



Desenvolvimento de uma plataforma IoT para a gestão eficiente do consumo de água

RUI PEDRO MARQUES NUNES

novembro de 2022

POLITÉCNICO DO PORTO
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

Desenvolvimento de uma plataforma IoT para a gestão eficiente do consumo de água

Rui Pedro Marques Nunes

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Área de Especialização em Automação e Sistemas



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA
Instituto Superior de Engenharia do Porto

Novembro, 2022

Esta dissertação satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Unidade Curricular de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Área de Especialização em Automação e Sistemas.

Candidato: Rui Pedro Marques Nunes, Nº 1170375, 1170375@isep.ipp.pt

Orientação Científica: António Almeida, aha@isep.ipp.pt

Empresa: Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência

Orientador: Paulo Sá Marques, paulo.s.marques@inesctec.pt



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA
Instituto Superior de Engenharia do Porto
Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto

Novembro, 2022

Agradecimentos

A realização desta dissertação não seria possível sem o apoio de algumas pessoas, às quais gostaria de deixar uma palavra de apreço.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha família, principalmente ao meus pais, pessoas que sempre me apoiaram em tudo e fizeram com que fosse possível estar onde estou hoje e atingir os meus sonhos.

À minha namorada e aos meus amigos que me acompanham e alegram desde sempre e cujo apoio foi essencial para a conclusão desta dissertação. Por todos os momentos e experiências que passamos juntos, seja diversão ou estudo.

Ao meu orientador no INESC TEC, Paulo Sá Marques, pela sua paciência na minha adaptação e ajuda na integração ao centro de investigação.

Ao meu orientador da dissertação, António Henrique Almeida, tanto pela sua orientação como pela ajuda na própria escrita. Agradecer pelo seu bem estar e pro atividade nas reuniões realizadas.

Por fim, gostaria de agradecer ao INESC TEC, principalmente o centro de investigação CESE, por me terem acolhido de braços abertos no seu meio de trabalho com muita alegria.

Rui Nunes

Resumo

O conceito *Internet of Things*, que é a ligação entre objetos do dia-a-dia através de tecnologias inteligentes, tem ganho bastante atenção nos últimos anos. Esta tecnologia apresenta diversas vantagens, tanto a nível social como económico, e visa resolver problemas de uma forma automatizada com recursos a dispositivos inteligentes.

Um dos problemas atuais dos países desenvolvidos é o seu consumo de energias de origem fóssil, havendo uma corrida entre os países para cada vez depender menos dessas energias. As nações mais organizadas têm como objetivo tanto reduzir o consumo de energia, como as emissões atmosféricas de gases de efeito de estufa, isto através de eficiência energética e energias renováveis.

A União Europeia afirmou que um dos maiores consumos de energia são os edifícios, atingindo por vezes 40% do consumo total. Este valor é de grande parte representativo do domínio termal, ou seja, aquecedores, ventilação e sistemas de ar condicionado. O projeto em que esta dissertação se enquadra visa ajudar neste problema. O projeto tem como objetivo desenvolver um chuveiro inteligente de forma a reduzir tantos os consumos de água como os consumos de energia.

Esta dissertação é relativa a uma parte deste projeto, tendo como objetivo criar uma plataforma IoT capaz de receber mensagens de um conjunto de sensores, guardar e tratar os dados lidos, e por fim criar uma API capaz de ter uma ligação com uma APP *mobile*, externa a este relatório, de forma a haver interação dos dados com o utilizador do produto. Será então apresentado uma revisão de literatura com o fundamento teórico essencial para o desenvolvimento do trabalho desenvolvido, bem como a sua implementação, através da demonstração e explicação da arquitetura da plataforma em detalhe e o código desenvolvido desde a criação da base de dados necessária para o armazenamento dos dados até à criação da API e as suas rotas.

Palavras-Chave: *Internet of Things*, edifícios, eficiência energética, sensores, tecnologia, comunicação, dados.

Abstract

The Internet of Things concept, which is the connection between everyday objects through the use of smart technologies, has gained a lot of attention in recent years. This technology has several advantages, both socially and economically, and aims to solve problems by automated means and smart devices.

One of the problems of developed countries is their energy consumption of fossil origin, with a race between countries to increasingly depend less on those energies. The most organized nations aim to reduce both the consumption of energy, like greenhouse gases, through energy efficiency and renewable energies.

The European Union stated that one of the biggest energy consumptions is in buildings, sometimes reaching 40% of total consumption. This value is largely representative of the thermal domain, i.e. heaters, ventilation and air-conditioning systems. The project that this dissertation is part of aims to help in this problem. The project aims to develop a smart shower in order to reduce both water consumption and energy consumption.

This dissertation is related to a part of this project, aiming to create an IoT platform capable of receiving messages from a set of sensors, ensuring give and process the read data, and finally create an API capable of having a connection with a mobile APP, external to this report, in order to interact with the data with the product user.

A literature review will then be presented with the essential theoretical foundation for the development of the work developed, as well as its implementation, through the demonstration and explanation of the platform architecture in detail and the code developed since the creation of the database necessary for the data storage until the creation of the API and its routes.

Keywords: Internet of Things, buildings, energy efficiency, sensors, technology, communication, data.

Índice

Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	ix
Lista de Acrónimos	xi
1 Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Motivação	2
1.2.1 Objetivos	2
1.2.2 Questões de Investigação	3
1.3 Organização da Dissertação	4
2 Estado da Arte	5
2.1 Internet of Things	5
2.1.1 <i>How it Works?</i>	6
2.1.2 Potencial da Internet of Things	7
Vantagens	7
Desvantagens	8
2.1.3 Plataformas IoT para gestão de energia térmica em edifícios	9
Controlo de equipamento elétrico	12
Controlo do sistema de luzes	13
Sistemas de ar condicionado	13
Consumo de água	14
2.1.4 Futuro da IoT	15
2.2 Arquitetura IoT	16
2.3 <i>Data analytics</i>	18
2.3.1 Características dos dados IoT	19
2.3.2 Categorias da <i>Big Data</i>	20
2.3.3 Fases da análise de dados	21
2.3.4 Desafios da análise de dados	22
2.4 Protocolos IoT	23
2.4.1 AMQP	23
2.4.2 CoAP	24

2.4.3	MQTT	25
2.4.4	OPC UA	26
2.4.5	DDS	27
2.5	Apache Kafka	28
2.5.1	Conceitos chave	30
	<i>Zookeeper</i>	30
	Tópicos e partições	30
2.6	Sensores Inteligentes	31
2.7	Conclusões	33
3	Desenvolvimento	35
3.1	Descrição do projeto	35
3.2	Requisitos do Sistema Inteligente de Duche	38
3.3	Arquitetura Proposta	40
3.4	Comunicação dos dados	42
3.5	Modelo de Dados	44
	3.5.1 Tratamento e disponibilização dos dados	45
3.6	Exemplificação do Fluxo de Dados	50
3.7	Conclusão	55
4	Caso de Aplicação	57
4.1	Introdução	57
4.2	Instalação	58
4.3	Consulta dos KPI's	58
4.4	Testes do equipamento	59
4.5	Conclusões	59
5	Conclusões e trabalho futuro	61
5.1	Conclusões principais	61
5.2	Trabalho Futuro	62
	Referências	63

Lista de Figuras

2.1	Diagrama da interação entre a IoT, a <i>Cloud</i> e a <i>Big Data</i> [13].	10
2.2	Tecnologias inteligentes numa casa [12].	11
2.3	Relé Shelly implementado numa tomada [15].	12
2.4	Evolução do número de dispositivos IoT [16].	15
2.5	Arquitetura IoT.	17
2.6	Características da <i>Big Data</i> . Adaptado de [24]	19
2.7	Diagrama das categorias de análise.	21
2.8	Fases de análise de dados.	21
2.9	Arquitetura AMQP [18].	24
2.10	Exemplo de troca de mensagens entre cliente e servidor CoAP [32].	25
2.11	Arquitetura do protocolo MQTT [34].	26
2.12	Domínio do DDS [18].	28
2.13	Diagrama de mensagens através do Kafka [35].	29
2.14	Exemplo de um tópico [36].	31
2.15	Diagrama dos domínios [37].	31
2.16	Componentes de um sensor inteligente [39].	32
3.1	Arquitetura eletromecânica do sistema.	37
3.2	Arquitetura do sistema inteligente.	40
3.3	Modelo de uma <i>hypertable</i> [40].	42
3.4	Diagrama da comunicação de dados.	43
3.5	Diagrama da comunicação entre o utilizador e os dados.	48
3.6	Envio da mensagem através da aplicação MQTTX.	50
3.7	Visualização dos tópicos e mensagens enviados.	51
3.8	Visualização dos dados de um banho na base de dados.	53
3.9	Visualização dos dados de cinco eventos diferentes na base de dados.	53
3.10	Visualização da <i>data</i> enviada num evento de mudança de temperatura.	54
3.11	Exemplo de um pedido do KPI eficiência.	54
3.12	Exemplo de um pedido para inserir os KPI's na tabela destinada.	55

Lista de Tabelas

3.1	Modelo de informação de um banho.	44
3.2	Modelo de informação de um evento.	45
3.3	Modelo de informação dos KPI's.	45
3.4	Pedidos HTTP dos eventos.	48
3.5	Pedidos HTTP dos banhos.	49
3.6	Requisitos resolvidos.	50

Lista de Acrónimos

6LoWPAN	<i>Low Power Personal Area Network</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
APP	Aplicação
AQS	Águas quentes sanitárias
BD	<i>Big Data</i>
CC	<i>Cloud Computing</i>
CESE	Centro de Engenharia de Sistemas Empresariais
CoAP	<i>Constrained Application Protocol</i>
CRIIS	Centro de Robótica Industrial e Sistemas Inteligentes
DTLS	<i>Datagram Transport Layer Security</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IAAS	<i>Infrastructure as a Service</i>
IBM	<i>International Business Machines</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
INEGI	Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial
INESC TEC	Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência
IoT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>

LPWAN	<i>Low-Power-Wide-Area-Networks</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MQTT	<i>Message Queue Telemetry Transport</i>
NIH	<i>National Institute of Health</i>
NSF	<i>National Science Foundation</i>
OASIS	<i>Organization for the Advancement of Structured Information Standards</i>
OMG	<i>Object Management Group</i>
PAAS	<i>Platform as a Service</i>
REST	<i>Representational State Transfer</i>
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
SAAS	<i>Software as a service</i>
TCP	Protocolo de controlo de transmissão
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
URI	<i>Uniform Resource Identifier</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização

Desde os últimos anos existe uma maior preocupação para o consumo de energia e consumo de energias de origens fósseis, tanto pelo facto da vida do planeta Terra como por motivos económicos e tecnológicos. Os países desenvolvidos industrialmente continuam num esforço para implementar métodos e tecnologias que permitam o consumo de menos energia e com isso reduzir também as emissões de efeito de estufa, através da eficiência energética e energias renováveis.

O setor civil, principalmente na segmentação dos edifícios, não está isento destes avanços, exigindo uma eficiência energética responsável aos novos edifícios e promovendo os edifícios já existentes a adotar diversas melhorias. A União Europeia afirma que o sector dos edifícios é responsável por aproximadamente 40% do consumo total de energia, sendo que o aquecimento e arrefecimento de edifícios constituem a maior fonte de procura de energia na Europa [1]. Cerca dos 75% dos edifícios já existentes, públicos e privados, possuem um desempenho energético abaixo dos requisitos da *Energy Performance of Buildings Directive*. Desta forma, o potencial de economia de energia nos edifícios é enorme, sendo que mais de metade do consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética [2].

No caso de Portugal, devido à menor necessidade de arrefecimento e sobretudo de aquecimento dos edifícios, os consumos nestes setores representam cerca de 30% da energia utilizada para consumo final. Face a isto e relativamente ao contributo para a descarbonização, o setor dos serviços deverá ser o mais solicitado, com a previsão de uma redução de 70% das emissões no ano de 2030, enquanto o setor residencial será responsável por uma redução de 35% das emissões de dióxido de carbono, ambos em relação a 2005 [1].

Em suma, em todos os setores referidos, o potencial de redução dos diversos tipos de energia é significativa.

1.2 Motivação

Um dos desperdícios focados nesta dissertação é a energia térmica, nomeadamente os fluxos de energia térmica nas correntes de água residual (denominadas por águas cinzentas) resultante da utilização de banhos, lavandarias ou cozinhas.

Assim sendo, torna-se fundamental desenvolver ferramentas, metodologias e sistemas para a promoção da descarbonização do setor dos serviços através de métodos de recuperação de calor residual, armazenamento de energia térmica e otimização da gestão de energia térmica nos edifícios. É neste contexto que o projeto descrito nesta dissertação pretende dar resposta a um conjunto de fatores críticos e falhas identificadas no mercado, que se prendem fundamentalmente com a inexistência de sistemas integrados de recuperação e armazenamento de energia térmica para o setor dos serviços, particularmente nos setores de turismo, ginásios, hospitais e outros serviços de carácter social, como creches ou lares de idosos. Também pretende que estes sistemas contemplem igualmente sistemas de automação e controlo dedicados, com base na digitalização, aquisição e tratamento de dados da produção e gestão da energia térmica nos edifícios de serviços.

1.2.1 Objetivos

O projeto, onde está inserida esta dissertação, tem como objetivo criar um chuveiro inteligente, que deverá resultar da integração de três subsistemas principais: um subsistema de recuperação de calor, um subsistema de armazenamento de calor e um subsistema de monitorização, automação e controlo.

O primeiro irá consistir num permutador de calor eficiente para recuperação de calor residual, promovendo a transferência de calor entre águas cinzentas e a água fria da rede que, após o pré-aquecimento, poderá ser alimentada diretamente para um ponto de consumo de água quente ou, em alternativa, ser conduzida para o subsistema de armazenamento de energia térmica. O desenvolvimento do subsistema terá em conta as especificidades dos requisitos de funcionamento do mesmo, tendo em particular atenção para as especificidades das correntes de águas cinzentas.

Face ao eventual desfasamento entre os desperdícios de energia térmica e a sua reutilização num edifício, e para assegurar alguma capacidade de armazenamento de energia, potenciando a racionalização do consumo de água e diminuição de desperdícios, desenvolver-se-á um subsistema de armazenamento de energia térmica. O módulo de armazenamento a desenvolver terá a dupla função de aumentar a flexibilidade das redes de energia térmica de edifícios de serviços (em particular para os setores alvo e potenciais utilizadores destes sistemas) e estabilizar a temperatura do fluxo de água para consumo de Águas quentes sanitárias (AQS). O modo de funcionamento deste subsistema pode ser descrito em três fases: carregamento, armazenamento e descarregamento.

De forma a ser possível monitorizar, compreender e representar os ganhos de eficiência que este tipo de soluções podem gerar nos edifícios, considerando os diversos cenários de aplicação, sejam eles domésticos ou em serviços (por exemplo hotéis), torna-se essencial dotar estes produtos de mecanismos de sensorização inteligente capaz de recolher informação do produto em tempo real e processar esta informação de forma a disponibilizar conhecimento relevante de funcionamento do produto aos utilizadores finais e/ou gestores dos edifícios.

O subsistema de monitorização e controlo a desenvolver será baseado em dois componentes: 1) componente de sensorização inteligente e 2) plataforma de gestão de informação gerado pelo equipamento, com arquitetura orientada à Cloud, ponto este, relativo ao trabalho desta dissertação.

O sistema de sensorização inteligente deverá ser dotado de sensores internos e externos ao equipamento desenvolvido, de forma a recolher não só informação de funcionamento do equipamento, mas também informação relevante do ecossistema e do ambiente em que o equipamento se encontra.

Por outro lado, a plataforma de gestão da informação deverá ser baseada em tecnologia IoT com processamento na *cloud*, onde infraestruturas de *big data* permitirão o armazenamento de elevada quantidade de dados, proveniente de diferentes sensores e outras fontes de dados.

Conclusivamente, é objetivo desta dissertação desenvolver uma plataforma IoT (*Internet of Things*) capaz de transportar uma grande quantidade de dados dos sensores para uma base de dados, realizar o tratamento desses mesmos dados e calcular os *Key Performance Indicator* (KPI) desejados, e criar uma *Application Programming Interface* (API) (*Application Programming Interface*) de forma a disponibilizar os serviços para uma Aplicação (APP) *mobile*, permitindo a interação com o utilizador.

1.2.2 Questões de Investigação

Com a análise anterior em mente, foram encontradas as seguintes questões de investigação:

1. Como é que as plataformas IoT podem ser usadas para melhorar a eficiência energética em edifícios?
2. Quais são os melhores protocolos de comunicação a utilizar numa plataforma IoT em tempo real?
3. Qual a importância da análise de dados na área tecnológica?

1.3 Organização da Dissertação

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos, tal como descrito de seguida.

O primeiro capítulo é dedicado à introdução da dissertação. É feita a contextualização do tema da dissertação, a motivação e os objetivos. Também são apresentadas as questões científicas bem como as suas respostas. Por fim é apresentada a organização da mesma.

O segundo capítulo diz respeito ao estado da arte, onde é feito o enquadramento teórico dos conceitos que suportam a dissertação, desde a *Internet of Things* aos sensores inteligentes.

O terceiro capítulo aborda o desenvolvimento da dissertação, onde é apresentado o projeto realizado. Inicialmente são apresentados os requisitos do projeto e a arquitetura pensada para a plataforma IoT. De seguida é feita a explicação dos blocos da plataforma, bem como o tratamento dos dados e o desenvolvimento da API. Por fim é apresentado um exemplo de funcionamento da plataforma e um caso de uso.

No quarto capítulo é apresentado um caso de aplicação do produto desenvolvido neste projeto.

Por último, no quinto capítulo são apresentadas as conclusões obtidas. É feita uma análise ao trabalho desenvolvido ao longo da dissertação, com uma avaliação crítica aos resultados obtidos e cumprimento dos objetivos inicialmente propostos.

Capítulo 2

Estado da Arte

Neste capítulo é apresentado em mais detalhe conceitos diretamente relacionados com a proposta de dissertação que irão proporcionar um fundamento teórico essencial para o desenvolvimento do trabalho e alcance dos objetivos esperados. Mais concretamente vão ser abordados os temas da *Internet of Things*, o que é e o seu potencial, eficiência energética em edifícios, análise de dados, protocolos de comunicação e sensores inteligentes.

2.1 Internet of Things

Na última década, o conceito *Internet of Things* (IoT) tem ganho bastante atenção tanto de investigadores científicos como do mundo em geral. Resumidamente, o termo IoT refere-se à ligação entre objetos do dia-a-dia, equipados com tecnologias inteligentes [3]. O futuro da *Internet* vai consistir em dispositivos conectados que irão ultrapassar os limites do mundo com entidades físicas e componentes virtuais [4].

