

Universidade Federal Fluminense
Escola de Engenharia
Curso de Graduação em Engenharia de Telecomunicações

Maristela Ciara Ribeiro Alves

Abordagem teórica da tecnologia Li-Fi - Light Fidelity

Niterói - RJ

2019

Maristela Ciara Ribeiro Alves

Abordagem teórica da tecnologia Li-Fi - Light Fidelity

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia de Telecomunicações da Universidade
Federal Fluminense, como requisito para obtenção
do grau de Engenheiro de Telecomunicações.

Orientador: Pedro Vladimir Gonzalez Castellanos

Niterói - RJ

2019

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

R484a Ribeiro alves, Maristela Ciara
Abordagem teórica da tecnologia Li-Fi - Light Fidelity /
Maristela Ciara Ribeiro alves ; Pedro Vladimir Gonzalez
Castellanos, orientador. Niterói, 2019.
62 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
de Telecomunicações)-Universidade Federal Fluminense, Escola
de Engenharia, Niterói, 2019.

1. Li-Fi. 2. Wireless. 3. Luz. 4. Rede sem fio. 5.
Produção intelectual. I. Gonzalez Castellanos, Pedro
Vladimir, orientador. II. Universidade Federal Fluminense.
Escola de Engenharia. III. Título.

CDD -

Maristela Ciara Ribeiro Alves

Li-Fi - Light Fidelity

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia de Telecomunicações da Universidade
Federal Fluminense, como requisito para obtenção
do grau de Engenheiro de Telecomunicações.

Aprovada em 03 de Julho de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Mauricio Weber Benjo da Silva
UFF – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Tadeu Nagashima Ferreira
UFF – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Pedro Vladimir Gonzalez Castellanos - Orientador
UFF – Universidade Federal Fluminense

Niterói – RJ

2019

Resumo

O mundo está ficando cada vez mais carente por conectividade em altas velocidades. E isto se dá ao fato de que quanto mais pessoas, dispositivos e serviços competem por rádio espectro, maior a dificuldade por utilização de banda sem que haja interferência entre os canais. A Nokia Bell Labs prevê que o mundo dos dados sem fio, não será atendido em 30% até 2020. Em geral, os especialistas preveem que dentro de 20 anos o rádio só será capaz de cobrir 5% a 10% da demanda esperada por dados móveis. Segundo a Ericsson, os dados móveis estão crescendo 60% ao ano e representarão 71 bilhões de bytes até 2021, além disso, 90% dos dados móveis serão consumidos em ambientes fechados até 2022. Devido a esses números crescentes, existe uma busca por novas tecnologias que atendam a esta futura demanda, e o Li-Fi é a plataforma para uma nova era digital, alimentada por bilhões de conexões através da luz sem necessidade de disputa por espectro e que pode chegar a velocidade de transmissão de mais de 1 Gb/s. Assim, este trabalho visa, explorar uma abordagem teórica sobre esta tecnologia, com base em experimentos práticos.

Palavras Chave: Li-Fi, Rede Wireless, WiFi.

Abstract

The world is getting more and more deprived by connectivity at high speeds. And this is due to the fact that the more people, devices and services compete for radio spectrum, the greater the difficulty of using bandwidth without there being interference between channels. Nokia Bell Labs predicts that the wireless data world will not be met by 30% by 2020. In general, experts predict that within 20 years the radio will only be able to cover 5% to 10% of the expected demand for data furniture. According to Ericsson, mobile data is growing 60% a year and will represent 71 billion bytes by 2021, and 90% of mobile data will be consumed indoors by 2022. Due to these increasing numbers, there is a search for new technologies that meet this future demand, and Li-Fi is the platform for a new digital age, powered by billions of connections through the light without the need for dispute by spectrum and that can reach the transmission speed of more than 1 Gbps. Thus, this work aims to explore a theoretical approach on this technology, based on practical experiments.

key words: Li-Fi, Wireless Network, WiFi.

À Deus, à minha família, ao meu noivo e a todos
que me apoiaram ao longo de minha jornada

Agradecimentos

Primeiramente quero agradecer a Deus pelo fôlego de vida, e por me permitir ter condições de passar e estudar em uma Universidade Federal, tenho certeza que sem Ele, eu nada seria.

Agradeço também aos meus pais, Janete Ribeiro de Souza Alves e Sebastião Josival Pereira Alves, por me apoiarem financeiramente e emocionalmente e não me deixarem desistir nem por um momento, mesmo que isso envolvesse sacrifícios.

Ao meu noivo Carlito Alves de Macena Junior, também vai meu agradecimento por compreender o tempo dedicado a universidade e por estar comigo em todos os momentos bons e ruins, e por certamente me amar.

Também, agradeço aos meus sogros Maria do Socorro de Macena e Carlito de Macena, por cuidarem de mim, como se eu fosse uma filha.

Também agradeço, ao meu professor Pedro Vladimir Gonzalez Castellanos por me ajudar bastante para a construção deste trabalho.

Agradeço também à minhas amigas Marcelle Gregório e Kelly Amorim, que me apoiaram e estavam presentes no momento que passei para a universidade e também consegui a bolsa pelo ciências sem fronteiras. Agradeço também aos meus amigos mais recentes: Thiago Penna, Diogo Machado, Nicole Casa Nova, Daniela Garcia, Filipi Oliveira, Quesia Olanda, Alexandra Dias, Douglas Dias, Giulia Valente, Lucas França, Gabriel Macena e Gabriel Santos , por sempre me distraírem nos momentos mais tensos da vida universitária e intercederem por mim.

E por fim, e não menos importante agradeço à Casa Ministerial Base, Thadeu Duarte e Larissa Duarte por me ajudar a refletir Jesus, onde quer que eu esteja.

Maristela Ciara Ribeiro Alves.

Lista de Figuras

Figura 1 - Redes sem fio	5
Figura 2 - Frequência do Espectro visível	11
Figura 3 - Arquitetura LI-FI. Fonte - Adaptado de HAAS (2014).....	12
Figura 4 - Zona de Fresnel.....	21
Figura 5 - Reflexão.....	22
Figura 6 - Difração.....	23
Figura 7 - Dispersão.....	24
Figura 8 - Reflexões - Fonte: HAAS (2013).....	25
Figura 9 - Mobilidade do usuário. Fonte - Adaptado de HAAS (2014)	26
Figura 10 - Atenuação no espaço livre	27
Figura 11 - Comparação de taxa de transmissão entre diferentes tecnologias	33

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Comparação entre Li-Fi, Bluetooth, UWB e ZigBee.....	33
Tabela 2 - Comparação entre Li-Fi e WiFi	35

Sumário

Resumo	v
Abstract	vi
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	x
Sumário	xi
Introdução	1
1.1 História.....	1
1.2 Objetivo.....	3
1.3 Descrição dos capítulos	3
Redes Wireless	5
2.1 Definição	5
2.2 WWANS.....	6
2.3 WMANS	7
2.4 WLANS	7
2.5 WPANS.....	8
Arquitetura Li-Fi	10
3.1 Introdução	10
3.2 Protocolo.....	12
3.3 Codificação Li-Fi	14
3.3.1 Modulação de Portadora Única.....	15
3.3.2 Modulação de Multi-Portadoras	16
3.4 Transmissor Li-Fi	18
3.5 Lâmpada LED Li-Fi	18
3.6 Receptor Li-Fi.....	19
Propagação	20
4.1 Mecanismos de Propagação.....	20
4.4 Cenários de comunicação.....	24
4.5 Conceito de Attocel	25
4.3 Comunicação Óptica.....	26
4.2 Modelo de propagação no espaço livre	28
Vantagens e Limitações do Li-Fi	30
5.1 Vantagens e Limitações da Tecnologia Li-Fi	30
5.2 Comparação entre Li-Fi e outras tecnologias PAN	31
5.3 WiFi versus Li-Fi	33

Estado da técnica Li-Fi	36
6.2 Mercado Li-Fi	36
6.3 Aplicações da tecnologia Li-Fi.....	39
6.4 Casos de Estudo.....	40
Conclusão	43
Sugestões para trabalhos futuros	45

Capítulo 1

Introdução

1.1 História

O uso da luz para enviar mensagens é uma ideia muito antiga. A sinalização de fogo e fumaça foi usada nas antigas civilizações. Destes povos, podemos citar os antigos gregos que usavam escudos polidos para refletir a luz do sol para enviar sinais durante as batalhas. Os chineses começaram a usar faróis de fogo seguidos pelos romanos e índios americanos usando sinais de fumaça. No início de 1800, os militares dos EUA usaram um telégrafo solar sem fio chamado "Heliograph" que sinaliza o uso de código Morse pois pisca a luz do sol refletida por um espelho. Os flashes são produzidos girando momentaneamente o espelho, ou interrompendo o feixe com um obturador. A marinha geralmente usa luzes piscantes, ou seja, lâmpadas Aldis, para enviar mensagens também usando código Morse de um navio para outro.

Em 1880, o primeiro exemplo de comunicação por luz visível, ou visible light communication (VLC), foi demonstrada por Alexander Graham Bell com seu "photophone" que usava a luz solar refletida em um espelho vibratório e uma célula fotoelétrica de selênio para enviar voz em um raio de luz [1]. Até o final da década de 1960, as comunicações de rádio e radar foram mais bem-sucedidas do que as comunicações ópticas (OC). As comunicações ópticas começaram a chamar a atenção com a invenção da amplificação da luz pela emissão estimulada de radiação (laser) e o diodo laser (LD) na década de 1960, seguido na década de 1970 pelo desenvolvimento de fibras ópticas (OFs) como um meio para transmitir informações usando luz. Invenções como a grade de Bragg na fibra nos anos 90, formaram a base para a revolução das telecomunicações do final do século 20 e forneceu a infraestrutura para a Internet. Em 1979, um sistema de comunicações sem fio moderno foi apresentado por Gfeller e Bapst. Em seu sistema, a radiação óptica difusa na região do infravermelho foi utilizado para interconectar um cluster de terminais localizados em uma sala a um controlador de cluster comum.

Em 2009, O Prêmio Nobel de Física foi para três cientistas (Charles K. Kao,

Willard S. Boyle, George E. Smith) que desempenharam papéis importantes na modelagem da moderna tecnologia da informação. Outros avanços, em dispositivos opto-eletrônicos básicos, como LEDs (light emitting diodes) e LDs, fotodiodos (PD) p-intrínsecos (PIN) e foto-diodos de avalanche (APDs), dentre outros componentes atraíram engenheiros para considerar fontes ópticas de transmissão de dados sem fio [2]. No TED global de 2011, o termo Li-Fi, foi usado pela primeira vez por Harald Haas, da Universidade de Edimburgo, Reino Unido em sua fala sobre VLC, ele destacou: “No coração dessa tecnologia está uma nova geração de diodos emissores de luz de alto brilho”, “Muito simplesmente, se o LED estiver aceso, você transmite um digital 1, se estiver desligado, você transmite um 0”, “Eles podem ser ligados e desligados muito rapidamente, o que dá boas oportunidades para dados transmitidos”, “É possível codificar dados na luz variando a taxa na qual os LEDs piscam para dar diferentes strings de 1s e 0s”.

Desde então, estudantes da Universidade de Oxford e da Universidade de Edimburgo se concentraram na transmissão de dados paralelos usando uma matriz de LEDs, onde cada LED transmite um fluxo de dados diferente. Ainda em outubro de 2011, várias empresas e grupos industriais formaram o Consórcio Li-Fi, para promover sistemas sem fio óticos de alta velocidade e para superar a quantidade limitada de espectro sem fio baseado em rádio disponível, explorando uma parte completamente diferente do espectro eletromagnético. Para isso, especialistas em tecnologia, OEMs (Original Equipment Manufacturer), usuários finais e grupos de padronização foram convidados para discutir necessidades, desafios e abordagens do ecossistema. Diante dos estudos, o consórcio acredita que é possível alcançar mais de 10 Gbps, teoricamente, permitindo que um filme de alta definição seja baixado em 30 segundos. Mais tarde em 2012, a tecnologia foi demonstrada na Consumer Electronics Show 2012 em Las Vegas usando um par de smartphones da Casio para trocar dados usando uma luz de intensidade variável emitida em suas telas, detectável a uma distância de até dez metros.

Neste mesmo ano, uma empresa criada para comercializar Li-Fi, chamada Pure VLC, lançou produtos de sistemas de iluminação LED para empresas. Percebe-se então, que durante os últimos dez anos, assistimos ao surgimento de comunicações de luz visível (VLC) alimentadas por tecnologia de iluminação.

Haas em 2011 no TED global disse: "Existem cerca de 14 bilhões de lâmpadas em todo o mundo, eles só precisam ser substituídos por LEDs para transmitir dados", "Nós calculamos que o VLC pode ser mais barato do que o WiFi." [3]. Li-Fi simplesmente usa luz em vez de sinais de radiofrequência, então, o VLC pode ser usado com mais segurança. Assim, aeronaves, dispositivos médicos e hospitais onde WiFi é proibido, ou até mesmo debaixo d'água, onde o WiFi não tem cobertura o sistema VLC pode ser utilizado.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é realizar uma abordagem teórica sobre a tecnologia Light Fidelity (Li-Fi), desde aspectos sistêmicos até de implementação.

1.3 Descrição dos capítulos

No primeiro capítulo, é realizado um breve resumo histórico da tecnologia Li-Fi. Além disso, é exposto o objetivo do seu estudo.

