



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS – IFAM
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL
CURSO TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES**

ELTON JOHN CARVALHO DOS SANTOS

Redes de comunicação sem fio: A proposta de sistema de teste para medir o alcance e a taxa de transferência de dados em dispositivos LI-FI

**MANAUS/AM
2023**

ELTON JOHN CARVALHO DOS SANTOS

Redes de comunicação sem fio: A proposta de sistema de teste para medir o alcance e a taxa de transferência de dados em dispositivos LI-FI

Trabalho de Conclusão de curso submetido ao curso de graduação em Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do Título de Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro.

**MANAUS/AM
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S231r	<p>Santos, Elton John Carvalho dos.</p> <p>Redes de comunicações sem fio: a proposta de sistema de teste para medir o alcance e a taxa de transferência de dados em dispositivos Li-Fi / Elton John Carvalho dos Santos. — Manaus, 2023.</p> <p>33f.: il. color.</p> <p>Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, <i>Campus</i> Manaus Distrito Industrial, Curso de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações, 2023.</p> <p>Orientador: Prof.^o Celso Souza Cordeiro, Esp.</p> <p>1. Comunicação sem fio. 2. Li-Fi. 3. Wi-Fi. 4. VLC. I. Cordeiro, Celso Souza. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.</p> <p>CDD 621.382</p>
-------	--

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734)

ELTON JOHN CARVALHO DOS SANTOS

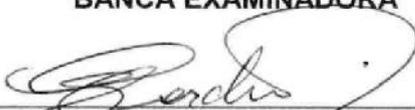
Redes de comunicação sem fio: A proposta de sistema de teste para medir o alcance e a taxa de transferência de dados em dispositivos LI-FI

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas como requisito parcial para obtenção do Título Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações..

Orientador: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro.

Aprovado em 09 de Março de 2023.

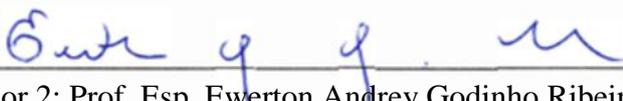
BANCA EXAMINADORA



Orientador e Presidente: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro



Avaliador 1: Prof. Me José Geraldo de Pontes e Souza



Avaliador 2: Prof. Esp. Ewerton Andrey Godinho Ribeiro

Dedico com sublime carinho aos que sonharam intensamente com isso a minha família amada esposa Rosana Alves Sena, aos meus filhos Caio Eduardo Sena dos Santos e Eduardo Luiz Sena dos Santos e principalmente, pois sem a ajuda deles isso não seria possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e minha família amada esposa Rosana Alves Sena e filhos Caio Eduardo Sena dos Santos e Eduardo Luiz Sena dos Santos, por todo apoio e ajuda.

Resumo

Em escala global, podemos perceber que a sociedade de um modo geral está cada vez mais conectada, seja pela necessidade de informação, lazer, educação ou trabalho. Muitos são os caminhos que permitem navegar nas ondas do ciberespaço, os meios que permitem essa conexão são bastantes difundidos, seja através de cabos ou simplesmente através do ar. A comunicação sem fio vem se expandindo e preenchendo lacunas que outrora estavam em evidência, lacunas que permitem o surgimento de novas tecnologias. O tema nos motiva a pesquisar sobre maneiras de testar o alcance e a qualidade de serviço da taxa de transferência de dados da tecnologia LI-FI, ao longo desta jornada será possível compreender melhor as aplicações dessa tecnologia, ao qual, possui um leque de possibilidades. Dessa maneira, as redes Li-Fi se utilizando simplesmente luz em vez de sinais de radiofrequência para fazer a transmissão de dados, são capazes de possibilitar o emprego dessa tecnologia em diversos ambientes, assim, o VLC pode ser utilizado com mais segurança. São exemplos aplicação em aeronaves, dispositivos médicos e unidades hospitalares onde Wi-Fi é acesso restrito, ou até mesmo debaixo d'água. A Metodologia aplicada nesta pesquisa, ocorreu a partir de uma revisão bibliográfica, realizada através de pesquisas em artigos científicos, bancos de dados de bases eletrônicas e revistas especializadas na área de telecomunicações. Após a busca e seleção de artigos e documentos literários, houve a tabulação das informações encontradas meios de Inclusão e Exclusão. Dentro desse contexto, o desenvolvimento de um sistema de teste para validar a qualidade de serviço do throughput em placas LI-FI tem bastante relevância e auxilia no melhor entendimento desse fenômeno dentro um ambiente controlado (laboratório) que permitirá um estudo aprofundado e melhor observação da tecnologia Comunicação por Luz Visível (VLC).

Palavra-Chave: LI-FI, WI-FI, VLC, comunicação sem fio.

ABSTRACT

On a global scale, we can see that society in general is increasingly connected, whether for the need for information, leisure, education, or work. Many are the ways to navigate the waves of cyberspace, the means that allow this connection are widespread, whether through cables or simply through the air. Wireless communication has been expanding and filling gaps that were once in evidence, gaps that allow the emergence of new technologies. The theme motivates us to research ways to test the range and quality of service of the data transfer rate of LI-FI technology, along this journey it will be possible to better understand the applications of this technology, which has a range of possibilities. Thus, the Li-Fi networks using simply light instead of radio frequency signals to make the data transmission, are able to enable the use of this technology in various environments, so the VLC can be used more safely. Examples are applications in aircraft, medical devices and hospital units where Wi-Fi is restricted, or even underwater. The methodology applied in this research was based on a bibliographic review, carried out through research in scientific articles, electronic databases and specialized magazines in the area of telecommunications. After the search and selection of articles and literary documents, there was the tabulation of the information found means of Inclusion and Exclusion. Within this context, the development of a test system to validate the throughput quality of service in LI-FI boards has a lot of relevance and helps in the better understanding of this phenomenon within a controlled environment (laboratory) that will allow a sunk study and better observation of the Visible Light Communication (VLC) technology.

Keyword: LI-FI, WI-FI, VLC, wireless communication.

LISTA DE TABELAS E FIGURAS

Figura 01 – Espectro eletromagnético.....	15
Figura 02 - Arquitetura LI-FI.....	17
Figura 03 - Análise de funcionamento do LED XLamp MC-E.....	18
Figura 04 - Arquitetura 802.15.7.....	22
Figura 05 - Topologias de rede de sistemas VLC de curto alcance.....	24
Figura 06 - Ambiente de teste LI-FI.....	27
Figura 07 - Sistema de teste rede LI-FI.....	27

LISTA DE TABELAS E FIGURAS

Tabela 01 – Estruturas propostas no IEEE 802.15.7.....	21
Tabela 02 – Modo de operação PHY I.....	21
Tabela 03 – Modo de operação PHY II.....	22
Tabela 04 – Modo de operação PHY III.....	23
Tabela 05 - Diferença básica entre LiFi e WiFi	25
Tabela 06 - Lista de materiais utilizados.....	28
Tabela 07 - Resultados da transmissão a 5 cm com luz artificial.....	31
Tabela 08 - Resultados da transmissão a 10 cm com luz artificial.....	32
Tabela 09 - Resultados da transmissão a 15 cm com luz artificial.....	32
Tabela 10 - Resultados da transmissão a 20 cm com luz artificial.....	32
Tabela 11 - Resultados da transmissão a 30 cm com luz artificial.....	32
Tabela 12 - Resultados da transmissão a 40 cm com luz artificial.....	33

LISTA DE SIGLAS

QoS – Qualidade de Serviço (Quality of Service)

IEEE – Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos

VLC - Comunicação por Luz Visível

WLAN – Rede Local Sem Fios (Wireless Local Area Network)

Wi-WI-Fi – Fidelidade Sem Fios (Wireless Fidelity)

BSS – Conjunto de Serviço Básico (Basic Service Set)

DUT - teste de unidade de dispositivo (Device Unit Test)

RF – Rádio Frequência (Radio Frequency)

LI-FI - LIFI (Light Fidelity)

OWC - (Optical Wireless Communication)

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.2 METODOLOGIA.....	12
2 . Objetivos	13
2.1. Geral	13
2.2. Especifico	13
3. Problema.....	13
4. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
4.1 REDES SEM FIO.....	14
4.2 Tecnologia Comunicação por Luz Visível	14
4.2.1 ESPECTRO ELETROMAGNETICO	15
4.2.2 ARQUITETURA DO LI-FI	16
4.2.3 Definição do LED utilizado.....	17
4.2.4 – Protocolo utilizado no VLC.....	18
5 A TRANSMISSÃO DE SEM FIO	19
5.1 TOPOLOGIA DA TEDE VLC	23
6. DIFERENÇA ENTRE WI-FI e LI-FI.....	24
7. SISTEMA DE ESTAÇÃO DE TESTE LI-FI.....	25
7.1 O que são estação de teste?.....	26
7.2 Cenário de teste	26
7.3 Modelo proposto.....	27
7.4 Material utilizado.....	27
7.5 Montagem do circuito da estação de Teste.....	29
8. Resultados Encontrados.....	30
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

Em escala global, podemos perceber que a sociedade de um modo geral está cada vez mais conectada, seja pela necessidade de informação, lazer, educação ou trabalho. Muitos são os caminhos que permitem navegar nas ondas do ciberespaço, os meios que permitem essa conexão são bastantes difundidos, seja através de cabos ou simplesmente através do ar.

