



**INSTITUTO
FEDERAL**
Paraíba

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Campus João Pessoa

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação

Nível Mestrado Profissional

ZENILDO DE MELO CÉZAR FILHO

**SISTEMA PARA MONITORAMENTO DE DATA CENTERS
BASEADO EM INTERNET DAS COISAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

JOÃO PESSOA

2022

Zenildo de Melo César Filho

**Sistema para Monitoramento de Data Centers baseado em
Internet das Coisas**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia da Informação, pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB.

Orientador: Prof. Anderson F. B. F. da Costa,
D.Sc.

Coorientador: Prof. Ruan Delgado Gomes, D.Sc.

João Pessoa

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Nilo Peçanha do IFPB, *campus* João Pessoa

C425s Cézar Filho, Zenildo de Melo.

Sistemas para monitoramento de *Data centers* baseado em internet das coisas / Zenildo de Melo Cézar Filho. – 2022.
73 f. : il.

Dissertação (Mestrado -Tecnologia da Informação) – Instituto Federal de Educação da Paraíba / Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação (PPGTI), 2022.

Orientação : Prof^o. D.Sc Anderson Fabiano Batista Ferreira da Costa.

Coorientação : Prof^o D.Sc Ruan Delgado Gomes.

1. Internet das coisas. 2. Redes de sensores sem fio (RSSF).
3. Monitoramento de Centro de dados. 4. Campus inteligentes.
I. Título.

CDU 004.458:621.3 (043)

Lucrecia Camilo de Lima
Bibliotecária – CRB 15/132

Zenildo de Melo César Filho

**Sistema para Monitoramento de Data Centers baseado em
Internet das Coisas**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia da Informação, pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB.

Aprovado em 30 de Setembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Anderson F. B. F. da Costa, D.Sc.
Orientador

Prof. Ruan Delgado Gomes, D.Sc.
Coorientador

Prof. Paulo Ditarso Maciel Júnior, D.Sc. – IFPB
Avaliador Interno

Diego Vêras de Queiroz, D.Sc. – UFPB
Avaliador Externo

João Pessoa
2022

*Este trabalho é dedicado às crianças adultas que,
quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e por sempre iluminar meus passos na minha jornada. Dando saúde, força e oportunidades que me permitiram chegar até este momento.

À minha amada esposa, Simone César, por toda a força e incentivo dedicado a mim durante toda essa jornada. E aos nossos filhos Anna Laura e Zenildo Neto, por toda a paciência neste período.

À minha família, que sempre se esforçou para me dar uma boa educação, apoiando e dando o suporte necessário para a minha vida.

Agradeço a todos os professores membros do PPGTI/IFPB pelo conhecimento compartilhado dentro e fora das salas de aula.

Agradeço, especialmente, aos professores Anderson Costa e Ruan Gomes por toda a paciência, ensinamentos e orientações durante todo o mestrado.

Aos meus colegas de trabalho, na Superintendência de Tecnologia da Informação da UFPB, por todo o incentivo para o término deste trabalho.

Por fim, obrigado a todos os colegas e amigos que, direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste mestrado.

RESUMO

Cada vez mais, o processamento e o armazenamento de dados são migrados para grandes provedores de serviços, principalmente de pequenas empresas que querem terceirizar o problema de manter uma infraestrutura própria, gerando um alto crescimento destes provedores de serviços e seus *Data Centers*. Para o correto funcionamento destes é necessária, dentre outros fatores, uma climatização adequada do ambiente. Dentre os principais desafios para o monitoramento dos *Data Centers*, pode-se enumerar a grande quantidade de parâmetros que podem influenciar no correto funcionamento destes (temperatura, umidade, fontes de energia, entre outros). Por exemplo, quando a umidade está alta, as chances de uma oxidação no cabeamento, nos conectores e até nos circuitos dos servidores são muito altas. Desta forma, monitorar os *Data Centers* é de suma importância para evitar prejuízos, tanto de dados (informação), quanto financeiros. Para isso, se faz necessária uma constante monitoração desses ambientes. Este trabalho apresenta um sistema de monitoramento da temperatura e umidade para *Data Centers* (DCMonitor), usando os conceitos de Campus inteligente (*Smart Campus*) e todas as principais vantagens que a Internet das Coisas (IoT) e as Redes de Sensores sem Fio têm a oferecer. O sistema foi validado por uma prova de conceito e foi realizado um experimento durante 15 dias, de modo a avaliar o desempenho da comunicação utilizando três modulações diferentes definidas pelo padrão IEEE 802.15.4g: SUN-FSK, SUN-OQPSK e SUN-OFDM. Como é possível observar nos resultados obtidos, a modulação que melhor se adapta ao cenário apresentado é a SUN-OQPSK. Também pode-se concluir a partir do experimento que a implantação do sistema DCMonitor é viável para outros ambientes.

Palavras-chaves: Campus inteligente, Centro de Dados, Monitorar, Redes de Sensores sem Fio, Internet das Coisas.

ABSTRACT

Increasingly, data processing and storage are being migrated to large service providers, especially small companies that want to outsource the problem of maintaining their own infrastructure, generating a high growth of these service providers and their Data Centers. For the correct functioning of these it is necessary, among other factors, an adequate climatization of the environment. Among the main challenges for monitoring Data Centers, one can list the large number of parameters that can influence their correct functioning (temperature, humidity, energy sources, among others). For example, when the humidity is high, the chances of oxidation in cabling, connectors and even server circuits are very high. In this way, monitoring Data Centers is of paramount importance to avoid losses, both in terms of data (information) and financial. For this, constant monitoring of these environments is necessary. This work presents a temperature and humidity monitoring system for Data Centers (DCMonitor), using the concepts of Smart Campus and all the main advantages that the Internet of Things (IoT) and Wireless Sensor Networks have to offer. The system was validated by a proof of concept and an experiment was carried out for 15 days, in order to evaluate the communication performance using three different modulations defined by the IEEE 802.15.4g standard: SUN-FSK, SUN-OQPSK and SUN-OFDM. As can be seen in the results obtained, the modulation that best fits the scenario presented is SUN-OQPSK. It can also be concluded from the experiment that the implementation of the DCMonitor system is viable for other environments.

Key-words: Smart Campus, Data Center, Monitor, Wireless Sensor Networks (WSNs), Internet of Things.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição dos Nós TelosB.	24
Figura 2 – Distribuição dos Nós LoRaWAN no <i>Data Center</i>	25
Figura 3 – Sensores LoRaWAN no <i>Data Center</i>	25
Figura 4 – Diagrama de conectividade.	26
Figura 5 – Distribuição dos Sensores no <i>Data Center</i>	26
Figura 6 – Central dos Sensores.	26
Figura 7 – Distribuição dos Nós.	27
Figura 8 – Modo de comunicação dos nós finais com o <i>gateway</i>	27
Figura 9 – <i>Data Center</i> UFPB.	29
Figura 10 – Distribuição dos racks no <i>Data Center</i>	30
Figura 11 – Diagrama da rede de monitoramento.	31
Figura 12 – Nó <i>OpenMote B</i>	32
Figura 13 – Sensor para o nó <i>OpenMote B</i>	32
Figura 14 – Composição dos nós e do <i>gateway</i>	33
Figura 15 – Distribuição dos racks e sensores no <i>Data Center</i>	34
Figura 16 – Leiaute dos testes preliminares, com um nó transmissor e o nó coletor ou <i>gateway</i>	35
Figura 17 – <i>Gateway</i> utilizado no experimento, com três <i>OpenMote-B</i> e um <i>laptop</i>	36
Figura 18 – Nó Transmissor.	36
Figura 19 – Planta baixa do prédio da STI	37
Figura 20 – Imagem do gerador.	38
Figura 21 – Nó transmissor no gerador.	38
Figura 22 – Planta baixa do <i>Data Center</i> e posição dos nós sensores.	40
Figura 23 – Nó TX03 instalado no rack.	41
Figura 24 – Nó TX02 instalado no gerador.	41
Figura 25 – Nó TX02 instalado no gerador (visão geral).	42
Figura 26 – <i>Planta baixa do Data Center com os três nós sensores</i>	42
Figura 27 – Nó TX04 fixado no rack.	43
Figura 28 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK.	44
Figura 29 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).	44
Figura 30 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK, para o nó TX01.	44
Figura 31 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK, para o nó TX01, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).	45
Figura 32 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK, para o nó TX02.	45

Figura 33 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK, para o nó TX02, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).	45
Figura 34 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK, para o nó TX03. . .	46
Figura 35 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK, para o nó TX03, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).	46
Figura 36 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK, para o nó TX04. . .	47
Figura 37 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK, para o nó TX04, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).	47
Figura 38 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK.	48
Figura 39 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).	48
Figura 40 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK, para o nó TX01.	49
Figura 41 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK, para o nó TX01, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).	49
Figura 42 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK, para o nó TX02.	49
Figura 43 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK, para o nó TX02, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).	50
Figura 44 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK, para o nó TX03.	50
Figura 45 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK, para o nó TX03, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).	50
Figura 46 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK, para o nó TX04.	51
Figura 47 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK, para o nó TX04, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).	51
Figura 48 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM.	52
Figura 49 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).	52
Figura 50 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM, para o nó TX01.	53
Figura 51 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM, para o nó TX01, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).	53
Figura 52 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM, para o nó TX02.	54
Figura 53 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM, para o nó TX02, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).	54
Figura 54 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM, para o nó TX03.	54
Figura 55 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM, para o nó TX03, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).	55
Figura 56 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM, para o nó TX04.	55
Figura 57 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM, para o nó TX04, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).	55

Figura 58 – Taxa de entrega de pacote para todas as modulações, para o nó TX01 (Uma replicação por modulação, duas replicações por modulação e três replicações por modulação).	56
Figura 59 – Taxa de entrega de pacote para todas as modulações, para o nó TX02 (Uma replicação por modulação, duas replicações por modulação e três replicações por modulação).	57
Figura 60 – Taxa de entrega de pacote para todas as modulações, para o nó TX03 (Uma replicação por modulação, duas replicações por modulação e três replicações por modulação).	57
Figura 61 – Taxa de entrega de pacote para todas as modulações, para o nó TX04 (Uma replicação por modulação, duas replicações por modulação e três replicações por modulação).	58
Figura 62 – Monitoramento em tempo real da temperatura e umidade com o <i>Grafana</i>	59
Figura 63 – Alerta enviado pelo <i>Telegram</i>	60
Figura 64 – Monitoramento das comunicações com o <i>Grafana</i>	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Trabalhos relacionados.	24
Tabela 2 – Resultados do segundo teste.	37
Tabela 3 – Resultados terceiro teste.	39
Tabela 4 – Taxa média de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK.	43
Tabela 5 – Taxa média de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK.	48
Tabela 6 – Taxa média de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM.	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP	Aplicação
CPDs	Centros de Processamento de dados
CSMA/CA	<i>Carrier sense multiple access with collision avoidance</i>
DARPA	<i>Defense Advanced Research Projects Agency</i>
DC	<i>Data Center</i>
DSSS-OQPSK	<i>Direct Sequence Spread Spectrum-Offset Quadrature Phase Shift</i>
GWT	<i>Gateway</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
LR-WPAN	<i>Lower Rate Wireless Personal Area Network</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
PHY	<i>Physical Layer</i>
Prot	Protocolo
RSSF	Redes de Sensores Sem Fios
STI	Superintendência de Tecnologia da Informação
SUN	<i>Smart Utility Network</i>
SUN-FSK	<i>Smart Utility Network - Frequency Shift Keying</i>
SUN-OQPSK	<i>Smart Utility Network - Offset Quadrature Phase-Shift Keying</i>
SUN-OFDM	<i>Smart Utility Network - Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação

TX01	Nó Transmissor 01
TX02	Nó Transmissor 02
TX03	Nó Transmissor 03
TX04	Nó Transmissor 04
TI	Tecnologia da Informação
UFPB	Universidade Federal da Paraíba

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Motivação e Definição do Problema	17
1.2	Objetivos	17
1.2.1	Objetivo geral	17
1.2.2	Objetivos específicos	17
1.3	Estrutura do Documento	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	Internet das Coisas (IoT)	19
2.2	Redes de Sensores sem Fio (RSSF)	20
2.2.1	Protocolo IEEE 802.15.4	20
2.2.1.1	<i>Camada Física (PHY)</i>	20
2.2.1.2	<i>Camada de Controle de Acesso ao Meio (MAC)</i>	22
2.3	Cidades Inteligentes (<i>Smart Cities</i>) e Campi Inteligentes (<i>Smart Campus</i>)	23
2.4	Trabalhos relacionados	23
2.4.1	Monitoramento de <i>Data Centers</i>	23
2.4.2	Diversidade de modulação - Padrão IEEE 802.15.4g	26
3	DESCRIÇÃO DA PROPOSTA	29
3.1	Metodologia	29
3.1.1	Equipamentos	31
3.1.1.1	<i>Sensores para o nó OpenMote B</i>	31
3.1.1.2	<i>Composição dos nós e do gateway</i>	32
3.1.2	Cenário para testes preliminares	33
3.2	Testes Preliminares	34
3.2.1	Teste 01 - Distância de 5 metros	34
3.2.2	Teste 02 - Distância aproximada de 30 metros	35
3.2.3	Teste 03 - Gerador - Distância aproximada de 40 metros	38
4	TESTE DE LONGA DURAÇÃO	40
4.1	O teste	40
4.1.1	Resultados para a Modulação SUN-FSK	43
4.1.1.1	<i>Nó TX01</i>	44
4.1.1.2	<i>Nó TX02</i>	45
4.1.1.3	<i>Nó TX03</i>	46
4.1.1.4	<i>Nó TX04</i>	46

4.1.2	Resultados para a Modulação SUN-OQPSK	47
4.1.2.1	Nó TX01	48
4.1.2.2	Nó TX02	49
4.1.2.3	Nó TX03	50
4.1.2.4	Nó TX04	51
4.1.3	Resultados para a Modulação SUN-OFDM	52
4.1.3.1	Nó TX01	53
4.1.3.2	Nó TX02	53
4.1.3.3	Nó TX03	54
4.1.3.4	Nó TX04	54
4.2	Diversidade de modulação e Replicação de pacotes	56
4.3	Monitoramento em tempo real e geração de alertas	58
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
5.1	Contribuições da Pesquisa	61
5.2	Trabalhos Futuros	61
	 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 63
	 APÊNDICES	 65
	 APÊNDICE A – DATA CENTERS	 66
A.0.1	Padrão TIA 942	66
	 APÊNDICE B – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS OPENMOTE B	 70

1 INTRODUÇÃO

As vantagens de se fazer uso da Internet já se tornaram parte do cotidiano do cidadão comum, como: realizar operações bancárias por meio de um computador ou dispositivo móvel; enviar mensagens; conversar por vídeo e imagem em tempo real; entre outras aplicações. Além disso, cada vez mais o processamento e o armazenamento de dados são migrados para grandes provedores de serviços, principalmente de pequenas empresas que querem terceirizar o problema de manter uma infraestrutura própria, gerando um alto crescimento destes provedores de serviços e seus *Data Centers* (TAURION, 2009). Para o correto funcionamento destes, é necessário, dentre outros fatores, uma climatização adequada do ambiente (TEIXEIRA; VOGEL; GRIEBLER, 2020) (TANENBAUM, 2016).

Dentre os principais desafios para o monitoramento dos *Data Centers* podemos enumerar a grande quantidade de parâmetros que podem influenciar no correto funcionamento destes (ex: temperatura, umidade, fontes de energia, entre outros). Entre estes parâmetros, podemos destacar a temperatura e a umidade relativa do ar. Quando a umidade está alta, as chances de uma oxidação no cabeamento, nos conectores e até nos circuitos dos servidores são muito altas. Outro problema recorrente, causados principalmente pela alta variação de temperatura e umidade neste ambiente, são os curtos-circuitos. Se medidas não forem tomadas, um curto-circuito pode desde danificar um equipamento, até causar incêndios nos servidores, que podem se espalhar rapidamente por todo *Data Center*.

Desta forma, monitorar os *Data Centers* é de suma importância para evitar prejuízos, tanto de dados (informação), quanto financeiros. Sem o monitoramento da temperatura e da umidade, estes parâmetros podem variar muito e por diversos motivos, torna-se difícil realizar um controle adequado e garantir o funcionamento dos equipamentos e serviços.

A Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) é um termo usado para descrever uma ampla variedade de objetos capazes de se conectar à Internet. Tem o objetivo principal de trazer utilidades adicionais para seus usuários, podendo ser aplicada em diversas áreas, das quais podemos destacar: casas (edifícios) inteligentes, cidades inteligentes, medicina, indústria, agricultura e pecuária, entre outras áreas (YAN; LEE; LEE, 2015).

Nesse contexto, o uso de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) para implementação de sistemas de IoT para o monitoramento e controle em ambientes de *Data Centers* apresenta algumas vantagens quando comparado com o uso de sensores com fios. Por exemplo, o baixo custo de implantação, baixo consumo de energia (podendo usar baterias) e alta flexibilidade, permitindo instalação em locais de difícil acesso (como portas, saídas de condicionadores de ar etc.), onde seria difícil ou inviável a utilização de cabos. O uso de RSSF permite também uma fácil reorganização nos locais de instalação dos equipamentos, caso necessário (MARFIEVICI

et al., 2017).

1.1 Motivação e Definição do Problema

Como vimos, os *Data Centers* são de fundamental importância para a realização de atividades simples do cotidiano. Neles circulam dados e informações de diversas pessoas e corporações. Essas informações podem ser diversas, desde uma transação bancária até um e-mail enviado, e nada pode ser perdido.

A preocupação com estes ambientes também faz parte do cotidiano da maioria das Instituições Federais de Ensino Superior (IFES). Nestas instituições, a perda de dados pode representar muitos anos de pesquisas perdidos, histórico acadêmico de milhares ou milhões de alunos e ex-alunos perdidos, além de muitas outras informações de suma importância para o correto funcionamento destas instituições.

Como exemplo, a Universidade Federal da Paraíba - UFPB conta atualmente com um *Data Center* de aproximadamente 28 m², mas já com previsão de ampliação em um futuro próximo, e é responsável por hospedar todos os principais equipamentos de TI da instituição. Este *Data Center* atualmente é monitorado de forma precária com o uso apenas dos sensores de temperatura internos de alguns equipamentos, como servidores e *switchs*, mas que, além de não serem muito precisos, são suscetíveis a falhas e ainda de muito difícil realocação.

Esta forma de monitoramento já provocou vários problemas para a equipe responsável, principalmente com relação ao tempo de identificação de falhas no sistema de refrigeração do ambiente, que por causa da falta de precisão do equipamentos e/ou do local onde ele se encontra, acaba sendo mascarado. Outro problema do atual sistema de monitoramento é a alta dependência do sistema monitorado, sem uma redundância de comunicação.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral melhorar o monitoramento de ambientes de *Data Centers*, usando sistemas baseados em Internet das Coisas, visando evitar problemas que venham a danificar equipamentos ou interromper os serviços.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar um estudo sobre conceitos importantes de Internet das Coisas (IoT), visando a implantação de um sistema de IoT em um ambiente de *Data Center*;
- Realizar estudos sobre diferentes padrões de Redes de Sensores sem Fio (RSSF) que poderiam ser utilizados em um ambiente de *Data Center*;

- Projetar uma RSSF para monitorar parâmetros ambientais em um *Data Center*;
- Implantar um sistema centralizado de monitoramento e controle de ambientes de *Data Centers*, com base nos dados coletados da RSSF;
- Realizar avaliação experimental do sistema implantado, a fim de validar as funcionalidades e verificar diferentes métricas de desempenho de rede.

