

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>2</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa e Relevância do Trabalho</b>	<b>3</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>4</b>
1.2.1	Objetivo Geral	4
1.2.2	Objetivos Específicos	4
<b>1.3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>4</b>
<b>1.4</b>	<b>Organização do Documento</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>Classificação de redes</b>	<b>6</b>
2.1.1	Classificação de redes: escala de abrangência	6
<b>2.2</b>	<b>Padrões e tecnologias de comunicação para redes LPWAN</b>	<b>7</b>
2.2.1	LoRa	7
2.2.2	NB-IoT	7
2.2.3	SigFox	8
2.2.4	IEEE 802.15.4	8
<b>2.3</b>	<b>Parâmetros do Enlace Sem Fio</b>	<b>9</b>
<b>2.4</b>	<b>Trabalhos relacionados</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>EXPERIMENTO</b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>Materiais utilizados</b>	<b>11</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>12</b>

# 1 Introdução

IoT é um conceito que vem ganhado força ao longo dos anos, graças a estudo, prototipação e desenvolvimento de diversas protocolos e tecnologias. Os pontos chave para o seu desenvolvimento foram a miniaturização de processadores e sensores; melhoramento de baterias e otimização do uso destas; definição de novos protocolos de rede; e aumento da robustez de protocolos de comunicação sem-fio.

A Internet das Coisas, mais conhecida pelo seu acrônimo em inglês IoT(Internet of Things), foi cunhada pelo engenheiro britânico Kevin Ashton no final dos anos 1990 onde ele, trabalhando para a P&G, pensou na possibilidade de que os produtos da empresa estivessem munidos de identificadores e capazes de estabelecer comunicação através da internet, que na época estava se estabelecendo, criando assim uma internet onde as coisas estivesse conectadas[1]. Assim, os computadores se tornariam capazes de rastrear e identificar tudo, podendo reduzir desperdícios, minimizar custos e identificar o momento certo quando substituir ou reparar um produto[2].

Atualmente há diversas aplicações de IoT, desde implementações em larga escala como cidades inteligentes conforme descrito em [3], onde em Santander na Espanha é implantado por toda a cidade nós com múltiplos sensores afim de disponibilizar uma plataforma de testes. Aplicações de smart campus como apresentada em [4] que mostra a aplicação de uma rede de sensores sem fio para verificar a qualidade do ar. Aplicações de saúde como em [5], onde é coletado e analisado em tempo real informações de pressão sanguínea e peso corporal do paciente, estes dados são utilizados então para verificar a probabilidade do paciente ter um evento de insuficiência cardíaca, utilizando técnicas de aprendizado de maquina.

Após o termo ser cunhado em 1999, foram necessários anos de evolução tecnológica para a atual popularidade do conceito. Por exemplo, a criação da plataforma de desenvolvimento de hardware aberta Arduino em 2005[6], tornou fácil o estudo e a prototipação de itens de baixo custo. [FF] adicionar exemplos como o IPv6, baterias e os protocolos de Sem Fio

A implementação de uma aplicação IoT necessita de uma rede de nó sensores distribuídas geralmente conectadas a um nó central, conhecido como nó gateway, que tem por finalidade encaminhar os dados coletados para processamento. Para tal implementação existem duas abordagens clássicas, conexões cabeadas entre os nós sensores e a utilização de redes sem fio[7]. Como vantagem em relação à redes sem fio, as conexões cabeadas apresentam maior confiabilidade na camada física. Em contrapartida, a utilização de redes sem fio se destaca, em relação a redes cabeadas, nos quesitos de flexibilidade, custo de

implantação, facilidade e rapidez na implementação e na manutenção[8].

As vantagens que Redes de Sensores Sem Fio, RSSF, fazem estas se destacarem na implementação de sistemas IoT, porém há ainda desafios para uma implementação robusta de comunicações sem fio, pois o meio de transmissão é caótico e pouco confiável. Apresenta interferências, é ruidoso e possui altos valores de latência, podendo também ter problemas como sombreamento e propagação por multi percurso[7].

