



**Licínio João
Gonçalves Malheiro**

Controlo de nível de líquidos com elevada precisão



**Licínio João
Gonçalves Malheiro**

Controlo de nível de líquidos com elevada precisão

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Professor José Alberto Gouveia Fonseca, Professor Associado do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro e da Doutora Lúcia Maria Botas Bilro, Investigadora Auxiliar do Instituto de Telecomunicações e é cofundadora da empresa WATGRID LDA.

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo apoio e motivação que sempre me transmitiram.

Presidente

Professor Alexandre Manuel Moutela Nunes da Mota

Professor Associado do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática

Professor José Alberto Gouveia Fonseca

Professor Associado do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática

Professor Carlos Jorge Enes Capitão de Abreu

Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Viana do Castelo

agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho. Em primeiro lugar gostava de agradecer à Doutora Lúcia Bilro, pela oportunidade para realizar este trabalho, e pela forma como me apoiou desde o primeiro dia. De seguida gostava de salientar o orientador, o professor José Alberto Gouveia Fonseca, pela ajuda, conselhos, disponibilidade e paciência demonstrada ao longo de todo este tempo. Sem o seu contributo nada disto seria possível.

Quero agradecer ao Doutor Rogério Nogueira e à Doutora Lúcia Bilro pela forma como me receberam e pelas ótimas condições que me proporcionaram para a realização do trabalho na empresa Watgrid. Aos restantes colaboradores da Watgrid que me ajudaram neste projeto, Fábio, Pedro, Daniel, Ricardo e Nuno o meu muito obrigado pelo companheirismo e pela aprendizagem que me ofereceram. Ao Fábio de modo especial pelo apoio incansável e disponibilidade que teve para me tirar as dúvidas necessárias que me facilitou imenso na realização do trabalho.

Agradeço também aos meus colegas que com força, motivação e boa disposição oferecida, permitiram atenuar todas as dificuldades que fui encontrando ao longo deste percurso.

Quero agradecer ainda à OLI, em especial, ao Marcelo e ao Pedro pela partilha de ideias e pelo fornecimento de protótipos para este projeto.

Por fim agradeço aos meus pais, por me proporcionarem todo o apoio necessário durante o meu percurso académico.

palavras-chave

Sensores, água, medida, precisão, resolução, tanque, autoclismo, altura.

resumo

O controlo do consumo de água é cada vez mais uma necessidade do nosso quotidiano. Nesse sentido, é de elevada importância o desenvolvimento de mecanismos de medida de consumo de água de elevada precisão. Os dados reais adquiridos poderão ser para posteriormente analisados com o intuito de se conseguir implementar medidas de optimização de recursos.

Uma das maiores contribuições para o consumo de água em muitos edifícios públicos ou mesmo em casas particulares é o autoclismo. Este apresenta ainda uma arquitetura primitiva, sem grandes desenvolvimentos na última década.

Neste projeto pretende-se criar um dispositivo capaz de medir a altura da coluna de água num autoclismo com uma resolução de 0.1 mm e uma precisão de 0.3 mm. Esse sensor tem de ser capaz de medir com elevada precisão cada leitura e enviar essa informação para um sistema de controlo geral que irá receber e tratar esses dados no sentido de controlar a válvula de abertura do autoclismo, possibilitando assim diferentes fluxos de descarga e possibilitando ainda a análise do consumo do autoclismo ao longo do tempo. Outro requisito do sensor é o seu consumo energético que deve ser o mínimo possível pois pretende-se que funcione com a energia fornecida por uma turbina gerada pela água que entra no autoclismo.

Para esse efeito foram analisados diferentes métodos de medida tendo sempre em conta os requisitos do sistema com vista a implementações futuras.

A OLI – Sistemas Sanitários SA com o apoio da WATGRID pretende, partindo deste tipo de sensores, disponibilizar aos seus clientes soluções de consumos flexíveis assim como monitorizar o consumo do autoclismo em tempo real ou ainda detetar falhas nos tanques de água fabricados e comercializados pela empresa. Estas soluções irão permitir que os clientes tenham maior controlo do processo ao mesmo tempo que reduzem custos.

keywords

Sensors, water, measurement, accuracy, resolution, tank, toilet, height.

abstract

Controlling water consumption is a necessity in our daily lives. In this sense, it is of high importance to develop high precision water consumption measurement mechanisms so that real consumption data can be obtained for later analysis with the aim of taking measures to reduce water consumption based on in these values.

One of the largest contributions for water consumption in many public buildings or even in private homes is the flush toilet. This still presents a primitive architecture without major developments in the last decade.

In this sense, we intend to create a device capable of measuring the height of the water column in a cistern with 0.1 mm resolution and 0.3 mm accuracy. This sensor must be capable of accurately perform a set of readings and to send this information to a general control system which will receive and process the correspondent data. This will be used to control the flushing valve thereby enabling different discharge flows and also enabling the analysis of the consumption of the flushing system over time. Another requirement of the sensor is its power consumption which should be as small as possible because the sensor is intended to run on the energy supplied by a turbine that harvests the energy from the water entering the flush.

For this purpose, different measurement methods were analyzed taking into account the system requirements and all the possible factors in its future implementations.

OLI - Sistemas Sanitários SA with the support of WATGRID intends to use flexible sensors to provide their customers with flexible consumption solutions, as well as to monitor the consumption of the flushing system in real time or to detect faults in the water tanks manufactured and marketed by the company. These solutions will enable customers to have a better control of the flushing process in order to reduce costs.

Índice

| | |
|---|-----------|
| Lista de Figuras..... | i |
| Lista de Tabelas..... | iii |
| Glossário de acrónimos..... | v |
| Lista de símbolos e constantes..... | vi |
| Capítulo 1..... | 1 |
| Introdução..... | 1 |
| 1.1 Motivação/Enquadramento..... | 1 |
| 1.2 OLI – Sistemas Sanitários SA..... | 2 |
| 1.3 WATGRID LDA..... | 2 |
| 1.4 Estrutura do trabalho..... | 3 |
| Capítulo 2..... | 4 |
| Especificações do sistema..... | 4 |
| 2.1 Objetivos..... | 4 |
| 2.2 Especificações do sistema..... | 5 |
| 2.3 Subpartes utilizadas..... | 5 |
| Capítulo 3..... | 8 |
| Fundamentos teóricos..... | 8 |
| 3.1 Sensor de Infravermelhos..... | 8 |
| 3.2 Sensor de Ultrassons..... | 10 |
| 3.3 Sensor capacitivo..... | 12 |
| 3.4 Sensor Resistivo..... | 14 |
| 3.5 Sensor de laser..... | 16 |
| 3.6 Sensor de fibra ótica..... | 18 |
| 3.7 Sensor de pressão..... | 20 |
| Capítulo 4..... | 23 |
| Caracterização experimental..... | 23 |
| 4.1 Dados experimentais..... | 23 |
| 4.2 Comunicação com o exterior (dados experimentais)..... | 35 |
| 4.3 Avaliação das tecnologias de sensores à luz dos requisitos..... | 40 |
| 4.4 Avaliação das tecnologias de comunicação à luz dos requisitos..... | 42 |
| Capítulo 5..... | 43 |
| Testes sobre a arquitetura final..... | 43 |
| 5.1 Caracterização experimental da solução escolhida..... | 44 |
| 5.2 Implementação e desenvolvimento de protótipos..... | 49 |

| | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|-----------|
| 5.3 | Método de calibração..... | 52 |
| Capítulo 6 | | 53 |
| Considerações finais | | 53 |
| 6.1 | Conclusões..... | 53 |
| 6.2 | Perspetivas de trabalho futuro..... | 54 |
| Bibliografia | | 55 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| <i>Figura 1-Logótipo da empresa Oliveira & Irmão S.A. [1].</i> | 2 |
| <i>Figura 2-Logótipo da empresa Watgrid LDA [2].</i> | 2 |
| <i>Figura 3-Descrição inicial das diferentes partes do projeto.</i> | 4 |
| <i>Figura 4-Tanque OLI_74 [5].</i> | 6 |
| <i>Figura 5-Tanque OLI_120 [6].</i> | 6 |
| <i>Figura 6- Válvula de descarga [7].</i> | 7 |
| <i>Figura 7-Válvula de admissão.</i> | 7 |
| <i>Figura 8- Espectro eletromagnético.</i> | 8 |
| <i>Figura 9-Figura do sensor pretendido onde se emite uma onda sobre um objeto e se recebe a reflexão.</i> | 9 |
| <i>Figura 10-Espectro sonoro.</i> | 10 |
| <i>Figura 11- Princípio de funcionamento dos sensores ultrassónicos.</i> | 10 |
| <i>Figura 12- Arquitetura prevista para o sensor de ultrassons.</i> | 11 |
| <i>Figura 13- Princípio de funcionamento de um condensador.</i> | 12 |
| <i>Figura 14- Proposta de solução para um sensor capacitivo.</i> | 13 |
| <i>Figura 15- Ilustração do fenómeno da resistência elétrica (retirado de "FQ9 - Viver Melhor na Terra - Edições ASA edição 2012").</i> | 14 |
| <i>Figura 16- Esquema da implementação de um sensor resistivo.</i> | 15 |
| <i>Figura 17- Esquema de luz laser.</i> | 17 |
| <i>Figura 18- Princípio de funcionamento do sensor a laser no autoclismo.</i> | 18 |
| <i>Figura 19- Esquema de reflexão em fibra ótica.</i> | 19 |
| <i>Figura 20- Esquema de fibra ótica [20].</i> | 20 |
| <i>Figura 21- Esquema de sensor de pressão.</i> | 21 |
| <i>Figura 22- Arquitetura do sensor de pressão (sendo o tubo de inox onde se lê a pressão representado a cinza e a água a azul).</i> | 22 |
| <i>Figura 23-Implementação pretendida relativa ao sensor de infravermelhos.</i> | 23 |
| <i>Figura 24- Sensor infravermelhos.</i> | 24 |
| <i>Figura 25- Medida de sensor infravermelhos.</i> | 24 |
| <i>Figura 26- Modelo de sensor de ultrassons.</i> | 26 |
| <i>Figura 27- Medida da primeira abordagem do sensor de ultrassons.</i> | 26 |
| <i>Figura 28- Medida da segunda abordagem do sensor de ultrassons.</i> | 27 |
| <i>Figura 29- Sensor capacitivo</i> | 28 |
| <i>Figura 30- Medida da primeira abordagem do sensor capacitivo.</i> | 28 |
| <i>Figura 31- Medida da segunda abordagem do sensor capacitivo com ADC de 10 bits.</i> | 28 |
| <i>Figura 32- Sensores resistivos.</i> | 29 |

| | |
|--|----|
| <i>Figura 33- Resultados do sensor resistivo 1.</i> | 30 |
| <i>Figura 34- Implementação do sensor de laser.</i> | 31 |
| <i>Figura 35- Resultados do sensor de laser.</i> | 31 |
| <i>Figura 36- Sensor laser 150 mm / Sensor laser 300 mm.</i> | 32 |
| <i>Figura 37- Resultados do sensor ótico.</i> | 33 |
| <i>Figura 38- Resultados do sensor ótico quando variado 1cm do nível com ADC de 16 Bits.</i> | 33 |
| <i>Figura 39- Resultados de sensor.</i> | 34 |
| <i>Figura 40- Resultados do sensor de pressão.</i> | 35 |
| <i>Figura 41-Plataforma de recepção de dados de descarga.</i> | 36 |
| <i>Figura 42-Aplicação android de leitura do sensor.</i> | 37 |
| <i>Figura 43-Placa de comunicação rádio.</i> | 38 |
| <i>Figura 44-Placa de comunicação NRF24L01.</i> | 38 |
| <i>Figura 45-Placa de comunicação Bluetooth.</i> | 39 |
| <i>Figura 46-Placa de comunicação Bluetooth 5.0.</i> | 40 |
| <i>Figura 47-Diagrama de blocos da arquitetura final do sensor do ponto de vista do funcionamento.</i> | 43 |
| <i>Figura 48-Diagrama de blocos da arquitetura final de leitura de nível com componentes utilizados.</i> | 43 |
| <i>Figura 49- Sucessivas cargas e descargas do sensor.</i> | 44 |
| <i>Figura 50- Fluxo de descarga completa.</i> | 44 |
| <i>Figura 51- Fluxo de meia descarga.</i> | 45 |
| <i>Figura 52- Erro de leitura.</i> | 45 |
| <i>Figura 53- Volume lido pelo sensor versus volume lido manualmente.</i> | 46 |
| <i>Figura 54- Volume lido pelo sensor (azul) e volume lido manualmente(vermelho).</i> | 46 |
| <i>Figura 55- Sensor com câmara fotográfica.</i> | 47 |
| <i>Figura 56- Dados obtidos pelo Sensor á esquerda e pela câmara fotográfica á direita.</i> | 48 |
| <i>Figura 57- Segundo protótipo do sensor.</i> | 49 |
| <i>Figura 58- Protótipo de sensor de nível.</i> | 50 |
| <i>Figura 59- Protótipo de sensor dentro do tanque.</i> | 50 |
| <i>Figura 60- Protótipo de sensor final.</i> | 51 |
| <i>Figura 61- Sensor de calibração de nível máximo.</i> | 52 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| <i>Tabela 1-Comandos de resposta do sensor</i> | 35 |
| <i>Tabela 2-Descrição de tecnologias estudadas</i> | 40 |

Glossário de acrónimos

| | |
|-----|---|
| ADC | Conversor analógico digital (<i>analogue digital converter</i>) |
| bit | Simplificação para dígito binário (<i>Binary digit</i>) |
| IR | Infravermelho (<i>infrared</i>) |
| LED | Díodo emissor de luz (<i>light emitting diode</i>) |

Lista de símbolos e constantes

| | |
|-----|--------------------|
| s | segundo |
| K | Kelvin |
| °C | Graus Celsius |
| μm | Micrómetro |
| mm | Milímetro |
| cm | Centímetro |
| Hz | Hertz |
| W | Watt |
| V | Volt |
| A | Ampère |
| mA | miliAmpère |
| m/s | Metros por segundo |

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação/Enquadramento

A necessidade de controlar de forma rápida e precisa o consumo de água no dia a dia é cada vez mais um assunto importante na sociedade. Para tal, não só é necessário saber o volume total de água consumida, mas também que percentagem de água é consumida nos diferentes equipamentos utilizados no nosso dia a dia.

Um dos locais com maior responsabilidade no consumo de água são as casas de banho e, dentro dessas, os autoclismos. Estes fazem parte do quotidiano de todas as pessoas e são responsáveis por uma grande fatia na percentagem de água consumida num edifício. Para tentar controlar esta situação surge cada vez mais a necessidade de monitorização deste consumo não só para perceber a percentagem de água consumida, mas também para perceber se é possível melhorar a eficiência do produto (autoclismo) no sentido de reduzir ao máximo os seus desperdícios.

Para controlar o volume de água consumida num autoclismo é necessário monitorizar o volume de água presente no seu interior com elevada precisão e durante o seu ciclo de vida. Nesse sentido, o desenvolvimento de um sensor capaz de monitorizar o nível/volume neste tipo de reservatórios reveste-se de uma importância acrescida tanto mais que através dessa monitorização será possível analisar fluxos de descarga e detetar possíveis problemas com o equipamento, nomeadamente, algum tipo de fugas. O tempo de intervenção poderá ser diminuído significativamente.

A monitorização do volume de água em tanques já vem sendo muito utilizada atualmente quer em sistemas de controlo de enchimento, quer para monitorização de consumo. Muitas são as tecnologias que podem ser encontradas para o efeito.

A medição de volume de água num reservatório pode ser obtida a partir da medida direta da altura da coluna de água no seu interior. Sabendo a altura da coluna de água do reservatório, será relativamente fácil calcular o volume de água sabendo de antemão a geometria do mesmo.

Inicialmente os sensores de medida de líquidos foram implementados para ativar ou desativar válvulas de abertura ou fecho de tanques. Estes consistiam essencialmente em peças mecânicas que ativavam ou desativavam a sua abertura dependendo do contacto entre o sensor e a água. Nos últimos anos, muito devido ao crescimento na digitalização de equipamentos de medida, tem vindo a aumentar a procura e oferta em sensores de medida de nível com diferentes arquiteturas e diferentes tecnologias de leitura.

De um modo muito simplista, a medida da coluna de água será calculada subtraindo à altura total do tanque até ao sensor. Para tal, podem-se utilizar diferentes tecnologias desde que o objetivo primordial do sensor seja cumprido, ou seja, ser capaz de distinguir entre ar e água e, conseqüentemente, medir distância através da tecnologia utilizada para obter a medida. Podem ser utilizadas diferentes tecnologias para realizar a medição de nível de líquido, podendo estas variar de acordo com o método de medida do sensor assim com o ambiente e arquitetura envolvente ao sensor.

1.2 OLI – Sistemas Sanitários SA.

A OLI-Sistemas Sanitários S.A. é a maior produtora de autoclismos do Sul da Europa. Atua no mercado sob a marca OLI e tem expressão global em diferentes soluções de banho. Está presente em 80 países dos cinco continentes. Ao longo dos anos, a OLI criou produtos que, à escala global, mudaram a experiência diária no espaço de banho. O WC tornou-se mais eficiente, amigo do ambiente, confortável e acessível [1].

Com a utilização de tecnologia patenteada e elevados padrões de qualidade na produção, a OLI é reconhecida por estudar constantemente novas e melhores soluções que permitem um maior acesso do espaço de banho a pessoas com mobilidade reduzida. Comprometida com o desenvolvimento sustentável, a OLI desenvolve soluções versáteis com design contemporâneo para aplicação em novos projetos de construção e reabilitação urbana. A OLI acredita num espaço de banho acessível e seguro para todos. A marca continuará a ser definida pela inovação.



Figura 1-Logótipo da empresa Oliveira & Irmão S.A. [1].

1.3 WATGRID LDA.

A empresa WATGRID LDA, criada em 2014 pretende, através de soluções inovadoras de baixo custo, monitorizar a quantidade e qualidade de líquidos em tempo real destacando-se a água e o vinho, para além da investigação e desenvolvimento que faz na área da fotónica, comunicações óticas e sensores.

Inicialmente a empresa tinha em foco soluções para a deteção de fugas de água nas redes de distribuição com o objetivo de reduzir para metade a água não faturada, tendo por base melhorias nos sistemas tradicionais de controlo de água, utilizando tecnologia de fibra ótica patenteada. Foi com esta ideia que a WATGRID chegou, no início de 2014, à final do concurso “Building Global Innovators”, da IUL-MIT Portugal Caixa Capital [2].

Atualmente o foco da empresa direciona-se essencialmente para o mercado dos vinhos, sem descartar o foco inicial. Esta mudança prende-se sobretudo por ser o mercado do vinho extremamente extenso, propício à divulgação da marca e ainda muito atrativo economicamente.



Figura 2-Logótipo da empresa Watgrid LDA [2].

O sensor desenvolvido pela empresa será produzizado em parceria com a OLI-Sistemas Sanitários S.A. no intuito de proporcionar a essa empresa o lançamento de um novo produto no mercado capaz de fornecer ao utilizador uma nova funcionalidade: analisar o consumo em tempo real do seu autoclismo. Para a OLI o sistema proposto deverá promover o controlo dos seus tanques de água a nível mundial, permitindo detetar e corrigir falhas mais rapidamente.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho foi estruturado em seis capítulos. Neste primeiro capítulo, para além do enquadramento e motivação, forneceu-se uma breve descrição das empresas responsáveis pelo projeto, são identificadas as contribuições do trabalho realizado, assim como a respetiva estrutura. No segundo capítulo são apresentadas as especificações do sistema, sendo explicado todo o sistema que integrará o sensor que se pretende desenvolver assim como o desempenho esperado do produto final. No terceiro capítulo são abordadas as diferentes tecnologias existentes no mercado para a medição do nível, apresentando-se um breve *benchmarking* sobre as diversas arquiteturas de sensores existentes e a possibilidade de utilização das mesmas para o caso em estudo. No quinto capítulo é descrita toda a arquitetura final desenvolvida e são apresentados os resultados obtidos para a solução escolhida. Por fim, no sexto capítulo, são apresentadas as principais conclusões que surgiram da realização deste trabalho e são também abordadas algumas perspetivas futuras, consideradas importantes para a continuação da evolução deste sensor.

Capítulo 2

Especificações do sistema

2.1 Objetivos

Este projeto foi desenvolvido maioritariamente nas instalações da empresa Watgrid LDA onde foi criado todo o software e setups de teste necessários à realização deste trabalho. A parte de hardware e protótipos do sensor final foram desenvolvidos em parceria com a empresa OLI. O objetivo principal do projeto é o desenvolvimento de um sensor de baixo consumo energético (0.75 W no máximo para a versão inicial) capaz de medir com elevada precisão (<0.5 mm) a altura em mm da coluna de água dentro de dois modelos de tanque já comercializados pela OLI, com todas as suas dimensões estipuladas e sem previsão de serem alteradas no futuro. Este sensor tem o requisito de ter de ser desmontável e ser possível introduzi-lo e retirá-lo facilmente pelo orifício retangular localizado na parte superior do tanque, o qual tem uma dimensão de 180x113 mm. Por fim é ainda necessário que o sensor não apresente qualquer contacto elétrico com a água, que não se degrade com o tempo, nem que a sua saída se altere com diferentes propriedades da água ou do meio envolvente [3].