1.3 Estrutura do Documento

Os conceitos de Internet das Coisas (IoT), Redes de Sensores sem Fio (RSSF) e *Data Centers* são apresentados em detalhes no Capítulo 2, incluindo os principais trabalhos desenvolvidos relativos a estes conceitos que foram encontrados durante a revisão bibliográfica realizada para este trabalho.

No Capítulo 3 é apresentada a descrição do sistema proposto, apresentando a aplicabilidade, metodologia, equipamentos necessários, cenário instanciado e os resultados preliminares.

No Capítulo 4 é apresentado o teste de longa duração, os resultados obtidos durante este teste e uma análise detalhada desses dados. Também é apresentado um cenário de uso na prática da aplicação aqui apresentada.

As considerações finais, as contribuições da pesquisa e os trabalhos futuros são descritos no Capítulo 5.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica que embasa este trabalho, iniciando com a definição da Internet das Coisas (IoT) e das Redes de Sensores sem Fio (RSSF), com suas principais características. Por fim, são apresentados os principais trabalhos relacionados a esta pesquisa.

2.1 Internet das Coisas (IoT)

A Internet das Coisas é um termo usado para descrever uma ampla variedade de objetos capazes de se conectar à Internet. O termo foi criado por Kevin Ashton, um dos fundadores do *Auto-ID Center* no *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, para uma apresentação em 1999, na *Procter & Gamble (P&G)*. Ele imaginou um mundo onde a Internet está conectada ao mundo físico por meio de sensores onipresentes e uma plataforma baseada em *feedbacks* em tempo real, que tem um enorme potencial para aumentar o conforto, a segurança e o controle de nossas vidas (BORGIA, 2014). Neste mundo, sua geladeira pode avisar quando acaba algum produto, você pode ligar seu ar condicionado minutos antes de chegar em casa e até programar a cafeteira para fazer o café na hora que você acorda. Pode ser definida como a interconectividade de diversos tipos de objetos a uma rede, cooperando e interagindo entre si para atingir um objetivo comum (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010). Isso só foi possível devido aos avanços tecnológicos, a expansão do acesso à internet e ao aumento no uso de dispositivos móveis (CASTRO et al., 2019).

Já para Santos et al. (2016), IoT é uma extensão da Internet atual, permitindo que equipamentos do dia-a-dia, com uma certa capacidade computacional e de comunicação, se conectem à Internet, gerando um grande número de oportunidades, riscos e desafios.

Com o objetivo principal de trazer utilidades adicionais para seus usuários, a Internet das Coisas pode ser aplicada em diversas áreas que podemos destacar (YAN; LEE; LEE, 2015):

- Casas (edifícios) inteligentes com lâmpadas, sistemas de segurança, eletrodomésticos etc;
- Cidades Inteligentes por meio de semáforos, comunicação entre veículos etc;
- Medicina assistiva para pessoas com deficiência e idosos, monitoramento de sinais vitais e notificações de emergência etc;
- Indústria através de Sensores para otimização da linha de produção etc;
- Agricultura e pecuária pelo monitoramento das plantações, dos animais etc;

- Entre outras áreas, como aeroespacial e aviação, telecomunicações, farmacêutica, varejo, logística, transporte de pessoas e mercadorias, petróleo e gás, monitoramento do meio ambiente.

2.2 Redes de Sensores sem Fio (RSSF)

Uma alternativa de baixo custo aos sistemas de monitoramento baseados em redes cabeadas, para implementação de sistemas de IoT, é a utilização de redes sem fio. As RSSF apresentam como principais vantagens: flexibilidade maior que as redes cabeadas, baixo custo, fácil instalação e manutenção (GOMES et al., 2014).

Não é de agora que as RSSF são objetos de pesquisas. Sua origem remonta ao programa de Redes de Sensores Distribuídos (*Distributed Sensor Networks*) na Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa (DARPA - *Defense Advanced Research Projects Agency*), nos Estados Unidos da América, por volta dos anos 80. Mas só com os grandes avanços tecnológicos, como miniaturização de sensores, redução de microprocessadores e rádios transmissores menores e de baixa potência, foi possível torna esta solução viável com um baixo custo de monitoramento (OLIVEIRA, 2015).

Uma RSSF pode ser descrita como uma rede de dispositivos, chamados de nós, espacialmente distribuídos que, em cooperação, realizam tarefas de sensoriamento e controle de certo ambiente, se comunicando através de enlaces sem fio, permitindo a interação entre pessoas/computadores e o ambiente em análise.

2.2.1 Protocolo IEEE 802.15.4

O Comitê 802 do IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) viu a necessidade do desenvolvimento de um conjunto de especificações para redes sem fio de área pessoal com foco em baixo custo e baixa taxa de transmissão de dados. Sendo assim, foi criado o grupo de trabalho IEEE 802.15 e em maio de 2003 foi completada a primeira versão do protocolo definido como IEEE 802.15.4.

O protocolo IEEE 802.15.4 define as especificações das camadas física (PHY - *Physical Layer*) e camada de controle de acesso ao meio (MAC - *Media Access Control*) para as redes de comunicação sem fios que operam com baixa taxa de transmissão de dados, mais conhecidas pela sigla em inglês LR-WPAN - *Lower Rate Wireless Personal Area Network*.

2.2.1.1 Camada Física (PHY)

A camada física é a responsável pelas especificações elétricas e físicas dos dispositivos. A camada em questão pode operar em 3 frequências definidas sobre as bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), que são: 868 MHz (Europa), 915 MHz (Estados Unidos/Américas) e 2,4 GHz (todo o mundo) (SARAIVA et al., 2020).

Na primeira versão do Padrão IEEE 802.15.4, estas bandas de frequência foram divididas em 27 canais, distribuídos da seguinte forma:

- Europa - 1 Canal;
- Américas - 10 Canais;
- Todo o mundo - 16 Canais.

O padrão emprega a modulação DSSS-OQPSK (*Direct Sequence Spread Spectrum-Offset Quadrature Phase Shift Keying*) e fornece taxas de dados de 20 kbps e 40 kbps nas bandas sub-GHz (868/915 MHz - Europa/Américas), e de 250 kbps na banda de 2,4 GHz (todo o mundo) (TUSET-PEIRÓ et al., 2020).

Podemos associar à camada física os seguintes serviços:

- Ativação e desativação do rádio transceptor;
- Seleção do canal de frequência;
- Transmissão e recepção dos dados;
- Detecção de níveis de energia no canal (*Energy Detection*);
- Medição da qualidade do enlace (*Link Quality Indication*);
- Verificação da ocupação do canal (*Clear Channel Assessment*);
- Interface entre a camada MAC e o canal do rádio físico.

IEEE 802.15.4g

O IEEE 802.15.4g é uma emenda da norma IEEE 802.15.4, sendo, também, uma especificação de padrão sem fio aberta para redes inteligentes. Mesmo não introduzindo mudanças profundas na arquitetura original do IEEE 802.15.4, características significativas foram implementadas no novo padrão, consideradas como um grande avanço em relação à especificação original. A possibilidade de maiores taxas de bits e maiores distâncias de comunicações, com o tamanho de pacotes saltando de 127 bytes para 2047 bytes, permite o completo carregamento do pacote IP em um quadro, tornando o protocolo mais apropriado para aplicações IoT (KOHLENER et al., 2020) (SARAIVA et al., 2020).

A emenda incluiu também três novas definições de camada física direcionadas à aplicações SUN (*Smart Utility Network*). As modulações SUN-FSK e SUN-OQPSK se concentram em manter a compatibilidade com os padrões anteriores e transceptores disponíveis comercialmente, enquanto o SUN-OFDM se concentra em adicionar robustez e melhorar a eficiência do espectro na camada física (TUSET-PEIRÓ et al., 2020).

A modulação SUN-FSK apresenta uma boa eficiência energética, baixa complexidade de implementação e compatibilidade com sistemas legados. A SUN-FSK pode ser usada em várias bandas de frequência, o que a torna adequada para diferentes regiões do mundo. Principalmente, a banda de 2,4 GHz (todo o mundo) e a banda de 863–870 MHz (Europa). Nesta última, três taxas de dados são suportadas, dependendo do modo de operação selecionado: 50 kbps, 100 kbps e 200 kbps.

A modulação OQPSK foi introduzida já na primeira versão do padrão IEEE 802.15.4, em 2003. Usava apenas a banda de 2,4 GHz, com uma taxa de bits de 250 kbps. Já o IEEE 802.15.4g permitiu o uso desta modulação para outras faixas de frequência, e taxa de bits variando de 6,25 a 500 kbps. A SUN-OQPSK emprega DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*), que permite uma melhor resistência às interferências.

A SUN-OFDM permite fornecer altas taxas de dados e um longo alcance, enquanto lida com desvanecimento de múltiplos caminhos e problemas de interferência externa. Pode ser usada em diferentes bandas de frequência e fornece taxas de dados de 50 kbps a 800 kbps. Diferente das outras modulações, ela não tem sido muito usada para comunicações sem fio de baixa potência, devido aos seus requisitos de processamento, memória e consumo de energia (TUSET-PEIRÓ et al., 2020).

2.2.1.2 Camada de Controle de Acesso ao Meio (MAC)

A camada MAC fornece uma interface entre as próximas camadas superiores e a camada física (PHY), sendo responsável por toda operação que envolve o canal físico de comunicação. O padrão define a operação com e sem sincronização com base no mecanismo de acesso do canal CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access com Collision Avoidance*) para alcançar uma boa relação de compromisso entre a largura de banda, latência e consumo de energia dos dispositivos (TUSET-PEIRÓ et al., 2020). Cabe a esta camada:

- Gerenciamento do acesso aos canais de rádio físicos;
- Geração de sinalizadores (*beacons*) de rede;
- Sincronização do dispositivo na rede através de *beacons*;
- Suporte a associação e dissociação da PAN (*Personal Area Network*);
- Suporte à segurança dos dispositivos;
- Emprego de mecanismo de acesso ao canal (CSMA/CA);
- Fornecimento de um link confiável entre duas entidades MAC;
- Definição de funcionalidade de cada dispositivo da rede.

2.3 Cidades Inteligentes (*Smart Cities*) e Campi Inteligentes (*Smart Campus*)

Cidades Inteligentes (*Smart Cities*) são aquelas onde as redes e serviços tradicionais são mais eficientes com o uso de soluções tecnológicas em benefício de seus habitantes e negócios (EC, 2022). Proporciona a solução para problemas do cotidiano das grandes cidades, como mobilidade, segurança, saúde e sustentabilidade.

Recentemente, as pesquisas realizadas em Cidades Inteligentes focam na aplicação de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) consideradas de nova geração (Redes de Sensores, Internet das Coisas, Computação em Nuvem e *Big data*), para solucionar os problemas urbanos (NEVES et al., 2017).

Para Neves et al. (2017), o modelo de uma Cidade Inteligente pode ser adaptado para as universidades, surgindo o conceito de Campus Inteligente (*Smart Campus*). Isso porque essas instituições se comparam com as cidades em vários aspectos, principalmente em relação à gestão, infraestrutura e serviços disponíveis aos usuários.

Desta forma, as universidades passam a ser utilizadas como ambiente de experimentação no desenvolvimento de novas soluções para cidades inteligentes. Este processo de construção de um Campus Inteligente passa por um modelo multidisciplinar e se faz necessária a definição de uma estratégia integrada e estruturada, para articular entre os diversos setores e atores. Segundo Motta, Lima e Cunha (2018), diversas soluções tecnológicas desenvolvidas para Cidades Inteligentes, nascem em campi universitários.

2.4 Trabalhos relacionados

2.4.1 Monitoramento de *Data Centers*

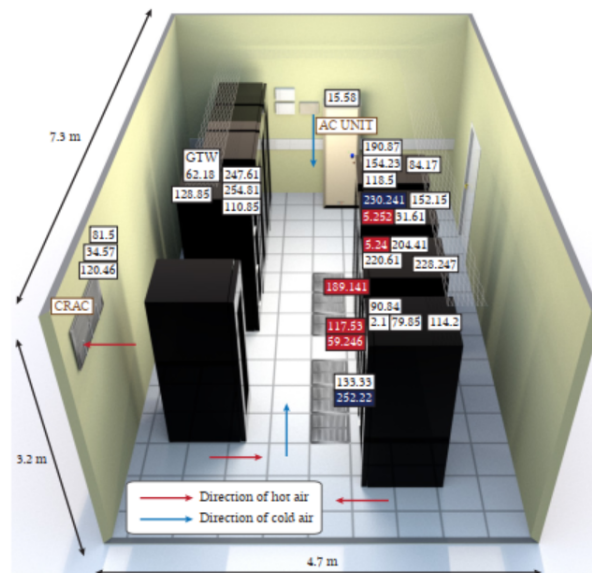
Por envolver muitas variáveis, o processo de monitoramento de *Data Centers* é considerado complexo. A Tabela 1 lista um conjunto de trabalhos que tentaram lidar com essa complexidade e propuseram sistemas de monitoramento para *Data Centers*.

Em Marfievici et al. (2017), foi realizado o monitoramento de temperatura e umidade em um *Data Center* com área útil de aproximadamente 34 m². Este ambiente possui 8 racks para servidores, dispostos em duas filas, uma de frente para a outra, formando um corredor frio no centro da sala. Foi usado o nó do Modelo TelosB e tecnologia de comunicação IEEE 802.15.4 com CSMA - *Carrier Sense Multiple Access* na camada MAC. Os nós transmitem com potência de 0 dBm e usam o canal 26 para evitar interferências entre tecnologias. Na Figura 1 pode-se verificar a distribuição dos nós no *Data Center*, representados por retângulos com números escritos, que correspondem ao endereço de cada nó. O retângulo branco escrito 'GTW 62.18' representa a localização do nó coletor (*gateway*), os retângulos vermelhos e azuis representam a localização dos nós que apresentaram problema durante os teste.

Tabela 1 – Trabalhos relacionados.

Art.	Parâmetros monitorados	Área (M ²)	Quant. de Nós	Tecnologia de comunicação
(MARFIEVICI et al., 2017)	- temperatura - umidade - velocidade do ar - níveis das baterias	34	30	IEEE 802.15.4
(POLONELLI et al., 2018)	- temperatura - umidade - nível da bateria	-	20	IEEE 802.15.4
(MEHTA; MITTRA; YADAV, 2018)	- temperatura	2200	108	IEEE 802.15.4
(MEDINA-SANTIAGO et al., 2019)	- temperatura - umidade	20	1	IEEE 802.3
DCMonitor	- temperatura - umidade	28	5	IEEE 802.15.4g

Figura 1 – Distribuição dos Nós TelosB.



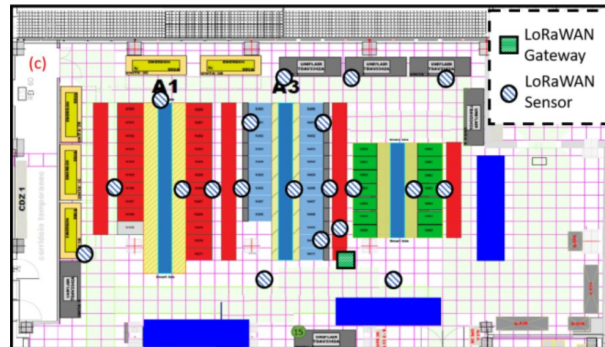
Fonte: (MARFIEVICI et al., 2017).

Devido ao reduzido tamanho da sala, os nós formaram uma rede com topologia em estrela (salto único), caracterizando-se por um elemento central, neste caso o *gateway*, que está diretamente conectada a todos os outros nós da rede (ROSS; KUROSE, 2006). Mesmo neste ambiente de distâncias reduzidas, os problemas de comunicação foram constantes, em parte pelo ambiente formado por superfícies metálicas, com flutuação de temperatura e ruídos dos sinais. Segundo os autores, dos 17 meses do experimento, 9 foram para a correção dos problemas de comunicação e de *hardware*, como perda de pacotes, esgotamento das baterias e interrupção do *gateway*. Nos últimos 8 meses, entretanto, o experimento apresentou taxa média de entrega de pacote de 99,20%.

Em Polonelli et al. (2018) foram monitoradas a temperatura e a umidade, além de informações dos nós, como a tensão das baterias. Neste experimento, o autor optou por usar 20 nós modelo STM32L4 da ST Microelectronics e tecnologia de comunicação IEEE 802.15.4.

Mesmo não sendo informado o tamanho do *Data Center*, podemos inferir por meio da Figura 2, que este é bem maior que o *Data Center* apresentado no trabalho anterior. Ainda assim, adotou-se a topologia em estrela (salto único).

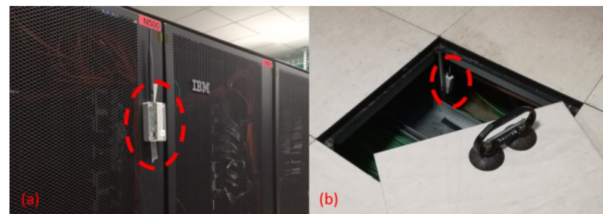
Figura 2 – Distribuição dos Nós LoRaWAN no *Data Center*.



Fonte: (POLONELLI et al., 2018).

Na Figura 3(a) é possível ver um sensor instalado na porta de um RACK, já na Figura 3(b) pode-se observar um sensor semelhante instalado na parte de baixo do piso elevado do *Data Center*.

Figura 3 – Sensores LoRaWAN no *Data Center*.



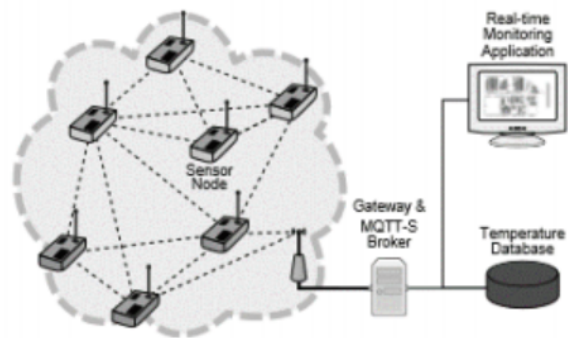
Fonte: (POLONELLI et al., 2018).

Já em Mehta, Mitra e Yadav (2018), o único parâmetro monitorado foi a temperatura, para registrar as mudanças e distribuição de temperatura por todo o *Data Center*. Com área de 2200 m² e usando 108 nós, este foi o maior projeto identificado em nosso levantamento, também usando o IEEE 802.15.4. Por causa do tamanho do ambiente monitorado, foi usada uma topologia em malha (múltiplos saltos), onde o nó transmite para todos os outros nós próximos a ele e estes retransmitem até chegar no *gateway*, como é possível verificar na Figura 4 (ROSS; KUROSE, 2006). Mesmo monitorando um único parâmetro, foi possível a redução do consumo de energia do *Data Center* de 3.600 MWh para 1.500 MWh.

