

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM INTERNET DAS COISAS

GABRIEL PACHECO

**APLICAÇÃO DE REDE DE SENSORES SEM FIO NO  
MONITORAMENTO DE CARGAS REFRIGERADAS EM PORTO SECO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA  
2019

GABRIEL PACHECO

**APLICAÇÃO DE REDE DE SENSORES SEM FIO NO  
MONITORAMENTO DE CARGAS REFRIGERADAS EM PORTO SECO**

Monografia de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização em Internet das Coisas, do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme de Santi Peron

CURITIBA  
2019



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Departamento Acadêmico de Eletrônica  
Curso de Especialização em Internet das Coisas



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**APLICAÇÃO DE REDE DE SENSORES SEM FIO NO MONITORAMENTO DE  
CARGAS REFRIGERADAS EM PORTO SECO**

por

**GABRIEL PACHECO**

Esta monografia foi apresentada em 28 de Novembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Internet das Coisas. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Guilherme de Santi Peron  
Orientador

---

Prof. M. Sc. Danillo Leal Belmonte  
Membro titular

---

Prof. M. Sc. Omero Francisco Bertol  
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico esse trabalho a minha família, em especial meu pai e minha esposa Karyn.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos os professores pelo conhecimento adquirido, amigos de turma, colegas de trabalho, a Universidade tecnológica Federal do Paraná e direção da instituição pela qual me guiaram durante a realização deste curso.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer mais essa etapa acadêmica.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta etapa.

## RESUMO

PACHECO, Gabriel. **Aplicação de rede de sensores sem fio no monitoramento de cargas refrigeradas em porto seco**. 2019. 59 p. Monografia de Especialização em Internet das Coisas, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

O Brasil é um dos maiores produtores de carne de aves, suínos e bovinos do mundo, concentrando sua maior exportação via marítima, principalmente nos portos da região Sul e Sudeste do país como São Francisco do Sul, Itajaí, Rio Grande, Paranaguá e Santos. Além dessa *commodity* outros alimentos e até medicamentos necessitam de refrigeração para o seu correto armazenamento e transporte. A todo esse traslado da carga entre a produção até o consumidor final denomina-se de cadeia de frio. Dentro desse contexto de cadeia de frio tem-se diversos elos em que a temperatura e o seu monitoramento é fundamental para a garantia da qualidade da carga, redução de custos com seguro e principalmente evitar o desperdício de alimentos. Com isso, e com o aumento da aplicação de rede de sensores sem fio e internet das coisas soluções vêm sendo desenvolvidas para esse mercado. O objetivo desse trabalho, é avaliar a aplicação de rede de sensores sem fio dentro de um dos elos dessa cadeia de frio, especificamente em pátios de *containers* ou porto seco, onde a grande maioria faz o registro e o monitoramento da carga ainda de forma manual. A proposta visa apresentar tecnologias de IoT que podem ser aplicados, de forma a fazer o monitoramento de forma remota.

**Palavras-chave:** Internet das Coisas. IoT. 6LowPan. Cadeia de Frio. Rede de Sensores sem Fio.

## ABSTRACT

PACHECO, Gabriel. **Wireless sensor network application in refrigerated load monitoring in dry port**. 2019. 59 p. Monografia de Especialização em Internet das Coisas, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Brazil is the one of the biggest poultry, pork and beef producer in the world. Concentrating its largest exportation by ocean freights mainly through the ports of the South and the South-East of the country such as São Francisco do Sul, Itajai, Rio Grande, Paranaguá, and Santos. In addition to the commodity, other foods and even medication require proper and correct storage during transportation. This whole transfer of moving the load from the producer to its final destiny, the consumer, is called cold chain. Within this cold chain context, we have several links where temperature and its monitoring are fundamental to guarantee the quality of the cargo, the reduced insurance costs, and especially to avoid any food waste. Considering all, solutions have been developed for this market with the increased use of wireless sensor network application and internet of things. The intention of this work is to evaluate the application of wireless sensor networks within one of the links in the cold chain. Precisely in the *container* yards or the dry ports, where the vast majority of cargos are still manually recorded and monitored. The proposal aims to present IoT technologies that can be applied in order to do remote monitoring.

**Keywords:** Internet of Things. IoT. 6LowPan. Cold Chain. Wireless Sensor Network.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diferenças de ranges e aplicações para PANs, LANs, NANs e WANs.....	17
Figura 2 - 3-Way Handshake - TCP .....	24
Figura 3 - Arquitetura MQTT-SN .....	27
Figura 4 - Comportamento NTC e PTC.....	28
Figura 5 - Arquitetura de rede IoT .....	31
Figura 6 - Sistema de gerador para Reefer.....	32
Figura 7 - Fluxo operação Reefer - Exportação .....	33
Figura 8 - Monitoramento de temperatura .....	34
Figura 9 - Pátio Container .....	35
Figura 10 - Módulo CC2650 - Texas Instrument .....	36
Figura 11 - Firebase Database.....	39
Figura 12 - Ionic LAB - Ambiente de teste.....	40
Figura 13 - Validação protocolo MQTT .....	41
Figura 14 - Foren6 - Verificação de rede Mesh.....	41
Figura 15 - Integração MQTT com Ionic.....	42
Figura 16 - Distância de comunicação entre o Nó sensor e Border Router .....	43
Figura 17 - Circuito leitura NTC.....	45
Figura 18 - Interface Web desenvolvida com o Ionic.....	46
Figura 19 - Interface IONIC - Cadastro .....	47
Figura 20 - Banco de dados Firebase .....	48
Figura 21 - Interface IONIC - monitoramento temperatura.....	48
Figura 22 - Representação final do sistema IoT.....	50
Figura 23 - Disposição dos equipamentos IoT .....	51

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Border Router.....	38
Fotografia 2 - Nó sensor.....	42
Fotografia 3 – Teste distância nó sensor .....	43
Fotografia 4 - Sensor NTC utilizado .....	44
Fotografia 5 - Conceituação final - circuito de testes.....	49

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modelo OSI e IoT .....	18
-----------------------------------	----



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	10
1.2 PROBLEMA .....	11
1.3 OBJETIVOS .....	12
1.3.1 Objetivo Geral .....	12
1.3.2 Objetivos Específicos .....	13
1.4 JUSTIFICATIVA .....	13
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>16</b>
2.1 REDE DE SENSORES SEM FIO .....	16
2.1.1 Categorias de Rede Sem Fio .....	17
2.2 MODELO OSI .....	18
2.2.1 Camada Física .....	19
2.2.1.1 Bluetooth .....	19
2.2.1.2 Bluetooth 5.0 .....	19
2.2.1.3 GPRS .....	20
2.2.1.4 WiFi .....	20
2.2.1.5 ZigBee .....	21
2.2.1.6 IEEE 802.15.4 .....	21
2.2.2 Camada de Rede .....	22
2.2.2.1 IPv4 e IPv6 .....	22
2.2.2.2 6LoWPAN .....	23
2.2.3 Camada de Transporte .....	23
2.2.3.1 Transmission Control Protocol (TCP) .....	24
2.2.3.2 User Datagram Protocol (UDP) .....	25
2.2.4 Camada de Aplicação .....	25
2.2.4.1 Constrained Application Protocol (CoAP) .....	26
2.2.4.2 Messaging Queue Telemetry Transport (MQTT) .....	26
2.2.4.3 MQTT for Sensor Network (MQTT-SN) .....	27
2.3 SENSORES .....	28
2.3.1 Sensor de Temperatura NTC e PTC .....	28
2.4 SISTEMAS OPERACIONAIS IOT .....	29
2.5 REDES MESH .....	29
<b>3 DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>31</b>
3.1 ARQUITETURA SISTEMA IOT .....	31
3.2 CONTAINER REFRIGERADO .....	32
3.3 TERMINAIS PORTUÁRIOS – PORTO SECO .....	33
3.3.1 Estudo Área – Terminal de Container .....	34
3.4 SISTEMA IOT – DEFINIÇÕES .....	35
3.4.1 Definições dos Protocolos .....	35
3.4.2 Definições – Hardware e Software .....	36
3.5 BORDER ROUTER .....	37
3.6 APLICAÇÃO WEB E O BANCO DE DADOS .....	38
3.7 TESTES PRELIMINARES .....	40
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>46</b>

<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No contexto econômico atual, devido à alta competitividade, exige-se agilidade dos setores tanto de produção como de logística. Com relação a logística, vê-se a sua extrema importância principalmente quando se depara com o que se chama de cadeia de frio, com uma maior relevância para alimentos perecíveis (carnes, peixes, laticínios, frutas e hortaliças) e produtos da indústria farmacêutica (vacinas, medicamentos e hemoderivados) que fazem uso dessa cadeia de frio devido a sua perecibilidade. Dentro deste contexto, a temperatura é o fator mais importante para conservação da qualidade e vida útil desses produtos, sendo os sistemas de refrigeração amplamente utilizados para retardar os fatores que podem causar a deterioração (SPAGNOL *et al.*, 2017).

Entre os principais desafios para a melhoria das incertezas da cadeia de frio, tem-se como principal foco evitar a ruptura da mesma. Mesmo conhecendo sua perecibilidade há variações nesse processo que impactam nas condições de conservação, as quais são inevitáveis durante as diversas etapas da cadeia de frio. Seja durante o transporte ou no armazenamento em câmaras frias há flutuações de temperatura em torno da condição ideal, sendo que na maioria dos sistemas, o monitoramento ainda é realizado por pouquíssimos sensores que são utilizados de forma isoladas dentro dos diversos elos da cadeia de frio (SPAGNOL *et al.*, 2017).

Esses desafios vêm impulsionando o mercado e esforços em pesquisas para o desenvolvimento e aperfeiçoamento das aplicações das redes de sensores sem fio (SPAGNOL *et al.*, 2017).

Esse trabalho irá avaliar a aplicação de uma rede de sensores sem fio em um dos elos da cadeia de frio mais especificamente no armazenamento de *containers* refrigerados conhecidos como porto seco, e também como essa tecnologia pode ser estendida para os demais elos.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Conforme apresentado na seção anterior, há diversos elos dentro do que é chamado cadeia de frio. Essa cadeia é de extrema relevância visto que itens os quais dependem dela, são fundamentais para o dia a dia e o seu armazenamento

correto evita desperdícios, garantem a qualidade e no caso de fármacos garantem a sua eficácia.

Dentro contexto brasileiro, um dos maiores produtores de carne de aves, suínos e bovinos do mundo, tem-se como números do relatório anual da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA) um volume de exportação no ano de 2018, considerando apenas aves e suínos, de 7.293 mil toneladas, sendo os principais portos exportadores dessa *commodity* concentrados na região Sul e Sudeste do Brasil sendo eles: São Francisco do Sul, Itajaí, Rio Grande, Paranaguá e Santos (ABPA, 2019).

Já em um contexto global, o montante que esse mercado de exportação movimenta é superior a 800 bilhões de dólares, porém as perdas excedem 30%. Números estes que abrem um grande mercado para soluções de redes de sensores sem fio que permitem melhorar a qualidade dos alimentos dentro dessa cadeia de frio (JEDERMANN; PÖTSCH; LLOYD, 2014).

O presente estudo visa a automação do processo de registro de temperatura de *containers* refrigerados em um porto seco, um dos elos da cadeia de frio. Dessa forma, não se faz mais necessário a atividade manual, realizada por funcionários para o monitoramento e registro dessas temperaturas dos *containers* que estão alocados nos pátios. Garantindo dessa forma, a visualização desses parâmetros permitindo a atuação imediata quando necessária.

## 1.2 PROBLEMA

A quantidade de alimento desperdiçada ao longo da cadeia de suprimentos seria suficiente para alimentar 870 milhões de pessoas. Dentro de uma perspectiva ambiental esses desperdícios globais de alimentos impactam anualmente em: emissão de 3,3 bilhões de toneladas de gases de efeito estufa na nossa atmosfera, uma vez que esses alimentos consumiram recursos naturais durante suas etapas de produção, esse desperdício atinge um montante de 750 bilhões de dólares por ano, impactos sobre o uso da terra uma vez que terras agrícolas são liberadas para pastagem que afetam a degradação do meio ambiente, ocasionando declínio sobre a biodiversidade (NOLÉTTO, 2018).

Dessa forma alguns autores descrevem a cadeia de frio como uma ferramenta indispensável na redução do desperdício e preservação dos alimentos,

uma vez que somente 10% dos alimentos perecíveis são refrigerados no mundo. O transporte e armazenamento adequado sob refrigeração proporcionam uma redução sobre esses números (NOLÉTTO, 2018).

No contexto acima apresentado pretende-se verificar a utilização de rede de sensores sem fio em um porto seco. Ou seja, estudar a utilização dessas redes para o controle e monitoramento das temperaturas de *containers* refrigerados permitindo a atuação efetiva quando necessária evitando danos as cargas perecíveis.

Esse estudo, se implementado, permitirá que empresas do setor logístico e operadores de portos secos garantam com maior eficácia o controle e monitoramento das temperaturas de cargas perecíveis. Garantindo assim a preservação dos mesmos e redução dos custos com seguros. Além disso em um contexto macro a redução do desperdício principalmente de alimentos.

Para o projeto, buscou-se por tecnologias de rádio frequência que atendam às necessidades principalmente de alcance de transmissão, confiabilidade na entrega da informação para o monitoramento da temperatura.

### 1.3 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos geral e específicos do trabalho, relativos ao problema anteriormente apresentado.

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um estudo de viabilidade técnica de um sistema de IoT para monitoramento de temperatura de *containers* refrigerados em porto seco, sem a necessidade de deslocamento de funcionários para o local para realizar essa atividade.

O objetivo do estudo será apresentar a viabilidade das tecnologias disponíveis no mercado que são necessárias para a construção desse sistema automatizado.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar levantamento bibliográfico acerca dos temas: protocolos de rádio frequência, cadeia de frio, Internet das Coisas, e rede de sensores sem fio;
- Analisar um porto seco para implementação de um sistema de rádio frequência;
- Analisar dados a respeito dos protocolos de rádio frequência (ZigBee, Bluetooth, 6LowPan, WiFi);
- Verificar o melhor sistema de rádio frequência para a aplicação;
- Desenvolver a comunicação com Banco de Dados;
- Desenvolver a interface web com o usuário;
- Desenvolvimento de um protótipo com sensores em menor escala, para validação da comunicação e banco de dados.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

Nas últimas décadas, houve uma considerável mudança no transporte refrigerado de alimentos perecíveis, de transporte aéreo para marítimo através dos *containers* refrigerados (SPAGNOL *et al.*, 2017).