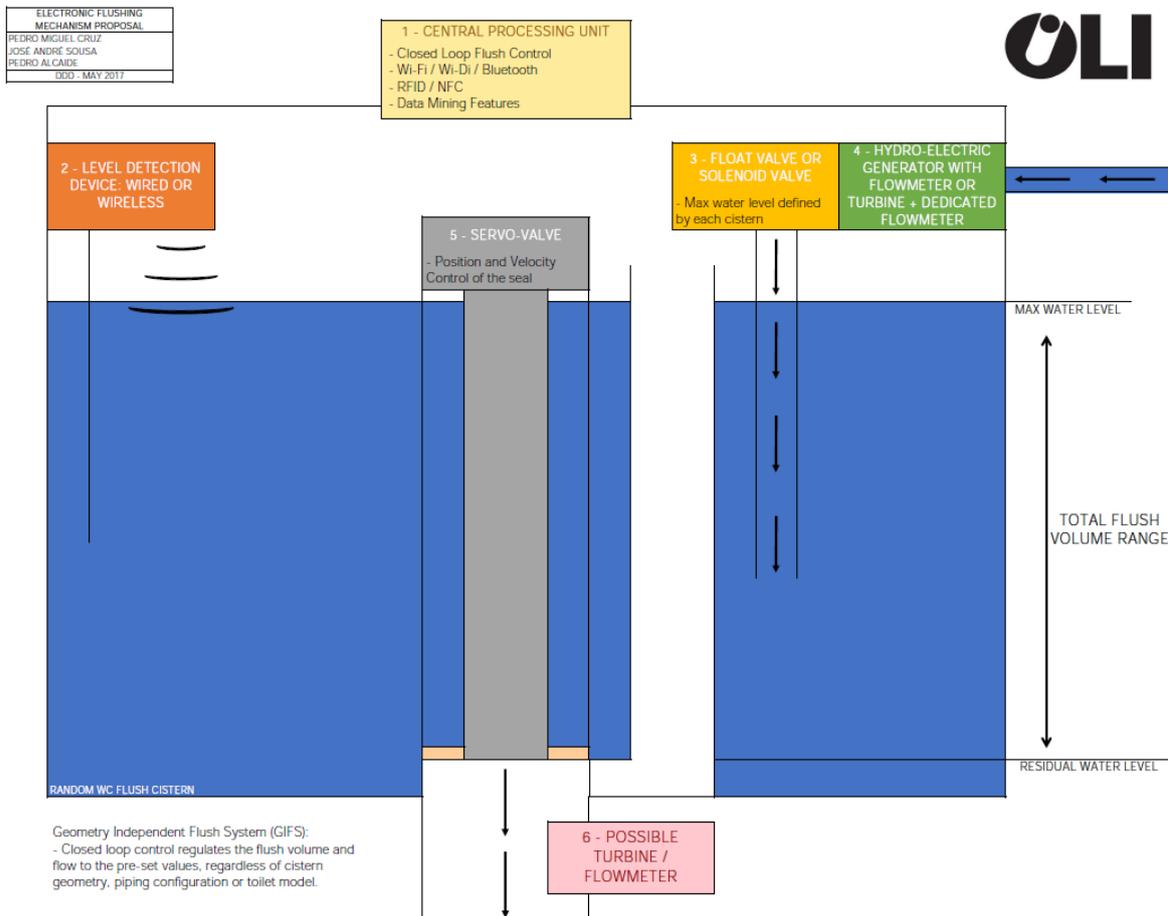


Figura 3-Descrição inicial das diferentes partes do projeto.

- Tal como apresentado na figura acima, este projeto está inserido num projeto global com seis partes:
1. processamento de dados dos diferentes componentes assim como comunicar esses dados para o exterior para poderem ser consultados pelo utilizador.
 2. deteção do nível da coluna de água no interior do tanque enviando essa informação para uma placa central por um protocolo de comunicação com ou sem fios. Esta é a parte que será desenvolvida neste projeto.

3. válvula de entrada de água no tanque e deve ser capaz de desenvolver um sistema mecânico capaz de fechar a entrada de água no tanque quando este se encontra na totalidade de carga com uma precisão de 5 mm.
4. armazenamento de energia assim como o controlo da energia gerada por uma turbina que cria energia elétrica com a entrada de água no tanque. Em situação ideal é de esperar que a turbina crie energia suficiente para alimentar o sistema por um longo período de tempo (mais de 1 ano).
5. controlo da válvula de abertura do autoclismo e deve permitir controlar o fluxo de descarga de água assim como possíveis ajustes na performance do sistema.
6. possível turbina geradora secundária que ficará na saída de água do tanque e, juntamente com a turbina anterior, irá servir como auxílio para alimentar o sistema.

2.2 Especificações do sistema

O sensor desenvolvido terá de ser capaz de medir o nível da coluna de líquido num tanque com altura máxima de 335 mm, com uma frequência máxima de 10 Hz e com uma precisão de 0.5 mm. Este sensor deverá ainda apresentar as seguintes funcionalidades: autonomia de funcionamento, não necessitar de qualquer tipo de manutenção ou acionamento e ser construído com materiais com uma durabilidade superior a 2 anos.

O sensor necessitará ainda de apresentar uma interface de comunicação com o utilizador que pode ser por fio ou sem fio e usando um protocolo de comunicação bem estabelecido. O utilizador alvo deste sistema será um técnico especializado que fará a aquisição e tratamento de dados (*via* microcontrolador). A informação será reproduzida numa plataforma gráfica ao utilizador final do autoclismo, podendo este ser um técnico do laboratório onde o autoclismo está instalado ou um cliente que compre um autoclismo instrumentado com o sensor embutido).

Relativamente à sua arquitetura física, o sensor terá de ser facilmente desmontável e montável dentro do tanque e terá de ser inserido/removível no/do autoclismo através de um orifício central com 180x115 mm de dimensão.

Relativamente ao seu consumo energético o sensor tem de apresentar consumos o mais reduzidos possível sendo que, para a fase inicial de validação, foi estabelecido que poderia ir até 0.75 W de potência máxima.

2.3 Subpartes utilizadas

De modo a que o sistema cumpra todas as normas europeias relativamente aos sistemas sanitários dos autoclismos comercializados neste continente, o sensor deve ser testado e projetado para tanques já comercializados.

Nesse sentido, foram utilizados 2 tanques com características e dimensões fixas de modo a analisar os dados do sensor e verificar se cumpre ou não os requisitos pretendidos.

O tanque OLI_74 consiste num modelo de tanque já comercializado pela OLI com um volume de 8 L de água e altura da coluna de água de 335 mm [4].



Figura 4-Tanque OLI_74 [5].

O tanque OLI_120 consiste num tanque também ele já comercializado pela OLI com uma capacidade igual ao OLI_74, mas com uma altura da coluna de água de 220 mm, apresentando assim uma geometria mais larga [5].



Figura 5-Tanque OLI_120 [6].

A válvula de descarga é uma peça acionada com o movimento de um servo motor, permitindo controlar o fluxo de descarga do tanque dependendo da abertura imposta pelo servo motor de controlo. Esta válvula está a ser desenvolvida pela OLI em paralelo com o sensor com o objetivo de obter um controlo total sobre o fluxo de descarga do tanque. Caso seja atingido esse objetivo, conseguir-se-á desenvolver um sistema completamente inovador e que não existe de momento no mercado[6].



Figura 6- Válvula de descarga [7].

A válvula de admissão de qualquer um dos tanques acima apresentados consiste numa boia que abre e fecha mecanicamente a entrada de água dependendo do volume de água no interior do tanque. Quando esta válvula está em perfeitas condições de funcionamento deve apresentar um erro de 1 mm na altura da coluna de água no tanque para diferentes cargas do tanque [7].



Figura 7-Válvula de admissão.

Capítulo 3

Fundamentos teóricos

Neste capítulo serão abordados uma série de conceitos relevantes relativos aos parâmetros físicos avaliados, às componentes eletrônicas e aos sensores de medição dos parâmetros pretendidos. Nesse sentido foram estudadas tecnologias já implementadas para a medição do nível de água nas condições apresentadas anteriormente, estudadas as suas propriedades de funcionamento e a possibilidade dos sensores nelas baseados poderem ser utilizados de modo a cumprirem os requisitos pretendidos.

Foram ainda analisadas as propriedades físicas e os consumos energéticos das tecnologias estudadas, no sentido de obter uma previsão teórica sobre o consumo e arquitetura do sensor a ser posteriormente desenvolvido, de modo que este se adeque aos requisitos pretendidos.

Após a realização de uma pesquisa de mercado, foram selecionados para realizar este estudo comparativo sensores de infravermelhos, sensores de ultrassons, sensores capacitivos, sensores resistivos, sensores de laser, sensores de fibra ótica e sensores de pressão. O princípio de funcionamento de cada uma das soluções irá ser apresentado bem como a implementação possível para que possam ser utilizadas no projeto e de modo a tirar o melhor partido das suas funcionalidades.

3.1 Sensor de Infravermelhos

As ondas de radiação infravermelha apresentam comprimentos de onda entre 0.75 μm e 1000 μm não sendo perceptíveis ao olho humano. No espectro eletromagnético, a radiação infravermelha pode ser encontrada entre a região do visível e as micro-ondas.

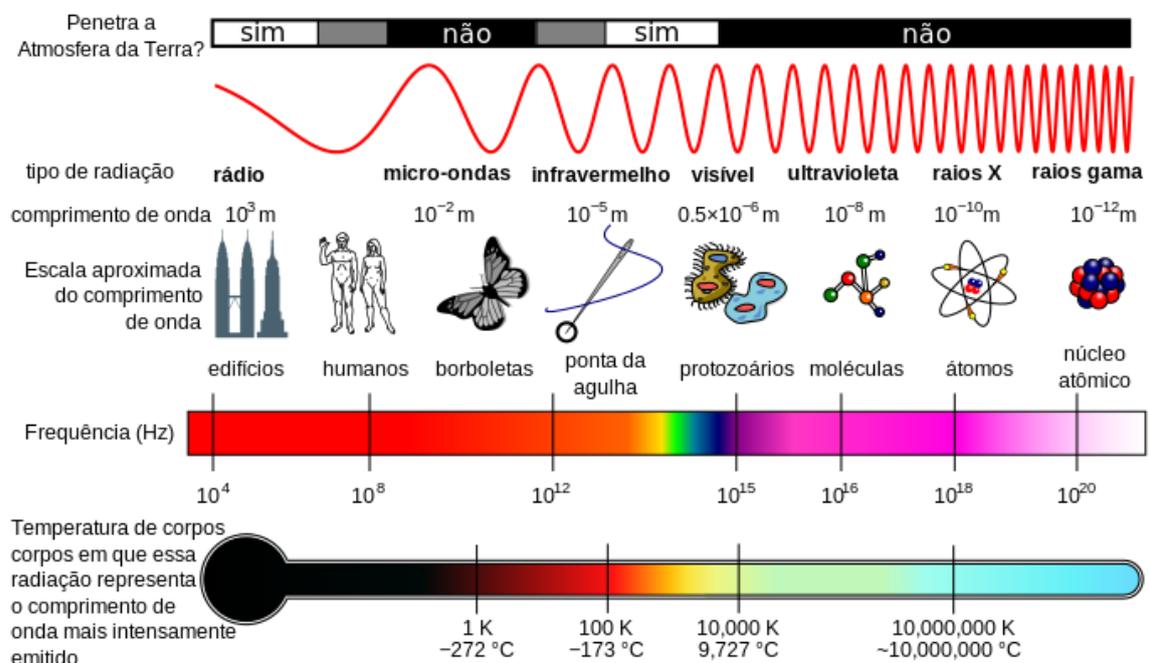


Figura 8- Espectro eletromagnético.

O espectro infravermelho pode ser dividido em três partes: i) a região do comprimento de onda de 0.75 μm a 3 μm , considerada como a região do infravermelho curta; ii) a região do comprimento de onda de

3 μm a 6 μm que é considerada como a região do infravermelho média e iii) a região com comprimento de onda superior é considerada como infravermelho longa. Esta distinção permite distinguir a radiação com maior ou menor frequência para os diferentes propósitos de utilização [8].

A física que rege os sensores de infravermelhos é imposta pela Lei de radiação de Planck, que diz que todo o objeto a uma temperatura T diferente de 0 K emite radiação, pela Lei de Stephan Boltzmann que diz que a energia emitida em todos os comprimentos de onda por um corpo negro está relacionada com a sua temperatura, e ainda pela Lei de Wein que diz que objetos a diferentes temperaturas emitem espectros que atingem a intensidade máxima em diferentes comprimentos de onda.

Em suma, pelas leis descritas acima e para o propósito deste trabalho é importante retirar que todos os corpos com temperatura superior a 0 K possuem energia térmica e são fontes de radiação infravermelha. Neste sentido, são emissores de radiação infravermelha não só lâmpadas ou lasers, mas todos os corpos com temperatura superior a 0 K. Tal pode ser uma vantagem em algumas áreas de estudo, mas no caso de sensores de medida de elevada precisão pode tornar-se uma desvantagem pois quanto maior o número de fontes de radiação descontroladas maior será o erro da medida.

No caso em que o meio de transmissão de radiação infravermelha seja o ar pode existir o problema da interferência com outras fontes de radiação. Para mitigar esse problema pode-se usar o vácuo, fibra ótica ou outro meio de transmissão isolado do exterior.

Os sensores de medição de distância corporizam uma das utilizações da radiação infravermelha. Neste caso o princípio de funcionamento consiste na emissão de radiação dum meio para outro, medindo-se a partir do recetor a radiação infravermelha que é refletida pela superfície do objeto ao qual se pretende medir a distância. Este princípio pode ser utilizado para o sensor pretendido podendo-se atenuar a interferência de fontes exteriores caso se consiga isolar o sensor de fontes externas de radiação infravermelha.

3.1.1 Descrição do funcionamento pretendido

Esta implementação consiste na emissão de radiação infravermelha sobre a superfície da água ou de uma boia de polipropileno, medindo-se a radiação refletida por esta de modo a determinar o volume de água no tanque através da diferença de radiação recebida.

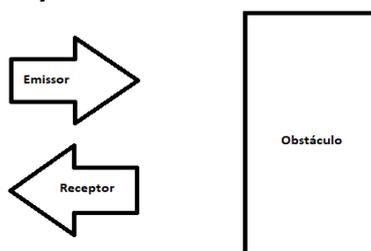


Figura 9-Figura do sensor pretendido onde se emite uma onda sobre um objeto e se recebe a reflexão.

Pretende-se desenvolver um sistema com um LED emissor de radiação infravermelha que funcionará como emissor com um comprimento de onda na ordem dos 940 nm e um recetor de infravermelhos que medirá a radiação refletida pela superfície da água ou da boia. Tanto o emissor como o recetor, assim como toda a área de medida, devem estar isolados da radiação proveniente do exterior. Para tal, deve ser utilizado um tubo de plástico ou metal fechado, com o emissor e recetor no seu interior e um orifício para o exterior para a circulação da água, de modo a que o nível da água no interior do tubo varie com a altura da respetiva coluna [9].

Como solução inicial pretende-se utilizar a água como superfície refletora e uma boia como segunda solução, observando-se as diferenças entre as 2 opções.

3.1.2 Consumo energético e custo de implementação

Como o consumo energético e os custos de implementação pretendidos devem ser os menores possível, foram escolhidos sensores e sistemas de aquisição com o menor custo encontrado no mercado. Com vista a reduzir o consumo energético usou-se uma frequência de amostragem do sensor com o valor de 10 Hz (máxima frequência de amostragem especificada). Sendo que o sensor é desenvolvido para ser facilmente ligado e desligado é de esperar um consumo de 0.02 mW devido a correntes de polarização quando o sensor está desligado e 0.025 W (5 V 5 mA) ao longo do período de funcionamento (cerca de 100 ms por amostra). Já a compra do conjunto led emissor e do recetor de radiação tem um custo reduzido, mais precisamente de 0.037 euros, quando adquiridos em grande escala.

Contas feitas, esta implementação é interessante do ponto de vista energético assim como de custo de produção. A precisão e a resolução irá ser analisada no capítulo seguinte.

3.2 Sensor de Ultrassons

Tal como a tecnologia apresentada acima, os sensores de ultrassons são baseados na emissão de ondas mecânicas com uma determinada frequência que serão refletidas por um dado objeto a uma dada distância. Sabendo a velocidade da onda no meio em que esta é propagada e o tempo que demora a chegar ao recetor após a sua emissão, podemos calcular a distância percorrida.

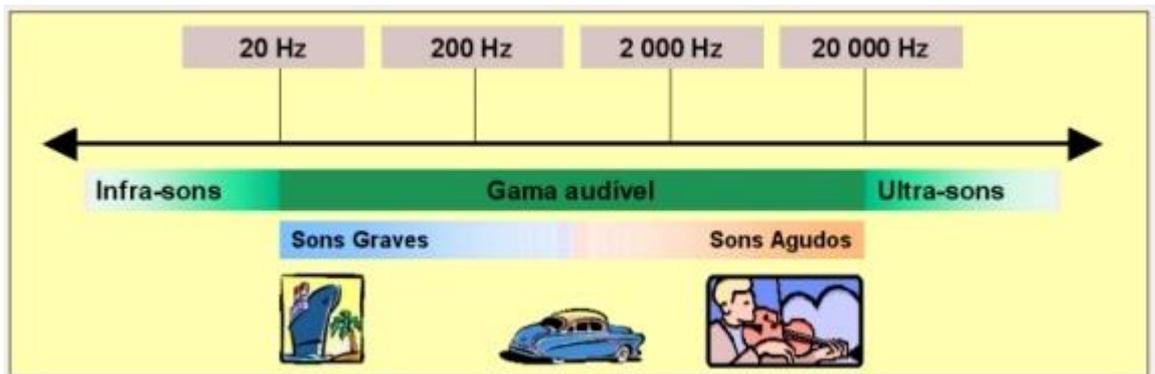


Figura 10-Espectro sonoro.

Tal como mostra a imagem acima, os ultrassons não são detetáveis pelo ouvido humano. Apresentam a maior frequência do espectro sonoro, o que torna os sensores baseados nestas ondas eletromagnéticas bastante fiáveis sofrendo pouca interferência de ruído audível e sendo ao mesmo tempo silenciosos para o ouvido humano.

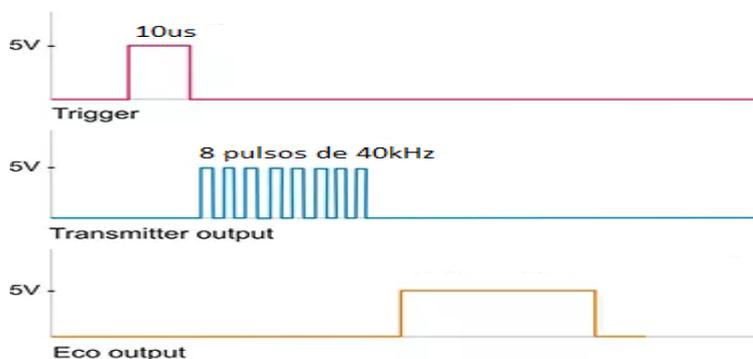


Figura 11- Princípio de funcionamento dos sensores ultrassónicos.

Os sensores baseados em ultrassons emitem impulsos de som curtos e de alta frequência em intervalos regulares, como mostra a figura acima, propagando-se no ar à velocidade do som que depende da temperatura e da densidade do ar (346.13 m/s a 25 °C). Na arquitetura de sensores ultrassons estudada estas ondas são emitidas sobre um objeto sendo refletidas de volta como sinal de eco para o recetor do sensor. Calcula-se então a distância ao alvo com base no intervalo de tempo entre a emissão do sinal e a receção do eco. A distância é determinada pelo tempo de voo e não pela intensidade do som sofrendo menos perdas no meio de propagação [10].

Ao contrário do sensor de luz como o de infravermelhos, estes sensores ultrassónicos não sofrem interferência com a luminosidade envolvente nem com a cor do objeto de reflexão da onda, podendo até funcionar em ambientes com elevadas poeiras. Tem-se apenas de ter em atenção que a superfície de incidência deve ser boa refletora de onda sonora caso contrário a onda será absorvida pelo material não sendo refletida novamente para o emissor (um exemplo de um mau refletor de onda sonora é a esponja).

Os fatores apresentados anteriormente tornam os sensores ultrassónicos úteis para aplicação em diversos cenários. Em termos de desvantagens, tem de se considerar o facto da distância mínima de funcionamento ser de aproximadamente 20 mm para que a onda possa chegar do emissor até ao objeto e voltar novamente ao recetor.