A comunicação sem fio vem se expandindo e preenchendo lacunas que outrora estavam em evidência, lacunas que permitem o surgimento de novas tecnologias. As variações existentes das tecnologias sem fio, nos permitem desenvolver várias aplicações em diversos campos de estudo. Diante desse exposto, o tema nos motiva a pesquisar sobre maneiras de testar o alcance e a qualidade de serviço da taxa de transferência de dados da tecnologia LI-FI, ao longo desta jornada será possível compreender melhor as aplicações dessa tecnologia, ao qual, possui um leque de possibilidades.

A tecnologia LI-FI (Light Fidelity), pode ser compreendida como um sistema de comunicação sem fio na qual utiliza a luz para fazer conexões com a velocidade de transmissão de dados com taxas de transferência de dados acima de 1G/s.

Segundo Pohlmann (2010) e Haas, (2013) a tecnologia Comunicação por Luz Visível (VLC) tem se mostrado bastante promissora, principalmente, dada a possibilidade de colaboração com outros sistemas de frequência de rádio.

Outro fator que atrai pesquisadores é a possibilidade de trabalhar com frequências muito maiores que as utilizadas em dispositivos Wi-Fi, possibilitando assim comunicações sem fio em altíssimas velocidades (teoricamente na ordem de terabytes/s).

Dessa maneira, as redes Li-Fi se utilizando simplesmente luz em vez de sinais de radiofrequência para fazer a transmissão de dados, são capazes de possibilitar o emprego dessa tecnologia em diversos ambientes, assim, o VLC pode ser utilizado com mais segurança. Podemos usar como exemplo em aeronaves, dispositivos médicos e unidades hospitalares onde Wi-Fi é acesso restrito, ou até mesmo debaixo d'água, onde o Wi-Fi não é possível ser utilizado, porém o sistema VLC pode ser opção para esse tipo de demanda de serviço.

1.2 METODOLOGIA

A Metodologia aplicada nesta pesquisa, ocorreu a partir de uma revisão bibliográfica, realizada através de pesquisas em artigos científicos, bancos de dados de bases eletrônicas e revistas especializadas na área de telecomunicações. Após a busca e seleção de artigos e documentos

literários, houve a tabulação das informações encontradas meios de Inclusão e Exclusão. Tendo a finalidade primordial em delimitar os conteúdos a serem adentrados neste documento.

O estudo caracteriza-se por uma pesquisa do tipo transversal e qualitativa, obtida a partir de buscas em bases de dados como: SciELO e Repositório da IEEE, somada a uma proposta de modelo de teste de LI-FI para laboratório, a fim de medir o alcance, a confiabilidade e o QoS do serviço (taxa de transferência de dados).

Parafrazeando, Garcia (2010 apud GALLIANO, 1986, p. 26) o processo científico se dá através do processo metodológico cuja a finalidade, procura explicar e discutir um fenômeno baseado na verificação de uma ou conjuntos de hipóteses. Deste modo, está diretamente vinculado as questões específicas, na qual tratasse de explicá-las e relacioná-las com outros fatos recorrentes. “Quando analisamos um fato, o conhecimento científico não está ligado somente em explicá-lo, mas também em descobrir suas relações com outros fatos e procurar explicá-los com argumentos fundamentados”.

Dentro desse contexto, o desenvolvimento de um sistema de teste para validar a qualidade de serviço do throughput em placas LI-FI tem bastante relevância e auxilia no melhor entendimento desse fenômeno dentro um ambiente controlado (laboratório) que permitirá um estudo afundado e melhor observação da tecnologia Comunicação por Luz Visível (VLC).

2 . Objetivos

2.1. Geral

Estudar os aspectos de transmissão das redes LI-FI de modo a entender as características que garantem o desempenho da qualidade de serviço durante o momento da conexão.

2.2. Específico

Montar e desenvolver sistema de teste LI-FI que possa mensurar a qualidade de serviço do sinal de uma rede LI-FI e o alcance da rede dentro de um ambiente controlado.

3. Problema

Dentro de um ambiente de teste, o grande dilema em saber o que medir será, como posso medir? Principalmente no que diz respeito mensurar a qualidade de serviços voltados para tecnologia LI-FI. Devem ser consideradas algumas variáveis que são de suma importância no momento de fazer a verificação da qualidade de serviços em uma infraestrutura de rede ou, mesmo para mensurar o desempenho da taxa de transmissão de dados em um DUT (Teste de Unidade de dispositivo) pode entregar.

As variáveis em envolvidas neste ambiente de simulação de teste são elementos que garantem o bom funcionamento do sistema proposto, cujo as especificações estabelecidas no escopo de desenvolvimento do produto, sendo essas de latência, conectividades e o *throughput* (taxa de transferência).

Diante do exposto, o desenvolvimento de um sistema de teste de LI-FI em um ambiente controlado se faz bastante eficiente, principalmente no que diz respeito para diminuir as interferências externas durante a elaboração de ensaios de teste, garantindo assim a melhor confiabilidade dos resultados esperados.

No decorrer do desenvolvimento dessa pesquisa, temos como objetivo propor um modelo sistema de teste de rede LI-FI, ao qual, seja possível se adaptar a qualquer tipo de infraestrutura existente. Como projeto futuro, almejamos desenvolver uma proposta para a implantação de sistema de teste LI-FI no Laboratório de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação e Ciência Tecnologia do Amazonas, Campus Distrito Industrial – Manaus

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 REDES SEM FIO.

Podemos entender que uma rede sem fio, é uma rede de dispositivos interconectados que não se utiliza cabos (metálicos ou ópticos), capaz de proporcionar a transmissão através ondas eletromagnéticas enviadas e recebidas por dispositivos correlatados. O princípio de transmissão de sinal em uma rede sem fio é semelhante ao princípio da transmissão de voz, comumente encontrado e largamente utilizado em sistemas de rádio FM: os dados são modulados em uma onda portadora, sendo transmitida por antenas transmissoras e captadas pelas antenas receptoras, as quais estão conectadas a dispositivos que irão executar a demodulação do sinal, que irá processar as informações recebidas e transferi-las aos usuários. Para Cardoso; Almeida; Teixeira (2014), uma rede sem fio se refere a uma rede de computadores sem a necessidade do uso de cabos – sejam eles telefônicos, coaxiais ou ópticos – por meio de equipamentos que usam radiofrequência (comunicação via ondas de rádio) ou comunicação via infravermelho, ou seja, toda e qualquer transmissão de dados sem fio é *wireless*, este tipo de comunicação não se restringe somente a redes de computadores.

4.2 Tecnologia Comunicação por Luz Visível

Entre o nicho das novas tecnologias emergentes que se propõem a resolver o problema de lotação do espectro de frequência, de acordo com Komine, Nakagawa (2004), a Comunicação por Luz Visível (VLC), vem se destacando como uma candidata com bastante propícia a preencher essa lacuna. De fato, o interesse em formas de comunicação ótica sem fio

creceu, principalmente, dada a possibilidade de cooperação com sistemas de frequência de rádio.

Entendemos que a Comunicação por Luz Visível, são sistemas em que os dados são enviados através da modulação das ondas de luz no espectro visível, para Ghassemlooy et al (2017), utiliza-se apenas a faixa do espectro eletromagnético que varia entre 380 nm a 750 nm. Ao que tudo indica, sistemas em que a informação possa ser transmitida se utilizando algum tipo de luz visível aos olhos humanos pode ser chamado de Comunicação por Luz Visível.

No mercado há diversas outras nomenclaturas foram criadas ao longo dos anos para tecnologias de comunicação por Luz Visível, como OWC (Optical Wireless Communication) e Li-Fi (Light Fidelity).

O tema é um atrativo para pesquisadores, pois é a possibilidade de trabalhar com frequências muito maiores que as utilizadas em outrora em dispositivos WiFi, assim as comunicações sem fio podem trafegar em altíssimas velocidades. Lembrando que as novas tecnologias de emissão de luz, como lâmpadas LEDs, estão mais acessíveis, possibilitando novas perspectivas para comunicação ótica sem fio [Haruyama, 2013, Wang et al., 2015b]. O desenvolvimento de estudos e exploração do espectro da luz visível proporcionou uma série de inovações que já estão disponíveis para comercialização, como a tecnologia LiFi [Tsonev et al., 2013], apresentada em meados de 2011 e amplamente comercializada por empresas especializadas no ramo de VLC.

4.2.1 ESPECTRO ELETROMAGNETICO

A evolução de comunicações por rádio melhorou bastante ao longo do tempo devido aos avanços nas pesquisas que abriram novos caminhos e reinventaram conceitos existentes. A própria luz vista como forma de comunicação passou a ser uma quebra de paradigma, por sua vez, passou a ser um elemento que conquistou a atenção dos acadêmicos em volta do globo, graças aos esforços de pioneiros [Dimitrov e Haas, 2015], que abriram novo leque de possibilidades, muito embora tem se passado um pouco mais de 10 anos e ainda é pouco explorado essa de estudo, quando comparado à faixa de radiofrequência do espectro eletromagnético.

