

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA – PATOS DE MINAS  
ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

MATEUS LÁZARO SILVERIO E SILVA

**ANÁLISE DO PROTOCOLO RPL EM REDES LLNs NO  
AMBIENTE DE INTERNET DAS COISAS, *HEALTHCARE***

MATEUS LÁZARO SILVERIO E SILVA

**ANÁLISE DO PROTOCOLO RPL EM REDES LLNs NO  
AMBIENTE DE INTERNET DAS COISAS, *HEALTHCARE***

Trabalho de conclusão de curso 2 apresentado à banca examinadora como requisito parcial para a aprovação na disciplina de TCC2 da graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações, da Faculdade de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Patos de Minas.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Karine Barbosa Carbonaro

MATEUS LÁZARO SILVERIO E SILVA

**ANÁLISE DO PROTOCOLO RPL EM REDES LLNs NO  
AMBIENTE DE INTERNET DAS COISAS, *HEALTHCARE***

Trabalho de conclusão de curso 2 apresentado à banca examinadora como requisito parcial para a aprovação na disciplina de TCC2 da graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações, da Faculdade de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Patos de Minas.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Karine Barbosa Carbonaro

Patos de Minas, 21 de junho de 2021

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Karine Barbosa Carbonaro**  
**Universidade Federal de Uberlândia**  
**Orientadora**

---

**Prof. Dr. Davi Sabbag Roveri**  
**Universidade Federal de Uberlândia**  
**Examinador**

---

**Prof. Dr. Daniel Costa Ramos**  
**Universidade Federal de Uberlândia**  
**Examinador**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente à Deus, por não me proporcionar o que eu quero, mas tudo aquilo que necessito. À minha mãe Beatriz e ao meu pai Flávio, pelo incondicional apoio e por sempre acreditarem em mim quando eu mesmo não mais acreditava. À minha namorada Gracielle por todo o carinho e incentivo. À professora e orientadora Karine pelo apoio e conhecimento passado desde a introdução à engenharia até o TCC. À Universidade Federal de Uberlândia, e todos professores e colaboradores pela dedicação e empenho. Aos meus amigos que sempre levo comigo, os de verdade sabe quem são.

## RESUMO

Assim como diversos setores econômicos e sociais estão em ascensão tecnológica, o ambiente de cuidados com a saúde surge como uma área pouco explorada no campo das comunicações. O potencial da Internet das Coisas pode ser um grande aliado para auxiliar o setor da saúde como um todo, desde ambientes hospitalares e monitoramento domiciliar. Devido as características dos equipamentos, uma aposta seria a utilização do protocolo de roteamento RPL, desenvolvido para redes de baixa potência e equipamentos com baixa performance de processamento e capacidade energética. A demanda de equipamentos de suporte à vida é bem alta, e disponibiliza ao profissional da saúde uma quantidade muito grande de dados, esse trabalho visa contribuir para possibilitar o emprego do IoT, buscando facilitar a utilização dos equipamentos e contribuir para saúde e qualidade de vida das pessoas. O objetivo principal é utilizar recursos existentes para simular ambientes de cuidado com a saúde, estudando o comportamento dos dispositivos. Para essa aplicação será utilizado o simulador de redes COOJA, disponível no sistema operacional Contiki, simulando dois tipos de ambientes comuns a saúde, com características distintas, como a presença de um alto número de equipamentos ligados a mesma rede, e a presença de mobilidade.

**Palavras-chave:** *Redes de baixa potência; RPL; Internet Das Coisas; Assistência Médica; Contiki/COOJA.*

## ABSTRACT

Just as several economic and social sectors are on the rise in technology, the healthcare environment has emerged as an under-explored area in the field of communications. The potential of the Internet of Things can be a great ally to assist the health sector as a whole, from hospital environments to home monitoring. Due to the equipment's characteristics, a bet would be the use of the RPL routing protocol, developed for low power networks and equipment with low processing performance and energy capacity. The demand for life support equipment is very high, and by providing health professionals with a very large amount of data, this work aims to contribute to making the use of IoT viable, seeking to facilitate the use of equipment and contribute to health and life quality of people. The main objective is to use the existing resources to simulate health environments, studying the behavior of the devices. For this application, the COOJA network simulator, available in the Contiki operating system, will be used, simulating two types of environments common to health, with different characteristics, such as the presence of a large number of equipment connected to the same network, and the presence of mobility.

**Keywords:** *Low Power and Lossy Networks; RPL; Internet of Things; HealthCare; Contiki/COOJA.*

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Crescimento global da comunicação M2M. ....	17
<b>Figura 2</b> – Crescimento global da conexão M2M por setores. ....	18
<b>Figura 3</b> – IoT Desafios e Oportunidades.....	19
<b>Figura 4</b> – Comunicação entre o protocolo 6LoWPAN e o IPv6.....	22
<b>Figura 5</b> – Topologia RPL.....	23
<b>Figura 6</b> – Interface de Simulações do software COOJA.....	25
<b>Figura 7</b> – Arquitetura de rede IoT.....	26
<b>Figura 8</b> – Estrutura conceitual de uma rede IoT em três camadas.....	26
<b>Figura 9</b> – Estrutura conceitual de uma rede IoT em cinco camadas.....	27
<b>Figura 10</b> – Exemplo de um sistema IoT aplicado no cenário <i>Healthcare</i> . ....	29
<b>Figura 11</b> – Topologia de Rede IoT para o primeiro cenário. ....	33
<b>Figura 12</b> – Topologia de rede IoT para o segundo cenário.....	34
<b>Figura 13</b> – Inicialização do simulador COOJA. ....	35
<b>Figura 14</b> – Criação de uma nova simulação no <i>software</i> COOJA.....	36
<b>Figura 15</b> – Caminho para criação de nós no simulador. ....	36
<b>Figura 16</b> – Tipos de nós utilizados na simulação e diretório onde se encontram. ....	37
<b>Figura 17</b> – Criação e posicionamento inicial dos nós. ....	38
<b>Figura 18</b> – Topologia de rede montada no simulador para o primeiro cenário. ....	39
<b>Figura 19</b> – Resultados obtidos para média do ETX no primeiro cenário. ....	40
<b>Figura 20</b> – Número de transmissões necessárias para que a mensagem chegue ao nó raiz...	41
<b>Figura 21</b> – Parâmetro ETX medido ao longo do tempo de simulação.....	41
<b>Figura 22</b> – Estimativa da perda de pacotes. ....	42
<b>Figura 23</b> – Consumo energético para o primeiro cenário. ....	42
<b>Figura 24</b> – Intervalo de beacon para o primeiro cenário.....	43
<b>Figura 25</b> – Conteúdo de uma mensagem DIO enviada do nó 6 para nó raiz.....	44
<b>Figura 26</b> – Conteúdo de uma mensagem DIO enviada do nó 10 para nó raiz.....	45
<b>Figura 27</b> – Topologia de rede montada no simulador para o segundo cenário.....	46
<b>Figura 28</b> – Exemplo do arquivo responsável pela mobilidade dos nós móveis.....	46
<b>Figura 29</b> – Resultados obtidos para média do ETX no segundo cenário.....	47
<b>Figura 30</b> – Número de transmissões necessárias para que a mensagem chegue ao nó raiz...	48
<b>Figura 31</b> – Parâmetro ETX medido ao longo do tempo de simulação.....	48

<b>Figura 32</b> – Pacotes recebidos por cada nó móvel. ....	49
<b>Figura 33</b> – Estimativa da perda de pacotes. ....	49
<b>Figura 34</b> – Consumo energético para o segundo cenário.....	50
<b>Figura 35</b> – Intervalo de beacon para o primeiro cenário.....	51
<b>Figura 36</b> – Conteúdo de uma mensagem DIO enviada do nó 5 para nó raiz.....	52
<b>Figura 37</b> – Conteúdo de uma mensagem DIO enviada do nó 3 para nó raiz.....	53
<b>Quadro 1</b> – Especificações dos Recursos Utilizados. ....	31



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**IOT** – Internet Das Coisas – (*Internet of Things*).

**M2M** – Máquina a Máquina – (*Machine-to-Machine*).

**LLNs** – Redes de Baixa Potência com Perdas – (*Low-Power and Lossy Networks*).

**RPL** – Protocolo de Roteamento para Redes de Baixa Potência e com Perdas – (*Routing Protocol for Low Power and Lossy Network*)

**UTI** – Unidade de Terapia Intensiva

**ECG** – Eletrocardiógrafo

**CAGR** – Taxa de Crescimento Anual – (*Compound Annual Growth Rate*)

**RSSF** – Redes de Sensores sem Fio

**WSN** – *Wireless Sensor Network*

**IPV6** – *Internet Protocol Version*

**HITL** – *Human-in-the-Loop*

**P2P** – Ponto a Ponto – (*Point to Point*)

**P2MP** – Ponto a Multiponto – (*Point to Multipoint*)

**MP2P** – Multiponto a Ponto – (*Multipoint to Point*)

**ROLL-WG** – Grupo de trabalho de Roteamento sobre LLNS – (*Routing Over LLNs Working Group*)

**IETF** – *Internet Engineering Task Force*

**6LoWPAN** – IPV6 sobre Redes Sem Fio de Área Pessoal e Baixo Consumo de Energia – (*IPV6 Over Low Power Wireless Personal Area Network*)

**MTU** – Unidade Máxima de Transmissão – (*Maximum Transmission Unit*)

**ROLL** – *Routing Over Low Power and Lossy Networks*

**DAG** – Grafo Acíclico Direcionado – (*Direct Acyclic Graph*)

**DODAG** – Grafos Acíclicos com Destino Orientado (*Destination-Oriented Acyclic Graph*)

**DIO** – Informações do objeto DODAG – (*DODAG Information Object*)

**DIS** – Solicitação de Informação DODAG – (*DODAG Information Solicitation*)

**DAO** – Anúncio do Destino do Objeto – (*DODAG Advertisement Object*)

**COOJA** – *Contiki OS Java*

**NFs** – Nós Fixos

**NMs** – Nós Móveis

**ETX** – Valor de Transmissão Esperada – (*Expected Transmission Count*)

**PDR** – Taxa de Entrega de Pacotes – (*Packet Delivery Ratio*)

**AMIB** – Associação de Medicina Intensiva Brasileira

# SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	13
1.1. INTRODUÇÃO.....	13
1.2. TEMA DO PROJETO.....	13
1.3. PROBLEMATIZAÇÃO.....	14
1.4. OBJETIVOS.....	15
1.4.1. Objetivos Gerais.....	15
1.4.2. Objetivos Específicos.....	15
1.5. JUSTIFICATIVAS.....	15
1.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	16
CAPÍTULO II.....	17
2.1. INTRODUÇÃO AO IOT.....	17
2.2. REDES LLNs.....	19
2.3. PROTOCOLO RPL.....	20
2.4. CONTIKI / COOJA.....	24
2.5. ARQUITETURA DE REDE E APLICAÇÕES.....	25
2.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
CAPÍTULO III.....	31
3.1. MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.2. CENÁRIO DE SIMULAÇÕES.....	32
3.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
CAPÍTULO IV.....	35
4.1. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	35
4.1.1. Cenário 1.....	38
4.1.2. Cenário 2.....	45
4.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
CAPÍTULO V.....	54

5.1.	CONCLUSÃO.....	54
5.2.	ESTUDOS FUTUROS.....	55
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIAS .....	56

# CAPÍTULO I

## 1.1. INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas (IOT - *Internet of Things*) é um novo paradigma na área de comunicações sem fio, que visa alcançar a interligação e a comunicação entre um número enorme de dispositivos, que em um futuro próximo, tende a crescer ainda mais e estar conectado na rede IOT. Com o avanço tecnológico, principalmente no contexto das comunicações, o IOT vem se popularizando em diversas áreas, que vão de atividades simples do cotidiano, até grandes processos industriais, agricultura, sensoriamento, incluindo pontos que até então pareciam complexos de serem explorados, como por exemplo o cenário de cuidados com a saúde, termo adotado como *HealthCare*. O IOT pode significar um grande avanço nesse âmbito, trazendo benefícios e aumento de recursos, que se estendem desde a entrada de equipamentos hospitalares na rede, até o uso de sensores para monitoramento dos parâmetros básicos e complexos de saúde, diagnósticos remotos e mesmo questões simples de cuidados e bem-estar, abrindo um espaço para a criação de dispositivos e aplicativos inteligentes, para auxiliar não só pacientes, mas a infinidade de profissionais dedicados ao ramo.

As redes de comunicação máquina a máquina, do inglês *Machine-to-Machine* (M2M), são normalmente compostas por milhares de dispositivos com alta restrição de recursos, que são conectados com links sem fio dinâmicos e com perdas, são conhecidos como redes de baixa potência e com perdas, do inglês *Low-Power and Lossy Networks* (LLNs). Um fator fundamental nas redes LLNs é o roteamento, já que os dados precisam ser transmitidos por meio de um número enorme de dispositivos embarcados e com restrição de recursos. Para esse estudo, foram criados grupos de padronização de protocolos, e disso surgiu um importante protocolo de roteamento para redes LLNs, que é o *Routing Protocol for Low Power and Lossy Network* (RPL), o protocolo RPL é considerado um forte artifício para redes LLNs a fim de promover redes IOT e comunicações M2M, sendo, portanto, fator de suma relevância para o presente estudo [1].

## 1.2. TEMA DO PROJETO

Análise do protocolo RPL em redes LLNs no cenário de Internet das coisas (IOT) com foco em *HealthCare*.

### 1.3. PROBLEMATIZAÇÃO

Um fator de extrema importância e que está diretamente ligado à qualidade de um setor hospitalar, é quanto à funcionalidade dos equipamentos presentes, bem como a eficiente utilização e operação dos mesmos pelos profissionais de saúde [2]. A otimização torna-se um amplo desafio em grandes centros clínicos, visto que estes detêm um vasto número de equipamentos e precisam, primordialmente, manter a manutenção dos dispositivos em dia, sejam manutenções preventivas ou corretivas, a fim de minimizar situações em que os equipamentos afirmam dados de pacientes de maneira incorreta, dificultando tanto o diagnóstico de doenças como o tratamento eficaz para cada condição.

As Unidades de Terapia Intensiva (UTIs), são áreas fundamentais nos estabelecimentos hospitalares e dependem de uma estrutura robusta para o suporte à vida do paciente, contando com equipamentos essenciais, como por exemplo: eletrocardiógrafo (ECG), oxímetro, monitor multiparamétrico, ventilador pulmonar, estativa e desfibrilador. Ao se tratar desses setores, é imprescindível que os equipamentos estejam em perfeito estado de funcionamento e atestem resultados precisos, uma vez que a maioria dos pacientes se encontram em circunstâncias potencialmente críticas e necessitam de um elevado grau de confiabilidade. Assim, o bom desempenho das máquinas é decisivo para que as unidades terapêuticas intensivas funcionem e auxiliem no salvamento de vidas [2].

Nessa perspectiva, o grande número de equipamentos que são utilizados em um mesmo paciente, torna-se um desafio para o profissional da saúde, no que diz respeito ao monitoramento. Uma máquina simples como o monitor de parâmetros, por exemplo, determina ao menos cinco parâmetros vitais básicos: temperatura corporal, frequência cardíaca, pressão arterial sistólica, saturação de oxigênio e respiração, que em conjunto com outros equipamentos, gera um grande volume de informações que necessitam ser aferidas a todo instante, além de equipamentos invasivos, como bombas de infusão, que são responsáveis por introduzir medicamentos, tendo o profissional que se atentar também quanto a dosagem manipulada, um apanhado de fatores que dificulta o dia a dia de um trabalhador da área.

Ademais, os cuidados com a saúde vão além do ambiente hospitalar ou de pessoas que estão necessariamente doentes. Atualmente, muitas disfunções podem ser identificadas e tratadas em casa e, principalmente as pessoas de idade avançada, que na maioria dos casos tem dificuldade de locomoção, necessita de alternativas para facilitar suas vidas, como a implementação de soluções através de dispositivos e sistemas inteligentes, que possam

contribuir para o bem-estar, para o acompanhamento e para o tratamento de doenças e até mesmo auxiliar nos cuidados de profilaxia.

## 1.4. OBJETIVOS

### 1.4.1. Objetivos Gerais

Desenvolver um estudo a fim de simular e implementar conceitos tecnológicos no cenário *Healthcare*, com o objetivo de especular possibilidades e melhorias que o IOT pode trazer ao campo da saúde e à qualidade de vida, através de dispositivos e soluções inteligentes.

### 1.4.2. Objetivos Específicos

Visando atender ao objetivo geral proposto é necessário cumprir os seguintes objetivos específicos:

- Aprofundar o estudo dos conceitos de Internet das coisas;
- Estudo do protocolo RPL para redes LLNs;
- Compreender as possibilidades e funcionalidades do simulador de redes COOJA/Contiki;
- Simular cenários para o emprego de IOT em ambientes *healthcare*.

## 1.5. JUSTIFICATIVAS

O setor de saúde está em transição, visto que busca enfrentar uma miríade de desafios de uma população envelhecida e de custos crescentes, até uma infraestrutura desatualizada e tecnologias e protocolos incompatíveis. Com advento do 5G, o verdadeiro potencial transformador da tecnologia inteligente e da Internet das Coisas, está próximo de figurar a realidade. O atual cenário de saúde exige cada vez mais soluções remotas, para atendimentos e diagnósticos longe de uma instituição hospitalar [3].

O uso de tecnologia inteligente na área da saúde tem avançado significativamente nos últimos anos, com a implementação de dispositivos poderosos como canetas de insulina inteligentes, inaladores conectados, monitores de asma e muito mais, nas mãos dos consumidores diários, permitindo que os mesmos gerenciem e atendam melhor suas próprias necessidades de saúde, bem como para ter acesso rapidamente à ajuda, se necessário.

Dispositivos vestíveis como biosensores e relógios inteligentes também permitem que profissionais de saúde monitorem remotamente as condições em andamento e coletem dados de seus pacientes, permitindo que a observação e o tratamento, que antes só eram possíveis em um ambiente institucional, ocorram em qualquer lugar [4].

Possibilitando o emprego do IOT bem como as comunicações M2M, temos as redes de sensores sem fio (RSSF), ou do inglês *Wireless Sensor Network* (WSN), tais redes possibilitam através da utilização de sensores que são empregados no sentido de monitorar aspectos físicos ou bioquímicos sem o envolvimento humano [23]. Estudos visando um paralelo entre sensores de rede WSN e equipamentos médicos, ou até mesmo a junção de ambos seria bastante interessante para emprego do IOT no cenário *HealthCare*.

## **1.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo elucidar a Internet das Coisas, e apresentar ideias de aplicações no mundo real mais especificamente no ambiente da saúde. A organização do trabalho é proposta da seguinte maneira: no primeiro capítulo são levantadas as principais ideias a serem desenvolvidas, e uma pequena introdução do tema. O segundo capítulo apresenta um estudo aprofundado em cada conceito presente de forma teórica. Nos capítulos três e quatro são apresentados a parte prática de simulações com base nos conceitos já apresentados anteriormente. E por fim, o Capítulo V apresenta a conclusão a respeito do experimento prático e propostas futuras sobre o tema.



