



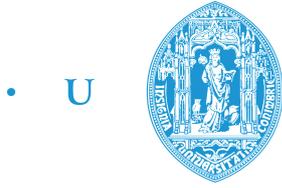
Diogo Carlos Chasqueira de Bastos

Monitorização e diagnóstico automático de cadeias de frio

Tese de mestrado em Mestrado Integrado em Engenharia Física

Setembro/2016





C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Diogo Carlos Chasqueira de Bastos

Monitorização e diagnóstico automático de cadeias de frio

*Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
e Tecnologia da Universidade de Coimbra para
cumprimento dos requisitos necessários à obtenção
do grau de mestre em Engenharia Física.*

Supervisores:

Francisco José de Almeida Cardoso (Universidade de Coimbra)
Rafael Patrício Balaus Jegundo (Whitesmith, Lda)

Coimbra, 2016

Resumo

Neste documento, é apresentado um ano letivo de trabalho dedicado ao desenvolvimento de um produto de supervisão centralizada e remota de cadeias de frio, o Qold. Usando uma rede de dispositivos monitorizam-se câmaras de frio e em combinação com uma aplicação *Web* e *mobile* simples e intuitiva, os dados podem ser consultados em tempo-real e situações indesejadas reportadas evitando possíveis danos. O Qold, apesar de validado, precisava de ser melhorado. Foi da minha responsabilidade desenvolver esta próxima iteração relativa à aquisição de dados.

Abstract

In this report, an academic year of dedicated work to the development of a remote centralized cold chain monitoring product - Qold - is presented. Using a network of devices to monitor a cold chain, in combination with a simple and intuitive mobile and web application, data can be consulted in real time and unwanted situations reported, avoiding possible damage. Qold, although validated, was in need of improvement. It was my responsibility to develop this next iteration regarding data acquisition.

Agradecimentos

Guardar uma página, um capítulo ou simplesmente umas palavras perdidas entre tantas é uma forma, pequena mas grande, de poder deixar os meus pensamentos, sentimentos e claro, agradecimentos a todas as pessoas que fizeram parte desta etapa da minha vida. Não se trata apenas de escrever uma projeto que conclui uma carreira académica, trata-se de um marco importante na história do meu crescimento pessoal. Não acredito num ser humano capaz de crescer sozinho, isolado, sem depender do próximo, como tal, se hoje sou quem sou e se hoje posso estar a escrever estas reflexões de finalista, devo-o a pessoas de carácter distinto.

Quem mais poderia ser a pessoa que mais merece o meu maior e mais sincero agradecimento senão a minha própria mãe? Mais do que ser a pessoa com maior responsabilidade sobre quem sou hoje, mais do que a minha educadora, mais do que a pessoa que me sustenta e sustentou, a minha mãe é quem eu mais admiro. Aprendi o verdadeiro significado de resiliência, força de vontade e determinação contigo mãe. Sempre me disse que a sua maior luta era dar-me as ferramentas necessárias para ser um bom Homem, capaz de me governar, capaz de resolver os meus próprios desafios e fantasmas. Vencer esta luta passa claro por terminar este percurso académico com sucesso. Espero que hoje te tenha dado esta felicidade mãe!

Padrinho, madrinha e Tiago, ou por outras palavras, família. Crescer numa família unida pelo verdadeiro amor foi uma sorte que tive e por isso estou imensamente grato. Qualquer sucesso que consiga na minha vida estará sempre relacionado com tudo o que me deram.

Uma vez tive um professor que me disse: "Em engenharia é importante fazermos o que gostamos, mas não basta ficarmo-nos pelo didático e pelo lúdico, um engenheiro faz algo que seja necessário, que represente uma solução". Estas palavras sábias mudaram a minha maneira de ver o meu futuro. Antes usava muito do meu tempo a usufruir da tecnologia e dos meus conhecimentos para fazer coisas que me divertiam mas que não passavam disso. Percebi que é possível responder a necessidades maiores que simplesmente o meu entretenimento. Passei a ver a Engenharia como uma maneira de ser útil para a sociedade, a própria escolha desta dissertação passou exatamente por isso, fazer algo relevante. Esse professor tornou-se no meu orientador. Um forte agradecimento ao Dr. Francisco José de Almeida Cardoso.

Ter sempre as palavras certas para dizer, dar ânimo quando é preciso e saber como me fazer querer ir mais além, são capacidades do meu orientador e mentor Rafael Jegundo. Este projeto fez-me aprender imenso, fez-me testar tudo o que achava que sabia e finalmente, fez-me fazer engenharia física (se é que existe tal coisa como fazer engenharia física). Nada disto teria sido possível fora da esfera da Whitesmith. De todos os intervenientes que me ajudaram, queria dar uma menção especial ao Luís Antunes, que sem ele e sem o trabalho realizado por ele este projeto não existiria e ao José Ribeiro, pois não só me ajudou a ultrapassar momentos de grande frustração, como também teve o carácter formativo de me ensinar a não voltar a passar por eles outra vez. Foram algumas horas durante algumas madrugadas em que as coisas não funcionavam, mas se não fosse assim, qual seria a piada?

Por falar em momentos de frustração, que melhor maneira de os ultrapassar senão com os meus colegas em situações semelhantes? Momentos como estes solidificam

a amizade e marcam a diferença entre amigo e colega de curso. *E pluribus unum* (de muitos, um), gosto de pensar que hoje todos terminamos um curso mas só o terminamos porque soubemos cooperar. Claro que todos soubemos como celebrar após ultrapassados os maiores desafios. Este não é um parágrafo dedicado aos colegas de curso, é sim um parágrafo dedicado aos meus amigos. Não posso falar de amizade sem referir os amigos de longa data que guardo para a vida.

Passei estes agradecimentos a defender a premissa de que este período se traduziu em mais do que um projeto académico, traduziu-se na construção de um carácter. Qualquer construção necessita de ferramentas próprias. Concentração, controlo, auto-confiança e capacidade de enfrentar uma luta foram algumas das ferramentas que o meu *Sensei* Pedro Seguro me transmitiu. Não só foi um verdadeiro mestre de *Karate*, como também soube sempre compreender esta fase da minha vida estando sempre presente.

A todos, um valente obrigado!

Diogo de Bastos, Coimbra, Setembro 2016

Índice

Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xv
Siglas	xvii
Glossário	xix
1 Introdução	1
1.1 Motivação, âmbito e objetivos	2
1.2 Estrutura do documento	3
2 Supervisão centralizada e remota de ativos: o caso de cadeias de frio	5
2.1 Gestão de ativos industriais: noções gerais	5
2.2 Grandezas físicas e fatores operacionais	5
2.3 Sensorização	6
2.3.1 Sensores de temperatura e de humidade	6
2.3.2 Detetar abertura de porta	11
2.3.3 Detecção de atividade de câmaras de frio: deteção de corrente .	13
2.3.4 RTC - Real-time clock	15
2.4 Soluções: uma visão do mercado	16
2.4.1 Monnit	16
2.4.2 Kelsius	20
2.4.3 FreshTemp	22
2.4.4 GrupoPIE - Winrest	24
2.4.5 Testo	24
2.4.6 Temperature@lert	27
2.4.7 Domopor	28
2.4.8 Eclo	29
2.4.9 Outras empresas	29
2.4.10 O mercado do Qold: Coimbra e instalações piloto	30
2.5 Enquadramento final	31
3 Arquitetura do sistema	33
3.1 Estruturação	33
3.1.1 Sensorização de uma câmara frigorífica	34

3.1.2	<i>Gateway</i>	41
3.1.3	Nó da <i>Internet</i> e nó do cliente	43
3.1.4	Protocolos de comunicação	44
3.2	Integração funcional	50
3.2.1	Consulta de dados	50
3.2.2	Central de alarmes	50
3.2.3	Compatibilidade com a versão anterior	51
4	Aquisição de dados no interior de uma câmara de frio	53
4.1	Desenvolvimento do nó de sensorização	53
4.2	Estruturação dos dados	56
5	Unidade concentradora de dados e <i>gateway</i>	59
5.1	Detecção de corrente	59
5.2	Tratamento de dados	63
6	Conclusões e considerações futuras	65
6.1	Considerações sobre o estágio	65
6.2	Cumprimento dos objetivos e trabalho futuro	65
	Referências	67
A	Anexo 1: Ficha de componentes	I

Lista de Figuras

2.1	Exemplo de um termistor do tipo NTC com uma resistência de 10 K Ω à temperatura ambiente	7
2.2	Exemplo de uma termoressistência de camada fina[14]	8
2.3	Exemplo de uma configuração de dois fios de um <i>Resistance Temperature Detector</i> (RTD)[14]	9
2.4	Exemplo típico do funcionamento de um termopar	9
2.5	Exemplo de uma montagem elétrica de um termopar[14] usando LM35DZ como sensor de temperatura de referência[21]	10
2.6	Exemplo demonstrativo do efeito de Hall[26]	12
2.7	Aplicação de um sensor de efeito de Hall para detetar abertura e fecho de porta	12
2.8	Célula fotoelétrica	13
2.9	CST-1015	14
2.10	Diagrama esquemático de funcionamento do CST-1015[29]	14
2.11	Esquema de operação de um <i>Real-Time Clock</i> (RTC) da Maxim, o DS1307[30]	15
2.12	MNS-9-W1-TS-ST	17
2.13	MNS-9-W2-TS-ST	18
2.14	MNS-9-IN-TS-ST	18
2.15	MNS-2-WF-TS-ST	19
2.16	MNG-9-EG-EGW, <i>gateway</i> sem fios com ligação por ethernet	20
2.17	Diagrama de funcionamento do <i>FoodCheck</i>	21
2.18	Diagrama de funcionamento do <i>ColdCheck</i>	22
2.19	Dispositivos <i>FreshSense</i>	23
2.20	Representação do funcionamento do <i>FreshProbe</i>	23
2.21	Exemplo da utilização de um termómetro por contacto da Testo	25
2.22	Testo 174 T - Mini data logger de temperatura	25
2.23	Testo 176H1 - Sensor de temperatura e humidade relativa	26
2.24	Testo 184T2 - Data logger para supervisão da temperatura durante o transporte	26
2.25	Temperature@lert - edição Wi-Fi	28
2.26	Aplicação TCS.wireless	28
2.27	Imagem genérica de um <i>iButton</i>	29
3.1	Diagrama de blocos da representação geral da arquitetura do sistema	34
3.2	Figura ilustrativa da hierarquia de <i>hardware</i>	35

3.3	Esquema da configuração de pinos do <i>ATmega328</i>	36
3.4	Esquema do microcontrolador	36
3.5	Esquema de montagem do termistor e da célula fotoelétrica	37
3.6	Esquema de montagem do RTC	38
3.7	Esquema de montagem do módulo de comunicação por radiofrequência na banda <i>Industrial, Scientific and Medical Radio Bands</i> (ISM) dos 433 MHz	40
3.8	Esquema das ligações externas do dispositivo	41
3.9	Esquema da hierarquia da <i>gateway</i>	42
3.10	Diagrama de pinos do Raspberry Pi A+	42
3.11	Visualização de dados no <i>Website</i> do Qold	43
3.12	Diagrama geral dos processos de transmissão de dados	44
3.13	Configuração básica de um Bus <i>Inter-Integrated Circuit</i> (I ² C)[84]	45
3.14	Configuração básica de um Bus <i>Serial Peripheral Interface</i> (SPI)[85]	46
3.15	Fluxograma explicativo do nó de sensorização	47
3.16	Fluxograma explicativo da <i>gateway</i> no processo de comunicação	49
3.17	Evolução da temperatura medida numa câmara frigorífica	51
4.1	Protótipo <i>Breadboard</i>	54
4.2	Imagem representativa do desenho do PCB (onde U1 designa o CC1101 e A1 a ficha SMA)	54
4.3	<i>Printed Circuit Board</i> (placa de circuito impresso) (PCB) despovoada	55
4.4	Placa do nó de sensorização povoada	55
4.5	Formato do pacote de dados[79]	56
5.1	Representação esquemática do circuito de deteção de corrente	59
5.2	Sinal à saída do CST-1015 com uma resistência de 4,7 K Ω com o eletrodoméstico ligado	59
5.3	Sinal à saída da ponte retificadora de onda completa	60
5.4	Sinal à saída da retificação com a câmara desligada	60
5.5	Sinal à saída da retificação com a câmara ligada	61
5.6	Protótipo laboratorial para prova de conceito da deteção de corrente	62
5.7	Esquema do tratamento geral do <i>payload</i> na <i>gateway</i> até ao utilizador	63

Lista de Tabelas

2.1	Comparação das especificações dos sensores DHT11, AM2302 e SHT71	11
2.2	Valores analógicos aproximados utilizando uma célula fotoelétrica com uma resistência <i>pulldown</i> com uma alimentação de 5V[28]	13
2.3	Tabela demonstrativa da relação V/A em função do valor da resistência de R_L	15
4.1	Estrutura do <i>payload</i>	57

Siglas

- Balun** *Balanced to Unbalanced*. 54
- ADC** *Analog-to-Digital Converter*. 57
- CAD** *Computer Aided Design*, desenho assistido por computador. 2
- CRC** *Cyclic Redundancy Check* . 39, 49, 56, *Glossário: CRC*
- CTR** *Current Transformer Ratio*. 14
- HACCP** *Hazard Analysis and Critical Control Point* . 1, 28, 43, 50, 57, *Glossário: HACCP*
- HVAC** *Heating, Ventilating, and air Conditioning*. 17
- I²C** *Inter-Integrated Circuit*. xiv, 38, 41, 45
- IoT** *Internet of Things*. 1, 33, 41
- IP** *Internet Protocol*. 31
- ISM** *Industrial, Scientific and Medical Radio Bands*. xiv, xx, 35, 39, 40, 49, 50, 53, 63
- ITU** *International Telecommunication Union*. 39, 71
- JSON** *JavaScript Object Notation* . 49, *Glossário: JSON*
- LDO** *Low-Dropout Regulator*. 36
- MISO** *Master In, Slave Out*. 45, 46
- MKT** *Mean Kinetic Temperature*. 26, 27
- MOSI** *Master Out, Slave In*. 45, 46
- NFC** *Near Field Communication*. 27
- NTC** *Negative Temperature Coefficient* - Coeficiente negativo de temperatura. xiii, 6, 7, 16
- nvRAM** *Non-Volatile Random-Access Memory*. 38, *Glossário: nvRAM*
- PCB** *Printed Circuit Board* (placa de circuito impresso). xiv, 2, 35, 54, 55, 65, 66, 71
- PQI** *Preamble Quality Indicator*. 39
- PTC** *Positive Temperature Coefficient* - Coeficiente positivo de temperatura. 6
- PWM** *Pulse-Width Modulation* . 61, *Glossário: PWM*
- RF** *Radiofrequência*. 33, 39, 51, 53, 55
- RFID** *Radio-Frequency Identification (RFID)* . 66, *Glossário: RFID*

- RSSI** *Received Signal Strength Indication*. 24, 39
- RTC** *Real-Time Clock* . xiii, xiv, 15, 34, 38, 48, 53, *Glossário*: Relógio em tempo real
- RTD** *Resistance Temperature Detector*. xiii, 6, 8, 9, 29
- SASUC** Serviços de Ação Social da Universidade de Coimbra. 30
- SCK** *System Clock*. 46
- SCL** *Serial Clock Line*. 38, 45
- SDA** *Serial Data Line*. 38, 45
- SMS** *Short Message Service*. 17, 21, 24, 28, 43, 51
- SPI** *Serial Peripheral Interface*. xiv, 39–41, 45, 46, 58
- SQL** *Structured Query Language* . 49, *Glossário*: SQL
- SS** *Slave Select*. 46
- TCP** *Transmission Control Protocol*. 31
- UART** *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*. 41
- USB** *Universal Serial Bus*. 20, 26, 27, 30, 41

Glossário

Crosstalk fenómeno quando o sinal transmitido num circuito ou canal causa um sinal indesejado noutra circuito ou canal. 54

Mobile Broadband termo utilizado para descrever o acesso à *Internet* via um modem portátil, um telemóvel, um modem USB sem fios ou outros dispositivos móveis. 33

Unix time sistema usado para descrever momentos no tempo. Definido como o número de segundos que passaram desde o início do dia 1 de Janeiro de 1970. 57

buffer região de memória física utilizada para armazenar temporariamente os dados enquanto estes estão a ser alocados. 56

gateway máquina intermediária destinada a interligar redes com protocolos diferentes. xiii, xiv, 2–4, 16, 19, 20, 22–24, 27, 31, 33, 35, 40–43, 47–51, 53, 56, 58, 60–63, 66

ativo termo que permite expressar tudo, tangível ou não, que num determinado momento, é património de uma entidade e representa um valor económico. Pode ser um bem material, um equipamento, um crédito, uma marca, uma patente, *software* registado, entre outros. 3, 5, 30

Bus em arquitetura de computadores, um *bus* é um sistema de comunicação que transfere informação entre componentes computacionais. Este termo cobre todos os componentes de *hardware* e *software* necessários para a comunicação. xiv, 45, 46

C++ uma das linguagens de programação mais usadas no mundo. É uma linguagem que suporta vários paradigmas e compila diretamente para o código da máquina. 50, 58, 63

CRC verificação de redundância cíclica (*Cyclic Redundancy Check*) - método para identificação de erros usada tipicamente em redes digitais e dispositivos de armazenamento para detetar mudanças acidentais de dados. Os blocos de dados são sujeitos a uma verificação de um valor que é adicionado ao final do pacote. Se na receção e após esta verificação os valores coincidirem, a probabilidade de ter havido corrupção de dados é baixa. xvii, 39

data logger dispositivo eletrónico que regista dados ao longo do tempo ou em relação a uma localização. Por norma este registo é feito com um sensor incluído ou através de um instrumento externo. xiii, 24–26, 29, 30

- Gerber** formato vetorial em *open ASCII* para imagens binárias a duas dimensões. É muito usado para circuitos impressos e na indústria da eletrônica para gerar imagens com as diferentes camadas de cobre, solda, legenda, etc. 2
- Golang** linguagem de programação *open source* compilada criada pela Google. 63
- HACCP** sistema HACCP – Análise de Perigos e Controlo dos Pontos Críticos - estabelece os requisitos de higiene e segurança alimentar para todas as empresas que transformam, armazenam, transportam e comercializam géneros alimentícios, permitindo analisar as atividades realizadas, controlar e prevenir os perigos associadas às mesmas[1]. xvii, 1, 2, 21, 22, 24
- JSON** formato de dados que usa texto *human-readable* para transmitir objetos de dados que consistem em pare atributo-valor. xvii, 49
- nvRAM** memória do tipo RAM mas que não perde a informação quando esta perde a alimentação. xvii, 38
- PWM** técnica de modulação usada para controlar o valor da tensão de um sinal. O valor médio depositado alimentado a uma carga ou a um dispositivo, será controlado por fazer alterar o estado do interruptor que controla a alimentação entre a fonte e a carga. Quanto mais tempo o interruptor estiver ligado em relação ao tempo que está desligado, maior será o valor da tensão média e por consequência da tensão percebida pela carga. Para que este efeito ocorra, a frequência desta técnica tem de ser muito superior há frequência que afetaria a carga ou o dispositivo em questão. xvii, 61
- Relógio em tempo real** (*real-time clock*) - circuito integrado que mantém o controlo do tempo presente. xiii, xviii
- RFID** tecnologia que usa campos eletromagnéticos para automaticamente identificar etiquetas vinculadas a ativos. As etiquetas contêm informação guardada eletronicamente. Estas etiquetas são passivas e colecionam energia de leitores próximos por radiofrequência. xvii
- SQL** linguagem de programação para gerir dados num sistema de gestão de base de dados relacional. xviii, 49
- SQLite** biblioteca de *software* que implementa um motor de SQL auto-suficiente, sem necessidade de servidores e sem configuração prévia. 49
- Wi-Fi** tecnologia que permite a conexão de dispositivos eletrónicos a uma rede de área local sem fios (WLAN) usando maioritariamente as gamas ISM de 2,4 GHz e 5 GHz. xiii, 19, 22, 27, 28, 30, 33, 39, 41, 43, 53

1

Introdução

A Whitesmith, Lda[2] fundada em 2012 é uma empresa que nasceu no seio do mundo digital. Esta projeta e constrói produtos de raiz. Estes produtos vão desde as áreas de *Internet of Things* (IoT) com desenvolvimento de *software* e *hardware* até aplicações *Web* e *mobile* convergindo em produtos que resolvem problemas reais e proporcionam uma ótima experiência de uso ao utilizador. No fundo, é uma equipa que usa a tecnologia para tornar melhor a vida dos seus clientes.

Um dos produtos da Whitesmith, Lda é o Qold[3]. O Qold é um sistema integrado de registo e monitorização automática de temperaturas idealizado para responder às normas de qualidade *Hazard Analysis and Critical Control Point* (HACCP). Muito mais do que um simples termómetro sem fios, o Qold é comercializado também com uma componente de serviço de gestão centralizada e remota de câmaras frigoríficas. No presente momento, está dirigido para a monitorização de temperatura em cadeias de frio na restauração. Opera entre os -40°C e os $+130^{\circ}\text{C}$, tem a capacidade de gerar alertas por telefone, monitorizar em tempo-real a temperatura e gerar relatórios capazes de responder às exigências das normas HACCP, de forma autónoma.

Com o objetivo de aperfeiçoar e melhorar desenvolvendo a próxima iteração do Qold, foi-me apresentado este projeto. O desafio foi melhorar este produto tanto a um nível tecnológico, como a um nível de solução global para o cliente, criando valor para o cliente através de um enriquecimento funcional. Para isso, foi necessário analisar o dispositivo atual, a arquitetura de sistema, contactar potenciais clientes, fazer instalações e testar o produto em si. Mais do que conseguir desenvolver um protótipo funcional, foi necessário moldá-lo às necessidades do cliente.

Para atingir uma meta é preciso percorrer um caminho primeiro, nem sempre direto e fácil. No início do ano foi necessário compreender o modelo atual e como este funciona, ser capaz de montar um dispositivo e aprender a soldar. Depois, entender o *software* e ser capaz de introduzir melhorias, como por exemplo, detetar mudanças de temperatura abruptas e relatar esse valor. Inicialmente o dispositivo media a temperatura em intervalos espaçados de trinta minutos e não tinha esta função de relatar variações drásticas. Após entender o modelo atual, iniciaram-se dois processos: começar a idealizar o dispositivo a desenvolver e iniciar contacto com clientes. Como um projeto de engenharia não pode só beber da imaginação há que fazer pesquisa de componentes eletrónicos, comparação de preços e perceber quais as limitações de cada componente. Ao contactar com clientes, comecei a perceber o que eles procuram num produto deste tipo e como é que se poderia arranjar uma solução do ponto de vista tecnológico para esses problemas. Estando estes requisitos reunidos, iniciou-se a altura de começar a desenvolver o dispositivo em si. Faz parte deste processo, usar um microcontrolador, fazer condicionamento de

sinal, desenvolver o *firmware* tanto do sensor como da *gateway*, testar, melhorar e continuar esta iteração de desenvolvimento, teste e melhoria. Após ter chegado a um protótipo satisfatório, chegou a altura de começar a desenhar a placa de circuito impresso com recurso à ferramenta de *Computer Aided Design*, desenho assistido por computador (CAD), Altium Designer[®]. Esta foi usada para o desenho dos esquemas, do PCB e para a gerar ficheiros do tipo Gerber para a sua produção.

