

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



# **Sistema de monitorização do consumo de água utilizando tecnologia Sigfox**

**Rui Miguel Ribeiro Barbosa**

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Doutor Paulo José Lopes Machado Portugal

28 de Julho de 2017



# Resumo

Este documento discute a concepção e o desenvolvimento de um sistema inteligente de monitorização de consumo de água, uma prova de conceito que conta como projeto de dissertação do autor.

O sistema irá utilizar a *Internet of Things* (IoT) para comunicar os resultados da sua medição. Este irá empregar o protocolo de comunicação Sigfox, uma tecnologia para redes LPWAN e com dispositivos de muito baixo consumo.

A medição do consumo de água será realizada utilizando um sensor de Wiegand e um microcontrolador. Este sensor é passivo, ou seja, que não requer qualquer tipo de alimentação, similar a uma bobina. No entanto, quando o campo magnético que o rodeia inverte o seu sentido, este produz um impulso de tensão. Este efeito é utilizado para contar o número de rotações duma turbina e assim medir o volume de água consumido. O microcontrolador foi especialmente escolhido para um muito baixo consumo energético.

O sistema irá utilizar a *Internet of Things* (IoT) para comunicar os resultados da sua medição. Este irá empregar o protocolo de comunicação Sigfox, uma tecnologia para redes LPWAN e com dispositivos de muito baixo consumo.

O consumidor poderá consultar os seus dados de consumo através de uma aplicação móvel para Android especialmente desenvolvida para este projeto. O sistema poderá ser reprogramado utilizando a mensagem de *acknowledgement* no protocolo Sigfox.

Neste documento é feita uma análise a soluções semelhantes que endereçam o problema da monitorização do consumo de água empregando contadores inteligentes. São analisadas soluções comerciais e soluções do meio académico. São consideradas e comparadas várias soluções para a deteção do consumo de água, como por exemplo sensores de efeito de Hall, ópticos e ultrassónicos. A tecnologia Sigfox é também apresentada e as suas características são discutidas e comparadas com outras tecnologias utilizadas em aplicações semelhantes.

Por fim são apresentados os testes conduzidos sobre o sistema de forma a validá-lo face aos requisitos. Os resultados são discutidos e conclui-se que a solução proposta cumpre os requisitos definidos. O seu consumo é bastante reduzido, absorvendo uma corrente média de  $25 \mu A$ , o que pode levar a um tempo de vida de até 14 anos com duas pilhas AA de lítio.



# Abstract

This document discusses the design and development of a water consumption monitoring system, which is the dissertation project of the author.

The water usage will be measured using a Wiegand sensor and a microcontroller unit (MCU). This sensor is passive, not needing any form of supply, just like a simple coil. However, when the surrounding magnetic field reverses direction, this sensor produces a pulse. This effect is used to count the number of revolutions of a turbine and measure the volume of water used. The MCU was chosen due to its very low power usage.

The system will use Internet of Things (IoT) to communicate its measurements. It will use Sigfox communication protocol, a LPWAN network technology for low power devices.

The user will be able to verify said measurements in an Android app specially conceived for the project. The system can be reprogrammed using the Sigfox acknowledgement message.

An analysis of similar solutions that address the monitoring of water consumption using smart meters is made, analyzing both commercial or academic solutions. Several means of detecting and measuring the water flow are presented and compared, such as using Hall effect sensors, optical or ultrasonic sensor. Sigfox is also presented and its characteristics are discussed against other technologies used in similar applications.

Finally, the tests used to validate the system are presented. Its results are discussed and it is concluded that the proposed solution fulfills the requirements. Its consumption is very low, absorbing an average current of  $25 \mu A$ , which may lead to a lifespan of 14 years using two AA lithium batteries.



# Agradecimentos

Na realização da presente dissertação, contei com o apoio de várias pessoas às quais estou profundamente grato. Correndo o risco de injustamente não mencionar algum dos contributos quero deixar expresso os meus agradecimentos:

- Ao orientador desta dissertação o Professor Doutor Paulo Portugal, pela orientação prestada, pelo seu incentivo, disponibilidade e apoio que sempre demonstrou;
- A todos os amigos e colegas que contribuíram, pela paciência e atenção que prestaram;
- Não poderia deixar de agradecer à minha família por todo o apoio que sempre me prestou ao longo de toda a minha vida;
- Aos técnicos e funcionários do DEEC que me auxiliaram a todo o caminho;
- Ao doutor Stefano Saggini da Universidade de Udine por ter cedido o sensor de Wiegand necessário à realização do projeto.

Enfim, quero demonstrar o meu agradecimento, a todos aqueles que, de um modo ou de outro, tornaram possível a realização da presente dissertação.

A todos o meu sincero e profundo Muito Obrigado!

Rui Barbosa



*“Do not fear to be eccentric in opinion, for every opinion now accepted was once eccentric.”*

Bertrand Russell



# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Motivação . . . . .	1
1.2	Objetivos . . . . .	2
1.3	Contribuições . . . . .	2
1.4	Estrutura do documento . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Estado da arte</b>	<b>5</b>
2.1	Contador de água . . . . .	5
2.1.1	Contadores residenciais . . . . .	6
2.1.2	Contadores industriais . . . . .	8
2.1.3	<i>Smart-meters</i> . . . . .	9
2.2	Análise de soluções comerciais . . . . .	11
2.2.1	Amphiro . . . . .	11
2.2.2	Lesira-Teq . . . . .	11
2.2.3	Kamstrup . . . . .	12
2.2.4	Análise comparativa das soluções encontradas . . . . .	12
2.3	Análise de soluções acadêmicas . . . . .	13
2.3.1	Wireless digital water meter with low power consumption for automatic meter reading . . . . .	14
2.3.2	Energy autonomous wireless water meter with integrated turbine driven energy harvester . . . . .	14
2.3.3	Build a wireless water meter for your home . . . . .	15
2.3.4	Análise comparativa das soluções . . . . .	15
2.4	Sigfox e a IoT . . . . .	16
2.4.1	Internet of Things . . . . .	16
2.4.2	Sigfox . . . . .	16
2.4.3	Análise comparativa de protocolos de comunicação da IoT . . . . .	20
<b>3</b>	<b>Desenvolvimento da proposta</b>	<b>23</b>
3.1	Análise de requisitos do sistema . . . . .	23
3.2	Arquitetura geral da solução . . . . .	25
3.3	Plataforma local . . . . .	26
3.3.1	Constituição do bloco . . . . .	26
3.3.2	Sensor de contagem . . . . .	26
3.3.3	Caracterização do sensor utilizado . . . . .	31
3.3.4	Plataforma computacional - Hardware . . . . .	34
3.4	Plataforma de comunicação . . . . .	37
3.4.1	Módulo Sigfox . . . . .	37

3.4.2	Arquitetura da plataforma local . . . . .	37
3.5	Alimentação e prospeção de energia . . . . .	38
3.5.1	Previsão de consumo total . . . . .	38
3.5.2	Redução de consumo do sistema . . . . .	39
3.6	Plataforma computacional - Software . . . . .	42
3.6.1	Requisitos . . . . .	42
3.6.2	Módulos de contagem e detecção de erros . . . . .	42
3.6.3	Módulo de comunicação . . . . .	44
3.7	Plataforma na <i>cloud</i> . . . . .	47
3.7.1	Requisitos da aplicação do servidor . . . . .	48
3.7.2	Implementação de funcionalidades . . . . .	48
3.7.3	Base de dados . . . . .	48
3.8	Aplicação móvel . . . . .	50
3.8.1	Requisitos . . . . .	50
3.8.2	Funcionalidades implementadas . . . . .	50
<b>4</b>	<b>Testes e Resultados</b>	<b>55</b>
4.1	Testes ao sensor e mecanismo de contagem . . . . .	55
4.1.1	Métodos . . . . .	56
4.1.2	Resultados e discussão . . . . .	56
4.2	Teste de cobertura do módulo Sigfox . . . . .	58
4.2.1	Métodos . . . . .	58
4.2.2	Resultados e discussão . . . . .	58
4.3	Teste ao sistema completo . . . . .	59
4.3.1	Métodos . . . . .	60
4.3.2	Resultados e discussão . . . . .	60
4.4	Testes de consumo em corrente . . . . .	61
4.4.1	Método . . . . .	61
4.4.2	Resultados e discussão . . . . .	63
<b>5</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>	<b>65</b>
5.1	Pontos fortes da solução . . . . .	65
5.2	Limitações da solução . . . . .	66
5.3	Análise de custos da solução . . . . .	66
5.4	Protocolo Sigfox . . . . .	67
5.4.1	Experiência . . . . .	67
5.4.2	Outras aplicações . . . . .	68
5.5	Trabalho Futuro . . . . .	68
	<b>Referências</b>	<b>71</b>

# Lista de Figuras

2.1	Mostrador de um contador de água residencial típico [1] . . . . .	6
2.2	Simulação de contadores com princípio de medição de velocidade . . . . .	7
2.3	Esquema de funcionamento de contadores de disco e de pistão . . . . .	8
2.4	Contador de Pistão Oscilante [2] . . . . .	8
2.5	Funcionamento de contadores magnéticos e ultrassónicos . . . . .	9
2.6	Medidor inteligente do volume e temperatura da água consumidos: Amphiro [3]	12
2.7	Soluções da Lesira-Teq e da Kamstrup . . . . .	13
2.8	Contador de água desenvolvido no âmbito do projeto WiMBex . . . . .	15
2.9	Ilustração do funcionamento numa rede Sigfox [4] . . . . .	17
2.10	Pilha protocolar Sigfox [5] . . . . .	18
2.11	Formato numa trama Sigfox [6] . . . . .	19
3.1	Diagrama de blocos da solução proposta . . . . .	25
3.2	Soluções dos artigos [7] e [8] . . . . .	27
3.3	Princípio de funcionamento de sensor de Wiegand [9] . . . . .	28
3.4	Vista tridimensional e circuito [10] . . . . .	29
3.5	Característica $\Phi_w(I_w)$ do sensor [9] . . . . .	32
3.6	Impulso gerado pelo sensor quando sujeito a uma inversão do campo magnético .	33
3.7	Contador de água utilizado no projeto . . . . .	34
3.8	Circuito com módulo Sigfox . . . . .	38
3.9	Circuito de <i>energy harvesting</i> com LTC2107 . . . . .	41
3.10	Algoritmo que trata da contagem de impulsos e deteção de erros no microcontrolador	43
3.11	Formato do <i>array</i> de caracteres para envio de leituras . . . . .	44
3.12	Formato do <i>array</i> de caracteres para envio de alarmes . . . . .	45
3.13	Algoritmo que trata do envio de mensagens . . . . .	46
3.14	Codificação da mensagem de <i>acknowledgement</i> . . . . .	47
3.15	Estrutura de ficheiros da aplicação criada para o servidor . . . . .	47
3.16	Representação da base de dados criada para o trabalho . . . . .	49
3.17	Ecrã principal da aplicação móvel Hydrofox, desenvolvida para o trabalho . . . .	51
3.18	Ecrã de definições da aplicação móvel Hydrofox, desenvolvida para o trabalho . .	52
3.19	Ecrãs de gráficos e estatísticas da aplicação móvel Hydrofox, desenvolvida para o trabalho . . . . .	53
4.1	Montagem do contador e do sensor . . . . .	56
4.2	Nº de impulsos por segundo gerados pelo sensor em função da tensão DC aplicada à bomba . . . . .	57
4.3	Nº de impulsos por litro em função do caudal medido em litros por minuto . . . .	57
4.4	Sinal do sensor com tensão DC de 10V . . . . .	58

4.5	Qualidade e potência do sinal Sigfox [11] . . . . .	59
4.6	Mensagens com leituras recebidas no <i>Backend</i> da Sigfox . . . . .	60
4.7	Leitura de 4.6a inserida na base de dados . . . . .	61
4.8	Notificações da aplicação móvel . . . . .	62

# Lista de Tabelas

2.1	Comparação de vários protocolos da IoT [12] [13] [14] [15] [16] [17] . . . . .	21
3.1	Características Elétricas do Sensor de efeito de Hall . . . . .	31
3.2	Comparação de consumos entre sensor de Hall a funcionar em contínuo e amostrado a 1300Hz . . . . .	32
3.3	Simulação dos consumos do circuito da figura 3.4 . . . . .	33
3.4	Características do contador utilizado [18] . . . . .	34
3.5	Características elétricas do MSP430 G2553, com tensão de alimentação de 3.3V .	35
3.6	Dados utilizados para a estimativa de consumo . . . . .	35
3.7	Consumo estimado para contagem do MSP430 . . . . .	36
3.8	Características principais do microcontrolador MSP430 G2553 . . . . .	36
3.9	Características Elétricas do módulo Sigfox SFM10R1 [19] [20] . . . . .	37
4.1	Testes de cobertura do módulo Sigfox numa habitação . . . . .	59
4.2	Consumos em corrente medidos no funcionamento normal do sistema . . . . .	63
5.1	Custo da solução apresentada . . . . .	67



# Abreviaturas e Símbolos

AFPM	Axial Flow and Permanent Magnet
AMR	Automatic Meter Reading
CCD	Charge-coupled Device
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
LPWAN	Low Power Wide Area Network
M2M	Machine to Machine
MCU	Microcontroller Unit
OCR	Optical Character Recognition
PCB	Printed Circuit Board
PWM	Pulse Width Modulation
RSSI	Received signal strength indication
RTC	Real Time Clock
SNR	Signal to Noise Ratio
UNB	Ultra-Narrow Band



# Capítulo 1

## Introdução

Neste capítulo é realizada uma breve introdução ao trabalho desenvolvido.

Em primeiro lugar é apresentada a motivação que levou à sua realização. É discutido o seu posicionamento na situação atual do mundo tecnológico, bem como a forma como pode influenciar hábitos e potencialmente mudar a forma como as pessoas encaram a utilização da água.

Em segundo lugar são discutidos os objetivos que se pretendem atingir com este trabalho e as contribuições feitas.

Finalmente, é apresentada a estrutura deste documento.

### 1.1 Motivação

Numa época em que os efeitos mais nefastos das mudanças climáticas se começam a notar, a importância de preservar um dos recursos mais preciosos do planeta, a água potável, torna-se crucial [21]. Com a população mundial a aumentar, se o volume de água potável se mantiver constante ou diminuindo, seguindo as leis básicas da procura e oferta, conclui-se que o seu preço só tenderá a aumentar.

É assim importante, de forma a diminuir a quantidade de água gasta, que o consumidor possa obter dados sobre o seu consumo que vão para além da fatura mensal da água. Vários estudos apontam para o facto de que o conhecimento dos consumos, de forma regular, pode levar a uma utilização mais sensata. Utilizando contadores de água com *feedback* direto, isto é, que em tempo real disponibilizam o volume de água usado, os consumidores reduziram o seu consumo de água de 10 a 30% e o gasto energético no aquecimento de água em 0.64 kWh [7] [22]. Conclui-se então que uma boa solução para uma gestão eficaz e inteligente dos consumos de água por parte dum consumidor é o acesso simplificado e imediato à leitura do seu contador. Desta forma, pode fazer um seguimento do impacto dos seus hábitos na fatura mensal, modificando-os, poupando dinheiro e, por consequência, água.

É assim uma das principais motivações o desenvolvimento de um sistema que ajude o indivíduo comum a consciencializar-se sobre os seus consumos e o impacto que estes possam ter no seu orçamento mensal e no seu planeta.

Do ponto de vista tecnológico, o rápido avançar da integração da *Internet* na rotina diária abre oportunidades ao aparecimento de ideias revolucionárias com impactos muito significativos. Assim, ter a oportunidade de aprender sobre e contribuir para esta revolução tecnológica foi algo que impulsionou a realização do trabalho.

Finalmente, poder construir um sistema de raiz que incorpore vários domínios do conhecimento não só da engenharia eletrotécnica, mas também de outros ramos da engenharia é uma grande mais valia, alargando assim o conhecimento do autor.

## 1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento de um contador de água com as seguintes características:

- Permitir no mínimo 1 leitura diária do volume de água consumido numa habitação - este intervalo é considerado como sendo o mínimo a partir do qual o utilizador pode controlar os seus hábitos de consumo;
- Comunicar os resultados da leitura utilizando o Sigfox - a sua utilização e estudo é um dos principais objetivos da dissertação. Este foi escolhido por iniciativa do orientador do trabalho que pretende conhecer as suas limitações;
- Permitir a visualização do histórico de leituras recorrendo a uma aplicação móvel, onde também podem ser alterados os parâmetros de funcionamento (número de leituras diárias, alarmes, ...) do sistema;
- Utilizar uma alimentação autónoma, com duração de vários anos - o motivo é que o acesso à rede elétrica nos locais onde os contadores de água estão normalmente colocados pode ser difícil e a troca ou carregamento de baterias para além de ser um inconveniente desmotivador para a solução é um acréscimo monetário que o utilizador comum não querará comportar;
- Todo o sistema deverá utilizar uma alimentação composta por uma quantidade não superior a 2 pilhas AA (3V);
- Apresentar um erro de leitura reduzido, não necessitando de recalibrações durante o período de vida estimado da alimentação.

## 1.3 Contribuições

As principais contribuições do trabalho realizado são as seguintes:

- explorar tecnologia Sigfox para mecanismos de sensorização, nomeadamente, analisando as potencialidades e limitações;
- criação de mecanismo de sensorização de baixo consumo utilizando sensores de Wiegand;

- idealização e dimensionamento de sistema de *energy harvesting* para alimentação de todo o sistema, recorrendo ao sensor de Wiegand.

## 1.4 Estrutura do documento

Para além da introdução, esta dissertação contém mais 4 capítulos. No capítulo 2, é apresentado o estado da arte e são apresentados trabalhos semelhantes.

No capítulo 3 é discutido o trabalho desenvolvido para a elaboração da solução. É também apresentada a solução proposta, que será dividida em blocos. Cada um desses blocos é discutido, comparando a solução encontrada com outras soluções possíveis, justificando assim a sua utilização.

No capítulo 4 são descritos os testes conduzidos ao sistema e os resultados obtidos. São testes de consumo, da contagem de água e da aplicação.

No capítulo 5 é apresentada a conclusão, sendo discutidos os pontos fortes e limitações da solução, bem como o trabalho futuro proposto para a melhoria da solução. É também discutida a experiência adquirida na utilização de novas tecnologias e outras aplicações onde estas possam ser utilizadas.



## Capítulo 2

# Estado da arte

Neste capítulo são abordados os trabalhos e produtos que foram utilizados como fonte de inspiração para a criação da solução proposta.

Antes de mais é necessário perceber o funcionamento dos contadores de água para habitação existentes no mercado. É necessário analisar a sua constituição e perceber o seu princípio físico de medição. Desta forma será possível perceber se, e como, o seu funcionamento pode auxiliar na conceção do sistema.

De seguida, são analisadas soluções integradas para telemetria do consumo de água doméstico que já existam no mercado. Esta análise é feita para obter ideias de como um sistema deste tipo pode ser implementado.

São também analisadas soluções académicas que cumpram alguns dos objetivos discutidos em 1.2, excluindo os relacionados com a utilização da tecnologia Sigfox. Estas soluções vêm também dar novos métodos de resolução que possam contribuir para a proposta final.

Finalmente, é feita uma introdução à tecnologia Sigfox e uma comparação com outras tecnologias que implementam a *Internet of Things* já existentes.

### 2.1 Contador de água

Nesta secção são abordados vários tipos de contadores de água que representam as soluções mais comumente encontradas. Existe ainda uma quantidade de soluções de contagem que se escolheu não mencionar por virtude da sua baixa utilização ou por terem princípios de funcionamento que não acrescentavam muito para além do que já está a ser discutido, nomeadamente contadores que funcionam pela medição da pressão do líquido.

Os contadores de água podem ser divididos em duas categorias: contadores residenciais e industriais. Os primeiros tendem a ser mais pequenos, visto lidarem com menores caudais, e terem um princípio de funcionamento relativamente simples, geralmente baseado em partes móveis. Os segundos, devido aos grandes caudais e forças que têm de suportar, são geralmente mais robustos

e utilizam princípios de funcionamento mais complexos que tendem a não implicar o envolvimento de partes móveis. Este capítulo foca-se principalmente nos contadores residenciais, visto o objetivo do trabalho ser a monitorização do consumo de água numa habitação.

Os contadores residenciais podem ter princípios de funcionamento diferentes, no entanto o seu aspeto exterior é bastante semelhante. A figura 2.1 apresenta um mostrador dum contador de água residencial típico. Este apresenta um indicador digital numérico, usualmente exibindo o volume de água consumido, em  $m^3$ , e quatro totalizadores, ou ponteiros, apresentando o consumo em frações de  $m^3$ . Estes ponteiros são mais orientados para o uso do consumidor visto que o operador da companhia fornecedora de água, ao registar o consumo mensal, regista exclusivamente o indicado valor no mostrador numérico.

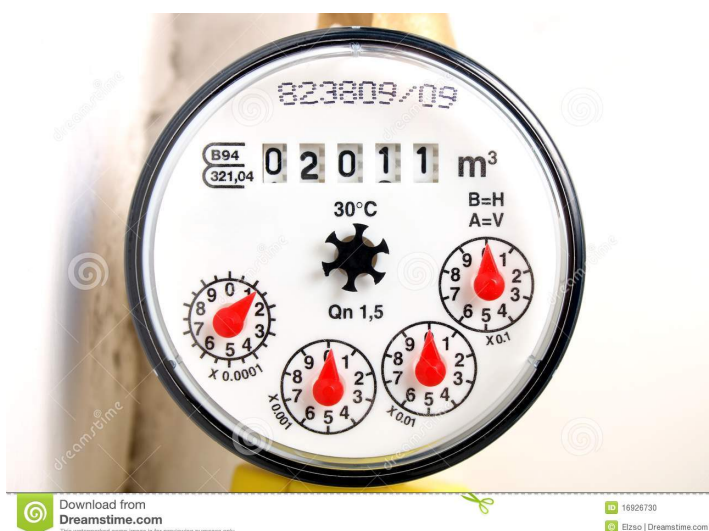


Figura 2.1: Mostrador de um contador de água residencial típico [1]

Dito isto, é importante olhar para os vários tipos de contadores no mercado, categorizando-os pelo seu princípio de funcionamento.

### 2.1.1 Contadores residenciais

Existem vários tipos de contadores disponíveis para uso residencial, estando eles divididos por duas grandes abordagens: medição da velocidade (ou de turbina) e medição volumétrica (ou de deslocamento positivo).

O contador de velocidade, ou "de turbina", mede a velocidade de uma parte móvel que o líquido atravessa e, assim, determina o volume de água que passa nessa secção. Dois dos tipos mais frequentemente utilizados nestes contadores são o contador com turbina monojato e multijato.

A turbina monojato 2.2a consiste em colocar uma turbina, de eixo perpendicular ao fluxo da água, em série no circuito da água fazendo com que esta incida diretamente nas pás da turbina, fazendo-a girar, e saindo do outro lado da canalização.

A turbina multijato 2.2b consiste em colocar uma turbina com entradas de água a toda a volta e a saída em torno do eixo de rotação. Assim a água é dividida em vários jatos simétricos que

incidem na turbina em pontos igualmente espaçados, de forma colocarem a turbina a rodar de uma forma estável.

Em ambos os casos o mecanismo que faz a medição pode estar totalmente ou parcialmente imerso no fluído, ou ainda completamente isolado [23] [24].

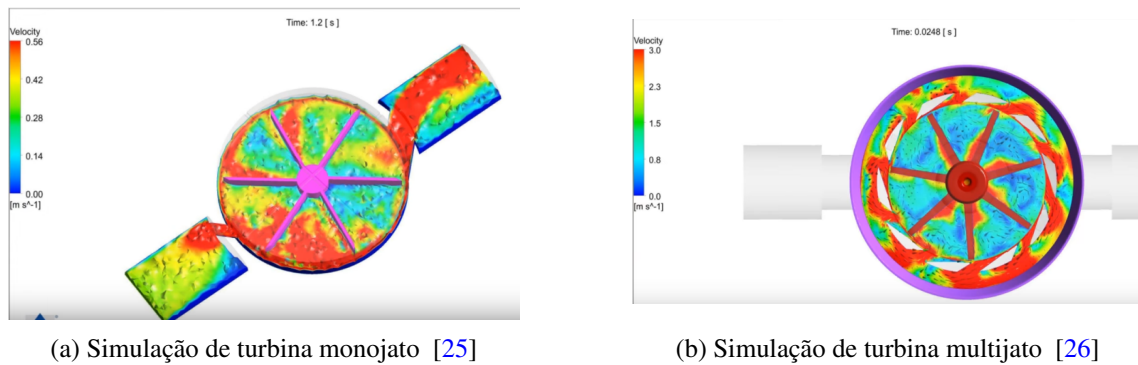


Figura 2.2: Simulação de contadores com princípio de medição de velocidade

Já o contador volumétrico, ou de deslocamento, possui uma câmara cujo volume é conhecido com um elevado grau de exatidão. Essa câmara tem uma parte móvel, colocada de forma a descrever um movimento periódico sempre que é atravessada por água. O período desse movimento é proporcional ao volume de água. O número de revoluções da parte móvel é contado, podendo assim ser determinado o volume de líquido consumido. Dois tipos comuns de medidores volumétricos são o medidor de pistão e o de disco. Ambas as soluções podem ser melhor compreendidas por observação da figura 2.3.

O contador de disco consiste numa câmara dividida por um disco 2.3a. Para a água atravessar a câmara é necessário que o disco complete uma rotação completa. Já que o volume necessário de líquido para completar essa rotação é conhecido, é apenas necessário conhecer o número de rotações do disco para poder obter o volume consumido [27].

Para o contador de pistão existem duas versões bastante utilizadas. A primeira consiste em quatro cilindros cujo volume é conhecido 2.3b. O movimento dos pistões faz com que um pino central inclinado descreva um movimento circular. Para que a água circule deve entrar num cilindro. Visto que o volume de cada cilindro é conhecido e que o seu movimento faz o pino central descrever um quarto de circunferência, é possível determinar o volume total consumido contando o número de rotações do pino central [28].

