



Sistema Autónomo de Recolha de Informação Genética para Meio Aquático

PEDRO EMANUEL JORGE BARBOSA

novembro de 2020

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

Sistema Autónomo de Recolha de Informação Genética para Meio Aquático

Pedro Emanuel Jorge Barbosa



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de Especialização em Sistemas Autónomos

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

2020

Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Unidade Curricular de Tese/Dissertação, do 2.º ano, do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores.

Candidato: Pedro Emanuel Jorge Barbosa, 1140467@isep.ipp.pt

Orientação científica: Alfredo Manuel Oliveira Martins, aom@isep.ipp.pt



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de Especialização em Sistemas Autónomos

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

14 de novembro de 2020

Agradecimentos

Com a conclusão de mais uma etapa da minha vida académica, quero agradecer aos bolsiros, investigadores, docentes e alunos pertencentes ao Laboratório de Sistemas Autónomos (LSA), no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), que sempre me ajudaram em todas as dúvidas e se disponibilizaram para o esclarecimento das mesmas.

Em primeiro lugar e em especial, direciono um enorme agradecimento ao meu orientador, ao Engenheiro Alfredo Manuel Oliveira Martins, que sempre se disponibilizou, apesar da sua completa agenda, para o esclarecimento de todas as dúvidas, pela orientação e pela transmissão dos seus conhecimentos, que permitiu desenvolver as minhas capacidades de trabalho e expandir largamente os meus conhecimentos.

Agradeço também aos meus colegas de curso e aos meus amigos, uma vez que sempre me apoiaram, acompanharam e ajudaram ao longo do meu percurso académico.

Por último, mas não menos importante, agradeço à minha família, em especial aos meus pais, ao meu irmão e aos meus avós, por acreditarem sempre em mim, naquilo que faço e por todos os ensinamentos de vida.

A todos eles, um grande obrigado.

Pedro Barbosa

Resumo

Ao longo deste documento, encontra-se relatado o desenvolvimento de um projeto inserido no âmbito da unidade curricular de Tese/Dissertação do 2º ano curricular do plano de estudos do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (MEEC), na área de especialização de Sistemas Autónomos (SA) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), proposto pelo Laboratório de Sistemas Autónomos (LSA).

O projeto visa o desenvolvimento de um sistema autónomo de recolha de amostras de água e da monitorização aquática como ferramenta de apoio à vigilância e aos estudos dos mares e oceanos. A solução desenvolvida é constituída por três encapsulamentos à prova de água: um com o sistema de amostragem, a unidade de processamento e a unidade de monitorização das baterias; outro com as amostras de filtro; e o último com o sistema de monitorização de parâmetros da água. Foram desenvolvidas placas de circuito impresso, assembladas com todos os componentes necessários, instalado o respetivo *software* do projeto e foi colocado todo o *hardware* nos devidos encapsulamentos.

O sistema é descrito do ponto de vista de *hardware*, *software* e estrutura mecânica. Os resultados obtidos com o protótipo em condições semi-controladas permitiram a caracterização e validação do desempenho do Sistema Autónomo de Recolha de Informação Genética para Meio Aquático.

Palavras-Chave: sistema autónomo, amostragem aquática, filtragem, sterivex, monitorização água, informação genética

Abstract

Throughout this document is presented the development of the project proposed by the Autonomous Systems Laboratory (LSA), inserted within the scope of the Thesis / Dissertation curricular unit of the 2nd curricular year of the studies of the Master in Electrical and Computer Engineering (MEEC), in the area of specialization of Autonomous Systems (SA) of the Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

The project addresses the development of an autonomous sample collection system monitoring and water monitoring as a tool to support surveillance and studies of seas and oceans. The developed solution consists of three waterproof enclosures: one with the sampling system, the processing unit and the battery monitoring; another with the filter samples; and the last one with the water monitoring system. Printed circuit boards were developed, assembled with all necessary components, installed the respective project software and all the hardware was placed in the appropriate enclosures.

The system is described from the point of view of hardware, software and mechanical structure. The results obtained with the prototype in semi-controlled conditions allowed the characterization and validation of the performance of the Autonomous Biosampler for Aquatic Environment.

Keywords: autonomous system, aquatic sample, filter, sterivex, water monitoring, genetic information

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Contextualização e Motivação	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Organização da dissertação	2
2	Estado da Arte	5
2.1	Métodos de recolha, filtragem e análise de água	5
2.1.1	Sistemas de recolha	5
2.1.2	Sistemas de recolha e filtragem	9
2.1.3	Sistemas de recolha, filtragem e análise	12
2.2	Análise crítica ao estado de arte	14
3	Conceitos Teóricos	15
3.1	Princípios de filtração	15
3.2	Indicadores da qualidade da água	17
3.2.1	Temperatura	17
3.2.2	Potencial de hidrogénio - pH	18
3.2.3	Oxigénio dissolvido - DO	18
3.2.4	Condutividade Elétrica (EC), Salinidade e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS)	19
3.2.5	Turbidez, Total de Sólidos Suspensos (TSS), Claridade da Água	20
3.2.6	Algas, Fitoplâncton, Clorofila e Blue-Green Algae (BGA)	21
3.2.7	Amónio, Amónia, Nitrato	22
3.3	Bioincrustação	23
4	Análise de Requisitos	25
4.1	Cenários de aplicação	25
4.2	Requisitos para o sistema	26
5	Sistema Autónomo de Amostragem e Monitorização Aquática	29
5.1	Arquitetura do Sistema	29
5.1.1	Arquitetura de <i>hardware</i>	29
5.1.2	Arquitetura de <i>software</i>	30
5.2	Desenvolvimento	31
5.2.1	Amostras	31
5.2.2	Controlo e Hidráulica	33
5.2.3	Sensores	36
5.2.4	Anti-bioincrustação	38

5.2.5	Monitorização do meio aquático	39
5.2.6	Armazenamento	42
5.2.7	Fonte de energia	42
5.3	Estrutura mecânica	44
6	Implementação e Resultados	47
6.1	<i>Hardware</i>	47
6.1.1	Sistema de monitorização do meio aquático	47
6.1.2	Sistema de recolha de amostras, monitorização da bateria e armazenamento	50
6.2	<i>Software</i>	59
6.2.1	take_sample	64
6.2.2	water_monitoring	65
6.2.3	read_cells	67
6.2.4	Arquitetura de Software - resumo	67
6.3	Estrutura mecânica	68
6.3.1	Estrutura interna	68
6.3.2	Estrutura externa	69
6.3.3	Simulação de pressão	72
7	Conclusão	77
	Referências	79
A	Esquema Elétrico do Sistema de Monitorização da Água	87
B	Esquema Elétrico do Sistema de Recolha de Amostras	89
C	Procedimentos para calibrar sensores	91
C.1	Sensor de Temperatura	91
C.2	Sensor de Condutividade	91
C.3	Sensor de pH	91
C.4	Sensor de Oxigénio Dissolvido	91
C.5	Sensor de Turbidez	92
D	Dimensões da estrutura mecânica para o sistema de recolha de amostras	93
E	Dimensões da estrutura mecânica para o sistema de monitorização de água	95
F	SOLIDWORKS Flow Simulation	97

Lista de Figuras

2.1	SBE 911plus CTD.	6
2.2	AquaLAB Water Sampler.	7
2.3	High-Pressure Serial Sampler.	7
2.4	Sistema desenvolvido para controlar a água de uma nascente.	8
2.5	Configuração esquemática do WISE.	9
2.6	Modular Autonomous Biosampler.	10
2.7	Autonomous Microbial Sampler (AMS).	11
2.8	Phytoplankton Sampler (PPS).	11
2.9	MarinEye.	12
2.10	Environmental Sample Processor.	13
2.11	Autonomous Microbial Genosensor.	14
3.1	Efeitos da temperatura noutros parâmetros da qualidade da água.	17
3.2	Comportamento da biodiversidade perante diferentes valores de pH.	18
3.3	Distribuição do oxigénio dissolvido ao logo da coluna marítima	19
3.4	Iões mais comuns presentes na água do mar.	20
4.1	Sistema nos diferentes cenários de aplicação.	26
5.1	Arquitetura conceptual do <i>hardware</i> do sistema.	30
5.2	Arquitetura conceptual do <i>software</i> do sistema.	30
5.3	Unidades de filtro.	32
5.4	Bomba hidráulica e placa de controlo.	34
5.5	Válvulas direccionais utilizadas.	36
5.6	Sensor de fluxo utilizado.	37
5.7	Sensores de pressão utilizados.	38
5.8	Sensor de temperatura utilizado.	39
5.9	Sensor de condutividade utilizado.	40
5.10	Sensor de pH utilizado	40
5.11	Sensor de oxigénio dissolvido utilizado.	41
5.12	Sensor de turbidez utilizado.	42
5.13	Conceito da estrutura mecânica.	44
5.14	Conectores para a união entre a secção de controlo e de amostra	44
6.1	Placa de processamento de sinal e de isolamento utilizadas juntamente com o sensor de oxigénio dissolvido (DO).	48
6.2	Divisor de tensão de precisão.	49
6.3	Esquema de ligação do microcontrolador responsável pela monitorização aquática.	49

6.4	Dimensão, visão superior e inferior da PCB da monitorização do meio aquático	50
6.5	Sistema de monitorização do meio aquático	50
6.6	Controlo dos manifolds.	51
6.7	Controlo das válvulas de seleção de entrada.	52
6.8	Controlo das luzes ultravioleta.	52
6.9	Circuito integrado responsável pela leitura das células.	53
6.10	Esquema de controlo do estado do sistema.	53
6.11	Conversores abaixadores de tensão.	54
6.12	Rele de dois pólos.	54
6.13	Cartão de Memória.	55
6.14	Esquema de ligação do microcontrolador.	56
6.15	Divisor de tensão para os sensores de fluxo e pressão interna.	56
6.16	Dimensão, visão superior e inferior da PCB do sistema de recolha de amostras.	57
6.17	PCB desenvolvida para o sistema de recolha de amostras.	57
6.18	Sistema de recolha de amostras.	58
6.19	Sequência de reset.	62
6.20	Instrução para iniciar conversão com resolução de 12 bits.	62
6.21	Trama de pedido (a) e resposta (b) do sensor de pressão.	63
6.22	Diagrama de estados durante o processo de recolha de amostra.	64
6.23	Variáveis durante a recolha de uma amostra.	65
6.24	Estrutura interna do sistema de recolha de amostras.	69
6.25	Estrutura externa do sistema de recolha de amostras.	69
6.26	Ranhuras para os o-rings.	70
6.27	Tampas da secção 1.	70
6.28	Tampas da secção 2.	71
6.29	Estrutura externa do sistema de monitorização da água.	71
6.30	Tampas da secção 3.	72
6.31	Resultados do sistema de recolha de amostras submetido a 3.1 bar.	73
6.32	Valor máximo de pressão interna a 3.1 bar do sistema de recolha de amostras.	73
6.33	Valor máximo de deformação a 3.1 bar do sistema de recolha de amostras.	74
6.34	Resultados do sistema de monitorização da água submetido a 3.1 bar.	75
6.35	Valor máximo de pressão interna a 3.1 bar.	76
6.36	Valor máximo de deformação a 3.1 bar.	76
F.1	Resultados do sistema de recolha de amostras submetida a 30 bar.	97
F.2	Resultados da estrutura mecânica submetida a 55 bar.	98

Lista de Tabelas

3.1	Tipos de filtração com membrana.	16
3.2	Tipos de Filtro.	16
5.1	Comparação das unidades de filtro.	32
5.2	Comparação entre bombas hidráulicas de engrenagem.	33
5.3	Características de algumas válvulas direcionais.	35
5.4	Características do sensor de fluxo.	37
5.5	Características dos sensores de pressão utilizados.	38
5.6	Caraterísticas do UV LED.	39
5.7	Características dos sensores utilizados	42
5.8	Consumo energético	43
6.1	Interfaces utilizadas pelos sensores.	48
6.2	Requisitos para o microcontrolador.	55
6.3	Trama de envio e resposta.	59
6.4	Comandos utilizados no protocolo de comunicação entre o utilizador e o sistema.	59
6.5	Dados a enviar quando realizados pedidos pelo utilizador.	60
6.6	Trama de resposta ao pedido de recolha de uma amostra	60
6.7	Tabela de dados para calibrar sensores.	60
6.8	Trama de resposta com o estado do sistema.	60
6.9	Trama de resposta com valores dos sensores.	61
6.10	Trama de envio e resposta.	66
6.11	Comandos.	66
6.12	Trama de resposta com valores dos sensores.	66
6.13	Comandos para calibração dos sensores.	67
6.14	Composição da estrutura interna.	69

Lista de Acrónimos

ADN	Ácido Desoxirribonucleico
AMG	Autonomous Microbial Genosensor
AMS	Autonomous Microbial Sampler
ASV	Autonomous Surface Vehicles
AUV	Autonomous Underwater Vehicle
BGA	Blue-Green Algae
CC	Corrente Contínua
CCD	Charge-Coupled Device
CDOM	Colored Dissolved Organic Matter
CRAS	Centro de Robótica e Sistemas Autónomos
DO	Dissolved Oxygen
EC	Electrical Conductivity
ESP	Environmental Sample Processor
EUA	Estados Unidos da América
EVA	Exploration VAMOS AUV
HAB	Harmful Algal Bloom
HPSS	High-Pressure Serial Sampler
I2C	Inter-Integrated Circuit
INESC TEC	Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
LED	Light-Emitting Diode
LSA	Laboratório de Sistemas Autónomos
MAB	Modular Autonomous Biosampler
MBARI	Monterey Bay Aquarium Research Institute
MEEC	Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
MOSFET	Metal–Oxide–Semiconductor Field-Effect Transistor

NASBA	Nucleic Acid Based Sequence Amplification
PPS	Phytoplankton Sampler
PWM	Pulse-Width Modulation
RGB	Red Green Blue
RNA	Ácido Ribonucleico
RTD	Resistencia e Temperature Detector
SA	Sistemas Autónomos
SPI	Serial Peripheral Interface
TDS	Total Dissolved Solids
TRL	Technology Readiness Level
TSS	Total Suspended Solids
UV	Ultravioleta
VAMOS	Viable Alternative Mine Operating System
WISE	Water Sampler of Intermittent Suction With an Evacuated Chamber
WTS-LV	Large Volume Water Transfer System
pH	Potential of Hydrogen

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização e Motivação

A água pode ser encontrada na superfície, acima ou abaixo da crosta terrestre, no estado sólido, líquido ou gasoso, representando cerca de 71% de toda a superfície. Esta é o elemento fundamental da vida no nosso planeta, sendo um dos requisitos primordiais para o surgimento das primeiras formas de vida no planeta [1]. Desde os primeiros registos de atividade biológica, por volta de 3.5 mil milhões de anos atrás, até hoje, todas as formas de vida dependem de água para sobreviver.

Por isso, a preservação, o controlo da qualidade e o estudo da água é um aspeto fundamental para a vida pois, permite determinar as condições de sobrevivência dos seres vivos naquele meio.

Do ponto de vista biológico, as propriedades da água são de natureza crucial e têm um impacto relevante no ecossistema e em estudos oceanográficos particulares. Estas propriedades são tipicamente avaliadas em campanhas ou medições e podem ser obtidas a partir de leituras diretas de um sensor (com parâmetro multi-paramétrico ou várias sondas) ou de análises à posteriori em laboratório.

Esta dissertação surgiu no âmbito da unidade curricular Tese/Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (MEEC) na área de especialização de Sistemas Autónomos (SA) do Instituto Superior de Engenharia do Porto. Esta foi proposta pelo Laboratório de Sistemas Autónomos (LSA), que se integra no Centro de Robótica e Sistemas Autónomos (CRAS) do Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência (INESC TEC) que tem vindo a participar em vários projetos, focados em navegação autónoma, sensorização, mapeamento e intervenção em meio sub-aquático.

Neste seguimento, esta dissertação consiste no desenvolvimento de um sistema autónomo de recolha de informação genética¹ para ambiente aquático, que seja capaz de recolher informações para a caracterização físico-química e biológica do meio em que for inserido.

¹Para, por exemplo, análises genómicas, metagenómicas e/ou transcriptómicas de comunidades plató-nicas.

Deste modo, pretende-se que este sistema possa ser utilizado autonomamente, como, por exemplo, acoplado a uma embarcação, ou como suplemento a outros sistemas, como, por exemplo, amarrações oceanográficas e *Autonomous Underwater Vehicles* (AUVs).

A utilização do sistema como suplemento é particularmente útil para projetos como o ROAZ [2] e o TURTLE [3]. O ROAZ é um *Autonomous Surface Vehicle* (ASV) projetado para a monitorização ambientes aquáticos, batimetria, aquisição de dados e missões de busca e salvamento. O TURTLE é um veículo híbrido capaz de permanecer no fundo do mar por longos períodos de tempo, posicionar-se de forma autónoma e transportar material/ferramentas para o leito marítimo.

Destaca-se em particular o uso como subsistema do projeto MarinEye [4], uma vez que este é um sistema autónomo, modular e compacto, de monitorização química, física e biológica de ambientes aquáticos, capaz de ser acoplado a plataformas fixas ou móveis.

1.2 Objetivos

Esta dissertação tem como principal objetivo o desenvolvimento de um sistema autónomo capaz de recolher e filtrar amostras de água para posterior análise em laboratório e de monitorizar o meio aquático. Como tal, são estabelecidos os seguintes objetivos:

- Estudo do estado da arte relacionado;
- Identificação e análise dos requisitos de acordo com os cenários de aplicação;
- Desenvolvimento de uma solução para recolha de material biólogo;
- Desenvolvimento de um sistema de monitorização do meio aquático;
- Validação do sistema em ambiente controlado e em situação real.

1.3 Organização da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em capítulos e estes em subcapítulos, de forma a facilitar a leitura e compreensão relativa a todo o projeto desenvolvido.

No Capítulo 1 é apresentada uma contextualização ao tema, principais motivações que levaram ao desenvolvimento desta dissertação e em seguida são apresentados os principais objetivos a cumprir.

No Capítulo 2 é realizado um estudo dos diferentes métodos de recolha, filtragem e análise de água, onde são reunidas informações relevantes sobre os principais projetos onde são aplicados os vários métodos. O capítulo encerra com um sumário no qual são discutidas as principais conclusões relativamente a todos os assuntos abordados neste mesmo capítulo.

No Capítulo 3 são apresentados alguns conceitos teóricos fundamentais, como, por exemplo, princípios de filtração, a explicação da importância dos indicadores de água e as causas, consequências e o combate da bioincrustação.

No Capítulo 4 são apresentados os principais cenários de aplicação do projeto a desenvolver e são apresentados os requisitos relevantes para o dimensionamento do sistema para uma melhor estruturação do mesmo.

No Capítulo 5 é apresentada a arquitetura de *hardware* e *software*, onde é descrita a organização do sistema, o dimensionamento do projeto, onde é apresentada uma análise dos diferentes componentes selecionados e a justificação da sua seleção e uma proposta para a estrutura mecânica.

No Capítulo 6 é apresentado o *hardware* e *software* desenvolvido para o controlo do sistema de amostragem e monitorização aquática. De seguida é apresentada a estrutura mecânica desenvolvida e a sua respetiva simulação, realizada no software SolidWorks onde é possível observar o comportamento da estrutura para diferentes pressões. Neste capítulo são também apresentados os resultados experimentais obtidos em bancada.

No Capítulo 7 são apresentadas as conclusões mais relevantes obtidas após a realização do projeto da dissertação, encerrando-se o capítulo com a referência a algumas sugestões para futuros desenvolvimentos.

Capítulo 2

Estado da Arte

Neste capítulo são apresentadas as referências bibliográficas que endereçam os processos de recolha, filtragem e análise de água. O estudo apresentado neste capítulo permite uma melhor compreensão do conjunto de etapas desde a recolha da água até à medição dos parâmetros físico-químicos e biológicos presentes na amostra recolhida.

2.1 Métodos de recolha, filtragem e análise de água

As campanhas de amostragem oceanográficas com recolha de água para análise são limitadas à duração, à resolução e às capacidades dos instrumentos de medição. A um estudo genético de ambiente marinho está normalmente associado um conjunto de três processos: recolha, filtragem e análise.

O processo de recolha é realizado, normalmente, com recurso a bombas hidráulicas, válvulas selectivas, seringas eletromecânicas, entre outros, permitindo a recolha e distribuição da água para os processos seguintes. No processo de filtragem, a água recolhida passa por um conjunto de filtros de modo a impedir a passagem de determinadas substâncias para que, no processo de análise, sensores e sondas multi-paramétricas possam medir características físico-químicas e biológicas existentes na amostra.

2.1.1 Sistemas de recolha

Há cerca de 25-30 anos, os primeiros projetos desenvolvidos baseavam-se na recolha de grandes volumes de água e dependiam significativamente das condições atmosféricas e subaquáticas, o que resultava em erros sistemáticos e resultados não fiáveis. Estes projetos tinham diversas desvantagens como o tamanho da amostra depender do volume da garrafa de amostragem, o *payload* ser limitado pela quantidade de amostras e aderência parcial nas paredes de cada garrafa influenciar as amostras.

A garrafa Niskin[5] é um cilindro de plástico com tampas em ambas as extremidades para selar completamente a garrafa. Este dispositivo é utilizado para recolher amostras de água à profundidade desejada, sem o perigo de mistura com água de outras profundidades.

A água recolhida pelas garrafas Niskin pode ser utilizada para estudar o plâncton ou medir as características físicas da amostra. Estas garrafas são normalmente usadas individualmente ou num carrossel de seis garrafas juntamente com um instrumento *Conductivity, Temperature and Depth* (CTD).

A garrafa Go-Flo [5] é utilizada para recolher amostras de água para a, por exemplo, pesquisa de plâncton e nutrientes. Ao contrário da garrafa Niskin, a garrafa Go-Flo entra na água fechada para evitar qualquer possível contaminação com a superfície da água, causada pela micro-camada presente na superfície da água, enriquecida com material orgânico, oligoelementos e poeira.

No cume da placa tectónica de Juan de Fuca, na costa oeste dos Estados Unidos, foi realizado um estudo [6] onde foram recolhidas 57 amostras de água com ajuda do submarino tripulado ALVIN. O objetivo principal era recuperar ácido desoxirribonucleico (ADN) e determinar a sua concentração como um indicador de presença de micro-organismos em fluídos quentes, recorrendo a processos de purificação e espectrofluorometria. Estas análises foram realizadas a bordo de um navio entre 2 h a 3 h após a recolha das amostras. Noutro estudo, o mesmo submarino recolheu amostras em garrafas de Niskin de 1.7 L e 10 L para analisar a taxa de eliminação de magnésio dissolvido nas águas hidrotermais [7] no mesmo local.

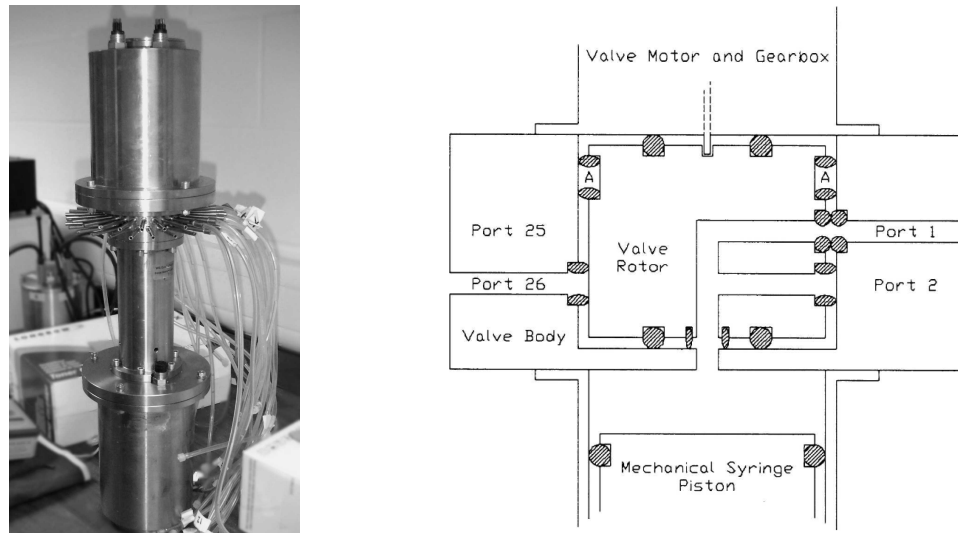
Num estudo realizado na dorsal mesoatlântica foram utilizadas 24 garrafas de Niskin de 10 L acopladas ao instrumento SBE 911plus CTD [8], representado na Figura 2.1, para recolher material hidrotermal de plumas hidrotérmicas [9].



Figura 2.1: SBE 911plus CTD [8].

O AquaLAB Water Sampler [10], representado na Figura 2.2, é um sistema para realizar medições oceanográficas, que, sendo compacto e leve, pode ser acoplado a qualquer AUV. Este sistema consiste em duas partes principais: uma seringa eletromecânica de 200 mL e uma válvula rotativa motorizada que é conectada a 50 portas (1 entrada e 49 saídas). Isto

permite a recolha de 49 amostras livres de contaminação, com 200 mL cada, capazes de serem recolhidas em 10 min.



(a) Mecanismo de distribuição das 49 amostras. (b) Secção transversal da válvula rotativa.

Figura 2.2: AquaLAB Water Sampler [10].

O sistema High-Pressure Serial Sampler (HPSS) [11], representado na Figura 2.3, foi desenvolvido com o intuito de recolher amostras e, adicionalmente, mantê-las à pressão a que foram capturadas. Esta funcionalidade acrescida impede que seja afetado, de múltiplas formas, o processo metabólico das colónias dos micro-organismos [12, 13]. Antes de cada amostra ser recolhida, o sistema é limpo através da circulação de água filtrada e destilada, da remoção das bolhas de ar presentes nas paredes e da sua esterilização a 110 °C durante 30 min. À medida que o engenho é submerso, vários parâmetros oceanográficos como a pressão, a salinidade, a temperatura e a concentração de oxigénio dissolvido são gravados.



Figura 2.3: High-Pressure Serial Sampler [11].

Relativamente ao estudo de gases dissolvidos, a recolha de amostras de água a altas profundidades e o seu armazenamento a baixas pressões resulta na libertação de alguns dos gases dissolvidos, dificultando a medição quantitativa dos mesmos. Neste sentido, foi desenvolvido, nos Estados Unidos da América (EUA), um sistema capaz de recolher 8 amostras de 20 mL de água e mantê-las até altas pressões, equivalente a 2000 m de profundidade para analisar com precisão os químicos dissolvidos na água [14].

Para controlar a água de uma nascente foi desenvolvido um sistema [15], composto por uma bomba hidráulica, quatro válvulas de duas vias, um motor passo-a-passo e um atuador linear, que autonomamente recolhe amostras de água ao longo de um ano para análise isotópica. Este sistema tem como requisitos ser transportável por uma pessoa, ser capaz de recolher 12 amostras de 2 mL durante um ano, ser resistente a condições extremas e ser capaz de medir periodicamente a temperatura, a pressão e a condutividade da água.

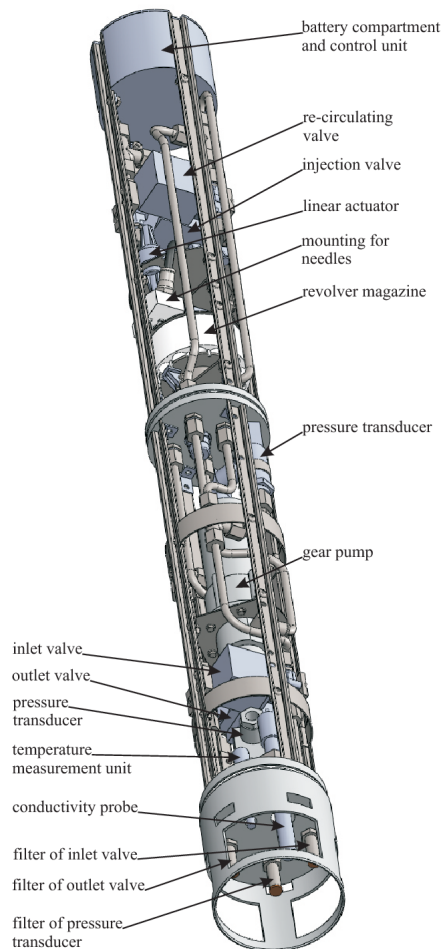


Figura 2.4: Sistema desenvolvido para controlar a água de uma nascente [15].

O projeto Water Sampler of Intermittent Suction With an Evacuated Chamber (WISE) [16] é um instrumento que recolhe a água através da diferença de pressão entre a câmara de vácuo e o meio externo. Comparativamente aos métodos convencionais, este sistema

recolhe água com turbulência inferior para manter a forma da camada da água amostrada. As amostras são armazenadas num tubo enrolado contínuo dividido em segmentos discretos usando bolhas de ar. A água recolhida é depois processada a bordo de um navio ou num laboratório.

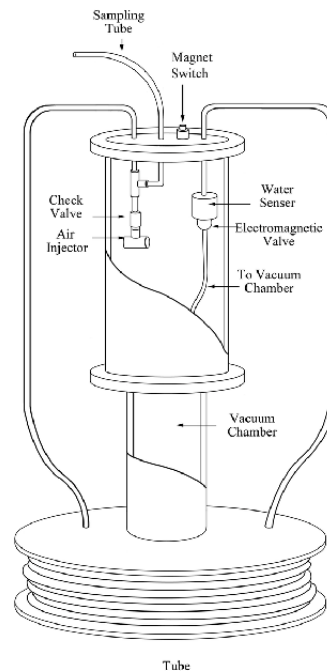


Figura 2.5: Configuração esquemática do WISE [16].

