia, estes podem categorizar-se a nível de custos de exploração de acordo com a Tabela 2.7 (Wysocka et al., 2019):

Tabela 2.7: Custos de exploração para as várias tecnologias de desodorização

	Custo inicial	Custo operacional	Custo de manutenção
Absorção gasosa	Baixo	Alto	Alto
Adsorção (carvão ativado)	Baixo	Alto	Alto
Combustão	Moderado	Alto	Moderado
Oxidação não térmica	Moderado	Alto	Moderado
Biofiltração	Alto	Baixo	Baixo

(Adaptada de Wysocka et al., 2019)

Considerando a perspectiva económica, é possível organizar de forma decrescente de custos as várias tecnologias (Wysocka et al., 2019):

Combustão > Oxidação não térmica > Absorção > Adsorção > Biofiltração

Capítulo 3

Análise Financeira e Económica

3.1 Análise financeira

Na análise financeira pretende-se determinar os indicadores de desempenho financeiro do projeto e constitui o ponto de partida para a análise económica. Esta análise permite obter a informação necessária sobre receitas e despesas, preços de mercado relativos e como se distribuem ao longo do horizonte de projeto (Silva e Salvado, 2015).

Numa análise financeira reúne-se a informação necessária para a análise do *cashflow* (ou fluxo de caixa), avalia-se a viabilidade financeira do projeto e avaliam-se os benefícios financeiros calculando a rentabilidade (retorno financeiro do projeto e do capital) (Silva e Salvado, 2015).

Esta análise tem normalmente por base o cálculo do *cash flow* para determinar o rendimento do investimento, com base nos custos totais do investimento (Silva e Salvado, 2015).

Deve considerar-se como horizonte temporal o número máximo de anos sobre os quais são fornecidas previsões, sendo este correspondente ao horizonte de projeto, normalmente um período suficientemente longo para cobrir o impacto a médio ou longo prazo, correspondente à duração de vida económica do projeto. Na Tabela 3.1 indicam-se os vários horizontes temporais que se utilizam habitualmente, por setor de atividade (Regulamento Delegado (UE) n.º 480/2014 da Comissão de 3 de março).

Tabela 3.1: Horizontes temporais por setor de atividade

Projetos por setor	Horizonte temporal (anos)
Energia	25
Água e ambiente	30
Caminhos de ferro	30
Estradas	25
Portos e aeroportos	25
Telecomunicações	15
Indústria	10
Outros serviços	15

(Adaptada de Regulamento Delegado (UE) n.º 480/2014 da Comissão de 3 de março)

3.2 Análise económica

A análise económica aborda a avaliação da oportunidade para a sociedade e da melhor utilização dos recursos, devendo ser possível identificar a solução que corresponde à melhor utilização dos recursos.

A análise económica parte da análise financeira e aplica uma série de correções aos dados financeiros (Silva e Salvado, 2015):

1. Correção Fiscal;
2. Correção das Externalidades;
3. Conversão dos preços.

Particularizando para o caso de estudo que se verá de seguida, as correções a considerar na análise económica serão apenas as amortizações dos investimentos.

De um ponto de vista contabilístico, uma amortização é a perda de valor dos bens imobilizados como capital fixo. Neste trabalho optou-se por utilizar o método da amortização constante, onde cada elemento obedece a uma taxa de depreciação constante, em função do tempo de vida útil do sistema, sendo efetuadas amortizações a 30 anos para o sistema de desodorização e 15 anos para o sistema de *By-Pass* posteriormente instalado, como visto na Tabela 3.1 (Dias, 2015; Silva e Salvado, 2015).

O fator de amortização a utilizar será calculado segundo a equação 3.1 (Dias, 2015).

$$f_N = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (3.1)$$

onde:

N - Período de amortização (anos);

f_N - Fator de amortização;

i - Taxa de atualização.

Considerou-se como taxa de atualização a taxa de 4% (Sartori et al., 2015).

Capítulo 4

Caso de estudo - ETAR de Castelo Branco

Para caso de estudo deste trabalho de projeto, o modelo foi a ETAR de Castelo Branco. Esta ETAR situa-se em Castelo Branco, junto à A23 e tem um afluente essencialmente doméstico, onde o componente industrial tem um peso em caudal e carga poluente de 20 e 65% respetivamente (Águas do Centro, 2014).

Foi considerado um equivalente populacional para o ano 0 de 92.443 habitantes e para o ano horizonte de projeto um equivalente populacional de 95.565 habitantes. A distribuição em termos de característica do efluente apresenta-se na tabela 4.1 (Águas do Centro, 2014).

Tabela 4.1: População equivalente da ETAR de Castelo Branco

Efluente	Ano 0	Ano HP
Doméstico	38.586	41.708
Industrial	53.857	53.857
Total	92.443	95.565

(Adaptada de Águas do Centro, 2014)

Este afluente chega através de dois emissários: o emissário norte, que tem uma chegada em pressão, com um caudal de $135 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, e o emissário sul, com uma chegada gravítica e um caudal de $250 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$. O emissário Norte é encaminhado para montante dos canais de gradagem, enquanto que o emissário Sul é descarregado para a elevação inicial com parafusos de Arquimedes (Águas do Centro, 2014).

Na tabela 4.2 apresentam-se os caudais à entrada da ETAR para o ano 0 e para o ano horizonte de projeto (HP), respetivamente.

Tabela 4.2: Caudais de entrada na ETAR

			Ano 0	Ano HP
Doméstico	Caudal médio - tempo seco	(m ³ .d ⁻¹)	9.057	9.772
	Caudal médio - tempo húmido	(m ³ .d ⁻¹)	16.024	17.288
	Caudal de ponta - tempo seco	(m ³ .h ⁻¹)	616	661
	Caudal de ponta - tempo húmido	(m ³ .h ⁻¹)	906	978
Industrial	Caudal médio - tempo seco	(m ³ .d ⁻¹)	2.779	2.725
	Caudal médio - tempo húmido	(m ³ .d ⁻¹)	3.848	3.794
	Caudal de ponta - tempo seco	(m ³ .h ⁻¹)	294	292
	Caudal de ponta - tempo húmido	(m ³ .h ⁻¹)	338	336
Total	Caudal médio - tempo seco	(m ³ .d ⁻¹)	11.836	12.496
	Caudal médio - tempo húmido	(m ³ .d ⁻¹)	19.872	21.082
	Caudal de ponta - tempo seco	(m ³ .h ⁻¹)	910	952
	Caudal de ponta - tempo húmido	(m ³ .h ⁻¹)	1245	1.314

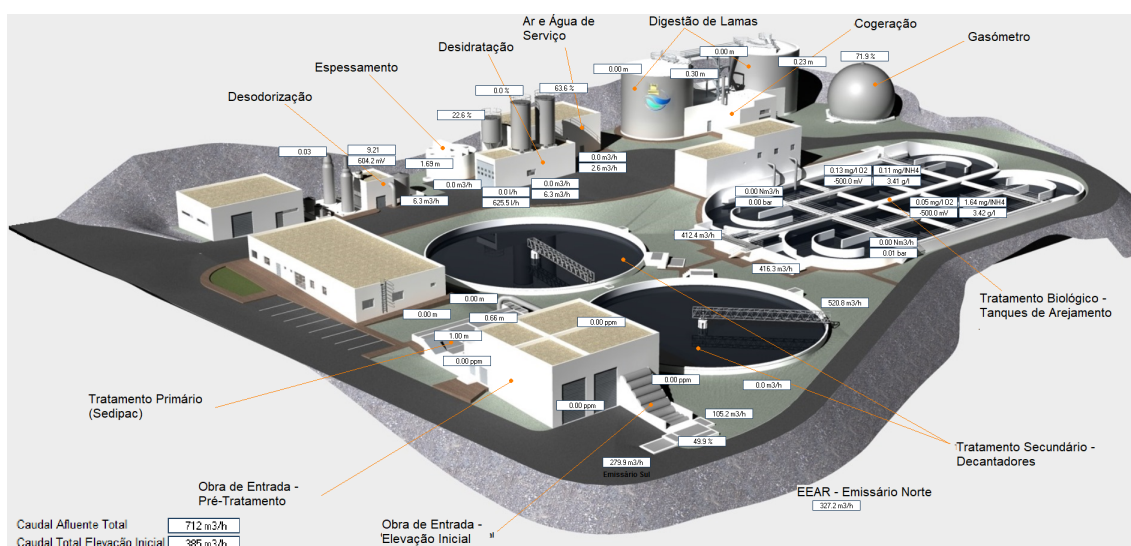
(Adaptada de Águas do Centro, 2014)

A ETAR de Castelo Branco tem três linhas distintas: a linha de tratamento da fase líquida (secção 4.1), a linha de tratamento da fase sólida (secção 4.2) e a linha gasosa (4.3), para tratamento de odores. Na Figura 4.1 apresenta-se o plano geral da ETAR de Castelo Branco.

Esta ETAR tem parte dos elementos cobertos, sendo estes elementos de dois tipos: locais com acesso regular do pessoal de operação e locais sem acesso regular do pessoal, como os canais de gradagem e a zona de descarga.

Os elementos cobertos da ETAR são o edifício de obra de entrada, os Sedipac™3D¹, o espessador gravítico, o tamisador de lamas primárias, o edifício de

¹O Sedipac™3D tem 2 funções de tratamento preliminar (desarenamento e desengorduramento) e uma função de tratamento primário (decantação primária lamelar), utilizando 3 operações apenas um equipamento (Suez, 2021a).



(Imagem de Águas do Centro)

Figura 4.1: Plano geral da ETAR de Castelo Branco

desidratação de lamas, os silos de lamas desidratadas e a zona de descarga dos silos de lamas.

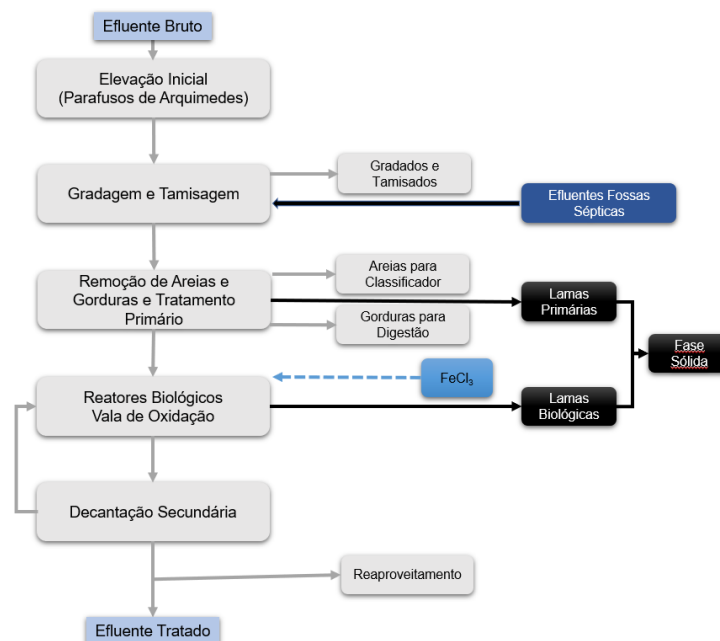
O edifício de obra de entrada engloba a câmara de chegada, os parafusos de Arquimedes, os tamisadores dos dois emissários, o tamisador de fossas sépticas, o tanque de fossas sépticas, o classificador de areias e os contentores de gradados e areias e o edifício de desidratação de lamas contém os potes de desgaseificação das centrifugas, as grelhas de espessamento mecânico, o concentrador de gorduras e a cisterna de mistura de lamas espessadas.

Esta ETAR foi projetada inicialmente com um sistema de desodorização como se descreverá na secção 4.3.2. Atualmente está em funcionamento com um sistema de desodorização/ventilação alternativo, onde foi colocado um *by-pass* antes das torres de desodorização, bem variadores de velocidade nos ventiladores e sensores de medição de H₂S no *by-pass* e à saída das torres de desodorização de modo a controlar a abertura ou fecho do *by-pass* em função da emissão de H₂S, e será a comparação entre ambos os esquemas de tratamento que será a base para a avaliação que se pretende efetuar.

