



Universidade de Aveiro  
2021

**Leonardo Emanuel  
Ferreira Pereira**

**Diagnóstico às águas residuais com origem nos  
edifícios do campus de Santiago**





Universidade de Aveiro  
2021

**Leonardo Emanuel  
Ferreira Pereira**

**Diagnóstico às águas residuais com origem nos  
edifícios do campus de Santiago**

Relatório de Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Doutor José de Jesus Figueiredo da Silva, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro



## **o júri**

presidente

**Prof.<sup>a</sup> Doutora Ana Paula Duarte Gomes**  
professora auxiliar, Universidade de Aveiro

arguente

**Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria Eduarda da Cunha Pereira**  
professora associada, Universidade de Aveiro

vogal

**Prof. Doutor José Jesus Figueiredo da Silva**  
professor auxiliar, Universidade de Aveiro



## **agradecimentos**

Gostaria de agradecer em primeiro lugar à minha família, à minha mãe, ao meu pai e à minha irmã por sempre me apoiarem, por serem os meus pilares e pelo apoio incondicional demonstrado desde o dia em que nasci.

Agradeço também ao professor José Jesus Figueiredo da Silva pela sua orientação e disponibilidade prestada na realização deste projeto.

À Dr<sup>a</sup> Diana Patoilo, responsável pelos laboratórios do Departamento de Ambiente e Ordenamento pela ajuda e disponibilidade prestada em laboratório; à D.<sup>a</sup> Manuela e D.<sup>a</sup> Madalena pelo apoio prestado em laboratório; ao Eng.<sup>o</sup> Luís Galiza e à Eng.<sup>a</sup> Cláudia Correia pelo acompanhamento e apoio durante as amostragens e por terem fornecido informação muito importante à concretização deste projeto.

A todos os meus amigos com quem partilhei os melhores momentos da minha vida académica, mas também momentos de frustração e desânimo superados pelo companheirismo e amizade.





**palavras-chave**

Águas residuais; campus universitário; consumo de água; produção de água residual; caracterização de efluentes líquidos

**resumo**

O presente projeto teve como caso de estudo o campus de Santiago, localizado na Universidade de Aveiro, e teve como objetivos a caracterização preliminar das águas residuais produzidas nos edifícios do campus quanto à sua composição físico-química, caudais emitidos e consumo de água de abastecimento, bem como o desenvolvimento de um plano de trabalho a ser seguido de forma a fazer uma caracterização completa dos efluentes líquidos. De forma a enquadrar a caracterização dos efluentes foi feito um levantamento de todos os edifícios que descarregam águas residuais na rede do campus de Santiago bem como o tipo de atividades e instalações que geram águas residuais nesses edifícios.

Foram analisadas as águas residuais recolhidas pelo coletor que as conduz à estação elevatória ligada à conduta da AdRA que segue para a ETAR Sul da AdCL. Adicionalmente, foram analisadas as águas residuais que entram e que saem do sistema de tratamento por lagoas arejadas da Universidade de Aveiro. A análise dos efluentes teve por base a determinação da condutividade, pH, oxigénio dissolvido e temperatura realizadas imediatamente após as amostragens e a determinação posterior dos seguintes parâmetros: sólidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos voláteis, carência química de oxigénio, fósforo total, azoto total, óleos e gorduras e os metais: Cr, Zn, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Pb e Mo. Os registos dos caudais de abastecimento dizem respeito ao ponto de entrada localizado no extremo Norte da Universidade e ao ponto de entrada junto ao Pavilhão Aristides Hall para os anos de 2019 e 2020. Os registos dos caudais de águas residuais que dão entrada no sistema da AdRA dizem respeito aos anos de 2019, 2020 e parte de 2021.

Conclui-se que relativamente ao primeiro local de amostragem, as águas residuais encaminhadas para a rede de drenagem da AdRA cumprem com os valores máximos admissíveis sugeridos, não necessitando assim de pré-tratamento e podendo ser equiparadas a águas residuais domésticas, considerando os parâmetros analisados.

Foi elaborado um plano de caracterização dos efluentes líquidos do campus de Santiago para servir de referência numa avaliação mais completa e pormenorizada dos efluentes.



**keywords**

wastewaters; college campus; water consumption; wastewater production; wastewater characterization

**abstract**

The following project had as its case study the Santiago Campus, located at the University of Aveiro, and had as its main goals the preliminary characterization of the wastewater produced in campus buildings regarding their physicochemical composition, discharged wastewater and water consumption flows, as well as the development of a characterization plan to be followed in the future in order to make a complete characterization of the effluents. To frame the characterization of the effluents, a survey was carried out to determine all the buildings that produces wastewater that is discharged into the campus drainage system, as well as the type of activities and facilities that generate wastewater in the buildings.

The wastewater collected by the collector that leads to the pumping station connected to the AdRA pipeline that goes to AdCL's South-Waste Water Treatment Plant in Ílhavo was analyzed. Additionally, the wastewater that enters and leaves the aerated lagoon treatment system at the University of Aveiro was analyzed. The wastewaters analysis was based on the determination of its conductivity, pH, dissolved oxygen and temperature, determined immediately after sampling and later determination of the following parameters: total solids, total suspended solids, total volatile solids, chemical oxygen demand, total phosphorus, total nitrogen, oils and greases and the metals: Cr, Zn, Mn, Fe, Ni, Cd, Cu, Pb and Mo. The supply flow records refer to the entry point located at the far north of the University and the entry point next to the Aristides Hall Sports Facility for the years of 2019 and 2020. The records of wastewater flows entering AdRA's drainage system refer to the years of 2019, 2020 and part of 2021.

It is concluded that concerning the first sampling point, the wastewaters parameters determined are below the maximum emission values suggested by AdRA, this means that this wastewater doesn't need any pre-treatment to be discharged in the municipal drainage system and can be equated to domestic wastewater, considering the analyzed parameters.

A wastewater characterization plan was made with the purpose of serving as reference in the future to accomplish a most complete and complex evaluation of Santiagos's campus wastewaters.



# Índice

1	Introdução .....	1
1.1	Propósito do projeto e os seus objetivos .....	1
1.2	Estrutura do relatório de projeto .....	2
2	Enquadramento Teórico.....	3
2.1	Águas Residuais.....	3
2.2	Caracterização química.....	3
2.2.1	Elementos Inorgânicos Não Metálicos .....	3
2.2.2	Elementos Inorgânicos Metálicos .....	5
2.2.3	Elementos Orgânicos .....	6
2.3	Caracterização física .....	7
2.3.1	Sólidos .....	7
2.3.2	Temperatura .....	9
2.3.3	Condutividade .....	9
2.4	Águas residuais domésticas .....	9
2.4.1	Relação consumo de água - Caudal de água residual produzido .....	9
2.4.2	Variação da produção de água residual ao longo do dia.....	11
2.4.3	Caracterização de águas residuais domésticas .....	11
2.5	Águas residuais industriais .....	14
2.5.1	Caracterização de águas residuais industriais .....	14
2.6	Águas residuais provenientes de Campus Universitários .....	15
2.6.1	Universidade de Covenant, Nigéria .....	16
2.6.2	Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil .....	17
2.6.3	Universidade de Mzuzu, Malawi .....	18
2.6.4	Universidade Nova de Lisboa, Portugal .....	19
2.7	Tratamento de águas residuais.....	21
2.8	Tratamento de águas residuais domésticas .....	22
2.8.1	Tratamento preliminar - Gradagem e Tamisação .....	22
2.8.2	Tratamento Primário - Decantação Primária .....	22
2.8.3	Tratamento Secundário – Tratamento Biológico:.....	23
2.8.4	Tratamento Terciário .....	25
2.9	Tratamento de águas residuais industriais .....	25
2.10	Aproveitamento e reutilização das águas residuais tratadas .....	26
3	Caso de Estudo.....	28
3.1	Sistemas de Drenagem de Águas Residuais na região e no município de Aveiro .....	28
3.2	Tratamento de águas residuais no município de Aveiro .....	30
3.2.1	ETAR de Cacia – ETAR Norte.....	31
3.2.2	ETAR de Ílhavo – ETAR Sul .....	32
3.2.3	ETAR de S. Jacinto.....	32
3.2.4	ETAR de Santiago-Verdemilho (Não Operacional) .....	32
3.3	Área de estudo .....	33

3.3.1	Disposição do campus de Santiago.....	34
3.3.2	Atividades realizadas nos edifícios do campus que resultam em águas residuais .....	40
3.3.3	Sistemas de drenagem de águas residuais do campus de Santiago.....	43
3.3.4	Legislação para a descarga das águas residuais com origem nos edifícios do campus de Santiago na rede de drenagem da AdRA .....	46
4	Metodologia.....	48
4.1	Obtenção dos caudais de consumo de água e de produção de águas residuais no Campus.....	48
4.2	Campanha de amostragem.....	48
4.2.1	Seleção dos pontos de amostragem.....	49
4.2.2	Seleção das datas da amostragem .....	51
4.2.3	Seleção dos poluentes a analisar .....	52
4.3	Métodos de análise.....	54
5	Resultados e Discussão.....	62
5.1	Histórico do consumo de água para abastecimento no Campus de Santiago .....	62
5.2	Histórico da produção de águas residuais no Campus de Santiago .....	63
5.3	Resultados obtidos nas análises das amostras.....	64
6	Proposta para um plano de caracterização dos efluentes do campus .....	73
6.1	Identificação das instalações e atividades que produzem águas residuais nos edifícios.....	73
6.2	Estimativas de produção de água residual no campus de Santiago .....	73
6.3	Parâmetros químicos e físicos a analisar .....	74
6.4	Campanha de amostragem.....	77
6.5	Determinação das cargas de poluentes nos efluentes residuais .....	78
7	Conclusões e Melhorias Sugeridas .....	79
	Bibliografia.....	82

Tabela I - Definição das várias espécies de azoto. Adaptado de Metcalf & Eddy, 2004.....	5
Tabela II - Tipologia de sólidos presentes em efluentes residuais e metodologia analítica para a sua obtenção. Adaptado de Metcal & Eddy, 2004.....	8
Tabela III - Percentagem de água consumida por atividade. Adaptado de Butler & Davies 2004.....	10
Tabela IV – Representação do fator de retorno em percentagem no Reino unido e nos Estados Unidos da América. Adaptado de Russac et al, 1991 .....	11
Tabela V - Valores típicos de cargas de alguns poluentes em águas residuais domésticas segundo vários autores.....	12
Tabela VI - Valores típicos de cargas de alguns poluentes em águas residuais domésticas para alguns países.....	13
Tabela VII - Valores típicos de alguns poluentes em águas residuais domésticas .....	13
Tabela VIII - Características de águas residuais provenientes da indústria agroalimentar. Adaptado de Rajagopal et al., 2013 .....	15
Tabela IX - Resultados obtidos por Omole et al., 2016.....	16
Tabela X - Resultados obtidos por Bertolino et al., 2008.....	17
Tabela XI - Resultados obtidos por Ngoma et al., 2020.....	19
Tabela XII - Resultados obtidos por Pina, 2010.....	20
Tabela XIII - Resultados obtidos na análise de metais por Pina, 2010.....	21
Tabela XIV - Algumas características do sistema de drenagem de águas residuais da AdRA .....	29
Tabela XV - Infraestruturas de tratamento de águas residuais da AdCL.....	31
Tabela XVI - Valores limite de emissão estabelecidos pela AdRA relativamente à descarga de águas residuais industriais no seu sistema de drenagem para o caso da Universidade de Aveiro.....	46
Tabela XVII - Valores limite de emissão de alguns metais estabelecidos no Decreto-Lei nº 236/98 relativamente à descarga de águas residuais. ....	47
Tabela XVIII - Tabela providenciada pelos SGT onde constam os parâmetros a analisar quando ocorrem descargas de águas residuais industriais no sistema público de drenagem de águas residuais da AdRA .....	53
Tabela XIX - Parâmetros selecionados para caracterizar de forma preliminar as águas residuais produzidas no campus de Santiago .....	54
Tabela XX - Metais selecionados para caracterizar de forma preliminar as águas residuais produzidas no campus de Santiago .....	54
Tabela XXI - Limite de deteção e intervalo de deteção do aparelho e valores limite de emissão contemplados no Decreto-Lei nº 236-98 .....	61
Tabela XXII - Consumos de água de abastecimento no campus de Santiago nas entradas Norte e Pavilhão Aristides Hall nos anos de 2019 e 2020.....	62
Tabela XXIII – Caudais de águas residuais descartadas pela Universidade de Aveiro no Sistema de Drenagem e Águas Residuais da AdRA.....	63
Tabela XXIV - Resultados obtidos relativamente às leituras após as amostragens de pH, condutividade, oxigénio dissolvido e temperatura .....	64
Tabela XXV - Resultados obtidos na determinização dos sólidos totais, sólidos suspensos totais e sólidos suspensos voláteis.....	65
Tabela XXVI - Resultados obtidos na determinação do CQO <sub>Total</sub> e CQO <sub>Solúvel</sub> .....	66
Tabela XXVII - Resultados obtidos nas análises ao fósforo e azoto total nas amostras .....	68
Tabela XXVIII - Resultados obtidos na determinação de óleos e gorduras nas amostras relativas aos locais 1 e 2.....	68
Tabela XXIX - Resultados obtidos relativamente às análises de metais nas amostras.....	69
Tabela XXX - Suposição dos valores de CBO5 para as amostras diárias em cada local .....	70
Tabela XXXI - Sumário dos resultados obtidos nos locais 1 e 2 e sua comparação com a legislação em vigor.....	71
Tabela XXXII - Sumários dos resultados obtidos no local 3 e sua comparação com a legislação em vigor .....	71
Tabela XXXIII - Sumário dos resultados obtidos relativamente à presença de metais nos locais 1, 2 e 3 e sua comparação com a legislação em vigor .....	72
Tabela XXXIV - Caudais e volumes a determinar de acordo com o Requerimento para a Rejeição de Águas Residuais Industriais no Sistema Público de Drenagem de Águas Residuais (AdRA).....	74
Tabela XXXV - Métodos analíticos de referência para a análise dos parâmetros que constam na Tabela XVIII .....	75

Figura 1 - Percentagem de carbono, nitrogénio e fósforo na água cinzenta, nas fezes e na urina. Adaptado de Butler & Davies 2004 .....	12
Figura 2 - Representação de uma ETAR municipal convencional. Adaptado de National Research Council, 1996 .....	25
Figura 3 - Representação, a verde, da rede drenagem de águas residuais da AdRA na região de Aveiro .....	28
Figura 4 - Área de atuação da AdRA. Fonte: Website da AdRA .....	28
Figura 5 - Rede de drenagem de águas residuais no município de Aveiro. Fonte: AdRA, 2017 .....	30
Figura 6 - Vista aérea da ETAR Norte .....	31
Figura 7 - Vista aérea da ETAR Sul .....	32
Figura 8 - A verde, o subsistema de drenagem de águas residuais drenantes para a ETAR de Santiago-Verdemilho, sinalizada com um quadrado vermelho. Fonte: Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro: Plano Municipal da Água, 2006 .....	33
Figura 9 - Vista aérea do campus de Santiago e sua delimitação .....	34
Figura 10 - Legenda de alguns dos departamentos que constituem o campus de Santiago .....	35
Figura 11 - Legenda dos edifícios integrados no campus de Santiago que foram mencionados acima .....	39
Figura 12 - Rede de drenagem do campus de Santiago cujas águas residuais drenam para o coletor localizado na estação elevatória no Parque do Inglês, assinalado a amarelo na imagem .....	43
Figura 13 - Rede de drenagem do Campus de Santiago cujas águas residuais drenam para a entrada das lagoas arejadas .....	44
Figura 14 - Rede de drenagem de águas residuais da AdRA, a verde, e a sua relação com o Campus de Santiago, delineado com a linha vermelha .....	44
Figura 15 - Planta providenciada pelos SGT onde estão representados os sistemas de drenagem de águas residuais do Campus de Santiago e a localização dos coletores e caixas de visita .....	45
Figura 16 - Localização dos locais de amostragem com recurso à plataforma Google Earth .....	51
Figura 17 - Fotos tiradas nos locais das amostragens .....	51
Figura 18 - Percurso feito na campanha de amostragem .....	52
Figura 19 - Amostrador manual utilizado na campanha de amostragem .....	55
Figura 20 - Aparelhos utilizados nas leituras do pH, oxigénio dissolvido e condutividade das amostras, respetivamente .....	55
Figura 21 - Organização da bancada de trabalho durante as leituras da carência bioquímica de oxigénio .....	56
Figura 22 - Da esquerda para a direita: Processo de digestão das amostras; Amostras nos Erlenmeyers após a sua digestão; Sistema montado para a titulação de dicromato de potássio após digestão .....	57
Figura 23 - Apresentação esquemática das alterações que foram feitas na última etapa do processo de quantificação de fósforo nas amostras .....	58
Figura 24 - Da esquerda para a direita: coloração das amostras após digestão e após adição de reagente combinado; espectrofotómetro de absorção atómica a partir do qual foram realizadas as leituras relativamente à quantificação de fósforo; preservação das amostras após o processo de digestão que foram utilizadas posteriormente na quantificação de metais .....	59
Figura 25 - Representação em gráfico de barras da distribuição dos valores obtidos para a carência química de oxigénio total nos três locais amostrados .....	66
Figura 26 - Representação em gráfico de barras da distribuição dos valores obtidos para a carência química de oxigénio solúvel nos três locais amostrados .....	67



# Abreviaturas

**AdCL** – Águas do Centro Litoral

**AdRA** – Águas da Região de Aveiro

**AAUA** – Associação de Antigos Alunos da Universidade de Aveiro

**CBO** – Carência Bioquímica de Oxigénio

**CESAM** – Centro de Estudos do Ambiente e do Mar

**CIAQ** – Centro de Infância Arte e Qualidade

**CICECO** – Instituto de Materiais de Aveiro

**CICFANO** – Complexo Interdisciplinar de Ciências, Físicas Aplicadas à Nanotecnologia e à Oceanografia

**CQO** – Carência Química de Oxigénio

**ERSAR** – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

**ETAR** – Estação de Tratamento de Águas Residuais

**ETARI** – Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais

**GrETUA** – Grupo Experimental de Teatro da Universidade de Aveiro

**IC-UA** – Instituto Confúcio da Universidade de Aveiro

**IEETA** - Instituto de Engenharia Eletrónica e Telemática de Aveiro

**IEUA** – Incubadora de Empresas da Universidade de Aveiro

**IT** – Instituto de Telecomunicações

**IES** – Instituições de Ensino Superior

**LCA** – Laboratório Central de Análises

**OD** – Oxigénio Dissolvido

**SARA** – Sistema de Águas da Região de Aveiro

**SGT** – Serviços de Gestão Técnica

**SMAs** – Serviços Municipalizados

**SST** – Sólidos Suspensos Totais

**SSV** – Sólidos Suspensos Voláteis

**ST** – Sólidos Totais

**STIC** – Serviços de Tecnologia de Informação e Comunicação

**TEMA** – Centro de Tecnologia Mecânica e de Automação

**VLE** – Valor Limite de Emissão

**UA** – Universidade de Aveiro







# 1 Introdução

## *1.1 Propósito do projeto e os seus objetivos*

Segundo a organização *Population Matters*, até meados do séc. XVIII a população mundial situava-se abaixo da marca do um bilião de pessoas e desde a Segunda Guerra Mundial que este número tem sofrido um incremento de um bilião de pessoas a cada 12-15 anos. Desde o fim do séc. XX até aos dias de hoje estima-se que o número de indivíduos no planeta Terra tenha dobrado, prevendo-se que a marca dos 11 biliões de pessoas no planeta Terra seja alcançada no início do séc. XXII (*Population Matters*, 2021). Este crescimento demográfico exponencial tem tido como grandes consequências a escassez de recursos, a destruição de ecossistemas, a propagação global de doenças e a poluição sob várias formas. A contaminação dos meios aquáticos por águas residuais não tratadas representa um tipo de poluição diretamente relacionada com a urbanização e com o crescimento populacional exponencial.

As águas residuais resultam das atividades humanas que necessitam de água para a sua execução e cuja água resultante não poderá ser utilizada para outras atividades, tal implica que um aumento do consumo de água de abastecimento tenha como resultado um aumento da produção de águas residuais à escala global. Neste sentido as Instituições de Ensino Superior representam uma fonte considerável de águas residuais e a caracterização das mesmas revela-se fundamental na seleção de métodos de tratamento e pré-tratamento a que será sujeita. As águas residuais provenientes das IES podem ser equiparadas a águas residuais domésticas ou a águas residuais industriais e, mediante esta determinação, poderão ser sujeitas a procedimentos e operações de pré-tratamento antes de serem descartadas nos sistemas de drenagem de águas residuais.

Assim, no âmbito da caracterização dos efluentes produzidos pelas IES, foi solicitado pelos Serviços Técnicos da Universidade de Aveiro uma caracterização físico-química e ao nível dos caudais dos efluentes residuais produzidos no campus de Santiago com vista à sua distinção entre a categoria de águas residuais domésticas e águas residuais industriais e averiguação da possibilidade de ocorrer pré-tratamento antes da descarga dos efluentes no sistema de drenagem da AdRA. Neste seguimento, os objetivos do presente projeto passaram por caracterizar de forma preliminar os efluentes residuais produzidos nos edifícios do campus de Santiago; analisar os caudais de consumo de água para abastecimento e analisar os caudais de produção de águas residuais e, por fim, elaborar um plano de caracterização dos efluentes residuais produzidos no campus de Santiago tendo em vista uma caracterização futura mais detalhada e completa.

## *1.2 Estrutura do relatório de projeto*

O presente relatório de projeto está dividido nos seguintes 7 capítulos:

- Capítulo 1: Introdução – Este capítulo apresenta uma breve apresentação do projeto bem como os seus principais objetivos;
- Capítulo 2: Enquadramento Teórico – Exibição da revisão bibliográfica necessária à compreensão do conteúdo deste relatório bem como apresentação de informação relevante para a discussão dos resultados obtidos;
- Capítulo 3: Caso de Estudo – Contextualização do caso e área de estudo afetos à realização do projeto;
- Capítulo 4: Metodologia – Apresentação da metodologia utilizada nas várias fases da realização do projeto;
- Capítulo 5: Resultados e Discussão - Exibição dos resultados obtidos bem como a sua discussão;
- Capítulo 6: Proposta para um plano de caracterização dos efluentes do campus – Descrição de metodologias e processos orientativos a adotar no futuro de forma a realizar uma análise mais completa e representativa dos efluentes produzidos no Campus;
- Capítulo 7: Conclusões e Sugestões de melhoria – Conclusões retiradas do trabalho desenvolvido e sugestões de melhoria a seguir num trabalho futuro com o mesmo âmbito

## 2 Enquadramento Teórico

### *2.1 Águas Residuais*

O conceito de águas residuais pode ser definido como uma mistura à base de água composta por matéria sólida e líquida que resulta da atividade antrópica e que é descarregada nas redes de saneamento. Geralmente, as águas residuais são compostas por agentes patogénicos, matéria orgânica, nutrientes que contribuem para o crescimento de plantas, químicos orgânicos e inorgânicos, compostos tóxicos, minerais e sedimentos. (Sonune & Ghate, 2004)

O Decreto-Lei n.º 236/98 categoriza as águas residuais de acordo com a sua origem, referindo a seguinte nomenclatura:

- Águas residuais domésticas – Águas residuais provenientes de residências e de serviço cuja contribuição é maioritariamente antrópica;
- Águas residuais industriais – Águas residuais industriais provenientes de qualquer origem que não a doméstica ou pluvial;
- Águas residuais urbanas – Águas residuais que resultam da mistura entre as águas residuais domésticas e as águas residuais industriais

A compreensão da origem das águas residuais revela-se fundamental para o desenho e operação de infra-estruturas para colheita, tratamento, possível reutilização e na gestão da sua qualidade. Além da determinação da natureza das águas residuais, a sua caracterização em termos químicos, físicos e biológicos é também essencial para determinar o tipo de pré-tratamento e tratamento a que deve ser sujeita. A maioria das características químicas, físicas e biológicas dos efluentes residuais relacionam-se entre si.

### *2.2 Caracterização química*

Os elementos químicos que compõem as águas residuais podem ser classificados como elementos inorgânicos e elementos orgânicos. Os elementos inorgânicos referem-se a sais minerais, elementos não-metálicos, metais e gases, enquanto os elementos orgânicos com interesse para a classificação de águas residuais podem ser divididos em duas categorias, os agregados ou não agregados. (Metcalf & Eddy, 2004)

#### *2.2.1 Elementos Inorgânicos Não Metálicos*

A origem dos elementos inorgânicos presentes nas águas residuais resulta do contexto inerente à fonte de alimentação, da adição de águas provenientes de atividades domésticas, da adição de água altamente mineralizada a partir de instalações privadas ou de águas subterrâneas e de atividades industriais. A contribuição das atividades domésticas e industriais na concentração de elementos inorgânicos não metálicos é predominante, sendo que, normalmente a adição de água subterrânea e mineralizada dilui a concentração destes elementos.

Abaixo são mencionados os elementos inorgânicos não metálicos mais importantes na caracterização química de águas residuais (Metcalf & Eddy, 2004).

a) pH

Definido pelo logaritmo negativo da concentração de iões  $H^+$ , o pH é um parâmetro de qualidade importante na análise de águas residuais pois é a forma mais comum de expressar a concentração do ião hidrogénio na água. As águas residuais que apresentam um pH baixo são mais difíceis de tratar de forma biológica e se o pH não for alterado antes do descarte da água em fontes naturais, o seu pH pode ser alterado. O pH de efluentes tratados a descartar no meio ambiente deve variar entre os 6.5 e os 8.5. (Metcalf & Eddy, 2004)

b) Alcalinidade

Este parâmetro resulta da presença de iões  $OH^-$ ,  $CO_3^{2-}$  e  $HCO_3^-$  provenientes de elementos como o cálcio, o magnésio, o sódio, o potássio e a amónia. Os silicatos, os boratos e os fosfatos podem também contribuir para a alcalinidade. Nas águas residuais a alcalinidade tem particular interesse na resistência às mudanças de pH provocadas pela adição de substâncias ácidas nos efluentes provenientes de atividades domésticas. (Metcalf & Eddy, 2004)

c) Cloretos

Nas águas residuais os cloretos podem ser de origem natural ou antrópica. Na natureza os cloretos estão distribuídos sob a forma de Cloreto de Sódio (NaCl), Cloreto de Potássio (KCl) e Cloreto de Cálcio ( $CaCl_2$ ) e podem ser encontrados nas rochas e no solo. Através de processos como a erosão e a meteorização que resulta do contacto entre a água e as rochas/solo os sais de cloreto dissolvem-se na água passando a fazer parte da sua constituição. Além disso, os cloretos ocorrem naturalmente na dieta humana sendo o NaCl (sal de cozinha) o principal representante. A presença de cloretos nas águas residuais domésticas deve-se assim, maioritariamente à presença de excreções humanas nas mesmas. Nas águas residuais industriais os cloretos podem aparecer em indústrias de produção de soda cáustica e de produção de fertilizantes. (Benes et al., 1979).

A presença de cloretos na água aumenta a sua condutividade elétrica, aumentando conseqüentemente o seu poder de corrosão o que pode potenciar este fenómeno nas condutas onde circulam as águas residuais. (Benes et al., 1979)

d) Azoto

O azoto é um elemento crucial no crescimento das plantas, por este motivo a sua monitorização nos efluentes residuais é de extrema importância pois pode conduzir ao crescimento indesejado de plantas e provocar efeitos tóxicos adversos (Han et al., 2014). O azoto apresenta-se nas águas residuais nas seguintes formas:



Tabela I - Definição das várias espécies de azoto. Adaptado de Metcalf & Eddy, 2004

Forma de Azoto	Abreviatura	Definição
<b>Amónia</b>	NH <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>
<b>Amónio</b>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
<b>Azoto Amoniacal</b>	-	NH <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
<b>Nitritos</b>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
<b>Nitratos</b>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub>
<b>Azoto Inorgânico</b>	-	NH <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>3</sub>
<b>Azoto Kjeldahl</b>	TKN	Azoto Orgânico + Azoto Amoniacal
<b>Azoto Orgânico</b>	-	TKN – Azoto Amoniacal
<b>Azoto Total</b>	-	Azoto Orgânico + NH <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>3</sub>

e) Fósforo

Além do azoto, o fósforo é um nutriente essencial no crescimento das plantas e de outros organismos. O controlo da concentração de fósforo nas águas superficiais é crucial para prevenir o crescimento indesejado de algas e impedir a eutrofização. Em meios aquáticos o fósforo pode estar presente nas seguintes formas:

- Ortofosfatos: Fração do fósforo utilizada pelas plantas, atua como fertilizante.
- Polifosfatos: Sais de fósforo formados a partir da ligação de unidades PO<sub>4</sub>.
- Organofosfatos: Composto orgânico de fósforo, atua como fertilizante.

### 2.2.2 Elementos Inorgânicos Metálicos

A contaminação por iões de metais pesados representa um grande problema devido à sua elevada toxicidade, não biodegradabilidade e propriedades carcinogénicas (Huang et al., 2018; Yap et al., 2020; Zou et al., 2016).

Iões de metais tóxicos tais como o cobalto (Co), o cobre (Cu), o níquel (Ni), o cádmio (Cd) e o chumbo (Pb) apresentam grande mobilidade nos ecossistemas aquáticos. Assim, estes são facilmente acumuláveis nos vários organismos que constituem a cadeia alimentar, constituindo uma séria ameaça à saúde humana (Dong et al., 2019; Jiang et al., 2019; Sun et al., 2020). Apesar da sua elevada toxicidade, a presença de metais como o ferro (Fe), o crómio (Cr), o cobre (Cu), o zinco (Zn) e o cobalto (Co), em baixas concentrações, é essencial à vida de todos os organismos. A concentração de metais deve ser determinada em águas tratadas a partir do momento em que se pretende dar um novo uso às mesmas.