3.2.1 Descrição do funcionamento pretendido

Com este sensor pretende-se medir a altura da coluna de água de um repositório com elevada precisão. Assim, como primeira abordagem, pretende-se colocar na parte superior do tanque um sensor ultrassónico a cerca de 20 mm da altura máxima de água de modo a nunca ficar submerso. Podem-se assim retirar leituras sucessivas de cargas e descargas do reservatório e, em consequência, analisar a resposta do sensor. Esta primeira abordagem é representada na figura abaixo onde se pode ver a arquitetura do sistema com o sensor baseado em ultrassons, o tanque de água, em que o volume de água no seu interior é alterado, sendo necessário detetar essa variação com o sensor desenvolvido e o microcontrolador que fará a leitura dos valores do sensor [11].

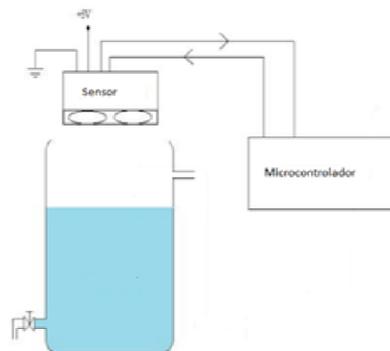


Figura 12- Arquitetura prevista para o sensor de ultrassons.

Como segunda abordagem pretende-se colocar o sensor na parte inferior do tanque de água medindo posteriormente a altura da coluna de água devido à reflexão da radiação que irá ocorrer na interface água/ar. Nesta configuração o sensor fica totalmente submerso. Comparando as duas abordagens descritas anteriormente será possível retirar conclusões sobre o melhor meio de propagação dos ultrassons entre a água e o ar.

3.2.2 Consumo energético e custos de implementação

Para esta abordagem, e no sentido de serem reduzidos ao máximo tanto os custos como o consumo do equipamento, foram adquiridos dois modelos de sensores apresentados no capítulo seguinte.

Para a primeira abordagem, onde o sensor é colocado fora do líquido, foi adquirido um sensor hc-sr04 que consiste num modelo de sensor capaz de medir entre 20 mm e 4000 mm com uma resolução de 0.3 mm sendo a potência de funcionamento de 0.01 W (5v 2mA) e a frequência de funcionamento de 40 KHz. Esta abordagem, tendo em conta o custo do sensor completo tem o preço aproximado de 0.89 euros quando adquirido em grandes quantidades.

Para a segunda abordagem, e tendo em conta que esta seria apenas uma fase inicial, foi adquirido um sensor à prova de água de maior valor comercial com o custo de 15.95 euros e uma placa de leitura da Texas Instruments com o modelo TDC1000-C2000EVM com o preço de 91.62 euros. Embora o preço fosse significativo para o projeto em causa, pensou-se que o fator custo benefício pudesse vir a ser elevado e que se pudesse promover uma redução de custos futura.

3.3 Sensor capacitivo

O condensador é um componente vulgar nos circuitos eletrónicos atuais, que serve principalmente para armazenar energia sem ter necessidade de ser eletricamente alimentado. A base dum condensador consiste em duas placas metálicas separadas duma dada distância por um material não condutor (dielétrico). A capacidade de armazenamento de energia será tanto maior quanto maior a área das placas metálicas e tanto menor quanto maior a distância que separa os dois materiais. Nesse sentido, é fácil a construção de condensadores elétricos necessitando-se simplesmente de duas placas metálicas e um dielétrico que as separe [12].

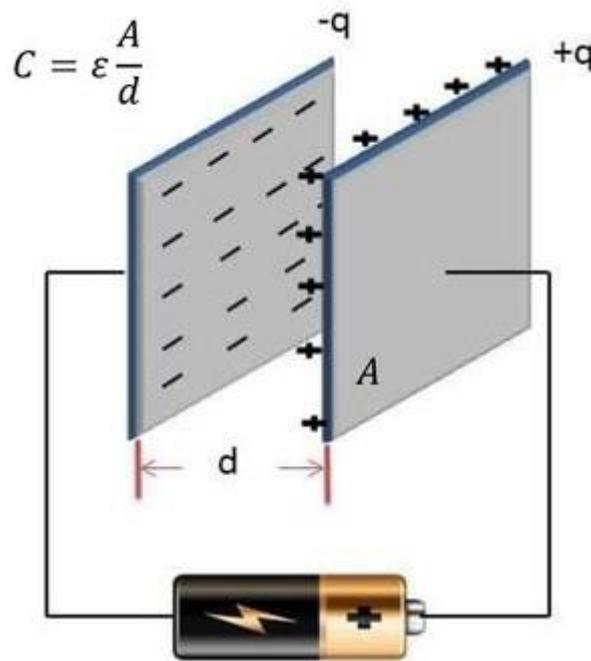


Figura 13- Princípio de funcionamento de um condensador.

Baseado na figura acima, e com o intuito de criar um sensor baseado nesse princípio de funcionamento, considere-se um sensor capaz de variar a capacidade do condensador variando o nível da coluna de água num reservatório. Conclui-se que a capacidade pode ser alterada modificando os três fatores área, distância e dielétrico. Analisando as características do ambiente em que se quer medir e do material no qual se vai realizar a medição, é observável que se possam utilizar duas placas metálicas com uma dada área separadas por uma dada distância e cujo dielétrico vai poder ser ar ou água. Analisando as propriedades físicas dos materiais é possível verificar que a constante dielétrica do ar é quase 1, enquanto a constante dielétrica da água é 80.4 °C a 20 °C. Ora, variando esse dielétrico entre ar e água ao longo da distância entre as duas placas do condensador, é possível obter uma capacidade que varia com a variação do nível de água.

Com a ideia apresentada na descrição anterior é possível projetar um condensador que será colocado ao longo da altura da coluna de água do tanque que se pretende medir. Relaciona-se assim a altura dessa mesma coluna de água com a capacidade do condensador, esperando-se que, já que a constante dielétrica da água é claramente superior à do ar, a capacidade do condensador aumente com o aumento da coluna de água no interior do tanque.

Para medir a capacidade desse condensador será necessário medir o tempo de carga. Analisando esse tempo e calibrando o dispositivo conclui-se sobre a altura do nível da coluna de água do tanque através dessa medida temporal.

3.3.1 Descrição do funcionamento pretendido

Para possibilitar a introdução do sensor no tanque utilizado, não é viável a utilização de um condensador construído com duas placas metálicas paralelas devido às dimensões que teriam de ser elevadas para termos uma variação de carga elevada. Nesse sentido pretende-se criar um condensador cilíndrico devido ao facto de ser geometricamente mais flexível e adaptável ao ambiente onde vai trabalhar. Após o estudo da arquitetura do condensador é importante discutir os materiais que o constituem. Nesse sentido pretende-se projetar dois tubos plásticos revestidos a cobre com diferentes diâmetros, em que o tubo interior fica separado do tubo exterior por uma distância fixa que será preenchido por ar ou água dependendo da altura da coluna de água do tanque [13].

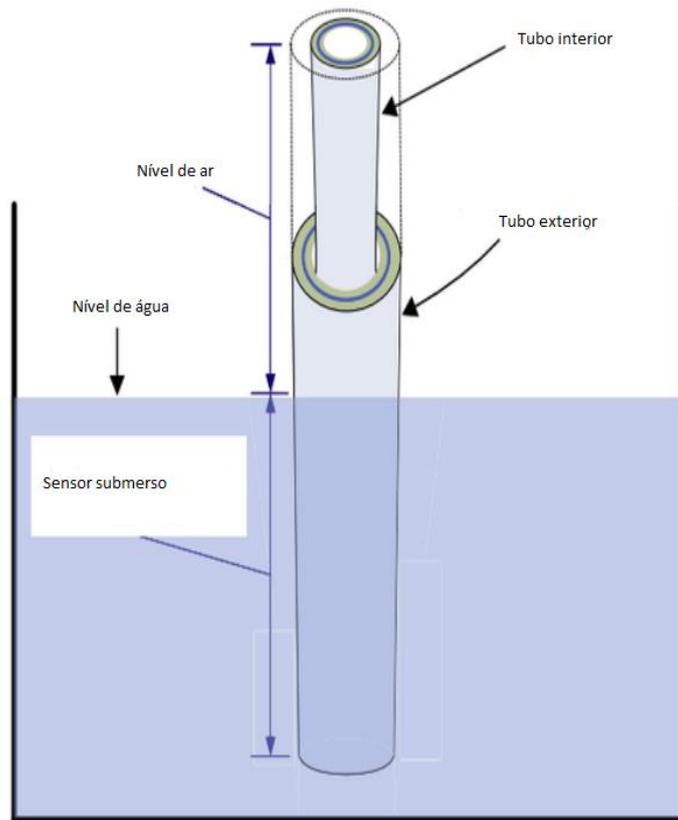


Figura 14- Proposta de solução para um sensor capacitivo.

Tal como explicado, a figura acima ilustra o ambiente de leitura do sensor assim como a sua arquitetura e o modo de funcionamento, pretendendo-se assim obter uma medida fiável no ambiente desejado.

Relativamente a este sensor, pretendemos analisar a sua resolução assim como a sua durabilidade, pois a sua instalação implica estar em contacto com a água diariamente o que pode aumentar o grau de deterioração dos materiais, reduzindo a sua durabilidade e tornando-a dependente da qualidade da água, podendo implicar perda de resolução com o tempo de utilização.

Para validar a arquitetura proposta pretende-se utilizar um sensor de nível já desenvolvido e comercializado anteriormente pela empresa Watgrid LDA de modo não só a testá-lo neste novo ambiente mas também a analisar se serve ou não para ser implementado tendo em conta os requisitos do sistema pretendido.

3.3.2 Consumo energético e custos de implementação

Com esta arquitetura implementada e de acordo com o objetivo proposto, pretende-se que este sensor apresente um consumo reduzido, para tal impondo um consumo desprezável quando o sensor não está em fase de leitura, e um consumo bastante pequeno quando em funcionamento. Tal será possível devido ao facto de não existir movimento de cargas entre ambos os polos de um condensador, necessitando-se apenas de cargas para o carregar e descarregar quando se procede à leitura da sua capacidade.

Já os custos de implementação desta primeira abordagem não serão contabilizados, devido ao facto de não ser necessária a aquisição de nenhum material externo ao já existente nas instalações da empresa, tendo apenas de serem obtidos orçamentos futuros caso a implementação seja escolhida para o projeto final.

Quanto ao sensor já montado e comercializado pela empresa vai ser usado para testes sem que seja necessário qualquer tipo de manutenção. Assim os seus custos também não serão contabilizados neste projeto.

3.4 Sensor Resistivo

A resistência elétrica tem a ver com a dificuldade que um corpo impõe à passagem de corrente elétrica sobre ou por ele. Neste sentido todo e qualquer objeto apresenta uma dada resistência elétrica. Dependendo dessa resistência é possível encontrar na natureza materiais condutores, que são bons condutores elétricos e materiais isoladores que são maus condutores de corrente elétrica.

Para medir o nível de líquido num reservatório de água com base em sensores resistivos tem de ser possível distinguir claramente quando uma certa superfície do tanque está submersa em água e quando tem ar através da resistência elétrica de ambos.

A resistência elétrica de um dado objeto é obtida pela multiplicação da resistividade elétrica do material que o constitui por um fator geométrico correspondente ao comprimento dividido pela secção. Ora a resistividade da água é muito menos que a do ar logo, alterando-se esse parâmetro, devemos conseguir distinguir claramente ambos os materiais [14].

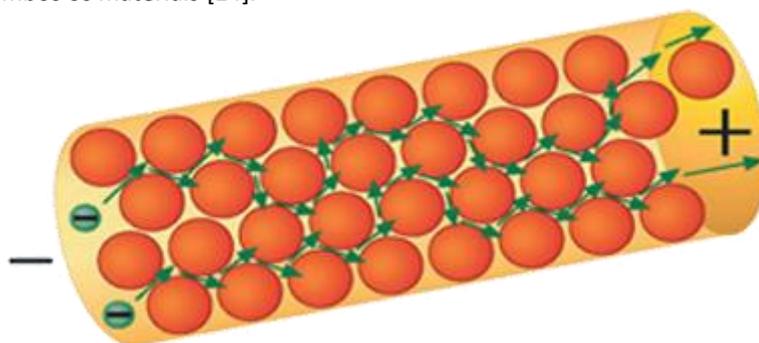


Figura 15- Ilustração do fenómeno da resistência elétrica (retirado de "FQ9 - Viver Melhor na Terra - Edições ASA edição 2012").

Na imagem acima é possível observar um esquema representativo duma resistência elétrica, onde é visível que esta é constituída por camadas que oferecem resistência à passagem de corrente. Quando um eletrão chega à entrada da resistência, inicia uma série de colisões que aumentam com o aumento da resistência do material e que irão libertar energia em forma de calor. O movimento das cargas do pólo negativo para o positivo depende da diferença de potencial entre os dois polos da resistência. Diferença de

potencial essa que, aumentando, irá aumentar a energia fornecida aos elétrons que farão o mesmo número de colisões na resistência, mas a uma maior velocidade permitindo um maior fluxo de corrente elétrica [14].

3.4.1 Descrição do funcionamento pretendido

No sentido de tirar melhor partido das propriedades do material, a melhor forma para retirar valores de nível no tanque será dividi-lo em n partes, onde n representa a resolução do sensor, de modo a conseguir medir com maior certeza a resistência entre dois níveis consecutivos, permitindo a distinção entre dois materiais diferentes entre si.

Com o objetivo explicado anteriormente e como protótipo inicial, pretende-se desenvolver um circuito com seis pontos de medida separados de 1 cm, com o objetivo de distinguir claramente quando um nível está ou não submerso em água. Para medir as resistências entre os níveis pretende-se criar uma fonte de corrente constante e, usando um microcontrolador, mede-se a diferença de potencial entre dois extremos duma série de resistências [16], sabendo que essa série terá um valor máximo quando o tanque estiver totalmente sem água e irá diminuindo à medida que se aumenta a altura da coluna de água.

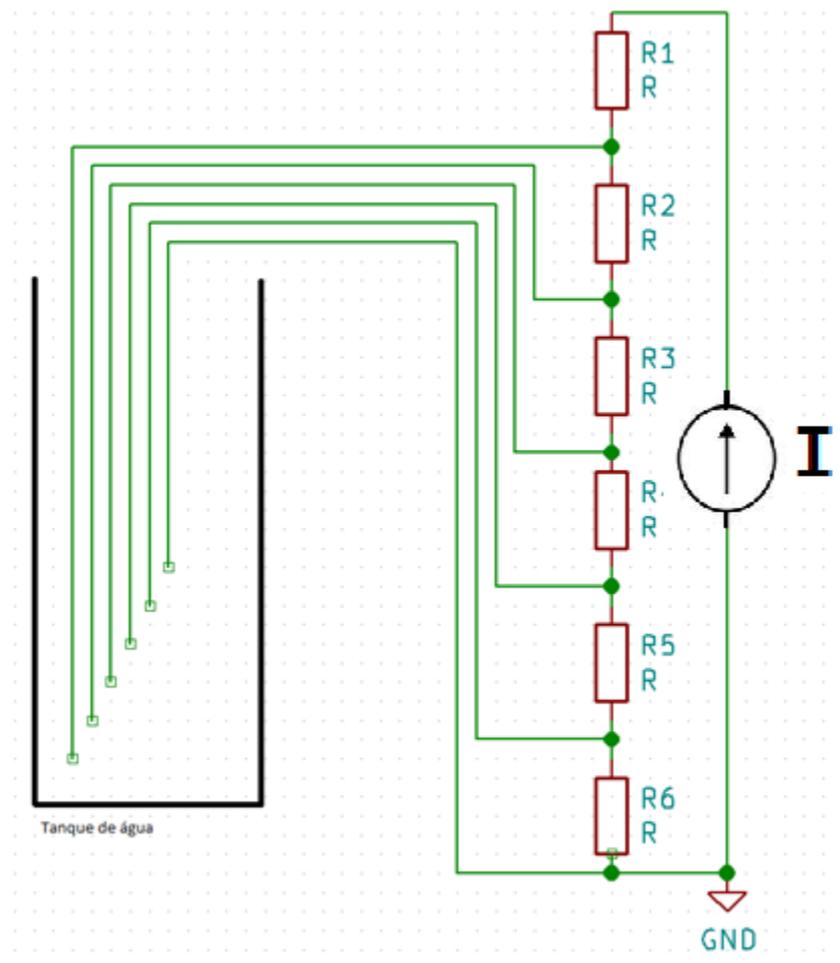


Figura 16- Esquema da implementação de um sensor resistivo.

Com a imagem acima demonstra-se o esquema desejado que consiste num divisor de tensão resistivo, em que as resistências de R1 a R6 ficam em curto circuito ou não quando se altera o material que está em paralelo com estas. Quando os conectores ligados às resistências ficam imersos em água, com a elevada condutividade deste material, vão ser curto-circuitadas sucessivamente as resistências e a tensão irá nos terminais do condensador C1 já que o circuito acima é alimentado entre os terminais do condensador com uma fonte de corrente constante. Ficando as resistências do circuito acima em paralelo com a resistência

elétrica do ar ou da água dependendo da situação em que estejam presentes e sendo a resistência elétrica da água menor que a do ar é esperado conseguir distinguir entre ambos os senários, tendo de se prestar especial atenção ao posicionamento dos fios que entram na parte superior do tanque, de modo a que estes fiquem uniformemente distribuídos ao longo do mesmo.

A resolução apresentada por este sensor será muito reduzida relativamente ao que é esperado para a implementação final mas pretende-se inicialmente apresentar uma abordagem modelo pois a resolução será proporcional ao numero de resistências em serie no circuito o que pode ser facilmente escalável.

É esperado deste método apresentar ainda alguns problemas no futuro devido à utilização de materiais que se podem degradar com o tempo já que estão em contacto direto com a água. No sentido de minimizar este problema, toda a eletrónica deve ser colocada fora do tanque deixando apenas os fios de cobre no seu interior.

No sentido de verificar ainda melhor a metodologia e existirem termos de comparação, foi ainda comprado e caracterizado um sensor comercial com arquitetura semelhante.

3.4.2 Consumo energético e custos de implementação

Para esta abordagem é esperado um maior consumo energético que nas alternativas apresentadas anteriormente devido ao facto de serem usadas resistências que dissipam energia em forma de calor. Como o sensor está diretamente em contacto com a água e existe passagem de corrente pelos diferentes ramos do sensor teremos perdas acrescidas nos fios condutores quer para a água, quer para os materiais que possam estar em contacto com os fios.

3.5 Sensor de laser

Radiação laser (sigla inglesa que significa *light amplification by stimulated emission of radiation*) é um dispositivo amplificador de luz capaz de produzir radiação eletromagnética com características especiais. Estas características definem-se por: apresentar um comprimento de onda muito bem definido que depende diretamente da temperatura a que está sujeito e por todos os fótons estarem em fase e propagarem-se como feixe de ondas paralelo.

O físico Albert Einstein, em 1916, lançou as bases para o desenvolvimento do laser a partir das teorias de Max Planck. Foi em 1953, trinta e sete anos depois, que os cientistas conseguiram produzir um dispositivo bastante similar a um laser. Apesar de não ter sido o criador do laser, A. Einstein leva o crédito por ter sido o cientista que descobriu o princípio físico existente por detrás do funcionamento do laser: a emissão estimulada, sendo essa a condição necessária para se ter o equilíbrio térmico da radiação com a matéria [17].

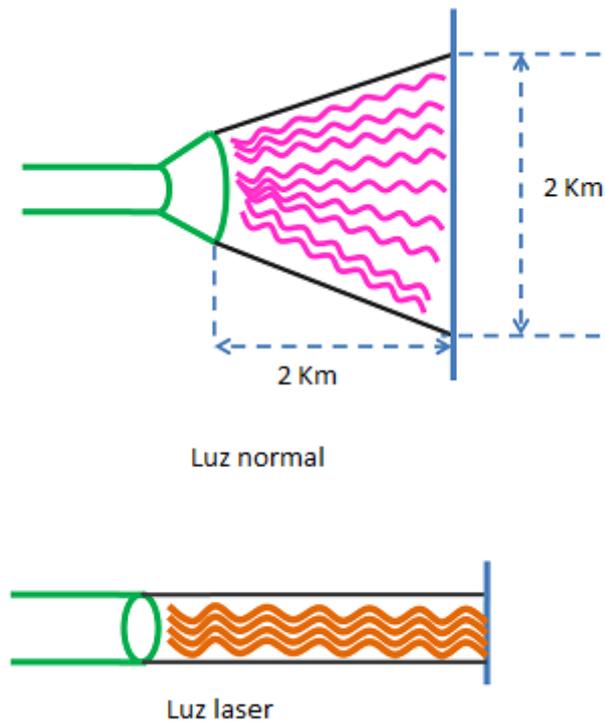


Figura 17- Esquema de luz laser.

Pelo esquema da imagem acima pretende-se demonstrar uma das principais características que fazem da radiação laser ser tão vantajosa quando comparada com outros emissores óticos. Estes apresentam um cone de abertura muito maior quando comparada com o laser, distribuindo a sua energia pela área de emissão enquanto o laser concentra a sua energia numa superfície muito menor.