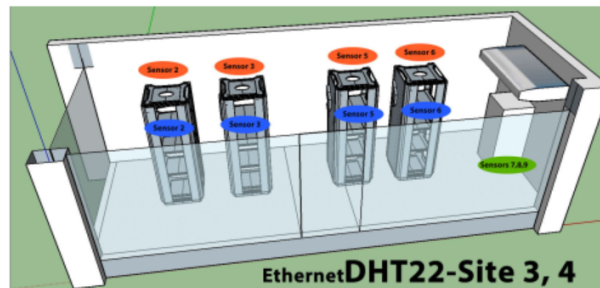
Por ter o menor *Data Center* entre todos os trabalhos apresentados, como é possível verificar na Figura 5, o trabalho (MEDINA-SANTIAGO et al., 2019) foi o único que não usou uma RSSF, optando por usar um único nó Arduino conectado na rede Ethernet (IEEE 802.3).

Embora o autor fale que este projeto é de fácil expansão, não é isso que identificamos quando imaginamos esta solução em um *Data Center* muito maior, com 1000 ou 2000 m². Isso

Figura 4 – Diagrama de conectividade.



Fonte: (MEHTA; MITTRA; YADAV, 2018).

Figura 5 – Distribuição dos Sensores no *Data Center*.

Fonte: (MEDINA-SANTIAGO et al., 2019).

fica bem claro depois de ver a Figura 6, que mostra a Central dos Sensores usada no artigo.

Figura 6 – Central dos Sensores.



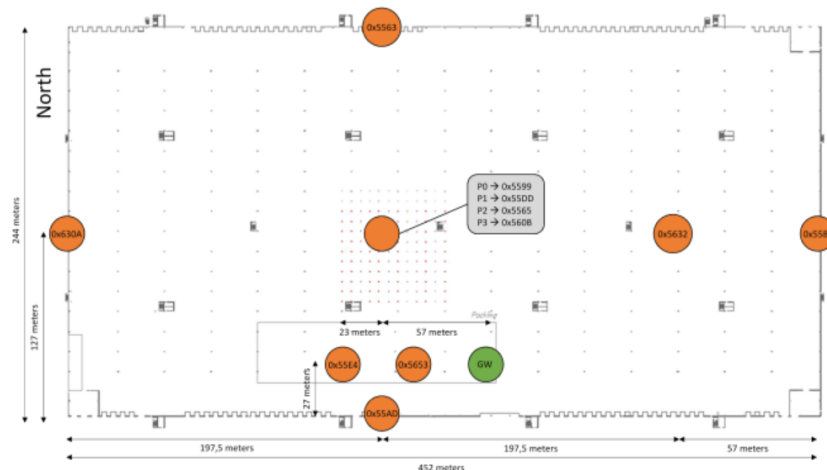
Fonte: (MEDINA-SANTIAGO et al., 2019).

2.4.2 Diversidade de modulação - Padrão IEEE 802.15.4g

Em Tuset-Peiró et al (2020), é apresentado um conjunto de dados obtidos da implantação de uma rede IEEE 802.15.4g SUN de salto único com 11 nós e um *gateway*. Os nós foram

distribuídos em um cenário industrial de 110.044 m², a uma distância do *gateway* variando de 34 m até 273,5 m, por um período de 99 dias. Embora não faça parte do escopo principal da nossa proposta, trabalhando em um ambiente completamente diferente, este artigo serviu como base para definição dos protocolos de rede e sua topologia. Na Figura 7, pode-se verificar como foi feita essa distribuição.

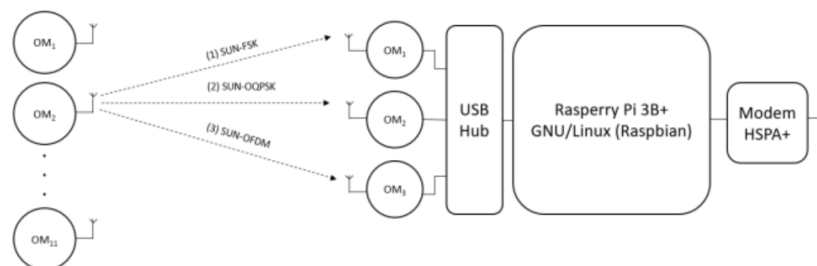
Figura 7 – Distribuição dos Nós.



Fonte: (TUSET-PEIRó et al., 2020).

Durante 99 dias, funcionando 24 horas por dia, cada um dos 11 nós fez 9 transmissões por minuto, divididos em 3 ciclos de 3 transmissões. Em cada um dos ciclos, a primeira transmissão usava a modulação SUN-FSK, a segunda transmissão a modulação SUN-OQPSK e a terceira a modulação SUN-OFDM. Totalizando aproximadamente 11 milhões de transmissões. Na Figura 8, é mostrado um exemplo de um destes ciclos. Pode-se notar também que o *gateway* foi preparado com 3 rádios para receber a comunicação nas 3 modulações diferentes em simultâneo.

Figura 8 – Modo de comunicação dos nós finais com o *gateway*.



Fonte: (TUSET-PEIRó et al., 2020).

Apesar da vantagem de propagação e robustez em comparação com as comunicações IEEE 802.15.4 tradicionais, as comunicações entre os nós e o *gateway* ainda são severamente afetadas pela propagação de múltiplos caminhos e efeitos de interferência externa, o que acabou limitando o desempenho da rede com uma taxa de entrega de pacotes média de apenas 75,9%.

Para lidar com as perdas de pacotes, foi usada a técnica de repetições cegas. Porém, mesmo com três transmissões, só foi possível chegar a uma taxa de entrega de pacotes média de 94,2% com a modulação SUN-FSK, 94,1% com a SUN-OQPSK e 86% com a SUN-OFDM.

3 DESCRIÇÃO DA PROPOSTA

Neste Capítulo é apresentada uma proposta de um sistema de monitoramento da temperatura e umidade para *Data Centers*. Estes dois parâmetros foram escolhidos devido a sua importância para o correto funcionamento de um *Data Center*. Falhas no monitoramento destes dois parâmetros podem gerar perdas irreparáveis de equipamentos e até de dados para as instituições.

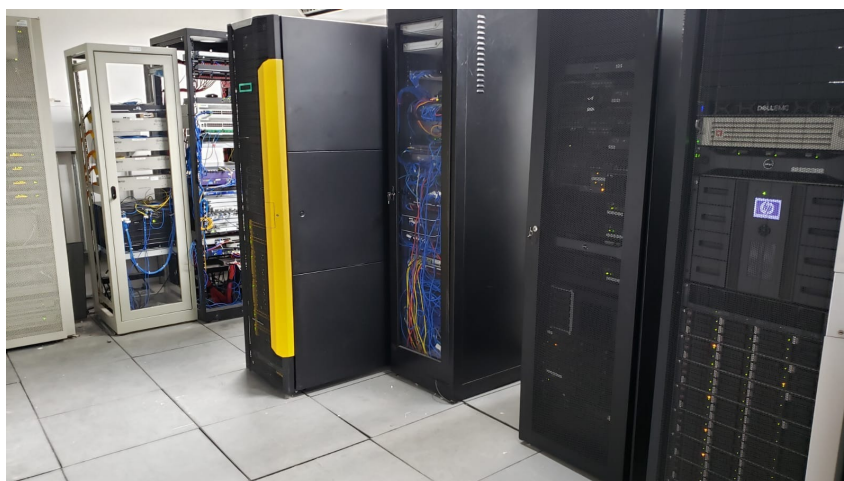
Para isso, consideramos todas as principais vantagens que a Internet das Coisas (IoT) e as Redes de Sensores sem Fio têm a oferecer, como flexibilidade maior que as redes cabeadas, baixo custo, facilidade de instalação e manutenção. Um sistema de monitoramento deste tipo, além de servir para evitar incidentes com os dados e equipamentos do *Data Center*, pode ser usado também na redução dos custos de operação do mesmo, ajudando, por exemplo, a fazer um uso mais consciente da energia elétrica, como foi feito em Mehta, Mittra e Yadav (2018).

Com o intuito de facilitar sua referência, deste ponto em diante a solução proposta nesta pesquisa será denominada de **DCMonitor**.

3.1 Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho foram realizadas consultas informais com alguns profissionais da mesma área.

Figura 9 – *Data Center* UFPB.



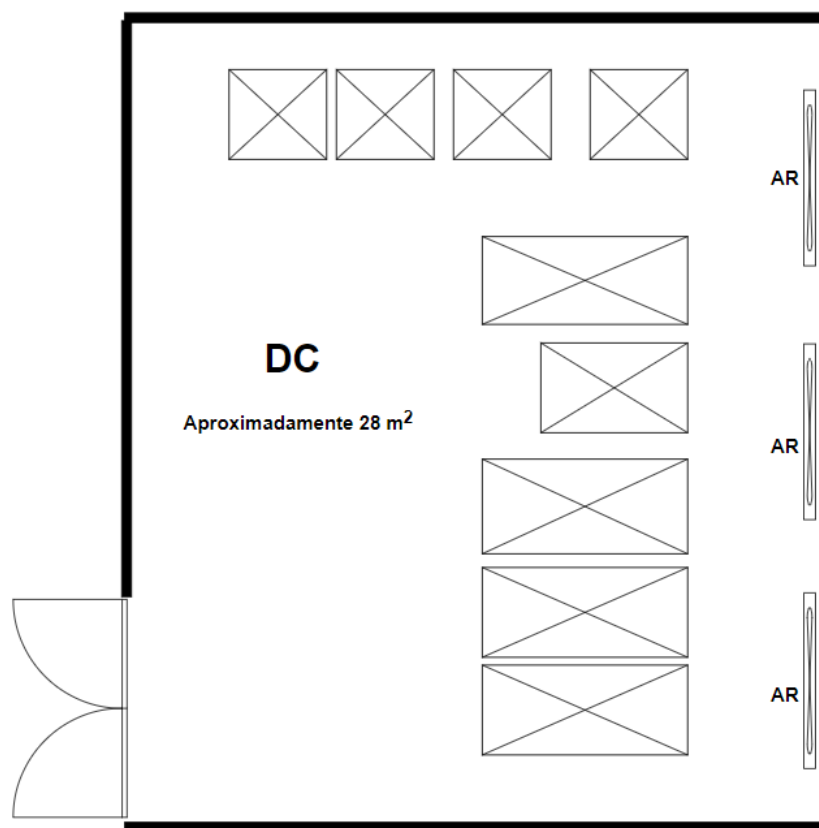
Fonte: Elaborada pelo autor.

Para validação do DCMonitor, foram realizados testes em uma sala de *Data Center* (Figura 9) da Universidade Federal da Paraíba, com tamanho aproximado de 28m², com piso elevado e teto rebaixado para facilitar a passagem dos cabos. Na sua configuração atual, a sala

possui 3 condicionadores de ar do tipo Split, sendo dois de 48 mil BTUs e um de 60 mil BTUs, para resfriar todos os principais equipamentos da instituição, que foram divididos em 9 racks. Este ambiente fica localizado no prédio da Superintendência de Tecnologia da Informação - STI, no Campus I da UFPB. O correto funcionamento deste *Data Center* tem dependência direta da sala de *nobreaks* e do gerador, que ficam em outros locais anexos ao *Data Center*.

Na Figura 10 é mostrada a distribuição atual dos racks no *Data Center* da instituição, bem como a localização dos três condicionadores de ar, responsáveis por manter a temperatura deste ambiente em níveis adequados.

Figura 10 – Distribuição dos racks no *Data Center*.



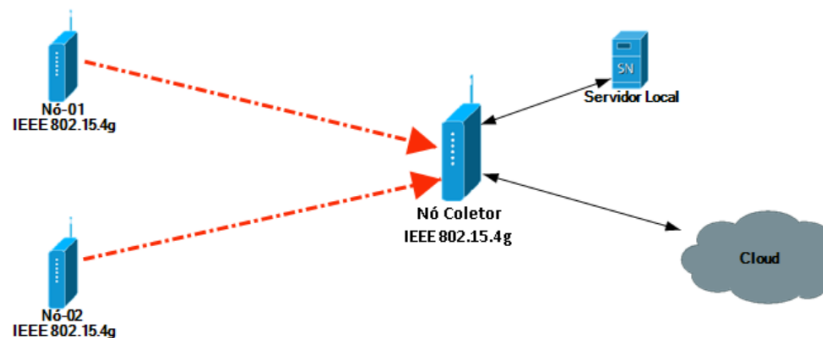
Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 11 pode-se ver uma proposta para a rede de monitoramento, em que cada nó comunica com o nó Coletor e este por sua vez encaminha as informações coletadas para dois servidores diferentes e por dois meios distintos. Desta forma, podemos minimizar todas as dificuldades apresentadas pelo atual sistema de monitoramento, que usa sensores embarcados no hardware de alguns servidores, porque os nós são de fácil realocação, ampliação e o nó Coletor pode ter redundância de comunicação.

Tentando manter a maior independência possível da rede de sensores do *Data Center*, em nossa proposta os nós são conectados a baterias mesmo que ele esteja sendo alimentado por um equipamento na rede elétrica do *Data Center*, mantendo desta forma a redundância

de alimentação elétrica. Para o nó Coletor, além da redundância de alimentação, manteremos também redundância da conexão com os servidores onde os dados serão processados (um servidor local e outro servidor fora do *Data Center* monitorado), usando, por exemplo, rede móvel celular 4G como redundância. Do ponto de vista da comunicação sem fio na RSSF, foi utilizado o Padrão IEEE 802.15.4g, com possibilidade do uso de técnicas de diversidade de modulação, com base na proposta descrita em Tuset-Peiró et al. (2020).

Figura 11 – Diagrama da rede de monitoramento.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Inicialmente monitorando apenas a temperatura e umidade da sala do *Data Center*, será possível controlar (a princípio de forma manual) os condicionadores de ar, otimizando seu uso, reduzindo os custos com energia elétrica e também o desgaste destes equipamentos.

Depois, com uma adaptação no hardware, será possível coletar um conjunto de informações úteis para o correto gerenciamento do *Data Center*, como a identificação de falha no fornecimento de energia, estado do gerador, nível de combustível do gerador, detecção de falhas nos *nobreaks* e identificação de desbalanceamento das fases da rede elétrica.

3.1.1 Equipamentos

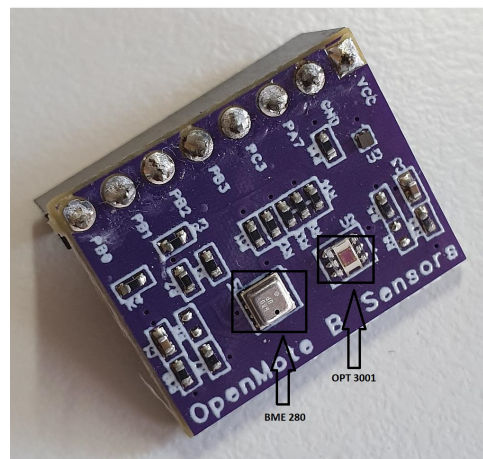
Se tratando de uma das fases mais críticas do projeto, a escolha dos equipamentos precisa ser bem planejada e atender a alguns critérios, entre eles pode-se citar: o custo, a qualidade do equipamento, os protocolos de comunicação adotados por ele, a disponibilidade de módulos e a curva de aprendizagem de desenvolvimento para este equipamento. Para atender às necessidades deste projeto, adotou-se dispositivos do tipo *OpenMote B* no modelo mostrado na Figura 12. Especificações técnicas deste equipamento disponível no apêndice B.

3.1.1.1 Sensores para o nó *OpenMote B*

Na Figura 13, observa-se uma placa de suporte equipada com os sensores Bosch BME280 e Texas Instruments OPT3001. O sensor Bosch BME280 é responsável por medir a umidade, temperatura e pressão, já o OPT3001 pode medir a luz ambiente, sendo ideal para ser usada em conjunto com o nó *OpenMote B*.

Figura 12 – Nó *OpenMote B*.

Fonte: (SHIELDS, 2021).

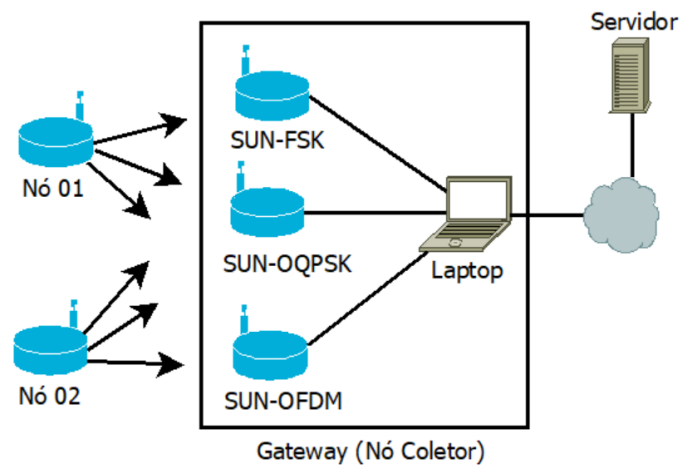
Figura 13 – Sensor para o nó *OpenMote B*.

Fonte: (SHIELDS, 2021).

3.1.1.2 Composição dos nós e do gateway

Por oferecer suporte a todas as opções PHY definidas na emenda IEEE 802.15.4g-2012 (SUN-FSK, SUN-OQPSK e SUN-OFDM), tanto os nós quanto o *gateway* (nó Coletor) são implementados fazendo o uso das placas *OpenMote B*.

A Figura 14 apresenta a composição desta rede de sensores sem fios, sendo os nós implementados apenas por uma placa *OpenMote B* (rádio) e placa de suporte com sensores já apresentados. Já o *gateway* é formado por três placas *OpenMote B*, permitindo a recepção nas três diferentes modulações (SUN-FSK, SUN-OQPSK e SUN-OFDM). Estas placas estão conectadas a um *laptop* com o sistema operacional Linux, um script em Python responsável por coletar as informações transmitidas pelos nós, fazer um pré-processamento e encaminhar para o servidor. Este *laptop* está conectado a uma rede exclusiva para este monitoramento e também,

Figura 14 – Composição dos nós e do *gateway*.

Fonte: Elaborada pelo autor.

como redundância, a uma rede 4G. Por não ser exigido em processamento, este *laptop* pode ser facilmente substituído por um minicomputador do tipo *Raspberry Pi*, sem prejudicar o sistema. O *laptop* foi utilizado inicialmente para facilitar a realização dos experimentos.