Com relação ao monitoramento do transporte refrigerado dos alimentos perecíveis, pode-se encontrar a ocorrência de um aumento de temperatura acima do padrão em 30% dos casos do transporte do produtor para o centro de distribuição, e em 15% quando se encontram no Centro de distribuição até a sua comercialização (SPAGNOL *et al.*, 2017).

Dados da Organização das Nações Unidas a respeito da agricultura e alimentação indicam que cerca de 1/3 de todos os alimentos do mundo são perdidos antes de chegarem ao consumidor final, isso equivale a 1,3 bilhão de toneladas. Podendo esse número em países em desenvolvimento chegar a 40% dos alimentos desperdiçados durante o transporte (PURSHE, 2016).

Dessa forma, o grande desafio dessa área é evitar o rompimento dessa cadeia do frio, garantindo a continuidade, a qualidade e a segurança dos alimentos em cada elo da cadeia logística, de modo a reduzir ao mínimo as perdas da qualidade, para satisfazer os clientes do produtor até o consumidor final, dos quais um dos fatores mais importantes a serem monitorados a temperatura. Na logística

de frutas e hortaliças por exemplo, tem-se até 35% da carga perdida durante o transporte, tendo como a principal causa a manutenção da temperatura adequada (SPAGNOL *et al.*, 2017).

Esses números podem ser reduzidos se as informações sobre o produto armazenado forem fornecidas em tempo real, sem demora após o aparecimento de qualquer indicativo de problema. Dessa forma, o operador do transporte ou do armazenamento pode iniciar ações corretivas no sistema que possam afetar a temperatura e/ou quando ainda aceitáveis para consumo destinar a venda e distribuição imediata para locais próximos onde se encontra a carga (JEDERMANN; PÖTSCH; LLOYD, 2014).

Embora vários sistemas de telemática e sensores sem fio tenham surgido no mercado no decorrer dos anos, ainda os seus escopos são limitados. Isso se deve à falta de maturidade tecnológica e uma relação custo/benefício pouco atraente. Porém a telemática moderna com a tecnologia *machine to machine (M2M)* não se tem mais limitantes, através dela se pode conectar transportadores e *containers* criando oportunidades para o cenário logístico (KAESER, 2015).

Com o avanço de novas tecnologias, para o controle e preservação dos alimentos encontra-se o conceito de *Internet of Things (IoT)*, apresentando um conceito de conectividade entre qualquer coisa em qualquer lugar a qualquer hora, ocasionando mudanças no dia-a-dia das pessoas. O termo IoT remete a uma estrutura de rede dinâmica e global, onde há protocolos de comunicação padrão e interoperáveis, estando diretamente a rede de informação (NOLÉTTO, 2018).

Uma rede de sensores sem fio, dentro do conceito de IoT aplicada a *containers* refrigerados é o foco deste estudo, uma vez que se trata de um dos principais elos da cadeia de frio. Com o monitoramento remoto de temperatura dos *containers*, e com uma interface web, o usuário / operador de um porto seco pode atuar de maneira assertiva e com menor impacto caso qualquer anomalia ao sistema e a carga seja detectado.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta monografia de especialização está dividida em 5 (cinco) seções. Nesta primeira seção foi introduzido o assunto tema do trabalho e também foram abordados a motivação e os objetivos geral e específicos da pesquisa, a justificativa e a estrutura geral do trabalho.

Já na segunda seção: Fundamentação Teórica, serão abordados os temas fundamentais para desenvolvimento do trabalho como sistemas de rádio frequência, protocolos de comunicação, sensores entre outros aspectos.

A seguir na terceira seção: Desenvolvimento, serão apresentadas as etapas iniciais e testes realizados para verificar o funcionamento e operação do sistema IoT.

Na quarta seção: Apresentação e Análise dos Resultados, tendo como base os Procedimentos Metodológicos, neste capítulo serão descritos os resultados obtidos com o desenvolvimento do protótipo do sistema.

Por último na quinta seção: Considerações finais, serão retomados a pergunta de pesquisa e os seus objetivos e apontado como foram solucionados, respondidos, atingidos, por meio do trabalho realizado. Além disto, serão sugeridos trabalhos futuros que poderão ser realizados a partir do estudo realizado.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, apresentam-se de forma objetiva a fundamentação teórica e os conceitos e terminologias essenciais para a compreensão e definição do presente estudo.

### 2.1 REDE DE SENSORES SEM FIO

Com o avanço das inovações tecnológicas no ramo da comunicação sem fio, eletrônica digital, microeletrônica, o mundo vem acompanhando uma revolução na utilização de sensores remotos (ROCHA, 2007).

Pode-se definir uma rede de sensores sem fio como uma grande quantidade de nós-sensores com capacidade de comunicação, sendo as posições de cada nó aleatórias (ROCHA, 2007).

Suas principais aplicações estão em parâmetros do nosso dia-a-dia, como temperatura, pressão, umidade, condições climáticas, condições de água e solo, como também podem monitorar movimentos, velocidades entre outros parâmetros. Sendo as principais áreas de aplicação: automação residencial, aplicações militares, aplicações ambientais, aplicações médicas, aplicações em logística e áreas de engenharia (ROCHA, 2007).

Estima-se que até 2025, teremos 27 bilhões de dispositivos conectados. Nessa onda, novas oportunidades, negócios, empresas e desenvolvimentos surgem, porém como qualquer novidade ainda temos indefinições sobre quais caminhos serão adotados, conseqüentemente impactando nas escolhas de hardware, *firmware*, infraestrutura de redes, ferramentas de gerenciamento e protocolos de comunicação (NUNES, 2017).

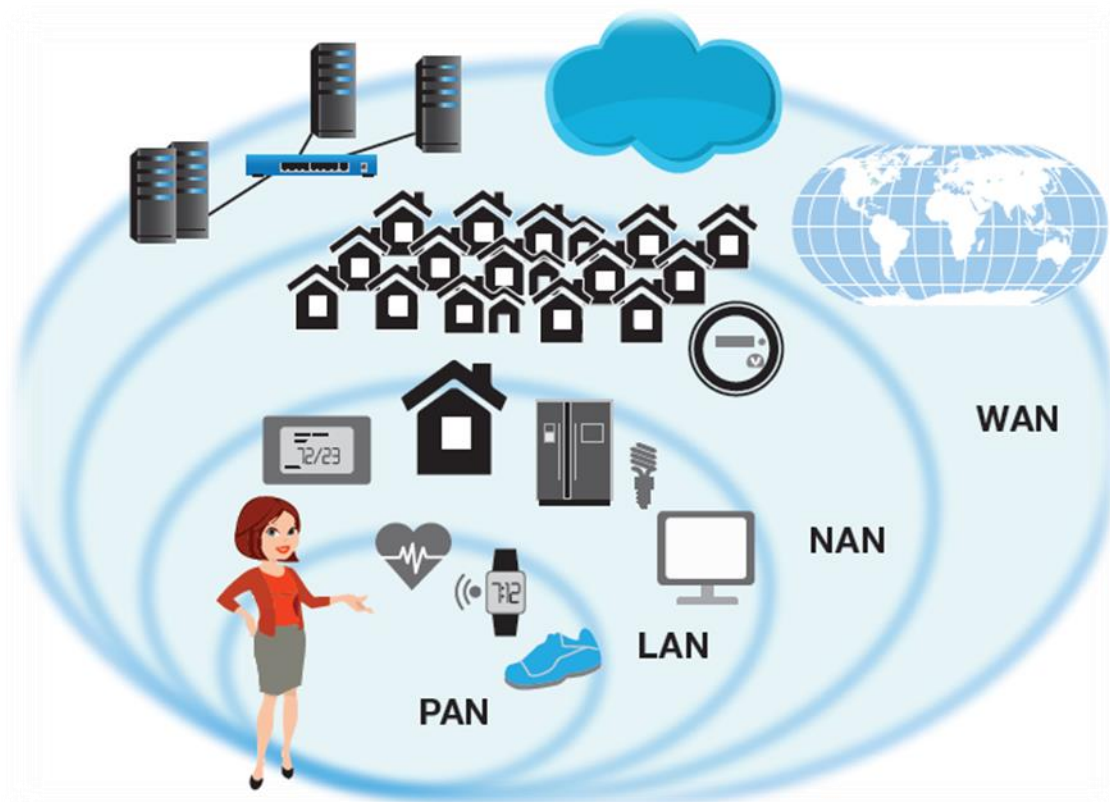
Dentre as opções que envolvem aplicações sem fio (*Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, 6LowPan, GPRS*) se tem algumas diferenças que se podem destacar como: consumo de bateria, alcance do sinal, roteadores, *gateway*. Esses fatores devem ser levados em consideração para um projeto, e uma topologia de rede que amenizaria esses pontos seria a arquitetura de rede *Mesh*.

Entre os protocolos que operam com essa rede podemos destacar: *Bluetooth*, *ZigBee*, *6LowPan* e entre outros. Dessa forma o roteamento através de diversos nós permite ampliar a área de cobertura para o envio de dados.

### 2.1.1 Categorias de Rede Sem Fio

As categorias, para as redes de sensores sem fio, são definidas de acordo com a norma 802.11 do *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE), que divide em quatro categorias, apresentadas na Figura 1: PAN, LAN, NAN e WAN, definidas de acordo com o seu raio de alcance (CONCEIÇÃO JUNIOR, 2012).

Figura 1 - Diferenças de ranges e aplicações para PANs, LANs, NANs e WANs



Fonte: Lethaby (2017).

Apresentadas ainda na Figura 1, tem-se as seguintes definições para as categorias de Redes Sem Fio segundo Lethaby (2017):

- WPAN: são consideradas como as redes de curto alcance, ou redes pessoais conexão até 10m. Entre as aplicações pode-se mencionar fones de ouvido, relógios *smart*, possuem baixa potência de transmissão e operam com baterias pequenas.

- WLAN: as WLANS geralmente atingem um alcance de até 100m. Um exemplo comum nas residências em uma rede WiFi fornece acesso à internet para computadores, smartphones, aparelhos televisores, dispositivos IoTs e até mesmo eletrodomésticos.
- WWAN: são consideradas as redes com alcance de até 25km, com alto níveis de potência para a transmissão de dados com baixo tráfego. Um exemplo atual dessa topologia que se pode apontar são as redes *Smart Grid* que enviam dados dos medidores de energia as empresas de serviço público, em muitos casos a faixa de frequência de operação é de 900MHz.
- WWANS: são as redes com longo alcance, cobrindo praticamente todo o globo, a Internet pode ser considerada um WAN, pois compreende uma mistura complexa de conexões.

## 2.2 MODELO OSI

Para se ter um padrão na forma como todas essas redes se comunicam, um conjunto de regras e padrões para formatar e controlar a troca de dados foi desenvolvido no início dos anos 80. Esse padrão recebeu o nome de modelo OSI de 7 camadas (Quadro 1), sendo elas: aplicação, apresentação, sessão, transporte, rede, enlace e camada física (GERBER, 2017).

Essas sete camadas, descrevem como as aplicações são executadas entre os dispositivos e suas redes, sendo este modelo aplicável a todos os tipos de rede. Algumas variações também são aceitas como é o caso para aplicações de IoT que se utiliza do modelo TCP/IP (Quadro 1) (BRISCOE, 2000).

**Quadro 1 - Modelo OSI e IoT**

Nº Camada	Modelo OSI	TCP/IP Modelo	Protocolos IoT
7	Aplicação	Aplicação	HTTPS, XMPP, CoAP, MQTT, AMQP
6	Apresentação		
5	Sessão		
4	Transporte	Transporte	UDP, TCP
3	Rede	Internet	IPv6, 6LoWPAN, RPL
2	Enlace	Acesso à rede & Física	IEEE 802.15.4 Wifi (802.11) Ethernet (802.3) GSM, CDMA, LTE
1	Física		

Fonte: Adaptado de Gerber (2017).

### 2.2.1 Camada Física

A camada física define as características mecânicas, elétricas, funcionais e os aspectos para se manter, ativar e desabilitar conexões físicas para a transmissão de bits. Como exemplo pode-se mencionar tamanho e forma de conectores, sinais elétricos (nível de tensão e corrente), define os aspectos físicos para se suportar uma rede, um detalhe importante é que para essa camada é que os protocolos devem ser independentes do meio de transmissão (MATARAZZO; SILVEIRA, 2004).

Conforme apresentado no Quadro 1, para uma solução de IoT na camada física temos os protocolos sem fio *WiFi*, *LPWAN*, *Bluetooth Low Energy*, *ZigBee*, *802.15.4*, *NFC* e *RFID* (GERBER, 2017).

#### 2.2.1.1 Bluetooth

Desenvolvido pela Ericson, em 1994 como um padrão para troca de informações entre celulares e computadores. O Bluetooth opera sobre a faixa de 2,4GHz e foi previamente padronizado através da IEEE 802.15.1, porém atualmente o Bluetooth é gerido por um grupo SIG (*Special Interest Group*), de interesses especiais que controlam e definem o futuro dessa tecnologia (LETHABY, 2017).

O Bluetooth, em algumas de suas versões suportam múltiplas conexões, possui perfis pré-definidos para alguns serviços como para aplicações *hands-free* em automóveis, para fones de ouvido entre outros. Em 2017, o SIG lançou a possibilidade do uso desse protocolo sobre redes do tipo Mesh. Fato esse que impulsionou o mercado para soluções de conectividade com sensores, automação residencial, rede de sensores sem fio permitindo dessa forma uma longa área de cobertura, essa facilidade está habilitada tanto nas versões Bluetooth 4.x e Bluetooth 5.0 (LETHABY, 2017).

#### 2.2.1.2 Bluetooth 5.0

Essa versão do Bluetooth, chamada de 5.0 e lançada em 2016, trouxe ao mercado alguns benefícios como 4x mais alcance, 2x mais velocidade e 8x mais capacidade de transmissão de dados, essas funcionalidades e características beneficiam o desenvolvimento para o mercado de IoT (BLUETOOTH, 2016).

Os novos recursos descritos acima permitem por exemplo: duplicar a quantidade dados trocados facilitando atualizações de firmware, reduzir a largura de

banda e com isso permitir com a mesma quantidade de energia um alcance 4x maior cobrindo por exemplo uma determinada área. Isso oferta ao mercado uma flexibilização e customização dos projetos pois nem todos os requisitos são necessários ao mesmo tempo, dessa forma uma mesma tecnologia permite ao desenvolvedor a melhor escolha para a implementação (BLUETOOTH, 2016).