## CAPÍTULO II

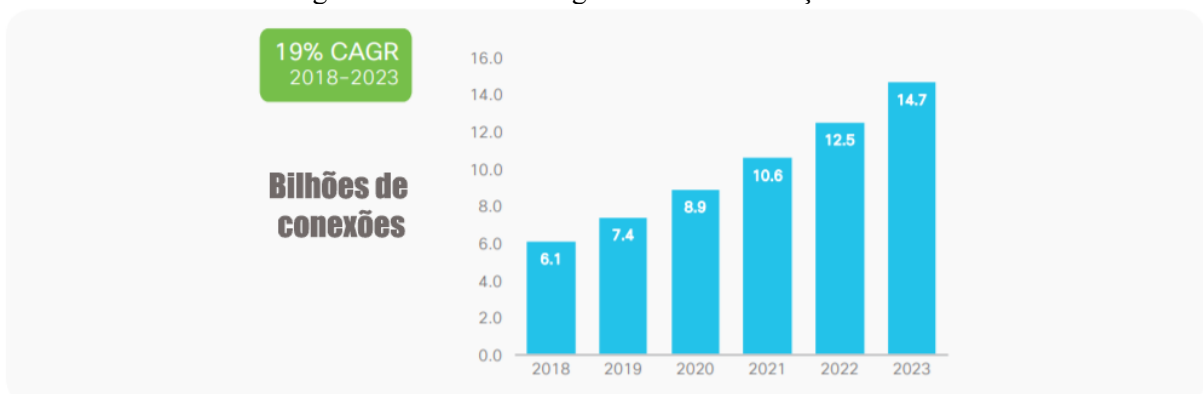
### 2.1. INTRODUÇÃO AO IOT

O termo Internet das Coisas (IOT) resume a interação e a comunicação de dispositivos por meio da rede onde a todo momento são coletados e processados dados de forma cooperativa entre os objetos distribuídos no espaço *cyber-físico* [6].

Além da conexão entre dispositivos, equipamentos utilizados no dia a dia, como *smartphones*, eletrodomésticos, eletrônicos em geral, estão sendo introduzidos na rede [7]. O mercado de IOT está presente em diversas áreas: automação residencial, segurança e vigilância por vídeo, saúde (IOT – *HealthCare*), indústrias, processos ligados a agronomia, e na criação de cidades inteligentes (*Smart Cities*). A Internet antes com característica estática, agora permite a interação transformando diversos tipos de espaços em ambientes inteligentes [6]. Além disso, permite os cenários de mobilidade, como por exemplo veículos autônomos [8].

A IOT permite que pessoas, processos, dados e “coisas” se conectem a Internet e uns aos outros. A Figura 1 ilustra o crescimento global da comunicação M2M. Observe que as conexões M2M, crescerão 2,4 vezes, de 6,1 bilhões em 2018 para 14,7 bilhões em 2023. A expectativa é que haverá 1,8 conexões M2M para cada membro da população global até 2023 [9].

Figura 1 – Crescimento global da comunicação M2M.

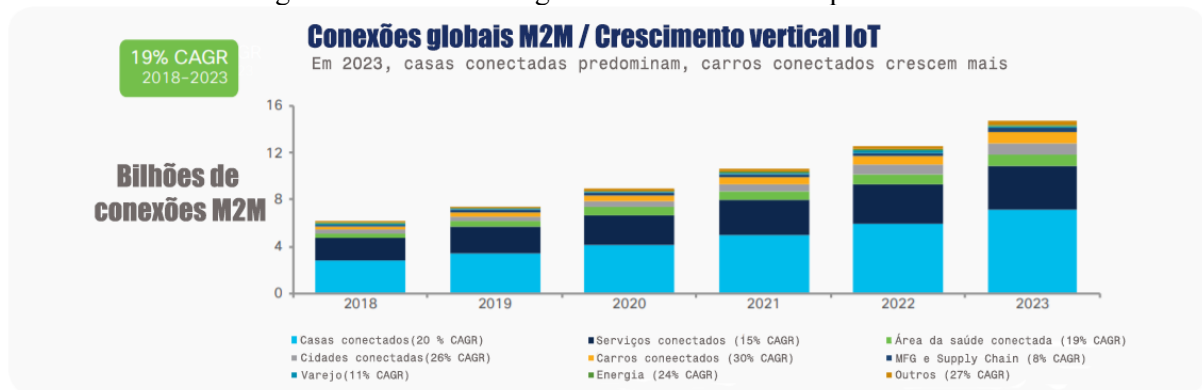


Fonte: Adaptado [9].

A Figura 2 ilustra o crescimento global da conexão M2M por setores. Observe que aplicativos de rastreamento, vigilância e automação residencial, representarão 48% do total de conexões M2M até 2023. Os aplicativos de carros, gerenciamento de frotas, sistemas de

entretenimento veicular, chamadas de emergência, diagnósticos de veículos e navegação, serão a categoria de crescimento mais rápido, com taxa de crescimento anual (CAGR - *Compound Annual Growth Rate*) de 30%. Em segundo lugar vem os aplicativos de *smart cities*, com CAGR de 26% [9].

Figura 2 – Crescimento global da conexão M2M por setores.



Fonte: Adaptado [9].

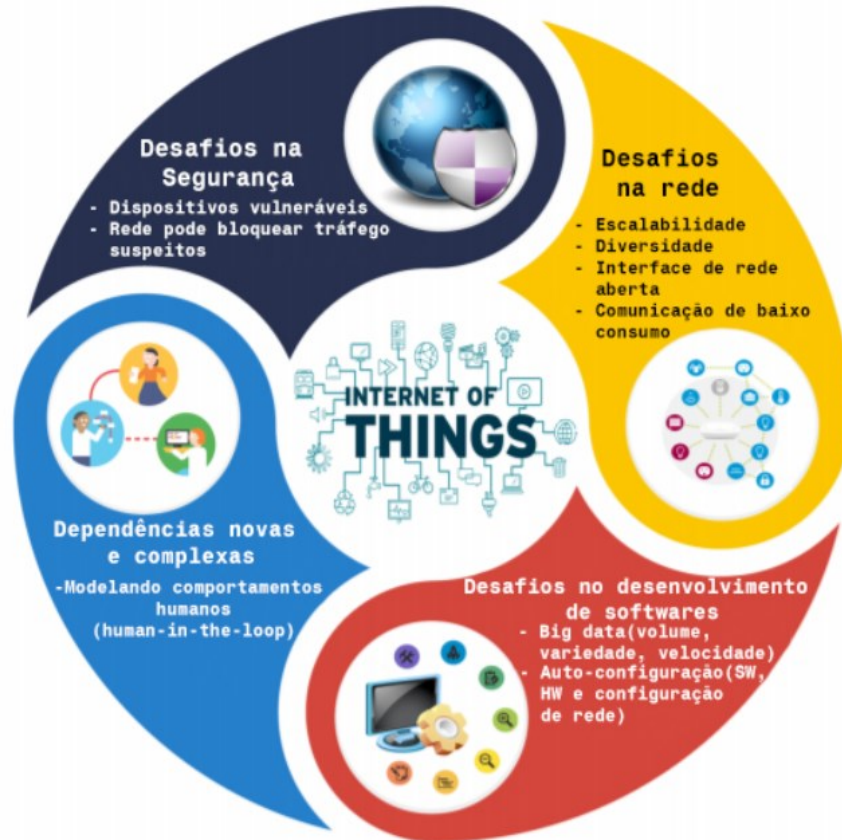
Tradicionalmente o tráfego das conexões M2M é menor que o dos dispositivos de usuário final, como *smartphones*, televisores e computadores. A quantidade de tráfego está crescendo mais rápido que o número de conexões, devido ao aumento da implantação de aplicativos de vídeo em conexão M2M e ao aumento do uso de aplicativos, como telemedicina e sistemas de navegação automotiva inteligente, que exigem uma maior largura de banda e menor latência [9].

Com a utilização do IOT os usuários adquirem alto grau de interações e comunicação com o ambiente. Uma rede inteligente conectada à Internet permite uma série de sistemas e aplicações de forma eficiente, na coleta e compartilhamento de dados. A base do IOT concentra-se em diversas tecnologias, das quais se destacam: redes de sensores sem fio (RSSF) (*WSN - Wireless Sensor Network*), *Internet Protocol Version (IPv6)*; o conceito de computação ubíqua, e a computação em nuvem alinhado ao Big Data [7].

Apesar de todas as vantagens e avanços para pessoas, empresas, dentre outros, o mesmo apresenta alguns desafios para utilização em larga escala [7]. Farhan *et al.* [Ref. Bib], cita os principais desafios, que também podem ser vistos como oportunidades, aumentando assim a escalabilidade no âmbito do IOT. A Figura 3 ilustra os quatro cenários de obstáculos para implementação de redes inteligentes: rede, segurança, desenvolvimento de software e novas dependências complexas, como o *Human-in-the-loop (HITL)*. Ele é descrito como o processo em que uma máquina ou sistema de computador, é incapaz de resolver algum problema, e é

necessário que o administrador do sistema, faça uma intervenção emergencial para resolução do mesmo [10].

Figura 3 – IOT Desafios e Oportunidades



Fonte: Adaptado [10].

## 2.2. REDES LLNs

Redes LLNs são uma classe de redes presente nas WSNs, onde tanto os roteadores quanto a interconexão são restritos. Roteadores LLN operam com restrições de capacidade de processamento, memória e energia limitada (quando a energia é proveniente de baterias) [11]. Suas interconexões são caracterizadas por *links* instáveis com altas taxas de perda, baixas taxas de dados e baixas taxas de entrega de pacotes. Com suporte aos fluxos de tráfego variados que compreendem o ponto a ponto (P2P – *point to point*), ponto a multiponto (P2MP – *point to multipoint*) ou multiponto a ponto (MP2P – *multipoint to point*). Eles podem incluir potencialmente milhares de nós [11, 12]. Uma das propriedades da rede é também a assimetria dos enlaces, sendo que a comunicação é feita utilizando enlaces diferentes para mensagens em diferentes sentidos (*uplink* e *downlink*), tendo variações na largura de banda dentre os caminhos citados [13].

Em determinados cenários, a rede LLN apresenta apenas a metade da vazão de uma rede sem perdas. Isso impacta na confiabilidade e na eficácia da rede, que devido a várias retransmissões e ao acúmulo de mensagens, pode gerar um crescimento considerável no consumo energético. O Grupo de Trabalho de Roteamento sobre LLNs (ROLL-WG – *Routing Over LLNs Working Group*) é responsável pela padronização de redes de baixa potência e com perdas, em aplicações como: urbanas, industriais, automação residencial e predial. Padroniza em documentos, requisitos de roteamento para redes LLN [13]:

- Tráfego: o protocolo de roteamento deve permitir uma conexão bidirecional entre dois nós qualquer na rede, além de prover suporte aos serviços *unicast*, *multicast* e *anycast*;
- Recursos: como a rede utiliza de dispositivos e equipamentos limitados, como por exemplo, dispositivos de 8 bits, em que a memória não excede 128 kB (host) e 256 kB (roteador), o protocolo deve atender a esse tipo de equipamento, considerando que onde os nós de sensores forem alimentados por bateria, não fornecer um ciclo de trabalho de mais de 1% e ou uma vida útil de ao menos cinco anos;
- Rotas: deve fornecer uma capacidade de definição de rotas alternativas de roteamento, com uma alta confiabilidade mesmo em ambientes com perdas como é o caso dos *links* LLNs, onde a taxa de entrega seja superior a 99,9% e não tenha mais que três retransmissões;
- Convergência: quando um novo nó é adicionado à rede, deve ser capaz de convergir em poucos minutos e reestabelecer a conectividade. Sendo de 1 a 4 segundos onde teve adição de nós, e de 0,5 segundos onde não houve mudanças;
- Prioridades de roteamento: em cenários possíveis, preferir o roteamento por meio de nós com alimentação principal, levando em conta também o consumo de energia e capacidade de *hardware* dos dispositivos;
- Segurança: promover a integridade de mensagens, a prevenção de invasores, além de ter a capacidade de negar que nós que não tenham autenticação participem de decisões de roteamento ou alguma função dentro da rede.

### 2.3. PROTOCOLO RPL

Segundo *Palattella et. al.* [Ref. Bib], a arquitetura de rede do IOT tem função de controle de mensagens transmitidas entre emissores e receptores em três primordiais cenários de comunicação. O primeiro cenário trata de uma comunicação entre dispositivos IOT, o segundo

de uma comunicação entre um dispositivo da rede IOT (*gateway*) e outro dispositivo por meio da Internet, e por último uma comunicação virtual fim-a-fim entre dois dispositivos quaisquer. De acordo com esse modelo descrito anteriormente, a arquitetura de rede do IOT envolve alguns conceitos presentes na arquitetura TCP/IP, como nas camadas: física, enlace, rede e transporte. Para cada cenário de comunicação pontuado, são necessários diferentes tipos de protocolos e padrões para a transmissão de mensagens de controle ou mensagens de dados [14].

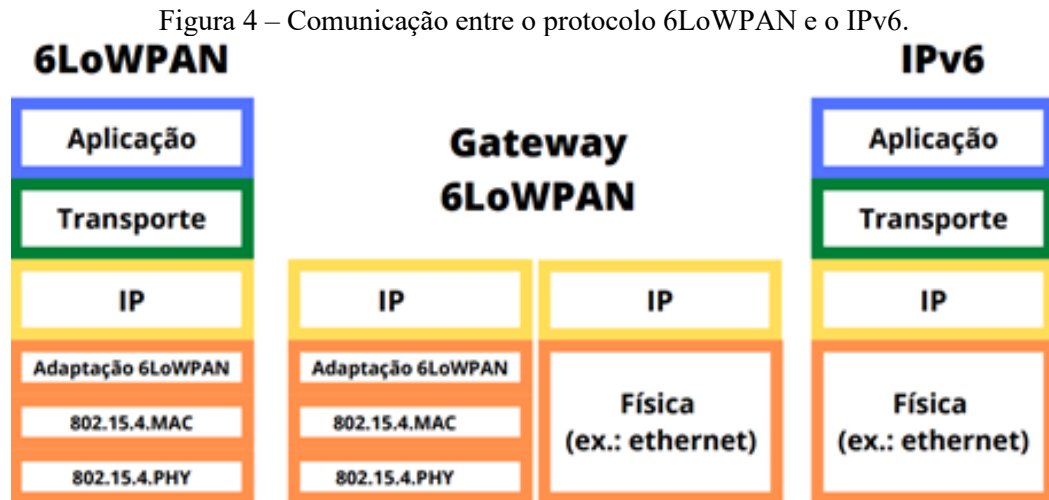
Para a escolha do protocolo é necessário avaliar as propriedades da rede e suas limitações, como é o caso das redes LLNs. Como existe mais de um meio de comunicação físico, os protocolos devem ser capazes de se adaptar. Além disso, dependem de algum suporte dos protocolos de comunicação já existentes da arquitetura TCP/IP para que exista uma heterogeneidade transparente entre as redes e elas consigam se comunicar e distinguir suas funções no cenário de comunicação. Existem instituições para regulação, padronização e normatização de tecnologias, como o IEEE e a *Internet Engineering Task Force* (IETF).

Para solucionar a interação entre as redes de IOT com o IPv6, a RFC 4919 trata do IPv6 sobre Redes Sem Fio de Área Pessoal e Baixo Consumo de energia, (6LoWPAN – IPv6 *over Low Power Wireless Personal Area Network*), este permite a utilização direta nos dispositivos que utilizam algum meio de comunicação, além de prover interação mesmo entre dispositivos com estrutura de rede de curto alcance e com limitações de banda à Internet. Nesse protocolo é utilizado uma técnica de compressão de cabeçalhos IPv6 para diminuir o tamanho dos pacotes. Esse processo possibilita que os dados dos pacotes não excedam a unidade máxima de transmissão (MTU - *Maximum Transmission Unit*) presente no protocolo das camadas física e de enlace na IOT [14].

Devido às características limitadas de tais dispositivos, como por exemplo sensores, que em sua grande maioria são alimentados por baterias, não conseguem realizar funções de tratamento de dados que são adquiridos por eles. A solução encontrada foi transmitir os dados para um outro dispositivo capaz de realizar o processamento dos dados adquiridos. Como essas ferramentas de processamento podem estar presentes na rede IOT, ou mesmo em uma rede externa, como em nuvem por exemplo, faz se necessário o uso dos protocolos citados anteriormente. Para isso o IETF desenvolveu um grupo denominado ROLL (*Routing Over Low Power and Lossy Networks*), o grupo definiu através da (RFC6550) um protocolo de roteamento especialmente para as redes IOT, construído no IPv6. Portanto o protocolo dá suporte para os três cenários de comunicação citados anteriormente [14].

O RPL que utiliza o mecanismo *distance vector*, sendo capaz de uma transmissão de dados otimizada entre um nó central, denominado nó raiz e outros nós espalhados na rede. O

RPL é operável em vários mecanismos de camada de enlace, incluindo IEEE 802.15.4 PHY e camadas MAC conforme ilustrado na Figura 4.



Fonte: Adaptado [17].

As camadas de enlace podem ser restritas, potencialmente com perdas ou normalmente utilizadas em conjunto com dispositivos host, roteadores restritos. Um dos pontos positivos do RPL é que apresenta uma solução de roteamento específica para redes de baixa potência e com perdas (redes LLNs). O protocolo foi projetado para ser adaptável às condições da rede e fornecer rotas alternativas, em caso de alguma rota estar inacessível. O RPL fornece um mecanismo para disseminar informações em topologias de rede dinâmica e utiliza o mecanismo *Trickle* para otimizar a disseminação de mensagens de controle [12].

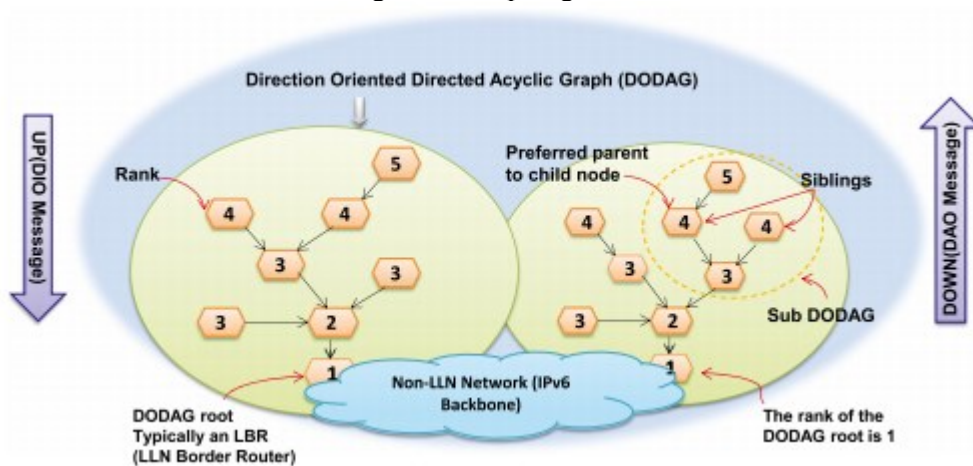
Existem dois objetivos conflitantes a serem alcançados nas redes LLNs, primeiro é a necessidade de uma topologia de rede construída de maneira eficiente e rápida, ou seja, um esquema de seleção com prorrogação de roteamento rápido é essencial. Em segundo lugar, com a finalidade de conservar energia, a topologia da rede precisa ser mantida com baixo custo de roteamento, o que é difícil de ser alcançado devido à natureza dinâmica das redes sem fio [1].