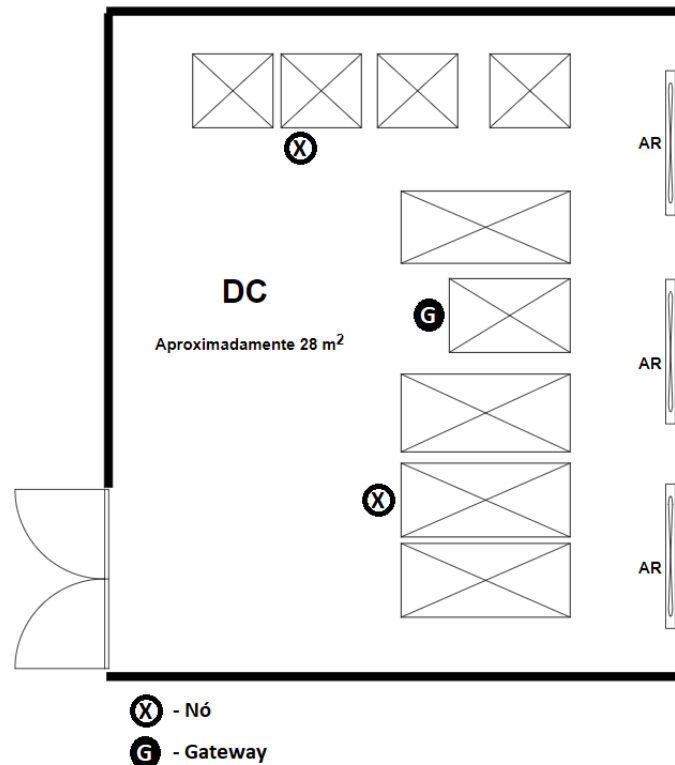
3.1.2 Cenário para testes preliminares

Na Figura 15, pode-se observar a proposta de cenário para os testes iniciais no *Data Center* da instituição, com a distribuição aproximada de todos os nós e do *gateway* usados nos testes. Como já foi apresentado, a princípio, foram usados apenas dois nós sensores e um *gateway* (nó Coletor).

No cenário apresentado, embora de tamanho reduzido, é possível a implantação inicial do sistema de monitoramento de *Data Centers* para fim de validação de funcionalidades e verificação do desempenho da rede. Desta forma, que um teste de longa duração com diversidade de modulação pôde ser realizado, semelhante ao que foi apresentado em Tuset-Peiró et al. (2020).

O teste realizado teve duração aproximada de 15 dias, funcionando 24 horas por dia, 7 dias por semana, semelhante à necessidade de funcionamento do próprio *Data Center* da instituição. Cada nó faz uma coleta das informações de temperatura e umidade por minuto, transmitindo estas informações logo em seguida para o *gateway*, primeiro na modulação SUN-FSK, depois na modulação SUN-OQPSK e por último na modulação SUN-OFDM. A princípio, com um intervalo de tempo entre as transmissões de 100ms, assim como adotado em Tuset-Peiró et al. (2020), para permitir uma melhor análise da qualidade de comunicação nas três modulações avaliadas. Desta forma, tem-se um total de aproximadamente 65 mil transmissões, por nó, neste período de 15 dias, sendo mais de 21 mil transmissões por cada tipo de modulação, por nó.

Com a análise dos dados coletados nos primeiros dias, mesmo durante o teste, ajustes já foram realizados. Entre esses ajustes podemos destacar o uso da técnica de replicação de pacotes,

Figura 15 – Distribuição dos racks e sensores no *Data Center*.

Fonte: Elaborada pelo autor.

que depois de alguns testes preliminares já foi adotada com um total de mais duas replicações, em cada modulação. No total 3 transmissões por modulação, por minuto. A utilização desta técnica foi realizada com bastante prudência, porque ela aumenta muito a quantidade de transmissões.

3.2 Testes Preliminares

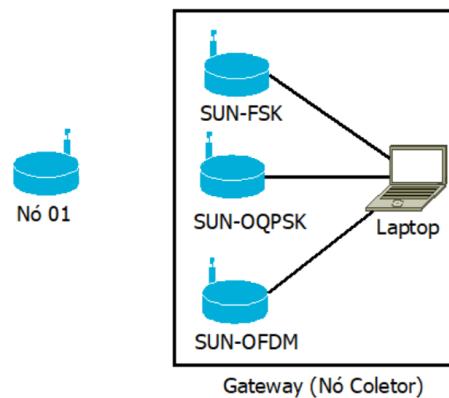
Antes de fazer o teste de longa duração no ambiente do *Data Center*, foram realizados alguns testes de comunicação de curta duração, 1 hora cada teste. O objetivo foi identificar a modulação menos suscetível a falhas de comunicação nos cenários considerados e verificar a correta funcionalidade do ambiente experimental que foi montado. As subseções a seguir descrevem estes testes.

3.2.1 Teste 01 - Distância de 5 metros

No primeiro teste realizado, o nó transmissor foi fixado na porta do rack com os equipamentos mais importantes da UFPB, e foi configurado para transmitir nas três modulações propostas (SUN-FSK, SUN-OQPSK e SUN-OFDM), 3 vezes por minuto em cada modulação, com intervalos de 100ms entre as transmissões. As 3 transmissões por minuto de cada modulação transmitem a mesma informação coletada. Este método adotado é uma forma de mitigar possíveis perdas de pacote. No lado do receptor, faz-se necessário ter um rádio para cada modulação. Neste

teste, também optou-se por manter os dispositivos bem próximos (5 metro de distância), porque é a distância média de trabalho entre o transmissor e o receptor (*gateway*) para que ambos fiquem dentro do *Data Center*, conforme ambiente apresentando na Figura 15. Na Figura 16 pode-se observar o leiaute do teste.

Figura 16 – Leiaute dos testes preliminares, com um nó transmissor e o nó coletor ou gateway.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Já no início deste teste foi possível identificar que os equipamentos se comportavam muito bem em todas as modulações propostas, com 100% de aproveitamento em todas as comunicações. Portanto, foi possível ampliar essa distância para uma área mais central da STI, permitindo assim que o equipamento receptor (*gateway*) seja compartilhado com futuros projetos de Internet das Coisas (IoT), em um projeto de Campus inteligente (*Smart Campus*).

3.2.2 Teste 02 - Distância aproximada de 30 metros

Para realização deste teste foi escolhido um local um pouco mais central no prédio da STI para a instalação do *gateway* (GWT). O local escolhido foi uma sala com pouco uso e com a possibilidade de manter a porta fechada, o mais próximo possível da parte central do prédio. Este local foi escolhido para garantir a segurança do teste e dos equipamentos, principalmente porque nos testes foi utilizado um *laptop* (Figura 17). Em caso da implantação em definitivo deste projeto, o ideal é que este *laptop* seja substituído por um minicomputador do tipo *Raspberry Pi*, que poderá ficar em uma caixa fechada fixada na parede do corredor central.

O nó transmissor continuou fixado na porta do rack principal da UFPB, conforme verifica-se na Figura 18.

Na Figura 19, pode-se observar a planta baixa do prédio da STI e ter uma ideia da localização de cada um dos equipamentos. O nó transmissor localizado no DC e o *gateway* na sala GWT. A distância aproximada entre os equipamentos está de 30 metros, sem visada direta e com pelo menos duas paredes de tijolos entre eles.

Figura 17 – Gateway utilizado no experimento, com três OpenMote-B e um laptop.



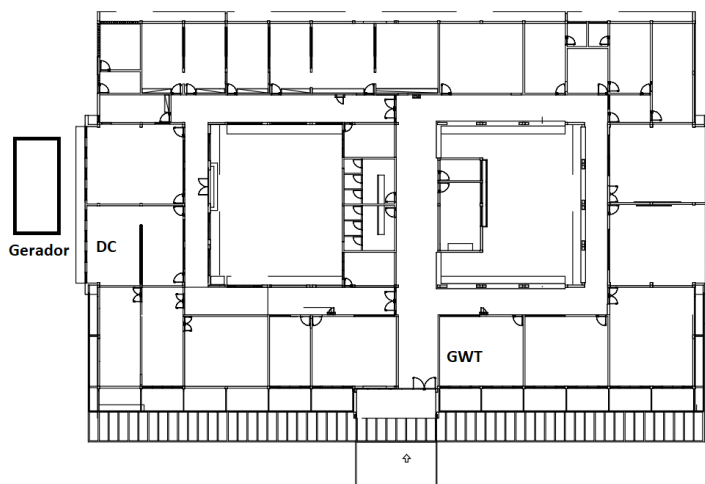
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 18 – Nó Transmissor.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 19 – Planta baixa do prédio da STI



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 2 – Resultados do segundo teste.

Modulação (SUN)	Teste 2 - A		Teste 2 - B		Teste 2 - C		Teste 2 - D		Teste 2 - E	
	Prot	App	Prot	App	Prot	App	Prot	App	Prot	App
<i>FSK</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>OQPSK</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>OFDM</i>	97,78%	100%	96,71%	100%	90,86%	98,38%	78,30%	84,13%	80,33%	91,80%

Semelhante ao primeiro teste realizado, o nó transmissor foi configurado para transmitir nas três modulações propostas (SUN-FSK, SUN-OQPSK e SUN-OFDM), três vezes por minuto em cada modulação (para mitigar possíveis perdas), com intervalos de 100ms entre as transmissões, por um período de uma hora. O que muda neste cenário, além da distância de 30 metros, é que repetimos este mesmo teste cinco vezes para aumentar a confiabilidade dos resultados. Desta forma, pode-se comparar o resultado obtido entre as diferentes repetições e também verificar se o método de repetição de transmissão realmente ajuda a mitigar perdas de dados.

Na Tabela 2 observa-se um resumo dos resultados obtidos com o teste. O campo “Prot” é a abreviação de protocolo e é referente a todas as transmissões feitas em uma determinada modulação. Neste caso, considerando todas as transmissões, tem-se três transmissões por minuto, totalizando em uma hora 180 transmissões. Considerando a taxa de entrega de pacote em nível físico, seriam necessárias 180 recepções para alcançar 100% de entrega. Já o campo “App” é a abreviação de aplicação. Neste caso é verificado se a informação chegou, se pelo menos uma das transmissões por minuto for efetiva. Desta forma, verifica-se a efetividade do método de repetição de transmissão na mitigação de perdas.

Na Tabela 2 pode-se perceber a ocorrência de perdas de pacote na modulação SUN-OFDM. Isso possivelmente ocorreu pois, no transceptor utilizado nos testes, a potência de transmissão para essa modulação é menor em comparação com as outras duas.

3.2.3 Teste 03 - Gerador - Distância aproximada de 40 metros

Esse teste foi realizado para verificar a viabilidade de monitoramento do gerador que alimenta com energia elétrica o *Data Center*, em casos de falta da mesma na rede da concessionária. Na Figura 20, tem-se uma imagem do modelo do gerador Cummins de 330 KVA.

Figura 20 – Imagem do gerador.



Fonte: Site Fabricante.

Neste teste, o nó transmissor foi implantado dentro da carenagem do gerador, como pode-se ver na Figura 21. O *gateway* foi mantido no mesmo local do teste anterior.

Figura 21 – Nó transmissor no gerador.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O teste foi realizado seguindo os mesmos moldes do anterior, mas desta vez foram apenas duas repetições de uma hora cada, uma delas com o gerador ligado por um período de 15 minutos.

Tabela 3 – Resultados terceiro teste.

Modulação (SUN)	Gerador desligado		Gerador 15 min ligado	
	Prot	App	Prot	App
<i>FSK</i>	100%	100%	36,11%	51,66%
<i>OQPSK</i>	100%	100%	83,33%	88,33%
<i>OFDM</i>	0%	0%	0%	0%

Na Tabela 3, observa-se o resultado deste teste, onde a modulação SUN-OFDM não conseguiu completar nenhuma transmissão. Já a modulação SUN-FSK foi um pouco melhor, conseguindo de 36,11% e 51,66% com o gerador ligado. O melhor desempenho foi da modulação SUN-OQPSK, ficando acima de 80% de taxa de entrega de pacote nos testes realizados, também com o gerador ligado. Mais especificamente, quando considerada a camada de aplicação, chegou-se a uma taxa de entrega de pacote de 88,33%.

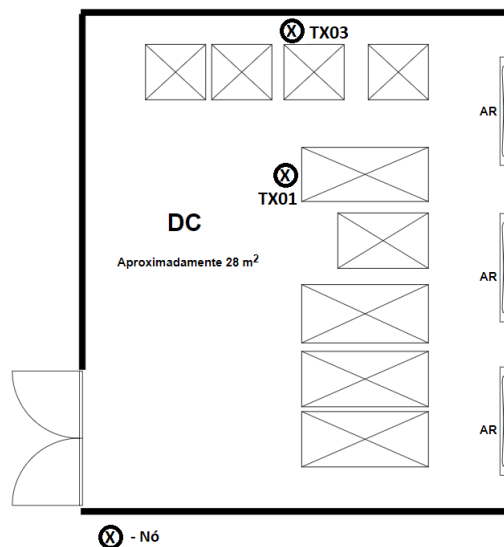
4 TESTE DE LONGA DURAÇÃO

Neste capítulo é descrito um teste de longa duração, que foi realizado para validar o sistema proposto nesta dissertação e para verificar a qualidade de comunicação nas três diferentes modulações, assumindo um período de tempo mais longo e considerando quatro nós sensores em simultâneo.

4.1 O teste

Neste teste, iniciou-se com dois nós dentro do *Data Center* (TX01 e TX03) e mais um nó em uma caixa plástica colada na carenagem do gerador (TX02). O *gateway* foi mantido na mesma sala e com a mesma configuração do teste anterior, conforme apresentado na Figura 17. Já na Figura 22, é possível visualizar a distribuição dos nós no *Data Center*. Na Figura 23 pode-se verificar como o nó TX03 foi fixado no rack.

Figura 22 – Planta baixa do *Data Center* e posição dos nós sensores.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 24, apresenta-se o nó TX02, conforme já informado este nó foi instalado dentro de uma caixa plástica, isso foi necessário porque ele foi instalado na parte externa da carenagem do gerador, ficando sujeito a intempéries. Dessa forma, para a proteção do equipamento foi necessário o uso desta caixa plástica.

Já na Figura 25 é possível ter uma visão geral da localização do nó TX02 no gerador, ele foi instalado na lateral do gerador voltada para a STI.

Figura 23 – Nó TX03 instalado no rack.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 24 – Nó TX02 instalado no gerador.



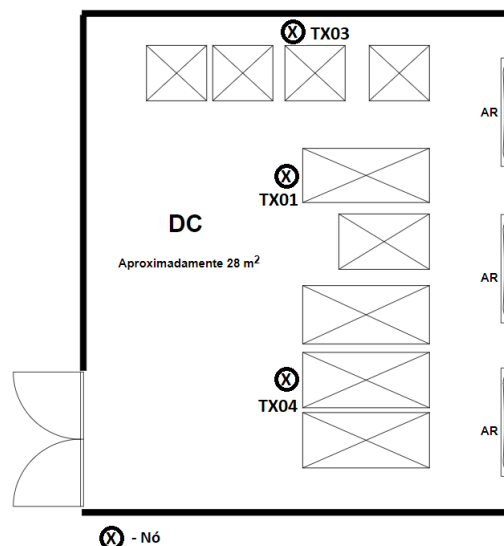
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 25 – Nó TX02 instalado no gerador (visão geral).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Exatamente uma semana depois do início dos testes foi possível adicionar mais um nó (TX04) ao teste, optamos por adicionar este nó no *Data Center*. Na Figura 26 pode-se verificar a localização deste nó. Também aproveitamos este dia para substituir as baterias de todos os nós, porque identificamos que algumas já estavam com a carga menor que o valor necessário para o correto funcionamento do nó.

Figura 26 – Planta baixa do *Data Center* com os três nós sensores.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 27 apresenta-se a imagem do rack, com o nó TX04 fixado.

Como foram recebidos novos equipamentos para a ampliação do *Data Center* em questão, e isso aumenta a necessidade de movimentação dentro do *Data Center*, foi definido pela direção da STI que não era possível manter o teste pelo período planejado previamente (30 dias), para

Figura 27 – Nó TX04 fixado no rack.



Fonte: Elaborada pelo autor.

não atrapalhar a instalação dos novos equipamentos. No entanto, ainda foi possível avaliar o sistema por um período de 15 dias. Durante este período, foi possível coletar muitas informações referentes às três modulações propostas (SUN-FSK, SUN-OQPSK e SUN-OFDM) e ainda fazer a configuração para o monitoramento em tempo real e geração de alertas por e-mail ou telegram em casos de mudança de temperatura e/ou umidade para um nível não desejado.

4.1.1 Resultados para a Modulação SUN-FSK

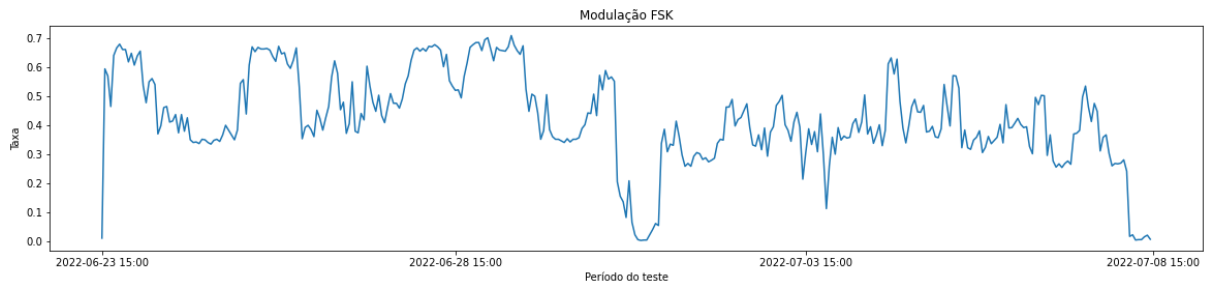
Para está modulação foi observada uma taxa média total de entrega de pacotes (protocolo - PROT) de 42,18% e, com o uso da técnica de replicação de pacotes (aplicação - APP), a taxa média total subiu para 49,75%, conforme observa-se na Tabela 4. Nessa análise, considerou-se as transmissões realizadas por todo os nós durante o período de teste. Na Figura 28 é mostrado um gráfico com a taxa de entrega de pacotes a cada minuto sem o uso de replicação de pacotes (PROT) e, na Figura 29, tem-se a mesma métrica, mas com o uso de replicação de pacotes (APP).

Tabela 4 – Taxa média de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK.

Nó	PROT	APP
TODOS	42,18%	49,75%
TX01	96,79%	97,94%
TX02	39,56%	51,67%
TX03	7,94%	17,47%
TX04	31,15%	53,33%

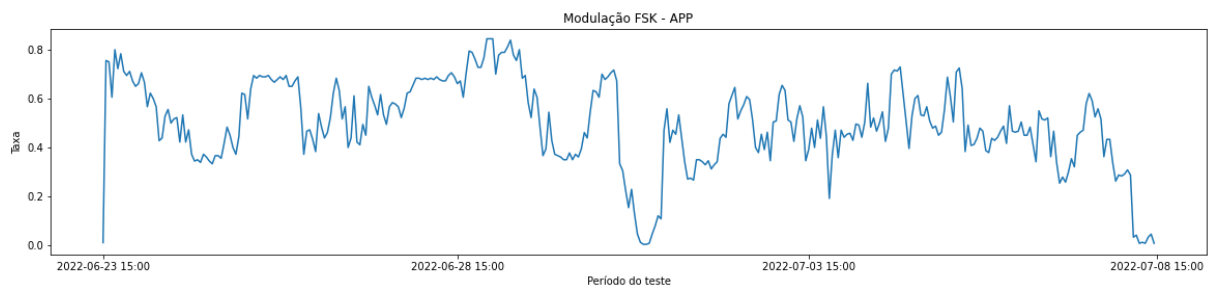
É interessante analisar também os dados obtidos por cada nó individualmente, desta

Figura 28 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 29 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).