No segundo capítulo, é apresentada uma breve descrição de redes sem fio mais relevantes.

No terceiro capítulo, a arquitetura Li-Fi é apresentada, abordando o funcionamento desta tecnologia de forma sistemática.

No quarto capítulo, são expostos conceitos de propagação no ar, desde a propagação no espaço livre, seus mecanismos de propagação, e como a tecnologia Li-Fi é afetada por estes mecanismos.

No quinto capítulo, são expostas vantagens e desvantagens da tecnologia Li-Fi, em comparação com tecnologias já existentes.

No sexto capítulo, é observado como a tecnologia Li-Fi já está presente em alguns países, e como ela é, e poderá ser explorada, visto casos de estudos atuais.

No sétimo capítulo, é apresentada uma conclusão sobre o estudo da tecnologia

Li-Fi.

No oitavo capítulo, são investigados alguns questionamentos que trabalhos futuros podem focar, a fim de aprimoramento da tecnologia Li-Fi.

Capítulo 2

Redes Wireless

2.1 Definição

Rede sem fio é uma rede através da qual os dados, como e-mail, mensagens e arquivos de vídeo e voz, fluem pelo ar, sem vínculo a um meio físico [4]. Este tipo de rede, permitiu a comunicação com mobilidade, onde as pessoas podem se comunicar em qualquer lugar por meio dos seus dispositivos, sejam estes locais aeroportos, lobbies de hotéis, escritórios ou até mesmo veículos em movimento. Neste tipo de redes, a distância entre os interlocutores pode ser de alguns metros como entre a televisão e o controle remoto ou milhares de quilômetros como ocorre na rádio comunicação. As redes wireless de acordo com sua área de abrangência podem ser classificadas em: WWAN, WMANS, WLANS, WPANS [4]. No decorrer deste capítulo será apresentada uma breve descrição destas redes e também, serão dados alguns exemplos de tecnologias inerentes à elas.

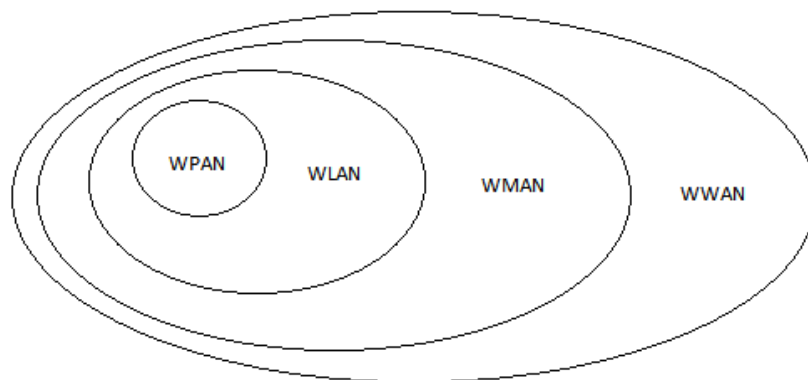


Figura 1 - Redes sem fio

A figura 1 ilustra a cobertura das redes sem fio, e também como elas se relacionam entre si. A padronização é um aspecto necessário na implementação das tecnologias a nível mundial. O Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) tem como objetivo o de promover a inovação tecnológica e excelência para o benefício da humanidade. Na atualidade o IEEE é essencial para a comunidade técnica global, devido ao seu reconhecimento internacional pelas contribuições tecnológicas na

melhoria das condições globais.

2.2 WWANS

As Wireless Wide Area Networks (WWAN) são redes sem fio, de dezenas e centenas de quilômetros de cobertura, um exemplo deste tipo de redes é a comunicação satelital. As redes 3G ou 4G celular podem ser classificadas como redes do tipo WWANs, devido a sua área de cobertura. As WWANs são comumente redes de dados, compartilhadas publicamente, pertencentes a provedores de serviços com baixas taxas de dados [5]. Atualmente, as WWANs são usadas principalmente para smartphones e outros dispositivos portáteis oferecidos por provedores de serviços de telefonia celular. Existem várias aplicações possíveis de WWANs [6]. Um de seus usos é para uma conexão de backup no caso de uma interrupção de WAN. Usar uma WWAN para essa finalidade pode economizar dinheiro, pois ela funciona como um backup sob demanda, que fatura por uso, e não como uma conexão sempre ativa, que cobra uma taxa invariável [6]. As WWANs também podem atuar como uma medida temporária ao configurar uma nova filial remota ou local temporário enquanto o acesso primário estiver sendo instalado, removendo o tempo de espera para esses sites. Nas redes WWANs, destacam-se duas relevantes tecnologias: Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) e Long Term Evolution (LTE) [7]. O UMTS é um termo abrangente para as tecnologias de rádio de terceira geração desenvolvidas no third Generation Partnership Project (3GPP), um grupo de comércio colaborativo da indústria, que também desenvolveu eventualmente o LTE [7]. No UMTS, as especificações de acesso de rádio fornecem variantes duplex de divisão por frequência (FDD) e duplex de divisão por tempo (TDD) e inclui o esquema W-CDMA, utilizando canais largos ou não pareados [8]. Já o LTE que é a evolução a longo prazo do UMTS, foi desenvolvido para fornecer um progresso adicional para o sistema de telecomunicações móveis disponível. Proporcionando velocidades de dados muito mais altas e um desempenho muito melhor, além de custos operacionais mais baixos, se comparado ao UMTS [8]. E isto, ocorre devido ao processamento de sinais digitais adotado, que permite mover grandes pacotes de dados, para um sistema de protocolo de Internet, agilizando o serviço que antes movia apenas pequenas quantidades de dados, provocando então, em uma relevante redução da latência na transferência das

informações.

2.3 WMANS

As Wireless Metropolitan Area Networks (WMANS) estão relacionadas à rede de cobertura metropolitana sem fio, essa tecnologia permite que haja conexão de múltiplas redes em uma metrópole, como em edifícios diferentes em uma mesma cidade. Nas WMANS, à diferença dos sistemas guiados, utilizam tecnologias sem fio que fazem uso dos mecanismos de propagação, para atingir determinado grau de escalabilidade de até quilômetros de distância entre transmissor e receptor, prometendo assim, elevada largura de banda de transmissão a longo alcance. O IEEE 802.16 Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) é o principal padrão utilizado na implementação de WMANS [6]. Basicamente, é uma tecnologia de radiofrequência que fornece conexões que em situações, sem linha de visada, pode ser implementada com velocidade de até 40 Mbps por canal, e em uma célula de raio de até 10 quilômetros [6]. Já, em enlaces em linha de visada, o WiMAX, pode ser implementado em células de raio de até 50 quilômetros.

2.4 WLANS

As Wireless Local Area Networks (WLANS) permite que usuários em ambientes, como um campus de universidade ou biblioteca, possam obter acesso à Internet. Os órgãos IEEE 802.11 e a WiFi Alliance são os principais responsáveis pela implementação de WLANs [5]. O IEEE 802.11 define ações que estão relacionadas à associação de segurança à gestão e gerenciamento de chaves, controle de acesso, confidencialidade dos dados e integridade dos mesmos [5]. O WiFi Alliance é basicamente quem certifica as empresas, garantindo que os produtos sigam os padrões 802.11, permitindo que os clientes possam comprar produtos WLAN de diferentes fornecedores, sem ter que se preocupar com qualquer problema de compatibilidade [5]. O método de transmissão utilizado principalmente nas redes WLAN está basicamente relacionado à Multiplexação Ortogonal por Divisão de Frequência (OFDM) aumentando as taxas de dados por meio da modulação de

espectro de espalhado. Outras melhorias têm sido acrescentadas aos sistemas, sempre com o objetivo de aumentar a taxa de transmissão, como em arranjos de antenas. O WLAN apresenta transmissão com múltiplas entradas e saídas (MIMO), que usa sequência direta de espalhamento de espectro (DSSS) e / ou OFDM espalhando seu sinal através de 14 canais sobrepostos em intervalos de 5 MHz [6].

2.5 WPANS

As Wireless Personal Area Networks (WPANs) são redes sem fio de uso pessoal [5]. As WPANS são usadas para transmitir informações em curtas distâncias (poucos metros) entre um grupo privado e íntimo de dispositivos participantes. Ao contrário de uma rede local sem fio (WLAN), uma conexão feita através de uma WPAN envolve, pouca ou nenhuma, infra-estrutura e conectividade direta com o mundo fora da interação dos dispositivos participantes. Isso permite, que a conexão entre os dispositivos seja pequena e eficiente em termos de energia, além, de ter um custo monetário baixo se comparado à WLAN.

Nesta classificação podemos citar quatro padrões ou tecnologias de comunicação WPAN: Bluetooth, ZigBee Alliance, Ultra Wideband (UWB) e futuramente o Li-Fi [6]. O Bluetooth é uma tecnologia WPAN amplamente utilizada e conhecida. O padrão IEEE 802.15.1 especifica a arquitetura e a operação de dispositivos Bluetooth na camada física. Camadas mais elevadas são padronizadas por um grupo Bluetooth de interesses especiais (SIG, Grupo Interesses Especiais) [6]. A tecnologia ZigBee é mais simples se comparada ao Bluetooth, pois é de fácil instalação, possui transferência confiável de dados, operação de curto alcance, custo extremamente baixo e vida útil da bateria razoável, mantendo um protocolo simples e flexível [6]. O UWB está sob o padrão IEEE 802.15.3: UWB recentemente atraiu muita atenção como um curto-circuito interno de comunicação sem fio de alta velocidade [6]. Uma das características mais interessantes da UWB é que a sua taxa é mais de 110 Mbps (até 480 Mbps) que pode satisfazer a maioria das aplicações multimídia, como áudio e vídeo e também pode atuar como substituição de cabo sem fio de barramento serial de alta velocidade tal como USB 2.0 [6]. Já o Li-Fi é uma tecnologia inovadora, que está ganhando espaço, pois diferente das tecnologias anteriores, ela utiliza a luz como

portadora ao invés das tradicionais frequências de rádio. E por isso, o Li-Fi tem a vantagem de poder ser usado em áreas sensíveis, como em aeronaves, sem causar interferência [10]. O estudo desta tecnologia ainda está sendo desenvolvido, e sua implementação, pode ser um marco, para a transmissão sustentável, ou seja, sem vestígios de poluição eletromagnética.

Capítulo 3

Arquitetura Li-Fi

3.1 Introdução

Estamos vivendo uma época em que estar conectado à internet virou uma necessidade. E por isso, o número de dispositivos conectados às redes e aplicativos é cada vez maior e continua a aumentar. Em outros termos, por se adaptar às condições de mobilidade dos usuários, os sistemas de comunicação sem fio são os mais utilizados para suprir suas demandas de conexão. Porém, esse aumento de dispositivos móveis associado ao uso de aplicativos, está elevando a demanda dos dados e, por conseguinte os requisitos de largura de banda. E esse aumento de requisitos de largura de banda expõe a escassez de espectro disponível, uma vez que no espectro de rádio, as bandas de frequências já são predefinidas para aplicações específicas [9]. Uma das melhores soluções para resolver o problema de largura de banda de rádio é usar redes cognitivas de rádio, onde as lacunas de frequências não utilizadas, são efetivamente usadas. No entanto, devido à falta de padronização, e dinâmica de alguns sistemas de comunicação, este método não pode ser aplicado em qualquer faixa de frequência [9]. Na linha de explorar esses problemas, os pesquisadores criaram um novo método alternativo para comunicação sem fio, utilizando faixas de frequência livres. Assim nasce a tecnologia Li-Fi, nesta os dados são transferidos através de luz visível em vez de rádio [9]. O Li-Fi oferece altas taxas de dados, em frequências não exploradas, o que resolve muitos problemas dos requisitos de largura de banda do mundo moderno. Além de também sanar problemas como a poluição eletromagnética, devido à redução de campos eletromagnéticos onipresentes resultantes da radiação eletromagnética invisível [10]. Dessa forma, o Li-Fi também aparece como uma nova alternativa ecológica.

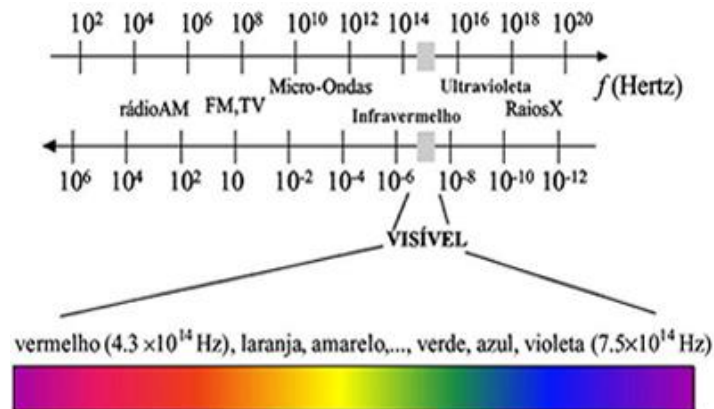


Figura 2 - Frequência do Espectro visível

O Li-Fi é um rótulo para sistemas de comunicação sem fio que utiliza a frequência de luz visível para transmissão de dados, como demonstrado na figura 2. É tipicamente implementado usando lâmpadas LED brancas no transmissor Downlink [11]. As lâmpadas LED são normalmente usadas para iluminação apenas pela aplicação de uma corrente constante. No entanto, por variações rápidas e sutis da corrente, a saída óptica pode variar em velocidades extremamente altas [12]. Esta propriedade da corrente ótica é usada na configuração do Li-Fi. O procedimento operacional é muito simples, se o LED estiver aceso, você transmite um digital 1, se estiver desligado, você transmite um 0. Os LEDs podem ser ligados e desligados muito rapidamente, o que dá boas oportunidades para a transmissão de dados [12]. Portanto, tudo o que é necessário são alguns LEDs e um controlador que codificam dados para esses LEDs. Tudo o que tem-se que fazer é variar a taxa na qual o LED pisca, dependendo dos dados que queremos codificar. Outras melhorias também podem ser feitas neste método, como usar 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 [12].