O aproveitamento de água tratada para irrigação e a sua integração em massas de água superficiais depende de uma determinação detalhada da concentração de metais pesados na mesma. A presença de metais pesados nas águas residuais deve-se em grande parte à sua vasta utilização na indústria metalúrgica, eletrónica e química mas também em alimentos, embora em baixas concentrações, como o peixe, o marisco e os cereais (Metcalf & Eddy, 2004)

### 2.2.3 Elementos Orgânicos

Atualmente, os compostos orgânicos são definidos como qualquer composto que tenha na sua composição átomos de carbono. Enquadrando com esta definição, os compostos orgânicos de maior interesse biológico e comercial são os seguintes (Monte et al., 2016):

- Produtos petrolíferos;
- Borracha;
- Plásticos;
- Fibras sintéticas;
- Antibióticos e vitaminas;
- Fertilizantes agrícolas;
- Pesticidas;
- Açúcares;
- Corantes;
- Tintas;
- Entre outros

A grande maioria dos compostos orgânicos é transformada em compostos minerais ou inorgânicos por ação dos seres vivos, maioritariamente por microrganismos. Assim, a maioria dos compostos orgânicos é biodegradável (Monte et al., 2016)

A presença de matéria orgânica em águas residuais dá-se, geralmente, sob a forma de proteínas (40 a 60 por cento, hidratos de carbono (25 a 50 por cento) e óleos e gorduras (8 a 12 por cento). A ureia, que constitui a urina, é também um composto orgânico importante nas águas residuais. A Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO) e a Carência Química de Oxigénio (CQO) são dois conceitos interligados que representam duas formas de determinar a matéria orgânica em efluentes residuais. (Metcalf & Eddy, 2004)

#### a) CBO – Carência Bioquímica de Oxigénio

Este método envolve a determinação do oxigénio dissolvido usado pelos microrganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica. Geralmente, a determinação do consumo de oxigénio é feita para um período de 5 dias (CBO<sub>5</sub>). Estima-se que nos 5 dias do ensaio 60 a 70 por cento da matéria orgânica seja oxidada. Este parâmetro é de extrema importância pois a partir da sua determinação é possível determinar a quantidade aproximada de oxigénio necessário para estabilizar, em termos biológicos, a matéria orgânica na água; dimensionar as instalações para o tratamento de águas residuais; determinar a eficiência de remoção de matéria orgânica do efluente e, por fim, verificar o cumprimento de valores limite de emissão para a descarga do efluente. (Metcalf & Eddy, 2004)

## b) CQO – Carência Química de Oxigênio

O CQO é um parâmetro que avalia toda a matéria orgânica presente na água capaz de consumir oxigênio dissolvido na mesma. A CQO representa o conjunto de toda a matéria orgânica oxidável, enquanto a CBO representa apenas a parte das matérias orgânicas biodegradáveis.

Desta forma, é comum obter resultados distintos na determinação de CBO e CQO, geralmente os resultados obtidos para o CQO são sempre superiores aos resultados obtidos para a CBO, tal acontece pelas seguintes razões:

- Inúmeras substâncias orgânicas que são dificilmente oxidáveis biologicamente tais como a lignina, são oxidáveis quimicamente;
- A matéria inorgânica que é oxidável pelo dicromato contribui para o aumento da matéria orgânica na amostra, de forma aparente. Isto faz com que os resultados obtidos para o CQO estejam ligeiramente manipulados visto que há a possibilidade de oxidação de matéria inorgânica que será considerada como matéria orgânica oxidada nos resultados;
- Certas substâncias podem ser tóxicas para os organismos usados nos testes de CBO;
- Valores altos de CQO podem ocorrer devido à presença de matéria orgânica reativa com o dicromato.

Do ponto de vista operacional, uma vantagem do teste CQO em relação ao teste CBO<sub>5</sub> é a rapidez com que o mesmo é concluído, já que é possível realizar este método em cerca de duas horas e trinta minutos. Atualmente é possível dividir a determinação de CQO em CQO particulado e CQO solúvel através de um processo de filtração a realizar antes da análise. Assim, será determinado o CQO da amostra filtrada onde a matéria orgânica se encontra dissolvida na água (CQO solúvel) e o CQO da amostra não filtrada (CQO particulado) onde a matéria orgânica se encontra solúvel, mas também sob a forma de partículas. (Metcalf & Eddy, 2004)

## 2.3 Caracterização física

A origem das características físicas das águas residuais pode ser antropogénica ou natural. A caracterização física de origem antropogénica depende do tipo de uso a que a água foi sujeita antes de dar entrada no sistema de saneamento e assim se tornar água residual. As características físicas não antropogénicas são características inerentes à água quando esta se encontra no seu local de origem ou, no caso da água tratada, que dependem do tipo de tratamento a que foi sujeita antes de ser declarada como água potável. As características físicas de maior interesse na análise de efluentes líquidos são a presença de sólidos, o tamanho das partículas, a turvação, a cor, a transmitância, a temperatura e a cor. Abaixo, serão explanadas as características de destaque no âmbito deste projeto. (Metcalf & Eddy, 2004)

### 2.3.1 Sólidos

Nas águas residuais é possível encontrar sólidos grosseiros, mas também sólidos orgânicos e inorgânicos de menores dimensões tais como, os colóides e material solúvel, que se encontram em suspensão ou dissolvidos na água. Geralmente, os sólidos de maior dimensão são removidos de forma prévia naquilo que se chama a fase de pré-tratamento. (Sonune & Ghate, 2004).

Para os restantes sólidos presentes no efluente está definida uma nomenclatura que tem como base os Sólidos Totais (ST) que por sua vez se dividem em Sólidos Suspensos Totais (SST) e em Sólidos Dissolvidos Totais (SDT). Na tabela abaixo é mencionada a nomenclatura referida bem como a forma de determinar os diferentes tipos de sólidos numa água residual.

*Tabela II - Tipologia de sólidos presentes em efluentes residuais e metodologia analítica para a sua obtenção. Adaptado de Metcal & Eddy, 2004*

<b>Nomenclatura</b>	<b>Descrição</b>
<b>Sólidos Totais (ST)</b>	Resíduo remanescente após a evaporação de uma amostra de água residual a uma temperatura entre 103°C e os 105°C
<b>Sólidos Voláteis Totais (SVT)</b>	Fração dos ST volatilizável a uma temperatura entre os 500°C e os 550°C
<b>Sólidos Fixos Totais (SFT)</b>	Fração remanescente dos ST que não volatilizou após ignição à temperatura de 500°C/550°C
<b>Sólidos Suspensos Totais (SST)</b>	Porção dos ST que ficaram retidos num filtro cujos poros têm um tamanho específico, medidos após secagem a cerca de 105°C
<b>Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)</b>	Fração dos SST volatilizável a uma temperatura entre os 500°C e os 550°C
<b>Sólidos Suspensos Fixos (SSF)</b>	Fração remanescente dos SST que não volatilizou após ignição à temperatura de 500°C/550°C
<b>Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (TS-TSS)</b>	Sólidos que passam através do filtro e que são posteriormente evaporados a uma determinada temperatura. São compostos maioritariamente por coloides e sólidos dissolvidos
<b>Sólidos Voláteis Dissolvidos Totais</b>	Fração dos SDT volatilizável a uma temperatura entre os 500°C e os 550°C
<b>Sólidos Dissolvidos Fixos (SDF)</b>	Fração remanescente dos SDT que não volatilizou após ignição à temperatura de 500°C/550°C
<b>Sólidos Sedimentáveis</b>	Sólidos suspensos [ml/l] que sedimentam a num período de tempo específico

### 2.3.2 Temperatura

A temperatura da água é um parâmetro de grande importância devido à sua influência na concentração de oxigênio dissolvido na mesma. Sendo que o oxigênio é mais solúvel em águas frias do que em águas quentes, é expectável obter concentrações de oxigênio dissolvido mais elevadas em águas frias.

A temperatura das águas residuais é geralmente mais alta do que a temperatura da água de abastecimento, tal acontece devido à temperatura da água utilizada em tarefas domésticas, no caso das águas residuais domésticas, e devido ao descarte de águas utilizadas para arrefecimento de motores ou reatores em alguns processos industriais em massas de água superficiais a temperaturas mais elevadas do que a temperatura do meio recetor, no caso das águas residuais industriais. Quando grandes quantidades de água são descartadas diretamente em massas de água superficiais existe a possibilidade de perda de espécies piscícolas bem como o aumento de plantas aquáticas e fungos provenientes de águas residuais (Metcalf & Eddy, 2004).

### 2.3.3 Condutividade

A condutividade elétrica da água traduz a capacidade de condução de corrente elétrica neste meio. Este parâmetro físico tem uma relação de proporcionalidade direta com a concentração de iões no meio, assim quanto maior a concentração de iões num efluente, maior será a sua condutividade. Atualmente, este parâmetro é determinante na escolha de água para regadio já que a salinidade da água pode ser medida através da análise da sua condutividade (presença de iões Na<sup>+</sup>). Além disso, é possível determinar a concentração de Sólidos Dissolvidos Totais em mg/l a partir da condutividade, recorrendo à equação abaixo:

$$TDS \left( \frac{mg}{l} \right) \equiv EC \left( \frac{\mu S}{cm} \right) * (0.55 - 0.70)$$

A relação demonstrada na equação acima pode não ser válida para águas residuais não tratadas e para águas residuais de carácter industrial (Metcalf & Eddy, 2004).

## 2.4 Águas residuais domésticas

Na maioria das redes de saneamento, as águas residuais domésticas são a maior componente das águas residuais. Estas são compostas maioritariamente por águas residuais provenientes de residências, mas também por águas residuais provenientes de escolas, hospitais e instalações de uso recreativo. (Butler & Davies, 2004)

### 2.4.1 Relação consumo de água - Caudal de água residual produzido

Na determinação do volume de águas residuais domésticas, a maior variável a considerar é o consumo de água associado ao comportamento humano. Ao longo do processo utilização-descarte, a quantidade de água consumida ou perdida é quase negligenciável, a água que entra nas instalações é utilizada em diversas atividades que degradam a sua qualidade e posteriormente é descartada como água residual (Butler & Davies, 2004).

Os principais fatores que influenciam o consumo de água per capita são os seguintes:

- a) Clima;
- b) Demografia;
- c) Fatores socioeconómicos;
- d) Tipo de habitação;
- e) Adoção de medidas de quantificação e conservação da água;
- f) Quantificação do uso de água

Numa habitação, o consumo de água resume-se geralmente à utilização das casas de banho e da cozinha. Atividades como o duche e o processo de descarga de autoclismo, na casa de banho, e a preparação de alimentos, na cozinha, são as atividades com maior consumo de água numa habitação (Butler & Davies, 2004).

Tabela III - Percentagem de água consumida por atividade. Adaptado de Butler & Davies 2004

Componente	Água Consumida (%)		
	Residências	Estabelecimentos Comerciais	Indústrias e Agricultura
Descarregar autoclismo	31	35	5
Duche/Banho	26	26	1
Descarga de mictório	-	15	2
Hidratação e preparação de alimentos	15	9	13
Lavagem de roupa	12	8	-
Lavagem de loiça	10	2	-
Lavagem de viaturas e utilização no jardim	5	4	17
Outros usos	1	1	62

Analisando o quadro acima é possível afirmar que o processo que mais contribui para o consumo de água numa habitação é a descarga do autoclismo nas casas de banho, seguido da água utilizada no duche/banho, preparação de alimentos e hidratação, lavagem de roupa, lavagem de loiça, lavagem do carro e rega do jardim e, por fim, outro tipo de atividades que consomem água. Quase 60% do consumo doméstico de água reside na casa de banho, 25% na cozinha e os restantes 15% dividem-se entre a lavandaria, uso exterior e outro tipo de atividades.

Assim, de forma a relacionar o consumo de água e o subsequente caudal de água residual gerado Russac, Rushton e Simpson sugerem a utilização da seguinte fórmula (Russac et al., 1991):

$$G' = xG$$

Em que G' representa o consumo de água por pessoa em (litros/habitante.dia); o G' a água residual gerada por pessoa nas mesmas unidades e x, o fator de retorno que a título de exemplo se encontra representado na tabela abaixo para o Reino Unido e Estados Unidos da América.

*Tabela IV – Representação do fator de retorno em percentagem no Reino Unido e nos Estados Unidos da América. Adaptado de Russac et al, 1991*

<b>País</b>	<b>x (%)</b>
Reino Unido	95
Estados Unidos da América	60

Estima-se que no Reino Unido, por exemplo, cerca de 95% da água utilizada tem como destino a rede de saneamento (Butler & Davies, 2004). Os restantes 5% são compostos por água utilizada exteriormente (para regadio do jardim e lavagem do carro, por exemplo) e para perdas que ocorrem dentro da casa.

#### *2.4.2 Variação da produção de água residual ao longo do dia*

No decorrer de um dia existe uma variação da quantidade e tipologia das atividades que são realizadas numa habitação. Atividades como o tomar banho, utilização dos vasos sanitários e preparação de refeições acontecem predominantemente ao início e ao fim do dia. A produção de água residual varia diretamente com a realização destas práticas, como tal, a produção máxima de água residual doméstica ocorre no período matinal e após as refeições. Os picos mínimos de produção de água residual doméstica estão associados aos períodos de menor atividade dentro da habitação, geralmente, o período noturno.

Visto que os hábitos de cada indivíduo dentro da mesma população são idênticos, é possível estimar que a produção de água residual se situa no intervalo 130 a 345 l/hab.dia. Em relação à carga orgânica, o intervalo de produção situa-se entre os 70 e os 80 g/hab.dia (Hoek, 2004).

#### *2.4.3 Caracterização de águas residuais domésticas*

Geralmente, as águas residuais domésticas são compostas por água e por constituintes orgânicos e inorgânicos. A sua composição varia de acordo com a sua origem, porém, independentemente da sua natureza as águas residuais são constituídas por resíduos resultantes de atividades antrópicas que se apresentam sob a forma de sólidos suspensos e dissolvidos em conjunto com microrganismos com potencial patogénico. Dentro das águas residuais de carácter doméstico é possível nomear dois conceitos, a água residual negra e a água residual cinzenta (Hoek, 2004). A água residual negra é proveniente do uso dos vasos sanitários, sendo constituída maioritariamente por fezes e urina, dos dois tipos é geralmente a que apresenta maior carga orgânica. A água residual cinzenta é proveniente das outras atividades domésticas, sendo por isso constituída por uma gama mais vasta de componentes, entre os quais, vestígios de alimentos, detergentes, óleos, fenóis, matéria inorgânica, proteínas, hidrocarbonetos, microrganismos, metais e constituintes gasosos. (Metcalf & Eddy, 2004; Mogens et al., 1997). Na composição das águas residuais domésticas destacam-se três componentes, o carbono, o fósforo e o azoto, cuja presença varia de acordo com a sua origem conforme está representado na Figura 1.

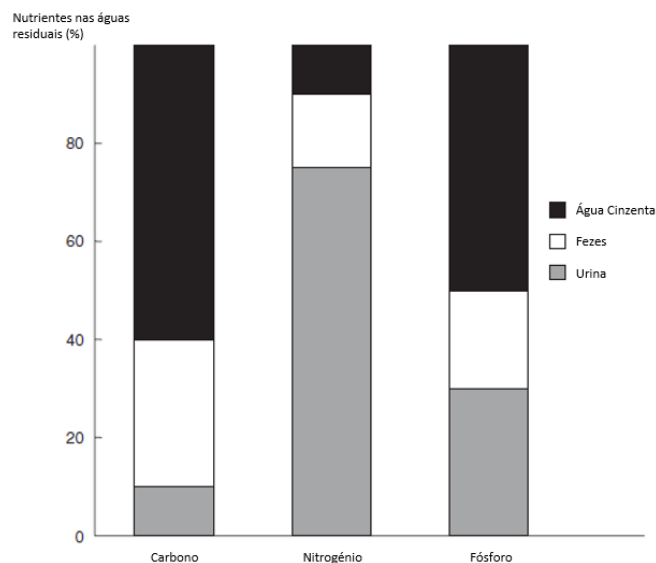


Figura 1 - Percentagem de carbono, nitrogénio e fósforo na água cinzenta, nas fezes e na urina. Adaptado de Butler & Davies 2004

Através da análise do gráfico acima, é possível constatar que a natureza do carbono nas águas residuais domésticas é essencialmente a água cinzenta (60%), a urina é o principal elemento que contribui para a presença de nitrogénio nas águas residuais domésticas (aproximadamente 75%), por fim, a presença de fósforo nas águas residuais domésticas é maioritariamente proveniente da água cinzenta (cerca de 50%).

No que concerne aos valores típicos para as cargas de poluentes nas águas residuais domésticas, a revisão bibliográfica levada a cabo permitiu a obtenção de dados de três fontes diferentes. A reunião desta informação apresenta-se no quadro abaixo, sendo que para os autores Butler & Davies e Metcalf & Eddy foram obtidos valores típicos, enquanto os autores Crites & Tchobanoglous sugerem uma gama de valores típicos.

Tabela V - Valores típicos de cargas de alguns poluentes em águas residuais domésticas segundo vários autores

Parâmetro	Unidade	Butler & Davies (2004)	Metcalf & Eddy (2003)	Crites & Tchobanoglous (1998)
<b>pH</b>	Escala pH	6.7-7.5 – Água Dura 7.6-8.2 – Água Macia	-	-
<b>Temperatura</b>	°C	15-20 - Verão 10 - Inverno	-	-
<b>CQO</b>	g/hab.dia	110	198	110-295
<b>CBO<sub>5</sub></b>		60	85	50-120
<b>SST</b>		60	95	60-150
<b>SSV</b>		48	-	-
<b>N Amoniacal</b>		8	7.8	5-12
<b>N Orgânico</b>		4	5.5	4-10
<b>TKN</b>		-	13.3	9-21.7
<b>P Total</b>		3	3.28	2.7-4.5
<b>Óleos e Gorduras</b>		-	31	10-40



A revisão bibliográfica permitiu também a reunião de valores típicos para cargas de poluentes nas águas residuais domésticas para os seguintes países que se encontram na Europa.

Tabela VI - Valores típicos de cargas de alguns poluentes em águas residuais domésticas para alguns países

País	Unidade	CBO	TSS	TKN	N-NH <sub>3</sub>	P Total
Dinamarca	g/hab.dia	55-68	82-96	14-19	ND	1.5-2
Alemanha		55-68	82-96	11-16	ND	1.2-1.6
Grécia		55-60	ND	ND	8-10	1.2-1.5
Itália		49-60	55-82	8-14	ND	0.6-1
Suécia		68-82	82-96	11-16	ND	0.8-1.2

Em relação aos valores típicos para as concentrações de poluentes em águas residuais domésticas não tratadas, Metcalf & Eddy (2003) apresentam a distribuição das concentrações com base na produção diária de águas residuais domésticas per capita. Assim, a caracterização foi feita para três capitações de água residual distintos: 750 l/hab.dia, 460 l/hab.dia e 240 l/hab.dia. Este modelo torna-se interessante pois permite a comparação de águas residuais domésticas de vários municípios, países, entre outros com base na produção diária de águas residuais per capita desse mesmo local.

Tabela VII - Valores típicos de alguns poluentes em águas residuais domésticas

Parâmetros	Unidades	Concentração		
		750 l/hab.dia	460 l/hab.dia	240 l/hab.dia
Sólidos Totais	mg/l	390	720	1230
Sólidos Dissolvidos Totais		270	500	860
Sólidos Suspensos Totais		120	210	400
CBO <sub>5</sub> 20°C		110	190	350
CQO		250	430	800
N Orgânico		8	15	25
N Amoniacal		12	25	45
N Total		30	40	70
P Total		4	7	12
Óleos e Gorduras		50	90	100
Coliformes Fecais	Nº/100ml	10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup> -10 <sup>8</sup>

## 2.5 Águas residuais industriais

As águas residuais industriais são efluentes residuais produzidos por instalações industriais e por processos de fabrico. São geralmente caracterizadas pelo seu alto conteúdo orgânico, elevada carência de oxigénio e alto conteúdo de elementos químicos com capacidade para danificar os tubos de saneamento. Estes efluentes representam uma parte importante das águas residuais comunitárias e devem ser considerados para que o tratamento de águas residuais seja bem-sucedido. A caracterização das águas residuais industriais varia de indústria para indústria, mas também de processo para processo dentro da mesma indústria. (Sonune & Ghate, 2004)

A composição e o volume dos efluentes residuais industriais varia, obviamente, com o tipo de utilização a que a água foi sujeita. Os setores da produção de papel e fibra, da refinaria e operações petroquímicas, do fabrico de químicos e fertilizantes, produção e transformação de carne e o empacotamento de frutas e vegetais produzem geralmente grandes volumes de águas residuais dada a importância que a água tem na produção e transformação destes produtos. O setor da geração de eletricidade geralmente produz efluentes residuais provenientes de águas para arrefecimento. (Sonune & Ghate, 2004). Já as indústrias como a química, destilaria, açúcar, produção de alimentos e laticínios, papel e celulose, branqueamento e tinturaria têxtil, mineração e pedreiras, fabrico de baterias, produção de energia nuclear, produção de couro, ferro e aço, sabão e detergente, centrais nucleares, refinaria de metais, pesticidas e biocidas, petróleo e petroquímica, farmacêutica e o processamento de metais são as principais fontes de metais nas águas industriais (Dutta et al., 2021). A padronização dos efluentes residuais industriais numa só categoria torna-se inadequada tendo em conta a composição não uniforme das águas residuais de cada setor, e até dentro da mesma indústria para processos diferentes. Dentro da mesma indústria a composição, volume e caudal das águas residuais é altamente varável de forma anual, mensal, semanal e até diária pelo que a avaliação da qualidade das mesmas pode ter como base o estudo estatístico destas variáveis. (Eckenfelder, 2000)

### 2.5.1 Caracterização de águas residuais industriais

A revisão bibliográfica revelou pouca frequência na ocorrência de compilações de dados referentes à caracterização de águas residuais industriais. Desta forma, a tabela abaixo apresenta valores de sólidos totais, fósforo total, azoto total, carência bioquímica de oxigénio e carência química de oxigénio nas águas residuais para várias indústrias agroalimentares segundo vários autores.

A composição de águas residuais provenientes de indústrias agroalimentares varia de acordo com o tipo de alimentos produzidos/processados. Assim as indústrias de fabrico de queijo, vinho e azeite estão associadas a águas residuais industriais com grande carga de substratos, nomeadamente, matéria orgânica, ácidos, proteínas, compostos aromáticos e nutrientes, já as indústrias de produção de açúcar e laticínios estão associadas à produção de efluentes com menor carga orgânica. (Rajagopal et al., 2013)

Tabela VIII - Características de águas residuais provenientes da indústria agroalimentar. Adaptado de Rajagopal et al., 2013

Indústria	Unidade	Sólidos Totais	Fósforo Total	Azoto Total	CBO	CQO
Processamento Alimentar	mg/l	-	3	50	600-4000	1000-8000
Moagem de Óleo de Palma		40	-	750	25	50
Processamento de Cana de Açúcar		6100	2.7	10	-	6600
Laticínios		1100-1600	-	-	8000-1000	1400-2500
Moagem de Milho		650	125	174	3000	4850
Produção de Batatas Fritas		5000	100	250	5000	6000
Produção de Fermento de Padeiro		600	3	275	-	6100
Indústria Vinícola		150-200	40-60	310-410	-	18000-21000
Laticínios		250-2750	-	10-90	650-6250	40-15200
Queijos		1600-3900	60-100	400-700	-	23000-40000
Moagem de Azeitonas		75500	-	460	-	130100
Produção de Amido de Mandioca		830	90	525	6300	10500

## 2.6 Águas residuais provenientes de Campus Universitários

Segundo a Agência de Proteção do Ambiente dos Estados Unidos, as Instituições de Ensino Superior (IES) estão inseridas no grupo de instalações que produzem resíduos perigosos. Nas IES o consumo de água é protagonizado por uma grande variedade de atividades que se podem assemelhar a uso doméstico ou, por outro lado, ao uso industrial. A utilização dos vasos sanitários por toda a comunidade universitária e a confeção de alimentos nas cantinas universitárias, por exemplo, produzem efluentes residuais cuja composição se assemelha à dos efluentes residuais domésticos, porém, em volumes e concentração de matéria orgânica e inorgânica de maior escala, fruto do elevado número de pessoas a frequentar as universidades.

Porém, as atividades que ocorrem em laboratórios físicos e químicos de lecionação e investigação produzem efluentes com substâncias tóxicas para o ambiente e para os organismos envolvidos no tratamento convencional das águas residuais (Diaz, 2018). A composição dos efluentes residuais provenientes dos laboratórios das instituições de ensino é complexa e depende do tipo de atividades que são realizadas no próprio laboratório. Componentes como metais pesados, solventes, ácidos e bases e substâncias oxidantes podem ser altamente tóxicas em meios aquáticos e todos eles podem estar presentes nos efluentes residuais universitários em diferentes concentrações. (Nacional & Rica, 2020)

A revisão bibliográfica demonstrou que no passado recente a caracterização das águas residuais de campus universitários tem sido uma prática de maior ênfase no subcontinente sul americano e no continente africano. A principal razão encontrada para as universidades/campus universitários realizarem uma caracterização dos seus efluentes residuais é o estudo e avaliação de novos processos de tratamento de forma a reutilizar a resultante água residual tratada. Abaixo, são dados alguns exemplos de universidades que efetuaram uma caracterização das suas águas residuais bem como o resultado dessas mesmas análises.

### 2.6.1 Universidade de Covenant, Nigéria

No Sudoeste da Nigéria as infraestruturas que providenciam serviços de água canalizada são praticamente inexistentes, assim, cada cidadão é responsável pelo autosserviço generalizado e não regulamentado do fornecimento de água. Um estudo levado a cabo por Omole et al (2016) intitulado “Quality Assessment of a University Campus Wastewater Resource” teve como objetivo analisar qualitativa e quantitativamente as águas residuais geradas pela Universidade de Covenant para posterior avaliação do potencial de reutilização da água tratada no setor da agricultura, nomeadamente na horticultura. Localizada no distrito de Ota no estado de Ogun no Sudoeste da Nigéria, a Universidade de Covenant contabilizou cerca de 8111 pessoas residentes no seu Campus no ano de 2013. O volume médio de águas residuais produzido neste ano foi de 874.081 litros por dia, sendo que grande parte desta água residual atravessava um sistema de tratamento de águas residuais com recurso a uma Zona Húmida Construída antes de ser descartada numa massa de água na periferia (Emenike et al., 2015).

A amostragem foi feita em três locais distintos, o local 1 que se situa à entrada do sistema de tratamento através da Zona Húmida Construída; o local 2 que se situa à saída da Zona Húmida Construída e, por fim, o local 3 onde passa apenas água cinzenta colhida através de uma canalização aberta à beira da estrada. Para cada local, foram analisados componentes químicos inorgânicos metálicos, nomeadamente, o Cobre, o Chumbo, o Níquel e o Zinco; componentes químicos inorgânicos não metálicos como a salinidade, o pH concentração de nitritos e nitratos; e parâmetros físicos como a concentração de coliformes e de sólidos dissolvidos totais, a condutividade e a temperatura. Os resultados obtidos no estudo encontram-se na tabela seguinte:

Tabela IX - Resultados obtidos por Omole et al., 2016

Parâmetros	Unidades	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	
Temperatura	°C	29	29	28.7	
pH	-	6.9	7.01	7.52	
Condutividade	µS/cm	395	397	324	
Salinidade		219	219	181	
SDT	mg/l	279	280	231	
Zinco		0.001	-	-	
Ferro		0.41	0.15	0.09	
Chumbo		0.1	0.1	0.1	
Níquel		0.00	0.00	0.1	
Nitratos (NH <sub>3</sub> )		0.00	0.00	0.003	
Nitritos		0.00	-	0.06	
Coliformes Totais		Nº/100ml	75	43	-

O estudo conclui que os valores obtidos para os parâmetros analisados estão abaixo dos valores limite estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde e pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e a Agricultura para a reutilização de águas residuais para irrigação na agricultura. O sistema de tratamento adotado revelou-se eficiente e de custo relativamente baixo, apesar de requerer a disponibilização de uma grande área para a sua criação e funcionamento. Assim, os mais de 874,000 litros de águas residuais produzidas na Universidade podem ser tratados localmente e reutilizadas na rega de campos agrícolas (Omole et al., 2017).

### 2.6.2 Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Em 2007 um artigo técnico intitulado “Caracterização e biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia dos esgotos produzidos em campus universitários” levado a cabo por Suel Bertolino, Cornélio Carvalho e Sérgio Aquino (Bertolino et al., 2008) foi desenvolvido no âmbito da caracterização dos efluentes líquidos produzidos no campus da Universidade Federal de Ouro Preto. Para tal, foram recolhidas amostras em três pontos na rede de saneamento do campus da Universidade, que recebem águas residuais de pontos distintos. O primeiro ponto de recolha recebe a maior parte dos efluentes residuais provenientes dos laboratórios de ensino e pesquisa; o segundo ponto de recolha recebe as águas residuais provenientes de instalações relacionadas com a saúde, prática desportiva, saúde, engenharia e arquitetura; por fim, o terceiro ponto de recolha dispõem-se na rede após o ponto dois, recebendo as águas que advém do ponto dois e ainda os efluentes líquidos provenientes dos alojamentos universitários. A caracterização físico-química dos efluentes cingiu-se à análise dos seguintes parâmetros: Carência Bioquímica de Oxigénio, Carência Química de Oxigénio, Sólidos Suspensos Totais, Azoto Kjeldahl Total, Azoto Amoniacal, Fósforo Total, Alcalinidade, pH e Condutividade. Além destes parâmetros foram também analisados os seguintes metais: Níquel, Crómio, Cádmiu, Estrôncio, Zinco, Cobre, Ferro, Alumínio, Manganês e Bário. Os resultados obtidos nas análises encontram-se tabelados abaixo:

Tabela X - Resultados obtidos por Bertolino et al., 2008

Parâmetros	Unidade	Valor Médio		
		Local 1	Local 2	Local 3
<b>pH</b>	-	8.23 ± 0.88	7.77 ± 0.32	7.35 ± 0.34
<b>Condutividade</b>	µS/cm	530 ± 199	758 ± 81	622 ± 154
<b>CBO</b>	mg/l	171 ± 85	217 ± 32	300 ± 55
<b>CQO</b>		403 ± 302	505 ± 59	670 ± 94
<b>SST</b>		140 ± 101	223 ± 44	296 ± 121
<b>N-NTK</b>		41.4 ± 22.4	62.2 ± 26	56.2 ± 25.7
<b>N-NH<sub>3</sub></b>		30.6 ± 17.7	27.4 ± 20.7	32.6 ± 16.6
<b>P Total</b>		4.8 ± 2.5	6.7 ± 2.9	5.8 ± 1.1
<b>Alcalinidade</b>		149 ± 20	182 ± 33	241 ± 69
<b>Sr</b>		0.043 ± 0.019	0.049 ± 0.011	0.065 ± 0.030
<b>Zn</b>		0.195 ± 0.123	0.325 ± 0.267	0.389 ± 0.390
<b>Cu</b>		0.023 ± 0.003	0.025 ± 0.016	0.033 ± 0.015
<b>Fe</b>		0.187 ± 0.071	0.585 ± 0.299	0.847 ± 0.779
<b>Al</b>		0.087 ± 0.054	0.253 ± 0.176	0.355 ± 0.438
<b>Mn</b>		0.046 ± 0.030	0.073 ± 0.042	0.054 ± 0.006
<b>Ba</b>		0.080 ± 0.057	0.162 ± 0.135	0.148 ± 0.175

Além das análises já mencionadas foram também realizados ensaios para a determinação da biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia dos efluentes. Os valores de biodegradabilidade aeróbia obtidos foram altos, com taxas de remoção acima dos 90% que podem ser alcançadas com apenas um dia de tempo de retenção hidráulico. Já a biodegradabilidade anaeróbia do efluente do campus cingiu-se a cerca de 50%, sendo possível concluir que o efluente foi melhor biodegradado aerobiamente do que anaerobiamente.