2.1.2 Sistemas de recolha e filtragem

Para além dos sistemas que recolhem água, existem sistemas que filtram a água no local. Isto permite reduzir o *payload* uma vez que o filtrado evita a recolha de elevados volumes de água. Mais tarde foram desenvolvidos sistemas de recolha e filtragem *in situ* que, apesar da recolha de água ser instantânea, a filtragem é lenta. Como exemplo desses sistemas, existe o Modular Autonomous Biosampler (MAB), Autonomous Microbial Sampler (AMS), entre outros.

O MAB [17] é um dispositivo low-cost, modular, de grande capacidade de amostragem, desenhado para filtrar e preservar três classes distintas de matéria biológica (incluindo bactérias). Este dispositivo pode ser acoplado a qualquer plataforma autónoma aquática.

Os principais critérios para o desenvolvimento deste projeto recaem: no desenho modular, permitindo entre 1 a 3 módulos de amostras para serem processadas em série; na captação de amostras biológicas de vários tipos, desde zooplankton até bactérias, para serem analisadas geneticamente e morfologicamente; na grande capacidade de amostragem; na longevidade, capaz de recolher amostras durante algum tempo; no "smart-sampler", incorporando outros sensores como temperatura, oxigénio dissolvido, salinidade, turbidez, entre outros; e de ser transportado por uma pessoa.

O sistema de amostragem e armazenamento é composto por um conjunto de bombas hidráulicas, filtros e mecanismos mecânicos, por um cilindro com amostras esterilizadas e por um outro para a preservação das mesmas.

Cada amostra é composta por uma membrana de filtro de 47 mm de diâmetro no meio de dois discos de policarbonato para prevenir a contaminação entre amostras.

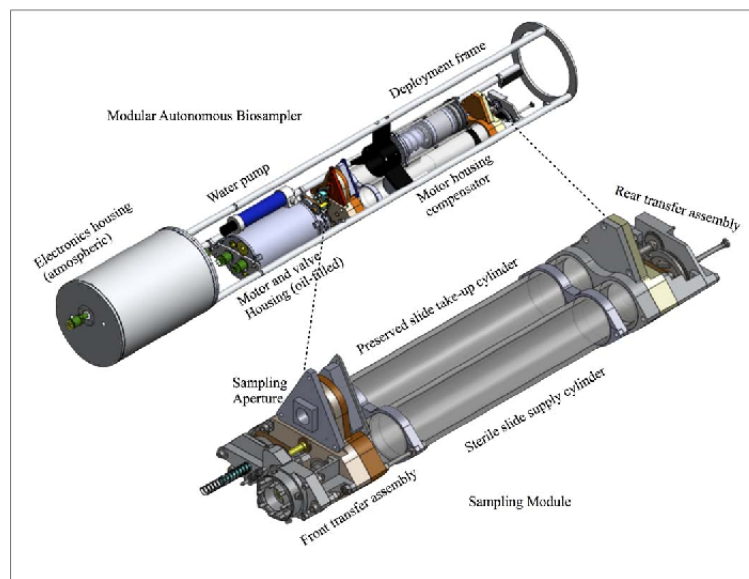


Figura 2.6: Modular Autonomous Biosampler [17].

O AMS [18] é um dispositivo que obtém amostras de micro-organismos na maioria dos ecossistemas marinhos de água fresca e hidrotermais sem contaminação e livre de ADN exógeno. Durante as amostras, os parâmetros como a temperatura e o volume de água bombeado são gravados e são recolhidas 6 amostras que são tratadas e centrifugadas, de modo a extrair o ADN para serem depois analisadas em laboratório. Um conjunto de soluções químicas circulam pelo sistema hidráulico para uma total desinfeção, permitindo que a próxima amostra esteja livre de micro-organismos e informação genética das amostras anteriores. O AMS é constituído por um conjunto de amostras esterilizadas compostas por unidades filtrantes ou não filtrantes, removíveis para o processamento das mesmas, por componentes que controlam os fluídos, como, por exemplo, bombas hidráulicas, válvulas de distribuição, por um braço robótico para a amostragem, que permite recolher as amostras longe do ambiente próximo do AUV evitando a contaminação, e também por uma unidade computacional que permite o armazenamento dos dados e interagir com o utilizador.

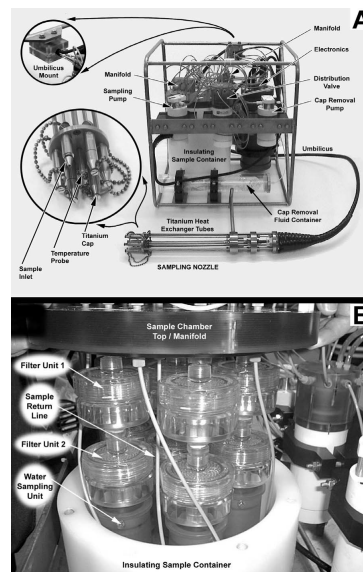


Figura 2.7: Em (A) o *hardware* externo e em (B) os componentes de retenção da amostra do Autonomous Microbial Sampler (AMS) [18].

O Phytoplankton Sampler (PPS) [19] é um sistema de recolha autónomo de partículas que filtra até 24 amostras individuais de água através de filtros de 47 mm de diâmetro. As amostras são realizadas em tempos definidos pelo utilizador para recolher vestígios de metais, fitoplâncton e partículas suspensas. A válvula patenteada de múltiplas portas isola as amostras individuais e distribui a água diretamente para o filtro antes de passar por uma bomba.



Figura 2.8: Phytoplankton Sampler (PPS) [19].

A ferramenta de monitorização marinha, MarinEye [4, 20], é composta por um conjunto de sensores que fornecem diversas informações relevantes para a caracterização do ambiente oceânico e favorece estudos de biologia marinha. O MarinEye é constituído por um conjunto de sensores físico-químicos para determinar propriedades da água, um sistema de filtragem e amostragem da água para coletar ADN, um sistema de imagem de plâncton e

um sistema acústico de avaliação de biomassa. O sistema de filtragem de água é composto por um conjunto de 15 cartuchos de amostra Sterivex™-GV 0.22/0.45 μm , uma bomba hidráulica, um reservatório de fluido preservante e um conjunto de válvulas. O sistema é capaz de filtrar simultaneamente várias amostras em paralelo, permitindo a replicação da amostragem, reduzindo os erros. O processo de análise de água e de sequenciamento de ADN é realizado externamente em laboratório. O biosampler autónomo *in situ* existente nesta ferramenta tem como principal objetivo colecionar/concentrar comunidades platónicas de diversas diferentes famílias (eucariontes e procariontes) para o pós-estudo genético, metagénico e/ou transcriptomiográfico em laboratório.

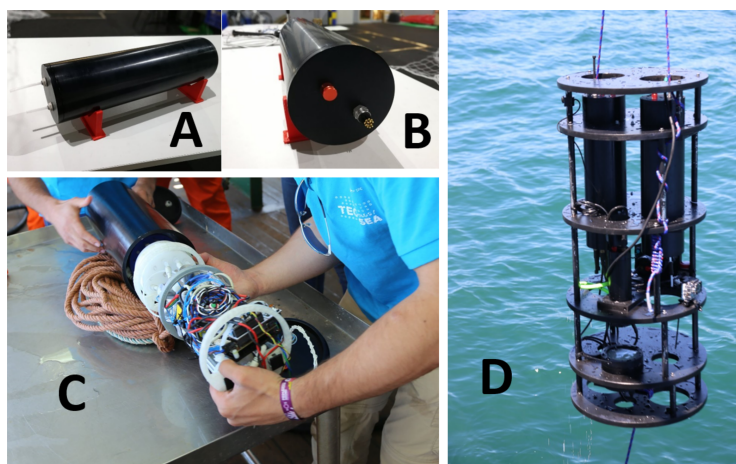


Figura 2.9: Em (A) a entrada/saída de água (A) em (B) as interfaces, em (C) o sistema aberto e em (D) o MarinEye integrado num sistema multi-sensor [20].

2.1.3 Sistemas de recolha, filtragem e análise

A McLane fabrica perfiladores oceanográficos, sistemas de recolha e flutuadores, entre os quais se destaca o Environmental Sample Processor (ESP) pois é um sistema que recolhe e analisa amostras do oceano *in situ*.

O ESP [21, 22, 23, 24, 25] foi desenvolvido no Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI) e é um instrumento eletromecânico patenteado (US 6,187,530 B1) desenhado para recolher amostras discretas de água do oceano, concentrar micro-organismos e aplicar autonomamente provas moleculares para identificar micro-organismos baseados nas sequências de ácido ribonucleico (RNA). Além disso, ainda armazena as amostras para serem analisadas em laboratório.

A primeira geração consistiu em seis grandes subsistemas: um carrossel, um transportador, um braço robótico, uma bomba hidráulica, uma seringa e uma câmara CCD. Atualmente está a ser desenvolvida uma terceira geração. Este instrumento é colocado a uma profundidade fixa que é ligada por um cabo até uma superfície flutuante que transmitirá os dados. Para a deteção de micro-organismos foi empregue uma sonda de ADN customizada para sequências de RNA. O processo engloba uma sequência de reagentes

que revelarão as moléculas de RNA em locais específicos na matriz utilizada através do princípio de sanduíche [26].

Este instrumento provou que consegue detetar organismos que influenciam a vida marinha como concentração de algas prejudiciais (Harmful Algal Bloom (HAB) e agentes patogénos).

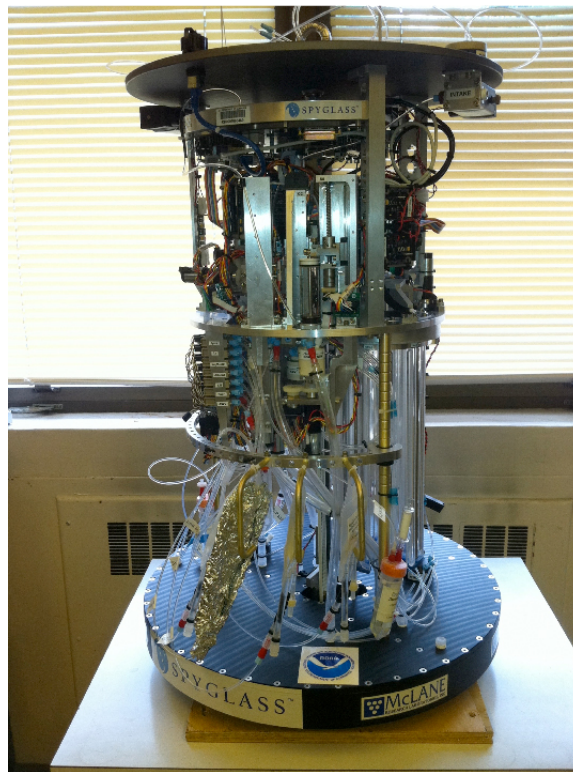


Figura 2.10: Environmental Sample Processor [21].

O Autonomous Microbial Genosensor (AMG) [27] é uma ferramenta de deteção marinha de micróbios. Esta pode ser lançada no mar ou em água doce onde autonomamente recolhe, filtra, purifica e concentra o RNA e, com o uso de um *Nucleic Acid Based Sequence Amplification (NASBA)*, deteta o organismo responsável pelas marés vermelhas que produz uma série de neuro-toxinas que causam um impacto negativo nos ecossistemas costeiros. Este sensor está desenhado para um lançamento a pouca profundidade durante 3 dias onde recolhe amostras entre 30 mL e 50 mL e realiza 12 ensaios para detetar micróbios.

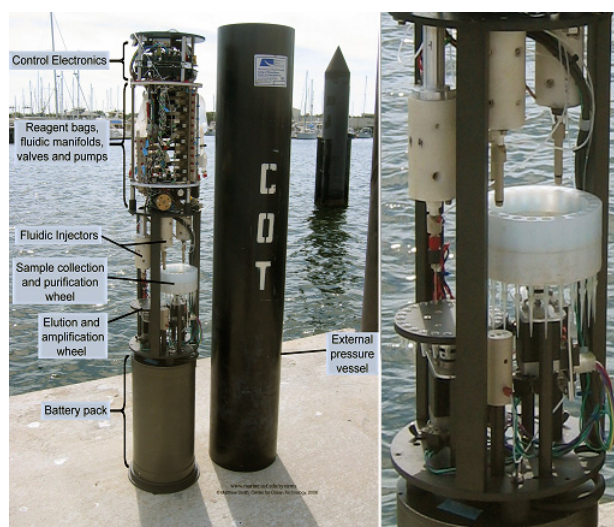


Figura 2.11: Autonomous Microbial Genosensor [27].

2.2 Análise crítica ao estado de arte

Os métodos tradicionais de análise de biodiversidade implicam a recolha de grandes volumes água em profundidade pré-estabelecidas, geralmente utilizando as garrafas de Niskin ou Go-Flo de modo individual ou em conjunto, numa roseta [9, 8, 11]. Estes métodos envolvem também uma etapa de filtração manual da água a bordo ou num laboratório e estes procedimentos aumentam os custos principalmente devido a custos de logística, transporte e operação do navio. Estes métodos não são soluções fidedignas uma vez que promove a deterioração da amostra e aumenta a risco de contaminação devido ao tempo entre o armazenamento e à etapa de filtração. Além disso, a filtração e análise é feita fora do seu meio de captação.

Até ao momento, poucos sistemas de recolha e filtração autónomos foram desenvolvidos que permitem a recolha e preservação de amostras a baixo custo e que sejam adequadas para ser anexado a qualquer tipo de veículos aquático autónomo [17]. O sistema desenvolvido em [4, 20] automatiza o processo de recolha e filtração para análise de DNA no meio e é adequado para integração em sistemas de observação aquáticos, o que contribuí para aumentar a vigilância biológica no meio em qual foi inserido.

Os sistemas existentes com capacidade de recolher, filtrar e analisar no local da amostragem tem custos elevados de manutenção, precisam de conhecimento prévio da biologia a ser recolhida e o tamanho limita a sua integração em veículos aquáticos não tripulados [21, 22, 23, 24, 25, 28]. Também foram desenvolvidos outros sistemas para a deteção *in situ* e em tempo real de alvos genéticos utilizando a amostragem automatizada e técnicas moleculares para enumerar a abundância de espécies específicas [27]. No entanto, esses sistemas são extremamente caros e limitados à identificação de uma proteína, toxina e/ou organismo em particular.

Capítulo 3

Conceitos Teóricos

3.1 Princípios de filtração

As técnicas de filtração estão em constante evolução devido ao uso da tecnologia avançada em novos equipamentos. Esta evolução tem como objectivo reduzir os custos e tempo de operação, facilitando e viabilizando os processos de tratamento de água.

A filtração é um processo físico para separar um sólido de um líquido ou de um gás. Para separar as substâncias é necessário fazer atravessar o líquido, ou o gás, com as partículas em suspensão por um material poroso. O líquido, ou gás, que passa pelo material poroso é chamado filtrado, e o sólido retido é o resíduo, ou bolo [29].

Existem dois métodos de filtração: o método de filtração simples e o método de filtração por vácuo.

- Na filtração simples é necessário fazer atravessar por gravidade o líquido com as partículas em suspensão por um filtro.
- O processo de filtração por vácuo é mais rápido que a filtração por gravidade uma vez que o solvente ou solução é forçado através do filtro por aplicação de redução de pressão.

Numa filtração é normalmente usado como filtro papel de filtro qualitativo, placas de vidro ou de porcelana, membranas mas, dependendo do caso, o meio poroso poderá ser uma camada de algodão, tecido ou fibras que não contaminem as amostras [30].

Em qualquer dos casos indicados há uma grande gama de porosidades e esta deverá ser seleccionada dependendo da aplicação em questão.

O que diferencia as membranas de filtros convencionais é o seu alto poder de retenção, devido à presença de poros de variadas dimensões. O tamanho do poro determina qual o tipo de membrana seleccionada, bem como as suas aplicações e materiais retidos. Atualmente, existem as membranas de Microfiltração, Ultrafiltração, Nanofiltração e Osmose Inversa, tal como indica na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Tipos de filtração com membrana.

Membrana	Poros	Material Retido	Aplicações
Microfiltração	0.1 μm	bactérias, alguns vírus, materiais em suspensão	separação de bactérias da água em processos industriais, branqueamento de bebidas
Ultrafiltração	0.01 μm	partículas orgânicas de alto peso molecular, vírus na totalidade	desmineralização, tratamento de efluentes
Nanofiltração	0.001 μm	moléculas orgânicas	remoção de metais pesados, remoção de pesticidas
Osmose reversa	0.0001 μm	íons, toda a matéria orgânica	redução de água ultrapura, dessalinização de água do mar

As membranas são meios filtrantes estruturados de diversos tipos de polímeros, tais como: PVDF (Difluoreto de Polivinilideno), PTFE (Politetrafluoretileno), PES (Polieter-sulfona), PAN (Poliacrilonitrila), entre outros.

Na Tabela 3.2 são apresentados alguns exemplos de membrana de filtro e as suas aplicações

Tabela 3.2: Tipos de Filtro.

Material	Características	Aplicações	Poros(μm)
Prata	Resistente a inorgânicos, temperatura e química	Difração raio X, SEM e análise HPLC	0.2-5
Óxido de alumínio	Inorgânica, transparente quando molhada	Análise HPLC e síntese de nanoestruturas	0.02-0.2
Acetato de celulose	Baixa ligação às proteínas, alto rendimento, baixos extratáveis	Esterilização biológica de fluidos, filtração de proteínas/enzimas e teste de limpeza automotiva	0.22-5
Cerâmica	Resistente a inorgânicos, temperatura e química	Separação de ultra e micro filtração, filtração com químicos agressivos	
Fibra de vidro	Elevado fluxo, pureza e opera a altas temperaturas	Pré-filtro comum, sedimentos/partículas grossas, filtração de partículas de ar	0.3-2.7
Ester de celulose mista (MCE)	Elevada ligação às proteínas e fluxo	Esterilização biológica de amostras e testes de contaminação, ensaios médicos	0.1-8
Nylon	Elevada força, alta ligação a proteínas, compatível quimicamente	Esterilização microbiana, análise HPLC, análise de partículas e fluidos hidráulicos, teste de limpeza	0.1-5
Poliacrilonitrila (PAN)	Elevado fluxo a baixas pressões, redução da carga bacteriana	Purificação água potável, processamento de alimentos/bebidas	0.2
Policarbonato (PCTE)	Superfície translúcida, plana/lisa, baixa ligação não específica	Extrusão de lipossomas, teste do esquistossomo, cultura de células	0.01-30
Poliéter Éter cetona (PEEK)	Excelente resistência química, baixa ligação às proteínas	Pervaporação e destilação por membrana, filtração por solvente	0.005-0.1
Politetrafluoretileno (PTFE)	Resistência química e ao pH, laminada ou não laminada	Filtração de ácidos fortes e soluções agressivas, ventilação separações de fases	0.1-10
Fluoreto de Polivinilideno Hidrofilico (PVDF)	Baixa extração/ligação às proteínas	Análises por HPLC e filtração agressiva de solvente	0.2,0.45

3.2 Indicadores da qualidade da água

Os testes à qualidade da água contribuem para uma parte importante da monitorização ambiental. Quando a qualidade da água é fraca, esta afecta não só a vida aquática, como também todo o ecossistema envolvente.

Os indicadores da qualidade da água podem ser distinguidos entre físicos, químicos ou biológicos [31]. As propriedades físicas da qualidade da água incluem a temperatura e a turbidez. As características químicas envolvem parâmetros como *potencial of hydrogen* (pH) e oxigénio dissolvido (DO). Os indicadores biológicos da qualidade da água incluem algas e fitoplâncton. Estes parâmetros são de relevância crucial não apenas para os estudos de águas superficiais do oceano, lagos e rios, como também para as águas subterrâneas e os processos industriais.

O controlo da qualidade da água pode ajudar os investigadores a prever e a aprender com os processos naturais do meio ambiente e determinar os impactos humanos num ecossistema. Esses esforços de medição também podem ajudar em projectos de restauração do equilíbrio ou a garantir que os padrões ambientais sejam cumpridos.

3.2.1 Temperatura

A temperatura da água é a propriedade física que expressa o quão quente ou fria está a água.

A temperatura da água é um factor importante a considerar quando se trata de avaliar a água. Além de seus próprios efeitos, a temperatura influencia outros parâmetros e pode alterar as propriedades físicas e químicas da água como: a taxa metabólica, a produção da fotossíntese, a toxicidade composta, o oxigénio e outros gases dissolvidos, condutividade e salinidade, pH, entre outros [32, 33].

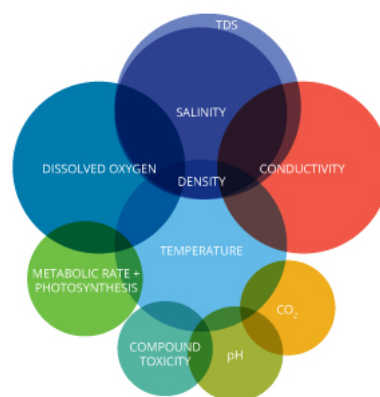


Figura 3.1: Efeitos da temperatura noutros parâmetros da qualidade da água [32]

Na maior parte dos casos a temperatura é medida através do valor de uma resistência colocada no meio de teste, ou seja, Resistance Temperature Detector (RTD). Esta resistência pode ser de cobre, platina ou níquel, no entanto a de platina apresenta uma correlação

quase linear pelo que é o material padrão para medir a temperatura. Esta resistência quando submetida a diferentes temperaturas apresenta diferentes valores sendo possível relacionar a resistência com a temperatura.

3.2.2 Potencial de hidrogénio - pH

Entende-se por pH a quantidade de iões de hidrogénio, numa escala logarítmica, presentes num líquido. O pH exprime a acidez, a neutralidade ou a alcalinidade de uma solução, numa escala que vai desde 0 a 14. Um pH de 7 indica neutralidade, um pH de 7 a 1 é progressivamente ácido e um pH de 7 a 14 é progressivamente alcalino.

Se o pH da água for muito alto ou muito baixo, os organismos aquáticos que vivem dentro dele serão afetados. O pH também pode afectar a solubilidade e a toxicidade de produtos químicos e metais pesados na água. [34, 35]

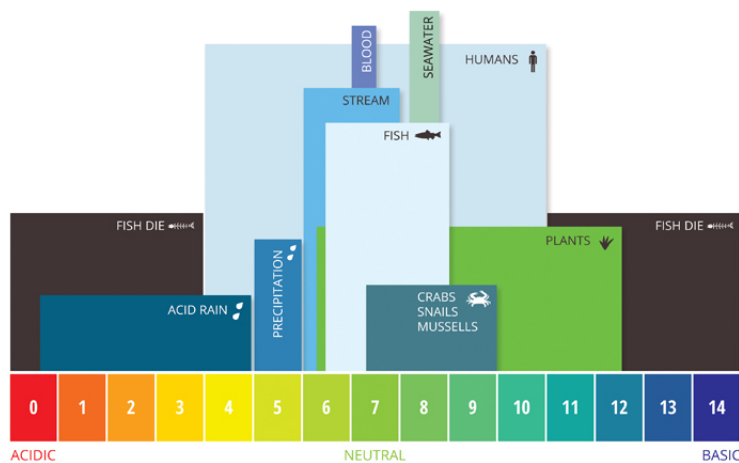


Figura 3.2: Comportamento da biodiversidade perante diferentes valores de pH [34].

Um sensor de pH mede a actividade do ião de hidrogénio num líquido. Normalmente, a ponta do sensor de pH é uma membrana de vidro que permite a troca de iões de hidrogénio entre a camada externa e interna do vidro. A diferença na concentração de iões de hidrogénio cria uma corrente muito pequena. Esta corrente é proporcional à concentração de iões de hidrogénio no líquido a ser medido.

3.2.3 Oxigénio dissolvido - DO

O oxigénio dissolvido é necessário para muitas formas de vida, incluindo peixes, invertebrados, bactérias e plantas. Estes organismos utilizam o oxigénio na respiração, semelhante aos organismos terrestres.

Os peixes e os crustáceos obtêm o oxigénio para respirar através das suas guelras, enquanto a vida vegetal e o fitoplâncton exigem oxigénio dissolvido para respiração quando não há luz para a fotossíntese. Os micróbios como bactérias e fungos também requerem

oxigénio dissolvido [36, 37]. O oxigénio dissolvido insere-se na água através do ar ou como resultado da fotossíntese.

O oxigénio dissolvido refere-se ao nível de oxigénio livre não composto presente na água ou noutros líquidos. É um dos parâmetros mais importantes na avaliação da qualidade da água devido à sua influência nos organismos que vivem dentro de um meio aquático. Um nível de oxigénio dissolvido muito alto ou muito baixo pode prejudicar a vida aquática e afectar a qualidade da água. [37]

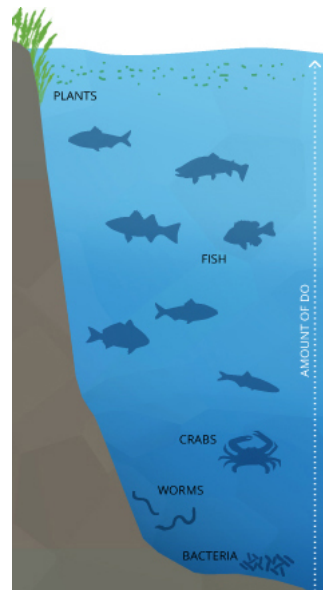


Figura 3.3: Distribuição do oxigénio dissolvido ao longo da coluna marítima [36].

Para medir o DO é normalmente utilizado um sensor galvânico que consiste numa membrana PTFE, num ânodo banhado num eletrólito e um cátodo. O princípio de funcionamento consiste na difusão das moléculas de oxigénio através da membrana a uma taxa constante. Uma vez atravessadas, estas moléculas são reduzidas no cátodo e é produzida uma pequena tensão. Quanto maior for a concentração de oxigénio maior será a tensão produzida.

3.2.4 Condutividade Elétrica (EC), Salinidade e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS)

A condutividade elétrica é propriedade que mede a capacidade de passar um fluxo elétrico na água. Esta propriedade está directamente relacionada com a concentração de iões na água. Esses iões condutores provêm de sais dissolvidos e materiais inorgânicos, como cloretos, sulfuretos e compostos carbónicos. Os dados de condutividade podem determinar a concentração de soluções, detetar contaminantes e determinar a pureza da água.[38, 39]

Como definição básica, a salinidade é a concentração total de todos os sais dissolvidos na água. Esses eletrólitos formam partículas iónicas à medida que se dissolvem, cada uma

com uma carga positiva e negativa. Assim, a salinidade é um forte contribuinte para a condutividade.

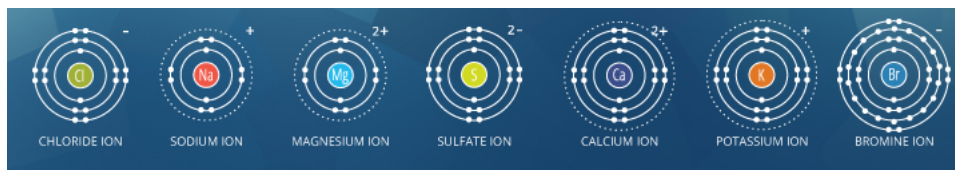


Figura 3.4: Íons mais comuns presentes na água do mar [38]

O total de sólidos dissolvidos (TDS) combinam a soma de todas as partículas menores que $2\ \mu\text{m}$. Isso inclui todos os eletrólitos dissociados que compõem as concentrações de salinidade, bem como outros compostos, como matéria orgânica dissolvida. Em água “limpa”, o TDS é aproximadamente igual à salinidade. Em águas residuais ou áreas poluídas, o TDS pode incluir solutos orgânicos (como hidrocarbonetos e ureia).

Embora as medidas de TDS sejam derivadas da condutividade, algumas entidades controladoras geralmente definem um máximo de TDS em vez de um limite de condutividade para a qualidade da água.

O parâmetro total de sólidos dissolvidos também é importante para a vida aquática, mantendo a densidade das células equilibrada. Na água destilada ou desmineralizada, a água irá fluir para as células de um organismo, fazendo com que elas aumentem de tamanho. Em água com uma concentração muito alta de TDS, as células reduzem. Essas alterações podem afetar a capacidade de um organismo de se mover numa coluna de água, fazendo com que ele flutue ou afunde além do seu alcance normal.

Geralmente, o sensor de condutividade é um sensor que além de medir a condutividade, também mede a salinidade, a quantidade total de sólidos dissolvidos e, em água salgada, a gravidade específica. O seu princípio de funcionamento baseia-se numa prova de condutividade elétrica que mede o potencial elétrico de uma solução. Dentro desta prova é aplicada uma tensão alternada entre dois eletrodos opostos causando o movimento entre íons.

3.2.5 Turbidez, Total de Sólidos Suspensos (TSS), Claridade da Água

A turbidez é uma determinação ótica da claridade da água. A turbidez da água pode ser turva, escura ou de outra forma, afetando a aparência física da água. Os sólidos suspensos e o material dissolvido reduzem a limpeza da água criando uma aparência opaca, turva ou lamacenta. A turbidez é frequentemente usada como um indicador da qualidade da água com base na clareza e no total estimado de sólidos suspensos na água.

O total sólidos suspensos (TSS) são partículas maiores que $2\ \mu\text{m}$ encontrados na coluna de água. A maioria dos sólidos suspensos são composta de materiais inorgânicos, embora as bactérias e as algas também possam contribuir para a concentração total de sólidos coloridos (CDOM).

A claridade da água é uma característica física definida por quão clara ou transparente é a água. A clareza é determinada pela profundidade que a luz solar penetra na água. Quanto mais luz solar puder alcançar, maior a claridade da água. A claridade da água está diretamente relacionada à turbidez, já que a turbidez é uma medida da claridade da água. A transparência da água é afetada pela quantidade de luz solar disponível, partículas suspensas na coluna de água e sólidos dissolvidos, como o material orgânico dissolvido colorido (CDOM) presente na água.

