



LI-FI (LIGHT-FIDELITY): UMA LUZ NA EVOLUÇÃO DAS COMUNICAÇÕES[√]



Pablo Amaral de CARVALHO*

Almir Gonçalves PEREIRA**

Jaqueline Lindolores de Resende CARVALHO***

RESUMO

Light-Fidelity ou Li-Fi é uma tecnologia Visible Light Communication (VLC) que utiliza Diodos Emissores de Luz (LED's) para transmissão de dados sem fio. O princípio desta tecnologia consiste em combinar as técnicas de modulação com a alta frequência de variação da intensidade luminosa, invisíveis ao olho humano, para serem aplicadas nos transmissores/receptores desses sinais. Com essa tecnologia, todo equipamento de iluminação se candidata como um possível ponto de acesso de dados através do espectro de luz visível, utilizando lâmpadas LED's Li-Fi, adaptadas com um pequeno microchip. O crescimento exponencial da demanda de dados e do uso da transmissão por Wireless-Fidelity (Wi-Fi), torna o espectro de Radio Frequency (RF) cada vez mais escasso e com mais interferências. O Li-Fi surgiu como alternativa para superar os problemas das limitações do espectro de RF, possuindo também alta eficiência energética pela utilização das lâmpadas de LED. Este artigo tem como objetivo apresentar essa tecnologia e o seu funcionamento, apontar as suas vantagens e desvantagens, fazendo um comparativo com outras tecnologias de transmissão de dados sem fio, priorizando o Wi-Fi, por ser a mais utilizada.

Palavras-chave: VLC. Li-Fi. LED. Wi-Fi.

1 INTRODUÇÃO

A comunicação através das ondas eletromagnéticas, transmitindo dados sem fio, tornou-se um serviço essencial nas nossas atividades diárias. A implementação de sistemas sem fio e o aumento do número de usuários levou

[√] Artigo recebido em 29 de setembro de 2015 e aprovado em 15 de dezembro de 2015.

* Bacharel em Engenharia de Telecomunicações pelo Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora (CES/JF). @: p4blo.ac@gmail.com

** Graduado em Administração de Empresas pela Fundação Educacional Machado Sobrinho de Juiz de Fora e Especialista em Telecomunicações pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). @: almirgpw@yahoo.com.br

*** Mestra em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora. Docente das Engenharias do Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora (CES/JF). @: jaquelineresende@pucminas.cesjf.br



a demanda de dados, nas últimas décadas, a um crescimento exponencial. Para a transmissão desses dados, são utilizadas 1,4 milhões de Estações Rádio Base (ERBs) instaladas pelo mundo, com o número de dispositivos móveis alcançando os 7 bilhões até o final de 2014 (CISCO, 2014). Estima-se que, em 2018, serão transferidos através das redes móveis, por mês, 15,9 Exabytes (mais de 17 bilhões de Gigabytes) de tráfego de dados (GRÁFICO 1).

Esse aumento constante no número de dispositivos sem fio conectados gera, cada vez mais, interferências nas comunicações, além de tornar escasso o espectro de RF. Portanto, a capacidade do espectro de RF é o principal problema dessa tecnologia.

GRÁFICO 1
Tráfego de Dados Móveis
Globais



Fonte: Adaptado de CISCO (2014)

Mas existem outros problemas a serem considerados que limitam e acabam criando obstáculos para a conectividade sem fio.

Um desses problemas é a eficiência energética, pois estas estações têm um consumo muito alto e uma eficiência de apenas 5%, isto porque a grande maioria da energia é usada no resfriamento dos equipamentos nas estações (SHARMA et al, 2014).

Outro grande ponto a se considerar é a disponibilidade. Existem ambientes onde não se pode usar RF por razões de segurança, como usinas, aviões, hospitais, centrais de energia nuclear perto de certos equipamentos, sem

falar nas áreas de sombra onde a comunicação sem fio não existe, devido a problemas de localização ou até mesmo por interferências. Ondas eletromagnéticas atravessam paredes e obstáculos dentro do seu alcance, tornando os dados transmitidos sujeitos a serem interceptados e usados por outras pessoas, mesmo que esses dados sejam criptografados. Portanto, outro problema a ser questionado é a segurança.

Diante dessas questões, durante as últimas décadas, pesquisas se concentraram em encontrar alternativas para diminuir o uso do espectro de RF. Como frutos dessas pesquisas, surgiram novas tecnologias promissoras de transmissão de dados que fazem uso de micro-ondas, infravermelho e principalmente luz visível.

2 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 (BOUCHET et al, 2006).

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 1).



FIGURA 1: *Link FSO*

Fonte: Adaptado de DIGITALAIR WIRELESS NETWORKS (2014)



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. A diretividade do feixe de luz impossibilita as reflexões e a captura dos dados transmitidos. 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 (TELECO, 2007).

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 é uma tecnologia que está sendo implementada agora, mesmo que sua concepção já tenha sido elaborada há algumas décadas. Contudo, ela requer ainda muito investimento e também estudos para melhorar as formas de transmissão dos dados.