4.1 Tratamento da fase líquida

A linha de tratamento da fase líquida é composta por seis etapas, como consta na Figura 4.2 (Águas do Centro, 2014):

- Elevação inicial - estágio de elevação por 2 + 1 grupos de parafusos de Arquimedes;
- Tratamento preliminar:
 - ◊ 2 linhas de gradagem mecânica (40 mm) seguidas de 2 linhas de tamisagem mecânica (6 mm), com 1 linha de gradagem manual em by-pass (40 mm);
 - ◊ Tratamento de efluentes provenientes dos limpa-fossas (tamisagem, desarenamento, homogeneização e elevação do efluente), com elevação para o canal de tamisagem, a jusante do tamisador, numa unidade compacta (tanque de 45 m³);
 - ◊ Remoção de areias, óleos e gorduras (Sedipac™ 3D);
- Tratamento primário - 2 linhas de decantação primária lamelar (Sedipac™ 3D);
- Tratamento secundário:
 - ◊ 2 linhas de lamas ativadas em valas de oxidação, com zonas anóxicas e zonas arejadas em sequência, com arejamento por ar difuso
 - ◊ 2 linhas de decantação secundária com sucção de lamas;
- Reutilização de parte do efluente tratado para rega e lavagem de equipamentos na própria ETAR, com filtração e UV adicional;
- Descarga do efluente tratado.



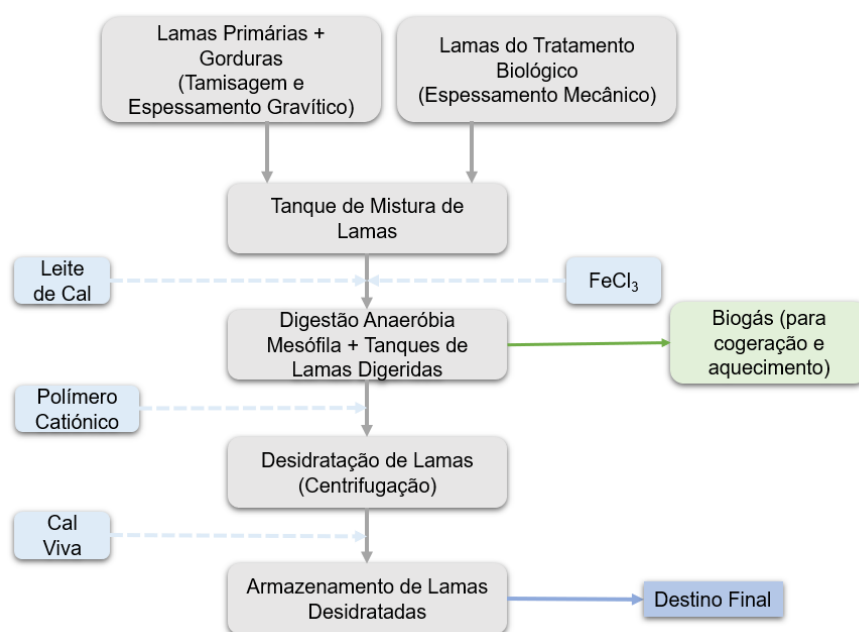
(Adaptada de Águas do Centro, 2014)

Figura 4.2: Esquema da linha de fase líquida na ETAR de Castelo Branco

4.2 Tratamento da fase sólida

Do tratamento da fase líquida resultam vários resíduos:

- Gradados e tamisados, com origem na gradagem/tamisagem, que serão enviados através de transportadores de sólidos e descarregados no contentor de resíduos de processo;
- Areias provenientes do desarenamento, onde existem duas fossas de extração de areias, que são depois encaminhadas para um classificador de areias e posteriormente colocadas em contentores de subprodutos, para transporte posterior;
- Gorduras flotadas, provenientes do desengorduramento, recolhidas por uma caleira pivotante de recolha automática no Sedipac™ 3D, sendo encaminhadas para um poço de recolha onde são depois bombeadas para o concentrador de gorduras (junto ao tanque de lamas mistas), havendo neste ponto uma mistura das gorduras com as lamas mistas espessadas, sendo enviadas juntamente com as lamas para os digestores;
- Lamas primárias da decantação primária lamelar, que são extraídas e enviadas para o espessamento de lamas;
- Lamas secundárias que são espessadas antes do seu reenvio para o reator biológico (recirculação).



(Adaptada de Águas do Centro, 2014)

Figura 4.3: Esquema da linha de fase sólida na ETAR de Castelo Branco

A linha de tratamento da fase sólida é constituída pelas etapas de tratamento seguintes, conforme descrito na Figura 4.3 (Águas do Centro, 2014):

- Separação das gorduras no tratamento primário, enviadas para a digestão;
- 1 tamisador e 1 espessador gravítico das lamas primárias com diâmetro de 8 m;
- 2 espessadores mecânicos das lamas biológicas em excesso;
- 2 digestores anaeróbios mesófilos das lamas mistas, com aproveitamento do biogás através do sistema de cogeração;
- 2 equipamentos de desidratação mecânica das lamas digeridas, com adição de cal viva para estabilização e desidratação, seguido de armazenamento em dois silos que descarregam diretamente para as viaturas de transporte para o destino final;
- Retorno das escorrências do espessamento e desidratação para a fase líquida.

4.3 Tratamento da fase gasosa

Como já referido no Capítulo 1.3, as principais fontes de odor numa ETAR são sobretudo a elevação inicial e intermédia, a fase de gradagem/tamisagem (tratamento, armazenamento e transporte) e equipamentos de lamas (tratamento, armazenamento e descarga), seguidas da decantação primária, nomeadamente na zona de quedas, como por exemplo nas caleiras. É essencialmente junto destas etapas de tratamento que é necessário intervir, de modo a reduzir a emissão de odores, ou evitando que se difundam, sendo por isso necessário efetuar a sua captação/extração para posterior tratamento. (Águas do Centro, 2014).

A etapa da desodorização tem duas fases distintas: a fase de captação e a fase de tratamento. Durante a fase de captação, junto dos equipamentos onde são produzidos os odores, é feita a aspiração de ar viciado por dois ventiladores, de modo a impedir a difusão para o exterior de poluentes atmosféricos e esta corrente gasosa é depois encaminhada para a fase de tratamento.

Durante a fase de captação, a aspiração efetuada pelos dois ventiladores tem uma elevada exigência energética, sendo onde existe o maior consumo energético do tratamento da fase gasosa. Por esse motivo é de extrema importância otimizar esta fase e reduzir ao máximo possível o consumo energético.

De modo a otimizar os custos energéticos, garantindo a qualidade do ar interior, que não é causado incómodo na vizinhança e que a corrosão dos equipamentos é minimizada, em 2019 procedeu-se a uma alteração efetuada na configuração do tratamento da fase gasosa que se verá em mais detalhe no capítulo 4.3.3.

4.3.1 Caudal de ar a tratar

Na ETAR de Castelo Branco a determinação do caudal de ar total a tratar foi efetuado com base na estimativa do caudal de ar a extrair das zonas onde são produzidos/gerados os odores, ou seja na zona da obra de entrada, Sedipac e tratamento de lamas (Águas do Centro, 2014). Para tal, a equipa de projeto da ETAR de Castelo Branco estimou que o caudal de ar (Q) a extrair é dado pela razão entre o fluxo mássico do poluente e a concentração máxima dada pelo VLE do H₂S, de acordo com a expressão 4.1 (Águas do Centro, 2014). Foi considerado como referência o valor de H₂S uma vez que, como já mencionado, este é habitualmente o composto odorífico em maior quantidade numa ETAR, sendo também o composto com maior impacte a nível da saúde e segurança no trabalho e na corrosão de equipamentos (Antunes, 2006).

$$Q_{\text{Extração Teórico}} = \frac{\text{Fluxo Mássico}}{\text{VLE}} \quad (4.1)$$

Tendo em conta que a extração é efetuada em diversos pontos da sala, é necessário garantir que, mesmo nos locais mais afastados da extração, os VLE são cumpridos. Para tal, calculou-se o caudal de extração real, de acordo com a expressão 4.2.

Assim, pode calcular-se o caudal real de acordo com a expressão 4.2 (Águas do Centro, 2014).

$$Q_{\text{Extração Real}} = K \times Q_{\text{Extração Teórico}} \quad (4.2)$$

Onde:

K - coeficiente de homogeneidade, que pode variar entre 1,5, no caso de existir insuflação de ar fresco, e 3 caso não exista insuflação de ar (Águas do Centro, 2014).

De acordo com Águas do Centro (2014) foram considerados os caudais que se apresentam na Tabela 4.3.

Deste modo, e considerando as expressões 4.1 e 4.2, o caudal de ar total a desodorizar foi calculado como 21.380 Nm³.h⁻¹.

As torres de desodorização foram dimensionadas tendo em conta este caudal, tendo assim 1.900 mm de diâmetro, com uma altura de enchimento de 2,5 m e um tempo de contacto de 1,2 segundos.

Tabela 4.3: Caudais de ar para o sistema de desodorização inicial

Localização	Secção poluente m ²	Volume m ³	Dimensões do Local (m)				Caudal de Extração Teórico (m ³ .h ⁻¹)			Caudal Selecionado (m ³ .h ⁻¹) Q	
			Nº	Φ	L	I	H	H ₂ S	Mercaptanos (R-SH)		NH ₃
Rede 1 - Obra de Entrada											
Zona Parafusos Arquimedes											
Base Parafusos Arquimedes	12	-	1	-	3,1	4	-	15	60	2	179
Parafusos Arquimedes 1	10	-	1	-	9,2	1	-	12	48	2	143
Parafusos Arquimedes 2	10	-	1	-	9,2	1	-	12	48	2	143
Canal Descarga Parafusos	14	-	1	-	3,4	4	-	17	68	3	203
<i>Local Sala Motor Parafusos</i>		81,6	1	-	6	3,4	4	-	-	-	208
Zona Galeria SEDIPAC											
<i>Local Sala Galeria SEDIPAC</i>		156,8	1	-	14	2,8	4	-	-	-	402
Zona Edifício Obra de Entrada											
Canal a Montante das Grelhas	14	-	1	-	3,2	5	-	32	176	8	264
Canal Grelhas 1	8	-	1	-	8	1	-	18	98	5	147
Grelha Grossa 1	2	-	1	-	2	1	-	1	2	1	3
Tamisador 1	4	-	1	-	4	1	-	1	1	0	2
Canal Grelhas 2	8	-	1	-	8	1	-	18	98	5	147
Grelha Grossa 2	2	-	1	-	2	1	-	1	2	1	3
Tamisador 2	4	-	1	-	4	1	-	1	1	0	2
Canal a Jusante das Grelhas	17	-	1	-	2,9	6	-	6	4	1	10
Contentor Gradados	7	-	1	-	1,9	4	-	0	11	6	17
Contentor Areias	7	-	1	-	1,9	4	-	5	4	0	8
Classificador Areias	3,5	-	1	-	-	-	-	1	0	0	2
Equipamento Lamas FS	6,7	-	1	-	-	-	-	402	670	168	854
Tanque Fossas Sépticas	23	-	1	-	3,5	7	-	402	0	5	1.386
<i>Local Sala Canais</i>		1080	1	-	-	-	-	-	-	-	7.521
Zona SEDIPAC											
Canal Comum Entrada SEDIPAC	7	-	1	-	0,64	11	-	23	34	1	102

Tabela 4.3: Caudais de ar para o sistema de desodorização inicial (continuação)

Localização	Secção poluente m ²	Volume m ³	Dimensões do Local (m)				Caudal de Extração Teórico (m ³ .h ⁻¹)			Caudal Selecionado (m ³ .h ⁻¹) Q	
			Nº	Fi	L	I	H	H ₂ S	Mercaptanos (R-SH)		NH ₃
Canal Entrada SEDIPAC 1	7	-	1	-	0,5	15	-	24	35	1	106
Desarenador SEDIPAC 1	9	-	1	-	3	3	-	29	41	2	130
Fossa Flotantes SEDIPAC 1	1	-	1	-	1,6	1	-	1	0	0	2
Decantador SEDIPAC 1	35	-	1	-	-	-	-	4	1	0	13
Caleiras SEDIPAC 1	10	-	8	-	0,4	3	-	4	2	0	12
Caleira Saída SEDIPAC 1	4	-	1	-	0,8	6	-	2	1	0	5
Canal Entrada SEDIPAC 2	7	-	1	-	0,5	15	-	24	35	1	106
Desarenador SEDIPAC 2	9	-	1	-	3	3	-	29	43	2	130
Fossa Flotantes SEDIPAC 2	1	-	1	-	1,6	1	-	1	0	0	2
Decantador SEDIPAC 2	35	-	1	-	-	-	-	4	1	0	13
Caleiras SEDIPAC 2	10	-	8	-	0,4	3	-	4	2	0	12
Caleira Saída SEDIPAC 2	4	-	1	-	0,8	6	-	2	1	0	5
Canal Comum Saída SEDIPAC	16	-	1	-	1	16	-	6	3	0	19
TOTAL REDE 1											12.301
Rede 2 - Tratamento de Lamas											
Tamisador de Lamas	2	-	1	-	-	-	-	0	0	0	1
Espessador Gravítico	50	-	1	8	-	-	-	603	201	3	1.810
GDD 1	6	-	1	-	2,1	3	-	38	13	0	113
GDD 2	6	-	1	-	2,1	3	-	38	13	0	113
Centrífuga 1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	200
Centrífuga 2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	200
Centrífugas (Emitido para a Sala)	-	-	1	-	-	-	-	4	20	23	35
Concentrador de Gorduras	4	-	1	-	3	1	-	4	1	0	11
Contentor de Gorduras	1	-	1	-	0,8	1	-	1	0	0	2
Tanque de Mistura de Lamas	30	-	1	-	3	10	-	180	96	1	540
<i>Local Sala de Lamas</i>			1	-	-	-	-	-	-	-	3.338

