



APLICAÇÃO DE TECNOLOGIA LI-FI PARA TRANSMISSÃO DE SINAL DE ÁUDIO

*Primeiro Autor – e-mail**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento**

*Endereço **

*CEP – Cidade – Estado**

*Segundo Autor – e-mail**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento**

*Endereço**

*CEP – Cidade – Estado**

*Terceiro Autor – e-mail**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento**

*Endereço**

*CEP – Cidade – Estado**

*Quarto Autor – e-mail**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento**

*Endereço**

*CEP – Cidade – Estado**

*Quinto Autor – e-mail**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento**

*Endereço**

*CEP – Cidade – Estado**

Resumo: A expansão das telecomunicações e da Iot (Internet of Things) demanda um crescente número de conexão sem fio entre dispositivos de comunicação. Isso gera um problema de lotação do espectro de frequência na faixa de Wi-Fi (Wireless Fidelity). Uma das alternativas para solução deste problema é a utilização da VLC (Visible Light Communication), relacionado com a tecnologia Li-Fi (Light Fidelity) que emprega o uso de LEDs (Light Emission Diodes), para transmissão de informação usando a modulação de onda da luz visível. As principais vantagens desta comunicação é a segurança da informação, visto que a luz não atravessa sólidos como acontece com os sistemas de Wi-Fi (Wireless Fidelity) convencionais, e sua alta taxa de transmissão de dados. Diante do exposto, este trabalho apresenta um projeto de um circuito VLC para transmissão de um sinal de áudio na faixa de frequência de rádio FM.

Palavras-chave: Li-Fi, VLC, LED e Modulação.



1. INTRODUÇÃO

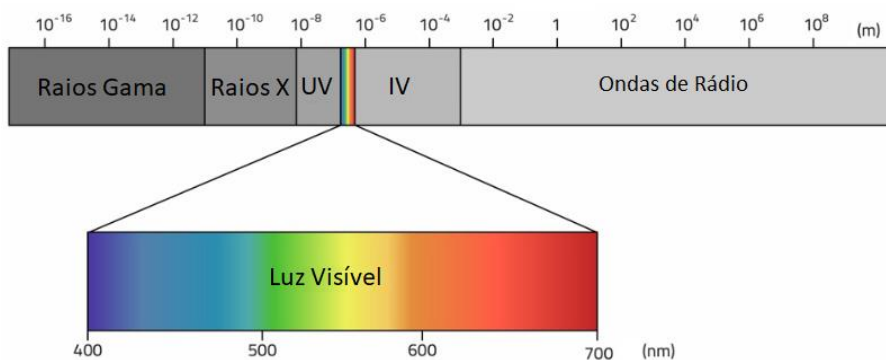
A expansão das tecnologias de comunicação e da Internet das Coisas, na qual dispositivos podem conectar entre si e na rede mundial, exige progressivamente a ocupação do espectro eletromagnético destinado ao Wi-Fi (MURAWWAT et al.,2018). Uma consequência disso é a saturação dessa faixa, o que pode comprometer a eficiência dessas conexões (VRIES et al.,2014). Diante desse cenário é importante estudar novas formas de acesso às redes de comunicação e internet para mitigar as limitações impostas pela faixa de radiofrequência.

Uma tecnologia que caminha no sentido de minimizar o problema de limitação da banda de frequência é a Comunicação por Luz Visível baseado no sistema Li-Fi, cujo espectro se encontra entre o infravermelho e o ultravioleta, conforme mostra a Figura 1. Seu objetivo é modular a intensidade da luz para transmissão de dados e garantir que a variação de luminosidade seja imperceptível ao usuário (HAAS et al.,2016).

Os LEDs são dispositivos amplamente usados para sistemas de sinalização e iluminação pois oferecem propriedades relevantes como alto brilho, confiabilidade, baixo consumo de energia e tempo de vida útil (SEDRA et al., 2014). Além dessas vantagens, ele pode ser usado como dispositivo central para um sistema óptico de comunicação sem fio (HAAS et al.,2016).