A segunda versão denomina-se contador de pistão oscilante e pode ser encontrado na figura 2.4. O líquido entra numa câmara (em que o volume é conhecido) que contém um pistão que faz movimentos circulares em torno do eixo central do contador. A posição do pistão divide a câmara em dois compartimentos. O movimento do líquido faz com que o pistão entre em rotação, sendo que o seu movimento é contado de forma a obter o volume consumido [29] [30]. Os contadores de pistão apresentam reduzido erro de leitura e grande amplitude de caudais [31].

A grande vantagem da utilização dos medidores volumétricos ao invés dos de velocidade prende-se com a exatidão das leituras ao longo do tempo e a previsibilidade da contagem. Os

erros de medição dos volumétricos nunca serão por excesso, já que a sua única fonte de erro são as fugas. Neste caso, e devido à deterioração dos materiais ao longo dos anos, o contador volumétrico só tende a perder contagem, nunca prejudicando o consumidor. Já o contador de velocidade pode apresentar comportamentos que o levem a fazer sobre-contagens [32].

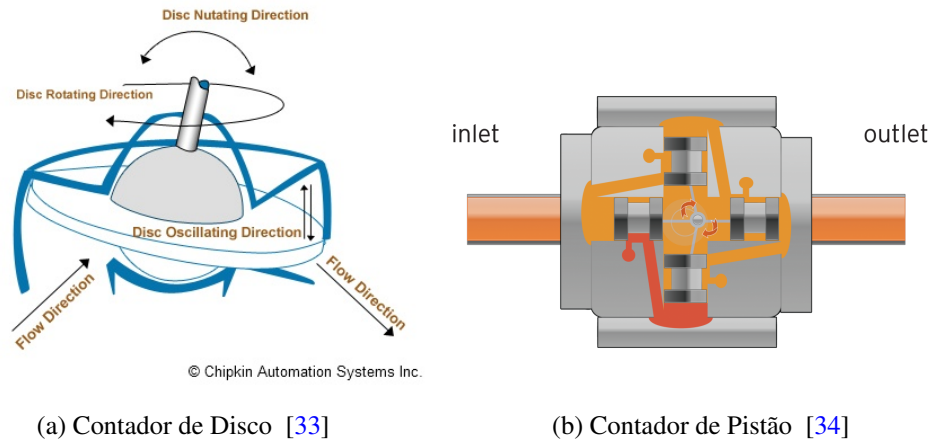


Figura 2.3: Esquema de funcionamento de contadores de disco e de pistão

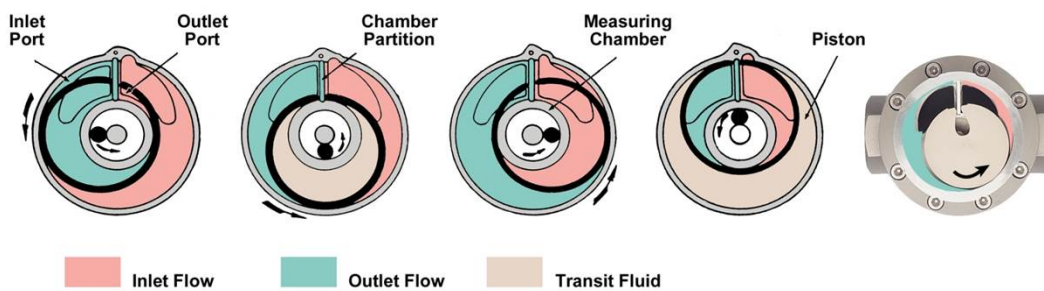


Figura 2.4: Contador de Pistão Oscilante [2]

Verifica-se que os contadores apresentados são soluções completamente mecânicas. Assim sendo, falta discutir a forma como estes conseguem aproveitar o movimento das suas partes móveis para alterar o mostrador. Essa função é usualmente cumprida por um conjunto de ímanes permanentes que faz a transmissão de movimento da turbina para o contador. Este princípio de funcionamento pode ser observado com maior pormenor em [35], onde se executa uma desconstrução de um contador comum. Em contadores mais antigos utilizava-se tecnologia baseada apenas em rodas dentadas [36].

### 2.1.2 Contadores industriais

Fora do contexto residencial são já utilizados outros princípios de funcionamento, entre eles contadores eletromagnéticos e ultrassônicos.

Os primeiros utilizam a Lei da Indução de forma a medir a velocidade do fluxo. Para que este contador funcione, em primeiro lugar é necessário que o fluído esteja ionizado. De seguida, aplica-se um campo magnético uniforme na secção da canalização. Perpendicularmente colocam-se dois eléctrodos que conseguem medir diferenças de potencial. Quando não há fluxo de líquido, as partículas eletricamente carregadas estão distribuídas de forma uniforme e nenhuma tensão é medida. Quando existe fluxo, o campo magnético aplica uma força nas partículas do líquido, que é perpendicular tanto à direção da corrente de partículas carregadas como ao campo magnético aplicado, "arrastando-as" para as paredes do tubo onde se encontram os eléctrodos. Obtém-se assim uma tensão proporcional ao fluxo 2.5a. Quanto maior a velocidade do líquido, maior é a força aplicada nas partículas e maior é a tensão obtida [37].

Os segundos utilizam ultrassons para o mesmo efeito. Este tipo de sensores é realizado pela introdução de um segmento com um transdutor ultrassónico em cada extremo. A forma de medição é bastante simplificada: é enviado um sinal acústico de A para B e de seguida um de B para A. De seguida, são medidos os intervalos de tempo que os sinais levam a percorrer o percurso ( $TOF_{ab}$  e  $TOF_{ba}$ ) 2.5b. Como a onda sonora é propagada pela água, se a onda se move na direção do fluxo o tempo que esta demora a fazer o percurso é menor e o inverso ocorre quando se move na direção contrária ao fluxo. Assim, a diferença destes dois intervalos é proporcional à velocidade e, logo, ao caudal de líquido que percorre o segmento.

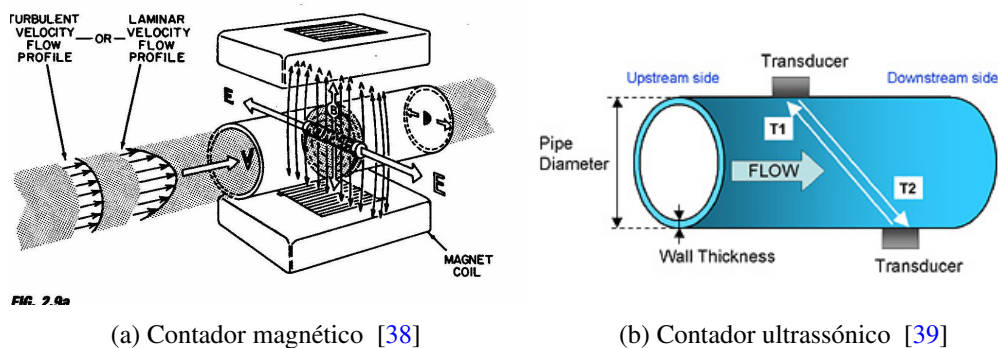


Figura 2.5: Funcionamento de contadores magnéticos e ultrassónicos

Outros contadores como os de área variável ou de pressão podem também ser utilizados, no entanto ambos são soluções mais especializadas e invasivas no circuito de água e não seriam úteis para o trabalho em questão.

### 2.1.3 Smart-meters

Um *smart-meter* é um dispositivo eletrónico que visa a medição de consumo de eletricidade, água ou gás, e que permite a consulta quase em tempo real, tanto por parte do consumidor como da empresa fornecedora, da quantidade do bem consumida num determinado intervalo de tempo. Estes são, normalmente, propriedade da entidade fornecedora do bem, enviando a informação

do consumo, pelo menos diariamente, sendo que a frequência de medição pode ser bem mais reduzido.

Estes dispositivos permitem comunicação bidirecional que pode ser cablada ou sem fios. Levam a um conhecimento mais profundo dos hábitos de consumo do utilizador, podendo levar à poupança monetária e energética, tanto dos fornecedores, como dos consumidores.

Foram já concebidos várias pilhas protocolares de comunicação com e sem fios para reger a comunicação dos *smart-meters*. A norma europeia EN13757 [40], ou Wireless M-bus, define camadas físicas, ligação e aplicação para a leitura remota de leitores de gás e eletricidade, sendo que pode ser utilizada para leitores de outros bens. O *M-bus* apresenta uma versão com e sem fios. A primeira utiliza apenas 2 fios, sendo assim uma solução bastante económica. A segunda utiliza sinal rádio para a comunicação. Segundo esta norma, os leitores enviam a sua informação de consumo para um mestre comum, como um computador portátil, após receberem um pedido de informação. Este mestre pode ter de ser ligado fisicamente à rede (para o caso da comunicação cablada) ou pode fazer pedidos e receber as respostas através dum *modem*, para o caso da comunicação sem fios. A comunicação com dispositivos externos, baseia-se na norma europeia EN13757, ou Wireless M-Bus, que opera em várias frequências ISM e tem um alcance que pode chegar aos 1000 metros na banda 868 MHz [41].

Existem também protocolos definidos pelo IEC, o IEC 61107 [42] (já retirado) e IEC 62056 [43], que são também utilizados em *smart-meters* dentro da União Europeia.

O utilizador, tendo acesso direto e facilitado ao consumo do bem, pode acompanhar o efeito que os seus hábitos diários têm sobre a fatura mensal. Caso este deseje, pode controlá-los afetando assim o quanto gasta do bem e a sua despesa. Estudos apontam para uma redução de 3 a 5% do consumo de eletricidade e até 30% para o caso da água, em habitações que utilizam *smart-meters* com *feedback* [7] [22] [44]. Este conhecimento dos hábitos de consumo pode originar também o aparecimento de tarifários economicamente mais vantajosos, tanto para consumidor como para fornecedor.

Várias estratégias de implementação de *smart-meters* nas habitações já foram adotadas. Devido à larga escala, ao investimento necessário e ao facto do seu mercado energético ser liberalizado, decidiu-se salientar a estratégia adotada pelo Reino Unido, que força todos os fornecedores de energia elétrica a operar no seu território a equipar *smart-meters* nas habitações dos seus consumidores até 2020. É um plano avaliado em 11 mil milhões de libras que prevê equipar cerca de 53 milhões de equipamentos [45].

No entanto, esta estratégia não aparece sem os seus problemas. Num artigo no jornal britânico *The Guardian* [45], relata-se que estes dispositivos perdem todas as suas funcionalidades quando o consumidor quer mudar de fornecedor e até de tarifário dentro do mesmo fornecedor. Discute-se também o elevado custo desta ação para que no final a poupança expectável seja de somente 3%. Outros detratores dos *smart-meters* apontam para a perda de privacidade e o perigo de ataques informáticos que possam levar à corrupção dos seus dados de consumo.

Verifica-se, no entanto, num relatório do *American Council for an Energy-Efficient Economy* [46], que a diminuição de consumo por parte dos utilizadores está altamente ligada à forma como estes

têm acesso aos seus consumos: *feedback* em tempo real ou diário tende a gerar reduções na ordem dos 10%. Conclui-se também que o *feedback* em tempo real é mais apropriado para a perceção de consumo de eletrodomésticos pequenos que nem sempre estão ligados (luzes, televisão ou computador) enquanto que *feedback* mais espaçado temporalmente tende a ser melhor para avaliar o impacto de grandes cargas, como o aquecimento ou frigorífico. É então necessário, para além do desenvolvimento tecnológico, um desenvolvimento na comunicação de resultados e da formação do utilizador para a monitorização e tomada de ação sobre os seus consumos de forma a que se possa tirar um aproveitamento sério da tecnologia.

## 2.2 Análise de soluções comerciais

O primeiro foco da pesquisa foi encontrar produtos semelhantes ao sistema desejado nesta dissertação que estejam já a ser comercializados. Estes representam soluções já estabelecidas e com espaço no mercado, sendo assim importante considerar os seus princípios de funcionamento e uma potencial adaptação para a proposta final.

### 2.2.1 Amphiro

A primeira solução encontrada foi o Amphiro [47]. Este é um medidor de fluxo de água, bem como da sua temperatura, a ser aplicado tipicamente em chuveiros.

O Amphiro deve ser aplicado em série com a tubagem do chuveiro de forma a aproveitar a energia cinética da água que o atravessa para alimentar o seu sistema. Este conta com um caudalímetro e um termómetro para que, simultaneamente, se obtenham as medidas do volume de água utilizado numa sessão e a temperatura atual da água. Estas medidas são apresentadas em tempo real num pequeno indicador LCD. Para além de dados de consumo, o Amphiro dispõe de uma animação dinâmica para sensibilizar o utilizador a reduzir consumos, tanto de água, como energético - para o aquecimento da água. A figura 2.6 apresenta um diagrama da instalação deste sistema em situações normais.

Estudos conduzidos por várias instituições em parceria [22] apontam para reduções de consumo de cerca de 20% devido ao *feedback* imediato que o Amphiro proporciona. Apesar de não haver informação técnica sobre a forma de obtenção de medida do volume de água, admite-se que seja utilizando um microgerador que também alimenta o sistema.

### 2.2.2 Lesira-Teq

Uma outra solução, já bastante mais próxima daquilo que é pretendido no trabalho, visto ser um sistema realizado para medir o consumo de água numa habitação com telemetria de resultados para uma plataforma *online*, é o medidor CM868 [48] da Lesira-Teq 2.7a. Este conta com um tempo de bateria de 10 a 17 anos, relatórios de consumo diários, semanais e mensais, alertas via SMS ou aplicação móvel e deteção de fugas. Conta também com vantagens para empresas



Figura 2.6: Medidor inteligente do volume e temperatura da água consumidos: Amphiro [3]

distribuidoras de água, como o registo de coordenadas GPS de cada dispositivo, deteção de *bypass* do medidor e obtenção de leituras centralizadas.

Infelizmente, a empresa não divulga informação técnica sobre o funcionamento do dispositivo, motivo pelo qual este foi apenas uma fonte de inspiração para funcionalidades. A solução da Lesira-Teq é portanto uma solução que se pretende replicar, dentro de certos parâmetros, com a tecnologia escolhida para o efeito.

### 2.2.3 Kamstrup

Outra empresa especializada na área dos *smart-meters* é a dinamarquesa Kamstrup [49]. Esta empresa apresenta soluções de medição para complexos residenciais, industriais e municipais.

Aqui será somente abordado aquela de maior interesse para este projeto: a solução residencial 2.7b. Esta solução apresenta leituras via sensor ultrassónico e para comunicar utiliza o *Wireless M-bus* [40], um protocolo utilizado para leituras remotas de medidores de consumo. Apresenta uma bateria de lítio desenhada especialmente para o dispositivo com um tempo de vida de até 16 anos. Este sensor pode fazer medição de fluxo e temperatura, avisos de fugas, fluxo inverso e *bypass* [50]. Já que para medir o volume de água o contador utiliza sensores ultrassónicos, este não tem qualquer parte móvel.

### 2.2.4 Análise comparativa das soluções encontradas

As três soluções já apresentadas, apesar de não serem únicas, apresentam diversas abordagens para a resolução do problema, sendo assim representativas do que pode vir a ser a proposta final.



(a) Lesira-Teq CM868 [48]

(b) Kamstrup Multical 21 [49]

Figura 2.7: Soluções da Lesira-Teq e da Kamstrup

Ideias para funcionalidades e outros aspetos técnicos como a medição e tipo de alimentação foram ponderados de forma a conceber uma solução competitiva, quer economicamente, quer em termos de medição.

O Amphiro é uma solução inteligente, mas que não se enquadra bem no objetivo deste trabalho, que é criar um contador para o consumo de toda a habitação. Isto implicaria que o sistema tivesse de ficar sempre ligado. O *feedback* também não seria tão imediato, logo não se pode teorizar sobre a redução de consumos que se possa obter. No entanto, toda a secção de recolha de dados seria de replicar. O Amphiro possibilita aos seus utilizadores ter um histórico *online* do seu consumo e assim acompanhar a sua evolução.

Quanto à solução da Lesira-Teq, apesar de não se ter encontrado informação suficiente sobre o seu funcionamento ao nível da contagem, foram retiradas ideias para funcionalidades do contador inteligente. As soluções são mais indicadas para o uso por empresas de distribuição de água (veja-se a localização GPS, deteção de *bypass*, obtenção de leituras centralizadas) e não pelo consumidor. No entanto destacam-se algumas proveitosas para o consumidor, nomeadamente relatórios de consumo diários, semanais e mensais; alertas via SMS ou deteções de fugas. Estas seriam uma adição interessante e com bastante valor à proposta final.

A solução da Kamstrup apresenta um método de medição bastante interessante (ultrassónico) que deverá ser considerado. Isto pois o facto de não ter partes móveis torna o seu desenvolvimento mais simplificado, bem como aumenta a sua durabilidade.

## 2.3 Análise de soluções académicas

Nesta secção serão abordadas soluções apresentadas em trabalhos académicos para o problema em questão. Estas soluções apresentam métodos diferentes dos anteriormente abordados e representam mais uma fonte de ideias para ter em conta na análise para a criação proposta. Cada subsecção tem como título o nome do artigo no qual foi baseada, bem como a referência para o mesmo. Para finalizar, as soluções serão, dentro do que é possível e lógico, comparadas.

### **2.3.1 *Wireless digital water meter with low power consumption for automatic meter reading* [51]**

Este artigo descreve o desenvolvimento de um contador que funciona a baterias, com um tempo de vida de 8 a 9 anos.

O contador utiliza três sensores de efeito de Hall de forma a realizar as medições. Trata-se de um contador de velocidade com um íman acoplado no topo da turbina. Os três sensores irão detetar a rotação do campo magnético gerado pelo íman e assim contar o número de rotações da turbina. O facto de se ter usado três sensores prende-se com o objetivo de medir tanto o número de rotações como o sentido dessa rotação. De forma a diminuir o consumo energético, enquanto não existe fluxo de água, só um dos sensores está ativo.

Para fazer o processamento da informação do sensor foi utilizado o microcontrolador MSP430 da Texas Instruments, devido ao seu baixo consumo.

Apresenta também um *display* LCD que só está ativo quando um botão é premido. Desta forma poupa-se energia ao ter o LCD a funcionar somente quando é necessário.

Para a comunicação foi escolhido o protocolo Zigbee que envia informação dos consumos, sem fios, para uma *gateway*.

Foram conduzidos estudos de consumo ao sistema completo e verificou-se que quando alimentado com duas pilhas de 3V, 3000 mAh, era expectável que o sistema funcionasse cerca de 8 anos.

### **2.3.2 *Energy autonomous wireless water meter with integrated turbine driven energy harvester* [52]**

A solução apresentada é o resultado de uma iniciativa de 5 empresas que ambicionavam desenvolver um contador de água que pudesse enviar as leituras automaticamente e funcionasse sem ligação à rede elétrica. Esta iniciativa denominava-se projeto WiMBex [53]. Esta solução obedece à norma europeia EN13757, que rege a comunicação automática com dispositivos de medição de consumos.

Na figura 2.8 pode ser observado o sistema desenvolvido. Este utiliza um contador comercial ao qual acoplaram um sistema que trata de fazer a medição, cujo princípio de funcionamento não é descrito na proposta.

Em série foi colocada uma turbina que toma partido da energia cinética da água para produzir energia elétrica que vai alimentar todo o sistema. A energia produzida desta forma estaria dependente do caudal e da pressão da água na canalização, fornecendo assim uma alimentação instável e flutuante. Sendo assim, foi utilizado uma bateria recarregável, que acumula energia e fornece-a quando o dispositivo necessitar para manter o seu funcionamento, sempre de uma forma estável e previsível.

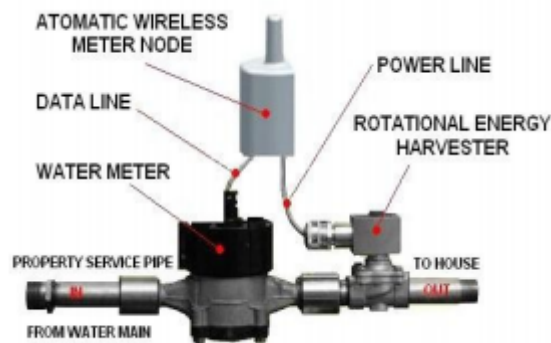


Figura 2.8: Contador de água desenvolvido no âmbito do projeto WiMBex [52]

### 2.3.3 *Build a wireless water meter for your home* [54]

Esta solução consiste na utilização de uma bússola digital, ou magnetómetro de 2 eixos, instrumento que mede a direção do campo magnético, acoplado ao contador de água já existente na casa. Como visto no capítulo 2.1, uma quase totalidade dos contadores empregados para a medição do consumo recorre ímanes permanentes para fazer a ligação do circuito mecânico do contador e do da turbina. Caso esteja bem posicionado, é então possível detetar essa rotação utilizando o magnetómetro e assim contar o número de rotações da turbina, disco ou pistão utilizados.

O sinal do magnetómetro é processado por um microprocessador (Arduino) a cada 3 segundos e posteriormente envia a leitura por cabo (de 4 fios, dois para alimentação do Arduino e 2 de sinal com níveis de tensão do RS232) para uma plataforma computacional (Raspberry Pi). Este Raspberry tem como função criar e continuamente atualizar (a cada 10s) uma página *web* onde o utilizador pode a qualquer hora verificar o volume de água utilizado e o caudal da água.

No artigo o autor revela que o dispositivo não está calibrado mas uma análise comparativa de várias medições permitiu-lhe garantir que estas eram consistentes.

### 2.3.4 Análise comparativa das soluções

É interessante analisar que duas das soluções apresentadas utilizam sensores magnéticos para efetuar a contagem de água. Esta é uma solução vantajosa visto os contadores normais utilizaram fenómenos magnéticos para desempenharem a sua função. Assim, a adição de sensores que consigam detetar esses fenómenos simplifica o desenvolvimento de um contador eletrónico mais simples.

Observa-se também que todos utilizam um microprocessador de forma a processar a informação dos sensores. Esta utilização deve-se ao facto das soluções serem complexas a nível de *software*, visto incorporarem outras funções para além da contagem do volume de água, como por exemplo, conseguem detetar fluxos inversos e fugas, bem como a temperatura da água.

Todas as soluções apresentadas efetuam várias leituras diárias, sendo que aquela em [54], visto utilizar alimentação da rede elétrica e logo o consumo energético não ser um fator, pode atualizar as leituras mais frequentemente, fazendo-o a cada 10 segundos.

A alimentação elétrica do sistema varia entre soluções. [51] utiliza exclusivamente baterias, [52] utiliza um gerador que aproveita o fluxo de água para produzir a energia necessária para o funcionamento da eletrônica. Utiliza também uma bateria para estabilizar a potência a fornecer ao circuito. Já [54] utiliza diretamente a rede elétrica para alimentar a solução.

## 2.4 Sigfox e a IoT

### 2.4.1 Internet of Things

A *Internet of Things* é o conceito de interligar à *Internet* qualquer dispositivo físico. Em uso doméstico esse dispositivo poderia ser um eletrodoméstico, persianas, portas ou o contador de eletricidade, gás ou água. Pretende-se facilitar o dia-a-dia do utilizador e dar-lhe um novo grau de conhecimento sobre as suas ações, as quais pode monitorizar e alterar com base em dados adquiridos sem esforço.

Com, por exemplo um eletrodoméstico ligado à *Internet*, o utilizador pode pô-lo em funcionamento, por exemplo colocando a máquina de lavar em funcionamento com o telemóvel, bem como escolher o seu modo de funcionamento, ativar e desativar funcionalidades e recolher informação sobre o funcionamento desse equipamento [55]. Esta é uma das mais recentes revoluções tecnológicas e, certamente, a que mais promete influenciar as nossas vidas num futuro próximo [56].

Várias empresas já iniciaram este processo de ligação de equipamentos à *Internet*. Nas secções seguintes será apresentado o sistema de comunicação a utilizar nesta dissertação, o Sigfox, que será posteriormente comparado com várias outras soluções semelhantes existentes atualmente no mercado, como o LoRaWAN.

### 2.4.2 Sigfox

A Sigfox [12] é uma multinacional francesa, operadora de telecomunicações, responsável por desenvolver redes sem fios que ligam equipamentos de muito baixo consumo, como por exemplo contadores de eletricidade, água e gás, eletrodomésticos ou plataformas meteorológicas amadoras, à *Internet* ou, em casos especiais, entre si.

As redes criadas usando a pilha protocolar Sigfox são denominadas de *Low Power Wide Area Networks* (LPWAN). Estas redes são especialmente concebidas para permitir comunicações de longo alcance. A sua velocidade de comunicação é geralmente bastante reduzida (100-600 bps) devido ao seu elevado comprimento de onda e reduzida largura de banda [57]. O aparecimento destas redes veio permitir a expansão das comunicações *Machine to Machine* (M2M), já que permitiu baixar o consumo energético dos dispositivos ligados e reduziu o preço dos dispositivos [58].

Para obter uma solução que implemente a pilha Sigfox é necessário possuir um módulo de comunicação que pode ser fornecido por vários fabricantes (e sempre validado pela empresa) e cobertura na área geográfica onde o sistema vai ser implementado, que pode ser obtida no *website* da empresa. Neste momento, existem 29 países com cobertura total, a maioria na Europa,

perfazendo uma área de 1.7 milhões de  $km^2$  e uma população superior a 470 milhões de pessoas. [12]

O Sigfox utiliza tecnologia *ultra-narrow band* (UNB) para estabelecer uma comunicação bidirecional entre equipamentos e uma *base-station* proprietária. Assim que uma *base-station* recebe uma mensagem dum dos dispositivos na área que esta cobre, envia a mensagem para a *cloud* da Sigfox. Depois deste processo, a informação é enviada para uma *cloud* individual, a do utilizador, onde este consegue visualizar e manipular a informação obtida [4]. A figura 2.9 descreve o percurso que uma mensagem faz desde que é produzida até que chega ao utilizador.