Tabela 4.3: Caudais de ar para o sistema de desodorização inicial (continuação)

Localização	Secção poluente m ²	Volume m ³	Dimensões do Local (m)				Caudal de Extração Teórico (m ³ .h ⁻¹)			Caudal Selecionado (m ³ .h ⁻¹) Q	
			Nº	Fi	L	I	H	H ₂ S	Mercaptanos (R-SH)		NH ₃
Silo de Lamas 1	9	-	1	3	-	-	-	12	2	145	436
Silo de Lamas 2	9	-	1	3	-	-	-	12	2	145	436
Descarga de Lamas	9	-	1	3	-	-	-	0	0	1.734	1.734
<i>Local Hangar Descarga de Lamas</i>		368	1	-	-	-	-	-	-	-	1.842
TOTAL REDE 2											9.078
TOTAL GLOBAL (m³/h)											21.379

(Adaptada de Águas do Centro, 2014)

4.3.2 Configuração inicial

A fase de ventilação projetada inicialmente manteve-se idêntica, sendo que a ETAR foi dimensionada para cumprir com a Portaria n.º 762/2002, e com o objetivo de reduzir a corrosão nos equipamentos. É de considerar que, à data em que a ETAR foi projetada, a legislação era ainda escassa, tendo sido considerado três locais de tratamento distintos:

- Locais com acesso regular de pessoal de operação: foram considerados os valores de concentrações da Portaria n.º 762/2002, no entanto deve ter-se em conta que existe nova legislação com VLE mais baixos do que os considerados à data (Decreto-Lei n.º 1/2021), de acordo com a Tabela 4.4.

Tabela 4.4: VLE considerados em edifícios com acesso regular de pessoal

	VLE considerados no dimensionamento ²		VLE Atuais	
	(ppm)	(mg.m ⁻³)	(ppm)	(mg.m ⁻³)
H ₂ S	10	13,94	5	7
NH ₃	25	17,42	20	14
CH ₃ SH	0,5	0,98		

(Adaptada de Águas do Centro, 2014 e Decreto-Lei n.º 1/2021)

- Locais sem acesso regular de pessoal de operação:
 - ◊ Órgãos cobertos ao nível do plano de água sem betão protegido - foram considerados os VLE abaixo do limite para a corrosão do betão de acordo com a Tabela 4.5;

Tabela 4.5: VLE considerados em edifícios sem acesso regular de pessoal

	Sem Betão Protegido (mg.m ⁻³)	Com Betão Protegido/Aço (mg.m ⁻³)
H ₂ S	25	50
NH ₃	50	100
CH ₃ SH	2,5	5

(Adaptada de Águas do Centro, 2014)

- ◊ Órgãos cobertos ao nível do plano de água com betão protegido ou em inox - foram considerados os VLE abaixo do limite para a corrosão do betão de acordo com a Tabela 4.5.

Foi ainda definido um mínimo de 5 renovações por hora em salas e edifícios onde foi possível prever captura direta nas fontes de emissão de odor e 10 nos casos em que tal previsão não foi possível (Águas do Centro, 2014).

Tendo em atenção os VLE considerados anteriormente, o tratamento de odores projetado consiste em duas fases:

Aspiração de ar viciado

A aspiração de ar é efetuada em sete pontos distintos: edifício de obra de entrada, equipamento de desarenamento/desengorduramento/decantação primária, espessador gravítico, tamisador de lamas primárias, silos de lamas desidratadas e zona de descarga dos silos de lamas (Águas do Centro, 2014).

No caso da aspiração do edifício de obra de entrada, além da aspiração geral existe aspiração localizada na câmara de chegada, nos parafusos de Arquimedes, nos canais, nos tamisadores, no tamisador e tanque de fossas sépticas, no classificador de areias e nos contentores de gradados (Águas do Centro, 2014).



Figura 4.4: Ventiladores da ETAR de Castelo Branco

Do mesmo modo, também no edifício de desidratação de lamas a aspiração é efetuada em vários pontos: potes de desgasificação das centrífugas, grelhas de espessamento mecânico, concentrador de gorduras e cisterna de mistura de lamas espessadas (Águas do Centro, 2014).

Após a recolha, o ar é comprimido por dois ventiladores instalados, como o mostrado na Figura 4.4, junto a duas torres de absorção química, que encaminham o ar poluído para a segunda fase do tratamento (Águas do Centro, 2014), cujas características se apresentam na Tabela 4.6 (Águas do Vale do Tejo, 2019):

Tabela 4.6: Características dos ventiladores

Equipamento	Potência (kW)	Caudal (m ³ .h ⁻¹)	Pressão (Pa)
Ventiladores	15	10.700	2.000

(Adaptada de Águas do Vale do Tejo, 2019)

Absorção química

Foi considerado à data do projeto que, quer pelos caudais a tratar quer pelas características da instalação, o melhor método de desodorização seria a desodorização por absorção química (Águas do Centro, 2014).

Este tratamento consiste em duas torres de absorção química (*scrubbers*) onde existe, numa primeira fase (e na primeira torre), uma lavagem ácida, efetuada com ácido sulfúrico, de modo a eliminar os compostos azotados (amoníaco e aminas). Na segunda torre dá-se a lavagem oxidante e a lavagem alcalina, usando respetivamente como solventes o hipoclorito de sódio e o hidróxido de sódio (Águas do Centro, 2014).

Na lavagem oxidante pretende-se remover o sulfureto de hidrogénio, os sulfuretos orgânicos, os mercaptanos e também amoníaco e aminas, enquanto que na lavagem alcalina o objetivo é remover os AOV, os compostos sulfurados reduzidos e o cloro residual (Águas do Centro, 2014).

Estas torres foram dimensionadas para tratar um caudal de ar de 21.380 Nm³.h⁻¹, com os dois ventiladores em funcionamento simultâneo.

Deve ainda ser tido em conta que estas torres contam com um sistema de recirculação de solvente, tendo também assim um consumo associado. A imagem geral do sistema de desodorização apresenta-se na Figura 4.5 (Águas do Vale do Tejo, 2019).



Figura 4.5: Desodorização da ETAR de Castelo Branco

Os critérios de dimensionamento da configuração inicial são apresentados resumidamente na Tabela 4.7 (Águas do Centro, 2014):

Tabela 4.7: Critérios de dimensionamento da configuração inicial

Parâmetro	Critério de dimensionamento
Tipo de Desodorização	Desodorização química da absorção gasosa
Caudal de ar a desodorizar	21.380 Nm ³ .h ⁻¹
Velocidade máxima de passagem nas torres	2,1 m.s ⁻¹
Altura do meio de enchimento	2,5 m
Diâmetro resultante	1,9 m
Caudal de recirculação de lavagem	2,5 L.m ⁻³ de ar
Número de torres	2
Diâmetro das torres	1,9 m
Elementos de contacto	50 mm
Tempo de contacto real	1,2 s
Número de ventiladores	2
Bombas de recirculação às torres	4
das quais em funcionamento	2
Caudal das bombas de recirculação	51 m ³ .h ⁻¹

(Adaptada de Águas do Centro 2014)

4.3.3 Configuração atual

A produção de odores resulta essencialmente de compostos como amoníaco, H_2S , amoníaco, mercaptanos, aminas e AOV, e dado que a libertação destes varia com fatores como a concentração de oxigénio, pH, temperatura e regime de escoamento, verificou-se os caudais eram menores do que os estimados e que a concentração dos gases odoríferos era mais baixa do que a estimada inicialmente, sendo por isso possível evitar o tratamento. Deste modo foi possível baixar as taxas de ventilação e limitar a quantidade de gases que seria enviado para tratamento (Águas do Vale do Tejo, 2019).

Estas oportunidades de otimização foram identificadas pois existe um histórico que justifica que a unidade de desodorização só seja ativada em situações pontuais, uma vez que na generalidade do tempo se constata que a presença de compostos odoríferos é residual e como tal, dispensando a operação permanente de desodorização (Águas do Vale do Tejo, 2019).



(Adaptada de Águas do Vale do Tejo, 2019)

Figura 4.6: *By-pass* instalado na ETAR de Castelo Branco

Como tal, em 2019 foi colocado um *by-pass* à desodorização (visível na Figura 4.6) que permite que o ar extraído não passe pelo sistema de desodorização, evitando a perda de carga associada à passagem deste fluxo pelo enchimento das torres, reduzindo os custos energéticos associados a esta operação, ou seja, foi adicionada uma válvula que permite efetuar um *by-pass* entre a saída dos ventiladores e a entrada dos lavadores, de modo a existir uma saída direta para a atmosfera do ar aspirado no sistema de aspiração, sendo este *by-pass* seccionável (Águas do Vale do Tejo, 2019).

Para este efeito foram instalados variadores de velocidade, de modo a controlar os dois ventiladores de desodorização, bem como o referido *by-pass* às torres. Foram ainda instaladas duas sondas de H_2S , uma em cada chaminé, para monitorização do H_2S à saída do *by-pass* e à saída das torres de desodorização, permitindo verificar a necessidade de abertura ou fecho do *by-pass* em função da concentração de H_2S , permitindo ter uma medição em contínuo e uma válvula de seccionamento na toma de aspiração do edifício de descarga de lamas. Apresenta-se na Figura 4.7 o esquema do sistema de desodorização (Águas do Vale do Tejo, 2019). Instalaram-se sondas apenas para o H_2S e não para os outros compostos odoríficos uma vez que a concentração deste composto é geralmente superior à concentração de amoníaco ou mercaptanos (Antunes, 2006).

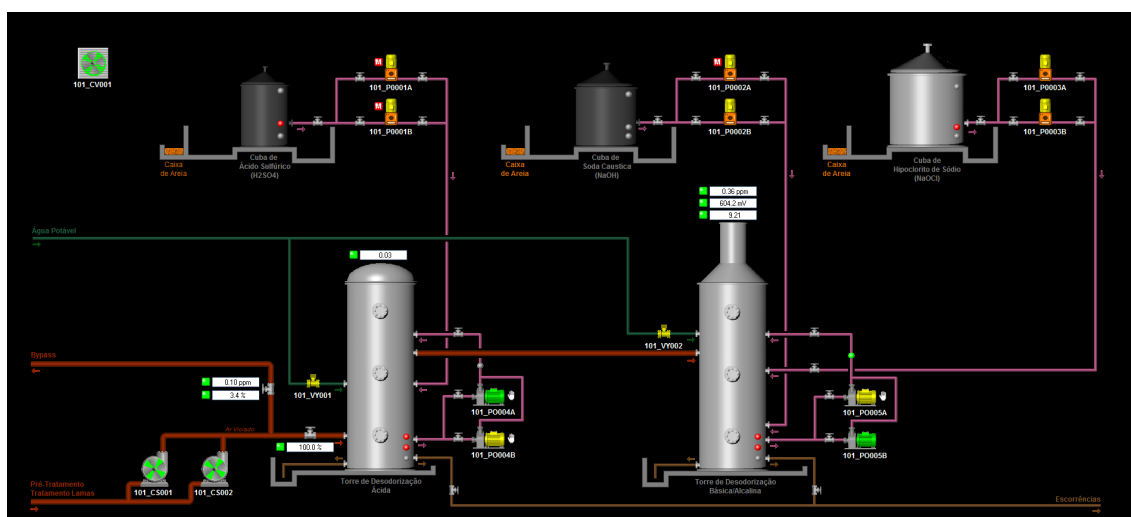


Figura 4.7: Esquema da desodorização da ETAR de Castelo Branco

É necessário ainda referir que apenas é monitorizado o H_2S uma vez que a concentração deste gás é sempre superior à de amoníaco ou mercaptanos e a razão entre os valores pretendidos em edifícios cobertos e a emissão para o exterior faz com que a monitorização de H_2S seja suficiente, além de que é ainda o H_2S o principal responsável pela corrosão nos equipamentos da ETAR. Além das medições efetuadas pelos sensores, existe ainda monitorização do ar interior

por sensores manuais utilizados pelos trabalhadores no local, garantido que os VLE estão de acordo com os valores pretendidos.

4.4 Estimativa de custos na ETAR de Castelo Branco

Para que se possa estimar os custos de operação optou-se por não considerar os custos de manutenção uma vez que estes serão idênticos para ambas as configurações e por esse motivo serão considerados para este efeito apenas os custos com energia e reagentes.