Sustentando-se nos valores obtidos para os parâmetros referidos acima, os autores concluíram que os efluentes residuais analisados podem ser equiparados a efluentes residuais de caráter sanitário. (Bertolino et al., 2008)

### *2.6.3 Universidade de Mzuzu, Malawi*

No Malawi, como consequência do aumento significativo da população o acesso a água potável, a gestão de resíduos sólidos urbanos e o tratamento das águas residuais são escassos (Kumwenda & Kambala, 2012). A descarga de águas residuais nos rios Lunyangwa e Luwing na cidade de Mzuzu tem conduzido a um estado de poluição ambiental extrema (Wanda et al., 2014). De forma a planejar o uso eficiente de água, a implementação de sistemas de gestão e tratamento são imperativos visto que contribuem para a redução do potencial de risco para a saúde pública e para o meio ambiente. Assim, na Universidade de Mzuzu foi construída uma lagoa de estabilização de resíduos que recebe os efluentes residuais provenientes dos departamentos de ensino e das residências universitárias, de forma a melhorar o tratamento dos efluentes residuais produzidos na Universidade. Este sistema foi desenhado para suprir as necessidades de tratamento das águas para uma população de 3000 pessoas, apesar de no ano de 2017 a população universitária rondar as 7380 pessoas (Mumba, 2017)

No ano de 2020 foi conduzido um estudo (Ngoma et al., 2020) com o objetivo de determinar a eficiência do sistema de tratamento por lagoas de estabilização no tratamento das águas residuais da Universidade. A amostragem foi feita à entrada e à saída do sistema de lagoas de estabilização, e para a caracterização do influente e influente foram analisados os seguintes parâmetros físico-químicos: pH, temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido, sólidos suspensos totais, sólidos totais, carência bioquímica de oxigênio, carência química de oxigênio, nitratos, azoto amoniacal e o fósforo total. Os resultados encontram-se na tabela abaixo.

Tabela XI - Resultados obtidos por Ngoma et al., 2020

Parâmetro	Unidade	Local	Média dos Valores Obtidos
<b>pH</b>	-	Influente	6.9 ± 0.30
		Efluente	9.4 ± 0.52
<b>Temperatura</b>	°C	Influente	25.1 ± 0.92
		Efluente	27.3 ± 1.13
<b>Condutividade</b>	µS/cm	Influente	398 ± 84.43
		Efluente	198 ± 23.16
<b>OD</b>	mg/l	Influente	1.3 ± 0.74
		Efluente	6.6 ± 1.84
<b>ST</b>		Influente	294 ± 73.86
		Efluente	170 ± 34.23
<b>SST</b>		Influente	49.6 ± 28.61
		Efluente	18 ± 13.034
<b>SDT</b>		Influente	243 ± 52.71
		Efluente	119 ± 13.61
<b>CBO<sub>5</sub></b>		Influente	96.4 ± 36.56
		Efluente	4.5 ± 0.89
<b>CQO</b>		Influente	240 ± 84.41
		Efluente	51 ± 30.44
<b>Nitratos</b>		Influente	0.02 ± 0.011
		Efluente	0.01 ± 0.023
<b>P Total</b>		Influente	1.41 ± 0.227
		Efluente	0.11 ± 0.035
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>		Influente	0.005 ± 0.003
		Efluente	0.003 ± 0.007

O estudo concluiu que os valores obtidos em todos os parâmetros monitorizados à saída do sistema de lagoas, à parte do pH, estão abaixo dos valores limite estabelecidos pela Agência de Proteção do Ambiente. Os autores concluíram também que durante o período em que o estudo se desenvolveu, o Sistema das Lagoas de Estabilização para o Tratamento de Águas Residuais da Universidade de Mzuzu operou de forma eficiente.

#### 2.6.4 Universidade Nova de Lisboa, Portugal

Foi desenvolvida em 2010 uma dissertação de mestrado (Pina, 2010)\_cujo objetivo foi fazer uma caracterização das águas residuais produzidas no campus da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, do ponto de vista físico-químico, ecotoxicológico e dos caudais descarregados nos coletores do município de Almada. Foram recolhidas amostras referentes às águas residuais do campus em dois coletores em extremos do campus, e a caracterização dos efluentes foi realizada em duas campanhas que decorreram em novembro de 2008 e março de 2009.

De forma a caracterizar os efluentes produzidos no campus foram analisados os seguintes parâmetros: a Carência Bioquímica de Oxigênio; a Carência Química de Oxigênio; a concentração de Sólidos Totais, Sólidos Suspensos Totais e Sólidos Dissolvidos Totais; a concentração de Óleos e Gorduras; Hidrocarbonetos Totais; Detergentes Aniônicos; Cianetos Livres, Compostos Fenólicos; Fluoretos; Sulfatos; Sulfuretos; Arsênio Total; Alumínio Total; Cádmio Total; Chumbo Total; Cobre Total; Crômio (VI); Crômio Total; Estanho Total; Mercúrio Total; Níquel Total; Prata Total e Zinco Total. Foram ainda desenvolvidos testes de ecotoxicidade, ensaios para determinar a biodegradabilidade das amostras recolhidas e quantificados os caudais produzidos no decorrer de um dia de pleno funcionamento do campus.

Parte dos resultados obtidos por Pina, 2010 encontram-se na Tabela XII.

Tabela XII - Resultados obtidos por Pina, 2010

Parâmetro	Unidade	Local	Valores obtidos em novembro de 2008	Valores obtidos em março de 2009
<b>pH</b>	-	Coletor Norte	7,79	7,70
		Coletor Sul	8,26	8,00
<b>Temperatura</b>	°C	Coletor Norte	18,8	16,7
		Coletor Sul	19,9	14,8
<b>Condutividade</b>	µS/cm	Coletor Norte	700	900
		Coletor Sul	1300	1500
<b>ST</b>	mg/l	Coletor Norte	748	614
		Coletor Sul	1114	1356
<b>SST</b>		Coletor Norte	257	90
		Coletor Sul	70	370
<b>SDT</b>		Coletor Norte	477	460
		Coletor Sul	670	600
<b>CBO<sub>5</sub></b>		Coletor Norte	290	118
		Coletor Sul	385	415
<b>CQO</b>		Coletor Norte	302	302
		Coletor Sul	603	667
<b>N-Kjeldahl</b>		Coletor Norte	73	28
		Coletor Sul	190	137
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>		Coletor Norte	37	24
		Coletor Sul	167	125
<b>P Total</b>		Coletor Norte	14	6
		Coletor Sul	17	13
<b>Óleos e Gorduras</b>		Coletor Norte	395	2585
		Coletor Sul	282	69,5



Encontram-se ainda na tabela abaixo os resultados obtidos para as análises aos metais referidos.

Tabela XIII - Resultados obtidos na análise de metais por Pina, 2010

Parâmetro	Unidade	Local	Valores obtidos em novembro de 2008	Valores obtidos em março de 2009
<b>Arsénio Total</b>	mg As/l	Coletor Norte	<LQ	<LQ
		Coletor Sul	0,0005	<LQ
<b>Alumínio Total</b>	mg Al/l	Coletor Norte	<LQ	<LQ
		Coletor Sul	<LQ	<LQ
<b>Cádmio Total</b>	mg Cd/l	Coletor Norte	<LQ	<LQ
		Coletor Sul	<LQ	<LQ
<b>Chumbo Total</b>	mg Pb/l	Coletor Norte	<LQ	<LQ
		Coletor Sul	<LQ	<LQ
<b>Cobre Total</b>	mg Cu/l	Coletor Norte	<LQ	<LQ
		Coletor Sul	<LQ	<LQ
<b>Crómio Total</b>	mg Cr/l	Coletor Norte	<LQ	<LQ
		Coletor Sul	<LQ	<LQ
<b>Estanho Total</b>	mg Sn/l	Coletor Norte	<LQ	0,01
		Coletor Sul	0,02	0,02
<b>Mercúrio Total</b>	mg Pb/l	Coletor Norte	0,01	<LQ
		Coletor Sul	0,02	0,003
<b>Níquel Total</b>	mg Ni/l	Coletor Norte	<LQ	<LQ
		Coletor Sul	<LQ	<LQ
<b>Prata Total</b>	mg Ag/l	Coletor Norte	<LQ	<LQ
		Coletor Sul	<LQ	<LQ
<b>Zinco Total</b>	mg Zn/l	Coletor Norte	0,61	0,05
		Coletor Sul	<LQ	<LQ
<b>Molibdénio</b>	mg Mo/l	Coletor Norte	<LQ	<LQ
		Coletor Sul	<LQ	<LQ

Pina (2010) concluiu com base nos resultados obtidos que os efluentes residuais produzidos no campus da FCT descarregados nos coletores Norte e Sul, são equiparáveis a águas residuais domésticas.

## 2.7 Tratamento de águas residuais

Independentemente da sua origem, toda a água residual deve retornar à terra, a um meio aquático recetor ou ser reutilizada. Qualquer que seja o destino final da água tratada, o tipo de tratamento tem irremediavelmente de assegurar a proteção da saúde pública e do ambiente. O tipo de tratamento a que a água residual deve ser sujeita carece de uma análise altamente detalhada no que diz respeito às condições e necessidades do local, à aplicação de conhecimento na área da engenharia e ao cumprimento dos regulamentos locais. O dimensionamento de uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR) é feito após a análise das águas residuais e da determinação das suas características. (Metcalf & Eddy, 2004)

Segundo (Sonune & Ghate, 2004), o tratamento convencional de águas residuais consiste numa sequência de processos e operações físicas, químicas e biológicas para a remoção de sólidos, matéria orgânica e, por vezes, nutrientes, das águas residuais. Na descrição dos diferentes tipos de fases no tratamento de águas residuais podem ser enunciados os seguintes estados de tratamento:

- Tratamento Preliminar / Pré-Tratamento
- Tratamento Primário
- Tratamento Secundário
- Tratamento Terciário

No sentido de tornar o tratamento de águas residuais no campus mais sustentável serão evidenciados abaixo alguns processos de tratamento de águas residuais que poderiam vir a ser implementados no campus na perspetiva da reutilização das mesmas para rega paisagística do campus.

## *2.8 Tratamento de águas residuais domésticas*

As águas residuais domésticas, geralmente, têm como destino as redes de saneamento municipais onde serão encaminhadas para tratamento e posteriormente descartadas nas massas de água superficiais. Nas estações de tratamento de águas residuais municipais a água residual atravessa os tratamentos preliminar, primário e secundário, bem como, o tratamento de lamas.

### *2.8.1 Tratamento preliminar - Gradagem e Tamisação*

Na gradagem, sólidos de grandes dimensões que se encontram na água residual em suspensão como, trapos, panos, plástico e pedaços de madeira são removidos a fim de proteger os equipamentos a jusante e de tornar mais eficiente cada processo de tratamento que ocorre após esta etapa. (Sonune & Ghate, 2004). Normalmente, a gradagem é a primeira operação numa sequência de operações e processos de tratamento de águas residuais. De forma a impedir a passagem dos sólidos mencionados são utilizadas grades cujo espaçamento é inferior ao tamanho dos sólidos a gradar de forma a reter os gradados que devem ser removidos gradualmente para que não ocorram obstruções à passagem do efluente nas grades.

Na tamisação, são utilizados aparelhos denominados tamisadores para remover sólidos em suspensão de tamanho inferior aos gradados (tamisados). Ao contrário da gradagem, a tamisação pode ser aplicada em diversas fases de tratamento de águas residuais. A dimensão e a composição dos tamisados varia de acordo com a fase de tratamento em que a tamisação é inserida (Metcalf & Eddy, 2004)

### *2.8.2 Tratamento Primário - Decantação Primária*

Quando aplicada no tratamento primário, a decantação tem como objetivo primordial promover a sedimentação de partículas em suspensão no efluente residual por ação da gravidade, obtendo-se um efluente clarificado e uma fase de partículas em suspensão. Na decantação primária dão-se dois tipos de mecanismos para a remoção de poluentes (Monte et al., 2016):

- Sedimentação de partículas floculentas, que originam as lamas no fundo do decantador;
- Flotação dos sobrenadantes que origina escumas

As lamas produzidas na decantação primária são maioritariamente constituídas por matéria orgânica, tornando-as suscetíveis a entrar em putrescência provocando maus odores. Estas situações são controladas através da redução do tempo de retenção das águas residuais no decantador. As lamas primárias (lamas produzidas na decantação primária) retêm ainda maioria dos metais presentes nos efluentes residuais e organismos patogénicos (Monte et al., 2016).

### 2.8.3 *Tratamento Secundário – Tratamento Biológico:*

Esta fase de tratamento revela-se particularmente importante no presente caso de estudo, pois a antiga ETAR de Verdemilho localizada entre o Campus de Santiago e o Campus do Crasto operava principalmente através de processos de tratamento biológico, como será mencionado mais à frente no presente relatório.

#### a) Lamas Ativadas

Por definição, um processo de lamas ativadas básico é constituído por três componentes:

- Um reator onde os microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica são mantidos em suspensão e em meio aeróbio;
- Um decantador secundário onde ocorre a separação das fases sólido-líquido;
- Um sistema de recirculação de lamas que faz retomar as lamas do decantador secundário de volta ao reator biológico

Nos dias de hoje, os processos de lamas ativadas incorporam processos de nitrificação, remoção biológica de nitrogénio e remoção biológica de fósforo. De forma a adicionar estes processos, são utilizados reatores em série que operam sob condições aeróbias, anóxicas e anaeróbias e podem ser utilizadas bombas de recirculação.

#### b) Lagoas Arejadas

O tratamento aeróbio com recurso às lagoas arejadas é idêntico ao processo de lamas ativadas, porém sem recirculação de lamas, e com a introdução de oxigénio. O volume de reação é mais elevado devido à idade de lamas ser igual ao tempo de retenção hidráulico e pelo facto de a concentração de biomassa ser reduzida, estando compreendida no intervalo de 100 a 500 mg/l. O processo de fornecimento de oxigénio é geralmente assegurado pela ação de turbinas rápidas que garantem a mistura necessária para que se dê a remoção de matéria orgânica por ação da população de microrganismos (Cabrera, 2017; Suhr et al., 2015). De forma a separar a fase sólida da fase líquida, normalmente, após o tratamento por lagoas arejadas dá-se o processo de sedimentação com recurso a decantadores secundários para que as lamas em excesso sejam removidas e tratadas (Suhr et al., 2015). Algumas das vantagens deste processo são, por exemplo, o menor consumo energético e a menor produção de lamas, já em relação às desvantagens estas podem ser o facto de haver baixa eficiência de remoção de poluentes orgânicos, área de implantação muito significativa, dificuldade de controlo operacional e a capacidade limitada de fazer face a alterações nas características do efluente. (Venâncio, 2020)

### c) Leitos Percoladores

Os leitos percoladores são um dos mecanismos de biomassa fixa, que utilizam bio filmes sobre um suporte. Estes também são conhecidos como filtros biológicos, leitos de bactérias ou filtros percoladores. Os leitos percoladores podem ter duas configurações, retangular ou circular. A distribuição da água residual é feita no topo da superfície recorrendo a um distribuidor rotativo, que no caso dos leitos circulares, é impulsionado pelo efeito do jato que esguicha sobre o leito. Os filtros retangulares usam motores ou turbinas. (Silva Rodrigues, 2012)

No leito percolador desenvolve-se a fase de tratamento biológico aeróbio da água residual que consiste na remoção de matéria orgânica contida na água residual decantada sob a forma de sólidos dissolvidos ou de sólidos em suspensão de pequenas dimensões. A água residual que sai do leito percolador denomina-se de água residual percolada. A água residual distribuída sobre o leito percolador escoar-se através dos espaços vazios do meio de percolação. Por esses mesmos espaços vazios circula ar, pois tratando-se de um processo aeróbio, os microrganismos necessitam de ar para a sua respiração. A água residual, ao atravessar o meio de percolação, dá origem à formação sobre essa superfície de uma película com aspeto gelatinoso onde se desenvolvem os microrganismos que são responsáveis pela assimilação da matéria orgânica contida na água residual. Esta película que se encontra fixa sobre a superfície do material de percolação denomina-se de película biológica. À medida que a água residual vai atravessando o meio percolador, os microrganismos que estão na película vão-se alimentando da matéria orgânica, e por consequência, vão-se desenvolvendo e reproduzindo, dando origem ao aumento da espessura da película biológica. Quando a sua espessura for tal que não permita que os microrganismos da sua camada interior, localizados junto à superfície do material de fixação, terem acesso ao alimento e ao oxigénio, esses microrganismos morrem. Quando tal acontece, a película biológica desprende-se do meio e sai do leito percolador em suspensão na água residual percolada. (Silva Rodrigues, 2012)

### d) Decantação Secundária

Como parte integrante do tratamento biológico, a decantação secundária tem como objetivo a separação dos flocos de biomassa que se desenvolveram no reator biológico, e que são quase integralmente constituídos por matéria orgânica na forma de microrganismos dificilmente sedimentáveis. O tipo de tratamento biológico que precede a decantação secundária dita a concentração e o estado de agregação dos sólidos em suspensão, assim:

- Quando o tratamento biológico é feito por biomassa fixa (leitos percoladores), a sedimentação de partículas floculentas dá-se na maior parte da altura da coluna de água, fazendo com que a sedimentação em manto e a sedimentação por compressão ocupem menos volume no decantador;
- Quando o tratamento biológico é feito por biomassa suspensa (lamas ativadas), dão-se quatro tipos de sedimentação:
  - Parte superior do decantador: ocorre a sedimentação de partículas discretas (tipo I) sendo que à medida que as partículas se unem no seu movimento descendente ocorre a sedimentação floculenta (tipo II)
  - Parte inferior do decantador: ocorre a sedimentação em manto (tipo III)
  - Zona de acumulação de lamas no fundo do decantador: ocorre a sedimentação por compressão (tipo IV)

## 2.8.4 Tratamento Terciário

O tratamento terciário é crucial quando o objetivo é reutilizar as águas residuais tratadas ou quando o efluente proveniente do tratamento secundário ainda não tem o padrão de qualidade exigido para ser descarregado num meio recetor final. Assim, geralmente os processos e operações envolvidos no tratamento terciário relativos a uma ETAR municipal têm como finalidade a remoção de nutrientes e microrganismos patogénicos. Os processos e operações mencionados são os seguintes:

- Desinfeção: Remoção de microrganismos patogénicos e vírus que colocam em risco a saúde pública;
- Filtração: Redução dos sólidos suspensos e da associada carência bioquímica de oxigénio do efluente tratado, por vezes necessário com recurso a um coagulante;
- Adsorção: Remoção de compostos orgânicos e de alguns elementos vestigiais com recurso ao carvão ativado;
- Nitrificação: Redução da concentração de amónia no efluente secundário;
- Nitrificação/Desnitrificação: Remoção de nitrogénio do efluente secundário;
- Precipitação Química: Remoção de fósforo;
- Remoção biológica de fósforo;

Normalmente as lamas produzidas no tratamento terciário são encaminhadas para o tratamento das lamas primárias e secundárias.

Abaixo encontra-se esquematizada, de forma elementar, a fileira de operações e processos envolvidos numa ETAR municipal convencional (National Research Council, 1996)

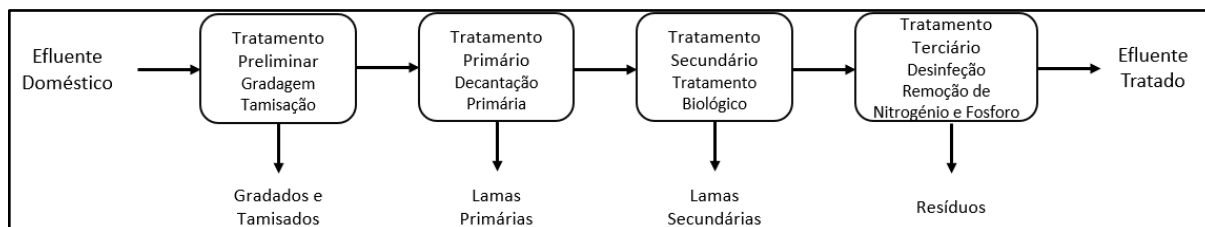


Figura 2 - Representação de uma ETAR municipal convencional. Adaptado de National Research Council, 1996

## 2.9 Tratamento de águas residuais industriais

No tratamento de águas residuais industriais existem três tipos de abordagens. Em alguns casos as águas residuais industriais são colhidas nos coletores municipais comunitários e a água residual resultante é tratada em conjunto. Noutro tipo de circunstâncias, as indústrias podem providenciar algum tipo de pré-tratamento ou um tratamento parcial das suas águas residuais antes da descarga na rede de saneamento municipal. Num terceiro contexto, o volume e o carácter dos resíduos industriais podem exigir que o tratamento dos mesmos seja feito na própria indústria através de uma Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais (ETARI) (Eckenfelder, 2000).

O pré-tratamento de águas residuais industriais constitui uma forma de monitorizar a ocorrência de grandes concentrações de contaminantes nestas águas antes da sua descarga nos coletores municipais, impedindo assim que os valores máximos de emissão sejam transpostos. Devido à atividade industrial representar uma fonte de substâncias químicas tóxicas nas águas residuais e lamas resultantes em meios urbanos, os sistemas de pré-tratamento têm-se revelado como bastante eficientes na redução da concentração da maior parte dos metais pesados nas águas residuais (National Research Council, 1996).

Em Portugal, de acordo com o Decreto-Lei nº 152/97, de 19 de junho, as indústrias que encaminham as suas águas residuais para estações de tratamento de águas residuais urbanas devem ser sujeitas à implementação de processos de pré-tratamento, caso seja necessário, de forma a:

- Proteger a saúde do pessoal que trabalha nos sistemas coletores e nas estações de tratamento;
- Garantir que os sistemas de drenagem, as estações de tratamento de águas residuais e o equipamento conexo não sejam danificados;
- Garantir que o funcionamento das estações de tratamento de águas residuais e o tratamento das lamas não sejam entravados;
- Garantir que as descargas das estações de tratamento não deteriorem o ambiente ou não impeçam as águas recetoras de cumprir o disposto noutras diretivas comunitárias
- Garantir que as lamas possam ser eliminadas em segurança e de um modo ecologicamente aceitável

Assim, e de acordo com o Decreto Regulamentar nº 23/95, existem as seguintes condicionantes relativas à obrigatoriedade de pré-tratamento de águas residuais industriais:

As águas residuais das indústrias alimentares, de fermentação e de destilaria só são admitidas nos coletores públicos desde que seja analisada a necessidade, caso a caso, de pré-tratamento;

As águas residuais das indústrias de matadouros e de pecuária só podem ser introduzidas nos coletores públicos se sofrerem pré-tratamento adequado e se o seu volume for compatível com a diluição necessária nas águas residuais domésticas;

As águas residuais das indústrias de tabaco, madeira, produtos florestais, têxteis e motores só podem ser admitidas nos coletores públicos desde que seja analisada a necessidade, caso a caso, de pré-tratamento.

As águas residuais das indústrias químicas e farmacêuticas, dada a sua variedade, só podem ser aceites nos coletores públicos se se provar previamente que, com ou sem pré-tratamento, são suscetíveis de tratamento conjunto com as águas residuais domésticas

No que respeita ao terceiro tipo de abordagem no tratamento de águas residuais industriais, a implementação de uma ETARI nas indústrias constitui uma forma de minimizar os custos associados à emissão das suas águas residuais nos sistemas de drenagem e nas estações de tratamento de águas residuais urbanas. Ao mesmo tempo permite também obter um subproduto a partir do tratamento das águas residuais produzidas, visto que a água tratada deverá reunir condições que permitam o seu reaproveitamento nos processos de fabrico associados a uma determinada indústria ou o seu aproveitamento noutro tipo de aplicações.

## *2.10 Aproveitamento e reutilização das águas residuais tratadas*

Em Portugal, as principais aplicações para águas residuais tratadas são: a rega na agricultura, a rega paisagística, a utilização por parte das industriais, a recarga de aquíferos, usos ambientais e paisagísticos e diversos usos urbanos que não necessitam de utilizar água tratada para consumo humano, como a lavagem de ruas, a descarga de autoclismos e o combate a incêndios (Marecos do Monte & Albuquerque, 2010).

Em termos de reaproveitamento da água residual tratada para regadio agrícola e paisagístico, a qualidade da mesma deve satisfazer requisitos agronómicos e requisitos de proteção de saúde pública. Do ponto de vista agronómico, a água de rega destina-se a satisfazer as necessidades hídricas das plantas, não devendo ser o veículo de aplicação de substâncias prejudiciais ao seu desenvolvimento e podendo transportar substâncias benéficas ao desenvolvimento da planta. A proteção da saúde pública exige que o teor de microrganismos indicadores de contaminação fecal seja compatível com o tipo de exposição humana e animal à rega e aos produtos regados. Além da qualidade da água a reutilizar na rega, também o custo das infraestruturas necessárias para as explorações agrícolas (condutas, reservatórios, estações elevatórias) constitui um fator decisivo na implementação de um projeto de reutilização de águas residuais tratadas para rega (Marecos do Monte & Albuquerque, 2010).

A reutilização de águas residuais tratadas no setor industrial, representa a terceira principal aplicação de reutilização de águas. Nas indústrias, a água é frequentemente reutilizada para a mesma finalidade sem haver necessidade de tratamento num processo denominado por reciclagem de água, o reaproveitamento da água de arrefecimento para o mesmo efeito é um dos seus exemplos. (Marecos do Monte & Albuquerque, 2010).

No que concerne à reutilização de águas residuais tratadas para a recarga de aquíferos, esta pode ocorrer de forma a satisfazer os seguintes objetivos: Impedir ou atenuar o rebaixamento do nível freático em zonas de escassez de águas subterrâneas ou sujeitas a elevada pressão de extração; proteção de aquíferos nas zonas costeiras contra a intrusão salina; armazenamento de água no solo (água da precipitação atmosférica e/ou águas residuais tratadas) para utilização futura. Deste modo, a recarga de aquíferos constitui uma forma de aumentar a disponibilidade de água subterrânea, acabando por configurar, em muitos casos, uma forma indireta de reutilização para produção de água potável. De forma a garantir a reutilização da água residual tratada devem ser alcançados critérios de qualidade relacionados com as características microbiológicas da água, a concentração de sólidos dissolvidos totais, a concentração de fosfatos e elementos tóxicos e o seu teor em nutrientes e compostos orgânicos vestigiais (Marecos do Monte & Albuquerque, 2010).

Relativamente á reutilização de água para fins ambientais e recreativos, esta consiste na reutilização de águas residuais em massas de água naturais e artificiais, com vista à prática de atividades recreativas e à preservação ou desenvolvimento de habitats. Entre estas aplicações enumeram-se os seguintes usos: Alimentação de lagos e lagoas naturais ou artificiais, destinados à pesca e desportos náuticos; conservação ou reabilitação de zonas húmidas naturais ou artificiais; reforço do caudal de cursos de água e produção artificial de neve (Marecos do Monte & Albuquerque, 2010).

# 3 Caso de Estudo

## 3.1 *Sistemas de Drenagem de Águas Residuais na região e no município de Aveiro*

O sistema de coleta e drenagem de águas residuais domésticas do concelho de Aveiro foi gerido pelos Serviços Municipalizados (SMAs) até 2009 (Município de Aveiro, 2019). A partir de 2009, a entidade responsável por gerir e explorar, em regime de parceria pública, os serviços de água e saneamento relativos ao Sistema de Águas da Região de Aveiro (SARA) é a AdRA – Águas da Região de Aveiro. A AdRA é uma sociedade anónima de capitais públicos criada no âmbito do Decreto-Lei nº 90/2009 de 9 de abril, que veio possibilitar um novo modelo de gestão dos serviços públicos de abastecimento de água e de saneamento, permitindo um modelo de gestão delegada assente numa parceria entre o Estado e as Autarquias Locais (Águas da Região de Aveiro, 2018).

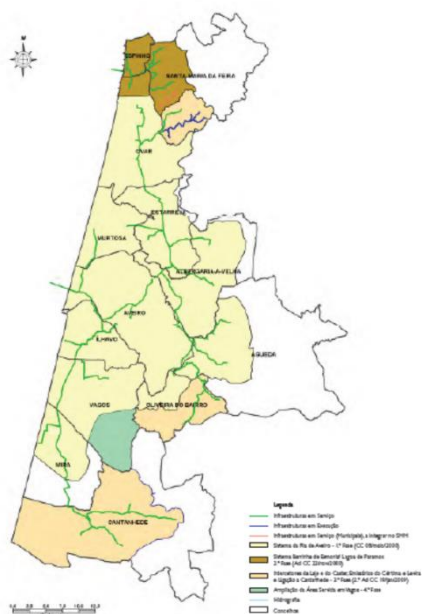


Figura 3 - Representação, a verde, da rede drenagem de águas residuais da AdRA na região de Aveiro



Figura 4 - Área de atuação da AdRA. Fonte: Website da AdRA

A AdRA iniciou a sua atividade em 1 de maio de 2010, e atualmente gere os serviços de água e saneamento de 10 municípios, sendo eles, Águeda, Albergaria-a-Velha, Aveiro, Estarreja, Ílhavo, Murtosa, Oliveira do Bairro, Ovar, Sever do Vouga e Vagos numa área geográfica de 1500 km<sup>2</sup> e cobrindo uma população de cerca de 350 mil habitantes. No âmbito do saneamento de águas residuais, para o ano de 2019 foi traçado o seguinte perfil do sistema de saneamento de águas residuais da AdRA (Águas da Região de Aveiro, 2018):



Tabela XIV - Algumas características do sistema de drenagem de águas residuais da AdRA

<b>Estações de tratamento de águas residuais (nº)</b>	6
<b>Fossas sépticas coletivas (nº)</b>	5
<b>Licenciamento de descargas (%)</b>	36
<b>Comprimento total de coletores (km)</b>	2647.3
<b>Densidade de ramais (nº ramais/km rede)</b>	43
<b>Comprimento total de coletores separativos de águas pluviais (km)</b>	0.3
<b>Estações elevatórias (nº)</b>	535
<b>Descarregadores de emergência (nº)</b>	74
<b>Emissários submarinos (nº)</b>	0
<b>Índice de conhecimento infraestrutural (em 200)</b>	167
<b>Índice de gestão patrimonial (em 200)</b>	114
<b>Índice de medição de caudais (em 200)</b>	42
<b>Volume de atividade (m<sup>3</sup>/ano)</b>	13 396 620
<b>Alojamentos servidos</b>	120 308

De forma a avaliar a qualidade do serviço de abastecimento público de água e de saneamento público de água a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) definiu um sistema assente em 14 indicadores. O sistema referido traduz, de modo sintético, os aspetos mais relevantes da qualidade do serviço de uma forma que se pretende verdadeira e equilibrada, estando os mesmos agrupados em 3 grupos distintos:

- Defesa dos interesses dos utilizadores;
- Sustentabilidade da entidade gestora;
- Sustentabilidade ambiental

A ficha de avaliação da qualidade de serviço realizada em 2019, revelou que três dos quatro parâmetros referentes à defesa dos interesses dos utilizadores foram avaliados como “Qualidade do Serviço Boa”, sendo que o parâmetro “Ocorrência de Inundações” foi avaliada em “Qualidade de Serviço Insatisfatória”; dos cinco parâmetros avaliados referentes à sustentabilidade da entidade gestora, a “Adesão ao serviço” e a “Reabilitação de coletores” foi avaliada como “Qualidade do Serviço Insatisfatória”, a “Cobertura de gastos” e a “Adequação dos recursos humanos” foram avaliados como “Qualidade do serviço mediana” e, por fim, apenas a “Ocorrência de colapsos estruturais em coletores” foi avaliada como “Qualidade do Serviço Boa”; em relação à sustentabilidade ambiental os parâmetros “Acessibilidade física ao tratamento” e “Encaminhamento adequado de lamas do tratamento” foram avaliados com “Boa Qualidade do Serviço”, o parâmetro “Eficiência energética de instalações elevatórias” foi avaliado com “Qualidade de Serviço Mediana” já os parâmetros “Controlo de descargas de emergência” e “Cumprimento de licença de descarga” foram avaliados com “Qualidade de Serviço Insatisfatória”.