### 2.2.1.3 GPRS

Também utilizado em aplicações de telemetria o GPRS (*General Packet Radio Services* - Serviço Geral de Pacote por Rádio) é principalmente utilizado para aplicações onde o local é de difícil acesso. Se utiliza da rede GSM (Global System for Mobile Communications - Sistema Global para Comunicações Móveis), tendo como vantagem por esse motivo a tarifação efetuada por dados transmitidos e não por tempo de conexão, porém tem como desvantagem o tempo para se estabelecer uma conexão com o servidor, a configuração da rede e inicialização do modem (ALMEIDA, 2015).

Essa opção se torna interessante para algumas aplicações de IoT principalmente com o avanço das tecnologias de 5G. A quinta geração das redes móveis ainda está em fase de padronização, com implementação prevista para 2020 (SHATILIN, 2015).

### 2.2.1.4 WiFi

A tecnologia Wifi é baseada na norma IEEE802.11, sendo criada desde do primeiro momento para a conectividade com a Internet. Nativamente ela é integrada a pilha TCP/IP para acesso à Internet. Muito presente em smartphones, tablets se difundiu rapidamente entre as pessoas que geralmente se referem a esse protocolo como simplesmente wireless (LETHABY, 2017).

A sua principal vantagem sobre os demais protocolos está sobre a não necessidade de gateways específicos para conexão à internet, pois o próprio roteador WiFi já faz essa função. Assim como os demais protocolos ele também opera com a frequência de 2,4GHz, mas também pode utilizar a frequência de 5GHz. A topologia de rede é em estrela com o ponto de acesso como gateway de acesso à internet (LETHABY, 2017).

Atualmente com os novos desenvolvimentos de dispositivos eletrônicos, já incorporam softwares embarcados com WiFi e TCP/IP. Isso permite eliminar boa

parte da carga de processamento sobre o microcontrolador permitindo otimizá-lo. Além da possibilidade, presente nas atualizações mais recentes, de termos o WiFi com aplicação no modo *sleep* que permite reduzir o consumo de energia drasticamente. Esses fatores podem ser considerados de suma importância para aplicações IoT, porém sua alta potência e complexidade de conexão ainda são uma grande barreira para desenvolvedores de IoT (LETHABY, 2017).

#### 2.2.1.5 ZigBee

ZigBee é assim como os demais um protocolo de comunicação sem fio, gerido pelo grupo ZigBee Alliance que é composto por mais de 400 companhias de diferentes segmentos de mercado. Ele é baseado no padrão IEEE 802.15.4 e também trabalha com a frequência de 2,4GHz como topologia de rede tem como principal característica rede *Mesh*, extremamente interessante para aplicações de IoT uma vez que no caso da falha de um nó sensor ele é capaz de encontrar uma outra rota para se comunicar (LETHABY, 2017).

Uma grande vantagem com relação ao ZigBee é o rigoroso processo de certificação feito pela ZigBee Alliance que garante a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes (LETHABY, 2017).

Um outro ponto de destaque, é que o ZigBee apresenta um melhor desempenho em projetos com as seguintes características (FRIAS, 2004):

- Controle de dispositivos;
- Rede de Sensores;
- Redes com muitos dispositivos (*Mesh*);
- Pequenos pacotes de dados;
- Onde consumo de bateria crítico.

#### 2.2.1.6 IEEE 802.15.4

O protocolo IEEE802.15.4 é provavelmente o maior padrão para WPANs com baixa taxa de dados, sendo dividido em diversas subcategorias, foi desenvolvido para controle e monitoramento que exijam baixa taxa de dados e baixo consumo de energia. Seguindo o contexto de camada física, o 802.15.4 além de definir a camada física define também o controle de acesso ao meio (MAC) dentro do contexto do modelo OSI. Onde a camada física define a modulação, frequência, energia e outras

condições de um *link* sem fio, já o MAC definirá o formato dos tratamentos dos dados (FRENZEL, 2013).

Sob os aspectos de topologia de redes, o padrão 802.15.4 faz uso das topologias estrela, ponto a ponto e Mesh. Com relação ao alcance sob as melhores condições, com caminho livre pode-se chegar a 1000 metros de conexão. Algumas variações do 802.15.4 são o ZigBee, apresentado na seção anterior e o 6LowPan que utiliza sobre o 802.15.4 endereços IPV6 compactados que permitem dispositivos 802.15.4 acesso à internet facilitando a implementação para soluções de IoT, *Smart Grid* e M2M (*Machine to Machine*) (FRENZEL, 2013).

### 2.2.2 Camada de Rede

O objetivo dessa camada, é fornecer um suporte à comunicação sem fio, fim a fim, para as camadas superiores, nesse contexto inclui-se a escolha do modo de transferência, qualidade de serviço de transferências, endereçamento, interfuncionamento com elementos externos à rede, controle de fluxo de dados entre outras funções (MATARAZZO; SILVEIRA, 2004).

É nessa camada onde se encontra as tecnologias de IPV4, IPV6 6LowPan e RPL (GERBER, 2017).

#### 2.2.2.1 IPv4 e IPv6

O protocolo de internet versão 4, é o protocolo dessa camada mais implementado, ele utiliza endereçamento de 32 bits, que significa uma capacidade total de endereçamentos de  $2^{32}$  (4.294.967.296) endereços únicos. Foi o primeiro amplamente utilizado pelo TCP/IP moderno, fornece informações básicas para recursos de entrega dos datagramas os quais as funções TCP/IP foram comprovadas e utilizadas com qualidade por mais de duas décadas (ALI, 2012).

Porém com o passar do tempo, os endereços IPV4 não foram mais suficientes, com isso uma técnica paliativa chamada de NAT foi desenvolvida para resolver esse impasse, o que ajudou o IPV4 a permanecer até os dias atuais. Dentro desse contexto e visto a necessidade por mais endereços é que foi desenvolvido o IPV6 (ALI, 2012).

Com o IPV6, elimina-se a necessidade do uso do recurso de NAT, e a quantidade de endereços passa agora a ser  $2^{128}$  ( $3,4 \times 10^{38}$ ), com essa expansão

muitos mais dispositivos podem ser conectados à internet e com flexibilidade extra para alocação de endereços melhorando a eficiência no roteamento e tráfego das mensagens. Além da vantagem de não se ter a necessidade do uso do NAT, o grande número de endereços, permite aos dispositivos terem verdadeiramente um endereço único oferecendo uma conexão ponta a ponta, reduzindo o número de dispositivos que precisam reinterpretar a mensagem. Outro benefício é a autoconfiguração dos dispositivos IPV6 onde se cria um endereço IP exclusivo combinando o endereço MAC da LAN com prefixo fornecido pelo roteador, facilitando a usabilidade para o usuário (ALI, 2012).

#### 2.2.2.2 6LoWPAN

Pode-se considerar o 6LoWPAN como um acrônimo do IPV6 para dispositivos de baixa potência. Dessa forma, esses pequenos dispositivos conseguem se comunicar com qualquer outro dispositivo que possua um IP na Internet. Ele define uma camada de adaptação entre a camada 802.15.4, a pilha TCP/IP e IPV6 (LETHABY, 2017).

Assim como o Wi-Fi, as redes com 6LoWPAN necessitam de um *Gateway* para acessar a Internet, e como ele só trabalha com IPV6 e muitos dispositivos na Internet utilizam IPV4 é comum adaptações para a conversão quando há essa necessidade (LETHABY, 2017).

O 6LoWPAN oferece ao usuário as vantagens do 802.15.4, como rede *Mesh* e baixo consumo de energia, combinado com os recursos e benefícios da comunicação IP (LETHABY, 2017).

Dessa forma, isso permite aos desenvolvedores endereçar diversos dispositivos IoT e os nós das redes com endereço IPV6, fator esse que facilita as soluções para as aplicações de Internet das Coisas (VITALI, 2012).

#### 2.2.3 Camada de Transporte

A camada de transporte a penúltima, dentro do modelo OSI adaptado para IoT, é a camada responsável pelo controle da transferência de dados que incluem a qualidade do serviço, a correção de erros e garantia de entrega das mensagens. Nessa camada encontramos os padrões associados ao IP, são eles: TCP



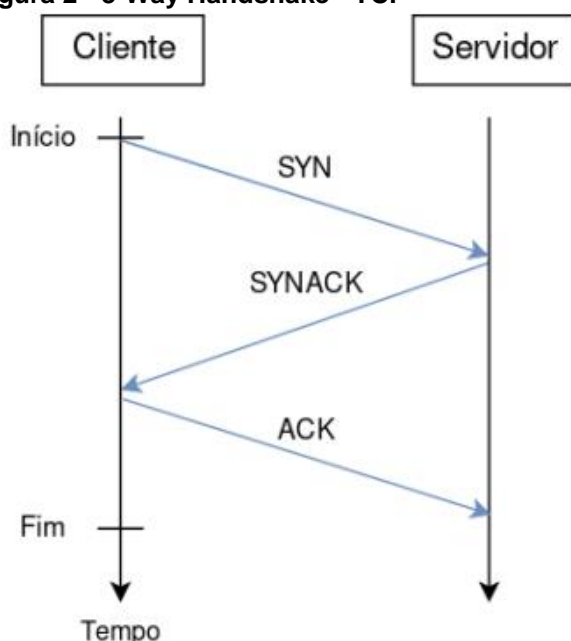
(*Transmission Control Protocol*) e UDP (*User Datagram Protocol*) (MATARAZZO; SILVEIRA, 2004).

A principal característica de ambos é a diferença entre a orientação a conexão. O TCP é orientado a conexão, isso significa que há garantia da entrega do dado, para isso ele realiza o controle de fluxo. Já o UDP, por outro lado não é orientado a conexão, não há controle de fluxo e nem garantia de entrega dos pacotes de mensagem. Esses requisitos devem ser levados em consideração para projetos dependendo do tipo de serviço que se deseja (MATARAZZO; SILVEIRA, 2004).

### 2.2.3.1 Transmission Control Protocol (TCP)

Como apresentado anteriormente, o TCP é orientado a conexões, isso significa que algumas etapas preliminares são necessárias antes da troca de dados entre um cliente e um servidor. Esse processo inicial é conhecido por *3-way handshake*, do português aperto de mão de três vias, de forma sucinta quando um cliente deseja iniciar uma conexão ele envia um seguimento SYN para o servidor, que na sequência responde o recebimento da mensagem com um SYNACK, indicando para o cliente o aceite da conexão, que posteriormente enviará um segmento ACK para indicar ao servidor que a conexão está estabelecida, ilustrado na Figura 2 (CAMARINHA, 2018).

Figura 2 - 3-Way Handshake - TCP



Fonte: Camarinha (2018).

A confiabilidade do TCP deve-se principalmente aos seguintes pontos:

- Perda de Pacote e Retransmissão: quando isso ocorre, o TCP ao iniciar o envio de dados ativa um temporizador que verifica quando um objeto é recebido, caso isso não ocorra a mensagem é reenviada (BEZERRA, 2008).
- Controle de Fluxo: garantir o controle de fluxo em usuários finais é um desafio, por isso o TCP utiliza-se de um conceito conhecido como janela deslizante. Esse conceito permite protocolos transmitirem mais de um pacote simultâneo sem ter a necessidade de ter sido notificado do recebimento, conforme o remetente desliza a janela de pacotes ele envia a confirmação (BEZERRA, 2008).

#### 2.2.3.2 User Datagram Protocol (UDP)

Diferentemente do TCP, o protocolo UDP não adiciona funções de confiabilidade, controle de fluxo ou recuperação de erros ao IP. Possui uma menor complexidade e conseqüentemente seu cabeçalho é mais simples contendo menos bytes. Dessa forma ele é aplicado em mecanismos onde não se exige confiabilidade similar ao TCP. Muito aplicado em conjunto com outros protocolos da camada superior como NFS (*Network File System*), SNMP (*Simple Network Management Protocol*), DNS (*Domain Name System*) e TFTP (*Trivial File Transfer Protocol*) (CISCO, 2009).

Como o UDP não garante a confiabilidade, os datagramas recebidos podem chegar fora de ordem, ou duplicados. Essa simplicidade favorece a evitar sobrecarga na rede e maior velocidade ao envio de pacotes, porém a sua entrega não é garantida (CISCO, 2009).

#### 2.2.4 Camada de Aplicação

A camada mais próxima do contexto do usuário possui tecnologias distintas que dependem diretamente dos requisitos dos projetos como por exemplo garantia de entrega de mensagens, capacidade e poder de processamento. Para as aplicações IoT destacam-se os protocolos COAP, MQTT, MQTT-SN (GERBER, 2017).

#### 2.2.4.1 Constrained Application Protocol (CoAP)

Desenvolvido pelo grupo de trabalho do *Internet Engineering Task Force* (IETF), esse grupo iniciou as atividades em 2010 com objetivo de promover um *framework* para manipulação de recursos simples em dispositivos interligadas em redes limitadas. Essas redes incluem aplicações de monitoramento de sensores de temperatura, medidores de energia, controle de atuadores e etc (MARTINS; ZEM, 2015).

E de acordo com o seu RFC (*Request for Comments*), o CoAP é um protocolo voltado para nós em redes restritas (baixa quantidade de RAM e com taxa de perdas de pacote alta), projetado para aplicações M2M como *Smart Energy* e automação residencial (MARTINS; ZEM, 2015).

O CoAP é um protocolo que se utiliza do UDP, e foi projetado integralmente para trabalhar e interagir com o HTTP, para integração com a Web. Dessa forma algumas características devem ser destacadas (MARTINS; ZEM, 2015):

- Protocolo Web que atende os requisitos M2M;
- Troca de mensagens assíncrona;
- Integração com segurança para Datagram Transport Layer Security (DTLS);
- *Binding* em UDP, com confiabilidade opcional, suporta *unicast* e *multicast*;
- Suporte aos métodos *GET, POST, PUT, DELETE*;
- Mapeamento HTTP, permite proxies acessem os recursos CoAP via HTTP de maneira uniforme.

#### 2.2.4.2 Messaging Queue Telemetry Transport (MQTT)

Criado em 1999, o MQTT é um protocolo baseado na arquitetura *publish/subscribe* e segue um modelo cliente / servidor onde os nós sensores são os clientes e se conectam a um servidor conhecido por Broker utilizando TCP. As mensagens são publicadas em tópicos similar a uma estrutura de diretórios (*container/cliente1/temperatura*). Um cliente pode ser escrito em mais de um tópico e são capazes de receber as mensagens de outros clientes que estão inscritos no tópico (MARTINS; ZEM, 2015).