Devem considerar-se para cálculo dos valores estimados, os valores unitários de energia e reagentes que se apresentam de seguida:

Tabela 4.8: Custos unitários de energia e reagentes

	Valor Unitário
Energia	0,14 €/kWh
H ₂ SO ₄	0,2153 €/kg
NaOH	0,2538 €/kg
NaOCl	0,2634 €/kg

Para calcular a estimativa do custo energético dos ventiladores, teve-se em conta a potência já referida na Tabela 4.6.

Assumindo que os dois ventiladores trabalhariam 24 horas por dia com uma potência unitária constante de 15 kW, ter-se-ia ao final de um dia um consumo de $24 \times 15 \times 2$ kWh, o que corresponde a um custo diário de 100,80 € e a um custo mensal de 3.024,00 €.

Devem ainda considerar-se as bombas de recirculação e doseadoras, com uma potência de 60 kW no total. À semelhança do cálculo para o consumo dos ventiladores, e assumindo um funcionamento contínuo de 24 horas por dia, ter-se-ia um consumo diário de 1.440 kWh, que corresponde a um custo de 201,60 € por dia o que equivale a 6.048,00 € por mês.

No caso dos custos com os reagentes, pode utilizar-se o consumo específico de reagentes indicado na Tabela 2.4:

- Ácido sulfúrico: $3 \text{ g H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{ NH}_3$;
- Hipoclorito de Sódio: $9 \text{ g NaOCl} \cdot \text{g}^{-1} \text{ H}_2\text{S}$;

- Hidróxido de Sódio: $2,5 \text{ g NaOH.g}^{-1} \text{ H}_2\text{S}$.

Sendo esperado o caudal de ar a tratar calculado na equação 4.2 de $21.380 \text{ Nm}^3.\text{h}^{-1}$ e assumindo que o amoníaco e H_2S cumprem com o VLE nos vários edifícios (Tabela 4.4), ter-se-ia no pior cenário um valor de emissão de $17,42 \text{ mg NH}_3.\text{m}^{-3}$ e $13,94 \text{ mg H}_2\text{S.m}^{-3}$, ou seja $372,44 \text{ g NH}_3.\text{d}^{-1}$ e $298,04 \text{ g H}_2\text{S.d}^{-1}$.

Considerando o consumo mencionado anteriormente, será então de esperar o seguinte consumo diário:

- Consumo Ácido Sulfúrico = $3 \times 372,44 = 1.123,32 \text{ g.d}^{-1}$;
- Consumo Hipoclorito de Sódio = $9 \times 298,04 = 2.682,36 \text{ g.d}^{-1}$;
- Consumo Hidróxido de Sódio = $2,5 \times 298,04 = 745,1 \text{ g.d}^{-1}$.

Na tabela 4.9, assumindo 30 dias em cada mês, apresentam-se os custos operacionais mensais e anuais:

Tabela 4.9: Custos com reagentes e energia

Descrição	Custo Mensal (€)	Custo Anual (€)
Ácido Sulfúrico	7,23	124,00
Hipoclorito de Sódio	20,41	244,91
Hidróxido de Sódio	5,93	71,16
Custo Energético	9.072,00	108.864,00

Assim, de uma forma resumida, o custo anual total energético estima-se de $108.864,00 \text{ €}$ por ano e o custo total com reagentes $436,07 \text{ €}$ por ano, valor este que também pode ser considerado desprezável face aos consumos energéticos.

Capítulo 5

Análise técnico-económica

5.1 Configuração inicial

A configuração inicial da ETAR de Castelo Branco consistia em dois ventiladores com potência unitária de 15 kW no entanto, de acordo com medições efetuadas antes da instalação do **by-pass** através de um analisador de energia, estes encontravam-se em funcionamento com uma potência unitária de 8,5 kW, ou um total de 17 kW, sendo o caudal de $16.798 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ e uma pressão de 2.000 Pa (Águas do Vale do Tejo, 2019), tal como descrito na Tabela 4.6.

No caso das torres temos a considerar o sistema de recirculação, sendo este composto por uma bomba de recirculação em cada uma das torres, com um consumo total de 10 kW e um caudal de recirculação de $51 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Águas do Centro, 2014; Águas do Vale do Tejo, 2019).

5.1.1 Custos de investimento da configuração inicial

Para efeitos de contabilização dos custos da configuração inicial, devem considerar-se os valores indicados no Anexo A. Deve ainda ter-se em consideração que estes são valores de 2015.

De um modo resumido, o custo total do sistema de desodorização foi de 178.434,60 €.

5.1.2 Custos de operação com a configuração inicial

No caso da ETAR de Castelo Branco, os custos de manutenção são os mesmos, independentemente de qual a configuração do sistema de desodorização, e por esse modo os mesmos não serão considerados, considerando-se apenas os custos energéticos.

Assim o valor dos custos operacionais da configuração inicial foi determinado tendo em conta o consumo energético aferido em 2019, antes de instalar *by-pass*, ou seja, o consumo da ventilação, 149.632,0 kWh/ano, e o consumo do sistema de recirculação, 88.476,0 kWh/ano, no total um consumo de 238.108,0 kWh/ano (EPAL, 2017). Tendo em conta o custo unitário do kWh de 0,14 €, estimou-se um custo de operação para a configuração inicial de 33.335,12 €/ano.

Além do custo energético, é possível calcular a pegada de carbono desta solução. Para este cálculo utilizar-se-à o valor de emissão específica de CO₂ imputável à produção de eletricidade de 270,88 g.kWh⁻¹. Deste modo, considerando o consumo total anual de 238.108,0 kWh/ano, as emissões totais para a configuração inicial serão de 64,50 toneladas de CO₂ por ano (Galp, 2021).

5.1.3 Medições de H₂S com a configuração inicial

O estudo em questão decorreu após a instalação do *by-pass*, e por esse motivo não existiram medições antes desta alteração. Assim, foi efetuada uma simulação das condições semelhantes às condições da configuração inicial, em que a posição das válvulas direcionava todo o caudal para as torres de absorção (figura com posição das válvulas para esta configuração disponível no Anexo B).

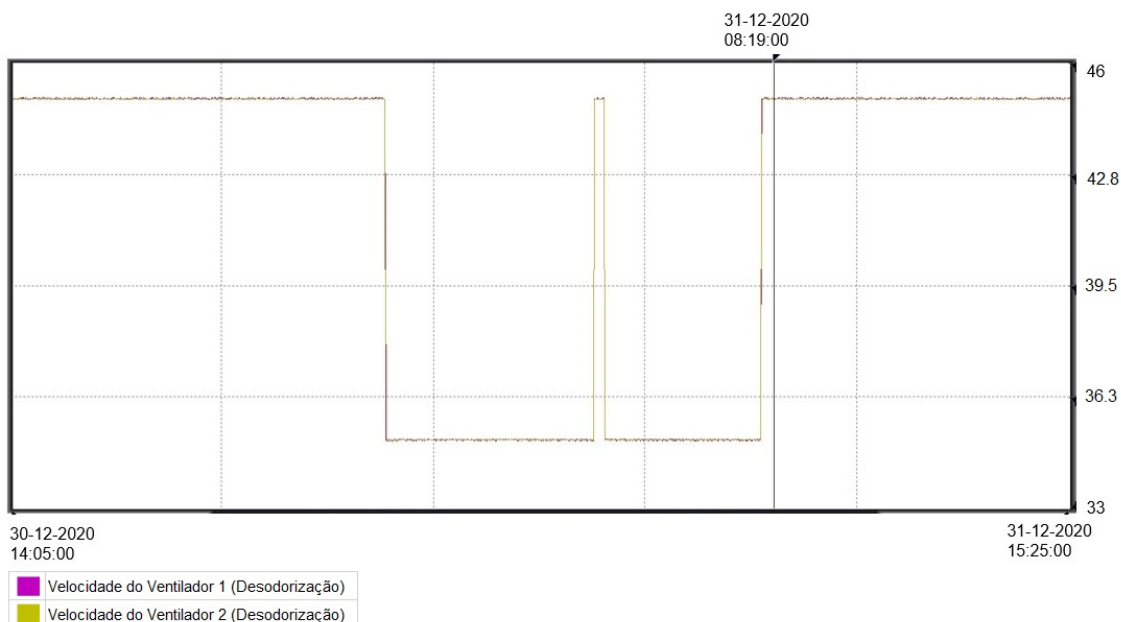


Figura 5.1: Frequência de funcionamento dos ventiladores para a configuração inicial (Hz)

A válvula da torre de lavagem encontrava-se em posição aberta enquanto que a válvula do *by-pass* encontrava-se fechada durante o período entre dia 30 de dezembro de 2020 às 14:05 até dia 31 de dezembro às 15:25, permitindo apenas que o caudal passasse pelo tratamento das torres.

É possível confirmar que os ventiladores mantiveram um funcionamento constante 24 h/dia durante o período de teste (figura no Anexo C) e, na Figura 5.1 mostra-se a frequência de funcionamento dos ventiladores no mesmo período. É visível na imagem que as duas linhas se encontram sobrepostas durante todo o período de funcionamento, significando que ambos os ventiladores funcionam em simultâneo à mesma velocidade (figura no Anexo D).

5.2 Configuração atual

A configuração antes da instalação do *by-pass* previa o funcionamento dos ventiladores a uma frequência constante de 50 Hz. Após a instalação do *by-pass* foram instalados variadores de velocidade, que só por si já permitem a redução do consumo energético, fazendo variar a frequência dos ventiladores ao longo do dia. Tendo em conta que os variadores já estão instalados na ETAR de Castelo Branco, deve considerar-se que sem os variadores estes custos seriam potencialmente mais elevados.

Para o mesmo período de tempo, apresenta-se na Figura 5.2 os valores medidos para o H_2S durante um dia em que o *by-pass* esteve em funcionamento (figura no Anexo E).

Verifica-se que em ambos os sensores colocados na chaminé do *by-pass* e nas torres os valores de H_2S são bastante reduzidos, nunca excedendo os 0,46 ppm durante o tempo de monitorização. Apesar de não existir legislação sobre a emissão de poluentes odoríficos para a atmosfera, utilizar-se-á como comparação o limiar de odor deste composto ($0,00047 \text{ ppm}_v$). Sendo o VLE referido no Decreto-Lei n.º 1/2021 de 5 ppm para uma exposição de 8 horas, apesar de o valor medido ser bastante inferior, ainda é possível o mesmo ser sentido na vizinhança próxima, tendo em conta o limiar de odor característico do H_2S .

A configuração atual consiste na instalação de um *by-pass* total às torres, onde os ventiladores foram programados para que funcionassem de acordo com a Tabela 5.1. Esta alteração justifica-se pela existência de um histórico onde a presença de compostos odoríficos é marginal, e por esse motivo sendo possível dispensar o funcionamento em permanência das torres de desodorização (Águas do Vale do Tejo, 2019).



Figura 5.2: Variação da Concentração de H₂S (ppm) em função do tempo de funcionamento sem *by-pass*

Tabela 5.1: Frequência de funcionamento programada nos ventiladores

Horário	Frequência (Hz)
00:00 - 09:59	35
10:00 - 18:59	40
19:00 - 23:59	35

(Adaptada de Águas do Vale do Tejo, 2019)

Apesar de estas serem as frequências atualmente programadas, é possível alterar a programação para cada 10 minutos, apresentando-se a tabela de funcionamento completa programada inicialmente no Anexo F.

5.2.1 Custos de investimento do *By-Pass*

Para o custo de investimento do *by-pass* deve ser considerado o valor de 9.000,00 €, à altura do caderno de encargos (Águas do Vale do Tejo, 2019).

5.2.2 Custo de operação da configuração atual

Para o cálculo dos custos de operação da configuração atual, só foram considerados os custos energéticos pelas razões já apontadas no ponto 5.1.2, dado que neste caso não existem custos associados ao sistema de recirculação de

solvente e apenas contribuem para estes custos o consumo energético dos ventiladores.

Tendo em conta ainda que na configuração atual são utilizados variadores de velocidade, é necessário verificar qual a frequência utilizada, sendo depois possível obter a potência utilizada a partir das curvas típicas do ventilador e da frequência de funcionamento, e conseqüentemente obter o valor do consumo energético.

A posição das válvulas foi colocada de modo a direcionar o caudal para o *bypass*, para o período de 14 de julho às 17:03 até 15 de julho às 18:23 (figura no Anexo G). Verifica-se também que neste período os ventiladores se encontraram em funcionamento contínuo, com as velocidades programadas nos variadores para os vários períodos horários (figura no Anexo H).