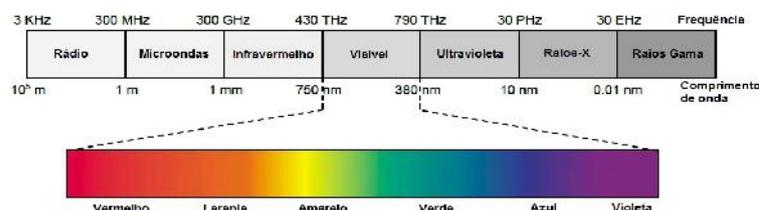


Figura 1 – Espectro eletromagnético [Pathak et al., 2015]

Para Argawal et al. (2014), para suprir a demanda mencionada por espectro, que aumenta exponencialmente a cada dia, nesse sentido se faz necessário o uso da tecnologia *Optical Wireless Communication (OWC)* – Comunicação Óptica sem Fio. A VLC (Comunicação através da Luz Visível) aponta um amplo espectro de frequências disponíveis e não regulamentada que compreende a faixa de 430 THz à 790 THz (Maré, 2018).

Diante do exposto, a luz visível pode ser o ponto fundamental para solucionar a questão do comprimento de largura de banda disponível no espectro atualmente, de acordo com Conceição (2015). A VLC, é uma forma de comunicação sem fio onde a modulação de dados é realizada dentro da faixa de luz visível do espectro eletromagnético, onde o comprimento de onda varia de 380nm a 750nm. A VLC possibilita que os problemas que normalmente estão relacionados à radiofrequência sejam reduzidos, pois o espectro da luz visível fornece uma faixa de frequência dez mil vezes maior do que o espectro das ondas de rádio.

4.2.2 ARQUITETURA DO LI-FI

A tecnologia Li-Fi é uma nomenclatura para descrever uma variação de sistemas de comunicação sem fio que utiliza a frequência de luz visível para transmissão de dados, como observar na figura 1. Basicamente pode ser feito se utilizando de lâmpadas LED brancas no transmissor Downlink [Grubor et al., 2008]. As lâmpadas LED em nosso cotidiano, são normalmente usadas para iluminação de ambientes e seu funcionamento está baseado apenas pela aplicação de uma corrente constante. No entanto, se provocarmos variações rápidas e ajustes tênues da corrente, é obtermos uma saída óptica que pode variar em velocidades extremamente altas [O'Brien et al., 2008]. Esta propriedade da corrente óptica é usada na configuração do sistema de transmissão Li-Fi. O procedimento para funcionamento é bastante simples, se o LED estiver aceso, será transmitido um sinal digital 1, se estiver desligado, será transmitido um sinal digital 0. Os LEDs podem ser ligados e desligados muito rapidamente, o que viabiliza a transmissão de dados [O'Brien et al., 2008].

Por isso, neste tipo de transmissão de dados, são necessárias algumas de lâmpadas de LEDs e um controlador que codificam dados para esses LEDs. Devemos notar que a variação da taxa na qual o irá LED pisca, depende dos dados que queremos codificar. Lembrando que é possível implementar melhorias neste sistema, bastando adicionar uma matriz de LEDs para transmissão de dados paralelos ou usar misturas de LEDs vermelho, verde e azul para alterar a frequência da luz, assim, cada frequência codifica um canal de dados diferente [O'Brien et al., 2008].

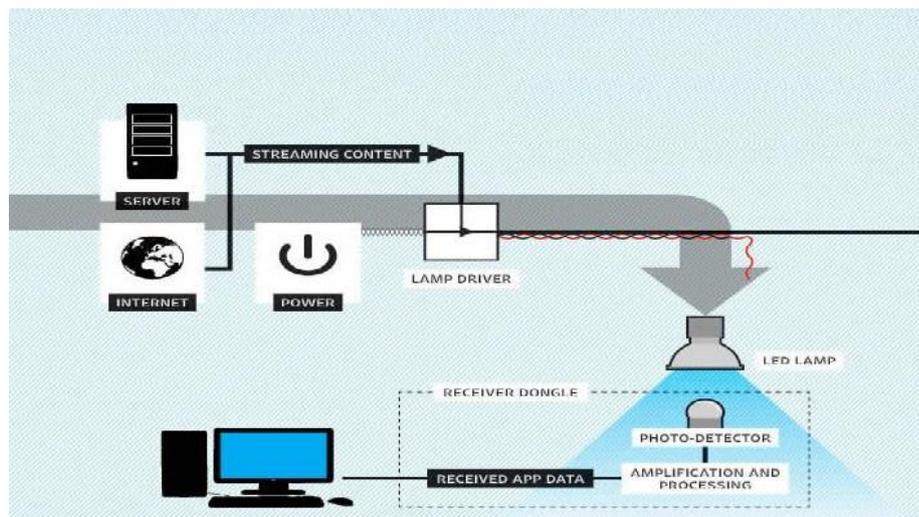


Figura 2 - Arquitetura LI-FI. [Adaptado de Haas, 2013]

Na figura 2, podemos observar que o bloco transmissor é composto por uma fonte de dados, onde o botão liga/desliga modula o sinal de luz na lâmpada LED, correspondendo aos bits de dados à serem enviados [Rajagopal, Roberts e Lim., 2012]. Essa oscilação pode ser modulada pelo transmissor para acelerar ou desacelerar a transmissão de dados [Rajagopal, Roberts e Lim., 2012]. Estes dados, emitidos pelo LED são recebidos por um dispositivo fotossensível chamado fotodetector que amplifica e processa os sinais por meio da conversão de sinais de luz em sinais digitais, realizando assim o processo de comunicação. O sistema Li-Fi trabalha modo full duplex, ou seja, o usuário que antes fazia download através do receptor fotodetector, podem também, com uma lâmpada LED conectada ao microchip modulador de luz, realizar o upload de pacote de dados, uma vez que na luminária irá fazer uma combinação de LED (iluminação de ambientes) e receptor fotodetector

4.2.3 Definição do LED utilizado

Um dos aspectos importantes a analisar no LED que iremos trabalhar, consiste em perceber para que valores inicia o seu funcionamento e para que valores de tensão podemos considerar um valor médio. Desta forma para definir o desempenho de cada um dos LEDs presentes na série *XLamp MC-E LED* [Korhan, 2017], realizou-se um teste de funcionamento em que se utilizou a um gerador de potência DC (*Velleman PS613*) e um fotômetro (*IFPM200*). Uma vez que os LEDs da série *XLamp* possuem 4 LEDs de cores distintas (Verde, azul, Vermelho e Branco) torna-se necessário realizar a análise para as quatro situações. A potência emitida é proporcional à corrente que entra no componente, desta forma podendo variar a corrente entre 0 e 500 mA, em intervalos de 50 mA, permitindo traçar as respectivas curvas de funcionamento para cada um dos LEDs em questão, encontramos a demonstração de fenômeno listado na Figura 3.

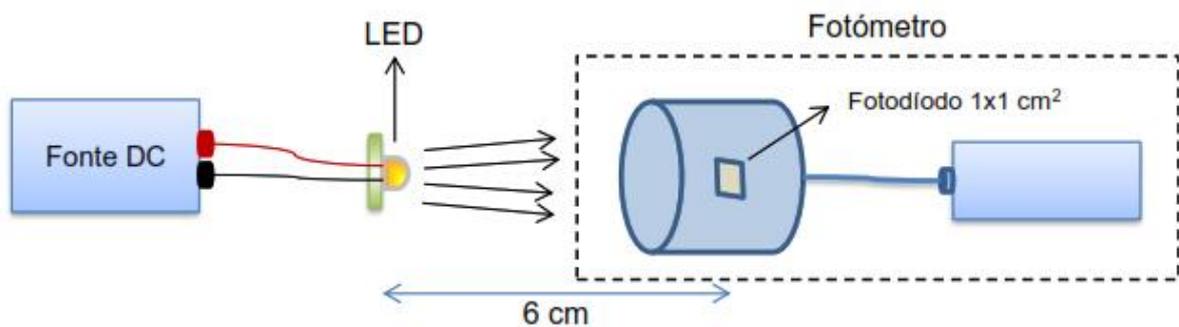


Figura 3 - Análise de funcionamento do LED XLamp MC-E. [Zhaocheng et al., 2017].

4.2.4 – Protocolo utilizado no VLC

Com o objetivo de encontrar novas alternativa para suprir a necesdiade de otimização da utilização do do espectro. Em 2018, o IEEE anunciou a formação do Grupo de Tarefas de Comunicações Luminosas sobre a denominação IEEE 802.11, e sua intenção de envolver os fabricantes, operadoras e usuários finais em esforços para construção de consenso a fim de desenvolver um padrão global para comunicações leves em redes locais sem fio. Na atualidade, o grupo de trabalho continua solicitando que as partes interessadas participem do projeto de emenda de normas recém-aprovado, IEEE 802.11bb. O IEEE 802.11 é o grupo responsável pelas definições técnicas da tecnologia WiFi e inclui indivíduos afiliados a um amplo ecossistema de negócios [IEEE P802.11, 2018].