É um grande desafio para rádios de baixa potência manter esses objetivos, o que resulta em desconexão transitória e alta taxa de perda de pacotes. Para enfrentar esses desafios o RPL adota o algoritmo de gotejamento, *trickle*, para atingir a rápida propagação e o baixo custo de manutenção para a topologia de rede. O algoritmo é projetado para propagar as informações de roteamento rapidamente e manter a topologia da rede com baixo custo de roteamento. Uma espécie de troca de informações é usada pelo algoritmo *trickle* para autorregular e trocar pacotes com nós vizinhos. Existem dois estados possíveis entre os nós vizinhos, um estado é que todas

as informações de roteamento dos nós estão atualizadas, outro estado é que existe nós com informações “antigas”. O algoritmo *Trickle* é independente da densidade da rede, portanto, é escalável para ser aplicado em diferentes tipos de rede [1].

A topologia proposta pelo RPL é baseada em grafos acíclicos dirigidos (DAG - *Direct Acyclic Graphs*). Em particular, um DODAG (*Destination-Oriented Acyclic Graph*) está enraizado em um nó coletor que serve como um ponto de trânsito para fazer a ponte entre os DAGs com redes IPV6. A Figura 5 ilustra um DAG associado com dois DODAGs conectados por meio de um enlace de *backbone* por meio de suas raízes.

Figura 5 – Topologia RPL.



Fonte: [1].

Observe na Figura 5, a direção de uma seta indica a direção de um nó filho para seu pai preferido. É importante ressaltar que o RPL tem quatro valores de instância, ID de instância, ID DODAG, número e *rank* da versão DODAG. Estes quatro valores das instâncias são usados para manter uma topologia DODAG. Qualquer nó no RPL pode ser identificado exclusivamente com esses quatro valores de instâncias. A instância RPL é usada para identificar DODAGs que compartilham o mesmo tipo de serviço (função objetivo). Nós que estão conectados com a mesma raiz têm o ID DODAG comum. O número da versão DODAG é atualizado conforme a topologia do DODAG muda. *Rank* é usado para representar a distância relativa de um nó para o nó raiz, é um parâmetro muito importante para o RPL. Especificamente, nós com *rank*s menores indicam que eles estão mais perto da raiz. RPL define rotas descendentes (*downward routes*), como as rotas da raiz para outros nós, enquanto rotas ascendentes (*upward routes*) são definidas como rotas de nós à raiz [1].

As principais mensagens de controle utilizadas pelo RPL são [12]:

- DIO (*DODAG Information Object*): contém informações que permitem a um nó descobrir uma instância RPL, aprender seus parâmetros de configuração, selecionar um pai, definir e manter o DODAG. É semelhante aos anúncios de roteador IPv6;
- DIS (*DODAG Information Solicitation*): são semelhantes às solicitações de roteadores IPv6 e são usados para solicitar DIO de um nó RPL possibilitando que um nó identifique seus vizinhos;
- DAO (*Destination Advertisement Object*): é utilizado para propagar informações de forma descendente (*downward*) ao longo do DODAG. No modo de armazenamento, o DAO é *unicast* para os pais selecionados. No modo de não armazenamento, é *unicast* para a raiz DODAG;
- DAO-ACK (*Destination Advertisement Object Acknowledgement*): a mensagem DAO-ACK é enviada como um pacote *unicast* por um destinatário DAO (um pai DAO ou raiz DODAG) em resposta a uma mensagem *unicast* DAO;
- CC (*Consistency Check*): é usada para verificar contadores de mensagens seguras e emitir respostas. Uma mensagem CC deve ser enviada como uma mensagem RPL segura.

## 2.4. CONTIKI / COOJA

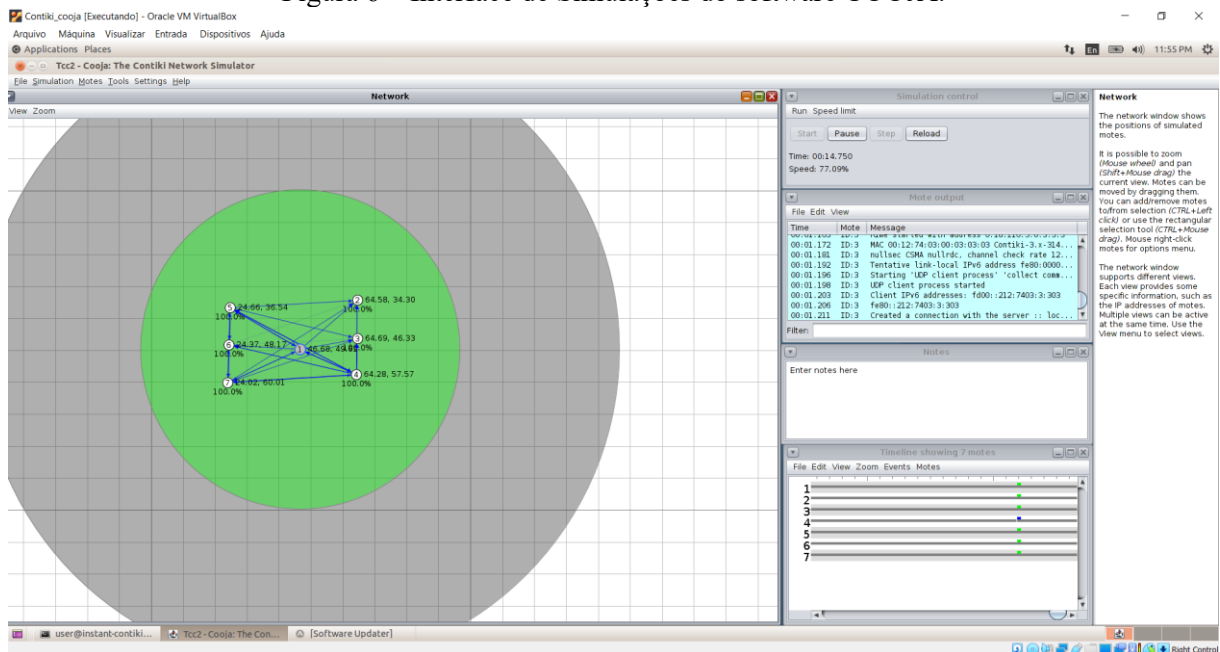
A maioria dos objetos inteligentes presentes no IOT apresenta limitações específicas, para isso, o Contiki é uma ferramenta útil para a maioria das aplicações em IOT. O Contiki é um sistema operacional de código aberto que pode ser utilizado em microcontroladores de baixa potência com a possibilidade de desenvolver aplicativos com eficiência no uso do hardware. Além disso, também fornece comunicação sem fio padronizada para um vasto nicho de plataformas de hardware possibilitando comunicação entre dispositivos inteligentes. O Contiki agrega amplamente o padrão IPv6 e IPv4 e também os padrões wireless de baixo consumo ao qual está sendo tratado nesse trabalho, como: 6LoWPAN, RPL, COAP. A linguagem de programação que possibilita o desenvolvimento de aplicativos é a C [15].

Uma grande ferramenta possível é um emulador de redes e de aplicações do sistema operacional Contiki desenvolvido em Java COOJA (Contiki OS Java). O COOJA simula uma rede composta por nós sensores, onde cada nó é o sistema Contiki real compilado e executado. Cada nó apresenta propriedades básicas como: memória, função do nó, e composição do hardware, como descrito no RPL, com referência às propriedades dos nós, elas são compartilhadas na rede entre os nós e admitem propriedades comuns. As interações entre



simulador e usuário são feitas por meio de plug-ins, que permitem uma personalização na simulação, como alterar o tempo de simulação, pausar e iniciar, dentre outras [16,17].

Figura 6 – Interface de Simulações do software COOJA.



Fonte: Próprio autor.

## 2.5. ARQUITETURA DE REDE E APLICAÇÕES

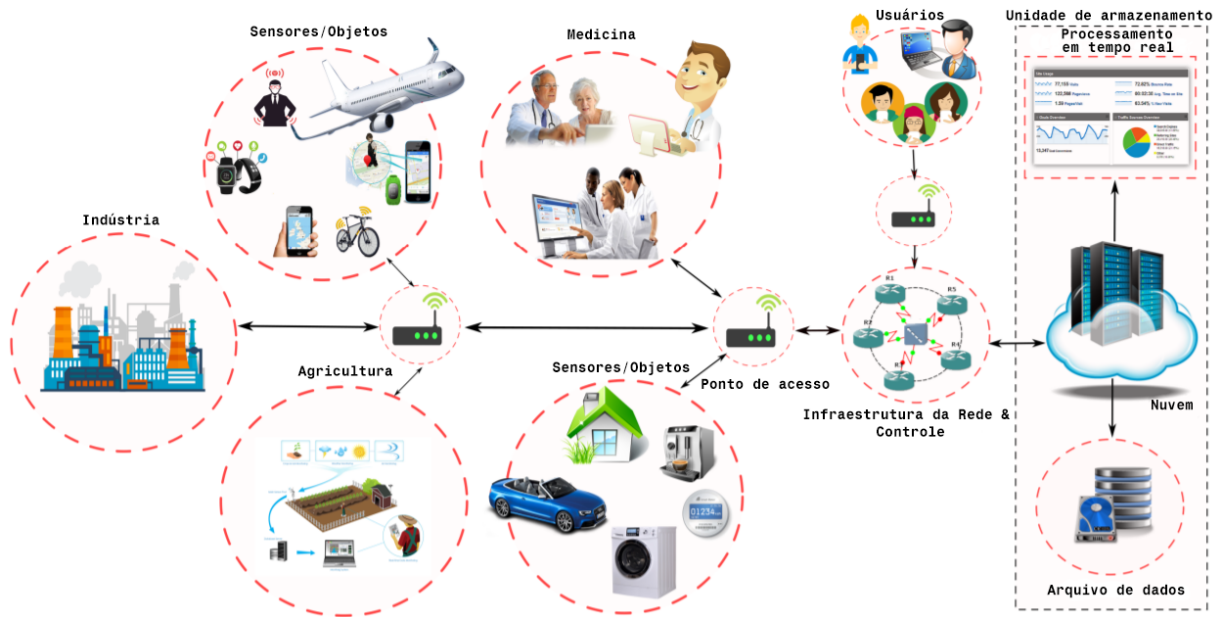
A utilização da Internet das Coisas atraiu grande atenção nos últimos anos, devido a uma elevada quantidade de aplicações da indústria, medicina, agricultura, *smart cities* ou cidades inteligentes, monitoramento ambiental, dentre vários outros. A tecnologia IOT oferece melhores serviços aos usuários finais por meio de processamento de dados em tempo real, comunicações e visualização. A IOT pode ser estendida a quase tudo, de geladeira à máquina de lavar, relógio de pulso a *smartphones*, segurança doméstica à sistema de alarme, etc [18].

Atualmente a rede IOT funciona como uma espécie de ilhas com determinados objetivos interligados que são conectados à rede de Internet. A Figura 7 ilustra a arquitetura de rede atual com alguns exemplos de utilização citados anteriormente.

No futuro, a IOT não será formada por ilhas de sistemas isolados, mas será uma interação de muitas ilhas de sistemas conectados, aplicativos, serviços e dispositivos subjacentes. No momento, cada um desses dispositivos e serviços funciona em suas próprias arquiteturas, formato de dados e pilhas de protocolos existentes. Consequentemente, a comunicação entre esses objetos apresenta problemas de interoperabilidade e integração. Além disso, as fontes de energia necessárias para alimentar esses dispositivos são muito preciosas

devido ao fato de que a maioria deles é alimentado por baterias ou por meio de energia captada. Portanto, há uma necessidade de revisão abrangente dos protocolos de dispositivos existentes irrestritos e restritos para desenvolver pilhas de protocolos unificadas, dinâmicas, padronizadas, com eficiência energética e inteligentes com recurso à identidade do nó [18].

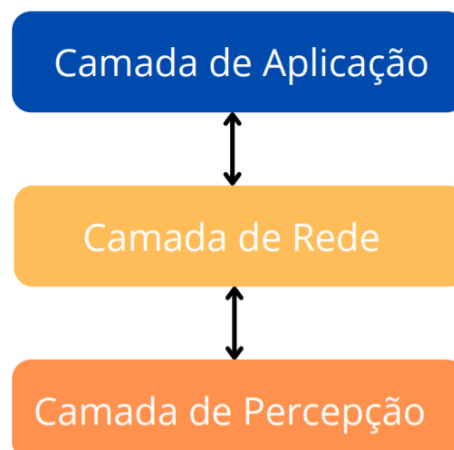
Figura 7 – Arquitetura de rede IOT.



Fonte: adaptado [18].

Na arquitetura conceitual do IOT tem-se duas estruturas mais comuns utilizadas por pesquisadores e aplicadas na prática. A Figura 8 ilustra a arquitetura de três camadas: Aplicação, Rede, Percepção.

Figura 8 – Estrutura conceitual de uma rede IOT em três camadas.



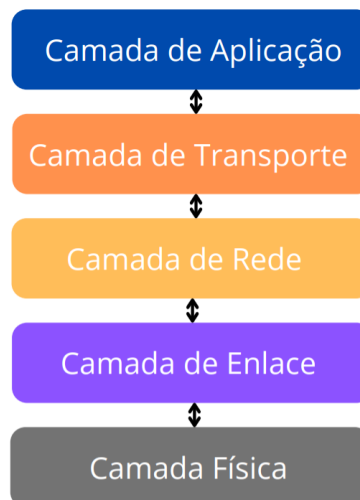
Fonte: adaptado [14].

A organização em três camadas é uma das mais populares e compreende a realização de diferentes atividades atendendo a diferentes requisitos, como casas inteligentes, *smart cities*, dentre outros. A estrutura de três camadas tem as seguintes características:

1. Camada de aplicação: responsável pela utilização das informações adquiridas e tratadas das camadas abaixo,
2. Camada de rede: faz a tratativa dos dados e realiza a comunicação dispositivo-a-dispositivo.
3. Camada de percepção: onde os dados são adquiridos e repassados as camadas superiores. Responsável pela estrutura organizacional dos dispositivos da IOT compreende sensores responsáveis pela coleta de dados e interação com o ambiente físico [14].

A Figura 9 ilustra a estrutura de cinco camadas formada pelas seguintes camadas: física, enlace de dados, rede, transporte e aplicação.

Figura 9 – Estrutura conceitual de uma rede IOT em cinco camadas.



Fonte: adaptado [19].

Utilizada no cenário IOT a estrutura de cinco camadas tem as seguintes características [19]:

1. Camada de Aplicação: onde ocorre a interação com usuário. Responsável pelas aplicações dos dispositivos da rede IOT, os conceitos de segurança como segurança de *middleware*, autenticações de usuários, privacidade, controle de acesso.
2. Camada de Transporte: responsável por prover a comunicação fim-a-fim, utiliza se de protocolos específicos como UDP (*User Datagram Protocol*), DTLS (*Datagram Transport Layer Security*) dentre outros protocolos. A privacidade de comunicação entre cliente e servidor é feita através do DTLS. Outro protocolo importante de

segurança da camada de transporte é o IPSec responsável pela integridade e confiabilidade;

3. Camada de Rede: apesar de atuar como uma rede convencional, o tráfego pode variar conforme a complexidade dos dados transferidos. Os dados podem traçar rotas diferentes através dos sensores, e contém uma possibilidade de comunicação de duas vias para objetos inteligentes. É necessário que a camada de rede suporte vários diferentes tipos de protocolos, devido a gama de dispositivos a serem utilizados;
4. Camada de Enlace de Dados: estabelece o enlace de dados, atende qualquer protocolo de comunicação sem fio, como Wi-Fi, Zig bee, Bluetooth. O aumento da potência de transmissão também aumenta a taxa de dados na comunicação sem fio;
5. Camada Física: mesma função da camada de percepção da estrutura de três camadas, efetua toda coleta de dados dos dispositivos e sensores IOT. Os seus pontos importantes são potência, largura de banda e consumo de energia. E apresenta dificuldades no campo da segurança de dados.

A IOT pode ser aplicada em diversos cenários, porém, o foco principal do trabalho e a aplicação avaliada nos cenários de testes é o IOT *healthcare*. Este tipo trata do uso de tecnologias de rede para conectar dispositivos e aplicativos médicos, permitindo a comunicação máquina a máquina e a conexão com a nuvem. Ao aplicar IOT no campo da saúde é possível integrar e combinar dados do paciente e criar soluções para o atendimento conectado, de maneira inteligente e significativa, fornecendo o atendimento perfeito ao paciente. Atualmente, o maior desafio é quanto a segurança dos dados e privacidade em conformidade com os órgãos regulatórios. O uso do IOT *healthcare* exige uma experiência combinada em nuvem, de forma tecnológica e conectividade, segura a ponto de promover a privacidade dos dados [20].

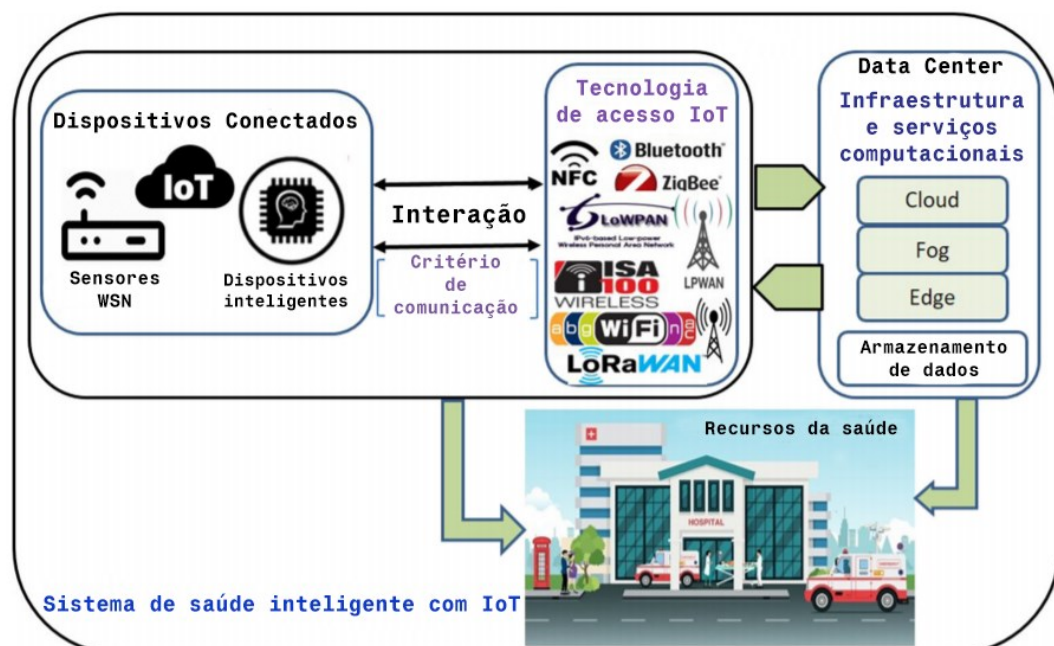
A implementação do IOT nos sistemas de saúde vai beneficiar em todas as operações, auxílio no diagnóstico de doenças, tratamento aprimorado e monitoramento, sensoriamento de pacientes, cuidados de saúde baseado na localização, reabilitação, cirurgia e recuperação, serviços de imagem, exames, entre outros. Os dispositivos de IOT serão usados para a comunicação entre os pacientes e os membros do círculo de cuidados, e para compartilhar e interconectar recursos através da rede aos sistemas de saúde. Médicos, profissionais de saúde, enfermeiros, pacientes, cuidadores, recursos humanos, ambulâncias, unidades de emergência, dispositivos médicos, sites de hospitais, clínicas, centros de saúde comunitários, equipamentos hospitalares, dispositivos inteligentes ou “*things*” conectadas, por exemplo, tablets e telefones. Esta interconexão de recursos através de uma arquitetura de rede IOT, onde sensores ou objetos / dispositivos inteligentes, vão ser componentes complementares na união de todo essa ilha de

componentes da área *healthcare*. Além dos objetos inteligentes que servem como bloco de construção da solução IOT, é necessário levar em consideração as características importantes, para incorporar esses dispositivos a uma rede habilitada para IOT, como: alcance, potência, consumo, topologia, largura de banda, frequência, nós e redes restritas, os protocolos de controle de comunicação e transmissão [21].