É possível confirmar na Figura 5.3 que as frequências de funcionamento estão de acordo com a Tabela 5.1 (figura no Anexo I). À semelhança da Figura 5.1, referente à configuração inicial, também para a configuração atual é visível na imagem que as duas linhas se encontram sobrepostas durante todo o período de funcionamento, significando que ambos os ventiladores funcionam em simultâneo à mesma velocidade.

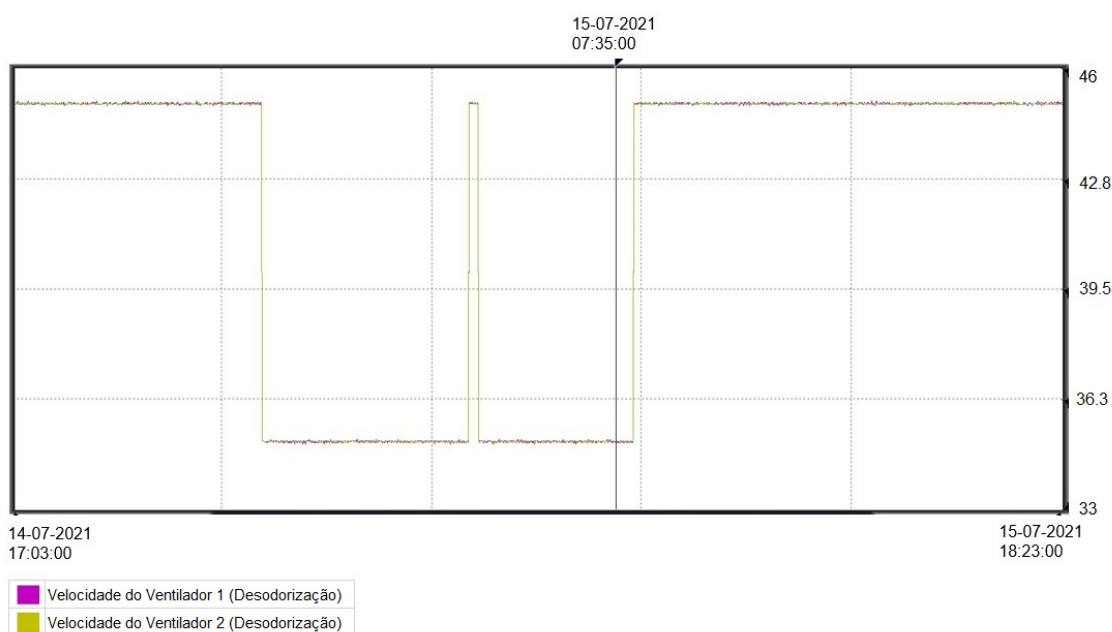
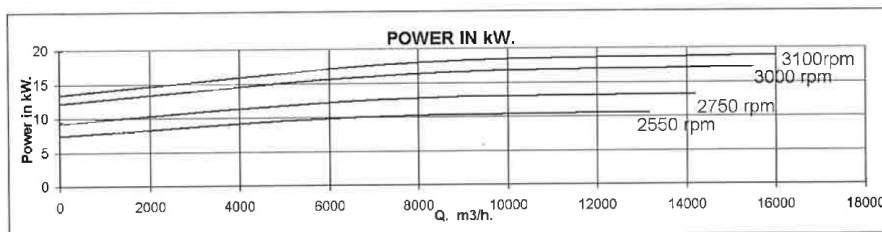


Figura 5.3: Frequência de funcionamento dos ventiladores para a configuração atual (Hz)

A partir da velocidade dos ventiladores, facilmente se retira o valor da potência utilizada através da curva típica do ventilador, que se apresenta na Figura 5.4.



(Adaptada de Tecnum Casals Cardona Ind., n.d.)

Figura 5.4: Curva típica do ventilador

Para que se possa verificar a potência a que correspondem cada uma das frequências de funcionamento, é necessário primeiro calcular o número de rotações por minuto, o que pode ser efetuado apenas multiplicando cada um dos valores por 60. Assim temos na Tabela 5.2 a correspondência em rotações por minuto (rpm) a cada frequência em hertz (Hz):

Tabela 5.2: Conversão da frequência de funcionamento programada nos ventiladores

Frequência de Funcionamento (Hz)	Frequência de Funcionamento (rpm)
35	2100
45	2700

Consultando a Figura 5.4 pode verificar-se que a frequência de 2100 rpm corresponde a uma potência de aproximadamente 10 kW para um caudal de 17.000 m³.h⁻¹, e para a frequência de 2700 rpm temos uma potência de 13 kW para o mesmo caudal.

Verifica-se ainda que durante um dia os ventiladores funcionam durante 7 horas a 13 kW e durante 17 horas 10 kW, num total de 261 kWh/dia.

Assumindo este valor para os 30 dias do mês, com o custo unitário de 0,14€/kWh já mencionado anteriormente, temos um custo energético por ventilador de 1.096,20 €/mês, ou 13.154,40 €/ano.

Podemos então calcular o valor energético total para os dois ventiladores de 2.192,40 €/mês ou 26.308,80 €/ano.

É ainda necessário considerar que ao direcionar o caudal para o *by-pass*, não existe a perda de carga causada pelo enchimento das torres. Deste modo é possível ter o mesmo caudal ou um caudal superior, com a mesma potência de funcionamento dos ventiladores.

Relativamente ao consumo energético das bombas doseadoras e das bombas de recirculação, e conforme consta no Anexo J, o tempo de funcionamento das bombas é nulo, uma vez que o caudal de ar não passa nas torres e como tal não existe qualquer consumo de reagente.

Considerando o consumo para esta configuração de 261 kWh/dia e considerando 30 dias por mês, o consumo anual previsto será de 93.960 kWh/ano. Considerando também o fator de 270,88 g CO₂.kWh⁻¹, estima-se uma emissão de 25,45 toneladas de CO₂ por ano, sendo este valor inferior ao previsto para a configuração inicial em 39,05 toneladas de CO₂ por ano, o que representa um valor de emissões de CO₂ 60% inferior ao da configuração inicial. Considerando um horizonte de projeto de 30 anos, o valor de emissões de CO₂ pode ser reduzido em 1.171,50 toneladas de CO₂.

5.2.3 Medições de H₂S com a configuração atual

Apresenta-se na Figura 5.5 os valores medidos para o H₂S durante um dia em que o *by-pass* esteve em funcionamento. Apresenta-se a imagem original do sinótico no Anexo K.

É possível verificar que em nenhum momento o valor medido foi superior a 1,6 ppm, sendo o VLE a cumprir dentro de edifícios com acesso de pessoal bastante superior. Assim, verifica-se que, apesar de existir o *by-pass*, continua a cumprir-se com o previsto inicialmente e não se excedem os valores para o H₂S. Também à semelhança da configuração inicial, é necessário ter em consideração que o limiar de odor do H₂S é bastante baixo, podendo significar que o odor, apesar de ser inferior ao VLE, pode ser sentido na vizinhança próxima.

Deve ainda considerar-se que as frequências de funcionamento podem ser otimizadas, sendo possível obter emissões de H₂S ainda mais baixas.

5.3 Análise comparativa

5.3.1 Análise financeira e económica

De modo a efetuar uma análise económica e financeira de ambas as configurações implementadas, efetuar-se-à uma comparação entre os custos operacionais

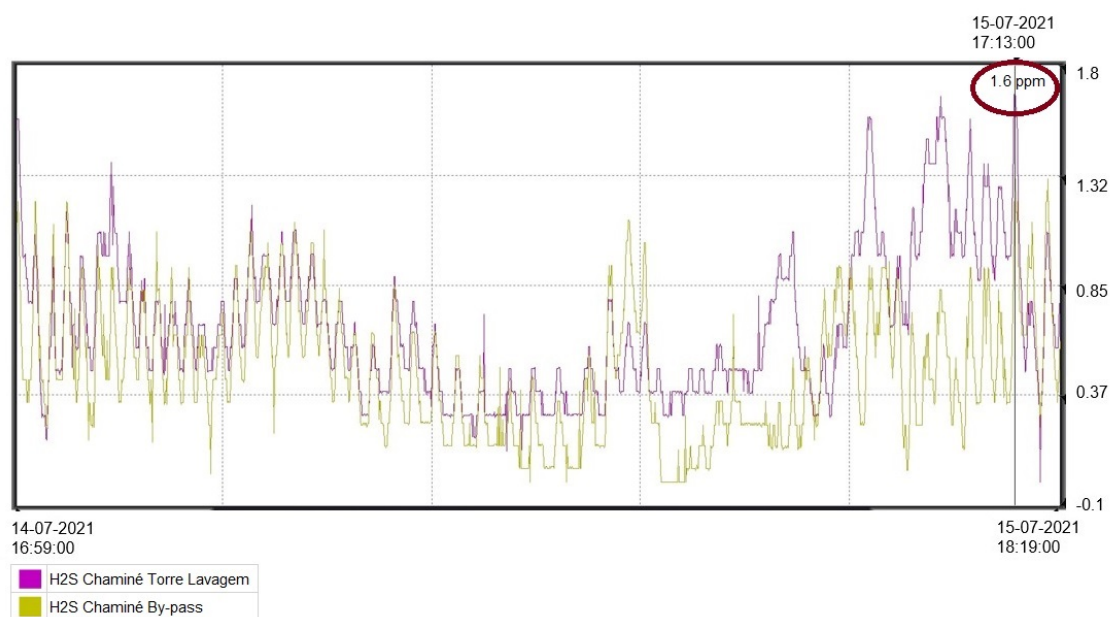


Figura 5.5: Medição de H₂S para a configuração atual

e de investimento de cada uma das configurações. Na Tabela 5.3 apresentam-se os principais dados a considerar na análise financeira e económica:

Tabela 5.3: Dados a considerar na análise financeira

Parâmetro	Valor a considerar
Horizonte de Projeto	30
Tempo de Amortização do Sistema de Desodorização	30
Tempo de Amortização do <i>By-Pass</i>	15
Custo de Investimento do Sistema de Desodorização	178.434,60 €
Custo de Investimento do <i>By-Pass</i>	9.000,00 €
Custo de Operação do Sistema de Desodorização	33.335,12 €
Custo de Operação com <i>By-Pass</i>	26.308,80 €

Para poder calcular o fator de amortização, utilizar-se-à a equação já referida em 3.1, sendo necessário calcular este fator para o sistema de desodorização e para o *by-pass*, visto que têm horizontes temporais distintos:

$$f_{30} = \frac{0,04(1 + 0,04)^{30}}{(1 + 0,04)^{30} - 1} = 0,0578 \quad (5.1)$$

$$f_{15} = \frac{0,04(1 + 0,04)^{15}}{(1 + 0,04)^{15} - 1} = 0,0899 \quad (5.2)$$

Relativamente aos custos operacionais, as taxas de inflação consideradas aquando do projeto inicial apresentam-se no Anexo L. No entanto, no cálculo dos custos operacionais anuais considerar-se-ão os valores de inflação consultados no Por-data (2021) até ao ano de 2020 e a partir de 2021 serão consideradas as taxas

de investimento (CAPEX) e os custos operacionais (OPEX), que se apresentam na Figura 5.6. A soma dos custos operacionais e de investimento resulta nos custos anuais de cada uma das configurações, apresentados também na Figura 5.7.

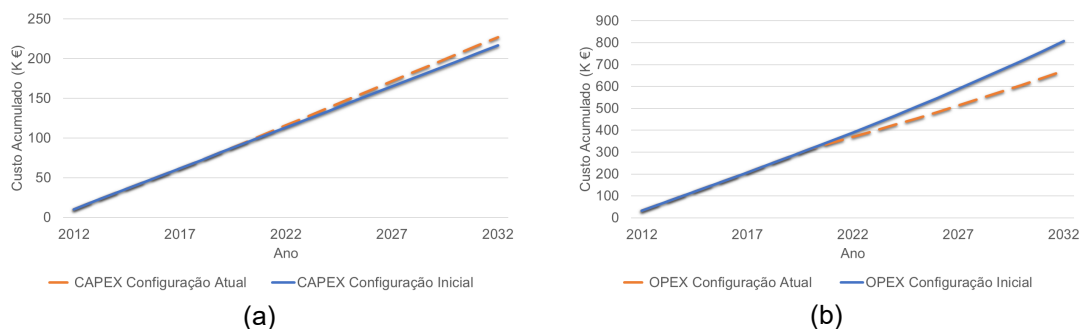


Figura 5.6: Evolução do CAPEX(a) e OPEX(b) para as configurações inicial e atual

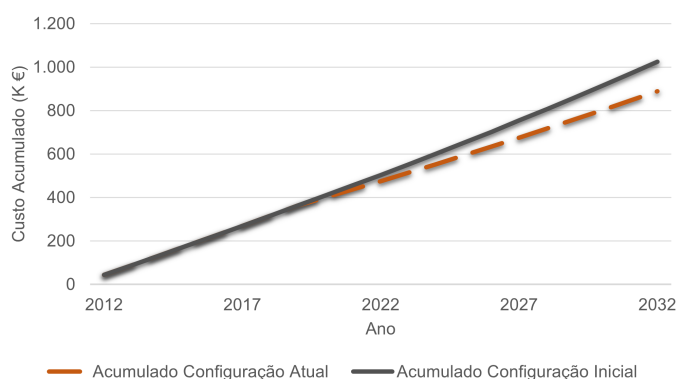


Figura 5.7: Comparação entre os custos das configurações inicial e atual

É possível observar que, no final do horizonte temporal considerado, a configuração inicial tem um custo total de 1.637.323,81 € enquanto a configuração atualmente implementada tem um custo de 1.362.235,27 €.

