



INSTITUTO
UNIVERSITÁRIO
DE LISBOA

Sistema de Monitorização do Consumo de Energia

Iran Jacinto Carimo

Mestrado em Engenharia de Telecomunicações e Informática

Orientador:

Prof. Dr. João Carlos Amaro Ferreira, Professor Auxiliar com Agregação,
ISCTE-IUL

Co-Orientador:

Prof. Dr. Rui Miguel Neto Marinheiro, Professor Auxiliar,
ISCTE-IUL

Outubro, 2020

Sistema de Monitorização do Consumo de Energia

Iran Jacinto Carimo

Mestrado em Engenharia de Telecomunicações e Informática

Orientador:

Prof. Dr. João Carlos Amaro Ferreira, Professor Auxiliar com Agregação,
ISCTE-IUL

Co-Orientador:

Prof. Dr. Rui Miguel Neto Marinheiro, Professor Auxiliar,
ISCTE-IUL

Outubro, 2020

Direitos de cópia ou Copyright
©Copyright: Iran Jacinto Carimo

O Iscte - Instituto Universitário de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A realização desta dissertação contou com importantes apoios e incentivos sem os quais não se teria tornado uma realidade.

Primeiramente, gostaria de expressar o meu mais honesto e especial agradecimento ao Professor Doutor João Carlos Ferreira por ter aceitado fazer parte deste trabalho comigo, e por todo seu apoio e paciência ao longo desses meses, tendo contribuído de forma essencial para o sucesso deste trabalho, estando sempre disponível para ajudar e transmitir seu conhecimento e experiência.

Também gostaria de deixar os meus sinceros agradecimentos ao Professor Doutor Rui Marinheiro, pela sua ajuda, esforço e toda sua colaboração para realização deste trabalho.

Aproveito para manifestar a minha eterna gratidão aos meus pais Rafico Carimo e Maria Manuela, pelo apoio e esforço para permitirem a realização deste sonho, ao meu irmão Kaiser pelo apoio e por estar sempre ao meu lado, a minha avó Maria do Carmo pela dedicação ao longo destes anos. Também queria agradecer a todos meus familiares e amigos que sempre acreditaram e motivaram-me.

Resumo

Num contexto de modernização e acelerados avanços tecnológicos o uso de energia elétrica vem crescendo de forma exponencial e a tendência é que continue a aumentar, por isso a importância de abordar este tema.

Esta dissertação descreve o desenvolvimento do SMCE (Sistema de Monitorização do Consumo de Energia), um sistema IoT (*Internet of Things*) desenvolvido com o propósito de monitorizar e auxiliar as pessoas na visualização do consumo energia.

Para atingir o objetivo proposto, desenvolvemos um protótipo utilizando sensores de corrente não intrusivos que se conectam a um Arduíno e, este recebe e envia as informações, por meio do LoRa (*Long Range*): meio de comunicação muito utilizado em soluções IoT. A visualização dos dados recolhidos é feita recorrendo a *dashboards* que contém informações estatísticas para uma análise mais detalhada e, ao modelo BIM 3D com recurso a cores proporcionando uma compreensão mais simples e intuitiva dos mesmos.

O sistema está dividido em uma arquitetura de 4 camadas, a primeira direcionada para a recolha dos dados, a segunda para o transporte dos dados, a terceira responsável pelo processamento e tratamento dos dados e a última diz respeito a representação dos dados.

As principais contribuições deste trabalho passam por facultar ferramentas para que o utilizador possa visualizar o consumo de energia de forma personalizada e a flexibilidade deste sistema possibilita que o mesmo possa ser implementado em diferentes ambientes como, por exemplo, para monitorizar um edifício de grandes dimensões ou apenas certos equipamentos.

Palavras-Chave: Internet das coisas; LoRa; BIM 3D; Energia.

Abstract

In a context of modernization and accelerated technological advances, the use of electric energy has been growing exponentially and the tendency is that it continues to increase, therefore the importance of addressing this issue.

This dissertation describes the development of SMCE (Energy Consumption Monitoring System), a IoT system developed for the purpose of monitoring and assisting people in viewing energy consumption.

To achieve the proposed goal, we developed a prototype using non-intrusive current sensors that connect to an Arduino, which receives and sends the information, through the LoRa: a communication medium widely used in IoT solutions. The data collected is visualized using dashboards that contain statistical information for a more detailed analysis, and the BIM 3D model with colour capabilities providing a simpler and more intuitive understanding of them.

The system is divided into a 4-layer architecture, the first one directed to data collection, the second one to data transportation, the third one responsible for data processing and treatment and the last one concerns data representation.

The main contributions of this work are to provide tools so that the user can view energy consumption in a personalized way and the flexibility of this system allows it to be implemented in different environments such as, for example, to monitor a large building or just certain equipment.

Keywords: Internet of Things; LoRa; BIM 3D; Energy.

Índice Geral

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Índice Geral	iv
Índice de Tabelas	vi
Índice de Figuras	vii
Glossário de Abreviaturas e Siglas	ix
Capítulo 1 – Introdução	1
1.1. Enquadramento do tema.....	1
1.2. Motivação e relevância do tema	2
1.3. Objetivos	2
1.4. Estrutura e organização da dissertação	3
Capítulo 2 – Revisão da Literatura	5
2.1. Estado da arte de soluções IoT para monitorizar o consumo de energia.....	5
2.2. Sustentabilidade	9
2.2.1. Sustentabilidade e IoT.....	9
2.2.2. Consumo de energia.....	10
2.3. Internet das coisas	12
2.3.1. Evolução.....	12
2.3.2. Tecnologias de comunicação para soluções IoT	13
2.4. Modelo BIM.....	21
2.4.1. Integração IoT-BIM.....	21
Capítulo 3 – Modelo conceptual do SMCE	25
3.1. Requisitos do sistema.....	25
3.2. Arquitetura do sistema	25
3.2.1. <i>Device Layer</i>	27
3.2.1.1. Arduino MKR WAN 1300	29
3.2.1.2. Sensor de corrente (SCT-013)	31
3.2.1.3. Protótipo desenvolvido.....	32
3.2.2. <i>Network Layer</i>	33
3.2.2.1. <i>The Things Network</i>	34
3.2.3. <i>Application Layer</i>	35
3.2.3.1. Raspberry Pi.....	35
3.2.3.2. Node-RED	36
3.2.3.3. Base de dados	37

3.2.4. <i>Information Layer</i>	38
3.3. Orçamento.....	40
Capítulo 4 – Avaliação e resultados do sistema SMCE	41
4.1. Caso de estudo.....	41
4.2. Modelo BIM 3D dos laboratórios.....	42
4.3. Plataforma de visualização utilizando o modelo BIM.....	43
4.4. Apresentação dos resultados no Modelo BIM 3D.....	44
4.5. Plataforma de visualização utilizando os <i>dashboards</i>	46
Capítulo 5 – Conclusões.....	50
Referências	52

Índice de Tabelas

Tabela 1: Comparação dos trabalhos relacionados.....	8
Tabela 2: Resumo das principais características das tecnologias de transmissão sem fio [8].....	19
Tabela 3: Principais característica do Arduino MKR WAN 1300 [30].....	30
Tabela 4: Orçamento dos equipamentos necessários para desenvolver um protótipo....	40

Índice de Figuras

Figura 1: Espectro de níveis cores associado ao consumo de energia [3]	5
Figura 2: Representação do nível de consumo de energia em 2D e 3D por meio de cores [3].....	6
Figura 3: Arquitetura do sistema [7].....	7
Figura 4: Consumo de energia final na União Europeia em 2014 [5]	11
Figura 5: Previsão do consumo de energia até 2040 [4]	11
Figura 6: Evolução dos dispositivos eletrónicos conectados à internet [19].....	13
Figura 7: Comparação das tecnologias de comunicação sem fio [12].....	15
Figura 8: Arquitetura do LoRa [23].....	17
Figura 9: Comparação em termos de custo das tecnologias LPWAN [14].....	18
Figura 10: Fase 1 - Metodologia para criar um sistema IoT [25].....	20
Figura 11: Fase 2 - Gerar valor utilizando um sistema IoT [25]	20
Figura 12: Integração do modelo BIM 3D com a IoT [28].....	22
Figura 13: Criação do modelo BIM com recurso ao Autodesk Revit [29]	22
Figura 14: Arquitetura do sistema (Autor).....	26
Figura 15: Esquema elétrico do circuito	28
Figura 16: Construção do dispositivo final	29
Figura 17: Exemplo de uma placa Arduíno MKR WAN 1300 [31].....	29
Figura 18: Sensor de corrente SCT – 013 [33].....	31
Figura 19: Tipos de sensores transformadores de corrente [35].....	32
Figura 20: Protótipo final	33
Figura 21: Processo de ativação do dispositivo [36]	35
Figura 22: Exemplo de alguns dos fluxos criados no Node-RED	36
Figura 23: Esquema da base de dados	37
Figura 24: Visualização dos dados introduzidos na tabela received_measurement	38
Figura 25: Plataformas de visualização utilizadas.....	39
Figura 26: Instalação dos sensores no quadro elétrico.....	42
Figura 27: Modelo BIM 3D dos laboratórios.....	42
Figura 28: Plataforma de visualização no modelo BIM 3D.....	44
Figura 29: Plataforma de visualização com a data selecionada para o dia 07-10-2020 às 14h.....	45

Figura 30: Plataforma de visualização com a data selecionada para o dia 02-10-2020 às 01:00h.....	45
Figura 31: Visualização dos resultados para o mês de Setembro do laboratório C707 ..	47
Figura 32: Visualização do consumo correspondente ao sistema de iluminação e tomadas para o mês de Setembro do laboratório C707.....	47
Figura 33: Consumo médio por hora	48
Figura 34: Consumo por hora do sistema de iluminação correspondente ao dia 16/09/2020 do laboratório C707	49
Figura 35: Consumo médio por hora pelos dias da semana do mês de Setembro.....	49

Glossário de Abreviaturas e Siglas

ABP	Activation By Personalization
AML	Área Metropolitana de Lisboa
API	Application Programming Interface
BIM	Building Information Modeling
BLE	Bluetooth Low Energy
CSMA/CA	Carrier sense multiple access with collision avoidance
GSM	Global System for Mobile
IEA	International Energy Agency
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of Things
LoRa	Long Range
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network
LPWAN	low-power wide-area network
LTE	Long Term Evolution
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
NB-IoT	Narrowband Internet of Things
OTAA	Over-the-Air-Activation
SMCE	Sistema de Monitorização do consumo de Energia
TTN	The Things Network

Capítulo 1 – Introdução

1.1. Enquadramento do tema

Uma das formas de otimizar a crescente necessidade de utilização dos recursos energéticos é o aproveitamento das descobertas que a evolução tecnológica nos fornece.

Nos últimos anos surgiu o conceito de *Internet of Things* (IoT) que tem crescido, cada vez mais, permitindo criar soluções de baixo custo e eficientes com vista a ajudar na resolução dos mais variados problemas que a sociedade enfrenta. Um deles é o elevado consumo de energia, e umas das formas de tentar superá-lo é proporcionar ferramentas para que o utilizador possa visualizar os seus consumos em tempo real e de forma personalizada, com o intuito de se identificar formas de o reduzir.

Para tal, vários métodos foram criados com o intuito de dar suporte à representação da enorme quantidade de dados obtida pelos dispositivos IoT, como a Modelagem da Informação da Construção, mais conhecido em inglês pela sigla BIM (*Building Information Modeling*). Este modelo possibilita a visualização da informação no formato 3D.

O ambiente construído e monitorizado tem a capacidade de auxiliar na comunicação e resolução de problemas mediante o uso de sistemas de coleta e visualização de dados em tempo real. Nesse sentido, identifica-se a potencialidade de sincronizar sistemas de monitorização, baseado em sensores, com o modelo BIM, visando o aprimoramento da visualização dos dados coletados por meio da contextualização tridimensional e da gestão da informação [1].

A escolha de um método apropriado para a visualização da grande quantidade de dados recolhida pelos sensores é fundamental, pois pode ajudar as pessoas a compreender, de modo intuitivo, como trabalhar com os dados de forma mais rápida e fácil [2]. Os métodos de visualização convencionais como gráficos, por exemplo, podem ser de difícil perceção para os utilizadores sem muitos conhecimentos sobre o assunto em questão.

Vários estudos consideraram que a visualização baseada em técnicas de codificação por cores útil, devido à sua eficiência na localização das informações e pela capacidade de atrair a atenção e melhorar a perceção, influencia o utilizador para um comportamento mais sustentável [3]. Nesse contexto é o utilizado o modelo BIM para fazer a representação dos dados por meio de cores em um ambiente 3D.

1.2. Motivação e relevância do tema

Tem-se constatado, assiduamente, a ocorrência de desastres naturais com maior frequência e intensidade, como resultado das alterações climáticas que temos enfrentado nos últimos anos, o que representa uma das maiores ameaças para a humanidade. Uma das principais causas deriva do elevado consumo energético mundial e da consequente emissão de gases de efeito estufa.

O uso de energia elétrica vem crescendo de forma exponencial ao longo dos anos e a tendência é que continue a aumentar já que estamos cada vez mais dependentes dos equipamentos eletrônicos. Esta subida do consumo implica o aumento da produção de energia elétrica, o que tem como consequência uma série de impactos ambientais.

Um dos mais recentes estudos prevê que o recurso mundial à energia aumentará 28% até 2040 [4]. De acordo com os dados de [5], os sectores que mais consumiram energia no ano de 2014 na União Europeia, foram, respetivamente, os edifícios, transportes e a indústria, tendo os primeiros consumido 42% do total. Isso pode-se justificar pelo crescimento populacional e pelo aumento do conforto das residências.

Nos últimos anos, tem-se tentado utilizar outras formas de energia que prejudicam menos o meio ambiente como a energia eólica ou solar, que ainda não são totalmente eficazes, pois dependem muito das condições climáticas. Para além disso, possuem um custo elevado e têm baixa produtividade, quando comparados com os outros processos de produção de energia. Assim sendo, até que se encontre uma forma mais eficiente de se utilizar apenas fontes de energia que não prejudiquem o meio ambiente, temos de tentar desenvolver soluções para tentar controlar o consumo de energia.

1.3. Objetivos

Objetivo geral

O objetivo geral a que se propõe esta dissertação é desenvolver um sistema IoT que permita recolher dados sobre consumos de energia e representar essas informações em tempo real em *dashboards* personalizados e no modelo BIM 3D, este ultimo com a finalidade de proporcionar um método de visualização por meio de níveis de cores para uma compreensão mais simples e intuitiva.

Objetivos específicos

- Configurar sensores não intrusivos para medir energia;
- Armazenar os dados recolhidos;
- Representar os dados em *dashboards do* Power BI e no modelo BIM 3D com cores, para melhor percepção dos dados pelas pessoas que se encontram no local.

1.4. Estrutura e organização da dissertação

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos que pretendem refletir as diferentes fases até à sua conclusão.

O primeiro capítulo introduz o tema da investigação e objetivos da mesma bem como uma breve descrição da estrutura do trabalho.

O segundo capítulo reflete o enquadramento teórico, designado por revisão da literatura. Neste capítulo são apresentados alguns trabalhos e investigações que foram realizadas nos últimos anos utilizando soluções IoT simples incluindo as que possuem integração IoT-BIM para representação dos dados num modelo 3D em tempo real. Principalmente com foco nos trabalhos que utilizam representação por cores para facilitar a compreensão das pessoas, bem como alguns conceitos teóricos que serão úteis para o entendimento desta dissertação.

O terceiro capítulo tem como objetivo explicar o processo de desenvolvimento do sistema, desde o processo recolha, transmissão, tratamento e apresentação dos dados. Neste capítulo serão apresentados os equipamentos utilizados para o funcionamento do mesmo.

O quarto capítulo engloba a caracterização do caso de estudo, a apresentação dos resultados obtidos e o funcionamento da plataforma de visualização.

Para concluir, no quinto capítulo, analisar-se-ão os resultados deste trabalho e serão apresentadas propostas de trabalho futuro.

Capítulo 2 – Revisão da Literatura

2.1. Estado da arte de soluções IoT para monitorizar o consumo de energia

Atualmente, um dos principais objetivos da sociedade é conseguir alcançar a eficiência energética com vista a promover a sustentabilidade do nosso planeta, pois o meio ambiente tem sido muito afetado com a emissão de gases de efeito estufa. Por isso, nos últimos anos tem-se realizado inúmeras pesquisas, para melhor controlar e reduzir o consumo de energia, e a IoT é uma das tecnologias que tem contribuído imenso para o efeito.

Em [1], os autores usaram cores diferentes para apresentar o consumo de energia, espacialmente numa planta 2D, e 71,77% das pessoas consideraram a visualização baseada em cores de mais simples perceção quando comparado as informações apresentadas por meio de gráficos e em forma de texto, devido a fácil interpretação dos dados apresentados por meio de níveis de cores, e na capacidade de atrair a sua atenção. Constatou-se que a maioria das pessoas tiveram dificuldade de interpretar as informações apresentadas nos gráficos e de entender o significado dos valores do consumo de energia apresentado com apenas números.

O trabalho apresentado em [3] é um exemplo de como a representação por cores é capaz de acelerar o processo de perceção da informação. Os autores associaram o uso de energia a um espectro de cores, conforme mostra a Figura 1, o que permite analisar o consumo de energia por meio de níveis de cores.

Energy use Levels	E ₀	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈
Color Spectrum									

Figura 1: Espectro de níveis cores associado ao consumo de energia [3]

Na Figura 2 pode-se observar a representação da informação em plantas 2D e 3D construídas com recurso ao modelo BIM. Com o uso desta técnica para visualizar os dados pode-se facilmente e rapidamente observar qual das salas apresenta um consumo de energia anormal mediante a visualização das cores. Ainda que um utilizador não tenha conhecimentos sobre energia elétrica, é capaz de identificar tal fenómeno por meio das cores, o que revela a grande vantagem desta técnica.