A turbidez e os TSS são os indicadores mais visíveis da qualidade da água. As partículas suspensas podem vir da erosão do solo, escoamento, descargas, sedimentos de fundo agitados ou florações de algas. Embora seja possível que alguns riachos tenham níveis naturalmente altos de sólidos em suspensão, a água limpa é geralmente considerada um indicador de água saudável [40].

Um sensor de turbidez detecta a qualidade da água medindo os níveis de turbidez ou opacidade. Normalmente este tipo de sensor utiliza um feixe de luz para detectar partículas suspensas na água, medindo a transmitância da luz e a taxa de espalhamento, que variam com a quantidade de sólidos suspensos totais (TSS) na água. À medida que a quantidade de sólidos suspensos totais aumenta, o nível de turbidez do líquido também aumenta.

3.2.6 Algas, Fitoplâncton, Clorofila e Blue-Green Algae (BGA)

As algas são organismos aquáticos, semelhantes a plantas. Podem ser compostas por estruturas simples, desde o fitoplâncton unicelular até as grandes algas marinhas (macroalgas) presas ao fundo do oceano.

O fitoplâncton são microrganismos unicelulares, que, por vezes, podem crescer em colônias grandes o suficiente para serem vistas a olho nu. O fitoplâncton é fotossintético, o que significa que têm a capacidade de usar a luz solar para converter o dióxido de carbono e água em energia.

A clorofila é um pigmento colorido encontrado em plantas, algas e fitoplâncton. Estes pigmentos são utilizados na fotossíntese como fotorreceptor. Os fotorreceptores absorvem a energia da luz e a clorofila especificamente absorve a energia da luz solar. A clorofila dá o tom verde às plantas e às algas porque reflete os comprimentos de onda verdes encontrados na luz solar, enquanto absorve todas as outras cores. A clorofila do tipo α e β são duas formas diferentes que contribuem para uma melhor oxigenação da fotossíntese e absorção da luz solar, respetivamente.

As algas verde-azuladas (BGA), também conhecidas como cianobactérias é um grupo de bactérias que obtêm energia por fotossíntese e a sua cor pode variar desde azuis, verdes, vermelhos e pretos. O BGA pode reduzir o nitrogénio e o carbono na água e até podem esgotar o oxigénio dissolvido quando superabundante. A vigilância das BGA é importante porque elas representam uma séria ameaça à qualidade da água, à estabilidade do ecossistema, ao suprimento de água potável de superfície e à saúde pública através da produção de toxinas e da grande biomassa produzida na proliferação de algas [41].

Existem várias técnicas para medir estes parâmetros, incluindo espectrofotometria, cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) e fluorometria. A espectrofotometria é o método clássico para determinar a quantidade de clorofila nas águas superficiais. Esta técnica envolve a recolha de uma amostra de água razoavelmente grande, filtração da amostra para concentrar os organismos que contêm clorofila, a ruptura mecânica das células recolhidas e a extração da clorofila das células rompidas no solvente orgânico. O extrato é analisado por um método espectrofotométrico (absorvância ou fluorescência), utilizando as propriedades ópticas conhecidas da clorofila ou por HPLC. Este método geral é preciso em vários testes e aplicações e é o procedimento geralmente aceite na literatura científica. O método fluorométrico também requer os mesmos métodos de extração usados na espectrofotometria, no entanto usa um fluorímetro para medir a fluorescência molecular discreta da clorofila. No entanto, esses métodos têm desvantagens significativas porque requerem experiência e precisão nos testes e são demorados.

3.2.7 Amónio, Amónia, Nitrato

O amónio (NH_4^+) - ou sua forma não carregada de amónia (NH_3) - é uma forma de nitrogénio que as plantas aquáticas podem absorver e incorporar em proteínas, aminoácidos e outras moléculas. Altas concentrações de amónio podem aumentar o crescimento de algas e plantas aquáticas. As bactérias também podem converter alto teor de nitrato de amónio (NH_4NO_3) no processo de nitrificação, o que reduz o oxigénio dissolvido.

A amónia não ionizada é a forma tóxica e predomina quando o pH é alto. O ião amónio é relativamente não-tóxico e predomina quando o pH é baixo.

O equilíbrio entre NH_3 e NH_4^+ também é afetado pela temperatura. Em qualquer pH, a amónia está presente na água mais quente do que na água mais fria.

O nitrato (NO_3^-) forma-se na água quando as bactérias usam oxigénio dissolvido para oxidar o amónio. O nitrato é móvel e pode infiltrar-se em riachos, lagos e estuários a partir de águas subterrâneas enriquecidas por resíduos animais ou humanos ou fertilizantes comerciais. Altas concentrações de nitrato podem aumentar o crescimento de algas e plantas aquáticas.

O amónio e o nitrato são parâmetros importantes porque são indicadores de nutrientes baseados em nitrogénio. Normalmente detetam contaminação nas estações de tratamento de águas residuais ou em atividades agrícolas [42, 43].

Para medir estes parâmetros utilizam-se os elétrodos de iões seletivos (ISE) que são uma classe de sensores que respondem a presença de iões específicos quando usados em conjunto com um elétrodo de referencia. O ISE de amónia e nitrato não funcionam em água salgada uma vez que os iões de sódio, presentes neste meio com abundância, causam uma falsa leitura quando presentes com iões de amónio e nitrato devido a sua estrutura atômica.

3.3 Bioincrustação

A bioincrustação é um fenômeno natural que afeta uma variedade de sistemas e componentes em muitos setores, especialmente aqueles implantados nos ambientes costeiros e marinhos que tem sido um grande problema para o Homem desde que começou a colocar materiais no ambiente oceânico. Os sensores e câmaras usados para imagens subaquáticas, juntamente com lentes usadas para comunicação óptica, podem ser afetados após uma semana da sua implantação [44, 45].

A incrustação marinha é causada pela fixação das larvas de organismos marinhos em superfícies submersas. As larvas metamorfoziam-se e crescem em organismos incrustantes adultos. Os principais grupos biológicos que compõem a comunidade de incrustação são as algas, as cracas, os tunicados, os poliquetas, os briozoários, os moluscos e os hidróides.

Existem várias técnicas para evitar o desenvolvimento destes organismos nos sensores e câmaras usados em ambientes marinhos como os biocidas, soluções mecânicas, tipo de material envolvente, luz ultra-violeta, entre outros [46].

Os biocidas são produtos concebidos para matar pragas ou bactérias indesejáveis, no entanto a utilização destes estão a ser eliminados ou reduzidos devido a preocupações ambientais causados pela sua toxicidade e influência nos outros organismos e no meio ambiente. Além disso, alguns microorganismos formam uma resistência aos biocidas ao longo do tempo, tornando essa técnica menos eficaz.

As opções mecânicas, como escovas, têm uma alta taxa de falhas, um consumo de energia relativamente alto e não conseguem limpar superfícies com formas complexas.

Outras técnicas recorrendo ao cobre ou estanho, podem ser usadas para limitar e retardar o crescimento dos organismos, mas não são eficazes em todos os ambientes.

Outro método é a aplicação de tintas específicas de anti bioincrustação que limitam a capacidade mecânica de aderência, como por exemplo a tinta Teflon.

A irradiação ultra-violeta é um método comprovado de desinfecção já utilizado no tratamento de água, saúde e processamento de alimentos. A irradiação com ultra-violeta oferece um método melhor do que as opções existentes, pois é sem contato, não é química e pode ser usada numa variedade de materiais e formas do instrumento. A radiação na faixa do ultra-violeta com comprimento de onda entre 250 nm e 280 nm pode ser usada para prevenir e controlar a bioincrustação. A luz nesses comprimentos de onda desativa as bactérias, vírus e outros micróbios, destruindo as informações genéticas codificadas no DNA. Ao desativar o microrganismo, evita a formação de um biofilme, impedindo assim as fases posteriores da bioincrustação, onde organismos maiores se ligam ao instrumento podendo torná-lo inoperável.

Capítulo 4

Análise de Requisitos

4.1 Cenários de aplicação

O sistema desenvolvido ao longo desta dissertação, sendo considerado um instrumento oceanográfico pretende-se que seja utilizado em vários cenários e meios de operação, cada um com diferentes objetivos e designações, de forma dependente ou independente.

No caso do sistema ser utilizado num cenário de *moored* (*moored line*), representado por A na Figura 4.1, o sistema pode estar fixo na coluna de água a uma profundidade pré-definida, ligado com cabos de alimentação e comunicação a uma mini-estação flutuante com emissão e receção de dados em tempo real e com energia solar, ou pode estar fixo no fundo do mar com um sistema de âncora, representado por B na Figura 4.1. No caso do sistema estar fixo no fundo do mar, este tem que funcionar autonomamente, com baterias, e guardar a informação numa unidade de armazenamento.

O sistema pode ser também acoplado a qualquer embarcação, representado em C na Figura 4.1 sendo a mais apropriada a de investigação, com ou sem batimetria, de modo a obter dados do meio aquático ao longo do percurso marítimo ou em locais estrategicamente escolhidos. Neste caso, o sistema pode ser totalmente controlado a partir do utilizador final, com comunicação e alimentação incluídas.

O sistema autónomo de recolha de informação genética para ambiente aquático pode ser usado juntamente com um AUV, representado em D na Figura 4.1. Neste caso, o sistema é capaz de comunicar com outros sistemas e partilhar a mesma fonte de energia. Normalmente o sistema é operado através de comandos provenientes de um outro sistema.

Por fim, o sistema desenvolvido pode também ser colocado num observatório marinho como o European Multidisciplinary Seafloor and water column Observatory (EMSO)¹ de modo explorar melhor o oceano medindo parâmetros biogeoquímicos e físicos. Neste caso

¹O EMSO visa explorar os oceanos, obter uma melhor compreensão dos fenómenos que ocorrem dentro e debaixo deles e explicar o papel crítico que esses fenómenos desempenham nos sistemas terrestres. Tem observatórios colocados em pontos estratégicos e a incorporação de sistemas nos observatórios permite medir diferentes parâmetros biogeoquímicos e físicos, que abordam riscos naturais, mudanças climáticas e ecossistemas marinhos.

o sistema estaria conectado em paralelo com outros sistemas podendo existir partilha de comunicação e energia.

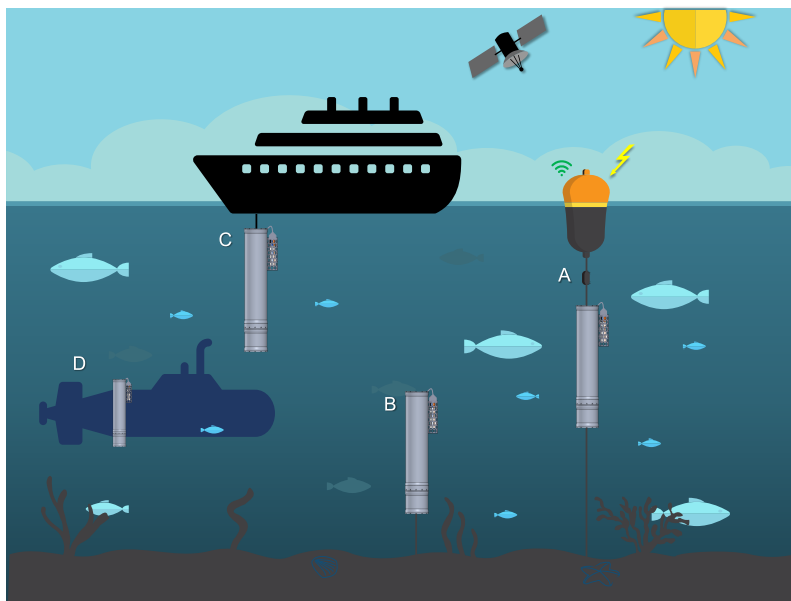


Figura 4.1: Sistema nos diferentes cenários de aplicação.

4.2 Requisitos para o sistema

De modo a que o sistema desenvolvido apresente um bom desempenho nos diferentes cenários de aplicação, é necessário definir requisitos. É importante que seja um sistema autónomo, capaz de recolher e filtrar água e de armazenar e preservar o filtrado para que, mais tarde, possa ser recolhido e analisado em laboratório e de monitorizar o meio aquático.

- Modo de Funcionamento
 - O sistema é capaz de funcionar em três modos distintos: manual, autónomo e integrado, sendo que este último se refere quando o mesmo é acoplado a um veículo autónomo sobre o qual executa ordens dada por ele.
- Estanqueidade do Sistema
 - Uma vez que o sistema desenvolvido é utilizado no meio aquático, é necessário um encapsulamento estanque à água e resistente a pressões.
- Sistema de Distribuição de Água
 - O sistema é composto por um circuito fechado com vias capaz de conduzir o fluxo do meio exterior até a zona de filtragem e novamente até ao exterior, sem pôr em causa a estanqueidade e integridade do sistema.

- Sistema de Filtração
 - O sistema de filtração implementado é suficientemente poroso de modo a filtrar a matéria orgânica e inorgânica que se pretende. É um sistema capaz de manter as propriedades físicas, químicas e biológicas da amostra para analisar mais tarde.
- Unidade de Amostras
 - A unidade das amostras, ou samplers, ou material filtrado, é um módulo de fácil remoção e substituição por um novo, capaz de acolher as amostrar suficientes para a missão a desempenhar.
- Sensores
 - O sistema está equipado por conjunto de sensores para a medição dos parâmetros base de um sistema oceanográfico, isto é, temperatura, oxigénio dissolvido, condutividade, entre outros, capaz de analisar a qualidade de água quando se pretender
- Usabilidade
 - Além dos requisitos relacionados com a engenharia e a ciência, o sistema desenvolvido pode ser transportado por uma pessoa, intuitivo e de fácil utilização para o utilizador.

Capítulo 5

Sistema Autónomo de Amostragem e Monitorização Aquática

Neste capítulo é apresentado uma arquitetura conceptual do sistema desenvolvido, seguido de uma introdução ao *hardware* que demonstra ser o mais indicado para os requisitos apresentados. Também é realizada uma descrição do *software* utilizado para o controlo do sistema e, no fim, apresentada uma solução mecânica para o *hardware/software* utilizado.

5.1 Arquitetura do Sistema

5.1.1 Arquitetura de *hardware*

O sistema autónomo de recolha de informação genética para meio aquático é composto por três secções individuais estanques. A primeira secção é constituída pelo sistema hidráulico, que engloba os componentes hidráulicos como, por exemplo, válvulas, bomba hidráulica e alguns sensores, pelo sistema de monitorização de baterias, pela unidade de processamento e armazenamento de dados. A segunda secção armazena e preserva as amostras com a informação genética para ser analisada em laboratório. A terceira secção é composta pelo sistema que adquire informação relativa à qualidade da água. Por fim, o sistema pode estar conectado até ao exterior, a uma bóia de sinalização, a um barco de investigação ou a outro dispositivo qualquer para comunicação de dados e/ou alimentação.

Na Figura 5.1 encontra-se representada a arquitetura de alto nível do *hardware* do sistema.

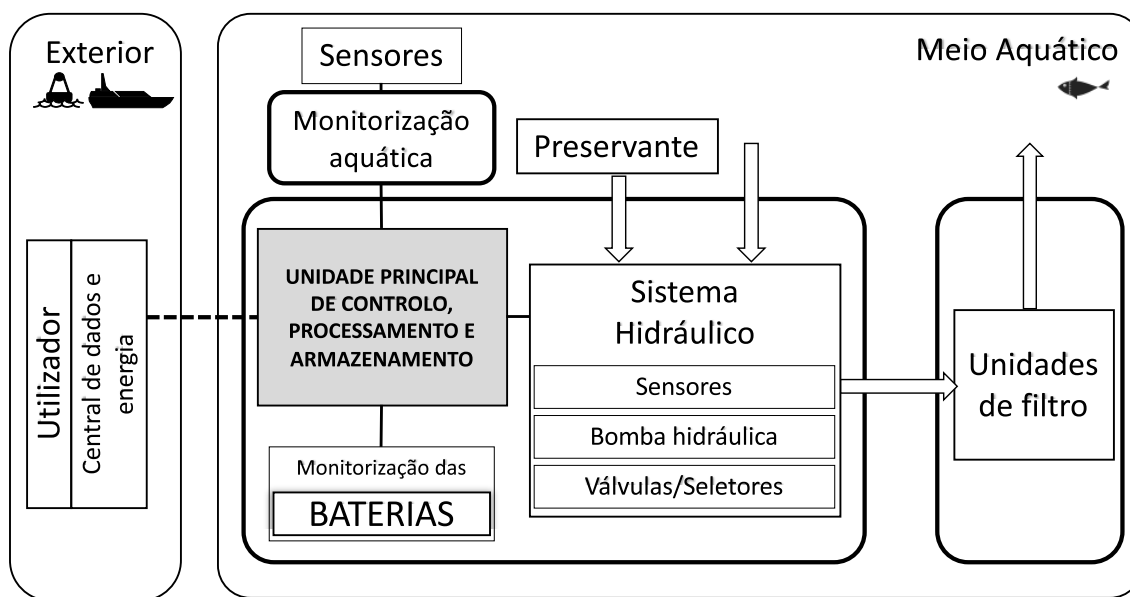


Figura 5.1: Arquitetura conceitual do *hardware* do sistema.

5.1.2 Arquitetura de *software*

Na arquitetura de *software* é utilizado um microcontrolador com um sistema operativo em tempo real para o controlo do sistema hidráulico, para a monitorização do meio aquático, para o controlo das baterias e armazenamento dos dados. Desta forma, o *software* é composto por três tarefas principais: pela tarefa onde de acordo com as regras da missão, são enviadas instruções para o *hardware* para recolher uma amostra, pela tarefa responsável pela leitura dos sensores encarregues pela monitorização aquática e pela tarefa que monitoriza as baterias, através de um pedido sobre o estado das células.

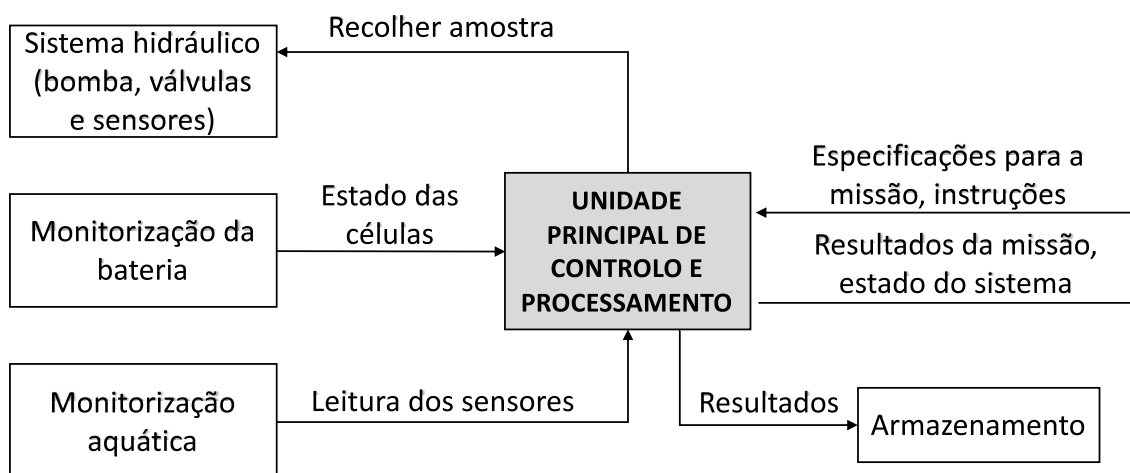


Figura 5.2: Arquitetura conceitual do *software* do sistema.

5.2 Desenvolvimento

Uma vez que o projeto será realizado no Laboratório de Sistemas Autônomos, foi utilizado maioritariamente o *hardware* disponibilizado pelo mesmo. No entanto, foi realizado um estudo de mercado de opções de *hardware* idêntico, de modo a realizar uma análise comparativa.

5.2.1 Amostras

5.2.1.1 Unidade de filtro

O filtro é a parte mais importante de todo o sistema pois é nela onde é armazenada e preservada a informação genéticas recolhida no meio aquático, para que, mais tarde, possa ser analisada. Uma vez que tem que ser armazenado e isolado de modo a evitar contaminação é necessário que o filtro esteja protegido por um material que, além de preservar as propriedades da amostra, mantenha-as intactas e livres de contágio.

As unidades de filtro Sterivex são dispositivos estéreis utilizados na filtração de soluções aquosas. As unidades de filtro Sterivex SVGVL10RC [47] removem microorganismos, partículas, precipitados e partículas não dissolvidas maiores que $0.22\mu\text{m}$. Estas unidades de filtro de uso único consistem numa membrana de fluoreto de polivinilideno (PVDF) selada em torno de um núcleo de plástico reforçado, permitindo o armazenamento da amostra em condições criogénicas (conservação a baixas temperaturas). As unidades de filtro SterivexTM-GV são facilmente conectadas a qualquer dispositivo através dos seus conectores de entrada e saída e é um dispositivo de ventilação automática não tóxico capaz de suportar pressões de até 3.1 bar.

A última versão da unidade de filtro Millex define um novo padrão para filtragem de pequenos volumes, com maior desempenho e qualidade relativamente as suas versões anteriores. O Millex SLGV033RS [48] filtra microorganismos, partículas e precipitados não dissolvidos maiores que $0.22\mu\text{m}$ de soluções aquosas. Os filtros Millex têm 33 mm de diâmetro interno e têm quase 20% a mais de superfície do que os mesmos de 25 mm. A maior área de superfície do filtro aumenta o fluxo e a taxa de transferência, facilitando a filtragem de soluções, reduzindo a pressão necessária para processar o volume necessário. Os filtros Millex têm uma pressão máxima de alojamento de 10.5 bar, o que significa que pode filtrar as soluções mais rápido.

Tabela 5.1: Comparação das unidades de filtro.

	Sterivex (SVGVL10RC)	Millex (SLGV033RS)
Pressão máx.	3.1 bar	10 bar
Tipo de membrana	PVDF	PVDF
Porosidade	0.22 μm	0.22 μm
Volume processado	1000 mL	100 mL
Volume armazenado	2.2 mL	<0.1 mL
Conetor de entrada	Female Luer-Lok	Female Luer-Lok
Conetor de saída	Male Luer-Lok	Male Luer slip
Diâmetro	1.7 cm	3.3 cm
Altura	8.2 cm	2.7 cm



(a) Sterivex (SVGVL10RC) [47].



(b) Millex (SLGV033RS) [48].

Figura 5.3: Unidades de filtro.

A unidade de filtro escolhido para este projeto foi o Sterivex, pois este tipo de unidade com filtro além de, apresentar conetores fáceis de integrar com o sistema hidráulico e ter um maior volume de processamento, é amplamente reconhecido como dispositivo padrão, ótimo para caracterizar comunidades microbianas [49], é normalmente utilizado em procedimentos de laboratório *standard* e é recomendado no OSD ¹ [50]. A utilização deste filtro neste projeto traduz na analogia dos processos de análise utilizados em laboratório das campanhas oceanográficas e estudos de biologia marinha e contribui para uma redução dos custos uma vez que permite traduzir a ideia de passar o laboratório para *in situ* e validar o processo obtendo-se dados comparativamente equivalentes a estudos anteriores [20].

¹O Ocean Sampling Day é uma guia das melhores práticas que descreve procedimentos e políticas de recolha, logística e bioinformática de amostras marinhas destinadas principalmente a estações de pesquisa e cruzeiros marinhos que contribuem para o evento de amostragem oceânica.

5.2.2 Controlo e Hidráulica

A secção de controlo e hidráulica é constituída por toda a eletrónica e hidráulica necessária para cumprir os requisitos do sistema de forma estanque. Esta unidade tem como objetivo ler e gravar parâmetros da qualidade de água, direcionar a água desde o exterior até a unidade de filtragem através de bombas, válvulas e sensores com autonomia suficiente para uma missão completa através de baterias e da sua monitorização.

5.2.2.1 Bomba Hidráulica

Uma bomba hidráulica é um componente importante do sistema pois é a fonte de energia do sistema hidráulico. [51]

As bombas hidráulicas são fabricadas dependendo dos diferentes requisitos do sistema funcional e hidráulico, como meio de operação, pressão necessária, entre outros. Existe uma grande variedade de princípios e configurações das bombas hidráulicas e, por isso, nem sempre a bomba cumpre totalmente todos os conjuntos de requisitos num nível ideal. Existem três tipos diferentes de bombas hidráulicas: bombas de engrenagem, bombas de pistão e bombas de palhetas.

O tipo de bomba mais indicada para este sistema trata-se de uma bomba de engrenagens uma vez que apresentam dimensões reduzidas para baixas pressões e fluxos.

A Micropump é líder de mercado em bombas hidráulicas de engrenagem de baixo fluxo, oferecendo modelos padrão, opções de configuração sob pedido e soluções personalizadas. É especializada em aplicações de bombas industriais, nas quais é necessário o controlo preciso de fluídos.

A TCS Micropumps é especializada no design, desenvolvimento e fabrico de bombas hidráulicas e sistemas em miniatura. A tecnologia da empresa inclui moldagem por injeção com padrão de precisão e de injeção múltipla, montagem automatizada, micro-fabrico CNC, impressão 3D e outras técnicas de prototipagem rápida. A TCS Micropumps fabrica uma linha padrão de bombas miniatura patenteadas, para atender a uma ampla gama de requisitos.

Tabela 5.2: Comparação entre bombas hidráulicas de engrenagem.

	Micropump (GA Series) [52]	TCS Micropumps (MGD1000S) [53]
Fluxo máx.	506 mL	630 mL
Pressão diferencial máx.	5.2 bar	6 bar
Tensão	24 V	24 V
Corrente de pico	0.2 A	1.8 A
Dimensões	61 x 61 x 64 mm	61 x 32 x 30 mm

A bomba hidráulica disponibilizada pelo laboratório é uma TCS MG1000S. É uma micro bomba de alta performance, leve e silenciosa. As suas reduzidas dimensões permitem que esta bomba seja facilmente implementada neste sistema. Esta bomba utiliza a tecnologia de motor *brushless sensorless* e requer uma placa de controlo de velocidade para ser utilizado, que através de um dado sinal de *input* é gerado uma determinada rotação no motor originando a pressão/fluxo pretendida.

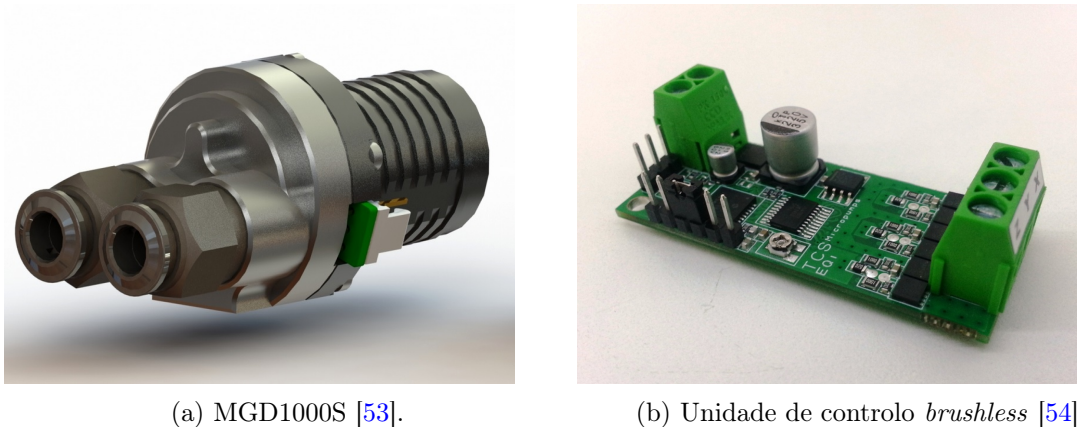


Figura 5.4: Bomba hidráulica e placa de controlo.

5.2.2.2 Válvulas

Uma válvula hidráulica direciona adequadamente o fluxo de um meio líquido através do seu sistema hidráulico.

As válvulas hidráulicas estão disponíveis com diversos estilos de montagem como, por exemplo montagem em tubos, com conexão de rosca, entre outros. As válvulas hidráulicas são subdivididas em três categorias principais: válvulas de controle direcional, válvulas de controle de pressão e válvulas de controle de fluxo.

Para este sistema o tipo de válvula que se adequa é a de controlo direcional uma vez que se pretende direcionar o fluxo para o filtro.

Na área da saúde existem válvulas direcionais de reduzidas dimensões uma vez que se tratam de fluxos e pressões baixas. Dentro desta categoria existem as válvulas rotativas e os manifolds, que se destacam pelo seu reduzido tamanho e com várias opções de seleção da direção do fluxo.

Um dos requisitos do projeto é a capacidade de recolher o máximo de amostras possíveis. Este requisito, por sua vez, está limitado por um outro que diz que o sistema deverá ser portátil por uma pessoa, o que impede o mesmo de ter tamanhos e pesos excessivos para armazenar muitas amostras. O sistema de válvulas poderia ser composto por conjunto de válvulas direcionais comuns de 2 ou 3 vias de modo a obter várias saídas para as amostras. No entanto, esta solução, para os cenários de aplicação apresentados, implica a utilização de um grande volume de trabalho e dependendo da configuração de ligação entre válvulas, poderá existir contaminação entre as amostras.

A válvula rotativa elétrica Bio-Chem Fluidics é uma válvula operada por motor de passo usada para aplicações de recolha de amostras, injeção de *loop* ou seleção de caminho de fluxo. Esta válvula foi projetada para fornecer um caminho de fluxo inerte para fluidos agressivos e / ou reativos. O motor de passo opcional de acionamento direto aciona o rotor para alinhar os orifícios do rotor e do estator e concluir o caminho do fluxo.