Algumas características interessantes sobre o MQTT devem ser destacadas:

- Uso do TCP/IP para se ter a conectividade;
- Baixa sobrecarga para transporte;

- *Last Will Testament*, ou mensagem testamento – mecanismo que aponta quando algum cliente é desconectado anormalmente;
- QoS - *Quality of Service* – indica o nível de garantia de entrega de uma mensagem que podem variar de 0 a 3, onde o zero não verifica a entrega e nível 2 e 3 se tem a entrega garantida.

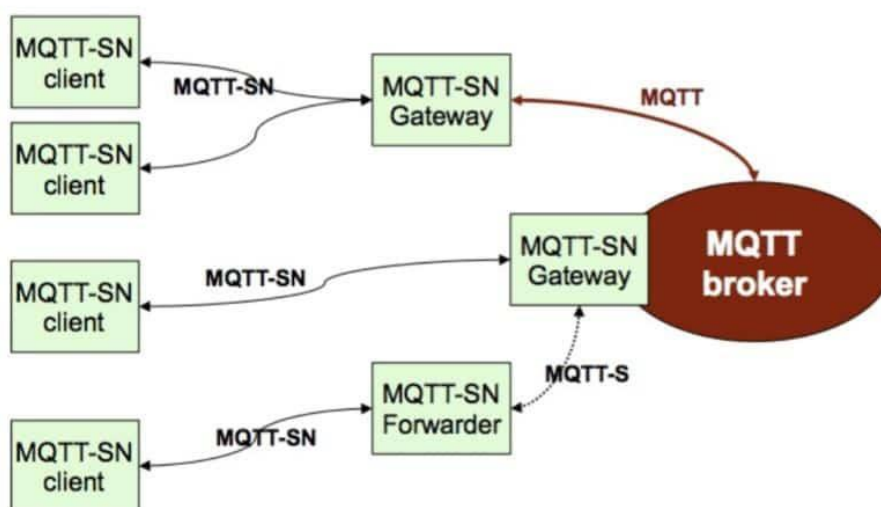
As características apresentadas acima permitem que esse protocolo seja amplamente utilizado em diversas aplicações para IoT, além de se ter uma grande comunidade desenvolvedora que compartilha novos conhecimentos e descobertas, permitindo suporte adequado e necessário para o seu crescimento e desenvolvimento (VICENTE, 2016).

#### 2.2.4.3 MQTT for Sensor Network (MQTT-SN)

Essa variação do MQTT une as características do MQTT, apresentadas no tópico acima, com o CoAP apresentado anteriormente. Isso significa que esse protocolo, passa a ser dedicado as aplicações sem fio onde não se tem capacidade de processamento e onde há limitação por consumo de bateria (SOUZA, 2018).

Conforme Figura 3, a arquitetura para a aplicação tem umas características próprias, o cliente MQTT-SN é conectado a um broker MQTT via gateway ou via *forwarder*, a presença desses dois dispositivos faz com que os pacotes MQTT-SN sejam encapsulados e enviados ao broker via MQTT padrão (SOUZA, 2018).

Figura 3 - Arquitetura MQTT-SN



Fonte: Souza (2018).

## 2.3 SENSORES

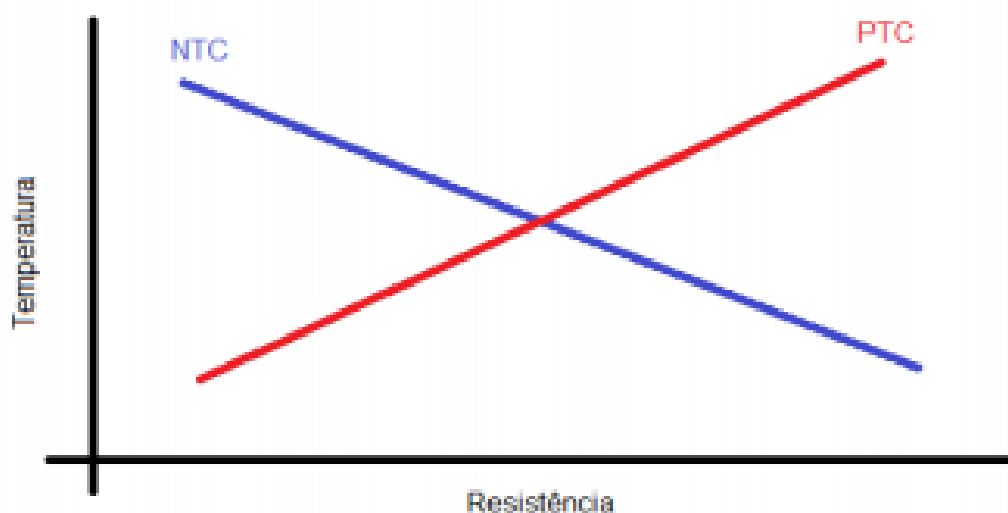
Sensores, são transdutores de parâmetros físicos, químicos ou biológicos em sinal elétrico mensurável, como exemplos tem-se sensores de temperatura, pressão, fluxo, vibração, umidade, acelerômetros, campo magnético, áudio. Esses sinais elétricos podem ser utilizados tanto na forma analógica como digital, e são respostas a alterações das grandezas físicas (CONCEIÇÃO JUNIOR, 2012).

### 2.3.1 Sensor de Temperatura NTC e PTC

O NTC (*Negative Temperature Coefficient*) é um termistor que varia sua resistência de acordo com a temperatura em seu corpo. O NTC por ter o seu coeficiente negativo, indica que a sua resistência diminui com o aumento de temperatura, esse comportamento é devido aos materiais utilizados em sua construção (SASAKI, 2017).

O PTC (*Positive Temperature Coefficient*), é o termistor oposto ao NTC. Com o aumento da temperatura a sua resistência aumenta. Ambos os comportamentos são descritos na Figura 4 (SASAKI, 2017).

Figura 4 - Comportamento NTC e PTC



Fonte: Sasaki (2017).

São sensores amplamente utilizados, devido ao baixo custo, manuseio, *hardware* simples, além de um range grande de temperatura (SASAKI, 2017).

## 2.4 SISTEMAS OPERACIONAIS IOT

Típicos nós sensores são compostos por sensores, microcontroladores, memória, radio e baterias. Cada conjunto de nó sensor necessita de um sistema operacional que controle o hardware e software (CHIEN; CHAN; HUU, 2011).

Um sistema operacional geralmente é conhecido pelas suas aplicações em computadores pessoais, mas essas são diferentes das necessidades de IoT. Para essas aplicações novos sistemas operacionais foram desenvolvidos, pois para nós sensores há restrições com relação a memória, tamanho físico dos microprocessadores, restrição com bateria, e para isso os sistemas convencionais não atendem a necessidade. Nesse contexto, entre os sistemas operacionais existentes para IoT, dois se destacam: TinyOS e o Contiki OS (CHIEN; CHAN; HUU, 2011).

O TinyOS é uma plataforma *open source*, desenvolvida pela Universidade da Califórnia, utiliza um modelo de programação orientada a eventos e a simultaneidade é obtida através de tarefas não preventivas. Já o Contiki, também é um sistema operacional de código aberto, desenvolvido pelo Instituto Sueco de Ciência da Computação, tem como principais características carregamento dinâmico e *unload* de código quando está executando e *multi-threading* com um *Kernel* orientado a eventos (REUSING, 2012).

Ambos os sistemas operacionais atendem a grande maioria dos requisitos de uma aplicação IoT (Microcontroladores com recursos limitados, simultaneidade de operações, atualização de software e baixo consumo de energia). Porém vale destacar que o Contiki é uma melhor escolha quando se há a necessidade de atualização do sistema, sem ter que necessariamente desativá-lo, fator esse importantíssimo para quando se trabalha com uma grande quantidade de nós (REUSING, 2012).

## 2.5 REDES MESH

De acordo com Held (2005), para entender uma rede Mesh, é preciso inicialmente entender o que ela representa. Se houver nós (dispositivo capaz de transportar dados para outro nó por essa interface), em uma rede onde cada nó é capaz de se comunicar com um nó próximo, tem-se então nessa configuração uma rede Mesh.

As vantagens dessa arquitetura para aplicações IoT são inúmeras, principalmente na área de cobertura dessa rede e na quantidade de nós conectados. Porém outros pontos também precisam ser ressaltados como vantagens:

- **Confiabilidade:** em uma rede Mesh cada nó funciona como um caminho que irá mover o pacote de mensagem até o seu destino final. Como um nó pode entrar e sair de uma malha ele deve ser capaz de se auto-configurar dinamicamente com base em seus nós vizinhos conectados. Isso garante que no caso de falha de qualquer nó o pacote de mensagem encontre outro caminho para se conectar (HELD,2005).
- **Auto-Configuração / Auto Recuperação:** já mencionado anteriormente a auto-configuração, permite com que o nó encontre caminhos para manter a sua conexão, sendo assim não há a necessidade de administração da rede (HELD,2005).
- **Escalabilidade:** essa vantagem é justamente com relação a área de cobertura da rede Mesh, como os nós podem entrar e sair de uma malha é possível estender a área de cobertura adicionando novos nós nos locais apropriados de modo a garantir a conexão da rede existente, a essa característica damos o nome de Escalabilidade (HELD,2005).
- **Economia:** essa vantagem é consequência das demais vantagens, uma vez que você não precisa mais administrar a rede e não há a necessidade de reconfiguração da mesma, os custos operacionais são mais baratos do que uma rede convencional (HELD,2005).

Essas principais vantagens permitem afirmar que protocolos das camadas do modelo OSI que trabalham com rede Mesh tenham inúmeros benefícios sobre as demais para uma aplicação IoT. Além do que, permitem mais robustez à rede que pode ser implementada mesmo em ambientes com emissões de rádio frequência severas, em que muitas tecnologias encontram dificuldade por limitações causadas por esse ambiente (HELD,2005).

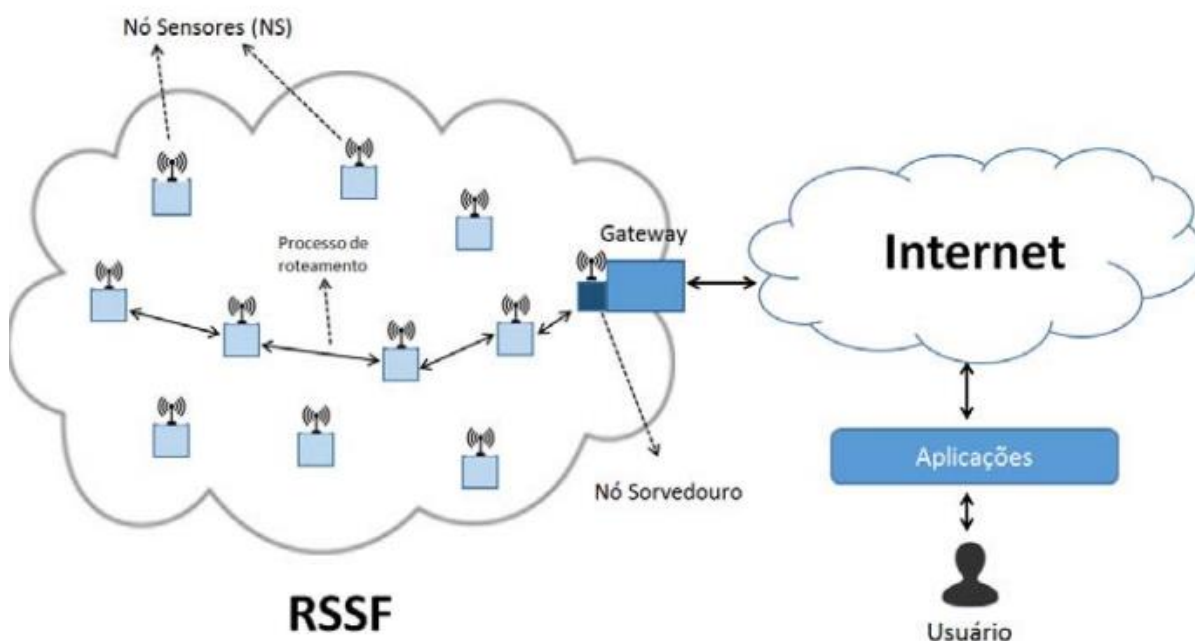
### 3 DESENVOLVIMENTO

Nesse capítulo apresentam-se as definições de hardware e software e as etapas do desenvolvimento para o sistema IoT, além de testes e estudos realizados que permitirão um melhor entendimento da aplicação.

#### 3.1 ARQUITETURA SISTEMA IOT

Como apresentado no capítulo anterior diversos aspectos precisam ser analisados para o desenvolvimento de uma aplicação de IoT. Considerando um sistema base de IoT (Figura 5), ele é composto por nós sensores, roteador de borda (*gateway*) servidor web e interface web (ALMEIDA *et al.*, 2015).

Figura 5 - Arquitetura de rede IoT



Fonte: Oliveira (2016).

Dentro da aplicação para *containers* refrigerados, há os nós sensores instalados juntos ao *container*, *border router* (*gateway*) instalado dentro do escritório do pátio, servidor web e interface com o usuário podendo ser utilizado via app ou interface web.



### 3.2 CONTAINER REFRIGERADO

O *Container* refrigerado também conhecido como Reefer, é uma variação do *container* convencional. Possui sistema de isolamento térmico com poliuretano, interface de monitoramento de temperatura e temperaturas internas de refrigeração podendo variar de  $-35^{\circ}\text{C}$  até  $30^{\circ}\text{C}$  dependendo da carga armazenada (CANEO; CLAUDEMIRO; DIAS, 2018).

A essência de um *container* refrigerado é o fluxo de ar interno, que promove a troca de temperatura. O sistema de refrigeração assim como um refrigerador é composto por: compressor, condensador e evaporador. Como gás refrigerante é comum a utilização dos gases R-134a e R-404a (CANEO; CLAUDEMIRO; DIAS, 2018).

Em muitos casos esses *containers* necessitam aguardar nos pátios até a sua movimentação para serem transportados seja via terrestre, ferroviário ou carregado em navios. Nessas situações os *containers*, necessitam ser conectados em suas tomadas, o padrão elétrico para tensão de alimentação de um *container* pode variar de 220V, 380V ou 440V dependendo do tipo do *container* e do compressor que utiliza. Quando não há a disponibilidade de tomadas os mesmos são conectados a geradores a diesel (Figura 6), dessa forma permite-se manter o funcionamento do sistema de refrigeração não comprometendo a carga (BR GERADORES, 2017).