A tecnologia UNB possibilita o envio de mensagens em canais com largura de banda geralmente inferiores a 200 Hz. O alcance deste tipo de sinais pode superar os 30 km em meios rurais. Outra das vantagens da tecnologia UNB é a forte imunidade a ruído: como o sinal tem uma largura de banda muito pequena, os recetores terão filtros também com uma largura de banda pequena, removendo assim uma grande parte do ruído do sinal [59].

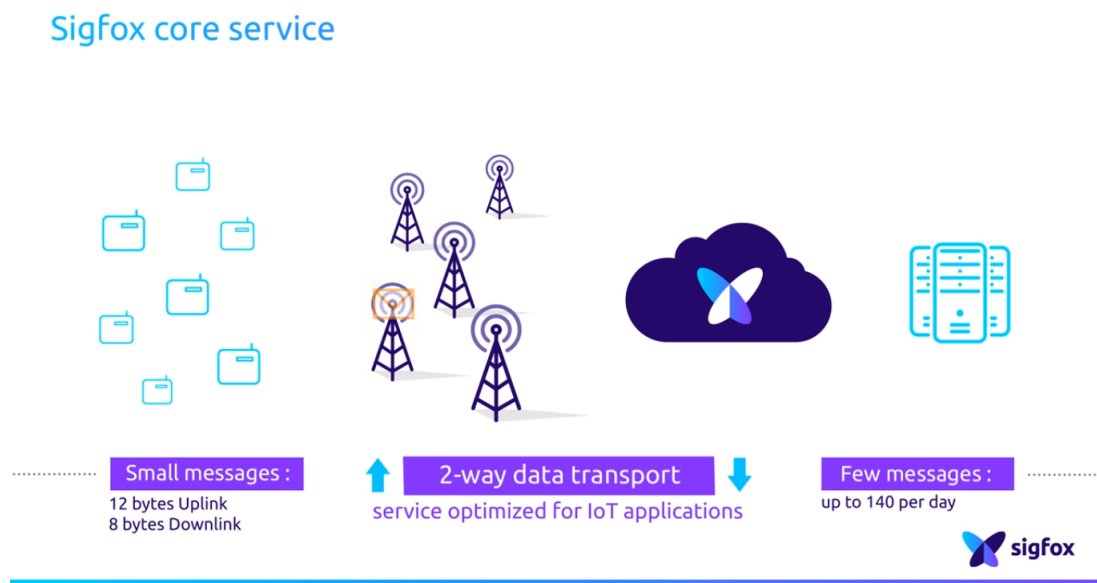


Figura 2.9: Ilustração do funcionamento numa rede Sigfox [4]

#### 2.4.2.1 Pilha protocolar

A figura 2.10 apresenta uma representação gráfica da pilha protocolar Sigfox.

Verifica-se que é uma pilha de 3 camadas: *frame*, que incorpora as camadas de rede e transporte do modelo OSI, sub-camada de acesso ao meio e física.

Esta pilha, que é fornecida aos produtores de *modems* sem qualquer custo, está localizada entre o *modem* e a rede Sigfox. É utilizada pelos dispositivos para poder modular e transmitir a sua mensagem.

Vai então analisar-se a função de cada camada. Começando pela *frame*, esta recebe o *payload* da camada de aplicação e gera a *frame* ao qual um número de sequência é adicionado.

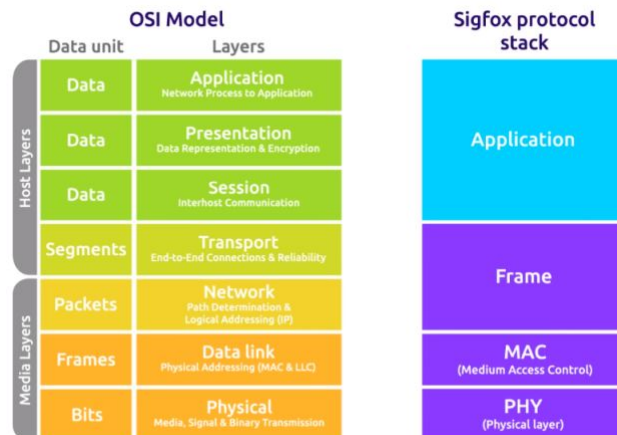


Figura 2.10: Pilha protocolar Sigfox [5]

De seguida encontra-se a camada de ligação de dados. Esta adiciona campos à *frame* para a identificação do dispositivo e parâmetros que permitem a deteção de erros. Visto não existir nenhum sinal de sincronismo, os dispositivos nunca estão sincronizados com a rede. Desta forma não ocupam o meio de forma aleatória.

Por último, a camada física determina o formato físico dos sinais Sigfox. Para codificar as mensagens, o protocolo utiliza o método *Differential Binary Phase-Shift Keying*, ou D-BSPK, mudando a fase do sinal da onda portadora de acordo com o valor lógico do *bit*, para mensagens *uplink*, e *Gaussian Frequency Shift Keying*, ou GFSK, que filtra o sinal com um filtro gaussiano para suavizar as transições, reduzindo a potência necessária e interferência com outros canais, para a mensagem de *downlink*. O sinal é enviado com *bitrate* de 100 bps na Europa ou 300 bps no continente americano. Quanto à potência de transmissão, pode alcançar 14 dBm em países europeus ou 22 dBm na América. As frequências de operação são também ditadas nesta camada, sendo de 868 MHz na Europa e de 915 MHz nos EUA. Estas são frequências da banda ISM (*Industrial Scientific and Medical*), bandas reservadas a nível internacional para uso de comunicações por radio frequências em aplicações industriais, científicas ou médicas. Como tal, o *duty-cycle* e o tempo de ocupação da banda por dispositivo deve ser o mais baixo possível.

#### 2.4.2.2 Tramas

Antes de mais é importante distinguir entre as tramas de *uplink* e *downlink*. As primeiras correspondem às mensagens enviadas pelos *modems* para as *base-stations* e as segundas no sentido contrário. Como visto na secção anterior, estas mensagens, para além de estruturas de tramas diferentes, têm também modulações diferentes.

Uma trama de *uplink* tem um *payload* de no máximo 12 bytes. Existirá um *overhead* de 14 bytes, onde figura um *timestamp* e uma identificação do módulo, bem como informação para autenticação e deteção de erros, perfazendo uma mensagem de tamanho máximo de 26 bytes 2.11. O protocolo Sigfox impõe também um limite de 140 mensagens diárias [13] [60].

As tramas de *downlink* têm um *payload* mais reduzido, de 8 bytes. Estas mensagens também têm um limite diário, porém bem mais reduzido. São apenas 5 por dia.

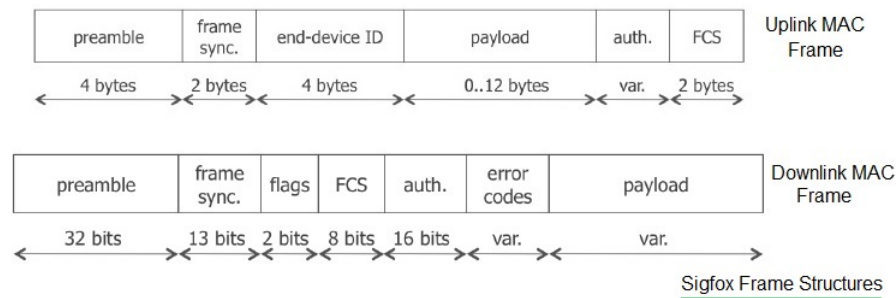


Figura 2.11: Formato duma trama Sigfox [6]

As mensagens de *downlink* são somente utilizadas como um *acknowledgement* que o utilizador pode ou não ativar. Para o fazer deverá indicá-lo na *payload* da mensagem de *uplink* e deverá ativar também a opção no *backend*. O *payload* das tramas de *downlink* pode ser editado pelo utilizador recorrendo à plataforma de *backend* da *cloud* da Sigfox

### 2.4.2.3 REST API e serviço de *callback*

Existem duas soluções para obter as mensagens armazenadas na *cloud* da Sigfox.

A primeira utiliza um serviço de *Representational State Transfer* (REST). É uma das formas de providenciar interoperabilidade entre sistemas computacionais pela *Internet*. Os serviços REST permitem a um sistema aceder e manipular representações textuais de recursos *web*, um conceito algo abstrato que pode ser definido como qualquer objeto ou entidade identificável e endereçável na *web*, utilizando operações predefinidas e uniformes. Os pedidos ao serviço são feitos utilizando operações definidas pelo protocolo HTTP (GET, POST, PUT, DELETE ...) e as respostas tipicamente vêm em formato XML, HTML ou JSON.

O API REST do Sigfox, permite descarregar todas as mensagens e respetivos dados auxiliares (hora de receção, força do sinal, estação de envio, ...) associadas a um dispositivo em formato JSON, via pedido HTTP GET. No entanto este não é o método mais indicado para recolher mensagens visto que tanto o servidor utilizado teria de estar constantemente a pedir novas leituras à *cloud* Sigfox, ocupando tempo de processamento em ambos. A API REST é então mais utilizada para adicionar ou eliminar dispositivos na rede ou verificar informação geográfica. Também é utilizado para editar o serviço mais apropriado para recolher as mensagens: *callback*.

O serviço de *callback* permite, ao definir um URL ou endereço de correio eletrónico, enviar a informação de uma mensagem assim que a *cloud* a recebe. Existem também *callbacks* de Erro e de Serviço. Os primeiros enviam um pedido HTTP para um servidor cujo endereço URL é definido sempre que algum erro seja detetado na comunicação. Os segundos fazem semelhante pedido, porém para informar sobre o estado de funcionamento do dispositivo (nível de bateria, temperatura, número de identificação,...). É também possível definir a mensagem que a *cloud* envia como *acknowledgement* através da resposta ao pedido de *callback*.

### 2.4.3 Análise comparativa de protocolos de comunicação da IoT

Já que a utilização de tecnologia Sigfox é um requisito do trabalho, não se deu tanta atenção às suas alternativas. Neste secção pretende-se reparar isso, discutindo duas hipóteses para tratar das comunicações da solução (a LoRaWAN e o Zigbee), compará-las em diversos parâmetros com o Sigfox, e teorizando sobre as possíveis vantagens do seu uso face à tecnologia utilizada.

#### 2.4.3.1 LoRaWAN

O LoRaWAN é um protocolo da camada de acesso ao meio para redes públicas de larga escala. Foi criado para permitir que equipamentos de baixo consumo comuniquem com aplicações *online* utilizando tecnologias sem fios.

A especificação define três classes de dispositivos: classe A, implementada por todos os dispositivos, classe B e classe C, que são extensões da classe A.

A arquitetura deste tipo de redes é tipicamente em estrela em que uma *gateway* faz de ponte entre os dispositivos e um servidor central. Existe comunicação bidirecional entre dispositivo e *gateway*, sendo que sempre que uma mensagem *uplink* é enviada, abrem-se duas janelas de receção de mensagem de resposta. A classe B faz com que essas janelas de receção sejam periodicamente abertas. A classe C mantém sempre essas janelas abertas tirando quando o dispositivo está a transmitir.

Os equipamentos LoRa operam na gama das ondas rádio de baixa frequência. Na Europa encontram-se nas bandas 863-870 MHz e 433 MHz, podendo oferecer canais com várias larguras de banda, sendo a mais pequena de 125 kHz. Visto que são gamas de frequências públicas, a legislação europeia impõem um limite máximo no *duty-cycle* dos dispositivos de 1%. Ou seja, não podem estar perpetuamente em envio de mensagens. Desta forma é preciso fazer uma gestão inteligente do conteúdo a enviar e do tempo de envio. Verifica-se, nesta área, uma grande semelhança com tecnologia Sigfox.

As mensagens LoRaWAN utilizam modulação LoRa (*chirp spread spectrum*), responsáveis pela redução de ruído de canal e redução do efeito de Doppler. Cada dispositivo é identificado universalmente com um registo único de 64 bits e, dentro de cada rede, são-lhe atribuídos identificadores de 32 bits.

#### 2.4.3.2 Zigbee

Zigbee é uma especificação para WPAN (*wireless personal area network*) de equipamentos de baixo consumo. Baseia-se na especificação IEEE 802.15.4 e opera em gamas de frequências não licenciadas (2,4 GHz, 900 MHz e 868 MHz).

Esta tecnologia é aqui incluída visto poder ser ligado à rede *WiFi* caseira e, dessa forma, enviar informação para um servidor central. Este método foi utilizado na solução [51].

Foi concebido para redes de baixo consumo e baixo *duty-cycle* com *baud-rates* que podem ir até 250 kbits/s.

A especificação suporta diversas topologias de rede, sendo que a mais utilizada será a rede *mesh*. Cada dispositivo possui 240 *endpoints* e um endereço de 16 bits. As suas características de baixo consumo limitam o alcance do sinal para uma distância de poucas dezenas de metros. No entanto, devido ao facto de se poder criar uma rede *mesh*, este alcance pode ser aumentado.

### 2.4.3.3 Análise comparativa

A tabela 2.1 apresenta informação sobre diversos parâmetros de protocolos da IoT, como o Sigfox, o LoRaWAN e Zigbee.

Tabela 2.1: Comparação de vários protocolos da IoT [12] [13] [14] [15] [16] [17]

Protocolo	Sigfox	LoRaWAN	ZigBee
Proprietário	SIGFOX	LoRa Alliance/ Semtech	ZigBee Alliance
Tipo de Protocolo	Fechado, precisa de licença para implementar	Aberto, mas precisa de módulo da Semtech para implementar pilha protocolar	Aberto para fins não comerciais
Cobertura geográfica	Necessita de base-stations. Cobertura na Europa, EUA, Austrália, entre outros.	Precisa de gateway que pode ser adquirida por utilizador ou propriedade de fornecedores de serviço	Integração com WiFi e GSM. Basta existir cobertura destas redes.
Alcance	3-10 km (cidade) 30-50 km (campo aberto)	2-5 km (cidade) 15 km (campo aberto)	10 - 15 m
Número máx. de nós	Depende de número de mensagens por dispositivo, teoricamente milhões por base-station	Depende do setup da rede, pode chegar aos 4 milhões de dispositivos por nó	Máximo de 65535 mas depende do tipo de rede criada
Tamanho máx. do payload	12 bytes	222 bytes	Função do número de elementos da rede mesh - máximo de 104 bytes
Frequência	868 MHz (Europa) ISM	433, 863-870 MHz (Europa) ISM	868 MHz (Europa) ISM
Baudrate	100-300 bps	0.3-50 kbps	20 - 250 kbps
Topologia da Rede	Estrela	Estrela	Estrela, árvore, mesh

Como pode ser observado, o Sigfox apresenta a taxa de transmissão mais baixa, bem como o maior alcance. Isto deve-se ao facto de enviar as mensagens com uma banda UNB. A maior vantagem do LoRaWAN face ao Sigfox é o tamanho da mensagem, que para o contador que é pretendido não terá grande influência. Outra grande vantagem é a comunicação verdadeiramente bidirecional, não havendo diferenças entre mensagens *uplink* e *downlink* nem limitações associadas a qualquer uma delas. Caso não exista cobertura na área da rede, criar uma rede LoRa de raiz é também mais económico.

O ZigBee opera com uma filosofia relativamente diferente. A sua principal valência é o facto de poder operar em rede *mesh* e assim expandir o seu alcance. No entanto, se se quiser fazer uma rede de sistemas de monitorização este teria de ser ligado à rede WiFi caseira ou rede celular (GSM) do utilizador e a partir daí enviar a informação de consumo.



## Capítulo 3

# Desenvolvimento da proposta

Neste capítulo é apresentada a solução proposta bem como o processo de decisão que levou à sua escolha e à escolha dos componentes que a constituem.

Em primeiro lugar são apresentados os requisitos de todo o sistema.

De seguida é apresentada a arquitetura implementada na solução, expondo-se uma divisão em blocos que será explorada, bloco a bloco, no seguimento do capítulo. Esta divisão facilita o processo de seleção de componentes e a estruturação do pensamento.

Para cada bloco são analisados os seus requisitos específicos, é feita uma análise comparativa das soluções possíveis de cumprir esses requisitos e uma caracterização mais aprofundada da escolhida. Por último, é ilustrada a arquitetura a nível de *hardware* do bloco em questão.

### 3.1 Análise de requisitos do sistema

Antes de ter sido considerada qualquer solução foi necessário definir os requisitos que o sistema tem de cumprir. Elaborou-se assim a seguinte lista:

1. Permitir uma leitura diária do volume de água consumido;
  - (a) Permitir alteração do tempo de leitura e do tempo de envio, variando o número de leituras diárias;
  - (b) Guardar histórico de leituras efetuadas e organizar por data;

Este é o ponto essencial do trabalho em questão. O facto de permitir alterações do número de leituras diárias e guardar o histórico de leituras é um acréscimo que permite ao utilizador melhor controlar os seus hábitos ao tornar mais simples fazer a correspondência entre esses hábitos e o seu consumo. O tempo de envio mencionado corresponde ao tempo necessário para receber uma mensagem do sistema. Já o tempo de leitura é o tempo que demora a fazer uma leitura.

2. Utilização de tecnologia Sigfox;
  - (a) Enviar leituras numa mensagem *uplink*;

- (b) Codificar alteração de parâmetros em mensagem *downlink*;
- (c) Utilizar serviços REST API e de *callbacks* para poder utilizar as leituras recolhidas;

A utilização do Sigfox é um dos principais objetivos da dissertação. Assim, para o usar é necessário desenvolver uma codificação que envie as leituras para a *cloud* da Sigfox. Visto que o Sigfox permite a alteração da sua mensagem de *downlink*, ou *acknowledgement*, essa também vai ser utilizada para que se possam alterar parâmetros de funcionamento do sistema. Assim sendo, é necessário criar uma forma de passar informação sobre esses parâmetros nessa mensagem.

Como também é necessário ter acesso à informação recolhida na *cloud*, serão usados os serviços REST e de *callback* para recolher as mensagens. O primeiro em caso de falha geral do sistema, pois em caso de perda de todo o histórico será preciso recuperar todas as leituras, e o segundo para receber a leitura mal esta seja recebida pela *cloud*.

### 3. Criação de uma Aplicação móvel;

- (a) Criar aplicação móvel para sistema operativo Android 4.0.3 ou mais recente, abrangendo mais de 95% dos dispositivos ativos;
- (b) Permitir visualização de consumo atual e histórico de consumos;
- (c) Previsão de custo da fatura mensal;
- (d) Apresentação gráfica do histórico de consumo;
- (e) Permitir mudanças no modo de funcionamento do sistema;
- (f) Permitir notificações de aviso de novas leituras, usos indevidos e usos excessivos;
- (g) Disponibilizar estatísticas de consumo;
- (h) Permitir acesso apenas utilizando *password*;

A criação da aplicação é a solução mais simples e confortável para o utilizador conseguir acompanhar o seu consumo diário. Quer-se que a aplicação possa correr na maior parte dos dispositivos móveis. Deve então ser uma aplicação para Android de forma a abranger a maioria dos dispositivos existentes e ativos. Nessa aplicação o utilizador deverá poder verificar o seu consumo atual, o histórico, os custos e receber notificações caso algo esteja errado no seu sistema.

### 4. Aviso ao utilizador para consumo indevido;

- (a) Detetar existência de consumo em ocasiões em que este não é suposto acontecer e notificar através da aplicação móvel. Estas ocasiões são definidas pelo utilizador também via aplicação móvel;

### 5. Aviso ao utilizador para consumo excessivo;

- (a) Detetar existência de consumo excessivo e notificar através da aplicação móvel;
- (b) Permitir ao utilizador alterar os parâmetros do aviso através da aplicação móvel;

De forma a avisar o utilizador de problemas no sistema ou habitação, é necessária a existência de vários alarmes, como a deteção de fugas ou uso excessivo e a deteção de uso indevido (utilização de água quando esta não deveria estar a ser utilizada).

6. Utilizar alimentação autónoma com tempo de duração superior a 7 anos, visto ser este o tempo de inspeção dos contadores normais;

A alimentação não poderá depender da rede elétrica visto esta poder ser de difícil acesso. Sendo assim deverá criar-se uma solução que utilize uma fonte de alimentação autónoma com grande durabilidade.

7. Solução ter um custo não superior às soluções encontradas em 2.2.

Pois a solução deve ser também economicamente competitiva.

## 3.2 Arquitetura geral da solução

Tendo em conta a lista de requisitos descritos na secção anterior, partiu-se em busca duma arquitetura que pudesse cumprir todos os pontos.

A arquitetura proposta para o sistema é apresentada na figura 3.1.

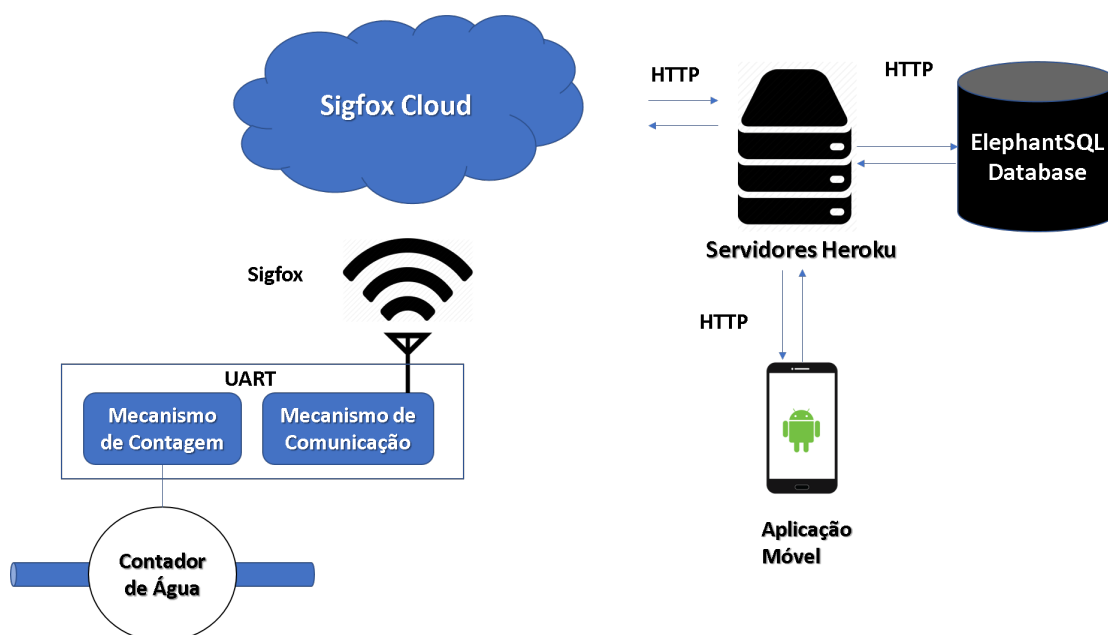


Figura 3.1: Diagrama de blocos da solução proposta

Como pode ser observado, existe um bloco local constituído pelos mecanismos de contagem e de comunicação que será responsável por recolher a leitura e transmiti-la para a *Cloud Sigfox*.

Existe também um bloco em *cloud*, constituído pelos servidores web da Heroku e a base de dados da ElephantSQL. Este bloco pode parecer desnecessário, no entanto a sua utilização liberta

o telemóvel de ter de armazenar e organizar um histórico de consumo, reduzindo o espaço que a aplicação iria ocupar e a volatilidade e insegurança de ter os dados armazenados do dispositivo móvel. Desta forma, a informação das leituras pode ser armazenada a qualquer hora, visto que os servidores estão sempre ativos, e pode ser acedida de qualquer lado e dispositivo, desde que o utilizador tenha acesso à *Internet* e as credenciais corretas.

Por último, o bloco da aplicação móvel. Com esta, o utilizador tem acesso ao seu consumo atual e histórico de consumo. Podem também alterar-se parâmetros de funcionamento do bloco local.

Cada um destes blocos é analisado mais pormenorizadamente nas secções seguintes.

### 3.3 Plataforma local

Nesta secção será abordado o bloco local presente na figura 3.1.

Em primeiro lugar serão identificados os componentes necessários para realizar o bloco. Será também apresentado o circuito utilizado para o realizar.

De seguida serão abordados os requisitos para cada bloco, será feita uma listagem das soluções possíveis bem como uma análise comparativa entre estas, apresentando finalmente a justificação para a escolha da solução em particular.

#### 3.3.1 Constituição do bloco

Numa forma quase intuitiva, é possível dividir a plataforma em dois blocos: um bloco correspondente ao sensor e um outro bloco computacional de leitura da informação do sensor e envio de informação para a *cloud* Sigfox.

De forma a garantir a longevidade da bateria, esta plataforma deve consumir o mínimo de energia possível. Também de forma a garantir a que as leituras sejam fidedignas e o erro limitado, esta solução deve ser baseada no contador de água fornecido pela rede e a partir do qual se fazem as leituras oficiais. Isto é, a solução deve contemplar o contador da habitação como informação sem erro e aproveitar-se desse facto para informar o utilizador.

Surgem assim duas hipóteses: colocar o mecanismo em série com o circuito de água da habitação, na sua entrada, ou dimensionar um mecanismo que possa ser adicionado ao contador de forma não invasiva, conseguindo então de alguma forma medir o consumo de água. Por motivos que serão apresentados adiante, optou-se por colocar um contador em série com o circuito.

#### 3.3.2 Sensor de contagem

O principal requisito do sensor é o seu consumo energético. Será dada assim prioridade a soluções de baixo consumo.

Outro dos requisitos a ter em conta é a adaptabilidade ao contador já presente na habitação. Isto é, o sensor poder recolher informação do contador sem qualquer interrupção ou modificação ao circuito da água. Este requisito não é obrigatório, mas seria uma mais valia para a solução.