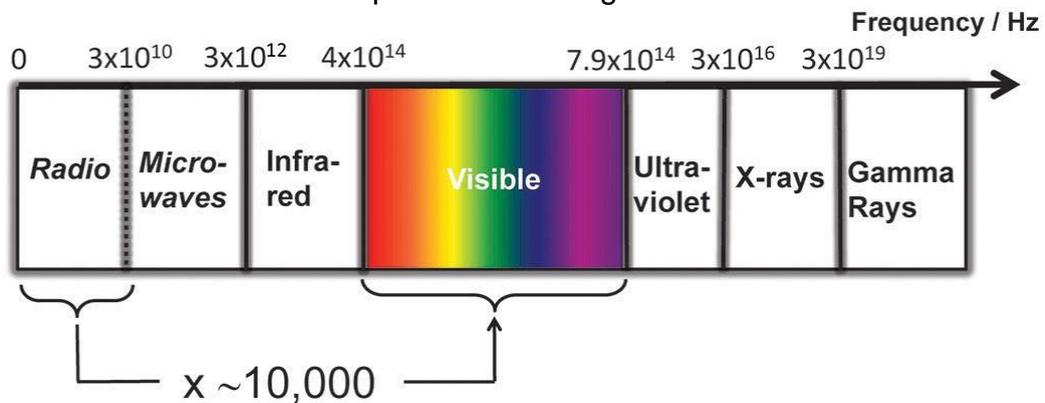
3 LIGHT-FIDELITY (LI-FI)

Ondas de rádio são apenas uma pequena parte do espectro eletromagnético disponível, onde aparecem os raios gama, raio x, luz ultravioleta, infravermelho, micro-ondas e também a luz visível. O espectro de luz visível oferece uma faixa de frequência de 300 THz, operando entre as frequências de 400 THz e 800 THz, com comprimentos de onda de 380 nm e 780 nm respectivamente, sendo cerca de 10.000 vezes maior que os 300 GHz que se encontram disponíveis para a RF (FIGURA 2).

A luz visível está em praticamente todos os lugares, tais como os ambientes

habitados ou infraestruturas existentes. Temos 14 bilhões de lâmpadas elétricas em uso pelo mundo e, com o surgimento do Diodo Emissor de Luz (LED), tornou-se possível combinar as funções de iluminação e comunicação. O LED é um dispositivo eletrônico semicondutor e sua transformação de energia elétrica em luz é feita na matéria cristalina, sendo por isso chamada de Iluminação de Estado Sólido (*Solid State Lighting - SSL*). Tal transformação é diferente da encontrada em outros tipos de lâmpadas, que utilizam filamentos metálicos, radiação ultravioleta, descarga de gases, dentre outras.

FIGURA 2
Espectro Eletromagnético



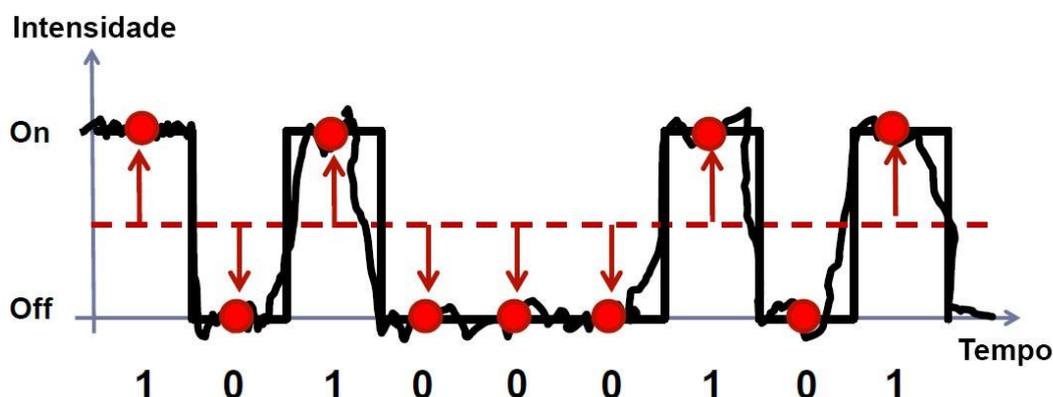
Fonte: Adaptado de SPIE (2013)

Nesse ambiente, eis que surge o *Light-Fidelity* (Li-Fi), possibilitando que todo equipamento de iluminação seja um possível ponto de acesso de dados, utilizando-se do espectro de luz visível.

O LED é considerado o coração dessa nova tecnologia devido a sua propriedade principal, ou seja, a alta frequência de variação da intensidade da luz (invisíveis ao olho humano). Esta característica pode ser utilizada para criar diferentes combinações binárias, onde os 1's representariam o LED ligado e os 0's o LED desligado (GRÁFICO 2).



GRÁFICO 2

Variação da Intensidade de Luz no LED (*On-Off Keying - OOK*)

Fonte: Adaptado de HAAS (2013)

Para isso, as lâmpadas devem ser trocadas por lâmpadas de LED Li-Fi (FIGURA 3) adaptadas com um pequeno *microchip*, integrando a eletrônica necessária para modular os dados através de pequenas mudanças na amplitude e, assim, criar pontos de comunicação e de acesso à *internet*.

A ideia do Li-Fi foi desenvolvida primeiramente por um físico alemão, o Prof. Harald Haas da Universidade de Edinburgo, e apresentada em uma palestra da TED Global VLC de 2011, onde, através de um feixe de luz como método de transmissão, foi realizado um *streaming* de vídeo de alta definição. Segundo Haas, usar o espectro de luz visível é algo que está acessível a todas as pessoas, em todos os lugares, com a vantagem de associar e encadear serviços *wireless* existentes com a modulação da luz. A simplicidade de implementação e o baixo custo são as grandes vantagens dessa tecnologia, além das lâmpadas de LED oferecerem o potencial para uma enorme redução de custos e emissões de carbono.