No final deste projeto quer-se um produto pronto a vingar no mercado.

1.1 Motivação, âmbito e objetivos

Motivação

Durante o meu período académico tive sempre a ambição de poder desenvolver algo com relativo impacto no mundo, isto é, produzir um dispositivo que não fosse somente lúdico, que eu usasse momentaneamente e que depois ficasse perdido. Com este projeto tive a oportunidade pela qual esperei durante estes cinco anos. É um produto real que vem colmatar uma necessidade.

Claro que este projeto não teria surgido se a Whitesmith, Lda não tivesse reconhecido uma necessidade no mercado. Esta procura culminou no produto que é o Qold. Portanto, a minha motivação é partilhada com a empresa. Ambicionamos que o impacto do Qold seja suficiente no mercado de forma a torná-lo um produto de sucesso.

Âmbito

Como boa prática de engenharia é importante documentar todos os projetos e angariar informação necessária para justificar todas as decisões tomadas. Este documento surge como uma primeira tentativa, sendo uma tese de mestrado será também a última documentação das decisões aqui tomadas. Para mais, relata o trabalho desenvolvido no âmbito da disciplina de Projeto, no ano letivo de 2015/2016, a ser apresentado à Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra no Departamento de Física, para a obtenção de grau de Mestre em Engenharia Física. Este projeto é desenvolvido no conjunto de tecnologias que cada vez mais se tornam presentes no nosso dia-a-dia e cada vez mais se tornam uma necessidade e não um luxo. Estou pois a falar de gestão centralizada e remota, para substituir um processo arcaico que é o registo de temperaturas à mão, processo este suscetível a erros e esquecimentos. Sendo obrigação de todos os serviços que envolvam a qualidade alimentar e câmaras frigoríficas, garantir que as normas HACCP são respeitadas, quanto maior for o número de câmaras maior o tempo que se dedica ao cumprimento desta obrigação e em qualquer negócio, tempo é dinheiro. Surge então o Qold e a sua importância. Surge então esta dissertação.

Objetivos

Como foi mencionado, o objetivo primário deste projeto é desenvolver a próxima versão de um produto já existente, o Qold. Será necessário um esforço mútuo, dedicado tanto a *hardware* como a *software*, para que, no final se obtenha tanto um dispositivo como uma *gateway* capazes de acrescentar valor ao produto já existente. Pretende-se transcender a melhoria técnica procurando novas variáveis e novas funcionalidades que traduzem novas oportunidades de gestão e assim, permitem colmatar as necessidades do mercado.

Nesta fase, a evolução procurada que constitui o objetivo último deste projeto, contempla duas vertentes: melhorar o desempenho do produto atualmente no mercado e desenvolver novas funcionalidades, correspondentes a novas oportunidades de gestão centralizada e remota de câmaras frigoríficas.

Na primeira vertente, ambiciona-se um produto: **(i)** mais fiável: com menos perda de dados entre o sensor e a *gateway*, **(ii)** mais enquadrado com as necessidades do mercado: compreender os seus problemas, resolvendo-os com a implementação de novas funcionalidades, **(iii)** mais prático e fácil de instalar: o sensor não deve necessitar de fios, não deve ocupar muito espaço, ser intrusivo para o cliente ou ter vários nós que compliquem a sua instalação, **(iv)** com maior alcance: a comunicação entre o sensor e a *gateway* tem de superar a espessura das câmaras de frio metálicas e **(v)** economicamente viável: dirigido para pequenos e médios estabelecimentos, o custo de fabrico do sensor tem de ser tomado em conta procurando não ultrapassar os 25 €.

Na segunda vertente, que corresponde à faceta mais importante deste trabalho, pretende-se alcançar autonomia de diagnóstico, com capacidade de detetar precocemente anomalias potenciais, com base em critérios de variação de temperatura, períodos de porta aberta e deteção de funcionamento irregular de compressores, permitindo instalar critérios no âmbito da gestão de ativos.

1.2 Estrutura do documento

Parte I - Introdução

Capítulo 1: apresenta-se o enquadramento, a motivação e os objetivos deste projeto. É ainda feita uma referência ao Qold e à Whitesmith, Lda.

Capítulo 2: de uma forma ordenada, do geral para o particular são apresentados e analisados todos os elementos necessários para a supervisão centralizada e remota de cadeias de frio. Primeiro, identificam-se as grandezas físicas e fatores operacionais intervenientes; em seguida, como os medir; depois, é feita uma breve análise de mercado com as soluções já existentes especificando o mercado em Coimbra; por fim, faz-se o enquadramento do produto que é o Qold na sua totalidade.

Parte II - Trabalho desenvolvido

Capítulo 3: é dedicado à arquitetura de sistema. É apresentado o nó de sensorização e a *gateway* desenvolvida, bem como os esquemas feitos para os produzir em massa e completa-se a apresentação dos nós com uma breve discussão do nó de *Internet* e do cliente. São ainda explicados os protocolos de comunicação usados e a integração funcional do Qold.

Capítulo 4: contém todo o desenvolvimento relativo ao nó de sensorização e estruturação de dados. É feita também referência ao estado atual do sensor que se encontra sob fase de testes finais.

Capítulo 5: informação relativa ao nó da *gateway* com a detecção de corrente e tratamento de dados.

Parte III - Conclusão

Capítulo 6: ponderações finais sobre o projeto. A conclusão divide-se em duas vertentes, considerações sobre o estágio desenvolvido e o cumprimento dos objetivos e trabalho futuro.

2

Supervisão centralizada e remota de ativos: o caso de cadeias de frio

Da mesma forma que não é possível construir-se uma casa sem construir primeiro a base, não é possível desenvolver-se um projeto de tese de mestrado sem compreender o estado da arte sobre o qual esta assentará. Este capítulo cumpre esse propósito, sendo o alicerce desta dissertação. Seguiu-se um caminho intuitivo do geral para o particular começando por se compreender quais as grandezas físicas em questão, que sensores as podem medir, que empresas já tentaram resolver este problema e por fim, como fazer chegar esta solução aos clientes e de que forma a fazer chegar.

2.1 Gestão de ativos industriais: noções gerais

Até há uns anos atrás, o termo de gestão de ativos estava comumente relacionado com o gestão de ativos financeiros, traduzindo-se na preocupação com a gestão e orientação de investimentos para o aumento de lucros puramente concebidos sobre investimentos financeiros. Gestão de ativos industriais é um conceito semelhante que visa também maximizar o retorno de investimento, ao longo de todo o tempo de vida útil dos bens equipamentos utilizados.

Uma boa gestão de ativos é caracterizada por uma visibilidade sobre o processo clara e transversal a todos os intervenientes, desde a gestão estratégica até à tarefa individual.

Em suma, o objetivos da gestão de ativos está demonstrado nos seguintes pontos:

- Gastar menos para conseguir mais;
- Prolongar o tempo de vida do ativo através de boas práticas de utilização;
- Gerir recursos com base na avaliação de risco;
- Compreender os sistemas como um todo e não como partes independentes;
- Ter uma perspetiva de planeamento a longo prazo;
- Primar para que todos os intervenientes compreendam as escolhas tomadas

Conclui-se portanto, que, a gestão de ativos na indústria é um processo fulcral para o sucesso de uma organização ou empresa[4].

2.2 Grandezas físicas e fatores operacionais

No caso das cadeias de frio há duas grandezas físicas com especial importância: a temperatura e a humidade relativa. A temperatura não só é usada para regular o

funcionamento de uma câmara frigorífica como é o elemento essencial à conservação de bens alimentares. Tratando-se de cadeias de frio, temperaturas próximas do ponto de fusão da água estão em jogo pelo que a humidade relativa é uma grandeza que também sofrerá variações relevantes que nem sempre são desejáveis.

Os fatores operacionais decorrentes da corrente operação das máquinas podem influenciar o bom desempenho destas. Neste caso, destacam-se a deteção de abertura e fecho de porta, pois influencia significativamente o isolamento das câmaras e a deteção de arranque e paragem do compressor — através de deteção de corrente elétrica no respetivo circuito de alimentação —, bem como o reconhecimento de padrões de operação.

2.3 Sensorização

Compreendidos os fatores e as grandezas físicas envolventes, passa-se à fase seguinte: como fazer a sua monitorização. Isso mesmo é discutido nesta secção, compreendendo os sensores e os componentes e circuitos eletrónicos em jogo para fazer a sensorização.

Como é um projeto que terá um impacto no mercado e na Whitesmith, tem de se ter em conta o preço dos componentes, perspetivar o tempo necessário para os adicionar ao sistema e condicionantes extra, estes pontos serão também discutidos e os preços serão usados de fornecedores como a Farnell[5], Mouser[6], Digi-Key[7] e PTROBOTICS[8] para que, posteriormente, seja possível tomar a melhor decisão sobre que material usar neste projeto de engenharia.

2.3.1 Sensores de temperatura e de humidade

Sendo um serviço que proporciona monitorização de câmaras frigoríficas faz sentido começar pela principal grandeza física envolvida: a temperatura. Esta pode ser medida usando vários tipos de sensores de temperatura[9], sendo estes mecânicos ou elétricos. Neste trabalho, interessam os sensores elétricos porque facilitam a integração com o microcontrolador, são mais baratos e respondem perfeitamente às necessidades que o Qold vem solucionar. Dentro destes, será dado foco a três tipos de sensores: termistores, RTDs e termopares. Existem também sensores de temperatura óticos, acústicos, piezoelétricos entre outros mas estes não serão abordados pois não são aplicáveis para os objetivos do Qold.

Sensores de temperatura resistivos: termistor

Termistores são resistências sensíveis à temperatura, exibem uma vasta, previsível e precisa mudança na sua resistência elétrica quando sujeitos a variações de temperatura[10]. Consoante o tipo de resposta estes podem ser classificados como NTC, se a sua resistência elétrica diminuir com um aumento de temperatura, ou PTC, se a sua resistência elétrica aumentar com o aumento da temperatura.



Figura 2.1: Exemplo de um termistor do tipo NTC com uma resistência de 10 K Ω à temperatura ambiente

Dentro da indústria alimentar e processamento de alimentos, especialmente em locais onde estes são guardados e preparados [11] usam-se termistores *Negative Temperature Coefficient* - Coeficiente negativo de temperatura (NTC) devido à sua curva de resposta.

O comportamento da variação da temperatura em função da resistência elétrica de um termistor é bem descrito através da equação de *Steinhart-Hart*, uma aproximação de terceira ordem deste fenómeno físico.

$$\frac{1}{T} = a + b \cdot \ln(R) + c \cdot \ln(R)^3 \quad (2.1)$$

Resolvendo a equação 2.1 em ordem à resistência elétrica R , obtém-se a equação seguinte:

$$R = \exp \left[\left(x - \frac{1}{2}y \right)^{\frac{1}{3}} - \left(x + \frac{1}{2}y \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (2.2)$$

com:

$$y = \frac{1}{c} \left(a - \frac{1}{T} \right); x = \sqrt{\left(\frac{b}{3c} \right)^3 + \left(\frac{y}{2} \right)^2} \quad (2.3)$$

Visto que os termistores tipicamente usados no armazenamento de produtos alimentares são do tipo NTC, estes costumam ser caracterizados pelo parâmetro B (ou β) e será este o valor encontrado nas *datasheets*. Para melhor entender este parâmetro, considera-se

$$a = \left(\frac{1}{T_0} \right) - \left(\frac{1}{B} \right) \ln(R_0); b = \frac{1}{B}; c = 0 \quad (2.4)$$

na equação 2.1. Traduzindo-se em:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln \left(\frac{R}{R_0} \right) \quad (2.5)$$

Onde o valor da temperatura (T) é em Kelvin e R_0 é o valor da resistência elétrica à temperatura T_0 (298,15 K).

O princípio básico de funcionamento de um termistor NTC é um fenómeno que pode ser descrito da seguinte maneira: o aumento de temperatura de um semicondutor aumenta o número de portadores de carga promovendo-os à banda de condução;

quanto mais portadores de carga estão disponíveis, maiores correntes o semicondutor pode conduzir, ou, de outro modo, menor a resistência elétrica que este oferece. É, pois, necessário traduzir esta variação de resistência elétrica numa variação de tensão dentro da gama das tensões de entrada do microcontrolador utilizado. Uma forma fácil e barata de obter este resultado passa por integrar o termistor num circuito divisor de tensão[12].

Estes sensores são bastante precisos e comumente usados, sendo fáceis de encontrar por valores muito baixos como, 0,42 € comprados individualmente na Farnell, ou 0,08 € se comprados em elevadas quantidades.

Sensores de temperatura resistivos: RTD

Como o próprio nome diz, termo-resistências metálicas[13] são sensores que variam a sua resistência elétrica com a temperatura, tal como os termistores. Com a função de medir variações térmicas, um RTD consiste num fino fio enrolado num pedaço de cerâmica ou vidro. Este metal por norma é de platina, níquel ou cobre.

A platina é o principal metal usado pois tem a relação resistência/temperatura mais estável sobre a maior gama de temperatura entre os -272.5°C e os 960°C . Elementos de níquel têm uma gama de operação inferior pois a partir dos 300°C começam a ter um comportamento não-linear. Já o cobre, tem uma relação linear resistência/temperatura bem comportada; contudo oxida aos 150°C pelo que não se torna viável utilizar RTDs a temperaturas iguais ou superiores.

A característica que permite usar metais como elementos resistivos é a aproximação linear da resistência elétrica com a temperatura entre os 0°C e os 100°C . A esta característica associa-se um coeficiente α , cuja unidade de medida é $\frac{\Omega}{^{\circ}\text{C}}$:

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100R_0} \quad (2.6)$$

Com R_0 , a resistência elétrica do metal a 0°C e R_{100} , a 100°C .

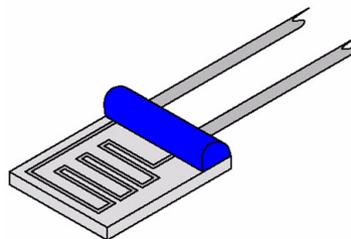


Figura 2.2: Exemplo de uma termoresistência de camada fina[14]

A configuração mais simples[15] para a integração de um RTD usa dois fios, uma ponte de *Wheatstone* e uma alimentação[16].

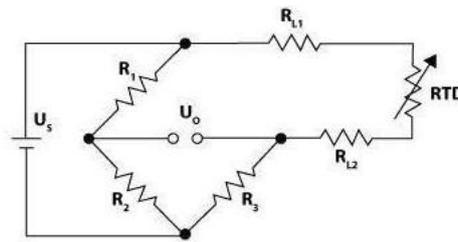


Figura 2.3: Exemplo de uma configuração de dois fios de um RTD[14]

Conseguem-se RTDs na Farnell a começar pelo preço de 3,21 € do tipo platina de camada fina, com uma gama de operação dos -200°C aos 300°C [17].

As termorresistências diferem dos termistores pois o material usado nos RTDs são metais puros e nos termistores são, geralmente, materiais cerâmicos ou polímeros de plástico. Os RTDs são especialmente úteis sobre elevadas gamas de temperatura ao invés dos termistores que por norma conseguem melhor precisão num intervalo limitado de temperatura, tipicamente, dos -90°C aos 130°C [18]. Portanto os RTDs são menos sensíveis a pequenas variações de temperatura mas têm uma gama de temperatura maior[19].

Termopar

Ainda dentro do tópico de sensores de temperatura, existem os termopares. Quando duas junções de dois tipos de condutores se encontram a diferentes temperaturas, gera-se uma diferença de potencial nas extremidades proporcional à diferença de temperaturas entre as junções. Uma vantagem deste tipo de sensores aos supramencionados, é que estes não necessitam de uma fonte de alimentação externa. Porém, têm uma desvantagem no que toca a precisão[20].

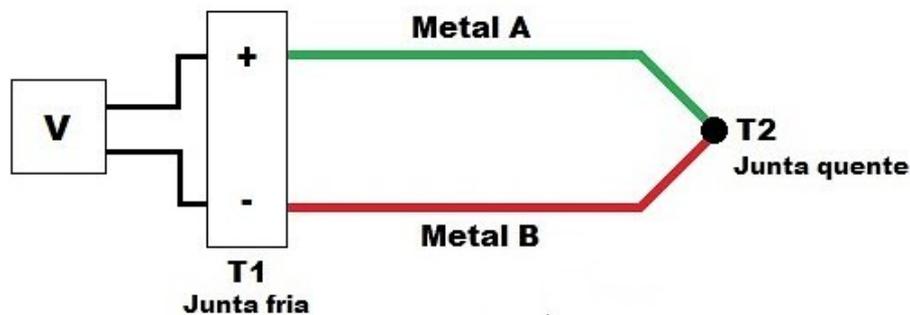


Figura 2.4: Exemplo típico do funcionamento de um termopar

Existem vários tipos de termopares sendo que o tipo K é o mais comum e o mais usado com uma sensibilidade próxima dos $41 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$. Como se tratam de variações muito pequenas de tensão é costume montar-se um amplificador operacional bem

como utilizar um sensor de temperatura de referência para realizar a compensação de junção fria, para se obter um valor mais preciso da temperatura. Na figura abaixo, está exemplificado uma possível montagem.

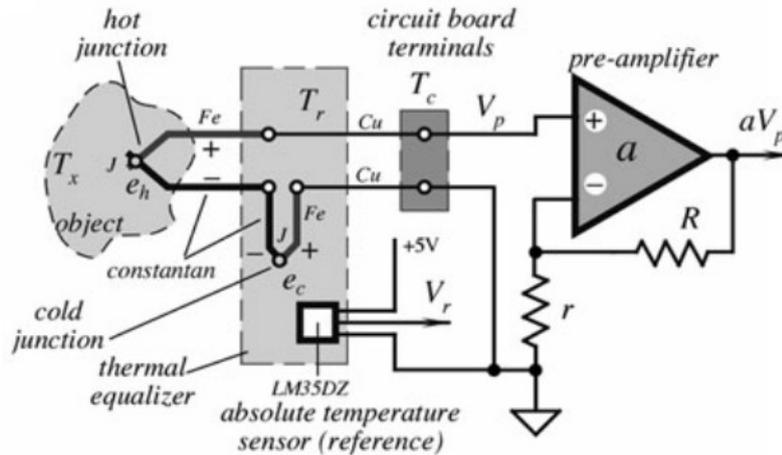


Figura 2.5: Exemplo de uma montagem elétrica de um termopar[14] usando LM35DZ como sensor de temperatura de referência[21]

Encontram-se termopares com preços na ordem dos 5 € por sensor.

Sensores de humidade e temperatura: DHT11, AM2302 e SHT71

Há ainda sensores que para além de medirem a temperatura, medem também a humidade relativa. Relativamente bem documentados, o DHT11[22], o AM2302[23] e o SHT71[24] tornam-se a primeira opção para quem quer prototipar um dispositivo que necessite destas duas grandezas físicas. Para desenvolvimento são relativamente económicos com valores a rondar os 4-6 € para o DHT11, 10-13 € para o AM2302 e 35-50 € para o SHT71. Estes são circuitos integrados já praticamente prontos para serem incluídos num dispositivo.

É importante comparar tempo de resposta, precisão, resolução e gama de operação, tanto em relação à temperatura como à humidade.

Tabela 2.1: Comparação das especificações dos sensores DHT11, AM2302 e SHT71

	DHT11	AM2302	SHT71
Preço	4 - 6 €	10 - 13 €	35 - 50 €
Humidade Relativa			
Tempo de resposta	6s - 15s	2s	8s
Precisão	± 5 %	± 2 %	± 3 %
Resolução (bit)	1 % (8)	0,1 % (8)	0,4 % (8) - 0,05 % (12)
Gama de operação	20 % - 90 %	0 % - 100 %	0 % - 100 %
Temperatura			
Tempo de resposta	6s - 30s	2s	5s - 30s
Precisão	± 1 °C	± 0,5 °C	± 0,4 °C
Resolução (bit)	2 °C	0,1 °C	0,04 °C (12) - 0,01 °C (14)
Gama de operação	0 °C - 50 °C	-40 °C - 80 °C	-40 °C - 123,8 °C

O SHT71 aparenta ser o melhor sensor, tem maior precisão, e tem uma melhor capacidade de resposta apesar de custar relativamente mais. O AM2302 parece ser a escolha intermédia sendo que o DHT11 não tem precisão e resolução aceitável para um produto que pretende ser comercializado como é o Qold[25].

2.3.2 Detetar abertura de porta

A deteção de porta aberta numa câmara frigorífica pode ser feita direta e indiretamente. Diretamente, através de um sensor de efeito de Hall e indiretamente por deteção da luminosidade. Visto que, por norma, as câmaras frigoríficas usadas na restauração estão equipadas de uma fonte de luz que acende sempre que a porta abre.

Sensores de efeito de *Hall*

Sensores de efeito de Hall são dispositivos que respondem com uma variação de tensão à presença de um campo magnético. São usados em aplicações como interruptores de proximidade, de posição, deteção de velocidade e como sensores de corrente.

Estes sensores operam, como o nome indica, sob os princípios do efeito de Hall.

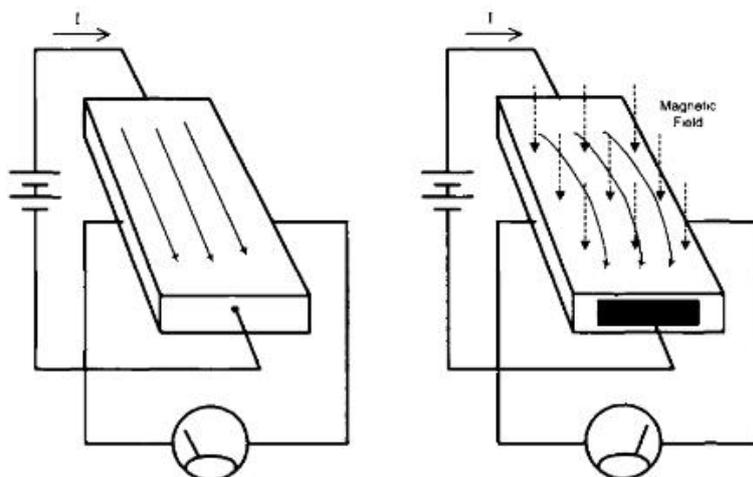


Figura 2.6: Exemplo demonstrativo do efeito de Hall[26]

Conceptualmente, o efeito de Hall é observado quando um material condutor, como o cobre por exemplo, transporta uma corrente, como ilustrado na Figura 2.6, em que a corrente é fornecida por uma pilha. Medindo a tensão elétrica entre duas faces opostas e ortogonais à direção da corrente, é expectável que se meça uma tensão nula. Porém, quando um campo magnético é aplicado perpendicularmente à placa de metal e ao fluxo de corrente, surge uma pequena tensão no voltímetro causada pelo desvio das cargas portadoras sob o efeito do campo magnético[26]. É este princípio que permitirá deduzir se uma porta está aberta ou fechada: colocando um ímã na porta que, quando fechada, fica a uma distância suficiente para o sensor de efeito de Hall produzir uma tensão sempre que a porta abre, esta tensão será nula e o microcontrolador poderá inferir que a porta está aberta.