A origem do termo já remonta à mais de 20 anos e foi atribuído a um trabalho da Auto-ID Labs, na faculdade de *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), num projeto sobre a identificação de infraestruturas de radiofrequência por rede. Naturalmente, desde essa altura, o conceito da *Internet of Things* ficou mais abrangente através da ajuda de grandes empresas e instituições que começaram a introduzir no mercado, e nas suas pesquisas, um variado número de produtos e serviços baseados neste tecnologia [5].

As áreas de aplicação das tecnologias IoT são tanto numerosas como diversas, e continua-se a alastrar de modo a virtualizar o quotidiano do ser humano. As áreas de aplicação mais proeminentes são as casas inteligente e as indústrias inteligentes, onde o desenvolvimento de sistemas de produção inteligentes e os pontos de produção estarem conectados é frequentemente discutido sob o título de Indústria 4.0 [5].

Nas casas inteligentes, o uso de sistemas de segurança e sensores inteligentes são fortemente procurados, havendo atualmente um crescimento em aplicações inteligentes em áreas energéticas como a eletricidade, gás ou água [5].

2.1.1 *How it Works?*

Um sistema IoT integra quatro componentes diferentes, entre eles: sensores/dispositivos, conectividade, processamento de dados e interface do utilizador.

- **Sensores/Dispositivos** – No início do processo existem os sensores ou dispositivos que recolhem os dados pretendidos, como é o exemplo de um sensor de temperatura ou um dispositivo, por exemplo um telemóvel que contém vários sensores internos (câmara, acelerómetro, etc) [6].
- **Conetividade** – Após a recolha dos dados é necessário enviar os mesmos para a *cloud*, mas para isso é essencial estarem ambos conectados.

Os sensores/dispositivos podem ser conectados à *cloud* através de vários métodos, como por exemplo: WiFi, Bluetooth, *Low-Power-Wide-Area-Networks* (LPWAN) ou mesmo conectado diretamente via *ethernet*.

Dependendo do projeto em que esta tecnologia está a ser utilizada, é necessário optar pelo melhor método tendo em conta o seu consumo, alcance e largura de banda. Independentemente da escolha, o resultado final é o mesmo, conectar os sensores/dispositivos com a *cloud* para ser possível o envio de dados [6].

- **Processamento de dados** – A partir do momento em que os dados estão armazenados na *cloud*, é necessário processá-los. Este processo pode ser simples, como verificar se a temperatura está numa gama aceitável. Também pode ser mais complexo, como usar algum tipo de inteligência artificial para identificar objetos [6].

- **Interface do utilizador** – O tratamento de dados é realizado com uma finalidade para o utilizador final.

A informação pode chegar ao utilizador através de um aviso, como uma notificação, ou através da própria pesquisa do utilizador, por exemplo verificar a temperatura da casa através de uma aplicação no telemóvel.

No entanto, nem sempre é comunicação de um sentido. Dependendo da aplicação da IoT, o utilizador pode ser capaz de realizar ações que afetem o sistema através de uma *interface* própria [6].

2.1.2 Potencial da Internet of Things

Apesar da *Internet of Things* ser uma tecnologia em desenvolvimento há mais de duas décadas, ainda está no início da sua existência. Tendo em conta o seu rápido crescimento e criação de novos produtos IoT, é possível afirmar que irá ter uma grande influência no futuro do mundo. O potencial da IoT pode parecer ficção científica para o presente da humanidade mas, pouco a pouco, está a transformar o modo de vida do ser humano, a revolucionar empresas e a enriquecer a economia [7].

A fim de provar os benefícios da IoT na economia global foram analisados mais de cento e cinquenta casos de uso, estudo este que abrange áreas como saúde, indústria, bem-estar, entre outros. Foi então possível prever que o impacto na economia global da *Internet of Things* será entre os 3.9 e 11.1 triliões de dólares no ano de 2025. Nessa altura, estima-se que fará parte de 11% da economia global [8].

Vantagens

Como foi referenciado anteriormente, a *Internet of Things* conecta o físico com o digital, tornando assim possível inovar na utilização dos dados recolhidos. Esta leva à criação de novos mercados, possibilita novos modelos de negócio e proporciona a criação de novos produtos. Dessa forma é possível enumerar certas vantagens desta tecnologia, como por exemplo:

- **Aumento da produtividade e redução da mão de obra** – graças às soluções criadas pela IoT, tarefas básicas podem ser realizadas automaticamente, transferindo assim os recursos humanos para tarefas com maior complexidade. Desta forma, o número de trabalhadores pode ser reduzido, diminuindo assim os custos para a empresa em questão [9].
- **Eficiência em operações** – outro dos benefícios da conexão entre dispositivos inteligentes é a capacidade de controlar automaticamente várias áreas operacionais, como gestão de inventário, rastrear envios efetuados ou gestão de peças [9].

- **Eficiência de custos** – a automação em casos como linhas de produção numa indústria permitem a redução do tempo necessário para a produção de algo, resultando assim em maior produção e, conseqüentemente, mais lucros [9].

Como foi falado no primeiro ponto das vantagens da IoT, também a redução de mão de obra oferece à empresa menos despesas, aumentando assim os lucros [9].

- **Segurança no trabalho** – Dispositivos inteligentes ajudam a reduzir o risco do erro humano, aumentando assim o nível de segurança em vários postos de trabalho. Além disso é possível usar dispositivos como câmeras de vigilância, sensores de movimento, entre outros, protegendo assim as instalações [9].
- **Uso inteligente de recursos** – O planeamento automático e a monitorização com a ajuda de sensores ajuda na utilização de recursos, como é o caso da gestão de energia e o consumo de água. Com esta tecnologia é possível criar produtos *eco-friendly* e que ajudam a reduzir os custos das instalações onde aplicados [9].

Desvantagens

À medida em a tecnologia IoT expande, também o número de ameaças e os desafios continuam a aumentar.

Uma das prioridades é a capacidade de armazenamento. Devido à existência de mais e mais dispositivos a estarem conectados à *Internet* (cerca de 50,000 bilhões de "*Things*"), o espaço de endereços de rede será essencial. O problema não se restringe à quantidade mas também à qualidade. Será necessário desenvolver os computadores, criar novos modelos e algoritmos para conseguir aguentar com todos os sistemas [10].

Outro dos grandes desafios é a privacidade, um dos assuntos mais sensíveis. Toda a gente é afetada pela IoT em algum ponto do seu dia-a-dia. As pessoas podem sentir uma sensação de perda do controlo à medida que as implementações da IoT criam e analisam dados de forma invisível e muitas vezes impercetível [10].

2.1.3 Plataformas IoT para gestão de energia térmica em edifícios

Edifícios, tanto residenciais como comerciais, representam o campo com um dos maiores consumos energéticos do mundo. Este consumo é mais representativo em países desenvolvidos, onde o uso de energia para edifícios é entre 20% e 40% do gasto total anual. Reduzir a pegada de carbono global e assegurar a eficiência energética dos edifícios é uma prioridade para muitos investigadores. Foi então realizada uma diretiva de "*Energy Performance of Buildings*", na Comissão Europeia, onde foi proposta a adoção de medidas de aumento de desempenho de aplicações em edifícios como luminosidade e, especialmente, de caldeiras e sistemas de ventilação, de forma a reduzir os consumos associados a estas tecnologias [11].

Para reduzir o consumo de energia nos edifícios aumentando a eficiência das aplicações dos mesmos, é crucial analisar como é que essa mesma energia é consumida. Dado a uma grande parte da procura ser no domínio termal, ou seja, aquecedores, ventilação e sistemas de ar condicionado, foi claro direccionar várias diretivas para esse tema. Desta forma, organizações como a *International Organization for Standardization* (ISO) que criou dois comités técnicos, o "*Thermal Performance and Energy Use in the Built Environment*" (ISO/TC 163), e o "*Building Environment Design*" (ISO/TC 205). Estas organizações e outros grupos reconhecem que, para além da arquitetura física de um edifício, são necessários sistemas inteligentes e automatizados para melhorar o conforto e a eficiência energética, declarado na proposta "*Building Automation and Control Systems*" (ISO 16484) [11].

O aumento do interesse em edifícios inteligentes despertou a pesquisa em vários tipos de aplicações na área da gestão de energia, simplificação da gestão de edifícios, aumento do conforto na residência, segurança pessoal, proteção de ativos, entre outros. A possibilidade de incorporar a tecnologia IoT em edifícios comerciais permite controlar variáveis como o número de pessoas ou a temperatura, tudo em tempo real. O conceito *Big Data* (BD) refere ao enorme volume de informação que todos estes dispositivos produzem, e à análise analítica desses dados [12][13]. Ambos os conceitos, IoT e *Big Data*, são comuns de serem trabalhados em conjunto. As informações, depois da comunicação, são alocadas na nuvem. Uma inovação mais recente, conhecida como *Cloud Computing* (CC), ou simplesmente *cloud*, oferece um aumento de recursos, viabilidade de custos, acessibilidade, eficácia, robustez e fiabilidade. Este oferece três tipos diferentes de serviços: *Infrastructure as a Service* (IAAS), *Platform as a Service* (PAAS) e *Software as a service* (SAAS) [13]. Para além disso, graças à tecnologia *Big Data*, os dados gerados pelos dispositivos conectados e sensores, podem ser transformados em conhecimentos e previsões operáveis [12].

No diagrama a seguir é possível ver a integração dos três componentes IoT, *Big Data* e a *Cloud*. O IoT trata da aquisição dos dados e das comunicações dos sensores à *Cloud*, que depois é enviada para o campo "*Big Data*" que armazena e analisa os dados.

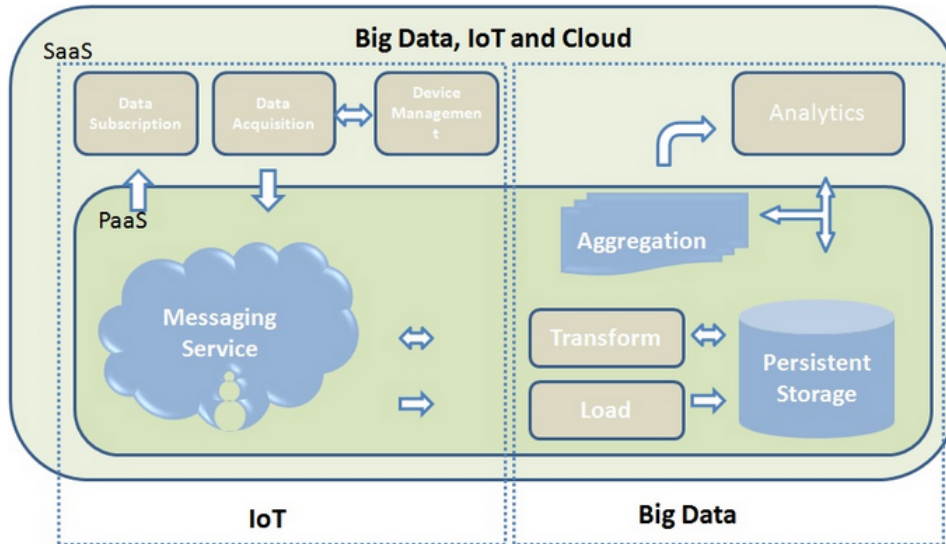


Figura 2.1: Diagrama da interação entre a IoT, a *Cloud* e a *Big Data* [13].

Uma das grandes estratégias para o controlo da eficiência energética, como é o caso das energias renováveis, é o controlo da eficiência em sistemas elétricos e ar condicionados, não só em edifícios em construção, mas principalmente em habitações já construídas. Neste caso, a constante evolução da *Internet of Things* (IoT), está a permitir criar novas tecnologias e novos métodos de redução de consumos de energia, melhorando assim a qualidade ambiental de um edifício, sendo ele uma casa, um prédio, um hospital, etc [14].

Com o poder da transmissão de dados através de uma rede, é possível ter o controlo de uma casa nas nossas mãos. Esta revolução é comprovadamente um setor em expansão, havendo cerca de 26 biliões de dispositivos instalados à rede no ano de 2020, trinta vezes mais comparando ao ano de 2009, onde esse número era cerca de 0.9 biliões de dispositivos. Os dispositivos IoT podem ser incorporados em qualquer equipamento que consuma energia, como interruptores, lâmpadas ou sistemas de ar condicionado, ou em outros elementos do edifício como janelas e portas, ver na figura seguinte. Esta versatilidade expande as possibilidades de otimização de energia que podem ser criadas e desenvolvidas em vários setores [14].



Figura 2.2: Tecnologias inteligentes numa casa [12].

Este crescimento na tecnologia é fortemente liderado por duas empresas no topo do setor tecnológico, a Apple e a Google.

Após vários anos de investigação, a Apple foi a primeira empresa a registar uma patente oficial de um sistema de casa inteligente denominado de *iHome*. Este sistema engloba uma variedade de produtos Apple que automatizam a casa concedendo assim um maior conforto aos seus moradores. Com esta tecnologia é possível detetar a presença ou movimentos dos residentes, antecipando assim comportamentos e as suas necessidades. Um dos exemplos é a deteção do carro chegar à garagem através dos sensores do portão ou da localização do telemóvel. Com essa informação, e uma definição já predefinida, o sistema consegue ligar eletrodomésticos como o forno ou a chaleira para aquecer água [14].

Já no caso da Google, iniciaram a sua posição no mercado de casas inteligentes através da compra de uma empresa especializada em produzir termostatos inteligentes. Estes têm o objetivo de atingir uma "casa consciente" através do meio digital e da *Internet of Things*, ajudando assim o utilizador no controlo da casa e na poupança de energia [14].

Atualmente, já se encontra disponível no mercado, dispositivos que oferecem dados em tempo real em variáveis como a temperatura, humidade e qualidade do ar, concentração de dióxido de carbono, iluminação, entre outros [14].

Controlo de equipamento elétrico

Um dos sistemas disponíveis é o controlo do equipamento elétrico através da incorporação de um sistemas nas tomadas de uma casa. Estes conseguem captar dados em tempo real acerca do consumo de energia e o seu custo, bem como a possibilidade de ligar e desligar remotamente, poupando também energia por exemplo em equipamentos que ficam em *standby*.

Estima-se que a instalação elétrica destes equipamentos possibilitam uma poupança anual de 300€ na fatura elétrica. Além disso reduz os nível de dióxido de carbono, emitidos para atmosfera, em 850 quilogramas por ano [14].

Uma das empresas em rápida expansão com um produto desta categoria é a Shelly. É uma empresa que vende relés para incorporar nas tomadas elétricas, sensores e outros tipos de dispositivos que, através de uma aplicação desenvolvida pelos mesmos, permite controlar a casa como e onde o utilizador quiser. O modelo está apresentado na figura a seguir.



Figura 2.3: Relé Shelly implementado numa tomada [15].

Controlo do sistema de luzes

Nos dias de hoje é possível controlar a luminosidade de uma casa através de um telemóvel ou *tablet*. Com uma aplicação simples e intuitiva é nos dada a possibilidade de controlar remotamente as definições e tempos da luminosidade de acordo com as necessidades. Por exemplo, é possível controlar a cor e a intensidade da luz para momentos como o despertar ou adormecer. Alguns sistemas também estão conectados a sensores ligando automaticamente as luzes quando detetam presença na casa, e desligando no contrário.

Estes sistemas apresentam vantagens não só económicas mas também psicológicas, ajudando na concentração, relaxamento, momentos de leitura, entre outros [14].

Sistemas de ar condicionado

Outro dos sistemas possíveis de monitorizar e controlar de forma inteligente são os sistemas de ar condicionado. Como é o exemplo de outros sistemas, estes possuem a capacidade de auto-aprendizagem alterando a temperatura definida em diversas realidades possíveis como baixar a temperatura da casa quando esta se encontra desocupada, através da ligação a sensores de movimento.

Esta tecnologia permite ao sistema estudar o comportamento dos residentes da casa e, ao fim de uma semana de aprendizagem, repetir as temperaturas utilizadas. Se as preferências mudarem, o sistema irá se reprogramar e adaptar às novas decisões do utilizador. O termostato também permite detetar os valores energéticos ideais para a maior eficiência energética nos valores de temperatura desejados e regista os mesmos na aplicação *mobile*. Além disso, existem sistemas capazes de monitorizar os custos relativos ao ar condicionado, enviando um alerta quando passar do orçamento pre-definido pelo utilizador [14].

Consumo de água

Com a *Internet of Things* é possível melhorar significativamente os consumos de água numa residência, como é o principal objetivo do projeto deste relatório. Além disso, a redução dos consumos de água não só poupa efetivamente água potável para beber, mas também água para aquecimento ou rega por exemplo, resultando tanto em poupança energéticas e económicas, como em redução da poluição e gases de efeitos de estufa.

No caso do uso de água interior, existem dispositivos de fácil instalação nos locais indicados, tornando assim possível a monitorização, em tempo real, tanto do caudal como da temperatura da água. Os dados do consumo de água ficam registados num servidor, tornando possível visualizar mais tarde esses valores através de um telemóvel ou *tablet*. Como o sistema de segurança dos sistemas de ar condicionado, estes também possuem a capacidade de, excedendo os consumos pre-definidos pelo utilizador, enviar uma notificação de alarme.

Já no caso de sistema de irrigação, consumo de água no exterior, os sistemas complexos têm a capacidade de recolher dados acerca das condições meteorológicas e condições nutricionais do solo.

Os sensores englobados neste sistemas conseguem detetar variáveis como humidade do ar, temperatura, luminosidade, entre outras variáveis do solo. Esta tecnologia está avançada ao ponto de detetar pequenas variações elétricas no solo, normalmente associadas a mudanças na humidade, acidez e fertilidade do mesmo.

É possível ter acesso aos dados guardados na base de dados em tempo real através de uma aplicação, a qual também possibilita o envio tanto de avisos de alerta quando o solo se encontra seco, como de recomendações para manter saudável a plantação. Este sistema possui inteligência de forma a regar automaticamente apenas em momentos necessários e, em caso de precipitação, desligar-se automaticamente. Com esta tecnologia é possível tanto impedir o excesso de água nas plantas como a poupança de água.

Em sistemas mais avançados, consoante os dados retirados a partir do solo e da radiação solar, o programa consegue recomendar as plantas indicadas para um certo terreno [14].

2.1.4 Futuro da IoT

A *Internet of Things* está a tornar-se bastante popular no mundo devido à grande procura no sector da tecnologia.