FIGURA 3
Lâmpada de LED Li-Fi



Fonte: Adaptado de MUNDO-NIPO (2013)

3.1 TRANSMISSÃO DE DADOS USANDO LI-FI

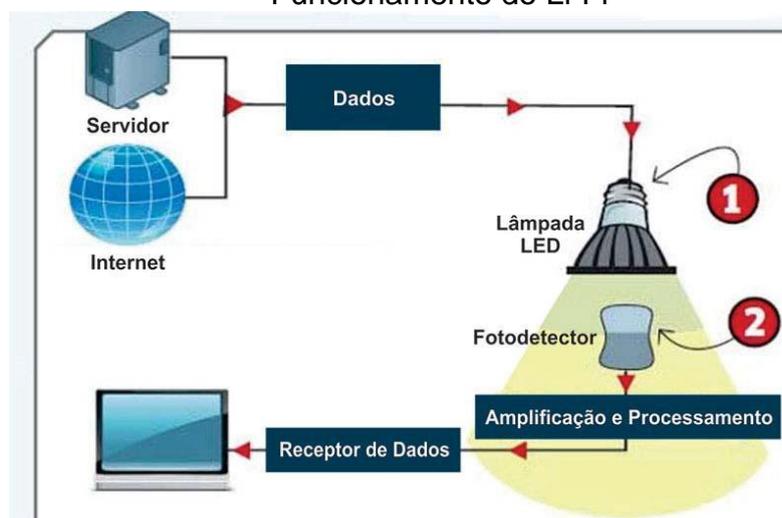
Os principais componentes do sistema Li-Fi são os seguintes:

- a) LED de alto brilho que atua como fonte de transmissão;
- b) Fotodiodo de silício atuando como elemento de recepção.

A Lâmpada LED adaptada para fazer o processamento dos sinais, atua como transmissor, ligando e desligando os LED's da lâmpada através da alta frequência de variação da sua intensidade luminosa. Obviamente, estas alterações do estado dos LED's não são percebidas pelo olho humano. Mesmo a lâmpada incandescente desliga e liga 120 vezes por segundo (120 Hertz) em um ciclo de corrente alternada (senoidal), provocando a percepção de estar ininterruptamente ligada. Já as lâmpadas LED's fazem isso milhões de vezes por segundo. Este invisível *on-off*, permite que os dados sejam transformados pelo *Digital Signal Processor* (DSP) em cadeias de códigos binários (FIGURA 5), onde ligar um LED é o nível lógico "1" e desligar é o nível lógico "0" (GRÁFICO 2).

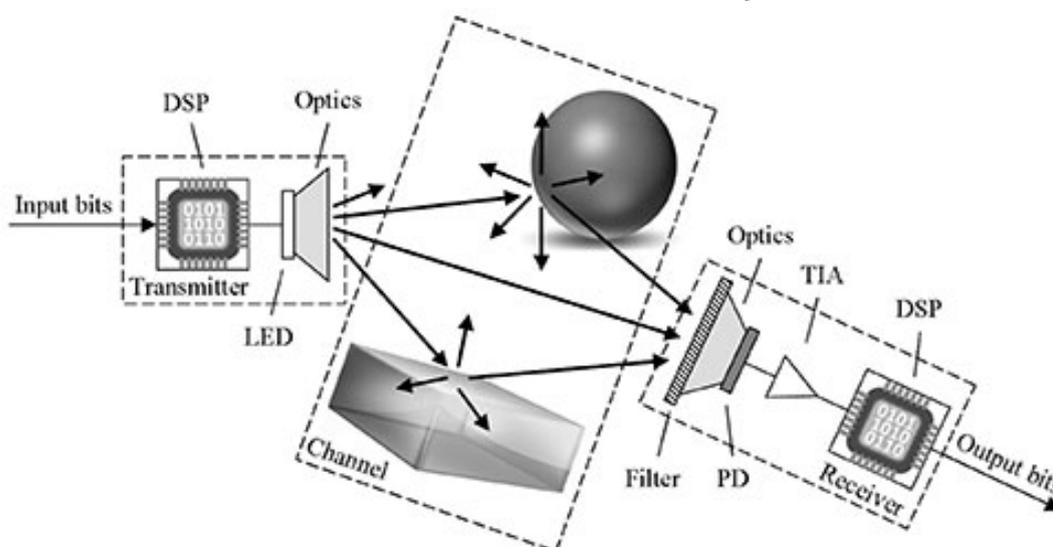


FIGURA 4
Funcionamento do Li-Fi



Fonte: Adaptado de THANIGAVEI (2013)