A faixa de frequência de operação da tecnologia Li-Fi está compreendida na faixa espectral de frequência de luz visível, e pode atingir uma taxa de dados de 150 Mbps até 10 Gbps [13]. A figura 2 representa um esquema da arquitetura de comunicação simplificado do sistema Li-Fi:

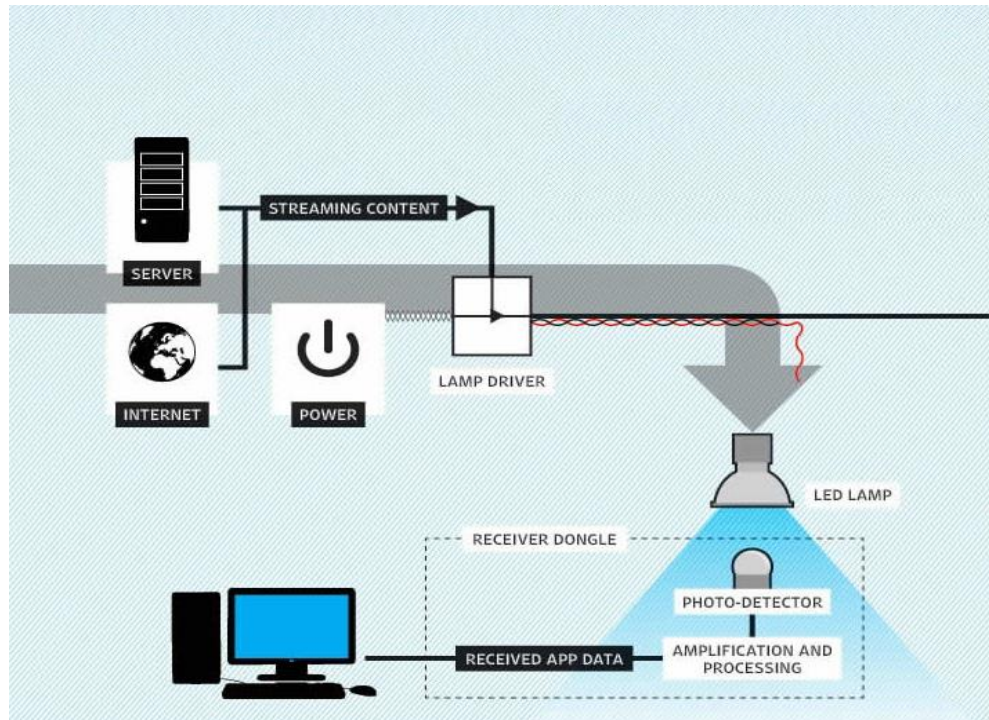


Figura 3 - Arquitetura LI-FI. Fonte - Adaptado de HAAS (2014)

Na figura 3, é possível 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, de acordo com os bits de dados a serem enviados [13]. Essa oscilação pode ser modulada pelo transmissor para acelerar ou desacelerar a transmissão de dados [13]. 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 opera como full duplex, ou seja, o usuário que antes fazia download através do receptor fotodetector, agora, com uma lâmpada LED conectada ao microchip modula a luz, realizando assim upload, uma vez que na luminária haja uma combinação de LED e receptor fotodetector.

3.2 Protocolo

Em maio de 2018, o IEEE anunciou a formação do Grupo de Tarefas de Comunicações Luminosas 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. O grupo de trabalho continua a solicitar 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 por trás do WiFi e inclui indivíduos afiliados a um amplo ecossistema, incluindo provedores de chipsets como Qualcomm, Huawei, Broadcom, Intel, fabricantes de dispositivos, como Cisco, HPE, Nokia, Ericsson, Apple, Samsung, Sony, Panasonic, e empresas de iluminação como Lucibel, Ushio, Osram entre outros [14].

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.”[15].

Segundo a Cisco com a massificação do Internet das Coisas (IoT) se prevê um crescimento de 50 bilhões de dispositivos conectados até 2020 [16]. A tecnologia Li-Fi se apresenta como uma possibilidade de conexão em ambientes desafiados pela interferência eletromagnéticas, como hospitais, instalações petroquímicas e aviões, mas também ambientes seguros onde a comunicação via RF não pode ser utilizada. Esta vantagem permitirá 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 substancialmente a conectividade interna, que responde por mais de 80% de toda a comunicação sem fio, tanto em ambientes de escritório quanto, nas residências. Os benefícios adicionais de segurança da Li-Fi também aumentam a privacidade das redes dos usuários normais e comerciais.

O padrão IEEE 802.11bb, com requisitos específicos de controle de acesso à LAN sem fio (MAC) e camada física (PHY), especifica que 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 alcançam uma taxa de transferência mínima de 10 Mb/s, um modo de operação que alcança 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 [15].

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 mudanças.

3.3 Codificação Li-Fi

No sistema de comunicação Li-Fi, os dados a serem transmitidos, são convertidos em formato binário de acordo com algum esquema de codificação e, em seguida, convertidos em sinais luminosos que são emitidos pelo transmissor. O sinal de luz é, então recebido pelo fotodiodo no lado receptor, e a partir daí o processo inverso à modulação ocorre no computador destino para recuperar os dados da luz recebida. O processo basicamente se divide em quatro módulos. O primeiro módulo de conversão de dados, que converte dados em 1 e 0, para que possam ser representados como um sinal digital e também possam ser criptografados antes da conversão. O segundo, módulo transmissor que gera o correspondente on-off padrão para os LEDs. O terceiro, módulo receptor que tem um fotodiodo para detectar os estados on e off dos LEDs, e também capturar a sequência gerando a sequência binária do sinal recebido.

E o quarto, módulo de interpretação de dado que converte os dados para o formato original, assim, a descryptografia é executada.

Em princípio, o Li-Fi também se baseia em radiação eletromagnética, para transmissão de informação. Portanto, técnicas de modulação tipicamente usadas em comunicação em radio frequência, também podem ser aplicadas ao Li-Fi com algumas modificações, pois o uso de luz visível para comunicação, pode fornecer uma série de formatos de modulações específicas.

3.3.1 Modulação de Portadora Única

As técnicas de modulação de portadora única oferecem para o Li-Fi, uma solução para canais planos em frequência. Para taxas de transmissão de dados, baixas e médias, a modulação de portadora única pode ser uma técnica ideal. Por isso, os esquemas de modulação de portadora única são amplamente utilizados para sistemas Li-Fi e incluem chaveamento on-off (OOK), modulação por amplitude de pulso (PAM) ou modulação por posição de pulso (PPM).

O OOK é um dos esquemas mais conhecidos e simples de modulação, e fornece um bom equilíbrio entre o desempenho do sistema e complexidade de implementação. O padrão 802.15.7 usa codificação Manchester para garantir que o período de pulsos positivos sejam os mesmos que os negativos, mas isso também duplica a largura de banda necessária para a transmissão OOK [17]. Alternativamente, para maiores taxas de codificação de bits de duração limitada, o modelo OOK é espectralmente eficiente. O chaveamento on-off (OOK) está relacionado ao deslocamento de amplitude (ASK), no qual, dados digitais são identificados com a presença ou ausência de uma onda portadora. Assim, os dados são transmitidos desligando e ligando o LED. Na sua forma mais simples, o “1” digital é representado pelo estado “ligado” e o “0” digital é representado pelo estado “off” de luz. A beleza desse método, é que é realmente simples de gerar e decodificar.

A modulação da amplitude do impulso consiste na utilização de impulsos com amplitudes diferentes para representar símbolos diferentes. Na sua forma mais simples são utilizados impulsos com duas amplitudes diferentes, o que corresponde à

modulação OOK, se uma das amplitudes for nula. Se forem utilizados impulsos com mais de duas amplitudes diferentes, estamos em presença de modulação multi-nível, como por exemplo de um sinal modulado em 4-PAM, isto é, onde são utilizadas 4 amplitudes diferentes para constituir outros tantos símbolos.

A modulação por posição de pulso, consiste em posicionar um pulso retangular de amplitude e duração fixas dentro do intervalo de amostragem, de forma que a posição relativa seja proporcional ao sinal analógico. A vantagem desta modulação sobre a anterior reside no fato de que o formato de pulso é sempre o mesmo, facilitando a regeneração do sinal. O PPM variável (VPPM) é semelhante ao PPM, mas permite controlar largura de pulso para suportar o escurecimento da luz, de acordo com um nível de brilho especificado. Assim sendo, o VPPM pode ser visto como uma combinação de PPM e modulação de largura de pulso (PWM). A duração do período que contém o pulso deve ser tempo suficiente para permitir que diferentes posições sejam identificadas, por exemplo, "0" é representado por um pulso positivo no início do período seguido de pulso negativo e o "1" é representado por um pulso negativo no início do período seguido de um pulso positivo. Comparado com o OOK e PAM com o PPM, conclui-se que o PPM é mais eficiente no consumo de energia, mas tem uma eficiência espectral menor.

3.3.2 Modulação de Multi-Portadoras

Para comunicação de alta velocidade, sem fibra óptica, há esforços para desenhar uma modulação de multi-portadoras (MCM), que comparada com a modulação de portadora única (SCM), é mais eficiente em largura de banda, e em energia [17]. A modulação MCM, mais comum em redes Li-Fi, é a multiplexação ortogonal por divisão de frequência (OFDM), no qual, fluxos de dados são transmitidos simultaneamente através de uma coleção de subportadoras ortogonais, onde, cada subcanal pode ser considerado como um canal de desvanecimento plano. Esta é uma abordagem para a transmissão em que uma dimensão a mais é adicionada às convencionais técnicas de modulação em amplitude, tais como, modulação de amplitude em quadratura (QAM) e modulação de amplitude por chaveamento (ASK).

O sinal gerado pelo OFDM é complexo e bipolar por natureza. Para atender aos requisitos impostos por LEDs disponíveis comercialmente, são necessárias, modificações nas técnicas convencionais de OFDM para atender ao Li-Fi. O OFDM assimétrico (ACO-OFDM), por exemplo, é um esquema de OFDM óptico, que impõe simetria hermitiana, onde apenas as subportadoras ímpares são usadas para transmissão de dados, pois, as subportadoras pares são definidas para zero, reduzindo assim para metade, a eficiência do espectro ACO-OFDM. No entanto, uma vez que apenas uma pequena polarização de corrente contínua é necessária no ACO-OFDM, esta modulação se torna mais energeticamente eficiente do que o DCO-OFDM. Para incorporar suporte de escurecimento em OFDM óptico, foi proposto combinar polaridade reversa OFDM óptico (RPO-OFDM), associando o sinal OFDM de alta taxa com a taxa lenta do sinal PWM, ambos contribuindo para a iluminação do LED. Como alternativa ao ACO-OFDM, o flip-OFDM e o OFDM unipolar (U-OFDM) podem alcançar desempenho comparável de taxa de erro bit (BER) e melhor eficiência espectral.

Além disso, os transmissores Li-Fi são geralmente projetados não apenas para comunicação sem fio, mas também para iluminação, e podem ser LEDs azuis, amarelo fósforo ou uma mistura de cores, através de LEDs coloridos. Luminárias equipadas com LEDs multicoloridos podem fornecer mais possibilidades de modulação de sinal e detecção em sistemas Li-Fi, pois o chaveamento de cor (CSK) é um esquema, onde os sinais são codificados em intensidades de cores emitidas por vermelho, verde e azul (RGB). No CSK, os bits recebidos são mapeados pela cromaticidades instantâneas dos LEDs coloridos que mantém uma cor percebida média constante. As vantagens do CSK em relação aos esquemas de convencionais são duas. Em primeiro lugar, como um fluxo luminoso constante é garantido, não haveria efeito de tremulação em todas as frequências. Em segundo lugar, o fluxo luminoso constante implica uma corrente de condução de LED quase constante, o que reduz a possível corrente de inrush na modulação do sinal, e melhorando assim a confiabilidade do LED. Com base no CSK, a técnica metamérica [17] foi desenvolvida, para evitar que, duas cores pareçam iguais quando vistas sob a mesma fonte luminosa, mas se tornam diferentes quando observadas sob outra. Assim, através desta técnica há maior eficiência energética e maior controle da qualidade da cor, no entanto, a desvantagem deste sistema é a complexidade do transmissor e do receptor, pois requer um LED

verde adicional controlado de forma independente, e também lâmpada fluorescente branca fria. Pois, quando as cores são observadas sob lâmpada fluorescente branca fria, a aparência delas começa a se diferenciar, pois esta lâmpada ressalta os defeitos da região verde, determinando, assim, as cores com maior precisão.

Assim, técnicas de modulação multiportadora oferecem solução para altas taxas de transmissão de dados que pode adaptar o desempenho do sistema para a resposta de frequência do canal.