A válvula da Advanced Microfluids é uma válvula rotativa elétrica de baixa pressão precisa, projetada para aplicações microfluídicas automatizadas. Os canais são excepcionalmente pequenos e o seu sistema de posicionamento é preciso o que torna ideal para a manipulação precisa de líquidos. Apresenta um volume pequeno incomparável, baixo consumo de energia e uma facilidade de uso excepcional. Esta válvula é uma opção ideal para a distribuição de líquidos num sistema hidráulico ou em experiências de laboratório a um custo reduzido.

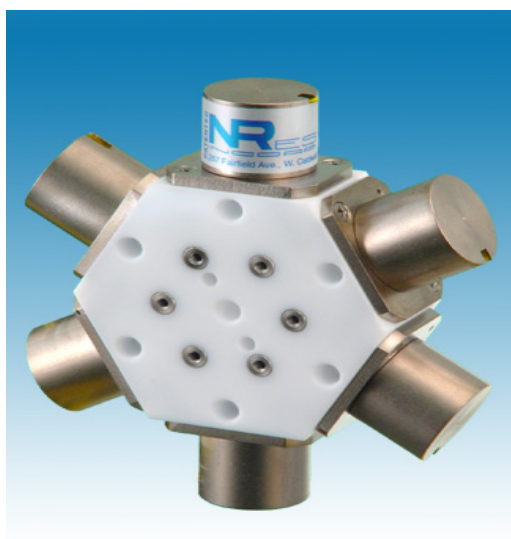
Os manifolds da NResearch Inc. incorporam duas, três, quatro e seis válvulas de isolamento separadas, integradas num único bloco. As válvulas têm entradas independentes e uma saída comum ou, inversamente, uma entrada comum e duas, três, quatro ou seis saídas independentes. Estes manifolds são úteis para seleção de solvente, divisão de vapor, descarga e outras aplicações automatizadas.

Tabela 5.3: Características de algumas válvulas direcionais.

	Advanced Microfluids (V-D-1-6-050-C-P) [55]	Bio-Chem Fluidics (RV-EN0-S6B-PTNB) [56]	NResearch (225T092) [57]	Parker (201LG2GVG2) [58]
Tipo de válvula	Rotativa 6 vias	Rotativa 6 vias	Manifold 6 vias	Direcional 2 vias
Pressão máx.	7 bar	10.3 bar	1 bar	15 bar
Orifício	0.5 mm	1.3 mm	1.5 mm	1.5 mm
Tensão	24 V	24 V	24 V	24 V
Corrente de pico	0.50 A	2.60 A	0.06 A	0.21 A
Dimensões	42 x 60 x 96 mm	112 x 42 x 46 mm	113 x 113 x 32 mm	42 x 39 x 59 mm

A solução encontrada trata-se de um manifold de gradiente da NResearch, empresa que é líder e se dedica à construção de válvulas solenoides patenteadas com tamanho reduzido, baixo consumo de energia, tempo de resposta rápido e alto ciclo de vida.

O equipamento escolhido e existente já no laboratório trata-se de um manifold de gradiente com válvulas solenoides de isolamento de 6 vias, ou seja, uma entrada comum para 6 saídas isoladas de dimensões bastantes reduzidas.



(a) Manifold (225T092) [57].



(b) Válvula Solenóide (201LG2GVG2) [58]

Figura 5.5: Válvulas direcionais utilizadas.

As válvulas escolhidas para selecionar como *input* do sistema hidráulico, ou seja, se pretende ser inserido água ou preservante, são válvulas solenoides de duas vias, normalmente fechadas da Parker. Estas válvulas apresentam uma dimensão reduzida, consumo baixo e aguentam até uma pressão diferencial de 15 bar .

5.2.3 Sensores

Um sensor de fluxo é um instrumento usado para medir o volume de um líquido ou gás. O sensor de fluxo é essencial para determinar a quantidade de água que atravessa o filtro para que este não sature e perca as propriedades de filtração.

O sensor de fluxo utilizado é da BIOTECH, modelo FCH-m-PVDF [59] que consegue obter leituras até 0.9L/min a pressões de até 10 bar a 20°C. É alimentado a 5 V e o valor do fluxo é dado através de um sinal analógico. É um sensor prático uma vez que é facilmente inserido no circuito hidráulico, tal como se verifica na Figura 5.6



Figura 5.6: Sensor de fluxo utilizado [59].

Tabela 5.4: Características do sensor de fluxo.

	BIO-TECH (FCH-micro-PVDF)
Fluxo máx.	0.9 L/min
Pressão máx.	10 bar
Tensão	5 V
Corrente	25 mA

Um sensor de pressão é um instrumento ou dispositivo que traduz a magnitude da pressão física exercida no sensor num sinal de saída que pode ser usado para estabelecer um valor quantitativo para a pressão.

No sistema completo serão utilizados dois sensores. Um para medir a pressão externa e outro para medir a pressão interna. Torna-se necessário dois sensores de pressão de modo a garantir que haja diferencial de pressão para garantir fluxo no sentido pretendido.

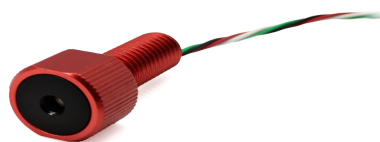
O primeiro sensor será colocado no exterior, de modo a medir a pressão exterior e o segundo no interior do sistema em série com as ligações que transportam água. O sensor exterior é da BlueRobotics que permite valores de pressão até 30 bar, enquanto o interno é da AVS-Römer que permite pressões até 16 bar.

Tabela 5.5: Características dos sensores de pressão utilizados.

	BlueRobotics (MS5837-30BA) [60]	AVS-Römer (IPS-958P3-4PF-16) [61]
Pressão máxima	30 bar	16 bar
Precisão	± 200 mbar	$\pm 1.5\%$ FS
Tensão	5 V	5 V
Corrente de pico	1.25 mA	20 mA



(a) Sensor de pressão da AVS-Römer [61].



(b) Sensor de pressão da BlueRobotics.

Figura 5.7: Sensores de pressão utilizados.

5.2.4 Anti-bioincrustação

A bioincrustação é um problema neste sistema, principalmente nas vias de transporte da água, ou tubos, uma vez que entre cada amostra há um período sem movimento de fluxo onde se podem desenvolver colónias de pequenos organismos.

Para evitar o crescimento destes organismos e prevenir possíveis entupimentos foi implementado uma técnica que desativa as bactérias, vírus e outros micróbios. Esta técnica também evita a contaminação entre as amostras uma vez que destrói as informações genéticas codificadas no DNA.

Para tal, luzes ultra-violeta (UV) com comprimento de onda entre 280 nm e 286 nm incidem sobre as vias de transporte prevenindo a criação de um biofilme.

As luzes ultra-violeta são compostas por uma série de LEDs UV controladas pelo sistema de recolha de água que ligam durante o tempo necessário.

Os LEDs utilizados são da Luminus [62] e as suas principais características são apresentadas na Tabela 5.6

Tabela 5.6: Características do UV LED.

Comprimento de onda	280 nm
Tensão	5.2 V
Corrente	40 mA
Ângulo de abertura	$>120^\circ$

5.2.5 Monitorização do meio aquático

O sistema também engloba um conjunto de sensores para monitorizar os parâmetros da qualidade da água. Entre eles destacam-se o sensor de temperatura, pH, oxigénio dissolvido, condutividade e turbidez.

Todos os sensores utilizados são do fabricante Atlas-Scientific, que fabrica dispositivos projetados especificamente para serem usados em sistemas embebidos, com exceção do sensor de turbidez que é da DFRobots, uma empresa que fabrica sensores de baixo custo para serem normalmente utilizados em projetos académicos.

O sensor de temperatura, representado na Figura 5.8, é um sensor resistivo analógico que consegue medir temperaturas a cada segundo desde os -200°C até 850°C , com resolução de milésima de grau Celsius [63].



Figura 5.8: Sensor de temperatura utilizado [63].

O sensor de condutividade, representado na Figura 5.9, é um sensor que além de medir a condutividade, também mede a salinidade, a quantidade total de sólidos dissolvidos e, em água salgada, a gravidade específica a cada segundo. É um sensor à prova de água até 60 m com uma taxa de atualização de 1 s que consegue obter valores entre $10\ \mu\text{S}/\text{cm}$ e $1\ \text{S}/\text{cm}$ no caso da condutividade, entre 5 ppm e 500 000 ppm no caso da quantidade total de sólidos dissolvidos, entre 0 ppt e 42 ppt no caso da salinidade e entre 1.00 e 1.30 no

caso da gravidade específica. O método de resolução é escalável, ou seja, à medida que a condutividade aumenta a resolução diminui [64].



Figura 5.9: Sensor de condutividade utilizado [64].

O sensor de pH, representado na Figura 5.10, é responsável por medir a atividade de iões de hidrogénio num líquido. Para medir esta atividade é utilizada uma membrana de vidro que permite a difusão dos iões de hidrogénio presentes na solução que está a ser medida para dentro da camada de vidro enquanto os iões de maior tamanho mantêm-se na solução. Esta diferença de concentração gera uma pequena corrente que é proporcional à quantidade de iões de hidrogénio presente no líquido. É capaz de obter valores com variações de milésima de pH entre 0 e 14 a cada segundo até 60 m de profundidade [65].



Figura 5.10: Sensor de pH utilizado [65].

O sensor de oxigénio dissolvido, representado na Figura 5.11 utilizado é um galvânico e consiste numa membrana PTFE, num ânodo banhado num eletrólito e num cátodo. Pode apresentar as leituras em saturação, de 0.1 a 400 % ou em concentração, de 0.01 a 100 mg/L até uma profundidade de 343 m [66].



Figura 5.11: Sensor de oxigénio dissolvido utilizado [66].

O sensor de turbidez, representado na Figura 5.12 é um sensor por gravidade que deteta a qualidade da água medindo os níveis de turbidez ou opacidade. O sensor utilizado é da DFRobot e é um sensor de baixo custo, utilizado normalmente em projetos académicos para medir a qualidade da água em rios e lagos, medições de águas residuais e efluentes, pesquisa de transporte de sedimentos e medições em laboratório [67]. Este sensor é constituído por um emissor de luz e um receptor de luz que localizado à sua frente. Ao emitir luz infravermelha, o valor medido no receptor corresponde à turbidez. Quanto maior a quantidade de partículas em suspensão na água, maior é a absorção e reflexão da luz infravermelha por parte do líquido e, portanto, mais escura a água tende a ser, elevando-se assim a turbidez da água.

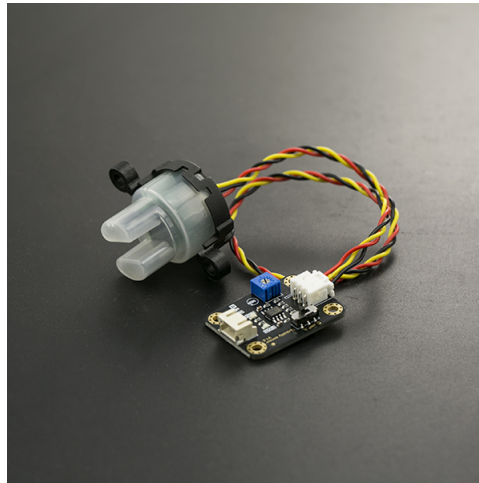


Figura 5.12: Sensor de turbidez utilizado [67].

Na Tabela 5.7 encontra-se resumido as características dos sensores utilizados para a monitorização da água.

Tabela 5.7: Características dos sensores utilizados

	Temperatura	pH	Condutividade	Oxigénio dissolvido	Turbidez
Interface	USART ou I2C	USART ou I2C	USART ou I2C	USART ou I2C	ADC
Amostragem	1 Hz	1 Hz	1 Hz	1 Hz	2 Hz
Gama de valores	-5 °C to 70 °C	0 to 14	10 μ S/cm to 1 S/cm	0 mg/L to 100 mg/L	0 to 3000 NTU
Resolução	0.001 °C	± 0.001	scalable	n.d	n.d
Precisão	$\pm(0.15 + 0.002 \times T)$	± 0.002	$\pm 2\%$	± 0.05 mg/L	n.d.
Profundidade	n.d.	60 m	60 m	343 m	n.d.
Tensão	5 V	5 V	5 V	5 V	5 V
Corrente	16 mA	18.3 mA	50 mA	13.5 mA	40 mA

5.2.6 Armazenamento

De modo a guardar tanto as instruções da missão como o resultado dos sensores ao longo da mesma, foi implementado um cartão de memória. No início de cada missão o utilizador comunica os dados da missão e estes são armazenados no cartão de memória. Ao longo da missão, tanto os dados recolhidos pelos sensores da monitorização aquática como o sensor de pressão externo são guardados.

5.2.7 Fonte de energia

As baterias podem ser classificadas em diferentes categorias e tipos, variando de composição química, tamanho, e cenários de aplicação, mas, em todos esses, existem dois tipos principais de bateria: baterias primárias (não recarregáveis) e baterias secundárias (recarregáveis).

As baterias de lítio são as baterias secundárias mais populares, encontradas em diferentes aparelhos portáteis, incluindo *smartphones*, dispositivos inteligentes e noutros aparelhos

eletrônicos. Também encontram-se em aplicações aeroespaciais e militares devido à sua natureza leve. As baterias de lítio geralmente possuem alta densidade de energia, pouco ou nenhum efeito de memória e baixa descarga automática em comparação com outros tipos de bateria.

Na Tabela 5.8 está representado o consumo aproximado de cada componente.

Tabela 5.8: Consumo energético

Componente	Potência
Bomba hidráulica	30 W
Manifold	1.5 W
Válvulas	5.04 W
Sensor pressão externo	6.25 mW
Sensor pressão interno	25 mW
Sensor fluxo	75 mW
Anti-biofouling	2.08 W
Sensor temperatura	0.08 W
Sensor condutividade	0.25 W
Sensor D.O.	0.0675 W
Sensor pH	91.5 mW
Sensor turbidez	0.2 W
Sistema em IDLE	0.5 W
TOTAL	34.815 W

Uma vez que a potência eléctrica (P) informa sobre a quantidade de energia consumida por unidade de tempo, para calcular a energia (E) consumida por um condutor precisa-se de saber durante quanto tempo (Δt) este esteve em funcionamento, ou seja:

$$E = P \times \Delta t \quad (5.1)$$

O modo de funcionamento do sistema é intermitente, ou seja, está programado para recolher uma amostra e ficar em IDLE até nova recolha. Por isso e uma vez que a unidade de filtro apenas permite um fluxo de 100 mL/min e o seu volume de amostra processado é de 1000 mL o sistema terá que permanecer ligado pelo menos durante 10 min para processar uma amostra.

Através da equação 5.1 somando os consumos e multiplicando pelo intervalo de tempo, conclui-se que o sistema consome 12.5 W/h, por amostra, no pior cenário.

Uma vez que o sistema está equipado com 18 amostras, para completar todas necessita de pelo menos 226.3 W h.

Uma bateria de 22.2 V com capacidade de 20 A h obtém uma energia total de 444 W h o que permite que o sistema permaneça em funcionamento durante 22,67 dias para recolher

todas as amostras com um consumo de 0.5 W em modo *IDLE*.

5.3 Estrutura mecânica

No que diz respeito à estrutura mecânica, optou-se pelo conceito ilustrado da Figura 5.13. Decidiu-se separar o sistema em três encapsulamentos, a secção de controlo, representada por A, composta pelos componentes hidráulicos, sensores necessários para o sistema hidráulico, monitorização de bateria e bateria, a secção de amostras, representada por B, composta pelos filtros e a secção responsável pela monitorização da água, representada por C, constituída pela placa de aquisição de dados dos sensores de qualidade de água.

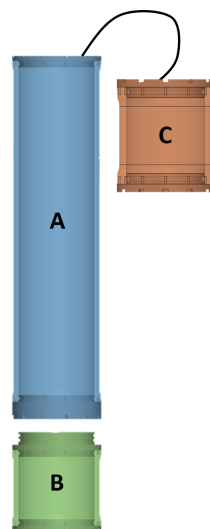


Figura 5.13: Conceito da estrutura mecânica.

A união entre a secção de controlo e de amostras (representados por A e B na Figura 5.13, respetivamente) é feita através do par de conectores (macho e fêmea) PMCD4201 e PMCD1601 cuja particularidade na utilização desta combinação de conectores recai na vantagem de que ambos são válvulas passivas que só existe passagem de fluxo quando ligados, ou seja, quando desligados o conector funciona como um terminal.



(a) Conetor PMCD1601



(b) Conetor PMCD2401

Figura 5.14: Conectores para a união entre a secção de controlo e de amostra

De acordo com o *hardware* implementado este sistema só permite profundidades até 3.1 bar, ou seja, aproximadamente 31.6 m. A forma geométrica utilizada para o sistema trata-se de um tubo cilíndrico, uma vez que as formas geométricas com superfícies curvas permitem maiores profundidades pois o vetor de pressão é perpendicular ao ponto de incidência e numa superfície curva a direção destes vetores é diferente, distribuindo melhor a tensão causada pela pressão da água. O que limita o diâmetro interno deste tubo é componente de maior tamanho, o manifold, ou seja o diâmetro interno será de 120 mm. O que limita a espessura do cilindro (e o diâmetro externo) são os limites de pressão dos componentes, que neste caso é dado pela unidade de filtro Sterivex, que permite pressões até 3.1 bar.

O material escolhido para a estrutura mecânica foi o alumínio pois, além de ser um material resistente, apresenta boa capacidade de extrusão e boa resistência a corrosão.

Capítulo 6

Implementação e Resultados

6.1 *Hardware*

Ao longo desta secção é detalhado o desenvolvimento das Placas de Circuito Impresso (PCBs) desenvolvidas para este sistema com recurso ao *software* KiCad, que permite a visualização 3D das PCBs. Neste *software* foi desenhada a placa de monitorização do meio aquático e a placa de controlo do sistema hidráulico e monitorização das baterias, apresentando o seu esquema nos Apêndices [A](#) e [B](#), respetivamente.

6.1.1 Sistema de monitorização do meio aquático

A monitorização do meio aquático é realizada através de uma placa de circuito impresso independente que lê um conjunto de sensores que medem alguns parâmetros da qualidade da água como, por exemplo, a temperatura, o pH, o oxigénio dissolvido, a condutividade e a turbidez. Este subsistema de monitorização foi desenvolvido desta forma de modo a permitir uma maior facilidade de ser utilizado em qualquer veículo aquático autónomo para recolher parâmetros importantes do meio aquático.

O sensor de pH, oxigénio dissolvido e condutividade, dada a sua grandeza são sensíveis a ruído pelo que necessitam de ser isoladas eletricamente. Esse isolamento é realizado pelo `EZO_Inline_Voltage_Isolator` [68], que isola tanto o sinal como a alimentação.

O sensor de pH, de oxigénio dissolvido, de condutividade e de temperatura estão ligados a placas de processamento de sinal, as `EZO_Embedded_Circuit` [69, 70, 71, 72] que recebe um sinal analógico do sensor e converte-o em digital.

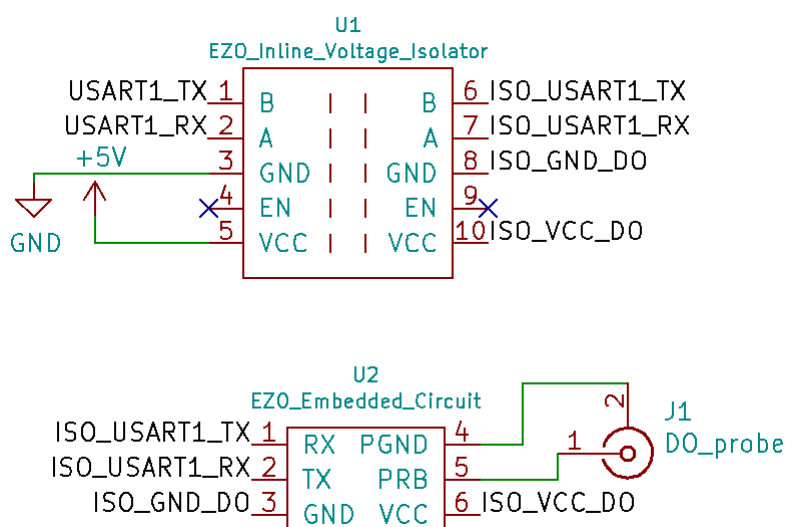


Figura 6.1: Placa de processamento de sinal e de isolamento utilizadas juntamente com o sensor de oxigênio dissolvido (DO).

Os pedidos de leitura, calibração e configuração são realizados através de comandos enviados pela USART entre o microcontrolador e a placa de processamento de sinal.

Um dos principais requisitos para a escolha do microcontrolador do sistema de monitorização do meio aquático foi a existência de pelo menos 4 USARTs, sendo que por este motivo utilizou-se o STM32F091RCT6 [73].

Tabela 6.1: Interfaces utilizadas pelos sensores.

Interface	Sensor
ADC_IN4	Turbidez
USART1	D.O.
USART2	pH
USART3	RTD
USART4	EC

O sensor de turbidez é um sensor analógico com valores a oscilar entre 0 V e 4.5 V, pelo que torna-se necessário implementar um divisor de tensão de precisão, uma vez que os canais analógicos do microcontrolador não são tolerantes à gama de valores do sensor.

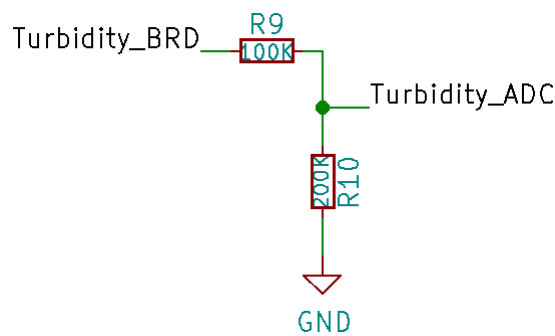


Figura 6.2: Divisor de tensão de precisão.

Para que esta placa possa funcionar em modo independente é necessário incluir toda a electrónica para tal como, por exemplo, ficha para pinos para programação do microcontrolador, FTDI para comunicação com o exterior, regulador de tensão (para alimentar o microcontrolador), oscilador, botão *reset* e LED para indicar o estado.

Na Figura 6.3 são apresentadas as ligações realizadas ao microcontrolador.

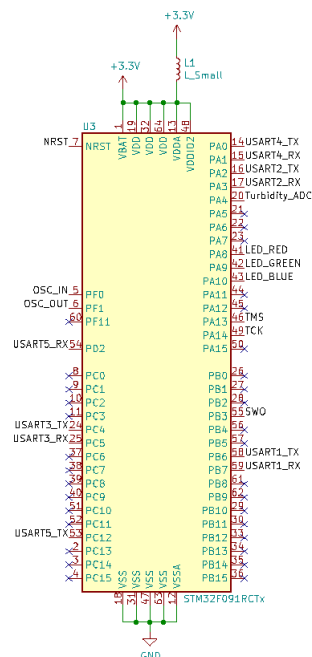


Figura 6.3: Esquema de ligação do microcontrolador responsável pela monitorização aquática.

No Apêndice A está representado o esquema elétrico da placa de monitorização do meio aquático.

6.1.1.1 Placa Circuito Impresso

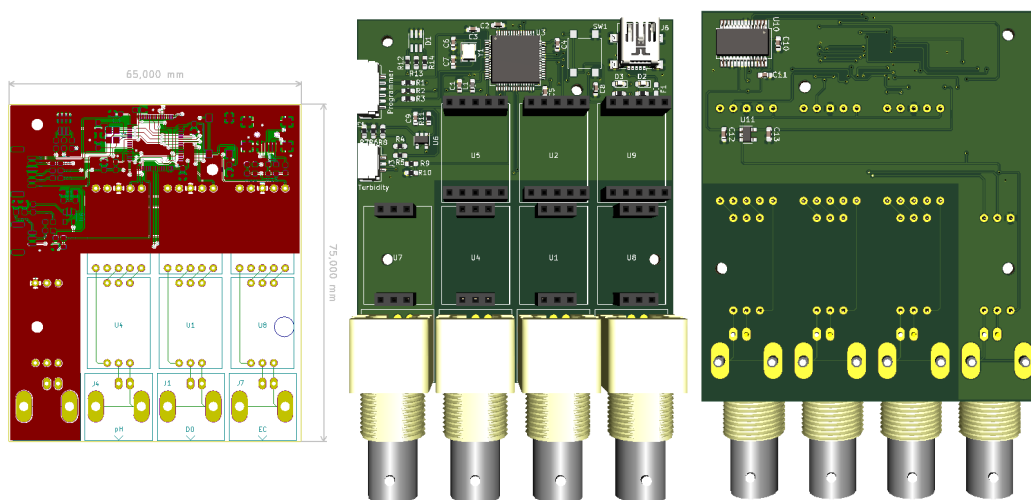
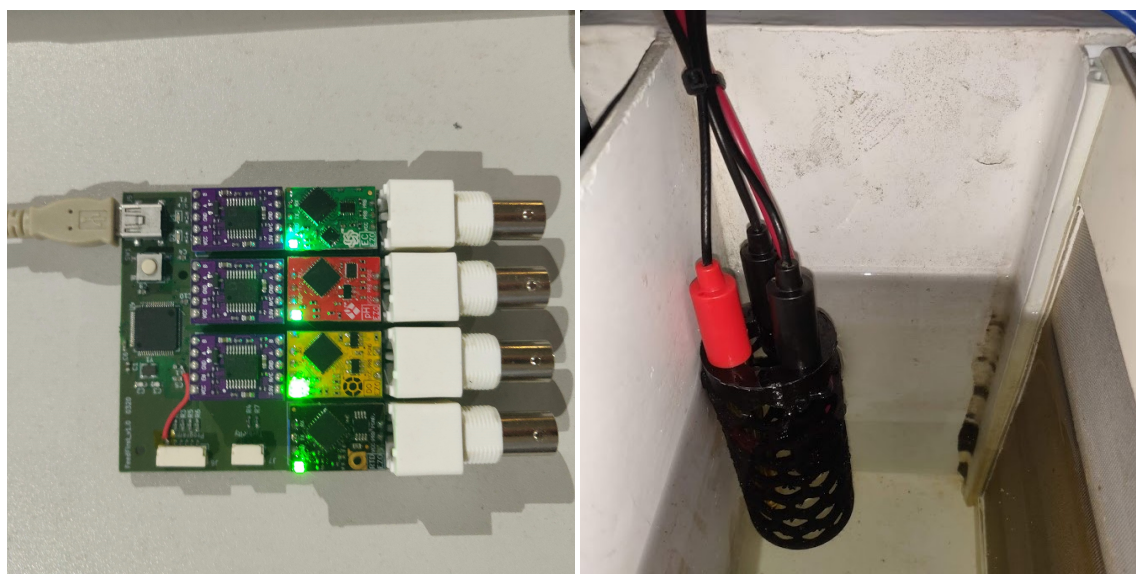


Figura 6.4: Dimensão, visão superior e inferior da PCB da monitorização do meio aquático



(a) Placa de Monitorização

(b) Suporte dos Sensores

Figura 6.5: Sistema de monitorização do meio aquático

6.1.2 Sistema de recolha de amostras, monitorização da bateria e armazenamento

Relativamente ao sistema hidráulico, mais especificamente para controlar os manifolds é utilizado o integrado ADG1414 [74]. Este circuito integrado é uma *switch octal* de reduzidas dimensões capaz de obter uma corrente por canal de 169 mA, suficiente para ser

consumida por uma válvula de cada vez. Este integrado é controlado por SPI e tem uma particularidade de poder ser utilizado em cadeia com vários ADG1414, reduzindo assim o número de pinos necessários para controlar os três manifolds. São utilizados fusíveis rearmáveis como método de prevenção para picos de corrente e colocado um diodo de roda livre em cada saída em paralelo com a válvula como medida de protecção contra elevadas tensões causadas por cargas indutivas (válvula).

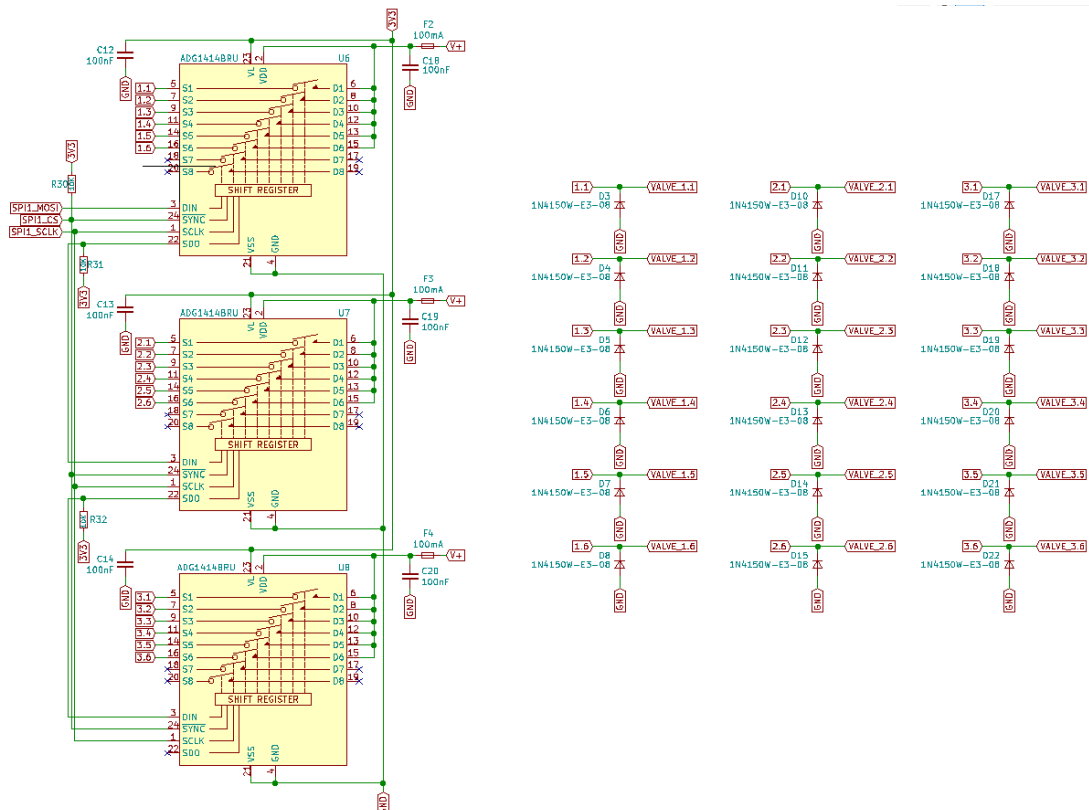


Figura 6.6: Controlo dos manifolds.