Padrões e tecnologias foram desenvolvidos com a intenção de minimizar os problemas intrínsecos da comunicação sem fio, a seguir estão algumas das principais tecnologias aplicadas em IoT. Em cenários industriais, são proeminentes o WirelessHart, tecnologia RSSFs baseada no padrão Hart[9] e o padrão ISA100.11a. Ambos padrões são baseados na camada física do padrão IEEE802.15.4, porém apresentam diferentes implementações de Controle de Acesso ao Meio[7], MAC. Além do cenário industrial, o Zigbee é uma tecnologia de baixo consumo energético, baixas taxas de transferência e de baixo custo baseado no protocolo de redes sem fio IEEE802.15.4 que tem por objetivo aplicações de controle remoto e automação[10]. 6LoWPAN é um protocolo definido na RFC6282 pela IETF que pretende distribuir endereços da versão 6 do IP para dispositivos de RSSF, sendo o principal alvo dispositivos que tem tecnologias baseadas no IEEE802.15.4(Zigbee), facilitando assim a conexão destas redes à internet já que podem compartilhar os mesmos endereços IPv6[11]. Ao padrão IEEE802.15.4, desde sua consolidação em 2003, vem sendo anexado emendas criando assim novas possibilidades de usos e tecnologias. Com a emenda “g” de 2015 ao padrão foi definida três modulações para utilização na camada física e mudanças para a MAC[12]. LoRa é uma tecnologia que utiliza uma técnica de modulação proprietária chamada Chirp Spread Spectrum, que permite uma melhor sensibilidade e uma largura de banda fixa em troca de uma menor taxa de transferência[13]. NarrowBand-IoT é uma tecnologia integrada com o padrão de comunicações moveis LTE, porém simplificada para reduzir custos e complexidade dos dispositivos, minimizando consumo de bateria[13].

## 1.1 Justificativa e Relevância do Trabalho

Em [14] foi proposto o uso das três modulações da emenda “g” do padrão IEEE 802.15.4 em conjunto para melhorar a qualidade das comunicações, baseado na taxa de entregas de pacotes. Este artigo foi realizado em um cenário industrial onde os desafios para a comunicação sem fio estão, principalmente, em interferências de fontes externas e propagação por multi caminho. Pensando em analisar os efeitos da propagação de ondas de rádio em outro cenário, este trabalho então se propõe a analisar a comunicação sem fio de dispositivos que implementam as modulações do padrão IEEE 802.15.4g em um ambiente predial, também denominado como Smart Building, que possui como maior fonte de problemas para a comunicação a falta de linha de visada. Estudando como cada

modulação se comporta a partir da verificação da taxa de entrega de pacotes, PDR, em cada modulação. E portanto, analisando a viabilidade de implementação de uma RSSF a partir da tecnologia utilizada.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

Ensaia uma aplicação de IoT afim de coletar as informações das transmissões realizadas através das modulações definidas pelo padrão IEEE 802.15.4g para analisar o comportamento destas no cenário de Smart Building.

Coletar e analisar os dados experimentais de transmissões realizadas entre os dispositivos openmote que implementam as modulações definidas no padrão IEEE 802.15.4g SUN espalhados pelo prédio dos professores no campus Campina Grande.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Implementar uma rede sem fio de dispositivos openmote
- Coletar e armazenar os dados relativos as transmissões
- Gerar e disponibilizar um conjunto de dados com as informações coletadas
- Analisar os dados e gerar informações a respeito da comunicação entre dispositivos neste cenário

## 1.3 Metodologia

Para alcançar os objetivos acima, foram realizados os seguintes passos:

- [refatorar] Estudo e implementação dos dispositivos: Os dispositivos utilizados neste projeto possuem o código disponível em um repositório github [15]. Bem como algumas alterações no código fonte para esta aplicação.
- [refatorar] Persistência dos dados: Desenvolvimento de um script responsável por coletar e persistir os dados gerados em um banco de dados InfluxDB
- [refatorar] Rodar o experimento: Distribuição dos nós transmissores pelo prédio e instalação dos softwares e scripts necessários para persistencia dos dados.
- [refatorar] Analise dos resultados: A partir dos dados coletados e salvos localmente, foram feitas análises e gerado informações as quais estarão na seção de resultados