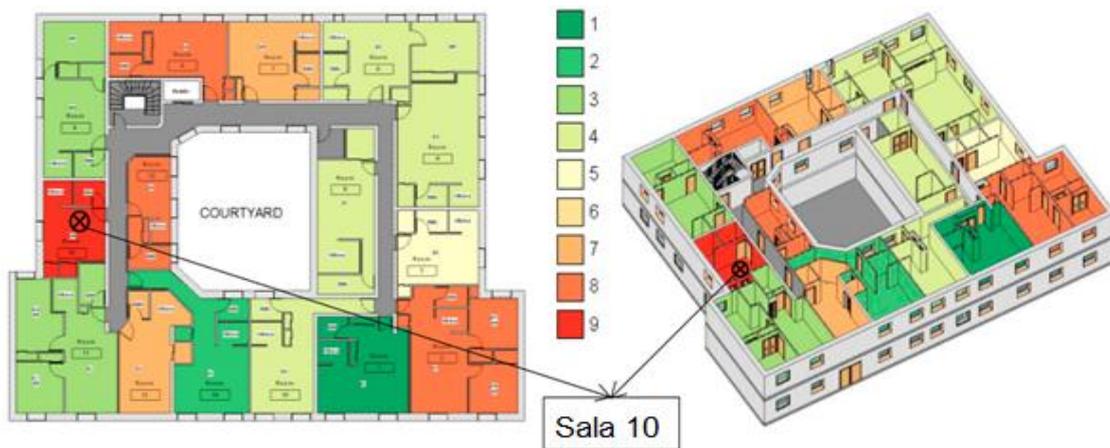


Figura 2: Representação do nível de consumo de energia em 2D e 3D por meio de cores [3]

Este artigo [6] da Universidade de Surrey apresenta um protótipo de demonstração desenvolvido para mostrar o desempenho energético do edifício da Universidade em 3D, conectando o BIM e os dados recolhidos pelos sensores em tempo real. O estudo conta com mais de 20 sensores instalados, o que permite criar uma visão geral do consumo de energia no edifício, fazendo a integração das tecnologias IoT e BIM. Os autores deste estudo concluíram que ao capturar e analisar estes dados é possível deixar mais bem informado os ocupantes deste espaço e alertando sobre o consumo de energia.

Neste artigo [7] os autores apresentam a implementação de uma solução que alinha o modelo BIM ao paradigma da Internet das Coisas, como uma resposta à lacuna de conhecimento sobre o uso do BIM para a gestão de energia. A sua implementação piloto foi realizada no laboratório de uma instituição de ensino, que se enquadra no contexto do fomento de estratégias de tomada de decisão em relação à gestão do consumo de energia. A implementação da solução BIM/IoT permitiria ao departamento incorporar a manutenção preditiva nas suas práticas diárias, suportada pela monitorização e análise de informações de desempenho, como o consumo de energia de um departamento. A Figura 3 apresenta a arquitetura proposta para o sistema, sendo que a camada de sensoriamento e de rede utilizou o protocolo de comunicação Wi-Fi para receber e transmitir dados coletados para o servidor *web*, sendo os dados processados e armazenados em servidores de base de dados associados (MySQL e ThingSpeak) e hospedados na camada de serviço. Esta camada agregou o ambiente de programação visual do *Dynamo*, para extrair as informações destes servidores e alimentar o modelo BIM em tempo real. O propósito central do *Dynamo* foi atuar como *middleware*, viabilizando a integração BIM/IoT e transformando o modelo estático em dinâmico. Finalmente, a camada de interface

abarcou ferramentas para hospedar e gerenciar o modelo BIM adquirido (Autodesk Revit) e os gráficos de monitorização de desempenho, estes últimos disponíveis para visualização numa página *web* [7].

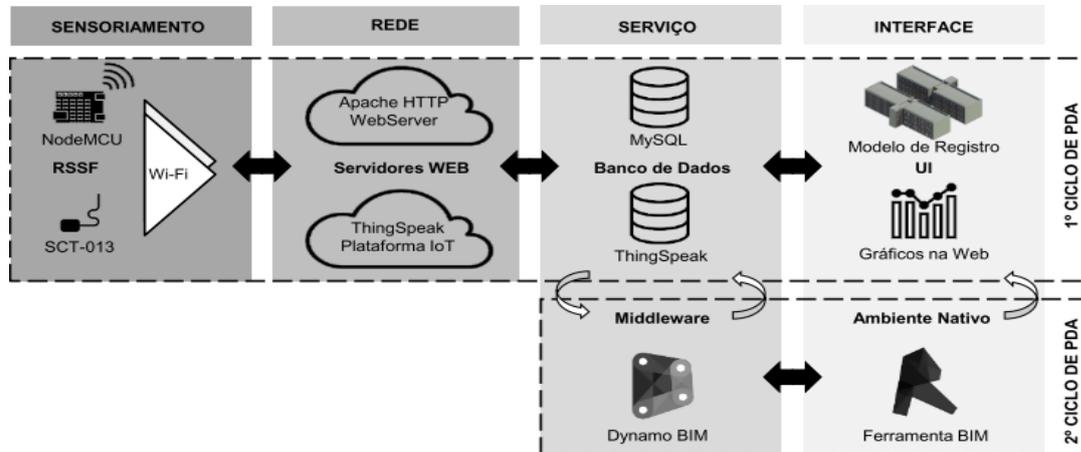


Figura 3: Arquitetura do sistema [7]

Em [8] os autores apresentam três abordagens diferentes para a integração de uma rede de sensores com o modelo BIM com objetivo de criar uma plataforma de visualização e análise dos dados por parte dos responsáveis do edifício.

Integração Sensor-Revit - Nesta primeira abordagem os dados só podem ser visualizados no formato 2D e não é possível visualizar o histórico.

Integração Sensor-Revit-Navisworks - Esta abordagem incluiu as funções do Autodesk Navisworks Manage, como o *Appearance Profiler*, que é a função utilizada para definir a aparência dos elementos e objetos de forma personalizada, bem como a codificação das cores. Esta integração permite a visualização 2D e 3D em tempo real, contudo, similar a primeira abordagem não é possível visualizar o histórico dos dados.

Integração Sensor-Revit-Navisworks-API - Para resolver as limitações associadas as duas primeiras abordagens, foi desenvolvido um *add-in* para *Navisworks* com funções adicionais para representar o histórico dos dados e em tempo real. O *add-in* foi desenvolvido no Microsoft Visual Studio utilizando uma interface de programação de aplicação (API).

Os autores deste trabalho concluíram que com a visualização dos dados em tempo real os técnicos responsáveis pela manutenção do edifício conseguiram reagir de forma mais rápida e adequada na resolução de problemas relacionados com valores de temperaturas

anormais nas salas, bem como obter várias informações sobre o desempenho e a operação das instalações [8].

O trabalho referenciado em [9] consiste num sistema IoT *low-cost energy*, para monitorizar o consumo de energia, utilizando o Wi-Fi e o protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) como protocolos de comunicação. Fez-se uso de um sensor não invasivo (sd3004) para recolher os dados do consumo de energia. Os dados são enviados via MQTT em formato JSON, e foi escolhido um Raspberry Pi para funcionar como um servidor local. Para este trabalho, foram apenas realizados testes em laboratórios, e obteve-se uma precisão no nó de leitura com a taxa de erro de aproximadamente 5%.

Para o caso [10] utilizou-se a comunicação de dispositivos XBee, e foram colocados sensores para observar um conjunto de parâmetros ambientais, tais como temperatura, níveis de ruído e o consumo de energia do edifício. A instalação consiste em vários nós de dispositivos IoT, que se comunicam com uma infraestrutura de nuvem por meio de um dispositivo de *gateway*. O *gateway* é responsável por coordenar a comunicação e permitir a interação com serviços baseados na nuvem e outros dispositivos conectados à Internet. Todos os dispositivos do sistema usam uma interface de rádio sem fio para comunicar localmente.

Na Tabela 1 são apresentados um conjunto de trabalhos e investigações relacionados com esta dissertação e as suas principais características.

Tabela 1: Comparação dos trabalhos relacionados

Trabalhos	Eletricidade	Temperatura e Humidade	Meio de comunicação	Comercial	Dashboard	Visualização 3D
<i>Sistema proposto</i>	<i>Sim</i>	<i>Não</i>	<i>LoRa</i>	<i>Não</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>
[2]	Sim	Não	Wi-Fi	Não	Não	Sim
[7]	Não	Sim	Wi-Fi	Não	Não	Sim
[8]	Sim	Não	Wi-Fi	Não	Não	Não
[10]	Sim	Sim	XBee	Não	Sim	Não
[11]	Sim	Não	Wi-Fi	Sim	Sim	Não
[12]	Sim	Não	Wi-Fi	Sim	Sim	Não
[6]	Sim	Sim	Não especificado	Não	Não	Sim

A maioria destes trabalhos são baseados em simulação e conjunto de testes, tendo, entretanto, sido também encontradas algumas soluções comerciais existentes no mercado, contudo, estas dão maior ênfase à análise do consumo de energia em métodos meramente estatísticos e complexos e não à visualização em 3D do espaço em análise. Este trabalho

visa, essencialmente, conferir uma melhor percepção ao utilizador de modo a auxiliar na sua mudança de comportamento.

2.2. Sustentabilidade

O termo sustentabilidade indica a harmonia entre aspetos sociais, ambientais e económicos, e pode ser entendida como a preocupação em promover o desenvolvimento das sociedades e gerar riquezas, mas respeitando a natureza. Essa preocupação remete ao presente e ao futuro, visto que umas formas de garantir um mundo habitável às próximas gerações é a preservação dos recursos de que elas também vão precisar [13].

2.2.1. Sustentabilidade e IoT

A IoT, também chamada Internet das Coisas é um conceito que permite conectar objetos pela rede, permitindo a troca de dados para monitorizar um sistema específico, permitindo que os objetos se comuniquem entre si e com os seres humanos [14]. Resumindo, são sensores que estão constantemente conectados, via Internet, a um computador que coleta e processa dados, o que significa que um determinado sistema está sempre sob controlo e, portanto, podem ser feitas escolhas direcionadas para aumentar o seu desempenho e reduzir custos.

IoT e sustentabilidade estão mais próximas do que nunca. Com metas globais cada vez mais exigentes em relação ao meio ambiente e uma sociedade de consumo consciente, as empresas encontram na inovação uma forte aliada visando unir o desenvolvimento e a responsabilidade socioambiental [15].

A agricultura é certamente um dos setores em que a IoT e sustentabilidade têm maior potencial. Dados da ONG *World Wild Life Fund* (WWF) mostram que 70% de toda a água consumida no mundo provêm da agropecuária, mais que o dobro do necessário. Muitas áreas de cultivo ainda não contam com sistemas inteligentes de irrigação, nem são capazes de identificar desperdícios de água [16].

As soluções de IoT já provaram ser fortes aliadas para a resolução desses problemas, disponibilizando soluções que permitem integrar vários sensores que coletam dados, como condições do solo, previsão do tempo, horários de irrigação e desempenho geral, e fazendo o processamento destes dados para avaliar o exato momento para que todo o

sistema de irrigação seja acionado ou desativado. Além disso, ela permite averiguar em tempo real o consumo de água [17].

A IoT já está a ser implantada na Califórnia, onde sensores instalados nas amendoeiras controlam níveis de humidade no solo, enviando dados para análise e, em seguida, passando informações de volta para o sistema de irrigação, que modifica a saída de água. Assim, os agricultores economizam 20% de água e tornam-se menos vulneráveis às variações climáticas. As colheitas aumentarão, os custos diminuirão e os consumidores pagarão menos pela comida [16].

No setor de edifícios e cidades inteligentes, tem-se implementado soluções para edifícios ou apartamentos para responderem, de forma automática, às mudanças de temperatura, humidade e iluminação, economizando energia e reduzindo emissões de carbono. A Huawei realizou recentemente uma experiência num prédio comercial com 5000 metros quadrados. Decorrido um ano, os sistemas de controlo de energia economizaram o equivalente a 165 toneladas de carvão e 436 toneladas de dióxido de carbono [10].

Também se tem realizado projetos na fauna com vista a retirar as espécies de animais em extinção com enorme sucesso, com uso das tecnologias da Internet das Coisas para rastrear e monitorizar animais, utilizando coleiras para o mapeamento da sua localização e hábitos, a par de drones conectados, que foram muito menos invasivos ao rastrear os animais [11].

2.2.2. Consumo de energia

Do consumo total de energia final em 2014, destaca-se o peso do petróleo, com uma quota de 42%. O setor dos transportes representa 31% do consumo total de energia final, e é o mais dependente de petróleo (93%) [5]. E como podemos observar na Figura 4, o consumo total dos edifícios é de 42%.

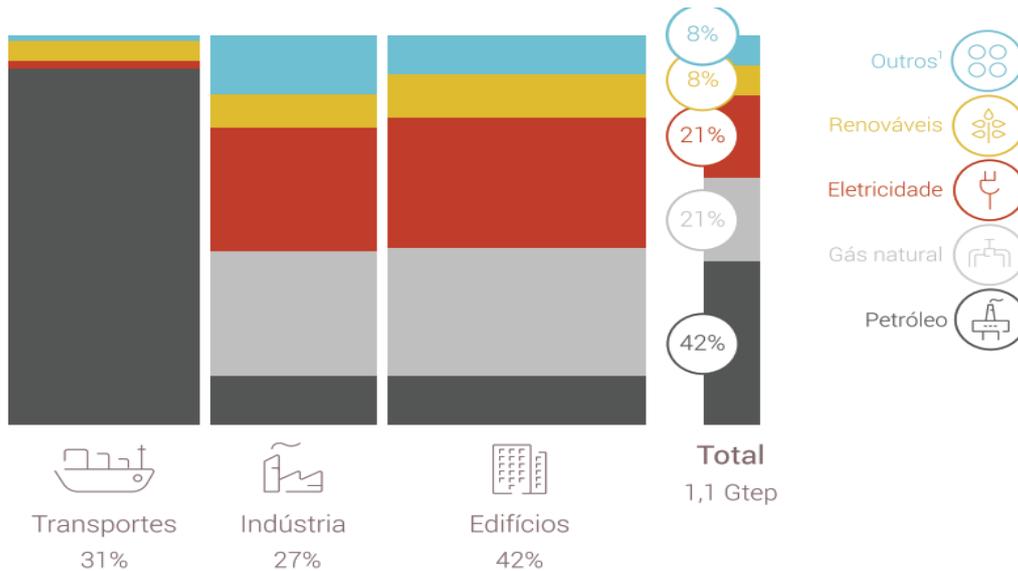


Figura 4: Consumo de energia final na União Europeia em 2014 [5]

Um dos mais recentes estudos prevê que o consumo mundial de energia aumentará 28% até 2040. Espera-se que a maior parte desse crescimento venha de países que não fazem parte da organização para a cooperação e desenvolvimento económico, e especialmente em países onde a demanda é impulsionada por um forte crescimento económico, particularmente na Ásia [4]. Conforme ilustra a Figura 5 o consumo de energia tende a aumentar.

EIA projects 28% increase in world energy use by 2040

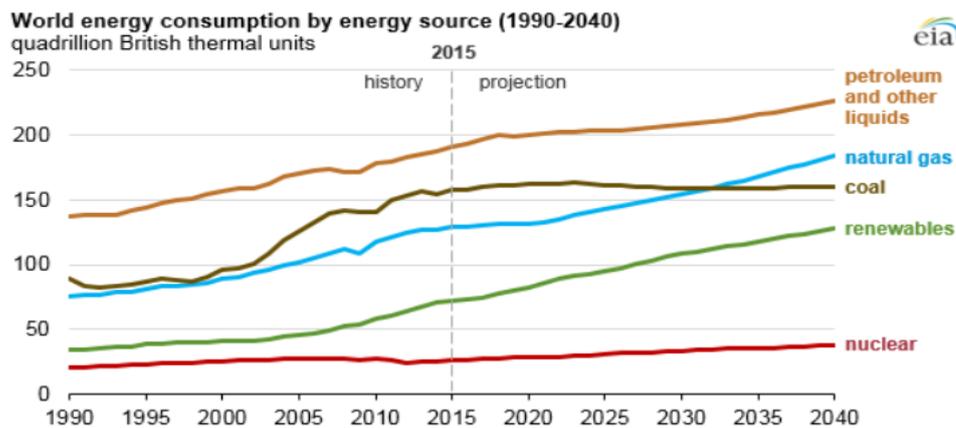


Figura 5: Previsão do consumo de energia até 2040 [4]

Segundo as palavras do Dr. Fatih Birol, diretor executivo da IEA (*International Energy Agency*) [18], “O mundo precisa urgentemente de focar-se na redução das emissões de

dióxido de carbono. Isso exige uma grande coligação que inclua governos, investidores, empresas e todos os demais comprometidos em combater às mudanças climáticas”.

Por isso, cada vez mais se utiliza o termo “eficiência energética”, para tentar reduzir os consumos de energia.

O objetivo é fazer uso da tecnologia visando tornar as coisas mais eficientes, sendo uma delas o consumo de energia. Utilizando as tecnologias de forma correta, pode-se reduzir drasticamente o consumo de energia. Por isso, tem-se investido muito nas soluções IoT, utilizando-se sensores simples que podem ser colocados na maioria dos lugares, e realizar tarefas de recolha de dados, incluindo a automação.

Um tipo de sensor muito utilizado para melhorar a eficiência é o sensor para medir a corrente elétrica. Utilizando outras plataformas conectadas com o sensor é possível analisar quanto cada dispositivo consome, em operação ou em repouso.