As recomendações resultantes do referido relatório sugerem que “A entidade gestora deve promover um esforço de melhoria particularmente do(s) indicador(es) com avaliação insatisfatória” e “A entidade gestora deve adotar procedimentos para aumentar a fiabilidade da informação reportada”.

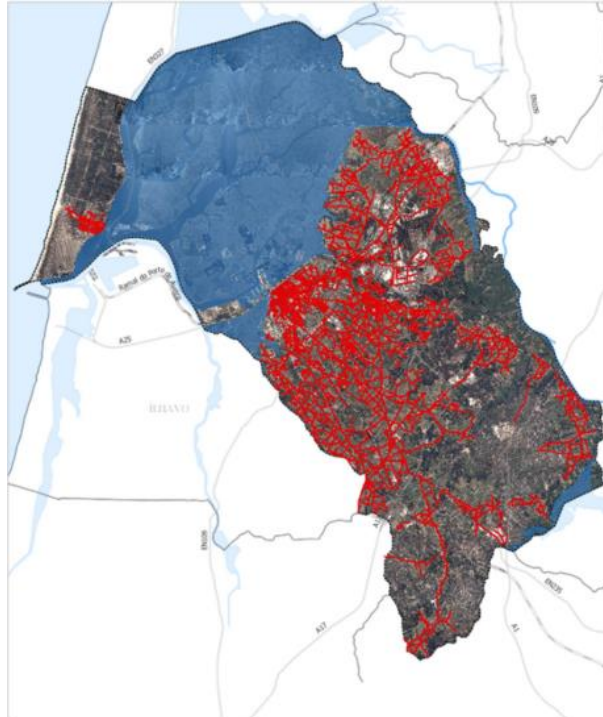


Figura 5 - Rede de drenagem de águas residuais no município de Aveiro. Fonte: AdRA, 2017

### 3.2 Tratamento de águas residuais no município de Aveiro

Relativamente ao tratamento de águas residuais domésticas no concelho de Aveiro verifica-se uma cobertura total do território, com 100% da população com acesso. Os efluentes do concelho são encaminhados e tratados nas ETAR Norte (69% do total), ETAR Sul (30% do total) e ETAR de S. Jacinto (1% do total), até ao nível de tratamento secundário, sendo depois encaminhados para o exutor submarino, em S. Jacinto. Em 2019, foram contabilizados pela AdRA, 3.948.277 m<sup>3</sup> de águas residuais encaminhados para os sistemas de tratamento (Câmara Municipal de Aveiro, 2020).

Segundo o Relatório & Contas referente ao ano de 2020, apenas cerca de 4,6% do caudal de águas residuais produzidas na área de atuação desta entidade é tratado nas seis Estações de Tratamento de Águas Residuais mencionadas na Tabela XIV sendo que 95,4% são encaminhados para a empresa Águas do Centro Litoral S.A. para tratamento e rejeição

A Águas do Centro Litoral (AdCL) S.A., é uma sociedade anónima de direito privado e capitais públicos, constituída através do Decreto-lei n.º 92/2015, de 29 de maio. A concessão da exploração e da gestão do sistema multimunicipal de abastecimento de água e saneamento do Centro Litoral de Portugal foi atribuída, por um período de 30 anos à AdCL, que consubstancia um serviço público a exercer um regime exclusivo. Relativamente ao saneamento de águas residuais a AdCL serve os seguintes municípios: Águeda, Albergaria-a-Velha, Aveiro, Batalha, Cantanhede, Estarreja, Espinho, Ílhavo, Marinha Grande, Mira, Murtosa, Oliveira do Bairro, Ovar, Ourém, Porto de Mós, Santa Maria da Feira, Soure e Vagos o que representa um total de 780 mil habitantes-equivalentes. De forma a tratar cerca de 194 000 m<sup>3</sup> de efluente diariamente a AdCL contabiliza as seguintes infraestruturas de tratamento:

Tabela XV - Infraestruturas de tratamento de águas residuais da AdCL

<b>Estações de Tratamento de Águas Residuais</b>	67
<b>Comprimento dos emissários (km)</b>	870
<b>Número de estações elevatórias</b>	159
<b>Emissários Submarinos</b>	2

As ETARs regidas pela AdCL que tratam as águas residuais do município de Aveiro são a ETAR de Cacia (ETAR Norte), a ETAR de Ílhavo (ETAR Sul) e a ETAR de S. Jacinto (Águas do Centro Litoral, 2020)

### 3.2.1 ETAR de Cacia – ETAR Norte

Inaugurada em 2003, a Estação de Tratamento de Águas Residuais de Cacia, também denominada como ETAR Norte, recebe e trata os efluentes residuais oriundos dos concelhos de Águeda, Albergaria-a-Velha, Aveiro, Estarreja, Murtosa, Oliveira do Bairro, Ovar e Santa Maria da Feira. Está preparada para receber os efluentes domésticos de 272 mil habitantes-equivalentes e tratar cerca de 47,700 m<sup>3</sup> de efluentes líquidos diariamente.

O tratamento desta ETAR baseia-se num sistema de tratamento secundário, recorrendo para isso a processos de tratamento biológico com lamas ativadas em regime de arejamento prolongado, com remoção de matéria orgânica. Com recurso a processos físicos e biológicos, são remoídos da água os detritos sólidos e a matéria orgânica dissolvida. Os subprodutos resultantes do tratamento das águas são sujeitos a tratamento, de forma que se reduza o seu volume e que se proceda à produção de biogás. No final do processo de tratamento, o efluente é devolvido ao meio recetor, o Oceano Atlântico (Águas do Centro Litoral, 2020).



Figura 6 - Vista aérea da ETAR Norte

### 3.2.2 ETAR de Ílhavo – ETAR Sul

A ETAR de Ílhavo, também denominada como ETAR Sul recebe parte dos efluentes residuais com origem no município de Aveiro e está preparada para receber cerca os efluentes domésticos de 159 mil habitantes-equivalentes e tratar cerca de 39,278 m<sup>3</sup> de efluentes líquidos diariamente. Funciona de forma análoga à ETAR de Cacia, utilizando processos de tratamento biológico com base no sistema de lamas ativadas para tratar as águas residuais (Águas do Centro Litoral, 2020).

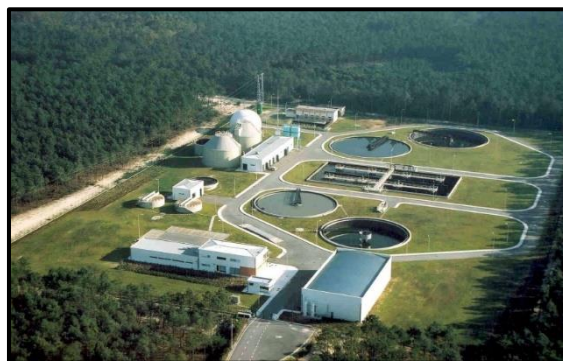


Figura 7 - Vista aérea da ETAR Sul

### 3.2.3 ETAR de S. Jacinto

A ETAR de S. Jacinto, localizada na freguesia de S. Jacinto, foi projetada para satisfazer as necessidades de tratamento das águas residuais desta freguesia, sobretudo as águas residuais produzidas pelo parque de campismo da Orbitur e S. Jacinto e pelo parque de campismo da Torreira, no concelho da Murtosa. A sua dimensão permite servir uma população de cerca de 9400 habitantes-equivalentes e o tratamento levado a cabo nesta ETAR é o tratamento por lagunagem, sendo o destino final dos efluentes a infiltração rápida em bacias de infiltração, com aproveitamento das águas de infiltração (Águas do Centro Litoral, 2020).

### 3.2.4 ETAR de Santiago-Verdemilho (Não Operacional)

A ETAR de Santiago-Verdemilho é uma infraestrutura localizada na freguesia de Aradas perto da Ponte Pedonal sobre o Esteiro de São Pedro que liga o Campus de Santiago ao Campus do Crasto cujo funcionamento decorreu entre o ano de 1977 e o ano de 2007, sendo que em 2006 já só se encontrava em regime de funcionamento parcial. Esta ETAR tratava águas residuais de baixa carga orgânica com origem nas freguesias de São Bernardo, Aradas e Glória e Vera Cruz, incluindo as águas residuais produzidas no Campus de Santiago. O seu funcionamento baseava-se numa etapa de pré-tratamento para remoção de gorduras e areias; uma fase de tratamento primário baseado na remoção de sólidos em suspensão através de sedimentação primária e uma fase de tratamento biológico por leitos percoladores. Esta ETAR torna-se relevante no presente caso de estudo pois a sua renovação e operacionalização seria interessante do ponto de vista do tratamento das águas residuais com origem no Campus de Santiago pois poderia permitir a implementação de um sistema de aproveitamento das mesmas para fins de regadio paisagístico das áreas verdes da universidade.

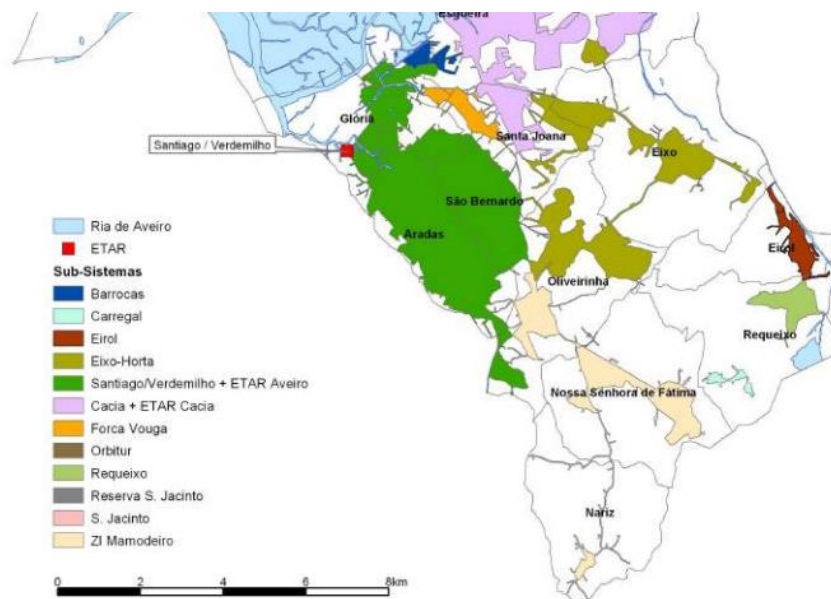


Figura 8 - A verde, o subsistema de drenagem de águas residuais drenantes para a ETAR de Santiago-Verdemilho, sinalizada com um quadrado vermelho. Fonte: Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro: Plano Municipal da Água, 2006

### 3.3 Área de estudo

Fundada em 1973 a Universidade de Aveiro (UA), veio suprimir as necessidades formativas da época e oferecer uma proposta complementar à formação académica já existente. Para isso, a universidade privilegiou numa primeira instância a formação em cursos como a Eletrónica e Telecomunicações, Cerâmica e Vidro, Formação Integrada de Professores e posteriormente em áreas como o Ambiente, Planeamento, Regional e Urbano; Turismo; Engenharia e Gestão Industrial, entre outros. A forte relação entre a universidade e o meio industrial da região é representada pela ligação estreita que se estabeleceu inicialmente com o Centro de Estudos de Telecomunicações dos CTT, futura Portugal Telecom e, posteriormente, Altice (Conselho de Reitores Portugueses, 2021)

Em 1977 a UA assume o ensino politécnico que serviu como ponto de partida para a criação de Escolas Superiores em Águeda e Oliveira de Azeméis e para a construção de uma rede regional de formação com autarquias, empresas e outras entidades. Esta rede ampliou-se com a criação da Fábrica – Centro de Ciência Viva e o Parque de Ciência e Inovação. Na década de 80 foram dados como concluídos todos os processos necessários à implantação daquele que viria a ser o Campus Universitário de Santiago, situado entre a zona lagunar e o centro da cidade de Aveiro.



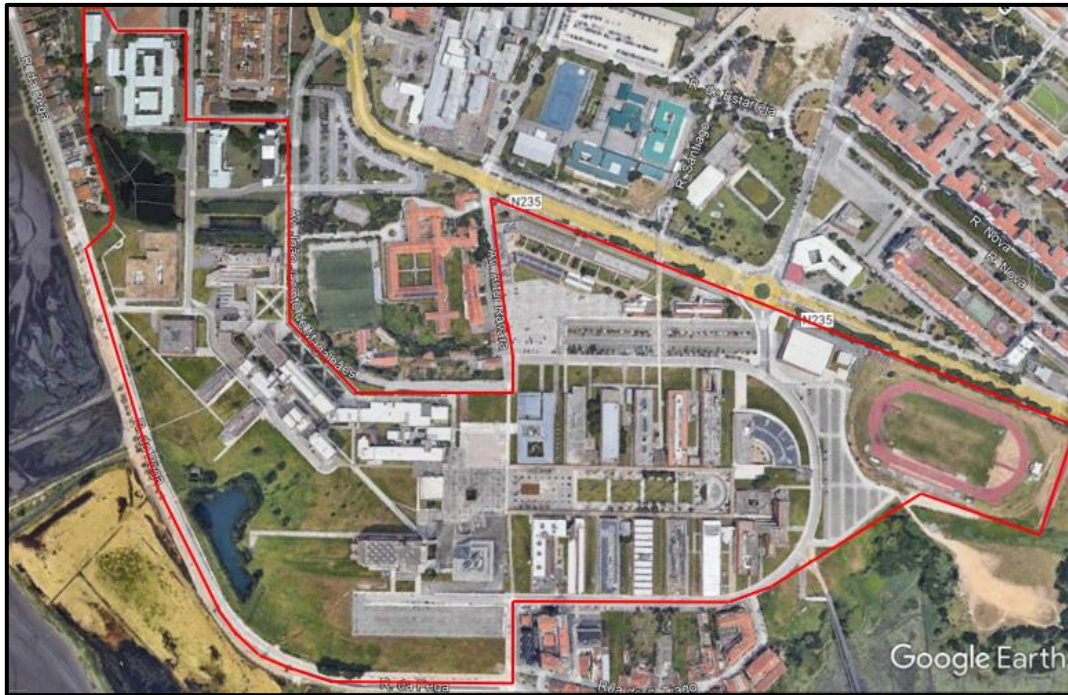


Figura 9 – Vista aérea do campus de Santiago e sua delimitação

No ano de 2020 a Universidade de Aveiro contabilizou uma comunidade de cerca de 17400 alunos, divididos em cerca 13600 estudantes de graduação e cerca de 3800 estudantes de pós-graduação; foram também contabilizados cerca de 1000 docentes, 738 técnicos e administrativos de gestão e 477 investigadores. No mesmo ano 45 edifícios, 20 departamentos/escolas, 16 residências e 7 cantinas compunham a Universidade (Universidade de Aveiro, 2021)

### 3.3.1 Disposição do campus de Santiago

O Campus de Santiago é vulgarmente caracterizado como uma “cidade dentro da cidade” por concentrar num único espaço todas as infraestruturas de ensino e de investigação, os serviços centrais e outros serviços de apoio, culturais, desportivos e de lazer. É constituído por residências universitárias, cantinas e bares, bibliotecas, salas de conferências e espetáculos, galerias para exposições, um pavilhão desportivo, uma pista de atletismo, lavandarias, lojas, um jardim infantil e uma creche (Universidade de Aveiro, 2021)

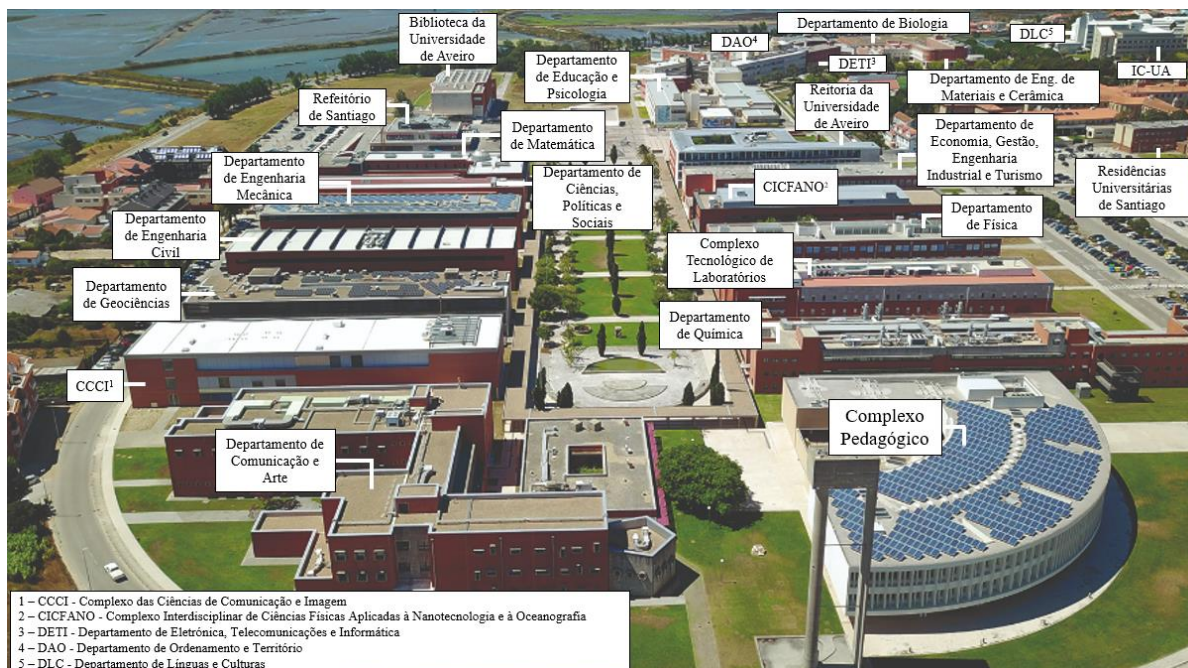


Figura 10 - Legenda de alguns dos departamentos que constituem o campus de Santiago

Além dos referidos departamentos, o campus de Santiago é conhecido por integrar edifícios que não têm como finalidade a lecionação e que não fazem parte da oferta formativa da universidade, mas que oferecem várias valias à comunidade académica. Em alguns destes edifícios habitam empresas, parceiras ou não da UA, que fazem parte do tecido empresarial da região e que podem ser fundamentais para a entrada dos alunos formados no mercado de trabalho. Existem ainda edifícios que se destinam a servir as necessidades quotidianas da comunidade académica como o refeitório de Santiago, a biblioteca da Universidade de Aveiro e o Centro de Infância Arte e Qualidade.

A identificação destes edifícios torna-se relevante no âmbito deste projeto pois as atividades realizadas nos mesmos, nomeadamente a utilização das casas de banho, a preparação de refeições, a utilização de laboratórios, entre outros têm interferência na qualidade das águas residuais analisadas. Abaixo são enumerados os edifícios que constituem os restantes edifícios que constituem o Campus de Santiago (Universidade de Aveiro, 2021)

#### Edifício 1 - Laboratório Central de Análises

O Laboratório Central de Análises é uma unidade executiva da Universidade de Aveiro responsável pela execução e fornecimento de serviços de análise solicitados por entidades internas e externas à UA. O LCA está vocacionado para responder às necessidades de análise nas áreas da difração de raios-X, na determinação de metais por ICP e ICP-MS, na caracterização isotópica por espectrometria de massa de ionização térmica (TIMS) e no desenvolvimento de trabalhos sobre estruturas de polissacarídeos e de biomoléculas. O Laboratório tem como objetivos prestar serviços de qualidade aos investigadores da Universidade de Aveiro, garantindo-lhes ainda apoio científico e técnico nas suas áreas de competência e igualmente afirmar-se com um prestador de serviços qualificados a entidades públicas e privadas, otimizando e rentabilizando os recursos instrumentais e as competências disponíveis no LCA e na Universidade em geral (Universidade de Aveiro, 2021).

## Edifício 2 - Pavilhão Polidesportivo Prof. Aristides Hall

O Pavilhão Professor Doutor Aristides Hall data de 1994 e tem uma área total de 3284 m<sup>2</sup>. A nave central pode ser usada na prática de andebol, badminton, basquetebol, corfebol, futsal, ténis, ténis de mesa e voleibol, entre outras modalidades, tendo capacidade para mais de 400 lugares sentados. Recebe anualmente inúmeras atividades desportivas e eventos variados. O complexo desportivo da Universidade de Aveiro é ainda composto por uma sala polivalente, dois campos de squash e sala de treino físico, entre outros (Universidade de Aveiro, 2021)

## Edifício 3 - CIAQ - Centro de Infância Arte e Qualidade – Pólo 1

O Centro de Infância Arte e Qualidade (CIAQ) é uma Instituição Particular de Solidariedade Social (IPSS) fundada em 1980, com acordos de cooperação com a Segurança Social nas suas três valências. Desde a sua criação, o CIAQ assumiu um papel de relevância, seja pela oferta de um serviço de qualidade, pela excelência dos seus funcionários, pela qualidade das infraestruturas que oferece ou pela localização privilegiada. Tem atualmente uma capacidade máxima de 96 crianças na creche, 112 crianças no pré-escolar e 100 crianças no CATL (Universidade de Aveiro, 2021).

## Edifício 4 - Snack-Bar/Restaurante Universitário

O edifício do Snack-Bar / Self-Service é constituído por uma sala de refeitório e uma cafetaria, esta unidade que se situa junto ao Complexo Residencial Universitário tem capacidade para fornecer cerca de 1000 refeições por dia (Universidade de Aveiro, 2021).

## Edifício 5 - Biblioteca da Universidade de Aveiro

Localizada no centro do Campus Universitário da UA, a Biblioteca da Universidade de Aveiro disponibiliza os recursos informativos necessários que servem de suporte ao ensino, aprendizagem e à investigação na Universidade de Aveiro (Universidade de Aveiro, 2021).

## Edifício 6 - Complexo Residencial Universitário de Santiago

O Complexo Residencial Universitário é um projeto do Arquiteto Adalberto Dias e foi iniciado em 1989. É constituído por 15 blocos com 590 camas, quartos de banho, cozinha, lavandaria, sala de convívio e sala de estudo (Universidade de Aveiro, 2021).

## Edifício 7 - Refeitório de Santiago

O edifício onde funciona o Refeitório de Santiago compreende um projeto da autoria do arquiteto Rebello de Andrade (constituído por uma área de 1.200 m<sup>2</sup>).

O Refeitório de Santiago, constituído por duas salas de 400 lugares cada, situa-se no edifício central dos Serviços de Ação Social, onde podem ser fornecidas cerca de 4.000 refeições por dia (Universidade de Aveiro, 2021).



### Edifício 8 - IEETA – Instituto de Engenharia Eletrónica e Telemática de Aveiro

O IEETA é uma unidade de pesquisa em Ciência da Computação e Engenharia / Eletrônica e Engenharia Elétrica capaz de fornecer contribuições importantes para problemas que requerem um alto nível de multidisciplinaridade (Instituto de Engenharia Eletrónica e Telemática de Aveiro, 2020)

### Edifício 9 - IT – Instituto de Telecomunicações

Instituto de Telecomunicações (IT) é uma instituição privada sem fins lucrativos, de utilidade pública, resultante da associação de cinco instituições com experiência e tradição em investigação e desenvolvimento em Telecomunicações:

- Instituto Superior Técnico (IST)
- Universidade de Aveiro(UA)
- Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC)
- Portugal Telecom Inovação, S.A. (PTIn)
- Siemens, S.A.

### Edifício 10 - GrETUA - Grupo Experimental de Teatro da Universidade de Aveiro

### Edifício 11 - CESAM – Centro de Estudos do Ambiente e do Mar

O Centro de Estudos Ambientais e Marinhos (CESAM) é uma Unidade de Investigação da Universidade de Aveiro (UA) com o estatuto de Laboratório Associado / Laboratório Associado desde 2005, avaliado com a maior nota de Excelente desde 2014.

A missão do CESAM é desenvolver investigação internacional de vanguarda em ciências ambientais e marinhas, numa abordagem multissetorial, enquadrada em 5 linhas temáticas multidisciplinares, promovendo o conhecimento científico e a ligação entre ciência e políticas:

- Ecologia e biodiversidade funcional
- Meio Ambiente e Saúde
- Ecossistemas e recursos marinhos
- Sistemas Ambientais Integrados
- Economia Ambiental e Recursos Naturais

### Edifício 12 - IDAD – Instituto do Ambiente e Desenvolvimento

O IDAD – Instituto do Ambiente e Desenvolvimento - é uma associação científica e técnica, sem fins lucrativos, com utilidade pública, tendo por objeto o exercício da atividade científica e tecnológica em todos os domínios do ambiente, da gestão dos recursos naturais, do desenvolvimento socioeconómico e ordenamento do território.

O IDAD tem como objetivos a investigação, desenvolvimento e prestação de serviços nas áreas do ambiente e ordenamento, e a colaboração neste âmbito, com organismos, empresas e instituições universitárias ou não.

## Edifício 13 - Serviço de Tecnologias de Informação e Comunicação

Os Serviços de Tecnologias de Informação e Comunicação (STIC) exercem as suas atribuições no domínio do planeamento, implementação, gestão, suporte e promoção da utilização dos serviços de comunicações e informática, e dos sistemas de informação, no âmbito das atividades da Universidade de Aveiro.

Os STIC têm por missão assegurar as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) mais avançadas, com qualidade no apoio técnico especializado ao serviço da comunidade académica (Universidade de Aveiro, 2021).

## Edifício 14

### a) IEUA – Incubadora de Empresas da Universidade de Aveiro

A Universidade de Aveiro Incubator (UA Incubator) é um espaço de acolhimento, dinamização e apoio à incubação de ideias e startups inovadoras, maioritariamente de índole tecnológica e de elevado potencial de crescimento.

### b) UNAVE – Associação para a Formação Profissional e Investigação

A UNAVE–Associação para a Formação Profissional e Investigação da Universidade de Aveiro (UA), é, desde 1986, a unidade de interface da Universidade de Aveiro com a sociedade para a aprendizagem ao longo de vida.

A UNAVE concebe, realiza e gere ações de formação de nível universitário ajustadas e flexíveis, em linha com as necessidades das pessoas e das organizações, que assentam na excelência do ensino da Universidade de Aveiro e beneficiam do diálogo permanente com as empresas e suas associações, com grupos profissionais e outros movimentos da sociedade civil, tanto no país como no estrangeiro (Universidade de Aveiro, 2021).

### c) AAAUA – Associação de Antigos Alunos da Universidade de Aveiro

### d) STIC

### e) CIAQ – Pólo 2

## Edifício 15 - Edifício das Comunicações Óticas, Comunicações Rádio e Robótica

## Edifício 16

### a) IC–UA - Instituto Confúcio da Universidade de Aveiro

Tem como principal missão apoiar e promover o ensino da língua e da cultura chinesa em Portugal e em particular na região de Aveiro (Universidade de Aveiro, 2021)

### b) CESAM

### c) CICECO

O CICECO é um laboratório associado da Universidade de Aveiro a investigadores dos departamentos de Química, Engenharia de Materiais e Cerâmica e Física. O laboratório associado CICECO - Instituto de Materiais de Aveiro, ex-CICECO-Centro de Investigação em Cerâmica e Materiais Compósitos, foi criado em março de 2002 na Universidade de Aveiro, Portugal, com a missão de desenvolver o conhecimento científico e tecnológico necessário à produção inovadora e transformação de cerâmicas e híbridos orgânico-inorgânicos e materiais para um desenvolvimento sustentável. O CICECO é o maior instituto português na área da ciência e engenharia dos materiais, composto por 46 docentes, 29 investigadores a tempo inteiro e, em dezembro de 2014, 86 pós-doutorandos, 120 alunos de doutoramento e 78 outros alunos (Universidade de Aveiro, 2021)

#### d) TEMA

O Centro de Tecnologia Mecânica e Automação (TEMA) prima pela excelência científica e tecnológica, de acordo com as necessidades da sociedade Portuguesa e das suas indústrias. Com uma multidisciplinaridade em torno da engenharia mecânica, o TEMA engloba todas as suas áreas de intervenção de forma profissional, coerente e síncrona na sua gestão que tem por base os pilares estratégicos da excelência científica e o alinhamento com as necessidades industriais e sociais do seu meio.

#### Edifício 17 - Laboratórios de Biologia

De forma a entender a associação dos edifícios descritos na rede de drenagem de águas residuais da do Campus de Santiago, que será apresentada mais à frente neste relatório de projeto, a sua localização encontra-se legendada na Imagem 8.