Diante do contexto supracitado, esse trabalho tem por finalidade a construção de um protótipo de comunicação sem fio para transmissão de sinais de áudio na faixa de rádio FM usando a luz visível proveniente de um LED.

Figura 1 – Espectro Eletromagnético

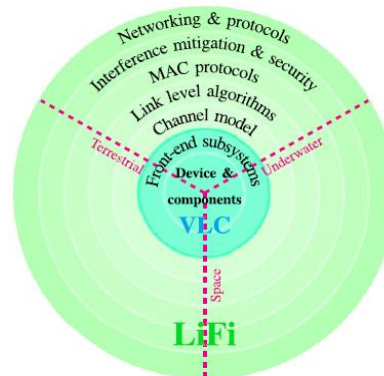


Fonte: Adaptado do Site PrimaLucelab

2. LI-FI – LIGHT FIDELITY

Li-Fi é um sistema de comunicação que emprega o espectro da luz visível para transmissão de dados sem fio. A técnica consiste em modular a intensidade da luz utilizando a faixa do espectro que possui comprimentos de ondas entre 390 nm a 700 nm. A VLC é configurada para comunicação ponto-a-ponto permitindo detecção direta pelos fotodetectores ou fotorreceptores. O Li-Fi além de abranger a comunicação por luz visível, determina também um sistema de redes que envolve vários pontos de acesso chamados de células ópticas, facilitando a mobilidade do usuário (HAAS et al.,2016). A Figura 2 exhibe o Li-Fi e suas camadas.

Figura 2 - Li-Fi e suas camadas



Fonte: (Haas et al.,2016)

No âmbito da eletrônica e da telecomunicação, modulação é uma técnica onde as características de uma portadora são modificadas por um sinal modulante para que seja viabilizado a sua transmissão (DHING et al., 2012). Na transferência de dados convencionais como no sistema Wi-Fi, a portadora é um sinal elétrico senoidal e o sinal modulante é a informação que se deseja transmitir, como um sinal de áudio, vídeo ou internet por exemplo. Na comunicação VLC, o sinal modulante é o mesmo, porém a portadora é caracterizada pela luz visível.

O estudo e a viabilização de novas tecnologias para comunicação sem fio só fazem sentido quando sua implementação possui vantagens em relação a outras. Em comparação aos sistemas Wi-Fi os subtópicos seguintes destacam algumas vantagens da VLC.

2.1 Maiores Taxas de Transmissão de Dados

Por situar-se na faixa de frequência da luz visível, cujas frequências são da ordem de $10^{14} Hz$, a taxa de transferência de dados do VLC será maior do que o Wi-Fi atual que trabalha na faixa de micro-ondas. A Tabela 1 faz um comparativo entre as duas tecnologias.

Tabela 1 - Comparação Taxa de Dados Wi-Fi e VLC

| Espectro Usado | Luz Visível | RF |
|----------------|---------------|-------------------|
| Padrão | IEEE 802.15.7 | IEEE 802.11 |
| Taxa de Dados | >1 Gbps | 100 Mbps – 1 Gbps |

Fonte: (Haas et al.,2016)

2.2 Eficiência

Geralmente, para transmitir as ondas eletromagnéticas é demandado um consumo relativamente alto de energia elétrica para resfriar os sistemas de transmissão. As ERBs (Estações de Rádio Base) por exemplo, usam somente 5% dessa energia para geração das ondas (HAAS et al.,2016). Grande parte da perda de eficiência provém dos guias de ondas, dos cabos de transmissão e dos geradores. Na comunicação VLC há uma melhora significativa na eficiência dos sistemas devido ao baixo consumo de energia elétrica dos LEDs.