Olhando para o cenário atual da IoT, é normal imaginar o que o futuro desta tecnologia nos traz como sociedade. Na figura 2.4 é possível observar o rápido crescimento do número de dispositivos IoT ao longo dos anos em diferentes setores. É previsível o futuro ter tecnologia mais inteligente e conectada em prol do bem estar da sociedade e ambiente [16].

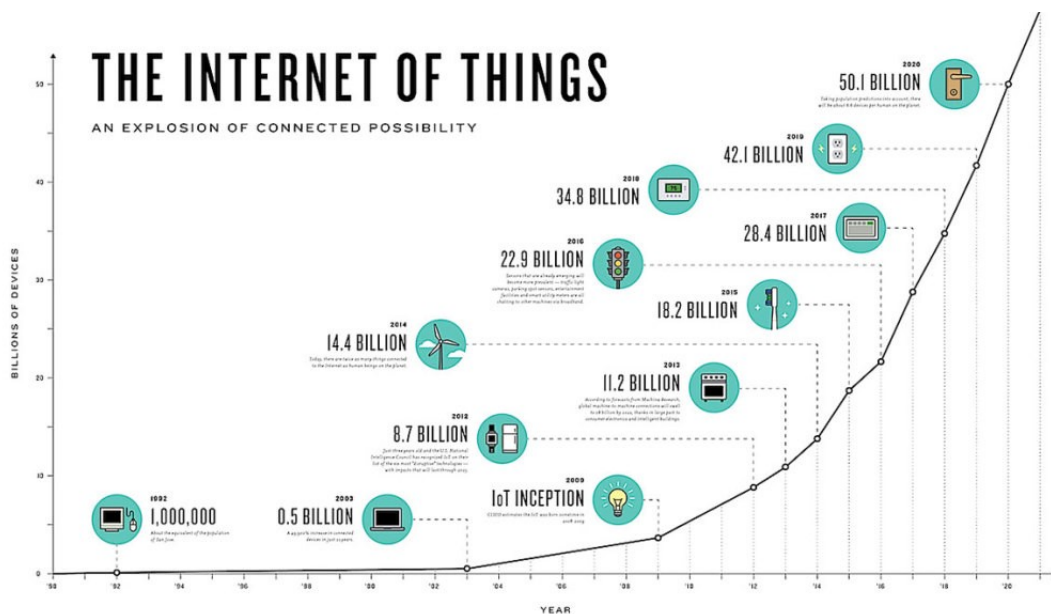


Figura 2.4: Evolução do número de dispositivos IoT [16].

Depois de vários estudos realizados, vários investigadores fizeram algumas previsões acerca do futuro da *Internet of Things*, entre elas:

- **As cidades vão ficar mais "inteligentes"** – No futuro, não serão apenas os consumidores a usar dispositivos IoT. Também as cidades e empresas vão aumentar a sua utilização às tecnologias inteligentes de forma a poupar tempo e dinheiro.

As cidades irão se tornar mais automáticas, possíveis de controlar remotamente e registar dados através de diferentes tipo de sensores, câmaras de vigilância, entre outros [17].

- **Inteligência artificial irá crescer** – Termostatos, controles de luz, eletrodomésticos inteligentes, entre outros dispositivos, irão conseguir recolher informação acerca das rotinas e padrões do nosso dia-a-dia. Dispositivos controlados por voz, quando instalados, possuem a capacidade de gravar os pedidos, e guardar numa *cloud*. Em grande parte dos casos, os dados são registados para facilitar uma tecnologia de nome *machine learning* [17].

Machine learning é um tipo de inteligência artificial que ajuda o computador a "aprender" algo sem a necessidade de ser programado. Isto permite o computador ajustar a análise de dados de acordo com as necessidades. Por exemplo, quando uma aplicação de *streaming* de filmes sugere uma opção que possamos gostar, é baseado em dados de preferências passadas e, aprendido automaticamente [17].

- **Routers mais seguros e inteligentes** – No caso de dispositivos IoT instalados em espaços privados e pouco seguros, será importante a utilização de um *router* que cubra essa mesma falha. Enquanto o desenvolvimento de produtos IoT se foca na eficiência, será função dos *routers* garantirem a segurança focando-se na prevenção dos dispositivos conectados [16].
- **Problemas de segurança e privacidade** – Devido ao aumento esperado da tecnologia 5G, também será aumentado os problemas de segurança e privacidade. Os dados serão guardados na *cloud* facilitando assim ataques aos mesmos [16].

2.2 Arquitetura IoT

A IoT oferece soluções apoiada na integração de tecnologia de informação, entre *hardware* e *software* usado em recolha, armazenamento e processamento de dados e tecnologias de comunicação, a qual inclui sistemas elétricos usados para a comunicação entre indivíduos ou grupos. A rápida ligação de informação e comunicação é construída por três camadas de tecnologia: a *cloud*, redes de comunicação e o dispositivo [18].

Devido ao rápido crescimento da tecnologia e, conseqüentemente, do número de dispositivos conectados foi necessário adaptar as arquiteturas a diferentes tipos e objetivos de aplicação. No mundo científico não existe um consenso da arquitetura IoT utilizada, já tendo existido várias propostas de investigadores diferentes [18].

De acordo com a maior parte dos investigadores, a arquitetura convencional da IoT é composta por três camadas:

- Camada de reconhecimento;
- Camada de rede;
- Camada de aplicação;



Figura 2.5: Arquitetura IoT.

A **camada de reconhecimento**, também conhecida como *Perception Layer*, é a camada mais baixa da arquitetura IoT. Esta camada é responsável pela recolha dos dados e a sua conversão de dados do ambiente (como dispositivos, sensores e outros) para uma instalação digital. Comunica tecnologia com pouco alcance através de tecnologias como *Radio-Frequency IDentification* (RFID), *Bluetooth* ou *Low Power Personal Area Network* (6LoWPAN) [19].

A **camada de rede** é considerada o "cérebro" da arquitetura IoT. Esta camada é encarregue de garantir a transmissão de dados entre a camada de reconhecimento e as aplicações. A camada maioritariamente recolhe informações e fornece à camada de reconhecimento várias aplicações e servidores e é considerada a camada mais desenvolvida da arquitetura convencional IoT, de acordo com um estudo atual baseado em várias tecnologias de comunicação. É esta camada que consegue oferecer as informações devidas para os procedimentos apropriados. Para além disso, oferece endereços únicos e recursos de roteamento para a integração unificada de vários dispositivos numa única rede cooperativa através de tecnologias com fio, sem fio e de satélite [19].

Já a **camada de aplicação**, a camada mais acima na arquitetura, é a visível para o utilizador. O objetivo da camada de aplicação é gerir e fornecer as aplicações, com base nos dados recolhidos pela camada de reconhecimento e mais tarde processados. Esta oferece acesso de serviços personalizados aos utilizadores finais na rede de acordo com os requisitos através do uso de dispositivos portáteis e outros equipamentos [20].

É de notar que alguns investigadores acreditam na existência de uma quarta camada na arquitetura, considerada a camada de suporte, responsável pela *Cloud Computing*. Também existem arquiteturas de cinco ou sete camadas [19].

2.3 *Data analytics*

A *Internet of Things* está gradualmente a ser estabelecida como o novo paradigma da computação, que irá mudar a forma com que trabalhamos e vivemos no dia a dia. A IoT reforça a conexão entre praticamente todos os tipos de objetos, de maneira a permitir que estes troquem dados e serviços entre si, enquanto interagem com os humanos. Devido ao aumento da popularidade do conceito e, conseqüentemente, ao aumento dos dispositivos associados em várias áreas, existe uma quantidade de dados significativa a ser tratados. Dessa forma, a análise de dados de IoT desempenha um papel fundamental neste processo, sendo a *data analytics* em elemento fulcral [21].

As aplicações de *data analytics* de IoT conseguem garantir a exploração adequada do volume de dados para uma variedade de fins, seja comerciais ou não, através de dicas simples sobre os dados das operações, mas também capaz de fazer previsões de tendências e eventos futuros [21].

A ascensão das tecnologias futuras, incluindo a computação na *cloud* e a análise de *Big Data*, permite a implementação e o uso de aplicações de análise IoT mais sofisticadas, para além do processamento de dados simples provenientes de sensores [22].

A integração do fluxo de dados IoT em infraestruturas de computação na *cloud* permite que as aplicações de análise IoT beneficiem da capacidade, desempenho e de uma elevada escalabilidade. Em vários casos, as aplicações de análise de dados IoT também são integradas a infraestruturas da *edge-computing* que descentralizam o processamento de dados na rede, enquanto transfere apenas dados selecionados pelos dispositivos na *edge* da *cloud*. Por este motivo, é bastante comum implementar aplicações de análise de dados IoT dentro na *edge* da *cloud* [22].

2.3.1 Características dos dados IoT

O volume e a qualidade dos dados gerados pelos dispositivos IoT é bastante diferente do modelo tradicional de *business data* orientado a transações. Os dados IoT, provenientes de milhões de sensores e dispositivos, são dinâmicos, heterogêneos, imperfeitos, não processados e não estruturados, em comparação aos *business data* típicos. Por esse motivo, exige análises específicas e mais sofisticadas para tornar esses dados em algo significativo [23].

A *Big Data* é comumente definida pelos quatro "V's", sendo eles [23]:

- **Volume** - apresenta um largo volume de dados, possíveis de chegar a milhares de *terabytes*;
- **Velocidade** - apresenta um fluxo de dados com uma resposta de milisegundos;
- **Variedade** - pode conter uma grande variedade de dados: estruturados, não estruturados, diferentes modelos e diferentes fontes de dados;
- **Veracidade** - devido à inconsistência dos dados, dados incompletos, ambiguidade e falta de modelos precisos apresenta incerteza nos dados;

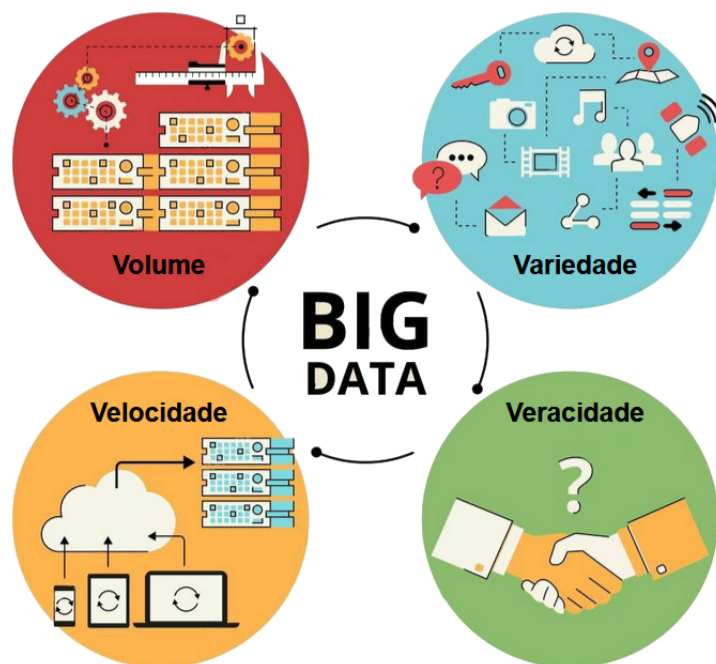


Figura 2.6: Características da *Big Data*. Adaptado de :[24]

2.3.2 Categorias da *Big Data*

A preocupação da análise de dados está na extração de dados e conhecimentos úteis da *Big Data*. Este processo é feito através de uma formulação de hipóteses, sendo muitas vezes feita através de pressupostos de outras experiências e descobertas de variáveis relacionadas [25]. Existem quatro tipos diferentes de *data analytics*:

- **Análise Descritiva** - Esta análise retrata o que aconteceu no passado e apresenta de uma forma simples e compreensível ao utilizadores. Os dados adquiridos são organizados através de gráficos de barras, gráficos circulares, mapas diagramas, etc. Esta forma de apresentação de dados é normalmente chamada de painel de instrumentos, ou *dash board*. Um exemplo típico da análise descritiva é a apresentação de dados do censo populacional que classifica a população de um país por sexo, faixa etária, educação, renda, e outros parâmetros semelhantes [25].
- **Análise Preditiva** - O papel da análise preditiva começa quando as decisões necessitam de ser tomadas para uma ampla gama de alternativas viáveis. Permite não só olhar para as consequências e o que esperar dos resultados das suas decisões, mas também oferece a melhor maneira de agir de forma vantajosa no tempo útil. O sucesso da análise preditiva depende da adoção de cinco elementos básicos: utilização de dados híbridos (estruturados e não estruturados), previsões (considera todos os resultados possíveis), algoritmos adaptativos (diferentes em cada situação), mecanismos de *feedback* robustos e fiáveis [26].
- **Análise de Descoberta** - A análise de descoberta encontra relações inesperadas entre parâmetros da recolha de dados. Analisar os dados de variadas fontes e de vários tipos oferece novas informações e descobertas inesperadas. Uma das principais aplicações desta análise é no estudo de padrões do comportamento dos clientes pelas empresas, como é o caso das redes sociais. Através da análise dos dados é possível prever ações como o cancelamento de uma subscrição de *streaming*, ou alterar o serviço de telemóvel [25].
- **Análise Prescritiva** - Esta análise, utiliza os dados recolhidos para otimizar soluções e oportunidades para os problemas existentes. Por outras palavras, esta análise diz o que fazer ao utilizador para atingir o seu objetivo, como por exemplo, atingir o máximo de lucro possível. Para atingir este objetivo utiliza técnicas de inteligência artificial, algoritmos otimizados e adaptativos [27].

Podemos concluir que cada situação específica, com um objetivo específico, tem uma análise indicada. Dependendo da pergunta no nosso problema, que pretendemos resolver através dos dados recolhidos, escolhemos o tipo de análise mais indicado. No diagrama a seguir podemos observar as várias opções.

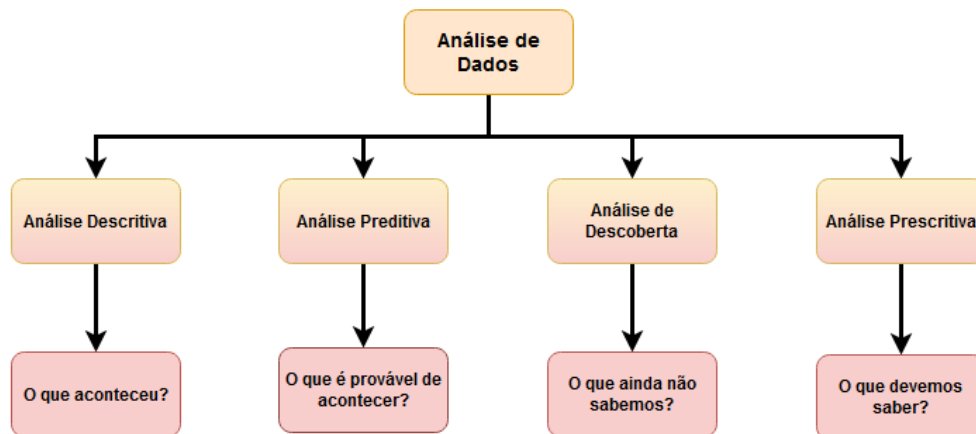


Figura 2.7: Diagrama das categorias de análise.

2.3.3 Fases da análise de dados

O processo de análise de dados é um conjunto de etapas necessárias de forma a dar sentido aos dados disponíveis. Cada etapa é igualmente importante para garantir que os dados sejam analisados corretamente e forneçam informações valiosas e úteis. No diagrama seguinte é possível observar as etapas essenciais que compõem o processo de análise de dados.

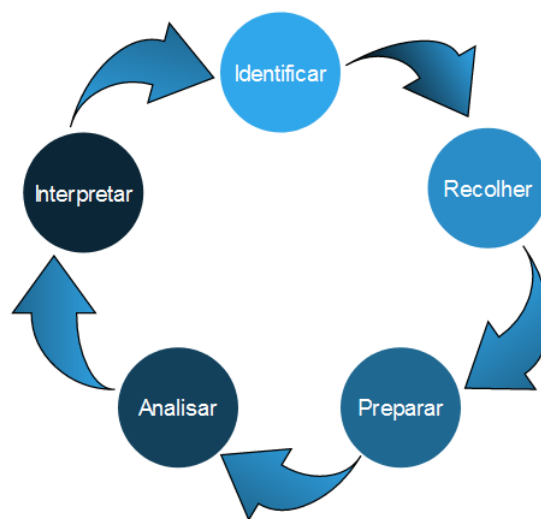


Figura 2.8: Fases de análise de dados.

1. **Identificar** - Antes de começar a qualquer processo da análise de dados, é necessário identificar qual o problema, e quais são os dados necessários para o resolver;
2. **Recolher** - Como o próprio nome indica, o segundo passo é a recolha de dados. É aqui que se define quais as fontes de informação e como vão ser utilizadas.
3. **Preparar** - Uma vez que os dados estão recolhidos das diferentes fontes, é necessário os tratar removendo dados irrelevantes ou qualquer tipo de ruído. Apenas dados relevantes irão ser processados após esta preparação [28].
4. **Analisar** - É nesta fase que irão ser realizadas as várias operações de forma modular. Aqui serão utilizadas várias funções, através de *machine learning*, de forma a conseguir resolver o problema inicialmente identificado.
5. **Interpretar** - Por último, é feita a interpretação dos resultados obtidos. É aqui que o utilizador se depara a solução ou caminho para a solução do problema, baseado nos dados retirados.

2.3.4 Desafios da análise de dados

A *Big Data analytics* apresenta bastantes benefícios, vantagens e oportunidades em vários ramos. A *National Science Foundation* (NSF) e a *National Institute of Health* (NIH) recentemente confirmaram que as decisões tomadas a partir dos resultados da análise dos dados provaram-se fundamentais para as suas organizações [29]. De facto, esta tecnologia mudou o dia a dia da sociedade através de impactos tanto a nível social como económico. O crescimento da *Big Data analytics* mudou o comportamento das pessoas de reativo para proativo, aplicando precauções para possíveis eventos que podem acontecer no futuro.

No entanto, também apresenta alguns desafios. Um dos problemas é a segurança e privacidade, os dados IoT são normalmente associados a requisitos de segurança e privacidade rigorosos, especialmente em aplicações que envolve a recolha e processamento de dados pessoais. Dessa forma, a análise de dados tem de ser suportada por técnicas de preservação de privacidade, bem como técnicas de encriptação e segurança de armazenamento [22]. Outro dos problemas é a necessidade de capital humano. Devido à grande quantidade de dados e do seu tratamento é necessário pessoas a trabalhar nos dados com um alto nível de capacidade para usar e explorar todos os métodos necessários. Para além disso é essencial pessoas capazes de tomar as decisões certas de forma a garantir a qualidade dos dados analisados e a maneira de procedimento. Apesar da *Big Data* conter uma enorme quantidade de dados, e estes não estarem ainda processados e tratados, é preciso ter em conta que o processo tem de ser bem pensado e estruturado. De outra forma, não haverá informações realmente úteis a serem retiradas [30].