3.4 Transmissor Li-Fi

A tarefa do transmissor é converter dados digitais em luz visível, e enviar as variações do sinal ao LED, pois, o mesmo é um componente adequado devido à sua relação linear entre corrente e intensidade luminosa [18]. A ideia geral é modular a intensidade da luz do LED, de acordo com o símbolo transmitido. Assim, o transmissor modula o sinal de entrada que pode ser qualquer tipo de dados que se deseje transmitir, por exemplo voz, com o período de tempo requerido e os transmite. Dessa forma, a seção do transmissor consiste em um circuito temporizador, e LED de alto brilho que atua como fonte de comunicação.

3.5 Lâmpada LED Li-Fi

LED é um semicondutor que produz luz, quando os elétrons entram no semicondutor, pois eles se ligam as lacunas no substrato e a energia é liberada na forma de fótons [19]. Ao contrário de fontes de iluminação convencionais, como lâmpadas incandescentes ou fluorescente, os LEDs são energeticamente eficientes e livres de substâncias perigosas, como mercúrio [19]. Além disso, os LEDs têm vida útil mais longa e maior economia de energia se comparados com todas as outras fontes gerais de iluminação, e por isso, tornam-se uma possibilidade de substituição para a iluminação convencional [19].

Qualquer lâmpada LED pode atuar como Li-Fi, o único requisito para a tecnologia é possuir um microchip instalado, assim, o LED basicamente, consiste em quatro componentes: invólucro, bulbo, placa de circuito impresso e amplificador de potência [20]. Desta forma, fundamentalmente, a lâmpada LED consiste em uma jaqueta de alumínio conhecida como invólucro, onde, dentro residem todos os componentes, atuando como uma fonte de luz (meio para comunicação), no qual, a placa de circuito impresso é responsável pela gestão das funções da lâmpada e controle de sinais elétricos. E, o amplificador de potência de radio frequência, ajuda na geração de frequências de rádio cooperando para o campo elétrico sobre a lâmpada.

3.6 Receptor Li-Fi

O receptor converte a luz de entrada em corrente elétrica usando um fotodiodo, que pode ser silício, por exemplo. Dessa forma, o circuito elétrico precisa processar o sinal elétrico para que possa ser interpretado corretamente, para isso, a eletrônica do receptor precisa converter a corrente em tensão para amplificar e comparar com o nível de tensão esperado por cada símbolo [21]. A distância entre o transmissor e o receptor pode ser variada, mas a fim de evitar também um sinal pequeno ou muito alto, um controlador de ganho automático pode ser projetado, assim, este componente amplifica ou reduz a tensão de entrada para uma tensão de saída selecionada [21]. Para se certificar de que o sinal é estável, um comparador Op-Amp também pode ser usado [21].

Capítulo 4

Propagação

4.1 Mecanismos de Propagação

O canal de propagação devido à dinâmica do ambiente tem grande impacto no planeamento dos sistemas de comunicação sem fio. O canal sem fio faz com que o sinal transmitido perca energia à medida que se propaga do transmissor para o receptor. Reflexão, difração e dispersão criam vários caminhos de propagação entre o transmissor e o receptor, cada um com um atraso diferente. O resultado final é que a propagação sem fio leva a uma perda de potência no sinal recebido devido ao percurso, bem como a presença de propagação por diversos caminhos (multipath), que cria seletividade de frequência no canal.

Em um sistema de comunicação sem fio, um sinal transmitido pode alcançar o receptor através de vários mecanismos de propagação. Quando um sinal alcança o receptor sem sofrer obstruções (sem sofrer reflexões, difrações ou dispersão), isso é conhecido como propagação ao longo do caminho em linha de visada (Line of Sight - LOS). Um componente LOS tem o menor atraso de tempo entre todos os sinais recebidos e é geralmente o sinal mais forte recebido. Para que exista comunicação em LOS, é necessário que qualquer obstrução não bloqueie mais de que 40% do primeiro elipsoide de Fresnel.

O sinal de rádio viaja entre o transmissor e o receptor, e pode ser diretamente (Linha de Visada), ou pode refletir-se no solo e depois continuar para o receptor (sinal refletido), ou ainda, pode refletir em vários obstáculos ou elementos localizados no percurso entre o transmissor e o receptor. O raio da primeira zona de Fresnel descreve a área em relação ao comprimento total do caminho de rádio [22]. A figura 4, apresenta de forma gráfica as zonas de Fresnel em relação ao percurso entre transmissor e receptor.

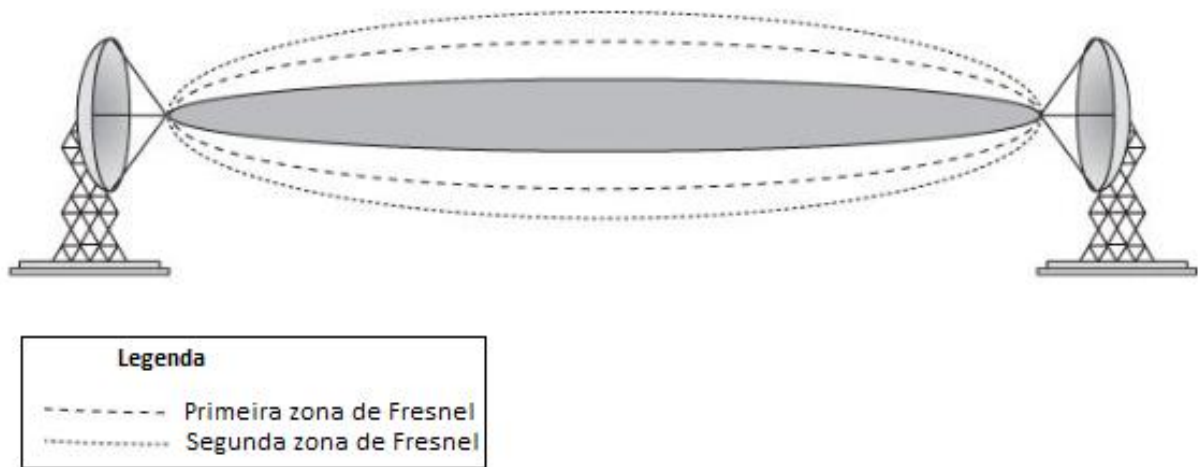


Figura 4 - Zona de Fresnel

Teoricamente há um número infinito de zonas de Fresnel, ou elipsoides concêntricos, que cercam o LOS. Onde, o elipsoide mais próximo é conhecido como a primeira zona de Fresnel, e o próximo é a segunda zona de Fresnel e assim por diante. É válido ressaltar que as zonas de Fresnel subsequentes têm pouco efeito nas comunicações [22].

O primeiro raio da zona de Fresnel (F1) é calculado de modo que a diferença no comprimento do caminho entre o sinal principal e um sinal refletido da distância do raio F1 seja de 180° . Um sinal refletido deslocado em 180° da distância do caminho mais 180° do ponto de reflexão atual, totaliza 360° de deslocamento de fase [22]. Os dois sinais, principal e refletido, chegam à antena a uma distância de 360° ou em fase. Eles serão somados e não afetarão o desempenho do receptor.

O segundo raio da zona de Fresnel (F2) é calculado de modo que a diferença do comprimento do caminho entre os sinais principal e refletido do segundo tubo da zona de Fresnel é de 360° . Isso é crítico, já que um sinal refletido tem um deslocamento de fase automático de 180° mais a diferença de comprimento de caminho de 360° é igual a um deslocamento de fase de 540° . 540° e 180° são a mesma mudança de fase na matemática e os 2 sinais serão cancelados, não deixando nenhum sinal no receptor.

O resultado líquido é que as zonas Fresnel com numeração par incorrem em uma reflexão de sinal de 180° . Estes são prejudiciais para a propagação de rádio. As zonas

Fresnel de número ímpar sofrem uma mudança de fase de 360° e não têm efeito. O efeito dessas reflexões na operação móvel pode ser experimentado perto do extremo da cobertura de um repetidor, por exemplo. O que se ouve no receptor é um rápido aumento / diminuição de sinal, frequentemente chamado de “cercado de piquete”. O rápido aumento e diminuição do sinal de um rádio ou veículo em movimento é chamado de desvanecimento de Rayleigh. É um resultado direto dos reflexos da zona de Fresnel indo e vindo enquanto o veículo se move pela estrada.

Na propagação sem linha de visada (NLOS), o receptor não enxerga o transmissor e o sinal transmitido alcança o receptor através de um ou mais caminhos indiretos, cada um com diferentes atenuações e atrasos. A propagação de NLOS é responsável pela cobertura atrás de edifícios e outras obstruções, e é neste tipo de propagação que o sinal é mais afetado pelos mecanismos de propagação, como: reflexão, difração e dispersão [23].

A reflexão ocorre quando uma onda eletromagnética de propagação atinge um objeto com dimensões iguais ou maiores em comparação com o comprimento da onda do sinal, assim como na figura 5. A reflexão ocorre a partir da superfície do solo, das paredes e nos objetos presentes no ambiente de propagação. Quando a reflexão ocorre, a onda também pode ser parcialmente refratada. Os coeficientes de reflexão e refração são funções das propriedades do material do meio e geralmente dependem da polarização da onda, do ângulo de incidência e da frequência da onda de propagação [24].

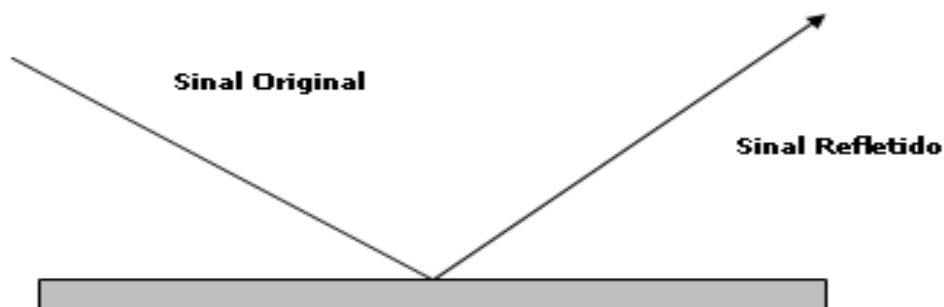


Figura 5 - Reflexão

A difração permite que os sinais de rádio circulem obstruções, como representado na figura 6. Isso pode ser explicado pelo princípio de Huygen, que diz que todos os

pontos em uma frente de onda podem ser considerados como pontos para a produção de leve ondulações secundárias, que posteriormente produzirão novas ondas em novas direções. Portanto, mesmo que uma região esteja sombreada por uma obstrução, a difração ao redor das bordas do objeto produz ondas que se propagam para a região sombreada [23].

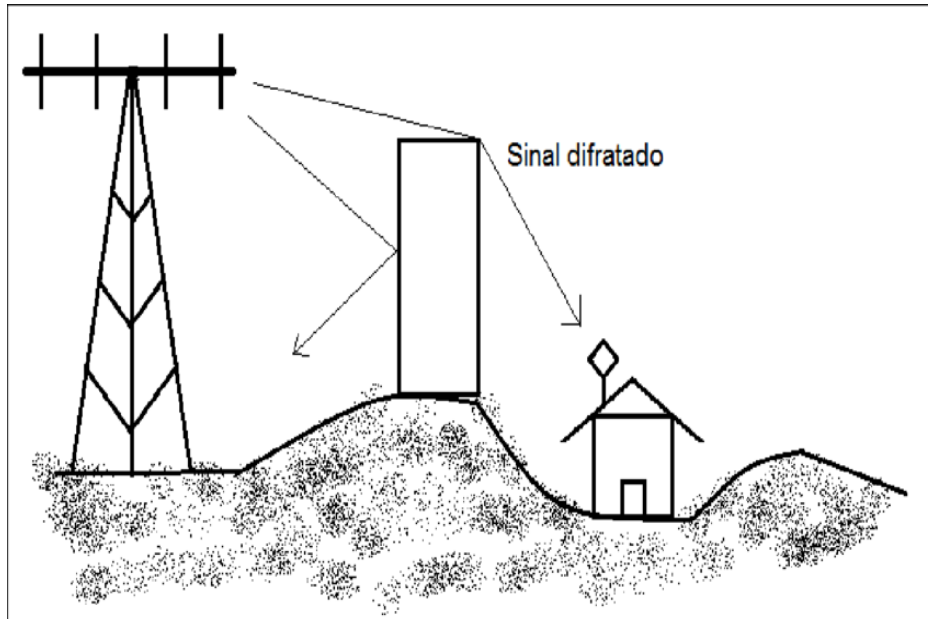


Figura 6 - Difração

A dispersão ocorre quando o meio através do qual a onda se propaga consiste em objetos com dimensões menores em comparação com o comprimento de onda do sinal transmitido e onde o número de obstáculos por unidade de volume é grande, como ilustrado na figura 7. Ondas dispersas são produzidas por superfícies irregulares, pequenos objetos ou por outras irregularidades no canal. Na prática, folhagem, sinais de ruas, postes de iluminação e escadas dentro de edifícios podem induzir espalhamento em sistemas de comunicação móvel. Um bom conhecimento dos detalhes físicos dos objetos pode ser usado para prever com precisão a intensidade do sinal espalhado [23].