Conclui-se então que a configuração atual permite uma redução nos custos totais de 275.088,54 €, que representam 17% do custo total, e no ano imediatamente seguinte à implementação do *by-pass* os custos totais são já inferiores aos da configuração inicial.

5.4 Riscos associados à configuração atual

A configuração atual encontra-se apenas em funcionamento em modo de testes, não tendo ainda sido colocada em funcionamento por um grande período de tempo. Por esse motivo não foi possível recolher um período temporal superior

a um dia nas medições efetuadas. Deve ter-se também em consideração que o sistema não se encontra ainda calibrado.

Apesar de os valores registados serem valores típicos, sabe-se que ao ocorrer uma descarga com elevada carga orgânica, ou caso exista uma redução brusca de caudal (e consequentemente um aumento do tempo de retenção que pode levar a condições de anaerobiose) os valores para o H_2S pode ser superiores ao desejável.

Ainda que seja possível alterar a frequência dos ventiladores para 50 Hz para uma maior diluição do poluente, deve continuar a existir um sistema de desodorização a jusante, com possibilidade de ativação caso o valor medido para o H_2S seja superior ao previsto, de modo a mitigar o risco.

5.5 Solução alternativa

Como se verificou através da análise ACB, a configuração atual com o by-pass às torres é mais favorável em termos económicos do que a solução inicial, permitindo uma recuperação do investimento no ano seguinte à instalação, mas é ainda possível uma solução intermédia como solução alternativa.

O princípio aplicado no projeto da configuração inicial era baseado nas melhores práticas disponíveis na altura, e a prática comum era confinar os odores o máximo possível, efetuando posteriormente uma ventilação dos edifícios cobertos com ventiladores que tratassem todo o ar contido no edifício.

Esta solução, como verificado na análise técnica, apesar de eficaz na remoção de odores, tem um elevado custo energético, tendo em conta que todo o ar da sala tem de ser ventilado. Este caudal de ar influencia diretamente na potência utilizada dos ventiladores, uma vez que um maior caudal implica um maior consumo energético.

Como solução alternativa propõe-se utilizar ventiladores dedicados a cada órgão em substituição dos ventiladores de sala, extraindo apenas o ar proveniente de cada órgão que será encaminhado para o sistema de desodorização. Propõe-se ainda, caso necessário, aumentar as renovações de ar da sala, permitindo assim a manutenção da qualidade do ar interior.

Com esta solução prevê-se uma redução do caudal enviado para a desodorização, sendo por esse motivo também previsível que o tamanho das torres de desodorização (ou outra tecnologia a utilizar), ao serem dimensionadas para um

caudal menor, tenha também um custo de investimento e operação menor. Deve ter-se em consideração que, diminuindo o caudal mantendo as mesmas torres de absorção, a eficiência destas diminui, sendo por isso recomendável a utilização de torres menores, não só para minimizar a perda de carga mas também para otimizar a eficiência.

Sugere-se que, como trabalho futuro, seja efetuado um estudo considerando os custos iniciais e de operação dos ventiladores instalados atualmente, comparando com ventiladores dedicados a cada órgão. Para esse estudo devem ser considerados os custos iniciais dos ventiladores a implementar, a potência e/ou frequência de funcionamento dos ventiladores e respetivo consumo energético e deve ainda ser efetuada uma análise da necessidade de aumentar o número de renovações de ar por hora, verificando se esta mesma necessidade influencia no consumo energético.

Pode ainda ser considerada a substituição das torres de absorção por métodos biológicos que permitam reduzir significativamente os custos iniciais e de operação do sistema.

Esta solução deve ainda permitir uma redução dos valores de H_2S em cada um dos edifícios e, sendo este composto o que mais contribui para a corrosão dos equipamentos, espera-se que esta solução permita a redução deste problema, uma vez que ao captar o ar diretamente da fonte emissora, o poluente deve dispersar-se menos no ar envolvente, dentro da zona coberta.

Capítulo 6

Conclusões

A ETAR de Castelo Branco tinha inicialmente um sistema de desodorização composto pela ventilação dos edifícios cobertos e posterior desodorização por absorção gasosa em torres de absorção química. Foi alvo de uma alteração ao sistema de desodorização e ventilação inicialmente planeado em 2019 e foi com base nessa alteração que se efetuou uma avaliação técnica e económica do sistema de remoção de odores utilizado comparando a configuração instalada inicialmente com a configuração atualmente implementada.

Constatou-se que o sistema de desodorização inicial apresenta, ainda antes da chegada do caudal de ar às torres, valores muito reduzidos de H_2S uma vez que já é efetuada a ventilação dos edifícios cobertos de modo a garantir a saúde e segurança dos trabalhadores da ETAR. Devido à queda de pressão causada pelo enchimento das torres, este sistema apresenta um elevado consumo energético associado ao funcionamento dos ventiladores.

Verificou-se ainda que após instalação de um *by-pass* às torres, o consumo de energia passou a ser significativamente inferior, mantendo as emissões de H_2S abaixo dos VLE, permitindo manter os odores abaixo do desejável e continuando a prevenir a corrosão dos equipamentos.

Constatou-se que a instalação do *by-pass* pode traduzir-se numa poupança de até 275.088,54 € no ano horizonte de projeto, continuando a garantir os valores de H_2S . Verifica-se também que o investimento na instalação de um *by-pass* tem um retorno no ano seguinte à instalação.

Verificou-se que é possível, com a instalação do *by-pass*, ter uma redução de 1.171,5 toneladas de CO_2 até ao final do horizonte de projeto, tendo uma redução de 60% face ao valor expectável para a configuração inicial.

Ainda assim, nos edifícios cobertos existe possibilidade de otimização e, como tal, propôs-se como solução alternativa em ETAR uma configuração semelhante, com o uso de ventiladores dedicados a cada órgão, ao invés de ventilar todo o interior dos edifícios, sendo possível ter um sistema de desodorização de menor dimensão prevendo também uma redução significativa nos custos.

Esta solução alternativa pode ser implementada em Estações de Tratamento onde exista atualmente a ventilação de todo o ar dos edifícios cobertos, uma vez que ao reduzir o caudal de ar encaminhado à desodorização ter-se-á um caudal de ar a tratar inferior, necessitando de equipamentos de desodorização de menores dimensões, conseguindo uma solução com menores custos energéticos e mais sustentável.

Bibliografia

Águas do Centro (2014), Empreitada de Concepção-Construção da ETAR de Castelo Branco - Memória Descritiva.

Águas do Vale do Tejo (2019), Prestação de Serviços de Montagem de Variadores de Velocidade nos Ventiladores da Desodorização e de um ByPass à Desodorização na ETAR de Castelo Branco.

Alfonsín, C., Lebrero, R., Estrada, J. M., Muñoz, R., Kraakman, N. J. R. B., Feijoo, G., e Moreira, M. T. (2014), Selection of odor removal technologies in wastewater treatment plants: A guideline based on life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*(149), pp 77–84. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.011>

Antunes, R. (2006), Contribuição para o estudo de odores em estações de tratamento de Águas residuais urbanas, Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Sanitária, U. N. de Lisboa Faculdade de Ciências e Tecnologia Departamento de Ambiente, Ed.

Antunes, R., e Mano, A. (2004), Odores em estações de tratamento de Águas residuais, 7º Congresso da água, LNEC, Lisboa, URL: <https://www.aprh.pt/congressoagua2004/PDF/95.PDF>, Último Acesso em 17-10-2021.

ATSDR (2004), Toxicological profile for ammonia. URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp126.pdf>, Último Acesso em 17-10-2021.

ATSDR (2016). Toxicological profile for hydrogen sulfide and carbonyl sulfide. URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp114.pdf>, Último Acesso em 17-10-2021.

ATSDR (1992). Toxicological profile for methyl mercaptan. URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp139.pdf>, Último Acesso em 17-10-2021.

Auckland Council (n/d), Smells Like Trouble: The FIDOL Method for Odour and Dust. Auckland, URL: https://planning.org.nz/Attachment?Action=Download&Attachment_id=4152, Último Acesso em 17-10-2021.

Decreto-Lei n.º 1/2021 de 6 de janeiro, Diário da República, Série I, n.º 3, pp 9–13.

Decreto-Lei n.º 127/2013 de 30 de agosto, Diário da República, Série I, n.º 167, pp 5324-5389.

Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de junho, Diário da República, Série I, n.º 139, pp 2959–2967.

Decreto-Lei n.º 24/2012 de 6 de fevereiro, Diário da República, Série I, n.º 26, pp 580–589.

Decreto-Lei n.º 276/2009 de 2 de outubro. Diário da República, Série I, n.º 192, pp 7154–7165.

Decreto-Lei n.º 84 de 23 de outubro. Diário da República, Série I, n.º 204, pp 5048-5059.

Dias, C. (2015), O custo dos sistemas duais de abastecimento de Água, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

EPAL (2017), Nota Técnica - Otimização Energética de Sistemas de Ventilação e Desodorização, Relatório 288/2015.

ERSAR (2018), Uso Eficiente de Energia nos Serviços de Águas - Guias Técnicos n.º 24, ERSAR, ADENE.

Fan, F., Xu, R., Wang, D., e Meng, F. (2020), Application of activated sludge for odor control in wastewater treatment plants: Approaches, advances and outlooks., *Journal of Water Research*, n.º 181, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115915>.

Fernández Castro, P., Vallejo, M., Román, M. F. S., e Ortiz, I. (2015), Insight on the Fundamentals of Advanced Oxidation Processes - Role and Review of the Determination Methods of Reactive Oxygen Species, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, n.º 90, pp 796–820. DOI: <https://doi.org/10.1002/jctb.4634>.

Galp (2021), Eletricidade e gás natural da Galp, URL: <https://www.galp.com/pt/pt/empresas/eletricidade-e-gas/Apoio-ao-Cliente/Centro-de-Informacao/Eletricidade-e-Gas-Natural-da-Galp>, Último Acesso em 07-11-2021.

Greenberg, M. I., Curtis, J. A., e Vearrier, D. (2013), The Perception of Odor is Not a Surrogate Marker for Chemical Exposure: a Review of Factors Influencing Human Odor Perception, *Journal of Clinical Toxicology*, n.º 51, pp 70–76.

Harreveld, A. P. V. (2003), Odor Regulation and the History of Odor Measurement in Europe, Ministry of the Environment - Government of Japan, URL: https://www.env.go.jp/en/air/odor/measure/02_1_3.pdf, Último Acesso em 17-10-2021.

Henriques, J., Catarino, J. (2015), Sustainable valuee - An Energy Efficiency Indicator in Wastewater Treatment Plants, *Journal of Cleaner Production*, n.º 142, pp 323-330, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.173>.

IAQM (2018), Guidance on the Assessment of Odour for Planning - version 1.1, URL: <https://www.iaqm.co.uk/text/guidance/odour-guidance-2014.pdf>, Último Acesso em 17-10-2021.

Lewkowska, P., Cieslik, B., Dymerski, T., e Konieczka, P. (2016), Characteristics of Odors Emitted from Municipal Wastewater Treatment Plant and Methods for their Identification and Deodorization Techniques. *Journal of Environmental Research*, n.º 151, pp 573–586. DOI: <http://www.elsevier.com/locate/envres>

Mamlouk, A. M., Haker, M., e Martinetz, T. (2017), Perception Space Analysis: From Color Vision to Odor Perception, *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, Eds., pp 689-696, IEEE.

Marecos do Monte, H., Barreiros, A. M., Santos, M. T., e Albuquerque, A.

(2016), Tratamento de Águas Residuais Operações e Processos de Tratamento Físico e Químico ERSAR, Ed.

Metcalf & Eddy (2013), Wastewater engineering: Treatment and Reuse 5th Edition. Revisto por George Tchobanoglous, H. David Stensel, Ryuiiro Tsuchihushi, Franklin Burton, Mohammad AbuOri, Gregory Bowden e William Pfrung, The McGrawHill Companies, Inc.