Os dispositivos inteligentes e sensores são utilizados para medir alguma quantidade física, e converter essa leitura em dados que representem essa medição. São capazes de medir e observar qualquer meio físico, humano, condições ambientais, dentre outros. Os sensores são classificados quanto a forma, tamanho e capacidade, ativo ou passivo, invasivo ou não invasivo, com ou sem contato, e absoluto ou reativo. Em resumo, os dispositivos e sensores inteligentes têm características básicas como: unidade de processamento, sensores e ou atuadores, comunicação e fonte de alimentação. Durante a integração, comunicação e interação dos dispositivos inteligentes com a rede baseada em IOT, tem-se as tecnologias de acesso IOT, consideradas apropriadas como: NFC; Bluetooth de baixa energia (BLE); ZigBee; 6LoWPAN; WirelessHART; Ethernet / Padrões IEEE 802.11; Celular sem fio - 2G, 3G, LTE, 4G, 5G, Wi-Max, GSM, WCDMA, GPRS; LoRaWAN; Área ampla de baixa potência (LPWA); IEEE 802.15.4, Padrões 802.15.4e, 802.15.4g, 1901.2a; etc [21].

A interconectividade dos conceitos relacionados à IOT com recursos de saúde é ilustrada na Figura 10.

Figura 10 – Exemplo de um sistema IOT aplicado no cenário *Healthcare*.



Fonte: adaptado [21].

Existe uma variedade de dispositivos e tecnologias capazes de associar e interagir com os recursos de saúde para promover um sistema de IOT *healthcare*. A rede tem o mesmo conceito de gerenciamento de camadas das redes usuais, são as três camadas de gerenciamento que compreendem a camada de borda (ou seja, dados gerenciados dentro dos próprios sensores), a camada de névoa (ou seja, gerenciamento de dados no *gateway* e rede), e a camada de nuvem (gerenciamento de dados na nuvem ou central de dados) [21].

## **2.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste capítulo foram apresentados os conceitos teóricos utilizados no desenvolvimento desse trabalho. Destacou-se a IOT e suas características no cenário atual, as funcionalidades, a estrutura de redes, a arquitetura organizacional, o protocolo de roteamento, o simulador e, as propriedades de uma rede direcionada à utilização na área da saúde. No próximo capítulo apresenta-se os cenários de testes utilizados nas simulações de um sistema de IOT *healthcare*.

## CAPÍTULO III

### 3.1. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento prático dos conceitos teóricos estudados, será feito a utilização do simulador Contiki/COOJA. Para isso se faz necessário a utilização de um computador com sistema operacional Linux/Ubuntu, mais especificamente o Contiki. Para a utilização em outros tipos de sistema operacional deve ser utilizada uma máquina virtual VirtualBox ou semelhante.

No desenvolvimento desse trabalho foi utilizado o VirtualBox para instalação do Contiki. Após a instalação do programa COOJA no sistema operacional, foi feita a instalação de alguns *plug-ins* que possibilitam as simulações em ambientes que apresentem mobilidade. Os requisitos do computador utilizado e as versões dos *softwares* são mostradas no Quadro 1.

Quadro 1 – Especificações dos Recursos Utilizados.

<b>Modelo</b>	<i>Samsung Odyssey NP800G50-XG1BR</i>
<b>Processador</b>	<i>Intel(R) Core(TM) i5-7300HQ (2.5 GHz até 3.5GHz 6 MB L3 Cache)</i>
<b>Memória RAM</b>	8,00 GB
<b>HD</b>	SSD 480 GB
<b>Sistema Operacional Nativo</b>	Sistema Operacional de 64 bits, processador com base em x64
<b>Software de máquina virtual (VM)</b>	Oracle VM VirtualBox 6.1
<b>Sistema Operacional utilizado na VM</b>	Contiki 2.7

Fonte: Próprio autor.

Para as simulações foram utilizados dois cenários diferentes e neles têm-se nós fixos (NF), ou nós móveis (NM). Os NFs presentes nas simulações simbolizam equipamentos hospitalares que poderão fazer parte da rede IOT. Já os NMs referem-se a dispositivos móveis em posse de alguma pessoa, um *smartphone*, ou um *smartwatch*. Considera-se a velocidade dos nós de 1 metro por segundo (m/s) para simular a velocidade de um ser humano caminhando normalmente. Os nós utilizam um protocolo com capacidade de desligar o rádio e, assim obter um bom consumo energético. O protocolo é conhecido como ContikiMAC, habilitando seu rádio somente para receber dados de nós vizinhos [8]. O tempo de simulação médio proposto para cada cenário será em média 60 minutos baseado no estudo feito em [8] para análise do RPL em cenários híbridos com nós fixos e móveis. Esse tempo é suficiente para simular a comunicação entre todos os dispositivos presentes na topologia.

Visando realizar o estudo dos resultados, será discutido quatro métricas distintas: ETX (*Expected Transmission Count*) que se trata do número de transmissões necessárias para que uma mensagem siga de sua origem ao destino, PDR (*Packet Delivery Ratio*) ou taxa de entrega de pacotes, consumo energético, e também quanto ao *Beacon Interval* que se trata de uma mensagem de sincronismo que é disseminada para os nós a fim de visualizar a estabilidade e sincronia da rede. Como temos dois cenários diferentes, onde um apresenta apenas NFs, e o segundo apresenta mobilidade com a presença de NMs, pode ser avaliado como as características dos nós pode influenciar nos resultados e quais as mudanças apontadas.

Outra análise a ser feita é com respeito as mensagens trocadas entre os dispositivos, a fim de conhecer melhor o conteúdo dos dados trocados entre os nós, e também a forma como se comunicam em uma rede IOT através do protocolo RPL. Dessa forma podemos verificar o *rank* de cada nó, uma característica importante do roteamento RPL que difere dos outros protocolos de roteamento por ser baseado em topologias de árvore [8]. Visando uma forma de melhor visualização das mensagens, será utilizado junto ao COOJA, o *software Wireshark*, que se trata de um sistema para análise de tráfego de redes, por disponibilizar uma interface gráfica possibilita filtros e ferramentas para melhor visualização dos dados [22].

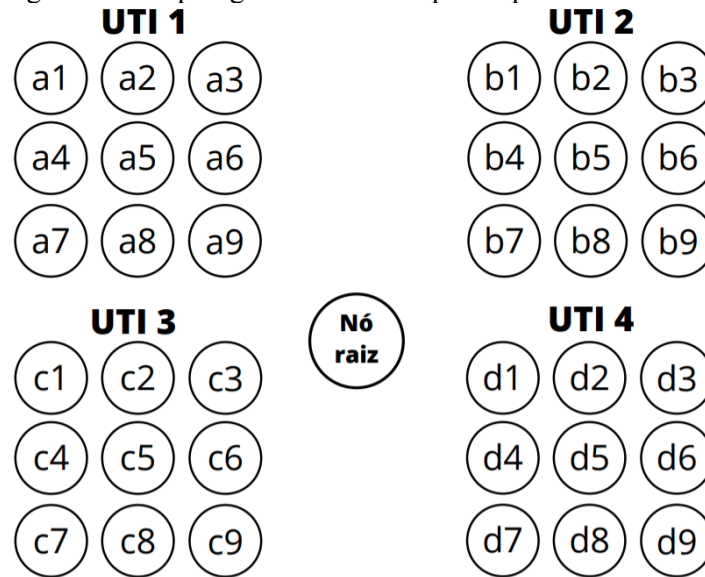
## 3.2. CENÁRIO DE SIMULAÇÕES

Para as simulações são propostos dois cenários com características diferentes tanto de topologia quanto de características dos nós utilizados. Uma UTI conforme recomendações da Associação de Medicina Intensiva Brasileira (AMIB) necessita de uma quantidade mínima de equipamentos médico-hospitalares para um bom funcionamento de uma unidade, focando em diminuir riscos tanto para os profissionais da área quanto para pacientes. Para um mesmo leito são recomendados um vasto número de equipamentos, como por exemplo: monitor cardíaco, monitor de pressão arterial não invasiva, monitor de pressão invasiva, ventilador mecânico microprocessado, equipamento para ventilação não invasiva, bomba de infusão (3 por leito), aparelho desfibrilador e cardioversor, dentre outros [24].

Baseado nas recomendações a respeito dos equipamentos que tem possibilidade hipotética de fazer parte de uma rede IOT, foi sugerida uma topologia para fins de simulação. A Figura 11 ilustra o primeiro cenário, um ambiente hospitalar contendo 4 salas onde cada sala tem um grupo de sensores (equipamentos) próximos uns dos outros contendo 9 equipamentos em cada grupo.



Figura 11 – Topologia de Rede IOT para o primeiro cenário.



Fonte: Próprio autor.

O objetivo é simular uma situação similar a salas de Unidades de Terapia Intensiva onde existe um número expressivo de equipamentos atendendo à um mesmo paciente. Colocou-se um nó raiz centralizado que funciona como roteador de borda para a rede (procedimento padrão na topologia RPL), todos os outros nós são fixos, não apresentando mobilidade. Os nós mais afastados do nó raiz, serão colocados fora do alcance de transmissão do nó raiz, para que os nós tenham que fazer conexões com outros nós, a fim de verificar a eficácia do protocolo RPL.

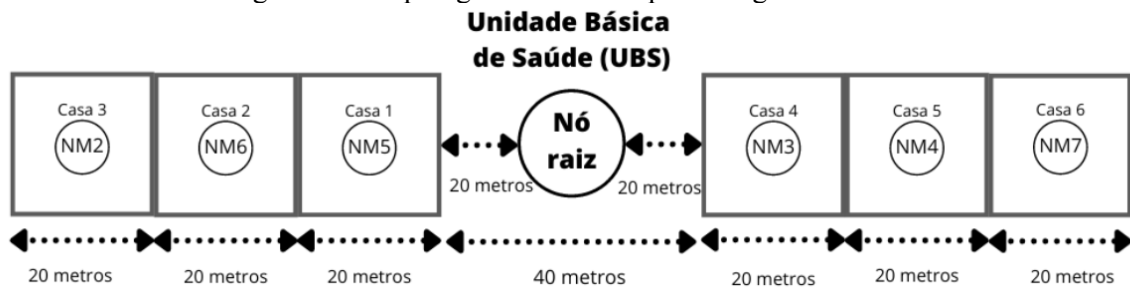
Conforme citado nos capítulos anteriores o uso de RSSFs pode auxiliar no diagnóstico e tratamento de doenças fora do setor hospitalar. Um exemplo é no tratamento de câncer, permitindo que profissionais de saúde monitorar e receber alertas de quaisquer mudanças, complicações, sintomas, efeitos adversos, alergias, dores, infecções, medicamentos perdidos, problemas de nível de hemoglobina, detecção alérgica a drogas, interação medicamentosa, flebite, dermatite, mucosite, diarreia, infecção do trato respiratório superior, vômito, a, febre, e vários outros. Esses problemas, efeitos, sintomas e mudanças nos sistemas imunológicos do corpo podem ser automaticamente detectados, subjugados, reduzidos, monitorados e contornados usando sensores e dispositivos inteligentes, conectados para monitorar pacientes para determinar suas respostas aos tratamentos, a fim de ajudar a influenciar e melhorar a qualidade de vida desses pacientes [21].

O uso de dispositivos inteligentes e sensores sem fio pode ser aplicado para melhorar a qualidade dos serviços de tratamento do câncer e do paciente por meio da integração segura e transparente desses dispositivos em procedimentos de oncologia médica e oncologia por radiação. Possibilitando que o atendimento ao paciente (ou seja, monitoramento, alerta e

acompanhamento) para pacientes com câncer em quimioterapia pode ser transferido com segurança para casa [21].

A Figura 12 ilustra o segundo cenário com o objetivo de simular a monitoração de pacientes fora do ambiente hospitalar baseado em propostas de redes IOT disponíveis em [21]. Os nós são separados em mais ou menos 20 metros, simulando a distância entre as casas. Nesse cenário, o nó raiz simula um ambiente hospitalar, por exemplo uma unidade básica de saúde localizada nos bairros ou região. No segundo utilizou-se nós móveis para simular *smartphones*, *smartwatches* ou *wearables*.

Figura 12 – Topologia de rede IOT para o segundo cenário.



Fonte: Próprio autor.

### 3.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

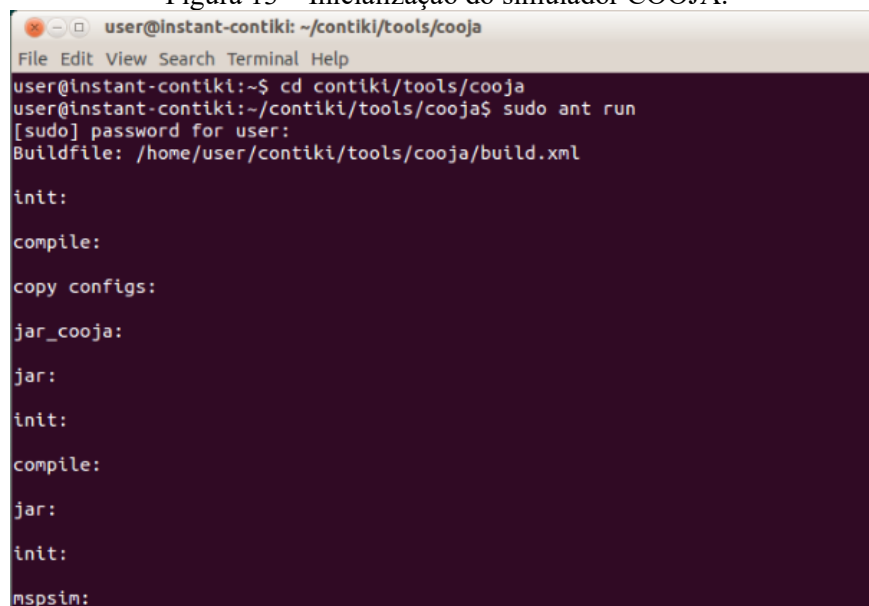
Foi discutido nesse capítulo as propostas de implementação do protótipo a ser simulado no Contiki/COOJA, bem como as topologias de redes, recursos utilizados, bem como as métricas a serem avaliadas no próximo capítulo. No Capítulo 4 serão feitas as simulações e análise dos resultados encontrados.

## CAPÍTULO IV

### 4.1. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Para a realização das simulações, o primeiro passo é acessar o sistema operacional Contiki, por meio de uma máquina virtual ou algum ambiente Linux/Ubuntu. Já no ambiente operacional, o próximo passo é executar o terminal e acessar a pasta raiz do simulador COOJA. Com o comando ‘cd’ é possível avançar até a pasta raiz onde o sistema está instalado e para executar a simulação com o comando ‘sudo ant run’, e a senha solicitada é ‘user’ conforme o print de tela na Figura 13.

Figura 13 – Inicialização do simulador COOJA.



```

user@instant-contiki: ~/contiki/tools/cooja
File Edit View Search Terminal Help
user@instant-contiki:~$ cd contiki/tools/cooja
user@instant-contiki:~/contiki/tools/cooja$ sudo ant run
[sudo] password for user:
Buildfile: /home/user/contiki/tools/cooja/build.xml

init:
compile:
copy configs:
jar_cooja:
jar:
init:
compile:
jar:
init:
mbspin:

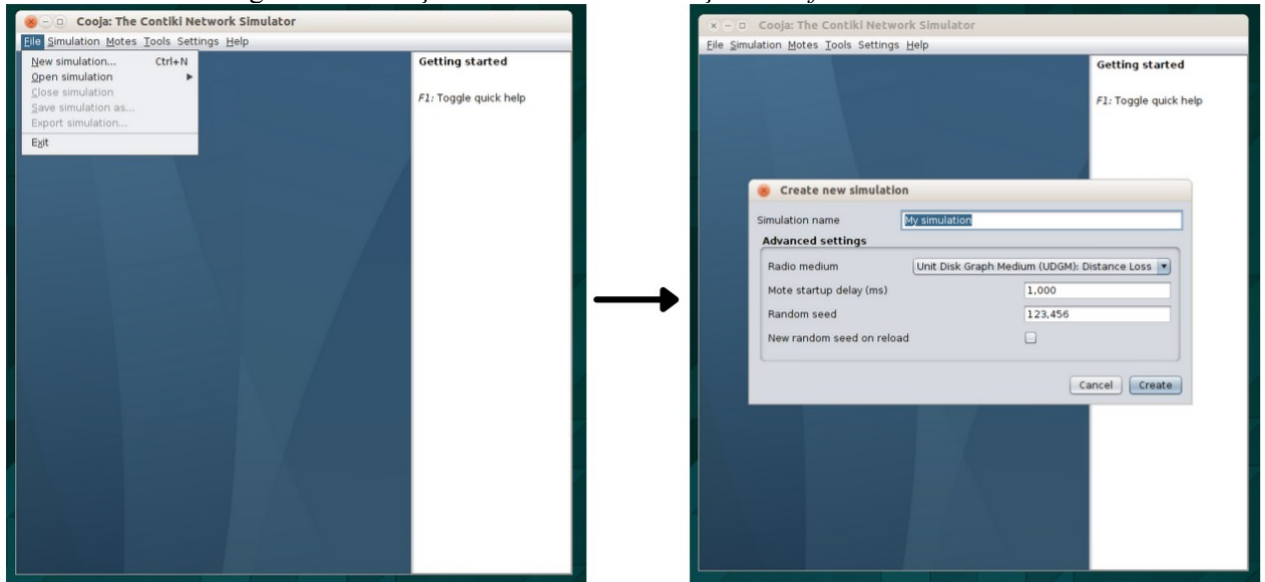
```

Fonte: Próprio autor (Contiki).

Com o programa iniciado é necessário a criação de um novo ambiente de simulação por meio da opção: *File > New simulation*. Na simulação em questão só será levado em conta o meio ao qual o transceptor será inserido. Utilizando a opção: *Radio médium*, adiciona-se um cenário com obstáculos, porém as únicas perdas consideradas serão proporcionalmente à distância dos nós, opção *Unit Disk Graph Medium (UDGM): Distance Loss*. Os parâmetros de atraso inicial e aleatoriedade padrões são mantidos conforme ilustrado nos *prints* de tela da Figura 14.