Figura 2.7: Aplicação de um sensor de efeito de Hall para detetar abertura e fecho de porta

Estes sensores encontram-se com valores compreendidos entre 0,82 € e cerca de 5 €. Sendo que o preço aumenta quando é incluindo o ímã e o suporte para montar na porta.

Sensores de detecção de luminosidade

Para detecção de porta aberta, um dos sensores mais simples, mais baratos e mais económicos é a célula fotoelétrica. Esta célula pode ser um tipo de sensor que varia a sua resistência elétrica consoante a intensidade luminosa. Em termos práticos pode ser comparada a um termistor .

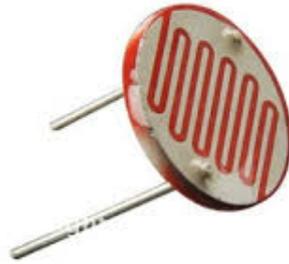


Figura 2.8: Célula fotoelétrica

A resistência deste tipo de sensor diminui com o aumento de luz incidente, ou seja, este sensor apresenta fotocondutividade[27].

É também igualmente simples de incorporar este tipo de sensor num sistema usando uma resistência *pulldown*.

Tabela 2.2: Valores analógicos aproximados utilizando uma célula fotoelétrica com uma resistência *pulldown* com uma alimentação de 5V[28]

Condições ambiente	Intensidade luminosa (lux)	Resistência (K Ω)	Tensão (V)
Corredor escuro	0,1	600	0,1
Luz noturna	1	70	0,6
Quarto escuro	10	10	2,5
Quarto iluminado	100	1,5	4,3
Dia nublado	1000	0,3	5

É possível adquirir estes sensores a partir de 0,88 €.

2.3.3 Detecção de atividade de câmaras de frio: deteção de corrente

As câmaras de frigorífico têm um compressor que permite fazer a refrigeração da câmara. Este motor não está constantemente ligado, oscila sim entre períodos de ligado e desligado tentando manter o ciclo de refrigeração ativo e uma temperatura

média ideal. Por norma, este compressor é controlado pelo termostato da própria câmara. Compreender o padrão de funcionamento, isto é, se o compressor está ou não ligado, se é solicitado muitas vezes pode permitir inferir o bom ou mau funcionamento da câmara, bem como a boa ou má utilização da mesma. Este padrão, de atividade do compressor ao longo do tempo, pode ser extrapolado a partir de um detetor de corrente que deteta os períodos em que esta é solicitada e portanto, o compressor está ligado.

Mais do que detetar corrente, há outras exigências a ter em conta. Por exemplo, como detetar corrente de forma não intrusiva, se o sensor opera em corrente alternada entre as frequências de 50Hz e 60Hz, se tem um custo aceitável para o cliente e se tem uma saída digital na gama do microcontrolador. De salientar que é necessário simplesmente detetar corrente e não medi-la.

Um sensor que responde a estas necessidades é um transformador de corrente da Triad Magnetics, o CST-1015[29].



Figura 2.9: CST-1015

Um transformador de corrente é um sensor que transfere energia elétrica entre circuitos por efeito de indução eletromagnética. O sensor envolve um cabo elétrico no qual passa uma corrente, corrente primária, que irá influenciar o circuito do sensor, produzindo uma corrente neste, corrente secundária, segundo uma razão, denominada de *Current Transformer Ratio* (CTR).

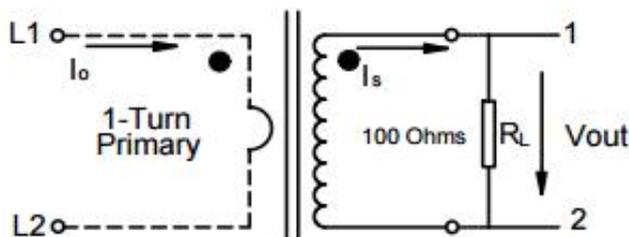


Figura 2.10: Diagrama esquemático de funcionamento do CST-1015[29]

Na Figura 2.10, a parte esquerda do circuito denominado por *1-turn primary* (circuito primário) corresponde ao fio que atravessa o sensor e, no circuito da direita encontram-se representadas as espiras do enrolamento em torno de um núcleo ferromagnético, por onde irá passar a corrente secundária que permitirá detetar a

passagem de corrente no circuito primário. As duas riscas transversais do esquema representam o acoplamento magnético entre ambas as partes, que é grandemente aumentado pelo núcleo respetivo. De salientar ainda a carga R_L que permitirá medir a tensão entre os ponto 1 e 2 adaptando a relação volt/ampère para as exigências do microcontrolador.

Tabela 2.3: Tabela demonstrativa da relação V/A em função do valor da resistência de R_L

R_L (K Ω)	V/A
0,1	0,0971
0,5	0,4429
2	0,7508
5	0,9439

Por fim, este sensor tem um preço, dependendo das quantidades da encomenda, entre 6,54 € e 4,15 € na Mouser.

2.3.4 RTC - Real-time clock

O "Relógio de tempo real"(RTC) é muito comum em dispositivos de monitorização em contínuo, a fim de possibilitar a aposição de marcas temporais aos dados obtidos e às mensagens trocadas. Os RTCs são, por norma, circuitos de baixo consumo em potência, que usam um oscilador de cristal externo para manter um registo preciso do tempo.

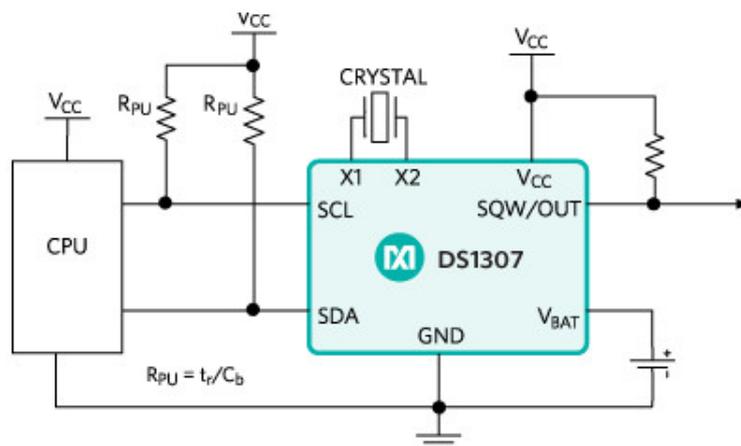


Figura 2.11: Esquema de operação de um RTC da Maxim, o DS1307[30]

Na Figura 2.11 pode-se constatar uma boa prática da integração deste tipo de circuito que é ter uma alimentação redundante em relação à alimentação principal do sistema, para que, caso esta falhe, a operação se mantenha. Dada a sua grande utilização, são dispositivos que se conseguem obter por valores tão baixos como 2 €.

2.4 Soluções: uma visão do mercado

Como esta tese está a ser desenvolvida num âmbito empresarial é também essencial fazer uma análise profunda do mercado e compreender qual o melhor posicionamento de mercado para a Whitesmith, compreendendo quais os seus pontos fortes e fracos. Nas secções que se seguem, será feita uma breve descrição de empresas com serviços e produtos concorrentes do Qold, bem como uma análise mais minuciosa às suas soluções, do ponto de vista técnico e do ponto de vista de posicionamento de mercado. Caso estas empresas ofereçam alguma solução extra relevante para este projeto, ela é também abordada.

2.4.1 Monnit

A Monnit é uma empresa americana dedicada a soluções de monitorização sem fios, isto é, vários produtos capazes de medir grandezas físicas e de reportar os valores para uma plataforma *online*. Sob o mote *The Leader in Low Cost Wireless Sensors* a Monnit opera no estado do Utah e presta serviços tanto a clientes particulares como a empresas industriais. Vamos agora proceder a uma análise dos dispositivos que medem a temperatura e que podem ser possíveis concorrentes ao Qold.

MNS-9-W1-TS-ST

O primeiro dispositivo a ser analisado é o MNS-9-W1-TS-ST [31]. Este possui um sensor resistivo de temperatura NTC para medir a temperatura com uma precisão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Este sensor pode ser aberto ou pode ser adicionada uma sonda de 90 cm. É enviada energia para o termistor, espera-se que este estabilize, em seguida digitaliza-se novamente a temperatura e o dado respetivo é enviado para a *gateway*.



Figura 2.12: MNS-9-W1-TS-ST

O sensor é alimentado por uma pilha substituível do tipo pilha de relógio de 3V. A frequência a que o sensor envia dados pode ser configurada pelo utilizador e, para que a pilha dure entre 1 a 2 anos, é aconselhável uma frequência de 1 valor por hora. A frequência de comunicação, que é escolhida aquando da compra do equipamento, pode ser de 900, 920, 868 e 433 MHz. Apesar de oferecerem esta gama de bandas de frequência, na Europa estamos interditos a usar as frequências de 900Mhz e 920Mhz. Para melhorar o alcance é usada uma antena de 4" (aproximadamente 10 cm) para atingir um alcance máximo de 90 metros. Por fim, o sensor opera entre -7°C e 60°C . Na compra deste sensor é também oferecido acesso ao software aplicativo de tratamento de dados iMonnit que permite visualizar a informação enviada bem como definir alarmes via *Short Message Service* (SMS) e email. Monitorização de temperatura em aplicações ambientais, uso em equipamentos (*Smart Machines*) e estruturas inteligentes (*Smart Structures*), operação e teste em aquecimento, ventilação e ar condicionado (*Heating, Ventilating, and air Conditioning* (HVAC)) e monitorização de centro de dados (*DATA Center*) são exemplos de aplicações deste sensor sugeridas pela empresa. O custo deste sensor é de US\$49.

MNS-9-W2-TS-ST

Semelhante ao dispositivo anterior, o MNS-9-W2-TS-ST [32] oferece as mesmas soluções mas com uma diferença: é alimentado por duas pilhas de 1.5 V do tipo AA. Na prática, esta diferença de alimentação traduz-se num aumento do período de duração das pilhas, para 2 a 4 anos, e numa maior flexibilidade da temperatura de operação.: com pilhas alcalinas, a temperatura de operação é de -18°C a 55°C , e, caso se opte por pilhas de lítio, esta passa de -40°C a 85°C .



Figura 2.13: MNS-9-W2-TS-ST

Em relação à unidade anteriormente descrita, este acarreta um aumento de tamanho e uma subida de preço para US\$74.

MNS-9-IN-TS-ST

Como referido, a Monnit oferece produtos para aplicações industriais, como tal, também tem o seu sensor sem fios desenhado para a indústria, o MNS-9-IN-TS-ST [33].

As grandes diferenças deste sensor, comparado com o primeiro sensor desta empresa que foi referido, estão na antena e no tipo de alimentação que se traduzem num maior alcance, numa maior temperatura de operação e num tempo de vida maior.



Figura 2.14: MNS-9-IN-TS-ST

Usa-se uma pilha de 3.6V que pode ser substituída. Há também a opção de usar uma versão alimentada por energia solar que usa uma pilha recarregável de lítio-fosfato de ferro alimentada por um painel solar. Usa-se uma antena de ligação SMA, com um ganho 3 dBi para melhorar o alcance. Em suma, estas modificações traduzem-se

numa longevidade de 4 a 5 anos, numa temperatura de operação de -40°C a $+85^{\circ}\text{C}$ e num alcance típico de 100 metros, por US\$149. De salientar que é este o modelo que a empresa aconselha para frigoríficos e congeladores.

MNS-2-WF-TS-ST

Quando se quer evitar o uso de uma *gateway* é necessário a funcionalidade de comunicação por Wi-Fi estar incluída no sensor, o que corresponde ao modelo MNS-2-WF-TS-ST [34]. Não sendo necessário agora a comunicação para a *gateway* este sensor comunica por Wi-Fi na banda de frequência de 2,4 GHz, sendo alimentado por 2 pilhas AA de 1,5V, para um alcance máximo de, aproximadamente, 75 metros em campo aberto. O dispositivo tem um custo de US\$149.



Figura 2.15: MNS-2-WF-TS-ST

Este sensor permite ainda guardar os dados caso a comunicação por Wi-Fi tenha sido interrompida.

Outros sensores

Para além destes sensores de temperatura apresentados, a Monnit também desenvolve outros tipos de sensores sem fios, tais como:

- Sensores de humidade relativa
- Detetores de presença de água
- Sensores de porta aberta e porta fechada
- Detetores de movimento por infravermelhos
- Sensores de gás de Monóxido de Carbono (CO)
- Detetores de tensão
- Sensores resistivos
- Transformadores de corrente AC em DC na ordem dos mA

- Contadores de impulsos
- Sensores de luminosidade
- Sensores de detecção de luz
- Medidores de pressão
- Sensores de pressão de botão
- Sensores do nível de um líquido

Gateways sem fios

Nenhum destes sensores é útil sem uma *gateway* pelo que a Monnit oferece diferentes tipos de *gateways* para responder a diferentes tipos de necessidades.

Para as situações em que o local não dispõe de uma rede local, a Monnit oferece *gateways* para acesso à *Internet* com base em protocolos de comunicação 2G e 3G com preços entre os US\$189 e os US\$379.

Caso haja possibilidade de conexão à *Internet* local, há duas hipóteses: ou conectar a *gateway* ao *router* por um cabo Ethernet[35] ou conectar por *Universal Serial Bus* (USB) a um computador. A primeira solução custa US\$229 e a segunda US\$49, sendo que a segunda obriga sempre a ter um computador ligado para funcionar.



Figura 2.16: MNG-9-EG-EGW, *gateway* sem fios com ligação por ethernet

2.4.2 Kelsius

Sob o mote *Real Time Temperature Monitoring for the Food Services and Healthcare Industries*, a Kelsius [36] é uma empresa que nasceu na República da Irlanda e já estendeu a sua área de operação até ao Reino Unido, sendo uma fornecedora de tecnologias de automação para segurança de produto em serviços alimentares e de saúde, através de sensores sem fios, com armazenamento e análise de dados remoto. Presta serviços a restaurantes, hotéis, empresas de catering, hospitais, bancos de sangue, laboratórios e clínicas em países europeus, do Médio Oriente na Austrália e nos Estados Unidos da América. A Kelsius oferece 2 serviços: o *FoodCheck* e o *ColdCheck*. Não é tão transparente nos dispositivos que usa como a Monnit,

pois oferece o serviço na totalidade, sendo substancialmente especializada nos seus mercados.

FoodCheck

O *FoodCheck* [37] é um serviço *web* baseado em tecnologias sem fios com o objectivo de responder às normas HACCP ou Análise de Perigos e Controlo de Pontos Críticos) e permite:

- Monitorização contínua de temperatura
- Alertas por SMS, avisos e notificações tanto num *tablet* como num *smartphone*
- Colheita de dados eletrónicos e respetivo reporte
- Gestão de tarefas de *staff* monitorizando desperdício de produtos, gestão de rotas e agendamento de horários de limpeza.



Figura 2.17: Diagrama de funcionamento do *FoodCheck*

O objetivo deste serviço é otimizar processos relativos à qualidade alimentar, desde a produção, passando pelo transporte, até à preparação dos alimentos.

ColdCheck

Um serviço separado é o *ColdCheck* que é focado na monitorização de temperatura em locais de armazenamento de alimentos monitorizando também cadeias de frio.



Figura 2.18: Diagrama de funcionamento do *ColdCheck*

2.4.3 FreshTemp

A FreshTemp [38] promete garantir um serviço completo, no que toca à segurança alimentar e à gestão operacional, abrangendo desde cozinhas comerciais a restaurantes de serviço rápido e independentes. Situada em Pittsburgh, Pensilvânia, Estados Unidos da América, esta empresa conecta a cozinha à *cloud* simplificando a recolha de temperaturas sem fios para conformidade HACCP, gestão de tarefas e de equipa à distância garantindo segurança alimentar.

Para conseguirem assegurar estes compromissos, a FreshTemp disponibiliza 3 serviços distintos: *FreshSense*, *FreshProbe* e *Smart Data logger*. A aplicação Web que também funciona em *mobile* tem o nome de *FreshCloud* e permite a visualização dos dados, bem como a configuração de alarmes.

Uma particularidade desta empresa é que oferece o serviço de monitorização de mercadoria, permitindo fazer o rastreio da temperatura durante o transporte e entrega da mesma.

FreshSense

O primeiro produto que vai ser analisado é o *FreshSense*[39], que providencia a monitorização em tempo real da temperatura e a transmissão de alarmes com o objetivo de diminuir a carga de trabalho e o risco correlacionados com a temperatura. Na prática, são sensores que comunicam por radiofrequência, na banda de 900 MHz, com uma *gateway* que envia os dados para um servidor por Wi-Fi na gama dos 2,4 GHz.



Figura 2.19: Dispositivos *FreshSense*

O intervalo de temperatura operacional situa-se entre os -25°C e os 150°C , e o sensor tem uma precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Este é um dispositivo com o sensor de temperatura no interior, com possibilidade de adicionar uma sonda externa, se necessário. Para uma taxa de geração de dados de 1 dado/minuto, é expectável uma duração da pilha de alimentação de 3 anos. Segundo a empresa, o alcance é superior a 1 milha, com transmissão em linha de vista.

FreshProbe

Este serviço é diferente dos que se têm vindo a descrever. Este tem o objetivo de indexar cada temperatura medida a bens alimentares específicos, ao invés de câmaras de frio. Para além desta medida ser feita manualmente, inserindo uma sonda no alimento, o tipo de tecnologia de comunicação difere também: o *FreshProbe* [40] comunica com um iPhone por *Bluetooth* dispensando a utilização de *gateways* ou outros dispositivos.



Figura 2.20: Representação do funcionamento do *FreshProbe*

Este sensor pode ser usado para medir temperaturas entre os -60°C e os 150°C , pois a única parte em contacto com o alimento é a sonda. Usando *Bluetooth*, o alcance fica limitado a 90 metros (linha de vista); em contrapartida, e por não estar sujeito a baixas temperaturas, a longevidade da pilha é de aproximadamente um ano, transmitindo à taxa de 1 dado/segundo

Smart Data Logger

A última solução apresentada por esta empresa é o *Smart Data Logger*. Neste serviço, o próprio sensor guarda dados de temperatura e de tempo. Sem necessidade de uma *gateway*, a comunicação destes dados é feita por *Bluetooth* entre um *smartphone* e o sensor. Por esta mesma característica os dados só podem ser recolhidos presencialmente. Pense-se neste serviço como uma mistura entre o *FreshSense* e o *FreshProbe*.

Permitindo programação por medida pelo utilizador no que toca ao intervalo de tempo de recolha de dados, a longevidade deste sensor está entre dois e os cinco anos, e o alcance-rádio na casa dos 30 metros (linha de vista). Operando entre os -40°C e os 65°C , este sensor tem a capacidade de armazenar 2000 registos.

2.4.4 GrupoPIE - Winrest

Com mais de 25 anos, o GrupoPIE [41] está fortemente enraizado no mercado de retalho. Dedicado a soluções de *software* de gestão e controlo com o seu WinREST, um dos primeiros *softwares* para ponto de venda de restauração da Europa com ecrã táctil, está presente em 95% de todas as redes de *fast food* em Portugal. Em directa competição com o Qold, o GrupoPIE dispõe de dois serviços, o WinREST Sensor Log e o WinREST HACCP.

WinREST Sensor Log & HACCP

Um *software* que acompanhado de sensores sem fios capazes de medir temperatura, humidade e luz instalados num estabelecimento permite ao utilizador ser alertado por SMS e email quando estes valores estão fora da região de desejada, visualizar estes dados e exportar os registos para HACCP[42]. Este serviço tem o nome de WinREST Sensor Log[43]. Esta aplicação é somente desenvolvida para Windows e só pode ser consultada localmente à exceção dos relatórios que podem ser acedidos via *Web*. Pouca informação está disponível sobre o sensor em si mas, além da temperatura, humidade e luz, a força de sinal (*Received Signal Strength Indication* (RSSI)) também é medida e pode ser consultada. A frequência de amostragem destes sensores é configurada pelo utilizador.

2.4.5 Testo

A Testo [44] é uma empresa alemã especializada em tecnologia de medição fixa e portátil com clientes espalhados por todo o mundo. Dentro do sector da qualidade alimentar, oferece 2 tipos de produtos relevantes: termómetros e data loggers[45], tanto para equipamentos fixos como para aparelhos de transporte. Dentro de cada uma destas categorias, a Testo tem mais do que uma solução, que varia das restantes nas suas características e no seu preço. Vamos agora analisar estas diferenças em maior pormenor.

Termómetros

Para medir a temperatura com precisão, a Testo sugere os seus termómetros[46], sejam estes por contacto ou por infravermelhos. De notar que estes dispositivos são usados, maioritariamente, para medir a temperatura de bens alimentares, e não propriamente para fazer monitorização de algum equipamento específico.



Figura 2.21: Exemplo da utilização de um termómetro por contacto da Testo

Data loggers

Como já foi referido, a Testo oferece vários tipos de data loggers, que se podem dividir em duas categorias essenciais: fixos ou para transporte. Na categoria dos fixos [47], são medidas três grandezas: temperatura, humidade e pressão. A principal função destes dispositivos é a elaboração de relatórios para controlo de qualidade.



Figura 2.22: Testo 174 T - Mini data logger de temperatura

O Testo-174T[48] é o sensor mais básico que opera de -30°C a $+70^{\circ}\text{C}$, com uma precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e uma resolução $0,1^{\circ}\text{C}$. O período de aquisição de dados pode variar entre 1 minuto e 24 horas, sendo alimentado por duas baterias de lítio CR2032 com uma durabilidade estimada de 500 dias a 25°C , com um ciclo de medição de 15 minutos. É aconselhado para medir temperaturas de armazenamento.

Na gama oposta temos o Testo-176H1[49], o dispositivo mais completo.



Figura 2.23: Testo 176H1 - Sensor de temperatura e humidade relativa

Operando entre os -20°C e os 70°C com uma precisão de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ e uma resolução $0,1^{\circ}\text{C}$, este sensor não só consegue dados mais preciso como os pode gerar com períodos variando de 1 segundo a 24 horas. Uma pilha de lítio TL-5903 poderá ter uma durabilidade estimada de 8 anos, com uma taxa média de 1 dado a cada 15 minutos. Este sensor possui 4 canais e a possibilidade de usar sondas no ar, de imersão/penetração ou de superfície para medir temperatura e/ou humidade. Este sensor é ainda aconselhado para uso em construção.

Os dados são guardados e depois transmitidos para um PC por cabo USB usando um software próprio, o *Saveris*, é possível aceder aos dados. Estes produtos variam desde os 49 aos 411 €, conforme as funções suportadas, tais como: alarmes automáticos, documentação centralizada num único sistema de distintos pontos de medição e produção de relatórios automáticos, e ainda outras características como maior ou menor capacidade de armazenamento de dados, faixa de medição, precisão, resolução, tipo de pilhas usadas, vida útil, visor e tipo de sonda.

Na segunda categoria, temos os dispositivos que monitorizam a temperatura, humidade e vibrações durante o transporte[50]. A Testo dispõe de quatro sensores para medição de temperaturas, com tempo de funcionamento diferentes e um específico para temperaturas inferiores a -80°C , um sensor para humidade e temperatura e por fim um sensor mais completo para temperatura, humidade e vibrações.