De acordo com Nikola Serafimovski, presidente do IEEE 802.11 Light Communications Task Group, “ o IEEE 802.11 é ideal para Li-Fi devido à diversidade, integridade e histórico comprovado do ecossistema, bem como o sucesso da comunidade WiFi em trazer tecnologias em padrões e, mais importante, em produtos.

O sucesso comercial do Li-Fi requer uma abordagem coerente deste amplo ecossistema e a participação de organizações líderes mundiais no desenvolvimento do IEEE 802.11bb. Isso estabelecerá a base para o desenvolvimento e introdução de produtos de mercado de massa, alavancando o ecossistema que possui implantações globais em bilhões de unidades.”[IEEE 802.11, 2018].

Segundo Evans, com a massificação do Internet das Coisas (IoT) há uma previsão de crescimento de 50 bilhões de dispositivos conectados até 2020 [Evans,2011]. A tecnologia Li-Fi se apresenta como uma possibilidade de conexão em ambientes impelidos pela interferência eletromagnéticas, como hospitais, instalações petroquímicas e aviões, da mesma forma também podem ser utilizados em ambientes seguros onde a comunicação via RF não pode ser utilizada.

Podemos destacar como vantagem da tecnologia LI-FI o uso de sensores ou dispositivos de comunicação para monitorar processos em lugares onde antes não se tinha a possibilidade de se ter uma comunicação com mobilidade. De forma geral, a comunicação por luz, pode ser utilizada para melhorar consideravelmente a conectividade interna, isso pode corresponder por mais de 80% de toda a comunicação sem fio, tanto em ambientes de escritório quanto, em áreas residenciais. Outros benefícios que podemos destacar seriam de segurança, a tecnologia Li-Fi também aumentam a privacidade das redes dos usuários seja âmbito pessoal e comercial. O padrão IEEE 802.11bb, têm como requisitos específicos de controle de acesso à LAN sem fio (MAC) e de camada física (PHY), especificando que as comunicações luminosas podem fornecer, operações de uplink e downlink na faixa de 380 nm a 5.000 nm. Além disso, todos os modos de operação da comunicação através da Luz Visível alcançam uma taxa de transferência mínima de 10 Mb/s, um throughput de link único de pelo menos 5 Gb/s, conforme medido no ponto de acesso do serviço de dados MAC, entre fontes de luz de estado sólido com diferentes larguras de banda de modulação [IEEE 802.11, 2018].

Assim de acordo com o IEEE 802.11, a tecnologia Li-Fi, apresenta as seguintes limitações :

- Acesso ao canal da função de coordenação híbrida (HCF)
- Sobreposição de detecção e coexistência do conjunto de serviços básicos (OBSS)
- Modos de operação de gerenciamento de energia existentes e modificações em outras cláusulas necessárias para dar suporte a essas mudança

5 A TRANSMISSÃO DE SEM FIO

Conforme relata Nóbrega; Cardoso; Costa (2012), a história da tecnologia da transmissão de energia sem fios deu por volta do ano de 1893 quando, o cientista sérvio-americano chamado *Nikola Tesla*, inicia seus os estudos sobre transmissão de energia sem fio, denominando-a inicialmente como ACIEEE. Segundo sua pesquisa, através da indução eletromagnética, é possível transferir energia sem a necessidade de um condutor elétrico, tanto que conseguia comprovar sua teoria acendendo lâmpadas de baixa potência com se utilizando seu conceito proposto.

Com o passar de anos após publicação de seus estudos, em 1901, Tesla construiu um laboratório e uma torre de 60m de altura numa fazenda situada em *Long Island*, cidade de Nova Iorque, EUA. Tendo com finalidade através desta torre, transmitir energia para carros, aviões e até mesmo cidades sem utilizar condutores elétricos (cabos). Importunamente, seus estudos foram interrompidos, pois o principal financiador do projeto resolveu cortar gastos (Nóbrega; Cardoso; Costa, 2012).

No entanto, aqueles primeiros estudos são base das tecnologias que são utilizadas na atualidade, muitas delas são baseadas no padrão IEEE 802.11. Neste caso, são tecnológicas basicamente aplicadas para acesso (cobertura de última milha), implementadas com uso de antenas direcionais para áreas externas e em redes que dependem de infraestrutura do local. Desta forma, levam o sinal até *gateways* com interface cabeada que permitem acesso à *Internet* (Przybysz; Luiz Júnior, s.d.).

O problema em satisfazer requisitos de QoS em redes de radiofrequência que possuem canais de comunicação instáveis, principalmente por compartilhar o canal com nós vizinhos. Novamente uma possível solução é a utilização de estratégias de integração multicamadas, violando as tradicionais abordagens de isolamento entre camadas. QoS em redes é um problema em aberto (Przybysz; Luiz Júnior, s.d.).

Devido ao crescente interesse em resolver problemas de QoS, segurança e principalmente uso de espaço no espectro, os sistemas de Comunicação por Luz Visível vêm se expandindo em pesquisa e desenvolvido por parte de universidades e indústria, fato que houve a necessidade de se padronizar certos aspectos desse tipo de comunicação. Para isso, o grupo de tarefa do IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) aprovou, em 2011, a criação do padrão IEEE 802.15.7, onde foram definidas as camadas Física e MAC para Comunicação ótica sem fio de curta distância utilizando luz visível [IEEE 802.15.7, 2011]. O padrão atende os requisitos necessários para garantir a entrega de dados com taxas de transferência suficientes para suportar serviços como multimídia e áudio, além de garantir a compatibilidade com a infraestrutura de luz visível. Além disso, o padrão ainda atende os requisitos nas áreas de saúde e no meio ambiente.

Outros fatores importantes que padrão aborda são questões como topologias de rede, dispositivos considerados para VLC, arquitetura de comunicação, características da camada física e MAC com suporte a dimming e flickering, e principalmente de segurança. Na tabela 1, podemos observar detalhes que a estrutura da IEEE 802.15.7 procura atender.

	Infraestrutura	Móvel	Veículo
Coordenador fixo	Sim	Não	Não
Fonte de energia	Ampla	Limitada	Moderada
Fonte de luz	Intensa	Fraca	Intensa
Mobilidade Física	Não	Sim	Sim
Alcance	Curto/Longo	Curto	Longo
Taxa de dados	Alta/baixa	Alta	Baixa

Tabela 1: Estruturas propostas no IEEE 802.15.7, adaptado de [IEEE 802.15.7, 2011]

De acordo com o documento proposto pelo IEEE 802.15.7, os tipos de dispositivos em sistemas VLC, entre eles infraestrutura, móveis e veículos, possuem umas suas características específicas, como pode ser visto anteriormente na tabela 1. Em seguida, topologias e especificações das modulações são propostas nesse padrão. Vide tabela 2.

Modulation	RLL code	Optical clock rate	FEC		Data rate
			Outer code (RS)	Inner code (CC)	
OOK	Manchester	200 kHz	(15,7)	1/4	11.67 kb/s
			(15,11)	1/3	24.44 kb/s
			(15,11)	2/3	48.89 kb/s
			(15,11)	none	73.3 kb/s
			none	none	100 kb/s
VPPM	4B6B	400 kHz	(15,2)	none	35.56 kb/s
			(15,4)	none	71.11 kb/s
			(15,7)	none	124.4 kb/s
			none	none	266.6 kb/s

Tabela 2.: Modo de operação PHY I [IEEE 802.15.7, 2011]

Uma característica que podemos notar no documento do IEEE 802.15.7 é que o ponto central em destaque está voltado para as características das camadas física e MAC. Basicamente percebemos, o padrão está dividido em camada física com três modos de operação: PHY I, PHY II e PHY III. As quais, em qualquer sistema esteja compatível com o IEEE 802.15.7 deve implementar pelo menos os modos PHY I ou PHY II. O sistema que implementar o modo PHY III, será obrigado também a implementar o PHY II.

O modo de operação da camada PHY I foi desenvolvido para aplicações externas, com frames curtos. E os modos PHY II e PHY III são capazes de suportar apenas um tipo de codificação. As taxas de dados do modo PHY I podem variar de 11 kbps à 266 Kbps, em relação ao modo PHY II terão variar de 1,25 Mbps à 96 Mbps. O modo de operação PHY III contempla taxas

de 12 Mbps até 96 Mbps. É importante ressaltar que o modo de operação PHY III possui uma modulação, desenvolvida especificamente para lâmpadas LED multi-chip. Nas tabelas 2, 3 e 4 apresentam detalhes de cada modo de operação, assim como modulações e codificações suportadas por cada uma.