2.3. Internet das coisas

Segundo [7], IoT, é uma infraestrutura global para a sociedade da informação, proporcionando serviços avançados e interconectando coisas (físicas e virtuais) com base nas tecnologias de informação e comunicação interoperáveis existentes e em evolução.

Outra definição mais técnica define o IoT como sendo uma a rede de dispositivos conectados. Esses dispositivos conectados inteligentes geram dados que os aplicativos de IoT usam para agregar, analisar e fornecer informações, o que ajuda a levar a cabo decisões e ações mais informadas [8].

A IoT permite-nos analisar dados coletados, que podem ser utilizados para prever padrões de consumo nos próximos meses e o que pode ser feito para a sua redução.

2.3.1. Evolução

Em 2003, havia aproximadamente 6,3 bilhões de pessoas no planeta e 500 milhões de dispositivos conectados à Internet. Ao dividir o número de dispositivos conectados pela população mundial, a média era de 0,08 dispositivo por pessoa. O número de dispositivos conectados era relativamente baixo, considerando que dispositivos ubíquos, como *smartphones*, se encontravam ainda em fase de apresentação. Com o rápido crescimento

dos *smartphones* e *tablets*, o número de dispositivos conectados à Internet atingiu os 12,5 bilhões em 2010 [19].

Agora estamos na era dos dispositivos IoT, que têm contribuído, em grande medida, para aumentar o número de dispositivos conectados a Internet. Como ilustra a Figura 6, o número de dispositivos conectados à Internet aumenta de forma significativa, de ano para ano.

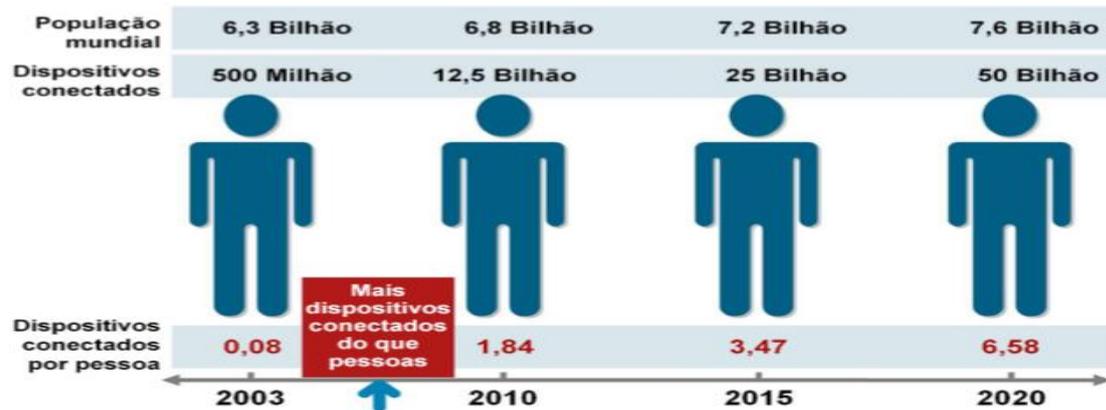


Figura 6: Evolução dos dispositivos eletrônicos conectados à internet [19]

Segundo a Cisco, espera-se que 500 bilhões de dispositivos estejam conectados à Internet até 2030. Cada dispositivo inclui sensores que coletam dados, interagem com o ambiente e comunicam-se por uma rede [20].

Soluções IoT deveriam substituir o ser humano em várias atividades, desde as mais simples até às mais complexas. A IoT possui muitas aplicações nas mais diversas áreas, como casas e ambientes inteligentes, veículos inteligentes, formando uma rede onipresente e sensível ao contexto. Uma solução IoT completa permite utilizar sensores para fazer a recolha dos dados, e a possibilidade de utilizar plataformas para processar e analisar estes dados, com vista a alcançar um certo objetivo.

2.3.2. Tecnologias de comunicação para soluções IoT

O desenvolvimento de tecnologias para a Internet das Coisas tem trazido diversos desafios, principalmente no campo da comunicação, pois é uma parte fundamental com vista a permitir que o sistema funcione corretamente.

Nesta secção, serão dadas a conhecer as tecnologias mais utilizadas na comunicação voltada para a Internet das Coisas, tendo, cada uma delas, as suas especificações e aplicações, que as diferenciam.

Para que possamos desenvolver uma rede de comunicação de Internet das Coisas, é necessário que os dispositivos conectados se comuniquem entre si e com um servidor. Considerando que dispositivos neste tipo de rede são bastante diversificados, podemos ter diferentes tipos de comunicações sem fio para cada cenário, e que priorizam diferentes características como alcance máximo de transmissão, velocidade de transmissão e o gasto energético. De seguida serão apresentadas algumas tecnologias de transmissão de curto alcance, tais como: o ZigBee, *Bluetooth* e o Wi-Fi.

- **ZigBee**

O ZigBee é baseado no padrão IEEE 802.15.4 e está voltado principalmente para aplicações com dispositivos que requerem um baixo consumo energético, operando também com uma baixa taxa de dados (padrão de 250 Kbps). Dispositivos sem fio baseados em ZigBee apresentam topologia de rede do tipo estrela, árvore ou malha, e um curto alcance (menor do que 100 m). Devido a esta propriedade (curto alcance), o ZigBee deve operar numa rede com múltiplos saltos, onde as informações transitam entre sensores até atingir o destino final. O mecanismo de acesso ao meio deste padrão é o *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA/CA) [21].

O ZigBee é utilizado em aplicações alimentadas por bateria, onde a baixa taxa de dados, o baixo custo e a longa duração da bateria são os principais requisitos. Em grande número de aplicações, o dispositivo permanece a maior parte do tempo no modo de suspensão.

- **Bluetooth**

A tecnologia *bluetooth* foi desenvolvida e padronizada pelo IEEE 802.15.1, e atualmente é mantida pelo grupo *Bluetooth Special Interest Group* (SIG), e opera na mesma frequência do Wi-Fi, 2.4 GHz. O *Bluetooth* apresenta também uma variação chamada *Bluetooth Low Energy* (BLE), visando aplicações voltadas para a IoT com um menor consumo energético. Para consumir menos energia, o BLE utiliza várias técnicas, como a redução na velocidade de transferência de dados e redução do alcance da comunicação. O gasto de energia cai drasticamente se um dispositivo estiver bastante perto do outro [22].

- **Wi-Fi**

Devido ao seu curto alcance, e operação em alta frequência, o uso do Wi-Fi para soluções IoT destina-se geralmente a aplicações residenciais e onde os dispositivos da rede têm a capacidade de operar conectados à rede elétrica, sem baterias, uma vez que o seu consumo energético neste tipo de rede tende a ser bastante elevado. Geralmente, o Wi-Fi é empregue em aplicações de sistemas de automação residencial capaz de controlar e automatizar os eletrodomésticos de uma casa com o uso de módulos Wi-Fi [22].

LPWAN (*Low Power Wide Area Networks*)

As tecnologias de rádio de curto alcance amplamente usadas como, *ZigBee*, *Bluetooth* e *Wi-Fi* não são adequadas a cenários que exigem transmissão de longo alcance. As soluções baseadas em comunicações celulares, por exemplo, 2G, 3G e 4G, podem fornecer uma cobertura maior, mas consomem uma energia excessiva do dispositivo.

As LPWAN são adequadas a aplicativos da IoT que têm apenas de transmitir pequenas quantidades de dados em longo alcance, sendo necessário garantir maior vida útil às baterias. As LPWANs podem usar frequências licenciadas ou não, e incluem opções de propriedade ou de padrão aberto. As três principais tecnologias são o *Sigfox*, *NB-IoT* (*Narrowband-IoT*) e o *LoRa* (*Long Range*).

Na Figura 7 pode-se observar um gráfico comparativo das diversas tecnologias de comunicação, em termos de alcance de transmissão, e a taxa de transmissão de dados.

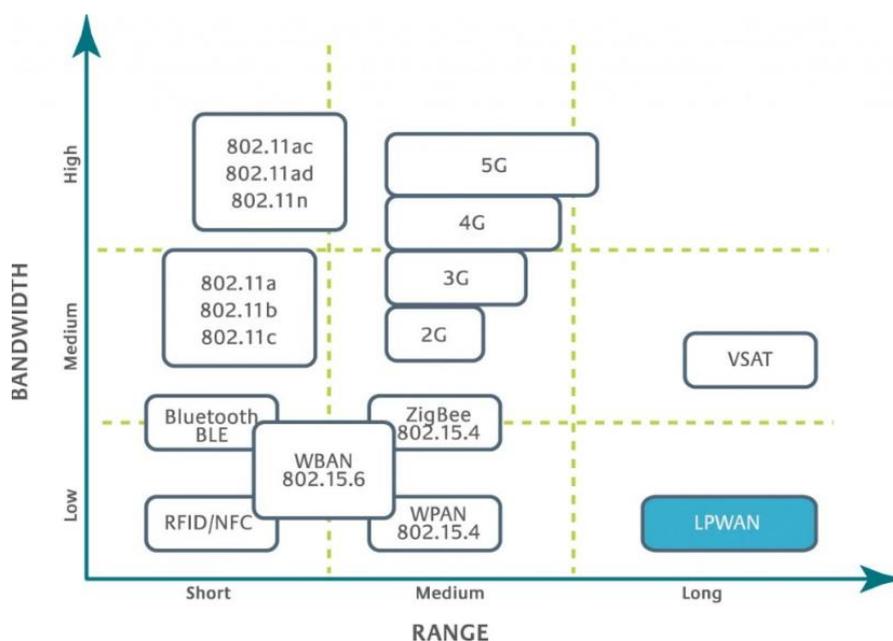


Figura 7: Comparação das tecnologias de comunicação sem fio [12]

Como podemos analisar na Figura acima, quanto maior é a taxa de transmissão, menor é o alcance, as tecnologias *Very Small Aperture Terminal* (VSAT) conseguem fazer um equilíbrio em relação a estas variáveis, entretanto o *delay* deste tipo de transmissão não é o mais apropriado para os dispositivos IoT. As tecnologias de redes móveis, conseguem oferecer uma boa taxa de transmissão e um alcance de transmissão significativo, contudo estes tipos de tecnologia consomem muita bateria dos dispositivos, o mesmo acontece com o padrão de comunicação Wi-Fi. Contudo as tecnologias LPWAN, conseguem atingir um longo alcance de transmissão, mas a baixas taxas de transmissão, uma vez que a maioria dos dispositivos IoT apenas transmitem uma pequena quantidade de dados, este aspecto é pouco relevante para estes dispositivos, por isso esse tipo de tecnologia é uma das mais utilizadas atualmente em soluções IoT.

- **Sigfox**

A Sigfox é uma operadora de rede LPWAN que oferece uma solução de conectividade IoT ponta a ponta, com base nas suas tecnologias patenteadas. O número de mensagens no *uplink* é limitado a 140 mensagens por dia. A carga útil máxima do comprimento de cada mensagem de ligação ascendente é de 12 bytes. No entanto, o número de mensagens transmitido em *downlink* é limitado a quatro por dia, o que significa que o reconhecimento de cada mensagem de *uplink* não é suportado. O comprimento máximo da carga útil para cada mensagem de *downlink* é de oito bytes [14].

- **NB-IoT**

É uma tecnologia IoT de banda estreita especificada no *Release 13* do 3GPP em junho de 2016. O NB-IoT pode coexistir com o *Global System for Mobile Communications* (GSM) e a *Long Term Evolution* (LTE) sob bandas de frequência licenciadas. Ocupa uma largura de banda de frequência de 200 KHz, que corresponde a um bloco de recursos na transmissão GSM e LTE. Permite conectividade de até 100000 dispositivos finais por célula, com o potencial de aumentar a capacidade adicionando mais operadoras NB-IoT. A taxa de dados é limitada a 200 kbps para o *downlink* e a 20 kbps para o *uplink*. O tamanho máximo da carga útil para cada mensagem é de 1600 bytes [14].

- **LoRa**

Com o advento da IoT, diversas organizações líderes de mercado na área de tecnologia uniram forças numa associação sem fins lucrativos denominada LoRa Alliance. Esta aliança tem como principal objetivo padronizar um protocolo de comunicação para as LPWAN e garantir a interoperabilidade entre operadoras de telecomunicação, através de um padrão globalizado. Dentre alguns dos membros do grupo, podemos citar a CISCO, IBM, Renesas, Alibaba Group e Semtech. Foi esta aliança que deu origem à tecnologia LoRa [22].

LoRa é uma tecnologia de radiofrequência que permite comunicação a longas distâncias com consumo mínimo de energia. Utiliza a técnica de modulação de espectro de dispersão derivada da tecnologia *chirp spread spectrum* (CSS). Dependendo das condições de instalação (bloqueios por prédios, topologia de terrenos, etc) pode-se atingir, em áreas urbanas, 3-4 Km de alcance, e, em zonas rurais, 15 Km [23].

LoRaWAN é o nome dado ao protocolo que define a arquitetura do sistema bem como os parâmetros de comunicação usando a tecnologia LoRa. O protocolo LoRaWAN implementa os detalhes de funcionamento, segurança, qualidade do serviço, ajustes de potência visando maximizar a duração da bateria dos módulos, e os tipos de aplicações tanto do lado do módulo como do servidor [24]. A Figura 8 apresenta a arquitetura do LoRa.

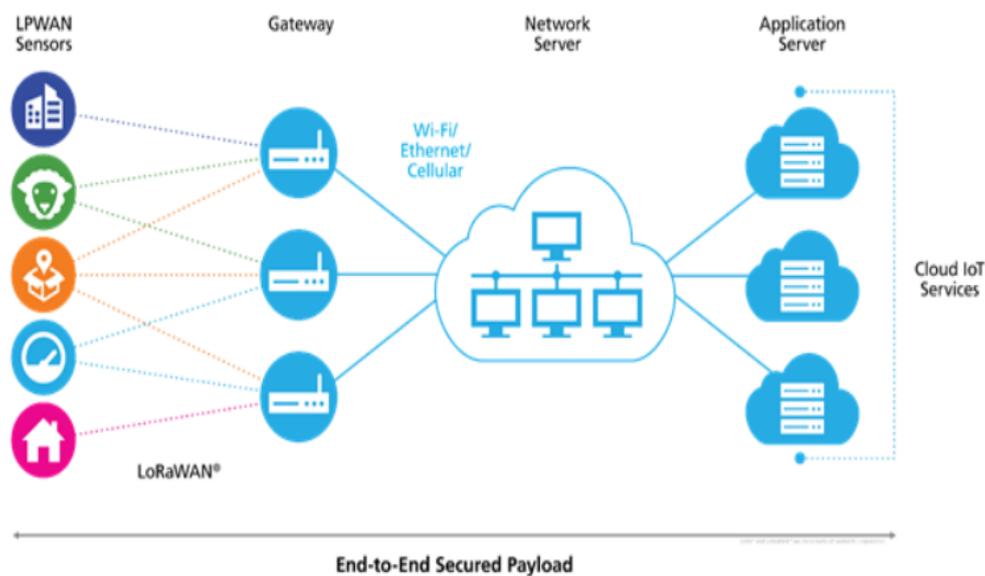


Figura 8: Arquitetura do LoRa [23]

Dispositivos finais são compostos por sensores e microcontroladores responsáveis por coletar os dados e enviá-los para o servidor de rede, através de um ou vários *gateways* LoRa. Esses dispositivos podem ser, por exemplo, sensores que medem a qualidade do ar, temperatura, humidade, entre outros. Também podem receber informações do servidor de aplicação [24].

LoRa gateway atua como um concentrador para os dispositivos finais e retransmite os dados entre os dispositivos finais e o servidor de rede. A conexão sem fio entre um dispositivo final e o *gateway* é configurada através de um *link* sem fio LoRa. Dependendo das condições da topologia do local, um único *gateway* pode cobrir um raio de até 15 Km [14].

Servidor de rede é o responsável pelo gerenciamento das informações enviadas pelos *gateways*. Conecta-se a vários *gateways*, com ou sem fio, e é responsável por eliminar mensagens duplicadas [24].

Servidor de aplicação fornece uma interface *web* e APIs com vista a gerir os dados recolhidos e enviar ações para os dispositivos finais [24].

O *gateway*, servidor de rede e os servidores de aplicação comunicam-se sobre TCP/IP usando *Ethernet*, 3G, LTE e outras tecnologias.

2.3.3. Comparação entre as tecnologias LPWAN

Como podemos observar na Figura 9, o Sigfox e o LoRa apresentam soluções de baixo custo quando comparado com o NB-IoT.

	Spectrum cost	Deployment cost	End-device cost
Sigfox	Free	>4000€/base station	<2€
LoRa	Free	>100€/gateway >1000€/base station	3-5€
NB-IoT	>500 M€/MHz	>15 000€/base station	>20€

Figura 9: Comparação em termos de custo das tecnologias LPWAN [14]

Sigfox e LoRa são ideais para dispositivo de baixo custo, com alcance muito longo (alta cobertura) e em situações em que não há necessidade de transmissão constante, ou em que é necessário conservar a duração da bateria.

Para aplicações que requerem comunicação frequente e serviço de alta qualidade, baixa latência e alta taxa de dados, o NB-IoT é a melhor solução. Normalmente, essas

aplicações não exigem baixo consumo de energia nem tempo de vida útil da bateria, pois possuem uma fonte de energia contínua.

Na Tabela 2 são apresentadas algumas características das principais tecnologias de comunicação.