### 3.3.2.1 Análise comparativa de soluções

Pela análise do Estado da Arte, em 2, é possível verificar a existência de várias soluções que podem parcialmente cumprir os requisitos.

**Medição de velocidade de rotação de uma turbina** Esta solução consiste em utilizar um gerador (ou parte dele) inserido na canalização. Este gerador teria 2 funções: a primeira seria utilizar a rotação do seu rotor como meio de estimar o volume de água consumido, a segunda seria alimentar todo o contador. Esta solução pode ser encontrada em vários sistemas já discutidos como [7], [8] e [47].

Vários tipos de geradores foram encontrados. Tomando o exemplo de [7], pode utilizar-se uma microturbina do tipo Kaplan 3.2b, que como verificado no próprio artigo, poderá cumprir os requisitos eficazmente.

Outra solução encontrada foi o uso dum gerador de fluxo axial e ímãs permanentes (AFPM) com uma turbina semelhante a uma do tipo Pelton 3.2a [8]. Como pode ser visto nem [8], todo um estudo energético foi realizado em seu redor provando a sua validade. Neste caso, como o gerador é trifásico, utilizou-se uma fase para alimentar o circuito, e outra fase foi usada de forma a medir a velocidade de rotação do rotor. Seria então deduzida uma relação entre a frequência de rotação do gerador, o tempo decorrido e o volume do líquido a passar numa dada secção de um tubo. As potenciais fontes de erros sistémicos seriam corrigidos através de calibração via *software*.

Ambas as soluções podem ser vistas em detalhe na figura 3.2.

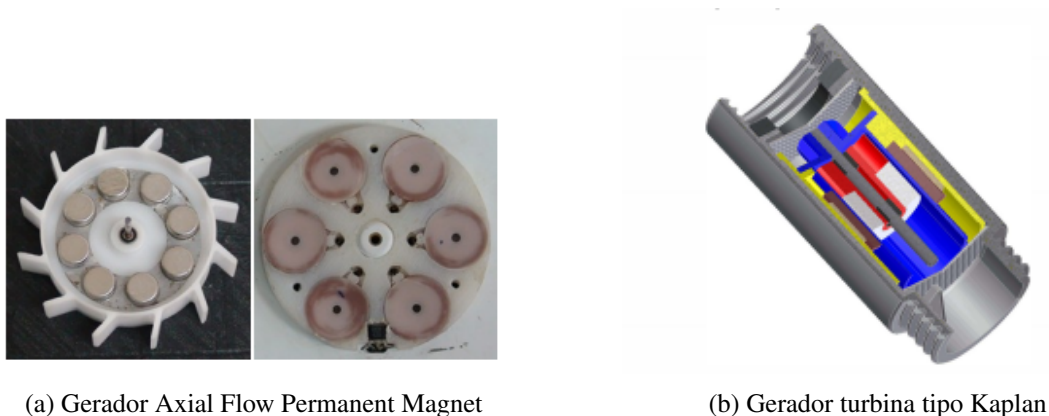


Figura 3.2: Soluções dos artigos [7] e [8]

**Sensor de Efeito de Hall** Uma das soluções mais utilizadas envolve a utilização de sensores de efeito de Hall, como em [61] ou [54]. Esta solução obedece ao requisito de poder ser simplesmente acrescentada a um contador comum, no seu exterior, para fazer a contagem, como pode ser comprovado em [54]. No entanto este é um sensor ativo, ou seja, necessita de alimentação para fazer a deteção de campo magnético do íman do contador normal. Isto exige então um consumo diminuto para obedecer ao requisito do consumo energético.

Foi então idealizado uma solução onde se fariam amostragens do sinal do sensor de efeito de Hall. Tendo em conta que o período de rotação do contador com caudal máximo anda na ordem dos milissegundos, conseguiu-se com um total de 5 amostras por período reduzir-se bastante o consumo da solução.

**Sensor de Wiegand** Este tipo de sensor aproveita-se do chamado efeito de Wiegand para gerar impulsos quando o campo magnético a que está sujeito inverte o seu sentido.

O sensor assemelha-se a uma bobine comum. No entanto, esse enrolamento tem como núcleo um fio de Wiegand. Este fio é produzido através dum encruamento de um fio de material ferromagnético, de Villacoy, uma liga de cobalto, ferro e vanádio. Este processo consiste em dar torções ao material, sobre tensão. Isto leva a que o centro desse fio passe a ser um material magnetizável mas que não consegue reter o magnetismo sem a presença do campo. O exterior forma um invólucro de alta coercividade magnética. O fio de Wiegand é ainda envolvido em ferrite de forma a melhor concentrar as linhas de campo.

Ora, sabe-se que quando um material magnético se encontra sob o efeito dum campo externo, a sua magnetização não é instantânea, mas sim quantizada, naquilo a que se chamam saltos de Barkhausen, e que provocam pequenos impulsos elétricos. Como a tensão induzida é proporcional à velocidade de mudança do campo, e visto que essa mudança se dá de forma bastante rápida no fio de Wiegand, gera-se um impulso que pode chegar às dezenas de Volt. Este efeito está ilustrado na figura 3.3.

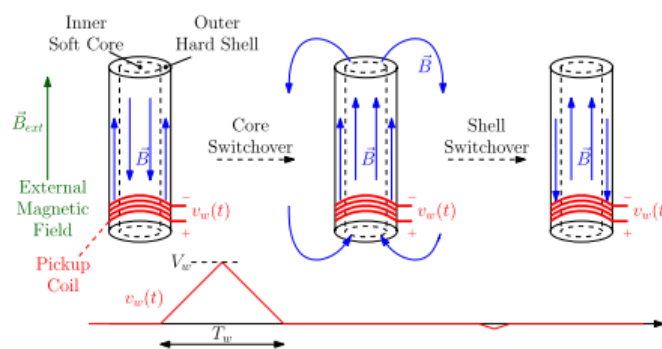


Figura 3.3: Princípio de funcionamento de sensor de Wiegand [9]

Este sensor é passivo, não necessitando de qualquer alimentação externa.

**Amortecimento de circuito RLC** Esta é uma solução diretamente retirada de Kes Tam, em [10]. Consiste numa turbina de eixo perpendicular ao fluxo de água em que metade da turbina é coberta por uma placa de cobre. Existem 3 bobinas fixas, separadas por  $120^\circ$ , que são parte dum circuito RLC. Tal circuito é excitado desfasadamente de forma a provocar uma oscilação. A figura 3.4 ilustra a vista tridimensional da montagem dos sensores e o circuito de aquisição do sinal.

Observa-se que o circuito tem 2 entradas, *Trigger* e *Select*. A primeira, numa transição ascendente, causa a oscilação, ativando dessa forma o funcionamento do sensor. A segunda é utilizada

para seleccionar qual dos 3 sensores ler. Assim, sempre que se quiser ler a informação dum sensor, deve colocar-se *Select* a um nível de tensão baixo e dar um impulso em *Trigger*.

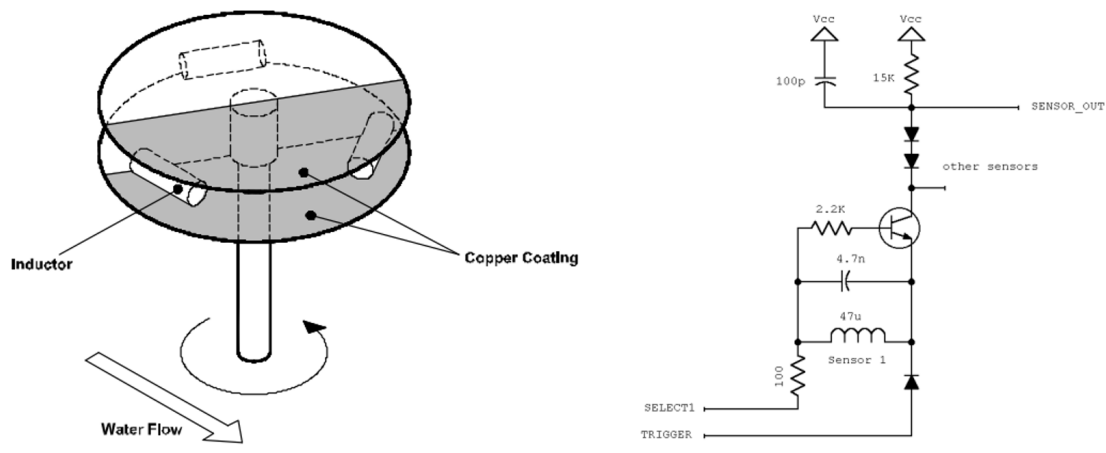


Figura 3.4: Vista tridimensional e circuito [10]

O dimensionamento indica que quando a placa de cobre não se encontra sobre os indutores, só as duas primeiras oscilações têm amplitude suficiente para conseguir fazer o transístor conduzir. No entanto, quando a placa de cobre se encontra sobre a bobina, o amortecimento do circuito é alterado, levando a que só uma oscilação consiga levar à condução. Esta diferença de impulsos à saída permite detetar a rotação da turbina e até calcular a sua velocidade e sentido, isto se se utilizar mais do que um sensor.

**Sensor Ultrassónico** O sensor ultrassónico, como referido em 2.1.2 é realizado pela introdução de um segmento com um transdutor supersónico em cada extremo. A forma de medição é bastante simplificada: é enviado um sinal de A para B e de seguida um de B para A, são medidos os intervalos de tempo que os sinais levam a percorrer o percurso ( $TOF_{ab}$  e  $TOF_{ba}$ ), a sua diferença será proporcional ao fluxo de líquido a percorrer o segmento.

**Reconhecimento de imagem** A proposta seria utilizar um leitor CCD, semelhante a um leitor de códigos de barras, para colocar sobre um contador normal e ler o que este indica. De seguida, com um algoritmo OCR, os caracteres seriam reconhecidos e obter-se-ia uma leitura. Esta seria uma solução interessante, visto que em teoria o erro de leitura face ao contador seria sempre igual a 0.

### 3.3.2.2 Comparação e escolha

Como mencionado anteriormente, o principal requisito do sensor é o seu baixo consumo energético. Um outro requisito, mas este opcional, é a possibilidade de o adaptar ao contador já existente na habitação para que se possa concretizar um sistema que não necessite de ser colocado em série na tubagem.

Desta forma podem, logo à partida, eliminar-se algumas das opções mencionadas anteriormente. Segundo testes feitos ao consumo energético duma variedade de sensores para este feito [62], verificou-se que o sensor do tipo ultrassónico consumia cerca de 50 mJ, valor cerca de 70 vezes superior ao próximo sensor que mais energia absorve. Como foi visto anteriormente, é uma solução já implementada e existente em mercado, na solução da Kamstrup [50]. Assim, apesar de ser descartada neste trabalho devido ao seu consumo, com o avançar tecnológico esta pode tornar-se uma solução viável, já que, pelo menos, não terá qualquer desgaste mecânico, não necessita de interromper a tubagem para ser implementado e tem boa precisão.

Também se eliminou à partida a solução que consiste na medição de velocidade de uma turbina. Apesar de ser interessante a sua realização, considerou-se que a dificuldade técnica de dimensionar, construir, testar e calibrar um microgerador que utilize água para produzir energia e que também meça o volume de água que por ele passou era incomportável para o período do trabalho. Para além deste trabalho, seria necessário realizar um circuito que armazenasse a energia gerada. Não deixa de ser uma outra solução que poderia ser utilizada numa futura iteração deste trabalho.

A próxima solução considerada e estudada foi o reconhecimento de imagem. Esta solução apresenta duas claras vantagens face a qualquer outra solução: o erro é teoricamente zero, já que a forma de recolher a leitura usa uma câmara para observar o contador da habitação, e é possível adaptar a solução ao contador sem ter de interromper o circuito de água. No entanto, o reconhecimento de imagem foi rapidamente descartado devido ao alto consumo, independentemente do modo de funcionamento, que se opõe categoricamente a um dos requisitos do sistema. Para testar esta afirmação analisaram-se soluções *low-power*, como a da *datasheet* em [63]. Um consumo mínimo, em modo *sleep*, de 10 mA não compactua com os limites do sistema. O envio da imagem para um processamento via computador seria também impossível visto a limitação do tamanho duma mensagem e a limitação do número de mensagens pelo protocolo Sigfox.

Restaram então três soluções: sensor de Hall, sensor de Wiegand e amortecimento. As três permitiriam realizar a solução sem necessidade de abrir a tubagem, sendo possível adaptar o contador normal da habitação sem grandes intervenções. No caso do sensor de Hall, o artigo [54] prova-o inequivocamente. Teorizou-se que com o sensor de Wiegand o mesmo acontecesse, visto o princípio de funcionamento ser o mesmo (detecção da rotação dos ímanes que fazem a transmissão de movimento da turbina para mostrador). Quanto à terceira solução, admite-se que pode ser adicionado ao veio que conduz as rodas dentadas do contador normal.

Visto todos verificarem o requisito opcional da não necessidade de ter de abrir o circuito de água, partiu-se para a fase de cálculo, simulação e testes dos circuitos em questão.

Em primeiro lugar partiram-se para os cálculos e consumos expectáveis para o sensor de Hall. Utilizando [64] estimaram-se diâmetros de tubagens bem como caudais de água para estimar que a velocidade de rotação para um caudal máximo seria maximizada às 260 rotações por segundo. Assim, escolhendo um sensor de muito baixo consumo, o TLE4917 [65], e uma frequência de amostragem de 5 vezes o valor de rotação máximo, obtiveram-se os seguintes consumos:

Como era expectável, o consumo energético é muito inferior quando há uma amostragem da

Tabela 3.1: Características Elétricas do Sensor de efeito de Hall

	$I_{cc}$ em Modo Ativo (mA)	$I_{cc}$ em Modo Sleep ( $\mu A$ )	Tensão de Alimentação (V)
<b>TLE 4917</b>	0,5 - 2,5	1 - 20	2,4 - 5,5

medição. No entanto, se fosse desejado colocar este sensor a funcionar alimentado por duas pilhas AA alcalinas, estas teriam uma duração de 3 anos e meio. É uma duração já aceitável, no entanto convém não esquecer que os consumos dos outros componentes não foram aqui contabilizados, pelo que este número só tenderá a diminuir.

Tendo já uma aproximação da corrente média absorvida pelo sensor de Hall, partiu-se para a análise do circuito de amortecimento. As desvantagens deste circuito passam por necessitar de alimentação constante e de um sinal que o excite e pelo facto de necessitar de intervenção direta no contador, ao contrário dos sensores de Hall e Wiegand. Os consumos foram simulados utilizando o *software* de simulação de circuitos NI Multisim 14.1. Os resultados confirmam os valores do artigo [10] e podem ser encontrados na tabela 3.3. Na condução dos testes, a largura do impulso do *Trigger* foi sempre igual a  $1 \mu s$ , seguindo as indicações do artigo. A frequência do *Trigger* simulada foi também tirada do artigo. Nesse, os autores indicam dois modos de funcionamento: um em que não há circulação de água, em que o *Trigger* é ativado com uma frequência de 8 Hz, e outro em que se dá circulação de água, e o *Trigger* é ativado com frequência de 128 Hz. Esta é uma estratégia clara de poupança de energia, visto que quantas menos vezes se ativar o circuito menos energia este consome.

Verifica-se já consumos bem mais reduzidos que a solução do sensor de Hall. Para equiparar soluções com amostragem à mesma frequência, calculou-se a corrente média absorvida pelo sensor de Hall a funcionar a 128 Hz, chegando a um total de  $17,5 \mu A$ . Para 8 Hz o consumo é de  $1,1 \mu A$ . Constata-se que em ambos os casos é superior ao circuito RLC.

Por fim analisou-se o sensor de Wiegand. Verifica-se que é uma solução tecnologicamente mais simples que o circuito RLC. Verifica-se também, como foi mencionado, que não consome qualquer energia para funcionar. Pelo contrário, o sensor de Wiegand pode até ser utilizado para gerar energia para alimentar o sistema. Sendo que se pode aplicar, teoricamente, da mesma forma que o sensor de Hall em [54] e não consome qualquer energia, **o sensor de Wiegand foi o escolhido para este trabalho.**

As próximas secções estarão relacionadas com a sua caracterização.

### 3.3.3 Caracterização do sensor utilizado

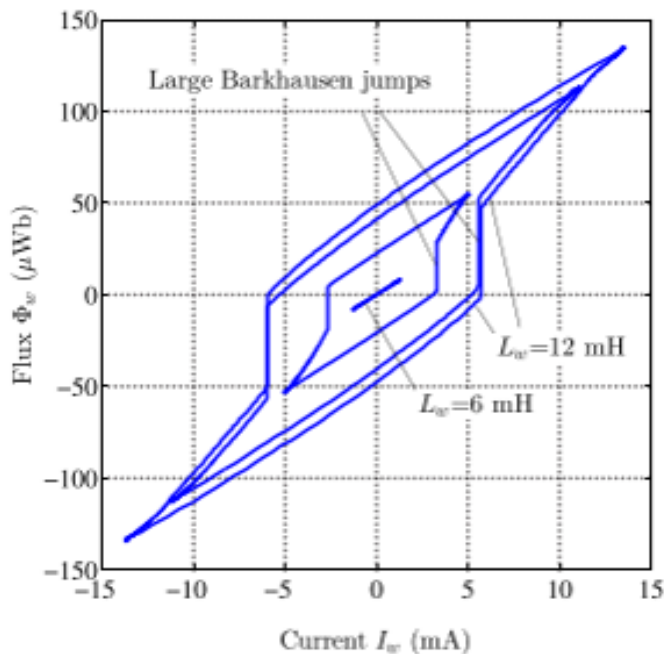
Seguindo o trabalho apresentado em [9], foram conduzidos testes de forma a determinar modelo elétrico equivalente simplificado para o sensor de Wiegand. O propósito deste estudo é o aprofundamento do conhecimento do sensor e a simplificação do trabalho para determinar a energia que pode ser extraída.

Em primeiro lugar foi medida a resistência DC do enrolamento, que tem um valor de  $R_w = 360 \Omega$ . Este é um valor que depende do enrolamento em questão. De seguida o sensor seria

Tabela 3.2: Comparação de consumos entre sensor de Hall a funcionar em contínuo e amostrado a 1300Hz

Solução	Tempo Ativo ( $\mu\text{s}$ )	Tempo Stand-By ( $\mu\text{s}$ )	Corrente Média Absorvida ( $\mu\text{A}$ )
Ativo	769,2	0	1100
Amostrado	50,3	718,9	75,2

sujeito a um campo magnético externo controlado por um sinal de onda quadrada cuja amplitude seria variada. Mede-se a corrente no enrolamento bem como a amplitude do impulso do sensor. O objetivo é traçar a característica  $\Phi_w(I_w)$ . Este estudo, no entanto, não foi realizado. Acredita-se que os resultados seriam em tudo equivalentes aos de [9], podendo ser consultados na figura 3.5. As descontinuidades na curva devem-se aos saltos de Barkhausen que provocam o efeito de Wiegand. A partir desta curva é possível determinar o valor da indutância série do sensor como sendo  $L_w = 12 \text{ mH}$ .

Figura 3.5: Característica  $\Phi_w(I_w)$  do sensor [9]

O sensor de Wiegand pode então ser definido pelo seu circuito equivalente, constituído por uma fonte de tensão em série com uma resistência ( $R_w$ ) e uma indutância ( $L_w$ ). Desta forma pode estabelecer-se a máxima energia fornecida por um impulso do sensor. Para tal é preciso que a carga seja resistiva, com uma resistência igual a  $R_w$ . Quando tal acontece, a tensão na carga é metade da tensão do impulso e a corrente é dada pela Lei de Ohm. Utilizando esta informação, e sabendo que  $v_w$  é um impulso triangular do sensor, a energia por impulso do sensor é dada por:

$$E_{wmax} = \int_0^{T_w} \frac{v_w^2(\tau)}{4R_w} d\tau = \frac{V_w^2}{12R_w} T_w \quad (3.1)$$

Tabela 3.3: Simulação dos consumos do circuito da figura 3.4

Frequência Trigger (Hz)	$I_{avg}$ ( $\mu A$ )	Tempo assentamento ( $\mu s$ )
8	0,5	15
128	15	18

o que equivale a 222 nJ para o sensor utilizado. Na equação 3.1,  $T_w$  representa a largura do impulso,  $R_w$  a resistência do enrolamento e  $V_w$  o valor máximo do impulso.

De seguida o sensor foi ligado aos terminais do osciloscópio para que se pudesse observar o impulso gerado quando sujeito a uma inversão da polarização utilizando um íman. A figura 3.6 representa esse impulso. Podem observar-se as suas dimensões - uma amplitude de cerca de 8 V e uma largura de cerca de 15  $\mu s$ . É importante referir que independentemente da velocidade da inversão, da distância do íman ao sensor (dentro do alcance) ou do campo do íman (desde que acima do valor mínimo), o impulso gerado é sempre igual, sendo este facto comprovado na fase de testes.

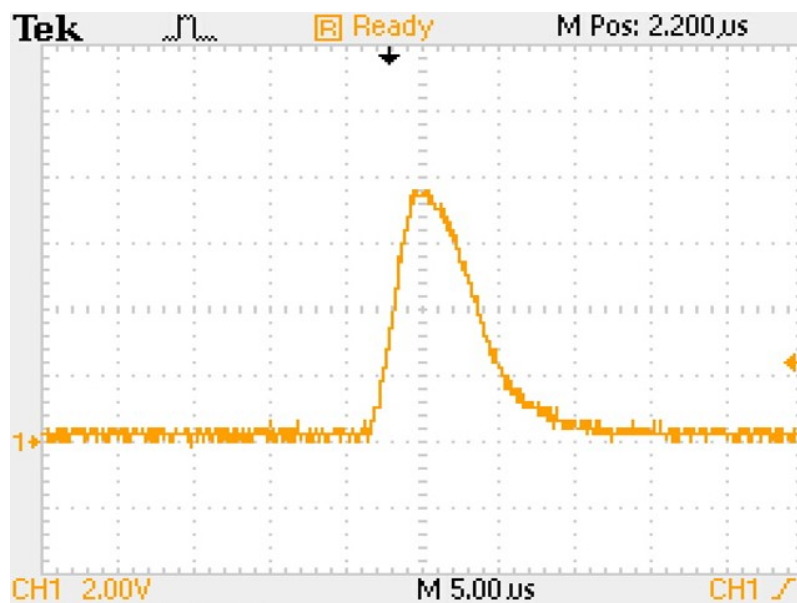


Figura 3.6: Impulso gerado pelo sensor quando sujeito a uma inversão do campo magnético

Foi então elaborado um teste simples para verificar se era possível utilizar o sensor de Wiegand para detetar a rotação do íman do contador normal. Para tal colocou-se um sensor diretamente ligado a um osciloscópio e foi colado a vários pontos do contador. Em momento algum foi detetado qualquer sinal. Várias justificações existem para tal: falta de sensibilidade do sensor, que é cerca de 10 vezes inferior à sensibilidade do sensor de efeito de Hall utilizado para os cálculos, na secção anterior; o encapsulamento volumoso do contador que faz com que, se o sensor está do lado de fora, fique a uma grande distância do íman não conseguindo detetar qualquer campo; e finalmente a orientação do íman que, ao rodar, pode não inverter a direção do campo em qualquer ponto do espaço.



Figura 3.7: Contador de água utilizado no projeto

Como não houve liberdade para dimensionar o sensor, eliminando desde já soluções que resolvessem as duas primeiras causas mencionadas no parágrafo anterior, e sendo que a terceira causa não tem solução possível, optou-se por alterar um caudalímetro de polipropileno da Gems Sensors 3.7 [18], mais pequeno e menos robusto que os presentes na habitação, colando-lhe ímanes [66] em duas pás das turbinas de forma a que a inversão do campo numa dada região em torno do caudalímetro pudesse ativar o sensor.

Na tabela 3.4 podem encontrar-se as características relevantes do sensor utilizado.

Tabela 3.4: Características do contador utilizado [18]

Propriedade	Valor	Unidade
Caudal Mínimo	2	L/min
Caudal Máximo	20	L/min
Diâmetro tubo	0.635	cm
Pressão Máxima	6.9	bar
Temperatura Mínima	-29	°C
Temperatura Máxima	82	°C

### 3.3.4 Plataforma computacional - Hardware

Tendo em conta a escolha do sensor, é necessário algum equipamento que conte os impulsos por ele gerados. Impulsos esses que serão posteriormente convertidos para o seu equivalente em litros.

Este equipamento deve, novamente, ter um consumo extremamente reduzido, já que é um dos elementos que tem de ser sempre alimentado; deve também ser possível comunicar com o módulo Sigfox.

Surgiram então duas soluções: um circuito integrado contador ou um microcontrolador.

A solução que emprega o contador iria consistir num contador a ser alimentado em permanência. Num intervalo de tempo definido, um outro equipamento, por exemplo um microcontrolador, iria acordar, recolher a leitura do contador, enviar essa leitura para o módulo Sigfox, reiniciar o contador e voltar a adormecer. Já a solução do microcontrolador iria consistir num MCU que seria

interrompido por cada impulso do sensor, e no tratamento da interrupção iria contar o número de impulsos. Num intervalo de tempo predefinido o microcontrolador iria comunicar a quantidade de impulsos ao módulo Sigfox e reiniciar a sua variável de contagem.

Verifica-se então que para que a primeira hipótese ser mais vantajosa é necessário que a combinação do contador e microcontrolador consuma menos energia que o microcontrolador a funcionar como contador.

### 3.3.4.1 Análise comparativa de soluções

Sendo o principal requisito do sistema o seu consumo energético, o primeiro passo para decisão foi encontrar um exemplar de cada solução (um contador e um microcontrolador) que sejam de muito baixo consumo, e comparar com estimativas de funcionamento realistas.