Figura 2.24: Testo 184T2 - Data logger para supervisão da temperatura durante o transporte

Este sensor[51] mede a temperatura atual e hora a que esta foi medida. Permite a visualização destes valores bem como da temperatura cinética média (*Mean Kinetic Temperature* (MKT)), os valores máximo e mínimo de temperatura registada num determinado intervalo e o estado da bateria do sensor. Estes valores são guardados, permitindo a sua exportação em formato .pdf, assim que o sensor é conectado via

USB a um computador Há ainda a possibilidade de comunicar por *Near Field Communication* (NFC), usando a aplicação da Testo disponível na *Google Play Store*. É, também, possível configurar um alarme caso os máximos ou mínimos estabelecidos sejam ultrapassados, que é sinalizado por LED.

A MKT é obtida através da seguinte equação:

$$T_{MKT} = \frac{\frac{\Delta E}{R}}{-\ln \frac{e^{-\frac{\Delta E}{RT_1}} + e^{-\frac{\Delta E}{RT_2}} + \dots + e^{-\frac{\Delta E}{RT_n}}}{n}} \quad (2.7)$$

T_{MKT} = Temperatura cinética média - K;

ΔE = Energia de ativação, 83,144 - *KJ/mol*

R = Constante universal dos gases perfeitos, 8,314462 - *J/(K.mol)*

T_1 = Temperatura média medida em graus Kelvin durante o primeiro período de tempo.

T_2 = Temperatura média medida em graus Kelvin durante o segundo período de tempo.

T_n = Temperatura média medida em graus Kelvin durante o n-ésimo período de tempo.

Este sensor tem somente dois botões: um para iniciar a recolha de dados e outro para terminar. Opera entre -35°C e +70°C, com uma precisão de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ e uma resolução de $0,1^\circ\text{C}$. O período de aquisição de dados é variável entre 1 minuto e 24 horas, para uma capacidade de armazenamento de até 40 mil leituras. O seu tempo de operação máximo é de 150 dias, usando pilhas de lítio não substituíveis, e custa 49 €.

Os outros sensores variam em pouco nas suas especificidades técnicas, sendo que o sensor mais completo é também capaz de medir a aceleração segundo 3 eixos e deduzir, assim, as vibrações a que o sensor esteve sujeito. Este sensor é o mais caro e pode ser obtido por um valor de 169 €.

2.4.6 Temperature@lert

A Temperature@lert[52] tem um modelo diferente dos anteriormente descritos, no sentido em que, por norma, os sensores comunicam com uma *gateway* via *wireless* e a Temperature@lert desenvolveu uma solução em que os sensores estão ligados à *gateway*, e esta depois comunica os dados por Wi-Fi.



Figura 2.25: Temperature@lert - edição Wi-Fi

Este sensor é alimentado por um adaptador AC. Com uma gama de temperatura de funcionamento entre os 0°C e os 40°C, a este dispositivo ainda se podem adicionar sensores de temperatura que operam entre os -20°C e os 60°C. Os dados recolhidos são, depois, disponibilizados numa plataforma *Web* onde se podem gerar relatórios e configurar alarmes SMS, email e telefónicos, consoante o plano de serviço contratado. Semelhante a este serviço, esta empresa proporciona um outro, o *cellular edition* que em vez de usar tecnologia Wi-Fi, usa tecnologias de redes móveis para comunicar. Tem um valor de US\$399,99

Medir a temperatura ambiente, em salas de servidores, laboratórios, frigoríficos que sirvam comida entre outros, são aplicações deste dispositivo de US\$299,99. Claro que a este preço ainda se adiciona o preço de cada sensor, consoante o que se quer monitorizar. Estes preços vão desde US\$34,99 até US\$174,99.

2.4.7 Domopor

A domopor[53] é uma empresa portuguesa, com vocação para o desenvolvimento de soluções inteligentes para a área habitacional. Dentro dos vários produtos e serviços no quadro desta análise, destaca-se o TCS.wireless[54], que foi concebido especificamente para implementar o Sistema de Segurança e Higiene Alimentar, regulamentado pelo HACCP, fazendo registos diários dos valores de temperatura e emitindo alarmes sempre que os pontos críticos de controlo são ultrapassados.

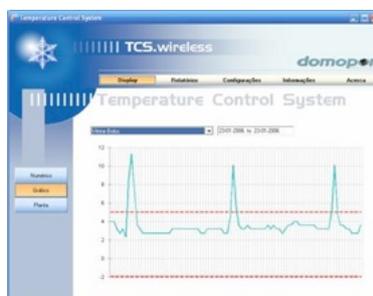


Figura 2.26: Aplicação TCS.wireless

Não fornecendo informações específicas sobre o sensor de temperatura usado, este serviço permite de forma automática registar dados emitidos pelas sondas sem fio, gerar alarmes e elaborar relatórios.

2.4.8 Eclo

Vocacionada para resolver problemas nas áreas da indústria alimentar, hoteleira, do retalho, laboratórios e farmácias a Eclo[55] é uma empresa portuguesa que se distingue das empresas acima mencionadas por disponibilizar um serviço que, também visando realizar a monitorização de temperatura, recorre a uma tecnologia diferente: utiliza *iButtons* como sensores de temperatura e como data loggers. É portanto sempre necessário recolher estes dispositivos quando se quiser transferir a informação armazenada para um computador.

iButton

O *iButton* é um *computer chip* envolvido numa caixa de metal com um diâmetro de 16 mm e espessura de 6 mm. Devido à resistência desta caixa, este dispositivo pode ser transportado e usado em vários tipos de ambiente, e a sua proteção funciona também como circuito de comunicação, com dois pontos de contacto na caixa: o ponto de contacto responsável pela transmissão de informação denominado de *lid* e um ponto de contacto com a “terra” (referência de tensão) do circuito. Esta interface de comunicação tem o nome de *1-wire* pois só necessita de um fio para comunicar. Existem apenas duas velocidades de comunicação: 16 kbps e 142 kbps.



Figura 2.27: Imagem genérica de um *iButton*

Para além deste circuito de comunicação é possível adicionar e desenvolver outras funcionalidades ao *iButton* como por exemplo: sensores de temperatura, armazenamento de dados, RTDs entre outras. Os preços destes dispositivos podem variar de US\$2 a US\$95[56].

2.4.9 Outras empresas

Outras empresas também analisadas foram a Oregon Scientific[57], que tem serviços mais dedicados à Domótica, com estações meteorológicas e sensores de temperatura e humidade[58]; a Infocontrol[59], com sensores específicos para monitorização de HVAC, dedicada ao ramo da automação industrial e para edifícios; a Anaren and

Cellular Machines[60], com um modelo de negócio semelhante aos anteriormente descritos, disponibilizando um *kit* inicial com uma *hub* e 3 sensores; a CapTemp[61], que não utiliza tecnologia sem fios e faz a monitorização usando um sensor de temperatura (termistor) e comunica ligando-se ao modem por um cabo *Ethernet* permitindo apenas a geração de alarmes; semelhante ao CapTemp, existe a AKCP[62], mas oferece um número maior de sensores, bem como a visualização dos dados; a J.ROMA[63], empresa que se dedica mais à revenda de data loggers[64] da Lascar Electronics[65], que armazenam os valores da temperatura e depois permitem, através de *software*, aceder aos dados. Em alguns modelos, é possível visualizar os dados no próprio dispositivo e definir alarmes sonoros. A comunicação com o PC é feita por USB na maioria dos modelos e por Wi-Fi num modelo, o EL-WIFI[66].

2.4.10 O mercado do Qold: Coimbra e instalações piloto

Mais do que conhecer as soluções de mercado e os potenciais concorrentes do Qold, é essencial também conhecer o mercado do Qold. Para perceber como o mercado reage ao Qold, quais as melhorias que este sugere ao produto e qual o impacto do Qold, procurei encontrar possíveis clientes, falar com eles, apresentar o Qold, sugerir uma proposta de instalação e no final retirar opiniões e melhorias de quem vai usufruir do Qold para as integrar na minha iteração. Destes contactos, e com aprovação para fazer instalação piloto, destacam-se pelo papel fundamental que desempenharam no desenvolvimento desta dissertação: Praxis - Cervejas de Coimbra Lda; Serviços de Ação Social da Universidade de Coimbra (SASUC); Hamburgaria Maneirista; Cordel; Talho Marques & Marques Lda; Novalis Chocogelataria e La Romana Coimbra.

Foi assim possível conhecer os vários tipos de câmaras frigoríficas usadas por estas entidades, qual a importância relativa das mesmas na monitorização da temperatura e doutras grandezas físicas, qual o impacto da forma e colocação do dispositivo, qual a característica mais importante do Qold, o tipo de ambiente a que os dispositivos estão sujeitos e até mesmo quanto é que este tipo de mercado está disposto a pagar por este produto. Através das conversas com os clientes referidos foi possível retirar quadro de requisitos do Qold. Foi possível compreender que o sensor tem de ser o mínimo intrusivo, a função de alarme é maioral em relação à geração de relatórios e que era ainda basilar o dispositivo ser capaz de diagnosticar a saúde da máquina. Desta forma, o cliente não quer perder a matéria-prima, não quer perder tempo com recolha manual das temperaturas e quer saber quando é que tem de substituir a câmara de frio para poder fazer o planeamento de gestão de ativos. Este produto tem ainda de significar uma redução de custos em relação à não prevenção e ao tempo disponibilizado para a recolha de temperaturas.

Em suma, este contacto direto com o mercado permitiu-me tomar várias decisões que serão abordadas no decorrer deste relatório, permitiu-me ter uma visão prática das necessidades do mercado e deu-me ainda a possibilidade de estar em contacto com possíveis clientes do Qold. Graças ao curso de Engenharia Física foi-me possível conversar com estes respondendo as questões mais técnicas sem perder o tato de estar a falar com pessoas com um conhecimento relativamente menor nesta área específica.

2.5 Enquadramento final

Toda a informação recolhida tem por objetivo a capacidade de: **(i)** gerar relatórios com valores das medições periódicas da temperatura das câmaras de frio, de acordo com as normas HACCP, **(ii)** permitir a visualização desta informação em tempo-real, remotamente, e **(iii)** gerar alarmes. Não basta, portanto, recolher dados e processá-los localmente, sendo necessário fazer chegar esta informação ao utilizador final, ao cliente. Por estas razões, é essencial compreender conceitos como *Internet* e *cloud*. A *Internet* pode ser vista como uma rede massificada, descentralizada e de propriedade pública que interliga vários dispositivos através de protocolos *Transmission Control Protocol* (TCP)\ *Internet Protocol* (IP).

A computação *cloud* é um tipo de computação baseada na *Internet* que proporciona processamento partilhado e dados entre computadores e outros dispositivos. Permite acesso a uma vasta gama de recursos e serviços de comunicação, armazenamento e processamento de aplicações variadas, com o mínimo esforço de manutenção. Permite, por exemplo, soluções a empresas como guardar e processar a informação destas em centros de dados de terceiros, sem que a empresa tenha de possuir esta infraestrutura[67].

O Qold é um bom exemplo destes dois conceitos: após os dados chegarem à *gateway*, eles são enviados para a *Internet* onde são armazenados na *cloud* para depois poderem ser consultados pelos utilizadores via *website* ou via uma aplicação móvel. De salientar que a construção e integração desta última parte do sistema não faz parte desta dissertação.

3

Arquitetura do sistema

O sistema desenvolvido foi projetado e construído com o objetivo de criar uma rede de sensores que, facilmente, permita a um utilizador monitorizar remotamente grandezas físicas. Procurou-se criar um sistema de baixo custo, de fácil integração, isto é, em que adicionar novos sensores seja tão simples como colocá-los ao alcance de uma *gateway* e com um número baixo de nós para tornar a sua instalação igualmente simples.

Construir uma rede de sensores sem fios requer a integração de vários componentes tanto de *hardware* como de *software*. A forma como todos estes componentes interagem tem de refletir o objetivo do produto e proporcionar uma experiência agradável ao utilizador.

3.1 Estruturação

Seguindo a arquitetura típica de uma plataforma de IoT este sistema pode ser dividido em três camadas essenciais [68]:

Camada de perceção: É nesta camada que o sistema recolhe, armazena e processa os dados do mundo físico. Esta camada é ainda dividida em duas partes: o dispositivo sensor e a rede sem fios constituída por vários sensores. A primeira parte inclui o microcontrolador, os sensores e o transceptor de Radiofrequência (RF). A rede formada por um número de nós de sensorização distribuídos por uma vasta área constitui a última parte desta camada;

Camada de transmissão: Nesta camada, o sistema tem como objetivo transferir a informação obtida na camada anterior para uma área maior ou, mesmo, a longas distâncias; ou seja, assim que a informação é obtida, esta pode ser transferida para uma localização remota. Há, portanto, uma enorme dependência em comunicação via *Mobile Broadband* ou por Wi-Fi;

Camada de aplicação: Esta é camada final, a camada de destino, em que a informação recolhida e transmitida será usada ou para processamento ou como requisito de um serviço, os dois principais objetivos desta camada.

Esta dissertação incide essencialmente na camada de perceção. Pode-se compreender visualmente a estruturação do sistema na imagem seguinte.

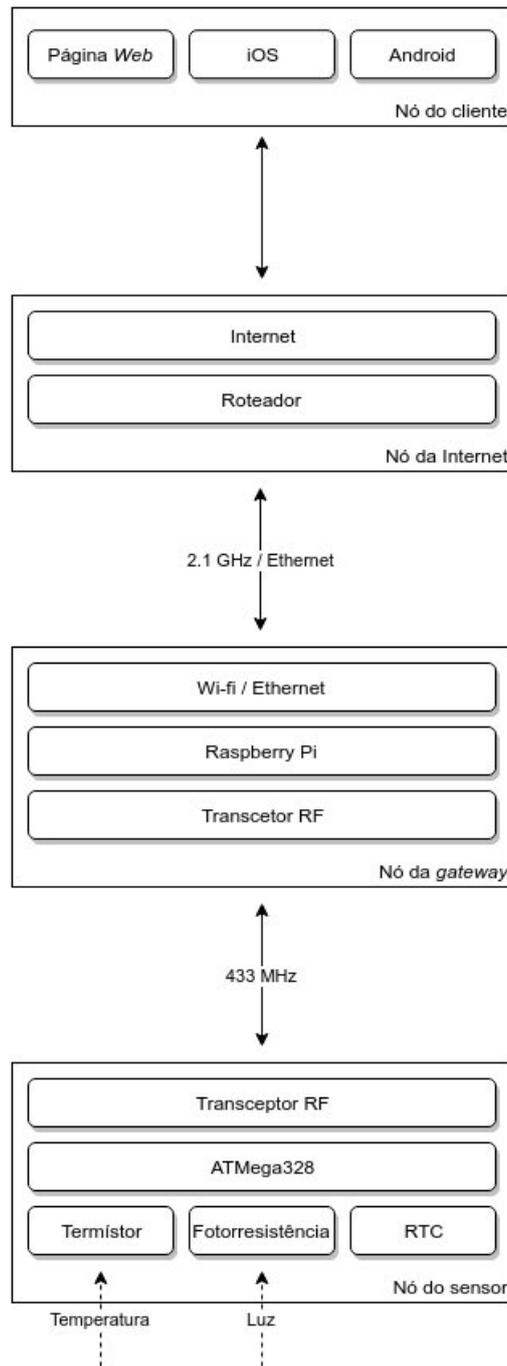


Figura 3.1: Diagrama de blocos da representação geral da arquitetura do sistema

3.1.1 Sensorização de uma câmara frigorífica

É neste nó que a temperatura, a luminosidade e o tempo são medidos, com recurso a um termistor, uma célula fotoelétrica e um RTC respetivamente. É feita a terminação e o condicionamento de sinal das grandezas analógicas (interface analógica) para que a sua digitalização possa ter lugar sem erros. Depois, já no microcontrolador, é feita a recolha de dados, que são processados e guardados e, posteriormente,

enviados para a *gateway*. Foi usado um Arduino Pro Mini para prototipar e, posteriormente, foi usado o seu "cérebro", o *ATmega328* [69], como microcontrolador para o desenho do PCB.

Para atingir estas metas pensou-se no *hardware* como um conjunto de blocos independentes mas interligados, cada um desempenhando funções específicas. Desenhou-se o esquema elétrico no Altium Designer[®] bem como o PCB para para elaboração de um protótipo industrial.

Hierarquia de *Hardware*

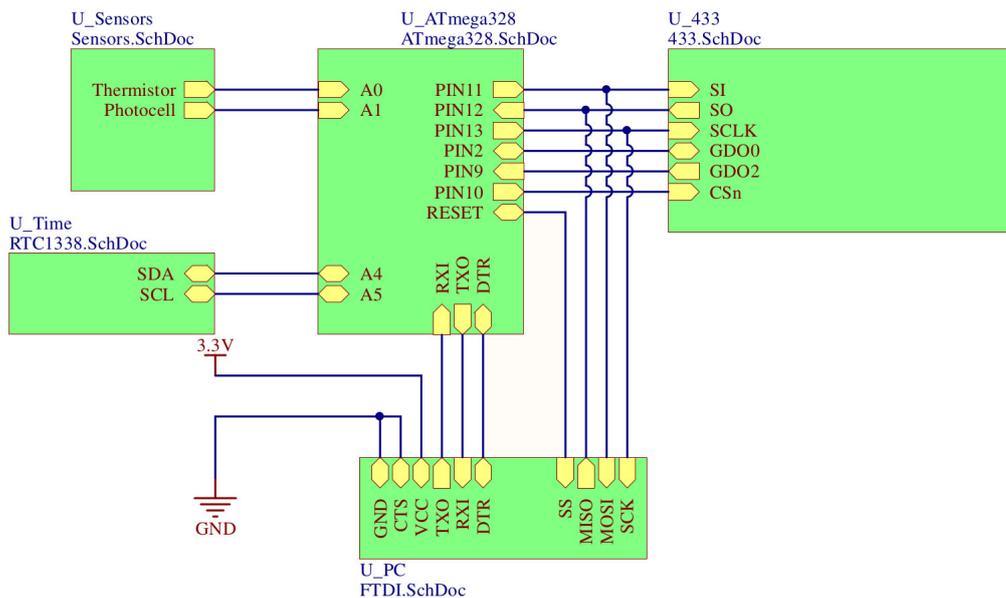


Figura 3.2: Figura ilustrativa da hierarquia de *hardware*

Como se pode observar na Figura 3.2 o *hardware* está dividido nos seguintes módulos:

- Módulo de processamento que inclui o microcontrolador (*ATmega328*), na figura como **U_ATmega328**;
- O módulo de monitorização da temperatura e da luminosidade, na figura como **U_Sensors**;
- Módulo que mantém a noção do tempo atual, na figura como **U_Time**;
- Módulo de comunicação na banda ISM dos 433MHz, na figura como **U_433**;
- Módulo de ligação ao computador para comunicação entre o dispositivo e o PC, para fazer *burn bootloader* e *upload* do *firmware*, na figura como **U_PC**

Arduino Pro Mini e *ATmega328*

O Arduino é uma plataforma de prototipagem *open-source* com o objetivo de facilitar a realização de “provas de conceito”, quer de *hardware* quer de *software* [70]. Por ser uma plataforma muito documentada, usada mundialmente, barata e capaz

3. Arquitetura do sistema

de responder às necessidades do Qold, foi usado um Arduino Pro Mini para prototipagem. Sendo pequeno, permite a sua utilização sem que o volume do dispositivo fosse uma preocupação maior. O microcontrolador usado é o *ATmega328*, sobre o qual foi desenvolvido o mecanismo de recolha de dados.

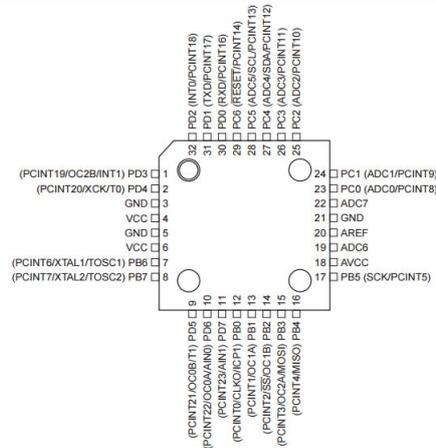


Figura 3.3: Esquema da configuração de pinos do *ATmega328*

Com base na informação da Figura 3.3 e usando uma alimentação de 3,3V no circuito em geral bem como à entrada do *ATmega328*, desenhou-se o esquema seguinte que serviu de base para o desenho em placa de circuito impresso.

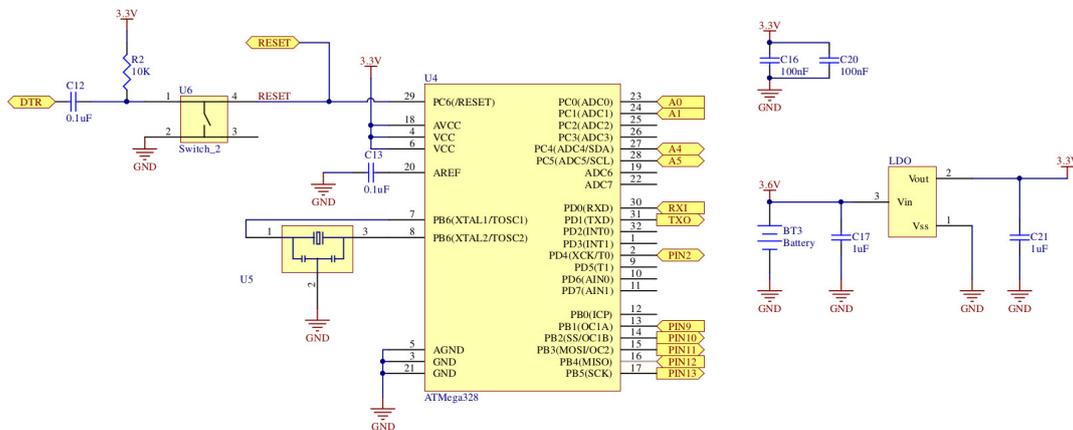


Figura 3.4: Esquema do microcontrolador

É importante compreender que será usada uma pilha de cloreto de tionil-lítio (LiSOCl_2), de 3,6 V devido à sua curva de descarga, e porque os componentes do circuito operam a 3,3 V. Para tal, é necessário corrigir-se a tensão, usando um regulador de tensão, *Low-Dropout Regulator* (LDO) XC6206[71] da Torex. Ainda de salientar da Figura 3.4 a utilização de dois condensadores de desacoplamento para suavizar picos de alimentação, não perturbando o bom funcionamento do circuito. Respeitando as condições de prototipagem, usa-se um oscilador com um cristal de 8 MHz para gerar o CLK do microcontrolador.

Termistor e célula fotoelétrica

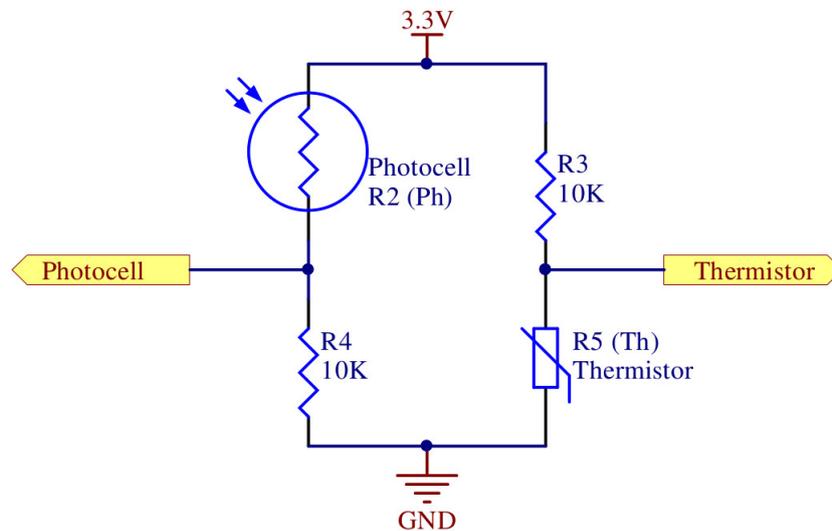


Figura 3.5: Esquema de montagem do termistor e da célula fotoelétrica

Usou-se como termistor o NTCLE100E3103JB0[72] e como célula fotoelétrica a NSL 19M51[73].