Tabela 2: Resumo das principais características das tecnologias de transmissão sem fio [8]

	Frequência	Taxa de transmissão	Alcance máximo	Segurança	Custo
LoRa	923 MHz Ásia 868 MHz Europa 915 MHz Austrália e América do Norte	50 kbps	5km urbano 15km rural	128 bits AES	Médio
Sigfox	868 MHz Europa 915 MHz USA	1 kbps	10km urbano 40km rural	Sem encriptação	Médio
NB-IoT	B3 (1800 MHz), B8 (900 MHz)	200 kbps	1km urbano 10km rural	Encriptação LTE	Elevado
Wi-Fi	2,4GHz, 5GHz	1,7 Gbps (802.11ac-5GHz)	100m	WPA/WPA2	Baixo
Bluetooth	2,4GHz	3 Mbps	100m	AES	Baixo
ZigBee	2,4GHz	250 kbps	100m	128 bits AES	Médio

De acordo com o explanado nesta secção, pode-se concluir que os três requisitos mais importantes para a comunicações dos dispositivos IoT são o alcance de transmissão, a velocidade de transmissão e o consumo energético necessário para realizar tal transmissão. Dificilmente se consegue satisfazer os três requisitos, tendo sempre de se abdicar de um dos três.

O Wi-Fi é utilizado com maior frequência em situações em que o gasto energético e a transmissão em longas distâncias não é uma prioridade.

Soluções como o LoRa são adequadas a situações em que temos como prioridade o baixo consumo energético e a transmissão em longas distâncias.

Após analisar várias tecnologias de comunicação, com especial atenção dedicada às LPWAN, optou-se por usar o LoRa como meio de comunicação, visto que satisfaz os requisitos propostos para este trabalho.

2.3.4. Fases de desenvolvimento de um sistema IoT

Para se desenvolver um sistema IoT completo é necessário passar-se por duas fases. A primeira está dividida em 5 etapas, sendo que a primeira consiste em identificar o problema e elaborar a lista dos requisitos, sendo necessário realizar o *design* do sistema, desenvolver o sistema, os testes e validação do sistema, até a última etapa que é a implementação do sistema, como se constata na Figura 10.

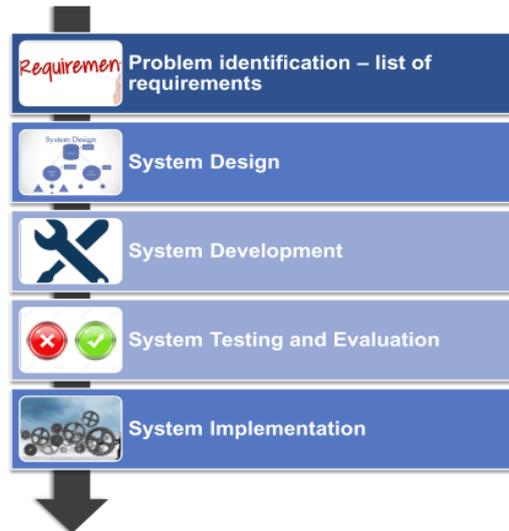


Figura 10: Fase 1 - Metodologia para criar um sistema IoT [25]

A segunda fase compreende as seguintes etapas: a conexão dos dispositivos no local de estudo, a coleta de dados, o acesso aos dados, a análise dos dados e a última etapa tem em vista chegar a conclusões relevantes com vista a alcançar o objetivo inicial proposto, como está patente na Figura 11. Nesta segunda fase, o sistema é acionado a fim de interagir com o meio em que se encontra, coletando dados que serão processados e analisados de modo a suportar a tomada de decisões.



Figura 11: Fase 2 - Gerar valor utilizando um sistema IoT [25]

2.4. Modelo BIM

O BIM pode ser definido, como a representação digital das características físicas e funcionais de uma edificação, que permite integrar de forma sistêmica e transversal às várias fases do ciclo de vida de uma obra com o gerenciamento de todas as informações disponíveis em projeto [26]. Sendo assim, o BIM não é um sistema ou ferramenta de desenvolvimento, e sim uma forma de representação.

O modelo BIM é um dos métodos de projeto colaborativo mais utilizados no mundo nos setores de arquitetura, engenharia e da indústria da construção. Permite otimizar as fases de planejamento, realização e gerenciamento de edifícios graças ao uso de modelos 3D virtuais, gerados por *software* que contêm todas as informações sobre seus elementos [27].

2.4.1. Integração IoT-BIM

Com o desenvolvimento das tecnologias, atualmente é fácil e barato instalar vários tipos de sensores dentro de um edifício. Esses sensores recolhem uma grande quantidade de dados em tempo real [6]. Nos últimos anos o volume de dados tem crescido de forma exponencial o que gerou uma crescente atenção à visualização dos dados.

Os modelos BIM são frequentemente utilizados no contexto do projeto de construção civil, contudo, as informações que este modelo fornece são cada vez mais utilizadas na gestão dos edifícios inteligentes. Estes modelos permitem a troca de dados com sensores, que possibilitam uma melhor visualização dos mesmos num formato 3D, de modo a auxiliar na gestão de um edifício.

Para uma melhor compreensão a Figura 12 apresenta uma imagem de um modelo BIM 3D conectado a uma rede de sensores, de modo a representar o nível de calor em diferentes partes de um edifício.

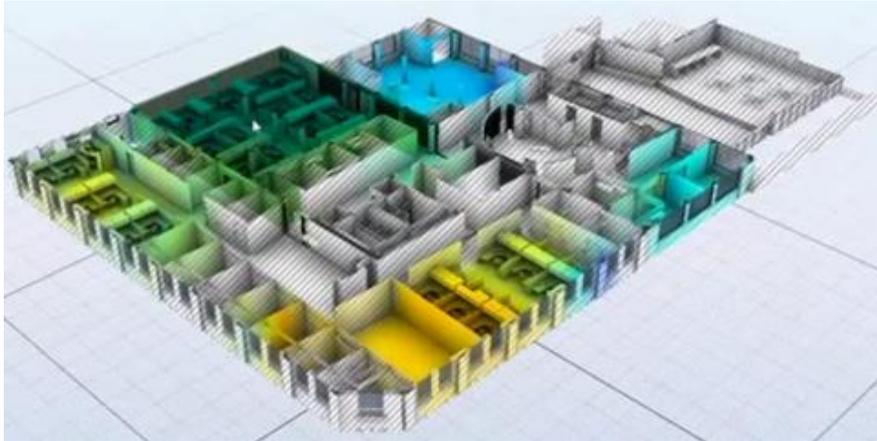


Figura 12: Integração do modelo BIM 3D com a IoT [28]

Para criação de modelos BIM podem ser utilizados diversos programas, com especial destaque para o Autodesk Revit.

Este programada foi criado com o objetivo de ajudar os profissionais da área de construção e design na elaboração de projetos. Com este programa é possível criar um projeto desde a sua parte estrutural à parte da arquitetura, e também todos os sistemas complementares como hidráulica, elétrica, sistemas mecânicos. Utilizando este sistema o utilizador consegue criar um modelo digital da sua edificação de forma bem precisa, ao mesmo tempo em que o projeto 2D é desenhado o programa desenvolve automaticamente o modelo 3D. No processo de construção e manipulação de um modelo desenvolvido utilizando o conceito BIM, vários profissionais, podem alimentar o modelo com informações [29]. Na Figura 13 é possível observar a utilização do programa Autodesk Revit para criação do modelo BIM.

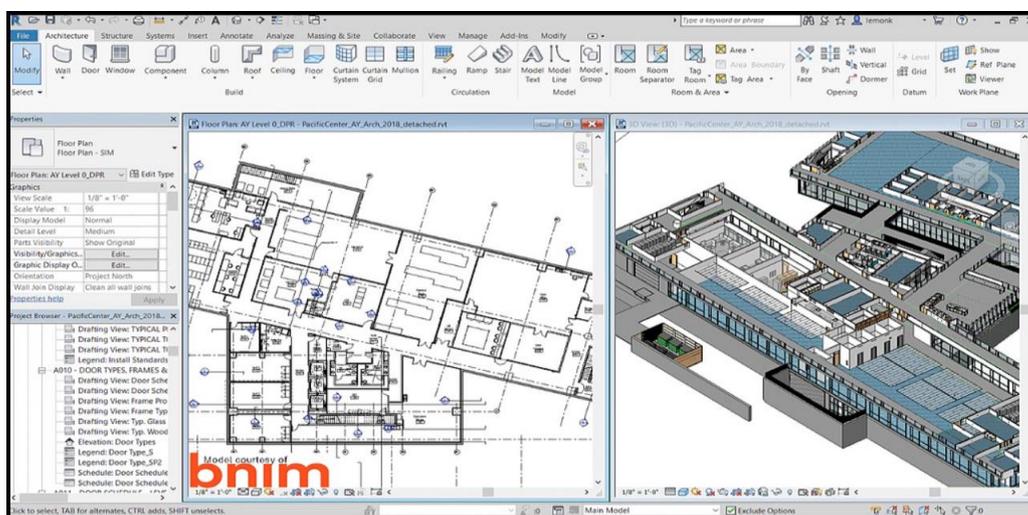


Figura 13: Criação do modelo BIM com recurso ao Autodesk Revit [29]

O ambiente físico monitorizado tem a capacidade de auxiliar na comunicação e resolução de problemas, por meio do uso de sistemas de coleta e visualização de dados em tempo real. Neste contexto, recomenda-se o potencial de utilizar o modelo BIM, com o intuito de ampliar o poder de tomadas de decisão dos utilizadores, utilizando-se o *eco-feedback*. O *eco-feedback* pode ser definido como a incorporação de informações em tempo real relacionado com níveis de consumo. Do mesmo modo, o *eco-feedback* pode ser utilizado como estratégia de sensibilização, com vista a influenciar o comportamento das pessoas e à adoção de práticas mais sustentáveis [21].

A representação de informações em sistemas de *eco-feedback* foi reconhecida como um dos fatores mais significativos para a redução do consumo de energia. Vários estudos demonstraram que tal procedimento pode induzir a um comportamento adequado a esse fim. Além disso, muitos estudos têm-se concentrado em melhorar a eficácia da representação de informações [30].

Diversas investigações concentraram-se em técnicas de codificação por cores, e os resultados mostram que as informações representadas a cores são eficazes no fomento da retenção humana e na melhoria do processo de aprendizado e da consciencialização humana [3].

Capítulo 3 – Modelo conceptual do SMCE

Como enunciado anteriormente, neste capítulo, pretende-se apresentar e explicar, cada uma das etapas de desenvolvimento do sistema proposto, o **SMCE** (Sistema de Monitorização do Consumo de Energia), como também os equipamentos necessários para o funcionamento do mesmo.

3.1. Requisitos do sistema

Inicialmente, foi necessário identificar os principais requisitos do sistema, destacando-se, entre eles, os seguintes:

- O sistema deve ser capaz de apresentar dados relacionados com o consumo de energia em tempo real por meio de plataformas de visualização;
- Representar os dados recolhidos em uma plataforma de visualização de simples perceção, como é o caso do modelo BIM 3D;
- Permitir observar o histórico do consumo de energia.

3.2. Arquitetura do sistema

O sistema proposto está dividido em 4 camadas.

Device Layer - Esta camada é composta pelo *hardware* responsável pela coleta e envio dos dados para o LoRa *gateway*. Em 3.2.1.3 é apresentado o *hardware* do sistema encarregue por recolher e enviar os dados.

Network Layer - É a camada responsável pelo transporte dos dados. A comunicação entre os dispositivos finais e o *gateway* utiliza o protocolo LoRaWAN, e do *gateway* até ao servidor de aplicação utilizando o protocolo TCP/IP.

Application layer - Esta é a camada responsável por receber os dados do *The Things Network* (TTN). Como servidor de aplicação é utilizado o Node-RED para processar os dados e armazená-los em uma base de dados.

Information Layer - Nesta última camada é onde é feita a interação com os utilizadores finais do sistema. Os dados coletados são utilizados para criar *dashboards* utilizando o Power BI, de modo a representar estas informações em gráficos. As mesmas informações são representadas por meio de cores, em um ambiente 3D utilizando o modelo BIM dos

espaços em análise para uma percepção mais fácil de modo a atrair com maior facilidade a atenção do utilizador.

Na Figura 14, é apresentada uma imagem que ilustra a arquitetura do sistema.

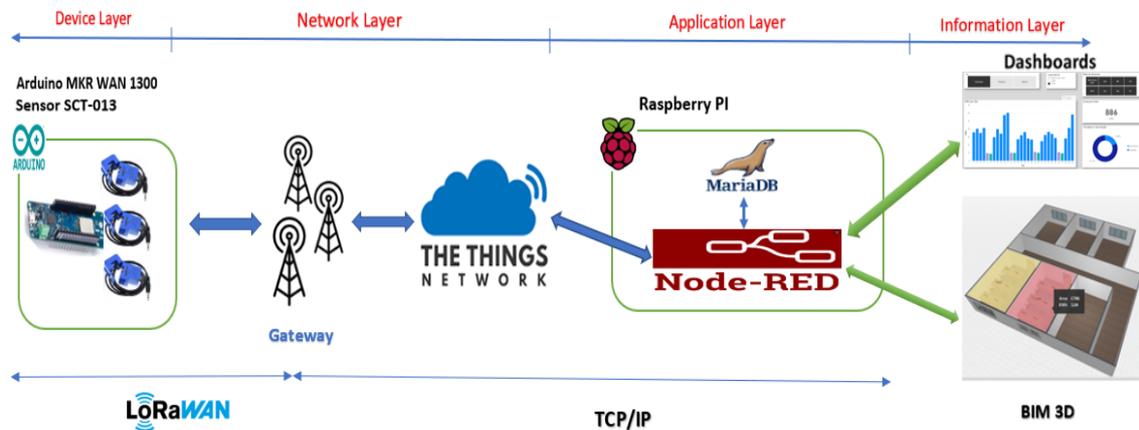


Figura 14: Arquitetura do sistema (Autor)

Cada Arduino é capaz de conectar vários sensores em simultâneo. Para este trabalho são utilizados 3 sensores por Arduino, o que permite medir 3 fases individualmente e, caso necessário, somar o valor das três fases.

Todas as placas Arduino são registadas no TTN, sendo esta uma plataforma de rede aberta que oferece um conjunto de ferramentas com o objetivo de criar uma rede de comunicações direcionada para o segmento da Internet das Coisas baseado no protocolo LoRa.

O sensor lê a corrente que passa através do fio elétrico e os dados são transferidos para o Arduino que os armazena na sua memória interna e os envia em intervalo de tempo predefinido para o LoRa gateway. Essa conexão estabelecida entre ambos é feita utilizando o protocolo LoRaWAN. Quando os dados chegam ao LoRa gateway são encaminhados para a aplicação no TTN na qual o dispositivo está registado. Toda comunicação entre o LoRa gateway e a camada de informação utiliza o protocolo TCP/IP.

Para este trabalho foi utilizado o Node-RED como servidor de aplicação. A sua principal função é receber os dados dos dispositivos finais pelo TTN e processá-los para permitir a visualização dos mesmos e enviá-los, a fim de serem armazenados na base de dados, em tabelas individuais para análise e consulta. Tanto o Node-RED como a base de dados funcionam no mesmo Raspberry Pi.

A visualização dos dados é feita na camada de aplicação por meio de *dashboards* e do Modelo BIM. Os *dashboards* são criados através do Power BI, permitindo exibir informações sobre o consumo de energia por meio de gráficos, com filtros disponíveis para analisar e fazer uma comparação sobre o histórico do consumo. O modelo BIM permite visualizar os dados do consumo de energia num formato 3D por meio de níveis de cores, o que melhora percepção e atrai com maior facilidade a atenção do utilizador. É também possível constatar rapidamente um consumo de energia anormal mediante a visualização de cores mais escuras, como é o caso da cor vermelha, que facilmente é associada a uma cor de alerta, e a verde a um estado de bom funcionamento.

3.2.1. *Device Layer*

Esta camada é responsável por interagir diretamente com o meio em que se encontra e, para tal, foram utilizados alguns componentes dos quais se destacam dois: o Arduíno MKR WAN 1300 e o sensor de corrente não invasivo (SCT-013). Ambos estão conectados por uma *breadboard*.

Como o sensor possui o seu núcleo dividido, ele é aberto e colocado em volta do fio elétrico, lendo a corrente que passa através do fio elétrico e enviando os dados para o Arduíno. Contudo, o Arduíno lê somente valores de tensão, sendo necessário instalar um circuito auxiliar para que a corrente percorra as resistências e assim seja possível converter os valores de corrente gerado pelo sensor em valores de tensão. Para montar o circuito, também foram necessários outros componentes, tais como:

- Uma placa de ensaio, também conhecida como *breadboard*;
- Duas resistências de 10 k Ω (R1 e R2) e uma resistência de carga de 23 Ω (R3);
- Um condensador de 10 μ F.

Na Figura 15 é apresentado o esquema elétrico do circuito utilizado para fazer as leituras de corrente, sendo este capaz de medir 3 fases diferentes.

A corrente alternada tem ciclos positivos e negativos (o sinal de tensão irá variar entre +1,65V e -1,65V) e, como o Arduíno não lê valores de tensões negativas, é necessário garantir que a tensão seja sempre positiva. Para que tal seja possível, tem de se acrescentar 1,65V ao sinal para que ele varie de 0V a 3,3V. Por isso, ao calcular a resistência de carga dividimos a tensão analógica de referência por 2, para assegurar que a tensão do pino do

Arduíno irá variar de 0-3,3V e utilizamos duas resistências de 10 kΩ e um condensador para formar um divisor de tensão.