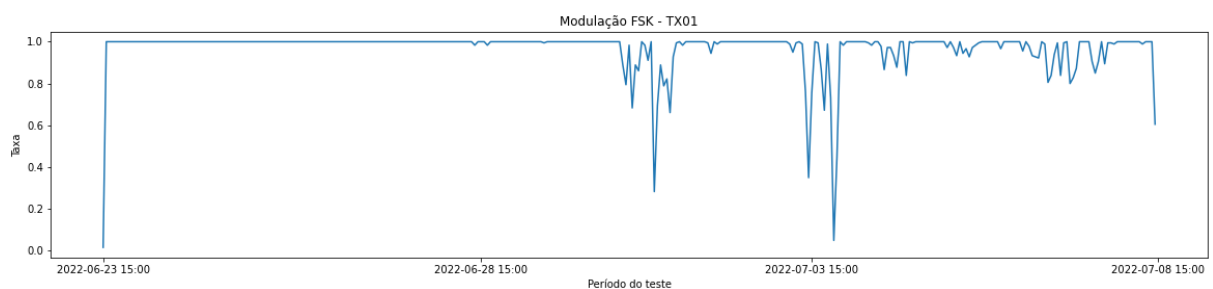
Fonte: Elaborada pelo autor.

forma temos:

4.1.1.1 Nó TX01

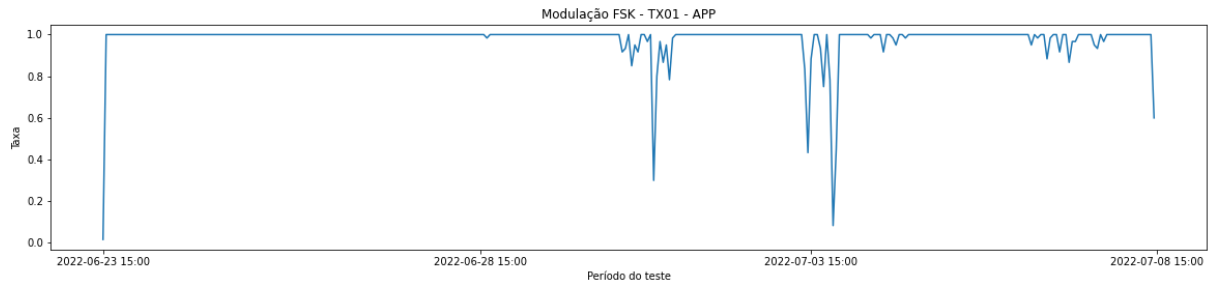
Para este nó, nesta modulação alcançou-se uma taxa média total de entrega de pacotes (protocolo - PROT) de 96,79%. Com o uso da técnica de replicação de pacotes (aplicação - APP), a taxa média total subiu para 97,94%, conforme observa-se na Tabela 4. Na Figura 30 é mostrado um gráfico com a taxa de entrega de pacotes a cada minuto, sem o uso de replicação de pacotes (PROT) e na Figura 31 tem-se a mesma métrica, mas com o uso da replicação de pacotes (APP).

Figura 30 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK, para o nó TX01.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 31 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK, para o nó TX01, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).

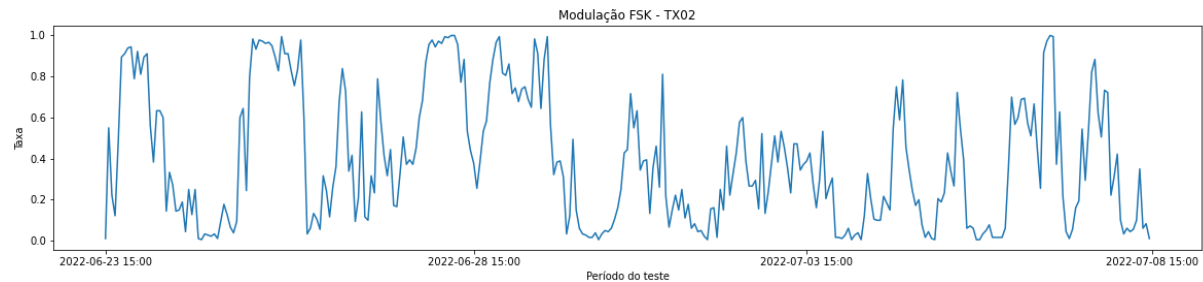


Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.1.2 Nó TX02

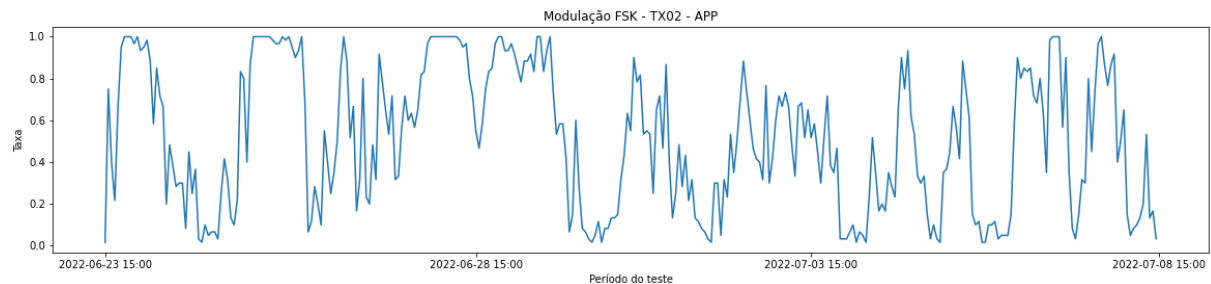
Já para este nó, foi alcançada uma taxa média total de entrega de pacotes (protocolo - PROT) de 39,56%. Com o uso da técnica de replicação de pacotes (aplicação - APP), a taxa média total subiu para 51,67%, conforme observa-se na Tabela 4. Na Figura 32, apresenta-se um gráfico com a taxa de entrega de pacotes a cada minuto, sem o uso de replicação de pacotes (PROT) e na Figura 33 tem-se a mesma métrica, mas com o uso da replicação de pacotes (APP).

Figura 32 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK, para o nó TX02.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 33 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK, para o nó TX02, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).

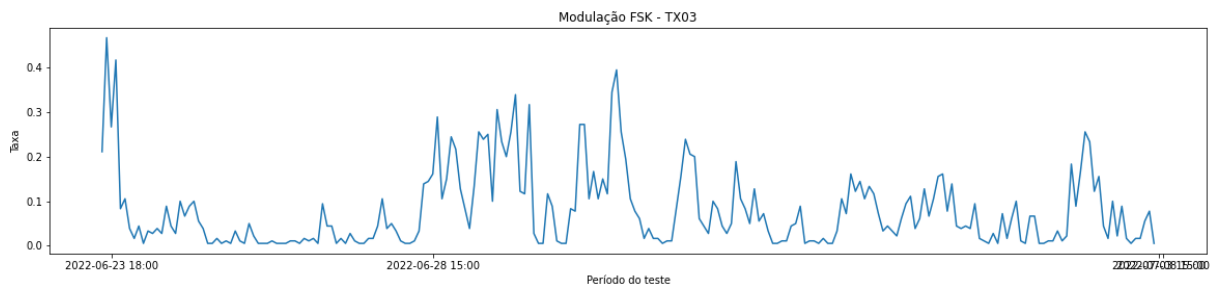


Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.1.3 Nó TX03

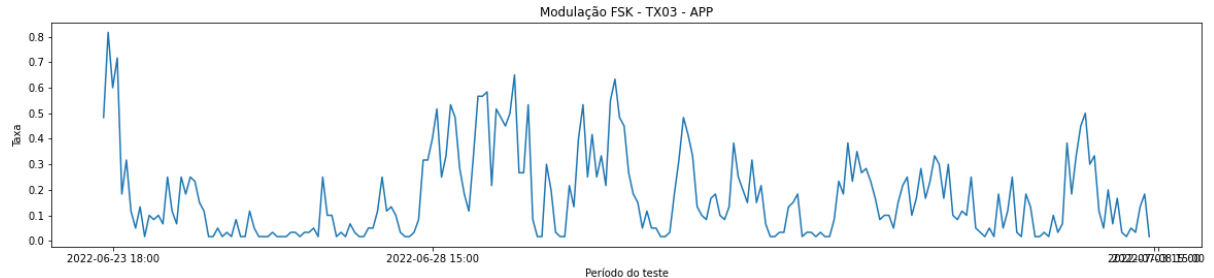
Para este nó, foi alcançada uma taxa média total de entrega de pacotes (protocolo - PROT) de 7,94%. Com o uso da técnica de replicação de pacotes (aplicação - APP), a taxa média total subiu para 17,47%, conforme observa-se na Tabela 4. Na Figura 34 apresenta-se um gráfico com a taxa de entrega de pacotes a cada minuto, sem o uso de replicação de pacotes (PROT) e na Figura 35 tem-se a mesma métrica, mas com o uso de replicação de pacotes (APP).

Figura 34 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK, para o nó TX03.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 35 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK, para o nó TX03, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).



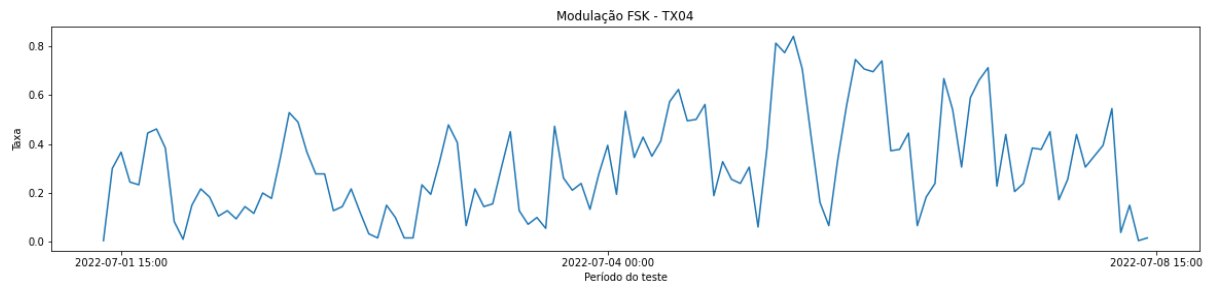
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.1.4 Nó TX04

Para o nó TX04 observou-se uma taxa média total de entrega de pacotes (protocolo - PROT) de 31,15%. Com o uso da técnica de replicação de pacotes (aplicação - APP) a taxa média total subiu para 53,33%, conforme observa-se na Tabela 4. Na Figura 36 apresenta-se um gráfico com a taxa de entrega de pacotes a cada minuto, sem o uso de replicação de pacotes (PROT) e na Figura 37 tem-se a mesma métrica, mas com o uso da replicação de pacotes (APP).

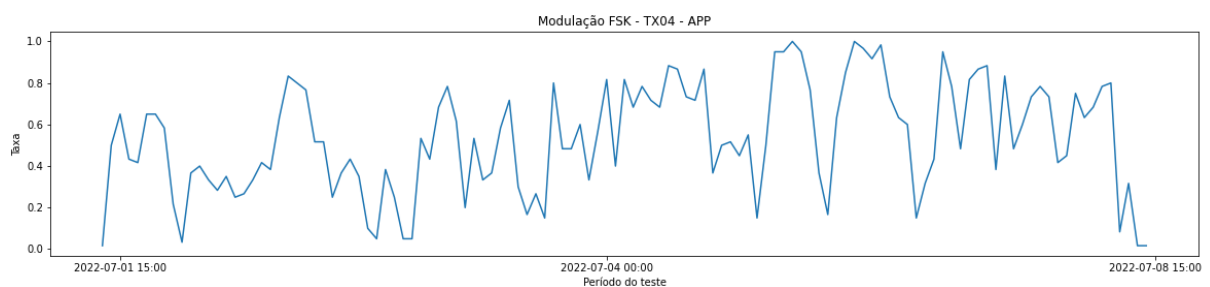
Como é possível observar na Tabela 4, a taxa média de entrega de pacotes variou muito entre os nós, com o nó TX01 ficando com mais de 96% de taxa média de entrega de pacotes, o TX02 com mais de 39%, o TX03 com menos de 8% e o TX04 com mais de 31%. Essa variação entre o nó TX01 e o nó TX02 provavelmente ocorreu por causa do aumento da distância e do número de barreiras que, em ambos os casos, eram maiores para o nó TX02.

Figura 36 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK, para o nó TX04.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 37 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-FSK, para o nó TX04, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Já o nó TX03 apresentou uma taxa média de entrega de pacotes muito baixa para essa modulação. Embora tenha sido instalado na parte de trás de um dos Racks e entre a parede (com quadros elétricos), o resultado foi muito diferente dos outros nós, gerando uma desconfiança de problemas com o hardware do nó. Desconfiança esta, também gerada pelo nó TX04, que embora tenha conseguido um resultado bem melhor que o TX03, estava posicionado próximo ao nó TX01 e com as mesmas quantidades de barreiras até o *gateway* deste, mesmo assim ficou com a taxa de entrega de pacotes de menos de um terço do nó TX01.

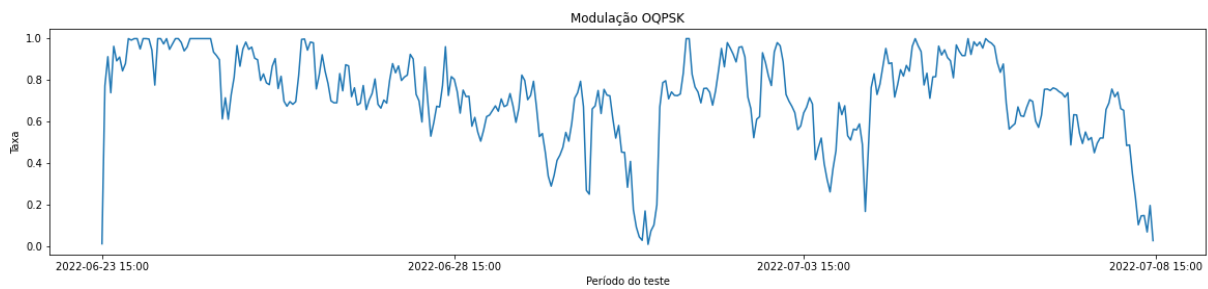
Também é possível observar nos gráficos uma significativa variação na taxa de entrega de pacotes, para um mesmo nó, muitas vezes ao longo de um mesmo dia. Essa variação pode ter várias causas, desde obstáculos temporários, até interferência do sinal por outro equipamento que não estava ligado antes.

4.1.2 Resultados para a Modulação SUN-OQPSK

Para a modulação SUN-OQPSK observou-se uma taxa média total de entrega de pacotes (protocolo - PROT) de 71,95%. Com o uso da técnica de replicação de pacotes (aplicação - APP), a taxa média total subiu para 77,14%, conforme observa-se na Tabela 5. Nessa análise, considerou-se as transmissões realizadas por todo os nós durante o período de teste. Na Figura 38, apresenta-se um gráfico com a taxa de entrega de pacotes a cada minuto, sem o uso de replicação de pacotes (PROT) e na Figura 39, tem-se a mesma métrica, mas com o uso da replicação de

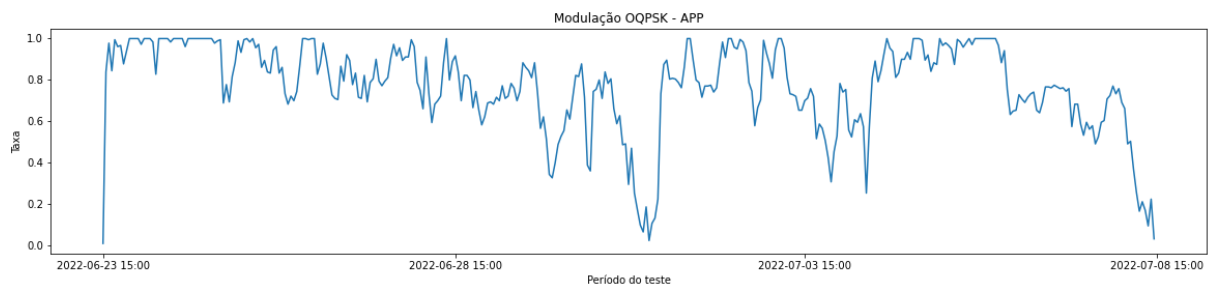
pacotes. (APP).

Figura 38 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 39 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 5 – Taxa média de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK.

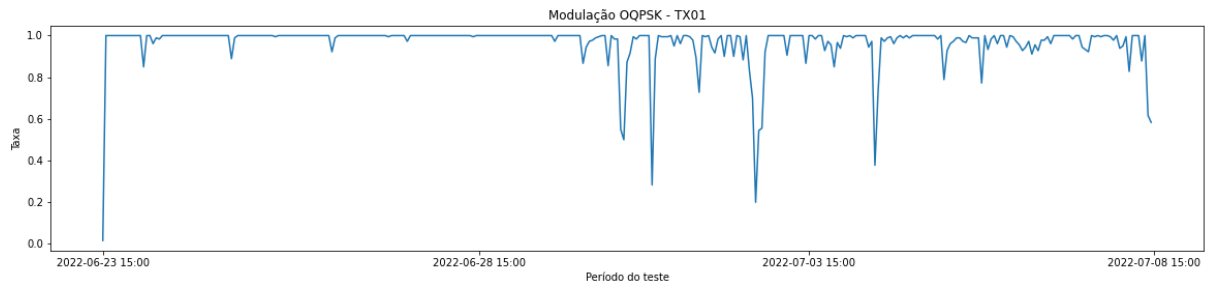
Nó	PROT	APP
TODOS	71,95%	77,14%
TX01	96,47%	97,86%
TX02	82,37%	87,37%
TX03	51,87%	60,99%
TX04	88,85%	92,30%

É interessante analisar também os dados obtidos por cada nó individualmente, desta forma temos:

4.1.2.1 Nó TX01

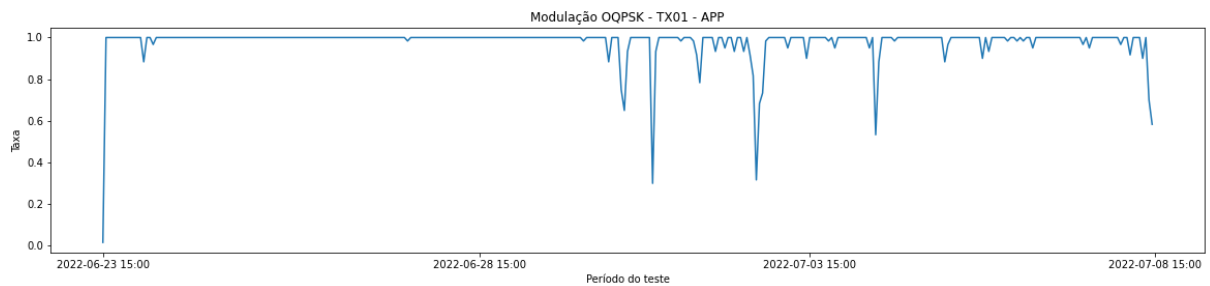
Para este nó, nesta modulação alcançou-se uma taxa média total de entrega de pacotes (protocolo - PROT) de 96,47%, com o uso da técnica de replicação de pacotes (aplicação - APP), a taxa média total subiu para 97,86%, conforme observa-se na Tabela 5. Na Figura 40, apresenta-se um gráfico com a taxa de entrega de pacotes a cada minuto, sem o uso de replicação de pacotes (PROT) e na Figura 41, tem-se a mesma métrica, mas com o uso da replicação de pacotes (APP).