## 1.4 Organização do Documento

[FF] A ser feito quando o documento tiver pronto

## 2 Fundamentação Teórica

Na fundamentação deste trabalho, será abordado como é dado a categorização de redes de telecomunicação. Em seguida será apresentado alguns padrões e tecnologias de comunicação sem fio para dispositivos de baixa potência. E então, será apresentado parâmetros de comunicação sem fio, que foram utilizados neste projeto, para medição de eficácia e a eficiência de um enlace sem fio.

### 2.1 Classificação de redes

Segundo Tanenbaum em [16], redes de telecomunicação são classificadas, comumente, de acordo com sua escala de abrangência.

#### 2.1.1 Classificação de redes: escala de abrangência

##### Redes Pessoais - PAN

Redes de área pessoal, ou redes de alcance limitado, são redes, geralmente sem fio, utilizadas para conexão entre sistemas pessoais. Por exemplo conexão de um fone de ouvido a um smartphone utilizando o Bluetooth. Aplicações de redes PAN vão além de conexão de dispositivos sem fio como mouses, teclados e fone. Também são utilizados em Sistemas Monitoração de Saúde onde no paciente há dispositivos coletando e enviando dados para o smartphone.

##### Redes locais - LAN

Redes de área local, são redes privadas contidas dentro de um prédio, casa ou escritório. É formada pela conexão de computadores em uma rede de tamanho restrito, normalmente conectando os computadores através de um comutador(switch) por meio de cabos de par trançado utilizando uma topologia estrela. Atualmente é comum a utilização do Wi-Fi para conexão de redes locais, conhecidas como WLAN.

##### Redes geograficamente distribuídas - WAN

Redes de longa distâncias que abrangem uma grande área geográfica, também se refere a redes que conectam países ou continentes. Por exemplo a Rede Nacional de Ensino e Pesquisa(RNP) que conecta diversas instituições de ensino superior do Brasil.

## Redes de longa distância com baixo consumo energético - LPWAN

Dispositivos que implementam redes de baixo consumo energético ganharam popularidade na indústria e nas comunidades de pesquisa pois podem estabelecer comunicação sem fio de longas distâncias, de 10 a 40 km em zonas rurais e 1 a 5 km em zonas urbanas com baterias que podem durar mais de 10 anos com uma única carga [17]. A utilização deste tipo de rede se tornou fundamental para a implementação de RSSFs, oferecendo confiabilidade e baixo custo de implantação e manutenção para redes sem fio. Abaixo serão apresentadas os principais padrões e tecnologias utilizadas.

## 2.2 Padrões e tecnologias de comunicação para redes LPWAN

Segundo Tanenbaum em [16], sem coordenação e cooperação entre as fabricantes de dispositivos haveria o caos completo onde não seria possível a interoperabilidade de sistemas. Sistemas IoT, como demonstrado em [3], podem ter apresentar sistemas diferentes com vários dispositivos. Portanto a padronização das telecomunicações são imprescindíveis atualmente. Permitindo dispositivos de diferentes fabricantes consigam se comunicar, não importando quem produziu a placa de rede, os cabos, roteadores ou comutadores.

### 2.2.1 LoRa

LoRa, abreviação para Long Range, é uma tecnologia que utiliza o padrão LoRaWAN e um protocolo de acesso ao meio de mesmo nome. Modula sinais sub-GHz na faixa ISM utilizando uma técnica de modulação privada chamada Chirp Spread Spectrum. que espalha um sinal de banda curta por todo um canal de banda larga, esta técnica possibilita uma maior resistência a interferências e torna mais difícil detectar ou obstruir o canal de comunicação. A taxa de transferência pode variar de 300 bits/s a até 50 kbits/s, dependendo do fator de espalhamento utilizado na comunicação. O payload máximo de uma mensagem é 243 bytes [17].

A tecnologia LoRa é desenvolvida pela empresa estadunidense SemTech e o padrão LoRaWAN é mantido pelo consorcio de empresas chamado LoRa Alliance.