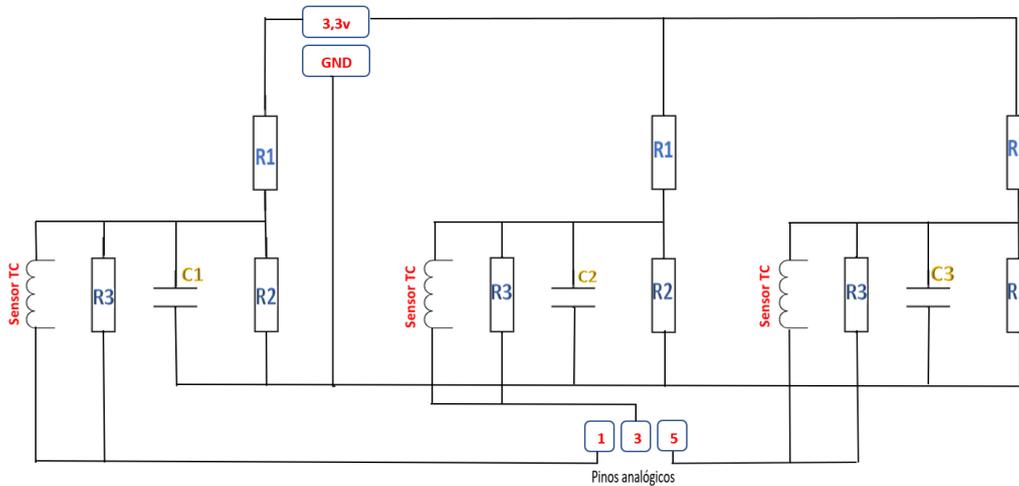


Figura 15: Esquema elétrico do circuito

Foi necessário fazer uma sequência de cálculos para determinar o valor da resistência de carga com base nas especificações do nosso sensor, de modo a aumentar a precisão dos dados recolhidos e facilitar a calibração do sensor. Esta premissa também é importante para proteger o circuito contra sobrecargas. Para se proceder ao cálculo da resistência de carga foram necessários os seguintes dados:

- A corrente máxima do sensor é de 100A;
- O número de voltas do enrolamento secundário é de 2000;
- A tensão analógica de referência é de 3,3V.

Corrente de pico primária = Corrente máxima do sensor * $\sqrt{2}$ = $100 * \sqrt{2}$ = 141,4 A

Corrente de saída do sensor = $\frac{\text{Corrente de pico primária}}{\text{Número de espiras}} = \frac{141,4}{2000} = 0,0707 \text{ A}$

Resistência de carga = $\frac{(\text{Tensão analógica de referência})/2}{\text{Corrente de saída do sensor}} = \frac{5/2}{0,0707} = 23,3\Omega$

Como não existe nenhuma resistência de 23,3 Ω, é utilizada a resistência mais próxima que é a de 23 Ω.

Na Figura 16 é possível observar os componentes utilizados para construir o dispositivo final, o qual é constituído por uma placa Arduíno conectado a uma antena LoRa e os sensores de corrente.

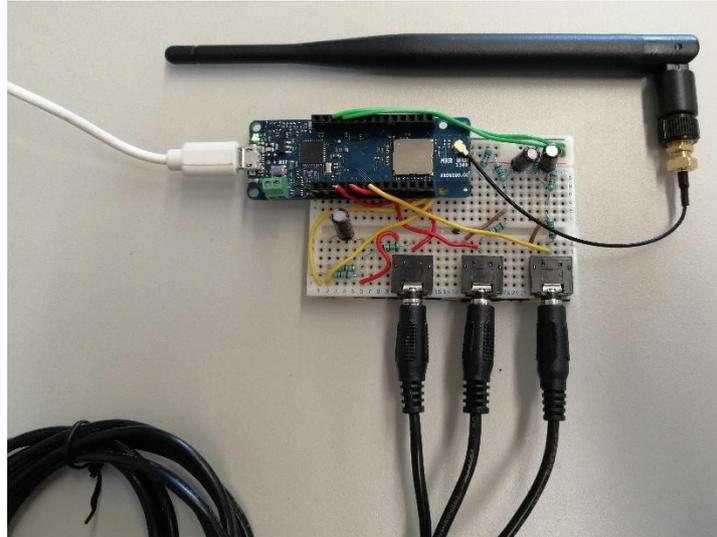


Figura 16: Construção do dispositivo final

3.2.1.1. Arduíno MKR WAN 1300

O MKR WAN 1300 é uma placa poderosa que combina a funcionalidade da conectividade MKR Zero e LoRa/LoRaWAN. Sendo uma boa opção para projetos de IoT com experiência prévia mínima em redes com um dispositivo de baixo consumo de energia. O Arduíno MKR WAN 1300 foi projetado para oferecer uma solução prática e económica visando adicionar conectividade LoRa. Diferentemente da maioria das placas esta 1300 funciona a 3,3V. A tensão máxima que os pinos de entrada e saída podem tolerar é de 3,3V. Não é recomendável a aplicação de tensões superiores a 3,3V em qualquer um dos pinos de entrada e saída, sob o risco de se poder danificar a placa [26].

Na Figura 17 pode-se observar a placa que foi utilizada neste trabalho.



Figura 17: Exemplo de uma placa Arduíno MKR WAN 1300 [31]

Na Tabela 3 são apresentadas as principais características, das quais se destacam a capacidade de incorporar uma antena e de funcionar em diferentes frequências de operação.

Tabela 3: Principais característica do Arduíno MKR WAN 1300 [31]

Fonte de alimentação da placa (USB/VIN)	5 V
Tensão de operação do circuito	3,3 V
Pinos de Entrada/Saída	8
Pinos de entrada analógica	7 (bit ADC 8/10/12)
Pinos de saída analógicos	1 (DAC 10 bits)
Memória <i>flash</i>	256 KB
SRAM	32 KB
Velocidade do relógio	32.768 kHz (RTC), 48 MHz
Frequência de operação	433/868/915 MHz
Potência da antena	2dB

Antes de decidir-se por o utilizar a placa MKR WAN 1300, foi analisado outro microcontrolador com conectividade LoRa, a placa BSFrance LoRa32u4 II, a qual também tínhamos disponível no laboratório para testes, esta também possui características muito semelhantes a primeira. Entretanto tivemos algumas dificuldades em configurar esta placa devido a pouca documentação disponível e à necessidade de soldar os pinos.

O Arduíno o MKR WAN 1300 foi escolhido pelas seguintes razões:

- Fácil de programar;
- Baixo custo (€35,00) [31];
- Permite utilizar a comunicação LoRa;
- Especificações técnicas adequadas para este trabalho.

Utilizando a ferramenta Arduíno IDE foi escrito o código em C+ e feito o *upload* para as nossas placas Arduíno MKR WAN 1300 de modo a configurar a frequência de envio dos dados. As leituras são enviadas a cada 10 minutos. Neste caso a cada uma hora são

enviadas 6 leituras, e juntamente com a sexta leitura, também é enviada a média das 6 leituras durante uma hora.

3.2.1.2. Sensor de corrente (SCT-013)

Esses tipos de sensores são também conhecidos como transformadores de corrente. São usados para a medição da corrente alternada (CA) e são, e especialmente muito úteis, para medir o consumo de energia [28]. Possuem, como principal vantagem o fato de não precisarem de contato elétrico com o circuito para medir a corrente elétrica alternada, pois têm o seu núcleo dividido o que permite envolver o fio condutor de um determinado equipamento elétrico sem ter de cortá-lo. Deste modo, não é necessário realizar nenhuma intervenção técnica com fios desencapados ou expostos. Daí serem considerados sensores não invasivos [32][33]. O funcionamento baseia-se na passagem de uma corrente elétrica do fio condutor por meio de um concentrador de núcleo ferromagnético circular, que induz uma corrente nos seus polos, proporcional à corrente que cruza o fio condutor, conforme ilustra a Figura 18.

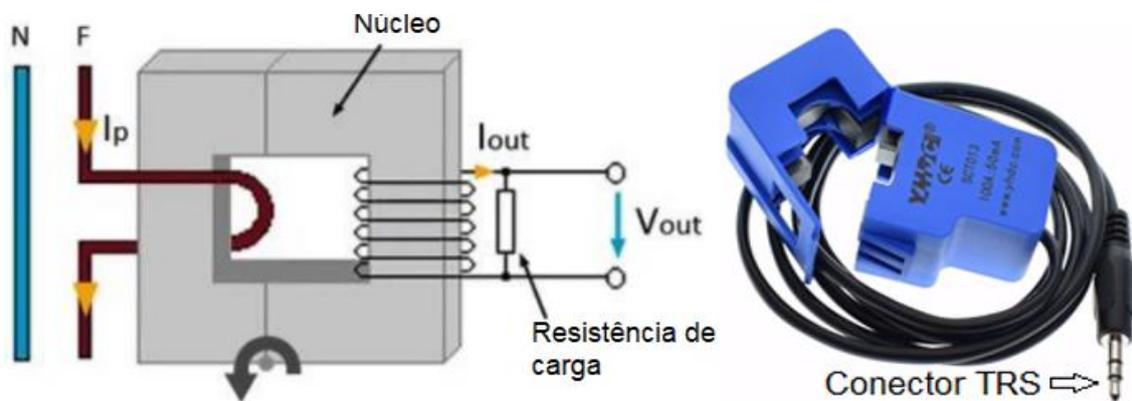


Figura 18: Sensor de corrente SCT – 013 [33]

Como a saída do sensor é um valor de corrente, esta pode ser convertida num valor de tensão, utilizando-se uma resistência de carga, de modo que seja possível utilizá-lo em microcontroladores nos quais são apenas legíveis sinais analógicos de tensão.

As principais razões para a escolha desse sensor foram as seguintes:

- Baixo custo (6,00€) [34];
- Possui um tamanho ligeiramente menor quando comparado com outros sensores do mesmo tipo, o que facilita a instalação em lugares com pouco espaço;
- O fato de ser um sensor não invasivo, sendo assim, não é necessário mexer nos circuitos elétricos;

- Possuir um conector TRS, o que facilita a interconexão entre o Arduino e o sensor.

Entretanto esses sensores apresentam algumas limitações, como por exemplo, ao medir valores muito próximos de 0, podemos alcançar uma taxa de erro de até 10%. Estes sensores também apresentam menor precisão quando comparados aos transformadores de corrente de núcleo sólido [35]. Na Figura 19 é apresentado um exemplo do transformador de corrente de núcleo aberto (a) o qual foi utilizado neste trabalho e o transformador de corrente de núcleo fechado (b).

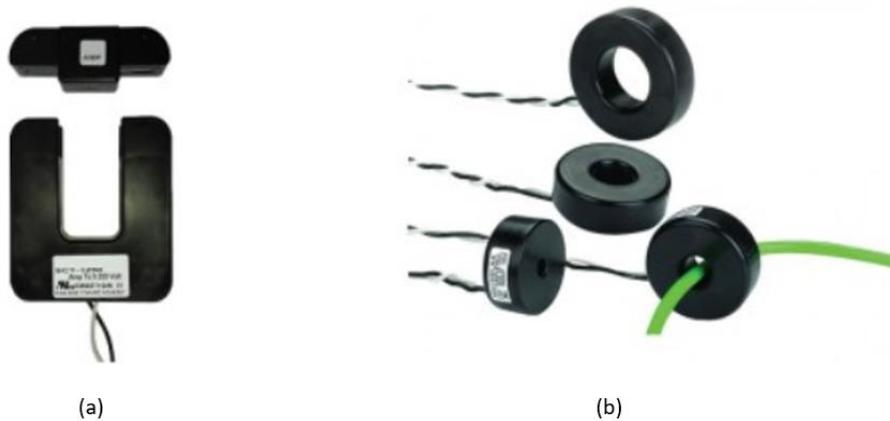


Figura 19: Tipos de sensores transformadores de corrente [35]

3.2.1.3. Protótipo desenvolvido

De modo a acomodar o *hardware* necessário para recolher os dados de energia, foi escolhida uma caixa plástica com tampa transparente com as seguintes dimensões: 120x70x30mm. O seu tamanho reduzido facilita a sua colocação nos quadros elétricos. Foi necessário fazer alguns furos nas caixas para incorporar a antena e deixar espaço para conectar os cabos dos sensores de corrente nas entradas *jack* fêmea do circuito.

O protótipo final é apresentado na Figura 20:



Figura 20: Protótipo final

3.2.2. *Network Layer*

A escolha da comunicação LoRa para este trabalho teve como finalidade a criação de um sistema que pudesse funcionar em diferentes lugares, visto que os sensores são colocados nos quadros elétricos, e em lugares de difícil acesso. Outra alternativa analisada foi a comunicação Wi-Fi que apresenta algumas limitações quando comparado com o LoRa. O Wi-Fi apresenta curto alcance, e o elevado gasto energético durante as transmissões, o que não é viável para sensores alimentados por baterias, visto que futuramente se pondera o uso destes últimos. Para este trabalho é utilizado a cobertura oferecida pela antena LoRa do ISCTE, a qual está instalada no terraço do edifício 2.

3.2.2.1. *The Things Network*

Na arquitetura do LoRaWAN os servidores de redes são responsáveis por gerenciar o envio e recebimento de dados dos dispositivos por meio dos *gateways*, organizar e armazenar os dados, verificar chaves criptográficas e as solicitações da camada de aplicações [8].

Antes de um dispositivo estar apto a transmitir ou receber mensagens via TTN é necessário que o mesmo esteja ativado e registado numa aplicação já existente no TTN, pois as chaves de segurança geradas ao registar o dispositivo têm de ser inseridas no código do Arduino para tornar possível a comunicação e garantir a confiabilidade das informações. Os dispositivos podem ser ativados utilizando-se dois métodos diferentes, designadamente:

- *Activation By Personalization (ABP)*;
- *Over-the-Air-Activation (OTAA)*.

Neste trabalho é utilizado o OTAA, por ser mais confiável e seguro, visto que as chaves são negociadas em cada ativação. O procedimento para ativação de um dispositivo, utilizando o OTAA, é baseado nas seguintes informações:

- **DevEUI** - É um identificador exclusivo de 64 bits do dispositivo atribuído pelo fabricante;
- **DevAddr** - Quando um dispositivo se junta a rede, ele recebe um DevAddr de 32 bits para ser utilizado na comunicação, e este não é exclusivo na rede;
- **AppEUI** - É um identificador exclusivo de 64 bits da aplicação na qual o dispositivo será registado;
- **AppSKey** - É uma chave exclusiva utilizada entre o TTN e o dispositivo, utilizado para encriptação da *payload* transmitida, visando garantir uma maior segurança as comunicações;
- **NwkSKey** - É uma chave exclusiva utilizada entre o TTN e dispositivo, para verificação do código de integridade das mensagens.

Quando o dispositivo é ligado, o mesmo inicia um processo *join* no qual envia um *join request* contendo o DevEUI, AppEUI e o AppKey e negocia um conjunto de chaves baseado no AppKEY, após isso o dispositivo recebe um *join accept*, primeiramente o descripta e, de seguida extrai e armazena o DevAddr, após isso é gerado a NwkSKey e o AppKey que são as chaves de segurança. A Figura 21 ilustra o processo de ativação do dispositivo.

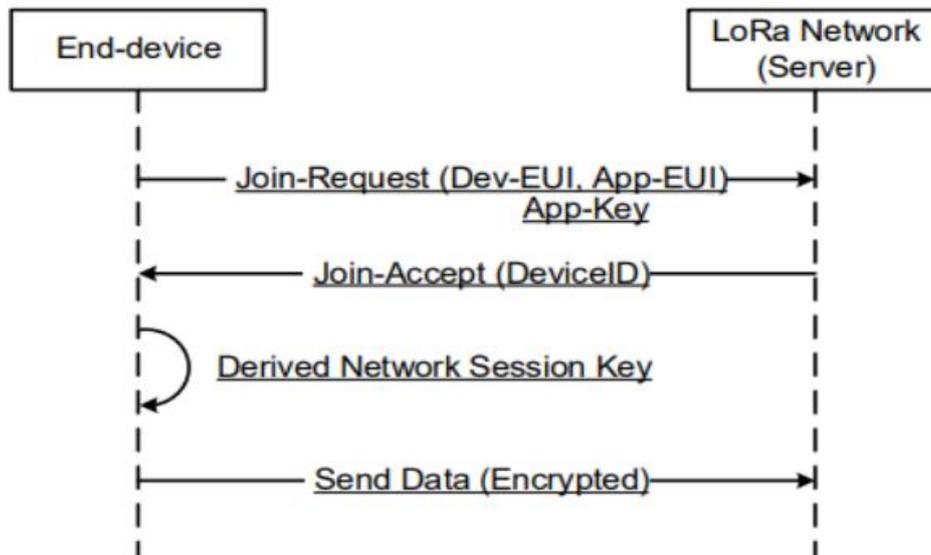


Figura 21: Processo de ativação do dispositivo [36]

3.2.3. Application Layer

A camada de aplicação é composta por serviços e aplicações funcionando no Raspberry Pi como é o caso do Node-RED e da MariaDB, ferramentas utilizadas para processar e armazenar os dados recolhidos.

3.2.3.1. Raspberry Pi

O Raspberry Pi é um computador de tamanho reduzido criado pela *Raspberry Pi Foundation* no Reino Unido, em 2009. São computadores de baixo custo com capacidade de processamento, memória e programáveis. Possui um sistema operacional em execução num cartão SD. Todo o *hardware* é integrado numa única placa, com conectividade sem fio *wireless* e *bluetooth* [37].

O Raspberry Pi foi escolhido pelas seguintes razões:

- Baixo consumo de energia;
- Baixo custo e com o poder de processamento computacional suficiente para as tarefas deste trabalho;
- Portabilidade;
- Acesso à rede Wi-Fi.

Para este trabalho o Raspberry Pi foi configurado com vista a alocar a base de dados e o servidor de aplicação. A grande vantagem é que é possível aceder e controlar a base de

dados e o servidor de aplicação de forma remota desde que o Raspberry Pi se encontre ligado à Internet.