FIGURA 5
Detalhamento do Sistema de Comunicação do Li-Fi



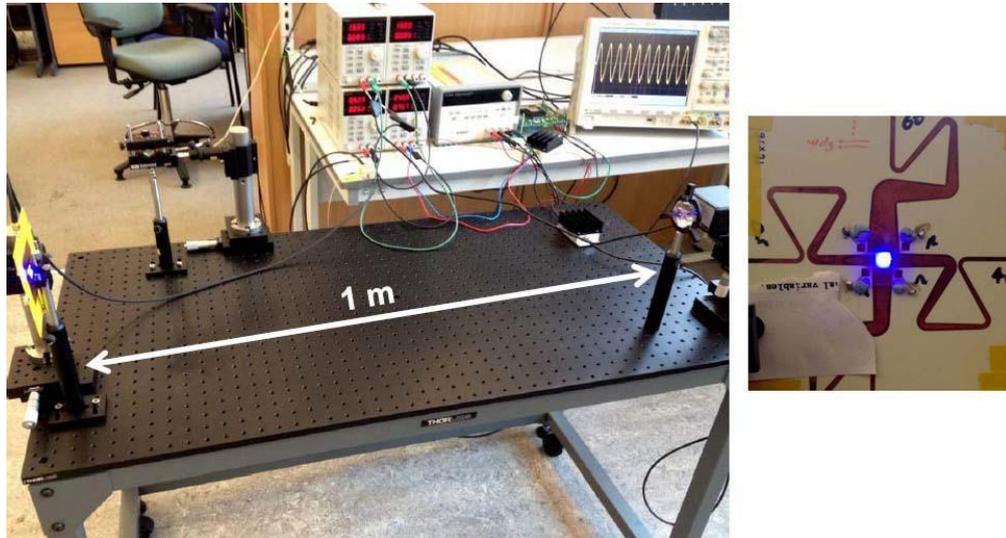
Fonte: HAAS (2013)

A luz portadora dos dados emitida ao receptor passa por um orifício que tem um PD (fotodetector), onde é filtrada, processada e amplificada pela *Transimpedance Integrated Amplifier* (TIA). Estas pequenas e sutis mudanças na amplitude são transformadas em um sinal elétrico, sendo então convertido de volta em dados pelo DSP (FIGURA 5). Ao detalhar os conjuntos 1 e 2 da FIGURA 4, tem-se o que está demonstrado na FIGURA 5.

A FIGURA 6 ilustra um experimento de um sistema de transmissão e recepção Li-Fi. Este apresenta um LED de uma única cor com 5 mW de

potência. A velocidade dos dados atingiu 3,5 Gbps a uma distância de 1 metro e 1,1 Gbps a 10 metros.

FIGURA 6
Sistema Tx e Rx Li-Fi



Fonte: HAAS (2014)

Um controle remoto comum tem, basicamente, um LED infravermelho criando um pequeno fluxo de dados a baixa velocidade, entre 10.000 a 20.000 bps. Para aplicações onde se requer transmissões em maiores velocidades, isso não é o ideal, tais como: assistir vídeos, acessar a *internet*, etc. O Li-Fi não gera somente um simples fluxo de dados, mas milhares de vertentes em paralelo, através de cada LED da lâmpada.

Com o avanço da tecnologia e o surgimento de microLED's e de LED's cada vez menores e mais rápidos, velocidades maiores são atingidas. As pesquisas iniciais permitiram transmitir dados a velocidades de 10 Mbps, tendo sido já alcançados os 3,5 Gbps (TSONEV et al, 2014), existindo projetos para se chegar aos 10 Gbps.

Vários estudos e testes têm sido realizados visando encontrar um esquema de modulação ideal para a *Intensity Modulation/Direct Detection* (IM/DD) do Li-Fi, desejando que o sistema execute duas funções simultâneas: a de iluminação e a de comunicação sem fio.

O *Orthogonal Frequency Division Multiplexing/Multiple Access* (OFDM/OFDMA) tem sido apontado como a escolha mais adequada como



esquema de modulação digital Li-Fi, já que as fontes de sinal são afetadas por interferências e dependem da frequência em seu sistema. Mas estudos conduzidos por Harald Haas, motivado pela tentativa de otimizar o uso da energia, levaram a criação do *Subcarrier Index Modulation-Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (SIM-OFDM), uma variação do OFDM.

Com o OFDM, o feixe de dados série é dividido em milhares de feixes paralelos, usando múltiplas frequências ortogonais portadoras para modular a fonte e conseguir, assim, a transmissão de dados através do *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM). O SIM-OFDM explora a dimensão adicional no *frame* OFDM, vindo do estado de cada subportadora, ativo ou inativo do LED (*On-Off Keying* - OOK) representado no GRÁFICO 2 (TSONEV et al, 2011).

Vale ressaltar que o Prof. Harald Haas é proprietário da tecnologia SIM-OFDM, pois o seu pedido de patente foi realizado e se encontra pendente.

A tecnologia Li-Fi, com base VLC, já foi normalizada pelo IEEE desde 2011, com os protocolos do padrão IEEE 802.15 publicados, os quais foram redigidos pela mesma equipe que coordenou anteriormente os padrões *Ethernet* 802.3 e Wi-Fi 802.11.

3.2 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, devido à superfície de reflexão rugosa, neste caso só a frequência é mantida.

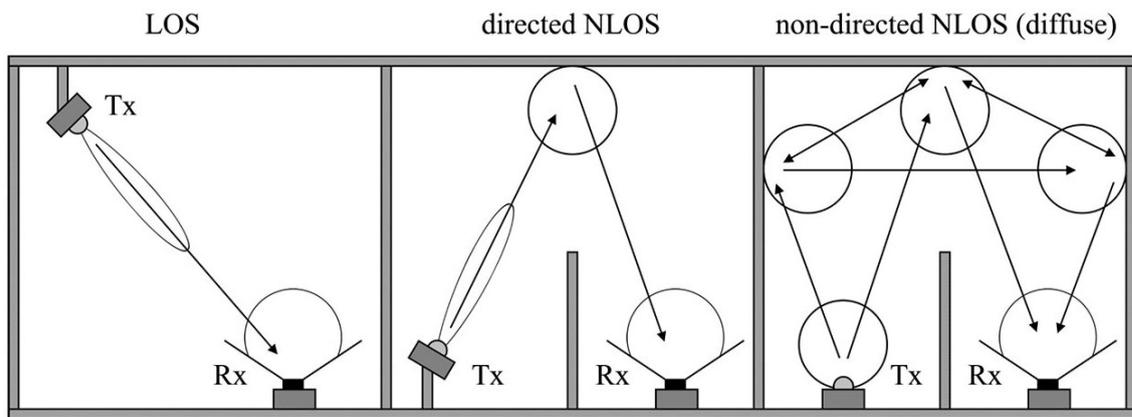
A comunicação entre o transmissor e o receptor Li-Fi acontece por *Line of Sight* (LOS) quando não existem obstáculos entre eles, assim, não ocorrem reflexões devido a diretividade do feixe de luz.