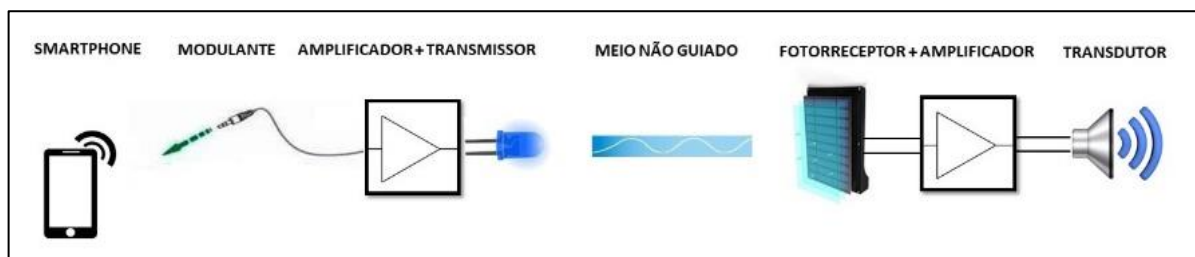
2.3 Segurança

O comprimento de onda da luz visível é aproximadamente 10.000 vezes menor do que das ondas de rádio. As ondas de radiofrequência não ficam confinadas em um ambiente, o sinal do roteador que utilizamos em nossas casas, por exemplo, propaga em todas as direções até que sua energia seja dissipada. Interceptar esses sinais não é uma tarefa complicada, facilitando o roubo de dados por usuários mal intencionados. Já a luz permanece confinada em um ambiente, não atravessando objetos opacos como as paredes por exemplo, permitindo o controle de sua propagação.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

A construção do protótipo proposto nesse artigo foi baseada na tecnologia VLC. Para sua implementação foram projetados um circuito transmissor e um receptor de áudio conforme a Figura 3. Os blocos foram divididos e cada etapa tem a sua função identificada.

Figura 3 – Blocos VLC



Fonte: Elaborado pelos Autores

Sinal Modulante

Sinal que se deseja transmitir. No projeto foi usada a saída de áudio (P2) de um smartphone.

Circuito Amplificador

Um circuito emissor comum responsável por amplificar o sinal de saída do celular.

Transdutor (Luz) + Transmissor

O sinal elétrico amplificado excita um LED cuja luz emitida varia sua intensidade de acordo com o sinal modulante.

Meio Não Guiado

Espaço físico não confinado que o sinal luminoso percorre.

Receptor + Transdutor (Fotorreceptor)

Responsável por captar as variações luminosas no ambiente convertendo-as novamente em sinais elétricos. Para essa conversão foi usado um mini painel solar.

Circuito Amplificador

Responsável por amplificar o sinal elétrico advindo do transdutor de recepção.

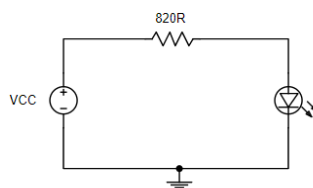
Transdutor Final (Alto-Falante)

Conversão do sinal elétrico amplificado em sinais sonoro.

3.1 Faixa de Linearidade do LED

Como informado anteriormente, a ideia central do projeto é a utilização de um sinal de áudio para modular a luminosidade de um LED. Para a construção do protótipo foi necessário verificar antes a faixa de operação linear desse dispositivo, com finalidade de verificar qual faixa de corrente ideal para ele operar. Caso essa faixa fosse ultrapassada, o sinal recebido pelo fotorreceptor seria distorcido. Para encontrar a região linear do LED, foi montado um circuito conforme a Figura 4 e variado a tensão da fonte de 0 a 15 volts.