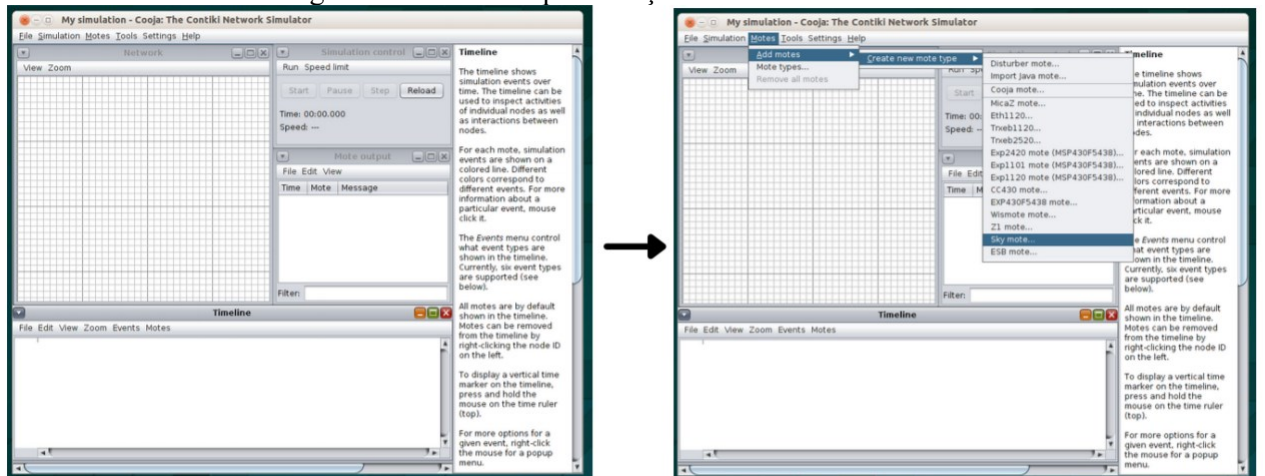
Com o ambiente de simulação criado, faz-se a entrada dos dispositivos no ambiente de simulação utilizando o caminho: *Motes > Add motes > Create new mote type*, o tipo de nó escolhido foi o *Sky mote*, conforme ilustrado nos *prints* de tela da Figura 15.

Figura 14 – Criação de uma nova simulação no *software* COOJA.



Fonte: Próprio autor (COOJA).

Figura 15 – Caminho para criação de nós no simulador.

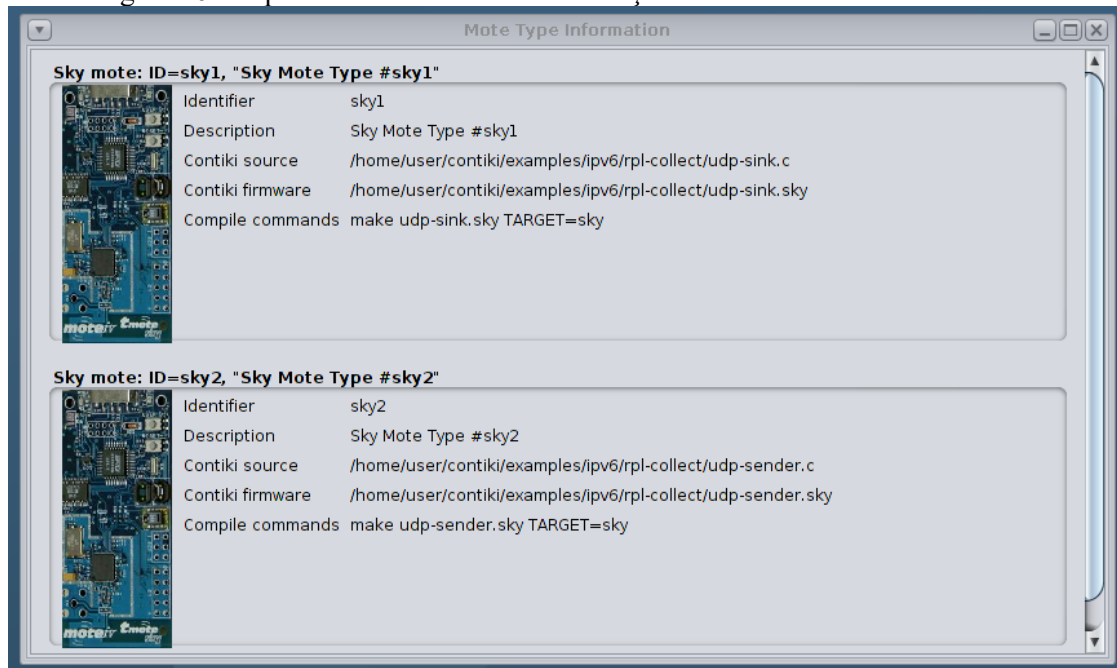


Fonte: Próprio autor (COOJA).

O dispositivo *Sky* necessita de um *firmware* de extensão *.sky* para funcionar, que é gerado por um código objeto com extensão *.c* e compilado no dispositivo. O COOJA detém de uma biblioteca de exemplos com firmwares já existentes. Na Figura 16 são mostrados os *prints* de tela com as informações dos nós criados bem como o caminho de acesso as bibliotecas (*Contiki source*). Dois pontos importantes quanto ao tipo de *firmware*, se o nó será

um nó raiz (roteador de borda) que utiliza na nomenclatura *sink.sky*, ou um nó comum que é usado para a troca de mensagens que é denominado *sender.sky*.

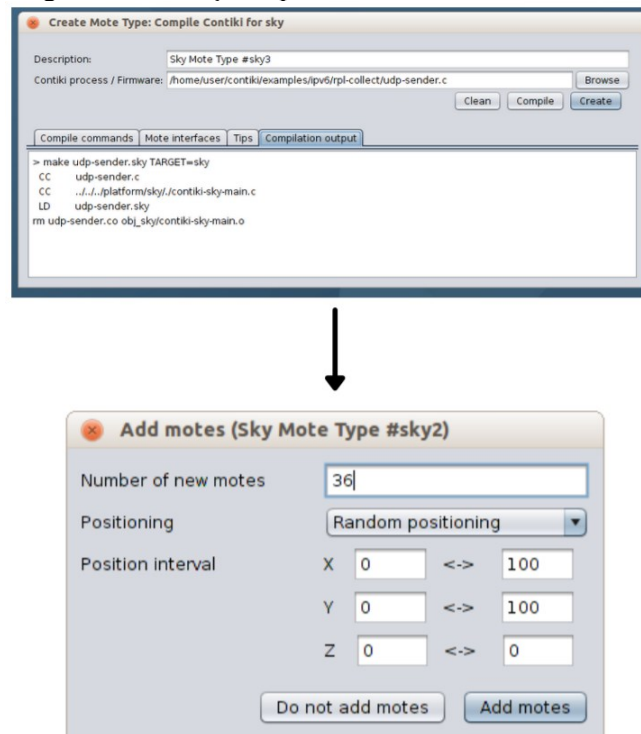
Figura 16 – Tipos de nós utilizados na simulação e diretório onde se encontram.



Fonte: Próprio autor (COOJA).

Caso a compilação do código objeto seja bem-sucedida, o sistema nos permite indicar a posição dos nós em relação ao eixo x e y do plano cartesiano e a quantidade de nós. As informações são mostradas na Figura 17.

Figura 17 – Criação e posicionamento inicial dos nós.

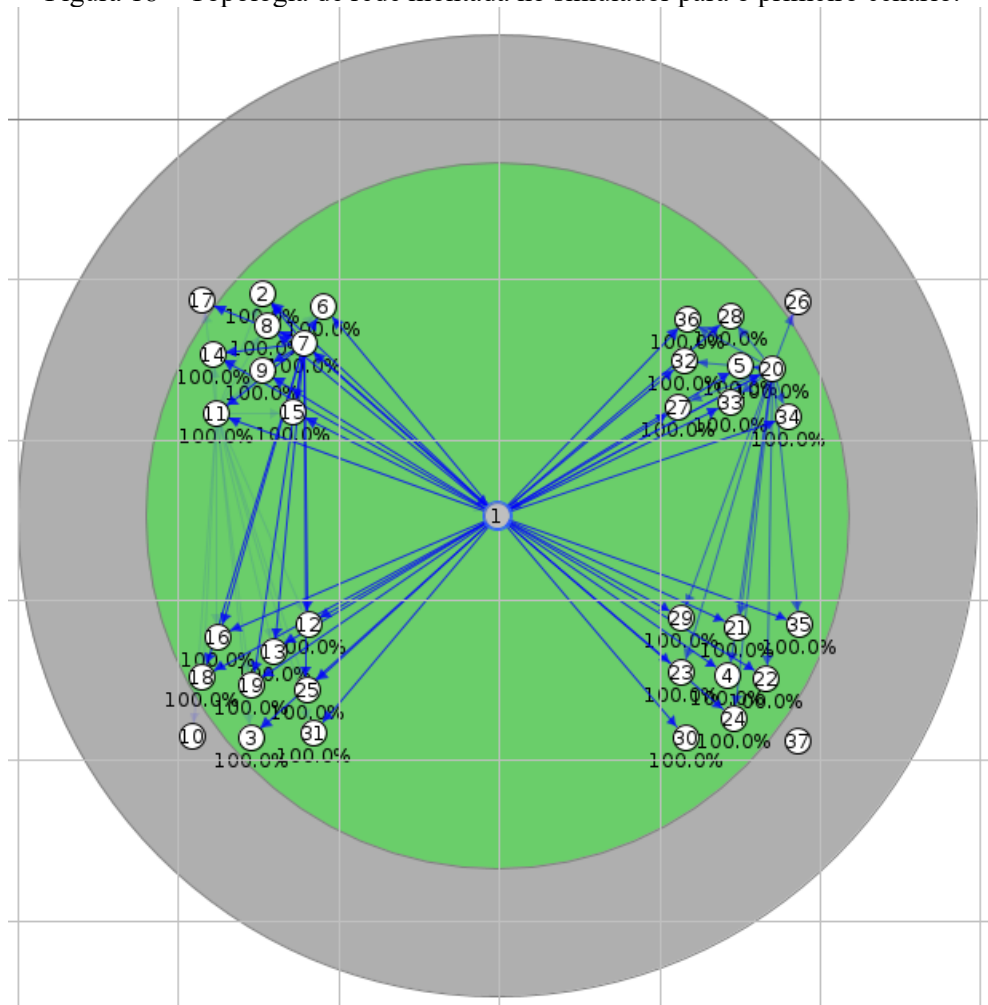


Fonte: Próprio autor (COOJA).

#### 4.1.1. Cenário 1

Nesse cenário simula-se um ambiente hospitalar formado por um nó raiz centralizado e quatro grupos de nós com 9 nós fixos em cada grupo. Os nós: 10,17,26 e 37 foram colocados fora do alcance de transmissão do nó raiz para possibilitar uma análise de métricas nessa situação. A Figura 18 ilustra a topologia da rede montada para o cenário 1. Antes de iniciar a simulação foi configurado a análise de mensagens trocadas entre os nós utilizando a seguinte parametrização: *Tools > Radio Messages > Analyser > 6LowPAN Analyser.ant*. Além disso, foi configurado a ferramenta *Sensor Data Collect with Contiki* que permite a aquisição de dados em tempo real dos sensores, e fornece uma série de parâmetros medidos. O tempo de simulação proposto foi de 60 minutos.

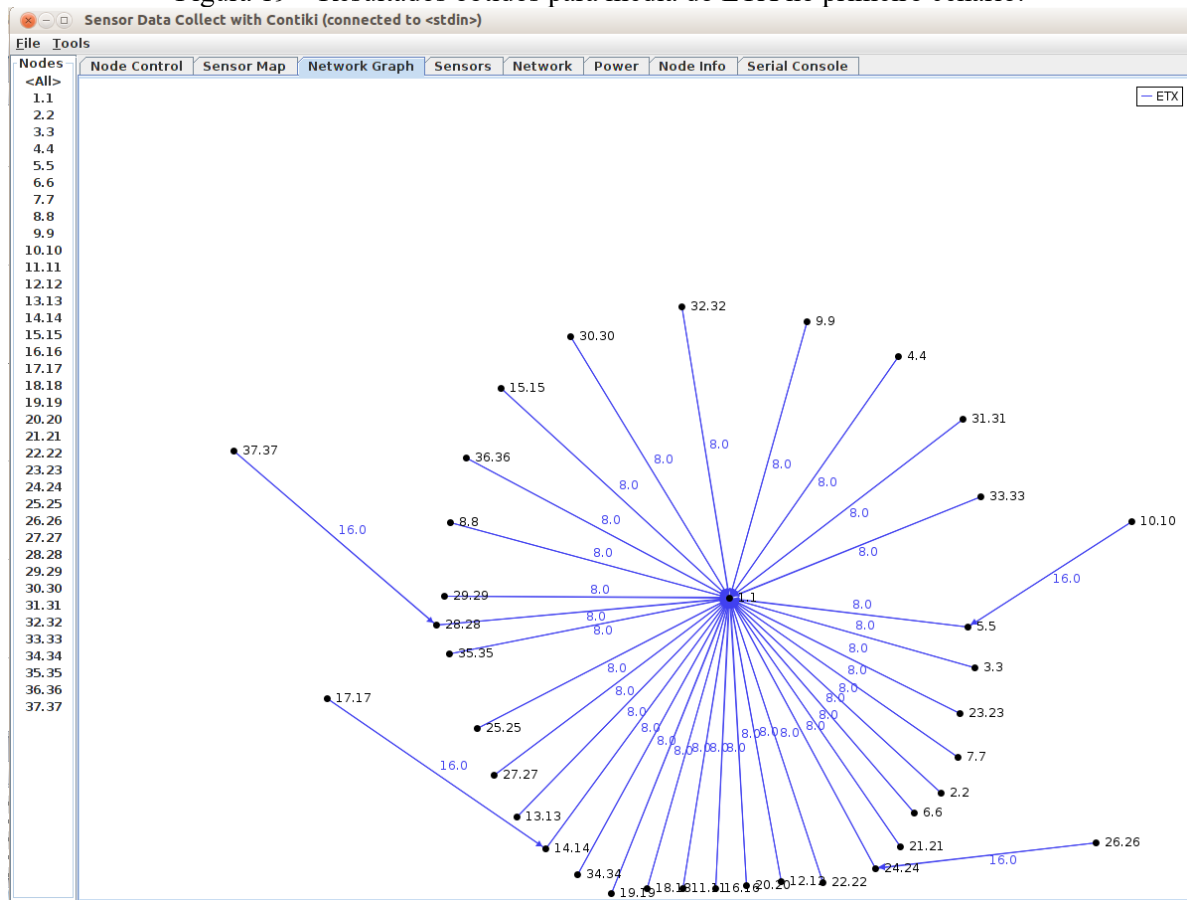
Figura 18 – Topologia de rede montada no simulador para o primeiro cenário.



Fonte: Próprio autor (COOJA).

Após o término da simulação abriu-se o *Sensor Data Collect with Contiki* para a análise dos resultados obtidos. A Figura 19 ilustra o *print* de tela do *Network Graph*. O resultado do parâmetro ETX foi conforme o previsto, os nós que estão fora do alcance do intervalo de transmissão do nó raiz necessitam de duas transmissões para que a mensagem chegue ao seu destino final. O valor apresentado é de 16, ou seja, duas vezes maior que os nós que estão na faixa de transmissão e comunicam-se diretamente com o nó raiz que tem um ETX no valor de 8.

Figura 19 – Resultados obtidos para média do ETX no primeiro cenário.



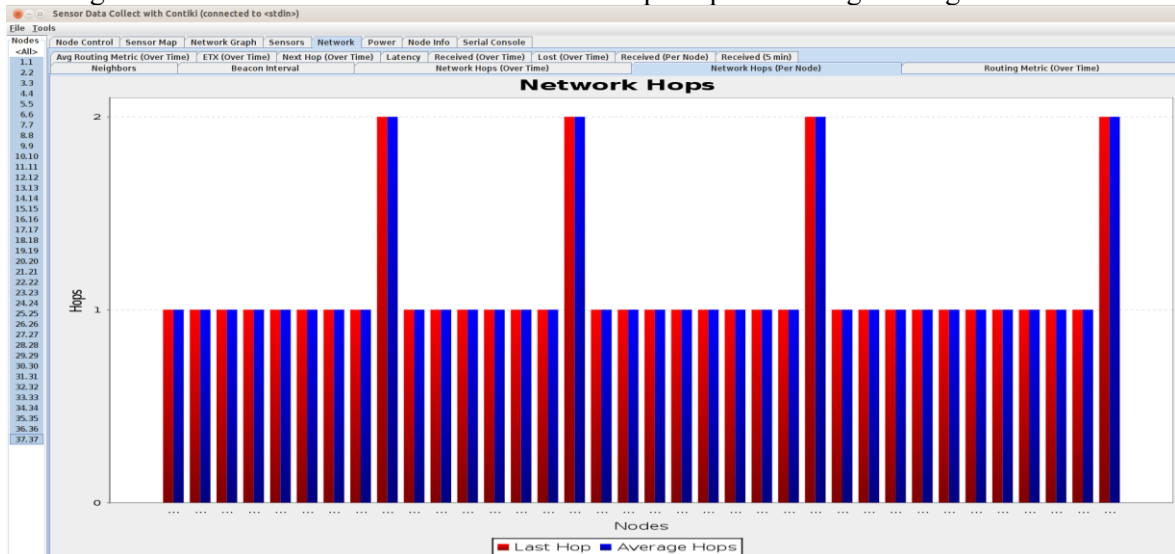
Fonte: Próprio autor (COOJA).

A Figura 20 ilustra os resultados obtidos para número de saltos (*Network Hops*) ou transmissões necessárias para que a mensagem chegue ao destino, que no caso é o nó raiz. Observe que com exceção dos nós que estão fora de alcance do nó raiz que necessitam de duas transmissões, o restante dos nós necessitam de apenas uma transmissão para propagação das mensagens.

A Figura 21 ilustra os resultados obtidos do parâmetro ETX medido ao longo do tempo de simulação. Observou-se durante a simulação que os sensores afastados demandaram cerca de 20 minutos para estabilizar. O ETX mante-se em 16, ou seja, estabilizando devido ao protocolo RPL ter determinado uma melhor rota para transmissão de pacotes, uma vez que devido ao fato de não estar em comunicação direta com o nó raiz, precisam utilizar nós vizinhos para que a mensagem chegue ao destino.

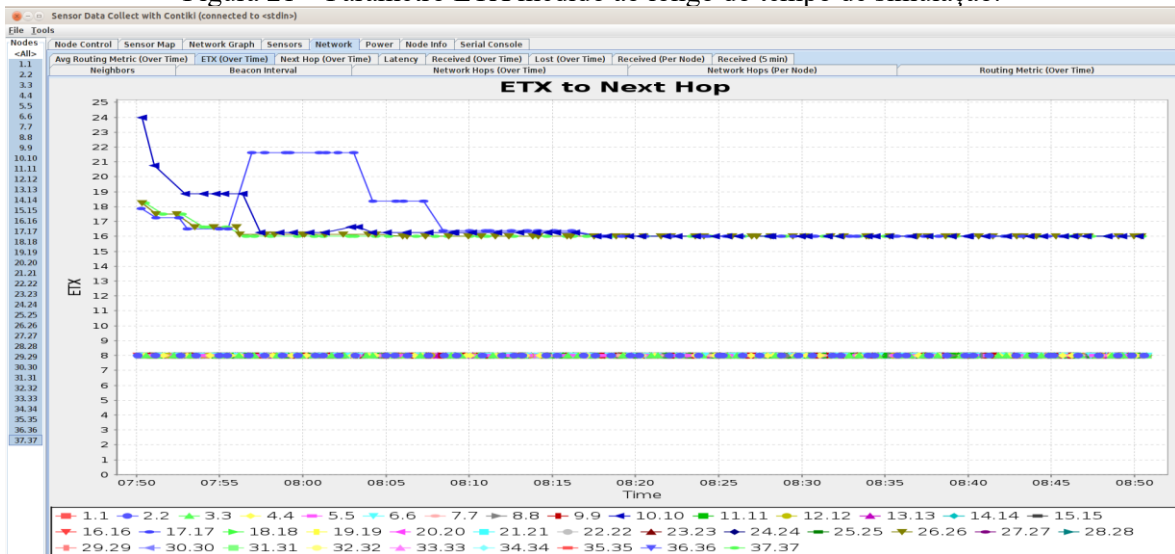


Figura 20 – Número de transmissões necessárias para que a mensagem chegue ao nó raiz.