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 *directed* NLOS. Já quando ocorre a

difusão da luz, tem-se a *non-directed* NLOS (FIGURA 7).

É importante ressaltar que os equipamentos Li-Fi existentes utilizam comunicação LOS com *links* unidirecionais. As conexões bidirecionais inicialmente foram pensadas usando-se soluções de *Infrared* (IR) ou RF para a realização do canal de *uplink*. Contudo, os resultados animadores das pesquisas recentes e o crescente avanço da tecnologia, mudaram o foco para a criação de uma rede inteira Li-Fi. Esta rede utilizaria também a comunicação NLOS e o sistema *attocell*. Este conceito será apresentado a seguir.

FIGURA 7
Cenários de Comunicação



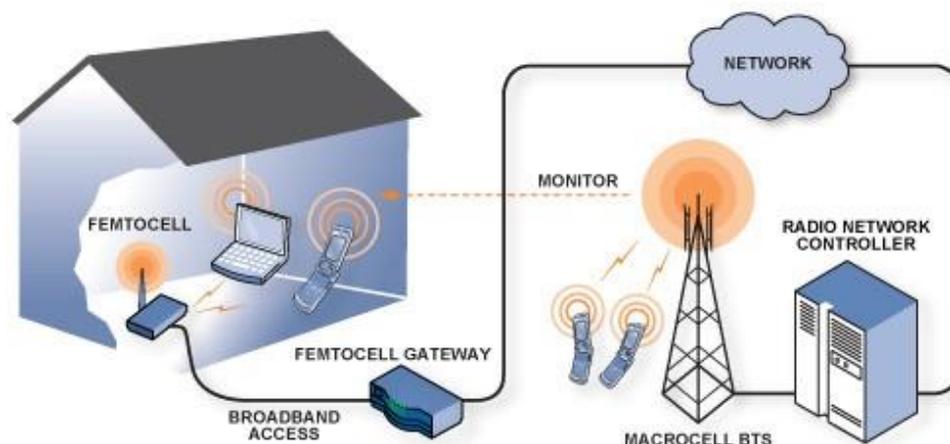
Fonte: HAAS (2013)

3.3 O CONCEITO DE ATTOCELL

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.



FIGURA 8
Femtocells



Fonte: CAMERON; FORBES (2008)

Femtocells (FIGURA 8) 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*¹ para a rede básica do usuário. A implantação de *femtocells* aumenta a reutilização da frequência e, portanto, de *throughput*² por unidade de área dentro do sistema (TSONEV et al, 2014).

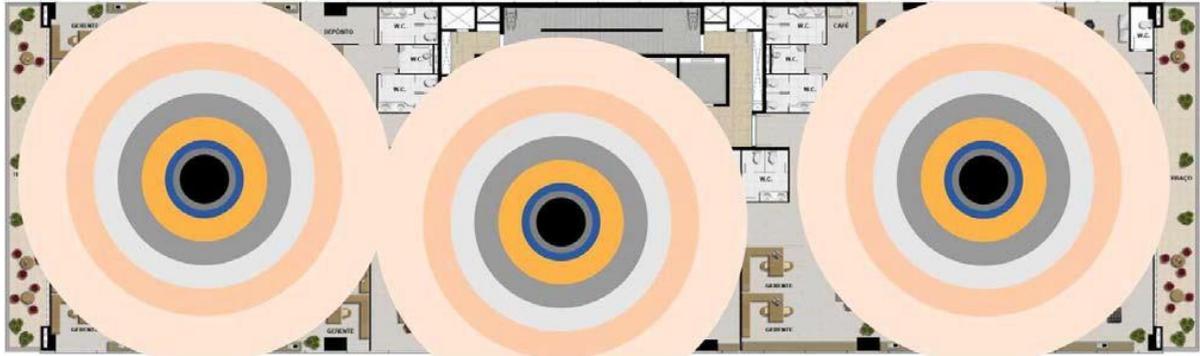
Esse conceito de pequenas células é utilizado pelo Li-Fi, onde cada *Access Point* (AP) ou ponto de acesso óptico é uma *attocell*. Como opera no espectro de luz visível, não produz qualquer tipo de interferência nas redes sem fio de RF e nem nas redes celulares, podendo até ser usada para o aumento da capacidade dessas redes.

Fazendo uma comparação da *attocell* Li-Fi com as áreas de cobertura de roteadores ou AP's Wi-Fi, verifica-se que estes geram interferências entre si, pois as ondas de RF atravessam obstáculos, como demonstrado na FIGURA 9.

¹ *Backhaul* é a porção de uma rede hierárquica responsável por fazer a ligação entre o núcleo da rede e as sub-redes periféricas.