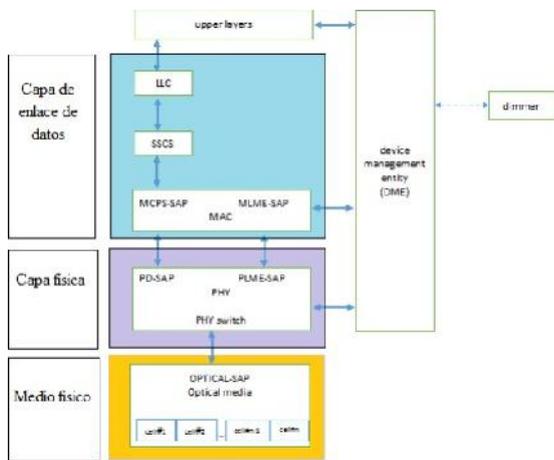


Figura 04. Arquitetura 802.15.7 [Núñez e Olga, 2017].

Modulation	RLL code	Optical clock rate	FEC	Data rate
VPPM	4B6B	3.75 MHz	RS(64,32)	1.25 Mb/s
			RS(160,128)	2 Mb/s
		7.5 MHz	RS(64,32)	2.5 Mb/s
			RS(160,128)	4 Mb/s
		none	5 Mb/s	
OOK	8B10B	15 MHz	RS(64,32)	6 Mb/s
			RS(160,128)	9.6 Mb/s
		30 MHz	RS(64,32)	12 Mb/s
			RS(160,128)	19.2 Mb/s
		60 MHz	RS(64,32)	24 Mb/s
			RS(160,128)	38.4 Mb/s
		120 MHz	RS(64,32)	48 Mb/s
			RS(160,128)	76.8 Mb/s
	none	96 Mb/s		

Tabela 3.: Modo de operação PHY II [IEEE 802.15.7, 2011]

Além disso, conceitos como dimming e flickering são abordados com detalhes, pois um sistema VLC deve permitir que haja manipulação da intensidade da luz de maneira que não influencie na comunicação em si.

Modulation	Optical clock rate	FEC	Data rate
4-CSK	12 MHz	RS(64,32)	12 Mb/s
8-CSK		RS(64,32)	18 Mb/s
4-CSK	24 MHz	RS(64,32)	24 Mb/s
8-CSK		RS(64,32)	36 Mb/s
16-CSK		RS(64,32)	48 Mb/s
8-CSK		none	72 Mb/s
16-CSK		none	96 Mb/s

Tabela 4: Modo de operação PHY III [IEEE 802.15.7, 2011]

No documento da IEEE 802.15.7, aborda questões de segurança em VLC, a luz possui propriedades diferentes das ondas de rádio, necessitando de novas diretrizes para tratar a segurança de sistemas VLC. Como a onda de luz é direcionada e visível, em situação na qual um receptor não autorizado intercepte o sinal, sua presença pode ser detectada e o mecanismo de criptografia proposto é baseado em chaves simétricas, geradas pelas camadas superiores são barreiras de proteção que garantem a segurança. Entre os serviços de segurança oferecidos pelo mecanismo de criptografia, podemos destacar a confidencialidade, autenticidade e replay protection.

5.1 TOPOLOGIA DA TEDE VLC

Para Silva; Mendes (2019), os sistemas que utilizam as redes sem fio são popularmente usados para realizar referência as variações 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11i, entre outros do IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*). A tecnologia está diretamente associada à mobilidade e comunicação sem fio, essa mobilidade para as tecnologias necessitam uma infraestrutura que permitem a conexão a World Wide Web.

Dentro de ambiente composto por uma rede de computadores, a topologia existente dessa rede define a forma como os dispositivos são organizados e distribuídos e, como a informação da organização será compartilhada entre eles [Tanenbaum et al., 2003]. Esse fato se estende tanto do ponto de vista lógico quanto físico da arquitetura de rede.

Normalmente, é comum observamos diversos ambientes coexistindo com diversas topologias, como Ponto-a-Ponto, barramento e anel. Haja vista que são bem conhecidas no meio acadêmico e muito utilizadas em sistemas de redes de computadores atuais.

A ideia desses tipos de topologias, são as bases que fundamentam nosso entendimento pois seus conceitos são análogos aos existentes em sistemas VLC. Ainda de acordo com o documento de padronização oficial da VLC [IEEE 802.15.7, 2011], há três tipos de classes de dispositivos considerados para sistemas VLC: infraestruturas, móveis e veículos (tabela 1). Dessa forma, o

IEEE 802.15.7 define as aplicações em três topologias: ponta a ponta, estrela e broadcast, podemos observar topologias existentes na figura 5. Em VPANs (Visible Light Personal Area Networks), todos os dispositivos possuem um endereço único de 64 bits.

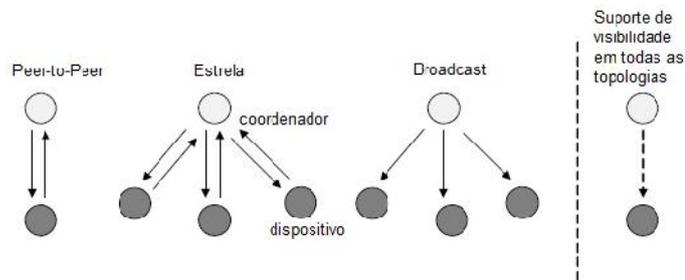


Figura 5. Topologias de rede de sistemas VLC de curto alcance [IEEE 802.15.7, 2011].

Ponto a ponto: O dispositivo pode se comunicar com qualquer outro em sua área de cobertura. Além disso, um dos dispositivos conectados deve assumir o papel de coordenador, e isso pode ser feito quando ele assume esse papel no momento de conexão ao ser o primeiro dispositivo a se comunicar no canal.

Estrela: Neste caso há um controlador central, chamado coordenador, e a comunicação é estabelecida entre ele e cada dispositivo na rede. É importante lembrar que toda rede na topologia estrela funciona independente de outras redes em operação, porque existe um identificador associado a uma única rede estrela.

Broadcast: Nesta topologia, um dispositivo pode enviar a informação para outros sem que haja uma rede seja formada. A comunicação, neste caso, é unidirecional. Assim, o IEEE 802.15.7 propõe uma série de técnicas de modulação na camada física, assim como protocolos específicos na camada de enlace.

Ao revisar as características únicas do sistema sem fio por VLC, percebemos as diferenças individuais, complexidade tecnológica, condições facilitadoras e ambiente de confiança das redes sem fio determinam a sua utilidade e é percebida pelo usuário a curto e longo prazo, devido a sua praticidade e a facilidade ao usar.

6. DIFERENÇA ENTRE WI-FI e LI-FI

A palavra “Sem Fio”, dentro do cenário das telecomunicações, é o termo que engloba qualquer rede de dados que não utilize de cabos para fazer a comunicação entre os dispositivos, em vez disso se utiliza de ondas eletromagnéticas. Existem exemplos de redes de comunicação sem fio que utilizamos no nosso dia a dia que muitas vezes passam despercebidos pois fazem parte da rotina das pessoas, como: Bluetooth, Wi-Fi e dispositivos IoT.

A necessidade de eficiência e a segurança da internet são os pontos predominantes nos tempos atuais. Diante desse ambiente, o Li-Fi foi descoberto em 2011 pelo cientista Harold Haas. O projeto tem como objetivo superar a desvantagem da rede WI-FI, no que se refere a velocidade é de até 1500mbps e não é suficiente para acomodar uma enorme quantidade de usuários.

Na tabela a seguir, podemos ver algumas diferenças que há entre as tecnologias WI-FI e a LI-FI.

Comparação	LI-FI	WI-FI
Formulário completo	Padrão para luz fidelidade	Padrão para Fidelidade sem fio
Inventado	Prof. Hass (2011)	NCR corporation (1991)
Operação	Ele transmite dados usando luz com a ajuda do led lâmpadas	Ele transmite dados usando ondas de rádio usando um wi-fi roteador
Tecnologia	Presença de IrDA dispositivos compatíveis	Wlan 802.11/b/g/n/ac/d padrão compatível dispositivos
Velocidade de transferência de dados	Cerca de 5 Gbps	Varia de 150mbps a máximo de 2gbps
Privacidade	A luz está bloqueada pelas paredes daí fornecer mais seguro dados transferir	As paredes não podem bloquear o rádio ondas, então precisamos empregar mais técnicas para obter dados seguros transferir
Frequência de Operação	10.000 vezes frequência espectro do rádio	2,4 GHz, 4,9 GHz e 5 GHz
distância excedente	Cerca de 10 metros	Cerca de 32 metros (variam com base na potência de transmissão e tipo de antena)
Densidade de dados	Trabalhe com o alto denso ambiente	Trabalhe em um ambiente menos denso ambiente devido para problemas relacionados à interferência
Bare Mínimo componentes usados	Lâmpada de LED, led driver e fotodetector	Roteadores, modems e pontos de acesso
Aplicações	Usado em companhias aéreas, submarino exploração, etc	Usado para Internet navegando com a ajuda de ponto de acesso wi-fi

Tabela 5: Diferença básica entre LiFi e WiFi [Xiping et al, 2020]

7. SISTEMA DE ESTAÇÃO DE TESTE LI-FI

Com relação ao tema sistema de estação de teste, não há muita literatura abundante, a existente está restrita a manuais técnicos e boletins de serviços, pois tema está relacionado ao trabalho desenvolvido em centros de pesquisa, laboratórios de calibração ou até mesmo no chão de fábrica de grandes indústrias.