Pelo facto das características do laser serem tão únicas, não sofrendo facilmente alterações com o tempo nem com as características do meio, fazem com que seja uma possibilidade para o cálculo de distâncias, principalmente pelo facto de sofrer pouca interferência com o meio envolvente.

3.5.1 Descrição do funcionamento pretendido

Como o laser é tão fiável e tão preciso, pretende-se utilizar alguns sensores laser comerciais com o intuito não só de perceber o seu funcionamento na prática, como também de verificar a hipótese de estes serem utilizados numa futura implementação.

Para se aproveitar todas as boas características do laser, e sabendo que este não reflete muita da sua radiação na água, pretende-se desenvolver um modelo com um sensor laser na parte superior do tanque de modo a que este não tenha qualquer contacto físico com a água. Esse mesmo sensor será montado no interior dum tubo com uma boia também no seu interior. Pretende-se assim que a radiação emitida pelo sensor seja refletida na boia e volte a ser detetada pelo sensor, permitindo medir o tempo que a onda incidente demora a voltar novamente ao recetor. Determina-se assim a distância entre o emissor e o recetor uma vez que o comprimento de onda dum laser não se altera [18].

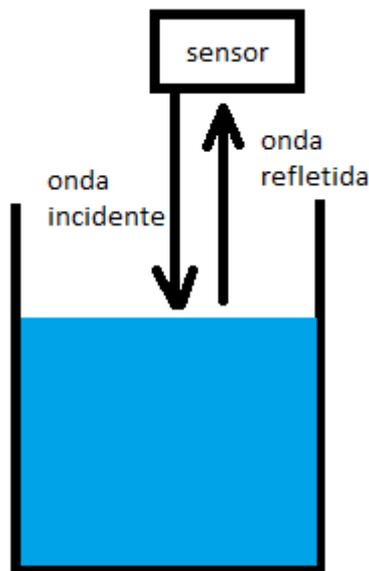


Figura 18- Princípio de funcionamento do sensor a laser no autoclismo.

Com a imagem acima pretende-se demonstrar a arquitetura desejada para este sensor, sem que este tenha contacto com a água e fazendo variar a altura da coluna de água do tanque, permanecendo o sensor na mesma posição no interior dum tubo com uma boia no seu interior de modo a que o nível da coluna de água no exterior e no interior do tubo sejam iguais.

É importante ainda ter em conta que este sensor apresenta uma distância mínima de funcionamento de 1cm que tem de ser considerada pois, caso a altura da coluna de água no tanque esteja a menos de 1cm do sensor este não irá funcionar corretamente.

3.5.2 Consumo energético e custos de implementação

Para implementação deste sensor foram adquiridos dois sensores diferentes. Inicialmente pretende-se testar o modelo VL53L0X, que é um modelo já com emissor e recetor em que o emissor emite num comprimento de onda de 940 nm apresentando este sensor um consumo de 0.75 W (5 V 150 mA) em funcionamento, uma resolução de 1 mm, um alcance máximo de 1 m e um custo unitário de cerca de 4 euros.

De seguida, e no sentido de obter um segundo sensor para comparação, pretende-se adquirir um sensor modelo VL6180x que é um modelo também com emissor e recetor já incluídos que emite num comprimento de onda de cerca de 550 nm com um consumo de 0.75 W (5 V 150 mA) em funcionamento, resolução de 1 mm, alcance máximo de 10 cm e preço unitário de 5 euros.

3.6 Sensor de fibra ótica

Uma fibra ótica consiste num cilindro dielétrico envolvido por uma bainha com índice de refração inferior permitindo assim a transmissão de radiação com coeficientes de atenuação relativamente baixos. O termo fibra ótica foi chamado pelo físico indiano Narinder Singh Kapany, que é amplamente reconhecido como o pai da fibra ótica [19].

O material que constitui o núcleo pode ser vidro (sílica) ou plástico. Os sensores em fibra ótica apresentam várias características vantajosas: são compactos, leves e podem possibilitar a implementação de esquemas de multiplexagem. Inerente ao princípio de funcionamento se basear na condução de um sinal ótico, apresentam, ainda, imunidade a interferências eletromagnéticas dado que não existem correntes elétricas na área sensível.

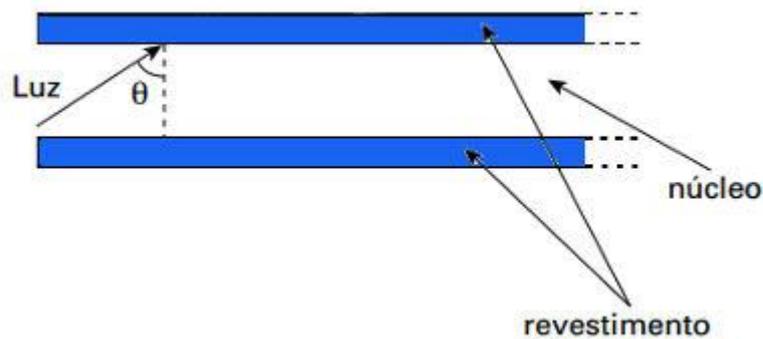


Figura 19- Esquema de reflexão em fibra óptica.

A radiação é transmitida devido ao fenómeno da reflexão interna total, fazendo da fibra óptica um guia de onda. As fibras que suportam muitos caminhos de propagação são chamadas de fibras multimodo, enquanto as que suportam um modo único são chamadas fibras monomodo. As fibras multimodo têm um diâmetro interno mais largo e são usadas para comunicação de curta distância. As fibras monomodo são usadas para a maioria das comunicações maiores que 1000 metros.

As fibras óticas são muito utilizadas na transmissão de informação a alta velocidade ao longo de largas distâncias quase sem perdas de informação.

No que respeita à exploração da tecnologia em fibra ótica de plástico (POF) para o desenvolvimento de sensores, na literatura encontram-se descritos vários sistemas capazes de efectuar medições de vários parâmetros físicos e químicos. Os mecanismos de detecção são variados, contudo a maioria baseia-se em esquemas de modulação de intensidade.

3.6.1 Descrição do funcionamento pretendido

Para implementação desta arquitetura pretende-se fazer variar as perdas ao longo do comprimento da fibra alterando o meio exterior. Assim, diminuiu-se a capacidade de propagação da radiação na fibra através da técnica de polimento lateral. Em cada zona sensível, parte da radiação é perdida. A variação do meio externo faz com que a refletividade da interface varie, variando, conseqüentemente, o sinal óptico transmitido [20] [21].

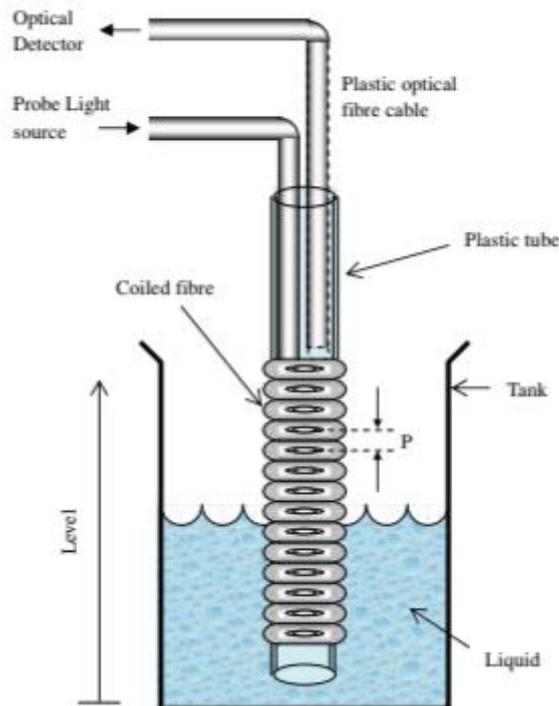


Figura 20- Esquema de fibra ótica [20].

Tal como observado na figura acima, pretende-se desenvolver um sensor com uma fibra ótica enrolada num tubo cilíndrico de comprimento fixo, em que se realiza um polimento em cada camada de enrolamento da fibra. Quando a fibra está totalmente fora de água a atenuação do sinal ótico é maior quando comparada com a situação em que o meio externo é a água. O índice de refração da água é maior do que o do ar, o que fará com que a refletividade da superfície seja maior [22].

3.6.2 Consumo energético e custos de implementação

Para esta abordagem, pretende-se utilizar um LED emissor de luz e um fotodetector recetor de luz em cada extremidade da fibra ótica. Nesse sentido é de esperar um consumo energético reduzido uma vez que o sensor apenas estará ligado quando necessita de fazer leituras sem necessidade de estar sempre ligado. Relativamente aos custos na aquisição de novo material para teste desta arquitetura não serão contabilizados, uma vez que todo o material necessário já está presente nas instalações da Watgrid LDA.

3.7 Sensor de pressão

A definição de pressão, diz que essa grandeza é dada pela razão duma força aplicada perpendicularmente sobre uma superfície e a área da mesma e cuja unidade de medida é Newtons por metro quadrado de superfície. Medida essa que depende diretamente da força aplicada em cada ponto duma superfície.

A pressão em fluidos é definida pela Lei de Stevin, que define que a pressão exercida por um fluido depende da densidade do fluido (ρ), da constante gravítica (g) e da altura da coluna de líquido (h) e resulta na multiplicação das três.

Para medir pressão utilizam-se medidores de pressão mecânicos, capazes de variar o seu valor de leitura com a pressão a que estão sujeitos ou sensores elétricos, que são dispositivos que detetam a pressão e convertem-na num sinal elétrico dependendo da pressão aplicada.

Os sensores de pressão mais utilizados consistem na detecção da variação dum diafragma físico com a pressão. Geralmente sensores de pressão utilizados em líquidos e gases, consistem num sensor com um diafragma que se irá deslocar dependendo da pressão a que está sujeito, fazendo variar a corrente que se desloca entre os diafragmas. Variação de corrente essa que é detetada pelo sensor traduzindo-se numa variação do sinal elétrico [23].

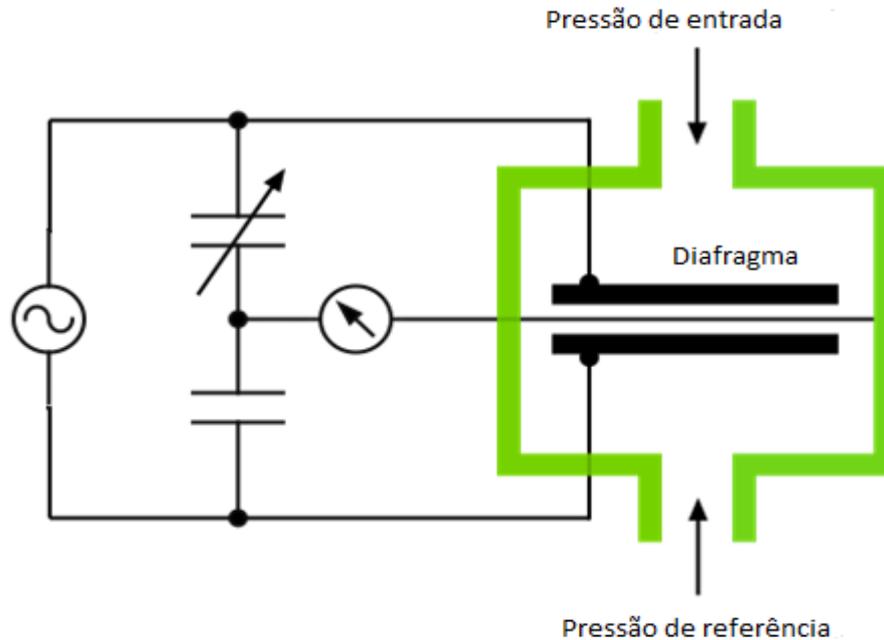


Figura 21- Esquema de sensor de pressão.

Os sensores de pressão são usados para controle e monitorização em várias aplicações, para medição direta da pressão ou indireta de outras variáveis, como fluxo fluido/gás, velocidade, nível de líquidos, densidade de líquidos, altitude entre outros.

Há também uma categoria de sensores de pressão projetados para medir, num modo dinâmico, a captura de mudanças de pressão de alta velocidade. Exemplo de aplicações para este tipo de sensor seria na medição da pressão de combustão num cilindro do motor ou numa turbina a gás. Esses sensores são frequentemente fabricados com materiais piezoelétricos como o quartzo.

3.7.1 Descrição do funcionamento pretendido

Para esta abordagem pretende-se desenvolver um sensor que possa ser introduzido no tanque pela parte superior e meça a pressão de água no fundo do mesmo. Quando o tanque está totalmente sem água o sensor medirá a pressão atmosférica e quando começar a subir a altura da coluna de água, o sensor começará a aumentar a sua capacidade até atingir a altura máxima do tanque.

De modo a aumentar ao máximo a durabilidade do produto e reduzir custos, pretende-se colocar a parte do sensor e toda a eletrónica na parte superior do tanque. Assim elimina-se a possibilidade de deterioração do equipamento com a água. No sentido de retirar o valor da pressão na parte mais baixa da altura da coluna de água, será necessário colocar um tubo desde essa zona até ao fundo do tanque sem que este apresente qualquer fuga de ar comprimido. Ter-se-á ainda de garantir que permanece sempre na mesma posição, de modo a se conseguir um grau de confiança elevado relativamente aos valores medidos [22].

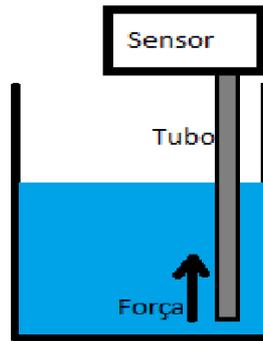


Figura 22- Arquitetura do sensor de pressão (sendo o tubo de inox onde se lê a pressão representado a cinza e a água a azul).

Tal como é observável na figura acima, o sensor pretendido consiste num sensor de pressão na parte superior do tanque de água, com um tubo que vem até ao fundo do mesmo permitindo medir a pressão nessa zona. Esta irá aumentar com o aumento da altura da coluna do tanque.

Para esta abordagem é necessário ter especial atenção à existência de fugas de ar no tubo de forma a que o ar comprimido no interior do mesmo não seja perdido ao longo do tempo, conservando-se assim o nível de leitura do sensor. É ainda importante que o tubo de leitura esteja numa zona com pouco movimento de água, no sentido de reduzir o número de oscilações de leitura. Será necessário colocar o sistema numa zona onde a coluna água suba e desça claramente com o nível de água do restante tanque. Acresce ainda o cuidado especial que se deverá ter para que o tubo não fique agarrado ao fundo do tanque, de modo a não apanhar areias nem partículas que possam influenciar na medida da pressão [25].

3.7.2 Consumo energético e despesas de implementação

Para esta abordagem pretende-se adquirir vários tipos de sensores no sentido de medir com a maior precisão possível a pressão no interior do tanque.

Inicialmente pretende-se testar um sensor com o modelo MPS20n0040d-d, que é um sensor de pressão com um consumo de 0.0056 W (3.3 V 1697 μ A), com uma ADC de 12 bits já incluída, uma pressão de funcionamento entre os 0 kPa e os 40 kPa, uma resolução de 0.01 mm na altura de coluna de água e um preço unitário de 3.08 euros.

Como segundo teste pretende-se medir com um sensor de pressão cerâmico, para comparar com a primeira abordagem, visto que estes já são utilizados pela empresa em que se irão realizar os testes.

Por fim pretende-se testar um sensor de pressão bastante semelhante ao primeiro, com o modelo MPXV5050DP, também este já utilizado pela empresa no sentido de ter mais um sensor para comparar os dados entre eles.

Capítulo 4

Caracterização experimental

Neste capítulo serão desenvolvidos e caracterizados os sensores apresentados no capítulo anterior de forma a avaliar a possibilidade de serem utilizados na implementação desejada. Nesse sentido pretende-se implementar toda a arquitetura de teste do sensor assim como a criação do sensor de modo a serem obtidos valores do nível da coluna de água no repositório com o máximo de precisão possível. Teremos o cuidado de, para o sensor em estudo, adequar a respectiva arquitetura de modo a tirar o melhor proveito da tecnologia utilizada.

Pretende-se assim obter os melhores resultados para cada tecnologia estudada para que possam ser analisados para posteriormente se decidir por uma única tecnologia para a base do funcionamento do sensor.

4.1 Dados experimentais

4.1.1 Sensor de infravermelhos

Neste capítulo será detalhado todo o processo de leitura utilizado assim como respectiva análise dos dados obtidos para o sensor de infravermelhos.

4.1.1.1 Descrição da experiência

Nesta experiência foi montado um emissor e recetor de infravermelhos no interior de um tubo com 13 cm de diâmetro de modo a sofrer o mínimo possível de interferência com a luz exterior. De seguida foi colocado dentro de um tanque de 5 L de água em que se fez variar a altura da coluna de água tentando que o sensor consiga distinguir diferentes alturas.



Figura 23-Implementação pretendida relativa ao sensor de infravermelhos.

Na imagem acima é possível analisar o sistema instalado com a parte eletrónica do sensor totalmente fora da água medindo o nível apenas no interior do tubo. Esse tubo apenas permite a entrada de água pela parte inferior tentando-se ao máximo que este traduza o mesmo nível da coluna de água do restante tanque.



Figura 24- Sensor infravermelhos.

Na imagem acima é possível observar a radiação infravermelha que não é perceptível pelo olho humano mas detetável pelos sensores duma camera fotografica. Nesta experiência foi colocada uma boia de esferovite com uma parte superior em papel branco no sentido de refletir da melhor forma possível a radiação.

4.1.1.2 Resultados obtidos

Para a aquisição de dados nesta abordagem foi utilizada uma placa de Arduino nano com uma ADC de 10 bits (1024 níveis) e desenvolvido um código no sentido de enviar um sinal infravermelho pelo emissor e detetar a quantidade de radiação refletida na boia à superfície da água novamente pelo recetor.

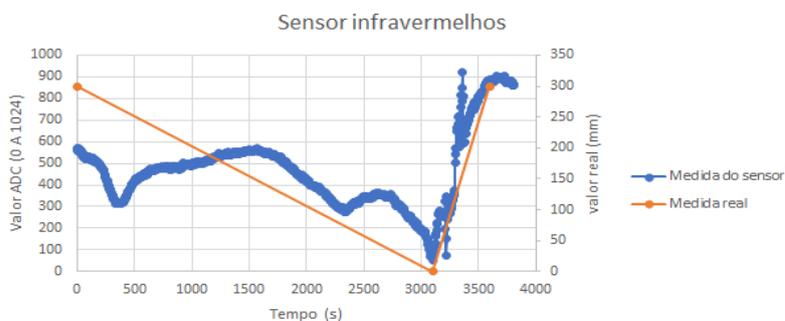


Figura 25- Medida de sensor infravermelhos.

Pela análise do gráfico acima apresentado observa-se que este não apresenta uma leitura clara. Observando com mais detalhe a parte comum entre ambos, é possível notar que ambos apresentam um valor mínimo que, por sua vez, coincide com o nível de água máximo, ou seja, quando a boia está muito próxima do sensor de infravermelhos.

4.1.1.3 Conclusões sobre a experiência

Pela análise do gráfico e pelo manuseamento do sensor é possível constatar claramente que este não apresenta resolução suficiente para o método pretendido ficando um pouco aquém do desejado. Repetindo o teste várias vezes é possível analisar que este sensor apresenta um valor mínimo sempre na mesma altura da coluna de água no tanque. Nesse sentido é possível concluir que esta abordagem é ideal para um sensor on-off para um nível específico em que seja pedido ao sensor apenas que ative ou não algum outro dispositivo, dependendo se está no nível desejado ou não.

Relativamente ao consumo do sensor é consideravelmente reduzido, estando de acordo com as especificações para o mesmo.

4.1.2 Sensor de Ultrassons

4.1.2.1 Descrição da experiência 1

Nesta abordagem foi montado um sensor de ultrassons no topo do tanque em que se deseja medir a altura da coluna de água. Localizou-se o sensor perpendicularmente ao tanque para que possa medir a distância entre o mesmo e o nível da coluna de água. tendo como objetivo a otimização da reflexão da radiação emitida, foi colocado o sensor dentro de um tubo com uma boia de esferovite no interior, boia essa com uma superfície em cartão no sentido de ser boa refletora de ondas de ultrassons. Espera-se que a posição da boia varie proporcionalmente com a altura da coluna de água dentro do tanque.

Para a aquisição de dados foi utilizada uma placa Arduíno nano e uma placa hc-sr04 já com um emissor e recetor de ultrassons e gerado um código no sentido de ler o eco do sinal de ultrassons enviado. Calculando o tempo entre o sinal enviado e o seu eco chegar ao recetor determina-se a distância entre a boia e o sensor.

Após o setup de leitura devidamente montado foi variada a altura da coluna de água no interior do tanque e observados os resultados lidos pelo microcontrolador.

4.1.2.2 Descrição da experiência 2

Na abordagem seguinte foi implementado um esquema com o mesmo princípio do anterior, mas com o sensor de medida na parte inferior do tanque de modo a serem obtidas leituras do nível da coluna de água a partir do ponto mais baixo do tanque.