**Figura 6 - Sistema de gerador para Reefer**

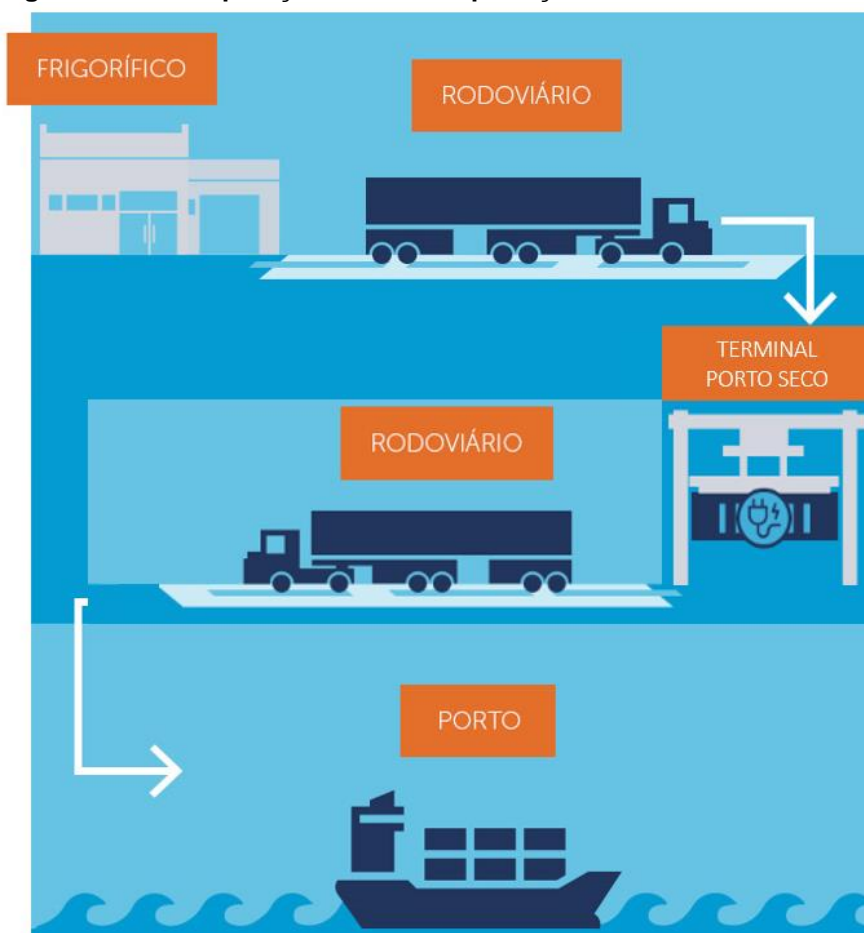


Fonte: BR Geradores (2017).

### 3.3 TERMINAIS PORTUÁRIOS – PORTO SECO

O pátio de *container* é uma área destinada a armazenagem e movimentação de *containers* dentro do fluxo de operação fornecedor – cliente final (Figura 7). Muitas vezes localizados em locais estratégicos próximos aos terminais portuários ou próximos aos clientes. Os principais segmentos da indústria que fazem uso desse espaço são indústria química em geral, setor de bens de consumo, medicamentos, tecnologia, automóveis e alimentos (ALFALOG, 2019).

Figura 7 - Fluxo operação Reefer - Exportação



Fonte: Adaptado de Brado (2019).

Nesses pátios diversos serviços são realizados como manutenção, lavagem, vistoria, reparos, recebimento e entrega, serviço de estufagem, controle de temperatura e até mesmo transporte do *container* até o terminal marítimo (OMEGATRANS, 2018).

Atualmente, mesmo com o avanço das tecnologias, muitos terminais ainda operam com o registro manual das temperaturas e inspeção dos *containers* refrigerados (Figura 8). Isso acarreta em um trabalho adicional de redigitar informações aumentando a possibilidade da ocorrência de erros.

**Figura 8 - Monitoramento de temperatura**



Fonte: Reefercon (2018).

Um sistema de IoT, se aplicado, poderia impactar em uma redução no quadro de funcionários ou realocação dos mesmos para funções mais relevantes para o negócio da empresa.

Sendo esse um dos objetivos desse estudo, apresentar a viabilidade da aplicação de um sistema de IoT em terminais portuários para monitoramento de *containers* refrigerados.

### 3.3.1 Estudo Área – Terminal de Container

Fazendo uma análise de um pátio de *container*, situado na cidade de Itapoá, são encontradas as dimensões conforme Figura 9, com o auxílio do Google Maps. Essas dimensões serão importantes para disposição dos nós sensores e verificar a cobertura da área com o sistema proposto.



Figura 9 - Pátio Container



Fonte: Autoria própria.

### 3.4 SISTEMA IOT – DEFINIÇÕES

#### 3.4.1 Definições dos Protocolos

Antes das definições de hardware, precisamos definir os protocolos que serão utilizados em cada camada. Para a camada física a opção escolhida para o desenvolvimento desse estudo é o padrão IEEE 802.15.4. Mesmo não tendo a necessidade da aplicação em trabalhar com baterias, pois como apresentado, os *containers* necessitam de alimentação para o funcionamento do sistema de refrigeração, esse protocolo trabalha com baixa taxa de dados e foi desenvolvido para aplicações de monitoramento.

Para a camada seguinte, camada de rede, a escolha é pelo 6LowPan, tendo como os principais argumentos pela escolha a sua operação com o IPV6, o qual como apresentado permite uma configuração da rede mais rápida, além de cada dispositivo receber um IP único podendo facilmente conectar-se pela Internet.

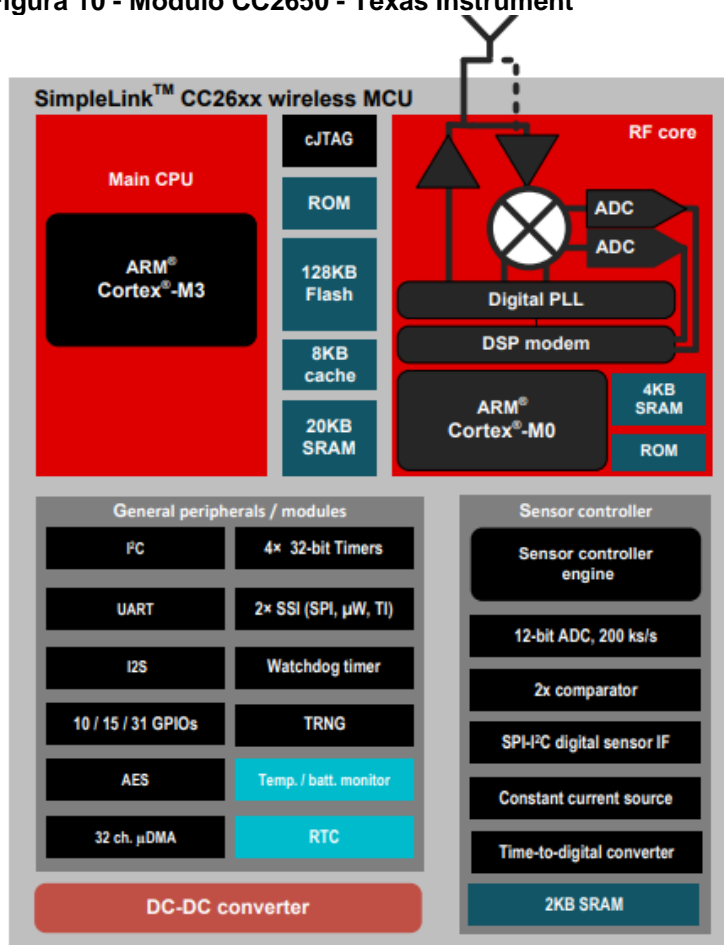
Para as últimas camadas, aplicação e transporte, a escolha se deu pelo MQTT-SN e TCP/IP, pois como é um processo que no caso de falha pode comprometer toda uma carga perecível, é extremamente importante termos a garantia de entrega da mensagem e a informação de desconexão de algum nó sensor através do recurso de *Last Will Testament*.

Definindo a escolha dos protocolos é possível definir as especificações de hardware.

### 3.4.2 Definições – Hardware e Software

A escolha do hardware para o desenvolvimento do presente estudo, se deu pelo kit CC2650 da *Texas Instruments*, apresentado na Figura 10. A grande vantagem desse kit da Texas é poder trabalhar com múltiplas tecnologias como Bluetooth Low Energy, ZigBee e o 6LowPan todos protocolos que trabalham com redes do tipo Mesh.

Figura 10 - Módulo CC2650 - Texas Instrument



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

Fonte: Texas Instrument (2016).

Entre as aplicações mencionadas no datasheet do fabricante, podemos mencionar: acessórios para celular, equipamentos de esporte, automação residencial, tags de proximidade, aplicações médicas, medição inteligente, rede de sensores sem fio (TEXAS INSTRUMENT, 2016).

Outros fatores importantes para o desenvolvimento do projeto são: potência de transmissão de +5dBm, tensão normal de operação entre 1,8V – 3,8V, conversor AD de 12 bits, 8 entradas analógicas, comunicação serial via UART, I2C, SPI e SSIs. Temporizadores de de 32 bits (8 de 16 bits) com capacidade de modulação por PWM (*Pulse Width Modulation*) (TEXAS INSTRUMENT, 2016).

O sistema operacional escolhido para desenvolvimento foi o Contiki OS, por ser uma das maiores comunidades ativas de IoT mundialmente, suportado por diversas empresas como a Texas Instrument, Atmel, Cisco. Foi desenvolvido especialmente para aplicações IoT com memória e recursos limitados (MIN, 2015).

Como apresentado anteriormente, Contiki OS oferece suporte ao IPV6, além dos demais protocolos escolhidos nas demais camadas. Oferece também funções *multi-threadings*, programação orientada a eventos e como mencionado suporte completo a as pilhas para os diferentes mecanismos de rede (MIN, 2015).

### 3.5 BORDER ROUTER

Para a integração dos nós sensores, é necessário a utilização do *border router*, ele é uma solução para compactar os pacotes e inseri-los dentro de frames do IEEE802.15.4 atuando como um gateway entre os nós sensores e a internet. (NAIDU *et al.*, 2018)

Para a construção desse hardware foi utilizado:

- 1x Kit desenvolvimento Texas CC2650
- 1x Raspberry PI 3
- 1x Modem Ethernet

O Raspberry Pi é um kit de desenvolvimento também baseado em arquitetura ARM extremamente flexível, e vem se tornando popular devido aos seus recursos, desempenho e velocidade operando como 6LBR (*6LowPan/RPL Border Router*) (NAIDU *et al.*, 2018).

Fotografia 1 - Border Router



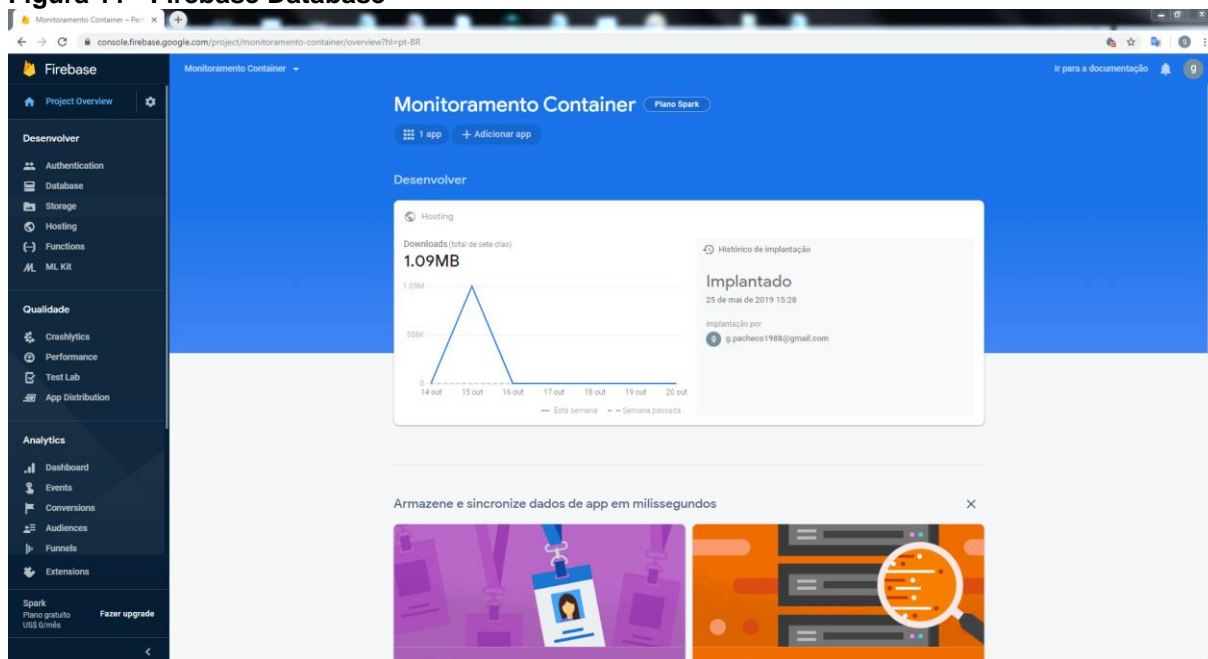
Fonte: Autoria própria.

### 3.6 APLICAÇÃO WEB E O BANCO DE DADOS

O Firebase, foi escolhido como *back-end* para o projeto, a sua fácil integração com o Ionic e permitir ser utilizado tanto para aplicação mobile como web foi um dos principais motivos para a decisão.

Ele é uma plataforma baseada em conceito nuvem, fornecendo o serviço de hospedagem de dados através de diversas integrações tanto para aplicações chamadas nativas (Android ou iOS), como aplicações Web (VOLPE, 2018).

Para o funcionamento com o *web-sockets* o Firebase utiliza o Realtime Database (Figura 11), que é um banco de dados NoSQL, hospedado na nuvem, dessa forma é possível sincronizar os dados em tempo real (VOLPE, 2018).