Fonte: Próprio autor (COOJA).

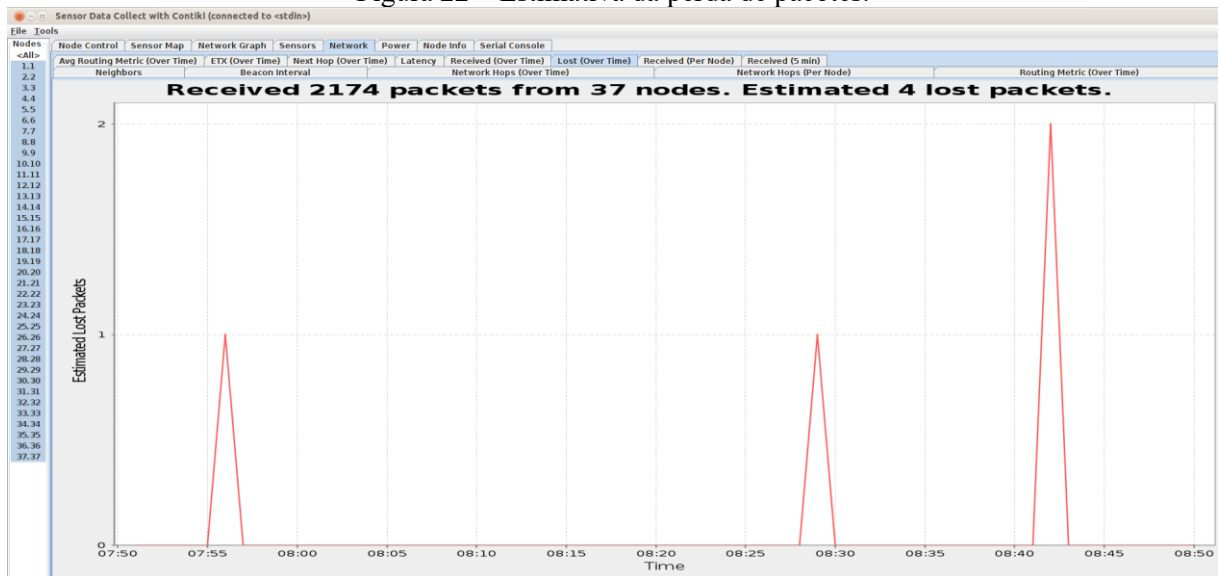
Figura 21 – Parâmetro ETX medido ao longo do tempo de simulação.



Fonte: Próprio autor (COOJA).

A Figura 22 ilustra os resultados obtidos relacionados a perda de pacotes. Durante o período de simulação foram enviados aos 37 nós 2174 pacotes e a perda foi de apenas 4 pacotes. Tem-se mais de 99% dos pacotes enviados e entregues ao destino, por se tratar de um cenário composto apenas por nós fixos, a métrica PDR é extremamente baixa. A perda de pacotes é mais visível em ambientes com mobilidade.

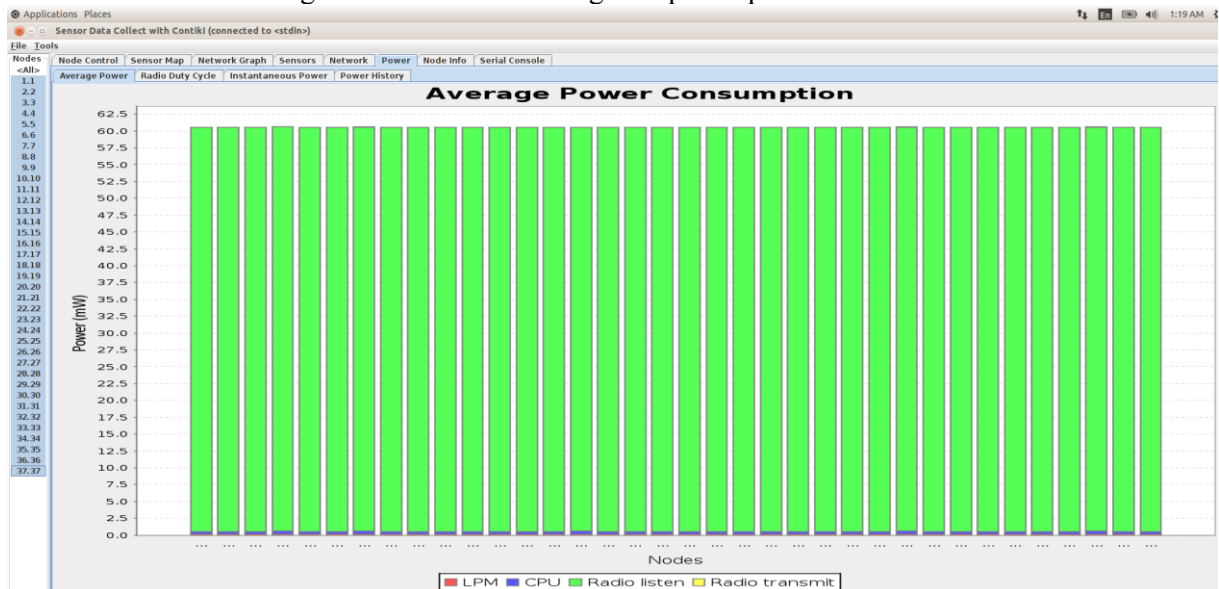
Figura 22 – Estimativa da perda de pacotes.



Fonte: Próprio autor (COOJA).

A Figura 23 ilustra os resultados obtidos do consumo energético. Como a rede é composta apenas de nós fixos, o gasto energético dos nós não apresentam uma variação de consumo, ficando próximo a 60 mW.

Figura 23 – Consumo energético para o primeiro cenário.

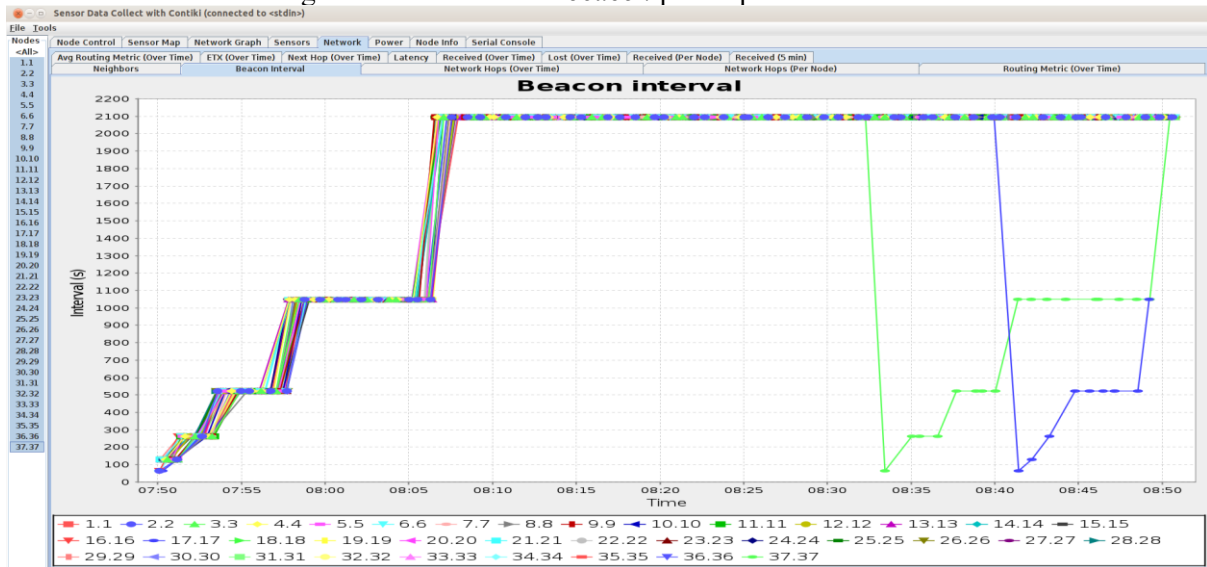


Fonte: Próprio autor (COOJA).

Um aspecto importante que pode ser analisado quanto a estabilidade da rede, é o intervalo de *beacon*, ou intervalo de sinalização. Quanto maior o intervalo, mais estável é a rede, ou seja, menos mensagens de sinalização são necessárias. No início da simulação os intervalos são menores e mais sinais são disparados, mas com o passar do tempo, a rede tende

a ficar estável e o intervalo de *beacon* torna-se maior. Observando a Figura 24, intervalo de *beacon*, os sensores 17 e 37, os mais afastados do nó raiz, apresentam uma certa instabilidade. Mesmo com a instabilidade, a rede conseguiu estabilizar com o uso do algoritmo *trickle* pelo RPL, que rapidamente consegue a estabilidade da rede. A quantidade de sensores não implicou em uma rede instável, demorando cerca de aproximadamente 15 minutos até que o intervalo de sinalização fosse o maior tempo possível. Uma rede que apresenta somente nós fixos tende a ser mais estável do que em cenários que apresentam mobilidade.

Figura 24 – Intervalo de *beacon* para o primeiro cenário.



Fonte: Próprio autor (COOJA).

Ao ativar a função de análise de mensagens (*Radio Messages*) do COOJA no início da simulação cria-se um arquivo de extensão *.pcap*. Esse arquivo permite a utilização do arquivo salvo em um software de análise do tráfego de rede, como por exemplo o *Wireshark*. As Figuras 25 e 26 ilustram os resultados salvos no arquivo *.pcap* e mostrados no *Wireshark*. Observe o conteúdo de todas as mensagens trocadas entre os nós, suas características e protocolos. Os dois exemplos presentes nas Figuras 25 e 26 são de mensagens do tipo DODAG *Information Object* (DIO), uma das principais mensagens trocadas entre os nós uma vez que possibilita identificar seus valores de instância, responsáveis por formar a topologia DODAG.

A Figura 25 ilustra uma mensagem DIO enviada do nó 6 ao nó 1 (nó raiz), que é verificado em *Source* e *Destination* formando assim uma rota ascendente (*upward routes*). Os quatro valores responsáveis por formar a instância RPL também podem ser verificados, o RPLInstanceID:30 é o valor de ID da instância, DODAGID: fd00::1 o ID do DODAG,

Version:240 o número da versão e o Rank:345 indica o *rank* do nó, distância relativa do nó à raiz.

Figura 25 – Conteúdo de uma mensagem DIO enviada do nó 6 para nó raiz.

The screenshot displays a Wireshark capture of a network packet. The packet list pane shows a series of packets, with packet 291 highlighted. This packet is an ICMPv6 RPL Control message (DODAG Information Object) with a length of 102 bytes, sent from source fe80::212:740e:e:e0e to destination fe80::212:7401:1:101. The packet details pane shows the following structure:

- IEEE 802.15.4 Data, Dst: NitLab\_01:00:01:01:01, Src: NitLab\_06:00:06:06:06
- 6LoWPAN
  - IPHC Header
    - Next header: ICMPv6 (0x3a)
    - Source: fe80::212:7406:6:606 (fe80::212:7406:6:606)
    - Destination: fe80::212:7401:1:101 (fe80::212:7401:1:101)
  - Internet Protocol Version 6, Src: fe80::212:7406:6:606 (fe80::212:7406:6:606), Dst: fe80::212:7401:1:101 (fe80::212:7401:1:101)
  - Internet Control Message Protocol v6
    - Type: RPL Control (155)
    - Code: 1 (DODAG Information Object)
    - Checksum: 0xec3a [correct]
    - RPLInstanceID: 30
    - Version: 240
    - Rank: 345
    - Flags: 0x10
      - Destination Advertisement Trigger Sequence Number (DTSN): 240
      - Flags: 0x00
      - Reserved: 00
      - DODAGID: fd00::1 (fd00::1)

The packet bytes pane shows the raw data in hexadecimal and ASCII. The ASCII portion shows the characters 'a.g...t...' and '...t.z3: ...Y'.

Fonte: Próprio autor (*Wireshark*).

Na Figura 26 ilustra uma mensagem enviada do nó 10 para o nó raiz. Como pertence a mesma instância RPL os valores de ID de instância, ID DODAG e número da versão são sempre os mesmos para todos os nós da topologia. O único valor que muda de um nó para outro é o *rank*, que nesse exemplo apresenta um valor de 480, maior do que o exemplo anterior. Isso significa que é um nó mais distante da raiz, perfeitamente claro quando se observa a Figura 18, o nó 10 está mais distante da raiz do que o nó 6.

Figura 26 – Conteúdo de uma mensagem DIO enviada do nó 10 para nó raiz.

The screenshot displays the Wireshark interface with a packet capture of a DIO message. The packet list shows several ICMPv6 RPL Control (DODAG Information Object) packets. Packet 287 is selected, showing its details: Internet Protocol Version 6, Source: fe80::212:7410:10:1010, Destination: fe80::212:7401:1:101, and Internet Control Message Protocol v6 with Rank: 480.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
284	15.851288	fe80::212:7410:10:1010	fe80::212:7401:1:101	ICMPv6	102	RPL Control (DODAG Information Object)
285	15.838560	fe80::212:7410:10:1010	fe80::212:7401:1:101	ICMPv6	102	RPL Control (DODAG Information Object)
286	15.845558	fe80::212:7410:10:1010	fe80::212:7401:1:101	ICMPv6	102	RPL Control (DODAG Information Object)
287	15.853231	fe80::212:7410:10:1010	fe80::212:7401:1:101	ICMPv6	102	RPL Control (DODAG Information Object)
288	15.856912			IEEE 802	5	Ack
289	15.860734	fe80::212:7410:10:1010	fe80::212:7401:1:101	ICMPv6	102	RPL Control (DODAG Information Object)
290	15.864423			IEEE 802	5	Ack
291	15.989087	fe80::212:740e:e:e0e	fe80::212:7401:1:101	ICMPv6	102	RPL Control (DODAG Information Object)
292	15.992769			IEEE 802	5	Ack

Details of packet 287:

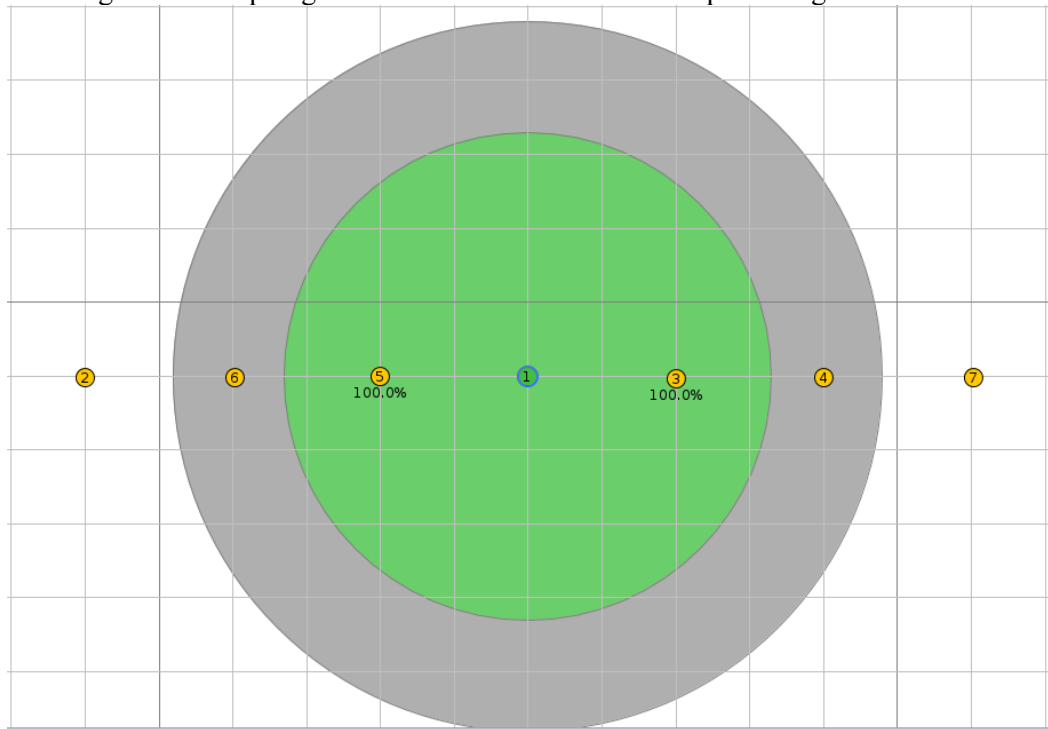
- Internet Protocol Version 6, Src: fe80::212:7410:10:1010 (fe80::212:7410:10:1010), Dst: fe80::212:7401:1:101 (fe80::212:7401:1:101)
- Internet Control Message Protocol v6
  - Type: RPL Control (155)
  - Code: 1 (DODAG Information Object)
  - Checksum: 0xe195 [correct]
  - RPLInstanceID: 30
  - Version: 240
  - Rank: 480
  - Flags: 0x10
    - Destination Advertisement Trigger Sequence Number (DTSN): 240
    - Flags: 0x00
    - Reserved: 00
    - DODAGID: fd00::1 (fd00::1)

Fonte: Próprio autor (*Wireshark*).

## 4.1.2. Cenário 2

A ideia desse cenário é exemplificar um ambiente de saúde fora do setor hospitalar, mais especificamente para sensoriamento de pacientes em suas residências. Nesse cenário 2, cada sensor seria um dispositivo de posse do usuário como um *smartphone* ou *smartwatch*. Portanto, os nós têm que ser configurados para apresentar movimento, possibilitando simular o movimento do usuário para análise de resultados. A Figura 27 ilustra a topologia do segundo cenário. As entradas foram feitas do nó raiz e de 6 nós inicialmente fixos e o processo de mobilidade é inserido com o cenário já pronto, por meio do seguinte caminho: *Tools > Mobility*. O software abre uma janela para que um arquivo de nome e extensão *Positions.dat* e por meio desse arquivo o sistema consegue traçar a rota que cada nó vai percorrer ao longo do plano, possibilitando a mobilidade.

Figura 27 – Topologia de rede montada no simulador para o segundo cenário.



Fonte: Próprio autor (COOJA).

A criação do arquivo *Positions.dat* é simples, porém com a mecânica extensa porque para cada nó é preciso informar o ponto (x,y) exato que o nó deve percorrer a cada segundo variando um metro, para que assim o nó percorra o trajeto em uma velocidade média de 1 metro por segundo. A Figura 28 ilustra a entrada dos dados, sendo o primeiro valor o número do nó, seguido pelo tempo em segundos, e a posição no plano.