### 2.2.2 NB-IoT

NarrowBand IoT é uma tecnologia especificada na versão 13 do 3GPP. Esta tecnologia opera na faixa de frequência celular(LTE e GSM), modulando os sinais utilizando a técnica QPSK. Utiliza faixas de frequência não ocupadas da faixa de frequência LTE. Seu protocolo é baseado em uma versão simplificada do protocolo LTE, que reduz as funcionalidades do LTE para melhor se adequar sua utilização para IoT, por exemplo, funções como monitoramento da qualidade do sinal ou conectividade dupla não são

utilizadas, visando diminuir o uso de energia e aumentar a vida útil da bateria. Possui taxa transferência máxima de 200 kbits/s e seu payload máximo é de 1600 bytes.

### 2.2.3 SigFox

SigFox é uma tecnologia que não possui padronização oficial e é mantida pela empresa de homônima. Os nós finais conectados a esta rede enviam para as estações radio-base mensagens utilizando a modulação BPSK utilizando bandas de frequência ultra-estreitas, até 100 Hz, na faixa de frequência ISM. Como utiliza uma faixa de frequência é bastante eficiente energeticamente e bastante resistente a interferência. Porém, não pode oferecer taxas de transferência acima de 100 bp/s.

A empresa SigFox oferece uma solução com conectividade ponta a ponta, o que significa que os dados entre o nó final são transmitidos para as estações rádio-base e vão diretamente para os servidores da empresa. Sendo possível apenas o envio de 140 mensagens por dia e cada mensagem enviada pode ter um payload máximo de 12 bytes.

### 2.2.4 IEEE 802.15.4

O padrão IEEE 802.15.4 define em seu texto, camadas físicas e de acesso ao meio utilizando a faixa ISM sub-GHz e 2.4 GHz, utilizando, respectivamente, as modulações BPSK e O-QPSK. Possuindo uma taxa de transferência máxima de 250 kbits/s utilizando a faixa de frequência de 2.4 GHz com um tamanho máximo de payload de 127 bytes [18][7]. Este padrão é utilizado como base para a utilização do ZigBee.

## Emenda 'g'

Em 2015 foi proposto uma revisão que incorpora uma novo esquema de modulações para permitir uma melhor volatilidade entre a faixa de comunicação, ocupação da largura de banda, taxa de transferência de dados e confiabilidade da comunicação para melhor se adequar com a aplicação. O padrão então foi adotado como uma emenda ao padrão de 2003, definindo assim o padrão IEEE 802.15.4g que incluía as modulações SUN (Redes de Utilidades Inteligentes, Smart Utility Network) [19]. A seguir uma visão geral das modulações SUN de acordo apresentado em [19]:

### FSK-SUN

Foi incluída no padrão devido a sua eficiência e compatibilidade com sistemas legado. Possui 3 modos de operação para cada uma das faixas de frequência definidas no padrão e possui parâmetros de canal e de modulação, nos quais é possível definir o tipo de modulação, o espaçamento do canal e o índice de modulação. Estes parâmetros definem uma faixa de taxa de transferência de 50 kbits/s a até 50 kbits/s.



## OQPSK-SUN

Esta modulação está presente no texto original do padrão e foi estendida nesta emenda para adicionar bandas de frequência e suportar diferentes fatores de espalhamentos para conseguir atingir taxas de transferência entre 6.25 kbits/s a até 500 kbits/s.

## OFDM-SUN

Esta modulação consegue prover altas taxas de transferência e maiores faixas de comunicação, enquanto consegue lidar com interferência e propagação por multi-caminho. Utiliza diferentes Esquemas de Modulação e Codificação para alternar em modulações, como BPSK, QPSK e 16-QAM, e esquemas de repetição de frequência para prover uma faixa de taxa de transferência entre 50 kbits/s a até 800 kbits/s em um canal com a largura de banda que varia entre 200kHz e 1.2MHz.

## Diversidade de Modulação

Em [20] os autores propõem a utilização das três modulações SUN em um esquema de diversidade de modulação como forma de aumentar a confiabilidade do enlace sem fio.