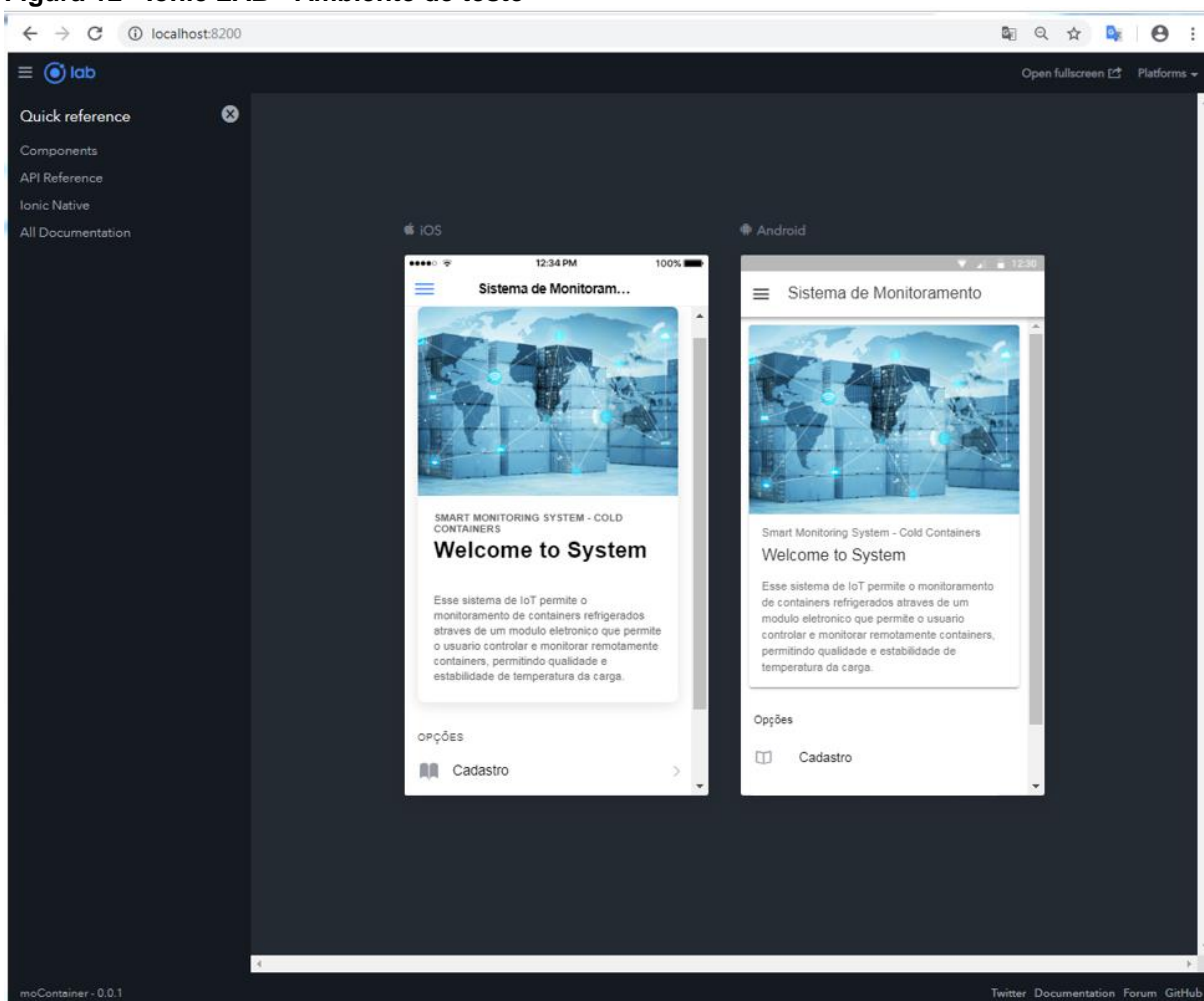
**Figura 11 - Firebase Database**

Fonte: Autoria própria.

Já para o Front End a escolha para o desenvolvimento se deu pelo Framework Ionic (Figura 12), tendo como a grande vantagem ser multi plataforma e gerar com um único código soluções para iOS, Android e Web. Mesmo com essa funcionalidade, ele também oferece um conjunto de APIs que permitem ao desenvolvedor acesso a recursos nativos (SILVA, 2015).



Figura 12 - Ionic LAB - Ambiente de teste

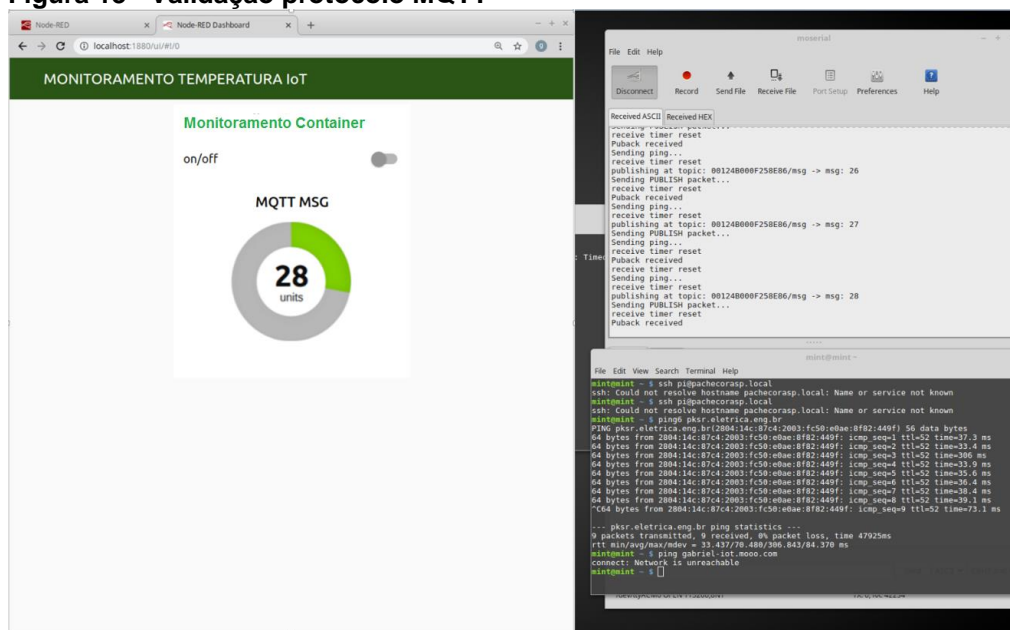


Fonte: Autoria própria.

### 3.7 TESTES PRELIMINARES

Após todas as definições alguns testes iniciais foram realizados. O primeiro ponto a ser verificado foi a comunicação entre a placa e o *border router* através do protocolo MQTT. Para isso um software padrão foi aplicado apenas para troca de mensagens incremental via MQTT. Para verificar a publicação das mensagens nos tópicos MQTT, utilizou-se a interface Node-Red, conforme Figura 13, em que o monitor serial a direita monitora o tópico e a mensagem publicada pela placa e a esquerda a interface Node-Red monitora a mensagem publicada no tópico.

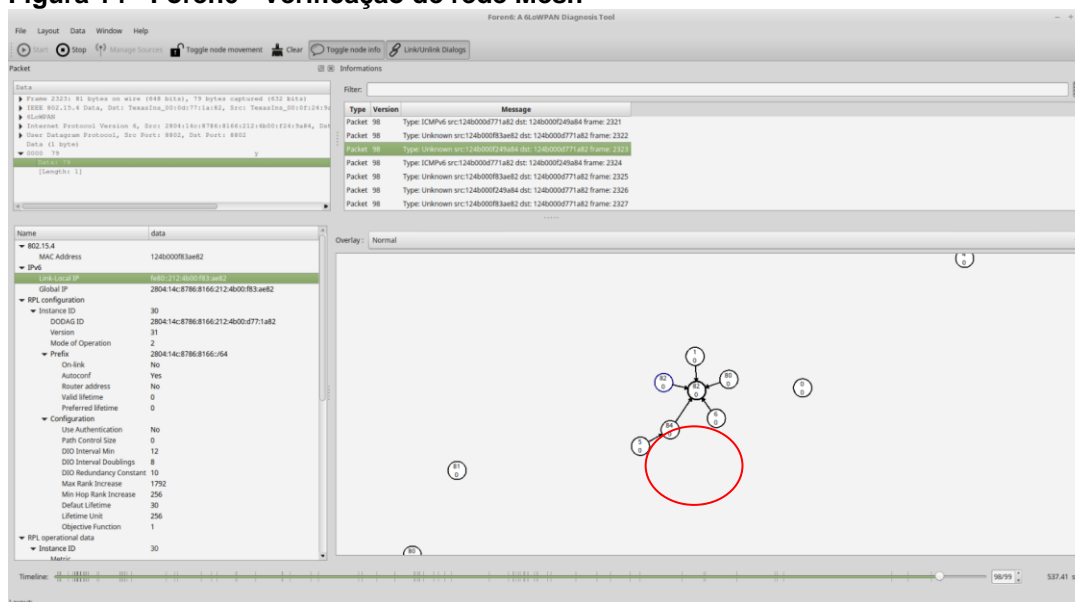
**Figura 13 - Validação protocolo MQTT**



Fonte: Autoria própria.

A segunda validação realizada foi a verificação das redes Mesh, teste esse realizado dentro do laboratório da UTFPR, onde com o auxílio da ferramenta Foren6 (snifer de rede 6LowPan) conseguimos observar o comportamento dos nós sensores e observamos a formação de uma rede Mesh entre os nós n°84 e n°5 circulados em vermelho conforme a Figura 14.

**Figura 14 - Foren6 - Verificação de rede Mesh**

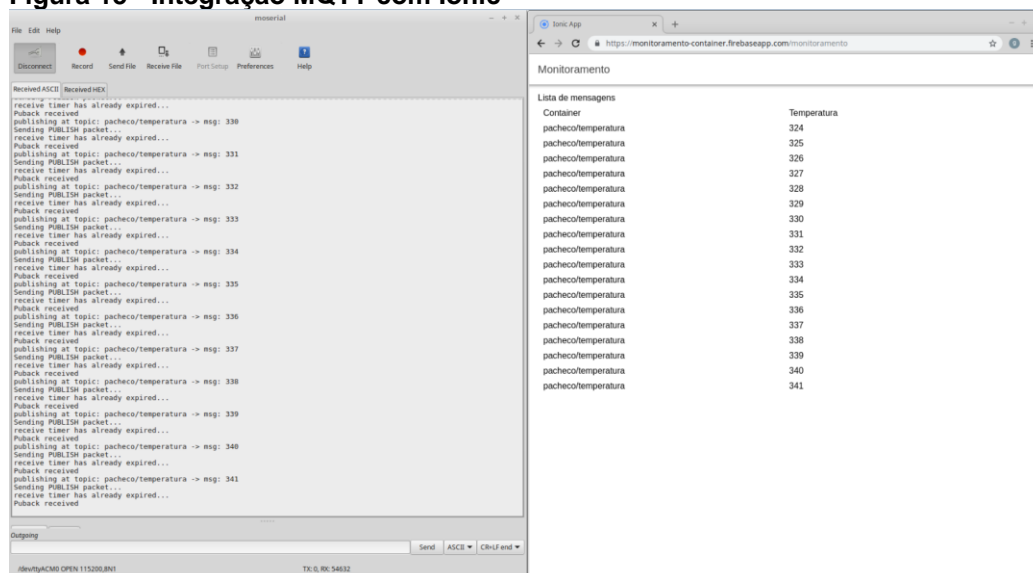


Fonte: Autoria própria.

Após a análise dos itens acima, seguiu-se para a integração das mensagens MQTT com uma interface web através do Ionic. O primeiro teste realizado foi com os

envios de mensagens sequenciais para o tópic `pacheco/temperatura`, conforme Figura 15. Dessa forma, foi validada a comunicação entre o nó sensor e a interface desenvolvida com o Ionic.

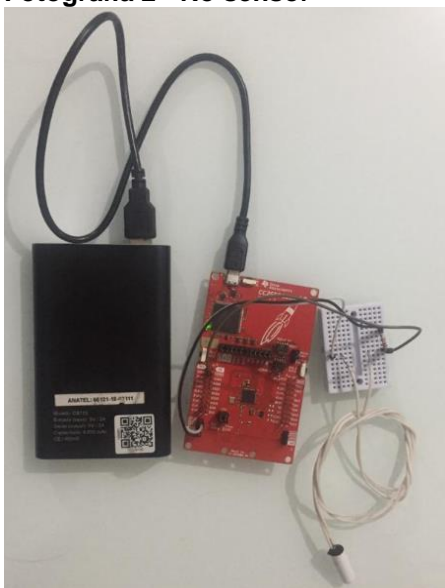
**Figura 15 - Integração MQTT com Ionic**



Fonte: Autoria própria.

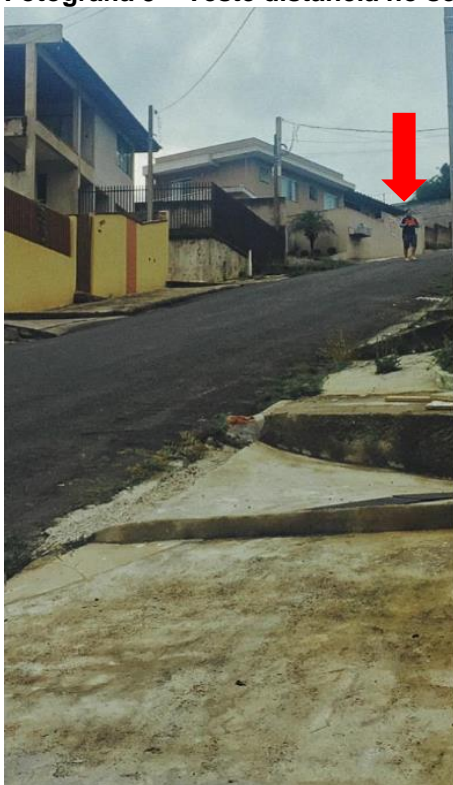
Essa mesma configuração foi utilizada para realizarmos um teste importante para aplicação, a avaliação da distância de comunicação entre o nó sensor e o *border router*. Para o teste, um dos nós foi conectado a um banco de baterias conforme Fotografia 2 e caminhando pela rua (Fotografia 3), com o auxílio de um aparelho celular foi possível observar a publicação da mensagem diretamente na aplicação desenvolvida com o Ionic e qual a distância máxima atingida pelo sistema.

**Fotografia 2 - Nó sensor**



Fonte: Autoria própria.