Figura 28 – Exemplo do arquivo responsável pela mobilidade dos nós móveis.

```

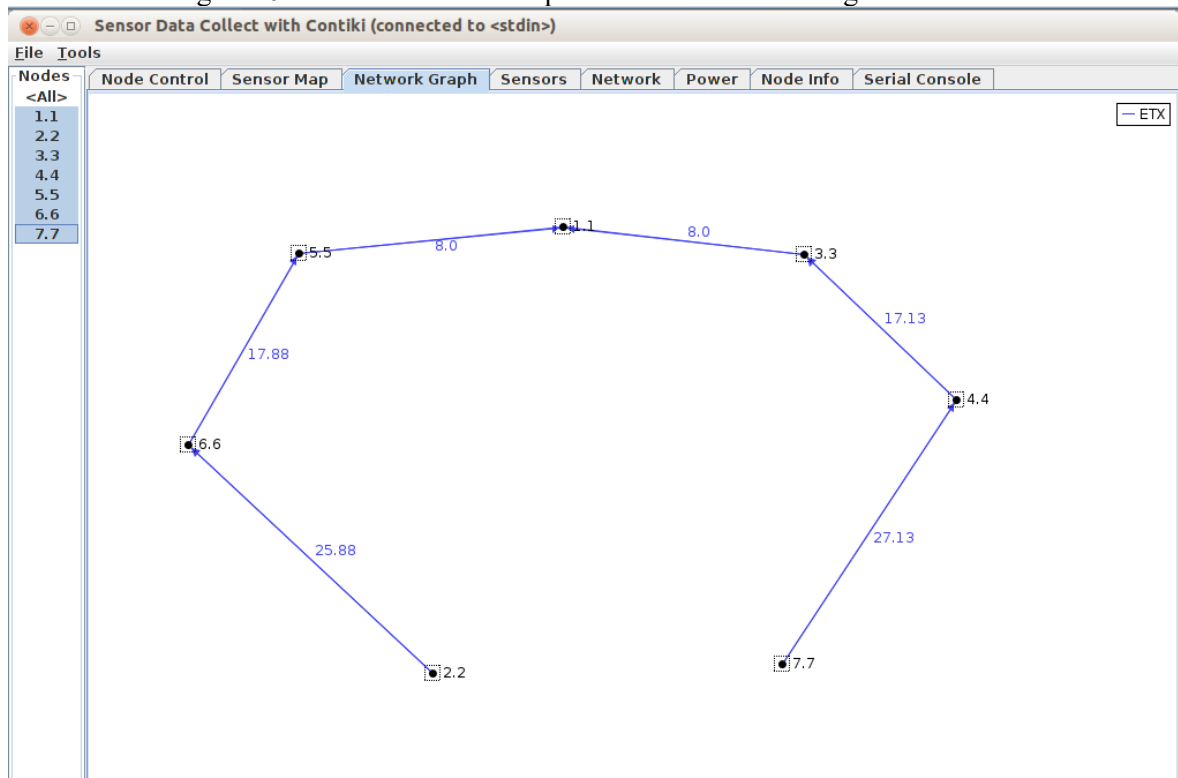
Applications Places
positions.dat (-/contiki/tools/cooja/apps/mobility) - gedit
File Edit View Search Tools Documents Help
Open Save Undo Redo Print Search
positions.dat x
#node time(s) x y
2 0 70 0
3 0 90 0
4 0 30 0
5 0 10 0
2 1 70 1
3 1 90 1
4 1 30 1
5 1 10 1
2 2 70 2
3 2 90 2
4 2 30 2
5 2 10 2
2 3 70 3
3 3 90 3
4 3 30 3
5 3 10 3
2 4 70 4
3 4 90 4
4 4 30 4
5 4 10 4
2 5 70 5
3 5 90 5
4 5 30 5
5 5 10 5
2 6 70 6
3 6 90 6
4 6 30 6
5 6 10 6
2 7 70 7
3 7 90 7
4 7 30 7
5 7 10 7
2 8 70 8
3 8 90 8
4 8 30 8
5 8 10 8
2 9 70 9
3 9 90 9
4 9 30 9
5 9 10 9
2 10 70 10
  
```

Fonte: Próprio autor (Contiki).

O trajeto de cada nó foi feito de forma que o nó não saia do perímetro de 20 metros tanto no eixo x, quanto y, para que assim não saia dos limites impostos ilustrados na Figura 12. Após a entrada dos dados de posicionamento, é feito a inicialização da simulação, e os nós móveis iniciam seu movimento a partir das coordenadas especificadas. Durante o período de uma hora os nós trocaram pacotes e estiveram em movimento, ficando fixo apenas o nó raiz, que não apresenta mobilidade.

A Figura 29 ilustra os dados analisados a partir do *Sensor Data Collect with Contiki*. Utilizando o *Network Graph* é possível visualizar a média do ETX dos nós, onde os nós 2 e 7, apresentam a maior média de ETX, pois estão mais afastados do nó raiz, precisando de um número maior de transmissões.

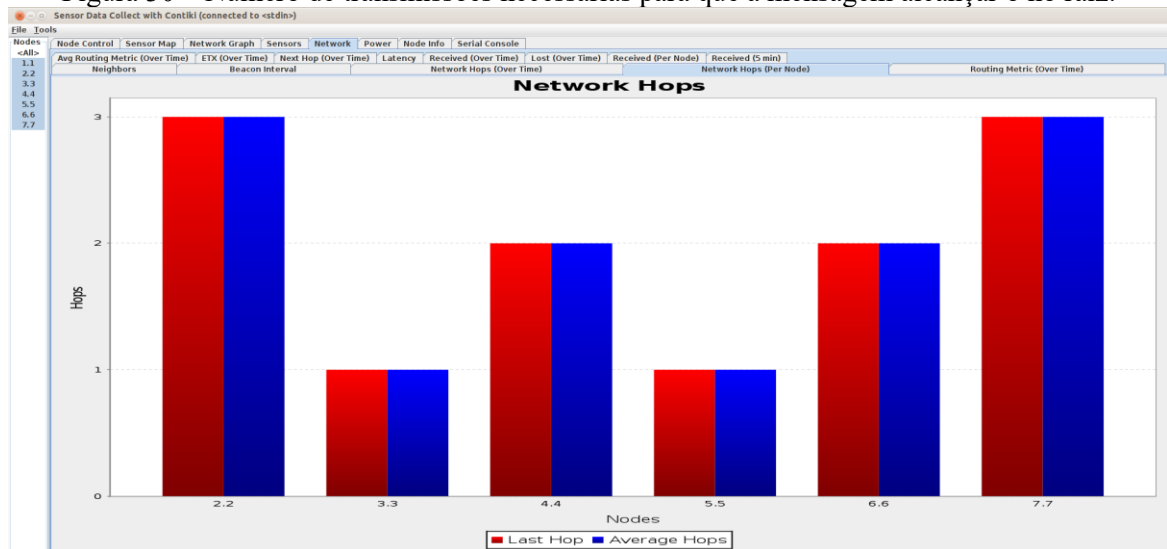
Figura 29 – Resultados obtidos para média do ETX no segundo cenário.



Fonte: Próprio autor (COOJA).

A Figura 30 ilustra os resultados obtidos do número de transmissões necessárias para a mensagem alcançar o nó raiz. Os nós 3 e 5 por estarem mais próximos ao nó raiz precisam de apenas uma transmissão, e conforme vai se afastando do nó raiz, mais transmissões os nós precisam dar para que a mensagem chegue à raiz, como é o caso dos sensores 2 e 7, que precisam de três transmissões.

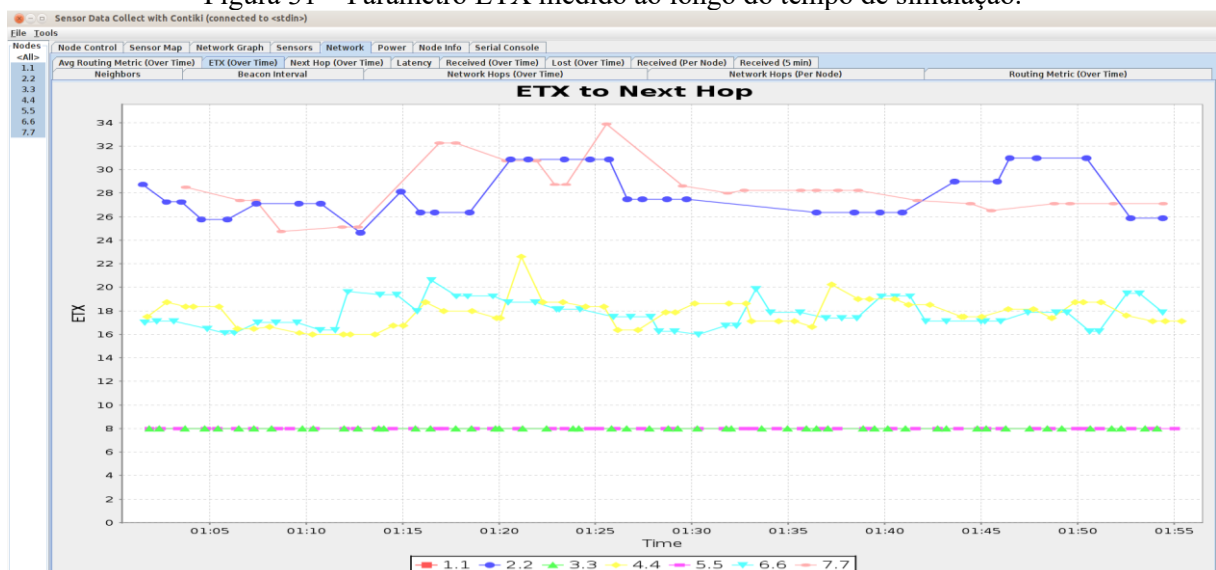
Figura 30 – Número de transmissões necessárias para que a mensagem alcançar o nó raiz.



Fonte: Próprio autor (COOJA).

A Figura 31 mostra o parâmetro ETX medido ao longo do tempo de simulação. Verificou-se que ao aumentar o salto de transmissão, os 4 nós que não fazem conexão direta com o nó raiz, o valor do ETX varia ao longo do tempo e isso se deve ao fato do movimento. Quando o nó envia a mensagem DIO ele se encontra em uma distância do nó raiz, e com o passar do tempo ao enviar outra mensagem, o nó já está em outra posição, ocasionando a variação. Outro problema é que os nós 2 e 7, que são os mais afastados, utiliza de seus nós vizinhos para fazer a propagação das mensagens, e esses nós vizinhos também são móveis. E observando os resultados obtidos anteriores do ETX não é possível verificar a influência da mobilidade.

Figura 31 – Parâmetro ETX medido ao longo do tempo de simulação.

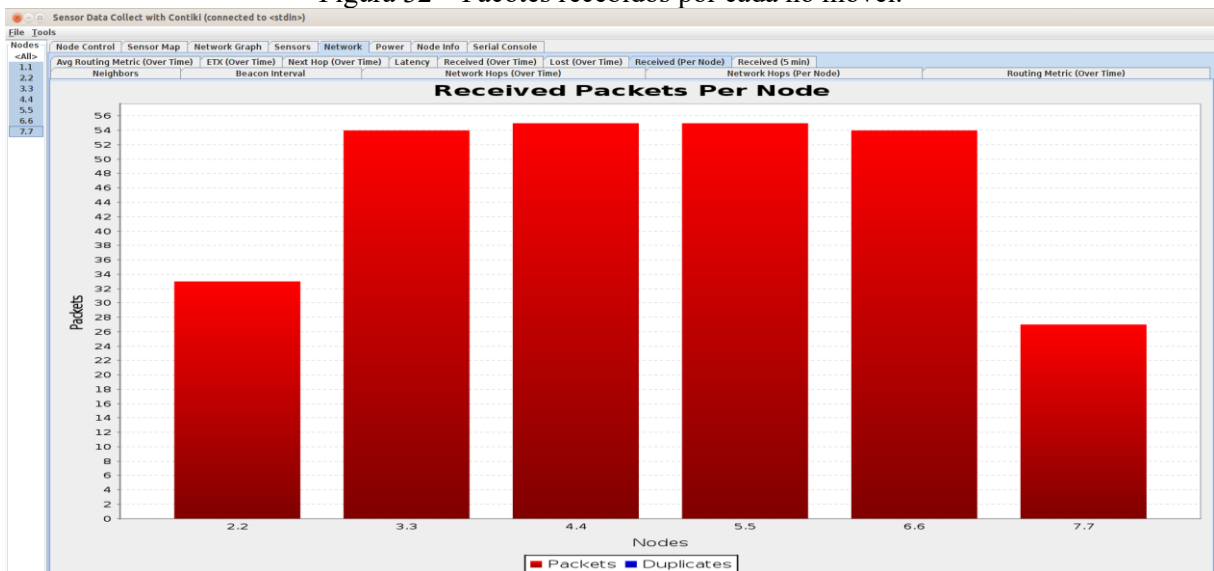


Fonte: Próprio autor (COOJA).



Na Figura 32 ilustra os resultados obtidos dos pacotes recebidos por cada nó móvel. A taxa PDR, é quem mais sofre variações no cenário de mobilidade, uma vez que, com exceção do nó raiz, o restante é móvel. Então praticamente toda a rede apresenta mobilidade e, conseqüentemente aumenta o número de perda de pacotes. O valor aumenta cada vez mais que o *rank* dos nós aumenta e é perceptível que os nós mais afastados do nó raiz, tiveram uma perda muito maior de pacotes.

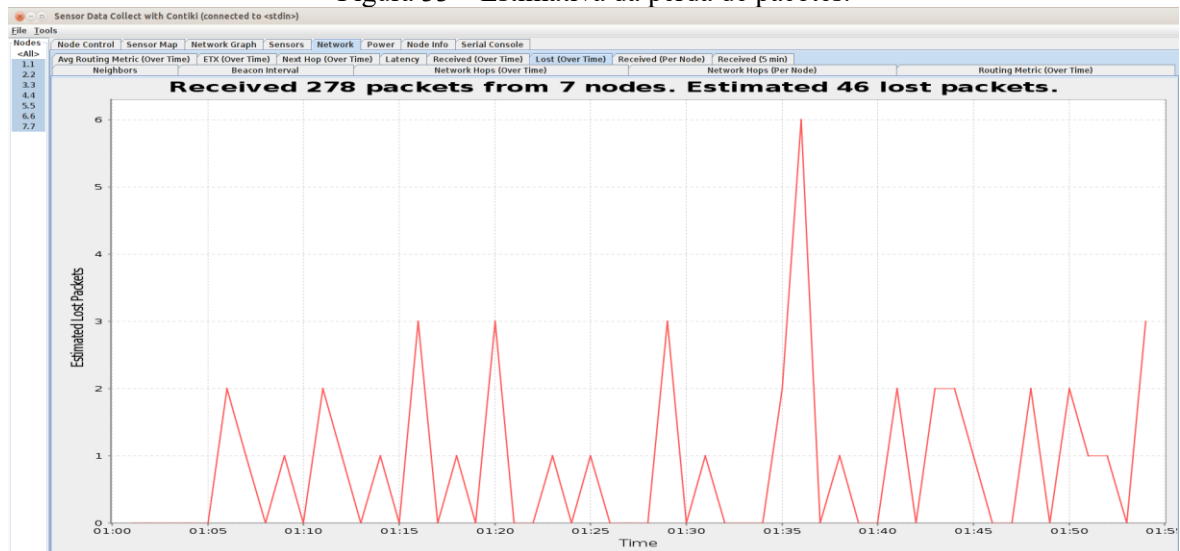
Figura 32 – Pacotes recebidos por cada nó móvel.



Fonte: Próprio autor (COOJA).

Na Figura 33 tem-se o gráfico da estimativa de perda de pacotes.

Figura 33 – Estimativa da perda de pacotes.

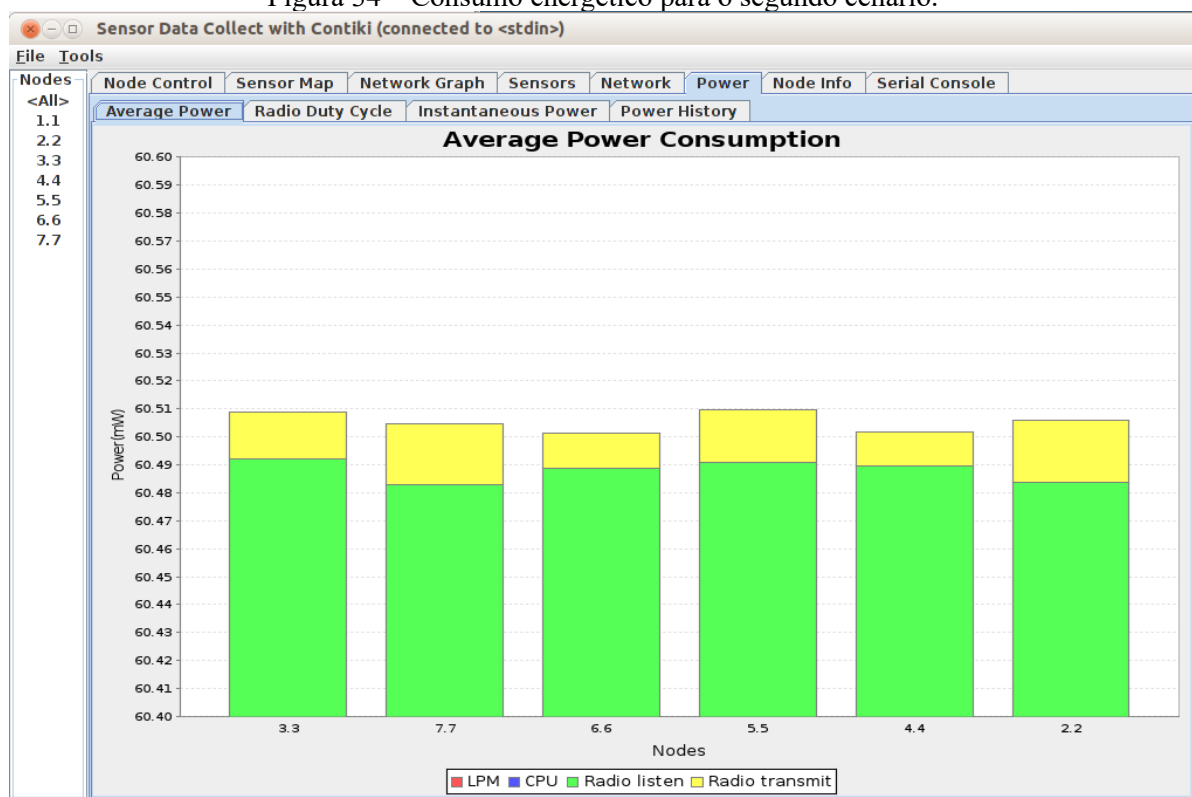


Fonte: Próprio autor (COOJA).

Com os valores encontrados calcula-se a taxa de entrega de pacotes PDR, que foi de aproximadamente 83,45%. O grande problema, para esse tipo de rede, é que conforme os nós forem adicionados ao longo da rede, cada vez com um *rank* maior essa taxa pode diminuir. Conseqüentemente, os nós distantes perdem uma quantidade grande de pacotes, e as informações coletadas não são suficientes para a monitoração de pacientes.