NP 1796:2014 (2014), NP 1796: Segurança e Saúde do Trabalho - Valores Limite e Índices Biológicos de Exposição Profissional a Agentes Químicos, Instituto Português da Qualidade.

NP EN 122559:2007 (2007). NP EN 122559: Estações de Tratamento de Águas Residuais - Parte 9: Controlo dos Odores e Ventilação, Instituto Português da Qualidade.

Pordata (2021), Taxa de Inflação (Taxa de Variação do Índice de Preços no Consumidor): Total e por Consumo Individual por Objectivo, URL: [https://www.pordata.pt/Portugal/Taxa+de+Inflação+\(Taxa+de+Variação+do+Índice+de+Preços+no+Consumidor\)+total+e+por+consumo+individual+por+objectivo-2315-181660](https://www.pordata.pt/Portugal/Taxa+de+Inflação+(Taxa+de+Variação+do+Índice+de+Preços+no+Consumidor)+total+e+por+consumo+individual+por+objectivo-2315-181660), Último Acesso em 18-07-2021.

Portaria n.º 762/2002 de 1 de julho, Diário da República, Série I, n.º 149, pp 5123–5130.

Regulamento Delegado (UE) n.º 480/2014 da Comissão de 3 de março, Jornal Oficial da União Europeia, L 138, pp 5-44, URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32014R0480>, Último Acesso em 17-10-2021.

Ren, B., Zhao, Y., Lyczko, N., e Nzihou, A. (2019), Current Status and Outlook of Odor Removal Technologies in Wastewater Treatment Plant, Waste and Biomass Valorization, n.º 10, pp 1443–1458. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-01803849>

Seader, J. D., Henley, E. J., e Roper, D. K. (2011), Separation Process Principles - Chemical and Biochemical Operations, Third Edition, John Wiley & Sons, Ed.

Silva, M. J. F., e Salvado, A. F. (2015), Análise Custo-Benefício: Metodologia para Apoio à Decisão em Intervenções de Arquitetura, Engenharia e Construção, Relatório 288/2015.

St. Croix Sensory, Inc. (2005), A Review of the Science and Technology of Odor Measurement.

Suez. (2021a), Degremont®water handbook - Compact Lamellar Settling Sedipac 3D, URL: <https://www.suezwaterhandbook.com/degremont-R-technologies/wastewater-treatment/primary-treatment/compact-lamellar-settling-Sedipac-3D>, Último Acesso em 15-06-2021

Suez. (2021b), Degremont®water handbook - Ventilation, URL: <https://www.suezwaterhandbook.com/processes-and-technologies/degasification-odour-control-evaporation/measuring-odours-and-odour-control/ventilation>, Último Acesso em 15-06-2021

Tecnum (2011), Manual de Manutenção e Partida, Oficinas e Fábrica Central,

Barcelona.

Torregrossa, D., Castellet-Viciano, L., e Hernández-Sancho, F. (2019), A Data Analysis Approach to Evaluate the Impact of the Capacity Utilization on the Energy Consumption of Wastewater Treatment Plants, *Sustainable Cities and Society*, n.º 45, pp 307-313.

ToxTutor (2021), Learn Essential Principles of Toxicology, URL: <http://www.toxmsdt.com/0-toxtutor-home.html>, Último Acesso em 09-05-2021.

Vicente, I. T. (2013), Funções de Custo de Investimento para Estações de Tratamento de Águas Residuais, Dissertação para Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho.

Wysocka, I., Gebicki, J., e Namiesnik, J. (2019). Technologies for Deodorization of Malodours Gases. *Environmental Science and Pollution Research*, n.º 26, pp 9409–9434, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356019041951>

Anexos

Anexo A - Custos de investimento do sistema de desodorização

Descrição	Unidade	Quantidade.	Pr. Unitário	Valor contrato
Sistema de desodorização				
Sistema de desodorização por via química para um caudal total de 20.500 N.m ³ .h ⁻¹ , composto por 2 torres (scrubbers), ventiladores, bombas de recirculação e dosagem de reagentes, depósitos de armazenamento, instrumentação, tubagens de interligação e válvulas	CJT	1,000	121.437,28	121.437,28
Descalcificador, tipo compacto, caudal de trabalho até 600 L.h ⁻¹ de água descalcificada, incluindo válvula cronométrica para controlo da regeneração, para água de reposição ao circuito de desodorização	UN	1,000	1.153,92	1.153,92
Tubagem e válvula de isolamento em aço inox na rede de água de serviço ao sistema de desodorização	CJT	1,000	674,37	674,37
Chuveiro / lava olhos, tipo standard, para instalação no armazenamento / doseamento de reagentes, junto às torres de desodorização	UN	1,000	957,60	957,60
Válvula de macho esférico, DN 25 (1 ") de accionamento manual por alavanca, passagem integral, rosca com corpo e obturador em aço inox 316, para isolamento da água do chuveiro de segurança	UN	1,000	31,99	31,99

Descrição	Unidade	Quantidad.	Pr. Unitário	Valor contrato
Tubagens e acessórios em aço inox AISI 304 DN 25, na ligação de água ao chuveiro de segurança	CJT	1,000	181,62	181,62
Tubagens e acessórios em polietileno liso e corrugado (à vista e enterrada) de diversos diâmetros, para extracção do ar para desodorização do edifício da obra de entrada / pré-tratamento, edifício da desidratação de lamas, entre outros	CJT	1,000	51.530,60	51.530,60
Ventilação associada à desodorização				
Ventilador tipo axial de painel com um caudal de 2.000 m ³ .h ⁻¹ , incluindo grelha de protecção e módulo de insonorização, para insuflação de ar na sala dos ventiladores da desodorização	UN	2,000	970,23	1.940,46
Equipamento de elevação associada à desodorização				
Diferencial de elevação, capacidade para 500 kg, accionamento manual por corrente, alcance de gancho de 6,00 metros, instalado em olhal de elevação (manutenção dos ventiladores)	UN	2,000	263,38	526,76

(Dados de Águas do Centro, S.A., 2015)

Anexo B - Posição das válvulas com o sistema de *By-Pass* aberto



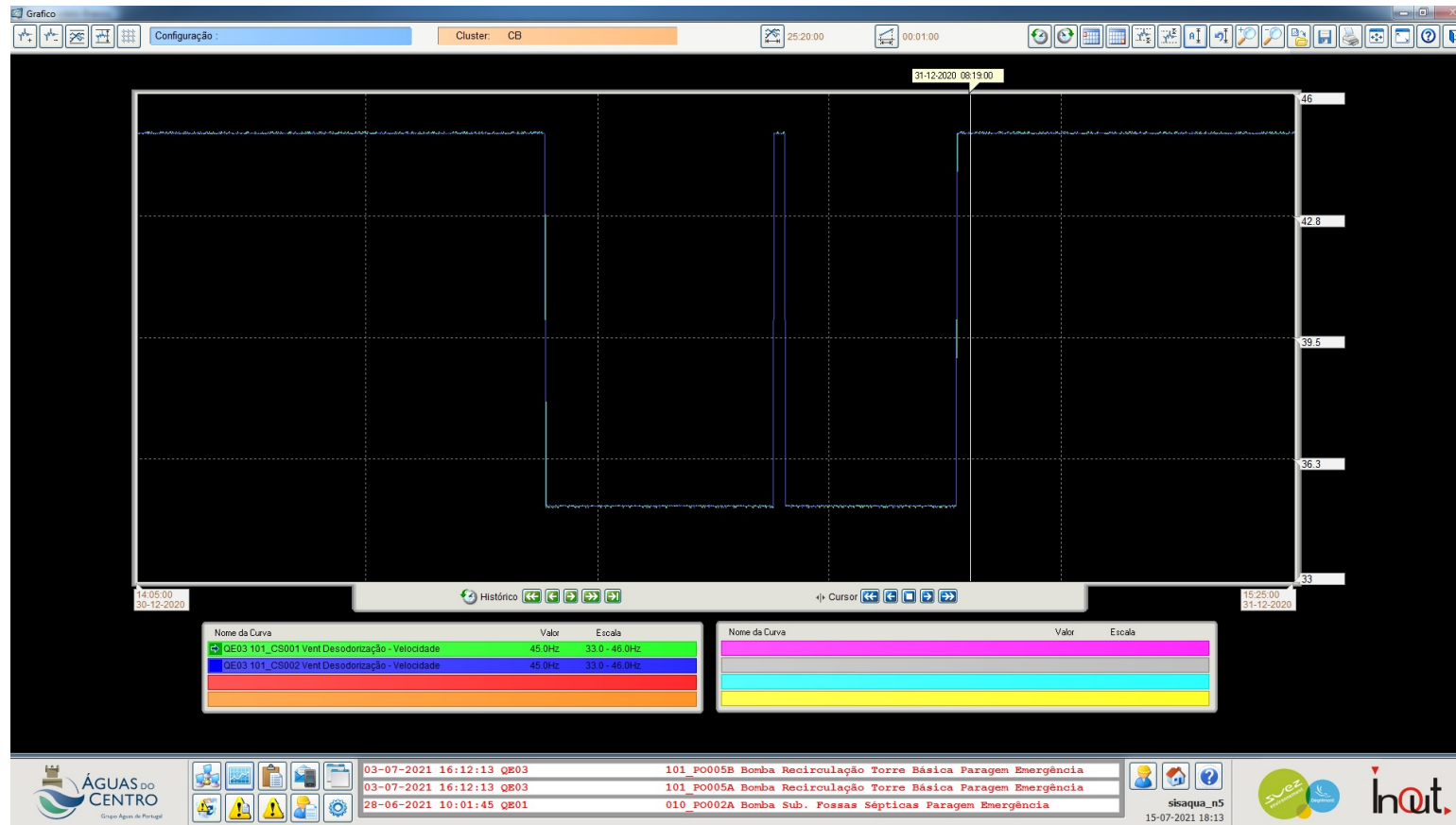
(Imagem de Águas do Centro)

Anexo C - Tempo de funcionamento dos ventiladores com o sistema de *By-Pass* aberto (h)



(Imagem de Águas do Centro)

Anexo D - Frequência de funcionamento dos ventiladores com o sistema de *By-Pass* aberto (Hz)



(Imagem de Águas do Centro)

Anexo E - Medição de H₂S com o sistema de *by-pass* aberto (ppm)



(Imagem de Águas do Centro)

Anexo F - Tabela de frequências de funcionamento dos ventiladores

	de 0 a 9 min (Hz)	de 10 a 19 min (Hz)	de 20 a 29 min (Hz)	de 30 a 39 min (Hz)	de 40 a 49 min (Hz)	de 50 a 59 min (Hz)
00:00 - 00:59	35	35	35	35	35	35
01:00 - 01:59	35	35	35	35	35	35
02:00 - 02:59	35	35	35	35	35	35
03:00 - 03:59	35	35	35	35	35	35
04:00 - 04:59	35	35	35	35	35	35
05:00 - 05:59	35	35	35	35	35	35
06:00 - 06:59	35	35	35	35	35	35
07:00 - 07:59	35	35	35	35	35	35
08:00 - 08:59	35	35	35	35	35	35
09:00 - 09:59	35	35	35	35	35	35
10:00 - 10:59	40	40	40	40	40	40
11:00 - 11:59	40	40	40	40	40	40
12:00 - 12:59	40	40	40	40	40	40
13:00 - 13:59	40	40	40	40	40	40
14:00 - 14:59	40	40	40	40	40	40
15:00 - 15:59	40	40	40	40	40	40
16:00 - 16:59	40	40	40	40	40	40
17:00 - 17:59	40	40	40	40	40	40
18:00 - 18:59	40	40	40	40	40	40
19:00 - 19:59	35	35	35	35	35	35
20:00 - 20:59	35	35	35	35	35	35
21:00 - 21:59	35	35	35	35	35	35
22:00 - 22:59	35	35	35	35	35	35
23:00 - 23:59	35	35	35	35	35	35

(Adaptado de Águas do Vale do Tejo (2019))