Na busca da melhor forma de utilização do espectro e alcançar altas velocidades na transmissão de dados, o desenvolvimento equipamentos e sistemas que sejam capazes de atestar a eficiência e qualidade de serviços no âmbito da rede sem fio é cada vez mais necessária.

Podemos dizer que ambientes de simulação (estações de testes) são um campo fértil e propício para o desenvolvimento de novas tecnologias e inovação. Permitindo fomentar o estudo novos conceitos e modelos que possibilitam a criação de produtos que visam atender as necessidades do público consumidor. Para que isso seja possível, é essencialmente importante testa-los em ambiente controlado, no qual seja possível alterar variáveis de testes em vez de criar modelos

reais, permitindo reduzir custos, evitando erros de projetos, erros de produção e garantindo a qualidade do produto ao consumidor final.

7.1 O que são estação de teste?

Para realizar experimentos em ambientes controlados baseados em nossa proposta de estudo, se faz necessário um simulador que seja capaz de reproduzir eventos discretos de redes sem fio, como por exemplo, conexão LI-FI entre dois dispositivos para atestar a eficiência da latência e a taxa de transferências entre eles. Assim é possível medir como está sendo qualidade da comunicação entre os elementos observados, identificando possíveis falhas e também pontos de melhorias no QoS, tais simuladores podemos denominar como estações de teste.

Como vimos anteriormente, é possível através de equipamentos simuladores medir a qualidade de serviços em dispositivos sem fio, permitindo com o máximo de fidelidade e uma fiel demonstração dos eventos apresentados ao logo dos ensaios.

As estações de teste são sistemas computacionais que incorporam hardware e software, com objetivo atestar a qualidade de serviços de dispositivos em ambientes controlados usando parâmetros de validação prefixados, esses critérios vão variar de acordo com processo produtivo. No decorrer do estudo vamos nos aprofundar mais nesse no assunto proposto da pesquisa afim de esclarecer e enriquecer com conceitos e exemplos práticos que podem ser aplicados em diversos ambientes.

7.2 Cenário de teste

Em nosso campo de estudo proposto, esta contextealizado em um processo produtivo de fabricação de dispositivo de rede sem fio, padrão semelhante ao do WIFI, ou seja, funciona com IEEE 802.15.7, o mesmo que o especificado para as frequências de luz visível. Uma caixa blindada com servidor incorporado, lampadas LEDs serão testadas para transmissão a 5, 10, 15, 20, 30 e 40 centímetros de distância, para atender ao requisito de precisão de sincronização e proteger o experimento, é necessário um limitador da luz ambiente para obtermos um máximo respostas de taxa de transferência de dados. Para obter a rigorosa precisão de sincronização, os limitadores refletem quase toda a potência transmitida, esta configuração de teste está de acordo com as orientações previstas no IEEE 802.15.7, onde as especificações do controle da qualidade exige que seja atestada os requisitos de desempenho dos dispositivos que podem serem utilizando em ambientes produtivos do chão de fábrica.

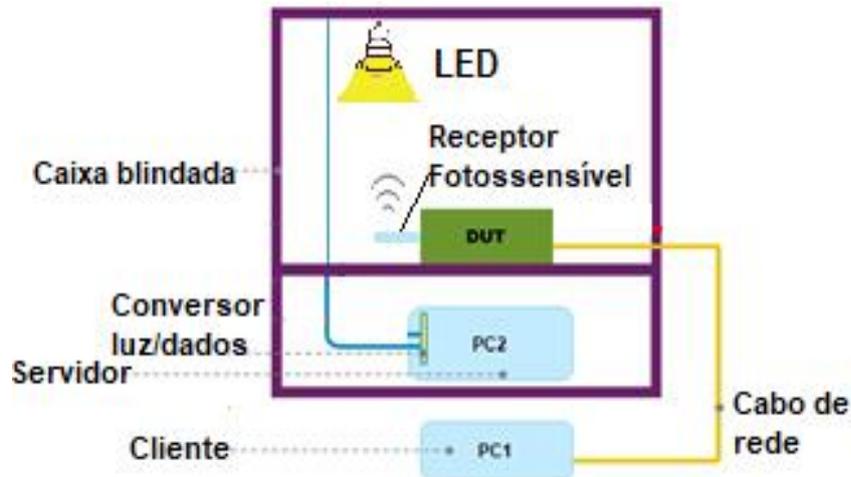


Figura 6: Ambiente de teste LI-FI, Produzida pelo próprio autor

7.3 Modelo proposto

Estação de Teste de taxa de transferência LI-FI

O autor desenvolveu o sistema de teste LI-FI, utilizando das experiências adquiridas em campo, de forma seja possível a construção em qualquer ambiente, neste caso, dentro do laboratório de telecomunicação voltada para o chão de fábrica. Durante os testes de simulação e montagem da estação de teste, foi possível otimizar o sistema deixa-o mais simples possível para montagem. A seguir, uma figura ilustrativa como ficaria a estação de teste LI-FI.

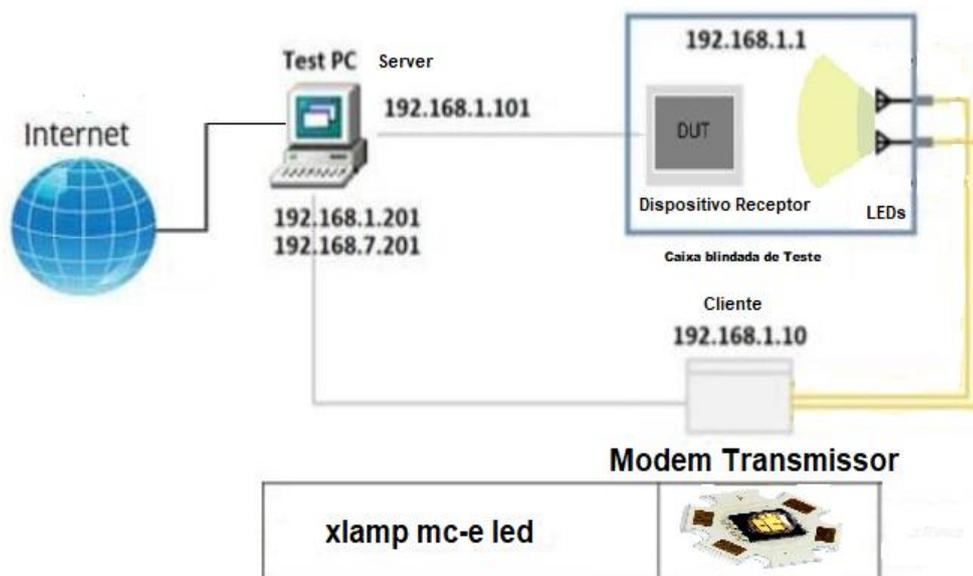
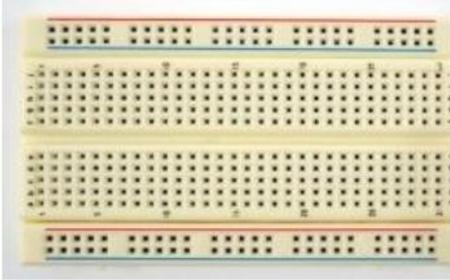
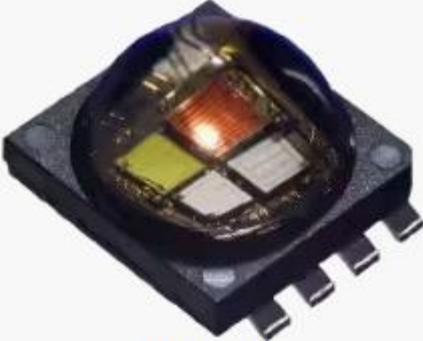


Figura 7: Sistema de teste rede LI-FI - Imagem produzida pelo autor.

7.4 Material utilizado

Para montagem da estação será necessário a aquisição de itens que irão permitir a integração do hardware e software de teste.

Tabela 06 - Lista de materiais utilizados.

Qunt	Descrição	Foto
2	Computador Fácil Intel Core i7 9700F (Nona Geração) 16GB DDR4 ssd 480GB Geforce 2GB	
2	Placa De Rede Gigabit Tp-link Tg 3468 10/100/1000, mini pci	
4	Protoboard	
4	Placa Arduino UNO	
4	XLamp MC-E LED	 <p data-bbox="1074 1944 1225 1977">MC-E Color</p>

1	Fonte Estabilizada Bivolt 110/220 12v 1a	
5	Cabo de rede UTP cat 6. 1M	
1	Receptor LI-FI (fotorresistor) my LIFI	
1	Shielding Box Dupla (caixa blindada)	

7.5 Montagem do circuito da estação de Teste

Conforme foi exposto anteriormente neste trabalho, compreende-se que o crescimento da tecnologia LI-FI, surge a necessidade utilizar meios que não sejam muito complexo e funcione com código fonte aberto baseado na linguagem de programação C++, que suporte o uso de bibliotecas de outras linguagens de programação, assim uma single board que atende esses requisitos seria, a placa Arduino UNO (linguagem AVR C). O software do Arduino é multiplataforma que permite que ele seja executado em diferentes sistemas operacionais.