Para o microcontrolador, seguiu-se os exemplos de [10] ou [67] e optou-se por utilizar um dispositivo da gama de baixo consumo MSP430 da Texas Instruments. Sendo que seria necessário programá-lo, optou-se, por mera simplicidade, utilizar o microcontrolador que é utilizado nas placas de desenvolvimento MSP-EXP430G2 Launchpad, o MSP430 G2553. As características elétricas relevantes para este estudo energético encontram-se na tabela 3.5. Nessa tabela  $I_{ativo}$  é a corrente consumida quando o microcontrolador se encontra em modo ativo;  $I_{LPM3}$ , a corrente consumida quando este se encontra no modo de baixo consumo que, caso se verifique, será utilizado; e  $t_{on}$ , o tempo que o microcontrolador demora a ir do modo de baixo consumo ao modo ativo.

Tabela 3.5: Características elétricas do MSP430 G2553, com tensão de alimentação de 3.3V

MSP430 G2553	Valor	Unidade
$I_{ativo}$	300	$\mu A/ MHz$
$I_{LPM3}$	0,7	$\mu A$
$t_{on}$	31,5	$\mu s$

Para o contador, utilizou-se o SN74LV8154 [68] da Texas Instruments, um IC com 2 contadores de 16 bits, com uma corrente de alimentação  $I_{cc}$  de cerca de  $20 \mu A$  em modo ativo e em modo *stand-by* de  $I_{cc,stand-by}$  de  $5 \mu A$ .

Com estes dados, bem como dados estimados do funcionamento do contador, na tabela 3.6, foi então possível realizar o estudo do consumo energético e, dessa forma, decidir qual a solução mais apropriada.

Tabela 3.6: Dados utilizados para a estimativa de consumo

	Valor	Unidade
<b>Frequência de impulsos máxima</b>	260	-
<b>Frequência de impulsos mínima</b>	0	-
<b>Tempo Ativo + Wake-Up</b>	66,5	$\mu s$

Pela análise dos resultados, pode chegar-se à conclusão que a corrente média consumida pelo microcontrolador quando o caudal é máximo é de  $1,58 \mu A$ , valor dado pela equação 3.2. Este é

Tabela 3.7: Consumo estimado para contagem do MSP430

MSP430 G2553	Corrente média consumida ( $\mu\text{A}$ )	Tempo ( $\mu\text{s}$ )	Frequência CPU (Hz)
Modo Ativo	300	66,5	1000000
Modo LPM3	0,7	3780	32768

claramente um valor mais baixo do que aquele que seria de esperar com o contador (nunca seria inferior aos  $5 \mu\text{A}$  da corrente absorvida em *stand-by*). Assim, escolheu-se a solução que utiliza somente o microcontrolador.

$$I_{avgMCU} = \frac{I_{act}t_{act} + I_{LPM3}t_{LPM3}}{t_{act} + t_{LPM3}} \quad (3.2)$$

### 3.3.4.2 Características da plataforma computacional escolhida

De acordo com a secção anterior, o mecanismo de contagem fica então completo com o microcontrolador MSP430 G2553. Para efeitos de desenvolvimento, o MCU será utilizado numa placa de desenvolvimento MSP-EXP430G2 Launchpad.

Algumas das características estão já mencionadas na tabela 3.5. No entanto considera-se necessário compreender outras informações sobre a escolha. Compilaram-se na tabela 3.8 algumas das características que levaram à escolha do dispositivo.

Tabela 3.8: Características principais do microcontrolador MSP430 G2553

Parâmetro	MSP430G2553
Frequência Máxima (MHz)	16
Memória Não Volátil (KB)	16
RAM (KB)	0.5
# Pinos	24
I2C	1
SPI	2
UART	1
Comparadores	8
Timers 16 bit	2
$V_{cc}$ Mín.	1,8
$V_{cc}$ Máx.	3,6
Potência Consumida: Modo Ativo ( $\mu\text{A}/\text{Hz}$ )	330
Potência Consumida: Standby - LPM3 ( $\mu\text{A}$ )	0,7
$T_{wake-up}$ ( $\mu\text{s}$ )	1,5

Destacam-se o baixo consumo em *stand-by*, a diversidade de interfaces de comunicação, o número de timers e também a limitação a nível da memória.

## 3.4 Plataforma de comunicação

Uma das características da solução já conhecida à partida era o uso do protocolo Sigfox. Assim sendo, é necessário um equipamento que implemente esse protocolo.

Novamente, a característica que irá definir a escolha será o baixo consumo em *stand-by*. Outra importante característica analisada foi a prontidão da utilização do dispositivo. Isto deve-se ao facto de ser necessária uma licença para operar na rede Sigfox e muitos dos produtores de *transceivers* não venderem os seus dispositivos com a licença. Seria também necessário dimensionar uma antena para a grande maioria deles. Desta forma deu-se preferência a produtos que viessem com a antena e a licença incluídas.

### 3.4.1 Módulo Sigfox

Assim sendo, optou-se pelo módulo SFM10R1 da WISOL [69], montado na *breakout board* BRKWS01 da SNOC [70]. Este módulo tem consumos de envio, receção e *stand-by* na média dos dispositivos encontrados, que se encontram na tabela 3.9. A escolha recaiu então sobre este dispositivo pois incluía uma licença de 1 ano na rede Sigfox e todo o material necessário para montar numa placa de desenvolvimento, estando assim pronto a usar.

Este módulo utiliza os protocolos de comunicação SPI e UART e conta com pinos com funcionalidades de conversão de analógico para digital (podendo assim informar sobre o nível de bateria) e vários indicadores físicos de atividade. A sua programação é feita via comandos AT. Com esta programação pode ser alterada a *baud-rate*, pode ser colocado em modo baixo consumo e enviados dados para a *cloud*.

Na tabela 3.9 podem ser consultadas as principais características elétricas do módulo.

Tabela 3.9: Características Elétricas do módulo Sigfox SFM10R1 [19] [20]

Parâmetro	Mín.	Tip.	Máx.	Unidade
$V_{cc}$	1,8	3,3	3,6	V
$I_{TX}$ - (14dB)	-	54	55	mA
$I_{RX}$	-	15	-	mA
$V_{in-HIGH}$	-	V		
$V_{in-LOW}$	-	-	0,8	V
$I_{idle}$	-	2	-	$\mu A$

### 3.4.2 Arquitetura da plataforma local

A ligação do módulo ao microcontrolador foi feita utilizando porta UART, como pode ser comprovado na figura 3.8. Para manter a simplicidade e foco do projeto optou-se por não verificar o nível de bateria nem utilizar qualquer dos indicadores de funcionamento.

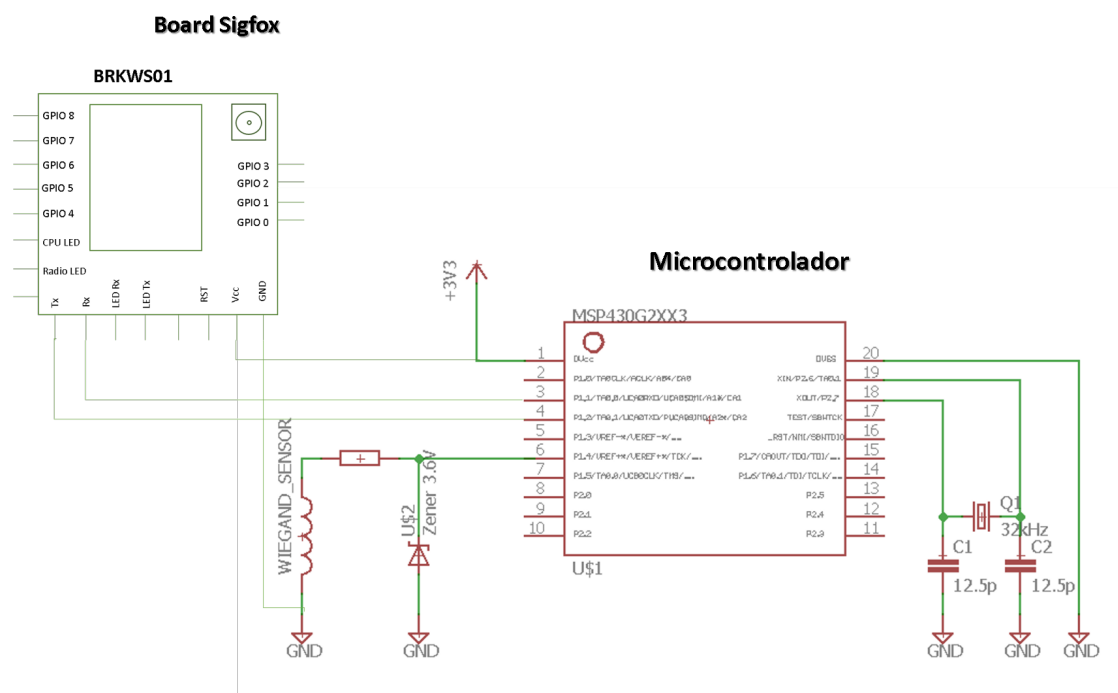


Figura 3.8: Circuito com módulo Sigfox

### 3.5 Alimentação e prospecção de energia

Visto que a principal preocupação neste projeto é manter um consumo energético baixo, é necessário pensar como tratar da alimentação do sistema.

Foram então colocadas duas hipóteses: a utilização de pilhas do tipo AA recarregáveis através da energia dos impulsos gerados pelo sensor ou através da energia produzida por um micro gerador que iria aproveitar a energia cinética da água.

#### 3.5.1 Previsão de consumo total

Necessita-se então de elaborar um estudo energético mais exato do que aquele inicialmente elaborado em 3.3.4.1. Neste estudo tomou-se em conta não só o mecanismo de contagem, mas também o mecanismo de envio e receção de mensagens, bem como os alarmes. Desta forma, traçou-se uma previsão de tempo mínimo que as pilhas iriam durar, tornando-se possível conhecer o impacto futuro dum mecanismo que recolhesse energia do movimento de água.

Todos os valores foram tirados das datasheets dos respetivos módulos (MSP430G2553 [71] [72] e Wisol WSSF10R1 [19]). Os valores temporais ora foram tirados da datasheet ora foram calculados baseados no código em Assembly, dependendo de serem ou não tempos para correr código nas interrupções. A medição de consumo foi dividida em várias rúbricas, nomeadamente contagem e envio/receção de forma a facilitar o cálculo do consumo e, de futuro, poder prever o custo energético da adição de novos módulos.

### 3.5.1.1 Mecanismo de contagem e alarmes

Para chegar a uma estimativa realista partiram-se de vários pressupostos já discutidos. O primeiro é que com caudal máximo, o sensor gerará 260 impulsos por segundo. O segundo é que o microcontrolador será colocado em modo de poupança de energia LPM3. O terceiro é que em modo ativo, o controlador funcionará a uma frequência de 1 MHz, e em modo de poupança a 32768 Hz.

Verificou-se, por análise do código em Assembly, que a interrupção normal de contagem tomaria 59 ciclos de relógio. Não foram contabilizados os ciclos de envio de alarme visto estes serem excepcionais. Desta forma, sabendo que o tempo por instrução é de  $1 \mu s$  e o tempo de *wake-up* de  $31,5 \mu s$ , chegou-se ao valor para um consumo médio em corrente máximo na contagem de  $2,08 \mu A$ .

### 3.5.1.2 Mecanismo de contagem do tempo

Neste sistema quer enviar-se uma mensagem com várias leituras em determinados períodos de tempo igualmente espaçados. Para tal é preciso contar o tempo. Desta forma, existe um mecanismo cuja única tarefa é acordar o controlador, verificar se já é tempo para guardar uma leitura ou de para enviar um conjunto de leituras, e adormecer.

Recorrendo aos divisores disponibilizados pelo micro-controlador, colocou-se um temporizador a acordar o controlador a cada segundo, correndo uma instrução de *if*. Isto equivale a 12 ciclos de relógio. Contando um máximo de 140 envios por dia, em que cada envio correspondem 6 leituras, serão feitas 840 leituras. Para uma leitura ser efetuada requer cerca de 83 ciclos de relógio, chega-se a um tempo ativo de 1,11 segundos, ou um consumo em corrente médio de  $0,704 \mu A$ . É importante salientar que este é um valor para o máximo de envios possíveis, sendo que o valor final será mais pequeno já que a solução só permite um máximo de 4 envios.

### 3.5.1.3 Mecanismo de comunicação

Para o cálculo do consumo do mecanismo de comunicação foram utilizados os valores de consumo encontrados nas *datasheets* respetivas e estimados os tempos de envio e receção. Sendo assim, estimou-se que para 140 mensagens diárias o módulo Sigfox iria consumir uma corrente cerca de 8 mA e o controlador  $0,72 \mu A$ . Visto que nunca se irá enviar 140 mensagens, e visto que este consumo é relativamente elevado, foram feitas as contas para o máximo de 4 envios diários, resultando num consumo em corrente total de  $25,6 \mu A$ .

## 3.5.2 Redução de consumo do sistema

Verifica-se no final que o consumo em corrente médio total do sistema não ultrapassará, mas poderá ser arredondado para os  $30 \mu A$ . Desta forma verifica-se que com duas pilhas AA de 1800 mAh tem energia suficiente para durar cerca de 15 anos.

Este é de facto um desempenho muito satisfatório. No entanto persistiu-se em encontrar soluções para poder prolongar este tempo de vida.

### 3.5.2.1 Microgerador

Uma primeira solução foi o recurso ao gerador de fluxo axial e ímanes permanentes (AFPM) previamente mencionado 3.2a. Um estudo energético deste gerador pode ser encontrado no artigo de Hao e Garcia [8]. Verifica-se que se a tensão de alimentação for de 3V, a 25 RPS o gerador consegue fornecer cerca de 7 mA. Este será bem suficiente para alimentar todo o sistema. No entanto, é necessário ter precaução e ter circuitos de armazenamento de energia, baseados por exemplo em supercondensadores, de forma a poder ser feita uma gestão inteligente da energia produzida. Será sempre necessária uma bateria mas, neste último caso, esta seria só usada em casos extraordinários, como a alimentação do sistema em intervalos de tempo longos sem consumo de água.

### 3.5.2.2 Utilização do sensor de Wiegand

Outra das soluções seria tirar proveito do sensor de Wiegand escolhido. Verificou-se em 3.3.3 que o sensor produzia um máximo de 222 nJ por impulso. Estima-se então que com caudal máximo, gerando 260 impulsos por segundo, se consiga gerar 57,2  $\mu\text{J}$  por segundo, ou 57,2  $\mu\text{W}$ . Para uma tensão de alimentação de 3V, pode gerar uma corrente de 19  $\mu\text{A}$ . Esta não é suficiente, em média, para sozinha alimentar o sistema. No entanto, utilizando em conjunto com um IC LTC3107, da Linear Technology [73], um *energy harvester* capaz de armazenar energia e fornecê-la quando necessário, é possível fazer a gestão da energia produzida, prolongando o tempo de vida do sistema. Este é primariamente utilizado para sensores de muito baixa potência de forma a aumentar o tempo de vida da bateria que os alimenta. Este *energy harvester* é na sua essência um conversor DC-DC com alguma inteligência, que lhe permite estender a vida duma bateria, fornecendo uma tensão DC constante a um nível desejado, utilizando a energia dum sinal dum sensor.

**Circuito de *energy harvesting* com LTC3107** Ligando a alimentação do sistema a  $V_{BAT}$ , o IC irá regular a tensão na sua saída  $V_{OUT}$  automaticamente para um nível 30 mV inferior. A alimentação do microcontrolador e do módulo Sigfox será ligada diretamente a essa saída  $V_{OUT}$ .

A  $V_{STORE}$  liga-se um condensador opcional que irá guardar os excessos de carga que poderiam vir da entrada e não ser usados pelos dispositivos alimentados. Este condensador será descarregado quando a bateria não tem energia suficiente sendo assim possível continuar a alimentar o circuito caso a alimentação seja desligada.

Verifica-se pela análise da *datasheet* que o IC consegue suportar os picos de corrente de, no máximo, 60 mA suficientes para alimentar o sistema quando se dá um envio de mensagem, ponto em que se verifica maior consumo de corrente.

Dimensionou-se de seguida os condensadores de armazenamento e de saída ( $V_{OUT}$ ) da figura 3.9 utilizando as equações, retiradas da *datasheet* do dispositivo:



## 3.6 Plataforma computacional - Software

Como já foi adiantado, o microcontrolador utilizado foi o MSP430 G2553 da Texas Instruments. Esta é uma solução especialmente direcionada para projetos em que o baixo consumo energético é fulcral. Conta com 5 modos de poupança de energia (LPM0-5) que podem ser utilizados consoante os periféricos necessários para a sua operação e que podem ser geridos através de interrupções.

Neste projeto optou-se pelo uso do LPM3, colocando o CPU e as *sources* dos dois relógios internos em modo *sleep* cada vez que não se registre atividade. Torna-se então necessária a utilização dum *clock* externo, pelo que se utilizou um cristal de baixa frequência (32768 Hz), sugerido pelo fabricante do produto.

Nesta secção são abordadas as várias funcionalidades implementadas no MCU para garantir o funcionamento da solução. Em primeiro lugar são enumerados os requisitos da aplicação. De seguida cada uma das funcionalidades é explicada recorrendo a diagramas de blocos que ilustra o funcionamento do código.

### 3.6.1 Requisitos

Os requisitos para a aplicação que irá correr no micro-controlador são:

- Detecção e contagem de impulsos e conversão dessa contagem para um valor em litros;
- Envio em tempos pré-definidos e receção de mensagens via UART;
- Interpretação da mensagem recebida via UART e mudança de parâmetros de funcionamento de acordo com o conteúdo dessa mensagem;
- Detecção de consumo excessivo por intervalo de tempo - valor limite é definido pelo utilizador;
- Envio de alarmes em caso de consumo excessivo e uso indevido;
- Utilizando os modos de funcionamento de baixo consumo.

Para cumprir tais requisitos, decidiu-se dividir o código em várias partes, ou módulos: contagem, comunicação e deteção de irregularidades.

### 3.6.2 Módulos de contagem e deteção de erros

Estes mecanismos foram implementados numa única interrupção. Quando um impulso é detetado na porta P1.4, é executado o algoritmo que pode ser visto na figura 3.10.

#### 3.6.2.1 Alarmes

Para entender o algoritmo é, em primeiro lugar, necessário perceber como estão programados os alarmes.

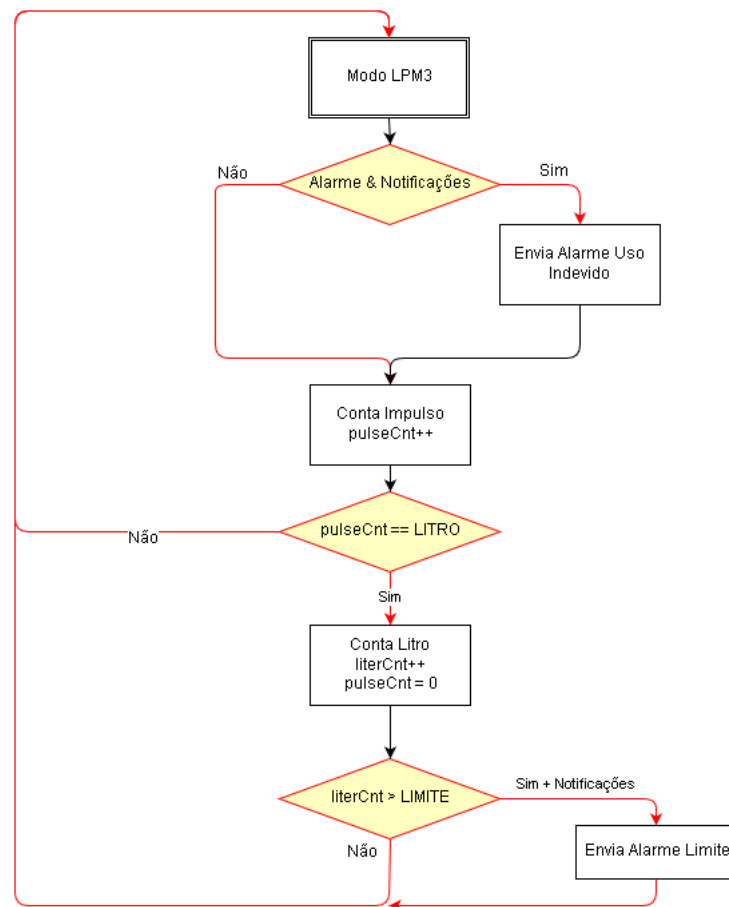


Figura 3.10: Algoritmo que trata da contagem de impulsos e detecção de erros no microcontrolador

**Alarme de Fugas** No programa existe uma variável de nome "*LIMIT*" cuja função é guardar o limite de volume de água que se tem de ultrapassar por intervalo de tempo para ser considerada uma fuga. Assim, durante a contagem, caso a variável de contagem de litros seja superior a "*LIMIT*", é enviada uma mensagem que o sistema compreende como sendo de erro devido a fuga.

**Alarme de Uso Indevido** Este alarme recorre a uma variável "*ALARME*" para saber se o utilizador ativou ou não esta funcionalidade. Caso a tenha ativado, cada vez que o contador detete um impulso é enviada uma mensagem que o sistema compreende como sendo erro devido a uso indevido.

Quando o alarme é acionado, em ambos os casos, o contador vai continuar a funcionar normalmente. Para que a mensagem não esteja sempre a ser enviada, criou-se também uma variável que regista se o erro já foi detetado e o utilizador informado ou não.

Para que o utilizador seja informado, para além das condições do evento do alarme terem de ser verdadeiras, a variável "*NOTIFICACAO*" também tem de o ser, sendo que esta assinala o desejo ou não do utilizador receber notificações no seu dispositivo móvel.

### 3.6.2.2 Algoritmo e alteração de parâmetros

Compreendidos os alarmes é possível explicar sucintamente o algoritmo em 3.10. Sempre que um impulso é detetado, o microcontrolador sai do seu estado normal (*Low Power Mode 3*) e entra num serviço de interrupções. Aí, verifica primeiro se o utilizador deseja receber notificações e se o alarme de uso indevido está ativo. Caso ambas sejam verdadeiras, é enviada uma mensagem.

De seguida a variável que conta impulsos "*pulseCnt*" é incrementada. Caso o valor desta variável corresponda ao número de impulsos por litro (guardado na variável "*LITRO*"), é incrementada a variável "*literCnt*" que conta o volume de água consumida em litros. Caso contrário o microcontrolador é devolvido novamente ao seu estado de baixo consumo.

De seguida, se a variável "*literCnt*" for superior a "*LIMIT*", significando que existe uma fuga, e o utilizador pretender receber informação, uma mensagem é enviada. O microcontrolador é então colocado novamente no seu estado original de baixo consumo.

Os parâmetros "*LIMIT*", "*ALARME*" e "*NOTIFICACAO*" podem ser alterados pelo utilizador ao usar a aplicação móvel, num processo que será descrito nas próximas secções.

### 3.6.3 Módulo de comunicação

Para este mecanismo foram utilizados várias interrupções, já que deve lidar com o envio e receção de mensagens.

#### 3.6.3.1 Envio de dados

Como mencionado em 2.4.2.2, a mensagem Sigfox tem um payload de 12 bytes. Foi também escrito que o módulo pode ser programado utilizando comandos AT [74]. Assim, para poder enviar uma mensagem, é criado um *array* de caracteres com o formato da figura 3.11.

0	1	2	3	4	5	6	...	29	30	31
A	T	\$	S	F	=	payload – 12 bytes			,	0/1

Figura 3.11: Formato do *array* de caracteres para envio de leituras

O AT é um comando de atenção e é usado como um prefixo para os outros parâmetros da *string*. Este comando combinado com "\$SF=" permite enviar uma mensagem com o *payload* desejado que será colocado após o sinal de igual. Qualquer outro comando pode ser construído desta forma. Por exemplo, para colocar o módulo em modo de baixo consumo utiliza-se "AT\$P=1"[75].

O *payload* são 24 caracteres, visto que cada byte pode ser representado utilizando 2 caracteres em hexadecimal, com 6 leituras, significando que existe 4 caracteres por leitura, ou 2 bytes. Assim sendo, cada leitura estará entre 0 e 65535 litros. Verifica-se então que há uma limitação: se o consumo durante um período de gravação for superior a 65535 litros, ocorrerá um erro. No entanto, como se verifica que este acontecimento é extremamente improvável e que, acontecendo, iria danificar as tubagens da habitação, foi mantida a codificação e desprezaram-se medidas de proteção.

Este *payload* é inicializado com tudo a zero. As leituras serão colocadas em ordem cronológica por ordem crescente de caracteres. Isto é, se a primeira leitura num dado período for de 255 litros (0x00ff), a segunda de 200 litros (0x00c8), e a terceira 0 litros (0x0000) o vetor será "AT\$SF=00ff00c80000...".

Quando todo espaço para registo de leituras está ocupado, estas são enviadas e o *payload* é repostado a zero. Por defeito, o período de envio de leituras é de 24h e o tempo de amostragem por leitura é de 4h. O tempo de envio pode ser alterado pelo utilizador para dois outros valores (6 e 12 horas) usando a aplicação móvel.

Os últimos dois caracteres (ordem 30 e 31) são opcionais. A sua função é dar indicação ao módulo Sigfox se o utilizador quer (caracter 30 igual a "1") ou não receber uma mensagem de *acknowledgement*. As mensagens de alarmes têm um *payload* diferente, sendo do formato da figura 3.12.

0	1	2	3	4	5	6
A	T	\$	S	F	=	[código alarme]

Figura 3.12: Formato do *array* de caracteres para envio de alarmes

O código de alarme é constituído por um carácter (4 bits), podendo definir-se 16 alarmes diferentes. Por exemplo, neste projeto definiu-se que quando esse código é 0 significa uma fuga, quando é 1 significa um uso indevido.