A bomba hidráulica é utilizada em conjunto com uma driver de motor *brushless*, o EQi-MG1, controlado através de um PWM gerado pelo microcontrolador que corresponderá a rotação do motor.

Relativamente ao controlo das válvulas de seleção de entrada são utilizados dois MOS-FETs de canal N, o MMBF170Q-7-F [75], com uma corrente de dreno de 500 mA sendo cada um controlado por um pino digital do microcontrolador.

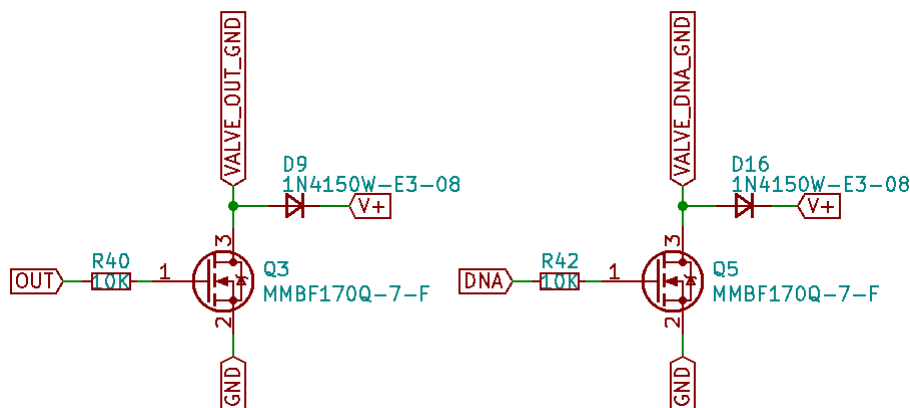


Figura 6.7: Controle das válvulas de seleção de entrada.

Para leitura do sensor de fluxo e de pressão interna são necessárias duas entrada analógicas no microcontrolador capazes de ler valores de pelo menos até 5 V e para o sensor de pressão externa o protocolo de comunicação I2C.

Está também implementado um LED RGB controlado por 3 PWMs que está colocado na tampa externa do sistema de modo a indicar o estado do sistema.

Por último foram utilizados 3 MOSFETs de canal N, o MMBF170Q-7-F, com uma corrente de dreno de 1 A sendo controlado por um pino digital do microcontrolador para as luzes ultravioleta responsáveis pela esterilização. À saída do dreno foram colocados em série 5 LEDs UV de modo a obter uma queda de tensão total superior à tensão da bateria.

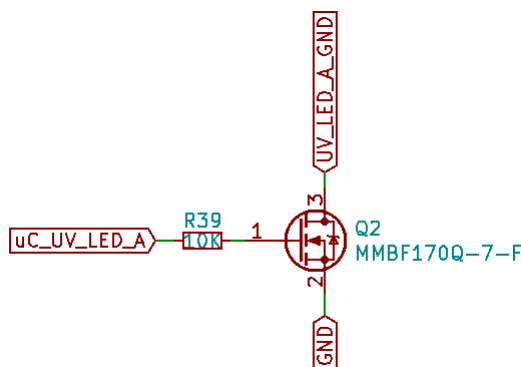


Figura 6.8: Controle das luzes ultravioleta.

De modo a controlar as baterias, para que estas não desçam a baixo da tensão mínima recomendada, está implementado um sistema de monitorização das baterias. Para tal, foi implementado um circuito integrado que obtém a tensão de cada célula que é baseado em comunicação SPI entre ele e o microcontrolador, o LTC6803-4 [76]. De acordo com as recomendações do fabricante foi aplicado um filtro passa baixo para reduzir o ruído na conversão da tensão de cada célula.

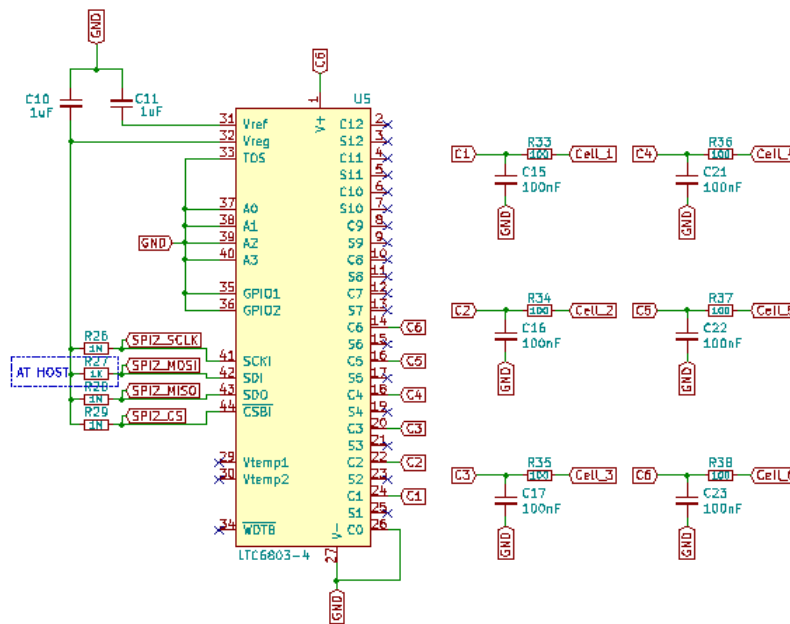


Figura 6.9: Circuito integrado responsável pela leitura das células.

Em conjunto com este integrado que permite monitorizar as baterias, foi introduzido outro integrado que permite controlar o estado geral do sistema, ou seja, ligado ou desligado, o LTC2955CDDDB-2-TRMPBF [77]. Com este integrado é possível controlar o estado do sistema através de dois modos: por um botão e por um pino controlado pelo microcontrolador ou pelo decréscimo da tensão mínima das baterias (como forma de segurança). De acordo com uma das situações descrita anteriormente, é gerado um sinal lógico no pino de ativação, EN, ligado à *gate* de um MOSFET canal P, NTR5105P [78], para abrir ou fechar o relé que liga ou desliga o sistema, 34.81.7.024.9024 [79].

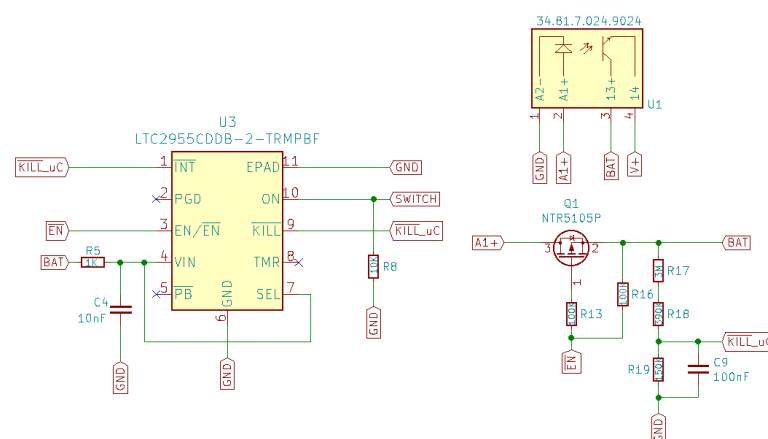


Figura 6.10: Esquema de controlo do estado do sistema.

Relativamente aos diferentes níveis de tensão utilizados no sistema foram inseridos dois conversores CC/CC, um de 5 V, o OKI-78SR-5/1.5-W36H-C [80], para o sensor de fluxo,

de pressão interna e outros periféricos e outro de 3.3 V, o OKI-78SR-3.3/1.5-W36H-C [80] para o microcontrolador, sensor de pressão externo e outros periféricos.

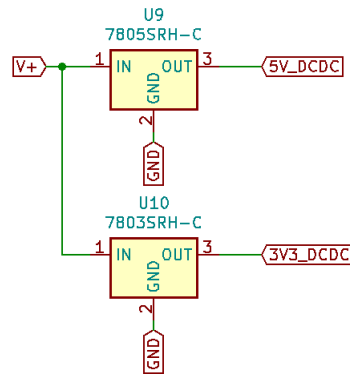


Figura 6.11: Conversores abaixadores de tensão.

De modo a seleccionar a principal fonte de alimentação foi utilizado um relé convencional de dois pólos, o G5V-2-H1 5DC [81], para escolher se o sistema de controlo seria alimentado pela tensão obtida pelos reguladores proveniente da bateria ou pelo regulador interno da FTDI quando conectado o cabo USB (quando o sistema não está a funcionar em modo autónomo).

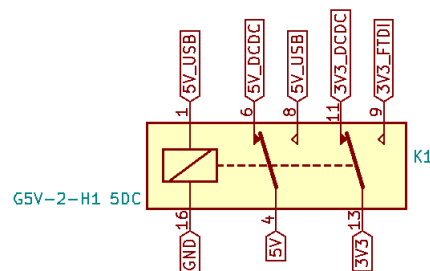


Figura 6.12: Relé de dois pólos.

Para armazenar os dados recebidos pelo sistema de monitorização da água, ou seja, o valor dos sensores, ou das especificações da missão foi implementado uma unidade de armazenamento, um cartão de memória. Para enviar e ler dados do cartão de memória é necessária a utilização do protocolo de comunicação SPI entre o cartão e o microcontrolador.

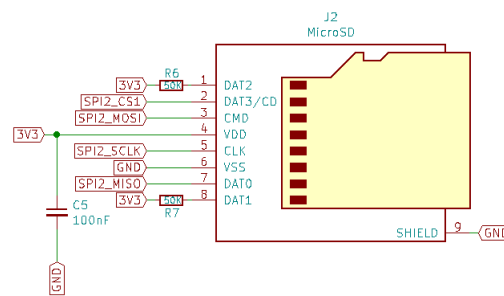


Figura 6.13: Cartão de Memória.

Para escolher o microcontrolador que fosse capaz de atender aos requisitos do *hardware* utilizado foi elaborada a Tabela 6.2 e escolhido o STM32F103RBT6 [82].

Tabela 6.2: Requisitos para o microcontrolador.

Periférico	Requisitos
BMS	1 SPI
Manifold	1 SPI
Bomba Hidráulica	1 PWM
Válvulas de seleção	2 pinos digitais
Sensor de fluxo	1 ADC
Sensor pressão interna	1 ADC
Sensor pressão externa	I2C
RGB	3 PWM
UV-LED	3 pinos digitais
Water Monitoring	1 USART
Cartão de memória	1 SPI

Na Figura 6.14 são apresentadas todas as ligações realizadas no microcontrolador.

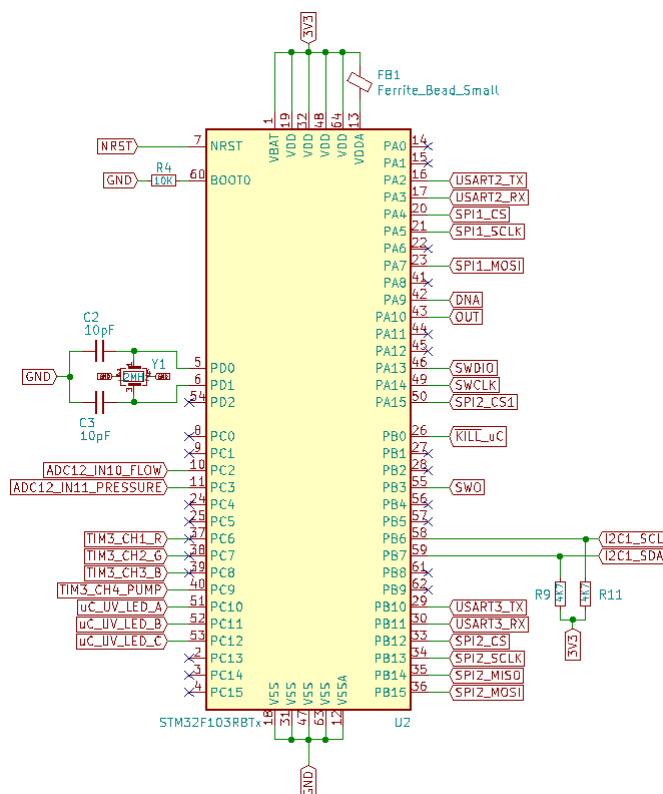


Figura 6.14: Esquema de ligação do microcontrolador.

De modo a realizar a leitura do valor analógico dos sensores de fluxo e pressão interna foi necessário implementar um divisor de tensão de elevada precisão, representado na Figura 6.15, uma vez que os pinos do microcontrolador dos canais analógicos não são tolerantes a 5 V.

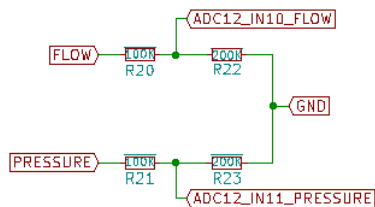


Figura 6.15: Divisor de tensão para os sensores de fluxo e pressão interna.

No Apêndice B está representado o esquema elétrico da placa do sistema de recolha de amostras.

6.1.2.1 Placa Circuito Impresso

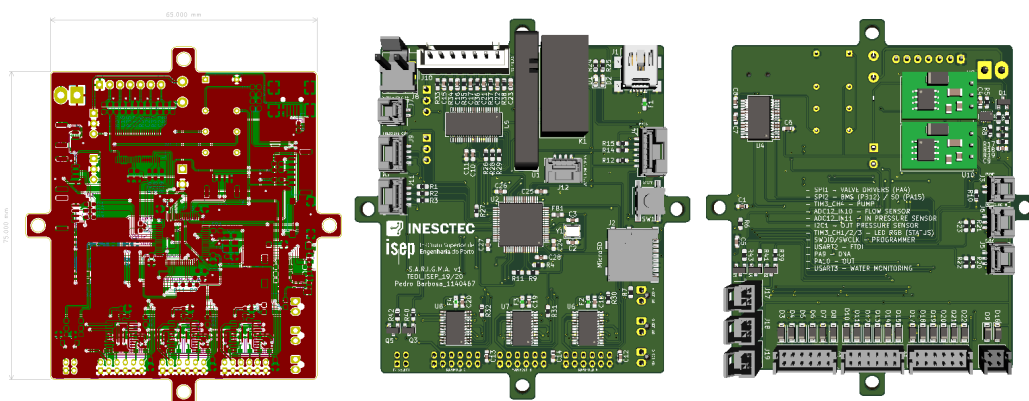


Figura 6.16: Dimensão, visão superior e inferior da PCB do sistema de recolha de amostras.

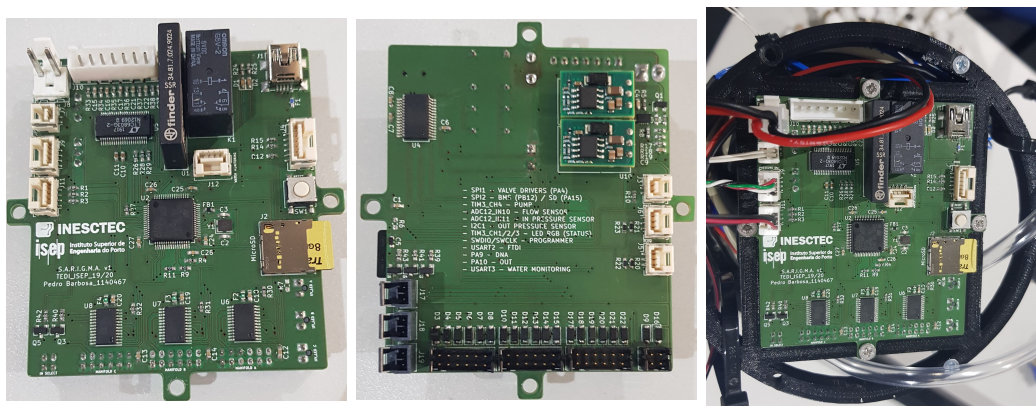


Figura 6.17: PCB desenvolvida para o sistema de recolha de amostras.

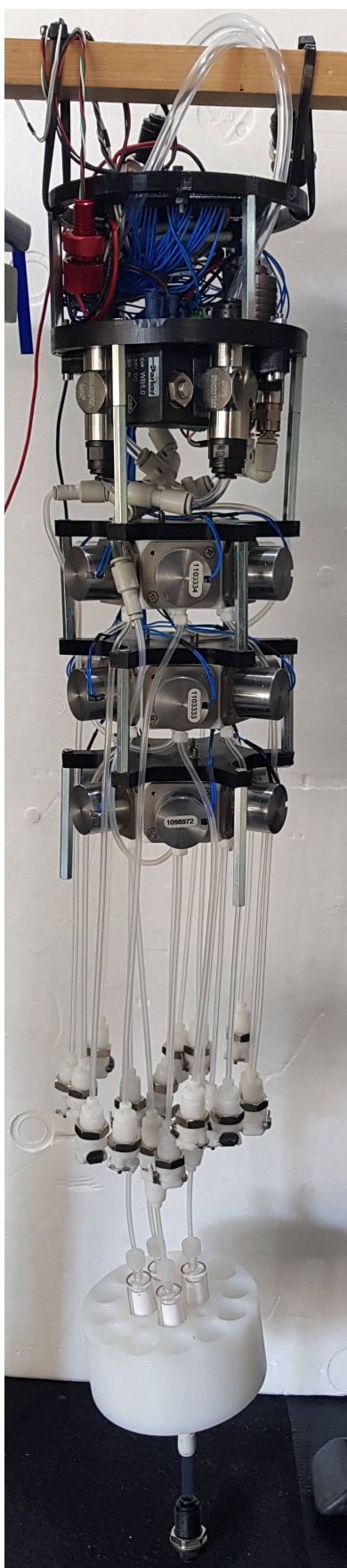


Figura 6.18: Sistema de recolha de amostras.

6.2 Software

O *software* foi desenvolvido em FreeRTOS porque proporciona funcionalidades como *real time scheduling* e comunicação entre tarefas.

Uma vez que o sistema tanto pode funcionar em modo autónomo como operado remotamente foi necessário implementar um protocolo de comunicação com o exterior que permita ao sistema funcionar em qualquer dos modos.

No modo de funcionamento manual o utilizador tem o controlo total do sistema podendo, por exemplo, iniciar uma recolha de amostra, calibrar sensores ou recolher dados do sistema de monitorização aquática ou saber em que estado se encontra o sistema. No modo de funcionamento autónomo, o sistema, de acordo com as especificações pré-estabelecidas para a missão, efetua a recolha de amostras, armazena os dados do sistema de monitorização e também monitoriza o estado das células da bateria.

Numa primeira abordagem entre o utilizador e o sistema foi implementado o protocolo de comunicação genérico descrito na Tabela 6.3

Tabela 6.3: Trama de envio e resposta.

Byte	0	1	2	3	n-2	n-1	n
	0xCD	Comando	Ndados	Dados	...	Dados	CRC

Tabela 6.4: Comandos utilizados no protocolo de comunicação entre o utilizador e o sistema.

Comando	Descrição
0x01	Recolher uma amostra
0x02	Recolher dados da monitorização da água
0x03	Calibrar sensores
0x04	Importar especificações da missão
0x05	Exportar resultados da missão
0x06	Estado do sistema
0xFF	Abortar

Caso o sistema esteja em modo manual, o utilizador pode realizar um pedido de recolha de amostras, sendo que na trama de resposta a informação enviada pode corresponder a amostra recolhida com sucesso, amostra não recolhida por falha ou bateria baixa. Na Tabela 6.5 encontram-se os dados a responder quando é realizado um pedido e na Tabela 6.6 um exemplo de quando um pedido de recolha de amostra é efetuado com sucesso.

Tabela 6.5: Dados a enviar quando realizados pedidos pelo utilizador.

dados	Descrição
0x00	Amostra recolhida
0x01	Calibração efetuada
status	Estado do sistema
data	Valores dos sensores
0x0F	Bateria fraca
0xFF	Falha

Tabela 6.6: Trama de resposta ao pedido de recolha de uma amostra

Byte	0	1	2	3	4	5
	0xCD	0x01	1	0x00	CRC	CRC

No caso do utilizador pretender calibrar os sensores a trama deve ser preenchida de acordo com a Tabela 6.7, sendo que a trama de resposta é equivalente à trama de pedido com uma confirmação, (0x01), no último byte dos Dados. Os procedimentos para calibrar os sensores estão descritos no Apêndice C.

Tabela 6.7: Tabela de dados para calibrar sensores.

Comando	Dados	Descrição
0x03	0x10	RTD,cal,100
	0x20	pH,cal,mid,7
	0x21	pH,cal,low,4
	0x22	pH,cal,high,10
	0x30	EC,cal,dry
	0x31	EC,cal,low,12880
	0x32	EC,cal,high,80000
	0x40	DO,cal
	0x41	DO,cal,0

Se o utilizador pretender conhecer o estado do sistema, o mesmo responde com informação sobre o estado ativo, o número de amostras restantes, o volume processado pelo Sterivex, a pressão externa, a pressão interna, o valor da rotação do motor (associado ao PWM) e o estado das células da bateria (6 células). Esta informação é enviada conforme a trama descrita na Tabela 6.8

Tabela 6.8: Trama de resposta com o estado do sistema.

Byte	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9 - 14	15	16
	0xCD	0x06	12	Estado	Amostras	Volume	Pressão Interna	Pressão Externa	Rotação do Motor	Bateria	CRC	CRC

Quando o utilizador efetua uma monitorização dos parâmetros da água, a trama de resposta é composta pelos bytes descritos na Tabela 6.9.

Tabela 6.9: Trama de resposta com valores dos sensores.

Byte	0	1	2	3-4	5-6	7-8	9-12	13-14	15-16	17	18
	0xCD	0x02	12	depth	RTD	pH	EC	DO	Turbidez	CRC	CRC

No início de cada missão é importado para o cartão de memória as especificações da missão, isto é, informação de quando deverá ser recolhida uma amostra e/ou uma leitura dos sensores e, no fim da missão, são exportados para serem analisados.

As especificações da missão é descrita por um ficheiro de texto (.txt) em que cada linha do ficheiro indica qual o *timestamp* (data/hora) ou qual a profundidade a qual se deve ou recolher uma amostra (S) e/ou recolher os dados dos parâmetros da água (C). Num outro ficheiro do mesmo formato cada linha é preenchida com o *timestamp*, com o tipo e/ou dados dos sensores. No início de cada missão é importado para o cartão de memória as especificações da missão e no fim da missão são exportados para serem analisados. Nos excertos abaixo é possível observar o formato dos ficheiros de texto antes e após a missão.

```

1 //timestamp or depth,type
2 1600773000,S
3 2,C

```

Excerto 6.1: Ficheiro com as especificações da missão

```

1 //timestamp,type,depth,RTD,pH,DO,EC,turbidity
2 1600773000,S,1.41,19.23,7.88,4.01,599.14,744
3 1601651920,C,2,21.81,7.49,3.39,769.20,801

```

Excerto 6.2: Ficheiro com dados da missão

Relativamente à escrita e leitura no cartão de memória, foi utilizada uma biblioteca, `fatfs_sd.c` e o respetivo *include*, `fatfs_sd.h`.

Para aceder ao cartão para obter as especificações da missão é necessário abrir o ficheiro com argumentos para leitura, ou seja:

```

1 /* Create file with read access and open it */
2 fresult = f_open(&fil, "rules.txt", FA_READ);
3 /* Check if the files was opened */
4 if (fresult == FR_OK)//File opened successfully
5 /* Read file and save on buffer */
6 f_read (&fil, buffer, f_size(&fil), &br);
7 /* Close file */
8 f_close(&fil);

```

Excerto 6.3: Leitura do ficheiro

Uma vez realizada a leitura das especificações, é realizada uma interpretação dos dados de modo a criarem os devidos eventos para dar início a recolha de uma amostra e/ou a monitorização dos parâmetros da água.

Para criar um ficheiro com os valores do sistema de monitorização de água, primeiramente é necessário abrir o ficheiro no cartão de memória. De seguida preencher um *buffer* com os valores dos sensores, enviar para o ficheiro e fechá-lo.

```

1 /* Create file with read write access and open it */
2 fresult = f_open(&fil , "data.txt" , FA_CREATE_ALWAYS | FA_WRITE);
3 /* Writing text */
4 sprintf (buffer , "%UL,%.2f,%.2f,%.2f,%.2f,%.2f,%.2f\r\n" , timestamp , depth ,
    RTD, pH, DO, EC, turbidity);
5 /* Send text */
6 fresult = f_write(&fil , buffer , bufsize(buffer) , &bw);
7 /* Close file */
8 f_close(&fil);

```

Excerto 6.4: Escrita no ficheiro

Para obter leituras do sensor de pressão externa começou-se por configurar o I2C. Para dar início a uma leitura, o sensor precisa de efetuar uma sequência de *reset* para calibrar, representada na Figura 6.19.

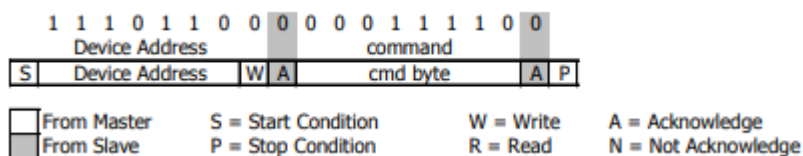


Figura 6.19: Sequência de reset.

De seguida é enviada a instrução para iniciar a conversão da pressão com a resolução pretendida, tal como indica na Figura 6.20.

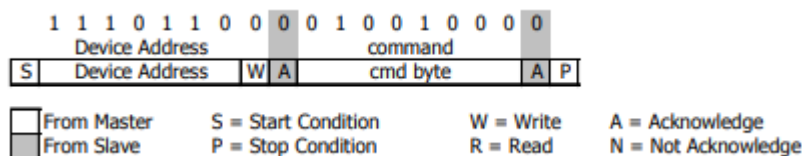


Figura 6.20: Instrução para iniciar conversão com resolução de 12 bits.

Por fim é feito um pedido de leitura do valor, Figura 6.21a ao qual o sensor responde com o valor da pressão, Figura 6.21b.

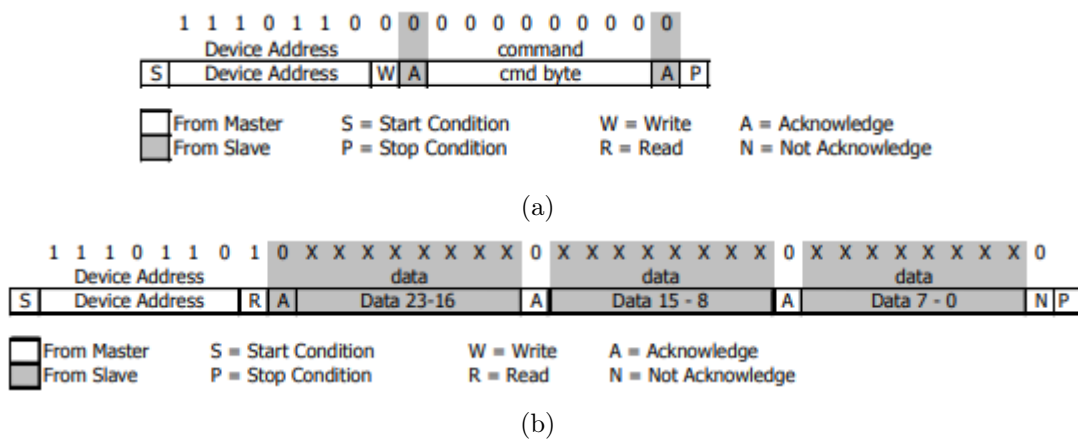


Figura 6.21: Trama de pedido (a) e resposta (b) do sensor de pressão.

O controlo da bomba hidráulica é realizado através da diferença entre a pressão interna e externa, uma vez que é necessário que a pressão interna seja ligeiramente superior para criar fluxo positivo e suficiente para ativar a válvula de retenção à saída do Sterivex para evitar o retorno de líquidos. Foi implementado um PID para tal que, sobre as pressões, é gerado um determinado PWM que atua na bomba.

```

1 current_error = out_pressure - (in_pressure + cracked_pressure);
2 integration_sum += (current_error*iteration_time);
3 duty = KP*current_error + KI*integration_sum + KD*(current_error -
  previous_error)/iteration_time;
4 TIMx->CCRx = duty;
  
```

O volume de água é calculado através do fluxo ao longo do tempo. Para a leitura do volume de água discretizou-se o sinal obtido pelo sensor de fluxo através do método de *Backward Euler*, representado na Equação 6.1, de modo a calcular o volume instantâneo e o processado.

$$y[k] \approx y[k - 1] + hf(t[k], y[k]) \quad (6.1)$$

Ou seja, o volume será aproximadamente igual ao volume acumulado/anterior acrescido do *sampling time* multiplicado pelo fluxo. Este método foi implementado através de um ADC com *trigger* realizado por um *timer* a cada *h*. A cada conversão terminada multiplica-se o valor por *h* e obtém-se o volume processado no tempo *h*.