3.2.3.2. Node-RED

O Node-RED é uma ferramenta baseada em fluxos e foi desenvolvida para interagir com dispositivos de *hardware*, APIs e serviços online com vista a simplificar os sistemas IoT. Permite a programação através de uma interface gráfica bastante simples e intuitiva baseada num navegador, e a escrita de código é feita utilizando *JavaScript*.

Para este trabalho foi utilizado o Node-RED como servidor de aplicação. Este tem como função de receber os dados do TTN, processá-los e enviá-los para a base de dados de forma estruturada. Existem dois nós que estão permanentemente conectados a aplicações externas. O MQTT, configurado para receber os dados da aplicação registada no TTN, o que é possível por meio de uma chave de acesso gerada pelo TTN e, o MYSQL, ao qual são adicionadas as credenciais para permitir o acesso à base de dados. Também foram escritos vários blocos de código em *JavaScript*, que desempenham diferentes funções, alguns deles disponíveis para observação na Figura 22. De forma geral, no Node-RED, uma mensagem contendo uma *payload* flui através de todos os nós interligados, podendo sofrer alterações como adição ou remoção de informação.

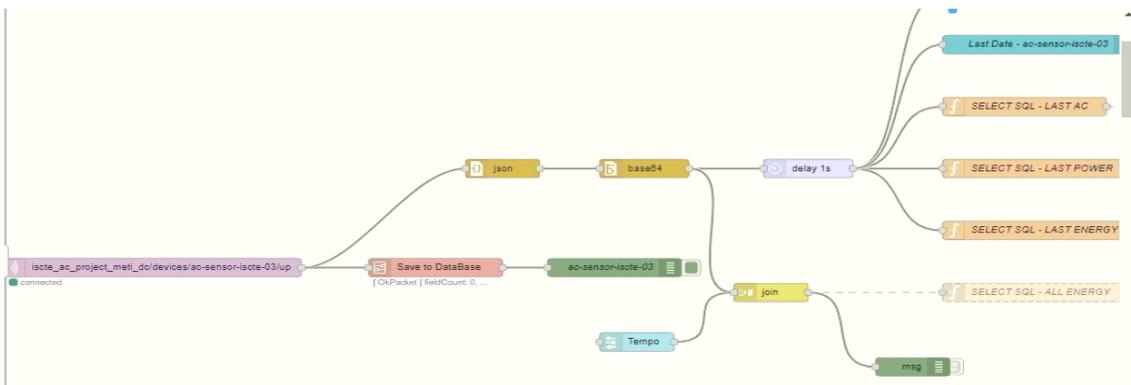


Figura 22: Exemplo de alguns dos fluxos criados no Node-RED

Como já foi explanado, a razão para a escolha do Node-RED como servidor de aplicação deve-se à sua simplicidade, que permite, plenamente, atingir as metas propostas neste trabalho, sendo ideal para ser executado em dispositivos de baixo custo, como o Raspberry Pi, e também em serviços de nuvem, possuindo uma extensa documentação disponível para consulta. Outra vantagem é que os fluxos criados no Node-RED são

armazenados em formato JSON, que pode ser facilmente importado e exportado para compartilhamento.

3.2.3.3. Base de dados

Os dados coletados são armazenados numa base de dados, e no caso concreto deste trabalho foi utilizada a MariaDB. É um modelo de base de dados relacional totalmente gratuito e *open-source*, com uma grande variedade de recursos, mantendo a compatibilidade com versões anteriores do MySQL. O esquema da base de dados utilizado para este trabalho contém cinco tabelas, como pode-se observar na Figura 23.

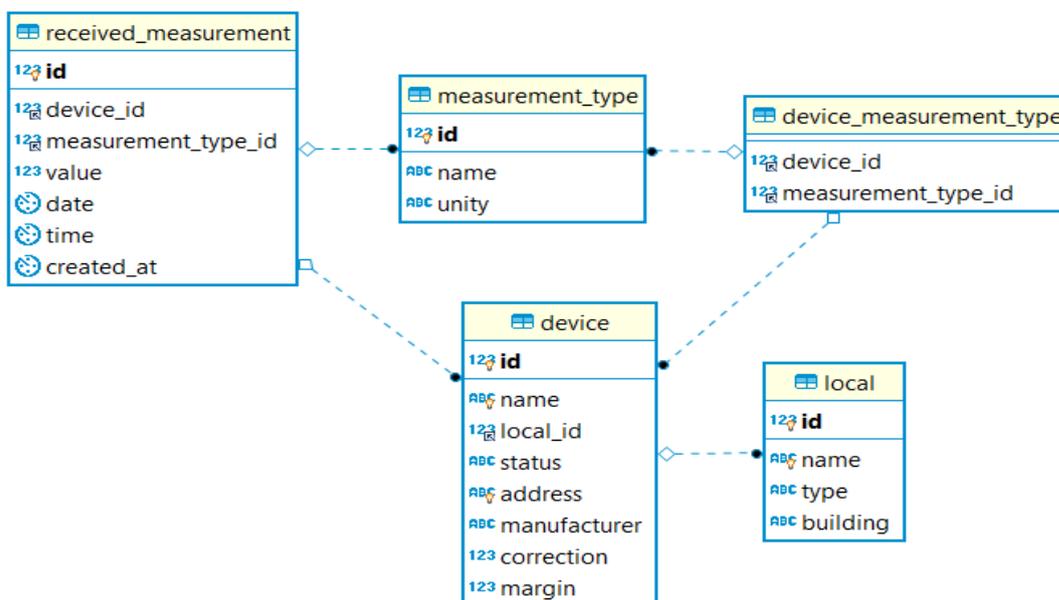


Figura 23: Esquema da base de dados

Received_measurement - É a tabela principal, onde são inseridos os valores das leituras recolhidas pelos sensores, com a respetiva data e hora em que cada mensagem foi recebida.

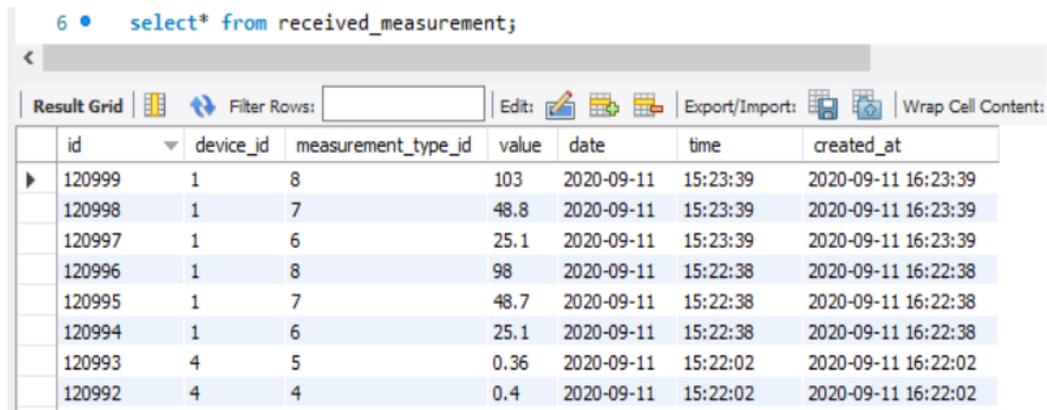
Measurement_type - Armazena os diferentes tipos de medidas que são enviadas dos sensores para a base de dados.

Device_measurement_type - Contém informações relacionadas com o tipo de medida que cada dispositivo é capaz de medir.

Device - Cada dispositivo introduzido é associado a um ID. Também são guardadas informações, tais como o nome, o local em que está colocado, e o identificador físico do dispositivo.

Local - É responsável por armazenar as informações sobre os locais em que os sensores são colocados.

Na Figura 24, estão patentes as informações introduzidas por diferentes sensores na tabela *received_measurement* em sete colunas, onde cada sensor é identificado por um *device_id*. O campo *value* armazena os dados recolhidos pelos sensores relacionados com o consumo de energia. Esta é a tabela utilizada com vista a criar-se os *dashboards* para a visualização dos dados.



id	device_id	measurement_type_id	value	date	time	created_at
120999	1	8	103	2020-09-11	15:23:39	2020-09-11 16:23:39
120998	1	7	48.8	2020-09-11	15:23:39	2020-09-11 16:23:39
120997	1	6	25.1	2020-09-11	15:23:39	2020-09-11 16:23:39
120996	1	8	98	2020-09-11	15:22:38	2020-09-11 16:22:38
120995	1	7	48.7	2020-09-11	15:22:38	2020-09-11 16:22:38
120994	1	6	25.1	2020-09-11	15:22:38	2020-09-11 16:22:38
120993	4	5	0.36	2020-09-11	15:22:02	2020-09-11 16:22:02
120992	4	4	0.4	2020-09-11	15:22:02	2020-09-11 16:22:02

Figura 24: Visualização dos dados introduzidos na tabela *received_measurement*

De modo a proteger e criar redundância dos dados, é utilizada a ferramenta SQLBackupAndFTP para realizar, todos os dias, o *backup* automático da base de dados, para serem à posterior, enviados para um serviço de armazenamento em nuvem. Deste modo, caso aconteça algum problema com a nossa base de dados, é possível recuperar os dados até o momento do último *backup*.

3.2.4. Information Layer

O nosso sistema foi dividido em dois métodos de visualização: os *dashboards* do Power BI e através do modelo BIM 3D com recurso à ferramenta Synoptic Panel que é um componente visual do Power BI, bastante útil que permite definir áreas numa imagem assim como associar cores, para diferentes áreas, preenchendo cada área com uma cor relacionada com um valor recebido. Com estes métodos de visualização pretende-se fornecer informações de modo a auxiliar na gestão do consumo de energia de forma mais eficiente em locais que estão a ser alvo de monitorização, tanto num ambiente em tempo real como a longo prazo, o que poderá permitir descobrir padrões de consumo.

Os *dashboards* do Power BI apresentam uma interface com vários elementos textuais e gráficos que ajudam na visualização dos dados contendo, também, filtros que permitem visualizar e analisar o histórico do consumo de energia. Estes *dashboards* podem ser personalizados, de acordo com a necessidade do caso em estudo.

O segundo método de visualização consiste no uso do modelo BIM 3D, com recurso à ferramenta Synoptic Panel do Power BI, que auxilia na representação dos dados, sendo estes exibidos num ambiente 3D do espaço em análise, por meio de níveis de cores para uma compreensão mais simples e intuitiva. Esta técnica permite uma interação mais simples entre o utilizador e a interface de visualização. Foi adicionado um calendário para permitir visualizar os valores apresentados em diferentes dias e horas o que possibilita fazer a comparação dos mesmos.

A visualização por meio do modelo BIM 3D tem a capacidade de atrair a atenção do utilizador por meio de cores, indicando se o consumo de energia se apresenta baixo, normal ou elevado, pois nem todos têm a capacidade de interpretar gráficos e números de modo a chegar a uma conclusão de forma imediata. Os *dashboards* do Power BI fornecem elementos e informações detalhadas, com uma maior quantidade de estatísticas tendo em vista uma análise mais complexa dos dados.

Utilizando ambos os métodos de visualização (Figura 25), consegue-se chegar a uma perceção geral sobre o consumo de energia e atingir o utilizador final, que possui poucos conhecimentos sobre o tema e também em situações em que alguém é responsável por analisar os gastos de energia de um edifício e necessita de mais informação para uma análise mais específica.

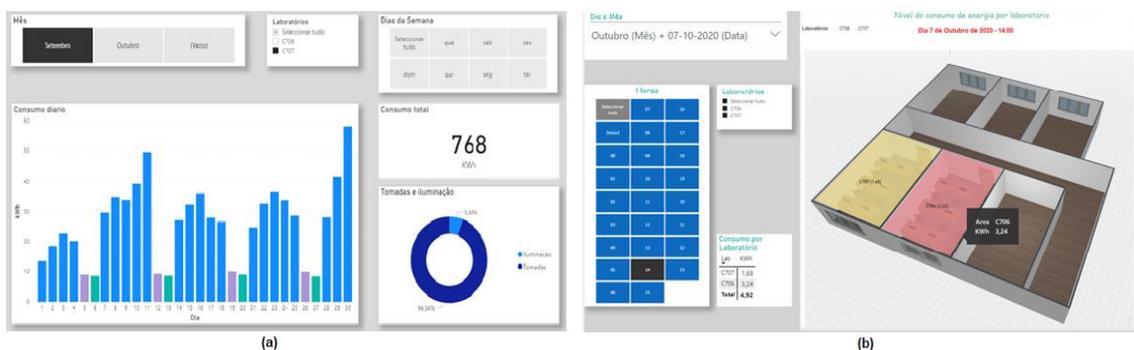


Figura 25: Plataformas de visualização utilizadas

Power BI

Segundo a Microsoft, o Power BI é uma coleção de serviços de *software*, aplicações e conectores que funcionam em conjunto para transformar as origens de dados não relacionadas em informações coerentes, visualmente envolventes e interativas. Os dados podem ser uma folha de cálculo do Excel, uma base de dados na *cloud* e outros dados proveniente de diversas fontes [38].

O Power BI foi escolhido para desenvolver a plataforma de visualização deste trabalho, visto que, é uma ferramenta poderosa e otimizada, capaz de manipular, analisar e agregar milhares de dados ao mesmo tempo e apresenta uma interface de visualização simples e agradável. Os filtros são intuitivos e fáceis de utilizar, desde que a base de dados esteja bem organizada. A versão gratuita oferece até 10GB de armazenamento em nuvem.

3.3. Orçamento

Na Tabela 4, é possível observar o preço individual dos equipamentos necessários para esta dissertação. É de destacar que o mesmo Raspberry Pi pode ser utilizado para um projeto completo com vários sensores, pois o Raspberry Pi apenas faz a função de servidor do sistema. Os equipamentos apresentados na Tabela 4 exceto o Raspberry Pi, correspondem a quantidade dos equipamentos necessários para desenvolver apenas um protótipo, como o apresentado na Figura 20, e o mesmo é capaz de medir 3 fases diferentes em simultâneo e possui um custo total de 50 € por protótipo feito.

Todo o *hardware* necessário para desenvolver este trabalho foi fornecido pela Universidade ISCTE-IUL.

Tabela 4: Orçamento dos equipamentos necessários para desenvolver um protótipo

Equipamentos	Quantidade	Preço
Raspberry Pi	1	40 €
Sensor de corrente SCT - 013	3	12 €
Arduíno MKR WAN 1300	1	35 €
Caixa plástica transparente	1	3 €

Capítulo 4 – Avaliação e resultados do sistema SMCE

Concluída a instalação do sistema, a nossa maior adversidade adveio da pandemia da Covid-19, que atrasou o cronograma previsto do trabalho. Aliado a isto tivemos dificuldades em obter a autorização para a instalação dos sensores nos quadros elétricos, com vista a finalizar os testes e colocar o sistema em funcionamento por um maior período de tempo. A avaria da antena LoRa do ISCTE, por motivo desconhecido, foi outro obstáculo que se teve de enfrentar, tendo sido necessário instalar um *gateway* LoRa de modo a se criar uma rede LoRa para se realizar os testes durante o período em que a antena esteve com problemas. Neste capítulo é apresentado o funcionamento do sistema e a apresentação dos dados recolhidos.

4.1. Caso de estudo

Os laboratórios são locais fundamentais para os professores e alunos do ISCTE onde, diariamente, desenvolvem-se projetos ou simplesmente são lecionadas aulas. Estes laboratórios estão equipados com vários equipamentos, tais como, servidores, *routers*, *switches* e computadores de trabalho. Consequentemente, estes espaços possuem um grande potencial para se explorar e analisar o consumo de energia.

Nos propusemos a monitorizar estes laboratórios, com o intuito de tentar encontrar anomalias relacionadas com o consumo de energia e criar uma visão geral do consumo de energia. A análise dos dados destes laboratórios pode servir de base para os outros laboratórios do ISCTE. Os dados analisados não incluem os consumos gerados pelo sistema AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado) uma vez que não foi possível fazer a monitorização visto que não tivemos acesso a ele, pois o sistema AVAC pertence a todo o edifício e não apenas a estes laboratórios. Foram medidas as fases pertencentes ao sistema de iluminação e das tomadas.

Os dados recolhidos são apresentados por meio de dois métodos de visualização distintos. Primeiramente, serão apresentados os resultados por meio do modelo BIM 3D dos laboratórios e, por último, através de *dashboards*, com alguns gráficos para uma análise mais estatística dos dados obtidos. Os resultados apresentados nesta investigação foram obtidos desde o dia 1 de Setembro de 2020 até o dia 20 de Outubro de 2020.

O presente trabalho está relacionado com o estudo do projeto de investigação a decorrer no ISCTE, financiado pela Fundação Calouste Gulbenkian, e tem como objetivo explorar

as opiniões da comunidade no campus do ISCTE sobre questões relacionadas com a sustentabilidade ambiental dos edifícios e espaços partilhados no ISCTE.

Na Figura 26 pode-se observar os sensores colocados juntos ao quadro elétrico.



Figura 26: Instalação dos sensores no quadro elétrico

4.2. Modelo BIM 3D dos laboratórios

Na Figura 27 é apresentado o modelo BIM 3D dos laboratórios do sétimo piso do edifício 2 do ISCTE. O software utilizado para desenvolver o modelo BIM 3D foi o Planner5D. Para este trabalho o foco será em apenas dois deles, o laboratório C706 e C707.