2.4 Protocolos IoT

O conceito de ligação entre objetos apareceu em meados dos anos 90 e rapidamente apresentou desafios e desenvolvimentos tecnológicos e científicos. São vários os benefícios da *Internet of Things* tanto do ponto de vista de um utilizador, como de uma empresa, devido aos ganhos em temas como eficiência, poupança ou segurança [18].

Um protocolo é um conjunto de regras, normas e padrões (elementos lógicos), que permitem com que dispositivos comuniquem entre si, criando uma linguagem única e possível de entender entre todos os elementos da rede [31]. Existe uma variedade de protocolos dedicados à comunicação entre dispositivos com foco em ambientes limitados e, todos eles, estão a competir para ser a principal escolha, apesar de que para cada aplicação, o protocolo apropriado será diferente.

A maioria tem por base o protocolo IP (*Internet Protocol*) com foco em conexões UDP (*User Datagram Protocol*) devido às limitações das redes às quais são aplicados, como é exemplo dos protocolos MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*), o CoAP (*Constrained Application Protocol*) ou o AMQP (*Advanced Message Queuing Protocol*). Estes são frequentemente utilizados em produtos comerciais devido à sua disponibilidade em serviços *web* e serem de código aberto, possibilitando ao desenvolvedor adaptar as características necessárias ao projeto a qual é aplicado. Além disso, estes são adequados para o uso de *hardware* com baixa capacidade de memória e microcontroladores com baixa capacidade de processamento [32].

Neste capítulo serão apresentados de forma concisa estes e outros protocolos para soluções IoT aplicados tanto na indústria IoT como para produtos IoT para o consumidor geral, nomeadamente o AMQP, CoAP, MQTT, OPC UA e o DDS.

2.4.1 AMQP

O (ISO 19464) é um protocolo de padrão aberto de arquitetura *publish-subscribe* introduzido em 2003 e estandardizado mais tarde pela *Organization for the Advancement of Structured Information Standards* (OASIS) em 2011 [18]. Este protocolo é utilizado por empresas como a Cisco Systems, Credit Suisse, JPMorgan Chase Bank ou Red Hat, o que resulta em mais de um bilião de mensagens por dia com AMPQ [32] [33].

Este modelo oferece uma boa base para a integração de *software* uma vez que suporta padrões de interação comuns como: comunicações de um sentido, *request/response*, *publish/subscribe*, transações e armazenamento e envio. Isto é possível devido ao controlo do fluxo, multiplexagem, segurança, recuperação e uma representação de dados portátil que permite a filtragem de mensagens [33].

As mensagens são em forma binária e oferecem suporte a comunicações ponto a ponto e comunicações *hub-and-spoke*, ou seja, assente no *broker*. Com o AMQP as comunicações dos contentores são realizadas através de sessões multiplexadas que dependem de um fluxo de *bytes* fiável, por exemplo, o Protocolo de controlo de transmissão (TCP) [33].

Trata-se, portanto, de um protocolo de mensagens unidirecional binário baseado em *Internet Protocol* (IP), que permite comunicação assíncrona entre *publishers* e *subscribers*. De forma a estabelecer a transferência de mensagens são necessário três elementos: a Transferência, a Fila e a Ligação, possíveis de visualizar na figura abaixo. A Transferência, que é o *broker* deste protocolo, recebe e envia as mensagens para a fila com base nas prioridades definidas. A Ligação está responsável de definir as prioridades através de diferentes métodos. Já no caso da Fila, oferece suporte para a comunicação assíncrona entre *publishers* e *subscribers*, através do armazenamento de mensagens enviadas pela Transferência e encaminha as mesmas através das regras da Fila para os *subscribers* [33] [18].

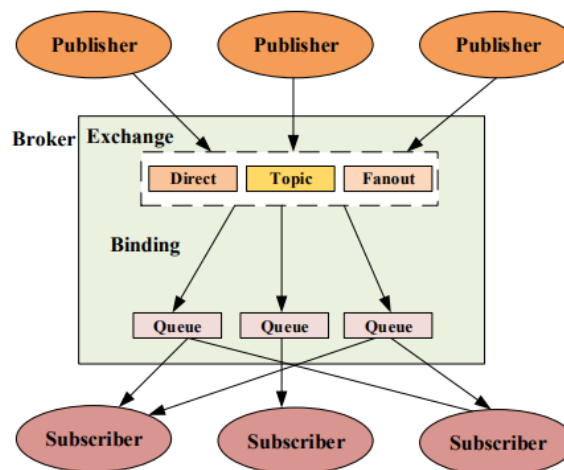


Figura 2.9: Arquitetura AMQP [18].

2.4.2 CoAP

O protocolo *Constrained Application Protocol* (CoAP), projetado pela *Internet Engineering Task Force* (IETF), é um protocolo da camada de serviços usado por dispositivos com poucos recursos, sensores de baixa potência e redes com perdas, especialmente quando existe um grande número de sensores e dispositivos conectados à mesma. Este protocolo é uma extensão do *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP), sendo um dos protocolos mais populares para IoT, principalmente no contexto de medição avançada e aplicações de inteligência [33].

Este protocolo é baseado no modelo cliente/servidor e depende da tecnologia *Representational State Transfer* (REST), aumentando assim a sua interoperabilidade.

A sua arquitetura foi intencionalmente criada de forma a ser adequada a dispositivos restritos em termos de bateria e armazenamento de memória. É executado em *User Datagram Protocol* (UDP) e os clientes do CoAP comunicam-se através de quatro mensagens: GET, PUT, POST e DELETE [33]. Para garantir a segurança da transmissão de mensagens entre o cliente e o servidor, o CoAP utiliza o protocolo *Datagram Transport Layer Security* (DTLS), que é o conjunto dos protocolos TLS e UDP, em vez do TCP. Todas estas características tornam um protocolo indicado para sistemas embebidos [32].

Nesta tecnologia é adotado o modelo *request/response*, onde cada dispositivo atua como um cliente ou como um servidor e os recursos podem estabelecer ligação através de *Uniform Resource Identifier* (URI). Um dos pontos que difere do HTTP é que a conexão não é estabelecida antes da troca de mensagens. A comunicação é realizada de forma assíncrona e existem quatro tipos de mensagens: CON (Confirmação), NON (Não-Confirmação), ACK (Reconhecimento) e RESET. Na figura abaixo é possível observar um exemplo de trocas de mensagens entre um cliente e um servidor CoAP [32].

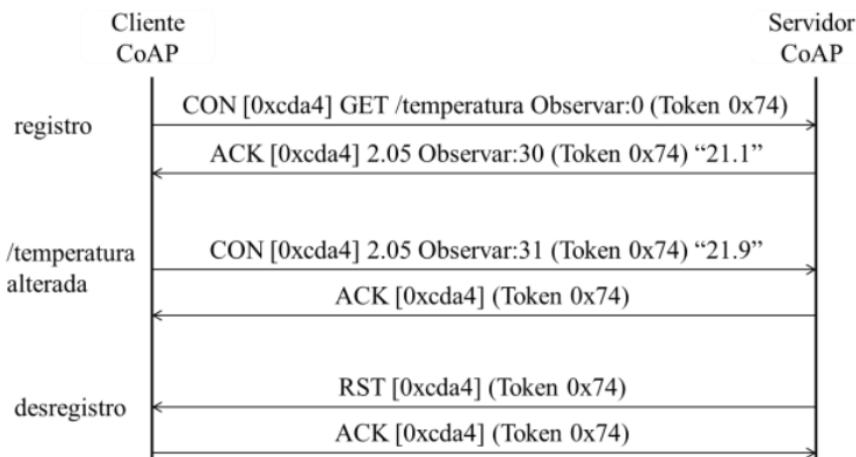


Figura 2.10: Exemplo de troca de mensagens entre cliente e servidor CoAP [32].

2.4.3 MQTT

O protocolo *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT), desenvolvido pela *International Business Machines* (IBM), é um protocolo orientado a mensagens mais leve em comparação ao AMQP. Foi desenhado de forma a suportar monitoramento remoto e, como tal, fornecer baixa latência, garantir mensagens em redes frágeis e garantir uma distribuição eficiente de dados para um ou mais recetores, tornando-se assim bastante popular em cenários *Machine-to-Machine* [33].

Este é um protocolo TCP e assíncrono e pode integrar um modelo de comunicação do tipo *publish/subscribe* [33]. Na figura seguinte podemos ver um exemplo

de funcionamento do MQTT. Existe um sensor de temperatura, tendo o papel de *publisher*, para publicar os dados no tópico "temperatura", os clientes, com o papel de *subscribers*, que depois de se inscreverem no tópico "temperatura" captam os dados da temperatura enviados, e o *broker*, agente responsável por fazer a gestão dos dados publicados e as subscrições do protocolo [31].

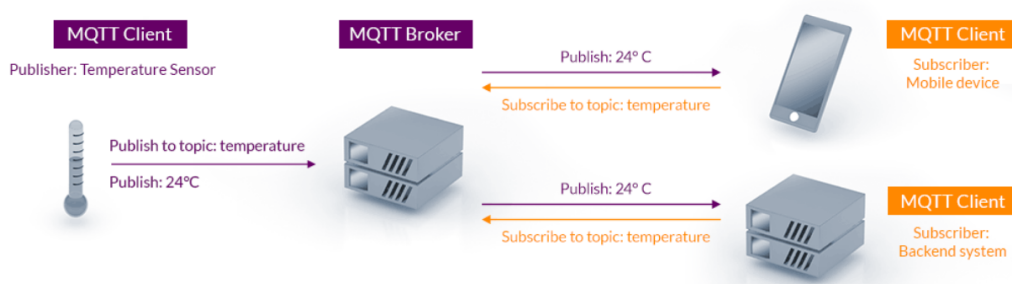


Figura 2.11: Arquitetura do protocolo MQTT [34].

Existem vários benefícios para o uso do MQTT, entre eles [31]:

- É um sistema aberto de domínio público, havendo assim uma grande flexibilidade e instalação em qualquer *hardware* ou sistema, e possível ser adaptado especificamente a qualquer projeto;
- Possui um código simples que permite o protocolo funcione em sistemas frágeis, com limites de armazenamento ou *internet* limitada;
- Dispõe de um sistema de segurança de dados e qualidade de dados no protocolo.

De forma a utilizar o MQTT utilizam-se três ferramentas. A **API**, que é um conjunto de rotinas e padrões estabelecidos por uma certa aplicação, tornando assim possível a troca de funcionalidades das duas partes sem conhecimento do detalhe das mesmas [31].

O **REST**, um agrupamento de regras e princípios para a criação de projetos WEB com interfaces bem definidas, e **JavaScript Object Notation (JSON)**, um formato leve e rápida de troca de dados e arquivos de tamanho reduzido entre diferentes dispositivos [31].

Outra característica muito importante é relativo à segurança de dados em que, no caso do protocolo MQTT, é apoiada em algumas funções como a conexão do cliente ao *broker*, seja ele *subscriber* ou *publisher*, e originalmente feita via TCP e uso de criptografia SSL/TLS [31].

2.4.4 OPC UA

O OPC UA (*Open Platform Communications Unified Architecture*) foi um conceito que apareceu na automação industrial no ano de 1996, com o propósito de ter uma

tecnologia capaz de fazer a interação entre o *hardware* de controlo e dispositivos no chão de fábrica. A tecnologia OPC teria como objetivo proteger as aplicações do cliente dos detalhes do equipamento de automação e, forneceria uma interface de forma a interagir com o *hardware* de controlo e os dispositivos [33].

Com a extinção da tecnologia DCOM, em 2002 pela Microsoft, começou a ser desenvolvido um novo protocolo. Essas pesquisas levaram à finalização da versão 1.0 do protocolo OPC UA em 2009. Neste processo o acrónimo OPC foi alterado para "*Open Platform Communication*", sendo o nome padrão OPC UA (*OPC Unified Architecture*) [33].

Nos dias atuais, o protocolo OPC UA é uma plataforma padrão independente através do qual vários sistemas e dispositivos conseguem comunicar, através do envio de mensagens entre clientes e servidores pelo meio de várias redes. Suporta uma comunicação robusta e segura que garante a identidade dos clientes e servidores, resistindo assim a vários ataques. Estas características proporcionam assim a este protocolo ser um dos candidatos mais promissores para a comunicação unificada no contexto da indústria IoT [33].

2.4.5 DDS

Data Distribution Service (DDS) é um padrão *middleware* desenvolvido pela *Object Management Group* (OMG) que oferece uma comunicação em tempo real através do modelo de mensagens *publish/subscribe* [18].

Este protocolo concede uma conectividade de dados de baixa latência, extrema fiabilidade e uma arquitetura escalável, que se adapta às necessidades de negócios IoT. A principal diferença em comparação aos protocolos AMQP e MQTT é a sua descentralização. O DDS suporta uma comunicação de 1 para N. Outra diferença relevante é que o DDS oferece suporte de comunicação sem a necessidade de um *broker* [33].

De acordo com o conceito do DCPS, demonstrado na figura abaixo, existe um espaço no domínio através do qual todas as aplicações podem interagir e, todas as entidades de comunicação são colocadas no domínio. Nessas entidades estão incluídos o *Data Reader*, o *Data Writer*, o *Publisher* e o *Subscriber* [18].

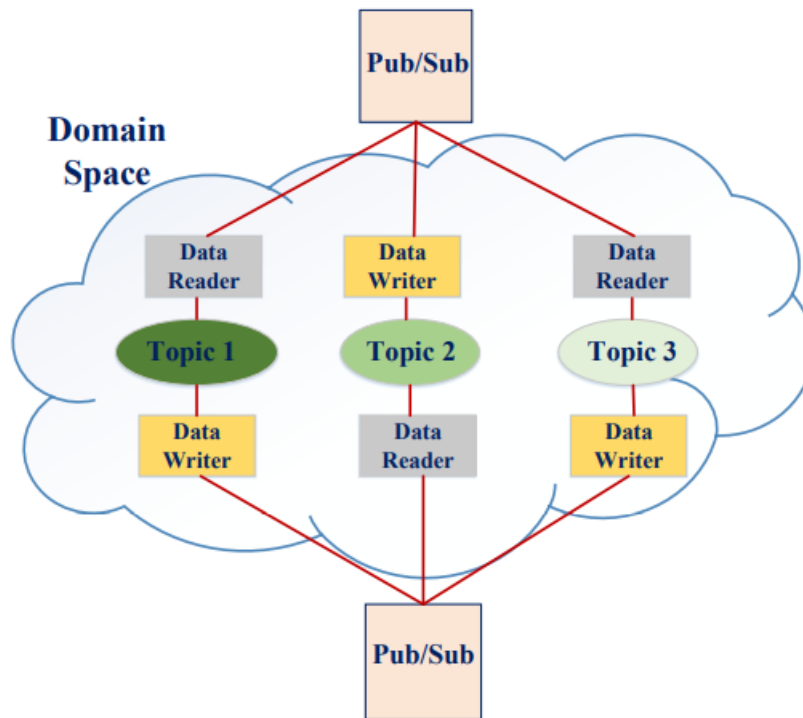


Figura 2.12: Domínio do DDS [18].

2.5 Apache Kafka

No mundo atual, estão constantemente a ser gerados dados em tempo real por vários tipos de aplicações, como negócios, sociais, entre outros. Todas estes dados precisam de ser direcionados rapidamente e de forma fiável para diferentes destinatários. A grande parte das vezes, os dispositivos que enviam ou recebem os dados, estão a uma grande distância um do outro, dessa forma, foi necessário desenvolver um ponto de integração entre eles que irá evitar diversos erros, como por exemplo a reescrita dos dados [35].

A publicação de mensagens é um mecanismo que visa conectar várias entidades com a ajuda de mensagens direcionadas entre eles, por exemplo por um *broker* de mensagens como o Kafka.

O Kafka é uma plataforma de código aberto de transmissão de dados e eventos, desenvolvida nas linguagens Java e Scala. Foi inicialmente desenvolvido pelo LinkedIn com o objetivo de processar cerca de 1,4 triliões de mensagens por dia, em janeiro de 2011. Atualmente é mantido pela empresa Confluent, sob a administração da fundação Apache [36].

Este é o exemplo de uma solução para os problemas da informação em tempo real, conseguindo assim encaminhar uma grande quantidade de dados para vários consumidores rapidamente. O Kafka oferece a integração perfeita entre produtores e consumidores de dados, protegendo a informação e em que os produtores não saibam quem são os consumidores finais [35].

Resumidamente, o Kafka opera num modelo *publish/subscribe* em tempo real, para um enorme volume de dados. No diagrama a seguir é possível observar um cenário típico de agregação e análise de vários dados, através do sistema de mensagens Apache Kafka [35].

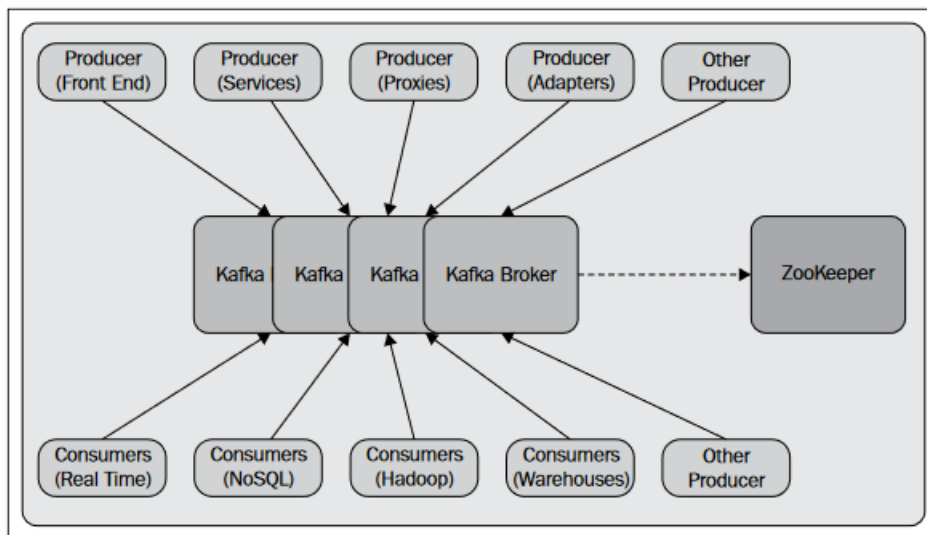


Figura 2.13: Diagrama de mensagens através do Kafka [35].