Para prototipação e testar o funcionamento do circuitos LI-FI, será necessário o uso de placas protoboard, a qual é muito útil para fazer medições e executar todos os testes necessários, garantindo que o hardware projetado funcionará assim como o programado no software de simulação.

O uso de componentes eletrônicos discretos como, o fotossistor LDR GL5528 que é um sensor fotoelétrico capaz de fornecer valores de resistência de 8k a 1M em luz brilhante

ou sem luz. É um componente ideal para detectar mudança e nível de iluminação irradiada (célula foto-receptora), que tem material fotocondutor de Sulfeto de Cádmio.

O fotorresistor LDR será outro componente que fará parte do circuito receptor que será exposta a diferentes aspectos da luz para ver como é viável transmitir dados. Neste caso, os diodos são essenciais por serem a parte transmissora, pois os fatores de luz e distância medirão o alcance do modelo proposto a fim de verificar quantos pacotes de dados estão sendo transmitidos, bem como a velocidade na qual estão sendo transmitidos.

Neste experimento, foram realizados teste de transmissão utilizando várias distâncias, foram levadas em consideração o limite no qual os dados são enviados, sendo as distâncias de 5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 30cm, 40cm.

8. Resultados Encontrados

O padrão IEEE 802.15.7 foi utilizado para a transmissão sem fio de informações utilizando frequências de luz visível, permitindo o compartilhamento de grandes quantidades de informações em poucos segundos.

Por ser uma nova tecnologia, ainda não é possível encontrar muitos dispositivos disponíveis no mercado, portanto foi necessário projetar circuitos eletrônicos que funcionem como receptores ou transmissores e estabelecer um novo protocolo que possibilite o emparelhamento com a Li-Fi (Béaz, 2016).

O funcionamento da Li-Fi pode ser compreendido, através de dados transmitidos em codificação binária, a lâmpada LED se torna um meio de acesso, torna o valor de 1 binário quando ligado e se estiver desligado, o LED tem o valor de 0 binário. Esta ação acontece muito rapidamente, imperceptível ao olho humano.

Para construir uma mensagem e transmiti-la, foi necessário sequências de acionamentos LEDs inúmeras vezes usando uma matriz de LEDs de cores diferentes para obter taxas de dados da ordem de uma centena megabits por segundo.

Os LEDs podem ser ligados e desligados a uma velocidade sutil para que o olho humano não os percebam e dando a aparência de estar continuamente ligados, haja vista que a velocidade de operação dos LEDs é inferior a 1 μ s.

Uma parte que foi fundamental para transmissão nesse tipo de sistema são os LEDs, que piscam ao enviar uma mensagem, neste caso a partir de uma interface de rede com um endereço IP fixo, a informação emitida não é visível ao olho humano.

É importante lembrarmos, para uma transmissão de dados adequada, devemos considerar a distância, que depende da onda que foi gerada pela luz emitida pelos LEDs, pois pode

ser de curto ou longo alcance, existindo elementos que provocam o corte ou a não transmissão do sinal gerado.

Neste experimento realizamos ensios utilizando as seguintes distâncias: 5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 30cm e 40cm tanto para luz artificial como em um ambiente pouco iluminado, vale a pena mencionar que em luz natural não há transmissão, pois é feita diretamente com LEDs. Por padrão, a velocidade que atinge LI-FI é de 5Gbps, que é uma velocidade imensa em comparação com a velocidade fornecida por outras tecnologias sem fio. Percebemos que a luz fornece alta largura de banda e não sofre interferências que causam lentidão em outras tecnologias.

Em comparação deste importante aspecto entre a tecnologia sem fio WIFI e a Li-Fi, podemos deduzir que a Li-Fi é muito mais segura pois, como mencionado anteriormente, não é capaz de passar através de paredes já que as partes transmissoras e receptoras devem estar sob a mesma fonte de luz, ou seja, com isto sabemos que a informação não passa através de paredes.

O sinal WIFI não é, entretanto, filtrado para nenhum outro setor, pois estará fora de alcance; este não é o caso com o WIFI, pois o sinal que ele dá é livremente afetado.

Dentre os aspectos positivos e negativos observados nesta tecnologia, podemos mencionar que a informação transmitida pela luz (LEDs), é altamente eficaz. A largura de banda será de 10.000 vezes maior do que a das ondas de rádio.

Um ponto negativo que podemos citar que seu alcance é um pouco limitado, como tecnologia baseada em luz, é obrigatório que a iluminação seja ligada a todo momento. O LI-FI sofre várias desvantagens quando exposta à luz natural.

Em nosso protótipo foi testado em ambientes de luminosidade variável e a distâncias que variam de 5 a 40 centímetros, a fim de obter resultados de seu comportamento ao transferir dados.

Os resultados obtidos em cada um dos testes realizados no protótipo serão mostrados nas tabelas abaixo.

Distância	Velocidade	Mensagem
5 cm	33,33 bits/s	Oi Rosana
5 cm	33,33 bits/s	Oi Caio
5 cm	33,33 bits/s	Oi Eduardo

Tabela 7. Resultados da transmissão a 5 cm com luz artificial.

Na primeira experiência foi realizado uma transmissão a uma distância de 5cm, sendo que três mensagens foram enviadas do IP fixo 192.168.2.202 (transmissor), que chegou sem interferência em nosso host receptor hospedado satisfatoriamente no destino determinado.

Distância	Velocidade	Mensagem
10 cm	33,33 bits/s	Olá IFAM
10 cm	33,33 bits/s	Olá IFAM
10 cm	33,33 bits/s	Olá IFAM

Tabela 8. resultados da transmissão a 10 cm com luz artificial.

No segundo experimentos aumentamos um pouco mais de distância, os dados são recebidos sem qualquer problema e a velocidade de transmissão não muda.

Distância	Velocidade	Mensagem
15 cm	33,33 bits/s	Família é tudo
15 cm	33,33 bits/s	Família é tudo
15 cm	33,33 bits/s	Família é tudo

Tabela 9. Resultados da transmissão a 15cm com luz artificial.

Neste momento, observamos que independentemente de aumentarmos a distância em mais 5 cm, os dados são enviados continuam sendo recebidos em seu destino, provando que apesar da mudança da distância, os dados continuam confiáveis.

Distância	Velocidade	Mensagem
20 cm	33,33 bits/s	Distrito Industrial
20 cm	33,33 bits/s	Distrito Industrial
20 cm	33,33 bits/s	Distrito Industrial

Tabela 10. resultados da transmissão a 20 cm com luz artificial.

Como vistos nos experimentos realizados até o momento, a velocidade permanece inalterada, a mensagem enviada ao IP local chega ao destinatário de forma eficaz.

Distância	Velocidade	Mensagem
30 cm	33,33 bits/s	Telecomunicações
30 cm	33,33 bits/s	Telecomunicações
30 cm	33,33 bits/s	Telecomunicações

Tabela 11. resultados da transmissão a 30 cm com luz artificial.

Apesar no aumento da distância, o fenômeno observado continua a se repetir, pois a mensagem é enviada corretamente, mas há uma alteração no momento da recepção, que é mostrada em <https://www.speedtest.net/pt> para verificação.

Distância	Velocidade	Mensagem
40 cm	33,33 bits/s	Colaço de Grau TST
40 cm	33,33 bits/s	Colaço de Grau TST
40 cm	33,33 bits/s	Colaço de Grau TST

Tabela 12. resultados da transmissão a 40 cm com luz artificial.

Como notado no teste anterior, as mensagens começam a chegar com algum tipo de interferência (mensagens alteradas), mostrando que assim que a distância máxima para o experimento de testes começar surgir alterações, então a referência para estes testes é de 30 cm.

Os dados finais levantados foram que a distância mais ideal para transmissão de dados é de até 20 cm com uma velocidade de 33,33 bit/s. Da mesma forma, foi possível visualizar e estabelecer a distância máxima de comunicação como 30 cm.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as fontes consultadas para este estudo, pode-se deduzir que foram as diferentes pesquisas realizadas até o momento sobre esta nova tecnologia LI-FI que foram uma grande contribuição para o desenvolvimento dos experimentos realizados, com as quais é possível manter uma linha fixa de investigação a partir da qual se pode construir um protótipo do experimento e alcançar resultados úteis para futuros projetos de pesquisa, sem perder os conhecimentos já adquiridos durante os anos de estudo no curso de graduação.

Ao estudar esta tecnologia comunicação sem fio LI-FI, novos conhecimentos foram adquiridos na área de sistemas de comunicação sem fio, tais como vantagens e desvantagens, bem como características e, mais importante ainda, a atualidade global desta tecnologia em expansão.

Finalmente, vale lembrar que a tecnologia Li-Fi não é um substituto para as atuais tecnologias sem fio, mas sim um complemento para remediar e melhorar as desvantagens que estão presentes nas atuais tecnologias sem fio.