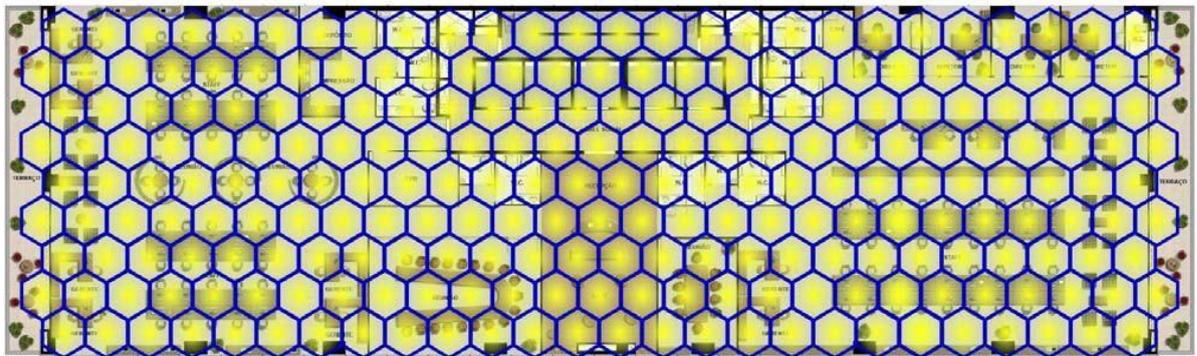
² *Throughput* é a quantidade de dados transferidos de um lugar a outro, ou a quantidade de dados processados em um determinado espaço de tempo.

FIGURA 9
Áreas de Cobertura de Roteadores e AP's Wi-Fi



Fonte: HAAS (2013)

FIGURA 10
Attocell Li-Fi



Fonte: HAAS (2013)

A cobertura de cada *attocell* é limitada, havendo a necessidade da instalação de múltiplos AP's Li-Fi (FIGURA 10), 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. *Attocells* Li-Fi permitem a mobilidade do usuário e a alta taxa de transferência de dados (FIGURA 11).



FIGURA 11
Mobilidade do Usuário



Fonte: Adaptado de HAAS (2014)

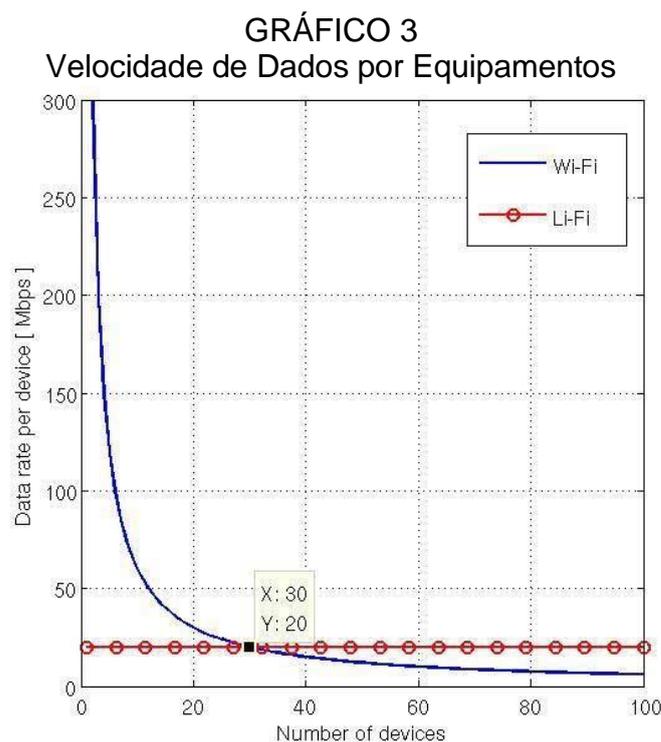
4 VANTAGENS X DESVANTAGENS DO LI-FI

Foram mencionados quatro problemas principais das comunicações sem fio por RF, sendo o Li-Fi uma promissora solução para os mesmos, 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;
- 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;
- 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;
- 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 as interferências não existem, 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 Wi-Fi, onde este aumento divide a banda entre os usuários, diminuindo assim a velocidade de acesso individual.

Um exemplo pode ser verificado no GRÁFICO 3, o qual avalia uma distribuição uniforme de cem funcionários por andar. O andar possui 400 m² de área dividida em attocells com 4 m² de área. Cada attocell é coberta por um AP Li-Fi de 20 Mbps e, para efeitos de comparação, a área do andar também foi coberta por um único AP Wi-Fi de 600 Mbps. Nota-se facilmente que, com o aumento do número de usuários conectados à rede Wi-Fi, a taxa de dados decresce exponencialmente. Já a taxa de dados do Li-Fi se mantém constante, mesmo com o aumento do número de usuários.

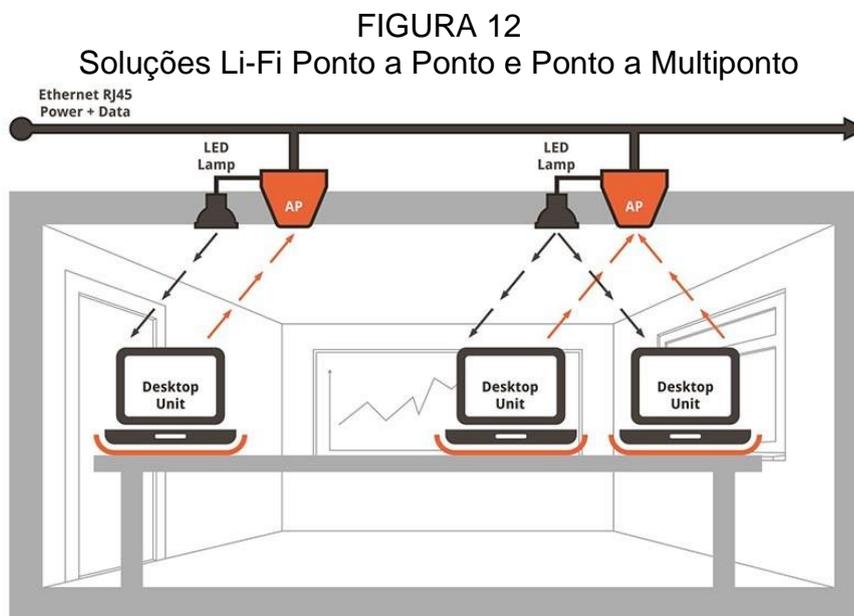


Fonte: HAAS (2013)