Figura 40 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK, para o nó TX01.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 41 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK, para o nó TX01, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).

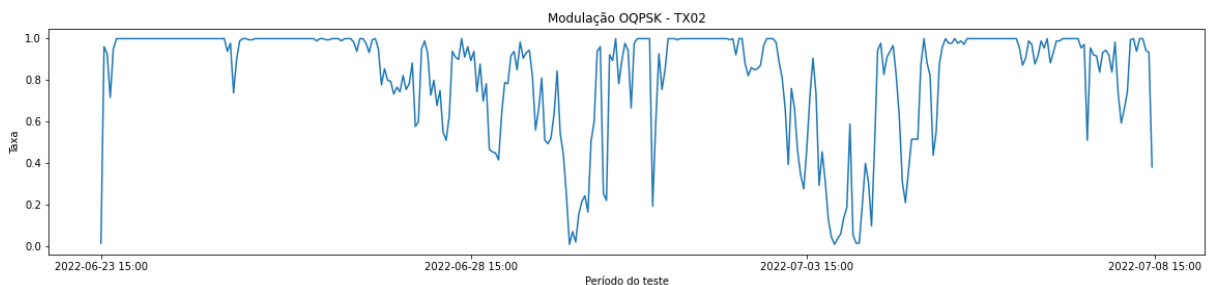


Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.2.2 Nó TX02

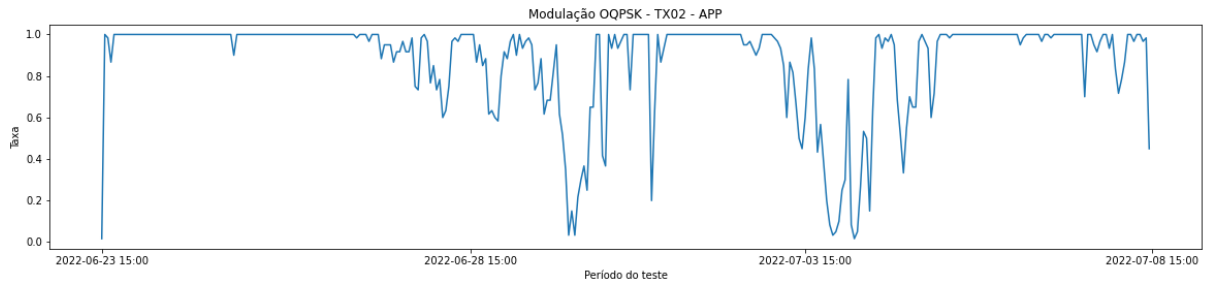
Já para este nó, foi alcançada uma taxa média total de entrega de pacotes (protocolo - PROT) de 82,37%. Com o uso da técnica de replicação de pacotes (aplicação - APP), a taxa média total subiu para 87,37%, conforme observa-se na Tabela 5. Na Figura 42, apresenta-se um gráfico com a taxa de entrega de pacotes a cada minuto, sem o uso de replicação (PROT) e na Figura 43, tem-se a mesma métrica, mas com o uso da replicação de pacotes (APP).

Figura 42 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK, para o nó TX02.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 43 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK, para o nó TX02, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).

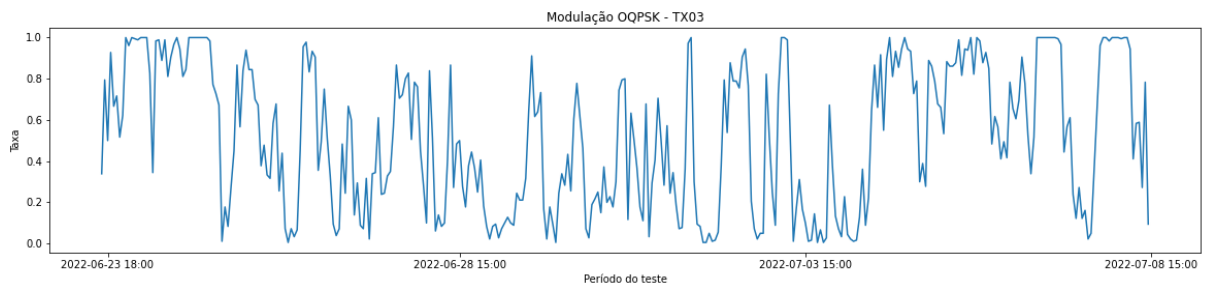


Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.2.3 Nó TX03

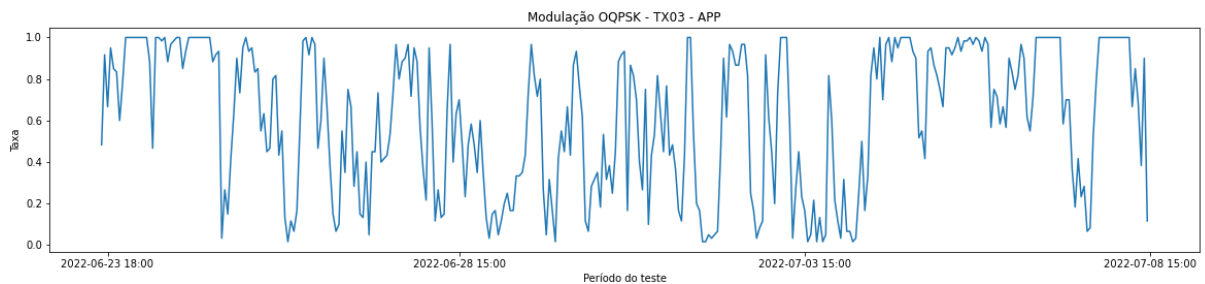
Para este nó, foi alcançada uma taxa média total de entrega de pacotes (protocolo - PROT) de 51,87%. Com o uso da técnica de replicação de pacotes (aplicação - APP), a taxa média total subiu para 60,99%, conforme observa-se na Tabela 5. Na Figura 44, apresenta-se um gráfico com a taxa de entrega de pacotes a cada minuto, sem o uso de replicação de pacotes (PROT) e na Figura 45, tem-se a mesma métrica, mas com o uso da replicação de pacotes (APP).

Figura 44 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK, para o nó TX03.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 45 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK, para o nó TX03, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).

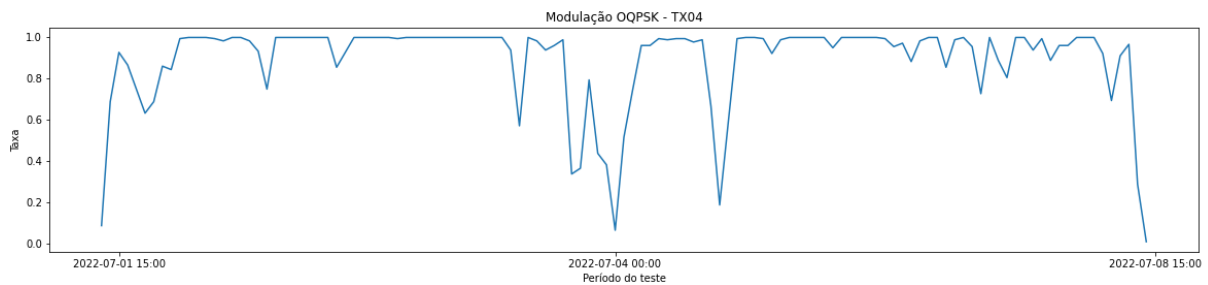


Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.2.4 Nó TX04

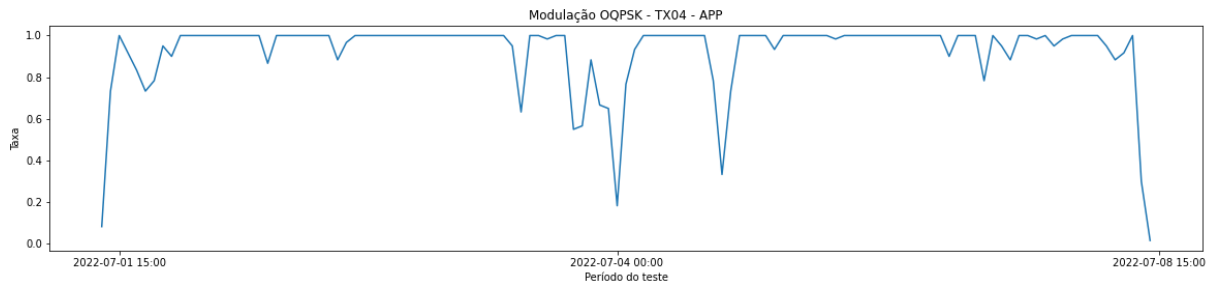
Para o nó TX04 observou-se uma taxa média total de entrega de pacotes (protocolo - PROT) de 88,85%. Com o uso da técnica de replicação de pacotes (aplicação - APP) a taxa média total subiu para 92,30%, conforme observa-se na Tabela 5. Na Figura 46, apresenta-se um gráfico com a taxa de entrega de pacotes a cada minuto, sem o uso de replicação de pacotes (PROT) e na Figura 47, tem-se a mesma métrica, mas com o uso da replicação de pacotes (APP).

Figura 46 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK, para o nó TX04.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 47 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OQPSK, para o nó TX04, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).



Fonte: Elaborada pelo autor.

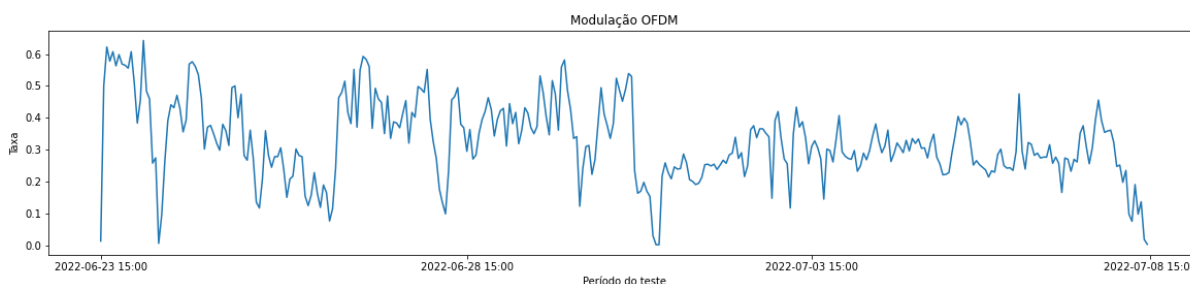
Observando-se a Tabela 5, identifica-se que a taxa média de entrega de pacotes variou muito entre os nós, mas a variação foi menor quando comparado com o resultado obtido para a modulação SUN-FSK. Na modulação SUN-OQPSK, o nó TX01 ficou com mais de 96% de taxa média de entrega de pacotes, o TX02 com mais de 82%, o TX03 com mais de 51% e o TX04 com mais de 88%. A variação entre o nó TX01 e o nó TX02 provavelmente ocorreu por causa do aumento da distância e do número de barreiras, como discutido anteriormente para a modulação SUN-FSK, mas com uma diferença bem menor entre os dois nós. Já o nó TX03, embora tenha apresentado resultado bem melhor que o observado para a modulação SUN-FSK, o resultado continua muito diferente dos outros, gerando uma desconfiança de problemas com o hardware do nó durante parte do experimento. Para essa modulação, o nó TX04 conseguiu resultados bem melhores, mas ainda um pouco menores que o nó TX01.

Da mesma forma que na modulação SUN-FSK, na modulação SUN-OQPSK também é possível observar nos gráficos uma significativa variação na taxa de entrega de pacotes, para um mesmo nó, muitas vezes ao longo de um mesmo dia.

4.1.3 Resultados para a Modulação SUN-OFDM

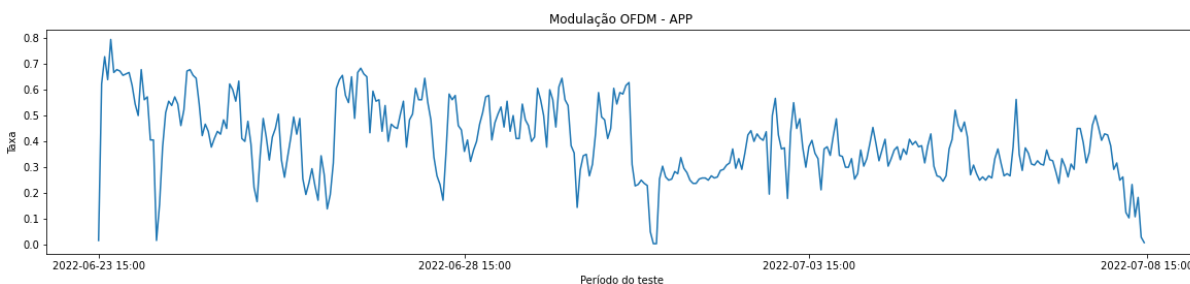
Para esta modulação foi observada uma taxa média total de entrega de pacotes (protocolo - PROT) de 32,59%, com o uso da técnica de replicação de pacotes (aplicação - APP), a taxa média total subiu para 39,98%, conforme observa-se na Tabela 6. Nessa análise, considerou-se as transmissões realizadas por todos os nós durante o período de teste. Na Figura 48 é apresentado um gráfico com a taxa de entrega de pacotes a cada minuto sem a replicação de pacotes (PROT) e na Figura 49, tem-se a mesma métrica, mas com o uso da replicação de pacotes (APP).

Figura 48 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 49 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 6 – Taxa média de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM.

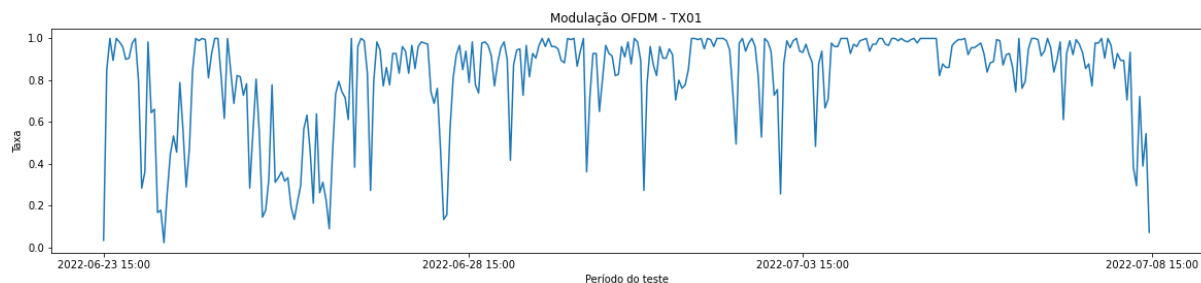
Nó	PROT	APP
TODOS	32,59%	39,98%
TX01	81,35%	88,86%
TX02	33,27%	48,73%
TX03	1,85%	5,13%
TX04	7,25%	15,58%

É interessante analisar também os dados obtidos por cada nó individualmente, desta forma temos:

4.1.3.1 Nó TX01

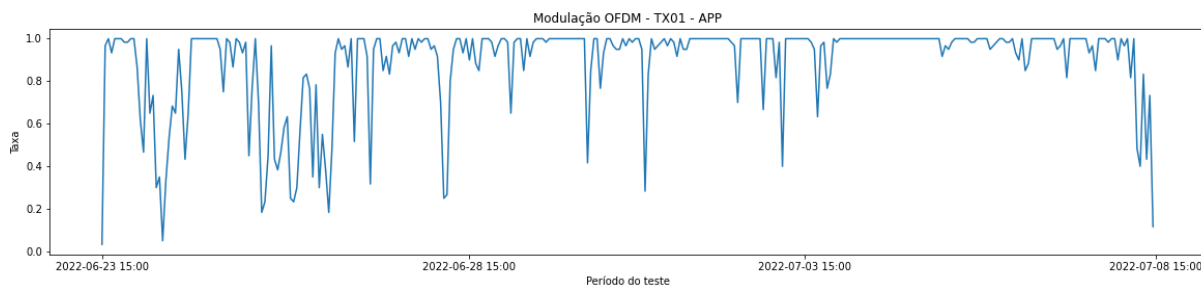
Para este nó, nesta modulação alcançou-se uma taxa média total de entrega de pacotes (protocolo - PROT) de 81,35%. Com o uso da técnica de replicação de pacotes (aplicação - APP), a taxa média total subiu para 88,86%, conforme observa-se na Tabela 6. Na Figura 50 é mostrado um gráfico com a taxa de entrega de pacotes a cada minuto sem a replicação de pacotes (PROT) e na Figura 51, apresenta-se a mesma métrica, mas com o uso da replicação de pacotes (APP).

Figura 50 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM, para o nó TX01.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 51 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM, para o nó TX01, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).

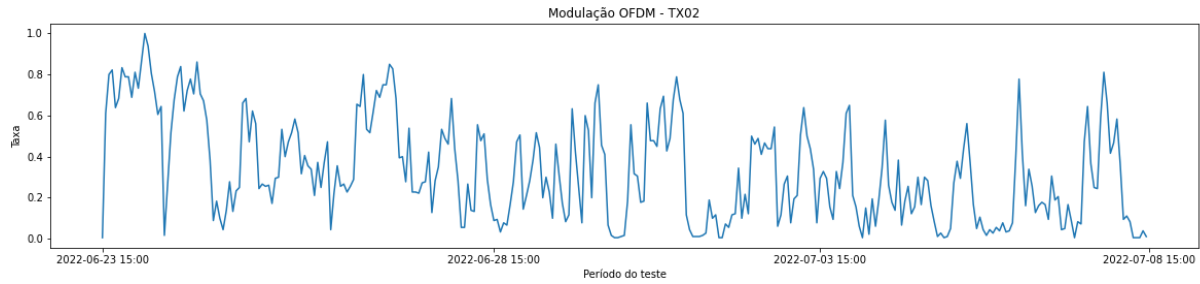


Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.3.2 Nó TX02

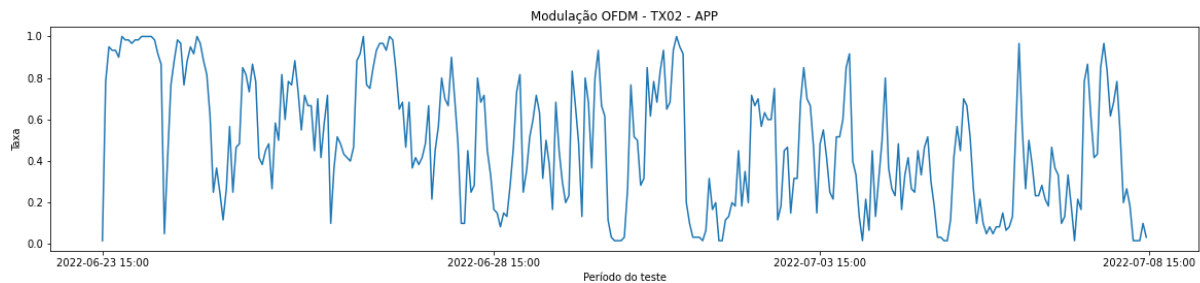
Já para este nó, foi alcançada uma taxa média total de entrega de pacotes (protocolo - PROT) de 33,27%. Com o uso da técnica de replicação de pacotes (aplicação - APP), a taxa média total subiu para 48,73%, conforme observa-se na Tabela 6. Na Figura 52, apresenta-se um gráfico com a taxa de entrega de pacotes a cada minuto, sem a replicação de pacotes (PROT) e na Figura 53, tem-se a mesma métrica, mas com o uso da replicação de pacotes (APP).