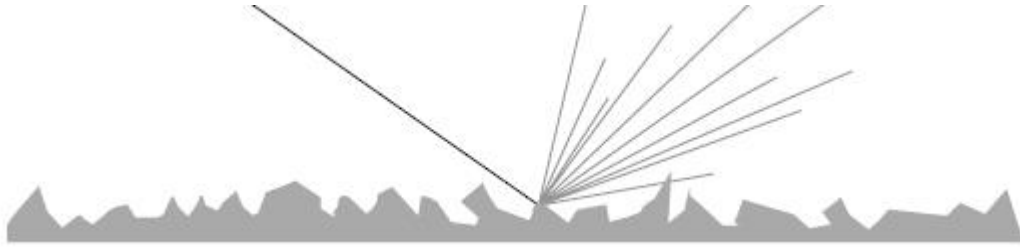


Figura 7 - Dispersão

Existem outros mecanismos de propagação, como o espalhamento troposférico ou ionosférico, mas estes não são comuns em sistemas wireless terrestres. Eles têm relevância, no entanto, para redes de campo de batalha, por exemplo.

4.4 Cenários de comunicação

A reflexão ocorre quando a luz que incide em uma superfície volta a se propagar no seu meio de origem, mas muda sua direção. Existem dois tipos de reflexão:

a) Reflexão regular: quando a luz incide sobre uma superfície lisa ou polida e reflete em uma só direção, mantendo a frequência e a velocidade;

b) Reflexão irregular (difusão da luz): quando a luz é refletida em direções diferentes (Figura 8), devido à superfície de reflexão rugosa, neste caso só a frequência é mantida. A comunicação entre o transmissor e o receptor Li-Fi acontece por Line of Sight (LOS) quando não existem obstáculos entre eles, assim, não ocorrem reflexões devido a diretividade do feixe de luz. Quando existem obstáculos entre o transmissor e o receptor, a comunicação acontece por Non Line of Sight (NLOS). Desta forma, a luz sofrendo reflexão regular é definida como NLOS direcionada. Já quando ocorre a difusão da luz, tem-se a NLOS não direcionada. É importante ressaltar que os equipamentos Li-Fi existentes utilizam comunicação LOS bidirecionais, que inicialmente foram pensadas usando-se soluções de Infrared (IR) ou RF para a realização do canal de uplink. Assim, com os resultados animadores das pesquisas recentes e o crescente avanço da tecnologia, tem se desenvolvido a idéia, de criação de uma rede inteira Li-Fi. Esta rede utilizaria também a comunicação NLOS e o sistema attocell.

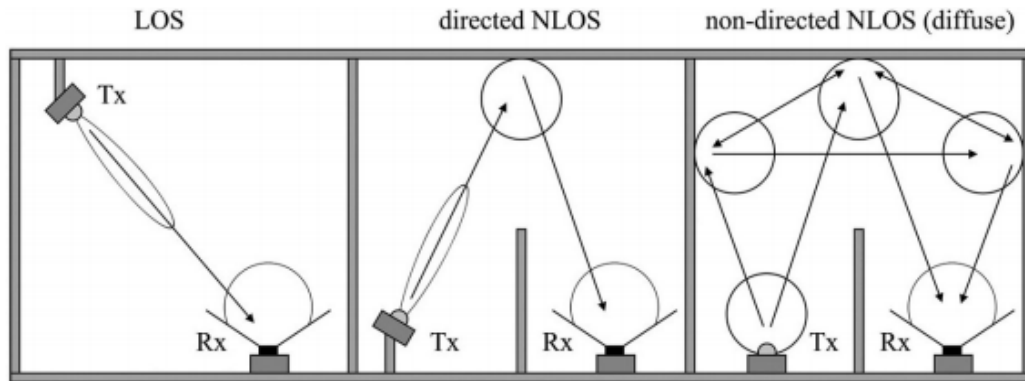


Figura 8 - Reflexões - Fonte: HAAS (2013)

4.5 Conceito de Attocel

O conceito de redes de celular é baseado em dividir a área que se quer atender em células. Estas são interligadas por ERBs conectadas a um determinado número de clientes. No entanto, o tamanho dessas células tem sido diminuído cada vez mais pelas operadoras de celular, aumentando assim a densidade da rede e o número de usuários conectados. Desta forma, as redes heterogêneas conhecidas como nanocells, picocells e femtocells foram incorporadas em áreas públicas como shoppings, aeroportos, edifícios e até mesmo nas residências.

Femtocells são ERBs plug and play de curto alcance, com potência baixa de transmissão e de baixo custo. Sua utilização visa a expansão da área de cobertura da rede a locais remotos. Usam a internet de banda larga por cabo ou Linha de Assinante Digital (DSL) de backhaul para a rede básica do usuário. A implantação de femtocells aumenta a reutilização da frequência e, portanto, de throughput por unidade de área dentro do sistema. Esse conceito de pequenas células é utilizado pelo Li-Fi, onde cada Access Point (AP) ou ponto de acesso óptico é uma attocell. Como opera no espectro de luz visível, não produz qualquer tipo de interferência nas redes sem fio de RF e nem nas redes celulares, podendo até ser usada para o aumento da capacidade dessas redes. A cobertura de cada attocell é limitada, havendo a necessidade da instalação de múltiplos AP's Li-Fi, levando a um aumento da capacidade disponível por usuário e a reutilização da largura de banda. Estes AP's Li-Fi vão utilizar a infraestrutura de iluminação já existente. Como a luz não atravessa paredes, um Ap Li-Fi em um ambiente não vai interferir na attocell Li-Fi localizada em outro ambiente.

Já, Ap's Li-Fi instalados no mesmo local, não sofrem interferências se adotarem em sua transmissão diferentes comprimentos de onda, pois a região onde os cones de luz se sobrepõem, está sujeito interferência co-canal, afetando a relação sinal ruído. Attocells Li-Fi permitem a mobilidade do usuário e a alta taxa de transferência de dados (Figura 9).



Figura 9 - Mobilidade do usuário. Fonte - Adaptado de HAAS (2014)

Além disso, é importante ressaltar que área de cobertura de uma attocel depende do tipo de lâmpada LED [25], mas existem casos em que a cobertura de uma attocel chegou em até 10 m [26].

4.3 Comunicação Óptica

O Free Space Optics (FSO) ou Comunicação Óptica em Espaço Livre é uma dessas tecnologias que utiliza a transmissão óptica sem fio, assim como o Li-Fi. O princípio da comunicação óptica foi demonstrado por Alexander Graham Bell, através de uma transmissão por telefone sem fio entre prédios, onde a luz solar modulada foi usada para transmitir voz [27]. O FSO opera com a transmissão de feixes luminosos de infravermelho modulado, através de diodos lasers entre dois transceptores (transmissor e receptor ao mesmo tempo), com visada direta (ponto a ponto) e distâncias raramente superiores a 5 km (Figura 10). Nos 700-10.000 nm de faixa de comprimento de onda existem várias janelas de transmissão atmosféricas. Mas a maioria dos sistemas no espaço livre são projetados para operar nas janelas de 780–

850 nm e 1520–1600 nm. É válido ressaltar que, a chuva, moléculas de oxigênio, vapor de água e a neblina afetam o sinal FSO para diferentes comprimentos de onda e condições de visibilidade, e por isso, modelos diferentes são considerados para determinar a atenuação em cada caso. A figura 6 ilustra os efeitos da atenuação por diferentes causas em uma range de 3 GHz até um pouco mais de 300 GHz, onde, os números 1, 2 e 3 retratam o efeito das atenuações causadas pela chuva com intensidades de 100 mm/h, 50mm/h e 10 mm/h, respectivamente. O número 4 demonstra o efeito da atenuação ocasionado por moléculas de oxigênio, o número 5 por vapor de água e os números 6 e 7 por neblina de $2,3 \text{ g/m}^3$ e $0,32 \text{ g/m}^3$, nessa ordem [28, 29].

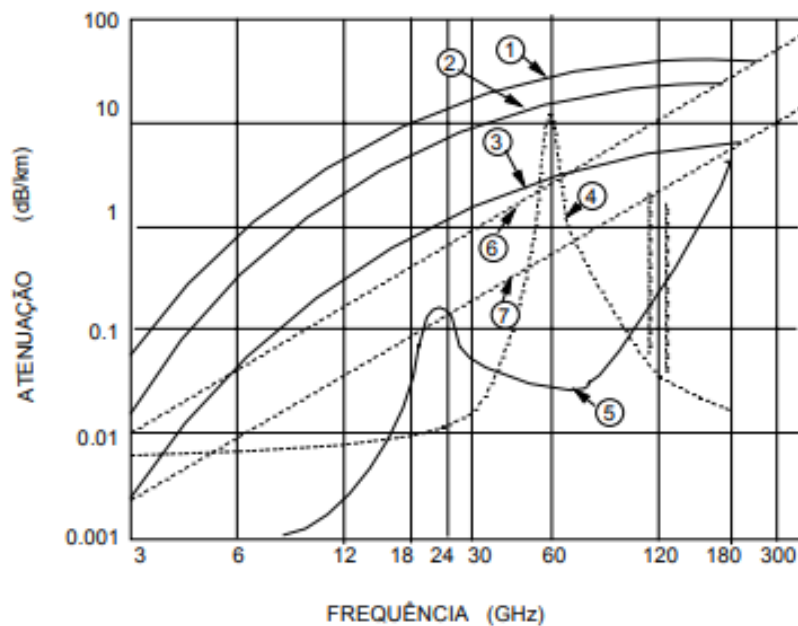


Figura 10 - Atenuação no espaço livre

Os receptores FSO possuem lentes telescópicas para captar a informação contida no feixe óptico, modulada através da comutação da luz. As velocidades de transmissão do FSO estão na faixa de 100 Mbps a 2,5 Gbps, mas já existem estudos e testes com velocidades maiores. Esta tecnologia opera com baixo consumo de energia e pode ser alimentada através de Power over Ethernet (PoE), ou seja, permite transmitir energia elétrica usando o próprio cabo de rede juntamente com os dados.

O FSO possibilita conexão direta por fibra ou Ethernet ao Switch/Router, dentre outros padrões e interfaces. Desta forma, o FSO é um sistema muito seguro, que não sofre interferência e nem polui o espectro de RF. Seu custo é baixo se comparado a outras tecnologias, como enlace de rádios e fibra óptica, visto que para este sistema não se torna necessário o licenciamento ou reserva de espectros de frequência. A principal desvantagem da comunicação óptica em espaço livre é o fato de perder metade da potência por km (3 dB/km em tempo bom). A perda de potência é maior e pode se tornar um problema em condições climáticas ruins, como chuva forte, névoa ou neve.

O FSO utiliza a transmissão óptica sem fio ponto a ponto, com linha de visada direta, sem obstáculos no seu caminho, porém, apresenta perigo em relação aos olhos por usar feixes de raios IR. O Li-Fi possui vantagens em relação ao FSO, pois oferece transmissão ponto a ponto e também ponto a multiponto. Ao adotar attocells, o Li-Fi diminui a área a ser coberta pelo sinal e elimina a perda do mesmo na presença de obstáculos. Apresenta um custo bem menor, além de ser totalmente seguro porque utiliza a luz visível.

4.2 Modelo de propagação no espaço livre

Na literatura pouco ou quase nada tem se falado sobre os modelos de propagação para o sistemas Li-Fi. Como neste sistema a principal forma propagação do sinal é em linha de visada.

No espaço livre, uma onda de rádio lançada de um ponto em qualquer direção se propagará para fora a partir desse ponto na velocidade da luz. A energia, transportada por fótons, viajará em linha reta, já que não há nada que os impeça de fazê-lo. Para todos os efeitos práticos, uma onda de rádio, quando lançada, segue em linha reta, sempre viajando à velocidade da luz. Conforme a onda se espalha, a intensidade se torna menor.

O modelo de propagação no espaço livre considera apenas o caso em que o transmissor e o receptor estão localizados no espaço livre, portanto livres de qualquer

obstrução no caminho direto entre eles. Como a maioria dos modelos de predição em larga escala, o modelo do espaço livre prediz o nível do sinal recebido como função da distância de separação entre transmissor e receptor elevada a uma certa potência. Considerando-se uma antena transmissora localizada no espaço livre, com ganho G_T na direção da antena receptora e potência transmitida P_T , a densidade de potência a uma distância d é dada por:

$$W = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \quad (4.1)$$

A potência na antena receptora, com ganho G_R e área efetiva A é dada por:

$$P_r = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \frac{\lambda^2 G_R}{4\pi} \quad (4.2)$$

$$A = \frac{\lambda^2 G_R}{4\pi} \quad (4.3)$$

Agrupando-se a equação 4.3 acima, chega-se à equação do espaço livre abaixo:

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left[\frac{\lambda^2}{16\pi^2 d^2} \right] \quad (4.4)$$

Sendo a perda de propagação (L) a relação entre a potência transmitida e a potência recebida, podemos escrever a perda no espaço livre como:

$$L[\text{dB}] = -10\log G_T - 10\log G_R + 20\log F_{\text{MHz}} + 20\log d_{\text{Km}} + 32.44 \quad (4.5)$$

Pode-se verificar através da equação (4.5) que no modelo do espaço livre a potência cai com o inverso do quadrado da distância, ou seja, o nível de potência recebida cai 6 dB quando a distância é dobrada.