Inicialmente o sensor foi instalado no fundo do tanque sem qualquer arquitetura auxiliar não se tendo obtido valores fiáveis de leitura. Após a análise de possível problema foi observado que a onda incidente nunca refletia na superfície da água, ou seja, ficava dispersa ao longo da coluna de água do tanque. De modo a solucionar o problema foi instalado no sensor um tubo de inox no sentido de servir como guia de onda do sensor de modo a que as perdas fossem reduzidas tentando-se assim obter uma medida fiável no nível de leitura.

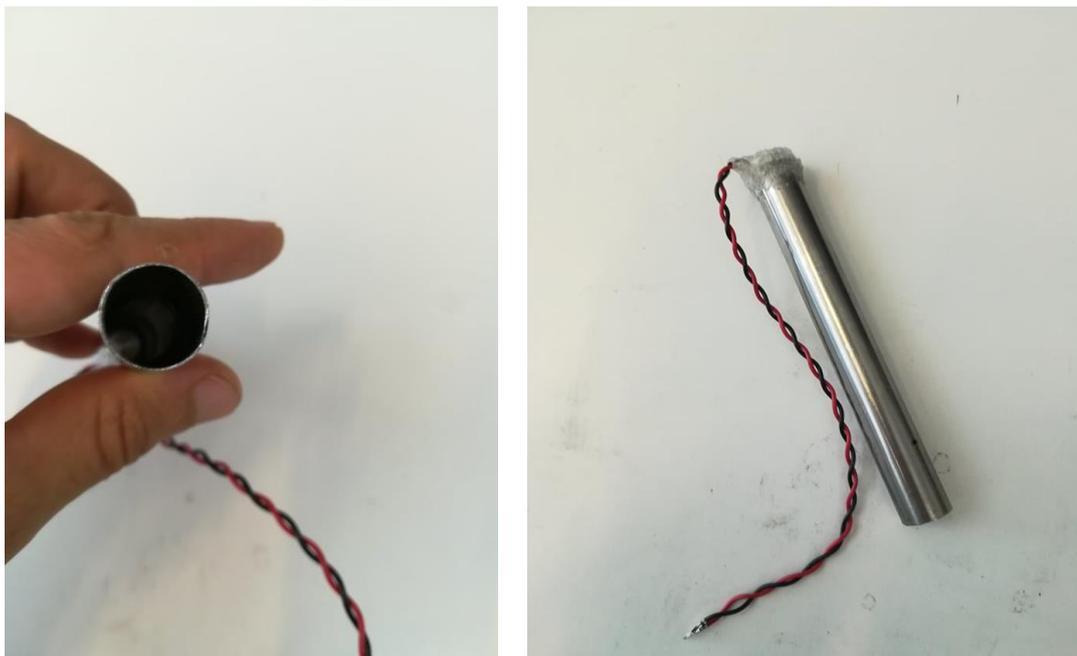


Figura 26- Modelo de sensor de ultrassons.

Após todo o processo de adaptação do sensor inicial foi obtido um protótipo com o aspeto da figura acima em que é visível o sensor na parte inferior dum tubo de inox que pode ser colocado no interior do tanque fazendo-se depois variar o nível de água entre o nível máximo e mínimo.

4.1.2.3 Resultados obtidos

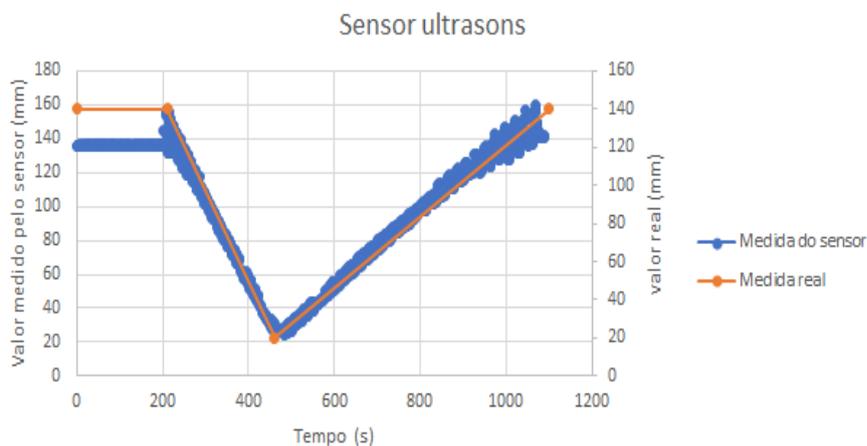


Figura 27- Medida da primeira abordagem do sensor de ultrassons.

Pelo gráfico acima apresentado é claramente observável uma variação no nível da coluna de água quando o liquido no interior do tanque varia. Verifica-se que o sensor é repetitivo nas suas medidas e apresenta valores de leitura bastante fiáveis quando comparado com a abordagem anterior.

É ainda possível observar que, quando o nível de água no interior do tanque diminui, o sensor tende a apresentar algumas oscilações. Oscilações essas que se reduzem com o tempo, mas continuam a estar presentes mesmo quando o nível não varia.

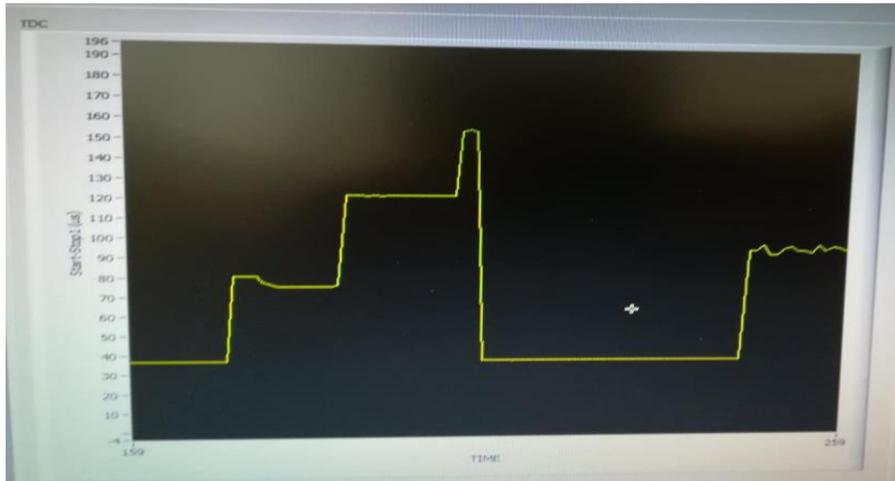


Figura 28- Medida da segunda abordagem do sensor de ultrassons.

Nesta segunda abordagem é claramente visível uma variação do nível quando este é alterado em 1 mm tendo apenas o entrave de se obterem os dados utilizando a plataforma desenvolvida pelo fabricante da placa que tem um custo bastante acrescido. Como para este sensor é necessário uma plataforma de aquisição de dados e o seu preço não é o desejado não foram explorados mais dados.

4.1.2.4 Conclusões sobre a experiência

Relativamente à primeira abordagem:

Com esta abordagem é possível analisar que este apresenta uma boa variação comparado com a variação da coluna de água real conseguindo-se distinguir claramente vários pontos de medida entre o nível máximo e mínimo do tanque.

Devido ao facto das oscilações na medida do sensor serem constantes e superiores ao requisito para o sensor desejado, esta abordagem não pode ser implementada no produto final pois apresenta um erro de cerca de 5 mm nas suas medidas mesmo quando o nível está constante.

Relativamente à segunda abordagem:

O sensor apresentado cumpre todos os requisitos de medida impostos para o sensor final apresentando apenas algumas desvantagens relativamente ao facto de ser muito caro para o orçamento pretendido, de ser colocado na parte inferior do tanque o que aumenta muito a probabilidade deste ganhar lixo o que vai danificar as suas medidas e ainda tem o problema de ter uma zona cega de aproximadamente 10 mm em que o sensor não mede para valores de altura da coluna de água inferiores.

4.1.3 Sensor Capacitivo

4.1.3.1 Descrição da experiência

Nesta experiência foi criado um sensor capacitivo tendo em conta as bases de funcionamento de um condensador. Nesse sentido desenvolveu-se um condensador utilizando 2 tubos de cobre com duas diferentes dimensões no sentido de medir a capacitância entre ambos quando o seu dielétrico alterava entre ar e água.

Como segundo teste foi testado ainda um sensor de nível capacitivo comercial no sentido de verificar os valores obtidos e comparar resultados.

Para este sensor foi utilizada uma placa de Arduino nano e desenvolvido um software para medir a capacidade de um condensador.



Figura 29- Sensor capacitivo

4.1.3.2 Resultados obtidos

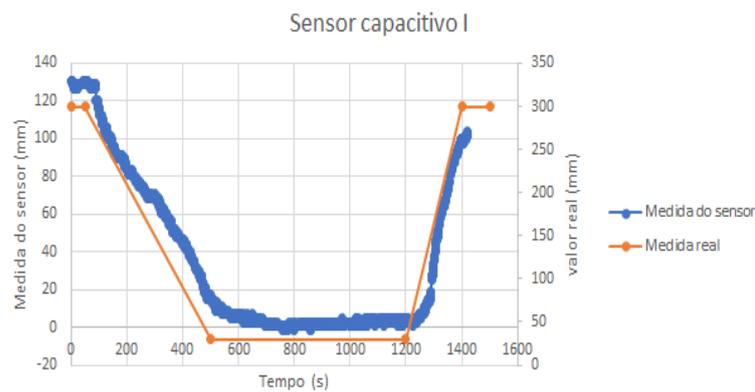


Figura 30- Medida da primeira abordagem do sensor capacitivo.

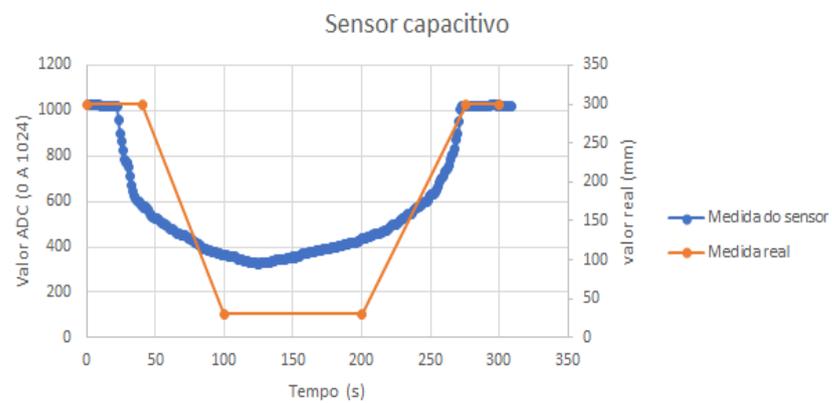


Figura 31- Medida da segunda abordagem do sensor capacitivo com ADC de 10 bits.

Com as imagens das figuras acima é possível analisar claramente uma distinção entre o nível máximo e mínimo em ambos os sensores, mas com uma resolução muito reduzida. Devido a esse facto nesta abordagem apenas foram testados aspetos iniciais sem qualquer desenvolvimento no primeiro protótipo criado.

4.1.3.3 Conclusões sobre a experiência

Relativamente a esta experiência pode ser dito que é um sensor relativamente fácil de criar manualmente quando o objetivo desejado é apenas distinguir algumas diferenças no valor de nível do tanque, mas não tem precisão suficiente para o objetivo em causa.

É ainda importante referir que os valores neste sensor variam com o tipo de água e as características da água. Nesse sentido o valor de medida ainda vem associado a outras fontes de erro externas o que torna o sistema com elevado erro de leitura.

Devido ao seu constante contacto com a água, este sensor apresenta também um grau de degradação elevado. Nesse sentido é de esperar uma degradação dos valores de leitura com o tempo.

4.1.4 Sensor de Resistivo

4.1.4.1 Descrição da experiência

Nesta abordagem foi desenvolvido um sensor resistivo que foi criado utilizando 6 resistências de 680 k Ω assim como fios de cobre separados por 1 cm de altura. Após a montagem das resistências e dos fios em serie foi utilizado um Arduíno nano para a aquisição de valores analógicos correspondentes à queda de tensão nas resistências. Tal como era de esperar, a queda de tensão foi proporcional ao número de resistências em série, número esse que vai diminuindo à medida que o nível da coluna de água aumenta.

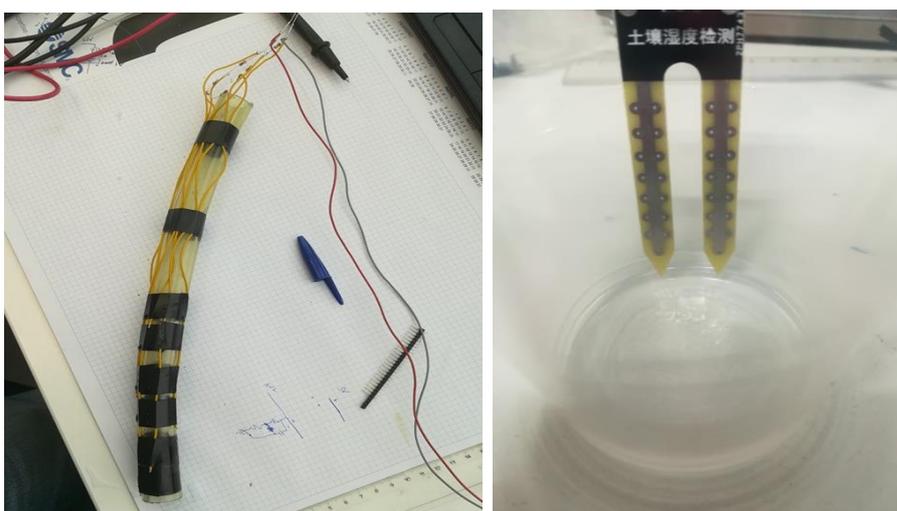


Figura 32- Sensores resistivos.

Como segunda abordagem foi testado um sensor resistivo comercial para comparar os resultados com o sensor produzido manualmente. Após colocar ambos os sensores no tanque, alterou-se a altura da coluna de água e analisou-se a possibilidade de os sensores serem implementados para o objetivo desejado.

4.1.4.2 Resultados obtidos

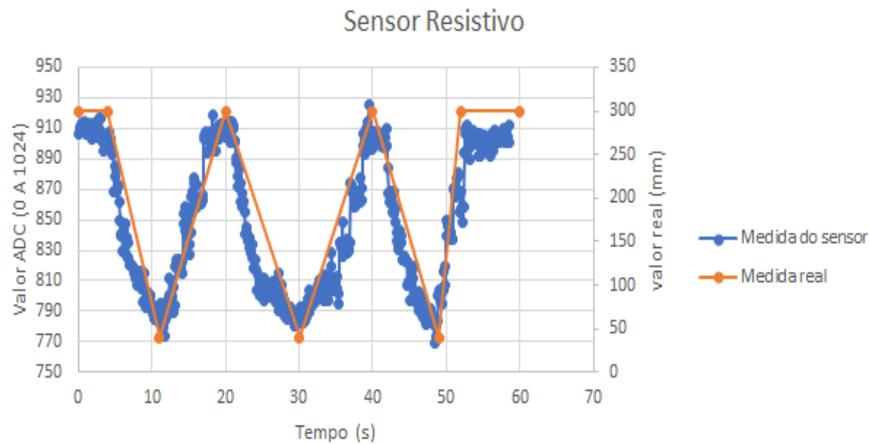


Figura 33- Resultados do sensor resistivo 1.

Na imagem acima é possível analisar a subida do nível da coluna de água do tanque através dos 6 níveis apresentados pelo sensor resistivo 1. Pelo gráfico é de notar que os níveis são fáceis de distinguir tendo, no entanto, um grande problema derivado do facto da distância entre eles não ser a mesma, o que significa que a resistência do sensor não é proporcional ao nível.

4.1.4.3 Conclusões sobre a experiência

Sobre os sensores utilizados nesta abordagem é de notar que o sensor é colocado diretamente sobre a água com fios de cobre no interior desta em que irá passar corrente elétrica. Devido a esse facto é de esperar deterioração dos dados do sensor com o tempo devido a degradação do material. Como um dos requisitos do sistema é não ter passagem de corrente na água esta abordagem não foi mais desenvolvida.

4.1.5 Sensor de laser

4.1.5.1 Descrição da experiência

Esta abordagem consistiu na utilização de dois diferentes modelos de sensor laser que foram colocados no interior dum tubo de inox de modo a enviarem um sinal ao longo do tubo. Esse sinal será refletido na superfície da água onde se encontra uma boia flutuante, sendo posteriormente recebido e calculada a respetiva distância entre o sensor e a bóia.



Figura 34- Implementação do sensor de laser.

Tal como visível na figura acima, é possível analisar o sistema em que o sensor é colocado totalmente fora da água. Uma vez colocado o sensor é depois alterada a altura da coluna de água no tanque, refletindo-se numa subida e descida da correspondente altura da coluna de água no interior do tubo de inox onde se encontra a boia refletora. Será esta que irá definir o valor de leitura do sensor.

4.1.5.2 Resultados obtidos

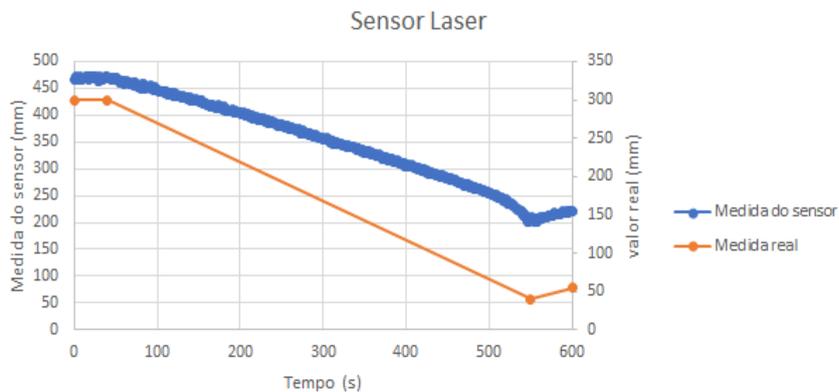


Figura 35- Resultados do sensor de laser.

4.1.5.3 Conclusões sobre a experiência

Relativamente a este sensor pode-se concluir que não existe muito trabalho a fazer no seu desenvolvimento uma vez que a placa de aquisição dos dados de leitura já está incluída podendo-se apenas melhorar as condições de leitura.

Devido ao facto do sensor apresentar oscilação no valor de leitura de cerca de 3 mm quando o nível está constante esta solução não tem possibilidade de ser implementada no projeto em causa. Apesar disso, este sensor é relativamente fácil de utilizar e apresenta valores bastante fiáveis de leitura o que torna uma boa abordagem para leitura de nível em situações em que não é necessária tanta precisão.

4.1.6 Sensor de fibra ótica

4.1.6.1 Descrição da experiência

Nesta abordagem foi enrolada uma fibra ótica com 1 mm de diâmetro à volta de um tubo de inox de 11 mm sendo esta posteriormente lixada numa linha reta ao longo da sua altura no sentido de obter o aspeto das figuras abaixo.

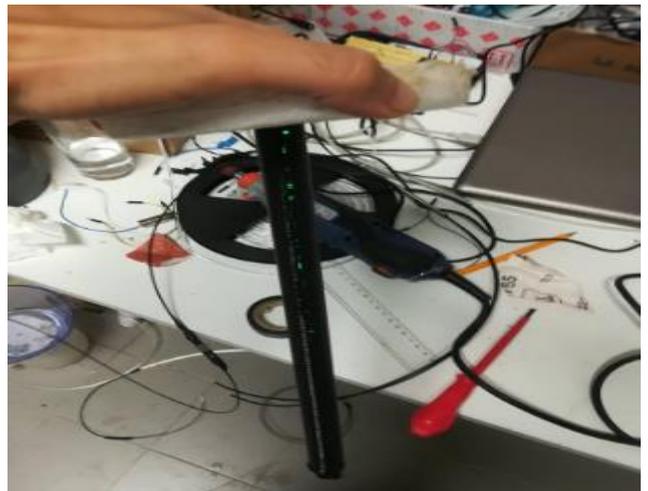


Figura 36- Sensor laser 150 mm / Sensor laser 300 mm.

Nas figuras acima é possível observar o sensor em funcionamento em que se utilizou um led verde como fonte luminosa sendo essa luz refletida ou não na água, alterando a intensidade luminosa recebida no recetor.

É ainda de referir que, para a leitura da radiação recebida, foi utilizada uma placa Micro I/O FiberOptics Board v1.3 de modo a obter uma maior resolução e uma maior precisão dos valores medidos uma vez que a leitura com recetores laser convencionais teria a si associado um erro muito elevado.