As válvulas manifold são controladas através do envio de 24 bits pelo barramento SPI em que cada 8 bits corresponde a cada circuito integrado ADG1414. A sequência inicia com o pino SYNC a nível lógico baixo que ativa o *input shift register*. De seguida são enviados os bits cronometrados com o *falling-edge* do sinal injetado no pino SCLK. Uma vez que os circuitos integrados estão dispostos em *daisy chaining* ou bits são separados em grupos de 8 bits sendo "retransmitidos" automaticamente pelo pino SDO. As *switches* são ativadas quando o nível lógico do pino SYNC voltar a nível alto.

6.2.1 take_sample

Na tarefa `take_sample`, o processo de recolha de uma amostra é descrito através de 6 estados: `idle`, monitorização da água, recolha/filtração, preservação, limpeza e abortar. Nesta tarefa estão implementados semáforos de modo a permitir que seja feita uma amostra de cada vez.

No diagrama de estados da Figura 6.22 são apresentados os estados, eventos e transições responsáveis pela recolha de uma amostra.

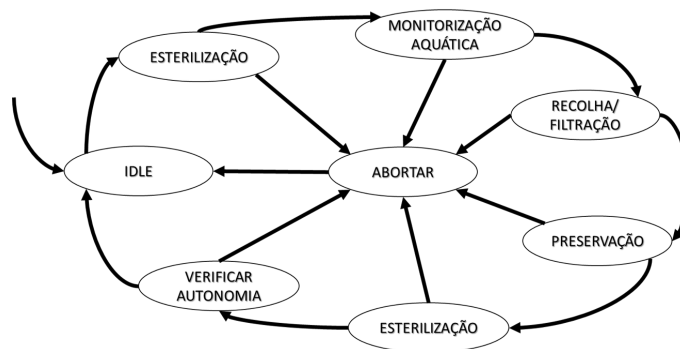


Figura 6.22: Diagrama de estados durante o processo de recolha de amostra.

Inicialmente são realizadas todas as configurações do sistema e da missão, A, e o sistema é colocado em modo de espera, estado `idle`. Uma recolha pode ser iniciada quando se atinge profundidade desejada ou data/hora desejada, B. Quando se deteta um destes eventos o sistema transita para o estado de monitorização da água e é feita uma medição de todos os parâmetros oceanográficos presentes no sistema (pH, RTD, OD, EC, turbidez e profundidade). Quando a leitura estiver terminada é gerado um evento de etapa concluída, C e de seguida o sistema transita para o estado de `recolha/filtração`. Neste estado, primeiramente é aberta uma válvula do manifold e a válvula de entrada de água. Após a abertura destas válvulas é medida a pressão externa e interna e a bomba é ligada de modo a que a sua rotação permita uma pressão interna superior a externa, para garantir fluxo positivo. Em simultâneo o sensor de fluxo recolhe medidas contínuas de modo a garantir que o volume processado pelo Sterivex é inferior ao limite para evitar a saturação da amostra. Quando tiver sido filtrado o volume de água indicado, D, a válvula de entrada de água é fechada e inicia-se o estado da `preservação` onde é aberta a válvula de entrada de preservante de modo a preencher o filtro, E, com a solução aquosa para preservar a amostra. No fim é desligada a bomba e fechadas todas as válvulas. No estado de `limpeza`, luz ultra-violeta é incidida sobre as tubagens de modo a desativar bactérias, vírus e outros micróbios, destruindo as informações genéticas codificadas no DNA para prevenir a contaminação entre as amostras, F. Se durante cada um dos estados for detetada alguma anomalia, H, por exemplo, relacionada com o aumento anormal da pressão interna (provavelmente pelo entupimento das vias de transporte de fluxo) o processo é abortado,

estado abortar, voltando ao estado inicial, G. Os processos descritos anteriormente são repetidos a cada evento inicial até ao preenchimento total da unidade de amostras.

Na Figura 6.23 é possível observar uma ilustração do comportamento do *software/hardware* quando se efetua a recolha de uma amostra, pelo que se pode verificar que, no intervalo:

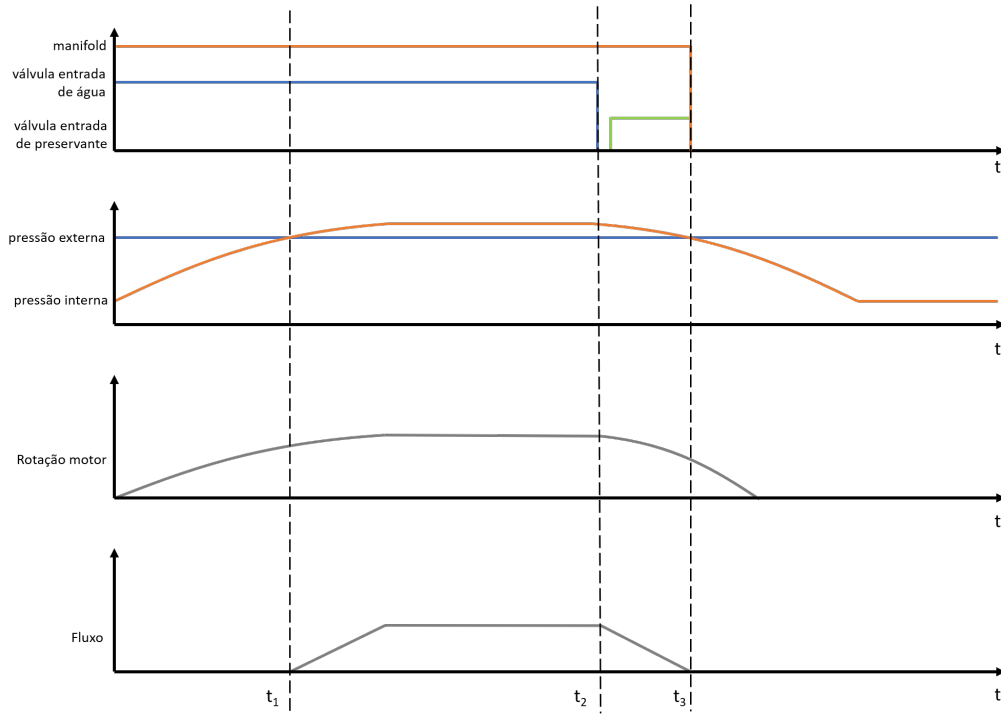


Figura 6.23: Variáveis durante a recolha de uma amostra.

- $[0; t_1]$: a válvula de entrada de água está aberta juntamente com uma válvula do manifold, enquanto a rotação do motor vai aumentando até ser atingida uma pressão interna superior à pressão externa. Neste intervalo de tempo ainda não há fluxo uma vez que a válvula de retenção ainda não foi ativada.
- $[t_1; t_2]$: neste intervalo de tempo a pressão interna é superior à externa, a válvula de retenção é ativada e há passagem de fluxo, pelo que se mantém até o Sterivex ter processado o volume de água.
- $[t_2; t_3]$: após o volume processado é fechada a válvula de entrada e água e aberta a válvula do líquido preservante até preencher o volume de retenção. O motor vai diminuindo a rotação enquanto ainda há passagem de fluxo até ao ponto em que a pressão interna é inferior à externa. Neste ponto fecham-se as válvulas do manifold e a de entrada do líquido preservante.

6.2.2 water_monitoring

A monitorização da qualidade da água é efetuada num sistema embebido independente. Para o sistema principal aceder aos dados implementou-se um protocolo de comunicação

entre o sistema principal e o sistema de monitorização da água idêntico ao protocolo de comunicação entre o utilizador e o sistema principal. Este protocolo envia ou reencaminha o pedido realizado pelo sistema principal ou pelo utilizador, respetivamente. A trama de envio podem ser composta por um pedido dos valores dos sensores ou calibrações e a trama de resposta por uma confirmação da calibração ou pelos dados dos sensores.

Assim, a trama de pedido é igual a t é composta por um *byte* de start, por um *byte* de comando, por um *byte* relativo ao número de dados enviados, pelos *bytes* de dados e por 2 bytes de verificação cíclica de redundância (CRC), conforme indica a Tabela 6.10.

Tabela 6.10: Trama de envio e resposta.

Byte	0	1	2	3	n-2	n-1	n
	0x8A	Comando	Ndados	Dados	...	Dados	CRC

O byte de comando pode ser de pedido de leitura ou calibrações de sensor, tal como indica a Tabela 6.11

Tabela 6.11: Comandos.

Comando	Dados	Descrição
0x01		Leitura única
0x02	0x10	RTD,cal,100
	0x20	pH,cal,mid,7
	0x21	pH,cal,low,4
	0x22	pH,cal,high,10
	0x30	EC,cal,dry
	0x31	EC,cal,low,12880
	0x32	EC,cal,high,80000
	0x40	DO,cal
0x41	DO,cal,0	

A trama de resposta é composta por um *byte* de start, por um *byte* de comando, por um *byte* com o número de dados enviados, pelos bytes de dados (parâmetros dos sensores) e pela verificação cíclica de redundância, conforme indica a Tabela 6.12.

Tabela 6.12: Trama de resposta com valores dos sensores.

Byte	0	1	2	3-4	5-6	7-8	9-12	13-14	15-16	17	18
	0x8A	0x01	12	depth	RTD	pH	EC	DO	Turbidez	CRC	CRC

No caso de se efetuar uma calibração, a trama de resposta será igual à do pedido acrescentando um *byte* de confirmação ao *byte* dos dados.

Quando o sistema de monitorização recebe pedido fazer efetuar uma leitura completa ou para calibrar dos sensores torna-se necessário interpretar a trama e fazer o pedido à respetiva placa de processamento de sinal, EZO_Embedded_Circuit, de acordo com o protocolo implementado pelo fabricante.

No caso de o sistema pretender uma leitura dos sensores, o sistema de monitorização envia para a USART de cada sensor um pedido de valor, ou seja, "R, <cr>". Se estiver a calibrar os sensores, a mensagem a enviar para a USART de cada sensor (Tabela 6.1) está representada na Tabela 6.13

Tabela 6.13: Comandos para calibração dos sensores.

Comando	Descrição	USART
0x10	RTD,cal,100	"cal,100<cr>"
0x20	pH,cal,mid,7	"cal,mid,7<cr>"
0x21	pH,cal,low,4	"cal,low,4<cr>"
0x22	pH,cal,high,10	"cal,high,10<cr>"
0x30	EC,cal,dry	"cal,dry<cr>"
0x31	EC,cal,low,12880	"cal,low,12880<cr>"
0x32	EC,cal,high,80000	"cal,high,80000<cr>"
0x40	DO,cal	"cal<cr>"
0x41	DO,cal,0	"cal,0<cr>"

6.2.3 read_cells

Relativamente à tarefa `read_cells`, esta é executada no fim de cada recolha de amostra de modo a obter um controlo constante do estado das baterias.

Numa primeira fase é configurado o integrado responsável pela leitura das células da bateria para obter a tensão das 6 células. De seguida é iniciada a conversão do valor da tensão pelos ADCs presentes no integrado e por fim é realizado um pedido de leitura desses valores.

Após a leitura da tensão de cada célula é realizada uma análise aos valores obtidos, de forma a que, na presença de um valor de tensão abaixo de um *threshold* definido, seja possível desligar o sistema, através do uso de um I/O ligado ao pino KILL do IC de controlo de ligar/desligar o sistema.

6.2.4 Arquitetura de Software - resumo

Nesta sub-secção é apresentada a arquitetura de *software* resumida, onde é possível verificar quais as interações possíveis com o utilizador, assim como todas as instruções que o sistema realiza de acordo com a interação e a devida resposta.

Sistema Autônomo de Recolha de Informação Genética para Meio Aquático				
Modo de operação	<i>user</i>	Descrição	Processos	Resposta
Manual	0x01	Recolher amostra	Monitorizar, Esterilizar, Recolher, Preservar, Esterilizar, (Verificar Autonomia)	0x00, 0x0F, 0xFF
	0x02	Monitorização da água	Monitorizar, (Verificar Autonomia)	<i>data_sensor</i> , 0x0F, 0xFF
	0x03	Calibrar Sensores	Calibrar, (Verificar Autonomia)	0x01, 0x0F, 0xFF
	0x06	Variáveis do Sistema	Parâmetros do Sistema	<i>status</i> , 0x0F, 0xFF
Autônomo	<i>rules.txt</i>	Especificações da missão	Interpretar as especificações. Esterilizar, Recolher, Preservar, Esterilizar, Gravar. Verificar Autonomia. Repetir	<i>data.txt</i>

6.3 Estrutura mecânica

Através do uso do software CAD SolidWorks, foi elaborada uma estrutura mecânica para o encapsulamento do *hardware* selecionado.

Esta estrutura é dividida em duas partes, sendo elas: a estrutura interna, composta por um conjunto de anéis separados através de espaçadores; a estrutura externa, de forma cilíndrica capaz de encapsular a estrutura interna e de permitir o funcionamento do sistema quando submerso.

6.3.1 Estrutura interna

De forma a obter uma boa organização de todos os componentes foi desenvolvida uma estrutura interna impressa em 3D. Esta estrutura é composta por diferentes peças com diâmetro igual ao diâmetro interno do cilindro ao qual são acoplados os componentes do sistema de modo a obter um conjunto robusto e com os componentes corretamente posicionados. Na Figura 6.24 está representada a estrutura interna e na Tabela 6.14 a descrição de cada componente.

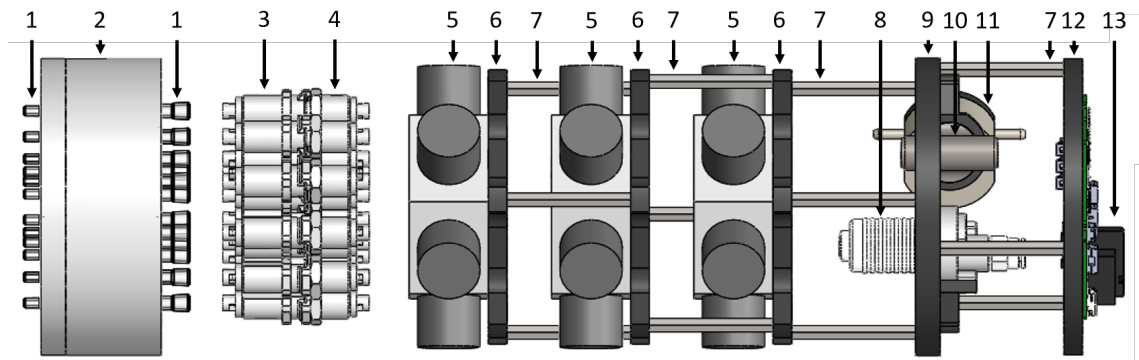


Figura 6.24: Estrutura interna do sistema de recolha de amostras.

Tabela 6.14: Composição da estrutura interna.

1	Sterivex	5	Manifold	9	Suporte intermédio	13	PCB controlo
2	Suporte sterivex	6	Suporte manifold	10	Sensor pressão interno		
3	Conector macho	7	Espaçador	11	Sensor fluxo		
4	Conector fêmea	8	Bomba hidráulica	12	Suporte PCB controlo		

6.3.2 Estrutura externa

Relativamente à estrutura externa, esta é dividida em três secções: a secção 1 composta pelo sistema de recolha de amostras e monitorização de baterias e respetivas baterias, a secção 2 composta pelas amostras e a secção 3 composta pelo sistema de monitorização da água.

O diâmetro e comprimento do cilindro foram projetados em função da estrutura interna desenvolvida, que depende do *hardware* utilizado. Em cada extremidade do cilindro foi colocada uma tampa.



Figura 6.25: Estrutura externa do sistema de recolha de amostras.

Relativamente a estanqueidade dos cilindros são utilizados o-rings ¹ para o contacto entre as tampas e os cilindros. Tal como na Figura 6.26 é possível observar as ranhuras para ser colocado o-ring de topo, representado por a) e o o-ring de passagem, representado por b). Estes o-rings são utilizados tanto na tampa frontal como na tampa traseira de

¹Um o-ring é uma junta mecânica com a forma de um toro, projetado para ser assentado numa ranhura e comprimido durante a montagem entre duas ou mais peças prevenindo a passagem de líquido pelo meio das duas ou mais peças.

ambos os cilindros. Por fim, as tampas são fixas com parafusos M3 de inox (para reduzir a corrosão causada pela água salgada) ao cilindro.

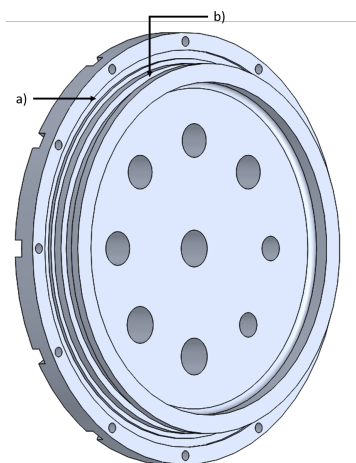
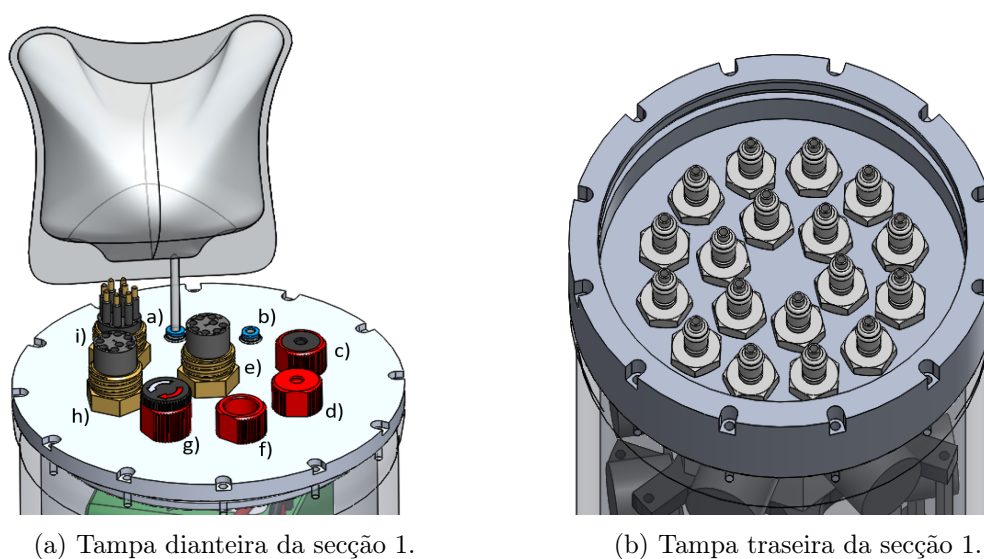


Figura 6.26: Ranhuras para os o-rings.

Relativamente às furações da secção 1, na tampa dianteira existem 9 e na tampa traseira 18, tal como na Figura 6.27. A tampa dianteira tem furos para três fichas subaquáticas (carregamento de baterias em e), comunicação com exterior em f) e alimentação e comunicação com sistema de monitorização da água em h)), para o sensor de pressão externo em c), para o conector de entrada da água em b), para o conector de entrada do líquido preservante a), para uma válvula para extração do ar (teste de estanqueidade) em d), para o interruptor em g) e para o LED RGB em f). Na tampa traseira foram feitos 18 furos para os 18 conectores macho que ligam à secção 2 para permitir a passagem de água para amostras.



(a) Tampa dianteira da secção 1.

(b) Tampa traseira da secção 1.

Figura 6.27: Tampas da secção 1.

Relativamente às furações da secção 2, na tampa dianteira existem duas e na tampa traseira 18. A tampa traseira tem um furo para saída de água em b) e outro para a válvula de saída de ar em a). Na tampa dianteira foram feitos 18 furos para os 18 conectores fêmea que ligam à secção 1. À saída de cada Sterivex foi colocada uma válvula de retenção de modo a evitar o retorno de fluxo para dentro do Sterivex permitindo que o fluxo tenha um só sentido.

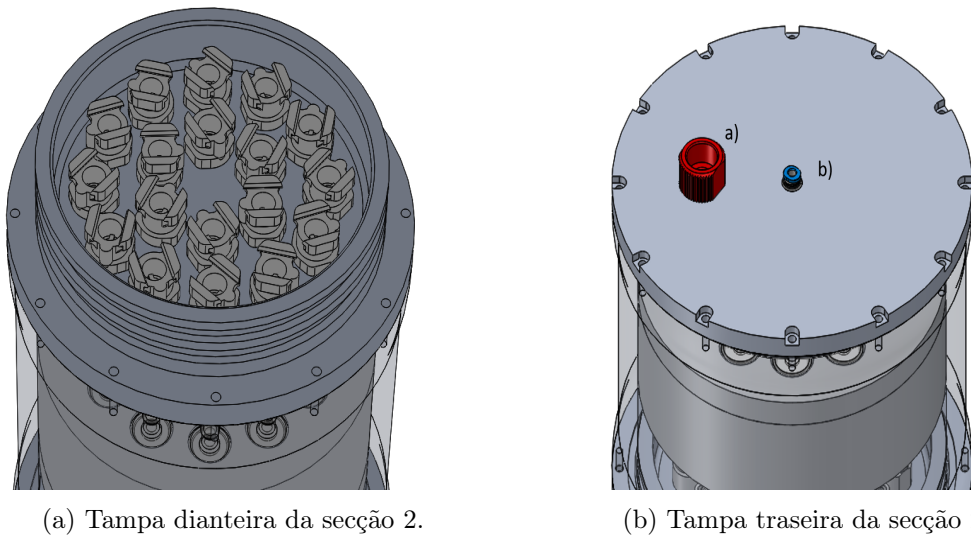


Figura 6.28: Tampas da secção 2.

No Apêndice D pode ser visualizado com mais detalhe a estrutura mecânica desenvolvida para o sistema de recolha de amostras.

No que diz respeito à secção 3, ao sistema de monitorização dos parâmetros da água, foi desenvolvida uma estrutura separada, uma vez que este sistema pode ser utilizado de modo independente, acoplado a qualquer sistema.

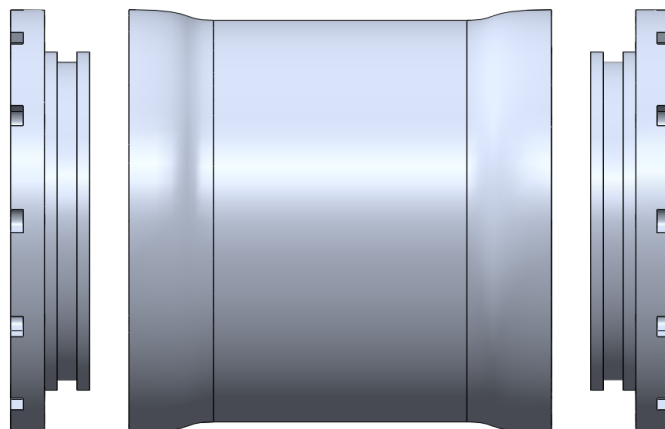


Figura 6.29: Estrutura externa do sistema de monitorização da água.

A estrutura das tampas segue o mesmo conceito das tampas do cilindro do sistema de recolha de amostras. Na tampa dianteira desta estrutura existem 5 furações, uma para cada conector passa-fio relativo a cada sensor e na tampa traseira existem 2 furações, uma para a válvula de extração de ar e outra para o conector de comunicação e alimentação, tal como indica a Figura 6.30

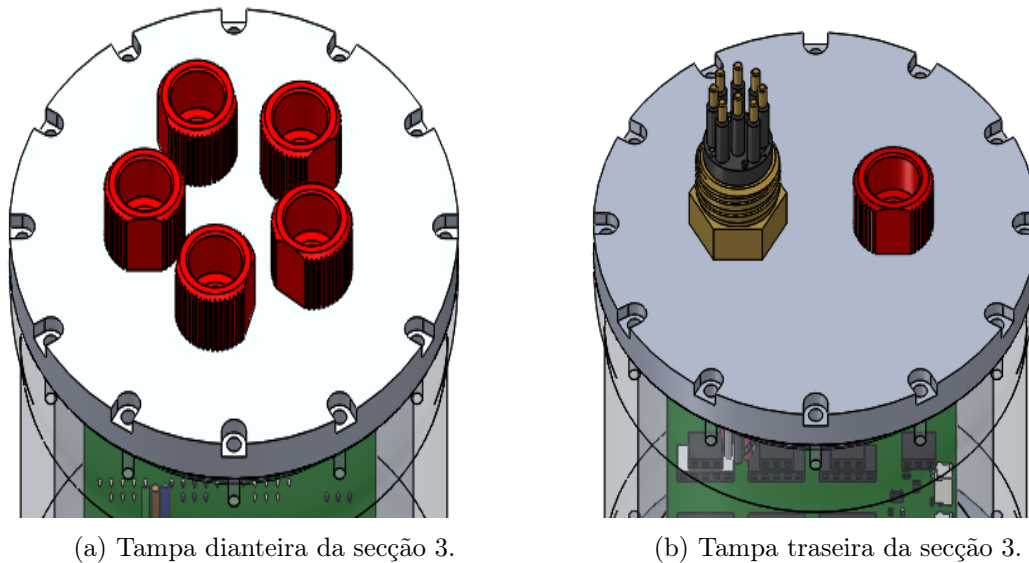


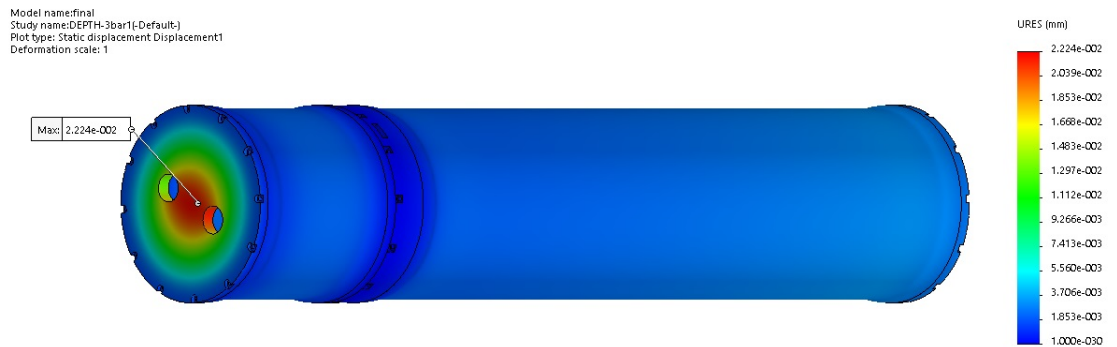
Figura 6.30: Tampas da secção 3.

No Apêndice E pode ser visualizado com mais detalhe a estrutura mecânica desenvolvida para o sistema de monitorização da água.

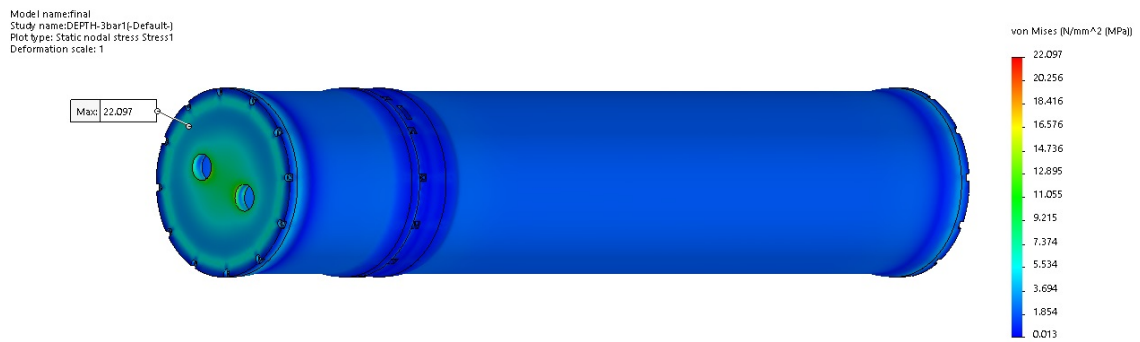
6.3.3 Simulação de pressão

Uma vez projetada as estruturas mecânicas foram realizados testes de pressão utilizando a extensão do SolidWorks para tal. A extensão Flow Simulation permite simular o comportamento de um sistema como, por exemplo, o *displacement* (representa a deformação do modelo mecânico à pressão testada) e o *von Mises* (representam as forças internas de um material quando aplicada uma determinada carga) quando submetidos a vários tipos de pressão. Foi definido um teste de pressão estático para 3.1 bar (limitado pelo Sterivex) e definidos os pontos de fixação e de forças externas.

6.3.3.1 Sistema de recolha de amostras



(a) Pressão interna máxima atingida.



(b) Deformação máxima atingida.

Figura 6.31: Resultados do sistema de recolha de amostras submetido a 3.1 bar.

Após a análise do resultado da simulação, verifica-se que o valor máximo de pressão apresentado na escala de *von Mises* é de 22.097 MPa, atingido na parede interna do cilindro da secção 2, como ilustrado na Figura 6.32.

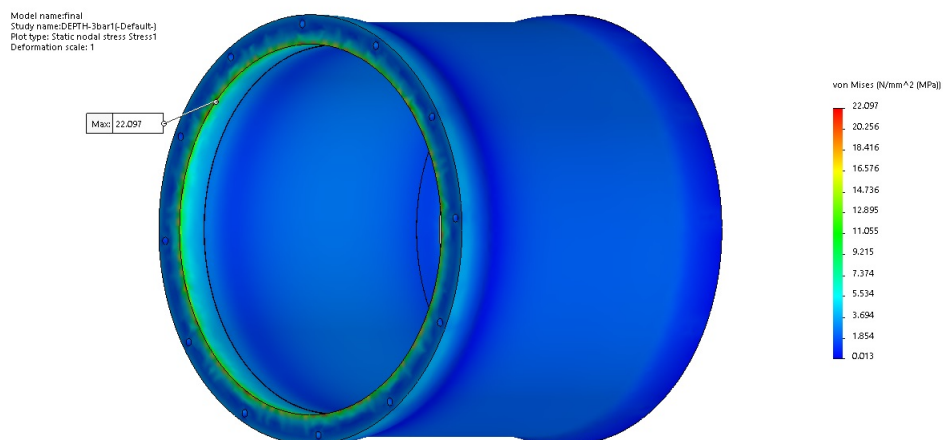


Figura 6.32: Valor máximo de pressão interna a 3.1 bar do sistema de recolha de amostras.