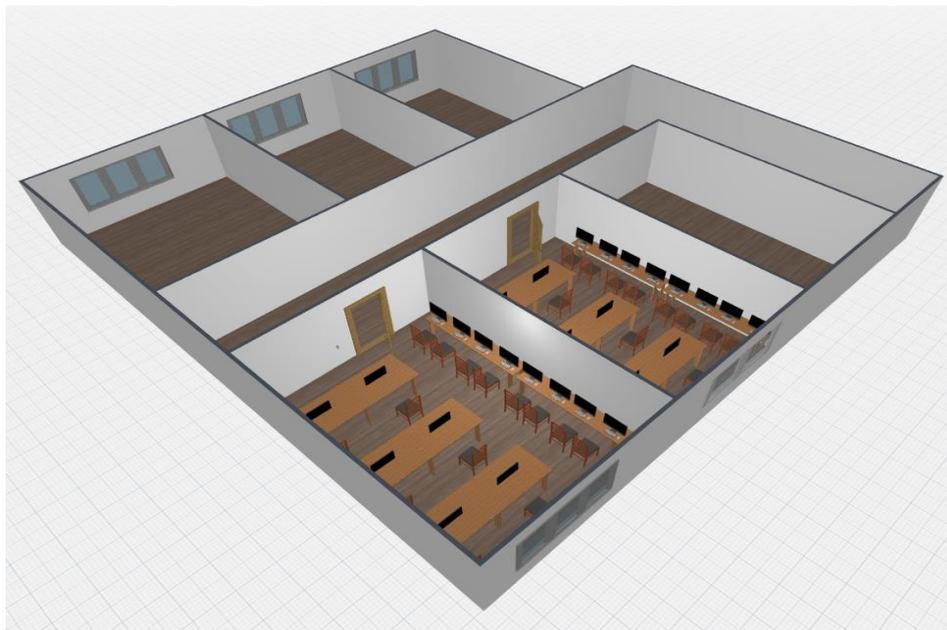


Figura 27: Modelo BIM 3D dos laboratórios

Os modelos BIM são frequentemente utilizados no contexto dos projetos de construção civil, contudo, as informações que estes modelos fornecem são cada vez mais utilizadas na gestão dos edifícios inteligentes. Estes modelos permitem a troca de dados com sensores, que possibilitam uma melhor visualização dos mesmos num formato 3D, de modo a auxiliar na gestão de um edifício.

4.3. Plataforma de visualização utilizando o modelo BIM

Nesta dissertação é apresentada uma plataforma de visualização onde é utilizado o modelo BIM 3D para dar suporte à visualização do consumo de energia dos laboratórios e facilitar a compressão dos utilizadores que os frequentam.

Conforme mencionado anteriormente, para fins de visualização do consumo de energia nos laboratórios por meio de cores no formato 3D, o modelo foi importado com recurso à ferramenta Synoptic Panel para o Power BI e integrado com a base de dados do nosso sistema, onde são armazenadas as leituras dos sensores. Utilizando o Synoptic Panel, foi possível delimitar e mapear as áreas sobre o modelo BIM apresentado, atribuindo identificadores para essas áreas, que são utilizados para identificar quais valores da base de dados correspondem a determinada área, de modo a representar o consumo de energia de uma zona por meio de cores.

Com base nos dados das leituras recolhidas foi feito o cálculo de modo a definir padrões de consumo para este trabalho e, deste modo, estabelecido que a cor verde representa valores dentro dos padrões considerados como baixo consumo, a amarela para os considerados normais, e a vermelha para os que se apresentam acima do normal.

Foi desenvolvida uma interface de visualização com alguns elementos como um calendário e botões, com as horas do dia, para que o utilizador possa visualizar a informação sobre os níveis de consumo em diferentes dias e horas como pode-se observar na Figura 28.

Consoante a data e a hora que o utilizador selecionar, será apresentado o consumo de energia correspondente ao período selecionado em Quilowatt-hora (kWh) numa pequena tabela de cada um dos laboratórios e o somatório de ambos, e de acordo com estes valores a cor de cada laboratório irá alterando.

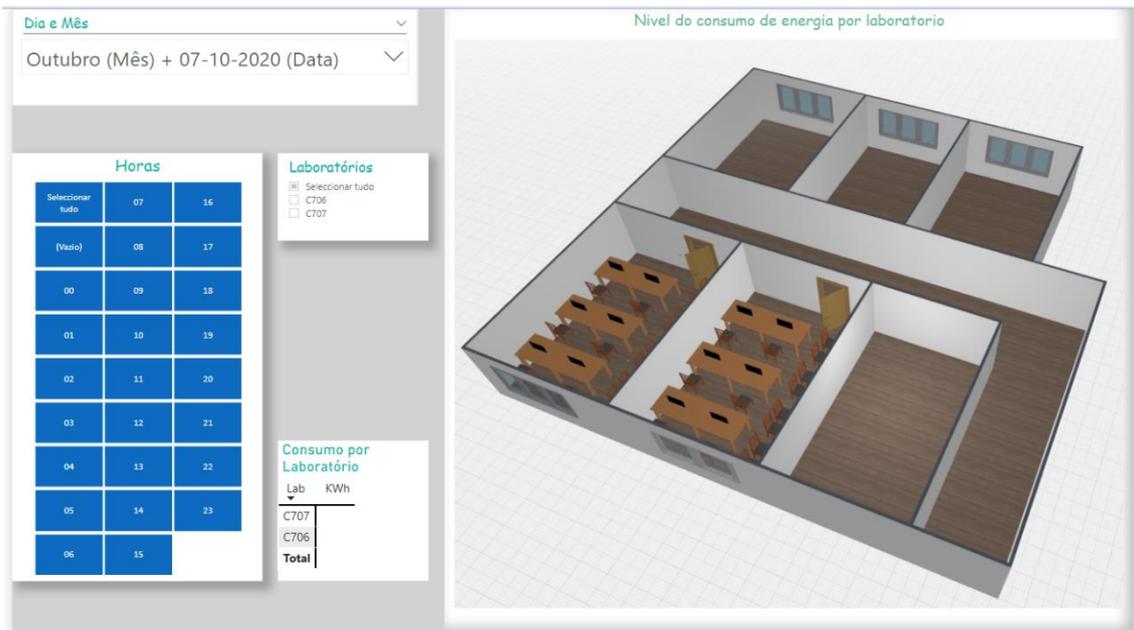


Figura 28: Plataforma de visualização no modelo BIM 3D

4.4. Apresentação dos resultados no Modelo BIM 3D

Na Figura 29 é apresentada a interface de visualização na qual foi selecionado o dia 7/10/2020 pelas 14 horas para análise dos resultados. É possível observar o consumo total de cada um dos laboratórios durante a hora escolhida. Com base nesses valores a cor de cada laboratório vai alterando. Esta abordagem de visualização é utilizada com o propósito de facilitar a interpretação da enorme quantidade de dados recolhida. O utilizador é capaz de, rapidamente, entender o nível de consumo de cada laboratório por meio das cores apresentadas.

Como é possível observar na Figura 29, também é apresentado o consumo total do período selecionado em kWh que representa a unidade de energia. Entretanto, estes números podem parecer confusos e de difícil perceção para uma grande maioria das pessoas. Com este modo de visualização selecionado, rapidamente, pode-se concluir que o laboratório C706 apresentava um consumo de energia elevado no período analisado, por isso está com a cor vermelha.

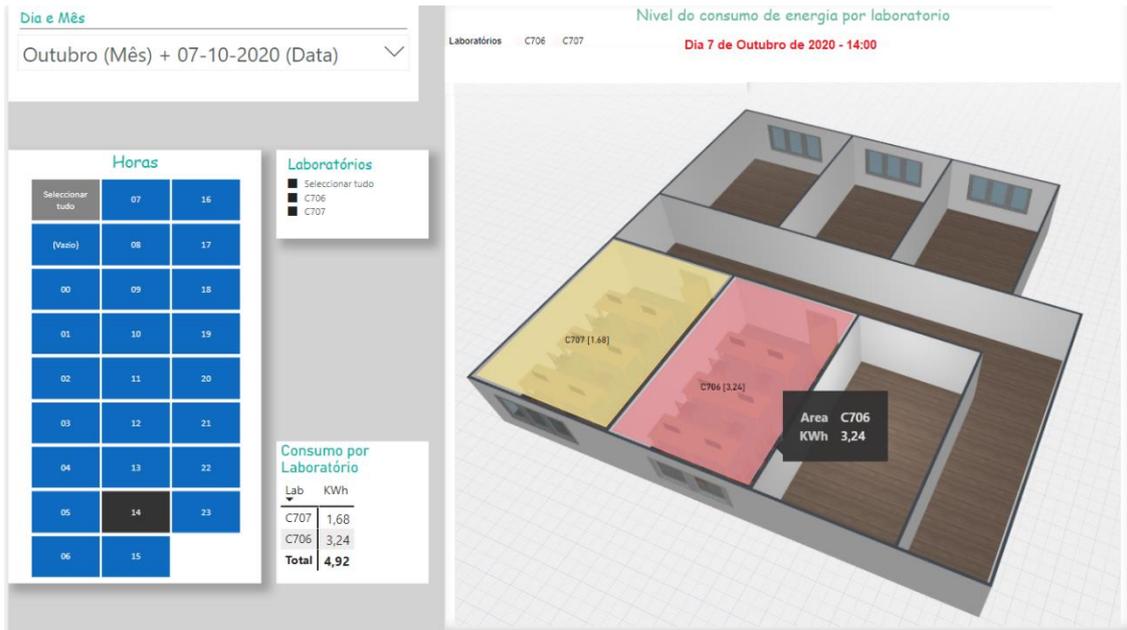


Figura 29: Plataforma de visualização com a data selecionada para o dia 07-10-2020 às 14h

Na Figura 30, ambos os laboratórios estão representados com a cor verde. Isto indica que o consumo de energia apresentado, neste período, é considerado baixo.

Durante o período da noite, entre as 23h até as 8h da manhã, o estado das salas deverá permanecer quase sempre a verde salvo algumas exceções, porque durante este período o ISCTE encontra-se fechado, caso contrário, isto pode indicar que mais equipamentos ou serviços estão em funcionamento, mais do que o habitual. A cor verde, também poderá ajudar a identificar períodos em que os laboratórios não estão a ser utilizados.

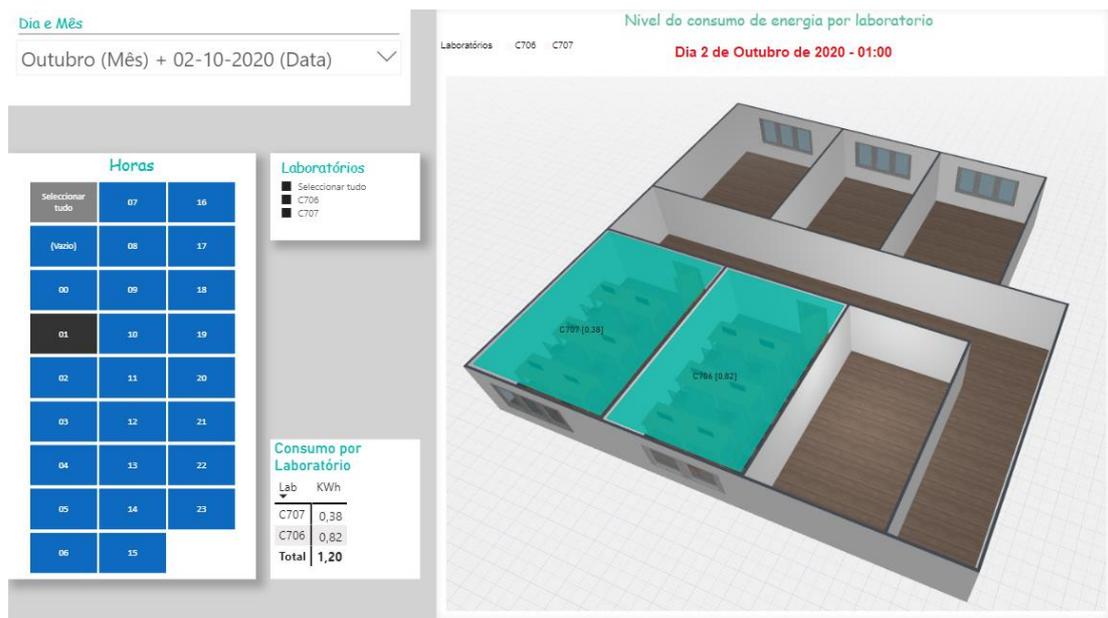


Figura 30: Plataforma de visualização com a data selecionada para o dia 02-10-2020 às 01:00h

A utilização deste método de visualização, além de disponibilizar uma ferramenta que permite aos responsáveis pela gestão do edifício de obterem uma visão geral do consumo de energia das diversas salas de aulas de forma rápida, faz, também, com que essa informação chegue às pessoas que as utilizam de forma simples e compreensível, o que poderá ajudar a influenciar as pessoas a tentarem mudar determinados hábitos, como, por exemplo, o de não desligar o computador depois do final da aula ou o de deixar a funcionar durante as aulas sem necessidade.

4.5. Plataforma de visualização utilizando os *dashboards*

Através da utilização do Power BI criou-se os *dashboards* para visualização dos dados. Com estes *dashboards* é possível fazer uma análise mais complexa sobre os dados recolhidos. Para tal estão disponíveis alguns filtros que permitem seleccionar os dados pelo mês, dia da semana e pela hora de cada laboratório. Com base numa análise detalhada é possível extrair informações tais como:

- O consumo total de um dia ou mês;
- Média do consumo diário;
- Média do consumo total pelas horas;
- Possibilidade de analisar qual dia ou hora da semana apresenta o consumo mais elevado.

Esta análise poderá ajudar a compreender o nível do consumo de energia, com o propósito de aprender com comportamentos passados que podem ser utilizados para ajudar a influenciar o resultado de eventos futuros.

Na Figura 31 pode-se observar um dos modos de visualização do *dashboard*, em que é possível analisar o consumo total diário de cada um dos laboratórios. Com base nos dados apresentados em relação ao laboratório C707, o consumo total para o mês de Setembro foi de 768 kWh. Este valor representa o somatório dos consumos relacionados com o sistema de tomadas e iluminação. Em geral a maior parte do consumo provém do sistema de tomadas, com aproximadamente 94% do consumo total.

Como já era de se esperar, os sábados marcados a roxo e os domingos a verde, foram os dias da semana com o consumo mais baixo

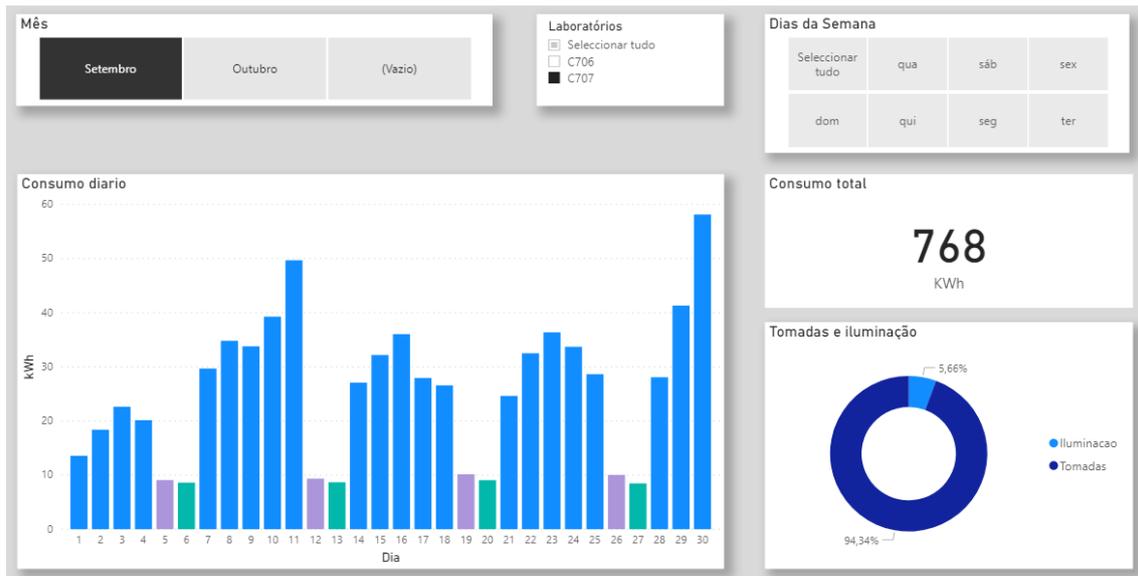


Figura 31: Visualização dos resultados para o mês de Setembro do laboratório C707

Na Figura 32 é possível observar o total de kWh gastos por cada dia da semana e durante todo o mês pelo sistema de iluminação e tomadas. Como perceptível pelo gráfico os domingos não apresentam consumo gerado pelo sistema de iluminação, uma vez que os laboratórios não são utilizados. Também é possível observar que o consumo gerado pelo sistema de iluminação durante o mês de setembro é de 44 kWh, bem inferior ao 725 kWh do sistema de tomadas.

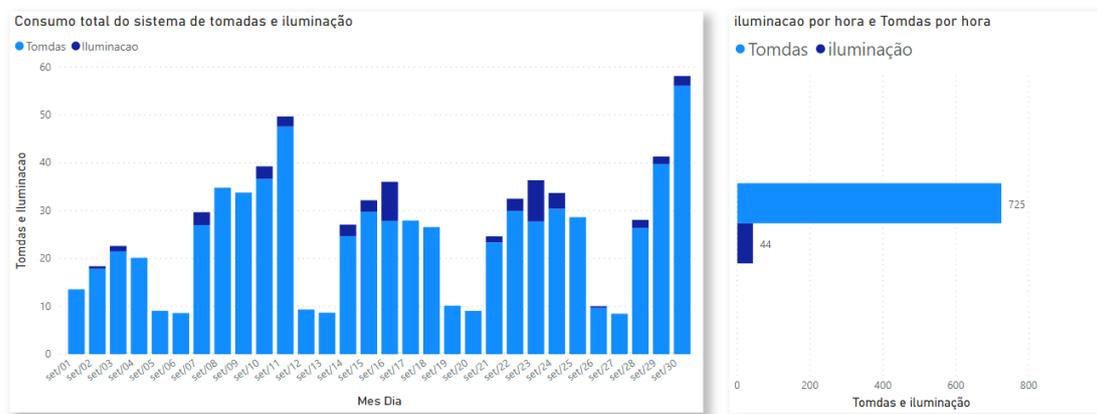


Figura 32: Visualização do consumo correspondente ao sistema de iluminação e tomadas para o mês de Setembro do laboratório C707

Na Figura 33 é apresentado o consumo médio, por hora, durante o mês de Setembro. Como se constata, o período do dia em que o consumo é mais elevado, é entre as 9 horas até às 22 horas. Depois das 23 horas este diminui para aproximadamente 0,3 kWh. O gasto contínuo, durante o período acima referido deve-se ao fato de alguns equipamentos do laboratório funcionarem 24 horas por dia como, por exemplo, os *routers* LoRa e o computador utilizado como servidor.