Capítulo 5

Vantagens e Limitações do Li-Fi

5.1 Vantagens e Limitações da Tecnologia Li-Fi

O Li-Fi é uma promissora solução para as problemáticas enfrentadas pelas comunicações sem fio por RF, devido:

- a) Capacidade: o espectro de luz visível tem 10.000 vezes o tamanho do espectro de RF. Como a infraestrutura da iluminação já está instalada, é preciso a troca das lâmpadas por LED's Li-Fi que contém microchips para a transmissão de dados;
- b) Eficiência: se analisarmos o custo da energia, as lâmpadas LED's são altamente eficientes. Adotadas em grande escala, diminuiriam consideravelmente o consumo energético e promoveriam uma grande redução na emissão de carbono;
- c) Disponibilidade: existe luz em praticamente todos os lugares, nos hospitais, aviões, em ambientes seguros como petroquímicas, centrais de energia nuclear, sinais de trânsito, faróis de carros, até mesmo os celulares têm uma lanterna de LED, tornando-se, portanto, fontes em potencial para transmissão de dados em alta velocidade;
- d) Segurança: a luz não atravessa paredes, assim os seus dados não podem ser interceptados e utilizados indevidamente. Somente existem dados onde há luz. Agora, com o Li-Fi, consegue-se realmente ver para onde os dados estão indo.

Outra grande vantagem ao se utilizar o conceito de Li-Fi attocells é que não existem interferências para células não vizinhas [30], favorecendo então a reutilização da banda. À medida que se aumenta o número de usuários, a velocidade da conexão se mantém constante para cada um, diferentemente do WiFi, onde este aumento divide a banda entre os usuários, diminuindo assim a velocidade de acesso individual.

Uma desvantagem do Li-Fi é que, para o seu funcionamento, a luz deve estar sempre ligada e a luz solar, por ser de full spectrum, podendo apresentar interferências na comunicação Li-Fi. Luz de full spectrum é a que cobre o espectro eletromagnético do infravermelho ao ultravioleta, ou em todos os comprimentos de onda que são úteis para a vida vegetal ou animal. A distribuição espectral solar ao atingir a Terra depende da hora do dia, da latitude e das condições atmosféricas. Outro ponto a ser questionado é o gerenciamento dos acessos em lugares públicos ponto a multiponto, ou seja, como vai ser efetuada a segurança entre diversos dispositivos conectados em um mesmo AP.

5.2 Comparação entre Li-Fi e outras tecnologias PAN

Conforme comentado no capítulo 2, o sistema Li-Fi está classificado na rede de tipo pessoal (PAN), a seguir será realizada uma comparação da tecnologia com as principais concorrentes que pertencem a esta classificação. Nas redes de sensores sem fio, existem diferentes tipos de aplicações, tais como aplicações militares, aplicações de monitoramento de área, transporte, sensoriamento ambiental, monitoramento estrutural, monitoramento industrial, setor agrícola, etc. Todos os nós sensores são embutidos com quatro unidades básicas, ou seja, unidade sensora, unidade transceptora, unidade de energia, e unidade de processamento. O trabalho da unidade do sensor está em detectar as condições do ambiente, como temperatura, pressão, nível de umidade, etc, e converte-se em formato analógico para digital. Em seguida, a unidade de processamento é incorporada com um microcontrolador e um pequeno dispositivo de armazenamento de memória. Ele salva os dados de detecção e transmite através da unidade do transceptor. Atualmente, diferentes tipos de unidade transceptor são usados em redes de comunicação sem fio (WSNs), como Li-Fi, Bluetooth, UWB, Zig-Bee, etc.

Bluetooth é uma tecnologia sem fio; Ele é usado para trocar dados em uma pequena distância, inclusive com o IEEE 802.15.1. Baseia-se num sistema de rádio sem fios e a velocidade da taxa de dados é de 1 Mbps. Ele é usado para redes de área pessoal (PANs). Opera em frequências entre 2402 e 2480MHz ou 2400 e 2483,5MHz [31]. Este dispositivo transmite dados em pacotes e transmite cada pacote em um dos 79 canais Bluetooth selecionados. Cada canal tem uma largura de banda

de 1MHz. É um sistema com estrutura mestre-escravo. Um dispositivo Bluetooth mestre pode se comunicar com um máximo de até sete dispositivos em uma piconet. Todos os dispositivos compartilham o relógio do mestre, e os pacotes são trocas na base do relógio básico. O mestre muda rapidamente de um dispositivo para outro usando algoritmos round-robin. As transmissões do mestre podem ser comunicação ponto-a-ponto ou ponto a multiponto.

UWB significa Ultra-Wide Band, é uma tecnologia de rádio e inclui IEEE 802.15.3, baseado em troca de informações em curto alcance com uma comunicação de baixa energia e alta largura de banda [32]. Sua taxa de dados varia entre 110 Mbps a 480 Mbps e pode ser usada para entrega de áudio e vídeo em redes domésticas. Também é usado para rede de área pessoal. Ele pode transportar uma enorme quantidade de dados a uma distância de até 230 pés com potência muito baixa (menos de 0,5 miliwatts). Transmite pulsos digitais que transportam o sinal nos mesmos tempos. Esta técnica para taxa de dados é de 1,25 milhões de bits por segundo.

ZigBee é uma especificação baseada em IEEE 802.15.4 para um protocolo de comunicação de alto nível usado em redes de área pessoal com sinais de rádios digitais de baixa potência. Pelo fato de ser um sistema de baixa potência, isto reflete no consumo de energia na transmissão de dados, dentro de uma distância de 10 até 100 metros. Este dispositivo pode transmitir dados a longa distância através da uma rede de malha de dispositivos intermediários, mas depende da potência e das condições ambientais. Esta rede é protegida por um sistema simétrico de criptografia de chaves de 128 bits e tem taxa de transmissão de 250 Kbps. Ele fornece rede de malha múltipla e auto-organizada, com longa vida útil de bateria.

A tabela 1, resume os diferentes tipos de protocolos sem fio. Cada protocolo deriva os padrões IEEE, velocidade de transmissão de dados, frequência, largura de banda, topologia de rede, faixa normal, consumo de energia, custo, anos de fabricação e segurança. Li-Fi, UWB, Bluetooth e Zigbee estão trabalhando sob o WPAN a cerca de 10m. Na figura 8, compara-se a velocidade de transmissão de dados nos diferentes tipos de protocolo sem fio. É claramente visível, que o protocolo sem fio Li-Fi tem velocidade de transmissão mais elevada do que outro protocolo sem fio, vide figura 11.

Tabela 1 - Comparação entre Li-Fi, Bluetooth, UWB e ZigBee

Parâmetro	Rede Wireless			
	Li-Fi	Bluetooth	UWB	ZigBee
Padrão IEEE	802.11.bb	802.15.1	802.15.3	802.15.4
Velocidade de transmissão	>1 Gbps	1 Mbps	100 Mbps	250 Kbps
Frequência	Luz visível	2.4 GHz	3.1 - 10.6 GHz	869/915 MHz
Topologia da rede	Ponto a ponto	Piconet	Piconet	Start
Alcance	Curto Alcance	10 m	10-100 m	10-100 m
Consumo de energia	Pequeno	Alto	Alto	Alto
Custo	Alto	Razoável	Razoável	Razoável
Ano de lançamento	2001	1998	2002	1998
Segurança	Alta	Nenhuma	Razoável	Baixa

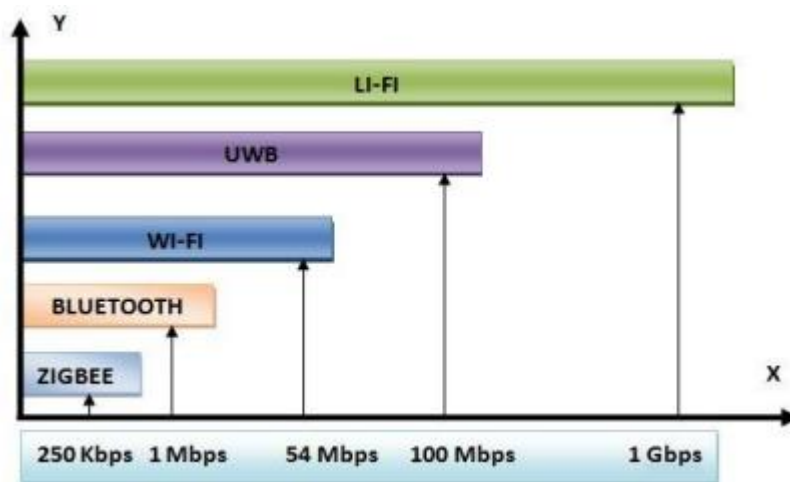


Figura 11 - Comparação de taxa de transmissão entre diferentes tecnologias

5.3 WiFi versus Li-Fi

Pela capacidade de taxa de dados, acreditamos que o principal concorrente da tecnologia seja o sistema WiFi, a partir desta afirmação dedicamos um item do capítulo à comparação das duas tecnologias. O Li-Fi usa luz visível para transmissão de dados,

enquanto o WiFi usa ondas eletromagnéticas em frequências de rádio para transmissão de dados. Enquanto o WiFi troca dados por meio de dispositivos e roteadores em um mesmo ambiente de rede, o Li-Fi estipula o uso de LEDs capazes não apenas de iluminar um espaço físico, mas também de transmitir informações, piscando [33]. Outra diferença entre as tecnologias é que a topologia Li-Fi é ponto-a-ponto enquanto que a topologia WiFi esta associada à topologia de rede multiponto.

O Li-Fi está relacionado com a possibilidade de operar com taxas mais altas de transferências que o WiFi e também apresenta robustez do sinal de comunicação que não sofre interferência, em ambientes de altos níveis de radiação eletromagnética, ao contrário do WiFi [33]. Outro aspecto, apontado como relevante para o Li-Fi está no potencial de segurança, já que, diferente do WiFi, essas redes dificultam a invasão de hackers. Outra vantagem do Li-Fi, está no potencial de velocidades muito mais altas do que redes WiFi, já que pode atingir velocidades de maiores de 1 Gb/s, enquanto redes WiFi geralmente estacionam próximos de 150 Mbps [33]. A densidade de dados oferecida pelo Li-Fi permite uma capacidade elevada, visto que por exemplo, em uma sala com 6 luzes integradas Li-Fi, onde, cada luz transmite 42 Mbps, leva a uma capacidade total de 252 Mbps naquela sala, o que resulta em uma experiência confiável e mais rápida para o usuário [33]. O Li-Fi pode atingir aproximadamente 1000 vezes a densidade de dados do WiFi, oferecendo mais dados por metro quadrado.

Por outro lado, a tecnologia WiFi também possui vantagens se comparado ao Li-Fi. A primeira, é que o sinal WiFi pode atravessar paredes, ou seja, atinge áreas maiores. Redes Li-Fi não têm essa capacidade [33]. Assim, o Li-Fi tem limitações em termos de área de cobertura, ou seja, não é possível conectar uma residência toda com apenas uma lâmpada como é feito com apenas um roteador na rede WiFi. Uma vantagem do WiFi está no fato de não precisar da iluminação estar sempre ligada, isso porque para o Li-Fi funcionar, é necessário deixar as lâmpadas ligadas enquanto houver comunicação. Além disso, inicialmente o preço da tecnologia Li-Fi deve ser um impeditivo, pois ainda está em desenvolvimento, e o custo de produção deve ser alto enquanto a tecnologia não se populariza, fato que já é realidade em sistemas WiFi há mais de uma década [33].

O Li-Fi é uma forma infinitamente mais segura de transmissão de dados do que o WiFi porque um dispositivo receptor deve estar diretamente dentro do cone de luz para receber um sinal transmitido. A luz visível, incluindo comprimentos de onda no infravermelho próximo, não pode penetrar em objetos opacos, como poços, o que significa que o sinal sem fio é restrito a uma área de iluminação estritamente definida

A seguir, a tabela 2, mostra a comparação entre as tecnologias Li-Fi e o WiFi em diferentes aspectos para melhor compreensão do desempenho de ambas redes sem fio.

Tabela 2 - Comparação entre Li-Fi e WiFi

Características	Li-Fi	WiFi
Segurança	Mais seguro, difícil de ser hackeado.	Menos seguro, fácil de ser hackeado.
Meio	Luz visível.	Ondas eletromagnéticas em frequência de rádio.
Alcance	Alcance até 10 metros.	Alcance pode ser de até 100 metros.
Custo	Barato, pois usa luz.	Barato, pois usa espectro sem licença.
Topologia	Topologia ponto a ponto.	Topologia Multiponto.
Densidade de Dados	Densidade de dados alta.	Densidade de dados relativamente baixa.
Valor	Valor de mercado baixo.	Valor de mercado alta.
Transmissão de dados	Transmissão de dados usando bits diretamente, piscando.	Transmissão de dados usando ondas de rádio.
Interferência de obstáculo	Sofre alta interferência dos obstáculos.	Sofre baixa interferência dos obstáculos.

Capítulo 6

Estado da técnica Li-Fi

6.2 Mercado Li-Fi

O professor Harald Haas que cunhou o termo "Li-Fi" em seu TED Global Talk de 2011, onde apresentou a ideia de "dados sem fio de todas as luzes". Em 2012 fundou a empresa pureVLC juntamente com o Dr. Mostafa, e em 2014 teve o nome da empresa modificado para pureLiFi. Desde então, a empresa pureLiFi, tem buscado se aperfeiçoar no mercado Li-Fi, atingindo cerca de mais de 20 países.