Tal como foi apresentado no Capítulo 2, estes dois sensores comportam-se no circuito como resistências variáveis. Para que seja mensurável no microcontrolador, i.e., possa corresponder a excursões de tensão dentro da gama dinâmica do ADC, às variações de resistência têm de corresponder variações de tensão entre os 0 V e os 3,3 V. Esta condição é conseguida usando dois divisores de tensão, uma para cada sensor: no caso da célula fotoelétrica, usa-se uma resistência em *pull down* de 10 K Ω . Em série com o termistor usa-se também uma resistência de 10 K Ω mas desta vez em *pull up*.

RTC

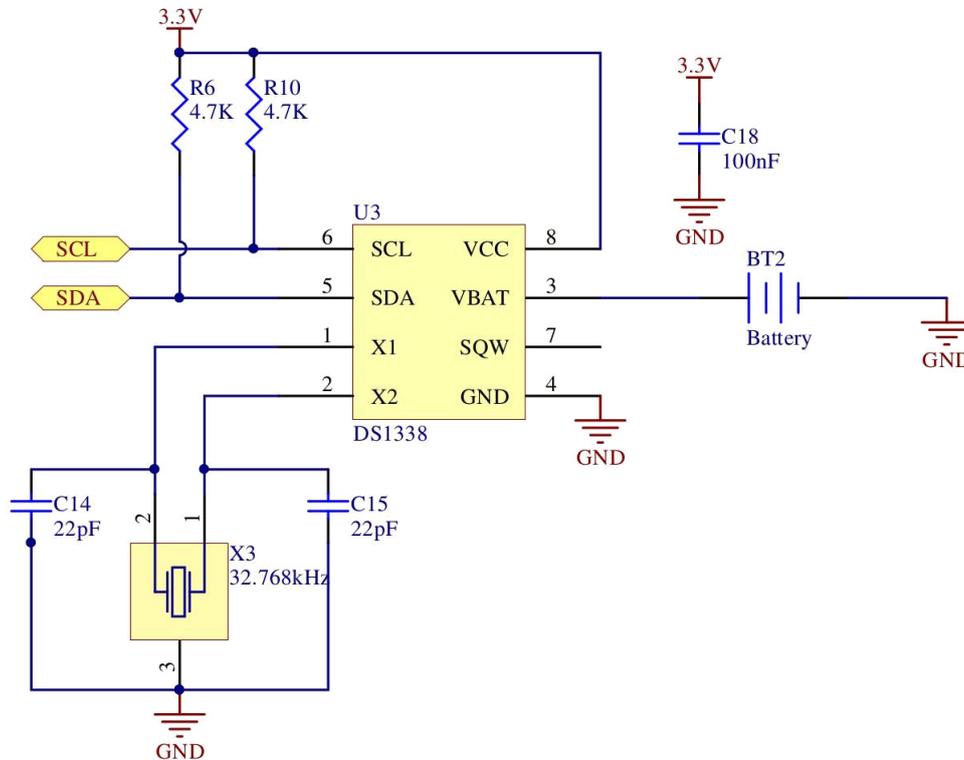


Figura 3.6: Esquema de montagem do RTC

O DS1338 é um RTC de baixo consumo, com funções de relógio/calendário e ainda uma memória do tipo *Non-Volatile Random-Access Memory* (nvRAM). A informação é trocada com o microcontrolador segundo a interface I²C. O relógio/calendário fornece segundos, minutos, horas, dia, data, mês e ano, com correção automática de ano bissexto. Para além destas características, o DS1338 consegue ainda detetar falhas na alimentação do circuito onde estiver integrado e comutar a alimentação para uma pilha de reserva, mantendo as operações de registo de hora e data, sem interrupções[74].

Tal como é exigido no protocolo I²C, que será explicado detalhadamente na Subsecção 3.1.4, as linhas *Serial Clock Line* (SCL) e *Serial Data Line* (SDA) devem estar no estado *HIGH* quando em repouso, logo estas têm uma resistência em *pull up*. Usa-se um cristal à parte para servir de referência temporal para o relógio do RTC, com uma frequência típica de 32,768 kHz. Para calcular os condensadores entre o cristal e o DS1338, foram tomadas em consideração as notas de projeto de circuitos de cristal da *FOX Electronics*[75] e da *Adafruit*[76].

$$C_L = \frac{C_{14} \times C_{15}}{C_{14} + C_{15}} + C_{stray} \quad (3.1)$$

Com $C_{14} = C_{15}$ a equação 3.1 pode reduzir-se a:

$$C_{14}, C_{15} = 2 \times (C_L - C_{stray}) \quad (3.2)$$

Consultando a *datasheet* do cristal usado[77]: $C_L = 12,5$ pF e assume-se $C_{stray} = 1,5$ pF. Caso o dispositivo principal falhe, seja necessário fazer um *reset* ou a pilha principal fique sem carga, usa-se uma pilha de reserva de lítio do tipo CR1225 de 3 V, atendendo o registo temporal preciso.

CC1101 - Módulo de comunicação por radiofrequência sub-GHz

Um dos maiores problemas do Qold no início deste projeto era o alcance-rádio do sistema e as falhas de comunicação devido à utilização de módulos de radiofrequência de 2,4 GHz. Não só esta frequência é muito “povoada” no dia-a-dia, visto ser a principal gama para o Wi-Fi, como também sofre bastante atenuação ao atravessar as câmaras frigoríficas. O módulo de transceptor CC1101 da Texas é uma solução para este problema inicial, permitindo operar nas gamas ISM e operar a frequências de 315/433/868/915 MHz. Usado em aplicações de baixo consumo como em sistemas de alarme e de segurança sem fios, monitorização e controlo industrial bem como outras aplicações de redes de sensores sem fios.

Das suas várias características destacam-se as seguintes:

- desenvolvido para ser orientado ao pacote de informação, com deteção de palavra de sincronismo, verificação de endereço, tamanho do pacote flexível e *Cyclic Redundancy Check* (CRC) automático;
- interface SPI;
- caracterização da força de sinal (RSSI);
- indicador de qualidade de preâmbulo (*Preamble Quality Indicator* (PQI)) para melhor proteção contra deteção de falsas palavras de sincronismo em ambientes com ruído de RF;
- sensibilidade elevada (-116 dBm a 0.6 kBaud em 433 MHz)
- a velocidade de transferência de dados pode ser programada desde 0,6 kbps a 600 kbps;
- consumo de 200 nA em modo *sleep*
- 240 μ s de tempo de inicialização
- tamanho máximo de pacote de 64 *bytes*

Por todas estas razões, decidiu-se usar este módulo. Como o Qold será primeiramente um produto a desenvolver para a Europa, escolhe-se uma gama de frequência autorizadas pela *International Telecommunication Union* (ITU)[78]. Sendo assim, o circuito será desenhado em conformidade com a *datasheet*[79] e de forma a otimizar o bom funcionamento a 433 MHz.

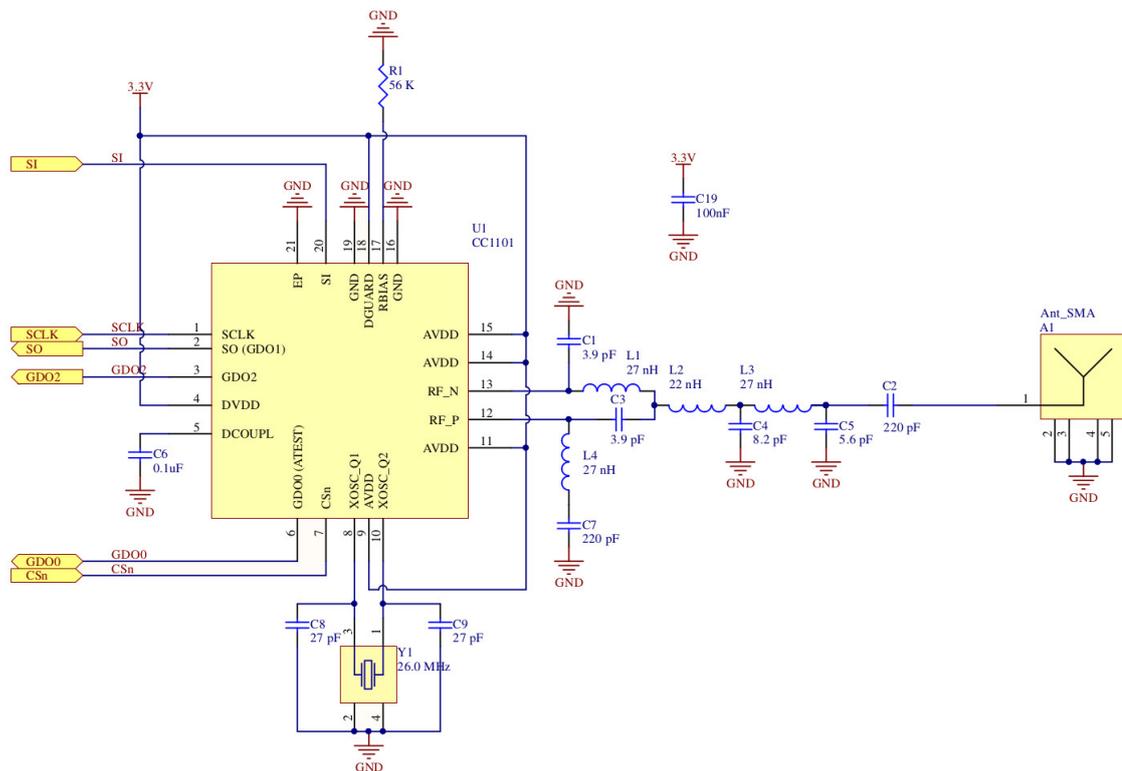


Figura 3.7: Esquema de montagem do módulo de comunicação por radiofrequência na banda ISM dos 433 MHz

Deteção de corrente

A deteção de corrente não será monitorizada pelo dispositivo que irá monitorizar as grandezas supramencionadas. Será sim aproveitado o facto da *gateway* ter de ser alimentada localmente e não por uma pilha em conjunto com o facto deste sensor ser colocada à entrada da alimentação da câmara frigorífica para que no mesmo local se coloque só um dispositivo. Sendo assim, a *gateway* irá também detetar o funcionamento da câmara frigorífica.

Para fazer a deteção de corrente usa-se o CST-1015. A análise deste módulo será abordada à parte no Capítulo 5.

Bootloader & FTDI

O *bootloader* no Arduino é basicamente um ficheiro que corre quando a placa é ligada. Tem duas funções: primeiro verifica se o computador está a tentar programar a placa, se sim, carrega-o para o *ATmega328*. Caso contrário, "diz" ao microcontrolador para correr o código que já está em memória[80]. Por esta razão é necessário carregar o *bootloader* primeiro e só depois o *software* concebido. Uma forma de o fazer é através do estabelecimento de uma ligação SPI entre um Arduino já com *bootloader*

de origem e o *ATmega328*. Em seguida, para carregar o código desenvolvido utiliza-se um adaptador da FTDI, o FT232RL que permite haver conversão de USB para um circuito integrado com comunicação em série.

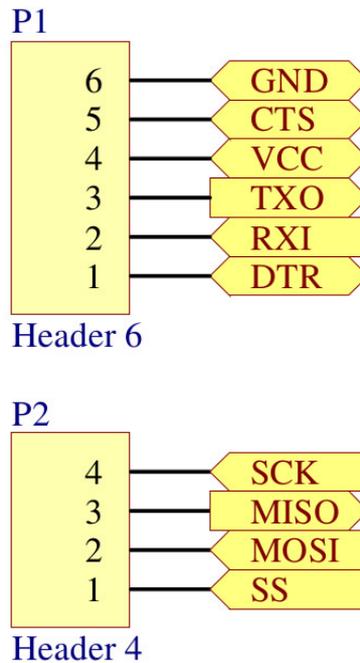


Figura 3.8: Esquema das ligações externas do dispositivo

Na Figura 3.8, **P1** representa as ligações entre o adaptador FT232RL e o *ATmega328* e **P2** representa as ligações necessárias para instalar o *bootloader*.

3.1.2 Gateway

O dispositivo que serve de *gateway* é um Raspberry Pi A+[81]. Este é um computador com um semelhante ao de um cartão de crédito. Montado numa só placa e desenvolvido com o objetivo de promover a aprendizagem de capacidades de computação e programação. Por ser um computador de baixo consumo e com uma distribuição global, tornou-se um dispositivo muito comum em projetos de IoT, especialmente na fase de prototipagem. O Raspberry Pi A+ é um computador que utiliza o processador BCM2835 da Broadcom com uma frequência de 700 MHz e utiliza só um *core* ARM1176JZF-S. Tem uma RAM de 512 MB do tipo SDRAM a operar a 400 MHz. Tem 40 pinos para utilizar com outros periféricos (todos digitais), 1 porta USB 2.0, uma ranhura para introduzir um cartão MicroSD onde está o sistema operativo de base Linux bem como todo o *software* desenvolvido para o Qold. Este é alimentado por uma fonte AC/DC de 5 V capaz de debitar uma corrente de 2,5 A pela porta de micro USB. Tal como o Arduino, este dispositivo consegue comunicar por SPI, I²C e *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART). Usando um módulo extra, o adaptador EW-7811Un da Edimax[82], é possível ligar o Raspberry Pi A+ a uma rede Wi-Fi. Um Raspberry Pi A+ custa 18,10 € na Farnell.

3. Arquitetura do sistema

Este dispositivo já estava escolhido como *gateway* e não fez parte deste projeto por uma solução diferente mas, tão somente, incluir este ponto no desenvolvimento do mesmo, tornando-se assim necessário compreender o funcionamento deste. Fez sim parte desta dissertação, desenvolver o *software* e *hardware* necessário para a comunicação entre o nó de sensorização e a *gateway*.

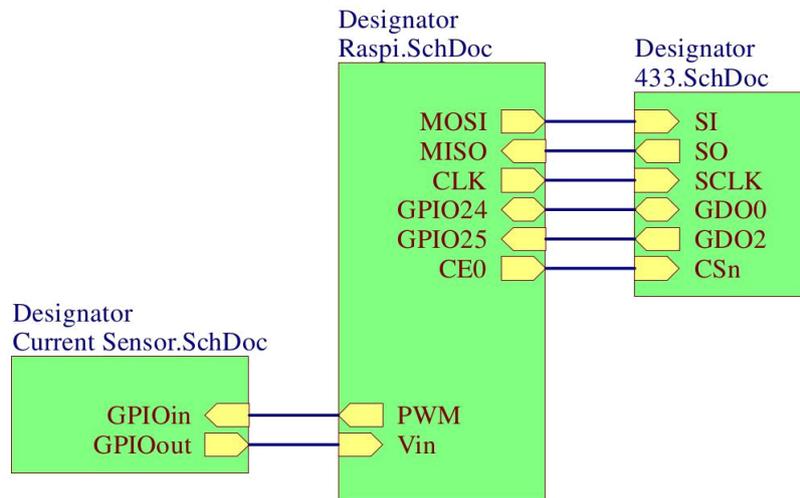


Figura 3.9: Esquema da hierarquia da *gateway*

Para que a *gateway* comunique com o nó de sensorização, é necessário esta conter também um módulo de comunicação em radiofrequência de 433MHz. Utiliza-se o mesmo módulo por razões de preço e simplicidade de desenvolvimento. Como foi acima mencionado, é também na *gateway* que será feita a detecção do estado de funcionamento da câmara frigorífica, como ilustrado na Figura 3.9.

Na figura 3.10 estão indicados os pinos que permitem a ligação da *gateway* aos periféricos.

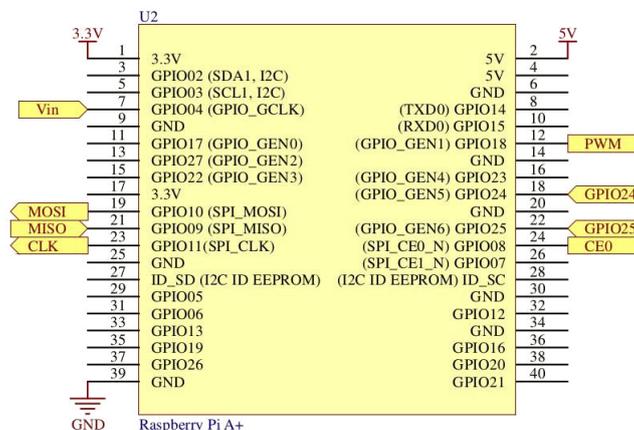


Figura 3.10: Diagrama de pinos do Raspberry Pi A+

3.1.3 Nó da *Internet* e nó do cliente

Neste nó, a informação que chegou à *gateway* é enviada por Wi-Fi para um nó de encaminhamento (*router*) local, que irá colocar os dados recolhidos na *cloud*. Nesta será feito todo o processamento necessário e a gestão de alarmes. Em seguida, esta informação está disponível ao cliente numa página *Web* e numa aplicação móvel. Nestas, o cliente pode consultar o registo das temperaturas num período de tempo selecionado ou nas últimas 12h, como pré-definido; pode exportar relatórios para a HACCP, com o registo das temperaturas, definir limites de temperatura para gerar alarmes por SMS e email caso estes limites sejam violados.

Novamente, a integração destes nós e destas funções não faz parte deste projeto mas faz sim parte do produto tratado nesta dissertação, e, por isso, é de extrema importância compreender o produto como um todo.



Figura 3.11: Visualização de dados no *Website* do Qold

3.1.4 Protocolos de comunicação

Os microcontroladores são capazes de comunicar com outros dispositivos, sejam estes outros microcontroladores, sensores ou outros periféricos usando vários tipos de interfaces e protocolos de comunicação. Podendo ainda usar mais do que uma destas interfaces na mesma aplicação. Esta é uma das grandes vantagens dos microcontroladores.

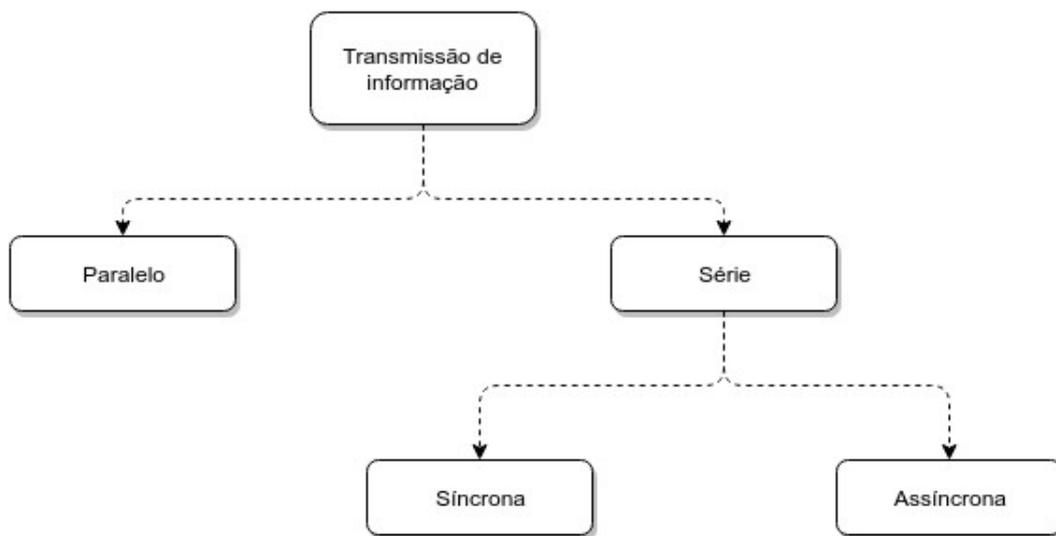


Figura 3.12: Diagrama geral dos processos de transmissão de dados

Esta comunicação entre o microcontrolador e um periférico pode ser tanto em paralelo como em série. Hoje em dia, a comunicação em paralelo já caiu em desuso pois a comunicação em série é muito mais eficiente em termos de recursos e a taxa de transmissão de bits/s é bastante satisfatória no que toca a sistemas embebidos. Dentro da comunicação em série, esta pode ser feita em modo síncrono ou assíncrono como ilustrado na Figura 3.12.

Transmissão síncrona: Significa que o relógio do transmissor está ligado ao CLK do recetor. Os bits são enviados sequencialmente e sem intervalos, sem necessidade de bits extra para indicar que será enviado um pacote de informação. É responsabilidade do recetor agrupar os bits.

Transmissão assíncrona: Significa que o relógio do transmissor e do recetor não estão conectados, portanto, não estão síncronos. Ou seja, o recetor tem de saber em avanço que irá receber informação do transmissor.

No início da transmissão, um bit especial é adicionado ao início do pacote de informação, chamado de *start bit*. Da mesma forma, no final do pacote é adicionado um bit, o *stop bit*. Assim que o recetor confirma que irá receber uma mensagem, este configura o seu relógio para a mesma frequência do transmissor.

I²C

O I²C[83] é um Bus síncrono que assenta num princípio de *master-slave*. Necessita apenas de dois fios para comunicar, SCL e SDA.

Divide-se em 3 modos de operação definidos pela velocidade máxima de transmissão: (i) modo normal, para velocidades até 100 kbits/s, (ii) modo rápido até 400 kbits/s e, (iii) modo de alta-velocidade onde se conseguem obter taxas de transmissão até 3,4 Mbits/s.

O I²C exige apenas que exista um *master* no sistema podendo haver vários *masters*. Isto permite que vários microcontroladores existam como *master*, sendo que os sensores e outros dispositivos periféricos se enquadram na categoria de *slave*. Esta interface possibilita que facilmente se adicione um novo dispositivo ao sistema, bastando, apenas, conectá-lo diretamente ao Bus.

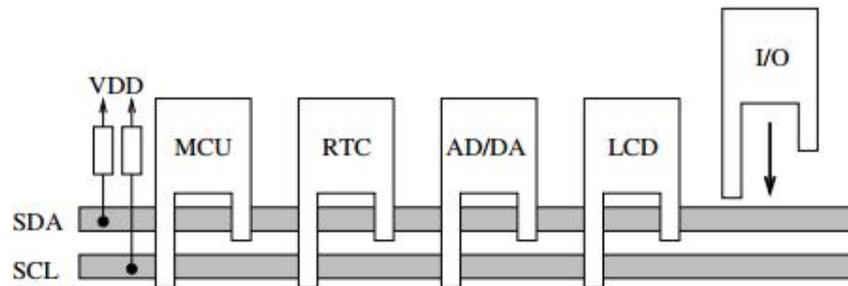


Figura 3.13: Configuração básica de um Bus I²C[84]

Quando o sistema está em repouso, ambas as linhas permanecem no estado *HIGH* que é codificado como 1. Para que haja transmissão de dados, o *master* coloca o sinal de CLK na linha SCL e gera uma condição de *start* na linha SDA. Em seguida, o *master* tem de indicar a *adress* do *slave* e se é função de leitura ou escrita. Depois do *slave* receber o bit de função, este envia de volta um bit de confirmação, após o qual, se pode começar a transmitir a informação propriamente dita. Terminado o processo, o *master* ou gera uma condição de *stop*, deixando a linha livre, ou de *repeated start* indicando que a transmissão corrente está terminada mas vai começar uma nova.