4.1.6.2 Resultados obtidos

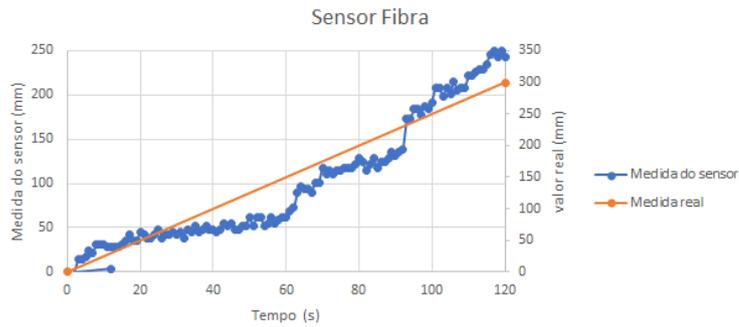


Figura 37- Resultados do sensor ótico.



Figura 38- Resultados do sensor ótico quando variado 1cm do nível com ADC de 16 Bits.

Relativamente aos gráficos acima é possível verificar uma variação detetada pelo sensor quando o nível de água altera entre o mínimo e o máximo apresentando apenas alguns erros de leitura.

4.1.6.3 Conclusões sobre a experiência

Com esta experiência foi possível observar muitas interferências com a intensidade de luz solar presente no ambiente de leitura o que se tornou um problema aumentando o erro das medidas. Nesse sentido este sensor pode ser utilizado apenas em ambientes onde não exista luz solar.

Este sensor apresenta ainda problemas relativamente ao facto de que irá ganhar partículas na superfície entre a fibra e a água, piorando a sua resposta.

4.1.7 Sensor de pressão

4.1.7.1 Descrição da experiência

Esta experiência consiste na medição de pressão no interior de um tubo de inox de 11 mm de diâmetro e 300 mm de altura tapado por todos os lados exceto no fundo. Com o aumento do nível da coluna de água é de esperar um acréscimo da pressão no interior do tubo sendo esta proporcional ao nível.



Figura 39- Resultados de sensor.

Na figura acima é possível observar o tubo de inox no interior do tanque. De seguida altera-se a altura da coluna de água e medem-se os valores do sensor. Para isso utiliza-se uma ADC de 12 bits e uma placa Arduino nano para aquisição dos valores.

4.1.7.2 Resultados obtidos

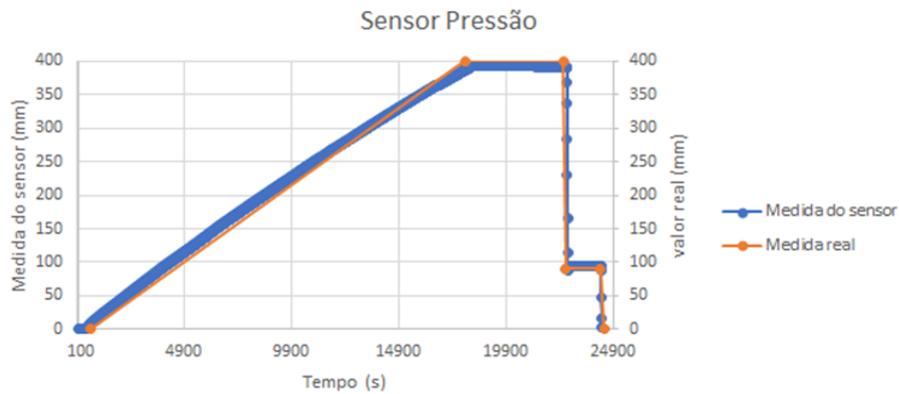


Figura 40- Resultados do sensor de pressão.

Nas figuras acima é possível analisar a resposta do sensor para uma carga e descarga em função do tempo em ms. Observa-se que o sensor apresenta uma precisão muito boa nos valores lidos ao longo da carga e descarga. Mostra ainda repetibilidade desses valores cumprindo os requisitos pretendidos.

4.2 Comunicação com o exterior (dados experimentais)

No sentido de facilitar a interface para obter os dados do valor de nível do sensor é necessário apresentar um protocolo de comunicação que permita ao utilizador obtê-los de forma simples e fiável. Nesse sentido, é necessário estudar uma série de protocolos de comunicação que se enquadrem com as características do sensor e que dêem resposta às necessidades do utilizador.

Assim, pretende-se neste tópico estudar alguns protocolos de comunicação e como eles podem ser enquadrados no caso em estudo, tendo em conta a sua eficiência e consumo energético para que possam ser utilizados na implementação do produto final.

4.2.1 Comunicação série

Para que a resposta do sensor fique robusta e seja fácil a integração com outro sistema foram implementados comandos de comunicação série para que o sensor responda de acordo com o desejado ao que lhe é pedido.

4.2.1.1 Comandos Série

Tabela 1-Comandos de resposta do sensor

| Comando: | Argumento: | Descrição: |
|----------|------------|---|
| F | <> | Leitura única do valor de nível |
| F | <val> | Leituras sucessivas de nível com frequência <val> |
| C | <> | Calibração do valor mínimo |

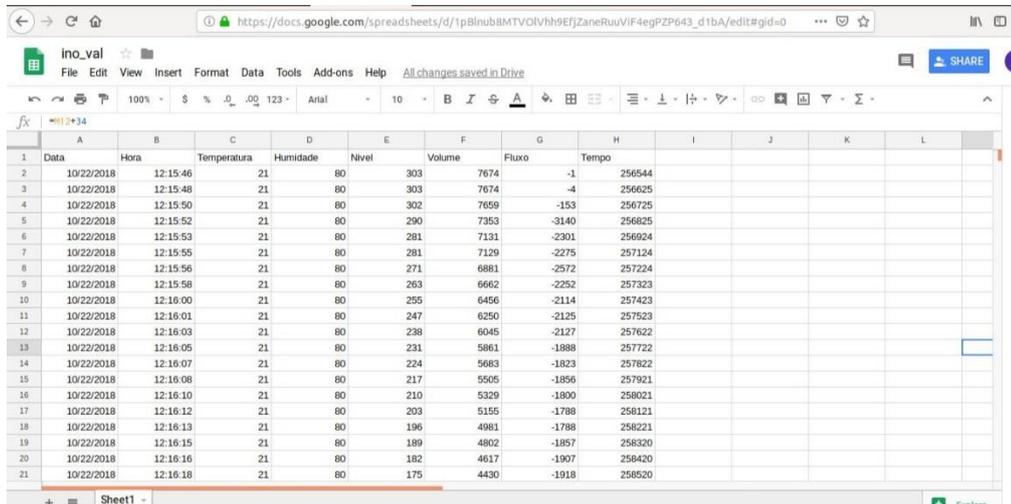
Em caso de o sistema ser ligado sem ser introduzido nenhum dos comandos acima, este deve executar o comando f1 em que irá retornar uma leitura do nível da coluna de água com 1 s de intervalo, no sentido de que o sistema seja o mais eficiente possível quando lhe é fornecida energia.

4.2.2 Comunicação WiFi

Nesta abordagem foi estudada a possibilidade da placa poder transmitir os dados de leitura através de WiFi.

4.2.2.1 Placa de comunicação esp8266

Esta placa consiste num módulo WiFi com processador incluído que permite conectar à internet e enviar dados para uma página online ou para uma aplicação android também com acesso à internet [26]. Além de ser possível ler dados também será possível controlar a placa online. Nesse sentido foi criado um software de comunicação capaz de ler comandos para abertura e fecho da válvula de descarga através de uma aplicação android chamada *Blink* [27]. Os dados de leitura do sensor são enviados para uma folha de cálculo do Google drive no sentido de colocar o sistema em modo repetitivo e analisar a resposta do sensor ao longo de muito tempo.



| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|----|------------|----------|-------------|----------|-------|--------|-------|--------|---|---|---|---|
| 1 | Data | Hora | Temperatura | Humidade | Nivel | Volume | Fluxo | Tempo | | | | |
| 2 | 10/22/2018 | 12:15:46 | 21 | 80 | 303 | 7674 | -1 | 256544 | | | | |
| 3 | 10/22/2018 | 12:15:48 | 21 | 80 | 303 | 7674 | -4 | 256625 | | | | |
| 4 | 10/22/2018 | 12:15:50 | 21 | 80 | 302 | 7659 | -153 | 256725 | | | | |
| 5 | 10/22/2018 | 12:15:52 | 21 | 80 | 290 | 7353 | -3140 | 256825 | | | | |
| 6 | 10/22/2018 | 12:15:53 | 21 | 80 | 281 | 7131 | -2301 | 256924 | | | | |
| 7 | 10/22/2018 | 12:15:55 | 21 | 80 | 281 | 7129 | -2275 | 257124 | | | | |
| 8 | 10/22/2018 | 12:15:56 | 21 | 80 | 271 | 6881 | -2572 | 257224 | | | | |
| 9 | 10/22/2018 | 12:15:58 | 21 | 80 | 263 | 6662 | -2252 | 257323 | | | | |
| 10 | 10/22/2018 | 12:16:00 | 21 | 80 | 255 | 6456 | -2114 | 257423 | | | | |
| 11 | 10/22/2018 | 12:16:01 | 21 | 80 | 247 | 6250 | -2125 | 257523 | | | | |
| 12 | 10/22/2018 | 12:16:03 | 21 | 80 | 238 | 6045 | -2127 | 257622 | | | | |
| 13 | 10/22/2018 | 12:16:05 | 21 | 80 | 231 | 5861 | -1888 | 257722 | | | | |
| 14 | 10/22/2018 | 12:16:07 | 21 | 80 | 224 | 5683 | -1823 | 257822 | | | | |
| 15 | 10/22/2018 | 12:16:08 | 21 | 80 | 217 | 5505 | -1856 | 257921 | | | | |
| 16 | 10/22/2018 | 12:16:10 | 21 | 80 | 210 | 5329 | -1800 | 258021 | | | | |
| 17 | 10/22/2018 | 12:16:12 | 21 | 80 | 203 | 5155 | -1788 | 258121 | | | | |
| 18 | 10/22/2018 | 12:16:13 | 21 | 80 | 196 | 4981 | -1788 | 258221 | | | | |
| 19 | 10/22/2018 | 12:16:15 | 21 | 80 | 189 | 4802 | -1857 | 258320 | | | | |
| 20 | 10/22/2018 | 12:16:16 | 21 | 80 | 182 | 4617 | -1907 | 258420 | | | | |
| 21 | 10/22/2018 | 12:16:18 | 21 | 80 | 175 | 4430 | -1918 | 258520 | | | | |

Figura 41-Plataforma de receção de dados de descarga.

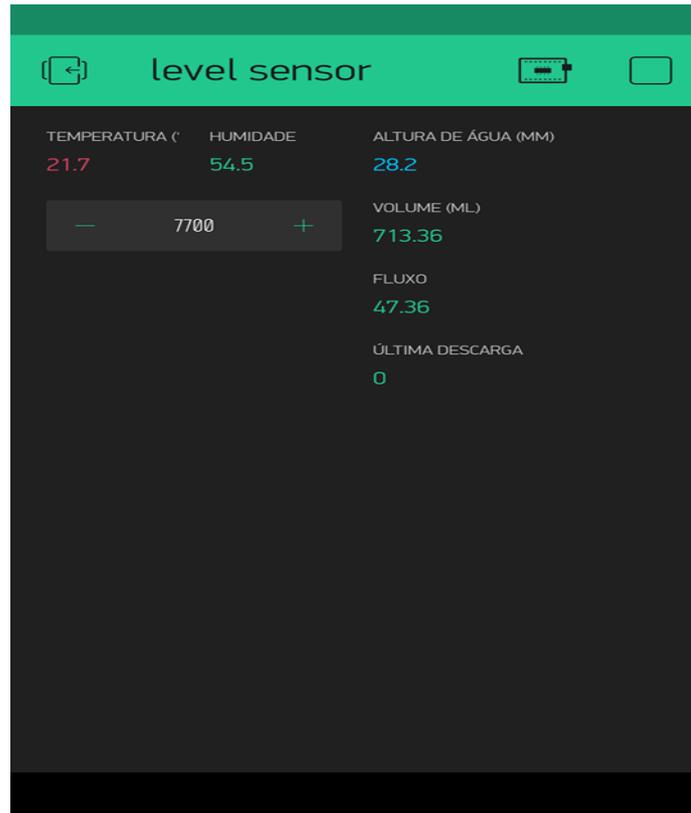


Figura 42-Aplicação android de leitura do sensor.

Apesar deste sistema funcionar perfeitamente, foi observado que apresenta a desvantagem de consumir demasiada energia para transmitir dados, mais particularmente 2.2 W (5V 435mA). Esta pode ser uma situação problemática uma vez que queremos reduzir ao máximo o consumo de energia.

Com esta abordagem foi criado um sistema capaz de ser controlado remotamente, permitindo ler valores de nível do sensor, valores de descarga, temperatura no interior do tanque e humidade. É também um sistema capaz de fazer aprendizagem pois, em cada descarga, o sensor mede o volume de água que saiu e o que foi pedido. Torna-se assim possível controlar a abertura de válvula mais cedo ou mais tarde dependendo do valor desejado.

4.2.3 Comunicação rádio

4.2.3.1 Modulo de comunicação a 433 MHz

Um módulo de transmissão muito semelhante ao utilizado para medir a pressão dos pneus dos automóveis é o modelo apresentado na figura abaixo. É de notar que, na maior parte do tempo, os sensores dos carros estão em estado adormecido e só alteram esse estado quando algo se altera. Tal pode ser

implementado no caso em estudo, mas o tempo de vida da bateria será menor pois o tempo de funcionamento terá de ser também maior [28] [29].

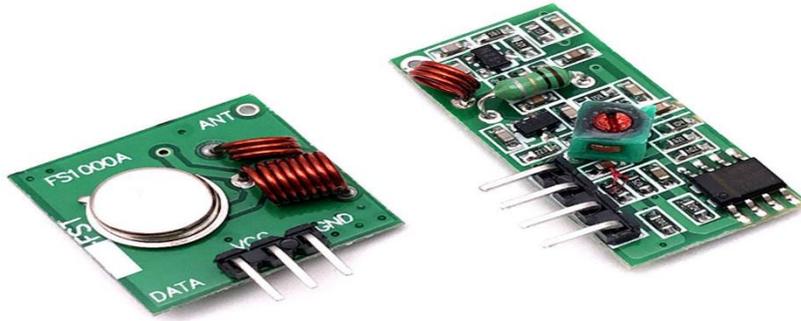


Figura 43-Placa de comunicação rádio.

Com este sistema foi desenvolvido um software para envio de valores de nível do sensor para o exterior medindo-se a corrente de consumo. Verificou-se que a corrente consumida fica um pouco abaixo da gasta pela placa de comunicação WiFi mas ainda assim acima do previsto para a implementação do projeto.

4.2.3.2 Módulo de comunicação NRF24L01 a 2.4 GHz

Este é um módulo de comunicação rádio com alcance até 50 m e com uma taxa de transmissão mais do que adequada para o caso em estudo.

Tal como os restantes módulos, precisa de um microcontrolador para o controlar o que vai acrescentar gastos de energia [30]. Nesse sentido foi estudado o módulo, mas não implementado na prática por não se adequar totalmente às especificações desejadas.



Figura 44-Placa de comunicação NRF24L01.

Para o estudo desta placa foi implementado um software no sentido de enviar valores de nível lidos pelo sensor para o exterior, medindo-se também o consumo do equipamento. Como o consumo não se adequava ao desejado para o projeto esta implementação não teve mais desenvolvimento tendo ficado o software pronto para eventual utilização futura.

4.2.4 Comunicação Bluetooth

4.2.4.1 Placa de comunicação Bluetooth HC-05

Este modelo consiste numa placa de desenvolvimento BLE - *Bluetooth Low Energy*, capaz de comunicar quer com um smartphone, quer com outro qualquer equipamento com Bluetooth. É uma placa de muito baixo consumo (30 mA 3.3 V quando a transmitir informação) permitindo a obtenção de bons resultados quer em termos de consumo quer em termos de comunicação. Tem apenas a desvantagem de ter um alcance bastante curto (cerca de 10 m). [31]

No sentido de testar esta abordagem foi desenvolvido um software capaz de ler valores de nível do sensor a partir de comandos enviados usando esta interface de comunicação. Posteriormente analisar-se-á a possibilidade de esta solução ser implementada no futuro.

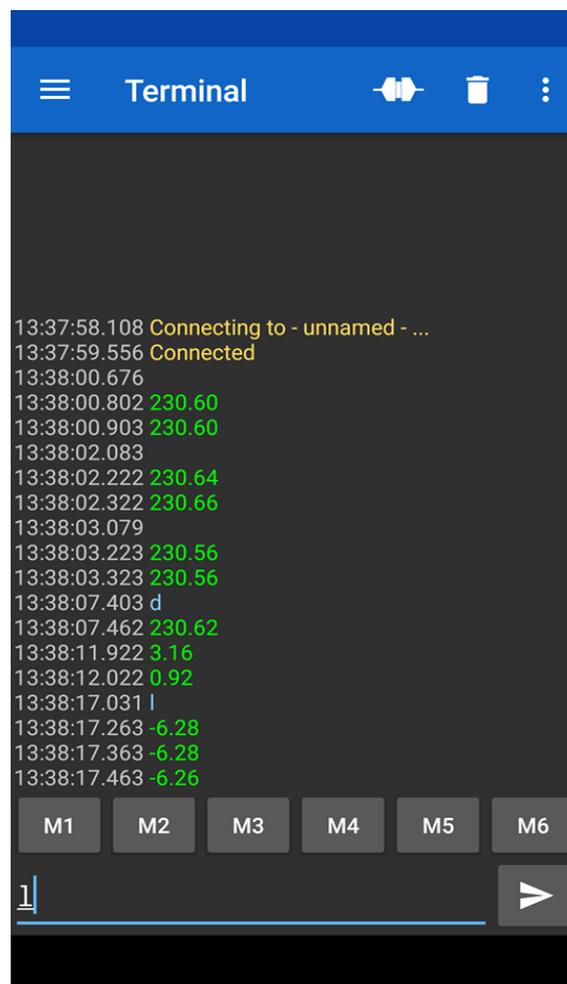


Figura 45-Placa de comunicação Bluetooth.

Pelos resultados obtidos foi possível observar que esta pode ser uma boa abordagem tendo as desvantagens de demorar tempo até que se consiga conectar e de não permitir que o utilizador tenha acesso aos dados a partir de uma distância muito grande. Nesse sentido, e como a comunicação em porta série consome menos energia, optou-se por não avançar mais com esta implementação.

4.2.4.2 Placa de comunicação nRF52832

O nRF52832 é um microcontrolador já com bluetooth 5.0 integrado e de baixa potência, ideal para aplicações sem fios com restrições grandes de consumo. É construído a partir de uma CPU ARM Cortex™ -M4F de 32 bits com 512 kB + 64 kB de RAM. O transceptor de 2.4 GHz embutido suporta Bluetooth Low Energy, ANT e pilha de protocolo proprietária de 2.4 GHz. É compatível com os produtos da série nRF51, nRF24L e nRF24AP da Nordic [32].

Necessita de uma alimentação entre 1.7 V e 3.6 V com uma corrente máxima de 18 mA.



Figura 46-Placa de comunicação Bluetooth 5.0.

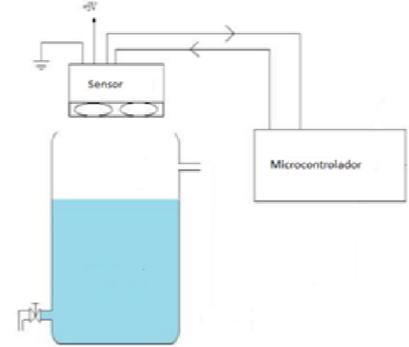
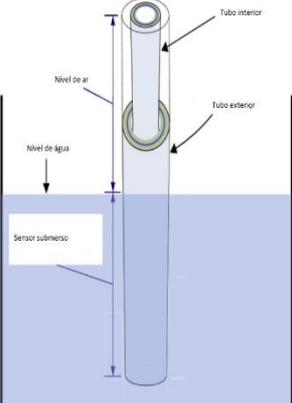
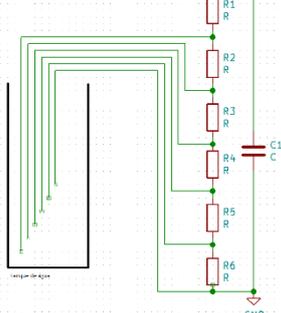
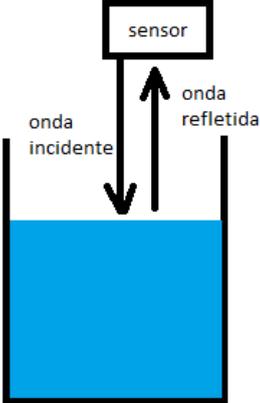
Como esta abordagem é muito semelhante à anterior foi apenas testada a arquitetura da placa anterior permitindo analisar que esta apresenta menor consumo, mas com as mesmas desvantagens. Optou-se assim pela comunicação por cabo série.