Das diversas características do Apache Kafka, é possível destacar quatro delas [36]:

- **Alto desempenho** - A entrega de mensagens tem uma latência de cerca de 2 milissegundos;
- **Escalabilidade horizontal** - É possível expandir para centenas de *brokers*, podendo processar assim milhões de mensagens por segundo;
- **Tolerância a falhas** - Devido ao seu sistema distribuído, no qual as mensagens são duplicadas e armazenadas em locais diferentes;
- **Alta disponibilidade** - É possível ter vários grupos de Kafka *brokers* em diversas partes do mundo.

2.5.1 Conceitos chave

Zookeeper

De forma ao grupo de Kafka *brokers* funcionar corretamente, é necessário um *zookeeper*, possível de ver no diagrama anterior. O objetivo principal é gerir os diversos *brokers* do grupo. Para além disso, o *zookeeper* apresenta outras funções, tais como [36]:

- Auxiliar na eleição de um líder de um tópico de mensagens;
- Enviar notificação ao Kafka quando:
 - Um novo tópico é criado;
 - Um tópico é eliminado;
 - Um *broker* fica indisponível;
 - Um *broker* volta a ficar disponível.

Tópicos e partições

O termo "tópico" no Apache Kafka representa uma categoria na qual as mensagens vão ser publicadas. Esse é identificado por um nome único que normalmente faz referência ao fluxo de dados para o qual foi originalmente criado. É composto por um número específico de partições que necessitam ser introduzidas pelo utilizador ao criar o tópico. As mensagens são armazenadas nas partições de forma ordenada e imutável, onde a cada uma delas é atribuído um identificador único, denominado *Offset* [36].

As mensagens são enviadas aleatoriamente para as partições, com a exceção das mensagens que possuem uma chave específica, nesse caso todas as mensagens serão armazenadas na mesma partição. Estas também são armazenadas, por *default*, durante uma semana, podendo esse período de tempo ser alterado para o tempo desejado. Já no caso dos tópicos, estes possuem um fator de replicação o que faz com que as partições sejam replicadas pelos diversos *brokers* do grupo. Dessa forma, se um *broker* tiver problemas ou não estiver disponível, as mensagens do tópico podem ser consultadas através de outro *broker* [36].

Na figura seguinte é possível ver um exemplo de um tópico comum.

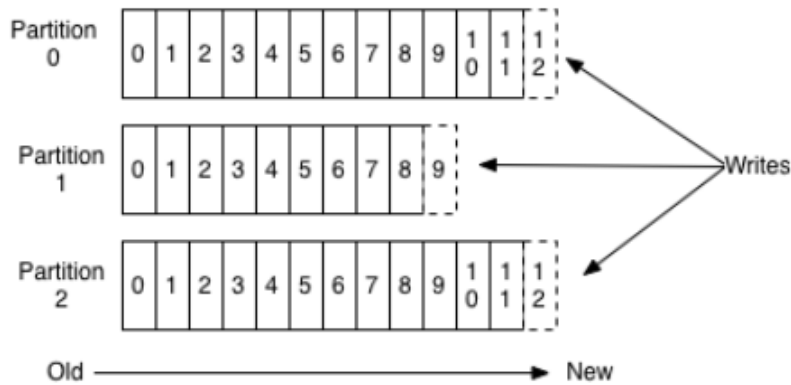


Figura 2.14: Exemplo de um tópico [36].

2.6 Sensores Inteligentes

Um sensor transforma um sinal de uma do domínio de uma outra energia, para o domínio elétrico.

Na figura a seguir podemos reparar em seis domínios diferentes de energia. O domínio magnético que transforma sinais magnéticos em sinais elétricos. O domínio químico e biomédico, utilizado por exemplo em sensores de pH ou DNA. O domínio óptico, possível utilizar em sensores que traduzem uma fotografia num sinal elétrico. O domínio mecânico, frequentemente utilizado num acelerómetro por exemplo e, por último o domínio térmico no caso dos sensores de temperatura [37].

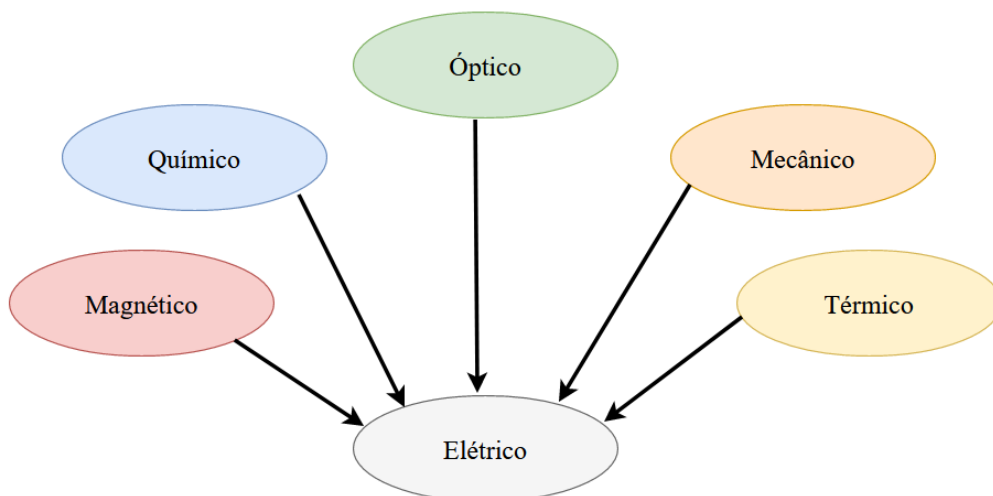


Figura 2.15: Diagrama dos domínios [37].

Após combinar um sensor a conversor analógico para digital e uma unidade de interface de barramento, é possível obter um sensor inteligente [37]. Desde há bastante tempo o uso de sensores inteligentes é uma prática comum nas indústrias no entanto, com o desenvolvimento da IoT, o papel que estes desempenham nos projetos atingiu outro patamar [38].

Os sensores representam o início da cadeia de leitura de dados e permitem uma leitura mais precisa, automatizada e com menos ruído. Este é um elemento crucial na IoT pois cada vez mais são desenvolvidos dispositivos com identificador único com a capacidade de transmitir dados de algo pela *internet* ou uma rede similar. A implementação de um sensor inteligente requer uma rede sensores e atuadores, podendo chegar a ser milhares, cada um dos quais conectado a um ou mais sensores [39].

Como é possível ver na imagem a seguir, um sensor inteligente é composto por um sensor, um microprocessador, normalmente de baixa potência, e algum tipo de tecnologia de comunicação. Os integrantes computacionais necessitam de estar integrados no *design* físico pois, um sensor que unicamente envia os dados para um processamento remoto não pode ser considerado um sensor inteligente [39].

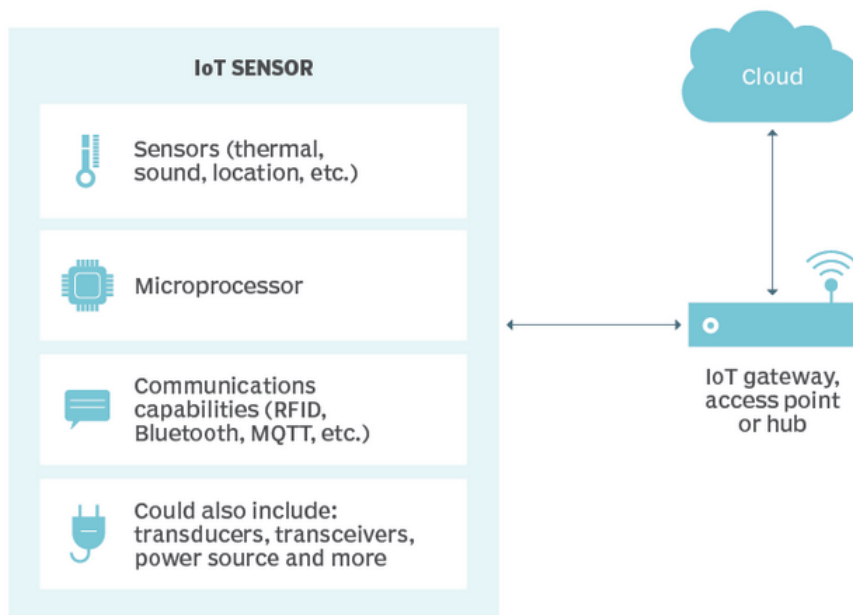


Figura 2.16: Componentes de um sensor inteligente [39].

A um sensor inteligente também é possível incluir outros componentes para além do sensor primário. Alguns exemplos destes componentes incluem amplificadores, transdutores ou filtros analógicos. Além disso, estes sensores incorporam elementos definidos de *software* com funções de conversão de dados, processamento digital ou comunicação com dispositivos externos [39].

Existem inúmeros casos para o uso de sensores inteligentes. Um dos mais comuns é em ambientes industriais abrindo assim a expansão da indústria 4.0.

Na indústria são regularmente usados sensores de temperatura de forma a verificar que a maquinaria não está a aquecer mais do que o desejado ou sensores de vibração para detetar a segurança da máquina. Os sensores também auxiliam em processos de controlo, por exemplo na produção de um produto, preservando assim a sua qualidade final. Estes processos outrora realizados manualmente, facilitam e automatizam uma empresa. Estes sensores também são utilizados em outros ramos como o da domótica ou em sistemas de segurança modernos. Dispositivos como fechaduras inteligentes, sensores de movimento e sensores em portas e janelas, todos conectados a uma rede comum, conseguem trabalhar em conjunto de forma a manter o nível de segurança de um edifício [39].

2.7 Conclusões

Nos últimos anos tem crescido o conceito de *Internet of Things*, sendo este termo referente à ligação de objetos comuns, através de tecnologias inteligentes. Existe uma grande variedade de aplicações desta tecnologia havendo um aumento anual significativo de dispositivos ligados à rede, continuando em crescimento. Este é integrado por quatro componentes essenciais: os dispositivos, a conectividade, o processamento de dados e a interface do utilizador. É uma tecnologia que apresenta diversas vantagens em termos de eficiência em vários setores e segurança. Atualmente é visto como uma das soluções para a eficiência energética dos edifícios, que representam um consumo de 40% de toda a energia gasta no mundo, podendo ser aplicados em várias tecnologias de luminosidade, sistemas térmicos, entre outros.

De forma a poder utilizar esta tecnologia é necessário o trabalho em conjunto de diferentes recursos de cada uma das camadas da arquitetura. São necessários sensores e outros dispositivos para recolher os dados, protocolos de comunicação (por exemplo MQTT, CoAP ou OPC UA) responsável pela comunicação dos dados para os respetivos recetores, tratamento e análise dos dados, bem como a interface do utilizador, com o objetivo de proporcionar uma interação entre os dispositivos e quem consulta os dados por eles enviados.

Prova-se assim ser uma tecnologia versátil para várias aplicações, capaz de ajudar não só o utilizador comum, mas também cidades, empresas e o próprio ambiente.

Capítulo 3

Desenvolvimento

No presente capítulo serão apresentados os detalhes sobre o projeto realizado no INESC TEC. Aqui será apresentada a descrição do projeto e os seus requisitos. Também é apresentada a arquitetura da plataforma bem como o seu funcionamento e o tratamento dos dados recebidos. Por fim será apresentado um exemplo de funcionamento da plataforma desenvolvida.

3.1 Descrição do projeto

Este projeto baseia-se no desenvolvimento de sistemas, ferramentas e metodologias para a promoção da descarbonização dos edifícios através da racionalização do consumo de energia térmica, da recuperação de calor residual, do armazenamento de energia térmica e da otimização da gestão de energia e ligação à gestão operacional dos edifícios.

Desse modo também pretende incentivar a implementação, no setor de serviços, de soluções que promovam a economia circular, baseada num modelo de desenvolvimento sustentável e nos princípios de uma economia verde, garantindo assim a eficiência na utilização de recursos como energia e água. Ao mesmo tempo, promovendo uma economia de baixo carbono e soluções que beneficiem economicamente os responsáveis pela operação dos edifícios.

O principal objetivo do projeto é desenvolver um sistema inovador, modular e ecoeficiente de recuperação e armazenamento de energia térmica em edifícios, através da incorporação de sistemas de automação e controlo e ferramentas informáticas de gestão energética. Em concreto, é objetivo do projeto desenvolver soluções inteligentes de recuperação e armazenamento de calor em edifícios de serviços por forma a:

1. Conseguir a máxima eficiência possível na recuperação de calor de águas cinzentas, ao nível dos materiais, das formas e armazenamento de energia, medindo e monitorizando esses ganhos e performances ao longo do tempo, reduzindo a possibilidade de entupimentos e de perda de eficiência;
2. Conseguir dar visibilidade, através de uma aplicação, aos seus utilizadores, das poupanças e ganhos efetivos de cada duche, assim como, das possíveis necessidades de manutenção;
3. Sugerir medidas que visam a melhoria e otimização dos sistemas de energia térmica, nomeadamente de AQS (Águas Quentes Sanitárias), através de regulações nos próprios sistemas e a alterações de comportamentos e hábitos de consumo;

Conceptualmente também pretende-se que o sistema tenha características como um baixo consumo de investimento inicial, modularidade e flexibilidade, elevada eficiência energética e ambiental (o sistema, para além de estar otimizado termicamente, também estará dotado de sistemas de sensorização, monitorização, IoT, entre outros) e, uma utilização intuitiva e que forneça apoio à tomada de decisão.

A solução a desenvolver resultará da integração de três subsistemas principais:

- **Subsistema de recuperação de calor** - Desenvolvimento de permutadores de calor eficientes (horizontais e verticais) para recuperação de calor de águas cinzentas;
- **Subsistema de armazenamento de calor** - Desenvolvimento de sistemas de armazenamento de calor latente de elevada densidade energética para colmatar o desfasamento temporal entre a recuperação e a reutilização do calor residual e promover a poupança do consumo de energia e água;
- **Subsistema de monitorização, automação e controlo** - Incorporação de sistemas de automação e controlo e ferramentas informáticas que permitam monitorizar o desempenho de tecnologias de recuperação e armazenamento de energia e apoiar a gestão integrada da produção e consumo de energia térmica.

Do diagrama da figura 3.1 é possível verificar a arquitetura eletromecânica do sistema do projeto. O bloco 1) é responsável pelos sistemas de controlo, como a implementação dos sensores e das eletro-válvulas, e onde serão feitas as leituras das temperaturas e dos caudais da água. O bloco 2) é o controlador disponível para o utilizador, onde poderá ser possível iniciar a queda de água e mudar a temperatura quando desejado. Já no bloco 3) está representado o protótipo, desenvolvido pelo Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial (INEGI), capaz de aproveitar a temperatura das águas cinzentas provenientes do banho para a água fria.

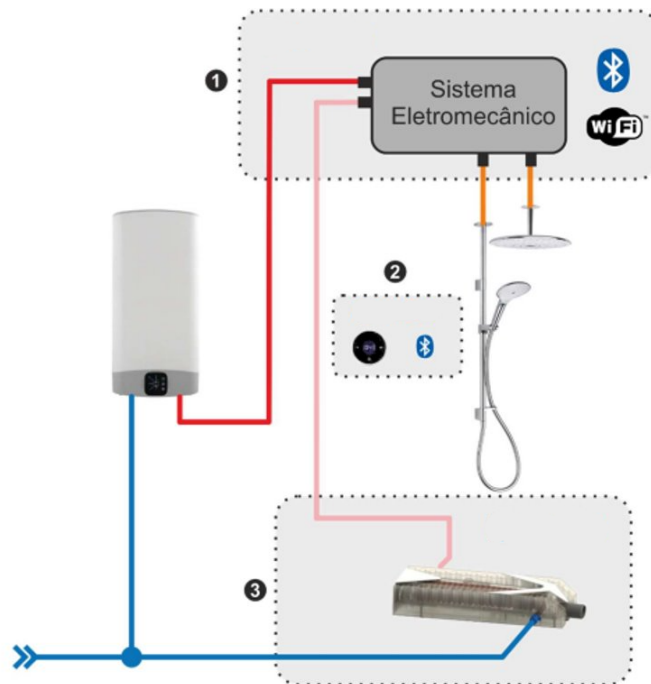


Figura 3.1: Arquitetura eletromecânica do sistema.

Esta dissertação está integrada no subsistema de monitorização, automatização e controlo, através da criação de uma plataforma IoT capaz de enviar tanto os dados lidos pelos sensores, implementados no sistema eletromecânico, como enviar os comandos necessários de interação com o sistema.

3.2 Requisitos do Sistema Inteligente de Duche

Foram apresentados diversos requisitos, de modo ao bom funcionamento do projeto bem como os cumprimentos das suas necessidades. Entre os quais, os requisitos do sistema inteligente:

- **RQ1** : Não desperdiçar água no início do duche;
 - Pretende-se que no duche apenas saia água quando (e se) estiver quente (à temperatura programada), evitando-se assim o desperdício de água que se verifica no início de cada duche, enquanto se aguarda pela disponibilidade de água à temperatura desejada.
- **RQ2** : Antecipar possíveis entupimentos na água drenada no duche;
 - O ralo de duche e as tubagens a jusante podem começar a acumular detritos/outros, com o passar do tempo. Assim, sempre que o sistema detetar a descida de 10% na eficiência, deve informar o utilizador de quais medidas preventivas a tomar.
- **RQ3** : Verificar possibilidades de fugas no circuito de água potável, por intervenção do utilizador;
 - Pretende-se que no circuito de água potável, quente e fria, seja detetada a ocorrência de fuga de água. Para tal, deveremos sugerir uma lista de tarefas preestabelecidas que o utilizador deverá seguir, para que, consoante a variação de leituras nos sensores de pressão, o sistema pode concluir se existe ou não fuga de água.
- **RQ4** : Gestão otimizada de caudais para potenciar a eficiência do sistema;
 - É pretendido controlar instantaneamente os caudais da água quente e água pré-aquecida, de forma a otimizar a eficiência energética e necessidades para cumprir com as definições de duche que o utilizador solicita.
- **RQ5** : Monitorizar a qualidade da água potável;
 - O sistema deverá medir características na água potável que sejam do interesse do utilizador e, conseqüentemente, que acrescentem valor ao sistema, tais como é o caso do pH, o calcário, *legionella*, ou mesmo composições potencialmente prejudiciais à saúde humana.
- **RQ6** : Detetar o retorno da água potável;
 - O sistema deverá detetar o retorno da água fria e emitir aviso ao utilizador.