SPI

Baseada também numa relação de *master-slave*, a SPI é uma interface simples, que permite uma comunicação em ambas as direções entre um *master* e um ou mais *slaves*. Esta interface usa quatro linhas:

Master Out, Slave In (MOSI): Linha usada para o *master* transmitir informação para o *slave*;

Master In, Slave Out (MISO): Linha usada para o *slave* transmitir informação para o *master*;

System Clock (SCK): Linha usada para o *master* transmitir o sinal de relógio;
Slave Select (SS): Linha usada para o *master* escolher o *slave* a que vai transmitir informação[84].

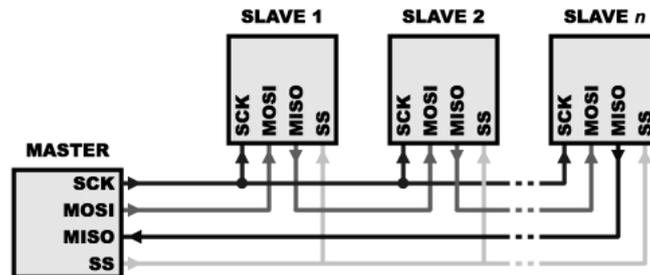


Figura 3.14: Configuração básica de um Bus SPI[85]

Na interface SPI há sempre um sinal de CLK, sempre gerado pelo *master*, responsável por sincronizar toda a comunicação. Quando esta informação é enviada do *master* para o *slave*, a mensagem é transmitida pela linha MOSI caso seja necessária alguma resposta, o *master* continua a gerar um sinal de relógio, com uma frequência predefinida, permitindo ao *slave* transmitir informação de volta usando a linha MISO. Nesta interface, o *master* sabe sempre quando e quanta informação o *slave* está a transmitir.

É sempre o *master* a chamar o *slave* para comunicar configurando o seu pino SS como *LOW*. É assim permitido que estejam vários *slaves* ligados ao mesmo *master* desde que todos os pinos SS à exceção de um estejam configurados como *HIGH* sendo assim necessária uma linha SS diferente para cada *slave*.

Comunicação entre o nó do sensor e a *gateway*

A comunicação e como esta acontece entre o nó de sensorização e a *gateway* foi toda desenvolvida, do início ao fim, no contexto desta dissertação.

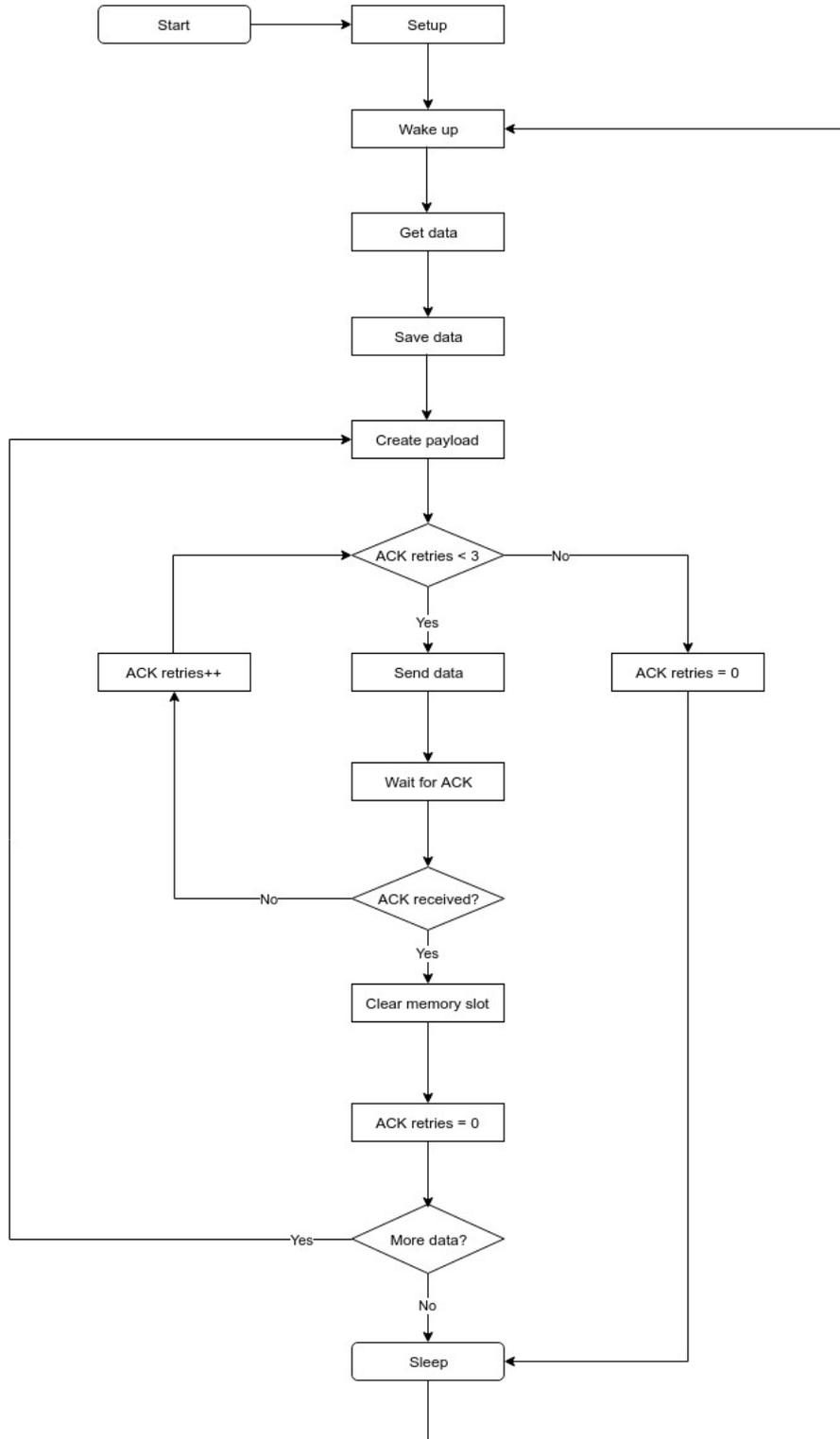


Figura 3.15: Fluxograma explicativo do nó de sensorização

A Figura 3.15 descreve o fluxograma do funcionamento do nó de sensorização onde as funções mantêm a designação do programa fonte, como descritas abaixo.

Após o *software* ser carregado para o sensor e devidamente inicializado passa-se ao processo de **setup** onde se definem os tipos de dados, a estrutura do *payload*, a memória dedicada ao armazenamento de dados, a configuração do módulo de comunicação e a configuração do relógio (RTC). Em seguida, é iniciado o seu ciclo de funcionamento no modo **Wake up**. Em **Get data** são recolhidos os dados do local, hora e data (*timestamp*), a temperatura, a luminosidade e o nível de bateria, depois estes dados são guardados na primeira posição livre da memória alocada para o efeito em **Save data**. Após os dados serem guardados, será criado o *payload* a ser enviado: para tal, o último dado guardado será o escolhido para formar o *payload*. É no momento seguinte que será feita a comunicação entre o sensor e a *gateway*, de uma forma simples, o sensor envia os dados; a *gateway*, ao recebê-los envia uma mensagem de confirmação (aqui como *ACK*) e o sensor ao recebê-la entra em *sleep mode*, isto é, adormece para poupar pilha. De forma completa, após o *payload* ser criado, é verificado quantas vezes se tentou enviar a mensagem (**ACK retries**) e se esse valor for inferior a 3, o módulo de comunicação é colocado em modo de transmissão e os dados são enviados, **Send data**. Durante os próximos três segundos o sensor está à espera de receber a mensagem de confirmação da *gateway* e o módulo de comunicação é colocado em modo de receção. Caso a mensagem de confirmação, (**ACK received?**) não seja recebida dentro deste intervalo de tempo, o dispositivo tentará novamente enviar o *payload* com os últimos dados incrementando assim a variável **ACK retries**. **ACK retries** controla se o dispositivo envia dados, ou entra em modo *sleep*. Caso a mensagem de confirmação seja recebida com sucesso, o endereço de memória atribuído a esta mensagem é limpo, permitindo que este segmento de memória seja libertado para vir a ser usado futuramente (**Clear memory slot**). Neste momento a variável **ACK retries** é reinicializada. Se ainda houver mais dados em memória, no esquema da Figura 3.15 representado pelo bloco **More data?**, o processo de envio de dados é repetido até serem tentados enviar todos os dados. Os dados guardados em memória são percorridos uma e somente uma vez. No final da tentativa de envio dos dados em memória o dispositivo entra em **Sleep** até o próximo ciclo. Este ciclo está definido para quinze minutos, mas pode ser alterado, tal como o número de tentativas de envio de mensagem e o tempo de espera por mensagem de confirmação. Estes valores são todos passíveis de serem alterados, pois este protocolo foi desenvolvido para possibilitar tal flexibilidade. Dentro deste ciclo de quinze minutos, decorre um ciclo inferior de um minuto que verifica se há uma variação brusca de temperatura (de 1,5 °C) em relação ao minuto anterior, caso haja, inicia-se o processo de envio de dados. Desta forma é possível diagnosticar um comportamento indesejável da câmara e dar uma resposta mais rápida, salvaguardando assim, a matéria prima no interior desta.

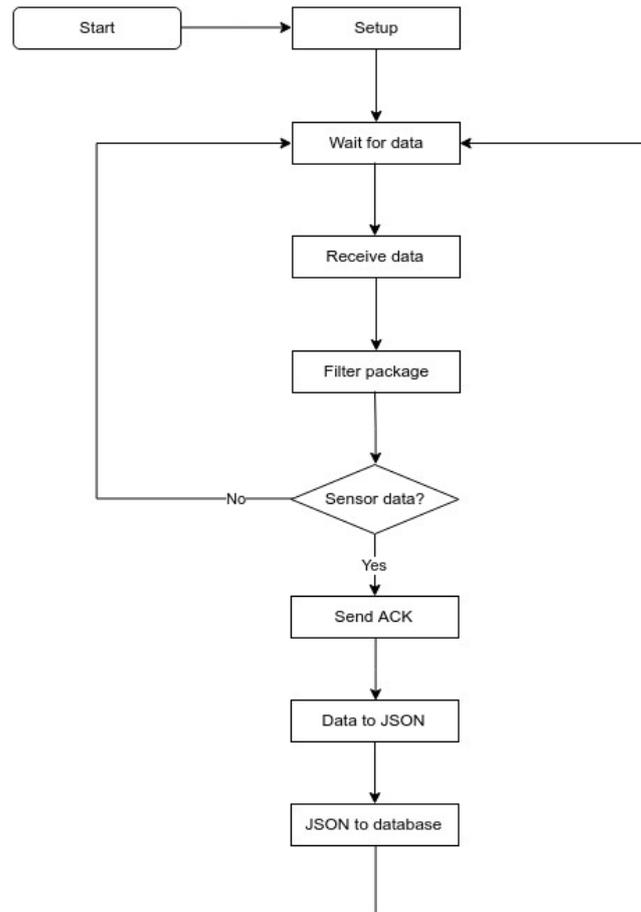


Figura 3.16: Fluxograma explicativo da *gateway* no processo de comunicação

O papel da *gateway* no processo de comunicação é um papel passivo: esta aguarda a recepção de uma mensagem do sensor, envia a mensagem de confirmação e guarda os dados na base de dados.

No *Setup* são definidos o tipo de variáveis, a estrutura do *payload* e feita a configuração do módulo de comunicação. Após este processo, a *gateway* entra no modo ***Wait for data*** onde aguarda por um *payload* recebido pela rede ISM (433 MHz). Estes dados estão sujeitos a interferências, pelo que é necessário que, quando são recebidos dados (***Receive data***) estes sejam filtrados (***Filter package***). Este mecanismo consiste numa validação e exclusão de *payloads* inválidos através de verificação de CRC e do indicador de qualidade de pacote, que constituem funções valiosas do CC1101. Após esta filtragem, há ainda uma segunda validação onde se verifica se, no *payload* recebido, há um *byte* específico dos dispositivos do Qold na posição certa, para garantir que a mensagem enviada é de um sensor do Qold (***Sensor data?***). Caso não seja, a *gateway* fica novamente à espera de receber novos pacotes de dados. Quando todas as exigências da validação são satisfeitas, o módulo de comunicação entra em modo de transmissão e envia a mensagem de confirmação (***Send ACK***). Os dados recebidos, *bytes*, são reescritos para o formato *JavaScript Object Notation* (JSON) para que depois possam ser guardados na base de dados usando *Structured Query Language* (SQL) e a biblioteca de SQLite, terminando, assim, este ciclo. A mensagem de confirmação transporta em si um *byte* único característico de cada

dispositivo sensor, que serve de identificação. Este *byte* de identificação permite mitigar erros de *payloads* que não pertencem ao sistema, permite que numa rede com mais de um sensor ativo a mensagem de confirmação seja específica de cada sensor evitando assim falsas confirmações de receção de dados.

O *software* para ambos os intervenientes no processo de comunicação foi desenvolvido na linguagem de programação C++ e usou-se o chip CC1101 produzido pela Texas já mencionado anteriormente, para enviar e receber as mensagens entre ambos.

Em suma, a comunicação entre o nó de sensorização e a *gateway* corresponde a uma rede de topologia estrela, em que o nó central é a *gateway* que funciona como servidor em relação aos nós de sensorização periféricos. A comunicação é feita sem fios usando radiofrequência na banda ISM dos 433 MHz.

3.2 Integração funcional

O produto final do Qold é informar o cliente e alertá-lo automaticamente caso alguma das suas câmaras de frio não estejam a funcionar devidamente. Sendo assim, há duas finalidades funcionais importantes de destacar e de explicar: a função de consulta de dados e a função de alarme. Há ainda uma função indireta e complementar deste produto que é a educação do utilizador das câmaras de frio para a implementação de boas práticas de utilização das mesmas, garantindo um maior tempo médio de vida útil e, no imediato, maior eficiência energética, por redução de perdas de frio. Estas funções já estavam presentes no produto no início desta dissertação e tinha de ser garantido que o trabalho desenvolvido iria ao seu encontro. É de seguida apresentada uma explicação breve das mesmas para compreensão do produto na sua totalidade.

3.2.1 Consulta de dados

O registo de temperaturas em serviços de conservação ou distribuição de comida é obrigatório para respeitar as normas HACCP de saúde alimentar. Este processo é feito de uma forma antiquada, tal como já foi mencionado no primeiro capítulo, e, quanto maior for a dimensão do estabelecimento e quanto mais câmaras de frio este tiver, mais prolongado será este processo. Com o Qold é possível renovar este processo, automatizando-o por completo através da sua plataforma *online*, gerando relatórios com vários registos de temperaturas no intervalo escolhido. Para além de ser possível gerar estes relatórios, é, ainda, possível visualizar graficamente a evolução da temperatura em função do tempo num intervalo de tempo também selecionado.

3.2.2 Central de alarmes

Após contacto com vários potenciais clientes, ficou claro que uma das funções principais é a geração de alarmes para que, posteriormente possam ser tomadas medidas preventivas ou de reação rápida, evitando a perda de matéria prima guardada nestas câmaras. Não só o cliente quer evitar este transtorno, como quer que o processo seja o mais autónomo possível e que perturbe o mínimo a cadeia de operações: desta

forma, alarmes em tempo real tornaram-se uma função essencial do Qold. Estes alarmes, que são disparados sempre que é detetado um comportamento anómalo da câmara ou alguma temperatura limite é ultrapassada, podem tanto ser sobre a forma de SMS como de email ou de notificação na aplicação móvel.

3.2.3 Compatibilidade com a versão anterior

A nova versão tem de continuar a assegurar as funções supramencionadas. Enquanto o sistema não é atualizado para receber os novos dados que são agora recolhidos e enviados, é criada uma base de dados na *gateway* com a formatação exigida pelo sistema em utilização.

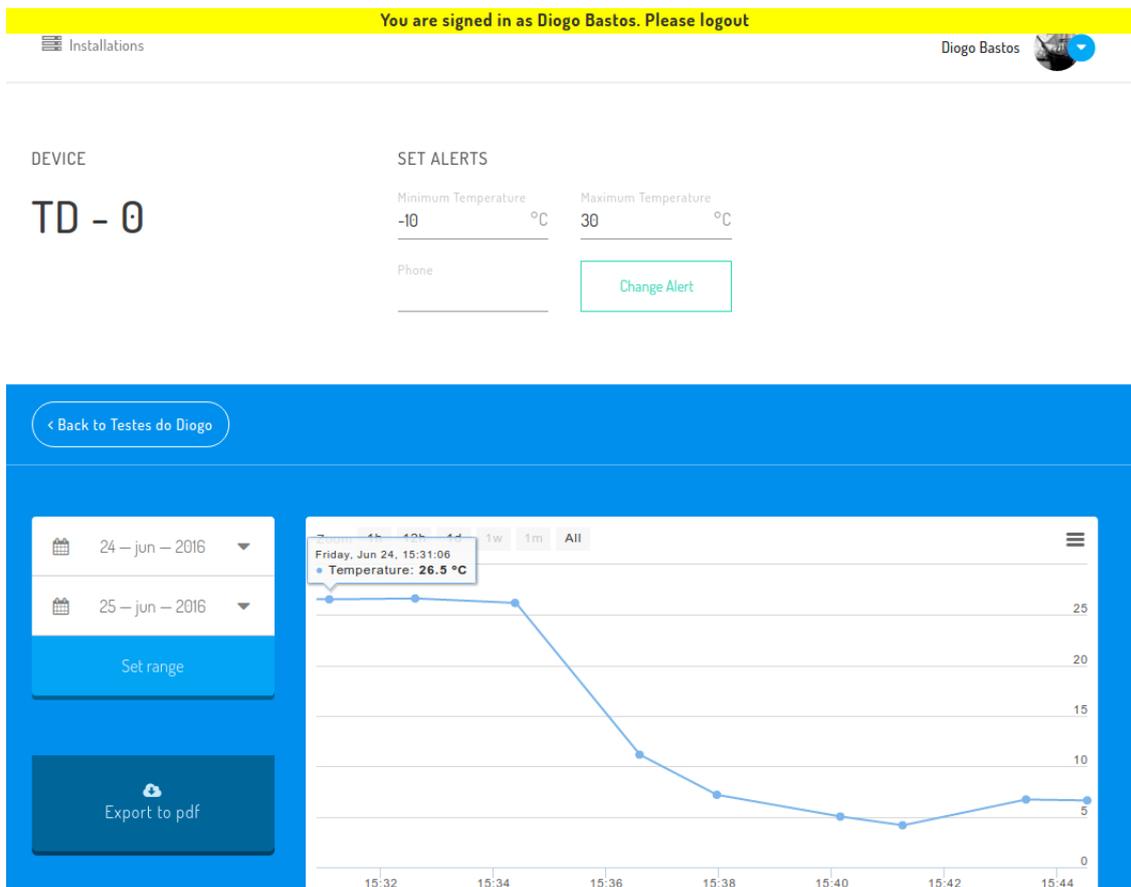


Figura 3.17: Evolução da temperatura medida numa câmara frigorífica

Na Figura 3.17 estão representados os valores de temperatura recolhidos por um sensor antes e depois da sua colocação num frigorífico. O sensor está a comunicar com a *gateway* por RF na banda dos 433MHz afastada cerca de dez metros numa sala diferente. De salientar que este é apenas um teste de prova de conceito do protótipo desenvolvido.

Até o sistema ser atualizado na íntegra e ser capaz de assimilar os novos dados, esta arquitetura permite a compatibilidade com o sistema em vigor. Esta atualização não pertence ao âmbito desta dissertação e é discutida em maior detalhe no Capítulo 6.

4

Aquisição de dados no interior de uma câmara de frio

4.1 Desenvolvimento do nó de sensorização

O desenvolvimento do nó de sensorização começou pelo principal problema do sensor do Qold: a sua fiabilidade. O sensor estava a comunicar com a *gateway* por radiofrequência na banda ISM dos 2,4 - 2,5 GHz, ou seja, uma banda de frequência muito utilizada principalmente por comunicações Wi-Fi, com bastante tráfego e atenuação ao tentar atravessar obstáculos, como a parede da câmara frigorífica. Neste caso, e por palavras mais simples, a onda tem de atravessar uma camada de metal, uma camada isoladora e novamente uma camada de metal. Há ainda atenuação pelas paredes e outros elementos físicos para além da câmara em si, que na realidade são responsáveis por uma parte substancial da atenuação. Era usado o NRF24L01+[86] como *chip* de comunicação que sugeria um alcance de cem metros em linha de vista e ficava por vezes reduzido a cerca de dois metros em condições reais. Posto isto, a nova placa foi desenvolvida para comunicar por RF na banda ISM dos 433 MHz como já foi mencionado. Esta decisão é corroborada pelo facto da maioria dos produtos semelhantes ao Qold comunicarem na gama dos Sub-GHz. Alterada a frequência transportadora da comunicação, o passo seguinte foi adicionar a capacidade de deteção de porta aberta através da deteção da luminosidade local, seguida da adição da capacidade de armazenamento dados quando estes não são enviados com sucesso e, finalmente a incorporação de etiqueta temporal através do RTC. Definido o rumo do sensor e reunidos todos os componentes iniciou-se a montagem dos mesmos numa *breadboard*.

de alta frequência quer dizer-se que o circuito relativo à comunicação do sensor com o computador está na metade oposta ao circuito dedicado à comunicação RF. Depois de reunidos todos os ficheiros necessários, a placa furada foi feita pela Euro-circuits.

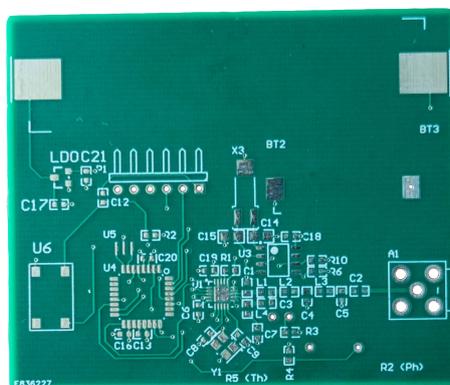


Figura 4.3: PCB despovoad

Esta placa, de 4 camadas, foi desenhada para que todos os componentes pudessem ser montados numa única face.