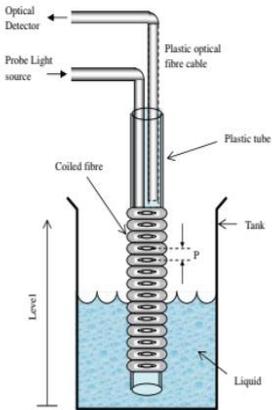
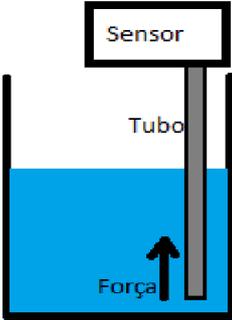
4.3 Avaliação das tecnologias de sensores à luz dos requisitos

Através dos dados analisados anteriormente foi realizado um levantamento de tecnologias já implementadas academicamente e comercialmente para a medição do nível de água. Foram analisadas tecnologias baseadas em sensores de infravermelhos, sensores de ultrassons, sensores capacitivos, sensores resistivos, sensores laser, sensores de fibra ótica e sensores de pressão. No quadro abaixo resumem-se as tecnologias avaliadas:

Tabela 2-Descrição de tecnologias estudadas

| | Princípio de funcionamento | Modelos | Consumo energético | Custo | Resolução |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------|-------------|-----------|
| sensores de infravermelhos | | SFH 4544 MT5385-UV | 0.256 W | 0.037 euros | ON-OFF |

| | | | | | |
|------------------------|---|--|---------|------------------------|------|
| sensores de ultrassons |  | HC-SR04 | 0.075 W | 0.89 euros | 1 mm |
| sensores capacitivos |  | Folha de cobre com 0.1 mm de espessura Tubo de plástico com 11 mm de diâmetro | 0.1 W | Não contabilizado | 2 cm |
| sensores resistivos |  | CF/CFM Series Carbon Film Resistor | 0.25 W | 0.54 euros | 2 cm |
| sensores laser |  | VL53L0X VL6180x | 0.75 W) | 4 euros 5 euros | 1 mm |

| | | | | | |
|-------------------------|--|--|----------|-------------------|---------|
| sensores de fibra ótica |  | <p>Fibra ótica de plástico</p> <p>Placa de aquisição de dados da fibra ótica Microio com adc de 16 bits e ganhos configuráveis</p> | 0.25 W | Não contabilizado | 0.5 mm |
| sensores de pressão |  | mps20n0040d-d com ADC de 12 bits | 0.0056 W | 3.08 euros | 0.01 mm |

Após a análise das várias tecnologias concluiu-se que o sensor de pressão é a tecnologia mais adequada para a monitorização da altura da coluna de água num reservatório através da leitura de pressão na parte inferior do mesmo. Esta tecnologia permite cumprir todos os requisitos desejados em termos de desempenho do sistema e permite ainda o melhor equilíbrio entre custo de produção e desempenho do sistema (resolução).

4.4 Avaliação das tecnologias de comunicação à luz dos requisitos

Relativamente à tecnologia de comunicação utilizada, o sensor final foi implementado com comunicação série no sentido de reduzir ao máximo o consumo do mesmo. Uma vez que o utilizador do sensor não tem problemas com a utilização de cabo, este protocolo torna o produto mais simples, económico e que cumpre os requisitos pretendidos para o sensor.

Capítulo 5

Testes sobre a arquitetura final

Tendo-se concluído no capítulo anterior que os melhores resultados eram obtidos para o sensor que mede a pressão de ar no interior de um tubo foram desenvolvidos neste capítulo a arquitetura e testes desse sensor.

No sentido de se retirar o melhor proveito da tecnologia utilizada, e para verificar se esta abordagem cumpre todos os requisitos impostos ao sistema, foram realizados testes experimentais com o sensor projetado inserido num ambiente o mais real possível tendo em conta a sua utilização futura. Pretendeu-se testar uma série de acontecimentos críticos no sentido de analisar se o sensor responde ou não ao que lhe é pedido.

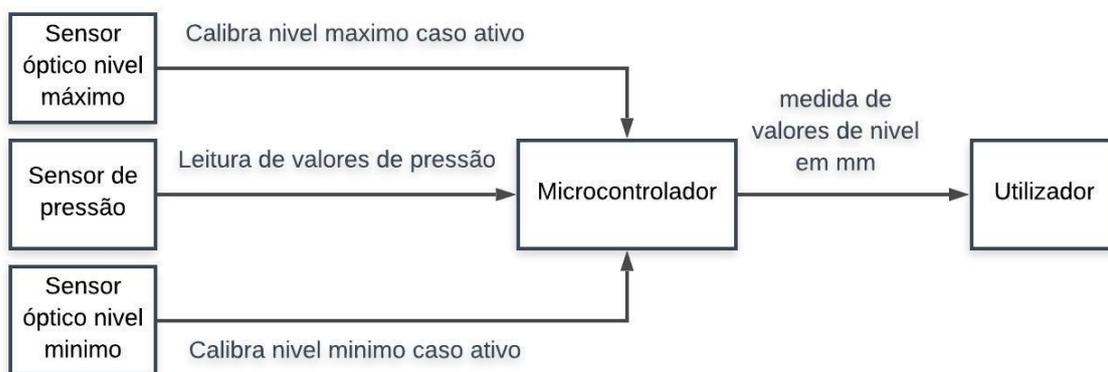


Figura 47-Diagrama de blocos da arquitetura final do sensor do ponto de vista do funcionamento.

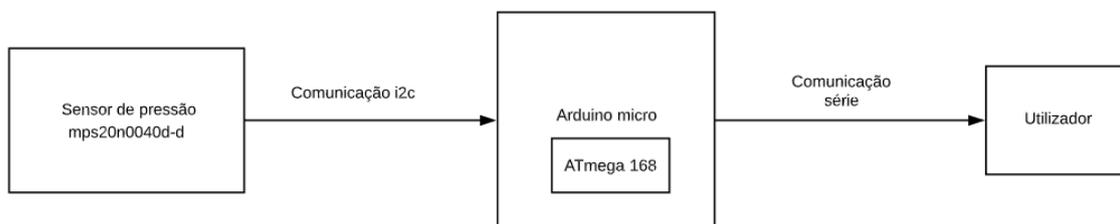


Figura 48-Diagrama de blocos da arquitetura final de leitura de nível com componentes utilizados.

Desse modo foram analisados testes de repetibilidade, precisão do valor medido, medida do volume de descarga e incerteza do valor medido. Foram comparadas todas essas medidas com valores medidos manualmente no sentido de se poder comparar os resultados do sensor com o que é esperado na realidade.

De seguida, e após a validação dos requisitos apresentados anteriormente, pretende-se desenvolver a arquitetura do sensor de modo a que este cumpra todos os requisitos relativos à sua correta inserção no local para ele do repositório onde se pretende instalá-lo. Pretende-se assim verificar se apresenta valores fiáveis de leitura do nível da coluna de água sem afetar os restantes equipamentos do sistema, cumprindo todos os seus requisitos de funcionamento.

Por fim, e como o sensor tem de apresentar uma resposta constante de forma autónoma ao longo do tempo, pretende-se desenvolver um sistema de calibração evitando que haja necessidade de manutenção ou qualquer tipo de ajuste no seu funcionamento.

5.1 Caracterização experimental da solução escolhida

De seguida pretende-se analisar a repetibilidade dos valores obtidos pelo sensor ao longo do tempo. Nesse sentido repetem-se diversas cargas e descargas para analisar se a resposta do sensor é uniforme.

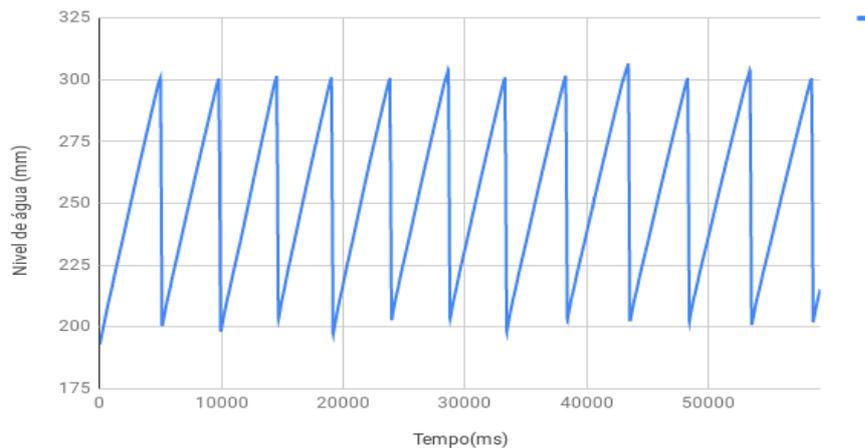


Figura 49- Sucessivas cargas e descargas do sensor.

Como se pode observar no gráfico acima, o sensor apresenta uma boa resposta temporal a sucessivas cargas e descargas apresentando algum erro (erro máximo de 5 mm medido no gráfico acima) que pode ser devido ao tempo que o servo motor demora a abrir e fechar a válvula de descarga do autoclismo.

De seguida pretende-se medir o fluxo de descarga do autoclismo para meia e para descarga completa e analisar os resultados tentando retirar alguma conclusão sobre a arquitetura do tanque e/ou sobre o que realmente se passa no pequeno instante quando a válvula é aberta.

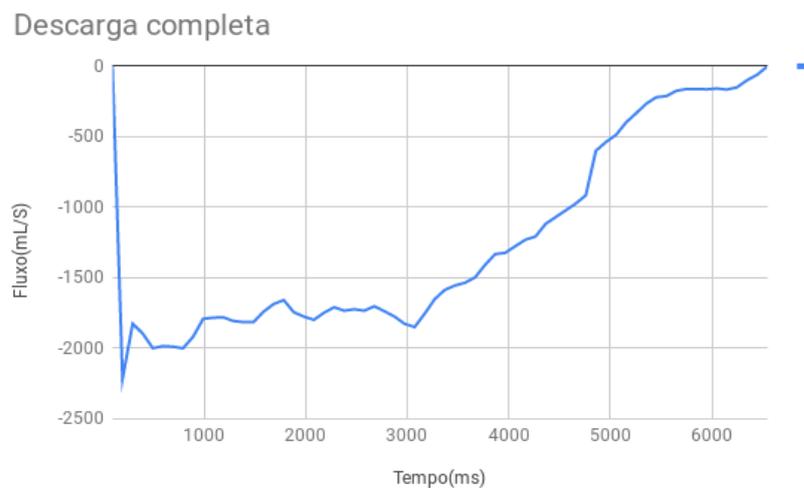


Figura 50- Fluxo de descarga completa.

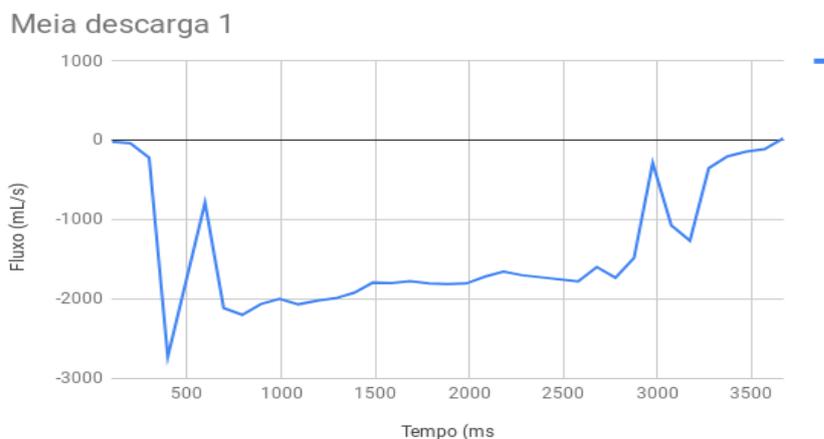


Figura 51- Fluxo de meia descarga.

Nos gráficos anteriores é possível observar o fluxo de descarga no autoclismo. É possível observar que, quando a válvula é aberta, o fluxo sobe descontroladamente até a água do tanque atingir a sanita. Após esse instante, a água descreve um fluxo aproximadamente constante até a válvula ser fechada ou a água acabar no tanque.

Como os gráficos acima são relativamente confiáveis (uma vez validados com elementos da OLI com vários anos no desenvolvimento de sistemas sanitários) pretende-se analisar definitivamente se este sensor é ou não o desejado para os requisitos iniciais. Para isso pretende-se analisar o erro do sensor para uma medida fixa. Nesse sentido coloca-se o tanque num nível constante de água e mede-se a resposta do sensor ao longo do tempo.

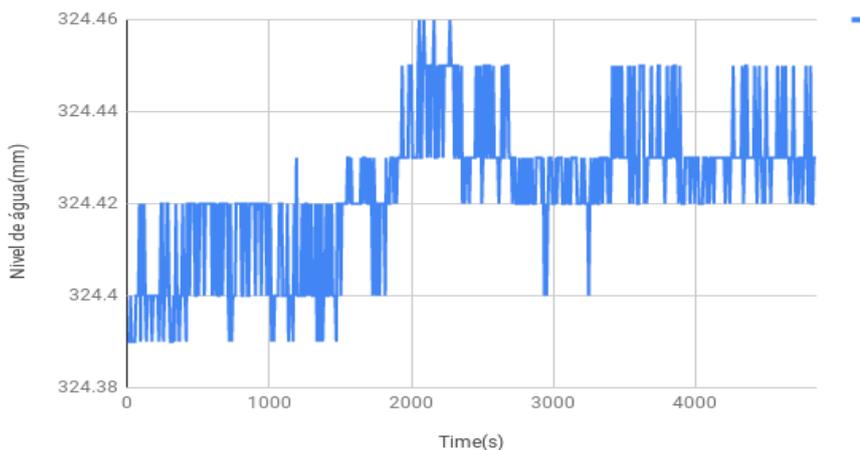


Figura 52- Erro de leitura.

Pelo gráfico obtido é possível concluir que apresenta um erro máximo de 0.4 mm no valor de leitura o que é aceitável para o requisito correspondente do sensor pretendido.

De seguida, e como ponto seguinte de requisitos do sensor, pretende-se medir volumes de água utilizando as leituras de nível do sensor. Para isso mediu-se o volume que sai do tanque quando a válvula de abertura é programada utilizando os valores lidos pelo sensor. A válvula foi programada para deixasse sair apenas 1L do tanque sucessivamente até ao máximo de 8 L que é a capacidade máxima do tanque. Medindo o volume dessa água que sai do tanque manualmente obtém-se o gráfico abaixo com os valores lidos pelo sensor relativamente aos valores medidos manualmente.

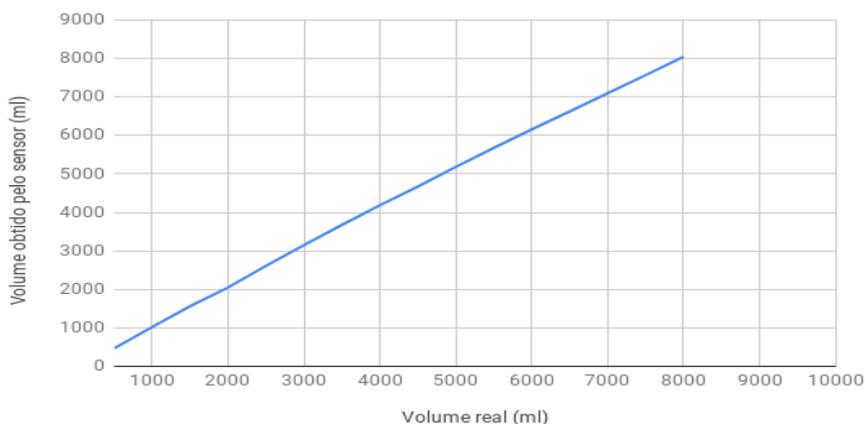


Figura 53- Volume lido pelo sensor versus volume lido manualmente.

Observando os dados do gráfico acima é possível verificar que o volume de descarga medido pelo sensor é relativamente fiável relativamente aos valores reais medidos manualmente.

De seguida implementou-se um sistema de autocalibração em que se gera uma descarga aleatória e o sensor mede o volume de cada descarga efetuada, medindo-se manualmente essa descarga para verificar os valores obtidos.

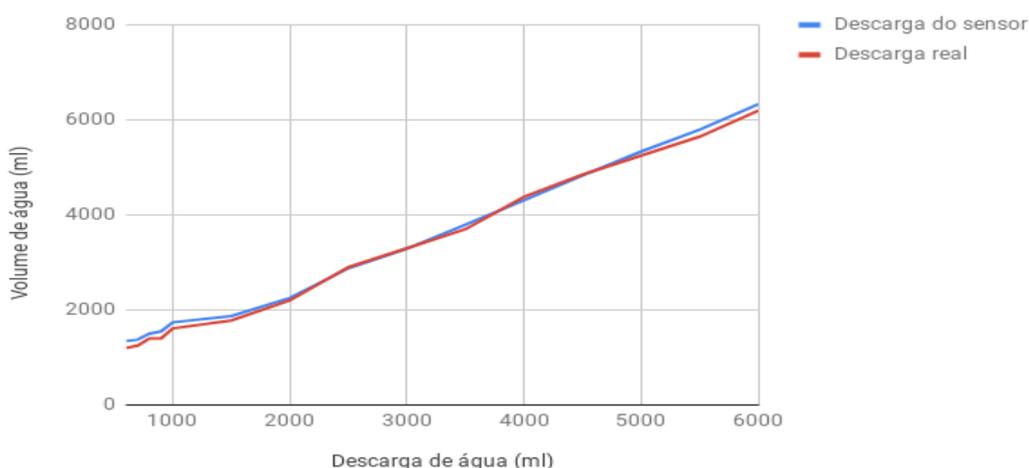


Figura 54- Volume lido pelo sensor (azul) e volume lido manualmente(vermelho).

No sentido de verificar os valores obtidos, e porque o tempo de descarga é tão curto que a visão humana não é capaz de detetar se os valores de nível produzidos pelo sensor estão ou não de acordo com a realidade, pretende-se implementar um segundo sistema de deteção de nível. Este tem de ser o mais preciso possível. Nesse sentido foi instalada uma câmara fotográfica em frente ao tanque de água e inserido um

corante na água para que seja mais fácil para a camera distinguir entre a parte do tanque que tem água e a que não tem.

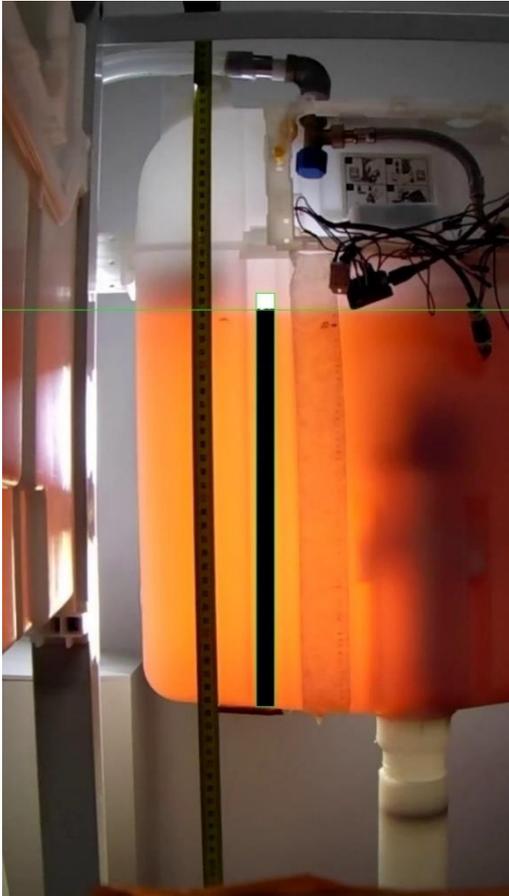


Figura 55- Sensor com câmara fotográfica.

Nas figuras acima é possível observar o setup experimental com a câmara fotográfica assim como uma barra a preto feita através dum software desenvolvido em python utilizando uma plataforma chamada opencv no sentido de distinguir entre a cor do líquido e do ar, detetando assim o nível de água.

Após esta medida, tanto utilizando o software desenvolvido como analisando o vídeo de uma descarga pelas suas frames retiradas pela câmara, foi possível concluir que os dados do sensor estavam relativamente corretos comparado ao que realmente acontecia na realidade.