Após a análise do resultado da simulação, verifica-se que o valor máximo de deformação apresentado na escala de URES é de 2.224×10^{-2} mm atingido na tampa traseira da secção 2, ilustrado na Figura 6.33.

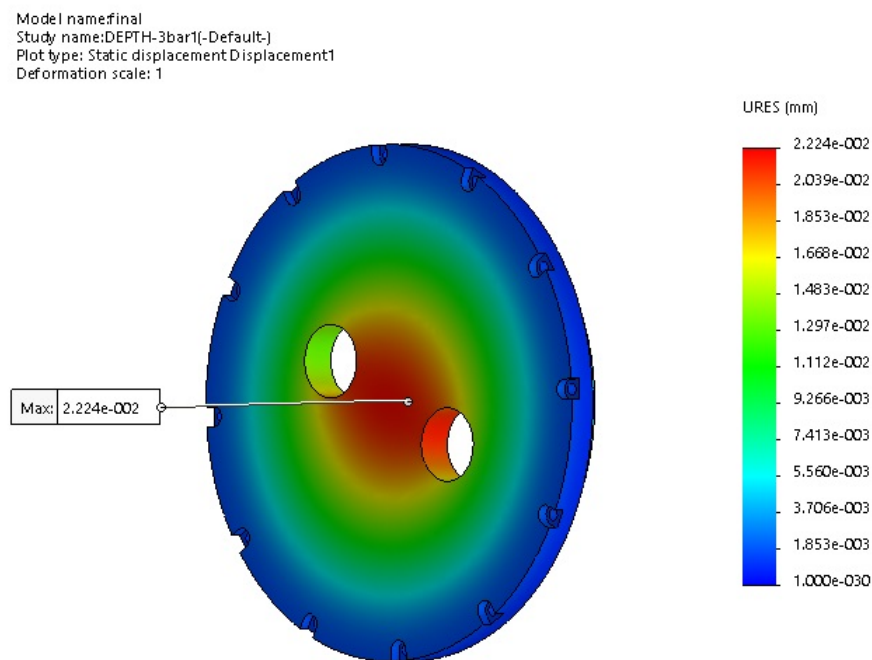
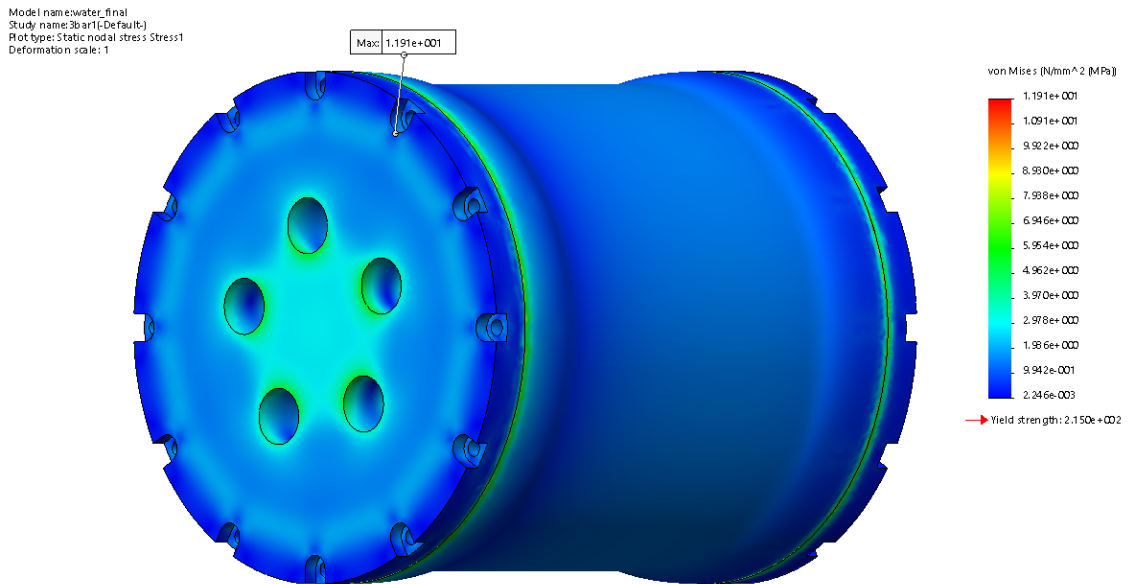


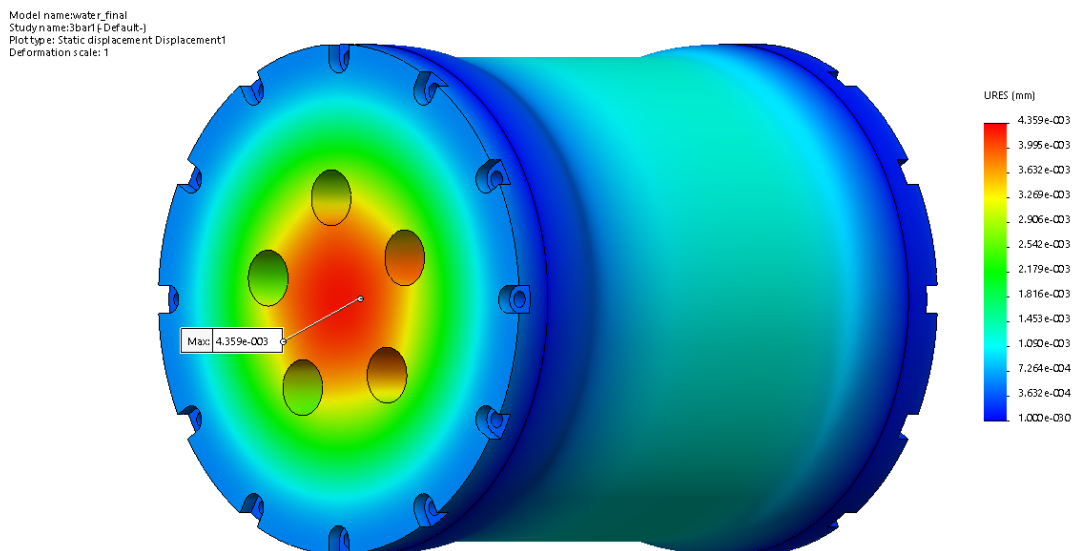
Figura 6.33: Valor máximo de deformação a 3.1 bar do sistema de recolha de amostras.

Uma vez que o valor máximo atingido na estrutura mecânica (22.097 MPa) é de uma magnitude bastante inferior ao *yield strength* do alumínio (215 MPa) e como o valor máximo da deformação atingido na estrutura mecânica é de aproximadamente 22.2 μ m, pode-se concluir que esta encontra-se corretamente dimensionada para uma pressão de 3.1 bar.

6.3.3.2 Sistema de Monitorização da Água



(a) Pressão interna máxima atingida.



(b) Deformação máxima atingida.

Figura 6.34: Resultados do sistema de monitorização da água submetido a 3.1 bar.

Após a análise do resultado da simulação, verifica-se que o valor máximo de pressão apresentado na escala de *von Mises* é de 11.91 MPa, atingido na parede interna do cilindro da secção 2, como ilustrado na Figura 6.35.

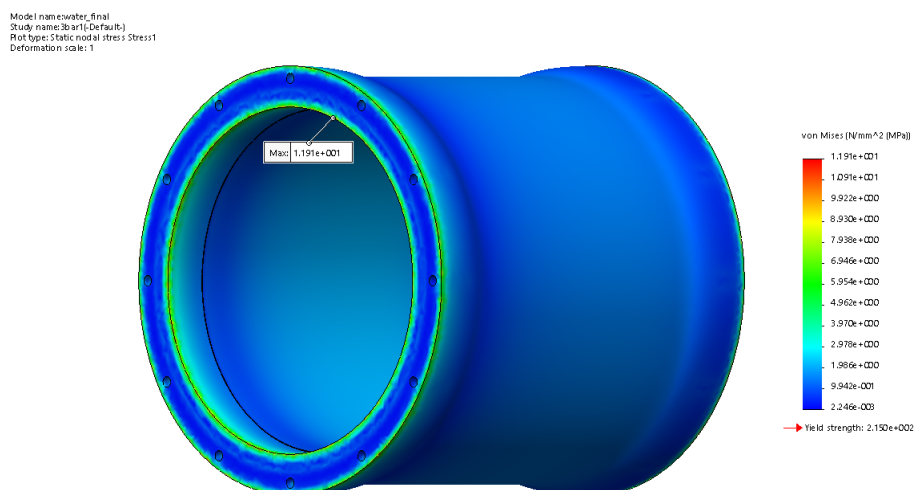


Figura 6.35: Valor máximo de pressão interna a 3.1 bar.

Após a análise do resultado da simulação, verifica-se que o valor máximo de deformação apresentado na escala de URES é de 4.359×10^{-3} mm atingido na tampa traseira da secção 2, ilustrado na Figura 6.36.

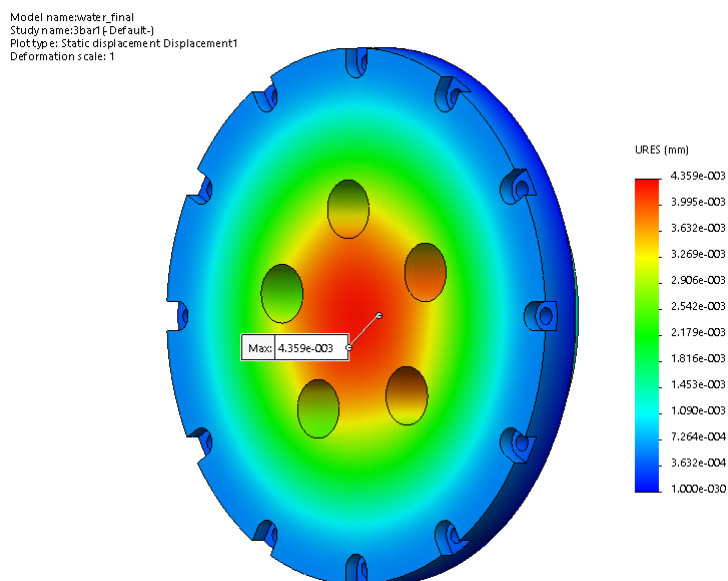


Figura 6.36: Valor máximo de deformação a 3.1 bar.

Uma vez que o valor máximo atingido na estrutura mecânica (11.91 MPa) é de uma magnitude bastante inferior ao *yield strength* do alumínio (215 MPa) e como o valor máximo da deformação atingido na estrutura mecânica é de aproximadamente $4.36 \mu\text{m}$, pode-se concluir que esta encontra-se corretamente dimensionada para uma pressão de 3.1 bar.

Apesar de os testes de pressão estarem limitados ao *hardware* utilizado foi realizado um estudo para determinar o ponto de colapso das estruturas mecânicas desenvolvidas. O resultado desse estudo encontra-se no Apêndice F.

Capítulo 7

Conclusão

Este projeto de dissertação teve como principal objetivo o desenvolvimento de um protótipo de um sistema autónomo de recolha de informação genética para meio aquático, baseado num sistema de amostragem aquática e num sistema de monitorização de parâmetros da qualidade da água que permitisse a recolha de amostras com informações genéticas para estudo do ecossistema subaquático envolvente.

Inicialmente além de identificados os cenários de aplicação foi também feita uma análise dos principais métodos de distribuição hidráulica e de filtragem, de modo a perceber quais as vantagens e desvantagens que estes apresentam. Tendo em consideração os requisitos definidos para o sistema, foi apresentada uma arquitetura e um dimensionamento do sistema, onde os diferentes componentes foram selecionados.

No que diz respeito ao sistema de monitorização da água foi desenvolvido um protótipo em bancada capaz de adquirir dados relativos à temperatura, ao pH, ao oxigénio dissolvido, à condutividade elétrica e a turbidez a cada segundo.

Relativamente ao sistema autónomo de amostragem, tanto o sistema hidráulico (bomba hidráulica, válvulas seletivas e sensores), como o sistema de monitorização das baterias e como o sistema de anti-bioincrustação foram ambos testados e validados de forma individual em bancada.

Lamentavelmente, as estruturas mecânicas externas não foram maquinadas devido aos impactos causados pela pandemia provocada pelo vírus SARS-CoV-2, pelo que o sistema não pôde ser testado como um todo.

Em suma, objetivos deste projeto foram parcialmente alcançados, foi parcialmente desenvolvida uma solução de amostragem aquática capaz de recolher material biológico e uma solução de monitorização da água. Foi projetada uma solução mecânica adequada para aplicações em ambiente subaquático e desenvolvido o *hardware* e *software* para o controlo do sistema.

A título de eventuais desenvolvimentos futuros do Sistema Autónomo de Recolha de Informação Genética para Meio Aquático perspetivam-se os seguintes tópicos:

- construção da estrutura mecânica externa e aglomeração dos sistemas num só;

- desenvolvimento de uma interface gráfica para comunicar com o sistema antes, durante e após o início da missão;
- desenvolvimento de um sistema hidráulico que permita ao sistema ser submergido a qualquer profundidade;
- alternativas a sensores da monitorização da água que permitam maior profundidade e resolução e medição de mais parâmetros.

Referências

- [1] F. Westall e A. Brack, “The Importance of Water for Life,” *Space Science Reviews*, vol. 214, n.º 2, p. 50, Mar. 2018.
- [2] H. Ferreira, C. Almeida, A. Martins, J. Almeida, N. Dias, A. Dias, e E. Silva, “Autonomous bathymetry for risk assessment with roaz robotic surface vehicle,” em *OCEANS 2009-EUROPE*, 5 2009, pp. 1–6.
- [3] H. Ferreira, A. Martins, J. M. Almeida, A. Valente, A. Figueiredo, B. da Cruz, M. Camilo, V. Lobo, C. Pinho, A. Olivier, e E. Silva, “Turtle — systems and technologies for deep ocean long term presence,” em *2014 Oceans - St. John's*, 9 2014, pp. 1–10.
- [4] A. Martins, A. Dias, E. Silva, H. Ferreira, I. Dias, J. M. Almeida, L. Torgo, M. Gonçalves, M. Guedes, N. Dias, P. Jorge, A. P. Mucha, C. Magalhães, M. de Fátima Carvalho, H. Ribeiro, C. M. R. Almeida, I. Azevedo, S. Ramos, T. Borges, S. M. Leandro, P. Maranhão, T. Mouga, R. Gamboa, M. Lemos, A. dos Santos, A. Silva, B. Frazão e Teixeira, C. Bartilotti, R. Marques, e S. Cotrim, “Marineye — a tool for marine monitoring,” em *OCEANS 2016 - Shanghai*, 4 2016, pp. 1–7.
- [5] M. Cunliffe e O. Wurl, *Guide to best practices to study the ocean's surface*. Marine Biological Association of the United Kingdom for SCOR Plymouth, UK, 2014.
- [6] W. L. Straube, J. W. Deming, C. C. Somerville, R. R. Colwell, e J. A. Baross, “Particulate dna in smoker fluids: Evidence for existence of microbial populations in hot hydrothermal systems,” *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 56, n.º 5, pp. 1440–1447, 1990. Disponível em: <https://aem.asm.org/content/56/5/1440>.
- [7] J. P. Cowen, G. J. Massoth, e R. Feely, “Scavenging rates of dissolved manganese in a hydrothermal vent plume,” *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, vol. 37, pp. 1619–1637, 10 1990.
- [8] “SBE 911plus CTD,” <https://www.bodc.ac.uk/data/documents/nodb/pdf/911plusbrochuresep08.pdf> accessed: 2020-03-10.
- [9] S. A. Bennett, E. P. Achterberg, D. P. Connelly, P. J. Statham, G. R. Fones, e C. R. German, “The distribution and stabilisation of dissolved fe in deep-sea hydrothermal plumes,” *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 270, n.º 3, pp. 157 – 167, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012821X08001003>.
- [10] P. A. Dodd, M. R. Price, K. J. Heywood, e M. Pebody, “Collection of water samples from an autonomous underwater vehicle for tracer analysis,” *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 23, n.º 12, pp. 1759–1767, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JTECH1935.1>.

- [11] A. Bianchi, J. Garcin, e O. Tholosan, “A high-pressure serial sampler to measure microbial activity in the deep sea,” *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 46, n.º 12, pp. 2129 – 2142, 1999. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967063799000394>.
- [12] C. E. Zobell e C. H. Oppenheimer, “Some effects of hydrostatic pressure on the multiplication and morphology of marine bacteria,” *Journal of Bacteriology*, vol. 60, n.º 6, pp. 771–781, 1950. Disponível em: <https://jb.asm.org/content/60/6/771>.
- [13] H. J. Jannasch, C. O. Wirsen, e C. Taylor, “Undecompressed microbial populations from the deep sea,” *Applied and environmental microbiology*, vol. 32, pp. 360–7, 10 1976.
- [14] C. Roman e R. Camilli, “Design of a gas tight water sampler for auv operations,” em *OCEANS 2007 - Europe*, June 2007, pp. 1–6.
- [15] M. Pucher, P. O’Leary, C. Gugg, e C. G. Höfer-Öllinger, “An autonomous water sampling and monitoring device for deployment in harsh underground environment,” em *2015 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings*, May 2015, pp. 193–198.
- [16] T. Akiba e Y. Tanaka, “Development of a water sampler of intermittent suction with an evacuated chamber (wise),” em *2014 Oceans - St. John’s*, Sep. 2014, pp. 1–4.
- [17] A. Trembanis, C. Cary, V. Schmidt, D. Clarke, T. Crees, e E. Jackson, “Modular autonomous biosampler (mab)- a prototype system for distinct biological size-class sampling and preservation,” *OCEANS 2012 MTS/IEEE: Harnessing the Power of the Ocean*, pp. 1–6, 10 2012.
- [18] C. D. Taylor, K. W. Doherty, S. J. Molyneaux, A. T. Morrison, J. D. Billings, I. B. Engstrom, D. W. Pfitsch, e S. Honjo, “Autonomous microbial sampler (ams), a device for the uncontaminated collection of multiple microbial samples from submarine hydrothermal vents and other aquatic environments,” *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 53, n.º 5, pp. 894 – 916, 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967063706000525>.
- [19] M. Schaeper, R. Bahlo, e R. Jaskulke, “Monitoring system with event controlled sampling operated by a msp430 microcontroller,” *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 41, n.º 1, pp. 103 – 106, 2008, 2nd IFAC Workshop on Navigation, Guidance and Control of Underwater Vehicles. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667015355099>.
- [20] H. Ribeiro, A. Martins, M. Gonçalves, M. Guedes, M. P. Tomasino, N. Dias, A. Dias, A. P. Mucha, M. F. Carvalho, C. M. R. Almeida, S. Ramos, J. M. Almeida, E. Silva, e C. Magalhães, “Development of an autonomous biosampler to capture in situ aquatic microbiomes,” *PLOS ONE*, vol. 14, n.º 5, pp. 1–25, 05 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216882>.
- [21] D. M. Pargett, J. M. Birch, C. M. Preston, J. P. Ryan, Y. Zhang, e C. A. Scholin, “Development of a mobile ecogenomic sensor,” em *OCEANS 2015 - MTS/IEEE Washington*, 10 2015, pp. 1–6.

- [22] D. I. Greenfield, R. Marin III, G. J. Doucette, C. Mikulski, K. Jones, S. Jensen, B. Roman, N. Alvarado, J. Feldman, e C. Scholin, “Field applications of the second-generation environmental sample processor (esp) for remote detection of harmful algae: 2006-2007,” *Limnology and Oceanography: Methods*, vol. 6, n.º 12, pp. 667–679, 2008. Disponível em: <https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.4319/lom.2008.6.667>.
- [23] B. Roman, C. Scholin, S. Jensen, R. Marin, E. Massion, e J. Feldman, “The 2nd generation environmental sample processor: Evolution of a robotic underwater biochemical laboratory,” em *Proceedings of OCEANS 2005 MTS/IEEE*, 9 2005, pp. 1–9.
- [24] C. Scholin, J. Birch, S. Jensen, R. Marin III, E. Massion, D. Pargett, C. Preston, B. Roman, e B. Ussler, “The quest to develop ecogenomic sensors: A 25-year history of the environmental sample processor (esp) as a case study,” *Oceanography*, vol. 30, pp. 100–113, 12 2017.
- [25] Kevan Y, and Chris P. and Jim B., “Comparing the 3rd Generation Environmental Sample Processor to Traditional Laboratory Methodologies for Use in environmental DNA Studies,” <https://www.mbari.org/wp-content/uploads/2018/12/Good.pdf>, 2018, online; Acedido em 11/3/2019.
- [26] C. Scholin, P. Miller, K. Buck, F. Chavez, P. Harris, P. Haydock, J. Howard, e G. Cangelosi, “Detection and quantification of pseudo-nitzschia australis in cultured and natural populations using lsu rrna-targeted probes,” *Limnology and Oceanography*, vol. 42, n.º 5part2, pp. 1265–1272, 1997. Disponível em: https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.4319/lo.1997.42.5_part_2.1265.
- [27] D. Fries, J. Paul, M. Smith, A. Farmer, E. Casper, e J. Wilson, “The autonomous microbial genosensor, an in situ sensor for marine microbe detection,” *Microscopy and Microanalysis - MICROSC MICROANAL*, vol. 13, 08 2007.
- [28] B. Roman, C. Scholin, S. Jensen, R. Marin, E. Massion, e J. Feldman, “The 2nd generation environmental sample processor: Evolution of a robotic underwater biochemical laboratory,” em *Proceedings of OCEANS 2005 MTS/IEEE*, 9 2005, pp. 1–9.
- [29] K. Sutherland, “Section 1 - basic principles,” em *Filters and Filtration Handbook (Fifth Edition)*, 5th ed., K. Sutherland, Ed. Oxford: Elsevier, 2008, pp. 1 – 40. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781856174640000018>.
- [30] K. Sutherland, “Section 3 - types of filter,” em *Filters and Filtration Handbook (Fifth Edition)*, 5th ed., K. Sutherland, Ed. Oxford: Elsevier, 2008, pp. 97 – 207. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781856174640000031>.
- [31] “Fondriest Environmental Learning Center - Water Quality,” <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/>, accessed: 2019-12-10.
- [32] Fundamentals of Environmental Measurements. (2014) Fondriest Environmental, Inc. “Water Temperature.”. Disponível em: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/water-temperature/>.
- [33] YSI a xylem brand. (2019) Temperature. Disponível em: <https://www.ysi.com/parameters/temperature>.

- [34] Fundamentals of Environmental Measurements. (2013) Fondriest Environmental, Inc. “pH of Water.”. Disponível em: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/ph/>.
- [35] YSI a xylem brand. (2019) What is the pH of water and how is it measured? . Disponível em: <https://www.ysi.com/parameters/ph>.
- [36] Fundamentals of Environmental Measurements. (2013) Fondriest Environmental, Inc. “Dissolved Oxygen.”. Disponível em: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/>.
- [37] YSI a xylem brand. (2019) Dissolved Oxygen Measurement in Water with Oxygen Meters . Disponível em: <https://www.ysi.com/parameters/dissolved-oxygen>.
- [38] Fundamentals of Environmental Measurements. (2014) Fondriest Environmental, Inc. “Conductivity, Salinity and Total Dissolved Solids.”. Disponível em: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/>.
- [39] YSI a xylem brand. (2019) Conductivity. Disponível em: <https://www.ysi.com/parameters/conductivity>.
- [40] Fundamentals of Environmental Measurements. (2013) Fondriest Environmental, Inc. “Conductivity, Salinity and Total Dissolved Solids.”. Disponível em: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/dissolved-oxygen/>.
- [41] Fundamentals of Environmental Measurements. (2014) Fondriest Environmental, Inc. “Algae, Phytoplankton and Chlorophyll.”. Disponível em: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/algae-phytoplankton-and-chlorophyll>.
- [42] YSI a xylem brand. (2020) Temperature. Disponível em: <https://www.ysi.com/parameters/ammonia>.
- [43] YSI a xylem brand. (2020) Temperature. Disponível em: <https://www.ysi.com/parameters/nitrate>.
- [44] B. Da Gama, R. Pereira, e R. Coutinho, *Bioincrustação marinha*. Biologia Marinha, 01 2009, pp. 299–318.
- [45] J.-D. Gu, “8 - Biofouling and Prevention: Corrosion, Biodeterioration and Biodegradation of Materials,” em *Handbook of Environmental Degradation of Materials (Second Edition)*, 2nd ed., M. Kutz, Ed. Oxford: William Andrew Publishing, 2012, pp. 243 – 282. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781437734553000080>.
- [46] A. A. Finnie e D. N. Williams, *Paint and Coatings Technology for the Control of Marine Fouling*. John Wiley & Sons, Ltd, 2010, cap. 13, pp. 185–206. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781444315462.ch13>.
- [47] “Sterivex-GV Pressure Filter Unit,” https://www.merckmillipore.com/PT/en/product/Sterivex-GV-Pressure-Filter-Unit,MM_NF-SVGVL10RC, accessed: 2019-12-10.

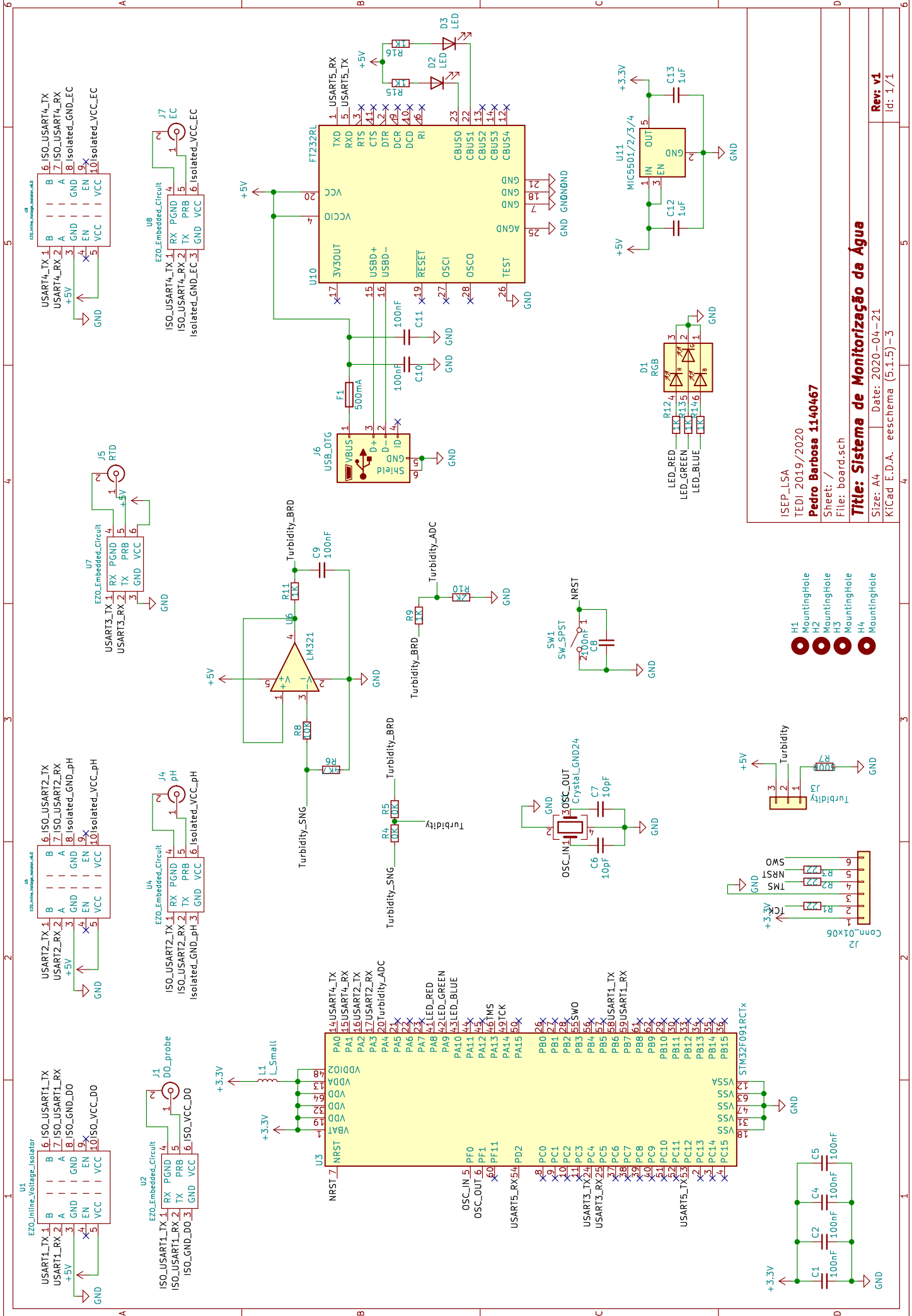
- [48] “Millex-GV Syringe Filter Unit,” https://www.merckmillipore.com/PT/en/product/Millex-GV-Syringe-Filter-Unit-0.22m-PVDF-33mm-gamma-sterilized,MM_NF-SLGV033RS, accessed: 2019-12-10.
- [49] J. Spens, A. R. Evans, D. Halfmaerten, S. W. Knudsen, M. E. Sengupta, S. S. T. Mak, E. E. Sigsgaard, e M. Hellström, “Comparison of capture and storage methods for aqueous microbial edna using an optimized extraction protocol: advantage of enclosed filter,” *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 8, n.º 5, pp. 635–645, 2017. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/2041-210X.12683>.
- [50] P. ten Hoopen, G. Cochrane, e M. B. Consortium, *Ocean Sampling Day Handbook*. Marine Microbial Biodiversity, Bioinformatics & Biotechnology (Micro B3) Project, 2016.
- [51] “Hydraulic parts and global supply,” <https://dta.eu/>, accessed: 2019-12-10.
- [52] “Series GA/GAH,” http://www.micropump.com/support_documents/GA_GAH_series.pdf, accessed: 2020-03-10.
- [53] “MGD1000 S - Data sheet,” <https://www.micropumps.co.uk/DATA/pdf/DS29%20-%20MGD1000%20S%20Data%20Sheet%20REV%202.pdf>, accessed: 2020-01-20.
- [54] “EQi Series Controller,” <https://www.micropumps.co.uk/DATA/pdf/DS42%20-%20EQi%20Range%20Data%20Sheet%20REV%202.compressed.pdf>, accessed: 2020-01-25.
- [55] “The Ultra-Low Internal Volume Rotary Valve,” <https://amf.ch/wp-content/uploads/2018/08/2018-03-28-RVM.pdf>, accessed: 2020-03-15.
- [56] “Eletric Rotary Valves,” <https://biochemfluidics.com/wp-content/uploads/2015/06/erv-brochure.pdf>, accessed: 2020-03-15.
- [57] “Hex NC Manifold Valve/Selector,” <http://www.nresearch.cn/Images/Valves/PDF/225T09.pdf>, accessed: 2020-03-15.
- [58] Parker. Stainless Steel Valves. Disponível em: https://www.parker.com/Literature/Fluid%20Control%20Division%20Europe/English%20Catalogues/0111_Stainless-steel_Solenoid-Fluid-control-Valve_UK.pdf.
- [59] BIO-TECH. FCH-m-PVDF-Chemical. Disponível em: https://www.btflowmeter.com/fileadmin/PDF/Flowmeter/92202885_Fch-m-PVDF.pdf.
- [60] TE Connectivity. MS5837-30BA. Disponível em: https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7FMS5837-30BA%7FB1%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_MS5837-30BA_B1.pdf%7FCAT-BLPS0017.
- [61] AVS Römer. Pressure Sensors Type IPS PPSU. Disponível em: https://www.avs-roemer.de/de/produkte/produktinnovationen/AVS_Katalog_IPS-958P3_D.pdf.
- [62] Luminus. XBT-1313-UV Surface Mount UVC LED. Disponível em: https://download.luminus.com/datasheets/Luminus_XBT-1313-UVC_Datasheet.pdf.