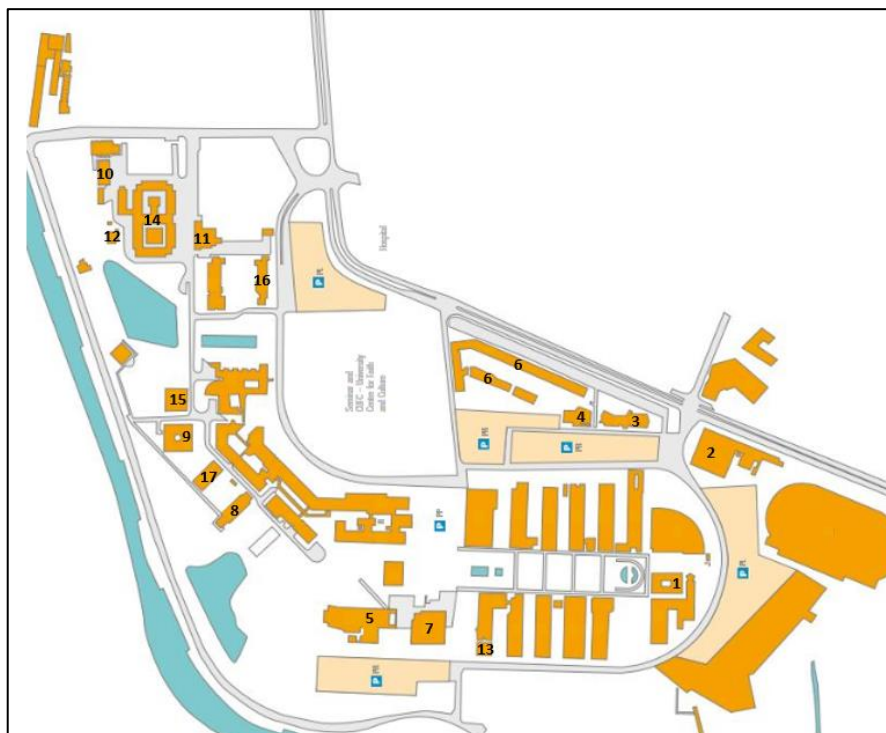


Figura 11 - Legenda dos edifícios integrados no campus de Santiago que foram mencionados acima

### 3.3.2 Atividades realizadas nos edifícios do campus que resultam em águas residuais

De forma a conhecer a origem dos elementos que constituem as águas residuais do campus de Santiago é importante associar cada edifício que o constitui às atividades e instalações responsáveis pela produção de águas residuais. Assim, apresenta-se abaixo uma estimativa do conjunto de atividades que produzem águas residuais nos edifícios bem como o tipo de instalações responsáveis pela sua produção.

- **Laboratório Central de Análises:** Apesar de se tratar de um edifício cujas atividades que resultam em produção de águas residuais são atividades de carácter laboratorial, é expectável que as águas residuais produzidas neste edifício possuam cargas de elementos químicos orgânicos e inorgânicos relativamente baixas. A mistura entre as águas residuais provenientes dos laboratórios e águas residuais provenientes das casas de banho do edifício resulta na diluição das águas residuais dos laboratórios, diminuindo a concentração dos poluentes referidos.
- **Pavilhão Polidesportivo Professor Aristides Hall:** As águas residuais deste edifício resultam da utilização dos balneários pelos atletas que o frequentam, a utilização dos balneários produz águas residuais resultantes da utilização dos vasos sanitários, da lavagem das mãos, duches e, eventualmente, lavagem de alimentos. De forma geral, assume-se que o número de indivíduos a utilizar os duches será superior ao número de utilizações dos vasos sanitários, como tal, as águas residuais resultantes dos duches poderão ter impacto na diminuição de elementos como o nitrogénio, os coliformes fecais e bactérias que derivam da utilização dos vasos sanitários. Este pavilhão esteve interdito entre o mês de março de 2020, sensivelmente, e o mês de abril de 2021 fruto da pandemia de Covid-19.
- **Centro de Infância Arte e Qualidade:** As atividades de utilização de água que resultam em água residual neste edifício são maioritariamente a utilização de vasos sanitários e lavatórios.
- **Snack-Bar/Restaurante Universitário:** Neste edifício, a lavagem, preparação e confeção de alimentos, a lavagem de loiça e a utilização das casas de banho são as principais fontes emissoras de águas residuais para os coletores municipais.
- **Biblioteca da Universidade de Aveiro:** As principais instalações responsáveis pela produção de águas residuais no edifício da biblioteca são as casas de banho presentes em cada andar onde são utilizados os lavatórios e os vasos sanitários,
- **Complexo Residencial Universitário de Santiago:** O complexo residencial de Santiago está associado a diversas atividades que produzem efluentes residuais, sendo elas, a utilização das casas de banho, a lavagem, preparação e confeção de alimentos, a lavagem de loiça, a lavagem de roupa e os duches.
- **Refeitório de Santiago:** Neste edifício as atividades que predominam a produção de águas residuais são a lavagem, preparação e confeção de alimentos, a lavagem de loiça e a utilização dos vasos sanitários.
- **Serviço de Tecnologias de Informação e Comunicação:** Neste edifício a utilização das casas de banho é a única fonte que resulta na produção de águas residuais de que há conhecimento;
- **Departamento de Matemática:** Neste edifício a produção e águas residuais está dividida em duas instalações: o bar do departamento que produz águas residuais provenientes da lavagem, preparação e confeção de alimentos e das casas de banho do departamento. Esta

situação é análoga para os seguintes departamentos do Campus de Santiago: **Departamento de Ciências Políticas, Sociais e do Território; Departamento de Comunicação e Arte;**

- **Departamento de Engenharia Mecânica:** Além da produção de águas residuais através das casas de banho e bar do edifício, também nos laboratórios de investigação poderão produzir efluentes residuais compostos por água e resíduos resultantes da transformação e manuseamento de materiais como o ferro, metal, aço, entre outros.
- **Departamento de Engenharia Civil:** Neste edifício as águas residuais são produzidas nas casas de banho e também nos laboratórios de investigação onde se realizam ensaios de caracterização de agregados, do solo, de betão, entre outros. O tipo de investigações realizadas no laboratório do DECivil poderá gerar efluentes residuais com cargas de sólidos elevadas.
- **Departamento de Geociências:** Neste departamento, além das casas de banho existem 22 laboratórios que podem emitir águas residuais para o sistema de saneamento. As atividades levadas a cabo nestes laboratórios variam, podendo as mesmas ser, peneiramento, moagens, geotecnia, química geral, entre outros.
- **Complexo das Ciências de Comunicação e Imagem:** A principal fonte de águas residuais neste edifício são as casas de banho.
- **Complexo Pedagógico da Universidade de Aveiro:** As instalações responsáveis por produzir águas residuais neste edifício são as casas de banho que estão presentes em todos os seus pisos, os laboratórios onde decorrem aulas práticas e o bar do edifício.
- **Departamento de Química:** O bar do edifício, os laboratórios para fins educativos e de investigação e as casas de banho são as instalações responsáveis pela emissão de águas residuais.
- **Complexo Laboratórios Tecnológicos:** Neste edifício as instalações responsáveis pela emissão de águas residuais são as casas de banho e os laboratórios.
- **Departamento de Física:** Neste edifício as instalações responsáveis pela emissão de águas residuais são as casas de banho e os laboratórios.
- **CICFANO - Complexo Interdisciplinar de Ciências Físicas Aplicadas à Nanotecnologia e à Oceanografia:** O edifício inclui vários laboratórios de investigação destinados ao fabrico, manipulação e caracterização de materiais e dispositivos micro e nano-estruturados, onde são geradas águas residuais, além dos laboratórios existem também as casas de banho.
- **Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo:** No DEGEIT, as instalações responsáveis pela geração de águas residuais são o bar do departamento e as casas de banho do edifício.
- **Reitoria da Universidade de Aveiro:** No edifício da Reitoria da Universidade de Aveiro, as instalações responsáveis pela produção de águas residuais são o bar do edifício e as casas de banho dispostas nos vários andares do edifício.
- **Departamento de Educação e Psicologia:** Neste departamento as casas de banho, o bar e, porventura, alguns laboratórios para fins educativos produzem águas residuais.
- **Departamento de Ambiente e Ordenamento:** No DAO, os laboratórios de investigação e para fins educativos, o bar e as casas de banho produzem águas residuais.
- **IEETA - Instituto de Engenharia Eletrónica e Telemática de Aveiro:** Neste edifício, as casas de banho são as únicas instalações que produzem águas residuais.
- **IT - Instituto de Telecomunicações:** As casas de banho são as únicas instalações que produzem águas residuais neste edifício.

- **GrETUA - Grupo Experimental da Universidade de Aveiro:** As casas de banho são as únicas instalações que produzem águas residuais neste edifício.
- **CESAM - Centro de Estudos do Ambiente e do Mar:** O CESAM contempla dois laboratórios compostos por equipamentos capazes de satisfazer as necessidades da investigação nas áreas da física, oceanografia, geologia marinha, meteorologia, hidrologia, química entre outros. Nos edifícios do CESAM, além dos laboratórios também as casas de banho produzem águas residuais.
- **IDAD - Instituto do Ambiente e Desenvolvimento:** As instalações responsáveis pela produção de águas residuais no edifício do IDAD são os laboratórios e as casas de banho.
- **Edifício 14 (de acordo com o ponto 3.1.1 do capítulo 3):** As casas de banho são as únicas instalações que produzem águas residuais neste edifício.
- **Departamento de Biologia:** As instalações responsáveis pela produção de águas residuais no edifício do departamento de biologia são o bar do departamento, as casas de banho e os laboratórios para fins educativos.
- **Laboratórios de Biologia:** Os laboratórios e as casas de banho são as instalações que produzem águas residuais no edifício de laboratórios de biologia.
- **Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica:** Neste departamento as águas residuais são provenientes das casas de banho e dos laboratórios associados CICECO.
- **Edifício de Comunicações Óticas, Comunicações Rádio e Robótica:** As casas de banho são as únicas instalações que produzem águas residuais neste edifício.
- **Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática:** As casas de banho são as únicas instalações que produzem águas residuais neste edifício.

Relativamente às águas residuais produzidas nos laboratórios dos edifícios que fazem parte da Universidade de Aveiro é muito importante mencionar que estas águas são descartadas de acordo com regras de segregação e armazenamento de produtos químicos. Assim, os reagentes e soluções resultantes dos procedimentos experimentais em laboratório são descartadas em contentores para o efeito onde serão posteriormente encaminhadas para centros de tratamento por parte de entidades que operam na gestão de resíduos. Todas as soluções que contiverem os seguintes elementos são descartadas nos respetivos contentores:

- Solventes orgânicos não halogenados e soluções de substâncias orgânicas não halogenadas;
- Solventes orgânicos halogenados e soluções de substâncias orgânicas halogenadas;
- Resíduos sólidos de compostos orgânicos;
- Soluções aquosas neutralizadas a pH 6-8;
- Resíduos inorgânicos tóxicos e sais de metais pesados e respetivas soluções;
- Substâncias tóxicas inflamáveis;
- Mercúrio e resíduos de sais de mercúrio,
- Resíduos de metais;
- Resíduos sólidos de compostos inorgânicos;
- Recolha seletiva de vidro, metal e plástico.

Além do referido, durante a utilização dos laboratórios privilegia-se a adoção de políticas de minimização da produção de resíduos quer nas atividades de investigação quer nas atividades de ensino. As medidas referidas foram consultadas no Guia de Segurança do Departamento de Química que serve de referência para os demais laboratórios (Domingues & Simões, 2001). Com estas

medidas o descarte de agentes químicos nas pias dos laboratórios é muito reduzido, fazendo com que a sua principal fonte seja a lavagem da loiça utilizada no laboratório.

### 3.3.3 *Sistemas de drenagem de águas residuais do campus de Santiago*

O Campus de Santiago tem um sistema de drenagem separativo, ou seja, duas redes de coletores diferentes – rede de coletores de águas residuais e outra rede de coletores de águas pluviais (Gabriela Pedro, 2018). De acordo com a planta fornecida pelos Serviços de Gestão Técnica da Universidade de Aveiro, o Campus de Santiago possui duas redes de drenagem de águas residuais. As águas residuais que circulam na “primeira” rede têm como destino a Estação de Tratamento de Águas Residuais – Sul, em Ílhavo, enquanto as águas residuais que circulam na “segunda” rede de drenagem têm como destino a Estação de Tratamento de Águas Residuais por Lagoas Arejadas da Universidade de Aveiro, sendo que após o tratamento são descartadas no coletor de águas pluviais e posteriormente descartadas na Ria de Aveiro.

Assim, podem ser considerados dois subsistemas da rede de drenagem das águas residuais, o primeiro encontra-se ilustrado na Figura 12 e o segundo encontra-se ilustrado na Figura 13. Os locais mencionados recebem por isso águas residuais de edifícios diferentes, edifícios esses que podem ser consultados no capítulo 4 do presente relatório.

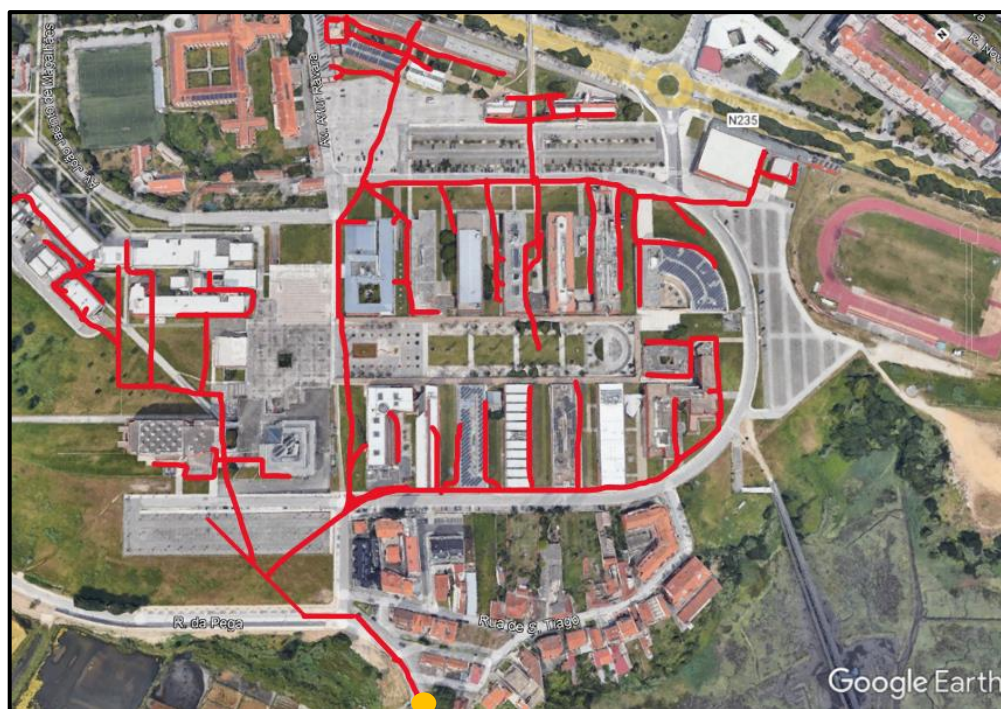


Figura 12 - Rede de drenagem do campus de Santiago cujas águas residuais drenam para o coletor localizado na estação elevatória no Parque do Inglês, assinalado a amarelo na imagem

Na Figura 12, as linhas vermelhas representam a rede de drenagem cujas águas residuais drenam em direção à estação elevatória do Parque do Inglês, assinalada na imagem com um círculo laranja.



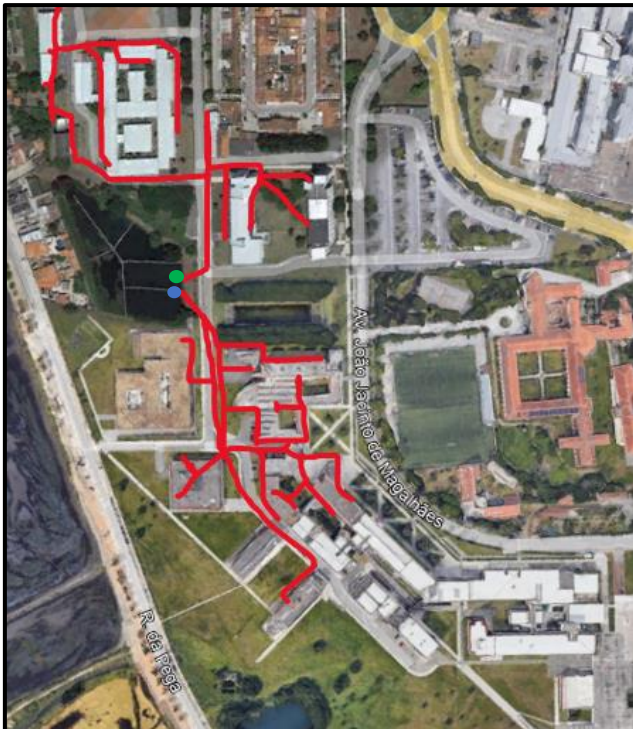


Figura 13 - Rede de drenagem do Campus de Santiago cujas águas residuais drenam para a entrada das lagoas arejadas

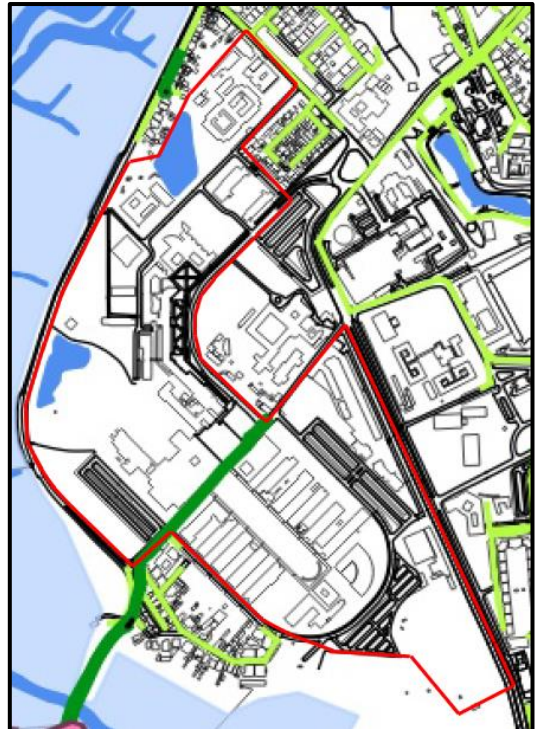


Figura 14 - Rede de drenagem de águas residuais da AdRA, a verde, e a sua relação com o Campus de Santiago, delineado com a linha vermelha

Na Figura 13 a rede drenagem cujas águas residuais drenam para as lagoas arejadas está assinalada a vermelho. As águas residuais encaminhadas para a entrada das lagoas arejadas são tratadas pelas lagoas, após o tratamento as águas residuais são encaminhadas para o sistema de águas pluviais do Campus de Santiago e descartadas no meio recetor, a Ria de Aveiro. A entrada das lagoas arejadas está assinalada com um ponto azul, enquanto a saída das lagoas arejadas está assinalada com um ponto verde.

Da consulta da planta fornecida pelos SGT e da Carta de Infraestruturas relativa ao Sistema de Drenagem de Águas Residuais da AdRA resultante da 1ª Revisão do Plano Diretor Municipal do Município de Aveiro conclui-se que os pontos de ligação entre a rede de drenagem da Universidade de Aveiro e a rede de drenagem do município localizam-se no trecho desde o cruzamento entre a Avenida João Jacinto de Magalhães com a Estrada de Santiago até ao início da Rua do Crasto, local onde se inicia o emissário que transporta as águas residuais do Campus até à ETAR Sul, esta ligação está representada na Figura 14.

Na Figura 14 a linha vermelha delimita o campus de Santiago, a linha verde-escura representa as condutas municipais da AdRA e as linhas verdes-claras representam os coletores das águas residuais da AdRA referentes a urbanizações.

Abaixo encontra-se a planta fornecida pelos SGT, onde se encontram representados os “subsistemas” da rede de drenagem do campus de Santiago, as caixas de visita que o constituem bem como os locais onde foram feitas as amostragens, estes locais serão desenvolvidos no capítulo seguinte do presente relatório.





Figura 15 - Planta providenciada pelos SGT onde estão representados os sistemas de drenagem de águas residuais do Campus de Santiago e a localização dos coletores e caixas de visita

### 3.3.4 Legislação para a descarga das águas residuais com origem nos edifícios do campus de Santiago na rede de drenagem da AdRA

O Regulamento Municipal dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais do município de Aveiro publicado no Diário da República, 2ª Série, nº 192, de 21 de agosto de 1997, foi reformulado no ano de 2007 de forma a ir de encontro às novas normas no domínio da proteção do ambiente e de forma à sua adequação aos tempos adequais.

A reformulação do regulamento mencionado vai de encontro ao disposto no artigo 2.º, n.º 2 do Preâmbulo do Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto, que aprova o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, alterado pela Declaração de Retificação n.º 153/95, publicada no Diário da República, n.º 277/95, 1.ª série-B, 4.º suplemento, de 30 de novembro de 1995. Apesar da reformulação, o Regulamento Municipal dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais do município de Aveiro não contempla os valores máximos de emissão para parâmetros físicos, químicos orgânicos e químicos inorgânicos para a emissão de águas residuais domésticas ou industriais nos coletores municipais geridos pela AdRA. Assim, os SGT providenciaram uma tabela com os valores máximos de emissão que a AdRA esteve em vias de propor à Universidade de Aveiro no ano de 2018. Após alguma pesquisa constatou-se que os valores contemplados na tabela mencionada são também valores máximos admissíveis para a descarga de águas residuais industriais no sistema público de drenagem e tratamento de águas residuais gerido pela AdRA para o caso de algumas empresas que operam no município de Aveiro.

Tabela XVI - Valores limite de emissão estabelecidos pela AdRA relativamente à descarga de águas residuais industriais no seu sistema de drenagem para o caso da Universidade de Aveiro

Parâmetro	Unidades	Valor Limite de Emissão
pH	Escala Sörensen	5,5-9,5
Temperatura	°C	30
Condutividade	µS/cm	3000
SST	mg/l	1000
CBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	500
CQO	mg O <sub>2</sub> /l	1000
Azoto Amoniacal	mg NH <sub>4</sub> /l	60
O <sub>2</sub> Dissolvido	mg O <sub>2</sub> /l	1,0*
Nitratos	mg NO <sub>3</sub> /l	50
Nitritos	mg NO <sub>2</sub> /l	10
Azoto Total	mg N/l	90
Condutividade	µS/cm	3000
Fósforo Total	mg P/l	20
Detergentes (laurel-sulfatos)	mg/l	50
Óleos e Gorduras	mg/l	100

\*Valor Mínimo Admissível

O referido documento não contempla também os valores limite de emissão para os metais. Foram encontrados valores limite de emissão para certos metais que a AdRA estabelece para a descarga de efluentes residuais industriais na celebração do contrato entre esta entidade e algumas indústrias do município de Aveiro. Porém, visto que não foram providenciados os valores limite de emissão para metais dos efluentes residuais produzidos no campus de Santiago sugerem-se como base de comparação os valores referidos no Decreto-Lei nº 236/98.

*Tabela XVII - Valores limite de emissão de alguns metais estabelecidos no Decreto-Lei nº 236/98 relativamente à descarga de águas residuais.*

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor Limite de Emissão</b>
Alumínio Total	mg Al/l	10
Arsénio Total	mg As/l	1,0
Cobre Total	mg Cu/l	1,0
Crómio Hexavalente	mg Cr(VI)/l	0,1
Crómio Total	mg Cr/l	2,0
Ferro Total	mg Fe/l	2,0
Manganês Total	mg Mn/l	2,0
Chumbo Total	mg Pb/l	2,0
Cádmio Total	mg Cd/l	0,2
Níquel Total	mg Ni/l	2,0
Zinco Total	mg Zn/l	5,0
Mercúrio Total	mg Hg/l	0,05

Geralmente, os valores limites de emissão contemplados no Decreto-Lei nº 236/98 para estes parâmetros coincidem com os valores limite de emissão que constam nos Regulamentos Municipais de Águas Residuais e nos contratos estabelecidos entre as empresas encarregues pela gestão de efluentes residuais nos municípios e as empresas que descartam as suas águas residuais no sistema de drenagem municipal.

## 4 Metodologia

### 4.1 *Obtenção dos caudais de consumo de água e de produção de águas residuais no Campus*

Os SGT providenciaram dados relativos aos caudais de consumo de água para abastecimento no Campus de Santiago que foram disponibilizados em base mensal para os anos de 2019 e 2020. Os dados fornecidos são relativos à entrada Norte, que se localiza no extremo norte da Universidade de Aveiro e à entrada junto ao Pavilhão Polidesportivo Aristides Hall. O consumo da água que dá entrada na Universidade de Aveiro pela entrada Norte está associado à produção de águas residuais que drenam para a entrada das Lagoas Arejadas, já o consumo da água que dá entrada na Universidade de Aveiro pela entrada junto ao Pavilhão Aristides Hall está associado à produção de águas residuais que drenam para o local de amostragem situado no Parque do Inglês. Foram providenciados também dados relativos à contabilização de águas residuais produzidas no campus nos anos de 2019, 2020 e 2021

Os dados recolhidos permitem estabelecer uma comparação entre os caudais de consumo e produção de águas residuais no campus, visto que o ano de 2020 e de 2021 foram caracterizados por uma redução da atividade no campus sem precedentes devido à pandemia de Covid-19 é expectável que os volumes para ambos sejam inferiores aos volumes registados no ano de 2019.

No ano letivo de 2019-2020 as atividades letivas presenciais foram interrompidas no dia 12 de março, sendo que as aulas presenciais, as deslocações em serviço dentro do campus, eventos e atividades desportivas e reuniões foram completamente suspensos. Uma das consequências diretas desta redução da representação presencial no campus foi a redução da utilização de água em atividades que produzem águas residuais. A utilização das casas de banho da Universidade, o consumo de refeições nas cantinas e a utilização dos laboratórios são alguns dos exemplos das atividades que sofreram reduções e cujo impacto se representa no volume de água de abastecimento consumida e, consequentemente, no volume de águas residuais produzido. O ano letivo de 2020-2021 iniciou-se sob as orientações de priorizar as atividades letivas remotas em detrimento das atividades letivas presenciais, e o estado de emergência foi decretado entre novembro de 2020 e abril de 2021. Durante o estado de emergência as atividades letivas presenciais estiveram suspensas.

### 4.2 *Campanha de amostragem*

De forma a iniciar a campanha de amostragem, foi realizada uma reunião com os Serviços de Gestão Técnica da Universidade de Aveiro de forma a estudar e debater as variáveis de amostragem, sendo elas, o número de pontos de amostragem, a localização dos pontos de amostragem mais representativos considerando os edifícios e departamentos que constituem o campus de Santiago, o horário das amostragens, os equipamentos necessários e os parâmetros a analisar em laboratório de forma a caracterizar as águas residuais produzidas nos edifícios do campus de Santiago. Desta reunião resultou um plano de amostragem que contempla o agendamento das amostragens, o material necessário e os parâmetros a analisar imediatamente após a amostragem.

### 4.2.1 Seleção dos pontos de amostragem

Inicialmente, a seleção dos pontos de amostragem cingiu-se a cinco pontos de amostragem, porém por razões distintas ficaram fora da amostragem dois desses pontos. Um deles seria um dos coletores localizados no Campus do Crasto, onde se dava a afluência de águas residuais provenientes da Escola Superior de Saúde da Universidade de Aveiro e da Casa do Estudante. Optou-se por não analisar as águas residuais deste ponto pois este estava fora da área de estudo (Campus de Santiago), e sobretudo por nele passarem águas residuais provenientes de instalações onde se realizam atividades relacionadas com a saúde. O manuseamento destas águas exige cuidados redobrados visto que poderão ser portadoras de resíduos perigosos, vírus e outros agentes patogénicos. Relativamente ao segundo ponto que ficou excluído, este localizava-se dentro do Campus de Santiago, no coletor por onde passam as águas residuais provenientes dos Laboratórios Tecnológicos e do Restaurante/Snack-Bar. A razão pela qual este ponto foi excluído foi a falta de condições operacionais para recolher amostras de caudal representativas durante a semana de amostragem, o local em questão não reunia condições para fazer a amostragem com o amostrador manual utilizado, sendo que nas tentativas realizadas não foi recolhido um volume mínimo necessário para proceder a análise.

Assim, por serem os mais representativos, os de maior acessibilidade e tendo em consideração os meios disponíveis, foram selecionados três locais de amostragem. O primeiro local de amostragem situa-se no Parque do Inglês na Rua dos Lavadoiros, junto à Marinha de Santiago da Fonte e possui as seguintes coordenadas 40°37'43.4"N 8°39'35.5"W, este ponto é caracterizado por estar inserido numa estação elevatória gerida pela AdRA que bombeia as águas residuais para entrar na conduta emissário entre as estações elevatórias do Parque do Inglês e a Marinha Castelhana. As águas residuais produzidas neste ponto são encaminhadas para a ETAR Sul (Ílhavo), onde são tratadas juntamente com outras águas residuais produzidas nos concelhos de Aveiro, Ílhavo, Mira e Vagos No coletor a partir do qual foram recolhidas as águas residuais analisadas para este ponto de amostragem passam águas residuais provenientes dos seguintes edifícios:

- Laboratório Central de Análises
- Pavilhão Polidesportivo Professor Aristides Hall
- Centro de Infância Arte e Qualidade
- Snack-Bar/Restaurante Universitário
- Biblioteca da Universidade de Aveiro
- Complexo Residencial Universitário de Santiago
- Refeitório de Santiago
- Serviço de Tecnologias de Informação e Comunicação – Edifício 13 na Figura 9
- Departamento de Matemática
- Departamento de Ciências Políticas, Sociais e do Território
- Departamento de Engenharia Mecânica
- Departamento de Engenharia Civil
- Departamento de Geociências
- Complexo das Ciências de Comunicação e Imagem
- Departamento de Comunicação e Arte
- Complexo Pedagógico da Universidade de Aveiro
- Departamento de Química

- Complexo Tecnológico de Laboratórios
- Departamento de Física
- CICFANO - Complexo Interdisciplinar de Ciências Físicas Aplicadas à Nanotecnologia e à Oceanografia
- Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo
- Reitoria da Universidade de Aveiro
- Departamento de Educação e Psicologia
- Departamento de Ambiente e Desenvolvimento

O segundo e o terceiro local encontram-se à entrada e à saída da lagoa ETAR do campus de Santiago, respetivamente, que por sua vez se encontra localizada entre o Edifício de Comunicações Óticas, Comunicações Rádio e Robótica e a Estação Meteorológica da Universidade de Aveiro, o Departamento de Línguas e Culturas e o edifício dos Serviços de Tecnologias de Informação e Comunicação. Esta estação de tratamento recebe as águas residuais provenientes de alguns edifícios que se localizam a Este e Sudeste das mesmas, como é possível visualizar na Figura 13. É apresentada abaixo a lista de edifícios que produz águas residuais drenantes para a entrada das lagoas arejadas, local de amostragem 2.