Figura 52 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM, para o nó TX02.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 53 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM, para o nó TX02, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).

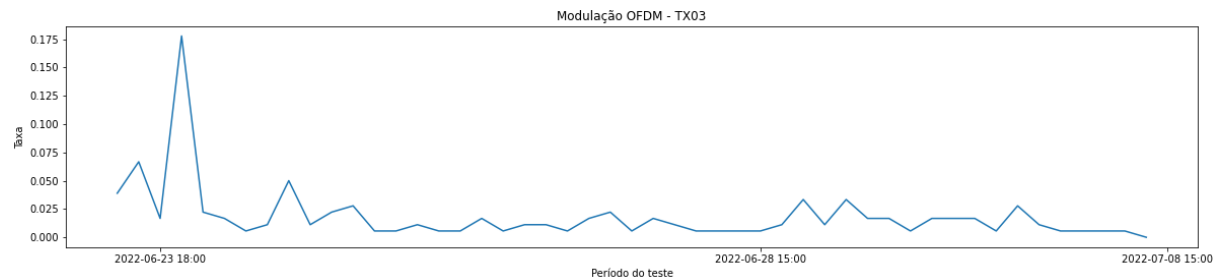


Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.3.3 Nó TX03

Para este nó, foi alcançada uma taxa média total de entrega de pacotes (protocolo - PROT) de 1,85%. Com o uso da técnica de replicação de pacotes (aplicação - APP), a taxa média total subiu para 5,13%, conforme observa-se na Tabela 6. Na Figura 54 é apresentado um gráfico com a taxa de entrega de pacotes a cada minuto, sem a replicação de pacotes (PROT) e na Figura 55, tem-se a mesma métrica, mas com o uso da replicação de pacotes (APP).

Figura 54 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM, para o nó TX03.

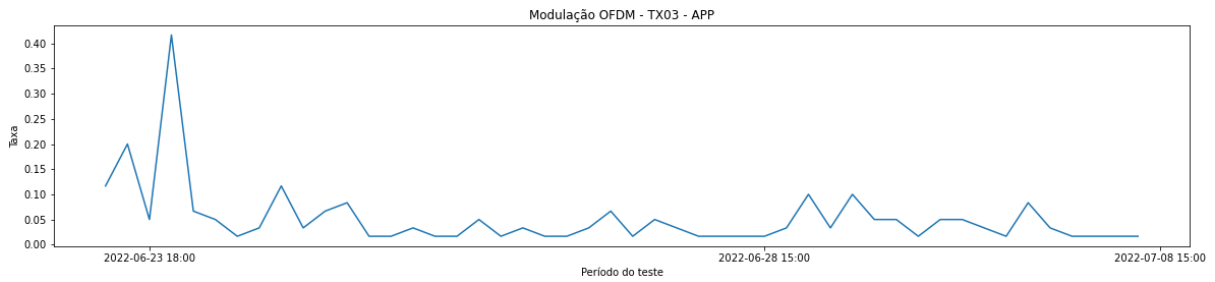


Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.3.4 Nó TX04

Para o nó TX04 observou-se uma taxa média total de entrega de pacotes (protocolo - PROT) de 7,25%. Com o uso da técnica de replicação de pacotes (aplicação - APP) a taxa

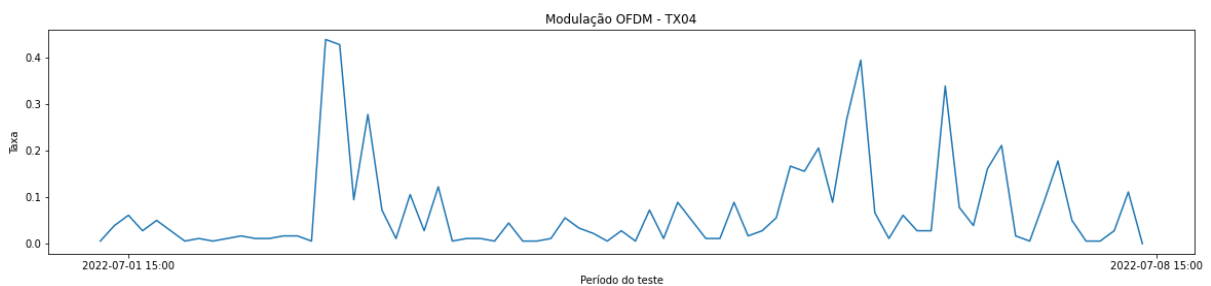
Figura 55 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM, para o nó TX03, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).



Fonte: Elaborada pelo autor.

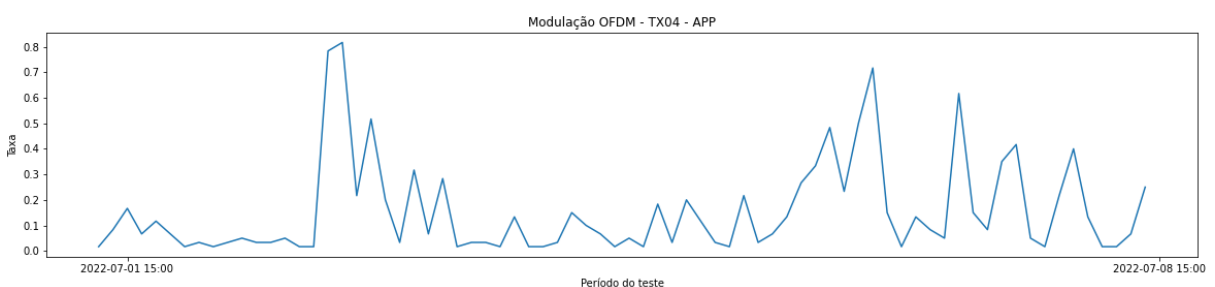
média total subiu para 15,58%, conforme observa-se na Tabela 6. Na Figura 56 apresenta-se um gráfico com a taxa de entrega de pacotes a cada minuto, sem a replicação de pacotes (PROT) e na Figura 57, tem-se a mesma métrica, mas com o uso da replicação de pacotes (APP).

Figura 56 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM, para o nó TX04.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 57 – Taxa de entrega de pacote para a modulação SUN-OFDM, para o nó TX04, na camada de aplicação (considerando replicação de pacotes).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Observando-se a Tabela 6, identifica-se que a taxa média de entrega de pacotes variou muito entre os nós, com a maior variação apresentada por todos as modulações. O nó TX01 ficou com mais de 81% de taxa média de entrega de pacotes, o TX02 com mais de 33%, o TX03 com menos de 2% e o TX04 com mais de 7%. A modulação SUN-OFDM foi a que apresentou os piores resultado na taxa média de entrega de pacotes, tanto por nó, quanto geral. Isso se deve

à menor potência de transmissão permitida para essa modulação pelo dispositivo usado, como também discutido em Tuset-Peiró et al. (2020).

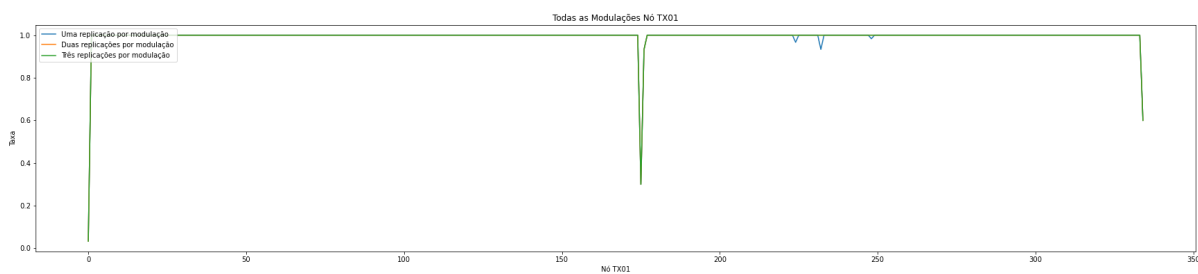
Da mesma forma que as outras modulações, na modulação SUN-OFDM também é possível observar nos gráficos uma significativa variação na taxa de entrega de pacotes, para um mesmo nó, muitas vezes ao longo de um mesmo dia.

4.2 Diversidade de modulação e Replicação de pacotes

Nessa seção é descrita uma análise para verificar se o uso da replicação de pacotes é suficiente para mitigar os problemas de confiabilidade nos enlaces e se o uso de diversidade de modulação pode auxiliar no aumento de confiabilidade. No caso do uso de diversidade de modulação cada replicação de um mesmo pacote é realizada em uma modulação diferente, para evitar possíveis problemas de confiabilidade momentâneos em uma determinada modulação. Também foi analisado o uso das duas soluções em conjunto.

Comparando o gráfico apresentando na Figura 58, com o gráfico da Figura 41, que é o gráfico com a taxa de entrega de pacotes para o nó TX01, na modulação SUN-OQPSK (modulação com melhores resultados), usando replicação de pacotes, identifica-se uma melhora na taxa de entrega de pacotes, com o uso da diversidade de modulação. Mas com médias de 99,33% com uma replicação por modulação, 99,36% com duas replicações por modulação e 99,36% para três replicações por modulação. A taxa média fica menos de 2% maior que taxa média deste nó com o uso da modulação SUN-OQPSK com replicação de pacotes.

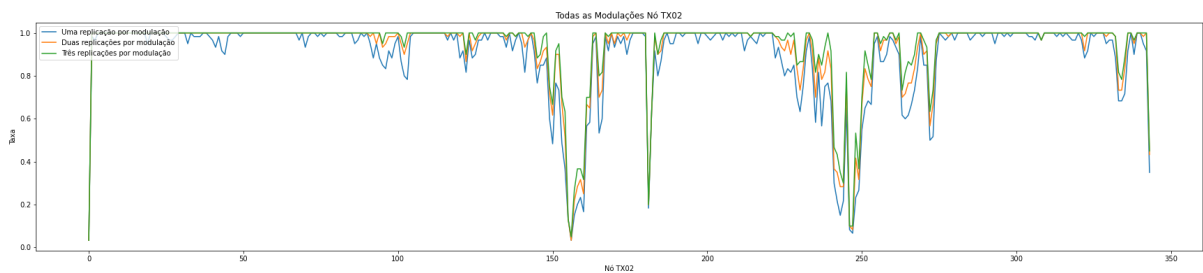
Figura 58 – Taxa de entrega de pacote para todas as modulações, para o nó TX01 (Uma replicação por modulação, duas replicações por modulação e três replicações por modulação).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Comparando o gráfico apresentando na Figura 59, com o gráfico da Figura 43, que é o gráfico com a taxa de entrega de pacotes para o nó TX02, na modulação SUN-OQPSK (modulação com melhores resultados), usando replicação de pacotes, identifica-se uma ligeira melhora na taxa de entrega de pacotes (dois pontos percentuais), com o uso da diversidade de modulação (ou seja, cada réplica do pacote é transmitida com uma modulação diferente).

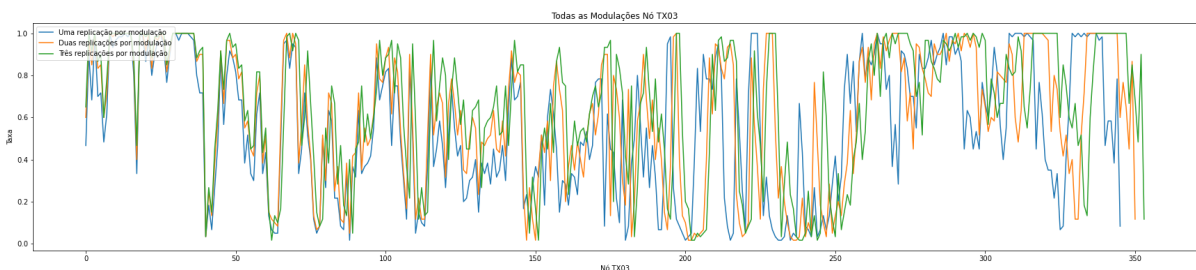
Figura 59 – Taxa de entrega de pacote para todas as modulações, para o nó TX02 (Uma replicação por modulação, duas replicações por modulação e três replicações por modulação).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Também avaliou-se a taxa de entrega considerando duas replicações com cada modulação (seis replicações no total) e três replicações com cada modulação (nove replicações no total). Utilizando três replicações com modulações diferentes observou-se uma taxa de entrega de pacote média de 89,37%. Já utilizando duas replicações por modulação alcançou-se 92,80%, enquanto que para três replicações por modulação chegou-se a uma taxa de entrega média de 94,17%.

Figura 60 – Taxa de entrega de pacote para todas as modulações, para o nó TX03 (Uma replicação por modulação, duas replicações por modulação e três replicações por modulação).



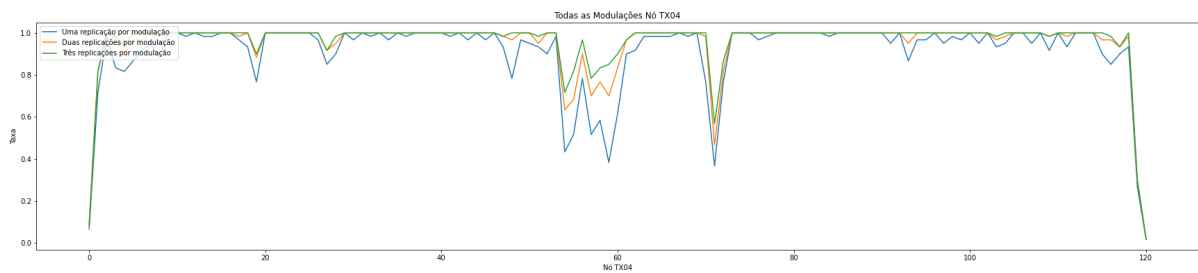
Fonte: Elaborada pelo autor.

Comparando o gráfico apresentando na Figura 60 com o gráfico da Figura 45, que é o gráfico com a taxa de entrega de pacotes para o nó TX03, na modulação SUN-OQPSK (modulação com melhores resultados), usando replicação de pacotes, identifica-se uma pequena melhora na taxa de entrega de pacotes com o uso da diversidade de modulação, mas apenas quando mais replicações são utilizadas também, de modo que não é possível afirmar que a melhora foi devido ao uso de diferentes modulações, para esse nó.

Utilizando três replicações com modulações diferentes observou-se uma taxa de entrega de pacote média de 55,34%. Já utilizando duas replicações por modulação alcançou-se 61,62%, enquanto que para três replicações por modulação chegou-se a uma taxa de entrega média de 65,53%. A taxa média de entrega de pacotes para este nó só com a modulação SUN-OQPSK e com três replicações foi de 60,99%. Dessa forma, tem-se que para este nó a diversidade de

modulação só é melhor quando usada em conjunto com replicação de pacotes. No entanto, caso mais transmissões fossem feitas usando SUN-OQPSK a taxa de entrega provavelmente também seria melhor.

Figura 61 – Taxa de entrega de pacote para todas as modulações, para o nó TX04 (Uma replicação por modulação, duas replicações por modulação e três replicações por modulação).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Comparando o gráfico apresentando na Figura 61 com o gráfico da Figura 47, que é o gráfico com a taxa de entrega de pacotes para o nó TX04, na modulação SUN-OQPSK (modulação com melhores resultados), usando replicação de pacotes, identifica-se uma pequena melhora na taxa de entrega de pacotes com o uso da diversidade de modulação, mas também apenas quando mais replicações são utilizadas, de maneira similar ao nó TX03.

Utilizando três replicações com modulações diferentes observou-se uma taxa de entrega de pacote média de 91,06%. Já utilizando duas replicações por modulação alcançou-se 94,85%, enquanto que para três replicações por modulação chegou-se a uma taxa de entrega média de 95,89%. A taxa média de entrega de pacotes para este nó só com a modulação SUN-OQPSK e com três replicações foi de 92,30%. Dessa forma, tem-se que para este nó a diversidade de modulação só é melhor quando usada em conjunto com replicação de pacotes. No entanto, caso mais transmissões fossem feitas usando SUN-OQPSK a taxa de entrega provavelmente também seria melhor.

Percebe-se que para dois nós avaliados (TX03 e TX04) o que melhora a confiabilidade é usar mais replicações, mas isso aumenta consumo de energia e tráfego da rede. Para dois dos nós observou-se melhoria pequena ao usar as três modulações (TX01 e TX02). Dessa forma, uma boa solução seria usar um esquema de escolha dinâmica de modulação, para fazer com que os nós escolhessem as melhores combinações de forma autônoma, como explorado, por exemplo, em Gomes, Tuset-Peiró e Vilajosaba (2020).

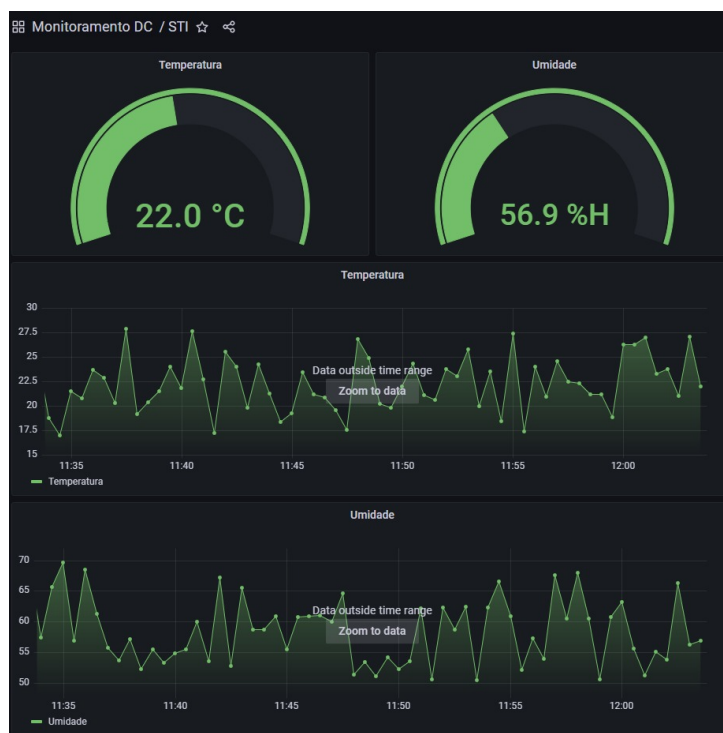
4.3 Monitoramento em tempo real e geração de alertas

Para permitir o monitoramento em tempo real foi utilizada a ferramenta *Grafana*, que consiste em uma aplicação web, de código fonte aberto, para análise e monitoramento e que pode

se conectar a diversas fontes de dados, fornecendo tabelas, gráficos e até alertas (GRAFANA..., 2022).