- **RQ7** : Criação de base de dados para a gestão/informação dos dados do utilizador;
 - É necessário criar a arquitetura da base de dados que, em ligação a uma aplicação *mobile*, deverá permitir que o utilizador possa gerir os seus consumos e poupanças, ou mesmo definições, caso possua equipamentos que permitam comunicações/integrações.

Os requisitos do sistema inteligente do duche irão ser realizados entre os dois centros de investigação, CRIIS e CESE. Os requisitos resolvidos pelo centro de investigação CRIIS, e como, são apresentados de seguida:

- **Resolução do Requisito 1** : Se o sensor de temperatura detetar a temperatura de água quente inferior à predefinida pelo utilizador, a bomba circuladora é ativada obrigando a água fria a circular no sentido contrário até chegar ao sistema AQS. Para tal, as eletro-válvulas mantêm-se fechadas para não permitir a saída de água para o duche.
- **Resolução do Requisito 3**: Por ação do utilizador, poderá selecionar na APP *mobile* "testar fugas de água". O sistema deverá apresentar os passos que o utilizador deverá seguir de forma a conseguir realizar o respetivo teste. Depois de feito o procedimento por parte do utilizador, o sistema mede a pressão durante 1 minuto e, caso haja variação de pressão superior a 0.2 bar, o sistema informa de possibilidade de fuga.
- **Resolução do Requisito 4** : O sistema deverá gerir/ajustar instantaneamente a percentagem de abertura das eletro-válvulas potenciando a sua utilização.
- **Resolução do Requisito 6** : Caso o sistema esteja parado, ou seja sem o duche a decorrer, e o sensor de caudal detetar caudal negativo, o sistema deverá emitir um aviso ao utilizador a sugerir fechar a torneira de abastecimento de água da fração e chamar um técnico.

A resolução dos restantes requisitos, irão ser faladas em capítulos seguintes.

3.3 Arquitetura Proposta

Nesta secção será abordada de forma geral os diferentes componentes integrados no sistema inteligente do projeto e as comunicações que estabelecem entre eles. Na figura 3.2 está representada a esquematização de todo o processo relativo à plataforma IoT.

O sistema inteligente de duche é dividido por três diferentes equipas, duas delas centros de investigação pertencentes ao Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência (INESC TEC), e a terceira empregada a uma empresa sub-contratada. Os centros que acolheram este projeto foram o Centro de Engenharia de Sistemas Empresariais (CESE) e o Centro de Robótica Industrial e Sistemas Inteligentes (CRIIS).

O centro CESE desenvolve a sua atividade nas áreas de Produção (sistemas de informação avançados de apoio à gestão industrial, gestão de qualidade, sistemas de planeamento e controlo de produção, automação, sistemas de apoio à decisão, etc.) e Logística (sistemas de gestão de cadeias de fornecimento, planeamento de sistemas logísticos, etc.). Para além disso também se dedica à área de Engenharia Empresarial em projetos que apoiam a análise e otimização de processos no âmbito industrial, desenho e análise de redes de cooperação empresarial, entre outros.

No caso do centro CRIIS, as áreas de investigação abordadas são a navegação e localização de robôs móveis, sensores inteligentes e controlo de sistemas dinâmicos, manipuladores móveis, robótica industrial, IoT ou indústria 4.0. Este centro colabora com empresas, Institutos e Universidades.

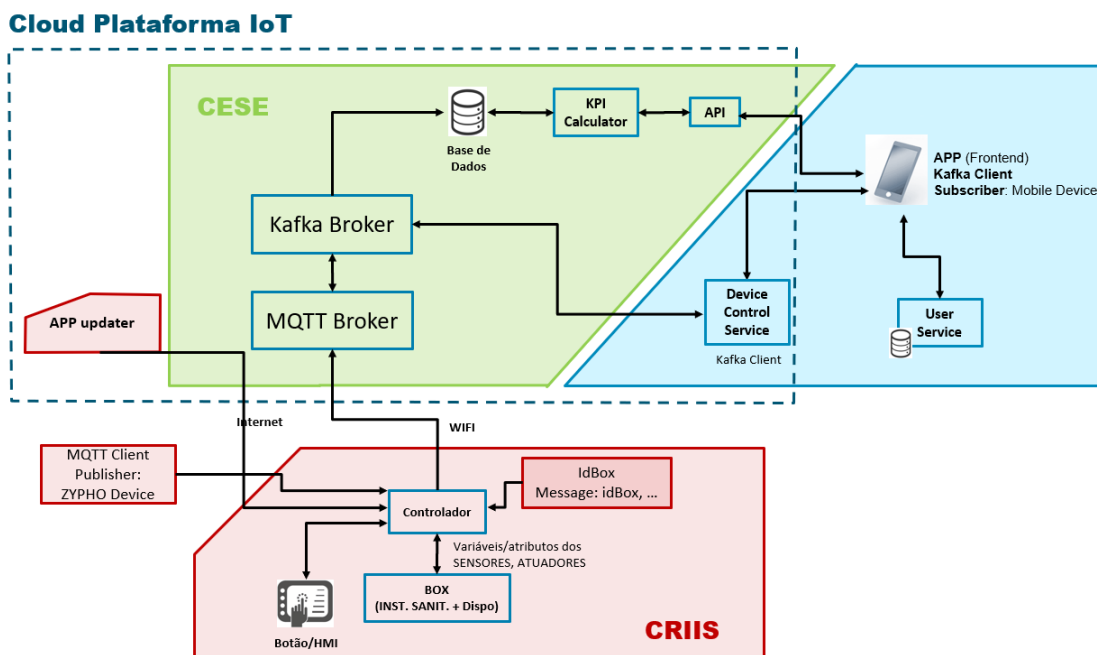


Figura 3.2: Arquitetura do sistema inteligente.

A primeira equipa, encarregue ao centro CRIIS, será responsável pela escolha e implementação dos sensores necessários para os dados que se pretende retirar, bem como os microprocessadores e dispositivos necessários, incutidos numa caixa, retratada na figura como "Box". Por exemplo sensores de temperatura para as medições da temperatura da água quente, fria e da água aproveitada, ou sensores de caudal para as medições das quantidades das águas necessárias para atingir a temperatura desejada pelo utilizador. Esta equipa também irá implementar o botão para o controlo do duche, representado na figura como "Botão/HMI", e o controlador, responsável pelas comunicações e *publisher* do *broker* MQTT, capaz de enviar mensagens dos sensores. É no controlador que será registado o Id da box, referente a um chuveiro.

A segunda equipa, encarregue ao centro CESE e a plataforma onde esta dissertação se baseia, está responsável pela plataforma IoT. Plataforma esta capaz de enviar dados dos sensores para uma base de dados, tratar esses mesmos dados e por fim, enviar os mesmos para uma aplicação. Dessa forma foi idealizado ligar o controlador, composto pelos diversos sensores, ao *broker* de MQTT e depois ao *broker* de Kafka até chegar à base de dados onde irão ser armazenados.

O protocolo MQTT, referido no capítulo anterior "Estado de Arte", foi escolhido devido à sua capacidade de lidar com numerosos dispositivos, de forma *wireless*, e possibilidade de trocar mensagens em tempo real para diferentes tópicos. Este foi conectado ao Kafka, capaz de criar *pipelines* de dados com alto desempenho e armazenar grandes quantidades de mensagens. De uma perspetiva técnica é possível notar que ambas diferentes em implementação e competências, mas têm dois pontos importantes em comum: a estrutura da comunicação ser feita por tópicos, e ser ambas num modelo de mensagens *publish/subscribe*.

Depois dos dados estarem armazenados na base de dados será necessário tratar os mesmos, realizado no bloco "KPI Calculator", de forma a obter cálculos pretendidos como a eficiência, tempo e água gastos, entre outros. Para finalizar a plataforma IoT é preciso criar uma API que conecte o tratamento dos dados com a aplicação e permita assim a comunicação entre os dois.

Já no caso da terceira equipa, será encarregue a realização da aplicação para o utilizador e do registo dos dados do mesmo. A aplicação tanto será para visualizar os valores dos consumos como para enviar comandos, como por exemplo para testar se existem fugas ou detetar a qualidade da água. Este irá ter o papel de *subscriber* no Kafka.

3.4 Comunicação dos dados

De forma a atingir os requisitos impostos pela empresa para o projeto, é necessário analisar e calcular os dados recebidos de cada banho. Para isso é preciso usar tecnologias que enviem os dados lidos pelo sensor, até uma base de dados. Para isso, como referido no capítulo anterior, foram selecionados um *broker* de MQTT e um *broker* de Kafka. Estes são utilizados em conjunto pois são a combinação perfeita em plataformas IoT *end-to-end*. Os dispositivos IoT podem conectar ao seu *broker* MQTT através de um protocolo MQTT e, após isso, as mensagens são enviadas para o Kafka para para as distribuir para as aplicações certas, por exemplo a base de dados ou uma aplicação *mobile*, e igual no sentido contrário.

Como *broker* MQTT foi escolhido o Eclipse Mosquitto, um intermediário de mensagens em código aberto, que implementa as versões 5.0, 3.1.1 e 3.1 do protocolo MQTT. O Mosquitto é uma tecnologia leve e adequado para usar em todos os dispositivos.

Já no caso da base de dados, foi projetado utilizar o TimescaleDB, uma base de dados de código aberto desenvolvido especificamente para dados em séries temporais, e é implementado como uma extensão do PostgreSQL. Apesar de existirem diversas soluções para séries temporais, o TimescaleDB oferece também uma base de dados SQL convencional, podendo assim ser utilizadas os dois tipos de tabelas, convencionais e de séries temporais (denominadas *hypertables*), sem qualquer distinção por parte das aplicações. As *hypertables* são divididas por *chunks*, onde cada um é relativo a um intervalo de tempo específico, possível de ver na seguinte figura.

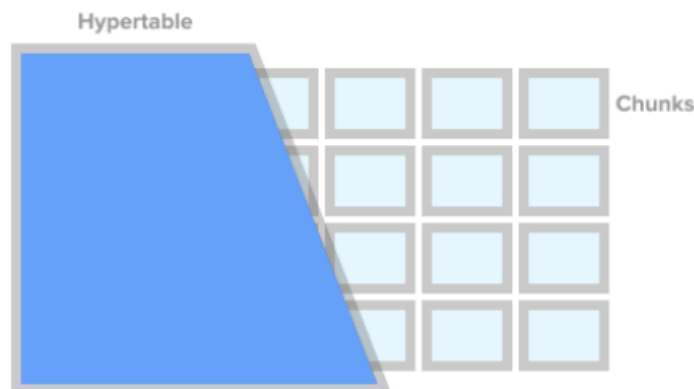


Figura 3.3: Modelo de uma *hypertable* [40].

Inicialmente foi necessário projetar a arquitetura da comunicação entre a Box, onde estão incorporados os sensores e outros dispositivos, e a base de dados. Começou-se por referenciar todas as comunicações que irão ocorrer, e em que sentido. Irão ser enviados dados relativos às:

- **Variáveis do banho** - enviadas desde a Box até à base de dados;
- **Comandos** - enviados da aplicação *mobile*, por ordem do utilizador, de forma testes de fuga, *firmware updates*, entre outros. Estes comandos tanto podem ser enviados para a Box como para a base de dados dependendo do objetivo;
- **Eventos** - enviados a partir da Box para a base de dados. Estes servem para indicar eventos como:
 - Início do banho;
 - Fim do banho;
 - Temperatura do banho alterada;
 - Início do ciclo de aquecimento;
 - Fim do ciclo de aquecimento;

Para enviar informação a partir ou para o Kafka é necessário recorrer a conectores, podendo estes ser do tipo *Source* ou *Sink*. Um conector *Source* é utilizado para receber dados, sejam eles de base de dados, *brokers*, ou outros. Já o conector *Sink*, é usado para enviar dados do Kafka para outras tecnologias. Existem vários tipos de conectores para diferentes plataformas, por exemplo, JDBC, MongoDB, MQTT Connector, Cassandra, entre outros.

Com estas informações, foi possível desenhar o seguinte diagrama:

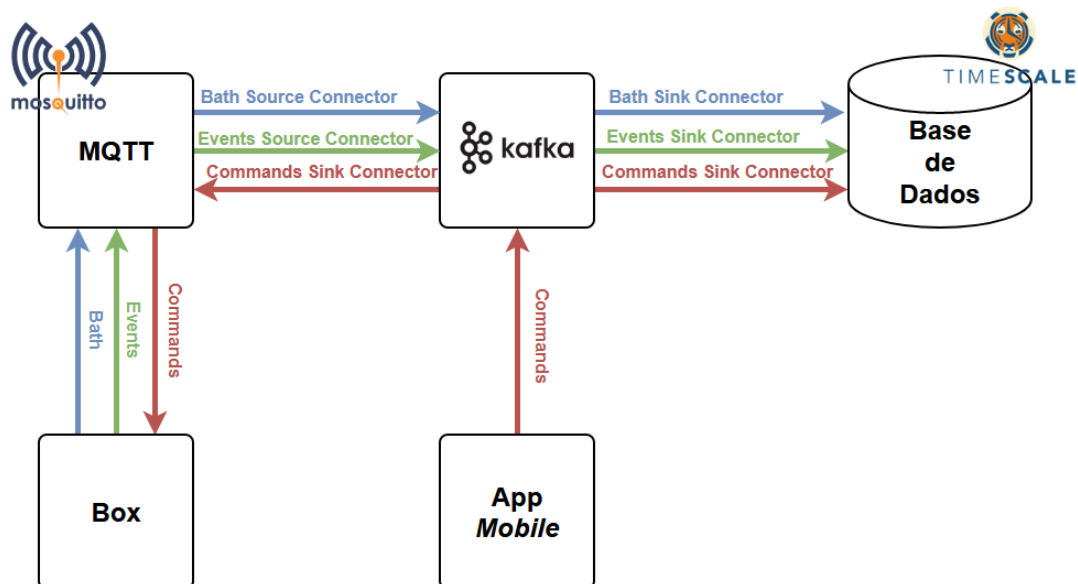


Figura 3.4: Diagrama da comunicação de dados.

Foram escolhidos diferentes tipos de conectores dependendo do seu objetivo. No caso dos conectores ligados no sentido Kafka-Base de dados, foi usado o conector JDBC, indicado para ligar a bases de dados relacionais. Já no caso dos conectores *Source* no sentido MQTT-Kafka foi usado o MQTTSourceConnector e no conector *Sink*, no sentido Kafka-MQTT, foi usado o modelo MQTTSinkConnector.

3.5 Modelo de Dados

Para criar as tabelas necessárias na base de dados é preciso saber perfeitamente quais os dados que vão ser recebidos pela mesma. Dessa forma, foram realizadas várias reuniões entre a empresa e as equipas envolvidas no projeto. Através dos requisitos para o produto final, foi possível decidir quais os sensores a utilizar, e os eventos a guardar registo. Resolveu-se assim criar três tabelas diferentes para registar toda a informação recebida de forma organizada.

Na primeira tabela é possível verificar os dados que irão ser recebidos na base de dados, com início na Box, relativos a um banho específico. Aquando a finalização de um banho, os dados da tabela irão ser todos enviados de uma vez, ou seja, cada banho terá apenas uma linha de informações na tabela do TimescaleDB.

Dados	Descrição
nodeId	Endereço único de uma Box;
bathId	Endereço único de um banho;
timestamp	Instante exato em que a mensagem é enviada, esta mensagem é enviada no formato yyyy-MM-dd'T'HH:mm:ss.SSSSSS'Z';
initial_hot_temperature	Valor da temperatura inicial do canal de água quente;
average_hot_temperature	Valor da temperatura média do canal de água quente;
initial_cold_temperature	Valor da temperatura inicial do canal de água fria;
average_cold_temperature	Valor da temperatura média do canal de água fria;
average_shower_temperature	Valor da temperatura média na saída do chuveiro do banho;
average_water_flow	Caudal de água médio do banho;
pH	Valor do pH na água do banho;
calcium	Valor do cálcio na água do banho;
ammonia	Valor do amoníaco na água do banho;
phosphate	Valor do fosfato na água do banho;
chlorine	Valor do cloro na água do banho;
nitrate	Valor do nitrato na água do banho;

Tabela 3.1: Modelo de informação de um banho.

Na tabela a seguir está demonstrado o tipo de dados possíveis de receber acerca dos eventos.

Dados	Descrição
nodeId	Identificador único da Box;
eventId	Identificador único do evento. Pode ser do tipo start-bath, end-bath, start-heating-cycle, end-heating-cycle ou bath-temperature-change;
timestamp	Instante exato em que a mensagem é enviada, esta mensagem é enviada no formato yyyy-MM-dd'T'HH:mm:ss.SSSSSS'Z';
eventData	Mensagem em formato JSON, onde serão enviados os dados do evento. Dentro desta mensagem, própria para o evento de mudança de temperatura do banho, irá conter os valores do identificador do banho (bath_Id), temperatura antes da alteração e temperatura após a alteração;

Tabela 3.2: Modelo de informação de um evento.

Outro dos grandes objetivos do projeto era conseguir mostrar ao utilizador outras variáveis que não lidas pelos sensores usados, como por exemplo a eficiência, o tempo gasto e a água gasta. Dessa forma também foi criada uma tabela de KPI's (*Key Performance Indicator*), atualizada quando o utilizador tenciona ver os dados na aplicação *mobile*, possível ver a seguir:

Dados	Descrição
bath_id	Identificador único do banho;
efficiency	Eficiência de um banho;
time_spent	Tempo total do banho;
water_spent	Total de água gasta no banho;

Tabela 3.3: Modelo de informação dos KPI's.

3.5.1 Tratamento e disponibilização dos dados

Após os dados estarem armazenados, é necessário o seu tratamento. Dessa forma foi desenvolvido um programa, na linguagem Java, denominado "KPI Calculator". Resumidamente, este código, desenvolvido através de *Spring Boot*, tem como objetivo obter os valores armazenados na base de dados, tratá-los de forma a obter os KPI's desejados e ligar a uma aplicação *mobile* através de uma API. Para isso, o programa foi estruturado em quatro partes diferentes, cada uma com o seu objetivo, sendo elas: *Entity*, *Repository*, *Services* e *Controller*.

Foram criadas três classes com a anotação "@Entity", informando a mesma que é uma entidade. Uma entidade, na orientação a objetos, representa uma tabela na base de dados, e cada instância dessa entidade representa uma linha dessa mesma tabela. A ligação à base de dados é estabelecida através da *Java Persistence API*, ou simplesmente JPA, tornando os dados persistentes, ou seja, garante que os dados são guardados e possíveis de recuperar quando necessário no futuro. Para existir esta ligação, os nomes das tabelas, tanto na classe como na base de dados têm de ser exatamente iguais.