- [63] Atlas-Scientific. PT-1000 Temperature Probe. Disponível em: <https://atlas-scientific.com/files/PT-1000-probe.pdf>.
- [64] Atlas-Scientific. Conductivity Probe K 10. Disponível em: https://atlas-scientific.com/files/EC_K_10_probe.pdf.
- [65] Atlas-Scientific. Lab Grade pH Probe. Disponível em: https://atlas-scientific.com/files/pH_probe.pdf.
- [66] Atlas-Scientific. Lab Grade DO Probe. Disponível em: https://atlas-scientific.com/files/LG_DO_probe.pdf.
- [67] DFRobot. Turbidity Sensor. Disponível em: https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU__SEN0189.
- [68] Atlas-Scientific. EZO Inline Voltage Isolator. Disponível em: <https://atlas-scientific.com/files/basic-ezo-inline-voltage-isolator.pdf>.
- [69] Atlas-Scientific. Embedded Dissolved Oxygen Circuit. Disponível em: https://atlas-scientific.com/files/DO_EZO_Datasheet.pdf.
- [70] Atlas-Scientific. Embedded pH Circuit. Disponível em: https://atlas-scientific.com/files/pH_EZO_Datasheet.pdf.
- [71] Atlas-Scientific. Embedded Temperature Circuit. Disponível em: https://atlas-scientific.com/files/EZO_RTD_Datasheet.pdf.
- [72] Atlas-Scientific. Embedded Conductivity Circuit. Disponível em: https://atlas-scientific.com/files/EC_EZO_Datasheet.pdf.
- [73] STMicroelectronics. STM32F091xB STM32F091xC datasheet. Disponível em: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f091rc.pdf>.
- [74] Analog Devices. ADG1414 datasheet. Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADG1414.pdf>.
- [75] Diodes. MMBF170Q datasheet. Disponível em: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/MMBF170Q.pdf>.
- [76] Linear Technology. LTC6803-2/LTC6803-4 datasheet. Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/680324fa.pdf>.
- [77] Linear Technology. LTC2955 datasheet. Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/2955fa.pdf>.
- [78] ON Semiconductor. NTR5105P-D datasheet. Disponível em: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/NTR5105P-D.PDF>.
- [79] Finder. Relé de estado sólido (SSR) para PCI Pequenas dimensões. Disponível em: <https://findernet-cms-s3.s3.eu-west-1.amazonaws.com/app/uploads/2020/09/13104016/ADV34PT-1.pdf>.
- [80] Murata. OKI-78SR Series. Disponível em: <https://www.murata.com/products/productdata/8807037992990/oki-78sr.pdf>.

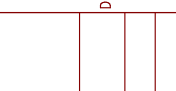
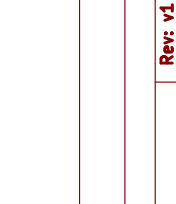
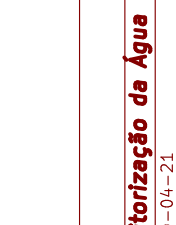
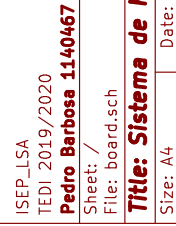
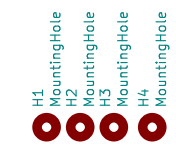
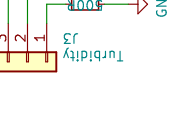
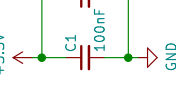
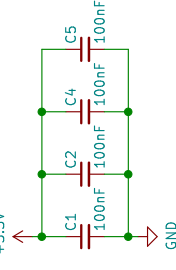
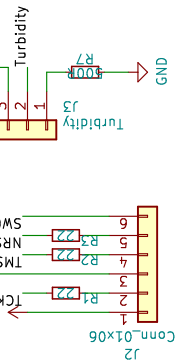
- [81] OMRON. PCB Relay G5V-2. Disponível em: https://omronfs.omron.com/en_US/ecb/products/pdf/en-g5v2.pdf.
- [82] STMicroelectronics. STM32F103x8 STM32F103xB datasheet. Disponível em: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103rb.pdf>.

Anexo A

Esquema Elétrico do Sistema de Monitorização da Água



- H1 MountingHole
- H2 MountingHole
- H3 MountingHole
- H4 MountingHole



ISEP_LSA
 TEDI 2019/2020
Pedro Barbosa 1140467
 Sheet: /
 File: board.sch

Title: Sistema de Monitorização da Água

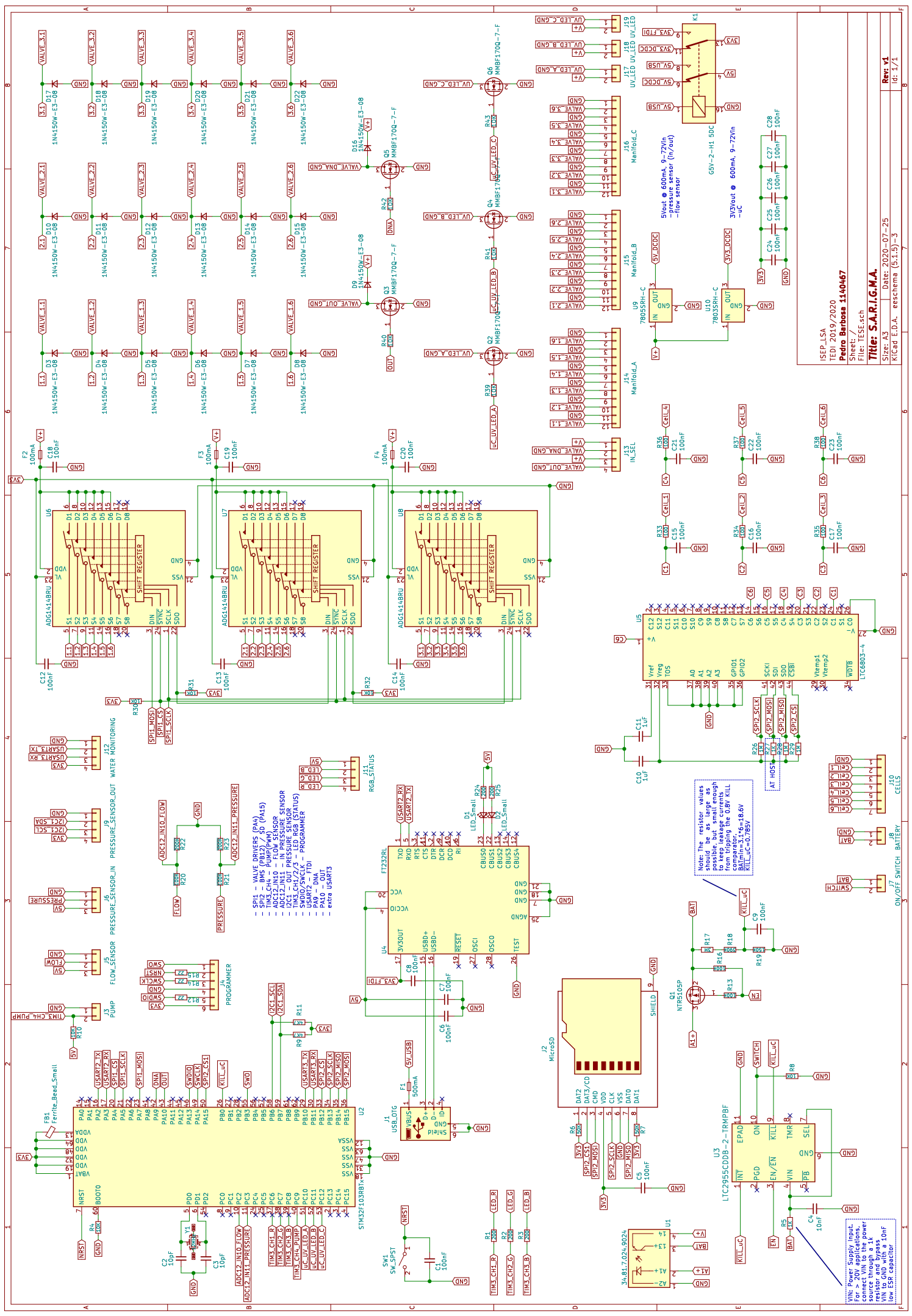
Size: A4
 Date: 2020-04-21

KiCad E.D.A. eeschema (5.1.5)-3

Rev: v1
 Id: 1/1

Anexo B

Esquema Elétrico do Sistema de Recolha de Amostras



- SP1 - VALVE DRIVERS (P4)
- TM3.CH4 - PUMP (P4)
- ADC12.IN10 - FLOW
- ADC12.IN11 - PRESSURE
- ADC12.IN12 - PRESSURE
- TM3.CH1/2/3 - LED RGB (STATUS)
- USART2.FTDI - PROGRAMMER
- PA9 - DMA
- extra USARTs

Note: The resistor values are not optimal, but as small as possible, to keep leakage currents to a minimum. The 0.0V RLL comparator is a TLV431C, V_{REF} = 1.6V.

Vin: Power Supply Input. For > 20V applications, a 10k resistor and bypass capacitor through a 1k resistor and bypass capacitor & 10nF capacitor.

SEP.LISA
 EDI: 2019/2020
 Pedro Barbosa 1140467
 Sheet: /
 File: TESE.sch
Title: S.A.R.I.G.M.A.
 Size: A3 Date: 2020-07-25
 K/Cad E.D.A., eschema (S:1;3-3)

Anexo C

Procedimentos para calibrar sensores

C.1 Sensor de Temperatura

Para calibrar este sensor, em primeiro lugar, devem-se verificar as ligações, de seguida deve-se colocar o sensor em água (purificada/destilada, de preferência) a ferver durante 30 segundos e calibrar o valor lido para 100°C. É recomendado uma calibração a cada 3 anos.

C.2 Sensor de Condutividade

Em primeiro lugar deve verificar todas as ligações. De seguida, deve verificar o valor do sensor “no ar” (sem estar dentro de alguma solução aquosa) e calibrar mesmo que o valor seja 0 (*EC, cal, dry*). Depois deve colocar uma porção da solução com baixa concentração e inserir o sensor (caso necessário abanar para remover bolhas de ar). Após o valor estabilizar calibrar para esse valor (*EC, cal, low, 12880*). Após esta calibração os valores lidos não serão alterados para o valor calibrado. Repetir o processo para a solução com elevada concentração (*EC, cal, high, 80000*), tendo em atenção que, após calibrar, os valores serão atualizados.

C.3 Sensor de pH

A calibração do sensor de pH é composta pela calibração de três pontos, através de uma solução básica, neutra e ácida. Numa primeira fase colocar uma pequena amostra de pH neutro num recipiente, colocar o sensor e calibrar após as leituras estabilizarem (*pH, cal, mid, 7*). Repetir para a solução ácida (*pH, cal, mid, 4*) e alcalina (*pH, cal, mid, 10*).

C.4 Sensor de Oxigénio Dissolvido

O método de calibração sensor dispõe de dois tipos: ponto único ou ponto duplo (opcional, para leituras precisas inferiores a 1.0 mg/L). Para a calibração de ponto único

deve-se remover a cápsula de proteção do sensor e deixar exposta ao ar entre 5-30 segundos até os valores estabilizarem e calibrar (DO, cal). Após a calibração realizada o valor medido deverá ser a volta de 9.09 mg/L (concentração de oxigénio no ar a 20 °C).

Se pretender leituras precisas com valores abaixo de 1.0 mg/L deve colocar o sensor dentro da solução de calibração (0 mg/L) e deixar entre 30s e 90s até o valor estabilizar e calibrar de seguida (DO, cal, 0).

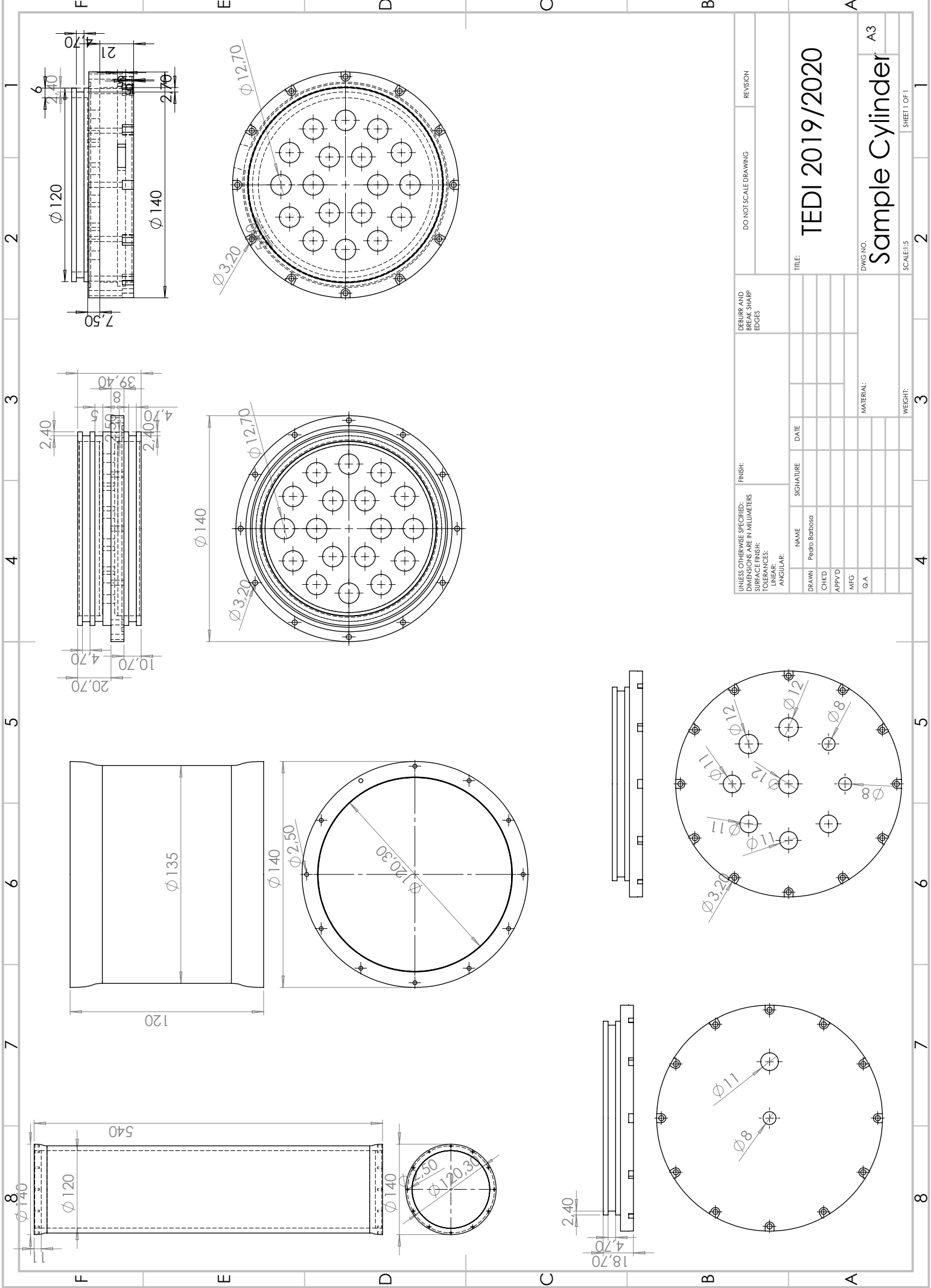
Nota: após o uso da solução de calibração deve remover todo o oxigénio existente na garrafa, para que a solução não absorva moléculas de oxigénio e assim perder a sua propriedade de calibração. Para isso sugere-se libertar algum gás de isqueiro para dentro da garrafa.

C.5 Sensor de Turbidez

O sensor de turbidez não requer calibração.

Anexo D

Dimensões da estrutura mecânica para o sistema de recolha de amostras



DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DEBURR AND BREAK SHARP EDGES			
FINISH: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			
SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			
NAME	SIGNATURE	DATE	
DRAWN: Pedro Barbosa			
CHKD:			
APPVD:			
MFG:			
Q.A.			
TITLE: TEDI 2019/2020		DWG NO. A3	
SCALE: 1:5		WEIGHT:	
SHEET 1 OF 1		2	

1 2 3 4 5 6 7 8

1 2 3 4 5 6 7 8

Anexo E

Dimensões da estrutura mecânica para o sistema de monitorização de água

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

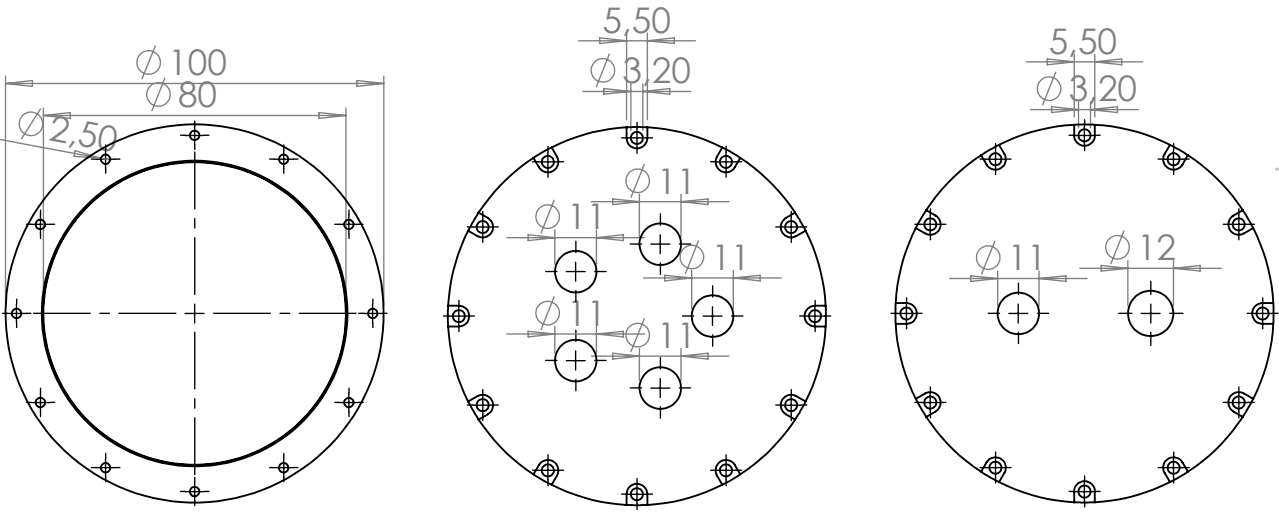
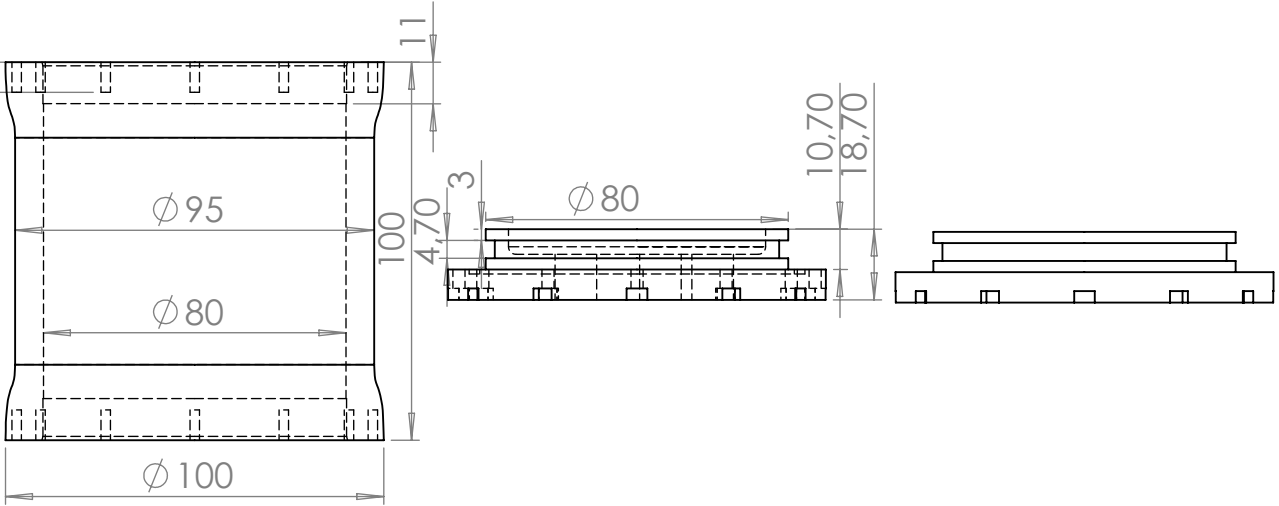
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	Pedro Barbosa		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE: **TEDI 2019/2020**

DWG NO. **Water Cylinder** A4

SCALE: 1:2 SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

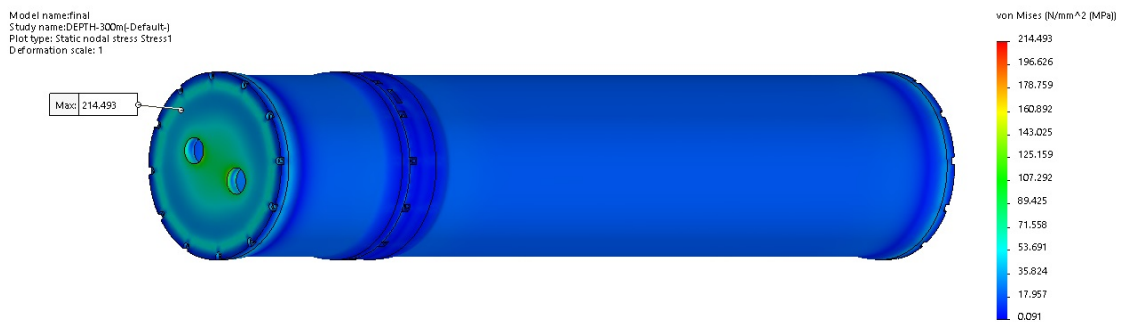
Anexo F

SOLIDWORKS Flow Simulation

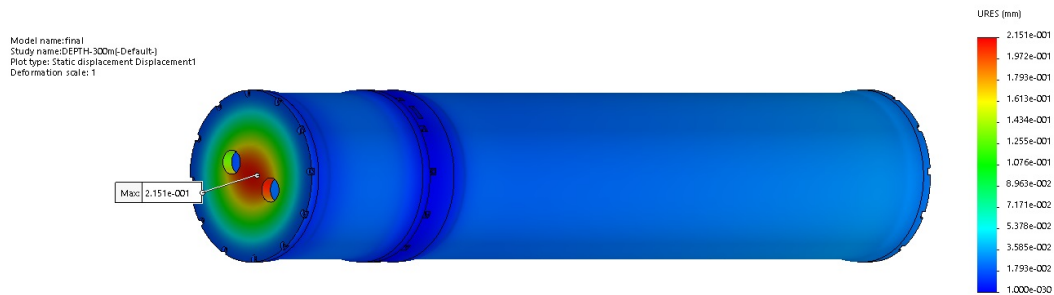
Apesar de a pressão do sistema completo estar limitada pelos limites de pressão do Sterivex, a estrutura mecânica responsável pela recolha das amostras foi submetida a testes de pressão extremos.

A estrutura foi submetida a 30 bar, equivalente a submergir até 300 m de profundidade e obteve-se uma pressão na escala de *von Mises* de 214.5 MPa (limite da liga de alumínio 6063-T6) e uma deformação máxima de 0.215 mm.

Na Figura F.1 é possível visualizar o resultado desse teste.



(a) Pressão interna máxima atingida a 30 bar.



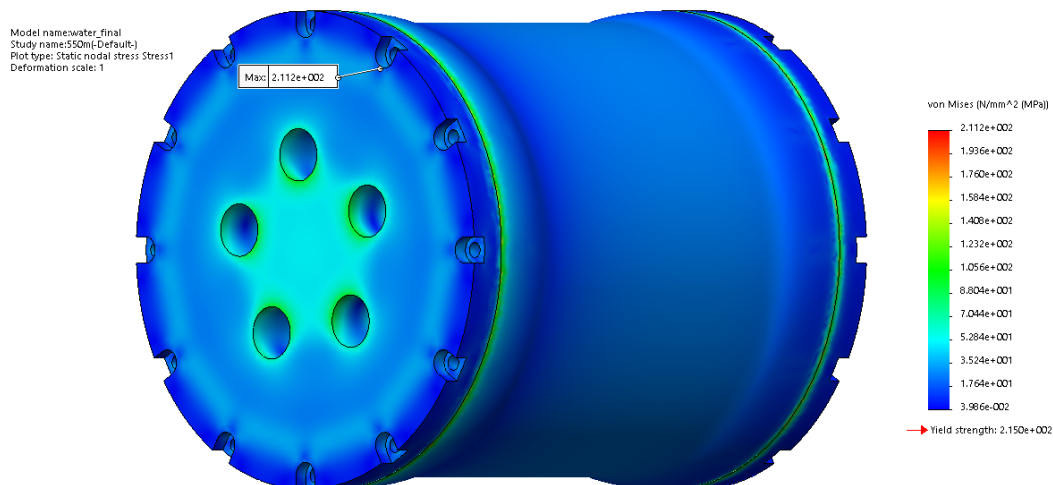
(b) Deformação máxima atingida a 30 bar.

Figura F.1: Resultados do sistema de recolha de amostras submetida a 30 bar.

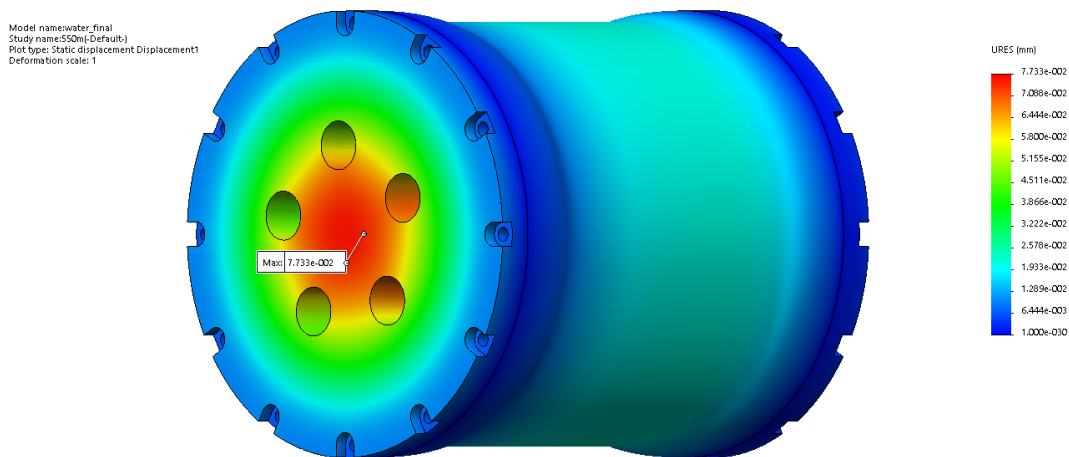
De igual forma que a estrutura responsável pela recolha das amostras, a estrutura responsável pela monitorização da água também foi submetida aos mesmos testes.

A estrutura foi submetida a testes extremos de modo a determinar o ponto de rutura da estrutura, encontrando-se este aproximadamente a 55 bar, com uma pressão na escala de *von Mises* de 211.2 MPa e uma deformação máxima de 0.77 mm.

Na Figura F.2 é possível visualizar o resultado desse teste.



(a) Pressão interna máxima atingida a 55 bar.



(b) Deformação máxima atingida a 55 bar.

Figura F.2: Resultados da estrutura mecânica submetida a 55 bar.