Com o *Grafana* é possível conectar, em tempo real, com a base de dados gerada pelo DCMonitor. Na Figura 62 apresenta-se um exemplo de uma tela no *Grafana* configurada para apresentar a temperatura e a umidade atual do *Data Center* na parte de cima e um histórico dessas informações nos gráficos abaixo.

Figura 62 – Monitoramento em tempo real da temperatura e umidade com o *Grafana*.



Fonte: Elaborada pelo autor.

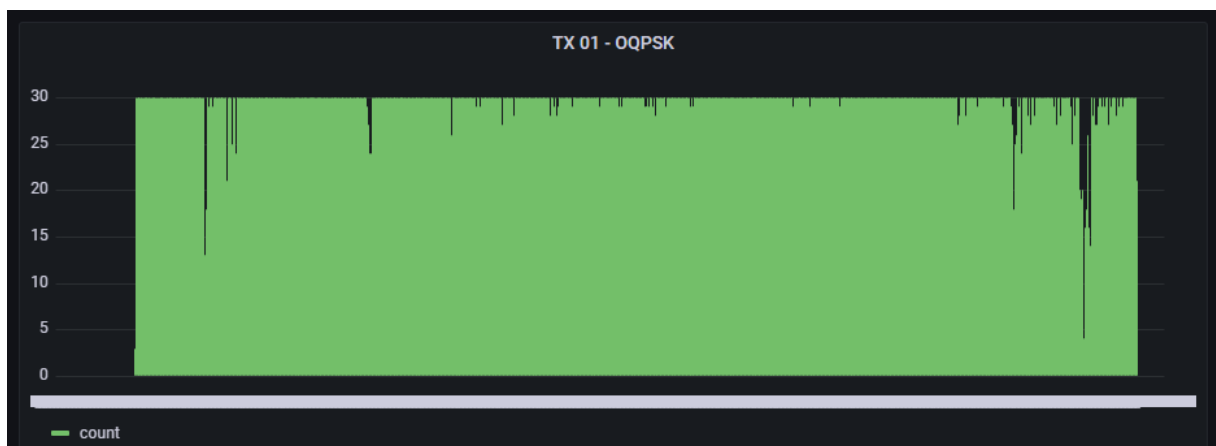
Podendo enviar alertas de várias formas e usando diversas ferramentas, entre elas o e-mail e o *Telegram*, o *Grafana* também funciona muito bem nesta tarefa. Na Figura 63 tem-se um exemplo de um desses alertas. Alerta este gerado quando o nó TX02 (gerador) chegou, de forma simulada, na temperatura de 30° C.

Com o uso do *Grafana* ainda é possível monitorar, em tempo real, as comunicações de cada nó, separando inclusive por modulação se necessário. Na Figura 64 é mostrado um exemplo deste monitoramento para o nó TX01 e a modulação SUN-OQPSK, agrupadas de 10 em 10 minutos. Com este monitoramento é possível identificar problemas pontuais nos nós, como falha na bateria, entre outros.

Figura 63 – Alerta enviado pelo *Telegram*.

```
**Alerta**  
Value: [30]  
Labels:  
  - alertname = Gerador  
Annotations:  
  - summary = Teste  
Source: https://iot.sti.ufpbr.be:3000/alerting/grafana/2gyj8DCnz/view  
Silence: https://iot.sti.ufpbr.be:3000/alerting/silence/new?alertmanager=  
grafana&matcher=alertname%3DGerador  
Dashboard: https://iot.sti.ufpbr.be:3000/d/9d-WADj7k  
Panel: https://iot.sti.ufpbr.be:3000/d/9d-WADj7k?viewPanel=6
```

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 64 – Monitoramento das comunicações com o *Grafana*..

Fonte: Elaborada pelo autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentado o DCMonitor, uma ferramenta que possibilita o monitoramento de um *Data Center* com o uso de dispositivos *IoT* e usando RSSF, com suas vantagens e facilidades em relação a outros meios de comunicação para monitoramento. Para isso, adotou-se o Padrão IEEE 802.15.4g, com técnicas de diversidade de modulação, nas três diferentes modulações (SUN-FSK, SUN-OQPSK e SUN-OFDM). A partir dos resultados obtidos, foi possível avaliar o desempenho da rede nas diferentes modulações.

5.1 Contribuições da Pesquisa

Dentre as principais contribuições deste trabalho, identificou-se que a modulação que melhor se adapta ao cenário apresentado é a SUN-OQPSK, pois essa modulação conseguiu as melhores taxas de transmissões para todos os nós, ficando assim com a melhor média entre as modulações testadas. Identificou-se também, que o uso da diversidade de modulação pode melhorar um pouco a taxa de entrega de pacotes para alguns nós. Melhora essa, pouco significativa, principalmente quando comparado com a replicação de pacotes na modulação SUN-OQPSK. Por isso, e por gerar uma complexidade e custo mais elevado ao sistema, só recomenda-se o uso dessa técnica em conjunto com a técnica de replicação de pacotes, em sistemas que necessitem de uma baixa tolerância a falhas e com o uso de algum mecanismo que permita escolher de forma mais inteligente a configuração a ser usada para cada nó.

Identificou-se ainda a viabilidade de implantação do sistema DCMonitor no *Data Center* da Universidade Federal da Paraíba e outros ambientes do prédio da Superintendência de Tecnologia da Informação - STI.

5.2 Trabalhos Futuros

Como sugestão de trabalhos futuros nesta mesma linha de pesquisa, cita-se:

- Realizar testes com diferentes potências de transmissão, nas modulação SUN-OQPSK, visando otimizar o consumo de energia;
- Adaptação e implantação do sistema DCMonitor em *Data Centers* de outras instituições e em outros ambientes que necessitem de monitoramento;
- Avaliação do sistema com a infraestrutura de rede compartilhada com outras aplicações de *IoT* no campus;

- Testes de mecanismos de escolha dinâmica de modulação para transmissão de cada replicação dos pacotes.

Como resultado desta dissertação, foi publicado um artigo na X Conferência Nacional em Comunicações, Redes e Segurança da Informação (CEZAR FILHO; GOMES; COSTA, 2020). Além disso, um artigo para a revista IEEE América Latina está em processo de submissão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. *Computer networks*, Elsevier, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010. Citado na página 19.

BORGIA, E. The internet of things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, Elsevier, v. 54, p. 1–31, 2014. Citado na página 19.

CACIATO, L. E. Virtualização e consolidação dos servidores do datacenter. *Campinas: CCUEC, [ca. 2009]. Disponível em: < http://www. ccuec. unicamp. br/bit/download/Artigo_Virtualizacao_Datacenter. pdf>.*, v. 25, 2015. Citado na página 66.

CASTRO, J. M. d. et al. Refinamento de políticas para auxiliar no gerenciamento de dispositivos iot em hospitais inteligentes. Universidade Federal da Paraíba, 2019. Citado na página 19.

CEZAR FILHO, Z. M.; GOMES, R. D.; COSTA, A. F. B. F. d. Desafios e aplicações de internet das coisas para monitoramento de datacenters. X Conferência Nacional em Comunicações, Redes e Segurança da Informação - ENCOM 2020, p. 73–74, 2020. Citado na página 62.

EC. *European Commission, Smart cities*. 2022. <https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_pt>. Acessado em: 06-04-2022. Citado na página 23.

GOMES, R. D. et al. Desafios de redes de sensores sem fio industriais. *Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação*, v. 4, n. 1, p. 16–27, 2014. Citado na página 20.

GOMES, R. D.; TUSET-PEIRÓ, P.; VILAJOSANA, X. Improving link reliability of ieee 802.15.4g sun with adaptive modulation diversity. In: *2020 IEEE 31st Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–7. Citado na página 58.

GRAFANA. 2022. <<https://grafana.com/>>. Acessado em: 15-08-2022. Citado na página 59.

KOHLER, E. L. et al. *Comunicação cooperativa em redes IEEE 802.15. 4g sob interferência LoRaWAN*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020. Citado na página 21.

LIU, Q. et al. Green data center with iot sensing and cloud-assisted smart temperature control system. *Computer Networks*, Elsevier, v. 101, p. 104–112, 2016. Citado na página 66.

MARFIEVICI, R. et al. Tales from the c130 horror room: A wireless sensor network story in a data center. In: *Proceedings of the first ACM international workshop on the engineering of reliable, robust, and secure embedded wireless sensing systems*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 24–31. Citado 3 vezes nas páginas 17, 23 e 24.

MEDINA-SANTIAGO, A. et al. Adaptive model iot for monitoring in data centers. *IEEE Access*, IEEE, v. 8, p. 5622–5634, 2019. Citado 3 vezes nas páginas 24, 25 e 26.

MEHTA, G.; MITTRA, G.; YADAV, V. K. Application of iot to optimize data center operations. In: *IEEE. 2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON)*. [S.l.], 2018. p. 738–742. Citado 4 vezes nas páginas 24, 25, 26 e 29.

- MOTTA, A. C. S.; LIMA, C. d. A.; CUNHA, T. C. d. C. Campus universitário e espaço urbano: integração socioespacial em metrópole e cidades médias no sul do Brasil. In: DEPARTAMENT D'URBANISME I ORDENACIÓ DEL TERRITORI. UNIVERSITAT POLITÈCNICA X *Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Córdoba, Junio 2018*. [S.l.], 2018. Citado na página 23.
- NEVES, A. R. d. M. et al. Iniciativa smart campus: um estudo de caso em progresso na universidade federal do Pará. In: SBC. *Anais do I Workshop de Computação Urbana*. [S.l.], 2017. Citado na página 23.
- OLIVEIRA, T. d. A. Redes dinâmicas de sensores sem fio zigbee para aplicações de monitoramento e controle. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2015. Citado na página 20.
- POLONELLI, T. et al. A lorawan wireless sensor network for data center temperature monitoring. In: SPRINGER. *International Conference on Applications in Electronics Pervading Industry, Environment and Society*. [S.l.], 2018. p. 169–177. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- ROSS, K. W.; KUROSE, J. F. Redes de computadores e a internet: Uma abordagem top-down. São, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- SANTOS, B. P. et al. Internet das coisas: da teoria à prática. *Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, v. 31, 2016. Citado na página 19.
- SARAIVA, F. A. M. et al. Controle dinâmico de potência em redes wi-sun/ieee 802.15. 4g em topologia linear. Universidade Federal da Paraíba, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.
- SHIELDS, I. *Industrial Shields*. 2021. <<https://www.industrialshields.com/>>. Acessado em: 24-05-2021. Citado na página 32.
- TANENBAUM, A. S. *Sistemas operacionais modernos*. [S.l.]: Pearson Education do Brasil, 2016. v. 4. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 66.
- TAURION, C. *Cloud computing-computação em nuvem*. [S.l.]: Brasport, 2009. Citado na página 16.
- TEIXEIRA, D.; VOGEL, A.; GRIEBLER, D. Proposta de monitoramento e gerenciamento inteligente de temperatura em datacenters. In: SBC. *Anais da XVII Escola Regional de Redes de Computadores*. [S.l.], 2020. p. 33–40. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 66.
- TIA. *Telecommunications Industry Association*. 2021. <tiaonline.org>. Acessado em: 20-04-2021. Citado na página 66.
- TUSET-PEIRÓ, P. et al. A dataset to evaluate IEEE 802.15.4g SUN for Dependable Low-Power Wireless Communications in Industrial Scenarios. *Data*, MDPI AG, XX, n. YY, p. ZZ, Aug 2020. ISSN 2306-5729. Citado 7 vezes nas páginas 21, 22, 26, 27, 31, 33 e 56.
- YAN, B.-N.; LEE, T.-S.; LEE, T.-P. Mapping the intellectual structure of the internet of things (iot) field (2000–2014): A co-word analysis. *Scientometrics*, Springer, v. 105, n. 2, p. 1285–1300, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 19.
- ZUCCHI, W. L.; AMÂNCIO, A. B. Construindo um data center. *Revista USP*, n. 97, p. 43–58, 2013. Citado na página 66.

Apêndices

APÊNDICE A – DATA CENTERS

Data Center (Centro de Dados - em português) é uma instalação centralizada que abriga os principais equipamentos de Tecnologia da Informação (TI), que executam várias funções, como processamento, armazenamento, gerenciamento e troca de informação digital (TEIXEIRA; VOGEL; GRIEBLER, 2020)(TANENBAUM, 2016).

A importância das informações armazenadas em seus equipamentos e o alto custo de construção e também de manutenção destes, chamam a atenção do público em geral, mesmo a grande maioria das pessoas não sabendo o que é exatamente. O *Data Center* é o sucessor dos antigos centros de processamento de dados - CPDs dos anos 70 e 80. Mas com uma diferença principal, atualmente estes são formados por centenas ou até milhares de computadores (servidores), em vez de um único ou alguns poucos computadores dos antigos CPDs. Além de abrigar muitos equipamentos, este ambiente é mais dinâmico do que se imagina, muitos equipamentos vão se tornando obsoletos e sendo retirados e novos equipamentos, que demandam novas interfaces, com novos padrões de conexão, são adicionados no decorrer do tempo (ZUCCHI; AMÂNCIO, 2013).

Por concentrar muitos equipamentos de TI, na sua maioria com componentes sensíveis a variações de temperatura e umidade, bem como a variações bruscas de energia, é necessário que este ambiente seja monitorado 24/7 (LIU et al., 2016).

A.0.1 Padrão TIA 942

A norma TIA 942 (TIA, 2021) define os critérios para a construção de *Data Centers*, com a especificação dos requisitos para a construção civil, energia elétrica, ar condicionado, cabeamento estruturado, sistemas de proteção contra fogo etc (CACIATO, 2015).

A TIA 942 define 4 níveis, denominados *Tiers* (camadas), os quais correspondem a uma classificação progressiva de disponibilidade da infraestrutura de um *Data Center*. Os *Tiers* possuem as seguintes características básicas:

Tiers I - Básico

Infraestrutura de *Data Center* em que não há redundância em nenhum dos subsistemas:

- Possibilidade de parada programadas e não programadas;
- Norma EIA/TIA 606 A aplicada na identificação (cabeamento, painéis e conectores);
- Porta de entrada com no mínimo 1 x 2,13 metros;

- Piso elevado com capacidade de suportar no mínimo 733 Kg/m²;
- Pé direito de no mínimo 2,6 metros;
- Sistema de climatização sem componentes redundantes;
- Para a realização de manutenções preventivas e corretivas, deverá ser completamente desligado;
- Há outras características técnicas inerentes a este *Tiers* aqui não mencionadas.

Disponibilidade de sites *Tiers* I: 99,67% - Downtime anual permitido: 28,8h

***Tiers* II - Componentes Redundantes**

Infraestrutura de Data Center com alguns subsistemas redundantes, porém com uma única entrada de distribuição elétrica:

- Equipamentos de TI com fonte de alimentação redundante;
- Norma EIA/TIA 606 A aplicada na identificação (cabearamento, painéis e conectores);
- Porta de entrada com no mínimo 1 x 2,13 metros;
- Controle de Acesso requerido;
- Piso elevado com capacidade de suportar no mínimo 857 Kg/m²;
- Pé direito de no mínimo 2,7 metros;
- Módulos UPS redundantes e grupos geradores fazem parte da infraestrutura de alimentação de suprimento de energia elétrica;
- Há outras características técnicas inerentes a este *Tiers* que neste documento não estão sendo citadas.

Disponibilidade de sites *Tiers* II: 99,75% - Downtime anual permitido: 22,0h

***Tiers* III - Manutenção simultânea**

Infraestrutura de Data Center possuindo componentes redundantes para a distribuição (elétrica e outros sistemas e subsistemas):

- Equipamentos de TI com fonte de alimentação redundante;
- Localização física: distância mínima não inferior a 1,6 Km de aeroportos;

- Norma EIA/TIA 606 A aplicada na identificação (cabearamento, painéis e conectores);
- Porta de entrada com no mínimo 1 x 2,13 metros;
- CFTV requerido;
- Controle de Acesso requerido;
- Piso elevado com capacidade de suportar no mínimo 1225 Kg/m²;
- Possui dois pontos de entrada de energia elétrica;
- Pé direito de no mínimo 3,0 metros;
- Módulos UPS redundantes e grupos geradores fazem parte da infraestrutura de alimentação de suprimento de energia elétrica;
- Há possibilidade de manutenção sem risco de parada do Data Center;
- Há outras características técnicas inerentes a este *Tiers* que neste documento não estão sendo citadas.

Disponibilidade de sites *Tiers* III: 99,98% - Downtime anual permitido: 1,6h

***Tiers* IV - Infraestrutura Tolerante a Falhas**

Infraestrutura de Data Center tolerante a falhas, Isto é, possui sistemas redundantes de distribuição elétrica e outros subsistemas:

- Equipamentos de TI com fonte de alimentação redundante;
- Localização física: distância mínima não inferior a 8 Km de aeroportos;
- Norma EIA/TIA 606 A aplicada na identificação (cabearamento, painéis e conectores);
- Porta de entrada com no mínimo 1,2 x 2,13 metros;
- CFTV requerido;
- Controle de Acesso requerido;
- Piso elevado com capacidade de suportar no mínimo 1225 Kg/m²;
- Possui dois pontos de entrada de energia elétrica, oriundos de subestações de eletricidade distintas;
- Pé direito de no mínimo 3,0 metros;

- Infraestrutura tolerante a falhas, possuindo sistema de redundância em todos os subsistemas;
- Há outras características técnicas inerentes a este *Tiers* que neste documento não estão sendo citadas.

Disponibilidade de sites *Tiers IV*: 99,9999% - Downtime anual permitido: 0,8 h

APÊNDICE B – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

OPENMOTE B

- Processador ARM Cortex-M3:
 - Executa a 16 MHz ou 32 MHz
 - 32 Kbytes RAM
 - 512 Kbytes FLASH
- Periféricos on-chip:
 - 4x propósito geral, 1x temporizador
 - 1x 12 bit ADC com 8 canais
 - 2x SPI, 2x UART, 1x I2C
- Operação de baixa energia:
 - Modo ativo: 7/13mA (16/32 MHz)
 - LPM1: 600uA (retenção total, 4us wake-up)
 - LPM2: 1.3 uA (16 Kbyte RAM retenção, 128us wake-up, wake-up do RTC)
 - LPM3: 0.4 uA (16 Kbyte RAM retenção, 128us wake-up, wake-up do GPIO)

Os Transceptores:

- Operando na banda ISM de 2.4 GHz com suporte para IEEE 802.15.4-2006
 - Modulação: OQPSK with DSSS
 - Taxa de dados: 250 kbps
 - Sensibilidade do receptor: -97 dBm
 - Potência de transmissão: 7 dBm
 - Corrente de transmissão: 24 mA a 0 dBm
 - Corrente de recepção: 20 mA
- Operando nas bandas ISM 868/915MHz e 2.4 GHz com suporte para IEEE 802.15.4g-2012
 - Modulação: MR-FSK/OFDM/O-QPSK
 - Taxa de dados: 6.25 kbps to 2400 kbps
 - Sensibilidade do receptor: -123 dBm

- Potência de transmissão: 14.5dBm
- Corrente de transmissão: 62 mA a 14 dBm
- Corrente de recepção: 28 mA