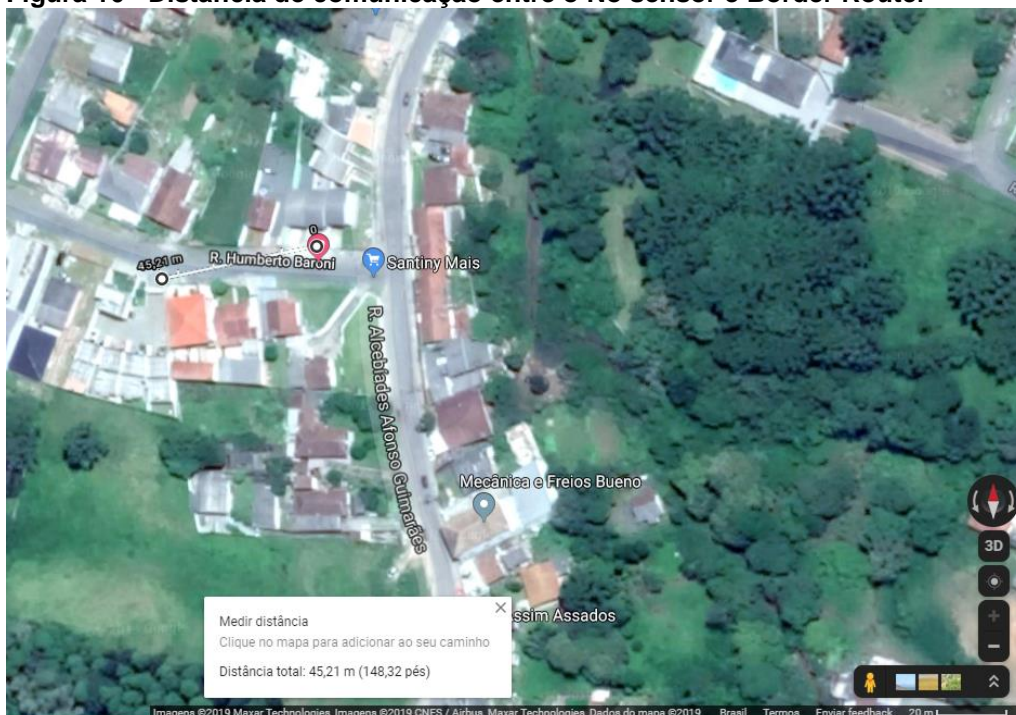
Fotografia 3 – Teste distância nó sensor



Fonte: Autoria própria.

Após o teste e com auxílio da ferramenta do Google Maps, conforme Figura 16, foi possível encontrar a distância de 45 metros como limitante para a conexão.

Figura 16 - Distância de comunicação entre o Nó sensor e Border Router



Fonte: Autoria própria.

Para a leitura dos dados do sensor NTC 10K (Fotografia 4), primeiramente foi preciso verificar a resolução do ADC da placa CC2650, de acordo com as informações obtidas pelo datasheet esse valor é de 12 bits. Para converter os valores de entrada do ADC para temperatura é utilizado o método de Steinhart e Hart conforme equação 1:

$$T = \frac{1}{A + B \ln(R) + C[\ln(R)]^3} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

- A = 0,0011133
- B = 0,000240612
- C = 0,0000000017590952
- R = Resistencia do Termistor em Ohms
- T = Temperatura em Kelvin

Para o cálculo da resistência R é calculado através da seguinte equação 2:

$$R = \frac{2^{12}}{ADC} - 10000 \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

- ADC: valor analógico o qual a placa estará recebendo do sensor NTC.

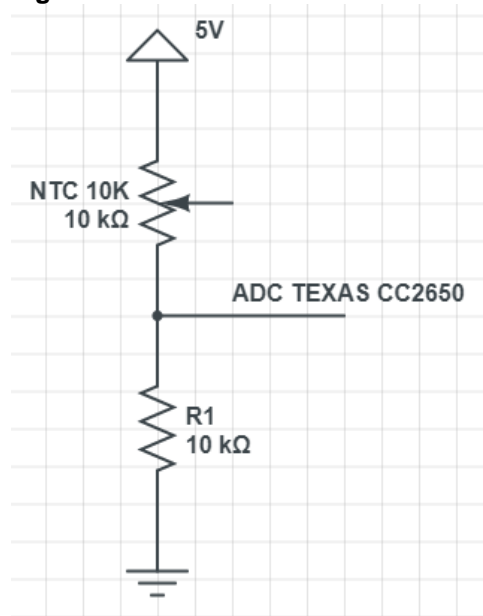
Para a leitura correta do sensor ainda é necessário um circuito auxiliar conforme Figura 17.

**Fotografia 4 - Sensor NTC utilizado**



Fonte: Autoria própria.

Figura 17 - Circuito leitura NTC



Fonte: Autoria própria.



## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Conforme apresentado nos capítulos anteriores o objeto de estudo é a aplicação de rede de sensores sem fio com 6LowPan na cadeia de frio, especificamente em pátios de *containers* ou porto seco.

Dentro desse contexto e com as análises e testes anteriores, foi desenvolvido uma interface com o uso do IONIC (Figura 18) e do Firebase, o qual permite a publicação via Web através do seu serviço de *hosting*.

Figura 18 - Interface Web desenvolvida com o Ionic



Fonte: Autoria própria.

Com essas duas ferramentas integradas tem-se o banco de dados em funcionamento (Figura 20) com o cadastro e identificação do *container* (

Figura 19) e o monitoramento de temperatura via interface Web, podendo ser gerado os aplicativos tanto para IOS como Android de forma híbrida uma das principais vantagens do IONIC.

**Figura 19 - Interface IONIC - Cadastro**

VIVO 22:21 15%

monitoramento-container.firebaseio.com

### Cadastro Container

Nome do Cliente

Data de Entrada Wed. 13/Mar/19

Horario de Entrada

Placa Caminhão

Container ID

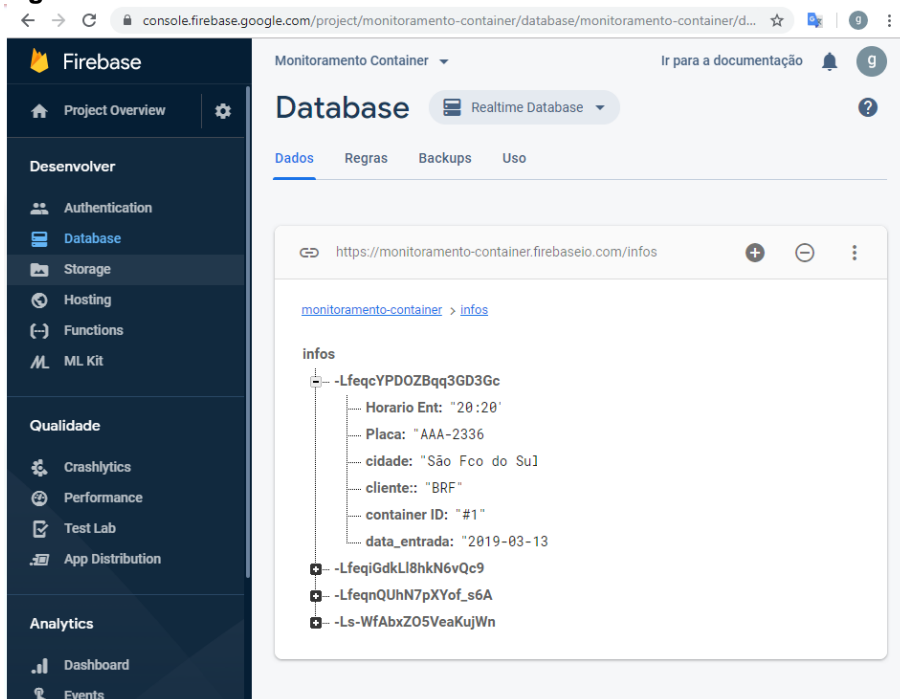
Patio / Cidade

Confirmar

Fonte: Autoria própria.



Figura 20 - Banco de dados Firebase



Fonte: Autoria própria.

Figura 21 - Interface IONIC - monitoramento temperatura



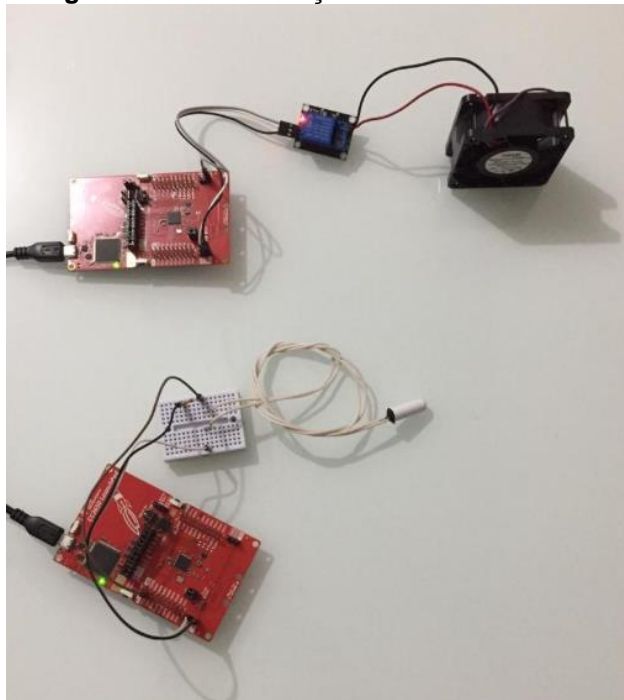
Fonte: Autoria própria.

A Figura 21 acima também mostra o resultado da aplicação do método de Steinhart e Hart para a conversão da temperatura.

Como visto na seção 3.2, os *containers* refrigerados trabalham com uma potência elevada, e dependendo da disponibilidade de tomadas do local onde ele está armazenado ele pode ser conectado a geradores a Diesel. Além disso, a grande maioria dos pátios de *containers*, não trabalham exclusivamente com *containers* refrigerados. Dessa forma, para uma solução definitiva e para promover flexibilidade, a ideia seria adicionar um nó sensor para controlar o ligar/desligar dos *containers* diretamente nos geradores e / ou nós painéis de força.

Sendo assim em um conceito final, apresentado na Fotografia 5, haveria o controle do ligar/desligar do *container* em um nó sensor adicional, onde para cada tópico haveria um *container* diferente conectado.

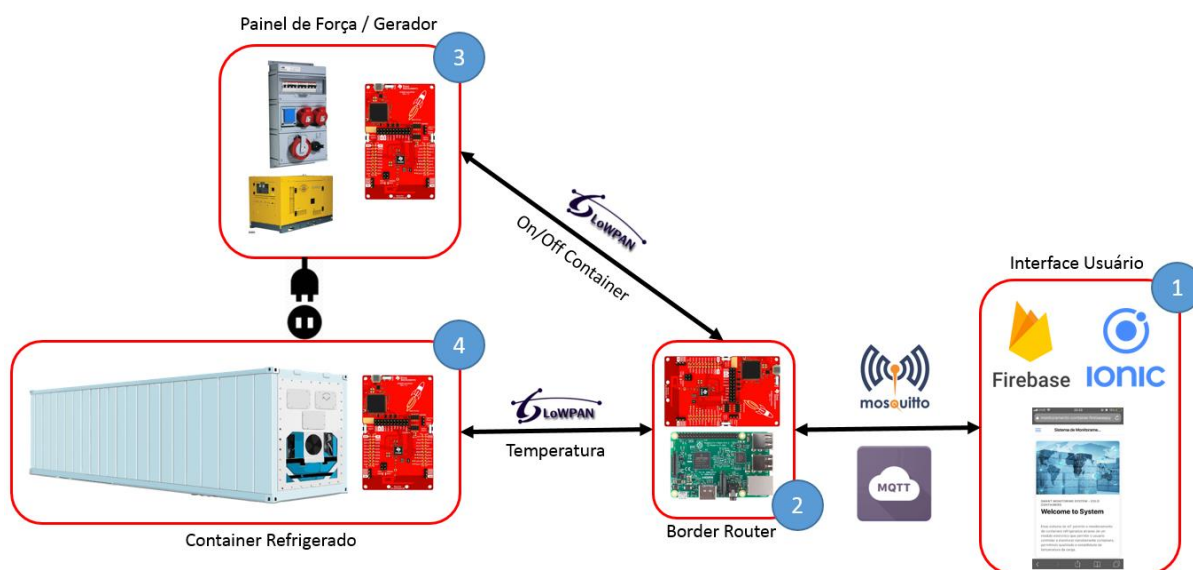
**Fotografia 5 - Conceituação final - circuito de testes**



**Fonte: Autoria própria.**

A Fotografia 5 apresenta os dois nós sensores sendo o primeiro a representação para o acionamento do painel de força ou gerador para alimentação dos *containers*, sendo o relé e o motoventilador como representação do *container* alimentado via cabo e o segundo com o sensor de temperatura NTC, para monitoramento da temperatura. Dessa forma em um contexto final tem-se a seguinte representação Figura 22.

Figura 22 - Representação final do sistema IoT



Fonte: Autoria própria.

Considerando, conforme Figura 22, sendo:

1. Computador / Interface com Usuario para cadastro.
2. *Border Router*
3. Central de Força
4. *Containers Refrigerados*

A disposição dos equipamentos, considerando o layout do pátio como fixo, deverá ser conforme apresentado na Figura 23, em que a instalação do *Boder Router* deverá estar a 100m do escritorio central (conectado via cabo a internet), quadro de força a 40m do *border router* e os *containers* a uma distância inferior a 40m de outro *container* ou do quadro de força ou do *border router*, de forma que através da Rede Mesh a área onde se encontram os *containers* de cor branca, estaria coberta permitindo a conexão e o monitoramento da temperatura.

Figura 23 - Disposição dos equipamentos IoT



Fonte: Autoria própria.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho expôs, um estudo para uma possível aplicação de redes de sensores na cadeia de frio, especificamente para um pátio de *container*. As tecnologias de comunicação por rádio frequência se apresentaram robustas e factíveis para uma aplicação e geração de um produto final.

Para uma melhor flexibilidade os fabricantes de *container* deveriam disponibilizar o acesso para a adição de placas e sistemas adicionais independentes. Sendo assim qualquer administrador de um pátio de *container* poderia desenvolver sua solução e garantir o monitoramento para os seus clientes. Dessa forma não haveria mais restrições ao acesso a informação e nem sistemas exclusivos com custo elevado para realizar o monitoramento desses *containers* refrigerados.

A aplicação da Tecnologia 6LowPan se apresentou interessante uma vez que a mesma é capaz de fazer rede Mesh, ampliando sua área de alcance e também no caso de aplicações para o transporte seja por caminhão, trem ou navio poderíamos ter um único modem com tecnologia 3G/4G com o *border router* no local, para fazer a conexão de diversos *containers*.

Os objetivos apresentados anteriormente foram atingidos, como a escolha e definição do sistema de comunicação, desenvolvimento de interface WEB, desenvolvimento de protótipo com a integração do sensor, hardware, *firmware* e banco de dados. Além da análise da aplicação dessas tecnologias em um pátio de *container*, onde são identificadas por exemplo restrições com relação a distância e a alta potência dos compressores utilizados, sendo necessários alguns ajustes no projeto levantado inicialmente.