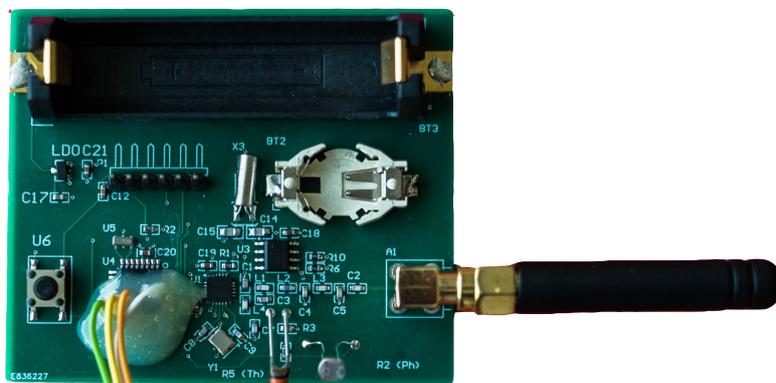


Figura 4.4: Placa do nó de sensorização povoada

Por fim, na Mixtrónica Lda, foi feita a encomenda e a montagem dos componentes, terminando assim o processo de produção da placa. Neste momento, encontra-se em fase de testes finais de avaliação, na sequência da prova de conceito acima referida na Figura 4.1.

Este plano de testes visa essencialmente duas características do sensor: a medição de temperatura e o alcance-rádio de comunicação. A temperatura é testada por comparação com um termómetro padrão, para calibração por *software*. Encontrou-se uma curva de calibração do tipo $y = mx + b$ devido ao intervalo de temperatura onde o sensor é usado ser bastante diminuto, entre os $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e os $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$. O alcance será

medido colocando um sensor numa câmara frigorífica e afastando a *gateway* gradualmente, contabilizando os dados perdidos e a distância máxima a que a comunicação é mantida.

4.2 Estruturação dos dados

A forma como os pacotes de dados são construídos e manipulados depende do módulo CC1101 usado, da arquitetura do Raspberry Pi e do Arduino, da ordem de transmissão de *bits* (*endianness*) e do *software* em si.

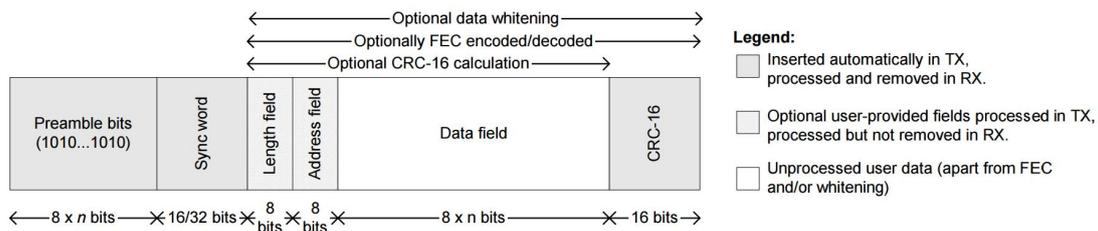


Figura 4.5: Formato do pacote de dados[79]

Começando pelo módulo de comunicação e analisando a Figura 4.5, compreende-se que o pacote de dados é formado por *bits* de preâmbulo, por uma palavra de sincronismo, um *byte* opcional com o tamanho do *payload*, um *byte* opcional de endereço, o *payload* em si e dois *bytes* opcionais de verificação de CRC. Os *bits* de preâmbulo constituem uma sequência alternada de uns e zeros (10101010...) que define o início de qualquer mensagem. Em seguida, é enviada uma palavra de sincronismo, que corresponde a um valor de dois *bytes* definido nos registos e SYNC1 SYNC0 (tanto no recetor como no emissor), que permite a sincronização de *bytes* para o campo da mensagem que a sucede. Os próximos dois *bytes* são informativos em relação ao tamanho do pacote e ao registo de endereço, respetivamente. Este último é utilizado no processo de filtragem: caso o endereço seja um valor válido, é aceite e escrito no RX_FIFO (*buffer* para a mensagem recebida), caso contrário, a mensagem é ignorada e o dispositivo continua em modo de receção. Segue-se a mensagem em si, o *payload*. Em caso de sucesso, a mensagem passa na verificação de CRC e os dados são transmitidos. Os *bits* de preâmbulo, a palavra de sincronismo e a verificação de CRC são processos automáticos do CC1101.

O *payload* consiste numa estrutura (*struct*) de 27 *bytes*.

Tabela 4.1: Estrutura do *payload*

Variável	Tamanho e Função
magic	<i>byte</i> que define o início de uma mensagem do Qold
major	<i>byte</i> utilizado para controlo de versão do <i>payload</i>
minor	<i>byte</i> utilizado para controlo de versão do <i>payload</i>
reserved	<i>byte</i> de controlo reservado para utilização futura
qid	4 <i>bytes</i> de identificação do sensor
qauth	8 <i>bytes</i> de chave de autenticação
temp	4 <i>bytes</i> com vírgula flutuante para o valor da temperatura
batt	2 <i>bytes</i> para representar a percentagem da bateria do sensor
door_count	<i>byte</i> que contabiliza o número de vezes que foi registada abertura de porta
timestamp	4 <i>bytes</i> reservados para o registo da marca temporal

Usa-se uma variável do tipo com vírgula flutuante pois é prática corrente nos relatórios HACCP usarem-se valores com casas decimais.

A medição da bateria passa pelo o *Analog-to-Digital Converter* (ADC) do *AT-mega328* de 10 *bits* o que significa que o valor medido tem de ser guardado numa variável superior a um *byte*, portanto dois *bytes*. Aproveita-se esta variável para depois guardar o valor final da percentagem da bateria, eliminando assim, a criação duma nova variável usando esse espaço para memória de dados. Assim, usam-se dois *bytes* para o valor da percentagem de bateria do sensor quando na realidade, um *byte* seria suficiente.

Como já foi mencionado, o envio entre mensagens consecutivas é intervalado por quinze minutos. Para poupança de bateria, o sensor alterna entre estados de *sleep* e *awake*, ou seja, estados de latência e de funcionamento. O máximo de tempo que o sensor consegue estar adormecido, por limitações de *hardware*, é aproximadamente de oito segundos. Assim, a cada oito segundos, o sensor acorda, incrementa uma variável e volta a adormecer até essa variável atingir o valor de cento e treze ($\frac{8 \times 113}{60} \approx 15$) onde irá fazer a aquisição de dados, guardá-los e proceder ao seu envio. Há somente uma variável do sistema que é verificada durante estes períodos de oito segundos que é o estado de abertura ou fecho da porta. Caso seja verificado que a porta está aberta neste momento, é incrementada a variável **door_count** para posteriormente ser enviada em conjunto com os outros dados. Aqui está refletida uma limitação do sistema. Por verificar de forma discreta a abertura de porta de oito em oito segundos, pode, em caso extremo, a porta ser aberta durante um intervalo de tempo inferior e não coincidir com o estado de funcionamento do sensor e por isto, esta monitorização não ser efetuada. No entanto, esta limitação foi um compromisso ponderado entre poupança de bateria e deteção de porta aberta.

A **timestamp** é um valor em segundos enviado no formato *Unix time*. É escolhido *Unix time* pois é o formato esperado pelo servidor. Usam-se 4 *bytes* o que permite representar o valor máximo de 4294967295 segundos, ou seja, representar valores até 2106. Com 3 *bytes*, não é possível sequer representar um ano em *Unix time*.

$$1970 + \frac{2^{32} - 1}{365 \times 24 \times 60 \times 60} \approx 2106 \quad (4.1)$$

Um aspeto importante na transmissão de dados é compreender como é que o microcontrolador/processador lida com a ordem de transmissão dos *bytes*, como referido anteriormente, a sua *endianness*. Se na transmissão dos dados, os *bytes* são enviados por ordem decrescente de significância, isto é, primeiro é enviado o *byte* mais significativo e em último o *byte* menos significativo diz-se que os dados são enviados no formato *big-endian*, caso a ordem seja inversa, diz-se *little-endian*[88]. O Arduino é do tipo *little-endian* e o Raspberry Pi do tipo *bi-endian*, ou seja, suporta ambos os formatos. Portanto, os dados são enviados do sensor para a *gateway* pela ordem crescente de significância. O Raspberry Pi, em comunicações SPI (recordar que o módulo de rádio usa esta interface) ordena os *bytes* pela ordem oposta. Com este conceito em mente é possível compreender o porquê dos *bytes* recebidos na *gateway* estarem na ordem inversa. Na prática, esta noção foi tida em conta na construção da mensagem de confirmação durante o desenvolvimento do protocolo de comunicação entre o nó de sensorização e a *gateway*.

Foi utilizada a linguagem de programação C++ para fazer todo desenvolvimento de *software* do sensor.

5

Unidade concentradora de dados e gateway

5.1 Detecção de corrente

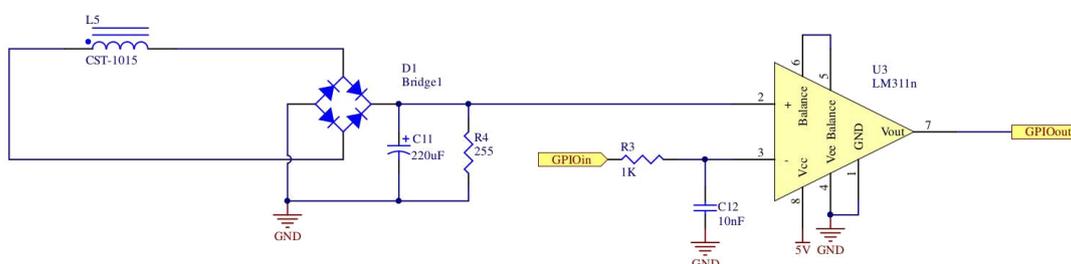


Figura 5.1: Representação esquemática do circuito de detecção de corrente

Para desenvolver a prova de conceito usou-se um eletrodoméstico com uma potência compreendida entre 1850 W e 2200 W, uma tensão de alimentação alternada com valor eficaz nominal de 230 V, com uma frequência de 50 Hz.

O primeiro passo foi conhecer o sinal à saída do CST-1015, com um osciloscópio Tektronix TBS1072B.

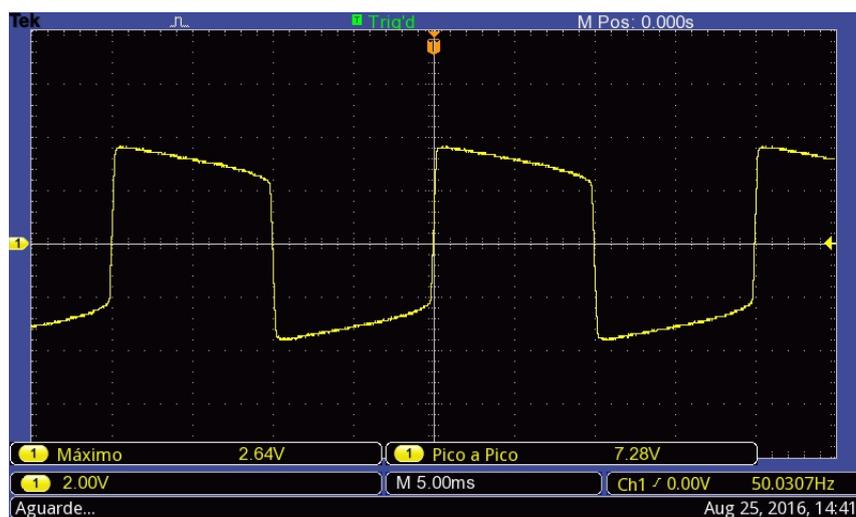


Figura 5.2: Sinal à saída do CST-1015 com uma resistência de 4,7 K Ω com o eletrodoméstico ligado

Como seria de esperar, obtém-se um sinal sinusoidal com uma frequência de aproximadamente 50Hz. Como já foi explicado, o valor da resistência escolhida irá influenciar o valor do pico máximo obtido. O valor desta resistência tem de obedecer a duas condições: assegurar que quando o compressor da câmara de frio estiver ligado haja uma tensão mensurável; e depois de descontados 1,4 V da ponte de retificadora de diodos, que essa tensão seja superior à tensão de comparação no comparador. Como a *gateway* só tem entradas digitais, é necessário transformar este sinal num sinal contínuo representativo de uma variável Booleana. Para tal, usa-se uma ponte retificadora de onda completa, KBP202-G[89], seguida de um condensador polarizado de 220 μF em paralelo com uma carga de 255 Ω .

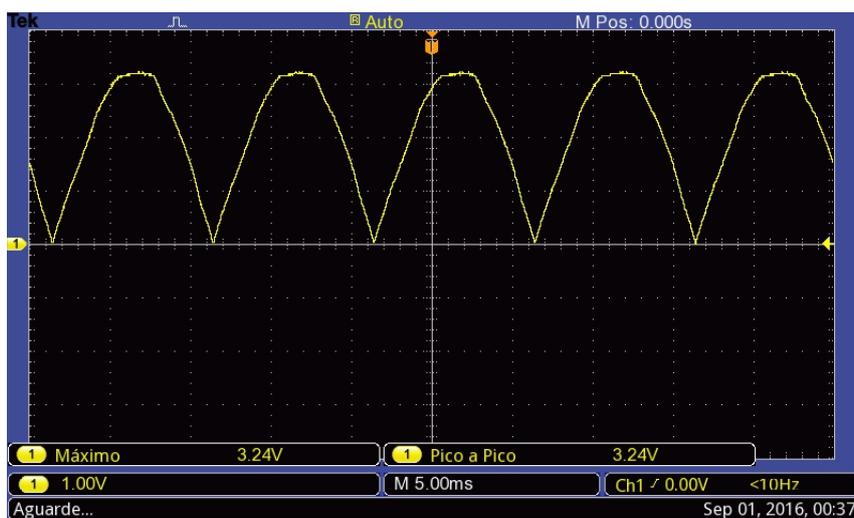


Figura 5.3: Sinal à saída da ponte retificadora de onda completa

Nas seguintes figuras, Figura 5.4 e 5.5, pode ser observado o sinal quando não é detetada corrente no circuito primário e quando há, de facto, corrente no circuito. Assim, é possível determinar quando o compressor está em funcionamento.

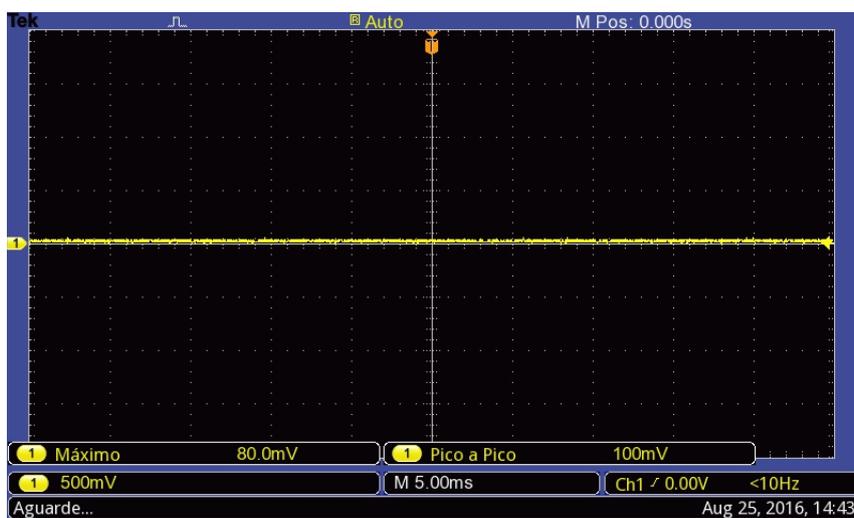


Figura 5.4: Sinal à saída da retificação com a câmara desligada

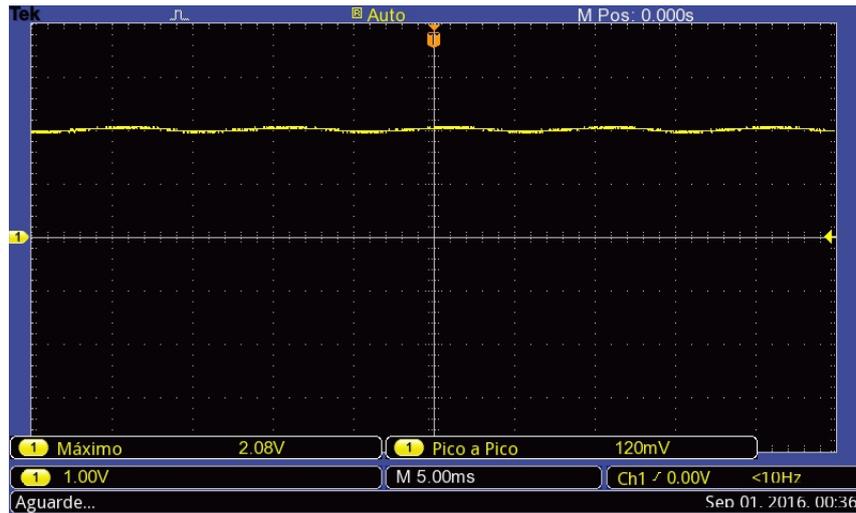


Figura 5.5: Sinal à saída da retificação com a câmara ligada

A resistência R_4 serve, primariamente, para permitir definir um sinal em tensão correspondente à corrente de saída do transformador de corrente e, depois, também para determinar a amplitude do *ripple* do sinal a aplicar ao comparador, em combinação com o condensador C_{11} .

Usa-se o comparador LM311n[90] e fornece-se como sinal de comparação uma onda quadrática gerada pela *gateway* usando uma porta capaz de gerar um sinal em *Pulse-Width Modulation* (PWM). Assim, quando a tensão na entrada positiva do comparador for superior à tensão na entrada negativa, o comparador irá gerar um sinal digital, caso contrário será fornecido à *gateway* uma tensão nula.

Provado o conceito, passou-se ao desenvolvimento de um modelo específico para ser usado com câmaras frigoríficas, isto é, para a potência elétrica encontrada nas diversas câmaras. Sabendo que:

$$P = V_p I_p \quad (5.1)$$

P = Potência em W;

V_p = Tensão no circuito primário em V;

I_p = Corrente no circuito primário em A.

Sendo que a potência é um valor dado pelo fabricante da câmara frigorífica e V_p um valor entre 220 V e 240 V na Europa, é interessante compreender a relação da tensão à saída da retificação, V_s , em função da potência, P , da câmara frigorífica. O CST-1015 usa uma razão de transformação de corrente de 1000 : 1, ou seja:

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{1000}{1} \quad (5.2)$$

I_s = Corrente no circuito secundário em A.

Colocando uma carga entre os terminais da ponte retificador é possível medir a diferença de potencial no circuito secundário, V_s , pela lei de Ohm.

$$R = \frac{V_s}{I_s} \quad (5.3)$$

Todas as relações supramencionadas podem ser traduzidas na Equação 5.4:

$$\begin{cases} V_s = R \cdot I_s \\ I_s = I_p \times 10^{-3} \\ I_p = \frac{P}{V_p} \end{cases} \Leftrightarrow V_r(P) = R \cdot \frac{P}{V_p} \times 10^{-3} \Leftrightarrow V_r(P) = R \cdot \frac{P}{V_p}, P(kW) \quad (5.4)$$

No caso usado para prova de conceito, obtém-se, na prática, $Máx(V_r) = 2,08 \pm 0,01$ V. Aplicando a expressão obtida na Equação 5.4 com: $R = 225 \Omega$; $P \in [1,85; 2,2]$ kW e $V_p \in [220; 240]$ V, obtém-se um valor para $V_r \in [1,73; 2,25]$ V o que está de acordo com os valores observados. O próximo passo foi procurar a câmara frigorífica com o menor valor de potência elétrica para calcular o valor mínimo expectável para V_r e assim generalizar esta solução para deteção de funcionamento de câmaras de frio. De salientar que não é necessário encontrar um valor máximo pois mesmo que a tensão à entrada positiva do comparador seja superior à tensão de alimentação, este satura produzindo um sinal digital. O valor mínimo encontrado foi de 0,15 kW, esperando assim, $V_r = 153$ mV. Para além de ser possível detetar o funcionamento de uma câmara de frio, utilizando as capacidades de medição de tempo da *gateway* é possível calcular uma estimativa do consumo da câmara frigorífica. Para calcular esta estimativa recorre-se à igualdade:

$$E = P \times \Delta t \quad (5.5)$$

Onde P é a potência elétrica da câmara frigorífica, fornecida pela própria empresa e Δt é calculado pelos períodos em que é detetado funcionamento da câmara frigorífica. O desenvolvimento deste *software* será um passo futuro.

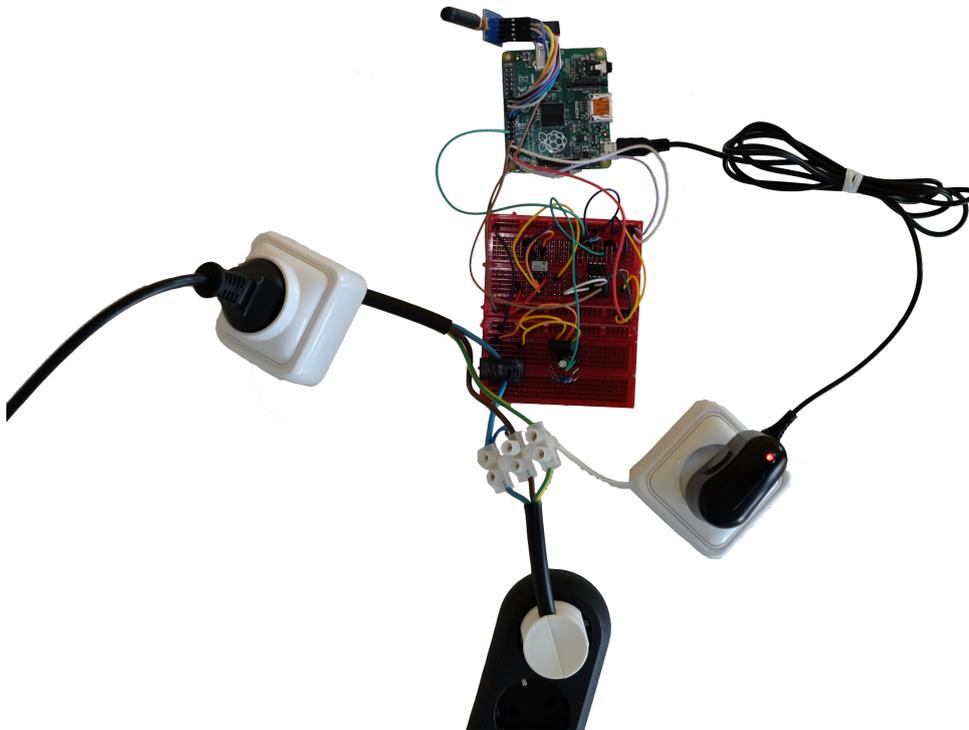


Figura 5.6: Protótipo laboratorial para prova de conceito da deteção de corrente

5.2 Tratamento de dados

Tal como foi definida uma estrutura para o *payload* no nó de sensorização, é criada da mesma forma uma estrutura para o *payload* na *gateway*. Esta estrutura irá fazer corresponder o conjunto de *bytes* recebidos às respetivas variáveis, reconstruindo assim a mensagem original.