## 2.3 Parâmetros do Enlace Sem Fio

Algumas métricas são utilizadas para medir a qualidade de um enlace sem fio, algumas estão mais relacionadas a camada física, como RSSI, e outras estão mais relacionadas a camada de aplicação como PDR. Estas serão melhor detalhadas abaixo.

### RSSI

Received Signal Strength Indicator, Indicador da Força do Sinal Recebido em tradução livre, é uma medida da energia total presente em um sinal de rádio recebido. RSSI é um valor relativo e pode variar de acordo com a fabricante do transceptor de rádio[21]. Geralmente o valor de RSSI é apresentado em números negativos que vão de -100 até 0, onde valores próximos de -100 são sinais de baixa qualidade e sinais com valores próximos a 0 são de ótima qualidade.

### PDR

Packed Delivery Ratio, Taxa de Entrega de Pacotes, é um indicador de camada de aplicação que relaciona a quantidade de pacotes recebidos pelo receptor pela quantidade de pacotes enviados pelo transmissor. O PDR pode ser um valor importante para medir um enlace de dados, pois dependendo da aplicação há uma taxa mínima de entrega de

pacotes, por exemplo, algumas aplicações industriais necessitam de um PDR superior a 99.9%

## 2.4 Trabalhos relacionados

Em [14] os autores do artigo realizaram um experimento para analisar o comportamento das modulações SUN do padrão IEEE 802.15.4g em um cenário industrial. Em [18] os autores realizaram um estudo aprofundado sobre a modulação OFDM-SUN no ambiente predial, demonstrando, entre outras coisas, que a modulação OFDM-SUN nas faixas de frequência sub-GHz se é mais vantajosa de utilizar que a modulação OQPSK do padrão IEEE 802.15.4.

## 3 Experimento

Nesta seção será detalhado como foi realizado o experimento realizado. O experimento aconteceu em um dos prédios do campus Campina Grande do Instituto Federal da Paraíba(IFPB). O prédio é constituído de diversas salas utilizadas pelos professores da instituição e de alguns laboratórios, possui 4 andares separados por grossos pisos de concreto armado. Este cenário é particularmente desafiador para um enlace sem fio pois não é possível ter uma linha de visada entre o transmissor e o receptor além de apresentar muito ocorrência de propagação por multi-caminho e pode apresentar facilmente áreas de sombreamentos de sinais.

De forma geral, o experimento foi realizado utilizando ao total onze dispositivos transmissores enviando mensagens nas modulações SUN para três dispositivos receptores, um para cada modulação em uma topologia estrela. Os nós transmissores, denominados neste texto como Tx, foram espalhados nos quatro andares prédio, posicionados em canaletas e no interior de salas. Os nós receptores, denominados neste texto como Rx, foram posicionados no laboratório do GComPI presente no primeiro piso do prédio.

Abaixo esta descrito os materiais(hardware e software) utilizados neste projeto bem como o detalhamento do experimento.