As opções para o período de envio não podem ter tempos inferiores visto que de cada vez que se envia uma leitura é pedida uma resposta. Isto é necessário para que seja possível a alteração de parâmetros discutidos na secção anterior. Ora, o protocolo Sigfox limita a quantidade de mensagens de resposta diárias a 5. Esta limitação poderia ser contornada com algumas linhas de código que decidiam ou não se se pedia resposta, no entanto optou-se por não fazer qualquer alteração, visto considerar-se que a atual resolução é aceitável. Não se dividiram ainda mais os intervalos de tempo para garantir que houvesse um número inteiro de leituras, igualmente espaçadas, durante as 24 horas do dia.

### 3.6.3.2 Algoritmo de envio de dados

Após explicar os conceitos por trás do processo de envio de dados, pode agora explicar-se o algoritmo implementado pelo microcontrolador.

Cada vez que se esgota o tempo de amostragem de uma leitura (por definição, a cada 4 horas), a variável do tipo inteiro que guarda a contagem de litros é convertida num vetor de caracteres hexadecimal. Isto é, se a leitura for de 255, cria-se um vetor de caracteres com os termos "00ff". Esse vetor é então copiado para a área do *payload* da mensagem em 3.11.

Este processo é repetido até se atingir o tempo de envio, o equivalente ao tempo de 6 leituras. Assim que tal acontece a mensagem é enviada via porta série e todos os contadores são repostos, voltando-se ao ciclo normal 3.13.

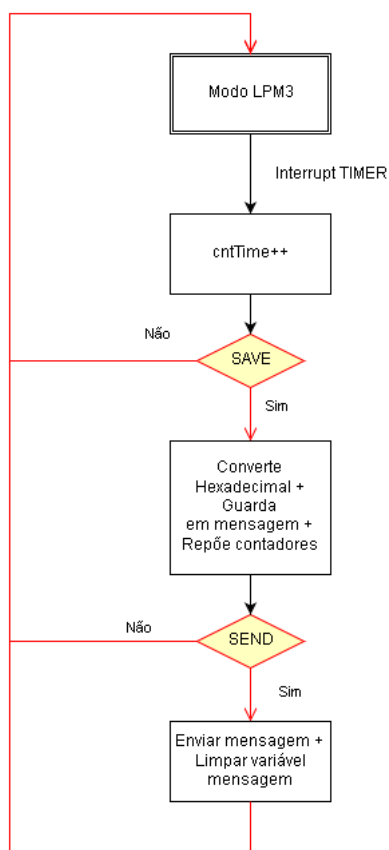


Figura 3.13: Algoritmo que trata do envio de mensagens

O parâmetro "*SEND*" é uma variável inteira controlada pelo utilizador através da sua aplicação móvel. Representa o período de envio em segundos. Já o parâmetro "*SAVE*" representa o período de gravação em segundos e é controlado por "*SEND*". A mensagem é enviada com um *bit-rate* de 9600 bps, valor definido pelo módulo Sigfox.

De seguida, é enviada uma segunda mensagem de forma a colocar o módulo Sigfox em modo de baixo consumo, ou *sleep*. Para sair deste modo de baixo consumo o módulo só necessita de receber informação quer via porta série, quer via antena.

### 3.6.3.3 Receção de mensagens

A receção de mensagens é tratada através duma interrupção. Quando um bit aparece na porta série do microcontrolador, este é interrompido e trata da receção.

Para cada mensagem enviada o módulo Sigfox responde com uma mensagem cujo conteúdo é simplesmente "OK". Isto acontece independentemente de se pedir ou não mensagem de *acknowledgement*, visto que esta tem de vir da *cloud* e não do módulo.

De forma a poder alterar os parâmetros já discutidos, foi preciso codificar esse mensagem de *acknowledgement*, que conta com 8 bytes ou 16 caracteres. A codificação escolhida encontra-se na figura 3.14.

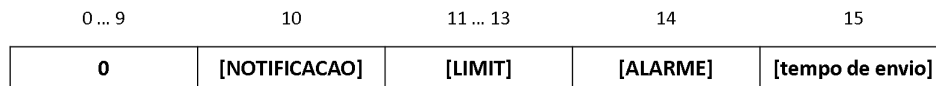


Figura 3.14: Codificação da mensagem de *acknowledgement*

No carácter menos significativo encontra-se o código referente ao tempo de envio (três opções possíveis). No segundo carácter encontra-se a informação sobre a deteção de consumo indevido. Os três próximos caracteres correspondem aos algarismos do "LIMIT" e, por último, existe ainda outro carácter correspondente ao envio de notificações.

A mensagem quando é recebida tem, no entanto, outro formato. Caso o *payload* do *acknowledge* fosse só constituído por zeros, a mensagem lida pelo microcontrolador seria "RX = 00 00 00 00 00 00 00 00".

Quando um bit é recebido é colocado num vetor de caracteres na sua posição de chegada. Desta forma no final da receção é possível encontrar os bits pretendidos e mudar os parâmetros desejados.

### 3.7 Plataforma na cloud

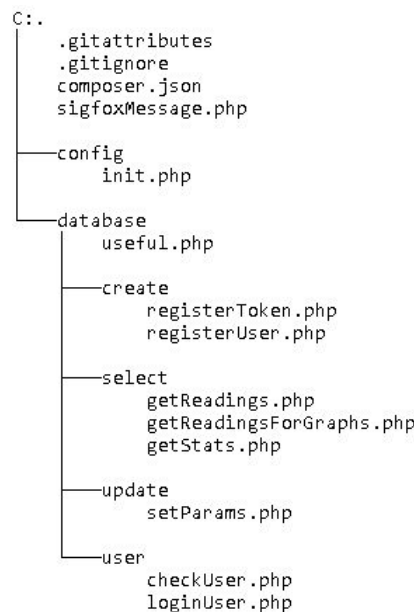


Figura 3.15: Estrutura de ficheiros da aplicação criada para o servidor

Esta plataforma é constituída por dois elementos: a aplicação do servidor e a base de dados. A aplicação do servidor foi alojada na plataforma gratuita, Heroku. Estes oferecem suporte para uma gama variada de linguagens, incluindo aquela que foi usada para toda a aplicação: PHP. Também oferece alojamento de base de dados PostgreSQL e integração com serviços da Github.

Visto estar a usar-se a versão gratuita, a aplicação é adormecida a cada 30 minutos de inatividade, pelo que qualquer pedido ao servidor pode demorar mais tempo que o expectável. Suporta somente uma ligação e oferece 512 MB de RAM. Para o efeito desta dissertação estas características foram suficientes.

Existem versões pagas que vão desde os \$7 aos \$500 por mês, que apresentam diferentes graus de RAM disponibilizada, servidores dedicados, mais utilizadores simultaneamente, entre outros.

### 3.7.1 Requisitos da aplicação do servidor

A aplicação do servidor tem de realizar a interface entre a aplicação móvel e a base de dados, respondendo a pedidos de informação ou validação de dados.

Deve também suportar os pedidos de *callback* da Cloud Sigfox. Quando um pedido é enviado, deve guardar a informação da leitura na base de dados, e enviar uma notificação push ao utilizador. No caso da informação ser de alarme, só é enviada notificação. A aplicação deve responder sempre ao pedido *callback* com a mensagem de *acknowledgement* com a codificação abordada abordada em 3.6.3.3.

A aplicação deve também conseguir enviar notificações para o dispositivo móvel do utilizador quando recebe uma nova leitura ou um alarme.

### 3.7.2 Implementação de funcionalidades

A aplicação foi inteiramente escrita em PHP, visto que é uma linguagem com a qual o autor tem mais familiaridade.

Na figura 3.15 é apresentada a estrutura de ficheiros da aplicação.

O ficheiro "sigfoxMessage.php" é utilizado para receber informação da Cloud Sigfox e inseri-la na base dados, enviando também uma mensagem ao utilizador. Na pasta "config" encontra-se o ficheiro que faz a inicialização da ligação à base de dados. Na pasta "database" estão todos os ficheiros necessários para fazer pedidos à base de dados. O ficheiro "useful.php" contém todas as funções utilizadas.

A aplicação pode ser endereçada por pedidos HTTP Post para o URL "https://hydrofox.herokuapp.com".

### 3.7.3 Base de dados

Foi necessária a criação de uma base de dados para guardar toda a informação do utilizador, do seu leitor e das leituras. Esta informação poderia ter sido guardada no dispositivo móvel do utilizador porém, sempre que este desinstalasse a aplicação ou apagasse a memória *cache* do telemóvel toda a informação iria desaparecer e seria necessário descarregar e organizar todas as leituras a partir da *cloud* da Sigfox, tornando a aplicação lenta e pesada para a memória do telemóvel. Assim, foi utilizado o serviço da ElephantSQL que utiliza uma base de dados PostgreSQL. Novamente, optou-se por este serviço devido à familiaridade previamente adquirida.

A estrutura da base de dados pode ser vista na figura 3.16.

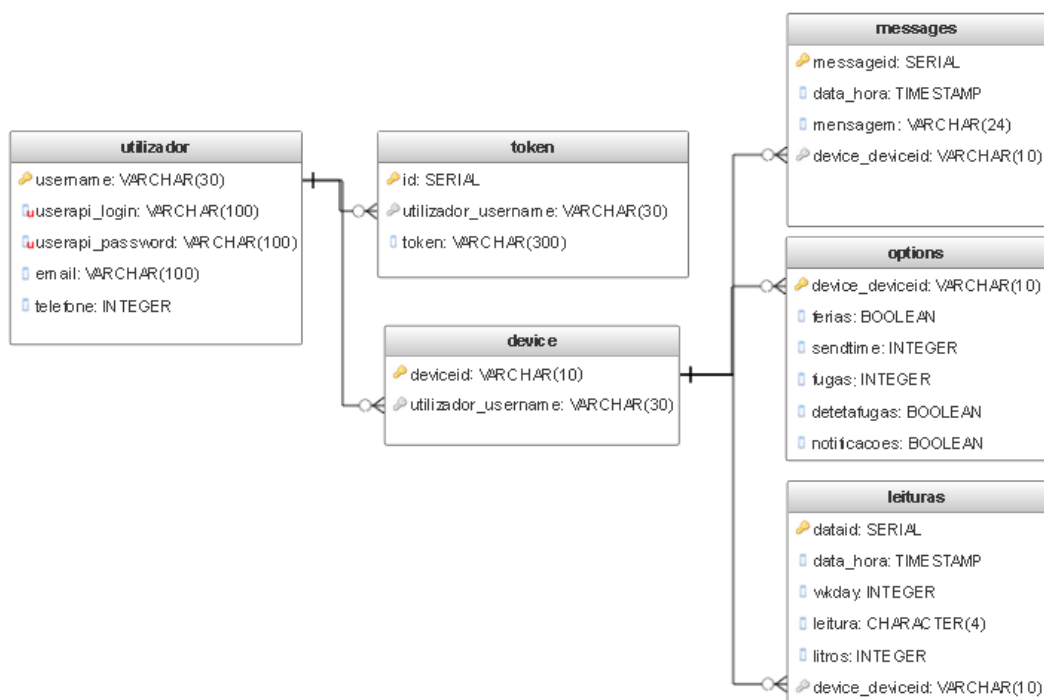


Figura 3.16: Representação da base de dados criada para o trabalho

Esta estrutura é relativamente simples mas suficiente para suportar todas as funcionalidades desejadas.

A tabela "utilizador" conta com as credenciais *delogin* na aplicação bem como informação pessoal do utilizador, como o seu *email* ou número de telefone.

A tabela "token" regista o token necessário para gerir as notificações. O modo de funcionamento destas notificações será abordado na secção 3.8.2.6.

Em "device" encontra-se o número identificativo do módulo Sigfox, que é necessário para que em casos de perda da informação da base de dados se possam ir buscar novamente as leituras à *Cloud Sigfox*.

Nas restantes tabelas encontram-se informações de mensagens, leituras e as preferências do utilizador para o funcionamento do seu contador.

Quando um novo utilizador entra pela primeira vez na aplicação é levado para um ecrã de registo. Nesse ecrã pode colocar o seu nome de utilizador, email, telefone e número identificativo do dispositivo. Estes dados são colocados na tabela "utilizador" e "device" da base de dados. É também automaticamente criado um *token* único que será inserido juntamente com o número do dispositivo Sigfox na base de dados. Este *token* só é criado na primeira vez que a aplicação corre no dispositivo móvel. Ou seja, quando a aplicação é apagada e reinstalada posteriormente, um novo *token* é criado. Assim, a entrada que está na base de dados é apagada e o novo *token* é inserido.

Sempre que um pedido *callback* da *cloud* chega ao servidor, a mensagem é tratada de forma a retirar as leituras e estas são inseridas na base de dados.

Sempre que o utilizador modifique as definições de funcionamento do sistema, estas são modificadas na tabela opções.

## 3.8 Aplicação móvel

A aplicação móvel é a forma através da qual o utilizador pode consultar os seus dados e historial de consumo bem como ser alertado para eventuais problemas. A aplicação foi criada para um sistema Android a utilizando o IDE Android Studio, que recorre a XML para a programação do ambiente gráfico e Java para programar as ações. O nome à aplicação foi "Hydrofox".

### 3.8.1 Requisitos

Como já referido, a aplicação é a única forma do utilizador consultar os seus dados. Para tal, esta foi implementada tendo em vista o cumprimento dos seguintes requisitos:

- Consulta no primeiro ecrã da informação de consumo do dia e mês anterior, podendo a data ser alterada pelo utilizador;
- Estimativa do preço a pagar, com escalões de pagamento editáveis por parte do utilizador;
- Alteração de nome de utilizador e de parâmetros de funcionamento do sistema, como por exemplo ativação de notificações, frequência de envio ou deteção de problemas;
- Visualização gráfica dos consumos por dia, semana, mês ou ano;
- Estatísticas de consumo, onde se pode encontrar mês e dia com maior e menor consumo, bem como consumo médio.

### 3.8.2 Funcionalidades implementadas

#### 3.8.2.1 Login

O primeiro ecrã apresentada ao novo utilizador é o de Login. Neste, devem submeter-se os dados de acesso à REST API do Sigfox. Estas credenciais são dadas pela Sigfox e são compostas por dezenas de caracteres aleatórios, podendo tornar-se difícil realizar o login. Estas credenciais serão necessárias na eventualidade da base de dados ter sido corrompida ou apagada e se tenha de novamente retirar as leituras da *cloud* Sigfox. Esta foi a única forma encontrada para a aplicação ter acesso à informação na Cloud Sigfox. De outra maneira estas credenciais tinham de estar presentes no código da aplicação.

Para verificar o primeiro login, a aplicação faz um pedido HTTP ao servidor Sigfox em que as credenciais são necessárias. Se esse pedido for respondido, as credenciais são guardadas em *cache* e o utilizador é encaminhado para o processo de registo.

Em qualquer outro login após feito o registo, a aplicação verifica se as credenciais existem primeiro em *cache* e, caso não existam, tenta na base de dados. Nesta situação, um login bem sucedido encaminha o utilizador para o ecrã principal.

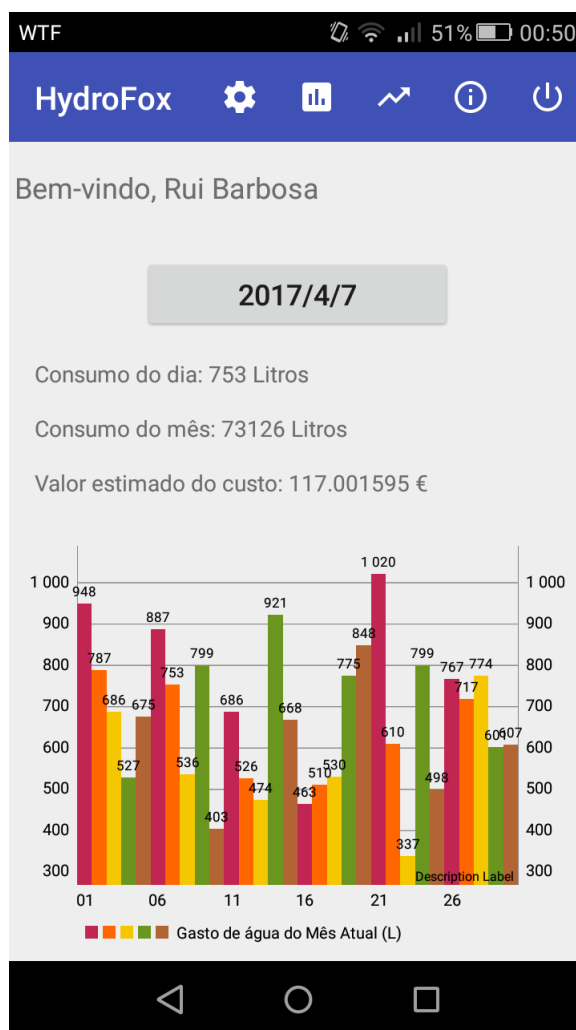


Figura 3.17: Ecrã principal da aplicação móvel Hydrofox, desenvolvida para o trabalho

### 3.8.2.2 Registo

No ecrã de registo o utilizador poderá alterar o seu nome de utilizador, o ID do seu dispositivo Sigfox e a sua informação pessoal.

A verificação de um ID válido é feita novamente por um pedido HTTP. Caso todas as informações estejam corretas, estas são inseridas, juntamente com as credenciais de login, na base de dados.

### 3.8.2.3 Home

O ecrã Home é aquele para a qual um utilizador registado e com login efetuado é encaminhado sempre que acede à aplicação.

Neste ecrã o utilizador terá acesso ao seu consumo de água do dia anterior, o consumo total do mês corrente, bem como uma estimativa do quanto vai pagar por tal consumo, e um auxílio gráfico que mostra a evolução do gasto de água desse mês.

O utilizador é também livre de alterar a data e consultar informação referente ao consumo do dia e do mês da data que escolheu. Para datas em que não exista informação irão aparecer mensagens de erro.

A figura 3.17 ilustra este ecrã para o dia 7 de Abril de 2017. É de apontar que todos os dados de consumo apresentado são fictícios, gerados aleatoriamente para um período de 4 anos, entre Janeiro de 2014 e Dezembro de 2017.

### 3.8.2.4 Definições

No ecrã de definições 3.18 o utilizador poderá alterar o seu nome de utilizador, definir se quer receber ou não notificações de novas leituras e de alarmes, pode alterar as definições de alarmes e alterar os escalões de consumo para aqueles que o seu fornecedor de água pratica.

Para que a ação de alteração fique concluída é sempre necessário que o utilizador submeta as alterações.

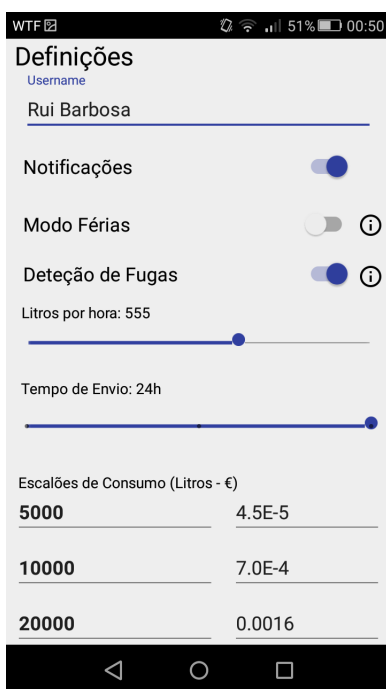


Figura 3.18: Ecrã de definições da aplicação móvel Hydrofox, desenvolvida para o trabalho

### 3.8.2.5 Gráficos e estatísticas

No ecrã de gráficos o utilizador pode consultar dados do seu consumo, escolhendo a data e intervalo de tempo que deseja, obtendo o gráfico correspondente. Este é realizado dinamicamente utilizando a biblioteca MPAndroidCharts. Esta biblioteca permite a fácil criação e customização de uma grande quantidade de gráficos. Os dados das leituras são retirados da base de dados, devem ser colocados num vetor de objetos JSON e aplicados para o gráfico desejado.

No ecrã de estatísticas obtém-se informação sobre os meses e dias de maior e menor consumo, consumos médios e preços médios. Estes dois ecrãs podem ser vistas na figura 3.19.

### 3.8.2.6 Notificações *push*

As notificações *push* foram realizadas recorrendo à plataforma Firebase da Google. Estas foram criadas com o intuito de avisar o utilizador para a existência de novas leituras ou para o disparo de algum dos alarmes.

As notificações *push* permitem ao utilizador receber comunicações da aplicação mesmo quando este não tem a aplicação aberta no telemóvel, sendo assim ideais para esta tarefa.

Na primeira vez que o utilizador entra na aplicação é gerado um *token* de acesso que será inserido na base de dados, na tabela "*token*", juntamente com o número identificativo do dispositivo Sigfox.

Caso o utilizador desinstale a aplicação do seu dispositivo móvel, após uma nova instalação, a aplicação vai gerar um novo *token*. Nessa eventualidade, a linha correspondente ao dispositivo desse utilizador é apagada e inserida outra com o novo *token*.

Quando o serviço *callback* da *Cloud* da Sigfox é executado e o servidor recebe informação, este vai em primeiro lugar avaliar que tipo de informação recebeu: se se trata de um alarme ou de leitura. Em qualquer um dos casos é necessário recolher o *token* da base de dados, usando o número de identificação do dispositivo. De seguida é feito um pedido à plataforma *Firebase* para que envie uma notificação para o dispositivo móvel com o referido *token*. Essa notificação é diferente consoante o tipo de informação recebida.

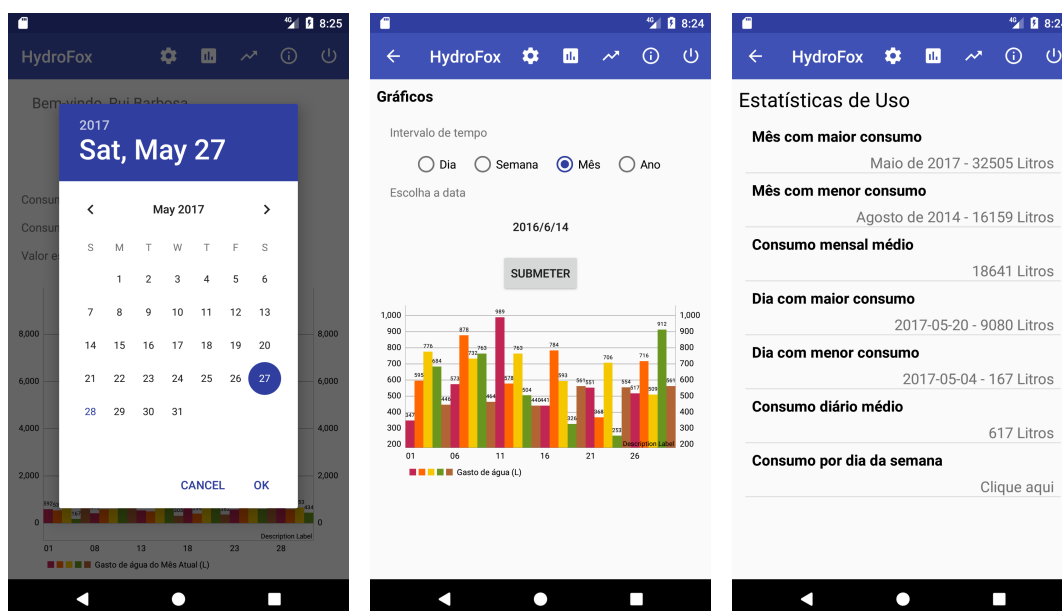


Figura 3.19: Ecrãs de gráficos e estatísticas da aplicação móvel Hydrofox, desenvolvida para o trabalho



## Capítulo 4

# Testes e Resultados

Neste capítulo são apresentados os testes conduzidos sobre o sistema para validar o seu funcionamento e a sua conformidade com os requisitos propostos em 3.1.

É apresentada a metodologia utilizada para conduzir os testes, os resultados obtidos e, por fim, uma interpretação desses resultados.

São conduzidos testes a todos os aspetos do sistema. Em primeiro lugar é testado o sensor e o mecanismo de contagem. A cobertura do módulo Sigfox é também avaliada e, de seguida, são conduzidos testes do sistema completo com um uso próximo de condições reais da aplicação móvel desenvolvida. Por fim é feito um teste ao consumo energético do sistema.

### 4.1 Testes ao sensor e mecanismo de contagem

O objetivo deste teste é a caracterização do contador de água utilizado bem como validar a sua utilização e a do sensor escolhido. Com este teste pretende-se determinar se o número de impulsos por litro gerados pelo sistema é uma função do caudal e, caso seja, determinar a sua função de transferência. Desta forma será possível calibrar o sistema de forma a medir o consumo de água.

Este teste foi realizado recorrendo a um controlador de nível de água num tanque. Este controlador dispõe de dois tanques de água de 10 litros cada. Dispõe também de uma bomba, controlada por uma tensão DC entre 0 e 10 V, de forma a bombear água de um tanque para o outro com o caudal desejado. A água sai do primeiro tanque pelo seu fundo, passa na bomba e sobe uma tubagem vertical de forma a entrar pelo topo do segundo tanque. O contador é colocado a meio desta tubagem vertical. De forma a controlar esse caudal existe também um caudalímetro eletrónico que produz 752 impulsos por litro. Assim, controlando a frequência do sinal do caudalímetro, será possível controlar tanto o caudal como o volume de água que passa no contador e assim calibrá-lo.

A montagem do contador pode ser observada na figura 4.1.