Na Figura 34 mostra o gráfico da variação de consumo energético dos nós móveis. Os nós 3 e 5 tiveram maior consumo que outros nós, isso se deve ao fato de estarem com rádio de forma constante, pois quando não estão enviando os próprios pacotes para o nó raiz e propagam os pacotes oriundos dos nós 2, 4, 6 e 7. Outra informação útil é quanto aos nós 2 e 7 que tiveram um gasto maior ao analisar o rádio de transmissão em comparação com os outros nós. Como visto anteriormente foram os nós que mais tiveram perda de pacotes, logo a conclusão que se pode ter é que eles tiveram perda de comunicação com os nós 4 e 6, mantendo seu rádio transmissor ligado mais tempo a fim de encontrar um possível nó vizinho para propagar as mensagens.

Figura 34 – Consumo energético para o segundo cenário.

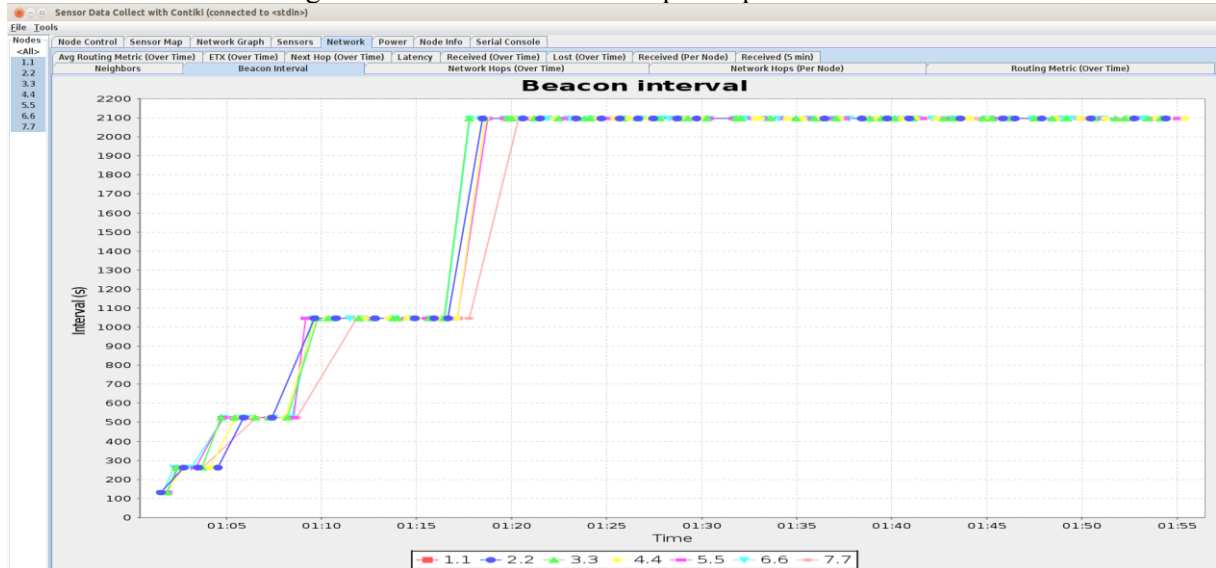


Fonte: Próprio autor (COOJA).

O gráfico do intervalo de *beacon* ilustrado na Figura 35 para o cenário móvel não apresentou picos de instabilidade em nós específicos. Porém foi necessário um tempo maior

para que os nós entrassem em um intervalo máximo de *beacon* alcançado a estabilidade da rede. Para uma análise mais aprofundada quanto aos *beacons* em cenários com mobilidade, faz-se necessário acrescentar um número maior de nós.

Figura 35 – Intervalo de beacon para o primeiro cenário.



Fonte: Próprio autor (COOJA).

Na Figura 36 tem-se o *print* de tela de uma mensagem DIO enviada do nó 5 para nó raiz contendo as informações de instância, e um *rank* de 286. O *Whireshark* também foi utilizado para a análise do conteúdo de mensagens trocadas no segundo cenário. A mobilidade não interfere ou modifica o conteúdo das mensagens, ou seja, têm-se as mesmas informações necessárias a respeito dos nós e enviados ao nó raiz, para que seja traçado a melhor rota de tráfego de informações entre os nós.

O conteúdo de uma mensagem DIO enviada do nó 3 para nó raiz é ilustrado na Figura 37. Mesmo se tratando de dois nós mais próximos ao nó raiz os nós 3 e 5 apresentaram *ranks* diferentes no momento em que as mensagens foram enviadas. A mobilidade influencia diretamente no *rank* em que nó está ao longo do tempo. Em casos com um número maior de nós, os nós podem trocar de nós pais e filhos preferidos, para um roteamento mais eficaz utilizando o algoritmo *trickle*.

Figura 36 – Conteúdo de uma mensagem DIO enviada do nó 5 para nó raiz.

Applications Places

radiolog-1619049153774.pcap [Wireshark 1.7.2 (SVN Rev 42506 from /trunk)]

File Edit View Go Capture Analyze Statistics Telephony Tools Internals Help

Filter: Expression... Clear Apply Save

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
85	64.550376			IEEE 802	5	Ack
86	64.827364	fe80::212:7405:5:505	fe80::212:7401:1:101	ICMPv6	102	RPL Control (DODAG Information Object)
87	64.831852			IEEE 802	5	Ack
88	66.518256	fe80::212:7403:3:303	ff02::1a	ICMPv6	97	RPL Control (DODAG Information Object)
89	66.629262	fe80::212:7402:2:202	fe80::212:7406:6:606	ICMPv6	102	RPL Control (DODAG Information Object)
90	66.632941			IEEE 802	5	Ack
91	67.805011	fe80::212:7401:1:101	ff02::1a	ICMPv6	97	RPL Control (DODAG Information Object)
92	68.787288	fe80::212:7405:5:505	ff02::1a	ICMPv6	97	RPL Control (DODAG Information Object)

▶ Frame 86: 102 bytes on wire (816 bits), 102 bytes captured (816 bits)

▶ IEEE 802.15.4 Data, Dst: NitLab\_01:00:01:01:01, Src: NitLab\_05:00:05:05:05

6LoWPAN

▶ IPHC Header  
Next header: ICMPv6 (0x3a)  
Source: fe80::212:7405:5:505  
Destination: fe80::212:7401:1:101 (fe80::212:7401:1:101)

▶ Internet Protocol Version 6, Src: fe80::212:7405:5:505 (fe80::212:7405:5:505), Dst: fe80::212:7401:1:101 (fe80::212:7401:1:101)

Internet Control Message Protocol v6

Type: RPL Control (155)  
Code: 1 (DODAG Information Object)  
Checksum: 0xed77 [correct]  
RPLInstanceID: 30  
Version: 240  
Rank: 286  
Flags: 0x10  
Destination Advertisement Trigger Sequence Number (DTSN): 241  
Flags: 0x00  
Reserved: 00  
DODAGID: fd00::1 (fd00::1)

```

0000  61 dc 2e cd ab 01 01 01 00 01 74 12 00 05 05 05  a.....t....
0010  00 05 74 12 00 7a 33 3a 9b 01 ed 77 1e f0 01 1e  ..t.z3:..w...
0020  10 f1 00 00 fd 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ..f.....
0030  00 00 00 01 04 0e 00 08 0c 0a 03 80 00 80 00 01  .....<..@...
0040  00 0a 00 3c 08 1e 40 40 00 00 00 00 00 00 00 00  ..<..@@.....
0050  00 00 00 00 fd 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  ..f.....
0060  00 00 00 00 6c e1                                .....l

```

Frame (102 bytes) 6LoWPAN (116 bytes)

Frame (frame), 102 bytes Packets: 216 Displayed: 216 Marked: 0 Load time: 0:00:157

[Software Updater] radiolog-1619049153...

Fonte: Próprio autor (*Wireshark*).

Figura 37 – Conteúdo de uma mensagem DIO enviada do nó 3 para nó raiz.

The screenshot displays the Wireshark interface with a packet capture of a DIO message. The packet list pane shows the following entries:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
18	10.812687	fe80::212:7406:6:606	fe80::212:7405:5:505	ICMPv6	76	RPL Control (Destination Advertisement Object)
19	10.815541			IEEE 802	5	Ack
20	10.826544	fe80::212:7405:5:505	fe80::212:7401:1:101	ICMPv6	76	RPL Control (Destination Advertisement Object)
21	10.829393			IEEE 802	5	Ack
22	10.993703	fe80::212:7403:3:303	fe80::212:7401:1:101	ICMPv6	102	RPL Control (DODAG Information Object)
23	10.997386			IEEE 802	5	Ack

The packet details pane for packet 22 shows the following structure:

- IPHC Header
  - Next header: ICMPv6 (0x3a)
  - Source: fe80::212:7403:3:303 (fe80::212:7403:3:303)
  - Destination: fe80::212:7401:1:101 (fe80::212:7401:1:101)
- Internet Protocol Version 6, Src: fe80::212:7403:3:303 (fe80::212:7403:3:303), Dst: fe80::212:7401:1:101 (fe80::212:7401:1:101)
- Internet Control Message Protocol v6
  - Type: RPL Control (155)
  - Code: 1 (DODAG Information Object)
  - Checksum: 0xef5d [correct]
  - RPLInstanceID: 30
  - Version: 240
  - Rank: 318
  - Flags: 0x10
    - Destination Advertisement Trigger Sequence Number (DTSN): 241
    - Flags: 0x00
    - Reserved: 00
    - DODAGID: fd00::1 (fd00::1)
  - ICMPv6 RPL Option (DODAG configuration)
    - Type: DODAG configuration (4)
    - Length: 14
    - Flag
      - DIOIntervalDoublings: 8

The packet bytes pane shows the raw data in hexadecimal and ASCII:

```

0000 61 dc 9b cd ab 01 01 01 00 01 74 12 00 03 03 03  a.....t....
0010 00 03 74 12 00 7a 33 3a 9b 01 ef 5d 1e f0 01 3e  ..t.z3:...]...>
0020 10 f1 00 00 fd 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0030 00 00 00 01 04 0e 00 08 0c 0a 03 80 00 80 00 01  .....
0040 00 0a 00 3c 08 1e 40 40 00 00 00 00 00 00 00 00  <..@@ .....
0050 00 00 00 00 fd 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0060 00 00 00 00 ec df .....
  
```

Fonte: Próprio autor (*Wireshark*).

## 4.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram feitas as implementações da simulação proposta no *software* COOJA, disponível no sistema operacional Contiki. Além da análise dos dados disponibilizados no COOJA, o *software* Whireshark também foi utilizado para complementar os resultados adquiridos. O presente estudo apresentou dois cenários distintos e suas principais características bem como os resultados obtidos em cada um deles. No próximo Capítulo serão descritas as conclusões desse trabalho, umas ideias de melhorias para estudos futuros.

## CAPÍTULO V

### 5.1. CONCLUSÃO

O conceito Internet das Coisas mostra-se aplicável em diversos setores presentes globalmente, visando proporcionar uma melhor aplicação de telecomunicações. Neste estudo, o objetivo foi visualizar essa tecnologia no cenário médico hospitalar, alinhado aos cuidados com a saúde. O trabalho proporcionou uma nova perspectiva, bem como novas ideias de estudo, para viabilizar uma melhor aplicação da IOT em *healthcare*. Com o contínuo estudo futuro e análise de normas regulamentárias o cenário de IOT tem possibilidades no emprego *healthcare*, porém necessita-se de um estudo intensificado, e de junção de tecnologias como por exemplo o 5G, e de mecanismos de segurança de dados e análise de dispositivos IOT no âmbito hospitalar, e também quanto ao estudo das normas vigentes pelos órgãos de regulamentação.

Em ambos os cenários propostos com suas características e topologias de rede, o protocolo RPL e os seus algoritmos mostraram certa possibilidade de ser escalável no ambiente *healthcare* em redes LLNS, contudo os estudos realizados foram no âmbito de simulação e não tem eficácia comprovada para implementação em um ambiente real devido a uma série de fatores necessários para utilização que não foram foco do protótipo a princípio e que demandam um estudo futuro aprofundado.

No primeiro cenário, a quantidade de equipamentos presentes na rede não acarretou grandes dificuldades para a rede propagar informações, não houve perdas significativas de informação, e proporcionou estabilidade ao decorrer da simulação, porém é visto uma certa instabilidade no início da simulação o que é questionável para utilização em UTIs onde os dados são críticos para o cuidado com o paciente. Já no segundo cenário, os resultados da simulação não foram ruins mas é um grande passo implementar na prática o protótipo. É necessário melhorar a topologia na presença de mobilidade, como por exemplo implementar nós fixos para auxiliar o roteamento entre os nós móveis, uma vez que caso o rádio de algum nó esteja desligado ou o dispositivo apresente problemas, a rede consiga manter a difusão das mensagens.

O ambiente de simulação de redes disponibilizado pelo COOJA/Contiki mostrou-se muito poderoso. Ele é eficaz nas simulações disponibilizando uma série de ferramentas para proporcionar uma simulação eficaz permitindo mudanças de topologia de forma simples possibilitando encontrar resultados satisfatórios.

## **5.2. ESTUDOS FUTUROS**

Durante as simulações verificou-se a necessidade de uma melhoria principalmente na topologia dos cenários. Para o segundo cenário faz-se necessária a adição de sensores fixos, ou mesmo mudanças de topologia ou tecnologias com a finalidade de diminuir a perda de pacotes e prevenir problemas na rede. O roteamento é só uma das questões presente no grande conceito das comunicações, demanda ainda um estudo de um software para receber e tratar os dados dos nós, e promover uma interface para a análise dos diversos parâmetros medidos de forma visual e simples para o usuário. As aplicações em cenários medico hospitalares, demandam uma série de estudos e análises antes de ser implementado, é de suma importância alinhar os projetos desenvolvidos com os órgãos de regulamentação e vigilância.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

- [1] Zhao, Ming & Kumar, Arun & Chong, P.H.J. & Lu, Rongxing. A comprehensive study of RPL and P2P-RPL routing protocols: Implementation, challenges and opportunities. Peer-to-Peer Networking and Applications. 2017.
- [2] MELLO, Heloisa. Quais equipamentos de UTI que não podem faltar em um hospital? Setembro de 2019. Disponível em: <<https://blog.medicalway.com.br/quais-equipamentos-de-uti-que-nao-podem-faltar-em-um-hospital/>>. Acesso em: 15 de dezembro, 2020.
- [3] INTEL. Delivering a Foundation for Connected Healthcare Innovation. Disponível em: <<https://www.intel.com.br/content/www/br/pt/healthcare-it/transforming-healthcare.html/>>Acesso em: 20 de dezembro, 2020.
- [4] SENTANCE, Rebecca. 7 examples of how the Internet of things is facilitating healthcare. Janeiro de 2021. Disponível em: < <https://econsultancy.com/Internet-of-things-healthcare/>>. Acesso em: 15 de fevereiro, 2021.
- [5] WEISER, M. The Computer for the 21 st century. Scientific american, v. 265, n. 3, p. 94-105, 1991.
- [6] SAKAMOTO, Sarah Gomes. Segurança, privacidade e blockchain no contexto de Internet das coisas. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização Internet das Coisas). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.
- [7] GIL, SANTOS, Matias Romário Pinheiro dos. Classificação de tráfego e dos dispositivos de IOT através do fluxo de rede e inspeção da carga útil dos pacotes. 2018. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- [8] Rodrigues Cotrim, Jeferson & Kleinschmidt, João. Avaliação de Desempenho do Protocolo RPL em Ambientes com Mobilidade. XXXIV Simpósio Brasileiro de telecomunicações. Santarém, Pará 2016.
- [9] CISCO. Cisco Annual Internet Report (2018-2023). 2020. Disponível em: <<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-Internet-report/white-paper-c11-741490.pdf/>>. Acesso em: 20 de dezembro, 2020.
- [10] EG FARHAN, L.; SHUKUR, S. T.; ALISSA, A. E.; ALRWEG, M.; RAZA, U.; KHAREL, R. A survey on the challenges and opportunities of the Internet of things (IOT). In: 2017 Eleventh International Conference on Sensing Technology (ICST). [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–5.
- [11] Thubert, Pascal & Winter, Tim & Brandt, Anders & Hui, Jonathan & Kelsey, Richard & Levis, Phil & Pister, Kristofer & Struik, Rene & Vasseur, Jp & Alexander, Roger. RPL: IPv6 Routing Protocol for Low power and Lossy Networks. 2012. IETF. RFC 6550.
- [12] A. R. Jadhao and S. S. Solapure, "Analysis of routing protocol for Low Power and Lossy Networks (RPL) using Cooja simulator," 2017 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), Chennai, 2017, pp. 2364-2368, doi: 10.1109/WiSPNET.2017.8300183.



- [13] C. F. Pereira, F. S. Fernandes. IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks. Disponível em: < <https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/vf/rpl/lins.html>>. Acesso em: 10 de janeiro, 2021.
- [14] Prates, N., Pelloso, M., Macedo, R., and Nogueira, M. 2018. Ameaças de Segurança, Defesas e Análise de Dados em IOT Baseada em SDN. In Minicursos SBSeg 2018, chapter 1, pages 1–50.SBC.
- [15] CONTIKI. The Contiki Operating System. Disponível em: < <http://www.contiki-os.org> >. Acesso em: 10 de outubro, 2020.
- [16] Santos, B. P., Silva, L., Celes, C., Borges, J. B., Neto, B. S. P., Vieira, M. A. M., Vieira L.F. M., Goussevskaia, O. N., and Loureiro, A. Internet das coisas: da teoria à prática. 2016. Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos.
- [17] Santos, A. R. F. Uma Análise de Desempenho em Internet das Coisas Baseada em Lógica Paraconsistente. 2017. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Paulista, São Paulo, 2017.
- [18] Farhan, Laith & Shukur, Sinan & Alissa, Ali & Alweg, Mohmad & Raza, Umar & Kharel, Rupak. 2017. A survey on the challenges and opportunities of the Internet of Things (IOT). 1-5. 10.1109/ICSensT.2017.8304465.
- [19] Pataca, C. A Internet das Coisas: Tipologias, Protocolos e Aplicações. 2020. Doutorado em Telecomunicações. Atlantic International University, Hawaii, 2020.
- [20] PHILIPS. IOT in Healthcare Making it work. Disponível em: <<https://www.innovationservices.philips.com/looking-expertise/electronic-systems-IOT/IOT-in-healthcare/>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2021.
- [21] Onasanya, Adeniyi & Elshakankiri, Maher. (2019). Smart integrated IOT healthcare system for cancer care. Wireless Networks. 10.1007/s11276-018-01932-1.
- [22] Wireshark. About Wireshark. Disponível em: <<https://www.wireshark.org/>>. Acesso em: 04 de abril de 2021.
- [23] Al-Shargabi, Bassam & Aleswid, Mohammed. (2020). Performance of RPL in Healthcare Wireless Sensor Network. 10.30534/ijeter/2020/31832020.
- [24] AMIB – Associação de Medicina Intensiva Brasileira. Regulamento Técnico Para Funcionamento de Unidades de Terapia Intensiva. Disponível em :< [https://www.amib.org.br/fileadmin/user\\_upload/amib/2018/abril/23/RecomendacoesAMIB.pdf](https://www.amib.org.br/fileadmin/user_upload/amib/2018/abril/23/RecomendacoesAMIB.pdf)> . Acesso em: 15 de junho de 2021.