A pureLiFi, empresa pioneira de tecnologia que usa luz para criar redes sem fio de última geração, forneceu sua tecnologia Li-Fi para uma linha de produtos de iluminação integrados a Li-Fi em conjunto com a empresa francesa Lucibel, projetista e fabricante de produtos de iluminação de última geração e soluções baseadas na tecnologia LED. Assim, como resultado desta parceria de co-desenvolvimento, a primeira solução Li-Fi industrializada do mundo foi disponibilizada ao mercado em setembro de 2016. A Luminaire foi um passo importante para obter o Li-Fi para transmitir dados de e para dispositivos que usam luz visível para as casas das pessoas. E também, permitiu que os clientes enviassem e recebessem dados por meio da luz transmitida por uma lâmpada LED habilitada para Li-Fi conectada ao roteador, que em contato com um receptor USB conectado ao laptop possibilitasse uma conexão sem fio de downlink e uplink de 42 Mbps que poderia suportar até oito dispositivos de uma vez. Quando se considera que as velocidades do WiFi AC variam de 433 Mbps para vários gigabits, 42 Mbps divididos entre oito pessoas soam um pouco abaixo do esperado. Mas isso é 42 Mbps a partir de apenas uma lâmpada; em um ambiente típico de escritório, se teria 6-8 Luminaires configurados, oferecendo até 252-336 Mbps para compartilhar. Quanto mais se adicionar, maior será a capacidade. Onde, cada encaixe de luz tem um arco de distribuição de 66 graus, então é preciso estar sentado bem perto, se não diretamente abaixo de um, mas conforme se move pela sala, as conexões são automaticamente entregues entre as lâmpadas. Um ponto

importante é que a comunicação por luz visível, não se destina a substituir o WiFi, ela foi projetada para suportá-lo. A banda de 2,4 GHz já está congestionada e a banda de 5.8 GHz não é tão popular por não apresentar um bom desempenho em locais com obstrução. Como o Li-Fi requer uma linha de visão, não é ideal para todas as situações, pois pode interromper o fluxo de dados simplesmente colocando a mão sobre o sensor.

Já em novembro de 2018, a pureLiFi lançou a segunda geração de produtos de luminárias Lucibel Li-Fi. Este produto de nova geração para a Lucibel, com a tecnologia Li-Fi da pureLiFi, é um fator de forma significativamente avançado e fácil de usar. A solução oferece um aumento na velocidade da internet de 54 Mbps em comparação com 42 Mbps para a primeira geração. Outros recursos aprimorados incluem um aumento no número de usuários simultaneamente capazes de se beneficiar de uma conexão segura. O design de produto desta segunda geração foi revisado pela Lucibel para permitir uma melhor integração das funcionalidades de 'Iluminação' e 'Conectividade'.

Infelizmente, quem procura pela solução de um sistema de comunicação utilizando a rede Li-Fi terá que esperar, já que as primeiras soluções são destinadas para escritórios, hospitais, fábricas e outras instalações comerciais em primeiro lugar. A única maneira de obter Li-Fi em casa no futuro imediato será se comprar uma nova casa gerenciada pela Nexity, na França. Os detalhes ainda, são escassos em termos de exatamente onde as casas conectadas da Nexity estarão, no entanto, Loïc Daniel, vice-presidente da propriedade comercial da Nexity, nomeia a Lucibel como “fornecedora de novas soluções para o setor imobiliário de amanhã”. Enquanto a PureLiFi é baseada em Edimburgo, eles não cederam quando foram questionados sobre quaisquer parcerias neste lado do Canal. Um porta-voz disse à PC Mag que a PureLiFi está trabalhando com várias empresas, algumas das quais estão sediadas no Reino Unido, mas disse: "Não podemos comentar sobre qualquer momento em relação a possíveis parcerias". Da mesma forma, a PureLiFi não especularia sobre quando se poderá comprar um kit Li-Fi, caso uma nova casa ou escritório não venha com um sistema Li-Fi integrado. O porta-voz da PureLiFi disse que está trabalhando em “futuros produtos que melhor ambiente doméstico”. Pois, uma das coisas mais interessantes sobre o Li-Fi é que ele não requer nenhum tipo especial de lâmpada

LED para funcionar. Praticamente qualquer adaptação de luz LED que se possa comprar pode, em teoria, pode ser adaptada e transformada em um ponto de acesso Li-Fi.

Além da parceria da pureLiFi com Lucibel, outra cooperação inovadora com a pure Li-Fi é com a Linmore LED Lighting Labs que está focada no desenvolvimento de soluções de iluminação LED que estão entre os 1% de desempenho em qualquer tipo de produto oferecido. Eles projetam produtos com o valor do usuário final em mente. Eles buscam fornecer soluções de iluminação LED que minimizem o consumo de energia, minimizem os custos de manutenção, elevem a sustentabilidade, melhorem a estética e corrijam os níveis de iluminação, e também desejam impulsionar a inovação de iluminação para fornecer dados sem fio através do Li-Fi. Com uma estimativa de 3-4 bilhões de tubos fluorescentes instalados em todo o mundo, a Linmore LED viu uma oportunidade para seus negócios ao oferecerem ainda mais do que sua eficiente iluminação LED aos clientes. Recentemente, a maioria dos aparelhos de iluminação Li-Fi eram lâmpadas pequenas ou embutidas. Agora, juntando-se a Linmore LED e a pureLiFi, introduziram as primeiras barras de luz LED com Li-Fi, concebidas para substituir a iluminação por lâmpadas fluorescentes. Os equipamentos de retrofit, mesmo aqueles que não são compatíveis com Li-Fi, estão em grande demanda, já que muitas instalações procuram reduzir os custos de energia em até 70-80%, convertendo-os em tecnologia LED. Essa tendência também está sendo impulsionada pelo aumento da vida útil dos LEDs e pela preocupação com o mercúrio tóxico utilizado nas lâmpadas fluorescentes, o que dificulta o descarte. Essa nova inovação oferece um cenário muito real em que proprietários de edifícios e gerentes de instalações podem adotar a tecnologia Li-Fi, diminuindo ao mesmo tempo os custos de energia relacionados à iluminação. “A Linmore LED é a primeira empresa no mundo a levar esta tecnologia não apenas para novos equipamentos, mas também para adaptar os equipamentos que empregam a tecnologia Li-Fi com suas barras de luz altamente inovadoras” diz o professor Harald Haas, co-fundador da pureLiFi e inventor do Li-Fi. De acordo com Paul Chamberlain, CEO da Linmore LED, a parceria com a pureLiFi foi uma boa opção devido à natureza modular das barras de luz LED da empresa. O design do produto permitiu a integração dos chipsets Li-Fi na posição ideal na barra de luz, sem afetar aspectos críticos, como distribuição de iluminação, dissipação térmica ou desempenho geral.

6.3 Aplicações da tecnologia Li-Fi

Hospitais não permitem RF nas salas de operações por causa da radiação e por interferir nos equipamentos. Entretanto, a tecnologia Li-Fi pode ser usada em operações à distância, cirurgias robóticas e novos instrumentos médicos [39].

Ambientes seguros como usinas petroquímicas não autorizam o uso de RF, pois a antena pode gerar faíscas. Já a luz não tem nenhuma restrição e está lá para ser usada.

Nos aviões, o RF é proibido porque causa interferências nos equipamentos de navegação. Porém, existem centenas de luzes no avião e cada uma dessas luzes tornar-se-ia um transmissor de dados sem fio.

Outra aplicação do Li-Fi seria nas ruas, para controle de tráfego. Como os veículos têm faróis e luzes traseiras de LED, a comunicação uns com os outros é viável, alertando os condutores quando outros veículos estão muito próximos, para evitar acidentes.

Existem milhões de lâmpadas instaladas nas ruas ao redor do mundo, sem contar painéis e outdoors de LED, possibilitando a implementação de serviços de acesso e transmissão de dados para os celulares, criando assim, no futuro, uma nova rede de telefonia.

Os faróis dos veículos subaquáticos, dirigidos remotamente nos oceanos, podem ser usados para transmitir dados sem fio uns com os outros e com a superfície.

Sistemas de ensino ofereceriam mais aulas a distância, inclusão social e acesso à informação empregando a tecnologia Li-Fi.

Estações de metrô e túneis, zonas mortas, comuns para a maior parte das comunicações de emergência, não apresentam obstrução ao Li-Fi, sendo, portanto, um meio de comunicação disponível em tempos de catástrofes, como terremotos ou furacões.

Existe a viabilidade dos AP's Li-Fi terem a capacidade de perceber as variações de cor na reflexão da luz em plantas e, assim, monitorar pragas e doenças em plantações.

Com a evolução do Li-Fi, diversas aplicações militares ou até mesmo espaciais, seriam concebíveis.

As possibilidades da utilização do Li-Fi são diversas. As citadas são apenas alguns exemplos, sendo capaz de se estender por todas as áreas, pois a luz está presente em grande parte das situações e dos lugares. Cada ponto de iluminação é um potencial equipamento Li-Fi, tornando praticável a sua instalação em ambientes onde não se permite o uso do WiFi, infravermelho ou outros dispositivos que utilizam RF.

6.4 Casos de Estudo

Dentre os casos de estudo abordados pela pureLiFi, tem-se: setor da saúde, engenharia, setor de emergências de desastres e defesa internacional.

No setor da saúde, o projeto AAL X AAL foi realizado no centro de referência oncológica (CRO) em Aviano Itália [34]. Este projeto foi financiado com o apoio da região de Friuli Venezia Giulia no âmbito do POR-FESR 2014-2020. O foco principal do projeto, foi permitir conectividade de dados sem fio, no setor da saúde sem produzir interferência eletromagnética, preservando assim o funcionamento das máquinas, tais como, scanners de ressonância magnética. Desse modo, o Li-Fi ofereceu eficiência operacional superior ao WiFi, uma vez que devido à interferência eletromagnética ser alta entre o WiFi e máquinas como a de ressonância eletromagnética, não era possível haver nenhuma rede de transmissão sem fio em certos locais no hospital. Contudo, com o Li-Fi, o CRO da Itália pode oferecer uma supervisão avançada dos pacientes em tempo real e também melhorar a experiência dos pacientes, dado que eles podem ter acesso à rede sem fio em qualquer local do hospital.

Para a engenharia, há mais de um século, a Babcock é responsável por fornecer serviços de engenharia sob medida e altamente qualificados [35]. Ele ajuda os clientes no Reino Unido e no mundo a melhorar a capacidade, confiabilidade e disponibilidade de seus ativos mais importantes nos quatro setores de mercado Marítimo, Terrestre, Aéreo e Nuclear, sustentados por um profundo entendimento de integração tecnológica, infraestrutura única e e treinamento especializado. Em janeiro de 2017, a Babcock começou a testar novas formas de ponta para apoiar seus clientes, estabelecendo assim, um leito de testes do Smart Connected Facility em seu Devonport Dockyard em Plymouth. O objetivo desta instalação é testar e avaliar várias tecnologias líderes que permitirão o desenvolvimento de novos modelos operacionais baseados no uso de dados digitais. O Connected Facility está sendo usado para demonstrar como os sistemas inteligentes de monitoramento sem fio podem fornecer benefícios para seu programa de manutenção e gerar benefícios para os negócios, tanto em termos de economia de custos quanto de maior disponibilidade de ativos. Para entender suas opções para futuras comunicações sem fio confiáveis, seguras e não interferentes, a Babcock está avaliando a aplicação de novas oportunidades sem fio para garantir operações em condições seguras e protegidas, exigidas em ambientes sensíveis. Dessa forma, a tecnologia Li-Fi é um ajuste natural para esse caso de uso crítico.

Como parte de uma iniciativa para resolver problemas em comunicações de resposta a desastres, a Verizon, Aegex e Nokia reuniram parceiros de tecnologia de todo o mundo para colaborar em soluções [36]. O objetivo era unir as tecnologias para ajudar a manter a continuidade dos negócios, mitigar os riscos, limitar potencialmente o impacto de uma catástrofe e quando ocorre um desastre, auxiliar os esforços de resposta emergenciais. O evento foi denominado Operation Convergent Response (OCR), realizado no centro de treinamento do Guardian Centers nos Estados Unidos. A pureLiFi demonstrou sua tecnologia Li-Fi sem fio em um cenário de desastre do metrô. A tecnologia Li-Fi foi usada para manter, em tempo real, comunicações bidirecionais que possibilitam a comunicação com um centro de comando, permitindo que os serviços de emergência mantenham conectividade segura e confiável durante uma resposta. Como o Li-Fi pode fornecer conectividade sem fio em áreas que o WiFi não pode, como usinas de energia, instalações petroquímicas e hospitais. O Li-Fi também elimina a interferência porque a luz pode ser direcionada. Os sistemas da

pureLiFi podem ser simplesmente instalados ao lado de infraestruturas de iluminação existentes, tornando o Li-Fi uma tecnologia ideal para qualquer lugar. Conforme demonstrado no Guardian Center [36], o Li-Fi também pode manter um desempenho seguro e confiável em situações de desastre. Este novo teste da tecnologia Li-Fi revela um caso de uso particularmente significativo. O Li-Fi não só pode liberar dados e largura de banda sem precedentes, mas também pode oferecer conectividade confiável e robusta quando mais se precisa.

A BT Defense é um provedor estabelecido e inovador de infra-estrutura e soluções de TIC para clientes britânicos de inteligência, e segurança [37]. A BT procura ativamente recursos especializados e parceiros para trabalhar para garantir que seus clientes tenham o benefício da mais recente tecnologia e inovação de classe mundial. Por isso, a BT associou-se à pureLiFi para implantar o Li-Fi em suas instalações do Adastral Park a poucos quilômetros de Ipswich. Essas instalações abrigam aproximadamente 3700 funcionários trabalhando em pesquisa e desenvolvimento de ponta. A instalação do Li-Fi permitiu que a BT testasse e comprovasse casos de uso exclusivo do Li-Fi para o setor de defesa. Dada a capacidade de aplicar diferentes níveis de segurança, a luzes individuais ou a um grupo de luzes, que permitem uma tecnologia de geolocalização muito sofisticada.