Dentro do tema proposto, neste instante no estudo focou em projetar toda a parte relacionada ao Hardware do sistema de teste de rede LI-FI, no qual conseguimos cumprir essa meta, sendo o tema estudado uma meta bastante promissora a ser desenvolvida em futuro curso de pós graduação lato sensu.

REFERÊNCIAS

- ARGAWAL, A.; SAINI, G. **SNR Analysis for Visible Light Communication Systems**. International Journal of Engineering Research & Technology, India, v. 3, n. 10, out. 2014. Disponível em: <https://www.ijert.org/research/snr-analysis-for-visible-lightcommunication-systems-IJERTV3IS100435.pdf>. Acesso em: 20 Fev. 2023.
- BÁEZ, Diego Patricio Burbano, "**Sistema de transmisión de datos inalámbrica mediante pulsos luminosos**", Pontif. Univ. Católica Del Ecuador Dep., vol.1, p.204, 2016. <https://core.ac.uk/download/pdf/143443743.pdf>. Acesso em: 20 Fev. 2023.
- CONCEIÇÃO, M. **Comunicação por Luz Visível**. 2015. 50p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
- CARDOSO NETO, C., CARVALHO DE ALMEIDA, M., GIL TEIXEIRA, V.. **REDES WIRELESS**. Revista De Trabalhos Acadêmicos-Campus Niterói, América do Norte, 0, abr. 2014. Disponível em: <http://revista.universo.edu.br/index.php?journal=1reta2&page=article&op=view&path%5B%5D=1157>. Acesso em: 21 Mar. 2023.
- EVANS, Dave. **A Internet das Coisas Como a próxima evolução da Internet está mudando tudo**, Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), 2011, White paper. https://www.cisco.com/c/dam/global/pt_br/assets/executives/pdf/internet_of_things_iot_ibsg_0411final.pdf. Acessado: 20 Mar. 2023.
- GALLIANO, Alfredo Guilherme. **O método científico: teoria e prática**. São Paulo: Harbra, 1986.
- GARCÍA, J. N. **Manual de dificuldades de aprendizagem: linguagem, leitura, escrita e matemática**. Porto Alegre: Artes Médicas, 2010.
- GHASSEMLOOY, Zabih., ALVES, Luis Nero., ZVANOVEC, Stanislav., KHALIGHI Mohammad-Ali, **Visible light communications Theory and Applications**- Taylor & Francis Group, (2017). *Visible Light Communications* (1st ed.). CRC Press. Retrieved from <https://www.perlego.com/book/1628035/visible-light-communications-theory-and-applications-pdf> . Acesso em: 21 Mar. 2023.
- GRUBOR, J., RANDEI, S., LANGER, K. & WALEWSKI, J. W. (2008). **Broadband Information Broadcasting Using LED-Based Interior Lighting**. Journal of Lightwave Technology, vol. 26, pp.3883–3892. <https://opg.optica.org/jlt/abstract.cfm?uri=jlt-26-24-3883>. Acesso em: 21 Mar. 2023.
- HAAS, H. (2013). **High-speed wireless networking using visible light**. SPIE Newsroom. <https://spie.org/news/4773-high-speed-wireless-networking-using-visible-light?SSO=1>. Acessado: 10 Mar. 2023.
- HAAS, H. "**Visible Light Communication**." in *Optical Fiber Communication Conference*, OSA Technical Digest (online) (Optica Publishing Group. 2015). paper Tu2G.5. <https://opg.optica.org/abstract.cfm?uri=ofc-2015-Tu2G.5>. Acessado: 10 Fev. 2023
- IEEE P802.11. **WIRELESS LANS**, 2017, Atlanta, Georgia. *Minutes of the IEEE P802.11 Full Working Group*, IEEE 802.11-17/0014r1. https://www.ieee802.org/11/Reports/tgbb_update.htm. Acessado: 10 Mar. 2023.
- IEEE 802.11. IEEE STANDARDS ASSOCIATION. **Launches Standards Amendment Project for Light Communications (Li-Fi)**. 2018. Disponível em: <https://beyondstandards.ieee.org/general-news/ieee-802-11-launches-standardsamendment-project-for-light-communications-lifi/>. Acesso em: 17 Mar. 2023.

- IEEE 802.15.7 . **IEEE standard for local and metropolitan area networks–part 15.7:Short-range wireless optical communication using visible light**. IEEE Std 802.15.72011, pages 1–309.SBN 10: 0738166669 ISBN 13: 9780738166667 .New York. 2011
- KOMINE, T. and NAKAGAWA, M. (2004) **Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System Using LED Lights**. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 50, 100-107. <http://dx.doi.org/10.1109/TCE.2004.1277847>. Acesso em: 20 Mar. 2023.
- KORHAN, Cengiz. **Fixed Cluster Formations with Nearest Cluster Heads in Wsns. I.J. Wireless and Microwave Technologies**, 2017. Disponível em <http://www.mecspress.org/ijwmt/ijwmt-v7-n3/IJWMT-V7-N3-1.pdf>. Acesso em: 20 Mar. 2023.
- MARÉ, R. **Proposta e Avaliação de um Sistema Complementar de Posicionamento Baseado em Comunicação por Luz Visível Aplicado a Sistemas Inteligentes Transporte**. 2018. 175P. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- NÓBREGA, K.Z.; VELOSO, C.H.L.; COSTA, C.L. **Aplicações para a tecnologia de transmissão de energia wireless através da indução magnética e sistemas ressonantes**. VII CONNEPI. pp. 01-08. 2012.
- NÚÑEZ Meléndez, OLGA Mariel, "**Análisis Comparativo De La Tecnología Wifi Y Lifi Para La Selección Adecuada En La Facultad De Ciencias Administrativas**, Gestión Empresarial E Informática De La Universidad Estatal De Bolívar, Año 2016 - 2017", pp. 1-133, 2017. https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UEB_500153d34dedb04265ae68cc3fAdministrativas_Gestión_Empresarial_E_Informática_De_La_Universidad_Estatal_De_Bolívar,_Año_2016_-_2017", pp. 1-133, 2017. https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UEB_500153d34dedb04265ae68cc3f. Acesso em: 20 Mar. 2023.
- O'BRIEN, D. C., ZENG, L., LE-MINH, H., FAULKNER, G., WALEWSKI, J.W. & RANDEL, S. **Visible Light Communications: Challenges and Possibilities**. (2008). IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/224357544_Visible_light_communications_Challenges_and_possibilities. Acesso em: 20 Mar. 2023.
- PATHAK, P. H., FENG, X., HU, P. and MOHAPATRA P., "**Visible Light Communication, Networking, and Sensing: A Survey, Potential and Challenges**," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2047-2077, Fourthquarter 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2476474.
- POHLMANN, C. (2010). Visible light communication. In Seminar Kommunikationsstandards in der Medizintechnik, pages 1–14. <https://www.semanticscholar.org/paper/Visible-Light-Communication-Pohlmann/2dffa9dc7849626656d9e0ee39d35f919f667457#citing-papers>. Acessado: 10 Fev. 2023.
- PRZYBYSZ, A.L.; LUIZ JÚNIOR, O.J. **Infraestrutura e Roteamento em Redes Wireless Mesh**. pp. 01-10. [s.d.].
- RAJAGOPAL, S. ROBERTS, R. D. and LIM, S.K. "IEEE 802.15.7 **visible light communication: modulation schemes and dimming support**," in IEEE Communications Magazine, vol. 50, no. 3, pp. 72-82, March 2012, doi: 10.1109/MCOM.2012.6163585.
- SILVA, V.P.; MENDES, L.A.M. **Estudo Das Motivações Para Implantação De Tecnologia Wireless Pela Escola Agrotécnica Federal De Barbacena (EAFB)**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Presidente Antônio Carlos (UNIPAC). pp. 01-13. 2019.

TSONEV, D., VIDEV, S., & HAAS, H. (2013). **Light fidelity (Li-Fi):** towards all-optical networking. In BB. Dingel, & K. Tsukamoto (Eds.), *Proc. SPIE 9007, Broadband Access Communication Technologies VIII* [900702] (Proceedings of SPIE; Vol. 9007). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2044649>

WANG, Qing., GIUSTINIANO, Domenico,. and GNAWALI, Omprakash. 2015b. **Low-Cost, Flexible and Open Platform for Visible Light Communication Networks.** In Proceedings of the 2nd International Workshop on Hot Topics in Wireless (HotWireless '15). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 31–35. <https://doi.org/10.1145/2799650.2799655>.

ZHAOCHENG Wang, QI Wang, WEI Huang, ZHENGYUAN Xu. **Visible Light Communications Modulation and Signal Processing / [electronic resource]** : Hoboken : Wiley ; [2017]. online resource (x, 359 pages)."IEEE Press". <https://ieeexplore.ieee.org/book/8268024>. Acessado: 20 Mar. 2023.

XIPING Wu, MOHAMMAD Dehghani Soltani, LAI Zhou, MAJID Safari, and HAAS Harald, **Hybrid LiFi and WiFi Networks: A Survey**[J],2020. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9351549>. Acessado: 20 Mar. 2023.