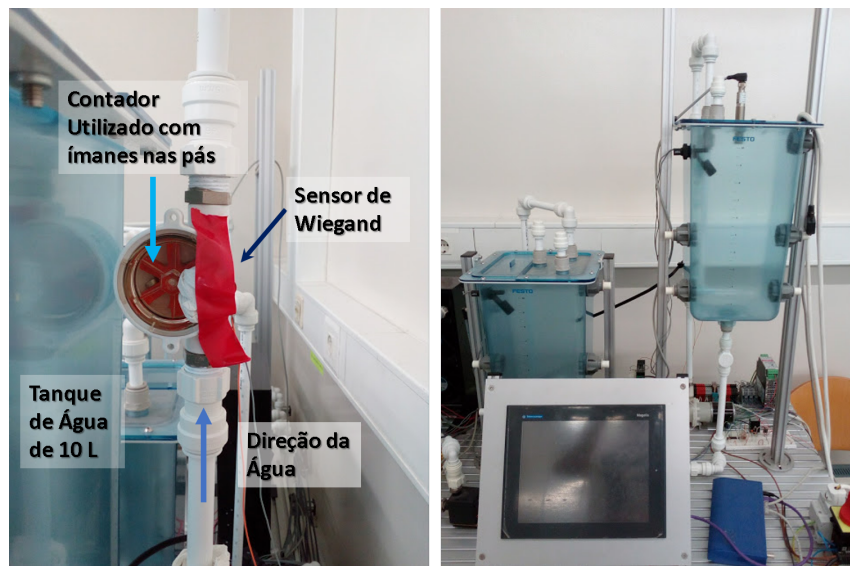


Figura 4.1: Montagem do contador e do sensor

#### 4.1.1 Métodos

Neste teste foram em primeiro lugar colocados os terminais do sensor ligados diretamente a um osciloscópio. O sensor foi colado sobre a face do contador. O objetivo é verificar o funcionamento do sensor e caracterizar a função de transferência entre número de impulsos por segundo e tensão DC.

Iniciou-se o teste com o caudal máximo, gerado por uma tensão DC de 10 V, registrando-se a frequência do contador do sinal. A tensão foi então diminuída em intervalos de 250 mV até que o movimento da água deixasse de ser detetado (relembrar que o contador utilizado tem um caudal mínimo de 2 litros por minuto, como visto na tabela 3.4), registrando sempre a frequência do sinal do contador.

De seguida ligou-se o contador ao circuito de acoplamento e ao microcontrolador. Voltou-se novamente a colocar a tensão DC nos 10 V e, com auxílio dos marcadores de nível do tanque, contaram-se os impulsos gerados pelo sensor, com recurso ao IDE de desenvolvimento da aplicação do microcontrolador, para 1 litro de água. O caudal da água foi sendo diminuído até não mais ser detetada a sua passagem, registrando-se sempre o número de impulsos necessários.

#### 4.1.2 Resultados e discussão

Os resultados foram compilados nos gráficos das figuras 4.2 e 4.3.

Verifica-se que a evolução do número de impulsos por segundo gerados pelo sensor do contador é uma função logarítmica da tensão aplicada à bomba, visto que esta é a função com melhor coeficiente de determinação ( $R^2$ ) nas regressões realizadas utilizando Excel. Constatou-se também que a partir dos 3.3  $V_{DC}$  não foi possível colocar as pás do contador a girar. Com o auxílio do caudalímetro eletrónico, verifica-se que essa tensão gera um caudal de 0,64 l/min, o que se

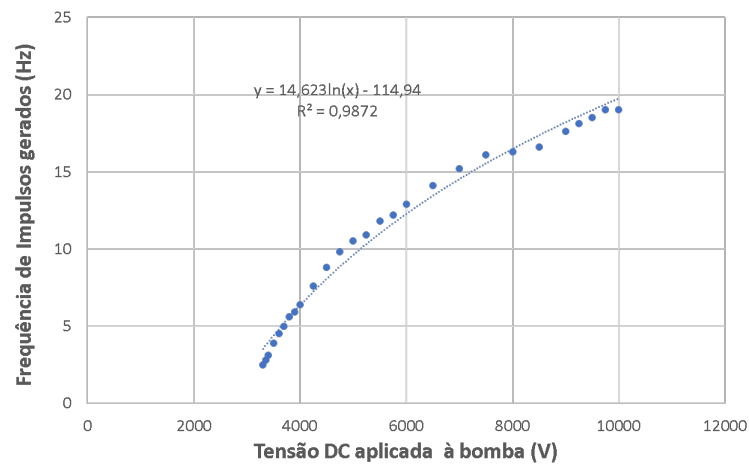


Figura 4.2: N° de impulsos por segundo gerados pelo sensor em função da tensão DC aplicada à bomba

encontra bem abaixo do limite mínimo de medição do contador utilizado. Verifica-se também que para uma tensão máxima de 10 V, o caudal circulante é de cerca de 6,22 l/min.

Pela figura 4.3, demonstra-se que para caudais acima dos 3 l/min, o mínimo que assegura um comportamento estável do contador, o número de impulsos gerados por litro pelo sensor é aproximadamente constante, apresentando uma média de 168 impulsos e um desvio padrão de 4,9. Foi então calibrado o microcontrolador de forma a que a cada 168 impulsos conte um litro de água consumida.

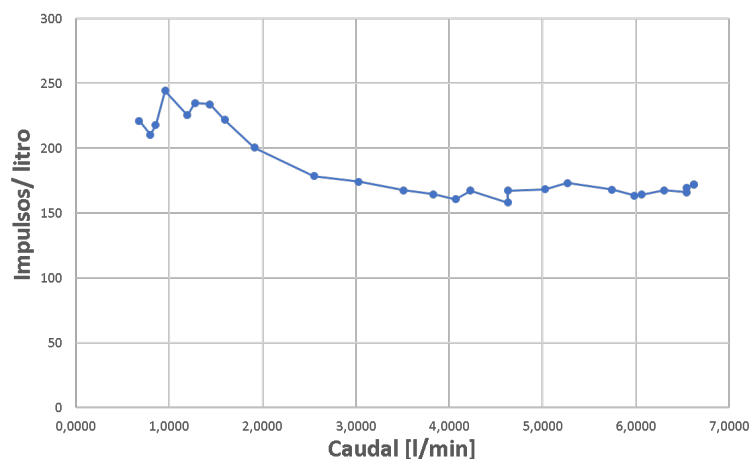


Figura 4.3: N° de impulsos por litro em função do caudal medido em litros por minuto

Na figura em 4.4 encontra-se o sinal à saída do sensor para o nível de tensão de controlo DC de 10 V. Visto que a escala temporal é de 50 ms por divisão, o impulso triangular gerado pelo sensor aparece como linhas verticais. Verifica-se que estas estão igualmente espaçadas, com cerca de 1 divisão entre elas, e com uma amplitude que vai dos 4 aos 6 V.

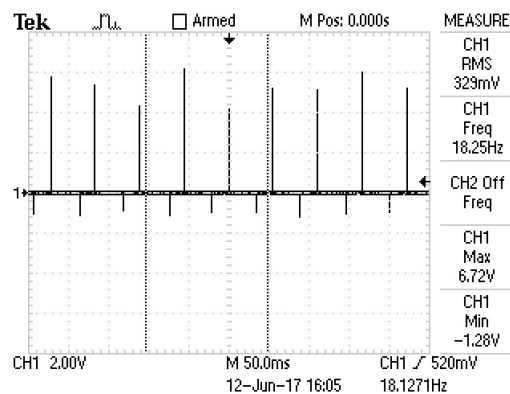


Figura 4.4: Sinal do sensor com tensão DC de 10V

## 4.2 Teste de cobertura do módulo Sigfox

Visto que os contadores de água não estão comumente nos locais mais acessíveis e propícios ao funcionamento de redes sem fios, decidiu-se identificar as limitações no envio de mensagens a partir de várias divisões de uma habitação.

### 4.2.1 Métodos

Neste teste foi feito um programa para um Arduino que iria enviar uma mensagem à escolha quando o utilizador necessitasse. De seguida foram enviadas mensagens de várias localizações de uma habitação numa zona nos arredores de uma grande cidade (Pedroso, Vila Nova de Gaia). Este teste tem como objetivo testar os limites da solução escolhida e verificar em que situações é que esta teria de ser alterada para poder tirar partido da rede Sigfox.

### 4.2.2 Resultados e discussão

Na tabela 4.1 foi registado o local da habitação de onde a mensagem foi enviada. Foi registado também a qualidade da ligação e o rácio entre sinal e ruído (SNR), ambos disponíveis para cada mensagem no *backend* da Sigfox. Foram também apontadas as restrições para que o *backend* conseguisse receber as mensagens, isto é, se houve algum problema no envio e como é que esse foi resolvido.

Visto que a Sigfox não providencia dados sobre a potência do sinal recebido pela *base-station* no seu *backend*, utilizou-se o esquema de conversão em 4.5, providenciado pela Sigfox em [11], que, em função do indicador de qualidade do sinal, dá uma ideia da gama de valores da potência desse sinal e a quantidade de estações que o receberam.

Verifica-se que para o sinal ser de qualidade excelente deve ser recebido por 3 estações com uma potência superior a -122 dBm. O máximo que se conseguiu obter durante os testes normais foi uma qualidade de sinal boa (*GOOD*) sendo que em média, o SNR é de 15,21 dB e o RSSI de -135,88 dBm, conferindo-lhe uma qualificação de limite. Verifica-se então que o sinal tem uma potência fraca, algo que pode ser contrariado por uma conceção mais cuidada da antena.

RSSI	Number of basestation	Link Quality indicator
-122dBm < RSSI	3	EXCELLENT
-135dBm < RSSI < -122dBm	3	GOOD
-122dBm < RSSI	1 or 2	GOOD
-135dBm < RSSI < -122dBm	1 or 2	AVERAGE
RSSI < -135dBm	any	LIMIT

Figura 4.5: Qualidade e potência do sinal Sigfox [11]

Analisando a tabela 4.1, constata-se que é bastante importante ter em conta onde o contador está instalado e adaptar a disposição da antena e mesmo as suas características a esse local. Por exemplo, caso o contador esteja numa cave sem qualquer janela, a realização de comunicação torna-se quase impossível.

Tabela 4.1: Testes de cobertura do módulo Sigfox numa habitação

Características do Local	Qualidade	SNR (dB)	Restrições
<b>Quarto com janela ampla (2x1m)</b>	Média	19,50	-
<b>Quarto com paredes tijolo a toda a volta sem janelas</b>	Média	24,25	-
<b>Sem linha de vista para exterior, 2 paredes tijolo a toda a volta, piso térreo</b>	Fraca	13,86	Funciona se antena estiver apontada para a porta
<b>Piso térreo, parede de tijolo a toda a volta (junto ao contador de água e luz da habitação)</b>	Fraca	6,21	Funciona com antena na vertical, inclinada para a parede exterior mas não encostada
<b>Sem linha de vista para exterior, 2 paredes tijolo a toda a volta, piso térreo</b>	-	-	-

### 4.3 Teste ao sistema completo

O intuito deste teste é validar o funcionamento do sistema como um todo. Para tal, o contador foi ligado da mesma forma que em 4.1, porém desta vez o microcontrolador foi também ligado ao módulo Sigfox. A monitorização dos consumos passou a ser feita pela aplicação móvel desenvolvida.

### 4.3.1 Métodos

De forma a poder recolher dados e diagnosticar problemas sem ter de esperar um grande intervalo de tempo, foi alterada a frequência de envio de leituras diretamente no código do MCU para 3 minutos. Foi também definido pela aplicação móvel que o utilizador iria receber notificações.

De seguida o controlador de nível de água foi colocado a funcionar de forma a que o fluxo de água no contador fosse constante - a tensão que controla a água dos tanques foi colocada em 5 V e ambos os tanques estavam a aproximadamente meio volume. O *setup* manteve-se até se receber uma contagem no *backend* da Sigfox e uma notificação no dispositivo móvel.

De seguida desligou-se o controlador de nível - tensão DC igual a 0 V - e repetiu-se o processo. Por fim, o controlador de nível foi ligado com níveis de tensão alternantes - 5 V e 10 V - de forma a poder ver a variação da contagem nas leituras.

Ativou-se o alarme de uso indevido enquanto havia consumo de água de forma a verificar o seu funcionamento. Verificou-se também que independentemente do alarme, a contagem continuou a ser feita de forma correta.

Por último, simulou-se o alarme de fuga utilizando um pedido HTTP ao servidor desenvolvido que replicasse o pedido de *callback* que o Sigfox faz.

A aplicação correu no dispositivo móvel do autor que corre o sistema operativo Android 4.0.3.

### 4.3.2 Resultados e discussão

Time	Data / Decoding	Location	Link quality	Callbacks
2017-06-12 16:00:05	000100030003000100010001			
(a) Leituras com $V_{DC}$ variável de 5V a 10V				
2017-06-12 15:57:06	000000000000000000000000			
(b) Leituras com circuito de água desligado				
2017-06-12 15:51:03	000100010001000100010001			
(c) Leituras com $V_{DC}$ de 5V				

Figura 4.6: Mensagens com leituras recebidas no *Backend* da Sigfox

A contagem de água deverá ser relativamente parecida para todos os intervalos de tempo considerados. Verificou-se, utilizando o caudalímetro eletrónico, que quando a tensão DC é de 10 V o caudal é de cerca de 6,22 l/min. Já quando a tensão é de 5 V esse caudal irá rondar os 3,7 l/min. Assim, como o tempo de envio é de 3 minutos, calcula-se que o tempo por medida é de 30 segundos (um sexto do tempo do envio). Assim, cada leitura quando a tensão DC estiver a 10 V deverá rondar os 3 litros e quando for de 5 V deverá estar ser ou 1 ou 2 litros.

Podem observar-se nas figuras em 4.6, as leituras no *backend* da Sigfox e inseridos na base de dados, a mensagem e a respetiva leitura 4.7. Confirmam-se as previsões, sendo que há um erro de cerca de meio litro por defeito nas contagens para a tensão DC de 5 V.



The screenshot shows a database query interface. At the top, there is a text input field containing the SQL query: `SELECT * FROM Leituras ORDER BY dataid DESC`. Below the input field is a dropdown menu labeled "Table queries" and a blue "Execute" button with a right-pointing arrow. The results are displayed in a table with the following columns: `dataid`, `data_hora`, `wkday`, `deviceid`, `leitura`, and `litros`. The table contains 10 rows of data, with `dataid` values ranging from 9484 down to 9475.

dataid	data_hora	wkday	deviceid	leitura	litros
9484	2017-06-12 16:00:05 +0000	1	21464A	0001	1
9483	2017-06-12 12:00:05 +0000	1	21464A	0001	1
9482	2017-06-12 08:00:05 +0000	1	21464A	0001	1
9481	2017-06-12 04:00:05 +0000	1	21464A	0003	3
9480	2017-06-12 00:00:05 +0000	1	21464A	0003	3
9479	2017-06-11 20:00:05 +0000	7	21464A	0001	1
9478	2017-06-12 15:57:06 +0000	1	21464A	0000	0
9477	2017-06-12 11:57:06 +0000	1	21464A	0000	0
9476	2017-06-12 07:57:06 +0000	1	21464A	0000	0
9475	2017-06-12 03:57:06 +0000	1	21464A	0000	0

Figura 4.7: Leitura de 4.6a inserida na base de dados

Pode observar-se também, nas figuras 4.8a e 4.8b, exemplares de todas as notificações que o utilizador recebeu. São notificações de consumo indevido ou excessivo e também de receção de novas leituras. Ao carregar sobre a notificação a aplicação é aberta na página principal.

## 4.4 Testes de consumo em corrente

Por último, de forma a validar o requisito do consumo em corrente da solução, foi criado um teste de forma a medir a corrente média em diversas situações de funcionamento do sistema. Apesar dos valores já estarem marcados em *datasheet*, houve necessidade de verificar a estimativa do consumo em corrente real de forma a verificar se o programa do microcontrolador estava bem escrito e não necessitava de largos recursos computacionais. Este teste permite verificar se com o programa desenvolvido a correr, os consumos em corrente médios continuam como projetado.

Para tal, o recorreu-se a um multímetro PCE-UT803 [76], com resolução de  $0,1 \mu A$ , a ser colocado, inicialmente, em série com a alimentação do microcontrolador e, de seguida, em série com a alimentação do módulo Sigfox. A alimentação foi feita utilizando uma fonte de tensão regulada para 3 V. Desta forma pode medir-se o consumo em corrente como sendo a soma aritmética das duas correntes médias calculadas a partir dos valores observados.

### 4.4.1 Método

O sensor foi substituído por um botão de pressão que ao ser premido gera um impulso. Desta forma foi possível controlar a velocidade com que os impulsos surgem e assim observar de forma mais exata o que acontece quando o microcontrolador deteta um impulso.

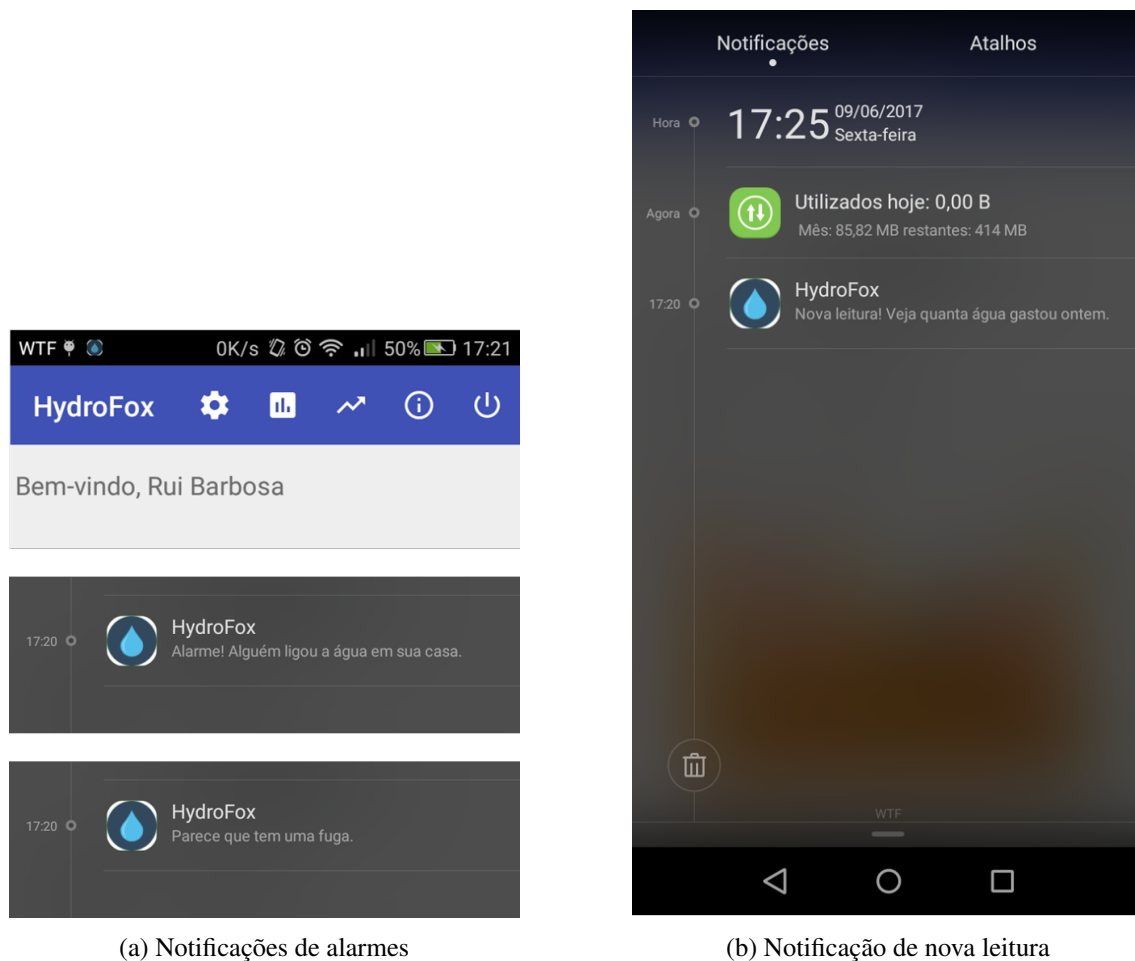


Figura 4.8: Notificações da aplicação móvel

Foi criado um programa para envio e receção de mensagens que vai correr no microcontrolador. Esse programa também o coloca em modo de repouso após receber uma mensagem. Foi então possível medir e registar as correntes quando se dá um envio de mensagem e uma receção, bem como quando o módulo está em modo ativo ou de repouso.

Para o microcontrolador, não foi possível medir o aumento de consumo de corrente relacionado com o tratamento das interrupções. Desta forma, decidiu-se, para o microcontrolador, medir valores de consumo de corrente eficazes.

Esta medição poderia ter sido feita utilizando um osciloscópio. No entanto, visto que o consumo em corrente é tão baixo, seria necessário um circuito amplificador e de filtragem para poder efetivamente ver o sinal real sem muito ruído. Assim, e visto que a medição já seria de boa qualidade, optou-se pelo uso do multímetro.

É também de salientar foram desligados todos os extras da *Launch Pad*, como por exemplo os LEDs de sinalização, de forma a medir a corrente consumida somente pelo microcontrolador.

Por fim foram novamente efetuados os cálculos para o consumo médio esperado, o tempo de vida esperado das pilhas e a capacidade do *energy harvester* poder estender esse tempo de vida.

#### 4.4.2 Resultados e discussão

Os resultados obtidos foram compilados na tabela 4.2.

Tabela 4.2: Consumos em corrente medidos no funcionamento normal do sistema

<b>WSSFM10R1</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
<b>Envio</b>	46,7	mA
<b>Receção</b>	13,3	mA
<b>Stand-by</b>	527	$\mu$ A
<b>Sleep</b>	1,2	$\mu$ A
<b>MSP430G2553</b>		
$I_{RMS}$	3,4	$\mu$ A

Verificou-se também que após o envio de uma mensagem, o módulo Sigfox fica em modo *stand-by* enquanto não recebe a resposta durante um tempo não superior a 15 segundos. Desta forma, e com 4 mensagens por dia, concluiu-se que o consumo médio de corrente do módulo WSSFM10R1 seria de aproximadamente  $21,6 \mu$ A.

Quanto ao MCU, como mencionado anteriormente, devido à sua brevidade, não foi possível identificar e medir de forma acertada as instâncias de envio ou receção de mensagens e de contagem. Assim sendo, optou-se por medir o verdadeiro valor eficaz, ou *true RMS*. É de salientar que este valor é superior ao que se deveria verificar, visto que se aumentou o número de mensagens a enviar para níveis não suportados pela solução.

Pode então concluir-se que o consumo em corrente médio da solução rondará os  $25 \mu$ A. É de salientar a proximidade deste valor com o que foi previsto em 3.5.2. Com duas pilhas AA de lítio de com capacidade de cerca de 3000 mAh [77], o sistema tem um tempo de vida de 14 anos, quase tanto tempo como a garantia dada de funcionamento.



## Capítulo 5

# Conclusões e Trabalho Futuro

Com este projeto desenvolveu-se um sistema de monitorização de consumo de água com o qual um utilizador pode consultar diariamente o seu consumo e o custo monetário associado.

Trata-se de um sistema em que os consumos energéticos são bastante reduzidos, verificando-se teoricamente um consumo médio inferior a  $30 \mu\text{A}$ , levando a que duas pilhas AA possam alimentar o sistema durante um máximo de 15 anos sem necessidade de substituição. As leituras geradas são enviadas para uma plataforma *online* e podem ser consultadas através duma aplicação móvel. É enviada informação do consumo de água regularmente, entre 1 a 4 vezes por dia, para uma base de dados que pode ser acedida pelo utilizador através duma aplicação móvel especialmente criada para o projeto. Verificou-se que o sistema cumpre todos os objetivos (estipulados em 1.2). Verificou-se ainda que é possível utilizar o sensor escolhido para recolher energia de forma a alimentar o circuito.

Com cada decisão tomada no processo de desenvolvimento, a solução adquiriu características que a permite cumprir os requisitos nomeados inicialmente, mas que no entanto podem ter criado deficiências na operação noutras áreas não abrangidas pelos requisitos. É então importante e necessário, em exercício de introspeção e auto-crítica, analisar a solução apresentada e salientar os seus pontos fortes e aqueles em que é necessária uma melhoria. Com essa base será possível identificar as próximas iterações deste projeto e delinear linhas para um trabalho futuro.

### 5.1 Pontos fortes da solução

A principal valência desta solução é o sensor de Wiegand utilizado para o mecanismo de contagem. O facto de ser um sensor passivo, ao contrário das outras soluções encontradas, e até capaz de produzir energia teve grande influência na capacidade de manter os consumos energéticos baixos. Apresenta também um princípio de funcionamento relativamente simples e pode ser dimensionado de forma a regular a produção energética, um aspeto que poderia ter sido mais bem explorado neste projeto, porém a falta de literatura relevante e de fabricantes do sensor geograficamente próximos provou-se limitadora. Foi então necessário optar-se por soluções *off-the-shelf* cedidas por outros investigadores.

Outro dos pontos fortes da solução é a sua simplicidade. Utiliza poucos blocos para cumprir a sua função, tornando-se numa solução de pouco volume e, ao nível de *hardware*, facilmente recriável. Assim, pode ser adicionado sem grandes dificuldades técnicas aos contadores tradicionais. É uma forma simples, rápida e bastante económica de tornar qualquer contador comum num *smart-meter*.

## 5.2 Limitações da solução

Uma das características da solução que estava definida como condição prévia era o uso do Sigfox. Ora, esse uso, apesar de vantajoso do ponto de vista energético, traz algumas limitações.

A primeira prende-se com a obrigatoriedade do uso da API da Sigfox e da sua *cloud* para recolher as informações de consumo. Este é uma funcionalidade bastante importante, já que falhando, do ponto de vista do utilizador, a solução perde qualquer valor. Desta forma seria importante ter mais algum controlo sobre ela. Isto não se verifica, podendo levar a casos em que o criador do sistema se veja impossibilitado de o conseguir solucionar os problemas que surjam.