- IEETA - Instituto de Engenharia Eletrónica e Telemática de Aveiro
- IT - Instituto de Telecomunicações
- GrETUA - Grupo Experimental da Universidade de Aveiro
- CESAM - Centro de Estudos do Ambiente e do Mar
- IDAD - Instituto do Ambiente e Desenvolvimento
- Edifício 14 (Figura 12) que contempla as entidades:
  - IEUA – Incubadora de Empresas da Universidade de Aveiro
  - UNAVE - Associação para a Formação Profissional e Investigação
  - AAAUA – Associação de Antigos Alunos da Universidade de Aveiro
  - STIC – Serviços de Tecnologias de Informação e Comunicação
  - CIAQ 2
- Departamento de Biologia
- Laboratórios de Biologia
- Departamento de Engenharia Materiais e Cerâmica
- Edifício de Comunicações Óticas, Comunicações Rádio e Robótica



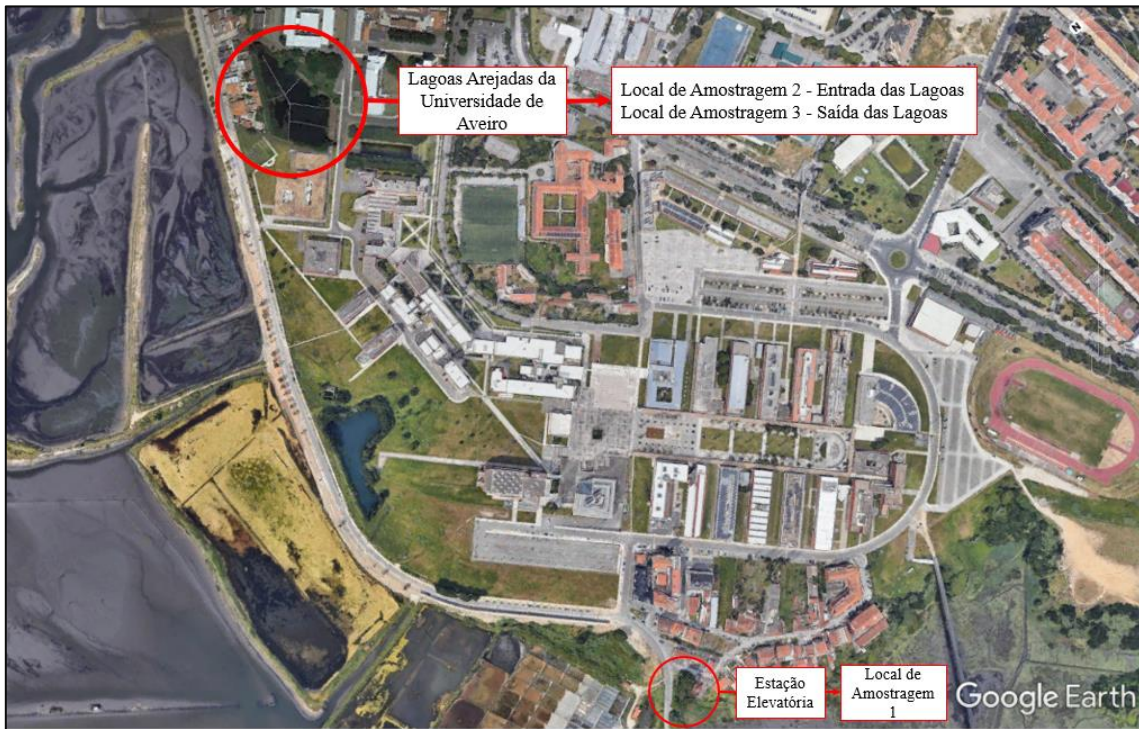


Figura 16 - Localização dos locais de amostragem com recurso à plataforma Google Earth

#### 4.2.2 Seleção das datas da amostragem

Depois de decididos os pontos de amostragem, a próxima etapa foi agendar as amostragens de forma a obter períodos representativos do uso de água nos edifícios da Universidade. O objetivo foi concentrar as amostragens numa semana caracterizada pela ocupação do campus em período de aulas, de forma que a amostragem coincidissem com um período de atividade normal do Campus de Santiago. Tal acontecimento ficou comprometido pelo facto da taxa de ocupação do campus nos anos letivos de 2019-2020 e 2020-2021 estar bastante abaixo da taxa de ocupação regular característica de um ano dito “normal”.



Figura 17 - Fotos tiradas nos locais das amostragens

No ano letivo 2020-2021, o estado de emergência foi declarado pela primeira vez no dia 9 de novembro de 2020 e terminou 173 dias depois, no dia 30 de abril. Tendo a Universidade de Aveiro retomado as aulas presenciais no dia 19 de abril de 2021, a amostragem foi agendada para a última semana de aulas que decorreu entre o dia 21 e o dia 25 de junho.

Os horários de recolha das amostras distribuíram-se entre manhãs e tardes de forma intercalada de forma a englobar os principais períodos de consumo de água no campus. Assim, o período de amostragem foi o seguinte:

- Dia 21 de junho, segunda-feira: 17h
- Dia 22 de junho, terça-feira: 11h
- Dia 23 de junho, quarta-feira: 16h
- Dia 24 de junho, quinta-feira: 12h
- Dia 25 de junho, sexta-feira: 14h

Diariamente, o trajeto de amostragem iniciava-se no Parque do Inglês onde eram recolhidas as amostras relativas ao local 1, e posteriormente recolhiam-se as amostras nos locais 3 e 2, respetivamente. O percurso feito na campanha de amostragem encontra-se ilustrado na Figura 19.



Figura 18 - Percurso feito na campanha de amostragem

#### 4.2.3 Seleção dos poluentes a analisar

A seleção do material necessário em cada amostragem está diretamente relacionada com a seleção dos parâmetros a analisar. Os SGT providenciaram uma tabela elaborada pela AdRA com o propósito de servir de orientação na eleição dos parâmetros a analisar. Na tabela providenciada, estão contemplados todos os parâmetros que devem ser analisados quando existe uma descarga de águas residuais industriais no sistema público de drenagem de águas residuais da AdRA (Tabela XVIII). Após a observação da Tabela XVIII foram definidos os poluentes mais pertinentes considerando o seu aparecimento nas águas residuais produzidas no campus bem como os meios disponíveis em laboratório para os determinar.



Considerando que o objetivo da presente dissertação é fazer um diagnóstico preliminar às águas residuais do Campus e traçar linhas de orientação para que se proceda a uma análise mais aprofundada no futuro, a lista de poluentes analisados é mais reduzida do que a sugerida pela AdRA. Recorrendo à bibliografia encontrada relativamente à análise de águas residuais em campus universitários foi possível encontrar coincidências de parâmetros para estudos diferentes tais como, o pH, a condutividade, o oxigénio dissolvido, a concentração de azoto e fósforo, a concentração de sólidos e a concentração de alguns metais pesados. Os parâmetros escolhidos resultaram também da observação dos parâmetros analisados em âmbitos semelhantes ao do presente projeto.

*Tabela XVIII - Tabela providenciada pelos SGT onde constam os parâmetros a analisar quando ocorrem descargas de águas residuais industriais no sistema público de drenagem de águas residuais da AdRA*

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>	<b>Observações</b>
pH	E. Sorensen	-	-
Temperatura	°C	-	-
CBO <sub>5</sub> (20°C)	mg O <sub>2</sub> /l	-	-
CQO	mg O <sub>2</sub> /l	-	-
SST	mg SST/l	-	-
Azoto Amoniacal	mg N/l	-	-
Azoto Total	mg N/l	-	-
Cloretos	mg/l	-	-
Coliformes Fecais	NMP/100 ml	-	-
Condutividade	µS/cm	-	-
Fósforo Total	mg P/l	-	-
Óleos e Gorduras	mg/l	-	-
Sulfatos	mg/l	-	-
Aldeídos	mg/l	-	-
Alumínio Total	mg/l	-	-
Boro	mg/l	-	-
Cianetos totais	mg/l	-	-
Cloro residual disponível total	mg/l	-	-
Cobre total	mg/l	-	-
Crómio Hexavalente	mg/l	-	-
Crómio Total	mg/l	-	-
Crómio Trivalente	mg/l	-	-
Detergentes (laurel-sulfatos)	mg/l	-	-
Estanho Total	mg/l	-	-
Fenóis	mg/l	-	-
Ferro Total	mg/l	-	-
Hidrocarbonetos Totais	mg/l	-	-
Manganês Total	mg/l	-	-
Nitratos	mg/l	-	-
Nitritos	mg/l	-	-
Pesticidas	mg/l	-	-
Prata Total	mg/l	-	-
Selénio total	mg/l	-	-
Sulfuretos	mg/l	-	-
Vanádio Total	mg/l	-	-
Zinco Total	mg/l	-	-
Azoto Kjeldahl	mg/l	-	-

Dos parâmetros mencionados na tabela acima foram designados os seguintes para analisar a qualidade dos efluentes residuais do Campus de Santiago.

*Tabela XIX - Parâmetros selecionados para caracterizar de forma preliminar as águas residuais produzidas no campus de Santiago*

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>
pH	E. Sorensen
Condutividade	µS/cm
Temperatura	°C
Oxigênio Dissolvido	mg O <sub>2</sub> /l
Sólidos Totais	mg/l
Sólidos Suspensos Totais	mg/l
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/l
CQO	mg/l
CBO	mg/l
Fósforo Total	mg/l
Azoto Total	mg/l
Óleos e Gorduras	mg/l

Recorrendo ao Decreto-Lei nº 236/98 e considerando os métodos analíticos de referência para a sua determinação, foram selecionados os seguintes metais:

*Tabela XX - Metais selecionados para caracterizar de forma preliminar as águas residuais produzidas no campus de Santiago*

<b>Metais</b>	<b>Unidade</b>
Cádmio	mg Cd/l
Chumbo	mg Pb/l
Cobre	mg Cu/l
Crômio	mg Cr/l
Ferro	mg Fe/l
Manganês	mg Mn/l
Molibdênio	mg Mo/l
Níquel	mg Ni/l
Zinco	mg Zn/l

### *4.3 Métodos de análise*

Selecionados os parâmetros para caracterizar os efluentes residuais do campus a etapa seguinte foi realizar um plano com o material de amostragem e preservação necessário, bem como os parâmetros a analisar em laboratório imediatamente após o fim de cada amostragem. Em cada amostragem diária e para cada local de recolha foi utilizada uma garrafa de vidro lavada com uma solução de ácido sulfúrico para recolher cerca de um litro de amostra e uma garrafa de plástico com cerca de quatro litros de volume. Para recolher o volume de água desde a fonte da água residual até cada garrafa foi utilizado um amostrador manual, conforme pode ser visto nas imagens abaixo. As condições de preservação e transporte foram feitas segundo as indicações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association et al., 1992).



Figura 19 - Amostrador manual utilizado na campanha de amostragem

Para cada local, após o transporte até ao laboratório a garrafa de vidro foi utilizada para preservar a amostra que seria utilizada para determinar a concentração de óleos e gorduras no efluente e a concentração de azoto total na amostra, já a garrafa de plástico foi utilizada para transportar a amostra de cada local para o laboratório para posteriormente dividir em frascos lavados com  $H_2SO_4$  para fazer a determinação do  $CQO_{Total}$  e  $CQO_{Solúvel}$  (após filtração), e para com o resto do volume fazer as leituras de pH, oxigénio dissolvido, temperatura e condutividade e a determinação da concentração de sólidos, carência bioquímica de oxigénio, fósforo e metais. Foram também utilizados três garrafões de plástico com um volume de cinco litros para encher com um litro diário de amostra de cada local para determinara a carência bioquímica de oxigénio nos efluentes.

De forma a não contaminar as amostras subsequentes o amostrador foi lavado com a água residual correspondente ao local de recolha antes de cada amostragem, por exemplo, entre a amostragem do local 1 e 3 o amostrador foi cheio e esvaziado duas vezes consecutivas de forma a lavá-lo com a própria amostra.

Após a recolha de amostras nos três locais procedeu-se à leitura em laboratório do pH, oxigénio dissolvido, condutividade e temperatura das amostras através dos aparelhos representados nas imagens abaixo.



Figura 20 - Aparelhos utilizados nas leituras do pH, oxigénio dissolvido e condutividade das amostras, respetivamente

Após as leituras referidas, dava-se início à análise de sólidos totais, sólidos suspensos totais e sólidos suspensos voláteis seguindo para o efeito os Protocolos 2540B e 2540, e 2540D e 2540E, respetivamente, contemplados no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association et al., 1992). A filtração era feita no próprio dia da amostragem, após a filtração os cadinhos previamente pesados com o filtro e com os sólidos eram deixados durante a noite na estufa a cerca de 100°C-105°C para no dia seguinte serem pesados e colocados na mufla de forma a obter os sólidos suspensos totais e os sólidos suspensos voláteis, respetivamente. Relativamente aos sólidos totais estes foram também pesados no próprio dia da amostragem, sendo colocados cadinhos previamente pesados em banho de areia a cerca de 100°C e posteriormente pesados.

No processo de filtração eram recolhidos cerca de 250ml de amostra filtrada para a determinação do CQO<sub>Solúvel</sub>, esta amostra clarificada bem como as amostras para o CQO<sub>Total</sub>, que eram colocadas diretamente da garrafa de plástico de quatro litros, foram colocadas em frascos de vidro lavados previamente com ácido sulfúrico e preservados com um volume de ácido sulfúrico suficiente para que o pH baixasse de 2, tal como mencionado no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association et al., 1992).

Também os procedimentos relativos às análises da carência bioquímica de oxigénio foram realizados na semana de amostragem com um período máximo de 48 horas entre a amostragem e o procedimento. Para este parâmetro foi seguido o protocolo 5210B do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association et al., 1992). Assim, foi preparada uma solução de água de diluição pura, saturada em termos de oxigénio e constituída por micronutrientes. Esta água de diluição era composta por água pura e um mililitro de cada nutriente (solução tampão fosfato, sulfato de magnésio, cloreto de cálcio e cloreto de ferro) por cada litro de água pura. Para cada local e cada dia, as diluições foram feitas numa proveta de um litro e a solução foi homogeneizada para posteriormente ser transferida para os frascos de Wrinkler.

As diluições feitas neste procedimento foram as seguintes:

- Local 1: 16,67x (60ml de amostra / 1000 ml de amostra com água de diluição)
- Local 2: 16,67x (60ml de amostra / 1000 ml de amostra com água de diluição)
- Local 3: 5x (200ml de amostra / 1000 ml de amostra com água de diluição)

Para cada local em cada dia foram cheios três frascos para fazer a leitura após cinco, catorzes e vinte e um dias de incubação. Porém devido à universidade estar fechada ao fim de semana seria tornou-se impossível fazer as leituras para cinco dias de incubação, sendo assim fizeram-se as leituras para sete, catorze e vinte e um dias de incubação.



Figura 21 - Organização da bancada de trabalho durante as leituras da carência bioquímica de oxigénio

Na semana após a amostragem foram realizados ensaios relativos às amostras compósitas seguindo o protocolo 5210B do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association et al., 1992), tendo sido determinado o CBO<sub>5</sub>, CBO<sub>7</sub> e CBO<sub>14</sub> nestas amostras. Para o local 1 e 2 foram feitas diluições de 25x e para o local 3 foram feitas diluições de 5x. Para as amostras compósitas foi ainda realizado um ensaio segundo o protocolo 5210D do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association et al., 1992), seguindo para isso as indicações do manual do aparelho de leitura dos Oxitops para determinar o volume de amostra a colocar em cada frasco. Relativamente aos ensaios mencionados quer para as amostras compósitas quer para as amostras diárias, é importante salientar que devido a um erro laboratorial a determinação do CBO para a solução padrão de glucose-ácido glutâmico ficou comprometida, não sendo possível tirar conclusões relativamente ao controlo analítico destes procedimentos.

A determinação da carência química de oxigénio total e solúvel foi feita com base no protocolo 5220B do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association et al., 1992), pois considerou-se que qualquer amostra recolhida teria um CQO superior a 50 mg O<sub>2</sub>/l. Relativamente aos procedimentos mencionados no protocolo mencionado foram feitas as seguintes alterações:

- Em detrimento de colocar 50 ml de amostra num frasco de refluxo de 500 ml, foram colocados 20 ml de amostra num frasco de cerca de 200 ml;
- Foram adicionados 0.4g de HgSO<sub>4</sub>;
- Foram adicionados 10 ml de solução de dicromato de potássio (0,0417M);
- Foram adicionados 30 ml de reagente de ácido sulfúrico
- Para o branco foram utilizados 20 ml de água destilada, 10 ml de dicromato de potássio (0,0417M) e 30 ml de ácido sulfúrico;

Foram feitas seis digestões, divididas entre os dias 29/06, 30/06 e 1/07, de forma que fossem digeridos um padrão e um branco em cada dia para posteriormente calcular a molaridade da solução FAS e a carência química de oxigénio nas amostras, respetivamente.



Figura 22 - Da esquerda para a direita: Processo de digestão das amostras; Amostras nos Erlenmeyers após a sua digestão; Sistema montado para a titulação de dicromato de potássio após digestão

No dia 5/07, iniciaram-se as análises de fósforo total nas amostras tendo para isso sido utilizada louça previamente lavada com uma solução de ácido clorídrico, e posteriormente lavada com água destilada. O material utilizado na determinação do fósforo carece destes cuidados pois os detergentes e a água de abastecimento contêm fosfatos que impactariam os resultados destas análises.

O fósforo total foi determinado recorrendo a uma digestão com ácido sulfúrico e ácido nítrico a cerca de 100°C, de forma a transformar o fósforo orgânico nas amostras em ortofosfato - protocolo 4500-P B 4 do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, posteriormente este ortofosfato foi medido através do método colorimétrico do ácido ascórbico – protocolo 4500P-E *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association et al., 1992). A etapa da digestão não sofreu alterações relativamente ao descrito no protocolo mencionado, já na segunda etapa, que diz respeito à determinação do ortofosfato, foram feitas as seguintes alterações relativamente ao que é sugerido no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*:

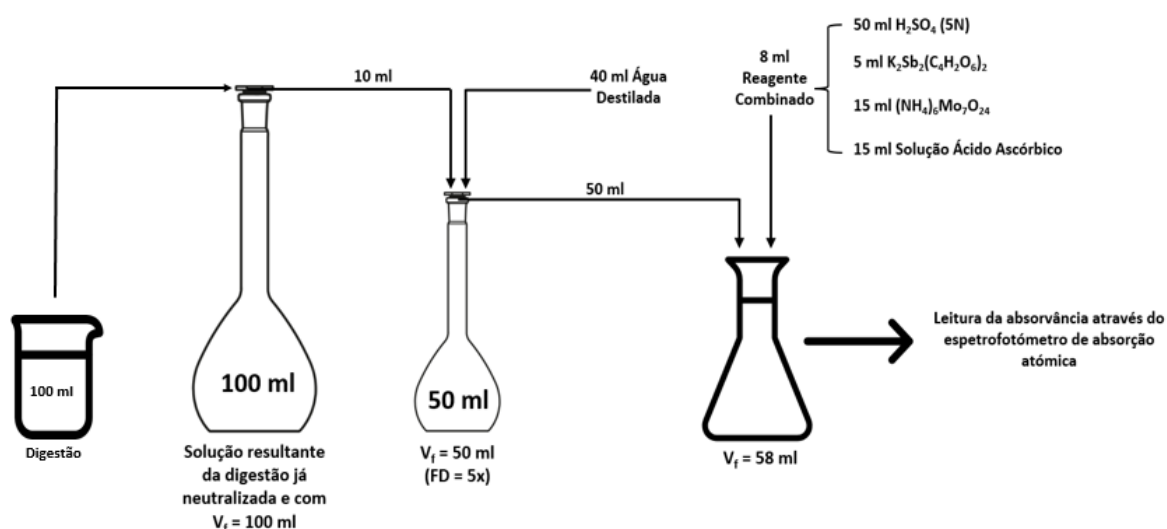


Figura 23 - Apresentação esquemática das alterações que foram feitas na última etapa do processo de quantificação de fósforo nas amostras

De forma a elaborar a reta de calibração foram preparados um branco e cinco padrões que partiram de uma solução stock cuja concentração de fósforo era 50 mg/l. As concentrações de fósforo nos padrões foram de 0 mg/l, 0,3 mg/l, 0,6 mg/l, 0,8mg/, 1,0mg/l e 1,3mg/l. De forma a obter esta gama de valores entre os padrões, foram feitas várias leituras de fósforo nas amostras e preparados padrões com diferentes concentrações até que fosse obtida uma gama de concentração de fósforo nos padrões entre a qual as concentrações nas amostras estariam compreendidas.

O restante da solução neutralizada resultante da digestão para cada local e cada dia, foi preservado em frascos de plásticos lavados com ácido clorídrico para posteriormente serem determinadas as concentrações de metais nas amostras a partir destas mesmas soluções.





Figura 24 - Da esquerda para a direita: coloração das amostras após digestão e após adição de reagente combinado; espectrofotômetro de absorção atômica a partir do qual foram realizadas as leituras relativamente à quantificação de fósforo; preservação das amostras após o processo de digestão que foram utilizadas posteriormente na quantificação de metais

As análises de azoto total nas amostras principiaram no dia 13/07 e os seus procedimentos basearam-se nos protocolos 4500-N<sub>org</sub> B e 4500-NH<sub>3</sub> C do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association et al., 1992).. Na etapa da digestão foram feitas as seguintes alterações:

- Considerando que o reagente K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> foi adicionado aos frascos de digestão na forma de pastilhas cuja massa era de cerca de 3,5 g (3,489g de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 0,01010g de CuSO<sub>4</sub> – catalisador) adicionaram-se 5 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de forma a garantir que todo o azoto orgânico se convertia em azoto amoniacal, em detrimento de 6,7g de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 6,7ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;
- Após a digestão, o conteúdo do frasco de digestão foi diluído em 100ml de água destilada, e não em 300ml;

Na etapa da destilação foram feitas as seguintes alterações:

- Como consequência da alteração anterior, foram colhidos 70ml de destilado para cada Erlenmeyer após a adição de 25ml de solução de ácido bórico.

Na etapa da titulação, procedeu-se à aferição da solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> utilizada de forma a maximizar a precisão na determinação de azoto nas amostras. Para isso foram pesados 0,0203g de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> a ser incorporado numa solução com 25 ml de solução de ácido bórico e 150ml de águas destilada, de forma a replicar as condições na titulação das amostras.

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{0,0203}{106} \text{ mol} = 1,91 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \quad c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{n(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{V_{\text{Gasto}}(\text{H}_2\text{SO}_4)}$$

$$= 0,0166 \text{ M} = 0,0332 \text{ N}$$

Como a relação estequiométrica entre o Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> e o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> é de um para um, determinou-se a concentração do H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> utilizado. De forma a calcular a concentração de azoto nas amostras foi ainda necessário calcular a concentração de azoto na solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, para isso foi utilizada a seguinte relação:

$$1,00\text{ml de Solução de H}_2\text{SO}_4 = 14 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 0,0332 \text{ N} * 1000 \mu\text{g N} = 464,8 \mu\text{g N}$$

Foram feitas três digestões divididas entre os dias 13/07, 14/07 e 15/07, sendo que nas duas primeiras digestões foram digeridas seis amostras mais um branco e um padrão em cada uma delas, e na última digestão foram digeridas três amostras, um branco e um padrão.

A determinação de óleos e gorduras cingiu-se às amostras relativas aos locais 1 e 2, isto deveu-se ao facto da massa de óleos e gorduras nestes locais ser bastante baixa o que tem como consequência uma diminuição da precisão dos valores obtidos devido aos erros associados aos procedimentos utilizados na sua determinação. Assim, optou-se por não determinar a concentração de óleos e gorduras na amostra 3 visto que por se tratar de um local de amostragem imediatamente após tratamento aeróbio por lagoas arejadas os valores de óleos e gorduras serão ainda mais baixos do que os obtidos para as amostras anteriores. Esta determinação teve como referência o protocolo 5520 B do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association et al., 1992), sendo que a única alteração feita foi a utilização de um solvente diferente, o 1,1,2-triclorotrifluoretano visto que estava disponível no laboratório e por apresentar um ponto de ebulição mais baixo.

A determinação da concentração de metais nas amostras foi precedida de uma decisão dos metais a determinar. Foram selecionados os metais cujo método analítico de referência é, segundo o Decreto-Lei nº 236/98 a espectrometria de absorção atómica. A determinação dos metais foi feita nas soluções resultantes da digestão com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e HNO<sub>3</sub> numa relação de 1 para 5 (protocolo 3030 G do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*) (American Public Health Association et al., 1992), conforme mencionado aquando da exploração do método utilizado na determinação de fósforo nas amostras.

Os metais selecionados foram o crómio, o zinco, o manganês, o ferro, o níquel, o cobre, o cádmio, o chumbo e o molibdeno. Para a determinação da concentração destes metais recorreu-se ao protocolo 3111 B do do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association et al., 1992), espectrometria de absorção atómica direta através de chama ar-acetileno, exceto para o molibdeno onde se recorreu ao mesmo método porém com uma chama óxido nitroso-acetileno (protocolo 3111 D do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association et al., 1992). As soluções padrão já estavam preparadas, tendo sido feitas posteriormente as diluições necessárias para obter uma gama de concentrações dos padrões que fossem de encontro ao intervalo de deteção ótimo do aparelho.



Tabela XXI - Limite de detecção e intervalo de detecção do aparelho e valores limite de emissão contemplados no Decreto-Lei nº 236-98

<b>Metal</b>	<b>Limite de detecção do aparelho (mg/l)</b>	<b>Intervalo de Detecção Ótimo (mg/l)</b>	<b>VLE (Decreto-Lei nº 236-98) (mg/l)</b>
<b>Cr</b>	0,02	[2 ; 15]	2,0
<b>Zn</b>	0,005	[0.4 ; 1.5]	-*
<b>Mn</b>	0,01	[1 ; 3.6]	2,0
<b>Fe</b>	0,02	[2 ; 9]	2,0
<b>Ni</b>	0,02	[1.8 ; 8]	2,0
<b>Cu</b>	0,01	[1.0 ; 5.0]	1,0
<b>Cd</b>	0,002	[0.2 ; 1.8]	0,2
<b>Pb</b>	0,05	[2.5 ; 20]	1,0
<b>Mo</b>	0,1	[5 ; 20]	-*

\* - Não contemplado no Decreto-Lei nº 236/98

## 5 Resultados e Discussão

### 5.1 Histórico do consumo de água para abastecimento no Campus de Santiago

Comparando o consumo de água de abastecimento nos anos de 2019 e 2020, a partir da Tabela XXII, verifica-se um decréscimo do consumo a partir do mês de março do ano de 2020 quando comparado com o consumo para os mesmos meses em 2019 em ambas as entradas de água para abastecimento. Na entrada Pavilhão Aristides Hall, em 2019 os meses de maior consumo foram os meses de maio e setembro, sendo que relativamente aos meses de março e abril não é possível discriminar o consumo para os dois meses em separado visto que a faturação foi feita para os dois meses em simultâneo. Na entrada Norte, os consumos de água de abastecimento foram bastante reduzidos no ano de 2020 sendo que nos casos dos meses de março, abril, maio e agosto não foram contabilizados consumos de água, por razões desconhecidas. Para o ano de 2019, na Entrada Norte o mês de maior consumo foi o mês de novembro.

Tabela XXII - Consumos de água de abastecimento no campus de Santiago nas entradas Norte e Pavilhão Aristides Hall nos anos de 2019 e 2020

Entrada Pavilhão Aristides Hall				Entrada Norte			
2019		2020		2019		2020	
Mês	V <sub>Água Consumida</sub> (m <sup>3</sup> )	Mês	V <sub>Água Consumida</sub> (m <sup>3</sup> )	Mês	V <sub>Água Consumida</sub> (m <sup>3</sup> )	Mês	V <sub>Água Consumida</sub> (m <sup>3</sup> )
Jan	8812	Jan	11073,9	Jan	1675	Jan	1105,7
Fev	9143,7	Fev	9252,4	Fev	1403,9	Fev	1175,2
Mar	19807,93	Mar	6346,9	Mar	1478,5	Mar	-
Abr		Abr	5700,3	Abr	858,9	Abr	-
Mai	11362,97	Mai	7459,1	Mai	1673,1	Mai	-
Jun	10410,3	Jun	8682,2	Jun	1178,2	Jun	1,8
Jul	7906,8	Jul	7287,8	Jul	536,9	Jul	11,8
Ago	11509,9	Ago	6134,8	Ago	713,7	Ago	-
Set	11620,7	Set	7745,7	Set	1483,4	Set	32,3
Out	10418,5	Out	8808,7	Out	1586,7	Out	394,8
Nov	7383,6	Nov	8298,5	Nov	3754,6	Nov	214,2
Dez	7752,3	Dez	7172,5	Dez	1074,4	Dez	807,7

Apesar da ocupação do campus ser reduzida no mês de agosto, devido ao fim do período letivo, é importante referir que parte da água consumida com origem nas duas entradas mencionadas tem como destino a rega dos espaços verdes do Campus de Santiago, o que justifica a ordem de valores obtidos nos caudais consumidos no referido mês.

## 5.2 Histórico da produção de águas residuais no Campus de Santiago

Tabela XXIII – Caudais de águas residuais descartadas pela Universidade de Aveiro no Sistema de Drenagem e Águas Residuais da AdRA

2019		2020		2021	
Mês	V <sub>Água Residual</sub> (m <sup>3</sup> )	Mês	V <sub>Água Residual</sub> (m <sup>3</sup> )	Mês	V <sub>Água Residual</sub> (m <sup>3</sup> )
<b>Jan</b>	8224	<b>Jan</b>	8657	<b>Jan</b>	5645
<b>Fev</b>	7424	<b>Fev</b>	7981	<b>Fev</b>	5370
<b>Mar</b>	8837	<b>Mar</b>	4701	<b>Mar</b>	5858
<b>Abr</b>	18345	<b>Abr</b>	1930	<b>Abr</b>	5335
<b>Mai</b>		<b>Mai</b>	1602	<b>Mai</b>	6854
<b>Jun</b>	6893	<b>Jun</b>	1664	<b>Jun</b>	5899
<b>Jul</b>	5874	<b>Jul</b>	4031	<b>Jul</b>	4733
<b>Ago</b>	3402	<b>Ago</b>	2849	<b>Ago</b>	3377
<b>Set</b>	5892	<b>Set</b>	3795	<b>Set</b>	-
<b>Out</b>	8952	<b>Out</b>	6698	<b>Out</b>	-
<b>Nov</b>	9909	<b>Nov</b>	5820	<b>Nov</b>	-
<b>Dez</b>	11620	<b>Dez</b>	4836	<b>Dez</b>	-

A Tabela XXIII apresenta o histórico de produção das águas residuais do Campus de Santiago que drenam para o sistema de drenagem de águas residuais gerido pela AdRA. É possível observar que a partir do mês de março, mês em que se adensou a pandemia de Covid-19 em Portugal, existe uma diferença bastante significativa na produção de águas residuais entre anos de 2019 e 2020. Esta diferença reflete a diminuição drástica da ocupação do campus que resultou na diminuição das atividades relacionadas com a produção de águas residuais. Assim, a partir de março de 2020 a produção de águas residuais diminuiu exponencialmente até agosto de 2021. Comparando os meses do ano de 2021 com os meses do ano de 2019, existe também uma discrepância significativa no volume de águas residuais produzidas no campus, também fruto do estado de emergência que decorreu entre o mês de novembro de 2020 e maio de 2021.