O FSO utiliza a transmissão óptica sem fio ponto a ponto, com linha de visada direta, sem obstáculos no seu caminho. Além disso, 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 (FIGURA 12). 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.



Uma desvantagem do Li-Fi é que, para o seu funcionamento, a luz deve estar sempre ligada.

A luz solar, por ser de *full spectrum*, pode 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.

Na TABELA 1 são apresentadas algumas tecnologias atuais e futuras do mercado, comparando a velocidade e a densidade de dados relativa.

Densidade de dados é medida em *bits* por segundo por unidade de área, sendo uma maneira muito útil para comparar tecnologias. As que usam cabos são menos propensas a interferências daquelas que usam RF. Portanto, tecnologias que sofrem mais interferências têm densidade de dados mais baixa, já as que

sofrem menos interferências têm densidade de dados mais alta.

Serão analisadas três tecnologias de interconexão com fio que estão hoje no topo do mercado. São elas: *FireWire*, USB 3.0 e *Thunderbolt*. Este último, possui dois canais (um para enviar e outro para receber) e usa cabos feitos de cobre ou fibra para atingir altas velocidades. As atuais tecnologias sem fio, utilizadas para transmitir dados entre os dispositivos, serão comparadas às futuras. As atuais são: Wi-Fi, *Bluetooth* e *Infrared Data Association (IrDA)*. As futuras são: *Wireless Gigabit (WiGig)*, *Gigabit-Infrared (Giga-IR)* e o Li-Fi.

TABELA 1
Comparação entre Tecnologias

TECNOLOGIA	VELOCIDADE	DENSIDADE DE DADOS
WIRED		
FIRE WIRE	800 Mbps	*****
USB 3.0	5 Gbps	*****
THUNDERBOLT	2 x 10 Gbps	*****
WIRELESS (ATUAL)		
WI-FI (802.11 n)	150 Mbps	*
BLUETOOTH	3 Mbps	*
IrDA	4 Mbps	***
WIRELESS (FUTURO)		
Wi-Gig	7 Gbps	**
Giga-IR	1 Gbps	***
Li-Fi	> 10 Gbps	*****

Fonte: Adaptado de INNOVATIVE TECHNOLOGY (2012)

Entre as tecnologias sem fio atuais, o Wi-Fi é a que tem as mais altas taxas.

O Wi-Fi 802.11n utiliza as frequências de 2,4 e 5 GHz e, na maioria das implementações, oferece taxas de 150 Mbps. O padrão pode ir a 600 Mbps em teoria, embora na prática se obtenha muito menos que isso.

O novo padrão Wi-Fi 802.11ac em 5 GHz promete até 1 Gbps. Já o WiGig 802.11ad pode alcançar taxas de até 7 Gbps, operando a 60 GHz. É de curto alcance e exige configurações complexas para atingir suas taxas de transferência.

O Giga-IR está sendo desenvolvido pela IrDA e promete taxas de até 1 Gbps. O Li-Fi já atingiu os 3,5 Gbps com possibilidades de alcançar velocidades maiores que 10 Gbps. Das tecnologias sem fio futuras, é a que tem melhor densidade relativa, por utilizar o espectro de luz visível e não sofrer muitas



interferências, ao contrário das tecnologias que usam o espectro de RF e IR.

5 APLICAÇÕES 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.

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 Wi-Fi, infravermelho ou outros dispositivos que utilizam RF.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sistemas com fio estão utilizando ou fazendo associações com transmissões ópticas para oferecerem taxas de dados cada vez mais altas. Os sistemas sem fio, pelo que tudo indica, seguem uma tendência similar.

A combinação de iluminação e transmissão de dados sem fio, a altas velocidades, abre uma infinidade de opções de aplicações em diversas áreas, pois usa o espectro de luz visível, proporcionando mais capacidade de banda para transmissão de dados, eficiência energética, disponibilidade de acesso e segurança nas comunicações.

Desta forma, o Li-Fi surge como alternativa para resolver a iminente crise do espectro de RF e tem um imenso potencial para formar uma nova indústria de aparelhos e serviços mais inteligentes. Seu custo de implementação é baixo, devido a já existente infraestrutura de iluminação.

Como seus primeiros equipamentos e soluções se encontram ainda em desenvolvimento, a tecnologia Li-Fi carece de mais pesquisas e amadurecimento para se tornar uma realidade de mercado. Contudo, diversas empresas encontram-se empenhadas para que isso aconteça. A motivação por trás disso é a grande economia gerada no uso da energia, pois o Li-Fi impulsionaria a adoção de lâmpadas LED's que são altamente eficientes. Além disso, oferece a capacidade para suprir o crescente volume de dados e o surgimento de aplicações que exigem conexões cada vez mais rápidas.