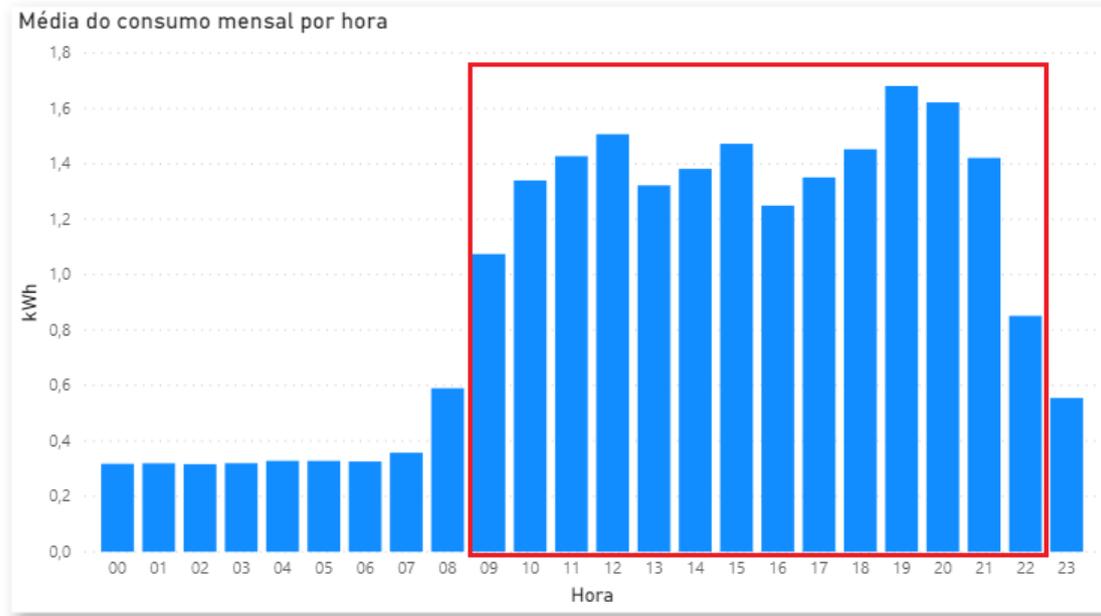


Figura 33: Consumo médio por hora

Analisando o consumo diário, por horas do sistema de iluminação durante os dias da semana, concluiu-se que as lâmpadas são, frequentemente, acesas ao longo do dia, apesar destes laboratórios possuírem duas janelas grandes que permitem a entrada de luz natural. Basicamente, estes laboratórios estão equipados com 10 lâmpadas, cada uma com 36 watts de potência. Uma das soluções para tentar minimizar este consumo, seria utilizar dois interruptores para o sistema de iluminação, cada um deles responsável por ligar metade das lâmpadas. Visto que durante o período da manhã e da tarde estas salas possuem entrada de luz natural e, caso houvesse necessidade de reforçar a iluminação durante o dia, seria possível ligar apenas metade das lâmpadas do espaço em questão.

Ao observar os dados, constatou-se que em alguns (poucos) dias as luzes não foram desligadas após o encerramento do ISCTE, como é o caso do dia 16/09/2020, as lâmpadas ficaram acesas durante a noite e só foram desligadas na manhã do dia seguinte, visto que o ISCTE encerra as suas atividades as 23 horas e só reabre as 8 horas, isto significa as luzes ficaram acesas por 9h de tempo, o que representa um desperdício de 3,24kWh. Na Figura 34 através do gráfico apresentado é possível observar o período em que as lâmpadas estão acesas e desligadas. Quando todas as lâmpadas estão acesas o consumo em média por hora é de 0,36kWh em ambos os laboratórios.

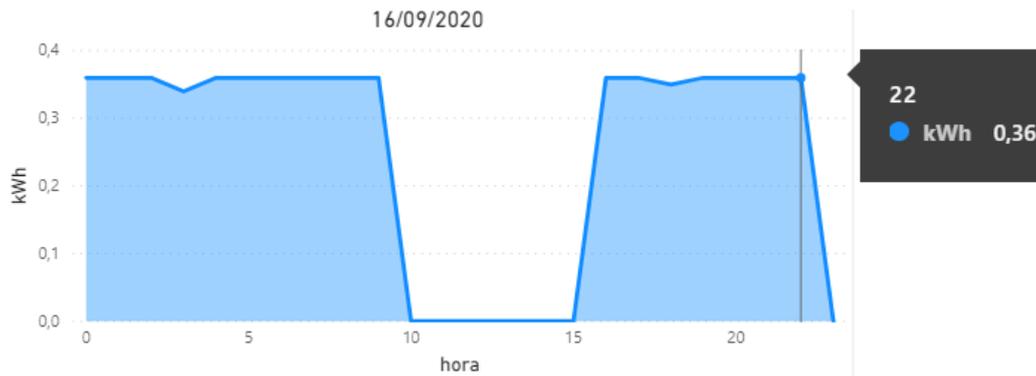


Figura 34: Consumo por hora do sistema de iluminação correspondente ao dia 16/09/2020 do laboratório C707

A Figura 35 apresenta o consumo médio por hora pelos dias da semana. Sendo a quarta-feira o dia que possui o consumo médio mais elevado, e domingo o mais baixo.

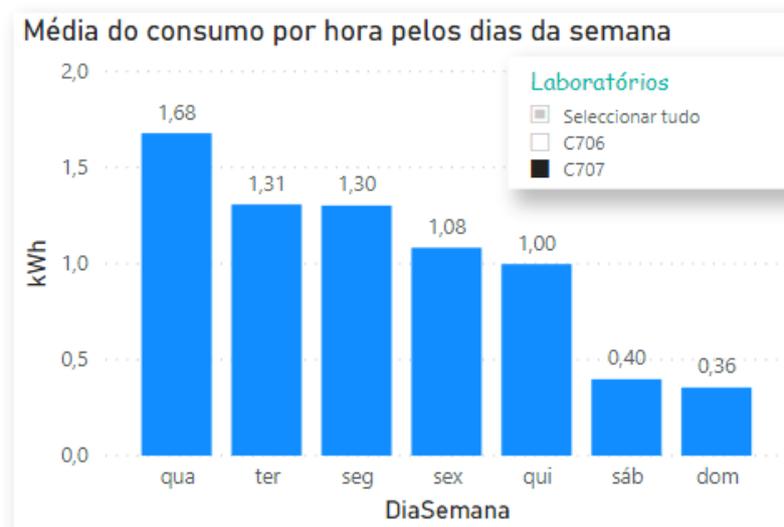


Figura 35: Consumo médio por hora pelos dias da semana do mês de Setembro

Realizando uma comparação geral entre os dois laboratórios, o C706 apresenta um consumo superior ao C707, isso pode-se justificar pelo fato, deste ser um laboratório de redes (C706), sendo assim, está equipado com vários *routers* e *switches*, dos quais, alguns permanecem em funcionamento todo o dia.

Capítulo 5 – Conclusões

Nesta dissertação, foi apresentado o SMCE, um sistema IoT desenvolvido com o intuito de monitorizar e auxiliar as pessoas na visualização do consumo de energia. Para isso, os dados recolhidos são representados em plataformas de visualização tais como, *dashboards* e em modelo BIM 3D. Os *dashboards* fornecem informações mais detalhadas, o que permite fazer uma análise mais complexa dos dados, esta é a abordagem utilizada na maioria dos sistemas IoT. Nesta dissertação é apresentada uma nova abordagem no método de visualização dos dados, onde os mesmos são representados por meio de cores em um modelo BIM 3D, no qual as cores têm papel importante em atrair a atenção e facilitar a perceção dos utilizadores.

Este trabalho foi aplicado nos laboratórios C706 e C707 do ISCTE. Uma das limitações desta análise, foi a impossibilidade de colocar o sistema em funcionamento por mais tempo, como desejado, dado que a pandemia Covid-19, limitou a recolha de uma maior quantidade de dados. Entretanto com os dados recolhidos foi possível encontrar algumas anomalias, tais como, consumos de energia incomuns durante o período da noite e o uso excessivo do sistema de iluminação durante o dia.

O meio de comunicação utilizado foi o LoRa. O mesmo mostrou-se eficiente durante o período em que o sistema esteve em funcionamento e nos testes feitos no laboratório.

O sistema possui a flexibilidade para que o mesmo possa ser replicado e instalado em mais locais do ISCTE dando uma visão mais ampla do nível do consumo de energia, e através de uma visualização 3D facilmente identificar quais locais apresentam níveis de consumos mais elevados

É de salientar que este trabalho não reduz o consumo de energia por si só, mas sim, está centrado em proporcionar meios para que os utilizadores possam visualizar o consumo de energia de forma personalizada, com o intuito de estimular a mudanças de determinados hábitos que possam contribuir para esta redução.

Este trabalho, também é um contributo para o Projeto Gulbenkian de Sustentabilidade que visa mudar o comportamento da comunidade no Campus Universitário do ISCTE-IUL. A intenção é de tentar reduzir o consumo de energia e aumentar a sustentabilidade global.

Trabalho Futuro

Abaixo, seguem-se algumas ideias e sugestões para trabalho futuro:

- Aproveitar os dados recolhidos para realizar uma análise preditiva utilizando técnicas de *machine learning* para identificar e criar predições que sejam relevantes para a gestão energética do edifício;
- Aplicar o trabalho a outros casos, mostrando que o sistema é flexível;
- Ao termos um histórico de dados vai permitir fazer um paper para se poder submeter a uma conferência.

Referências

- [1] F. A. Machado and R. Ruschel, “A Integração de BIM e IoT com Ênfase em Energia na Fase de Operação e Manutenção da Edificação,” *10º Simpósio Bras. Gestão e Econ. da Construção*, no. iv, pp. 140–150, 2017.
- [2] W. Natephra and A. Motamedi, “Live data visualization of IoT sensors using augmented reality (AR) and BIM,” *Proc. 36th Int. Symp. Autom. Robot. Constr. ISARC 2019*, no. May, pp. 632–638, 2019.
- [3] H. Truong, A. Francisco, A. Khosrowpour, J. E. Taylor, and N. Mohammadi, “Method for visualizing energy use in building information models,” *Energy Procedia*, vol. 142, pp. 2541–2546, 2017.
- [4] U.S. Energy Information Administration, “EIA projects 48% increase in world energy consumption by 2040,” *Pipeline and Gas Journal*, 2016. [Online]. Available: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=32912>. [Accessed: 27-May-2020].
- [5] EDP, “#EnergyOutlook 2017 EDITION,” 2017. [Online]. Available: <https://www.edp.com/sites/default/files/eo2017.pdf>. [Accessed: 08-Aug-2020].
- [6] H. Wang, A. Gluhak, S. Meissner, and R. Tafazolli, “Integration of BIM and live sensing information to monitoring building energy performance,” p. 9, 2013.
- [7] F. A. Machado, “Suporte à gestão de energia da edificação. Implementation of a BIM / IoT solution for the building energy management support,” *II Simpósio Bras. Tecnol. Informação e Comun. na Construção*, no. August, 2019.
- [8] D. Kazado, M. Kavgic, and R. Eskicioglu, “Integrating building information modeling (BIM) and sensor technology for facility management,” *J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 24, no. August, pp. 440–458, 2019.
- [9] K. Chooruang and K. Meekul, “Design of an IoT Energy Monitoring System,” *Int. Conf. ICT Knowl. Eng.*, vol. 2018-Novem, no. November 2018, pp. 48–51, 2019.
- [10] L. Pocero, D. Amaxilatis, G. Mylonas, and I. Chatzigiannakis, “Open source IoT meter devices for smart and energy-efficient school buildings,” *HardwareX*, vol. 1, pp. 54–67, 2017.
- [11] Sense, “Take command of your energy use.” [Online]. Available: <https://sense.com/product/>. [Accessed: 17-Aug-2020].

- [12] Engage, “Energy monitoring made easy.” [Online]. Available: <https://engage.efergy.com/>. [Accessed: 18-Aug-2020].
- [13] ENERGI LUX®, “Energia e sustentabilidade: entenda o poder dessa combinação,” 2018. [Online]. Available: <https://blog.energilux.com.br/energia-e-sustentabilidade/>. [Accessed: 01-Jun-2020].
- [14] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, and F. Meyer, “A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment,” *ICT Express*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2019.
- [15] Portal Direito Ambiental, “Internet das coisas, sustentabilidade e tributação.” [Online]. Available: <https://direitoambiental.com/internet-das-coisas-sustentabilidade-e-tributacao/>. [Accessed: 02-Jun-2020].
- [16] M. Segura, “A internet das coisas e a recriação do marketing,” *Organicom*, 2015. [Online]. Available: <https://cio.com.br/a-internet-das-coisas-e-a-sustentabilidade-do-negocio/>. [Accessed: 25-May-2020].
- [17] G. Pinto, “IoT e sustentabilidade: inovação de mãos dadas com o meio ambiente.” [Online]. Available: <https://v2com.com/2020/05/17/iot-e-sustentabilidade/>. [Accessed: 01-Jun-2020].
- [18] International Energy Agency (IEA), “World Energy Outlook 2019 – Analysis - IEA,” *World Energy Outlook 2019*, 2019. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>. [Accessed: 25-May-2020].
- [19] C. Ibsg and A. Dave Evans, “Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG) A Internet das Coisas Como a próxima evolução da Internet está mudando tudo,” 2011.
- [20] Cisco, “Internet of Things,” *Cyber Resil. Syst. Networks*, vol. 1, no. 2, pp. 1–150, 2009.
- [21] G. W. Denardin, “Roteamento geográfico para redes de sensores e atuadores sem fio em redes urbanas de comunicação,” 2012.
- [22] L. Fermino and V. P. Borin, “Internet das Coisas : tecnologias de comunicação sem fio e aplicações,” 2016.
- [23] SEMTECH, “What is LoRa?” [Online]. Available: <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>. [Accessed: 05-Jun-2020].
- [24] I. NCB, “tecnologia LoRa.” [Online]. Available: <https://newtoncbraga.com.br/index.php/electronica/52-artigos-diversos/11992->

- conheca-a-tecnologia-lora-e-o-protocolo-lorawan-lor001. [Accessed: 06-Jun-2020].
- [25] J. . Ferreira, “Seminar on IoT for Smart Cities (IoT System Applications),” pp. 1–26, 2019.
- [26] K. M. Chang, R. J. Dzung, and Y. J. Wu, “An automated IoT visualization BIM platform for decision support in facilities management,” *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 7, 2018.
- [27] F. A. Machado and R. C. Ruschel, “Solutions integrating bim and internet of things in building life cycle : a critical review,” vol. 9, no. 3, pp. 240–258, 2018.
- [28] J. Farooq, P. Sharma, and R. Sreerama Kumar, “Applications of building information modeling in electrical systems design,” *J. Eng. Sci. Technol. Rev.*, vol. 10, no. 6, pp. 119–128, 2017.
- [29] “Revit: o que é, como usar o programa e principais vantagens.” [Online]. Available: <https://arquitetoleandroamaral.com/revit/>. [Accessed: 26-Nov-2020].
- [30] F. Lopes and D. E. Alves, “Design for sustainability : eco-feedback strategies for the reduction of urban solid waste,” no. May 2020, 2017.
- [31] Arduino, “Arduino MKR WAN 1300 (LoRa connectivity).” [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/arduino-mkr-wan-1300-lora-connectivity-1414>. [Accessed: 28-Jun-2020].
- [32] I. Del Giudice, D. Limauro, E. Pedone, S. Bartolucci, and G. Fiorentino, “A novel arsenate reductase from the bacterium *Thermus thermophilus* HB27: Its role in arsenic detoxification,” *Biochim. Biophys. Acta - Proteins Proteomics*, vol. 1834, no. 10, pp. 2071–2079, 2013.
- [33] L. M. Sousa, “Desenvolvimento de um sistema de baixo custo para o monitoramento do desgaste de ferramenta de corte via corrente elétrica.” 2019.
- [34] Banggood, “AC 30A SCT-013-030 Non-invasive Split Core Current Transformer,” 2020. [Online]. Available: https://www.banggood.com/AC-30A-SCT-013-030-Non-invasive-Split-Core-Current-Transformer-p-937111.html?cur_warehouse=CN. [Accessed: 02-Jul-2020].
- [35] Open LearnEnergyMonitor, “CT sensors - An Introduction.” [Online]. Available: <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ct-sensors/introduction>. [Accessed: 01-Oct-2020].
- [36] I. Microchip Technology, “Join Types.” [Online]. Available: <https://microchipdeveloper.com/lora:join-types>. [Accessed: 08-Jul-2020].

- [37] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, “The Internet of Things: A survey,” *Comput. Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, 2010.
- [38] © Microsoft, “Power BI.” [Online]. Available: <https://docs.microsoft.com/pt-pt/power-bi/fundamentals/power-bi-overview>. [Accessed: 05-Sep-2020].