### 5.3 Resultados obtidos nas análises das amostras

Tendo em conta as diferentes origens das águas residuais estudadas era expectável a existência de divergências nos resultados obtidos para os parâmetros estudados relativos às águas residuais do campus. Os locais 1 e 2 apresentam, geralmente, maiores cargas orgânicas e níveis de concentração de poluentes mais altos do que o local 3, tal facto deve-se à inexistência de qualquer tipo de tratamento para as águas residuais recolhidas nos locais 1 e 2, sendo que as águas recolhidas no local 3, são provenientes de tratamento biológico por lagoas arejadas.

Como mencionado no capítulo 4, os primeiros parâmetros a serem analisados foram o pH, a condutividade, a temperatura e a concentração de oxigénio dissolvido. Os valores obtidos para estes parâmetros encontram-se abaixo.

Tabela XXIV - Resultados obtidos relativamente às leituras após as amostragens de pH, condutividade, oxigénio dissolvido e temperatura

Parâmetro	21/06/2021			22/06/2021			23/06/2021			24/06/2021			25/06/2021		
	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3
pH	8,2	7,15	7,55	7,6	6,87	7,23	8,16	7,13	7,35	7,77	6,8	7,34	8,03	7,11	7,75
Condutividade (µS/cm)	782	707	582	663	700	578	764	822	588	668	664	602	760	685	604
OD <sub>inicial</sub> (mg/l)	2,2	0,33	7,58	3,1	0,41	6,11	4,77	1,1	8,41	3,76	0,32	8,62	5,1	0	10,7
T (°C)	15,4	16,8	22,3	16,2	17,2	21,8	16,3	16,9	20,2	15,8	17,2	19,3	16,4	15,6	19,4

Em relação ao pH, os valores demonstram que os efluentes recolhidos têm um carácter neutro na sua generalidade não tendo havido contaminações significativas de substâncias quer ácidas quer alcalinas no decorrer do período de amostragem, não houve também uma variação considerável de dia para dia para cada local amostrado. Há, porém, a salientar três ocorrências de valores que indicam um pH ligeiramente alcalino. Dos resultados obtidos para o local 2 (entrada dos efluentes residuais nas lagoas arejadas) e 3 (saída das lagoas arejadas) conclui-se que o tratamento por lagoas arejadas não influencia o pH da água. Os valores obtidos para o local 1 e para cada dia estão em conformidade com os valores limite de emissão estabelecidos pela AdRA, isto é, o pH de cada amostra encontra-se dentro da gama 5,5-9,5.

No que se refere à condutividade, os valores obtidos revelam que na maioria dos dias o local que apresentou maior condutividade foi o local 1, tal poderá dever-se à elevada salinidade e alta concentração em sólidos dissolvidos totais do efluente recolhido neste local. As águas residuais recolhidas nos locais 1 e 2 têm valores mais altos de sólidos e de sais dissolvidos na água, que poderão resultar da utilização da água em atividades de carácter doméstico, quando comparadas com as amostras recolhidas no local 3. As amostras que apresentam menor condutividade são as que representam as águas residuais tratadas pelas lagoas arejadas da UA, o tratamento mencionado tem impacto na remoção dos sólidos dissolvidos totais o que pode justificar os valores de condutividade mais baixos quando comparados com as amostras dos outros dois locais. Os resultados obtidos para o local 1 estão bastante abaixo do limite estabelecido pela AdRA.

Relativamente à concentração de oxigénio inicial medida quase imediatamente após a amostragem, as análises às amostras recolhidas no local 2 revelam valores muito baixos deste parâmetro. No local 2 a água residual encontrava-se num meio estagnado e num estado quase estático coberto por uma tampa de saneamento e sem penetração de luz, o que reduz por consequência a taxa fotossintética no meio, o que pode justificar os valores de oxigénio dissolvido apresentados. Como já referido, no local 1 circula água residual não tratada com elevada carga orgânica e com uma concentração de oxigénio dissolvido muito baixa, estes valores variam entre os 2,2 mg/l e os 5,1 mg/l. Aquando das amostragens constatou-se que no local de amostragem 1 se dava a queda de diferentes águas residuais de origens diferentes, a conduta de saneamento correspondente ao efluente analisado do local 1 aparentava apresentar um regime turbulento, sendo que à saída da conduta a água residual sofria uma queda que resultava numa injeção de ar no efluente, estas podem ser as razões de existir oxigénio dissolvido, ainda que algo residual, nas amostras deste local. Em relação ao local 3, as amostras deste local são as que apresentam a maior concentração de oxigénio dissolvido, provavelmente pela ocorrência de atividade fotossintética levada a cabo pela comunidade de plantas e pela incidência de luz solar na lagoa arejada a partir da qual foram recolhidas as amostras. O facto de as amostragens terem sido realizadas em diferentes períodos do dia ao longo da semana de amostragem poderá justificar também a variabilidade dos valores de oxigénio dissolvido encontrados no local 3. Comparando os valores de oxigénio dissolvido total obtidos nas análises às amostras relativas ao local 1 com o valor limite de emissão da AdRA (1,0 mg O<sub>2</sub>/l), conclui-se que não existe incumprimento do mesmo (1,0 mg O<sub>2</sub>/l).

*Tabela XXV - Resultados obtidos na determinização dos sólidos totais, sólidos suspensos totais e sólidos suspensos voláteis*

	21/06/2021			22/06/2021			23/06/2021			24/06/2021			25/06/2021		
Parâmetro	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3
ST (mg/l)	640	415	532	516	373	358	549	461	400	553	709	380	472	527	366
SST (mg/l)	83,2	37,6	8	171	74,4	20,4	210	61,6	6	89	122	26,4	159	129,6	32
SSV (mg/l)	75,6	36	4	170	61,6	14,8	202	55,2	3,2	68	103,2	23,2	131	108	24,4

No que concerne à concentração de sólidos nas amostras, as amostras recolhidas no local 1 apresentam a maior concentração de sólidos totais nos três primeiros dias de amostragem, sendo que, no quarto e quinto dia as amostras recolhidas à entrada das lagoas arejadas apresentaram a maior concentração deste parâmetro. É importante referir que o caudal do terceiro local de amostragem variou ao longo dos dias, assim, os valores obtidos para os sólidos apresentam alguma variabilidade com o decorrer dos dias, sendo o valor mínimo de 358 mg/l e o máximo de 532 mg/l. Apesar do volume recolhido ter sido o mesmo, no dia 21/06 o caudal à saída das lagoas arejadas era bastante superior aos restantes dias, isto pode ter tido impacto na concentração de sólidos na amostra sendo que para caudais maiores a representatividade de sólidos particulados e dissolvidos na amostra é superior do que para caudais mais baixos devido à homogeneização que ocorre em caudais maiores.

Relativamente ao local 2, a concentração de sólidos totais presentes nas amostras variou entre os 373 mg/l e os 709 mg/l e relativamente ao local 1 os valores variaram entre os 472 mg/l e os 640 mg/l. Os resultados obtidos por Pina, 2010 encontram-se na gama 614 mg/l – 1356 mg/l para os ST e os 70 mg/l – 370 mg/l para os SST enquanto os resultados obtidos no presente projeto para águas residuais não tratadas variam desde os 373 mg/l e os 709 mg/l para os ST e os 37,6 mg/l e os 171 mg/l para os SST, concluindo-se que os valores obtidos para este parâmetro foram bastante inferiores

nas amostras do campus de Santiago relativamente às amostras do campus FCT/UNL, cujas águas residuais foram equiparadas a águas residuais domésticas.

O valor limite de emissão para o parâmetro sólidos suspensos totais é de 1000 mg/l, valor esse que não foi ultrapassado em nenhum dos dias de amostragem.

Para os locais 1 e 2 a relação entre os SSVs e os SSTs varia entre os 76,4% e os 99,4% o que significa que a maior parte dos sólidos suspensos presentes na água são volatilizáveis e que, por isso, correspondem a matéria orgânica em suspensão. No que concerne às amostras do local 3, a relação entre os SSTs e os SSVs varia entre os 53% e os 87,9%. O tratamento por lagoas arejadas remove parte da matéria orgânica presente no efluente como é possível constatar comparando os valores obtidos para os sólidos suspensos voláteis antes e depois do tratamento pelo sistema de lagoas arejadas.

Tabela XXVI - Resultados obtidos na determinação do  $CQO_{Total}$  e  $CQO_{Solúvel}$

Parâmetro	21/06/2021			22/06/2021			23/06/2021			24/06/2021			25/06/2021		
	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3
$CQO_{Total}$ (mg/l)	560	238	48	415	238	65	325	257	56	337	390	48	313	333	65
$CQO_{Solúvel}$ (mg/l)	238	230	48	226	137	44	277	145	48	277	179	61	199	163	33

Abordando agora os valores obtidos para a carência química de oxigénio nos efluentes residuais, as amostras recolhidas à saída das lagoas arejadas apresentam os menores valores de CQO, quer solúvel quer particulado, o que se traduz numa baixa concentração de matéria orgânica oxidável quimicamente. O facto da água residual do local 3 ter sido sujeita a um tratamento aeróbio com recurso a lagoas arejadas justifica os valores obtidos, uma vez que grande parte da matéria orgânica no efluente foi oxidada durante o processo de tratamento aeróbio a que foi sujeito. Comparando os valores de CQO à entrada e à saída das lagoas arejadas é possível concluir que o processo de tratamento por lagoas arejadas é bastante eficiente na remoção de matéria orgânica do efluente. Por se tratar de efluentes residuais brutos constituídos por coliformes fecais, urina, água proveniente da preparação e lavagem de alimentos é natural que a carência química de oxigénio seja bastante superior nas amostras analisadas dos efluentes referentes ao local 1 e 2.

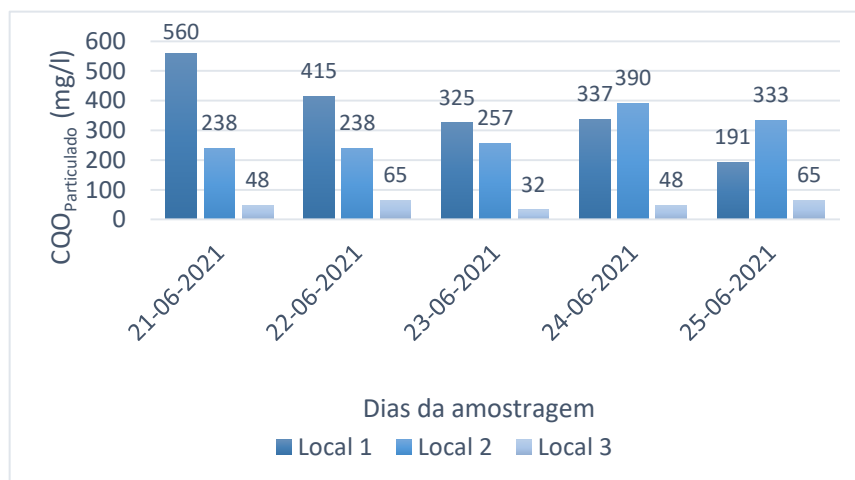


Figura 25 - Representação em gráfico de barras da distribuição dos valores obtidos para a carência química de oxigénio total nos três locais amostrados

Como mencionado anteriormente, o  $CQO_{solúvel}$  corresponde à carência química de oxigénio do efluente clarificado após filtração, neste caso, por filtro de vidro. Segundo Metcalf & Eddy, a distribuição relativa entre o  $CQO_{particulado}$  e o  $CQO_{solúvel}$  depende diretamente do tamanho dos poros do filtro. As amostras recolhidas à saída das lagoas arejadas apresentam os menores valores de  $CQO_{solúvel}$  quando comparadas com as amostras dos outros locais, mantendo-se na gama entre os 33 mg/l e os 61 mg/l. Relativamente ao  $CQO_{solúvel}$  das amostras do local 1 os seus valores situam-se entre os 199 mg/l e os 277 mg/l enquanto o local 2 apresenta uma gama de  $CQO_{solúvel}$  que varia entre os 137 mg/l e os 230 mg/l.

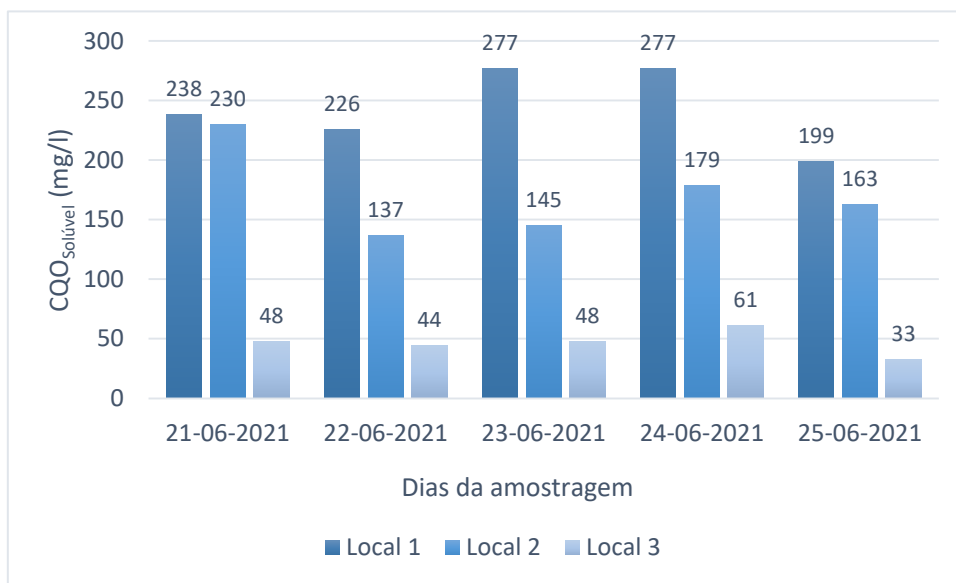


Figura 26 - Representação em gráfico de barras da distribuição dos valores obtidos para a carência química de oxigénio solúvel nos três locais amostrados

Comparando os valores obtidos na presente dissertação com os valores obtidos por Bertolino et al. 2008, Ngoma et al, 2020 e Pina 2010 conclui-se que os valores de  $CQO$  total máximos obtidos nestes estudos são idênticos aqueles que foram obtidos no presente projeto para águas residuais não tratadas (locais de amostragem 1 e 2), sendo que em nenhum dos estudos mencionados existe a distinção entre  $CQO$  total e solúvel. Acrescenta-se ainda que os resultados obtidos por Ngoma, et al. 2020 demonstram a eficiência do tratamento aeróbio com recurso a lagoas de estabilização diminui significativamente a matéria orgânica no efluente, no caso do presente projeto o tratamento por lagoas arejadas demonstrou ter também impacto na carência química de oxigénio. Os valores obtidos para o parâmetro  $CQO_{Total}$  para o local 1, estão bastante abaixo do valor de emissão definido pela AdRA, sendo o mesmo de 1000 mg/l.

As análises realizadas com o propósito de determinar a concentração de fósforo total nas amostras revelou que as amostras recolhidas no local 1 apresentam a maior concentração de fósforo entre os três locais, apresentando gamas que variam entre os 4,998 mg/l e os 6,160 mg/l. Em três dos cinco dias de amostragem as concentrações de fósforo total nas amostras dos locais 2 e 3 possuem valores muito próximos, no dia 22/06 a concentração de fósforo nas amostras recolhidas nos locais 2 e 3 foi de, 3,325 mg/ e 3,283 mg/l, respetivamente; no dia 23/06 a concentração de fósforo da amostra recolhida no local 2 foi de 3,799 mg/l e no local 3 de 3,225 mg/l; por fim, no dia 25/06 a amostra recolhida no local 2 apresentou uma concentração de fósforo de 2,103 mg/l enquanto a amostra

recolhida no local 3 apresentou uma concentração de fósforo de 2,901 mg/l. Os valores máximo e mínimo obtidos por Bertolino et al, 2008 para este parâmetro são, respetivamente, 6,7 mg/l e 4,8 mg/l, por Ngoma et al, 2020 são 1,41 mg/l e 0,11 mg/l, por fim, por Pina, 2010 são 17 mg/l e 6 mg/l. Conclui-se que os resultados obtidos para este parâmetro encontram-se dentro da gama esperada considerando os resultados obtidos na bibliografia. Além disso, o valor limite de emissão estabelecido pela AdRA (20 mg/l) não foi transposto, tendo em consideração os resultados obtidos nas análises das amostras relativas ao local de amostragem 1.

Tabela XXVII - Resultados obtidos nas análises ao fósforo e azoto total nas amostras

Parâmetro	21/06/2021			22/06/2021			23/06/2021			24/06/2021			25/06/2021		
	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3
<b>Fósforo Total (mg P/l)</b>	5,653	2,060	3,699	5,827	3,325	3,283	6,160	3,799	3,225	4,998	4,289	2,909	5,079	2,103	2,901
<b>Azoto Total (mg N/l)</b>	49,50	35,56	0,00	48,11	27,89	1,86	62,75	42,53	0,93	41,83	35,54	1,16	46,48	33,23	1,16

Tal como o fósforo, o azoto representa também um nutriente indispensável ao crescimento de plantas e a sua monitorização é de extrema importância na prevenção da eutrofização em meios aquáticos. Relativamente ao azoto é importante referir que o método adotado para a sua determinação, permite quantificar o azoto total nas amostras na forma de azoto amoniacal. Os valores obtidos na determinação de azoto total no local 3 revelam uma concentração muito baixa, tal facto pode ser justificado pela absorção de azoto principalmente na forma de  $\text{NH}_4^+$  por parte das plantas. O tratamento aeróbio por lagoas arejadas que antecede a saída do efluente recolhido no local 3 é caracterizado pela presença de algumas plantas aquáticas, estas plantas absorvem principalmente azoto na sua forma amoniacal. O local 1 apresenta os valores mais altos de azoto total, a concentração das amostras neste local varia entre os 41,83 mg/l e os 62,75 mg/l. Já o segundo local de amostragem apresenta concentrações de azoto que variam entre os 33,23 mg/l e os 42,53 mg/l. Relativamente à bibliografia adquirida o valor máximo obtido no presente projeto é da mesma ordem de grandeza do valor máximo obtido para este parâmetro no estudo de Bertolino et al, 2008 (62,2 mg/l). Os resultados obtidos na análise das amostras relativas ao local 1 demonstram que não ocorreu nenhuma excedência face ao limite imposto pela AdRA (90 mg/l).

Tabela XXVIII - Resultados obtidos na determinação de óleos e gorduras nas amostras relativas aos locais 1 e 2

Parâmetro	21/06/2021		22/06/2021		23/06/2021		24/06/2021		25/06/2021	
	L-1	L-2	L-1	L-2	L-1	L-2	L-1	L-2	L-1	L-2
<b>Óleos e Gorduras (mg/l)</b>	32,97	23,45	22,46	22,94	15,80	20,99	17,82	21,45	16,30	28,82

Relativamente à concentração de óleos e gorduras nas amostras há a salientar que a sua determinação não foi feita para o local 3, esta decisão foi tomada depois de terem sido determinadas as concentrações de óleos e gorduras para os locais 1 e 2 e se ter constatado que as mesmas são muito baixas e que apresentam uma gama de erro alta considerando a gama de valores dos resultados obtidos. Assim, para o local 1 a concentração de óleos e gorduras no efluente varia entre os 15,80 mg/l e os 32,97 mg/l, já as concentrações nas amostras relativas ao local 2 variam entre 20,99 mg/l e os 8,82 mg/l. As concentrações de óleos e gorduras determinadas para os dois locais encontram-



se bastante abaixo do valor limite de emissão definido pela AdRA (100 mg/l), sendo que apenas os efluentes residuais relativos ao local de amostragem 1 têm como destino o sistema de drenagem da AdRA.

Tabela XXIX - Resultados obtidos relativamente às análises de metais nas amostras

Parâmetro	21/06/2021			22/06/2021			23/06/2021			24/06/2021			25/06/2021		
	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3
Cádmio (mg/l)	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ
Chumbo (mg/l)	0,84	0,64	1,68	0,87	0,30	1,41	2,01	1,14	1,61	1,58	1,34	<GQ	0,97	1,28	0,54
Cobre (mg/l)	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ
Crómio (mg/l)	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ
Ferro (mg/l)	1,73	3,93	2,20	1,57	4,08	0,79	1,32	2,42	1,50	2,39	4,56	0,78	1,57	3,68	0,70
Manganês (mg/l)	0,45	0,39	1,05	0,42	0,40	1,09	0,44	0,42	0,99	0,47	0,42	1,01	0,44	0,46	0,60
Molibdênio (mg/l)	4,40	1,87	0,60	4,84	4,29	<GQ	5,16	2,03	<GQ	5,38	3,08	<GQ	4,12	3,74	<GQ
Níquel (mg/l)	<GQ	0,35	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	<GQ	0,50	<GQ	<GQ	0,24	<GQ	<GQ	0,45	<GQ
Zinco (mg/l)	0,99	0,89	0,65	1,38	0,87	0,69	1,18	1,32	0,37	1,28	1,13	0,71	0,98	1,31	0,96

\*GQ – Gama de Quantificação

Relativamente à presença de metais nas amostras, através da análise da Tabela XXIX conclui-se que a presença de metais como o cádmio, o cobre, o crómio e o níquel não é preocupante visto que a concentração dos mesmo nas amostras analisadas está abaixo do limite de quantificação do aparelho e, subsequentemente, abaixo do valor limite de emissão legal.

O zinco, apresenta uma concentração nas amostras muito baixa, a mesma varia entre os 0,98 mg Zn/l e os 1,38 mg Zn/l para o local 1; os 0,87 mg Zn/l e os 1,28 mg/l para o local 2 e os 0,37 mg Zn/l e os 0,96 mg Zn/l para o local 3. O valor limite de emissão legal do zinco em águas residuais não foi excedido em nenhuma das amostras relativas a águas residuais não tratadas (5,0 mg/l).

Além do zinco também o manganês apresenta concentrações baixas que não excedem o valor limite de emissão estabelecido pelo Decreto-Lei n° 236-98, as concentrações variam para o local 1 entre os 0,42 mg Mn/l e os 0,47 mg Mn/l para o local 1, os 0,39 mg Mn/l e os 0,46 mg Mn/l, e os 0,60 mg Mn/l e os 1,09 mg Mn/l. O valor limite de emissão contemplado no Decreto-Lei n° 236-98, 2,0 mg/l, não foi transposto em nenhuma amostra

Em relação ao chumbo, comparando os valores obtidos nos locais de amostragem referentes a águas residuais não tratadas, o valor máximo de emissão, 2,0 mg/l foi excedido apenas em um momento e num dos locais de amostragem. Este episódio de excedência não reflete grande importância pois trata-se de um episódio único e cuja excedência se situou na casa dos 0,01 mg/l. Ainda assim, a contaminação de chumbo nos efluentes pode resultar do tipo de material que constitui as canalizações do campus de Santiago, se o chumbo fizer parte da sua composição a temperatura da água residual

umenta a sua solubilidade fazendo com que o chumbo se dissolva nos efluentes; outra causa possível é a descarga de soluções provenientes de laboratórios na rede de drenagem do campus.

Relativamente ao ferro detetaram-se excedências relativamente ao valor limite de emissão estabelecido pelo Decreto-Lei nº 236-98, excedências essas que podem ter várias origens. Para todos os dias amostrados o local 2 apresentou concentrações acima dos 2,0 mg Fe/l, já o local de amostragem 1 excedeu o valor limite de emissão no dia 24/06 com uma concentração de 2,39 mg Fe/l, por fim, o local 3 apresenta uma excedência relativa ao dia 21/06 onde a concentração de ferro na amostra é de 2,2 mg Fe /l.

Relativamente ao molibdênio, a sua concentração variou entre os 4,12 mg Mo/l e os 5,38 mg Mo/l para o local 1 e os 1,87 mg Mo/l e os 4,29 mg Mo/l para o local 2. No local de amostragem 3 a concentração de molibdênio revelou-se bastante baixa, sendo que nos últimos dias de amostragem situou-se abaixo dos limites de quantificação do aparelho.

Relativamente aos resultados obtidos nos ensaios para a determinação da carência bioquímica de oxigénio, como já mencionado, as amostras com solução de glucose e ácido glutâmico que serviriam de controlo analítico para os procedimentos realizados não foram semeadas, logo os seus resultados ficaram comprometidos e a sua representação não é pertinente. Além disso, no momento das leituras após os primeiros sete dias de incubação a 20°C das amostras deste parâmetro os resultados revelaram que todo o oxigénio dissolvido presente na amostra tinha sido consumido, aquando das leituras deste parâmetro foram obtidos valores na gama dos 0 mg/l. Conclui-se que estas leituras ficaram comprometidas provavelmente fruto das diluições realizadas e do período de incubação ter sido superior a 5 dias. O mesmo procedimento realizado para as amostras compósitas apresentou igualmente resultados que comprometeram a análise e, relativamente aos resultados obtidos na determinação da carência bioquímica de oxigénio das amostras compósitas através do método 5210D do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, os mesmos ficaram comprometidos devido a uma falha de energia que atingiu o departamento num dos fins de semana em que as amostras estavam na estufa o que resultou na interrupção da agitação dentro dos frascos e na alteração da temperatura das amostras, visto que a estufa esteve desligada durante várias horas.

Uma vez que na determinação da carência química de oxigénio é utilizado um reagente químico (dicromato de potássio) capaz de degradar toda a matéria orgânica, sendo ela biodegradável ou não, é possível aferir que a carência bioquímica de oxigénio nas amostras é inferior à carência química de oxigénio nas mesmas. Considerando que os resultados a ser obtidos na determinação da carência bioquímica de oxigénio no presente projeto tinham como objetivo a verificação da sua concordância com os valores limite de emissão estabelecidos pela AdRA (500 mg/l) e considerando a relação CQO/CBO mencionada poder-se-á afirmar que a única excedência ao valor limite poderá ter ocorrido no dia 21/06 para o local de amostragem, porém não é certo que tal facto aconteceu.

Tabela XXX - Suposição dos valores de CBO5 para as amostras diárias em cada local

	21/06/2021			22/06/2021			23/06/2021			24/06/2021			25/06/2021		
Parâmetro	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3	L-1	L-2	L-3
CBO <sub>5</sub> (mg/l)	<560	<238	<48	<415	<238	<65	<325	<257	<56	<337	<390	<48	<313	<333	<65

De forma a agrupar os resultados obtidos, as tabelas abaixo apresentam um sumário dos resultados obtidos para os diferentes parâmetros, assim, são apresentados os valores máximos obtidos nos cinco dias de amostragem para cada poluente e em cada local de amostragem. Para efeitos de comparação, acrescenta-se também uma coluna com os VLE estabelecidos pela AdRA e que devem ser comparados com os resultados obtidos no local 1 e 2, e uma coluna com os valores estabelecidos pelo Decreto-Lei nº 236/98 de forma a comparar os resultados obtidos no local 3 com a regulamentação relativa à descarga de águas residuais em meios recetores

Tabela XXXI - Sumário dos resultados obtidos nos locais 1 e 2 e sua comparação com a legislação em vigor

Parâmetro	Unidade	Local 1	Local 2	VLE - AdRA
<b>pH</b>	E. Sorensen	[7,6 ; 8,2]	[6,8 ; 7,2]	<b>5,5-9,5</b>
<b>Condutividade</b>	µS/cm	[663 ; 782]	[664 ; 822]	<b>3000</b>
<b>Temperatura</b>	°C	[15,4 ; 16,4]	[15,6 ; 17,2]	<b>30</b>
<b>O<sub>2</sub> Dissolvido</b>	mg O <sub>2</sub> /l	[2,2 ; 5,1]	[0 ; 1,1]	<b>1,0*</b>
<b>Sólidos Totais</b>	mg ST/l	[472 ; 640]	[373 ; 709]	-
<b>SST</b>	mg SST/l	[83,2 ; 210]	[37,6 ; 129,6]	<b>1000</b>
<b>SSV</b>	mg SSV/l	[68 ; 202]	[36 ; 108]	-
<b>CQO<sub>Total</sub></b>	mg O <sub>2</sub> /l	[313 ; 560]	[238 ; 390]	<b>1000</b>
<b>P<sub>Total</sub></b>	mg P/l	[5,0 ; 6,2]	[2,1 ; 4,3]	<b>20</b>
<b>N<sub>Total</sub></b>	mg N/l	[41,8 ; 62,8]	[27,9 ; 42,5]	<b>90</b>
<b>Óleos e Gorduras</b>	mg/l	[15,8 ; 33,0]	[21,0 ; 28,8]	<b>100</b>

\*valor mínimo admissível

Em jeito de resumo, afirma-se que os resultados obtidos para os parâmetros analisados nos locais 1 e 2 não transpõem os limites impostos pela AdRA

Tabela XXXII - Sumários dos resultados obtidos no local 3 e sua comparação com a legislação em vigor

Parâmetro	Unidade	Local 3	VLE – DL 236/98
<b>pH</b>	E. Sorensen	[7,2 ; 7,8]	<b>6,0-9,0</b>
<b>Condutividade</b>	µS/cm	[578 ; 604]	-
<b>Temperatura</b>	°C	[19,3 ; 22,3]	<b>Aumento de 3°C</b>
<b>O<sub>2</sub> Dissolvido</b>	mg O <sub>2</sub> /l	[6,1 ; 10,7]	-
<b>Sólidos Totais</b>	mg ST/l	[366 ; 532]	-
<b>SST</b>	mg SST/l	[6 ; 32]	<b>60</b>
<b>SSV</b>	mg SSV/l	[3,2 ; 24,4]	-
<b>CQO<sub>Total</sub></b>	mg O <sub>2</sub> /l	[48 ; 65]	<b>150</b>
<b>P<sub>Total</sub></b>	mg P/l	[2,9 ; 3,7]	<b>10</b>
<b>N<sub>Total</sub></b>	mg N/l	[0 ; 1,9]	<b>15</b>
<b>Óleos e Gorduras</b>	mg/l	-	<b>15</b>

Relativamente ao local 3, como mencionado também não ocorreram excedências relativas aos VLEs definidos pelo Decreto-Lei nº 236/98, relativamente ao descarte de águas residuais em meios recetores.