Anexo G - Posição das válvulas com o sistema de *By-Pass* fechado



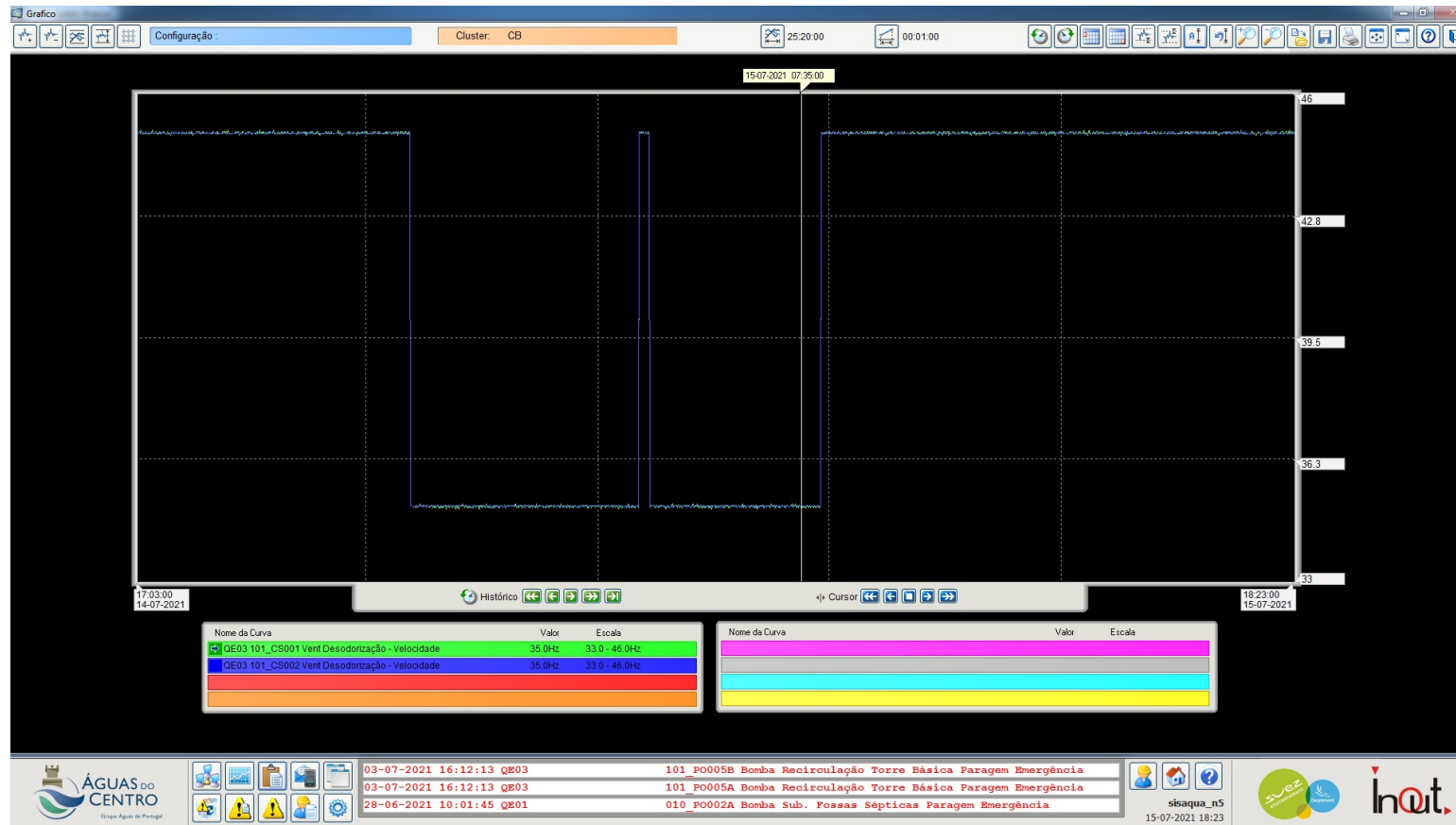
(Imagem de Águas do Centro)

Anexo H - Tempo de funcionamento dos ventiladores com o sistema de *By-Pass* fechado (h)



(Imagem de Águas do Centro)

Anexo I - Frequência de funcionamento dos ventiladores com o sistema de *By-Pass* aberto (Hz)



(Imagem de Águas do Centro)

Anexo J - Tempo de funcionamento das bombas de recirculação das torres com o *By-Pass* fechado (h)



(Imagem de Águas do Centro)

Anexo K - Medição de H₂S com o sistema de *by-pass* fechado



(Imagem de Águas do Centro)

Anexo L - Pressupostos Económicos

Descrição	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	> 2029
Taxa de Inflação	0,90%	1,20%	1,30%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%
Taxa de inflação Energia	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%
Taxa de inflação Combustíveis	2,50%	8,45%	6,33%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%
Taxa de Inflação Investimento Construção Civil	0,90%	1,20%	1,30%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%
Taxa de Inflação Equipamento e Outros	0,90%	1,20%	1,30%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%
Taxa Risk-Free (Bruta)	4,60%	4,60%	4,60%	4,60%	4,60%	4,60%	4,60%	4,60%	4,60%	4,60%	4,60%
Rentabilidade de Mercado (Bruta)	9,60%	9,60%	9,60%	9,60%	9,60%	9,60%	9,60%	9,60%	9,60%	9,60%	9,60%
Taxa das Obrigações do Tesouro a 10 anos	3,70%	3,54%	3,54%	3,54%	3,54%	3,54%	3,54%	3,54%	3,54%	3,54%	3,54%
TBA	2,96%	2,96%	2,96%	2,96%	2,96%	2,96%	2,96%	2,96%	2,96%	2,96%	2,96%
Taxa EURIBOR 1 mês	2,10%	2,21%	2,34%	2,48%	2,58%	2,62%	2,57%	2,45%	2,30%	2,14%	2,01%
Taxa EURIBOR 3 meses	2,10%	2,51%	2,64%	2,78%	2,88%	2,92%	2,87%	2,75%	2,60%	2,44%	2,31%
Taxa EURIBOR 6 meses	2,10%	2,81%	2,94%	3,08%	3,18%	3,22%	3,17%	3,05%	2,90%	2,74%	2,61%
Taxa EURIBOR 1 ano	2,10%	3,11%	3,24%	3,38%	3,48%	3,52%	3,47%	3,35%	3,20%	3,04%	2,91%
Rem. Aplic. Tesouraria	3,10%	3,51%	3,64%	3,78%	3,88%	3,92%	3,87%	3,75%	3,60%	3,44%	3,31%
Imposto de Selo (juros e comissões bancárias)	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%
Imposto de Selo (Garantias)	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%
Imposto de Selo (Abertura de Crédito e Cauções)	0,48%	0,48%	0,48%	0,48%	0,48%	0,48%	0,48%	0,48%	0,48%	0,48%	0,48%
Taxa de Impostos Sobre os Lucros	21,00%	21,00%	21,00%	21,00%	21,00%	21,00%	21,00%	21,00%	21,00%	21,00%	21,00%

Tabela 6.3: Pressupostos Económicos (continuação)

Descrição	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	> 2029
Taxa de Derrama Estadual >1,5m€ <=7,5 M€	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%
Taxa de Derrama Estadual >7,5 M€ <= 35 M€	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%
Taxa de Derrama Estadual >35 M€	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%	7,00%
Taxa de derrama	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%	1,50%
Limite nominal para dedução de encargos financeiros	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000
Limite variável para dedução de encargos financeiros (% do EBITDA)	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%
Limite variável para máximo de encargos financeiros dedutíveis (% do EBITDA)	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%	30,00%

(Dados facultados por EPAL)

Anexo M - Análise Financeira

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Taxa de Inflação	9%	2%	2%	2%	2%	1%
Amortização Sistema de Desodorização	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €
Amortização By-pass	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Custo Energia Configuração Inicial	33.335,12 €	34.068,49 €	34.818,00 €	34.887,64 €	35.027,19 €	35.237,35 €
Custo Energia By-pass	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Custo Total Configuração Inicial	43.654,01 €	44.387,38 €	45.136,89 €	45.206,53 €	45.346,08 €	45.556,24 €
Custo Total Configuração Atual	43.654,01 €	44.387,38 €	45.136,89 €	45.206,53 €	45.346,08 €	45.556,24 €
Acumulado Configuração Inicial	43.654,01 €	88.041,39 €	133.178,28 €	178.384,81 €	223.730,89 €	269.287,13 €
Acumulado Configuração Atual	43.654,01 €	88.041,39 €	133.178,28 €	178.384,81 €	223.730,89 €	269.287,13 €

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Taxa de Inflação	1%	1%	0%	0%	3%	2%
Amortização Sistema de Desodorização	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €
Amortização By-pass	- €	- €	809,47 €	809,47 €	809,47 €	809,47 €
Custo Energia Configuração Inicial	35.589,72 €	36.372,70 €	36.481,81 €	36.518,30 €	37.431,25 €	38.179,88 €
Custo Energia By-pass	- €	26.308,80 €	26.387,73 €	26.414,11 €	27.074,47 €	27.615,96 €
Custo Total Configuração Inicial	45.908,61 €	46.691,59 €	46.800,71 €	46.837,19 €	47.750,14 €	48.498,77 €
Custo Total Configuração Atual	45.908,61 €	46.691,59 €	37.516,09 €	37.542,47 €	38.202,83 €	38.744,32 €
Acumulado Configuração Inicial	315.195,74 €	361.887,33 €	408.688,03 €	455.525,22 €	503.275,36 €	551.774,13 €
Acumulado Configuração Atual	315.195,74 €	361.887,33 €	399.403,41 €	436.945,89 €	475.148,72 €	513.893,03 €

	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Taxa de Inflação	2%	2%	2%	2%	2%	2%
Amortização Sistema de Desodorização	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €
Amortização By-pass	809,47 €	809,47 €	809,47 €	809,47 €	809,47 €	809,47 €
Custo Energia Configuração Inicial	38.943,48 €	39.722,35 €	40.516,79 €	41.327,13 €	42.153,67 €	42.996,74 €
Custo Energia By-pass	28.168,28 €	28.731,64 €	29.306,27 €	29.892,40 €	30.490,25 €	31.100,05 €
Custo Total Configuração Inicial	49.262,37 €	50.041,24 €	50.835,68 €	51.646,02 €	52.472,56 €	53.315,64 €
Custo Total Configuração Atual	39.296,64 €	39.860,00 €	40.434,63 €	41.020,76 €	41.618,61 €	42.228,41 €
Acumulado Configuração Inicial	601.036,50 €	651.077,74 €	701.913,42 €	753.559,44 €	806.032,00 €	859.347,64 €
Acumulado Configuração Atual	553.189,67 €	593.049,67 €	633.484,30 €	674.505,06 €	716.123,67 €	758.352,08 €

	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Taxa de Inflação	2%	2%	2%	2%	2%	2%
Amortização Sistema de Desodorização	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €
Amortização By-pass	809,47 €	809,47 €	809,47 €	809,47 €	809,47 €	- €
Custo Energia Configuração Inicial	43.856,68 €	44.733,81 €	45.628,49 €	46.541,06 €	47.471,88 €	48.421,32 €
Custo Energia By-pass	31.722,05 €	32.356,49 €	33.003,62 €	33.663,70 €	34.336,97 €	35.023,71 €
Custo Total Configuração Inicial	54.175,57 €	55.052,70 €	55.947,38 €	56.859,95 €	57.790,77 €	58.740,21 €
Custo Total Configuração Atual	42.850,41 €	43.484,85 €	44.131,98 €	44.792,06 €	45.465,33 €	45.342,60 €
Acumulado Configuração Inicial	913.523,21 €	968.575,91 €	1.024.523,29 €	1.081.383,24 €	1.139.174,01 €	1.197.914,22 €
Acumulado Configuração Atual	801.202,50 €	844.687,35 €	888.819,34 €	933.611,39 €	979.076,73 €	1.024.419,33 €

	2036	2037	2038	2039	2030	2041
Taxa de Inflação	2%	2%	2%	2%	2%	2%
Amortização Sistema de Desodorização	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €	10.318,89 €
Amortização By-pass	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Custo Energia Configuração Inicial	49.389,74 €	50.377,54 €	51.385,09 €	52.412,79 €	53.461,05 €	54.530,27 €

	2036	2037	2038	2039	2030	2041
Custo Energia By-pass	35.724,18 €	36.438,67 €	37.167,44 €	37.910,79 €	38.669,01 €	39.442,39 €
Custo Total Configuração Inicial	59.708,64 €	60.696,43 €	61.703,98 €	62.731,68 €	63.779,94 €	64.849,16 €
Custo Total Configuração Atual	46.043,07 €	46.757,56 €	47.486,33 €	48.229,68 €	48.987,90 €	49.761,28 €
Acumulado Configuração Inicial	1.257.622,86 €	1.318.319,29 €	1.380.023,27 €	1.442.754,95 €	1.506.534,89 €	1.571.384,05 €
Acumulado Configuração Atual	1.070.462,40 €	1.117.219,96 €	1.164.706,29 €	1.212.935,97 €	1.261.923,87 €	1.311.685,15 €

	2042
Taxa de Inflação	2%
Amortização Sistema de Desodorização	10.318,89 €
Amortização By-pass	- €
Custo Energia Configuração Inicial	55.620,87 €
Custo Energia By-pass	40.231,23 €
Custo Total Configuração Inicial	65.939,76 €
Custo Total Configuração Atual	50.550,12 €
Acumulado Configuração Inicial	1.637.323,81 €
Acumulado Configuração Atual	1.362.235,27 €