Criaram-se então as entidades das tabelas referidas no capítulo anterior, com a adição de uma variável "Id" representativa da chave primária, e é utilizada como o identificador único de cada tabela.

De seguida foram criados os repositórios JPA, através do Spring Data, com a anotação "@Repository". É nesta classe que irá tratar das transações entre a entidade e a base de dados. Este é a subcamada responsável pela persistência de dados e permite operações CRUD (*Create, Read, Update, Delete*). Dessa forma, foram criados três repositórios, um para cada entidade.

Com as entidades e os repositórios criados, foi possível definir os serviços. É aqui que são adicionadas as funcionalidades de negócio. É responsável por validar e executar as funções de tratamento dos dados, e usa o repositório e a entidade para ter acesso à base de dados.

Criou-se três serviços diferentes, um para os dados relativos ao banhos, um para os eventos e outro para os KPI's. Para os banhos e eventos foram criadas as mesmas cinco funções, sendo elas:

- Encontrar todos (*findAll*) - para retornar todos os dados dos banhos/eventos;
- Encontrar pelo ID (*findById*) - para retornar um banho/evento específico, através do seu identificador único;
- Guardar (*save*) - para guardar um banho/evento na base de dados;
- Atualizar (*update*) - para atualizar um banho/evento na base de dados;
- Apagar (*delete*) - para apagar um banho/evento da base de dados;

Já no caso do serviço de KPI's, foi necessário criar outro tipo de funções, de forma a atingir os valores necessários de consultar. Foi proposto fazer o cálculo da eficiência, tempo gasto no duche e a água total gasta. Para o caso da eficiência, foi necessário consultar uma equação desenvolvida pela empresa.

$$Eficiência = \frac{(TemperaturaPréAquecida) - (TemperaturaFriaMédia)}{(TemperaturaChuveiroMédia) - (TemperaturaFriaMédia)} \times 100 \quad (3.1)$$

No caso desta equação, todas as variáveis são enviadas pelos sensores. Dessa forma, acedeu-se à base de dados através do repositório, com o identificador único do banho que pretendemos calcular a eficiência, e criou-se um modelo com os dados obtidos. Depois de o modelo estar criado, guardou-se as variáveis necessárias e fez-se o cálculo.

No cálculo do tempo gasto no banho foram usados as *Timestamp's* dos eventos "start-bath" e "end-bath". De forma a criar o modelo com os dados da base de dados, foram criadas duas *queries* no repositório, uma capaz de retornar um evento a partir do identificador único do evento e do banho e outra de retornar a *timestamp* do evento a partir do identificador único do evento, da Box e do banho. Com os dados obtidos, foi então fazer o cálculo da seguinte equação (resultado em minutos):

$$TempoGasto = (TimestampFimBanho - TimestampInícioBanho) \times 6 * 10^4 \quad (3.2)$$

Para o cálculo da água gasta, foram usadas duas variáveis. A do cálculo do tempo gasto e a média do caudal de água no banho, consultada através do repositório. Foi então feito o seguinte cálculo:

$$TotalÁgua = TempoGasto \times CaudalMédioBanho \quad (3.3)$$

Por fim, foi criada uma função capaz de inserir os KPI's calculados numa linha de uma tabela, com o identificador único do banho a que estes pertencem. Esta foi realizada a partir da função "saveAndFlush" do Spring Data JPA e, quando retornada com sucesso, envia a mensagem "KPI Table Updated!" ao utilizador.

Depois de desenvolvidos os serviços, foram criados os controladores. Estas classes, com anotação "@RestController", são responsáveis pela comunicação entre o utilizador e a API. O controlador recebe os pedidos HTTP efetuados pelo utilizador e reencaminha estes dados para os serviços necessários. Depois de recebida uma resposta por parte dos serviços, o controlador envia uma resposta HTTP ao cliente, com a informação necessária. Esta comunicação é possível de observar no diagrama a seguir:

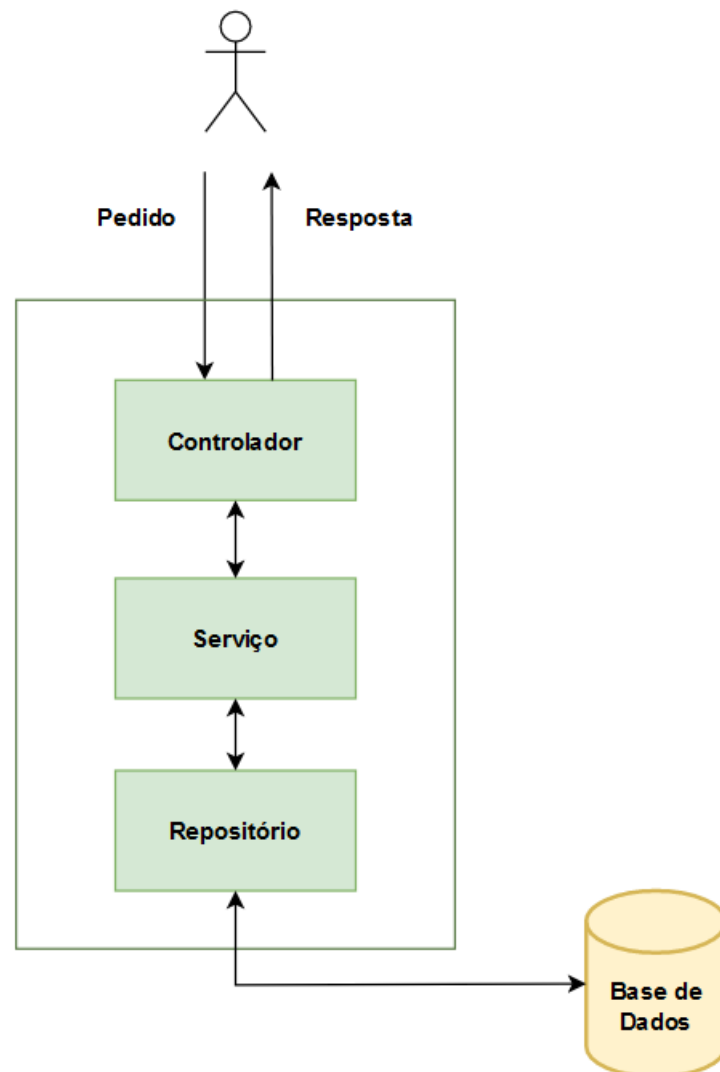


Figura 3.5: Diagrama da comunicação entre o utilizador e os dados.

Foram então criados dois controladores, um para os KPI's e outro para os eventos. O controlador de eventos e o controlador dos banhos. O controlador dos eventos lida com os seguintes pedidos HTTP, representados na tabela seguinte:

Rota	Método	Descrição
/event	GET	Retorna todos os eventos
	POST	Regista um evento
	PUT	Atualiza os eventos
/event/id	GET	Retorna o evento com o ID indicado
	DELETE	Apaga o evento com o ID indicado

Tabela 3.4: Pedidos HTTP dos eventos.

Já no caso do controlador dos banhos, os pedidos HTTP são os seguintes:

Rota	Método	Descrição
/bath	GET	Retorna todos os banhos
	POST	Regista um banho
	PUT	Atualiza os banhos
/bath/id	GET	Retorna o banho com o ID indicado
	DELETE	Apaga o banho com o ID indicado
/bath/nodeId/bathId/efficiency	GET	Retorna a eficiência de um banho de uma Box a partir dos seus ID's
/bath/nodeId/bathId/timeSpent	GET	Retorna o tempo gasto num banho de uma Box a partir dos seus ID's
/bath/nodeId/bathId/waterSpent	GET	Retorna o a água total gasta de um banho de uma Box a partir dos seus ID's
/bath/nodeId/bathId/iTemperature	GET	Insere os KPI's de um banho de uma Box na tabela, e retorna uma mensagem em caso de sucesso

Tabela 3.5: Pedidos HTTP dos banhos.

Face aos vários pedidos apresentados, o servidor responde com um dos seguintes códigos de resposta HTTP:

- **200 OK:**
O pedido foi bem sucedido.
- **201 Created:**
A solicitação foi atendida com sucesso e resultou na criação de um novo recurso.
- **400 Bad Request:**
A solicitação não foi compreendida pelo servidor devido a alguma má formação de sintaxe. O cliente não deve repetir o pedido sem fazer alterações.
- **404 Not Found:**
O ID pedido pelo cliente não existe, este código é enviado pelo servidor a informar isso mesmo.
- **409 Conflict:**
A solicitação não pode ser concluída devido a um conflito com o estado atual do recurso.

Foram realizadas outras funções de forma a responder aos requisitos em falta. Na tabela seguinte é possível observar os requisitos completos, e como:

Requisito	Resolução
Requisito 2	Guardou-se uma variável com a média dos dez primeiros banhos. A partir desse ponto, no final de cada duche o sistema compara o resultado da eficiência com o valor de referência previamente calculado.
Requisito 5	Sempre que os valores lidos demonstrem a possibilidade de uma irregularidade na qualidade na água (comparação a valores predefinidos), o sistema deverá informar o utilizador dessa mesma irregularidade.
Requisito 7	Criação da base de dados, tratamento e API, capaz de enviar para a APP.

Tabela 3.6: Requisitos resolvidos.

3.6 Exemplificação do Fluxo de Dados

De forma a perceber se a plataforma desenvolvida estava funcional, foi necessário realizar um teste à mesma. Começou-se por testar as comunicações desde a Box até à base de dados, como a criação dos conectores, dos tópicos e o envio da mensagens.

Começou-se por criar os conectores necessários a partir do "Kafka Connect", os mesmos demonstrados na figura 3.4. Depois disso, através da aplicação MQTTX, foi criada a conexão ao MQTT, podendo assim escrever as mensagens que pretendemos enviar em formato JSON. A título de exemplo foi enviado em evento do tipo "start-bath", possível de ver na figura a seguir.

```

Topic: nodes.box1.outbox.events.start-bath  QoS: 0
{
  "ts" : "2022-05-30T13:58:46.000000z",
  "data": {
    "bath_id": "1"
  }
}

```

Figura 3.6: Envio da mensagem através da aplicação MQTTX.

Depois do envio da mensagem, foi possível verificar que os dados já tinham chegado à base de dados, visível a partir do pgAdmin. Com esta confirmação foram testados outros tópicos com novas mensagens, que foram confirmadas a partir da plataforma Cedalo.

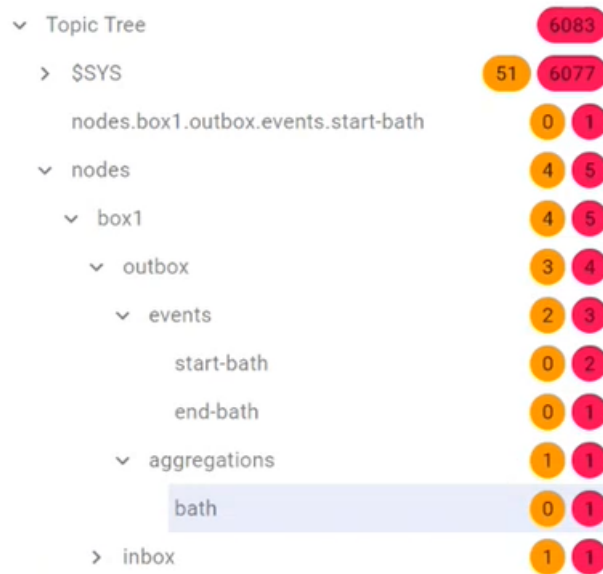


Figura 3.7: Visualização dos tópicos e mensagens enviados.

Para além desta visualização, nesta plataforma é possível ter acesso aos tópicos da mensagem, quando foi enviada e qual o seu conteúdo. Para finalizar, foi utilizada a plataforma Kafdrop onde foi possível verificar todos os tópicos criados bem como as suas partições.

Depois de realizados os testes de funcionamento da transmissão de mensagens, foram realizados os testes do programa "KPI Calculator" e da API. A ligação à base de dados PostgreSQL foi feita através do IntelliJ IDEA, ambiente de desenvolvimento utilizado, e utilizou-se a interface pgAdmin 4 para consultar os dados. Já os testes da API foram realizados através da plataforma Postman.

Começou-se por introduzir as mensagens através dos métodos POST. Foi enviada uma mensagem relativa aos dados do banho e dos eventos, no formato JSON.

Dados de um banho em formato JSON - Exemplo:

```
{
  "nodeId": 1,
  "bathId": 1,
  "timestamp": "2022-05-30T13:58:46.000000Z",
  "initial_hot_temperature": 40.0,
  "average_hot_temperature": 48.0,
  "initial_cold_temperature": 20.0,
  "average_cold_temperature": 22.0,
  "average_shower_temperature": 45.0,
  "average_water_flow": 3.0,
  "pH": 7.5,
  "calcium": 0.3,
  "ammonia": 1.3,
  "phosphate": 2.1,
  "chlorine": 3.1,
  "nitrate": 4.1
}
```

Dados do evento do tipo "start-bath" em formato JSON - Exemplo:

```
{
  "nodeId": 1,
  "eventId": "start-bath",
  "timestamp": "2022-05-30T13:52:46.000000Z",
  "eventData": {
    "bath_Id": "1",
    "before_temperature": null,
    "after_temperature": null
  }
}
```

Dados do evento do tipo "bath-temperature-change" em formato JSON - Exemplo:

```
{
  "nodeId": 1,
  "eventId": "bath-temperature-change",
  "timestamp": "2022-05-30T13:56:46.000000Z",
  "eventData": {
    "bath_Id": "1",
    "before_temperature": 26,
    "after_temperature": 27
  }
}
```

Para confirmar que os dados foram recebidos, recorreu-se à interface do PostgreSQL onde foi possível verificar que as tabelas tinham sido preenchidas com dados recebidos, possíveis de ver a seguir.

	sequence_id [PK] bigint	ammonia real	average_cold_temperature real	average_hot_temperature real	average_shower_temperature real	
1	1	1.3	22	48	45	
	average_water_flow real	bath_id character varying (255)	calcium real	chlorine real	initial_cold_temperature real	
	3	1	0.3	3.1	20	
	initial_hot_temperature real	nitrate real	node_id character varying (255)	ph real	phosphate real	timestamp timestamp without time zone
	40	4.1	1	7.5	2.1	2022-05-30 14:58:46

Figura 3.8: Visualização dos dados de um banho na base de dados.

	id [PK] bigint	data jsonb	eventid character varying (255)	nodeid character varying (255)	timestamp timestamp without time zone
1	2	{"bath_Id": "1", "before_temperature": 26, "after_temperature": 27}	bath-temperature-chan...	1	2022-05-30 14:56:46
2	3	{"bath_Id": "1", "start": "2022-05-30 14:52:46"}	start-bath	1	2022-05-30 14:52:46
3	4	{"bath_Id": "1", "end": "2022-05-30 14:58:46"}	end-bath	1	2022-05-30 14:58:46
4	5	{"bath_Id": "1", "start": "2022-05-30 14:49:46"}	start-heating-cycle	1	2022-05-30 14:49:46
5	6	{"bath_Id": "1", "end": "2022-05-30 14:52:46"}	end-heating-cycle	1	2022-05-30 14:52:46

Figura 3.9: Visualização dos dados de cinco eventos diferentes na base de dados.

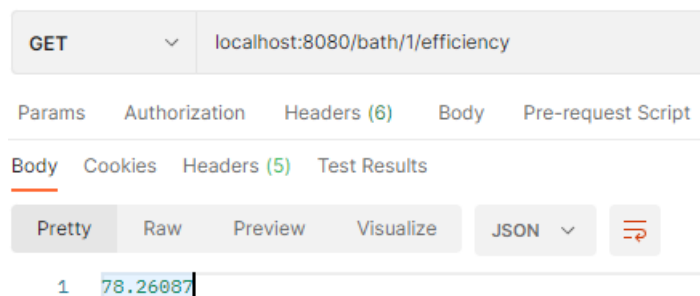
O evento "bath-temperature-change" recebe em formato *Json Data*, não só o identificador único do banho mas também as temperaturas registadas antes e depois da alteração. Na imagem seguinte é possível verificar a formatação da mensagem recebida.

```
1 {  
2   "bath_Id": "1",  
3   "after_temperature": 27,  
4   "before_temperature": 26  
5 }
```

Figura 3.10: Visualização da *data* enviada num evento de mudança de temperatura.

Após verificar que os dados tinham sido recebidos, foi necessário testar o funcionamento dos serviços e da API. Através da plataforma Postman foi possível realizar os pedidos através das rotas pré-definidas. Para os testes de funcionamento, devido ao facto do programa não estar ainda num servidor ou máquina virtual através da utilização do Docker, foi utilizado o URL "localhost:8080", relativo à máquina local onde este está instalado. O ID testado, tanto do banho como da Box, foi a *string* "1". Num caso prático real seria uma *string* possível de ter caracteres ou números. Foi possível então verificar que tanto os KPI's pedidos, como o serviço de inserir os KPI's numa tabela, foram requisitados com sucesso.

Nas figuras 3.11 e 3.12 estão apresentadas as respostas ao pedido da eficiência do banho e da colocação dos KPI's calculados na tabela, respetivamente.



The image shows a REST client interface. At the top, the method is 'GET' and the URL is 'localhost:8080/bath/1/efficiency'. Below the URL bar, there are tabs for 'Params', 'Authorization', 'Headers (6)', 'Body', and 'Pre-request Script'. Underneath, there are tabs for 'Body', 'Cookies', 'Headers (5)', and 'Test Results'. The 'Body' tab is selected, and it shows a response of '78.26087'. The response is displayed in a 'Pretty' view, and the format is set to 'JSON'.

Figura 3.11: Exemplo de um pedido do KPI eficiência.

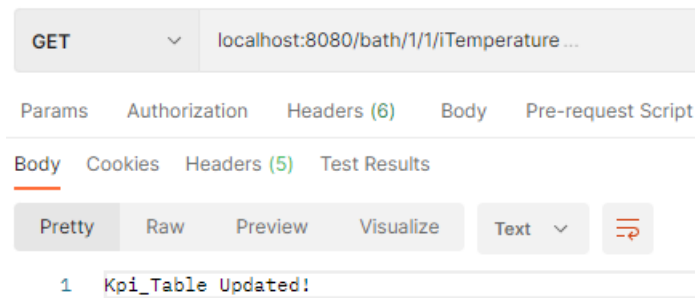


Figura 3.12: Exemplo de um pedido para inserir os KPI's na tabela destinada.