Como foi visto no decorrer do desenvolvimento do trabalho o benefício da aplicação da Internet das Coisas para a cadeia de frios é de extrema importância para se garantir a qualidade dos produtos que estão sendo transportados, de forma a reduzir desperdícios, seja de alimento ou matéria prima bem como a qualidade por exemplo de medicamentos.

Uma próxima etapa fundamental, para permitir o desenvolvimento e a segurança dos itens a serem transportados, seria a padronização de tecnologias

entre os fabricantes de forma que a interface e sistema, pudessem ser desenvolvidos abertamente.

Um ponto não recomendado para uma aplicação final e comercial é a utilização de Brokers MQTT gratuitos. Muitas vezes durante o desenvolvimento do trabalho foi necessário fazer a troca por outros Brokers pois o serviço estava indisponível ou sem serviço. Fator esse que para uma aplicação comercial onde se exige a segurança e registro dos dados, não deve ser aceito.

## REFERÊNCIAS

ABPA. **Relatório anual 2019**. Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA). São Paulo, 2019. Disponível em: <<http://cleandrodias.com.br/wp-content/uploads/2019/05/RELATO%C3%ACRIO-ANUAL-ABPA-2019.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2019.

ALFALOG. **Patio de containers**. Copyright© Alfalog. Vinhedo, 2019. Disponível em: <<http://www.alfalog.com.br/armazens/patio-containers>>. Acesso em: 22 ago. 2019.

ALI, A. N. A. **Comparison study between IPv4 & IPv6**. IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Philadelphia, ano 3, v. 9, n. 1, p. 1-4, mai. 2012. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.402.3655&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 06 ago. 2019.

ALMEIDA, M. B.; *et al.* **Proposta de um medidor de consumo utilizando tecnologia de internet das coisas**. Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica - XIII CEEL, Uberlândia, out. 2015. p. 1-5. Disponível em: <[https://www.peteletricaufu.com/static/ceel/doc/artigos/artigos2015/ceel2015\\_artigo075\\_r01.pdf](https://www.peteletricaufu.com/static/ceel/doc/artigos/artigos2015/ceel2015_artigo075_r01.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2019.

ALMEIDA, M. R. de. **Sistema de transmissão de dados para lugares remotos: Análise de soluções e um estudo de caso com modem GPRS**. 2015. 101 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Departamento de Engenharia Elétrica)- Universidade Estadual de Londrina, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016. Disponível em: <<http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2015-MateusRodriguesAlmeida.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2019.

BEZERRA, R. M. **Redes de computadores II: Camada de transporte**. Redes de Notas de aula - Computadores II, CEFET/BA. 2008. Disponível em: <<http://www2.ufba.br/~romildo/downloads/ifba/transporte.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2019.

BLUETOOTH. **Bluetooth Core Specification 5.0 FAQ**. Copyright© 2016 Bluetooth SIG Proprietary. Disponível em: <<https://www.mouser.com/pdfdocs/bluetooth-5-faq.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2019.

BR GERADORES. **Reefer: o que são e como funcionam os contêiner e tomadas reefer**. Copyright © 2017 | BR Geradores. Curitiba, 2017. Disponível em: <<http://brgeradores.com/conteiner-e-tomada-reefer-o-que-sao-e-como-funcionam/>>. Acesso em: 22 ago. 2019.

BRADO. **Projetos logísticos.** Brado Inteligencia em Logística de Containers. Vinhedo, 2019. Disponível em: <<http://www.brado.com.br/nossos-servicos/projetos-logisticos/reefer/>>. Acesso em: 22 ago. 2019.

BRISCOE, N. **Understanding the OSI 7-Layer Model.** PC NetworkAdvisor, jul. 2000. Disponível em: <[https://www.os3.nl/\\_media/2014-2015/info/5\\_osi\\_model.pdf](https://www.os3.nl/_media/2014-2015/info/5_osi_model.pdf)>. Acesso em: 16 jun. 2019.

CAMARINHA, D. A. M. **Análise de desempenho do nsQUIC: Um módulo para simulação do protocolo QUIC.** 2018. 57 p. Dissertação de Mestrado - Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/45/45134/tde-16102018-181616/publico/defesa.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

CANEO, A.; CLAUDEMIRO, N.; DIAS, M. de S. C. **Movimentação de contêineres refrigerados.** CITEG Congresso Internacional de Tecnologia e Gestão, Santos, dez. 2018. Disponível em: <<https://even3.blob.core.windows.net/anais/139645.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2019.

CHIEN, T. V.; CHAN, H. N.; HUU, T. N. **Comparative study on operating system for wireless sensor networks.** ICACSYS 2011, Nguyen City, Vietnam, p. 73-78, 19 jan. 2011. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/241635004\\_A\\_Comparative\\_Study\\_on\\_Operating\\_System\\_for\\_Wireless\\_Sensor\\_Networks](https://www.researchgate.net/publication/241635004_A_Comparative_Study_on_Operating_System_for_Wireless_Sensor_Networks)>. Acesso em: 26 jul. 2019.

CISCO. **UDP.** Copyright© 2019 Cisco Systems Inc. Artigo publicado em: 06 out. 2009. Disponível em: <<https://community.cisco.com/t5/networking-documents/udp/tcp/31114870>>. Acesso em: 03 set. 2019.

CONCEIÇÃO JUNIOR, A. L. **Redes sem fio: Protocolo bluetooth aplicado em interconexão entre dispositivos.** Copyright© 2019 Teleco. Tutorial publicado em: 29 out. 2012. Disponível em: <<https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredespbaidd/default.asp>>. Acesso em: 20 set. 2019.

FRENZEL, L. **What's the difference between IEEE 802.15.4 and ZigBee Wireless?** Copyright© 2019 Informa USA, Inc., artigo publicado em: 22 mar. 2013. Disponível em: <<https://www.electronicdesign.com/what-s-difference-between/what-s-difference-between-ieee-802154-and-zigbee-wireless>>. Acesso em: 18 set. 2019.



FRIAS, R. N. **ZigBee**. Copyright© 2019 Teleco. Tutorial publicado em: 27 dez. 2004. Disponível em: <<https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialzigbee/default.asp>>. Acesso em: 27 ago. 2019.

GERBER, A. **Connecting all the things in the Internet of Things**. Artigo publicado em: 23 mai. 2017. Disponível em: <<https://developer.ibm.com/articles/iot-lp101-connectivity-network-protocols/>>. Acesso em: 28 jul. 2019.

HELD, G. **Introduction to wireless mesh networking**. In: HELD, Gilbert. **Wireless Mesh Networks**. 1. ed. Boca Raton - Florida: T&F, 2005. v. 1, cap. 1, p. 1-20. ISBN 0-8493-2960-4.

JEDERMANN, R.; PÖTSCH, T.; LLOYD, C. **Communication techniques and challenges for wireless food quality monitoring**. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, v. 372, n. 2017, 2014. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4006169/>>. Acesso em: 20 set. 2019.

KAESER, A. **Strong and Smart: Connected containers increase performance and safety**. Alemanha, 15 set. 2015. Disponível em: <<http://www.savvy-telematics.com/en/savvy-atex-hazardous-goods-shipments.html>>. Acesso em: 13 ago. 2019.

LETHABY, N. **Wireless connectivity for the Internet of Things: One size does not fit all**. Texas Instruments, Dallas, Texas, 13 out. 2017. Wireless connectivity for the Internet of Things, p. 1-16. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/wp/swry010a/swry010a.pdf>>. Acesso em: 03 ago. 2019.

MARTINS, I. R.; ZEM, J. L. **Estudo dos protocolos de comunicação MQTT e COAP para aplicações machine-to-machine e Internet das coisas**. Revista Tecnológica da Fatec Americana, Americana, v. 3, n. 1, p. 64-87, set. 2015. Disponível em: <<https://fatecbr.websiteseuro.com/revista/index.php/RTecFatecAM/article/view/41>>. Acesso em: 03 set. 2019.

MATARAZZO, E. A.; SILVEIRA, L. M. da. **O Modelo OSI de interconexão de sistemas abertos**. Copyright© 2019 Teleco. Tutorial publicado em: 14 jun. 2004. Disponível em: <<https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialosi/default.asp>>. Acesso em: 03 ago. 2019.

MIN, X. **Experimental study on low power wireless sensor network protocols with native IP connectivity for building automation**. Orientador: Heikki Saikkonen. 2015. 57 p. Tese de Mestrado (Degree Programme in Computer Science and Engineering) - Alto University School of Science, 2015. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/1726/509686904088d9e8a4b478ff7618a3e77be7.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2019.

NAIDU, G. A.; *et al.* **6LoWPAN border router implementation for IoT devices on Raspberry Pi**. International Conference on Internet of Things and Connected Technologies (ICIoTCT), Jaipur (India), p. 316-323, 3 maio 2018. Disponível em: <[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3166729](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3166729)>. Acesso em: 30 set. 2019.

NOLÊTTO, A. P. R. **Internet of Things em logística: Uma análise do uso de embalagem inteligente para distribuição de alimentos refrigerados**. Orientador: Orlando Fontes Lima Junior. 2018. 216 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil - Transportes) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, Campinas, 2018. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/331856/1/Noletto\\_AnaPaulaReis\\_D.pdf](http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/331856/1/Noletto_AnaPaulaReis_D.pdf)>. Acesso em: 13 ago. 2019.

NUNES, B. **Introdução a LoRa, NB-IoT e Sigfox**. Copyright© Embarcados. Artigo publicado em: 15 set. 2017. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/lora-nb-iot-e-sigfox/>>. Acesso em: 19 set. 2019

OLIVEIRA, R. F. **Proposta de um proxy manager para Internet das Coisas**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas. Disponível em: <<http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/bitstream/tede/898/2/Rodolfo%20Francisco%20de%20oliveira-0.pdf>>. Acesso em: 20 Ago. 2019.

OMEGATRANS. **Armazenagem de container**. Copyright© 2018 Omegatrans. Suzano, 2018. Disponível em: <<https://www.omegatrans.com.br/armazenagem-de-container/>>. Acesso em: 05 set. 2019.

PURSHE, F. **Container 4.0: Smart transport on the high seas**. Alemanha, 5 set. 2016. Disponível em: <<https://blog.bosch-si.com/industry40/container-4-0-smart-transport-high-seas/>>. Acesso em: 09 set. 2019.

REEFERCON. **Monitoramento de Temperatura**. Reefercon - Engenharia de Containers. Santos, 2018. Disponível em: <<http://www.reefercon.com.br/servicos/monitoramento-de-temperatura>>. Acesso em: 05 set. 2019.

REUSING, T. **Comparison of operating systems Tinyos and Contiki.** In: **Proceedings of the Seminar Sensor Nodes – Operation, Network And Application (Sn)**, 2012, Munich. Seminar Network Architectures and Services. Munich: Chair For Network Architectures And Services Chair For Operating Systems And System Architectures Department Of Computer Science, Technische Universität München, 2012. v. 1, p. 7-13. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.395.9741&rep=rep1&type=pdf#page=15>>. Acesso em: 16 jul. 2019.

ROCHA, J. W. V. **Rede de sensores sem fio.** Copyright© 2019 Teleco. Tutorial publicado em: 20 ago. 2007. Disponível em: <<https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrssf/default.asp>>. Acesso em: 13 ago. 2019.

SASAKI, A. C. M. **Desenvolvimento de um sistema de segurança com base em Internet das Coisas utilizando Raspberry Pi e sensores de presença.** 2017. 58 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Bacharelado em Ciencia da Computação, Faculdade de Ciencias, Bauru, 2017. Disponível em: <<https://mostra-de-tccs-bcc.github.io/TCC-BCC-Bauru-2016/sasaki/thesis-sasaki.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2019.

SHATILIN, I. **Rede 5G: Por que precisamos dela?** Tradução: Juliana Costa Santos Dias. Copyright© 2019 Kaspersky Lab, artigo publicado em: 27 mai. 2015. Disponível em: <<https://www.kaspersky.com.br/blog/rede-5g-por-que-precisamos-dela/5322/>>. Acesso em: 02 set. 2018.

SILVA, D. H. L. G. da. **Aplicativo multiplataforma de escrita colaborativa em tempo real.** Orientador: M. Sc. Ricardo José Sabatine. 2015. 85 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Sistemas de Informação) - Centro Universitario Euripides de Marília, Marília, 2015. Disponível em: <[https://aberto.univem.edu.br/bitstream/handle/11077/1374/Monografia\\_DiogoHenrique\\_Final.pdf?sequence=1](https://aberto.univem.edu.br/bitstream/handle/11077/1374/Monografia_DiogoHenrique_Final.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 11 set. 2019.

SOUZA, F. **MQTT-SN: MQTT para rede de sensores.** Copyright© Embarcados. Artigo publicado em: 24 abr. 2018. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/mqtt-sn-mqtt-para-rede-de-sensores/>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

SPAGNOL, W. A.; *et al.* **Monitoramento da cadeia do frio: novas tecnologias e recentes avanços.** Brazilian Journal of Food Technology, Campinas, v. 21, p. 1-8, 13 nov. 2017. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.6916>. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1981-67232018000100300&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-67232018000100300&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em: 05 out. 2019.

TEXAS INSTRUMENT. **CC2650 SimpleLink™ Multistandard Wireless MCU**. Copyright© 2015-2016, Texas Instruments Incorporated. Dallas, Texas: 2016. 67 p. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2650.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

VICENTE, T. P. R. **Controle inteligente de vagas para estacionamento utilizando o conceito de Internet das Coisas**. 2016. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016. Disponível em: <<http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-31012017-162548/?&lang=br>>. Acesso em: 16 ago. 2019.

VITALI, M. M. **Segurança em redes de sensores sem fio: Um ambiente de experimentação simulado para 6LoWPAN e um módulo de autenticação baseado em chaves pré-compartilhadas**. 2012. 96 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Informatica) Centro Tecnológico de Informática, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Vitória, 2012. Disponível em: <[http://repositorio.ufes.br/bitstream/10/4262/1/tese\\_5953\\_.pdf](http://repositorio.ufes.br/bitstream/10/4262/1/tese_5953_.pdf)>. Acesso em: 12 set. 2018.

VOLPE, V. **Atualizações em tempo real com Firebase Database**. São Paulo, 02 ago. 2018. Disponível em: <<https://medium.com/aurum-tech/atualiza%C3%A7%C3%B5es-em-tempo-real-com-firebase-database-84e67dffc486>>. Acesso em: 02 out. 2019.