Capítulo 7

Conclusão

Neste trabalho foi apresentada uma abordagem teórica do sistema de comunicação sem fio, Light Fidelity (Li-Fi), desde aspectos técnicos de funcionamento até normativos que ainda estão em vias de padronização. A motivação do estudo desta nova tecnologia se dá ao avanço exponencial do número de dispositivos conectados à rede, em detrimento as limitações de espectro. Por isso, a tecnologia Li-Fi se revela como uma tecnologia promissora devido as suas características de operação. Li-Fi, opera na faixa de frequência de luz visível, onde, não há disputa comercial por espectro.

Outra motivação para o investimento em tecnologia Li-Fi é o fato de que segundo a Ericsson, 90% dos dados móveis serão consumidos em ambientes fechados até 2022 [38]. Neste quesito, o Li-Fi, surge como um novo paradigma de revolução que permite o uso de uma faixa do espectro de frequência mais elevado e livre para fornecer cobertura sem fio em ambientes indoor ou outdoor. O conceito por trás desta tecnologia é que os dados podem ser transmitidos com a ajuda de lâmpadas LED (diodo emissor de luz) e a taxa de transmissão pode ser controlada usando intensidade de lâmpada LED que pode variar até mais rapidamente do que os olhos humanos podem perceber.

Se comparado com outras tecnologias wireless, o Li-Fi apresenta diversas vantagens como maior velocidade de transmissão e maior densidade de dados, mas também apresenta algumas desvantagens uma vez que a tecnologia Li-Fi funciona por meio da luz e qualquer tipo de obstrução entre a luz que emite sinal de rede e o usuário pode atenuar ou interromper o sinal.

Ao comparar-se as tecnologias Li-Fi e o Wifi pode se perceber que, as duas tecnologias possuem seus pontos fortes e fracos. No caso do Li-Fi podem ser atingidas taxas de transmissão de dados maiores que 1 Gbps nos canais de uplink e downlink e a cobertura pode chegar até 10 metros [39] de alcance, dependendo do tipo de lâmpada LED empregada, porém precisa na maioria dos casos, de linha de visada entre o transmissor e o receptor. No caso do Wi-Fi, a cobertura pode chegar

até 100 metros em linha de visada, além de se ter cobertura mesmo se o sinal estiver obstruído, esta característica é devido ao fato desta tecnologia usar ondas de rádio com frequência mais baixa que no entanto, garantem uma taxa de transmissão de dados de até 150 Mbps que se comparado a taxa de transmissão atingida pelo Li-Fi, é inferior.

A tecnologia Li-Fi ainda é desconhecida para muitas pessoas. No entanto, ele pode resolver muitos problemas de rede e pode superar muitas limitações dos atuais sistemas de comunicação sem fio. Existem vários ambientes em que não podemos usar a comunicação RF (radiofrequência), pois eles podem gerar interferência. Por exemplo, em hospitais, as ondas de rádio podem ser prejudiciais já que podem afetar as leituras de máquinas como aparelhos de ressonância magnética e etc. Na atualidade vários estudos vem sendo realizados para verificar a viabilidade de usar-se o Li-Fi, para resolver este problema. Também em algumas operações militares, a comunicação de RF não é permitida e como solução, o Li-Fi pode ser usado para transmitir dados. A tecnologia WiFi normal não pode fornecer privacidade de dados, mas o uso do Li-Fi pode fornecer total privacidade dos dados, o qual, várias empresas podem usar para ocultar seus detalhes importantes. A água absorve o sinal de modo que a comunicação RF subaquática não é possível e, além disso, as ondas podem afetar a vida marinha. O Li-Fi não criaria tais problemas e poderia fornecer uma solução eficiente para a transmissão de curto alcance. No sistema de tráfego, o Li-Fi poderia ser usado através das lâmpadas de rua e também serviria como hotspot de Li-Fi. Ou seja, o Li-Fi revolucionaria a sociedade, caso se popularizasse.

Capítulo 8

Sugestões para trabalhos futuros

Em um ponto de vista acadêmico, uma sugestão para trabalhos futuros é testar a tecnologia Li-Fi em diversos ambientes e também em diversas modulações com apenas uma portadora e também com multiportadoras. Além disso, pode ser uma sugestão, a elaboração de um protótipo de um sistema VLC para o envio de dados em uma arquitetura unidirecional, por exemplo, ponto-a-ponto, utilizando-se um sistema de modulação qualquer (OFDM, por exemplo) para recuperação de informações perdidas devido às características do canal de comunicações. Ademais, sabendo que o usuário de comunicação Li-Fi precisa de conectividade em linha de visada com a sua fonte de luz, um avanço para a pesquisa seria superar esta limitação.

Em um ponto de vista comercial para os prestadores de serviços Li-Fi, uma sugestão seria considerar questões importantes como a disponibilidade da rede.

Referências Bibliográficas

- [1] L. Grobe et al., (2013). *High-Speed Visible Light Communication Systems*, IEEE Commun. Mag., vol. 51, no. 12.
- [2] Jungnickel, V., Pohl, V., Noenning, S., & von Helmolt, C. (2002). *A physical model for the wireless infrared communication channel*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, pp. 631–640.
- [3] Kahn, J. M., & Barry, J. R. (1997). *Wireless infrared communications*. Proceedings of IEEE, pp. 265–298.
- [4] TSE, D., & Viswanath, P. (2004). *Fundamental of wireless communication*. Cambridge University Press, pp. 21-56.
- [5] Palanivelu T. G, & Nakkeeran R. (2008). *Wireless and mobile communication*. PHI, pp. 86-154.
- [6] Jeffrey G., & Arunabha, R. (2018). *Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking*. IEEE Transaction on wireless communications, pp. 33-60.
- [7] Pan, Y. *Wireless Communications and Mobile Computing*. Disponível em <http://www.cs.gsu.edu/pan/>. Acesso em: 12 nov. 2018.
- [8] Y. Zhao. (2002). *Standardization of mobile phone positioning for 3G systems*, IEEE Commun. Mag., vol. 40, no. 7, pp. 108-116.
- [9] T. Komine, & M. Nakagawa. (2004). *Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Lights*. IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 50, no. 1, pp. 100–107.
- [10] M. Miki, E. Asayama, & T. Hiroyasu. (2006). *Visible-Light Communication using Visible-Light Communication Technology*. IEEE Conference on Cybernetics and Intelligence Systems (CIS 06), pp. 1–6.

- [11] J. Grubor, S. Randel, K. Langer, & J. W. Walewski, (2008). *Broadband Information Broadcasting Using LED-Based Interior Lighting*. Journal of Lightwave Technology, vol. 26, pp.3883–3892.
- [12] D. C. O'Brien, L. Zeng, H. Le-Minh, G. Faulkner, J.W.Walewski, & S. Randel. *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: 22 dez. 2018.
- [13] S. Rajagopal, R. Roberts and S.-K. Lim, (2012). *IEEE 802.15.7 visible light communication: Modulation schemes and dimming support*. IEEE Commun. Mag., vol. 50, no. 3, pp. 72-82.
- [14] IEEE P802.11 WIRELESS LANS, 2017, Atlanta, Georgia. *Minutes of the IEEE P802.11 Full Working Group*, IEEE 802.11-17/0014r1.
- [15] IEEE STANDARDS ASSOCIATION. IEEE 802.11™ Launches Standards Amendment Project for Light Communications (Li-Fi). 2018. Disponível em: <https://beyondstandards.ieee.org/general-news/ieee-802-11-launches-standards-amendment-project-for-light-communications-lifi/>. Acesso em: 17 out. 2018.
- [16] Evans, Dave. *A Internet das Coisas Como a próxima evolução da Internet está mudando tudo*, Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), 2011, White paper.
- [17] RATEEK, Gawande; ADITYA, Sharma; PRASHANT, Kushwaha. *Various Modulation Techniques for Li-Fi*. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, 2016. Disponível em <https://www.ijarcce.com/upload/2016/si/SITES-16/IJARCCE-SITES%2026.pdf>. Acesso em: 27 out. 2018.
- [18] Behrouz A. Forouzan. (2007). *Data Communications and Networking*. The McGraw-Hill Companies.

- [19] Dobroslav Tsonev, Stefan Videv, Harald Haas. (2013). *Light fidelity (Li-Fi): towards all-optical networking*. SPIE 9007, Broadband Access Communication Technologies VIII.
- [20] K. Cui. (2010). Line-of-Sight Visible Light Communication System Design and Demonstration. 7th IEEE Symp. Commun. Networks and Digital Signal Proc, pp. 621-725.
- [21] Cui, K. Y., Quan, J. G., & Xu, Z. Y. (2013). *Performance of indoor optical femtocell by visible light communication*. Optics Communications, pp. 59–66. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/256820260_Performance_of_indoor_optical_femtocell_by_visible_light_communication. Acesso em: 3 jan. 2019.
- [22] *Radio Mobile - RF propagation simulation software*. 2018. Disponível em: http://radiomobile.pe1mew.nl/?Calculations:Propagation_calculation:Fresnel_zones. Acesso em: 3 jul. 2018.
- [23] CAMPISTA, Miguel Elias Mitre. *Propagação e antenas aplicadas ao IEEE 802.11*. Disponível em: https://www.gta.ufrj.br/seminarios/semin2003_1/miguel/Capitulo5.htm. Acesso em: 7 jan. 2019.
- [24] HUM, Sean Victor. *Radio and Microwave Wireless Systems*. 2018. Disponível em: <http://www.waves.utoronto.ca/prof/svhum/ece422.html>. Acesso em: 10 dez. 2018.
- [25] M. A. , Hadi. *Wireless Communication tends to Smart Technology Li-Fi and its comparison with WiFi*. American Journal of Engineering Research (AJER), 2016.
- [26] KORHAN, Cengiz. *Fixed Cluster Formations with Nearest Cluster Heads in Wsns*. I.J. Wireless and Microwave Technologies, 2017. Disponível em <http://www.mecs-press.org/ijwmt/ijwmt-v7-n3/IJWMT-V7-N3-1.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2018.

- [27] DAVID , Hochfelder. *Alexander Graham Bell*. 2019. Disponível em: <https://www.britannica.com/biography/Alexander-Graham-Bell>. Acesso em: 5 mar. 2019.
- [28] AJAYBEER, Kaur; SINGH, M.L. *Performance Evaluation of Free Space Optics (FSO) and Radio Frequency Communication System Due to Combined Effect of Fog and Snow*. International Journal of Computer Applications, 2012.
- [29] HUGO, Santana Lima. *Propagação em sistemas radio enlace*. Universidade Santa Cecília Unisantia, 2018.
- [30] TSONEV, Dobroslav ; VIDEV, Stefan; HAAS, Harald. *Light Fidelity (Li-Fi): Towards All-Optical Networking*. Institute for Digital Communications, Edinburgh.
- [31] Bluetooth Market Update 2019. Disponível em: <https://3pl46c46ctx02p7rzdsvsg21-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2018/04/2019-Bluetooth-Market-Update.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2019.
- [32] MANANDHAR, D., SHIBASAKI, R. Ultra-wide Band : *Introduction and Signal Modeling*. Centre for Spatial Information System. Disponível em: http://shiba.iis.u-tokyo.ac.jp/member/current/dinesh/research/Paper/ACRS2003/UWB_ppt.pdf. Acesso em 05 out. 2018.
- [33] J. M. Kahn & J. R. Barry, (1997). *Wireless infrared communications*. IEEE, vol. 85, no. 2, pp. 265-298.
- [34] PURE LI-FI. *AAL X AAL*. 2019. Disponível em: <https://pureLiFi.com/case-study/Li-Fi-in-the-healthcare-sector/>. Acesso em: 5 fev. 2019.
- [35] PURE LI-FI. *Babcock is pioneering leading edge engineering services using Li-Fi*. 2019. Disponível em: <https://pureLiFi.com/case-study/Li-Fi-in-the-healthcare-sector/>. Acesso em: 5 fev. 2019.

[36] PURE LI-FI. *Verizon, Nokia and Aegex Technologies host event where Li-Fi shows how it can sustain communications during a subway attack*. Disponível em: <https://pureLiFi.com/case-study/first-commercial-installation/>. Acesso em: 5 fev. 2019.

[37] PURE LI-FI. *BT Defence looking to the future of wireless communications*. 2019. Disponível em: <https://pureLiFi.com/case-study/transforming-internet-at-bt-2/>. Acesso em: 5 fev. 2019.

[38] PURE LI-FI. *Why the next generation of wireless devices need Li-Fi*. Disponível em: https://cdn2.hubspot.net/hubfs/5018402/Why-Design-In-Gigabit-Li-Fi-pureLiFi-1.pdf?__hstc=201345422.ee658d822412baae5604e891bee6e4c2.1560721141455.1560721141455.1560721141455.1&__hssc=201345422.1.1560721141456&__hsfp=1839929167. Acesso em: 27 fev. 2019.

[39] RAMANDEEP, Kaur; HIMANSHU, Walia. *Review on Light Fidelity (Li-Fi) - An Advancement of Wireless Network*. I.J. Wireless and Microwave Technologies, India, p. 1q, 24 jun. 2017.