Foi possível então concluir que todos o trabalho desenvolvido está a funcionar e pronto para ser utilizado num servidor externo, depois de tratados os procedimentos para uma imagem Docker.

3.7 Conclusão

Neste capítulo foram apresentadas as metodologias selecionadas para o funcionamento da plataforma de forma a atingir os resultados esperados pela empresa. A metodologia seguiu os seguintes passos:

1. **Análise dos requisitos** : a identificação e análise dos requisitos é o primeiro ponto para o desenvolvimento do projeto. Estes foram desenvolvidos em reuniões com todos os elementos do projeto, sendo os requisitos do sistema inteligente realizados pelos centros de investigação CESE e CRIIS;
2. **Desenvolvimento da arquitetura e dos protocolos de comunicação utilizados** : Depois dos requisitos estarem definidos, desenhou-se uma arquitetura capaz de "transportar" os dados lidos pelos sensores para uma base de dados, calcular os KPI's e enviar para uma aplicação *mobile* através de uma API. Foram então decididos usar os protocolos MQTT e Kafka devido à sua capacidade de receber dados de vários dispositivos e de poder lidar com uma grande quantidade de dados. Na base de dados utilizou-se o TimescaleDB devido à sua capacidade de receber dados em *time-series* e Spring Boot para os cálculos dos KPI's e a criação da API;
3. **Cálculos e análises dos KPI's** : De forma a chegar aos KPI's desejados, criou-se serviços com as funções onde, através de um repositório, são calculados os dados necessários;

4. **Simulação de um cenário real :** Por fim foi realizada uma simulação de entrada de dados através dos protocolos de comunicação utilizados e os pedidos da API, capaz de usar os serviços necessários com os valores registados na base de dados;

Capítulo 4

Caso de Aplicação

4.1 Introdução

Neste capítulo será relatado um caso de aplicação hipotético num hotel português. O gerente desse mesmo hotel, avalia as contas todos os meses e deteta que um dos seus maiores custos está referente a energias termais, ou seja, aquecimento de água e aquecimento ou arrefecimento dos quartos. Devido ao aumento atual dos custos de energia na Europa, é decidido no conselho geral procurar soluções que consigam minimizar este problema.

Através de uma pesquisa intensiva, o gerente conseguiu encontrar o produto desenvolvido neste projeto. Este produto, é aplicado nos chuveiros onde através da utilização de um sistema inteligente diminui tanto o consumo de água como o consumo de energia necessária que seria utilizada para aquecer a água case não tivesse uma recuperação das águas quentes sanitárias. Para além disso, este sistema tem como inovação a possibilidade de medida da qualidade da água.

A utilização deste produto foi apresentado à direção e foi aprovado a sua instalação em todos os quartos do hotel.

4.2 Instalação

Depois de contactada a empresa, foi marcado um dia para ocorrer a instalação do equipamento nos quartos, que a caso de exemplo serão cinquenta. Para ocorrer a instalação de forma correta irão ser necessários duas pessoas, o instalador do equipamento e o cliente, que neste caso é o gerente do hotel.

O equipamento é composto por três peças, a parte mecânica, onde irá ocorrer a transferência de calor entre as águas residuais e as águas frias, a "Box", onde estão os sensores necessários para a leitura dos dados, e o controlador, peça visível ao utilizador do banho onde será possível iniciar a queda de água e alterar a temperatura. A este equipamento, no seu processo de fabrico, é gerado um identificador único, sendo esse o seu número de série. Para além disso, o equipamento possui o DNS da plataforma IIoT.

Para iniciar o processo de instalação e registo do equipamento, o instalador instala o equipamento num dos quartos. Após essa instalação, o cliente faz a transferência da aplicação do produto para o seu telemóvel. Através do *Bluetooth* no controlador do equipamento, a aplicação está emparelhada ao mesmo. Com os dois emparelhados, o cliente necessita de se registar na aplicação.

O registo é feito através do identificador único do equipamento, *username* e *password*. A aplicação associa o identificador único do equipamento ao utilizador e completa assim a instalação do equipamento.

No caso do resto dos quartos, o processo é o mesmo, não havendo necessidade de novo registo na aplicação por parte do cliente. Neste caso basta emparelhar o equipamento com a aplicação através de *Bluetooth* e associar o novo identificador único do equipamento ao utilizador, havendo assim um controlo de mais de um equipamento por parte do mesmo utilizador.

Depois destes passos estarem completos, é possível começar a utilização do produto.

4.3 Consulta dos KPI's

Após um mês de utilização, o gerente quer consultar os dados para saber a eficiência do seu novo produto no hotel. Dessa forma, abre a aplicação do produto, descarregada previamente, e pressiona o botão "Eficiência". O gerente deverá escolher se quer ver a eficiência de um chuveiro específico, ou de todos de uma vez.

Depois de pressionar o botão desejado o pedido é realizado à API REST com o endereço relativo a esse mesmo pedido. A API recorre aos serviços para consultar a base de dados e realizar os cálculos necessários. De seguida retorna esses valores e é possível de visualizar a informação no ecrã do telemóvel do utilizador.

4.4 Testes do equipamento

No caso dos testes do equipamento, será necessário realizar a um chuveiro de cada vez.

No caso do gerente querer testar as fugas de água terá de acessar à aplicação descarregada e pressionar o botão "Testar Fugas de Água". O sistema irá apresentar os seguintes passos para realizar o teste:

1. Garantir que todas as torneiras estão fechadas;
2. Fechar a torneira do abastecimento de água da fração;
3. Iniciar o teste na aplicação;

Depois de realizados estes passos por parte do gerente, o sistema mede a pressão durante um minuto e, caso haja pressão superior a 0.2 bar, o sistema informa a possibilidade de fuga. Nesse caso o gerente terá de chamar um técnico para confirmar as fugas de água.

4.5 Conclusões

A direção consegue então aceder aos valores essenciais para os consumos e qualidade das águas do hotel, podendo ter um controlo e visualização de fácil acesso através da aplicação.

Os valores lidos poderão ser acumulados durante dias, meses ou anos, conseguindo ler o progresso da utilização do produto e da vantagem da sua utilização, tanto a nível de custos como de qualidade.

Este caso poderá ser aplicado a outros ambientes como residenciais, balneários, etc., mas sempre com os mesmos procedimentos.

Capítulo 5

Conclusões e trabalho futuro

Nos dias de hoje, devido ao grande consumo de energia nos países desenvolvidos e aos consumos de energia fóssil, existe uma corrida de forma a contornar esse problema. Com o crescimento de novas tecnologias, como a *Internet of Things*, *Cloud Computing* e *Big Data*, o paradigma da construção e desenvolvimento dos edifícios mudou. É possível introduzir aplicações inteligentes capazes de racionar de forma eficiente os consumos realizados num edifício, reduzindo os custos e ajudando o meio ambiente.

5.1 Conclusões principais

Na secção 1.2.1 foram colocados os objetivos específicos para esta dissertação: desenvolver uma plataforma IoT capaz de transportar uma grande quantidade de dados de determinados sensores para uma base de dados, tratar esses mesmos dados calculando os KPI's desejados e criar uma API de forma a disponibilizar os serviços para uma APP *mobile*.

Inicialmente foi feita a revisão de literatura onde se abordou os temas de IoT, em particular a sua utilização para a eficiência energética em edifícios, *Data analytics*, os vários protocolos de comunicação existentes e por fim os sensores inteligentes.

Neste capítulo foram abordadas as três questões de investigação referidas na introdução desta dissertação.

Referente à questão número um, através do estudo de tecnologias já existentes e implementadas em edifícios foi possível verificar que já é uma realidade a utilização de plataformas IoT para dispositivos inteligentes em edifícios, apoiando nos consumos de eletricidade e água. A utilização desta tecnologia numa casa permite saber onde e quando são realizados estes consumos, bem como controlar o seu limite, tudo através de uma simples aplicação no telemóvel por exemplo.

No que toca à questão dois, foram abordados diversos protocolos de comunicação, cada um com as suas características, podendo verificar que certos protocolos são mais adequados para a Indústria 4.0 e outros para uma grande quantidade de dispositivos. Foi assim provado que um dos melhores protocolos a utilizar para as características deste projeto seria o MQTT devido ao seu modelo leve de *publish/subscribe* e capacidade de lidar com um número elevado de dispositivos.

Já referente à questão três, conclui-se que o tratamento dos dados lidos é essencial para a utilidade dos dados lidos pelos dispositivos. Os dados em bruto recolhidos pelos sensores pouco ou nada irão influenciar em algo sem antes haver uma preparação e análise dos mesmos, sendo um fator muito importante numa plataforma IoT capaz de ajudar no dia-a-dia de uma pessoa ou empresa por exemplo.

Depois de realizado o estado de arte foi possível desenvolver a arquitetura da plataforma de acordo com os objetivos e requisitos esperados. Depois de desenvolvida toda a comunicação, cálculos de KPI's e API, e propriamente testado, foi possível concluir que foram realizados com sucesso todos os objetivos pedidos pela empresa. Existe agora uma plataforma capaz de receber os valores todos da Box dos chuveiros, calcular os KPI's e enviar para uma aplicação, onde será possível o utilizador visualizar os valores no telemóvel.

5.2 Trabalho Futuro

Como trabalho futuro, seria importante analisar a interação entre os banhos e o utilizador. Seria possível analisar os dados de um só utilizador e não exclusivamente do chuveiro como um todo, bem como haver um maior número de utilizadores a poderem verificar os KPI's de um chuveiro específico.

Também seria interessante analisar o envio de comandos, havendo uma automação nos testes ao chuveiro, por exemplos fugas de água ou entupimento. Isto iria fornecer um maior conforto ao utilizador não tendo de realizar nenhuma ação para além de carregar num botão da aplicação *mobile*.

Para além disso, ao longo do uso do produto, irão surgir novos KPI's importantes para a análise dos dados, que virão a ser implementados na plataforma.

Referências

- [1] R. M. F. Tomé, “Robustez da certificação energética dos edifícios de habitação em portugal,” Master’s thesis, Universidade da Madeira, Campus Universitário da Penteada, 2021. [Citado nas páginas 1 e 2]
- [2] D. Gatt, C. Yousif, M. Cellura, L. Camilleri, and F. Guarino, “Assessment of building energy modelling studies to meet the requirements of the new energy performance of buildings directive,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020. [Citado na página 1]
- [3] L. W. Feng Xia, Laurence T. Yang and A. Vinel, “Internet of things,” *International Journal of Communication Systems*, vol. 25, pp. 1101–1102, 2012. [Citado na página 5]
- [4] L. D. X. Shancang Li and S. Zao, “The internet of things: a survey,” *Inf Syst Front*, pp. 243–259, 2014. [Citado na página 5]
- [5] F. Wortmann and K. Fluchter, “Internet of things: Technology and value added,” *Bus Inf Syst Eng*, pp. 221–224, 2015. [Citado nas páginas 5 e 6]
- [6] C. McClelland, “Iot explained - how does an iot system actually work?.” Available at <https://www.leverage.com/blogpost/iot-explained-how-does-an-iot-system-actually-work?>, 2016. (Last accessed in 13/07/2022). [Citado nas páginas 6 e 7]
- [7] G. J. Stepień, “Internet of things (iot): Smart kitchen appliances for the u.s. market,” Master’s thesis, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2019. [Citado na página 7]
- [8] P. B. J. W. R. D. J. B. James Manyika, Michael Chui and D. Aharon, “Unlocking the potential of the internet of things,” *Digital McKinsey*, pp. 1–2, 2015. [Citado na página 7]
- [9] A. Roznovsky, “9 prominent benefits of iot for business.” Available at <https://light-it.net/blog/9-prominent-benefits-of-iot-for-business/>. (Last accessed in 15/07/2022). [Citado nas páginas 7 e 8]

- [10] W. Gong, *The Internet of Things (IoT): What is the potential of the internet of things (IoT) as a marketing tool*. PhD thesis, University of Twente, P.O. Box 217, 7500AE Enschede, 2016. [Citado na página 8]
- [11] A. F. S. M. Victoria Moreno, Benito Úbeda and M. A. Zamora, “How can we tackle energy efficiency in iot based smart buildings?,” *MDPI*, pp. 1–33, 2014. [Citado na página 9]
- [12] N. G. n. S. X. C. d. P. S. Arun Kumar, Sharad Sharma, “Secure and energy-efficient smart building architecture with emerging technology iot,” *Elsevier*, 2021. [Citado nas páginas vii, 9 e 11]
- [13] A. Malhotra, “The relationship between iot, big data, and cloud computing.” Available at <https://www.whizlabs.com/blog/relationship-between-iot-big-data-cloud-computing/>, 2022. (Last accessed in 12/10/2022). [Citado nas páginas vii, 9 e 10]
- [14] M. Casini, “Internet of things for energy efficiency of buildings,” *International Scientific Journal*, pp. 1–3, 2014. [Citado nas páginas 10, 11, 12, 13 e 14]
- [15] S. Europe, “Shelly.” Available at <https://shop.shelly.cloud/>. (Last accessed in 12/10/2022). [Citado nas páginas vii e 12]
- [16] K. A. S. Mansaf Alam and S. Khan, “Future internet of things (iot) from cloud perspective: Aspects, applications and challenges,” *Internet of Things (IoT) - Concepts and Applications*, pp. 515–532, 2020. [Citado nas páginas vii, 15 e 16]
- [17] S. Symanovich, “the future of iot: 10 predicions about the internet of things.” Available at <https://us.norton.com/blog/iot/5-predictions-for-the-future-of-iot>, 2019. (Last accessed in 21/09/2022). [Citado nas páginas 15 e 16]
- [18] N. S. Sakina Elhadi, Abdelaziz Marzak and S. Merzouk, “Comparative study of iot protocols,” *The second International Conference on Smart Applications and Data Analysis for Smart Cities*, pp. 1–5, 2018. [Citado nas páginas vii, 16, 23, 24, 27 e 28]
- [19] M. A. Jabraeil Jamali, B. Bahrami, A. Heidari, P. Allahverdizadeh, and F. Norouzi, *IoT Architecture*. Cham: Springer International Publishing, 2020. [Citado nas páginas 17 e 18]
- [20] B. Gupta, “An overview of internet of things (iot): Architectural aspects, challenges, and protocols,” *Wiley Online Library*, 2018. [Citado na página 18]
- [21] J. Soldatos, *Internet-of.Things Analytics*. Denmark: River Publishers, 2017. [Citado na página 18]

- [22] J. Soldatos, “Introducing iot analytics,” *Building Blocks for IoT Analytics*, 2017. [Citado nas páginas 18 e 22]
- [23] C. D. Abdur Rahim Biswas and C. Pham, “Iot, cloud and bigdata integration for iot analytics,” *Building Blocks for IoT Analytics*, 2017. [Citado na página 19]
- [24] J. Tim, “Grande volume de dados.” Available at <https://pt.depositphotos.com/82201728/stock-illustration-big-data.html>, 2022. (Last accessed in 12/10/2022). [Citado nas páginas vii e 19]
- [25] V. Rajaraman, “Big data analytics,” *Resonance*, 2016. [Citado na página 20]
- [26] M. Khalifa, “Health analytics types, functions and levels: a review of literature,” *Data, Informatics and Technology: An Inspiration for Improved Healthcare*, pp. 137–140, 2018. [Citado na página 20]
- [27] K. Lepenioti, A. Bousdekis, D. Apostolou, and G. Mentzas, “Prescriptive analytics: Literature review and research challenges,” *International Journal of Information Management*, vol. 50, pp. 57–70, 2020. [Citado na página 20]
- [28] K. Sumathi, K. Santharam, and N. Selvalakshmi, “Data analytics platform for intelligent agriculture,” in *2018 2nd International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)(I-SMAC) I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)(I-SMAC), 2018 2nd International Conference on*, pp. 647–650, IEEE, 2018. [Citado na página 22]
- [29] H. F. Murad Khan, Bilal Jan, *Big Data Analytics*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2019. [Citado na página 22]
- [30] B. N. Silva, M. Diyan, and K. Han, “Big data analytics,” in *Deep Learning: Convergence to Big Data Analytics*, pp. 13–30, Springer, 2019. [Citado na página 22]
- [31] M. Vventurelli, “Protocolos de iot internet das coisas - mqtt - aplicando os protocolos de iot para digitalização em sistemas de automação industrial.” Available at https://www.linkedin.com/pulse/protocolos-de-iot-internet-das-coisas-mqtt-os-para-em-venturelli/?trk=pulse-article_more-articles_related-content-card&originalSubdomain=pt, 2022. (Last accessed in 28/09/2022). [Citado nas páginas 23 e 26]
- [32] E. P. F. Daniel Mazzer and L. F. C. G. Parreira, *Protocolos M2M para Ambientes Limitados no Contexto do IoT: Um Comparação de Abordagens*. PhD thesis, Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil. [Citado nas páginas vii, 23 e 25]

-
- [33] J. S. Daniel Silva, Liliana Carvalho and R. C. Sofia, “A performance analysis of internet of things networking protocols: Evaluating mqtt, coap, opc ua,” *Applied Sciences*, pp. 3–6, 2021. [Citado nas páginas 23, 24, 25 e 27]
- [34] MQTT, “Mqtt publish / subscribe architecture.” Available at <https://mqtt.org/>, 2022. (Last accessed in 28/09/2022). [Citado nas páginas vii e 26]
- [35] N. Garg, *Apache kafka*. Packt Publishing Birmingham, UK, 2013. [Citado nas páginas vii, 28 e 29]
- [36] R. F. C. d. Santos, *Microservices architectures in healthcare with Apache Kafka*. PhD thesis, 2022. [Citado nas páginas vii, 28, 29, 30 e 31]
- [37] G. Meijer, ed., *Smart Sensor Systems*. Netherlands: WILEY, 2008. [Citado nas páginas vii, 31 e 32]
- [38] G. Pinto, “Como funcionam os sensores inteligentes em soluções de iot?.” Available at <https://v2com.com/2022/04/22/iot-sensores-inteligentes/>, Apr. 2022. (Last accessed in 29/09/2022). [Citado na página 32]
- [39] B. Posey, “Smart sensor.” Available at <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/smart-sensor>, 2022. (Last accessed in 29/09/2022). [Citado nas páginas vii, 32 e 33]
- [40] R. Moreira, “Um banco de dados “time series” chamado timescaledb!.” Available at <https://blog.4linux.com.br/um-banco-de-dados-time-series-chamado-timescaledb/>, 2019. (Last accessed in 10/10/2022). [Citado nas páginas vii e 42]