Outra das dificuldades da utilização deste protocolo é a limitação do tamanho e codificação de cada mensagem, bem como o número máximo de envios diários. Esta limitação leva, no entanto, a que se tenham que criar métodos de codificação de informação, levando a um aumento do rendimento da mensagem, algo que não aconteceria com qualquer outra solução. Leva também a que o período de recolha de uma leitura seja limitado. Nos extremos, seria teoricamente possível ter uma leitura a cada 2 minutos. Na prática esta solução seria impraticável devido a um aumento do consumo e aos tempos de resposta do módulo, que poderiam afetar o funcionamento normal e com baixo erro do contador. A personalização da mensagem de *acknowledgement* também é limitada devido ao seu tamanho de 8 *bytes*, no entanto cumpriu o objetivo. Este tópico será discutido de forma mais aprofundada na secção 5.4.

Finalmente, é necessário ter em atenção a cobertura geográfica do Sigfox, já que foi verificado que este sistema não funciona quando instalado em divisões bastante isoladas do exterior.

Verifica-se que podem haver deficiências na deteção de fugas, especialmente se o utilizador não souber caracterizar de forma correta o que considera ser uma fuga e qual o limite mínimo de consumo para se verificar a ocorrência de uma.

## 5.3 Análise de custos da solução

Tendo a solução concluída, testada e validada, é importante fazer uma comparação entre o seu custo e o custo das outras soluções identificadas em 2.2. É essencial mencionar que estas previsões não incorporam o valor do trabalho de engenharia ou sequer a potencial redução de custo da compra em grosso.

Assim, verificou-se que a solução da Amphiro tem um custo de \$99.99 na Amazon ou perto de €90 [78]. A solução da Kamstrup tem um custo de £184.80 ou cerca de €212 [79]. Não foi possível obter a informação do preço do produto da Lesira-Teq.

Assim, é importante que o preço da solução obtida esteja próximo dos valores obtidos anteriormente. Foram registados os preços dos equipamentos utilizados e dessa forma obteve-se a tabela 5.1.

Tabela 5.1: Custo da solução apresentada

<b>Equipamento</b>	<b>Preço (€)</b>
Microcontrolador (MSP430G2553IN20)	2,37 [80]
Módulo Sigfox + Antena + Licença	23,88 [81]
Sensor de Wiegand	0,87 [82]
Resistência 10 k	0,10
Díodo zéner 3.3 V	0,02 [83]
Cristal 32 kHz	2,00 [84]
Manufatura do PCB	1,00-5,00
Encaixilhamento	6,11 [85]
Total	40,35

Conclui-se que o custo da solução apresentada é bastante mais reduzido que o de qualquer outro concorrente. No entanto não foram contabilizados dois dos componentes utilizados no trabalho: os ímanes e a turbina monojato. Isto dá-se porque se acredita que com um correto dimensionamento do sensor de Wiegand se consiga adaptar a solução a um qualquer contador de água comum que possua ímanes internos. No entanto, com estes dois componentes incluídos, o custo final seria de €110,27, um preço bastante competitivo.

## 5.4 Protocolo Sigfox

Um dos grandes objetivos e requisitos desta dissertação era o uso da tecnologia e protocolo Sigfox. Assim, considerou-se necessário e oportuno deixar um comentário breve explicitando a experiência adquirida e discutindo outras aplicações.

### 5.4.1 Experiência

O Sigfox é anunciado como sendo uma tecnologia pronta a usar, simples, com uma cobertura extensa e a aumentar e de muito baixo consumo energético.

Quanto à simplicidade e prontidão de uso, verifica-se que estas são afirmações verdadeiras a partir do momento em que se tenha uma licença de uso da rede Sigfox. A obtenção dessa licença não pareceu particularmente simples, já que uma grande maioria dos módulos necessitavam que se comprasse a licença separadamente à Sigfox. No entanto, conseguiu encontrar-se um módulo em que esta já viesse incluída. Após adquirir a licença, um utilizador só precisa de se registar na plataforma *backend* da Sigfox e o dispositivo estará pronto a utilizar.

A sua programação é simples e intuitiva. São necessários apenas comandos AT que são passados ao módulo via UART. Esses comandos são normalmente descritos nas *datasheets* dos módulos.

A cobertura é anunciada no *website* da empresa e, caso não exista na região em questão, a Sigfox providencia meios para que um utilizador possa criar a sua *base station*.

A simplicidade, no entanto, pode terminar aqui. Caso o utilizador queira a sua aplicação personalizada para tratamento das mensagens, à semelhança do que se quis fazer nesta dissertação, este deve ter conhecimentos na criação de serviços REST e pedidos *curl*. Pode no entanto utilizar-se uma integração com outros serviços da *Internet of Things*, como o Azure IoT Suite da Microsoft e a AWS IoT da Amazon. Outras plataformas também estão disponíveis no *site* porém estas são as de maior utilização. Todas elas são, no entanto, pagas.

Quanto ao consumo energético, demonstrou-se que estes são relativamente parecidos com outras soluções existentes no mercado.

Quanto à limitação do número de mensagens, tanto de *uplink* como *downlink*, verificou-se que não existe grande controlo, conseguindo-se por várias vezes exceder o limite sem qualquer problema na utilização do dispositivo. No entanto detetaram-se poucas ocorrências em que o módulo subitamente classifica todas as mensagens como erros. Admitiu-se que era devido aos fracos contactos elétricos que advêm do uso das *whiteboards*, porém não há como não por em causa a sua confiabilidade.

Verificaram-se alguns problemas no envio de mensagens, motivo pelo qual na figura 4.6 estas não estão espaçadas de exatamente 3 minutos. Estes acontecem pois a cada mensagem Sigfox está associado um número sequencial. Quando uma mensagem é enviada pelo módulo mas não é recebida pela *base-station* esse número de sequência é aumentado no módulo mas permanece igual na *base-station*. Havendo um acumular de situações semelhantes, os números de sequência ficam cada vez mais dispares o que leva ao *backend* da Sigfox a descartar a mensagem, categorizando-a como um erro. Para resolver este problema é necessário descartar o número de sequência no *backend* periodicamente ou garantir a todo o tempo que o sinal é recebido.

### 5.4.2 Outras aplicações

Relembra-se que com os 12 bytes, ou 96 bits, da mensagem se podem realizar  $7.922816 \times 10^{28}$  códigos diferentes. Assim, a sua utilização e codificação depende apenas da criatividade do utilizador. Aquilo que inicialmente parece ser uma limitação é somente uma forma de fazer o criador pensar naquilo que é ou não importante transmitir e na melhor forma de o fazer.

Dito isto, o Sigfox pode ser usado para informar sobre estados de sensores que não necessitem de ação em tempo real. Uma quantidade grande de aplicações já existentes que aplicam Sigfox pode ser encontrada em <https://partners.sigfox.com/>. Existem indicadores de satisfação, deteção de estacionamento e trânsito, medidores inteligentes e serviços de segurança.

## 5.5 Trabalho Futuro

Com a análise das vantagens e limitações da solução apresentada, partiu-se para a definição do trabalho a desenvolver numa próxima iteração deste projeto. Esta foi uma tarefa bastante direta, sendo apenas necessário observar as falhas identificadas e melhorá-las.

Em primeiro lugar, foi feita uma asserção de que a solução proposta poderia ser integrada num contador tradicional já existente nas habitações sem alterações de maior tanto ao circuito da água, como ao contador. No entanto, nos testes conduzidos no contador do autor, tal não foi possível: o sensor não conseguiu detetar o campo magnético do íman interno do contador. Isto pode ser devido a vários fatores, sendo o principal o volume do contador, que tornam o campo desse íman no seu exterior muito fraco e inferior ao limite mínimo detetável pelo sensor, ou pela disposição do íman dentro do contador. De qualquer das formas, numa próxima etapa do trabalho, deveria ser feita uma avaliação minuciosa dos contadores utilizados pelas empresas distribuidoras de água em Portugal, de forma a perceber melhor o seu princípio de funcionamento e constituição. Como resultado deste estudo poderia resultar uma solução para a integração, seja ela feita com ou sem afetar a constituição base do contador típico.

Em simultâneo deveria ser conduzida uma investigação ao dimensionamento exato do sensor de Wiegand. Em [9], observa-se que dois sensores de tamanhos diferentes geram impulsos diferentes. Assim sendo, deverá existir alguma forma de mudar as propriedades do sensor com ligeiras alterações na sua dimensão e no seu fabrico. Propriedades como a sensibilidade e a energia do impulso gerado e os fatores que as influenciam deveriam ser conhecidas de forma a poder dimensionar tanto sensores cuja única função seria gerar o impulso, tal como sensores cuja função seria gerar energia. Devido à escassez de literatura especializada neste tópico, à limitação temporal, e ao facto de só se conseguirem arranjar soluções "de prateleira", este estudo não foi conduzido. Tendo também um melhor conhecimento da produção do sensor, seria possível adicionar o circuito de *energy harvesting* (discutido em 3.5.2) aumentando o tempo de vida e até podendo escolher baterias de dimensões, capacidade e preço mais reduzido.

Com estes dois fatores presentes, é então possível desenhar uma PCB para o circuito e uma caixa para a solução. Seriam adicionados também LEDs de sinalização e possivelmente um pequeno ecrã LCD onde seria exibida a leitura diária atual em tempo real quando um botão é pressionado. Estas adições vão elevar o consumo, diminuindo o tempo de vida, no entanto a margem existente é bastante alargada e com um maior conhecimento sobre a produção de energia pelo sensor de Wiegand, seria um acréscimo capaz de ser gerido eficazmente.

Identificaram-se também algumas limitações ao nível do *software* criado. A principal é a ausência de funcionalidades direcionadas à empresa fornecedora de água. Visto este projeto ser apenas uma prova de conceito dum sistema, estas funcionalidades nunca seriam testadas, logo não foram criadas. No entanto, dar acesso a uma entidade *administradora* aos consumos medidos pelos dispositivos a si associados, providenciando também uma gama alargada de tratamento estatístico seria algo que atrairia grandes empresas de distribuição de água, potenciando o valor comercial da solução. Seriam também refinados os algoritmos de deteção de fugas e adicionado um algoritmo de deteção de fluxo inverso, possivelmente incluindo funcionalidades de aprendizagem autónoma (*machine learning*), de forma a que o utilizador não necessitasse de programar os alarmes.

Finalmente, juntamente com a Sigfox, encontrar uma forma de aceder e controlar uma secção da *cloud* de forma a proteger os dados dos consumidores e assegurar a prestação do serviço.



# Referências

- [1] Mostrador de contador de água típico. <https://thumbs.dreamstime.com/x/water-meter-16926730.jpg>, visitado a 14 de Junho de 2017.
- [2] Funcionamento de contador de pistão oscilante. <http://www.trimec-fp.com.au/products/multipulse-rotary-piston-meters/>, visitado a 14 de Junho de 2017.
- [3] Contador amphiro. [http://www.energiemoinschere.fr/guide-achat-produit/habitat/eau-sanitaire\\_9/economiseur-d-eau-amphiro-a1\\_12.html](http://www.energiemoinschere.fr/guide-achat-produit/habitat/eau-sanitaire_9/economiseur-d-eau-amphiro-a1_12.html), visitado a 14 de Junho de 2017.
- [4] SIGFOX. Vídeo de apresentação do Sigfox <https://www.youtube.com/watch?v=6ZBGDtmDGRU>, visitado a 31 de Janeiro de 2017.
- [5] SIGFOX. Vídeo sobre a pilha protocolar Sigfox <https://www.youtube.com/watch?v=tGmFgaxKPRU>, visitado a 14 de Junho de 2017.
- [6] RFWireless-World. Artigo sobre a pilha protocolar Sigfox e estrutura das mensagens <http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Sigfox-protocol-stack.html>, visitado a 14 de Junho de 2017.
- [7] V. Tasic, T. Staake, T. Stiefmeier, V. Tiefenbeck, E. Fleisch, e G. Tröster. Self-powered water meter for direct feedback. Em *2012 3rd IEEE International Conference on the Internet of Things*, páginas 24–30, Oct 2012. doi:10.1109/IOT.2012.6402300.
- [8] W. S. Hao e R. Garcia. Development of a digital and battery-free smart flowmeter. *Energies* 7, no. 6, páginas 3695–3709, Junho 2014.
- [9] Luca Corradini Stefano Saggini, Fabio Ongaro e Antonio Affanni. Low-power energy harvesting solutions for wiegand transducers. *IEEE Journal of Emerging And Selected Topics In Power Electronics*, VOL. 3, NO. 3, páginas 766–779, Setembro 2015.
- [10] Kes Tam. An electronic water meter design using msp430f41x. Março 2002.
- [11] Relação entre RSSI e qualidade do sinal Sigfox <https://confluence.sigfox.com/display/OPSDB/Link+Quality%3A+general+knowledge>, visitado a 19 de Junho de 2017.
- [12] SIGFOX. Website da empresa Sigfox <https://www.sigfox.com/>, visitado a 31 de Janeiro de 2017.
- [13] K. E. Nolan, W. Guibene, e M. Y. Kelly. An evaluation of low power wide area network technologies for the internet of things. Em *2016 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, páginas 439–444, Sept 2016. doi:10.1109/IWCMC.2016.7577098.

- [14] LoRa Alliance. *LoraWAN: What is it?*, 6 2016.
- [15] ZigBee Alliance. Website da ZigBee Alliance <http://www.zigbee.org/>, visitado a 31 de Janeiro de 2017.
- [16] LoRa Alliance. Website da LoRa Alliance <https://www.lora-alliance.org/>, visitado a 31 de Janeiro de 2017.
- [17] K. Mikhaylov, .. Juha Petaejaevaervi, e T. Haenninen. Analysis of capacity and scalability of the lora low power wide area network technology. Em *European Wireless 2016; 22th European Wireless Conference*, páginas 1–6, May 2016.
- [18] Contador utilizados no projeto. <http://pt.rs-online.com/web/p/sensores-de-caudal-interruptores-e-indicadores/3956827/>, visitado a 16 de Junho de 2017.
- [19] SNOG. *SigFox Module SFM10R1 Breakout board BRKWS01*.
- [20] Sigfox. Ponto de consulta do módulo Sigfox utilizado <https://partners.sigfox.com/products/sfm10r1>, visitado a 25 de Maio de 2017.
- [21] United States Environmental Protection Agency. Climate impacts on water resources. Estudo sobre impacto das mudanças climáticas nas reservas de água potável nos EUA, encontrado em <https://www.epa.gov/climate-impacts/climate-impacts-water-resources>, visitado a 31 de Janeiro de 2017.
- [22] T. Staake, V. Tiefenbeck, S. Schöb, e A. Kupfer. Final report on the amphiro-pwn-study: Effects of real-time feedback on hot water use. Relatório técnico, Bits to Energy Lab, ETH Zurich and University of Bamberg, Março 2016.
- [23] Diferentes tipos de caudalímetros. <http://www.bmeters.com/en/single-jet-water-meter.htm>, visitado a 2 de Fevereiro de 2017.
- [24] Diferentes tipos de caudalímetros. <http://www.bmeters.com/en/multi-jet-water-meter.htm>, visitado a 7 de Fevereiro de 2017.
- [25] Demonstração do funcionamento dum contador monojato. <https://www.youtube.com/watch?v=5sHjGtvE-Gc>, visitado a 14 de Junho de 2017.
- [26] Demonstração do funcionamento dum contador multijato. <https://www.youtube.com/watch?v=-9gyYmFFDIU>, visitado a 14 de Junho de 2017.
- [27] Funcionamento de um contador de disco. [http://www.engineersedge.com/instrumentation/nutating\\_disk\\_displacement\\_meter.htm](http://www.engineersedge.com/instrumentation/nutating_disk_displacement_meter.htm), visitado a 7 de Fevereiro de 2017.
- [28] Funcionamento de um contador de pistão. <https://www.youtube.com/watch?v=h5UMvzf6xOI>, visitado a 7 de Fevereiro de 2017.
- [29] Funcionamento de um contador de pistão oscilante. [https://www.youtube.com/watch?v=m6gl\\_dMLZVk](https://www.youtube.com/watch?v=m6gl_dMLZVk), visitado a 7 de Fevereiro de 2017.
- [30] Funcionamento de um contador de pistão oscilante. <http://www.trimec-fp.com.au/products/multipulse-rotary-piston-meters/>, visitado a 7 de Fevereiro de 2017.

- [31] Funcionamento de um contador de pistão. <http://www.maxmachinery.com/flow-meters/piston>, visitado a 7 de Fevereiro de 2017.
- [32] APDA, ERSAR. *O Consumidor e os Serviços de Água e Resíduos: Os contadores domiciliares de água*, 4 2013.
- [33] Funcionamento de contador de disco. <http://www.chipkin.com/articles/wp-content/uploads/2012/05/nutating.jpg>, visitado a 14 de Junho de 2017.
- [34] Funcionamento de contador de pistão. <http://www.maxmachinery.com/what-flow-meter-positive-displacement-flow-meters>, visitado a 14 de Junho de 2017.
- [35] Desmontagem de um contador de água. <https://www.youtube.com/watch?v=Zmt1Nwua9TE>, visitado a 7 de Fevereiro de 2017.
- [36] Ferry Hops. *Popular Science - Mechanics and Handicraft*, Julho 1950, p.120.
- [37] Funcionamento de um contador eletromagnético. <https://www.youtube.com/watch?v=f949gpKdCI4>, visitado a 7 de Fevereiro de 2017.
- [38] Funcionamento de contador eletromagnético. <https://munzir888.wordpress.com/2009/06/16/magnetic-flowmeters/>, visitado a 14 de Junho de 2017.
- [39] Funcionamento de contador ultrassônico. <https://www.yokogawa.com/solutions/products-platforms/field-instruments/flow-meters/ultrasonic-flowmeters/us300fm-ultrasonic-flowmeter/>, visitado a 14 de Junho de 2017.
- [40] Vivek Mohan. *An Introduction to Wireless M-Bus*. Silicon Labs.
- [41] Contador amphiro. <http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Wireless-M-Bus-tutorial.html>, visitado a 5 de Julho de 2017.
- [42] Protocolo de comunicação entre *smart-meters* iec61107. <https://webstore.iec.ch/publication/19047>, visitado a 14 de Junho de 2017.
- [43] Protocolo de comunicação entre *smart-meters* iec62056. <https://webstore.iec.ch/publication/6398>, visitado a 14 de Junho de 2017.
- [44] Colin McKerracher e Jacopo Torriti. Energy consumption feedback in perspective: integrating australian data to meta-analyses on in-home displays. *Energy Efficiency*, 6(2):387–405, 2013. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s12053-012-9169-3>, doi:10.1007/s12053-012-9169-3.
- [45] Miles Brignal. *Smart meters: an energy-saving revolution or just plain dumb?* 2016.
- [46] Kat A. Donnelly Karen Ehrhardt-Martinez e John A. Laitner. Advanced metering initiatives and residential feedback programs: A meta-review for household electricity-saving opportunities. Relatório técnico, American Council for an Energy-Efficient Economy, 06 2010.
- [47] Amphiro AG. Website da empresa Amphiro AG em inglês <https://www.amphiro.com/en/>, visitado a 31 de Janeiro de 2017.

- [48] Lesira-Teq. Página do *smart-meter* CM868 da Lesira-Teq <http://www.lesira.co.za/productdetail.aspx?id=3>, visitado a 31 de Janeiro de 2017.
- [49] Kamstrup. Website da empresa Kamstrup em inglês <https://www.kamstrup.com/en-en>, visitado a 31 de Janeiro de 2017.
- [50] Kamstrup. *MULTICAL 21 flowIQ 2101*:, 11 2016.
- [51] Y. W. Lee, S. Eun, e S. H. Oh. Wireless digital water meter with low power consumption for automatic meter reading. Em *2008 International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology*, páginas 639–645, Aug 2008. doi:10.1109/ICHIT.2008.172.
- [52] P Becker, B Folkmer, R Goepfert, D Hoffmann, A Willmann, e Y Manoli. Energy autonomous wireless water meter with integrated turbine driven energy harvester. *Journal of Physics: Conference Series*, 476(1):012046, 2013. URL: <http://stacks.iop.org/1742-6596/476/i=1/a=012046>.
- [53] Projeto WiMBex <http://www.wimbex.com/>, visitado a 9 de Fevereiro de 2017.
- [54] David Schneider. Construção de *smart-meter* de água caseiro <http://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/build-a-wireless-water-meter-for-your-home>, visitado a 31 de Janeiro de 2017.
- [55] Jacob Morgan. A simple explanation of 'the internet of things', Maio 2013. Simples explicação do conceito de Internet of Things publicado pela Revista Forbes em <http://www.forbes.com/sites/jacobmorgan/2014/05/13/simple-explanation-internet-things-that-anyone-can-understand/#6a3e14686828>.
- [56] Daniel Burrus. The internet of things is far bigger than anyone realizes, Novembro 2014. Artigo sobre o potencial da Internet of Things publicado pelo blog tecnológico Wired em <https://www.wired.com/insights/2014/11/the-internet-of-things-bigger/>.
- [57] Teorema de shannon-hartley. [https://en.wikipedia.org/wiki/Shannon-Hartley\\_theorem](https://en.wikipedia.org/wiki/Shannon-Hartley_theorem), visitado a 2 de Fevereiro de 2017.
- [58] Margaret Rouse. Definition: LPWAN (low-power wide area network) <http://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/LPWAN-low-power-wide-area-network>, visitado a 31 de Janeiro de 2017.
- [59] M2MCOMM. Informação sobre a Ultra-narrow Band <http://www.m2comm.co/front-page/technology/wan-ultra-narrow-band-unb/>, visitado a 31 de Janeiro de 2017.
- [60] SIGFOX. Vídeo de sobre protocolo Sigfox <https://www.youtube.com/watch?v=mS-6n5yAjR0>, visitado a 31 de Janeiro de 2017.
- [61] R. Garmabdari, S. Shafie, e M. M. Isa. Sensory system for the electronic water meter. Em *2012 IEEE International Conference on Circuits and Systems (ICCS)*, páginas 223–226, Oct 2012. doi:10.1109/ICCSAndSystems.2012.6408284.

- [62] Matteo Mencarelli, Mirco Pizzichini, Leonardo Gabrielli, Susanna Spinsante, e Stefano Squartini. Self-powered sensor networks for water grids: Challenges and preliminary evaluations.
- [63] Access: Interfacing Solutions. *OCR310e Miniature OEM OCR Reading Engine*, 5 2014.
- [64] Decreto regulamentar que rege sistemas de água residuais nº23/95 de 23-08-1995. <https://dre.tretas.org/dre/68696/decreto-regulamentar-23-95-de-23-de-agosto>, visitado a 14 de Junho de 2017.
- [65] Infineon. *TLE4917 - Low Power Hall Switch Datasheet*, 8 2002.
- [66] Ímanes utilizados no projeto. <http://pt.farnell.com/duratool/d01766/magnets-rare-earth-8-x-3mm-pk10/dp/1888095>, visitado a 16 de Junho de 2017.
- [67] Mark E. Buccini. Sub-microamp, intelligent hall-effect sensing delivers 20-year battery life. Relatório técnico, Texas Instruments, Julho 2016.
- [68] Texas Instruments. *SN74LV8154 Dual 16-Bit Binary Counters With 3-State Output Registers Datasheet*, 10 2015.
- [69] Módulo da sigfox no qual a *breakout board* é baseada. <https://partners.sigfox.com/products/sfm10r1>, visitado a 16 de Junho de 2017.
- [70] *Breakout Board* da sigfox utilizada. <https://partners.sigfox.com/products/sigfox-breakout-board-brkws01>, visitado a 16 de Junho de 2017.
- [71] Texas Instruments. *MSP430x2xx Family - User's Guide*, 12 2004.
- [72] Texas Instruments. *MSP430G2x53/MSP430G2x13 Datasheet*, 04 2011.
- [73] Linear Technology. *LTC3107 Datasheet*, 2013.
- [74] Telit Wireless Solutions. *AT Commands Reference Guide*, 8 2006.
- [75] Set of sigfox commands | sigfox at command syntax. <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/Sigfox-AT-commands.html>, visitado a 15 de Julho de 2017.
- [76] Multímetro pce-ut803 utilizado. <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-electricid>, visitado a 15 de Julho de 2017.
- [77] Energizer. L91 - lithium aa battery datasheet. [http://data.energizer.com/pdfs/191ult\\_eu.pdf](http://data.energizer.com/pdfs/191ult_eu.pdf), visitado a 31 de Janeiro de 2017.
- [78] Página de venda da amphiro. <https://www.amazon.com/Amphiro-Monitoring-Energy-Shower-amphiro-a1-s004/dp/B00K9QL1C6>, visitado a 15 de Julho de 2017.
- [79] Página de venda da kamstrup. [http://kamstrupmeters.com/index.php?route=product/category&path=131\\_457](http://kamstrupmeters.com/index.php?route=product/category&path=131_457), visitado a 15 de Julho de 2017.

- [80] Página de venda de microcontrolador. <http://pt.mouser.com/ProductDetail/Texas-Instruments/MSP430G2553IN20/?qs=sGAEpiMZZMsp%252bcahb6g%252bW9qKKK%2ffhYdN8rM6lH0PCJg%3d>, visitado a 15 de Julho de 2017.
- [81] Página de venda de módulo sigfox. <https://yadom.fr/carte-breakout-sfm10r1.html>, visitado a 15 de Julho de 2017.
- [82] Página de venda do sensor de wiegand. <http://nanjingahest.en.made-in-china.com/product/NMbEwWZj1GDJ/China-Water-Meter-Sensor-Gas-Meter-Wiegand-Effect-Sensor-Zero-Power-Magnetic-Ser.html>, visitado a 15 de Julho de 2017.
- [83] Página de venda do díodo de zéner. <https://www.digikey.com/product-detail/en/micro-commercial-co/1N5226B-TP/1N5226B-TPTR-ND/950345>, visitado a 15 de Julho de 2017.
- [84] Página de venda do cristal. [://www.electronic-shop.lu/EN/products/154572](http://www.electronic-shop.lu/EN/products/154572).
- [85] Página de venda do encaixilhamento. <http://www.ebay.com/itm/ABS-Plastic-Project-Box-5-30-L-x-2-95-W-x-1-92-H-inch-Black-/281846456501>, visitado a 15 de Julho de 2017.