A luz faz parte das nossas vidas, é naturalmente saudável, representa segurança, funcionalidade, modela espaços, cria ambientes. É a que se pode



ver e nos faz ver e, agora, também transmite dados.

Através deste artigo, os seguintes trabalhos futuros são sugeridos: estudo da interferência causada pelos raios solares nas comunicações de luz visível, apresentação das técnicas de modulação empregadas na transmissão e recepção Li-Fi, funcionamento dos AP's e receptores Li-Fi e do sistema *attocell* e a construção de um protótipo de um sistema Li-Fi.

LI-FI (LIGHT-FIDELITY) A LIGHT IN THE EVOLUTION OF COMMUNICATIONS

ABSTRACT

Light-Fidelity or Li-Fi is a technology Visible Light Communication (VLC) that uses Light Emitting Diodes (LED's) to transmit data wireless. The principle of this technology is to combine the techniques of modulation with the high frequency variation of the intensity of light, invisible to the human eye, to be applied to the transmitters/receivers of these signals. With this technology, all lighting equipment is applying as a possible access point data via the visible light spectrum, using LED's Li-Fi lamps, fitted with a tiny microchip. The exponential growth of the data demand and the use of transmission for Wireless-Fidelity (Wi-Fi), makes the spectrum of Radio Frequency (RF) increasingly scarce and more interferences. The Li-Fi emerged as an alternative to overcome the problems of the limitations of the RF spectrum, also having high energy efficiency by the use of LED lamps. This article aims to present this technology and its operation, pointing out its advantages and disadvantages, making a comparison with others technologies of wireless data transmission, prioritizing Wi-Fi, for being the most used.

Keywords: VLC. Li-Fi. LED. Wi-Fi.

REFERÊNCIAS

BOUCHET, Olivier et al. **Free-Space Optics: Propagation and Communication**. United States: ISTE Ltd., 2006. p. 12-29.

CAMERON, Thomas; FORBES, Peadar. Analog Front End for 3G Femto Base Stations Brings Wireless Connectivity Home. **Analog Dialogue**, v. 42, n. 12, december 2008. Disponível em:
< <http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/42-12/femtocell.pdf>>. Acesso em: 25 de maio de 2014.

CISCO. **Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013-2018**, 2014. Disponível em:
<http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html>. Acesso em: 11 de maio de 2014.

DIGITALAIR WIRELESS NETWORKS. **Laser Links - Free Space Optics.**

Disponível em: <<http://www.laser-link.co.uk/>>. Acesso em: 20 de maio de 2014.

HAAS, Harald. **Li-Fi modulation and networked Li-Fi attocell concept Tutorial,**

2013. Disponível em:

<http://www.see.ed.ac.uk/~hxxh/SLIDES/131223_Li-Fi_tutorial.pdf>. Acesso em: 12 de maio de 2014.

HAAS, Harald. **My Li-Fi Revolution,** abril 2014. Disponível em:

<https://dl.dropboxusercontent.com/u/23239389/140413_Tam_Dalyell_Science_Festival_v1.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2014.

INNOVATIVE TECHNOLOGY. **Visible Light Communication,** 2012. Disponível

em: <http://innovtechno.blogspot.com.br/2012_08_01_archive.html>. Acesso em: 27 de maio de 2014.

MUNDO-NIPO. **Pesquisadores desenvolvem lâmpada capaz de processar**

sinal de Internet, 2013. Disponível em: <<http://www.mundo-nipo.com/ultimas-noticias/30/10/2013/pesquisadores-desenvolvem-lampada-capaz-de-processar-sinal-de-internet/>>. Acesso em: 28 de maio de 2014.

SHARMA, Rahul R.; RAUNAK; SANGANAL, Akshay. Li-Fi Technology

Transmission of data through light. **Int. J. Computer Technology & Applications** (IJCTA), India, v. 5, n. 1, p. 150-154, Feb. 2014.

SPIE. Harald Haas. **Optoelectronics & Communications High-speed wireless networking using visible light,** 2013. Disponível em:

<<http://spie.org/x93593.xml?highlight=x2414&ArticleID=x93593>>. Acesso em: 21 de maio de 2014.

TED. Harald Haas. **Wireless data from every light bulb,** 2011. Disponível em:

<http://www.ted.com/talks/harald_haas_wireless_data_from_every_light_bulb>. Acesso em: 26 de abril de 2014.

TELECO. **Free Space Optics (FSO): Uso da tecnologia no Brasil,** 2007.

Disponível em:

<<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialtecfso/default.asp>>. Acesso em: 14 de abril de 2014.

THANIGAVEI, M. Li-Fi Technology in Wireless Communication. **International**

Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), India, v. 2, issue 10, october 2013.

TSONEV, Dobroslav; SINANOVIC, Sinan; HAAS, Harald. Enhanced Subcarrier

Index Modulation (SIM) OFDM. Institute for Digital Communications. **IEEE,** Edinburgh, UK, p. 728-732, 2011. Disponível em:

<http://www.see.ed.ac.uk/~hxxh/Li-Fi_PAPERS/12_VTC-S_Tsonev.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2014.



TSONEV, Dobroslav; VIDEV, Stefan; HAAS, Harald. **Light Fidelity (Li-Fi): Towards All- Optical Networking**. Edinburgh, UK, 2014. Disponível em: <http://www.see.ed.ac.uk/~hxh/Li-Fi_PAPERS/14_optical_attocells.pdf>. Acesso em: 14 de maio de 2014.