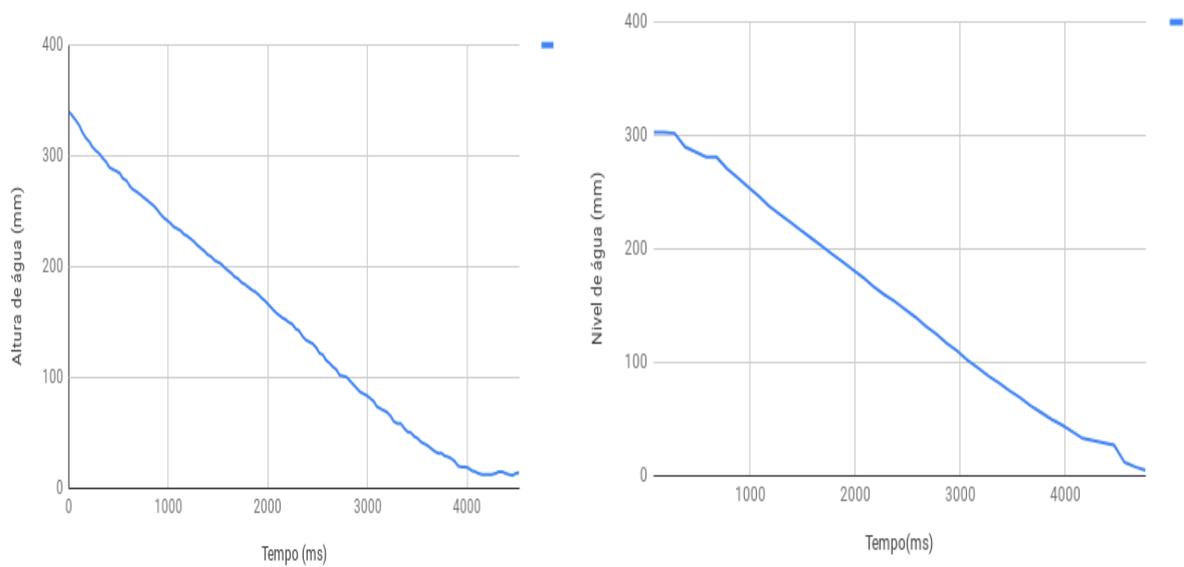


Figura 56- Dados obtidos pelo Sensor à esquerda e pela câmara fotográfica à direita.

Quando comparados os dados obtidos pelo sensor no gráfico à direita com os dados obtidos pela câmara à esquerda é possível verificar que ambos apresentam um aspeto de descarga semelhante com um pequeno pico no declive de descarga quando a água do tanque bate na superfície da sanita, seguindo-se depois, em ambos os casos, um declive constante.

Através desta leitura com a câmara foi possível validar os dados obtidos pelo sensor de pressão observando-se o mesmo comportamento da água ao longo de uma descarga.

5.1.1.1 Conclusões sobre a experiência

Relativamente aos dados obtidos e ao desenvolvimento feito com o sensor de pressão é de concluir que este apresenta uma resposta que vai bastante de encontro com o desejado. Nesse sentido, e de acordo com os resultados obtidos, pretende-se explorar a implementação deste sensor em testes para implementação na arquitetura final.

Este sensor apresenta ainda o facto de sofrer pouca degradação com o tempo pois está totalmente isolado da água. Contudo apresenta, entre outras, a desvantagem da sua leitura depender da temperatura da água assim como das características da água. Tal pode ser ajustado calibrando o sensor para o nível 0 assim como para o nível máximo, permitindo assim que o sensor apresente sempre valores fiáveis nesse intervalo.

5.2 Implementação e desenvolvimento de protótipos

Inicialmente o princípio de funcionamento do sensor consiste na medição da pressão no interior de um tubo de inox de 11 mm. Como o sensor tem de ser de fácil montagem o que implica entrar e sair do tanque, tem de se encontrar uma melhor solução do que o tubo de inox pois este não entra facilmente pelo orifício disponível no tanque. Nesse sentido é desenvolvido um novo protótipo em impressão 3D como visto na figura abaixo.



Figura 57- Segundo protótipo do sensor.

Na figura acima são visíveis o protótipo desenvolvido com um tubo de silicone e uma peça metálica que irá levar até ao sensor o valor de pressão no fundo do tanque de água fazendo com que o sensor tenha exatamente o mesmo comportamento quando comparado com o tubo de inox construído inicialmente. A peça metálica no fundo do tanque serve para puxar o tubo de silicone para o fundo evitando que suba com o movimento da água.

Após o primeiro protótipo desenvolvido e testado pretende-se desenvolver um outro protótipo com as mesmas características do primeiro, mas já com encaixes para os tanques em questão. Adicionalmente, a estrutura do sensor deverá ser mais estável pois a versão com o tubo de silicone apresenta oscilações com o movimento da água o que se irá refletir na leitura do sensor.



Figura 58- Protótipo de sensor de nível.



Figura 59- Protótipo de sensor dentro do tanque.



Figura 60- Protótipo de sensor final.

Após o desenvolvimento do sensor, é visível nas figuras acima o seu aspeto final. É de notar que o sensor dobra em duas partes no sentido de entrar e sair facilmente do tanque. É ainda apresentado um tubo de silicone que vai desde o fundo do tanque até ao sensor. O sensor fica, portanto, totalmente fora de água, numa caixa isolada do exterior, da qual saem os fios de alimentação e de comunicação. Como o sensor tem de ser instalado com o depósito vazio, o tubo fica cheio de ar e a água, consoante o valor do nível da coluna, pressiona esse ar fazendo variar o valor da pressão desse ar sobre o sensor.

5.3 Método de calibração

Ao longo da sua operação, o sensor vai apresentando erros de calibração que deverão ser corrigidos pelo sistema. Para tal, o sensor deverá ser capaz de calibrar o nível 0 mm quando o autoclismo efetua uma descarga completa. O nível máximo desejado é quando a boia fecha a entrada de fluxo de água. No entanto pode acontecer que a boia esteja avariada. Assim, colocou-se um sensor de nível ótico baseado em infravermelhos para se obter o valor máximo para o nível. Deste modo, o sensor pode-se calibrar automaticamente quando a água chega a esse nível. Consegue-se assim uma leitura clara do nível máximo permitindo saber também se a boia está ou não avariada dependendo do nível da coluna da água obtido assim como a calibração do sensor.

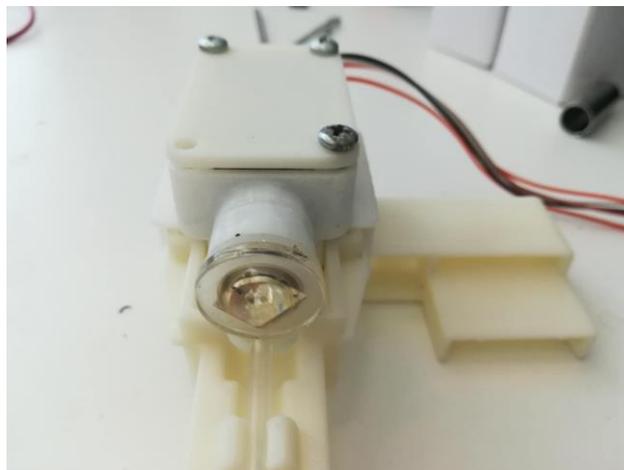


Figura 61- Sensor de calibração de nível máximo.

Através do sensor que se mostra na imagem acima é possível verificar a implementação da funcionalidade de autocalibração para o nível máximo. É de notar que o sensor utilizado apresenta um consumo adicional de 0.075W(5V 15mA) e um erro de leitura de 1 mm e consiste num dos sensores estudado no capítulo 3.1.

Capítulo 6

Considerações finais

6.1 Conclusões

Esta dissertação de mestrado abordou o desenvolvimento de um sensor de nível com elevada precisão o qual permite medir em tempo real o nível da coluna de água de um qualquer autoclismo. Este destina-se não só a monitorizar o consumo mas também a prevenir situações de fuga ou de mau funcionamento do autoclismo.

No primeiro capítulo foi descrita a motivação, referindo a ligação entre a empresa Watgrid e a empresa OLI e a vontade desta de desenvolver um dispositivo inovador para contribuir para a poupança de água. A realização deste trabalho vem colmatar uma lacuna importante no processo de desenvolvimento de dispositivos pela OLI que é a falta de um sensor que permita a verificação das propriedades do autoclismo. Permite ainda estudar fenómenos nas válvulas e outros elementos integrantes do autoclismo, contribuindo para a identificação de problemas e, em consequência, para a sua melhoria. Do ponto de vista da Watgrid, além do apoio à OLI, este trabalho permite desenvolver tecnologias já detidas pela empresa na área de sensores de nível.

No segundo capítulo são apresentadas e discutidas especificações para o sistema, tendo em consideração as características dos tanques dos autoclismos, as condições ambientais incluindo a densidade e temperatura da água, os requisitos de instalação e a interligação com outros componentes do autoclismo. Estas especificações foram evoluindo ao longo do trabalho com a OLI, por forma a permitir incorporar resultados da análise de situações críticas que foram encontradas ao longo do desenvolvimento do projeto.

No terceiro capítulo foram estudados os fundamentos teóricos, permitindo analisar diferentes tecnologias, ajustando-se essas mesmas tecnologias aos requisitos do sensor pretendido. Foram assim estudados sensores baseados em infravermelhos, ultrassons, capacitivos, laser, fibra ótica, resistivos e pressão. Relativamente aos infravermelhos pode-se concluir que têm baixo consumo, mas não é possível determinar distâncias longas. Isto faz com que a tecnologia seja fiável apenas para pequenas distâncias mas mesmo assim apresenta pouca resolução face ao pretendido. Relativamente aos ultrassons apresentam uma tecnologia teoricamente bastante fiável e de acordo com a teoria podem ser utilizados na implementação pretendida. Relativamente aos capacitivos e resistivos apresentam muito ruído quando na presença de água e, além disso, têm uma durabilidade bastante reduzida uma vez que apresentam contacto constante com o líquido. Relativamente aos sensores laser apresentam uma tecnologia bem definida e com boas perspetivas teóricas para serem utilizados no caso pretendido. Relativamente à fibra ótica apresenta elevado erro com o tempo uma vez que vai acumulando sujidade na fibra, perdendo resolução. Relativamente aos sensores de pressão também esses apresentam uma tecnologia bastante precisa podendo ser utilizado teoricamente na implementação final.

No quarto capítulo foram implementadas as diferentes tecnologias estudadas no capítulo anterior permitindo montar um protótipo que utiliza cada uma delas. Com estas montagens foi possível concluir que, de acordo com o esperado, os sensores de infravermelho não se adequam aos parâmetros pretendidos por terem pouca resolução sendo ideais para medir curtas distâncias (menos de 1 cm). Já os sensores resistivos e capacitivos validaram o que era de esperar apresentando elevado ruído e pouca resolução face ao pretendido. Os ultrassons apresentam uma zona cega bastante elevada o que fará com que seja necessário colocar o sensor bastante fora da zona máxima da coluna de água. Apresentam ainda elevado ruído face ao pretendido. Já os lasers ficaram um pouco aquém do desejado, apresentando uma resolução fora dos parâmetros que seriam desejados. Os de fibra ótica apresenta a resolução pretendida podendo ser utilizados na implementação final, mas apresentam perda de resolução com o tempo para além de só medirem em ambientes escuros e sem radiação externa, o que não se aplica ao caso em estudo. Por fim, os sensores de pressão apresentam a resolução pretendida o que os torna bastante fiáveis de acordo com os objetivos pretendidos. Face aos argumentos apresentados anteriormente foram utilizados sensores de pressão como tecnologia escolhida para a implementação final.

Após escolhida a tecnologia foi necessário escolher o protocolo de comunicação, tendo-se estudado comunicação série, WiFi, radio e Bluetooth. Tendo-se implementado plataformas gráficas para demonstração de valores de nível da coluna de água em todos os protocolos, foi feita uma opção por comunicação série por apresentar baixo consumo assim como elevada fiabilidade dos valores transmitidos face à frequência de amostragem pretendida.

No quinto capítulo foram realizados testes de resolução e precisão do protótipo do sensor desenvolvido. Através desses testes foi possível validar que o sensor apresenta resultados de medida fiáveis, cumprindo todos os requisitos pretendidos para o mesmo. Após essa validação foi criado um sistema de autocalibração do sensor baseado num sensor infravermelho. Este último sensor é colocado na parte superior do dispositivo e permite calibrar o sensor quando a altura da coluna de água for máxima. Consegue-se assim que o sensor se autocalibre de forma autónoma.

Com o resultado obtido é possível concluir que todos os parâmetros pretendidos para o sensor foram alcançados, permitindo-se obter um sensor que se adequa totalmente ao projeto em questão, sendo uma mais valia para a indústria em que vai ser utilizado. É de referir que este sensor, para além de ser utilizado no consumidor final, pode ainda ser utilizado na indústria sanitária, permitindo aos fabricantes medir a coluna da água nos seus tanques, e ainda analisar fluxos de descarga conseguindo identificar eventuais defeitos e anomalias nos seus produtos podendo alterá-los para fornecer ao cliente cada vez mais produtos testados e fiáveis. Vai ser submetida muito em breve uma patente sobre o sistema desenvolvido.

6.2 Perspetivas de trabalho futuro

Efeitos como a temperatura no sistema não foram estudados tendo-se considerado que esta grandeza física se mantém constante ao longo do tempo. Esta consideração é falsa pois a água do autoclismo pode variar a sua temperatura e vai afetar diretamente os valores de medida do sensor o que deve ser considerado em trabalhos futuros para melhorar a performance do dispositivo.

Para calibração do nível mínimo é necessário que o utilizador comunique com o sensor quando quer fazer uma descarga completa. Consegue-se assim que o sensor se autocalibre. No futuro pretende-se colocar um sensor ótico na parte inferior do dispositivo permitindo que este se autocalibre no nível máximo e mínimo da altura da coluna de água. Ficará, portanto, o sensor sem necessidade de qualquer manutenção.

Devido à utilização de materiais no protótipo diferentes dos habituais, nunca foram estudadas as questões relativas à durabilidade do sensor. Tal estudo deve ser feito antes da implementação no utilizador final do sentido de fornecer um produto cuja duração seja adequada ao prazo habitual deste tipo de dispositivos.

Bibliografia

- [1] S. OLI - SISTEMAS SANITÁRIOS. [Online]. Available: <https://www.oli-world.com/pt/empresa/a-oli/>. [Acedido em 23 12 2018].
- [2] "Watgrid - INNOVATION," [Online]. Available: <https://watgrid.com/#contact>. [Acedido em 23 12 2018].
- [3] "SmAC - Smart Advanced Cistern," [Online]. Available: <http://smac.web.ua.pt/>. [Acedido em 23 12 2018].
- [4] "OLI74 PLUS S90 SANITARBLOCK," [Online]. Available: <https://www.oli-world.com/en/categories/installation-systems/in-wall-installation-systems/oli74-plus-s90-sanitarblock/mechanic-----/>. [Acedido em 20 1 2019].
- [5] "OLI120 PLUS SANITARBLOCK," [Online]. Available: <https://www.oli-world.com/en/categories-installation-systems/in-wall-installation-systems/oli120-plus-sanitarblock/mechanic-----/>. [Acedido em 20 2 2019].
- [6] "FAST START/STOP," [Online]. Available: <https://www.oli-world.com/pt/produtos/instalacao-sanitaria/mecanismos-de-descarga/fast-start-stop/com-adaptadores-blister-/>. [Acedido em 20 2 2019].
- [7] "IVC100," [Online]. Available: <https://www.oli-world.com/pt/produtos/instalacao-sanitaria/mecanismos-de-descarga/ivc100-/caixa-----/>. [Acedido em 15 5 2019].
- [8] "Radiação infravermelha," Wikipédia, [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Radia%C3%A7%C3%A3o_infravermelha. [Acedido em 12 4 2019].
- [9] Leong Yang Sing e Pin Jern Ker, *A Microcontroller-based System for Liquid Level Detection Using Infrared Sensing*, 2015.
- [10] "Ultrassom," Wikipedia, [Online]. Available: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ultrassom>. [Acedido em 3 8 2019].
- [11] C.JESTOP JESWIN , B.MARIMUTHU e K.CHITHRA, *ULTRASONIC WATER LEVEL INDICATOR AND CONTROLLER USING AVR MICROCONTROLLER*, p. 6, 2017.
- [12] "Capacitor," wikipedia, [Online]. Available: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Capacitor>. [Acedido em 12 5 2019].
- [13] Konstantinos Loizou e Eftichios Koutroulis , *Water level sensing: State of the art review and performance evaluation of a low-cost measurement system*, p. 11, 2016.
- [14] "Resistência elétrica," wikipedia, [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Resist%C3%Aancia_el%C3%A9trica. [Acedido em 12 2 2019].
- [15] E. Yuliza1, R. A. Salam, Amri1, E. D. Atmajati1, D. A. Hapidin, I. Meilano2, M. M. Munir1 e M.Abdullah, *Characterization of a Water Level Measurement System Developed Using a Commercial Submersible Pressure Transducer*, 2016.
- [16] Pedro52, "Arduino ESP32 DIY Water Level Sensor and DIY Level Indicator," 2018. [Online]. Available: <https://www.hackster.io/Pedro52/arduino-esp32-diy-water-level-sensor-and-diy-level-indicator-3d513d?fbclid=IwAR3aOgN-WCNNQCeL82q0kFBy1tH2OrcuPBhQLF2WNpeBo084rTpu9CHFIOI>. [Acedido em 6 2 2019].
- [17] "Laser," wikipedia, [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Laser>. [Acedido em 12 1 2019].
- [18] Mengde Liu, Zhigang Gai, Jie Zhao, Xiao Cui e Li Y, *Development of Laser Water Level Measuring System Without Cooperative Target*, 2012.
- [19] O. fiber, Wikipedia, [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_fiber.
- [20] M Lomer, A Quintela1, MLopez-Amo , J Zubia3 e JMLopez Higuera, *A quasi-distributed level sensor based on a bent side-polished plastic optical fibre cable*, 2007.
- [21] Senior Member, Patrick LiKamWa, May-Arrijoja, Daniel A. e José E. Antonio-Lopez, *Fiber-Optic Liquid Level Sensor*, 2011.

- [22] Xinyong Dong, Menghui Zhou, Qingqiang Meng e Ziyang Guo, *Optical Fiber Laser Sensor For Liquid Level Measurement Based On Multimode Interference Effect*, 2016.
- [23] "Pressure sensor," wikipedia, [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Pressure_sensor. [Acedido em 19 1 2019].
- [24] Hanjun Jiang, Yanshu Guo, Zeliang Wu, Chun Zhang, Wen Jia e Zhihua Wang, "Implantable Wireless Intracranial Pressure Monitoring Based on Air Pressure Sensing," 2018.
- [25] Ki-W oong Park e Hyeon Cheol Kim, *High accuracy pressure type liquid level measurement system capable of measuring density*, 2015.
- [26] R. Santos, "ESP32 Publish Sensor Readings to Google Sheets (ESP8266 Compatible)," 2019. [Online]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-esp8266-publish-sensor-readings-to-google-sheets/?fbclid=IwAR18IEfe6RxPHZ29ZBqVBDrq-PwHAr5TpfRo0Ob00fytWIKY8qdMnUoiZIo>. [Acedido em 5 3 2019].
- [27] V. Science, "Blynk ESP8266 DHT11 Temperature Sensor," [Online]. Available: <https://www.viralsciencecreativity.com/post/blynk-esp8266-dht11-temperature-sensor>. [Acedido em 15 10 2018].
- [28] Nouman Naim Hasan, Adeel Arif e Usman Pervez, *Tire Pressure Monitoring System with Wireless Communication*, 2011.
- [29] Qinmiao Kang, Zhifeng Xie¹, Yongquan Liu² e Ming Zhou¹, "125KHz Wake-up Receiver and 433MHz Data Transmitter for Battery-less TPMS," 2017.
- [30] B. Babusiak e Maros Smondrk, *Design and Implementation of Low-Cost and Low-Energy Sensor for Wireless Sensor Networks*, 2017.
- [31] Dejan, "Arduino and HC-05 Bluetooth Module Tutorial," [Online]. Available: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-and-hc-05-bluetooth-module-tutorial/>. [Acedido em 4 12 2019].
- [32] Nordic, "nRF52832 - Product Specification v1.0," [Online]. Available: https://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF52832_PS_v1.0.pdf. [Acedido em 15 3 2019].
- [33] Y. G. Z. W. ., C. Z. ., W. J. Hanjun Jiang, "Implantable Wireless Intracranial Pressure Monitoring Based on Air Pressure Sensing," p. 11, 2018.
- [34] Sharath Anand e Riya Regi, *Remote Monitoring of Water Level in Industrial Storage Tanks Using NB-IoT*, p. 4, 2018.
- [35] Nouman Naim Hasan, Adeel Arif e Usman Pervez, "Tire Pressure Monitoring System with Wireless Communication," 2011.
- [36] Sharath Anand e Riya Regi, *Remote Monitoring of Water Level in Industrial Storage Tanks Using NB-IoT*, 2018.
- [37] Wen Jia, Chun Zhang, Chun Zhang , Zeliang Wu, Yanshu Guo, Hanjun Jiang e Zhihua Wang, *Implantable Wireless Intracranial Pressure Monitoring Based on Air Pressure Sensing*, 2018.
- [38] H. Y. Cao e Na Deng, *Design of water tank level cascade control system based on siemens S7--200*, 2016.
- [39] N. N. Parekar, C.B. Kadu e B.J. Parvat, *Modified MRAC for Controlling Water Level of Boiler System*, 2015.
- [40] Alexandre da D.Rufino, Iana da S. Lobato e Charles L. S. de Melo, "Modeling and Simulation of a System to Control the Water Level in a Vase Accumulator," 2015.
- [41] H. Zhang, Ziyu Liu, Zhijun Yuan, Wei Gao e Yongkang Dong, *A liquid-level sensing system based on high attenuation fiber and DPP-BOTDA*, 2017.