*Tabela XXXIII - Sumário dos resultados obtidos relativamente à presença de metais nos locais 1, 2 e 3 e sua comparação com a legislação em vigor*

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Local 1</b>	<b>Local 2</b>	<b>Local 3</b>	<b>VLE – DL 236/98</b>
<b>Cádmio</b>	mg Cd/l	<GQ	<GQ	<GQ	<b>0,2</b>
<b>Chumbo</b>	mg Pb/l	[0,8 ; 2,0]	[0,3 ; 1,3]	[<GQ ; 1,7]	<b>2,0</b>
<b>Cobre</b>	mg Cu/l	<GQ	<GQ	<GQ	<b>1,0</b>
<b>Crómio</b>	mg Cr/l	<GQ	<GQ	<GQ	<b>2,0</b>
<b>Manganês</b>	mg Mn/l	[0,4 ; 0,5]	[0,4 ; 0,5]	[0,6 ; 1,1]	<b>2,0</b>
<b>Molibdênio</b>	mg Mo/l	[4,1 ; 5,4]	[1,9 ; 4,3]	[<GQ ; 0,6]	-
<b>Níquel</b>	mg Ni/l	<GQ	[<GQ ; 0,5]	<GQ	<b>2,0</b>
<b>Ferro Total</b>	mg Fe/l	[1,3 ; 2,4]	[2,4 ; 4,6]	[0,7 ; 2,2]	<b>2,0</b>
<b>Zinco</b>	mg Zn/l	[1,0 ; 1,4]	[0,9 ; 1,3]	[0,4 ; 1,0]	<b>5,0</b>

Na Tabela XXXIII, há a salientar os valores relativamente altos de molibdênio nos locais 1 e 2. Apesar de não haver menção a este poluente no Decreto-Lei nº 236/98 relativamente à descarga do mesmo em meios recetores, os resultados obtidos levantam um alerta relativamente à sua concentração nos locais 1 e 2. O tratamento aeróbio por lagoas arejadas aparenta ter impactos muito positivos na redução da concentração deste poluente no efluente. Relativamente aos restantes poluentes existem algumas excedências, nomeadamente na concentração de Ferro Total nos efluentes dos três locais de amostragem e um valor de chumbo no local 1 equiparável ao Valor Máximo de Emissão estabelecido no decreto acima referido.

## 6 Proposta para um plano de caracterização dos efluentes do campus

Além de um diagnóstico preliminar às águas residuais produzidas no Campus de Santiago, este relatório de projeto tem também como objetivo a elaboração de uma proposta para um plano de caracterização dos efluentes líquidos gerados no campus que servirá como sugestão a análises mais aprofundadas a realizar no futuro a fim de caracterizar de forma completa as águas residuais do campus e num período de ocupação normal do campus, fora do contexto pandémico.

### *6.1 Identificação das instalações e atividades que produzem águas residuais nos edifícios*

Antes de proceder à determinação dos caudais de águas residuais produzidos no campus e à análise dos efluentes é muito relevante identificar o número exato de instalações que contribuem para a produção de águas residuais bem como as atividades desenvolvidas nas mesmas, tal como desenvolvido de forma geral no ponto 3.2.2 do capítulo 3 do presente relatório de projeto, de forma a relacionar as características dos efluentes com as atividades que os produzem. Desta forma será possível aproximar as cargas que as componentes domésticas e industriais têm no efluente residual final.

### *6.2 Estimativas de produção de água residual no campus de Santiago*

De forma a estimar os caudais de águas residuais produzidos no campus de Santiago sugere-se uma abordagem de caracterização edifício a edifício, isto é, verificar os consumos de água de abastecimento em cada edifício. Dentro dos edifícios a água de abastecimento consumida está diretamente relacionada com as águas residuais que serão produzidas dentro do mesmo edifício, isto é, a consulta da água de abastecimento consumida dentro de cada edifício resulta numa aproximação da água residual produzida no mesmo edifício. A água residual produzida no campus poderá ser o equivalente ao somatório dos caudais contabilizados nos contadores de cada edifício mencionado no capítulo 3 do presente relatório de projeto. A consulta dos contadores deverá ser feita mensalmente para o ano todo de forma a determinar posteriormente uma estimativa das águas residuais produzidas anualmente em cada edifício e a capitação média associada a cada aluno/utente do campus por ano. Após obter o caudal estimado mensal é possível obter também uma média do caudal diário.

Para a determinação da capitação de água residual será necessário fazer um levantamento relativo ao número de utilizadores de cada edifício ao longo do mês, para que a aproximação da produção de águas residuais por utente seja a mais próxima da realidade quanto possível. Para obter resultados

mais representativos da atividade normal do Campus de Santiago, esta aquisição de dados deve ser feita num período fora do contexto pandémico.

De forma a complementar a abordagem sugerida deverá ser feita uma quantificação dos caudais de águas residuais através da utilização de caudalímetros a operar nos coletores de águas residuais do campus que representam os pontos mais representativos da passagem de águas residuais produzidas no campus. A tomada de decisão relativamente aos pontos de amostragem para a determinação de caudais de águas residuais deverá ser antecedida da observação da rede de saneamento de águas residuais do campus, sugere-se, por exemplo, que sejam utilizados os pontos de amostragem usados na caracterização preliminar efetuada no presente relatório. Os caudalímetros deverão operar num período de tempo de 24 horas e em períodos caracterizados pela ocupação e atividade normais do campus, ou seja, em períodos do ano em que haja a frequência usual relativamente a aulas presenciais, atividades de investigação, frequência às cantinas, ocupação das residências, entre outros.

De forma a contabilizar o volume de águas residuais produzidas no campus sugere-se a seguinte tabela que a AdRA estabelece no Requerimento para a Rejeição de Águas Residuais Industriais no Sistema Público de Drenagem de Águas Residuais:

*Tabela XXXIV - Caudais e volumes a determinar de acordo com o Requerimento para a Rejeição de Águas Residuais Industriais no Sistema Público de Drenagem de Águas Residuais (AdRA)*

Regime de Rejeição				Volume de Rejeição			Modo de Determinação do Caudal de Rejeição (2)	Observações
Tipo (1)	h/dia	d/mês	mês/ano	Médio Diário m3/dia	Médio anual m3/ano	Caudal de Ponta (L/s)		

(1) C: Contínua, D: Descontínua, E: Esporádica (indicar a periodicidade na coluna “Observações”)

(2) MC: Medidor de Caudal; ES: Estimativa (indicar o método de cálculo na coluna “Observações”)

### 6.3 Parâmetros químicos e físicos a analisar

Apesar da análise preliminar sugerir que as águas residuais produzidas pelo campus poderão ser equiparáveis a águas residuais domésticas, no que diz respeito à sua composição física e química relativamente aos parâmetros analisados, numa análise futura será importante analisar todos os parâmetros estabelecidos na Tabela XVIII de forma caracterizar qualitativamente as águas residuais a descarregar. Na Tabela XVIII estão discriminados os parâmetros a analisar quando existe uma rejeição de águas residuais industriais no sistema público de drenagem de águas residuais da AdRA. Assim, sugere-se que sejam analisados os parâmetros descritos na tabela mencionada. Os métodos de referência para as análises a estes parâmetros estão descritos no Decreto-Lei nº 236/98 e são os seguintes:

Tabela XXXV - Métodos analíticos de referência para a análise dos parâmetros que constam na Tabela XVIII

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Método Analítico de Referência (Decreto Lei nº 236/98)</b>
<b>pH</b>	E. Sorensen	Eletrometria
<b>Temperatura</b>	°C	Termometria
<b>CBO<sub>5</sub> (20°C)</b>	mg O <sub>2</sub> /l	Determinação do O <sub>2</sub> dissolvido antes e após cinco dias de incubação a 20°C ao abrigo da luz, com adição de um inibidor da nitrificação
<b>CQO</b>	mg O <sub>2</sub> /l	Método do Dicromato de Potássio
<b>SST</b>	mg SST/l	Centrifugação (tempo mínimo de cinco minutos; aceleração média de 2800 g a 3200g), secagem a 105°C e pesagem Filtração através de membrana filtrante de 0,45 mm, secagem a 105°C e pesagem.
<b>Azoto Amoniacal</b>	mg N/l	Espetrometria de absorção molecular
<b>Azoto Total</b>	mg N/l	Mineralização, destilação segundo o método Kjeldahl e determinação do amónio por espetrometria de absorção molecular ou titulação
<b>Cloretos</b>	mg/l	Titulação (método de Mohr) Espetrometria de absorção molecular
<b>Coliformes Fecais</b>	NMP/100 ml	Cultura a 44°C em meio sólido específico adequado com ou sem filtração e contagem das colónias. As amostras devem ser diluídas ou, quando apropriado, concentradas a fim de que o número de colónias fique compreendido entre 10 e 100. Se necessário, identificação por gás. Método de diluição com fermentação em substratos líquidos em pelo menos três tubo em três diluições. Subculturas dos tubos positivos como meios de confirmação. Contagem em número mais provável (NMP). Temperatura de incubação 44°C
<b>Condutividade</b>	µS/cm	Eletrometria
<b>Fósforo Total</b>	mg P/l	Espetrometria de Absorção molecular
<b>Óleos e Gorduras</b>	mg/l	-
<b>Sulfatos</b>	mg SO <sub>4</sub> /l	Análise Gravimétrica Complexometria com EDTA Espetrometria de absorção molecular
<b>Aldeídos</b>	mg/l	-
<b>Alumínio Total</b>	mg Al/l	Espetrometria Atômica
<b>Boro</b>	mg B/l	Espetrometria Atômica Espetrometria de Absorção Molecular
<b>Cianetos totais</b>	mg CN/l	Espetrometria de Absorção Molecular
<b>Cloro residual disponível total</b>	µg/l	Método amperimétrico Colorimetria Titulação Espetrometria de absorção molecular

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Método Analítico de Referência (Decreto Lei nº 236/98)</b>
<b>Cobre total</b>	mg Cu/l	Espetrometria Atômica Espetrometria de Absorção Molecular
<b>Crômio Hexavalente</b>	mg Cr VI/l	Espetrometria Atômica Espetrometria de Absorção Molecular
<b>Crômio Total</b>	mg Cr/l	Espetrometria Atômica Espetrometria de Absorção Molecular
<b>Crômio Trivalente</b>	mg Cr III/l	Espetrometria Atômica Espetrometria de Absorção Molecular
<b>Detergentes (laurel-sulfatos)</b>	mg/l	Espetrometria de Absorção Molecular
<b>Estanho Total</b>	mg Sn/l	Espetrometria Atômica
<b>Fenóis</b>	mg C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH/l	Espetrometria de Absorção Molecular Método de 4-aminoantipirina Método de paranitranilina
<b>Ferro Total</b>	mg Fe/l	Espetrometria Atômica Espetrometria de Absorção Molecular
<b>Hidrocarbonetos dissolvidos ou emulsionados</b>	µg/l	Espetrometria no infravermelho após extração pelo tetracloreto de carbono Gravimetria após extração por meio de éter de petróleo
<b>Hidrocarbonetos aromáticos polinucleares</b>	µg/l	Medição da fluorescência por ultravioleta após cromatografia em camada fina Medição comparativa em relação a uma mistura de controlo constituída por seis substâncias padrão com a mesma concentração
<b>Manganês Total</b>	mg Mn/l	Espetrometria Atômica Espetrometria de Absorção Molecular
<b>Nitratos</b>	mg NO <sub>3</sub> /l	Espetrometria de Absorção Molecular
<b>Nitritos</b>	mg NO <sub>2</sub> /l	Espetrometria de Absorção Molecular Cromatografia Iônica
<b>Pesticidas</b>	µg/l	Cromatografia em fase gasosa ou líquida após extração por solventes adequados e purificação Identificação dos constituintes da mistura Determinação quantitativa
<b>Prata Total</b>	mg Ag/l	Espetrometria Atômica Espetrometria de Absorção Molecular
<b>Selénio total</b>	mg Se/l	Espetrometria Atômica
<b>Sulfuretos</b>	mg S/l	-
<b>Vanádio Total</b>	mg V/l	Ausente
<b>Zinco Total</b>	mg Zn/l	Espetrometria Atômica Espetrometria de Absorção Molecular
<b>Azoto Kjeldahl</b>	mg N/l	Mineralização, destilação segundo o método Kjeldahl e determinação do amónio por espetrometria de absorção molecular ou titulação



Tal como Pina, 2010 procedeu, além dos parâmetros mencionados devem ainda ser feitos ensaios de biodegradabilidade de forma a determinar a biodegradabilidade dos efluentes. Para isso, a Portaria nº 732-A/96 refere as seguintes metodologias para a determinação da biodegradabilidade “fácil” dos efluentes:

- Ensaio da redução gradual do carbono orgânico dissolvido (COD);
- Teste de despiste da OCDE modificado
- Ensaio da respirometria manométrica
- Ensaio em frasco fechado
- Ensaio MCII (Ministério do Comércio Internacional da Indústria – Japão)

É importante salientar que no documento relativo ao Requerimento para a Rejeição de Águas Residuais Industriais no Sistema Público de Drenagem de Águas Residuais refere que, e passando a citar, “Caso a atividade desenvolvida não justifique uma análise exaustiva de todos os parâmetros constantes da lista supra, deverá solicitar à AdRA uma indicação exata dos parâmetros exigidos para o caso em apreciação”.

#### *6.4 Campanha de amostragem*

No que concerne à campanha de amostragem sugere-se que a mesma seja dividida em dois momentos relativos a cada um dos semestres letivos. Sugere-se que seja feita uma amostragem nos meses de setembro/outubro, meses em que se principiam as aulas e em que é expectável que o campus esteja com a sua ocupação e atividade ao máximo. No segundo semestre sugere-se que seja feita outra amostragem nos meses de abril/maio no período que antecede a semana académica, por exemplo. A expectativa é que os impactos associados à pandemia de covid-19 sejam bastante reduzidos em comparação com aqueles de 2020 e 2021, e por isso sugere-se que se faça a amostragem nos meses de maior ocupação do campus nos anos anteriores à pandemia. Verificando os valores de consumo de água para abastecimento na Tabela XXII, no ano de 2019 (ano que serve de exemplo à situação pré-pandemia) verifica-se que os meses mencionados são os meses de maior consumo, sendo por isso previsivelmente os meses de maior taxa de ocupação do campus e maior produção de águas residuais.

Os pontos de amostragem selecionados devem ser os mais representativos, ou seja, devem estar localizados nos coletores por onde passam as águas residuais provenientes de todos os edifícios do campus. Sugere-se a seleção dos pontos de amostragem escolhidos neste projeto para fazer a análise preliminar aos efluentes, ou seja, o coletor situado no Parque do Inglês e os coletores situados nas Lagoas Arejadas, à entrada e à saída das mesmas.

Relativamente ao material para realizar as amostragens, os volumes de amostra a recolher, qual o tipo de recipientes a utilizar durante o transporte e as condições de preservação das amostras deverá ser consultado o capítulo 1060B Collection and Preservation of Samples do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

## *6.5 Determinação das cargas de poluentes nos efluentes residuais*

Para determinar as cargas de poluentes nos efluentes residuais do campus de Santiago sugere-se a utilização dos dados recolhidos acerca da utilização dos edifícios do campus e dos resultados das análises aos parâmetros referidos na Tabela XXXII.

## 7 Conclusões e Melhorias Sugeridas

O presente relatório de projeto teve como objetivos a caracterização preliminar das águas residuais do campus de Santiago a nível físico-químico, de caudais de águas residuais produzidas e de caudais de água de abastecimento consumidos, bem como, a realização de uma proposta de um plano de caracterização dos efluentes residuais do Campus de Santiago a ser seguido no futuro.

No que concerne à reunião de informação relativa ao tipo de instalações e atividades que geram águas residuais no Campus de Santiago constatou-se que o denominador comum todos os edifícios é a existência de casas de banho de uso diário que têm como principais atividades geradoras de águas residuais a descarga do autoclismo e a utilização das torneiras dos lavatórios. Foram contabilizados 35 edifícios no Campus de Santiago e em todos eles existem casas de banho, responsáveis por grande parte da produção de água residual no campus. Relativamente a edifícios cujas atividades que produzem águas estão relacionadas com a preparação, confeção de alimentos e lavagem de loiça foram contabilizados 14 dos 35 edifícios totais. A produção de água residual resultante da lavagem de roupa está associada ao Complexo Residencial Universitário de Santiago. A toma de duchas ocorre em 2 dos 35 edifícios do Campus, sendo que devido à pandemia de Covid-19 a sua ocorrência foi praticamente nula no Pavilhão Polidesportivo Aristides Hall. Por fim, além da utilização das casas de banho também os laboratórios presentes em 16 dos 35 edifícios representam grande parte da produção de águas residuais no Campus de Santiago.

A observação da planta das redes de drenagem de águas residuais permitiu identificar dois subsistemas de drenagem no campus: o sistema de drenagem localizado na extremidade sudeste da Universidade de Aveiro, e o sistema de drenagem localizado na extremidade nordeste da Universidade. A observação da Tabela XXII, permite aferir que sendo que o volume de água de abastecimento que dá entrada pelas condutas de abastecimento localizadas junto do Pavilhão Aristides Hall (extremo sudeste da Universidade) é bastante superior ao volume de água de abastecimento que dá entrada nas condutas da Entrada Norte (extremo nordeste da Universidade), a produção de águas residuais no extremo sudeste é também superior à produção de águas residuais no extremo nordeste do Campus. Sendo assim, a Universidade de Aveiro descarrega a maior parte dos seus efluentes residuais no sistema de drenagem da AdRA, havendo uma menor parte que é encaminhada para tratamento nas lagoas arejadas da Universidade.

A análise feita para os efluentes descarregados no sistema de drenagem da AdRA teve os seguintes resultados: Sólidos Totais: entre 472 mg/l e 640 mg/l; Sólidos Suspensos Totais: entre 83,2 mg/l e 210 mg/l; Sólidos Suspensos Voláteis: entre 68 mg/l e 202 mg/l; CQO<sub>Total</sub>: 313 mg/l e 560 mg/l; CQO<sub>Solúvel</sub>: entre os 199 mg/l e os 277 mg/l; Fósforo Total: entre 5,0 mg/l e os 6,2 mg/l; Azoto Total: entre 41,8 mg/l e os 62,8 mg/l; Óleos e Gorduras: entre 15,8 mg/l e os 33,0 mg/l; Cd: Abaixo da Gama de Quantificação; Pb: entre os 0,8 mg/l e 2,0 mg/l; Cu: Abaixo da Gama de Quantificação; Cr: Abaixo da Gama de Quantificação; Fe: entre 1,3 mg/l e 2,4 mg/l; Mn: 0,4 mg/l e os 0,5 mg/l; Mo: 4,1 mg/l e os 5,4 mg/l; Ni: Abaixo da Gama de Quantificação; Zn: 1,0 mg/l e os 1,4 mg/l.

Apesar de não terem sido encontrados valores limite de emissão do molibdênio em águas residuais, a sua concentração no efluente relativo ao local de amostragem levanta algumas suspeitas relativas

a uma possível contaminação por molibdênio. À exceção do molibdênio nenhum dos componentes analisados no local de amostragem 1 apresenta concentrações significativas nas águas residuais, o que leva a concluir que a sua presença não é problemática relativamente à descarga de efluentes residuais no sistema de drenagem da AdRA. O caso do Molibdênio carece de uma análise mais aprofundada no futuro pois a sua determinação neste projeto cingiu-se aos cinco dias da amostragem o que é um período relativamente curto e que pode não representar uma circunstância permanente, não se podendo por isso aferir que o Molibdênio representa uma contrapartida na descarga dos efluentes residuais do Campus de Santiago na rede de drenagem da AdRA. Considerando que os resultados obtidos não ultrapassam os valores máximos de emissão referidos pela AdRA, e apenas com base nos resultados obtidos para os parâmetros analisados no presente projeto conclui-se que as águas residuais produzidas no Campus de Santiago poderão ser equiparadas a águas residuais de carácter doméstico.

Relativamente aos resultados obtidos para os mesmos parâmetros na entrada e na saída das lagoas arejadas é possível afirmar que o tratamento por lagoas arejadas se revelou eficiente na remoção de matéria orgânica oxidável quimicamente, na remoção de azoto total, na remoção de ferro do efluente, na remoção do molibdênio e na remoção do níquel do efluente. De forma a fazer um reaproveitamento da água tratada pelas lagoas arejadas, sugere-se a possibilidade de implementar um sistema de rega de forma a regar as áreas verdes do Campus de Santiago. O Decreto-Lei nº 236-98 contempla uma listagem com os valores máximos admissíveis e recomendáveis que garantem a qualidade de águas destinadas à rega, seja ela paisagística ou agrícola. Os resultados obtidos no presente projeto relativamente ao pH, Sólidos Suspensos Totais, Cádmiu, Chumbo, Cobre, Crómio, Ferro, Níquel e Zinco encontram-se abaixo quer do limite de valor máximo recomendável, quer do limite de valor máximo admissível para este tipo de utilizações. Os valores obtidos para o Manganês ultrapassam o valor máximo recomendável (0,2 mg/l) mas não ultrapassam o valor máximo admissível (10 mg/l); a presença de molibdênio, detetável pelo aparelho, na água residual tratada ocorreu no primeiro dia de amostragem, sendo que nos dias seguintes a sua presença encontrava-se abaixo do limite de quantificação do aparelho (0,1 mg/l), será necessária uma análise mais aprofundada e num período de tempo mais alargado para determinar se a presença deste metal é realmente impeditiva para a utilização da água residual tratada pelo sistema das lagoas arejadas na rega dos espaços verdes do campus de Santiago.

Assim, relativamente aos parâmetros analisados, conclui-se que os efluentes estudados podem ser equiparados a efluentes de carácter doméstico por não transgredirem os valores limite impostos quer pela AdRA quer pelo Decreto-Lei nº 236/98. Conclui-se ainda que o sistema de tratamento de águas residuais da Universidade de Aveiro revela-se particularmente eficiente na redução da concentração dos seguintes parâmetros: sólidos totais; matéria orgânica; azoto e molibdênio; e aumento da concentração de oxigénio dissolvido no efluente.

Como já referido, perto do Campus de Santiago existe uma ETAR fora de funcionamento cuja operacionalização seria interessante do ponto de vista do tratamento das águas residuais com origem no Campus de Santiago pois poderia permitir a implementação de um sistema de aproveitamento das mesmas para fins de regadio paisagístico das áreas verdes da universidade, reduzindo custos associados à descarga de águas residuais nos coletores municipais e ao abastecimento de água necessária à rega das áreas verdes.



# Bibliografia

- Águas da Região de Aveiro. (2018). *Website AdRA*. Águas Da Região de Aveiro. <https://www.adra.pt/home>
- Águas do Centro Litoral. (2020). *Website da Águas do Centro Litoral*. <https://www.aguasdocentrolitoral.pt/>
- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (1992). Part 3000 Metals. 3111 Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. 3111 B Direct Air - Acetylene Flame Method. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, 3–104.
- Benes, V., Birkenhager, W. H., & Coin, D. (1979). Sodium, chlorides, and conductivity in drinking-water. In *Euro Reports and Studies: Vol. No 2*.
- Bertolino, S. M., Carvalho, C. F., & Aquino, S. F. (2008). Characterization and biodegradability of wastewater produced in university campus. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 13(3), 271–277.
- Butler, D., & Davies, J. w. (2004). Urban Drainage 2nd Edition. In *Urban drainage*.
- Cabrera, M. N. (2017). Pulp Mill Wastewater: Characteristics and Treatment. *Biological Wastewater Treatment and Resource Recovery*, October. <https://doi.org/10.5772/67537>
- Câmara Municipal de Aveiro. (2020). *Relatório sobre o Estado do Ordenamento do Território de Aveiro 2020*.
- Conselho de Reitores Portugueses. (2021). *Website do Conselho de Reitores Protugueses*.
- Diaz, M. (2018). Ecuaciones y Cálculos para el Tratamiento de Águas. In *Liberdigital, S.L*.
- Domingues, P., & Simões, M. (2001). Guia De Segurança. *Departamento de Qumica Da Universidade de Aveiro*, 95.
- Dong, X., Wang, Y., Jia, M., Niu, Z., Cai, J., Yu, X., Ke, X., Yao, J., & Zhang, X. (2019). Sustainable and scalable in-situ synthesis of hydrochar-wrapped Ti3AlC2-derived nanofibers as adsorbents to remove heavy metals. *Bioresource Technology*, 282(December 2018), 222–227.
- Dutta, D., Arya, S., & Kumar, S. (2021). Industrial wastewater treatment: Current trends, bottlenecks, and best practices. *Chemosphere*, 285(May), 131245.
- Eckenfelder, W. (2000). Industrial Water Pollution Control 3rd Edition. In *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*.
- Emenike, P., Tenebe, I., Omole, D., Ndambuki, J., Ogbiye, A., & Sojobi, A. (2015). *Application of water recovery option for agricultural use in developing countries: Case study of a Nigerian community. Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development, Humboldt University of Berlin*.
- Gabriela Pedro. (2018). *Gestão de águas pluviais no Campus Universitário de Santiago*. Universidade de Aveiro.
- Han, L., Pei, H., Hu, W., Han, F., Song, M., & Zhang, S. (2014). Nutrient removal and lipid accumulation properties of newly isolated microalgal strains. *Bioresource Technology*, 165(C), 38–41.
- Hoek, W. (2004). *A framework for a global assessment of the extent of wastewater irrigation: The need for a common typology. Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Confronting the Livelihood and Environmental Realities, eds C.A. Scott, N.I. Faruqui & L. Raschid-Sally, I*.
- Huang, M., Li, A., Zhao, F., Xie, X., Li, K., Jing, Y., Liu, D., & Zhao, L. (2018). Design, synthesis and biological evaluation of ring A modified 11-keto-boswellic acid derivatives as Pin1 inhibitors with remarkable anti-prostate cancer activity. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*, 28(19), 3187–3193.
- Instituto de Engenharia Eletrónica e Telemática de Aveiro. (2020). *Website do IEETA*.
- Jiang, C., Wang, X., Wang, G., Hao, C., Li, X., & Li, T. (2019). Adsorption performance of a polysaccharide composite hydrogel based on crosslinked glucan/chitosan for heavy metal ions. *Composites Part B: Engineering*, 169(October 2018), 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.03.082>
- Kumwenda, S., & Kambala, C. (2012). Determination of Biological, Physical and Chemical Pollutants in Mudi River, Blantyre, Malawi RBF4MNH Evaluation View project. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2(7), 6833–6839.
- Marcos do Monte, H., & Albuquerque, A. (2010). *Reutilização de Águas Residuais*.
- Metcalf & Eddy. (2004). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (Book). In *Chemical engineering* (Issue 7).
- Mogens, J. la C. H., Poul, H., Erik, A., & Jansen. (1997). *Wastewater treatment. Biological and Chemical Processes*. (2nd ed.).
- Monte, H. M., Santos, M. T., Barreiros, A. M., & Albuquerque, A. (2016). *Tratamento de Águas Residuais - Operações e Processos de Tratamento Físico e Químico*. [www.ersar.pt](http://www.ersar.pt)

- Mumba, J. (2017). *USE OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY FOR ACADEMIC PURPOSES BY UNDERGRADUATE STUDENTS AT MZUZU UNIVERSITY*.
- Município de Aveiro. (2019). *Revisão do Plano Diretor Municipal de Aveiro, Estudos de Caracterização - Sistema Urbano, Relatório 3*.
- Nacional, U., & Rica, C. (2020). *Physical, chemical, and biological treatment of chemical waste from teaching laboratories at. 34, 82–94*.
- National Research Council. (1996). Use of Reclaimed Water and Sludge in Food Crop Production. In *Use of Reclaimed Water and Sludge in Food Crop Production*.
- Ngoma, W., Hoko, Z., Misi, S., & Chidya, R. C. G. (2020). Assessment of efficiency of a decentralized wastewater treatment plant at Mzuzu University, Mzuzu, Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth, 118–119*(June), 102903.
- Omole, D. O., Alade, O. O., Emenike, P. C., Tenebe, I. T., Ogbiye, A. S., & Ngene, B. U. (2017). Quality assessment of a university campus wastewater resource. *WIT Transactions on Ecology and the Environment, 216*, 193–201.
- Pina, M. A. de G. (2010). *Caracterização das águas residuais produzidas no campus universitário da FCT/UNL* [Faculdade de Ciências e Tecnologias].
- Population Matters. (2021). *Population: The Numbers*. <https://populationmatters.org/>
- Rajagopal, R., Saady, N. M. C., Torrijos, M., Thanikal, J. V., & Hung, Y. T. (2013). Sustainable agro-food industrial wastewater treatment using high rate anaerobic process. *Water (Switzerland), 5*(1), 292–311.
- Russac, D., Rushton, K., & Simpson, R. (1991). Insights into domestic demand from a metering trial. *Water and Environment Journal - Promoting Sustainable Solutions, 5*(3), 242–351.
- Silva Rodrigues, I. M. (2012). *Sistema de Apoio à Exploração de Estações de Tratamento de Águas Residuais*.
- Sonune, A., & Ghate, R. (2004). Developments in wastewater treatment methods. *Desalination, 167*(1–3), 55–63.
- Suhr, M., Klein, G., Kourti, I., Rodrigo Gonzalo, M., Giner Santonja, G., Roudier, S., & Delgado Sancho, L. (2015). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board*.
- Sun, Y., Lan, J., Du, Y., Li, Z., Liao, X., Du, D., Ye, H., Zhang, T. C., & Chen, S. (2020). Efficient removal of heavy metals by synergistic actions of microorganisms and waste molasses. *Bioresource Technology, 302*(January), 122797.
- Universidade de Aveiro. (2021). *Website da Universidade de Aveiro*. <https://www.ua.pt/pt/universidade>
- Venâncio, J. M. de M. V. (2020). *Tratamento de efluentes provenientes de fábricas de pasta de papel ( Processo Kraft )*.
- Wanda, E. M. M., Gulula, L. C., & Kushe, J. (2014). An assessment of effectiveness of the Lunyangwa River catchment co-management model in Mzuzu City, Northern Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth, 72*, 96–103.
- Yap, P. L., Auyoong, Y. L., Hassan, K., Farivar, F., Tran, D. N. H., Ma, J., & Losic, D. (2020). Multithiol functionalized graphene bio-sponge via photoinitiated thiol-ene click chemistry for efficient heavy metal ions adsorption. *Chemical Engineering Journal, 395*(April), 124965.
- Zou, Y., Wang, X., Khan, A., Wang, P., Liu, Y., Alsaedi, A., Hayat, T., & Wang, X. (2016). Environmental Remediation and Application of Nanoscale Zero-Valent Iron and Its Composites for the Removal of Heavy Metal Ions: A Review. *Environmental Science and Technology, 50*(14), 7290–7304.