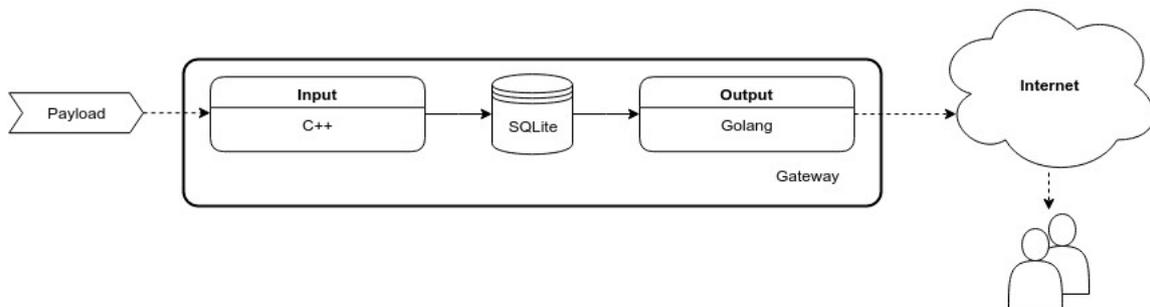


Figura 5.7: Esquema do tratamento geral do *payload* na *gateway* até ao utilizador

Como foi mencionado no Capítulo 3, após serem recebidos os dados do nó de sensorização, estes têm de ser enviados para uma base de dados. O meu papel nesta parte do projeto, terminou na criação da base de dados e inserção dos valores recolhidos na mesma. Contudo, ao analisar-se a Figura 5.7, é possível perceber que a *gateway* tem dois componentes um com função de *input* e programado em C++ e o segundo com função de *output* desenvolvido em Golang, unidos pela base de dados. O primeiro componente foi desenvolvido no contexto desta dissertação e diz respeito à receção de dados. O componente de *output* permite o envio dos dados armazenados na base de dados para a *Internet* onde, posteriormente, será feita a gestão de alarmes e relatórios. A separação da *gateway* em dois componentes permite que haja alterações no *software* de recolha de dados sem que seja necessária manutenção no *software* de envio de dados para a *Internet*, e vice-versa. Um exemplo prático: caso o Qold comece a ser comercializado nos EUA, onde a gama ISM que opera na frequência de 433 MHz é proibida, bastaria alterar o *software* de configuração relativa à escolha de frequência, mantendo o resto do sistema inalterado. Deste modo, pode-se idealizar a base de dados como elo de ligação entre a parte do sistema relativa à monitorização e a parte do sistema relativa ao utilizador.

6

Conclusões e considerações futuras

Terminado o projeto é necessário refletir e retirar desta dissertação o seu valor. Por outro lado, esta dissertação representa uma etapa intermédia de um projeto continuado, em permanente aperfeiçoamento.

6.1 Considerações sobre o estágio

A participação neste estágio e a sua integração no ambiente empresarial implicaram uma mudança. A mudança do ambiente académico para o ambiente e cultura de trabalho. Não foi trivial fazer esta transição. As metas passaram a ser reais e a terem implicância direta no sucesso de um produto, de uma empresa e das pessoas que dependem dela. A realização deste projeto passou por compreender que existem limitações impostas por um mercado bem como expectativas, os clientes não esperam falhas quando adquirem um produto. Foi sempre preciso encontrar um balanço entre custo e especificações do sistema desenvolvido, isto é, desenvolver o dispositivo mais perfeito em termos de características pode significar ser também o mais caro e se não houver um mercado para este, será tempo e dinheiro perdido. Isto não implica falta de minúcia mas sim uma preocupação acrescida.

6.2 Cumprimento dos objetivos e trabalho futuro

Foi desenvolvido um sistema para monitorização em contínuo dos principais fatores e funções das câmaras frigoríficas, com o intuito de otimizar a sua exploração (operação e manutenção). Para o efeito, foi constituído um sistema de monitorização remoto do estado técnico de funcionamento das câmaras frigoríficas que possibilita o estabelecimento de um serviço de manutenção atribuível a entidades externas (outras empresas por exemplo). Permitindo libertar os detentores da infraestrutura das tarefas de manutenção corrente, reduzindo as interrupções por avaria, aumentando a eficiência energética e o tempo médio de vida útil dos equipamentos.

A produção do sensor irá variar consoante a quantidade de fabrico decidida. Sendo assim, pode estimar-se um valor para o custo deste com base no custo dos componentes, custo do fabrico do PCB e custo da mão de obra para a soldadura. O custo dos componentes elétricos varia entre 23,02 €, 13,84 € e 12,05 € caso sejam encomendadas quantidades suficientes para fazer 1, 500 ou 2000 sensores respetivamente. O preço unitário de fabrico do PCB estima-se ser de 1 € para quantidades de 500 unidades e de 0,75 € para quantidades de 2000 unidades. A povoação de uma placa custou 15 €, foi feita na Mixtrónica e foi um trabalho manual, é portanto, um custo

de protótipo. Espera-se que este valor diminua substancialmente por unidade em encomendas de maior volume.

Seguindo esta linha de orientação, idealiza-se o trabalho futuro.

De um ponto de vista de negócio, o próximo passo seria converter os clientes de instalações piloto em clientes. Do ponto de vista de produto, provado o conceito, é agora altura de incorporar devidamente no sistema completo: abandonar a versão anterior, implementar a versão relatada nesta dissertação e continuar o seu desenvolvimento e melhoria. Para tal, primeiramente devem ser sempre feitas mais instalações pilotos, bem como rever e eventualmente melhorar o produto tendo em vista a sua devida certificação e um plano de transição gradual dos equipamentos já instalados.

Na parte relativa ao nó de sensorização, é interessante aproveitar o facto de deteção de porta aberta para criar um controlo dos tempos de exigência da câmara e melhorar a gestão operacional, isto é, adicionar o controlo de pessoal que recorre à abertura e fecho da câmara. Esta solução pode passar pelo uso de tecnologia RFID permitindo cruzar a informação de abertura da câmara com a informação de quem a abriu criando assim uma consciência de boa utilização por parte dos agentes responsáveis pela operação. Seguindo esta linha de pensamento, pode ainda ser interessante, e aproveitando esta tecnologia, fazer controlo e registo automático da mercadoria da câmara. Há ainda um passo que tem de ser dado do ponto de vista de produto que é o desenho da caixa protetora do sensor. Capaz de o proteger, impermeável, com uma abertura para a antena e de fácil instalação. Esta deverá ter um gancho para segurar em câmaras de frio de disposição vertical com grelhas e ventosas para quando não é possível usar o gancho.

Em relação à *gateway*, é necessário desenhar o PCB e diminuir o tamanho do protótipo de forma a que só haja uma entrada e uma saída, isto é, o Raspberry Pi, o PCB e a divisão de alimentação deverão ficar todos dentro de um invólucro para que seja uma experiência de *plug n' play* para o utilizador. Dentro da *gateway*, um passo a tomar no futuro será o mesmo que foi feito com o nó de sensorização, que é: eliminar a ferramenta de protótipo, o Raspberry Pi, e utilizar só os componentes essenciais.

Por fim, depois de integrado este trabalho com o sistema é necessário instalá-lo em vários tipos de câmaras, com diferentes volumes e diferentes potências para poder elaborar um algoritmo de diagnóstico automático e geração de alarmes que correlacionará taxas de variação de temperatura com número de vezes de abertura e fecho de porta e com o padrão de funcionamento do compressor. Tornando o Qold um produto capaz de responder prontamente às necessidades do seu mercado.

Referências

- [1] Hazard Analysis Critical Control Point: REGULATION (EC) No 852/2004 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 29 April 2004
- [2] Whitesmith: <https://www.whitesmith.co/>
- [3] Qold: <https://www.qold.co/>
- [4] Chris Lloyd, *Asset management – Whole-life management of physical assets*, Thomas Telford Limited, 2010
- [5] Farnell: <http://pt.farnell.com/>
- [6] Mouser: <http://pt.mouser.com/>
- [7] Digi-Key: <http://www.digikey.pt/>
- [8] PRTOBOTICS: <http://www.ptrobotics.com/>
- [9] Lista de tipos de sensres de temperatura:
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_temperature_sensors
- [10] O que é um termístor:
<http://www.ussensor.com/technical-info/what-is-a-thermistor>
- [11] Termístores e as suas aplicações:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Thermistor>
- [12] Como usar um termistor:
<https://learn.adafruit.com/thermistor/using-a-thermistor>
- [13] RTD: https://en.wikipedia.org/wiki/Resistance_thermometer
- [14] Sensores de Temperatura, Lino Marques, 2008
- [15] Configurações eletrónicas dum RTD:
http://www.pyromation.com/Downloads/Doc/Training_RTD_Theory.pdf
- [16] Medir temperatura com um RTD:
<http://www.omega.com/techref/rtd-measurement-and-theory.html>
- [17] RTD *datasheet*: http://www.farnell.com/datasheets/1643994.pdf?_ga=1.34679905.1703670354.1469028392

- [18] Termistor vs RTD:
http://www.microchiptechno.com/ntc_thermistors.php
- [19] Jacob Fraden, *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*, Cap. 16, 4^aed., Springer, 2010
- [20] Termopar: <https://en.wikipedia.org/wiki/Thermocouple>
- [21] LM35 *datasheet*: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
- [22] DHT11 *datasheet*: <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>
- [23] AM2302 *datasheet*:
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
- [24] SHT71 *datasheet*: https://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/Humidity_Sensors/Sensirion_Humidity_Sensors_SHT7x_Datasheet_V5.pdf
- [25] Comparando DHT22, DHT11 e SHT71: http://www.kandrsmith.org/RJS/Misc/Hygrometers/calib_dht22_dht11_sht71.html
- [26] Ed Ramsden (2006). *HALL-effect sensors: theory and applications (2, illustrated ed.)*, 1-9. Elsevier, 2006
- [27] Fotorresistência: <https://en.wikipedia.org/wiki/Photoresistor>
- [28] Medir luminosidade com uma fotorresistência :
<https://learn.adafruit.com/photocells/using-a-photocell>
- [29] CST-1015 *datasheet*:
<http://www.mouser.com/ds/2/410/CST-1015-222403.pdf>
- [30] DS1307: <https://www.maximintegrated.com/en/products/digital/real-time-clocks/DS1307.html>
- [31] MNS-9-W1-TS-ST *datasheet*:
<http://resources.monnit.com/content/documents/datasheets/commercial/MD001-Temperature-Sensor-Data-Sheet.pdf>
- [32] MNS-9-W2-TS-ST *datasheet*:
<http://monnit.blob.core.windows.net/content/documents/datasheets/AA/MDS-A001-Temperature-Sensor-Data-Sheet.pdf>
- [33] MNS-9-IN-TS-ST *datasheet*:
<http://monnit.blob.core.windows.net/content/documents/datasheets/industrial/ID009-Leaded-Temperature-Sensor-Data-Sheet.pdf>
- [34] MNS-2-WF-TS-ST *datasheet*:
<http://monnit.blob.core.windows.net/content/documents/datasheets/mowi/WF009-Leaded-Temperature-Sensor-Data-Sheet.pdf>

-
- [35] MNG-9-EG-EGW *datasheet*:
<http://resources.monnit.com/content/documents/datasheets/gateways/MDG02-Ethernet-Gateway-Data-Sheet.pdf>
- [36] Kelsius: <http://www.kelsius.com/>
- [37] FoodCheck youtube vídeo:
<https://www.youtube.com/embed/vMB8uGG8e-E?rel=0>
- [38] Freshtemp: <http://www.freshtemp.com/>
- [39] Freshsense: <http://www.freshtemp.com/freshsense2/>
- [40] Freshprobe: <http://www.freshtemp.com/freshprobe-ii/>
- [41] GrupoPIE: <https://www.grupopie.com/empresa.html>
- [42] WinREST HACCP: <https://www.grupopie.com/haccp.html>
- [43] WinREST Sensor Log:
http://poscertificados.com/media/manuals/Manual_SensorLog.pdf
- [44] Testo: <https://www.testo.pt/>
- [45] *Data logger*: https://en.wikipedia.org/wiki/Data_logger
- [46] Termómetros testo: <https://www.testo.pt/termometros.jsp>
- [47] *Data loggers* testo: <https://www.testo.pt/data-logger.jsp>
- [48] Testo 174 T: <https://www.testo.pt/produto/0572+1560/testo-174-T-Mini-data-loggerTemperatura#tab-8>
- [49] Testo 176 H1: <https://www.testo.pt/produto/0572+1765/testo-176-H1-testo-176-H1#tab-3>
- [50] Monitores de transporte testo: https://www.testo.pt/pt/home/produtos/data_logger/monitores_para_transporte/transporte_testo_184.jsp
- [51] Testo 184 *datasheet*: <https://www.testo.pt/resources/f8/20/3552339a7ed1/testo-184-Instruction-manual.pdf>
- [52] Temperature@lert: <http://www.temperaturealert.com/Wireless-Temperature-Store/Temperature-Alert-WiFi-Sensor.aspx>
- [53] domopor: <http://www.domopor.com/Home.html>
- [54] TCS.wireless: <http://www.domopor.com/tcs.html>
- [55] Eclo: <http://www.eclo.pt/>
- [56] O que são *iButtons*: <https://www.maximintegrated.com/en/products/ibutton/ibuttons/index.cfm>

- [57] Oregon Scientific: <http://store.oregonscientific.com/>
- [58] Oregon Scientific, sensor de temperatura e humidade: <http://store.oregonscientific.com/default/temperature-humidity-sensor.html>
- [59] Infocontrol: <http://www.infocontrol.pt/>
- [60] Anaren and Cellular Machines: <http://www.cellularmachines.com/temperature-monitoring-kit-standard>
- [61] CapTemp: <http://www.capttemp.com/>
- [62] AKCP: <http://www.akcp.com/>
- [63] J.ROMA: <http://www.jroma.pt/index.htm>
- [64] J.ROMA - temperatura: http://www.jroma.pt/PDFS/lascar_temperatura.pdf
- [65] Lascar Electronics data loggers: <http://www.lascarelectronics.com/data-logger/index.php>
- [66] EL-WIFI: <http://www.lascarelectronics.com/data-logger/el-wifi-datalogger.php>
- [67] *Cloud computing*: https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing
- [68] Qian Zhu, Ruicong Wang, Qi Chen, Yan Liu, and Weijun Qin. *Iot gateway: Bridging-wireless sensor networks into internet of things*. Em [*Embedded and Ubiquitous Computing (EUC), 2010 IEEE/IFIP 8th International Conference*], 347–352. IEEE, 2010.
- [69] ATmega328 *datasheet*: http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328-datasheet_Complete.pdf
- [70] Arduino: <https://www.arduino.cc/en/guide/introduction>
- [71] LDO - XC6206: http://www.torexsemi.com/products/voltage_regulators/data/XC6206.pdf
- [72] NTCLE100E3103JB0 *datasheet*: http://www.farnell.com/datasheets/2046167.pdf?_ga=1.71789841.302893978.1471881691
- [73] NSL 19M51 *datasheet*: http://www.farnell.com/datasheets/77395.pdf?_ga=1.79718677.302893978.1471881691
- [74] DS1338 *datasheet*: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1338-DS1338Z.pdf>
- [75] Notas sobre desenho de circuitos de cristais: <http://www.foxonline.com/pdfs/xtaldesignnotes.pdf>

-
- [76] Escolher os condensadores certos para um cristal:
<https://blog.adafruit.com/2012/01/24/choosing-the-right-crystal-and-caps-for-your-design/>
- [77] AB38T *datasheet*: http://www.farnell.com/datasheets/1883667.pdf?_ga=1.68240465.1703670354.1469028392
- [78] Regiões definidas pela ITU: https://en.wikipedia.org/wiki/ITU_Region
- [79] CC1101 *datasheet*: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1101.pdf>
- [80] *Bootloader em ambiente Arduino*: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/installing-an-arduino-bootloader>
- [81] Raspberry Pi A+:
<https://www.raspberrypi.org/products/model-a-plus/>
- [82] EW-7811Un: http://www.edimax.com/edimax/merchandise/merchandise_detail/data/edimax/global/wireless_adapters_n150/ew-7811un
- [83] Frédéric Leens. *An introduction to i²c and spi protocols. Instrumentation & Measurement Magazine*, IEEE, 12(1):8–13, 2009.
- [84] Gunther Gridling and Bettina Weiss. *Introduction to microcontrollers.*, 82-88 Vienna University of Technology Institute of Computer Engineering Embedded Computing Systems Group, 2007.
- [85] SPI: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-peripheral-interface-spi>
- [86] NRF24L01+ *datasheet*: https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/nRF24L01_prelim_prod_spec_1_2.pdf
- [87] Boas práticas de desenho de PCB - osciladores:
<http://www.atmel.com/images/doc8128.pdf>
- [88] *Endianness*: <https://en.wikipedia.org/wiki/Endianness>
- [89] KBP202-G *datasheet*: http://www.farnell.com/datasheets/2015820.pdf?_ga=1.8744247.302893978.1471881691
- [90] LM311 *datasheet*:
<https://www.fairchildsemi.com/datasheets/LM/LM311.pdf>

A

Anexo 1: Ficha de componentes

Designator	Footprint	LibRef	Quantity	Supplier 1	Supplier Part Number 1	Manufacturer	Manufacturer Part Number
L1, L3, L4	I0603	Inductor	3	Farnell	2424723	WURTH ELEKTRONIK	744786127A
L2	I0603	Inductor	1	Farnell	2285992	COILCRAFT	0603CS-22NXJLU
C2, C7	0603	Cap	2	Farnell	2070407	KEMET	C0603C221J1GACAUTO
C4	0603	Cap	1	Farnell	1865471	KEMET	C0603C829C5GACTU
C5	0603	Cap	1	Farnell	1865469	KEMET	C0603C569C5GACTU
C17, C21	0603	Cap	2	Farnell	1759391	MULTICOMP	MC0603X105K6R3CT
C8, C9	0603	Cap	2	Farnell	1759058	MULTICOMP	MC0603N270J500CT
C16, C18, C19, C20	0603	Cap	4	Farnell	1759038	MULTICOMP	MC0603F104Z250CT
Resonator	CSTCE8M00G55Z-R0	CSTCE8M00G55Z-R0	1	Farnell	1615352RL	MURATA	CSTCE8M00G55Z-R0
X3	CMR200T	CRYSTAL_3	1	Farnell	1611828	ABRACON	AB38T-32.768KHZ
R1	0603	RES	1	Farnell	1160388	WELWYN	PCF0603R-56K2BT1
BT3	AA Batory Holder	Battery	1	Mouser	1888398	KEYSTONE	1024
BT2	CR1225	Battery	1	Mouser	614-SMTU1225-LF		
Y1	XTAL - 3.4mm x 2.7mm	XTAL_4	1	Mouser	581-CX32255B26D0FLJ		
C1, C3	0603	Cap	2	Farnell	2134035	VISHAY	VJ0603D3R9CXPJAJ
A1	Conector SMA	Ant_SMA	1	Newark		TE CONNECTIVITY / AMP	5-1814400-1
U1	S-PVQFN-N20	CC1101	1	Farnell	2422921	TEXAS INSTRUMENTS	CC1101RGRPR
C6, C12, C13	0603	Cap	3	Farnell	1414028	KEMET	C0603X104K5RACTU
U4	TQFP32-0.8-7X7MM	ATMega328	1	Farnell	2425124	ATMEL	ATMEGA328P-AUR
U6	SW	Switch_2	1	Farnell	2435163	C & K COMPONENTS	PTS645SL50SMTR92LFS
LDO	SOT-23	XC6206	1	Farnell	8796980	TOREX	XC6206P332MR
R2, R3, R4	0603	RES	3	Farnell	2421850	YAGEO (PHYCOMP)	RC0603FR-0710KL
P1	HDR1X6H	Header 6H	1				
C14, C15	0805	Cap	2	Farnell	1759489	MULTICOMP	MC0805N220J201CT
R6, R10	R0603	RES	2	Farnell	1738913	VISHAY	CRCW06034K70FKEA
U3	SOIC127P600X175-8N	DS1338	1	Farnell	2515376	MAXIM INTEGRATED PRODUCTS	DS1338U-3+
R2 (Ph)	PHOTOCELL	Photocell	1	Farnell	3168335	ADVANCED PHOTONIX	NSL 19M51.
R5 (Th)	THERMISTOR 10K	Res Varistor	1	Farnell	1187031	VISHAY	NTCLE100E3103JB0

Designação	Qtd.	Fornecedor	Referência de fornecedor	Preço por unidade (€)			Preço por quantidade (€)		
				1	500	2000	1	500	2000
ATmega328p	1	Farnell	2425124	3,78	1,98	1,7	3,78	1,98	1,7
Bobine 22 nH	1	Farnell	2285992	1,131	0,722	0,722	1,131	0,722	0,722
Bobine 27 nH	3	Farnell	2424723	0,188	0,1466	0,102	0,564	0,4398	0,306
CC1101	1	Farnell	2422921	4,44	2,47	1,91	4,44	2,47	1,91
Célula fotoelétrica	1	Farnell	3168335	0,88	0,691	0,677	0,88	0,691	0,677
Condensador 0,1 µF	4	Farnell	1759038	0,0057	0,0042	0,0035	0,0228	0,0168	0,014
Condensador 0,1 µF	3	Farnell	1414028	0,077	0,0325	0,0252	0,231	0,0975	0,0756
Condensador 1 µF	2	Farnell	1759391	0,0132	0,009	0,0052	0,0264	0,018	0,0104
Condensador 22 pF	2	Farnell	1759489	0,028	0,01697	0,0119	0,056	0,03394	0,0238
Condensador 220 pF	2	Farnell	2070407	0,0662	0,0299	0,0147	0,1324	0,0598	0,0294
Condensador 27 pF	2	Farnell	1759058	0,0075	0,0051	0,0038	0,015	0,0102	0,0076
Condensador 3,9 pF	2	Farnell	2134035	0,236	0,0919	0,0792	0,472	0,1838	0,1584
Condensador 5,6 pF	1	Farnell	1865469	0,0292	0,0162	0,0134	0,0292	0,0162	0,0134
Condensador 8,2 pF	1	Farnell	1865471	0,09	0,0321	0,0225	0,09	0,0321	0,0225
Conetor SMA	1	Farnell	1248989	1,35	1,31	1,29	1,35	1,31	1,29
Cristal 26 MHz	1	Mouser	581-CX3225SB26D0FLJ	0,942	0,657	0,504	0,942	0,657	0,504
Cristal 32,768 kHz	1	Farnell	1611828	0,185	0,101	0,0795	0,185	0,101	0,0795
Encaixe de pilha AA	1	Mouser	1888398	2,39	1,49	1,42	2,39	1,49	1,42
Encaixe de pilha CR122	1	Mouser	614-SMTU1225-LF	0,864	0,616	0,572	0,864	0,616	0,572
Interruptor	1	Farnell	2435163	0,265	0,21	0,121	0,265	0,21	0,121
LDO	1	Farnell	8796980	0,3	0,18	0,162	0,3	0,18	0,162
Oscilador 8,0 MHz	1	Farnell	1615352RL	0,236	0,164	0,161	0,236	0,164	0,161
Resistência 10 kΩ	3	Farnell	2421850	0,0067	0,005	0,004	0,0201	0,015	0,012
Resistência 4,7 kΩ	2	Farnell	1738913	0,0951	0,0325	0,023	0,1902	0,065	0,046
Resistência 56,2 kΩ	1	Farnell	1160388	0,671	0,214	0,1794	0,671	0,214	0,1794
RTC	1	Farnell	2515376	3,4	1,87	1,65	3,4	1,87	1,65
Termistor	1	Farnell	1187031	0,334	0,179	0,179	0,334	0,179	0,179
						TOTAL	23,02	13,84	12,05