### 3.1 Materiais utilizados

Openmote-B

InfluxDB

# Referências

- 1 ELDER, J. *Como Kevin Ashton batizou a Internet das Coisas?* <<https://blog.avast.com/pt-br/kevin-ashton-named-the-internet-of-things>>. Acessado em: 27 fev. 2020. Citado na página 2.
- 2 LOPEZ RESEARCH LLC. *Uma introdução à Internet da Coisas (IoT)*. <[https://www.cisco.com/c/dam/global/pt\\_br/assets/brand/iot/iot/pdfs/lopez\\_research\\_an\\_introduction\\_to\\_iot\\_102413\\_final\\_portuguese.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/pt_br/assets/brand/iot/iot/pdfs/lopez_research_an_introduction_to_iot_102413_final_portuguese.pdf)>. Acessado em: 27 fev. 2020. Citado na página 2.
- 3 SOTRES, P. et al. Practical lessons from the deployment and management of a smart city internet-of-things infrastructure: The smartantander testbed case. *IEEE Access*, IEEE, v. 5, p. 14309–14322, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 7.
- 4 WANG, S.-Y. et al. Performance of lora-based iot applications on campus. In: IEEE. *2017 IEEE 86th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*. [S.l.], 2017. p. 1–6. Citado na página 2.
- 5 ZHANG, L. et al. A remote medical monitoring system for heart failure prognosis. *Mobile Information Systems*, Hindawi, v. 2015, 2015. Citado na página 2.
- 6 OPEN CULTURE. *Arduino Documentary: Open Source Hardware is Here*. <[https://www.openculture.com/2011/01/arduino\\_documentary\\_open\\_source\\_hardware\\_is\\_here.html](https://www.openculture.com/2011/01/arduino_documentary_open_source_hardware_is_here.html)>. Acessado em: 28 jan. 2021. Citado na página 2.
- 7 GOMES, R. D. et al. Estimacão de qualidade de enlace e alocação dinâmica de canais em redes de sensores sem fio industriais. Universidade Federal de Campina Grande, 2017. Citado 3 vezes nas páginas 2, 3 e 8.
- 8 GUNGOR, V. C.; HANCKE, G. P. Industrial wireless sensor networks: Challenges, design principles, and technical approaches. *IEEE Transactions on industrial electronics*, IEEE, v. 56, n. 10, p. 4258–4265, 2009. Citado na página 3.
- 9 WIRELESSHART e o modelo OSI. 2012. Disponível em: <<https://www.instrumatic.com.br/artigo/wirelesshart-e-o-modelo-osi>>. Citado na página 3.
- 10 ERGEN, S. C. Zigbee/ieee 802.15. 4 summary. *UC Berkeley, September*, v. 10, n. 17, p. 11, 2004. Citado na página 3.
- 11 OLSSON, J. 6lowpan demystified. *Texas Instruments*, v. 13, 2014. Citado na página 3.
- 12 CHANG, K.-H.; MASON, B. The ieee 802.15. 4g standard for smart metering utility networks. In: IEEE. *2012 IEEE Third international conference on smart grid communications (SmartGridComm)*. [S.l.], 2012. p. 476–480. Citado na página 3.
- 13 SINHA, R. S.; WEI, Y.; HWANG, S.-H. A survey on lpwa technology: Lora and nb-iot. *Ict Express*, Elsevier, v. 3, n. 1, p. 14–21, 2017. Citado na página 3.

- 14 TUSET-PEIRÓ, P. et al. A dataset to evaluate ieee 802.15. 4g sun for dependable low-power wireless communications in industrial scenarios. *Data*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 5, n. 3, p. 64, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 10.
- 15 TUSET, X. V. P. *openmote-fw*. [S.l.]: GitHub, 2019. <<https://github.com/openmote/openmote-fw>>. Citado na página 4.
- 16 TANEMBAUM, A.; WETHERALL, D. *Redes de Computadores*. [S.l.]: Pearson Education, 2011. 582 p. Bibliografia: p. 10–18. ISBN 978-85-7605-924-0. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 7.
- 17 MEKKI, K. et al. A comparative study of lpwan technologies for large-scale iot deployment. *ICT express*, Elsevier, v. 5, n. 1, p. 1–7, 2019. Citado na página 7.
- 18 MUÑOZ, J. et al. Overview of ieee802. 15.4 g ofdm and its applicability to smart building applications. In: IEEE. *2018 Wireless Days (WD)*. [S.l.], 2018. p. 123–130. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 10.
- 19 TUSET-PEIRÓ, P. et al. Reliability through modulation diversity: can combining multiple ieee 802.15. 4-2015 sun modulations improve pdr? In: IEEE. *2020 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*. [S.l.], 2020. p. 1–6. Citado na página 8.
- 20 GOMES, R. D.; TUSET-PEIRÓ, P.; VILAJOSANA, X. Improving link reliability of ieee 802.15. 4g sun networks with adaptive modulation diversity. Preprints, 2020. Citado na página 9.
- 21 METAGEEEK. *Understanding RSSI*. <<https://www.metageek.com/training/resources/understanding-rssi.html>>. Acessado em: 27 fev. 2020. Citado na página 9.