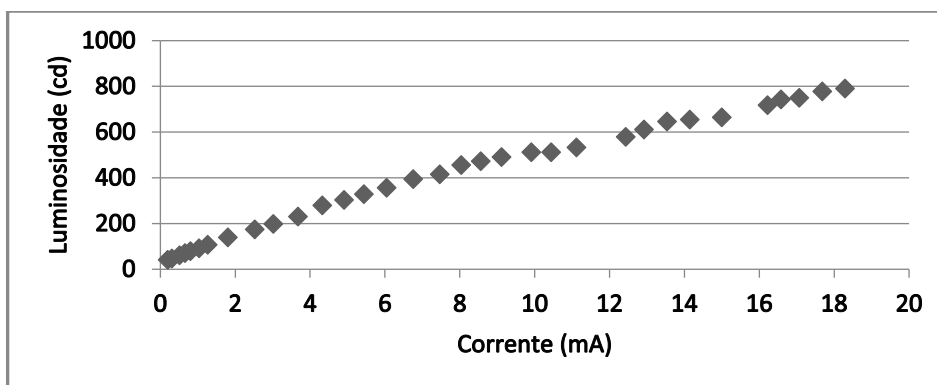
Figura 4 – Circuito Resistor e LED



Fonte: Elaborado pelos autores

Foram medidas as correntes com um amperímetro e a luminosidade emitida pelo LED através do app Light Meter para Android encontrado na plataforma Google Play. Os dados obtidos estão representados no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Corrente x Luminosidade



Fonte: Elaborado pelos Autores

Analisando o gráfico notamos que a luminosidade se comporta de forma linear em relação à variação da corrente. No entanto, na faixa de 3 a 9 mA a curva apresenta uma uniformidade maior. Foi decidido então usar essa faixa de corrente como referência para os cálculos que determinaram as escolhas dos componentes para construção do protótipo.

4. FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO

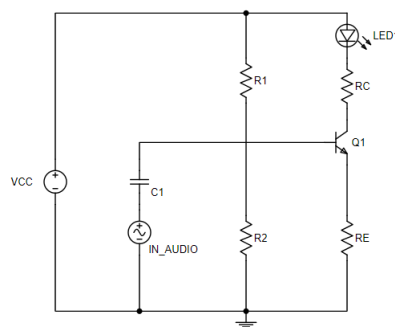
O protótipo é dividido em um módulo de transmissão e outro de recepção. Um sinal de áudio proveniente de um aparelho celular é conectado no transmissor através de um conector P2. O LED é excitado com esse sinal na mesma frequência, mas com sua amplitude amplificada. No lado de recepção, a variação de luminosidade do LED é incidida em um fotorreceptor usado para transformar a luz em corrente elétrica. O dispositivo usado para essa conversão é um mini

painel solar. O sinal elétrico é captado por um amplificador conectado na saída de uma caixa de som que emite o áudio transmitido.

4.1 Circuitos eletrônicos

A Figura 5 mostra o amplificador com transistor usado para variar a intensidade do brilho do LED conforme a variação do sinal de áudio. Esse circuito é usado tanto como transmissor quanto receptor dos sinais, com uma diferença que na recepção, no lugar de entrada de áudio temos o sinal do mini painel solar, e o LED mais o resistor R_c são substituídos pelo alto-falante (BOYLESTAD et. al, 2013).

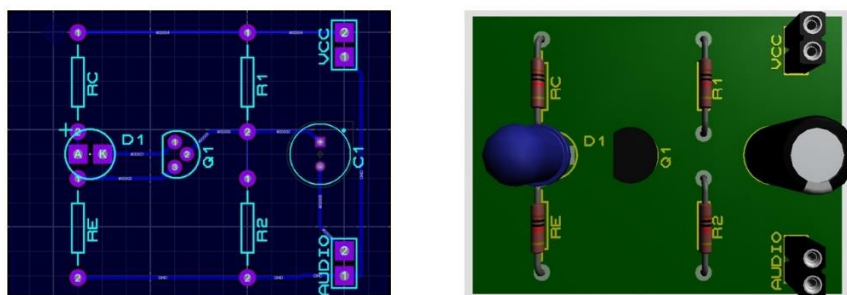
Figura 5 – Amplificador



Fonte: Elaborado pelos Autores

A figura 6 mostra o layout e a placa eletrônica em 3D.

Figura 6 – Layout e a placa em 3D



Fonte: Elaborado pelos Autores

Os componentes usados para construção do protótipo são detalhados e especificados a seguir.

LED

Como informado anteriormente, os LEDs são usados geralmente em sistemas de iluminação e sinalização. Esses dispositivos eletrônicos são semicondutores, o que permite uma modulação, em alta velocidade de comutação, da corrente que gera a sua luz (SEDRA et al., 2014). A tensão máxima do dispositivo é de 3,6 V, a corrente máxima é de 20 mA e sua luminosidade é de 8,2 candelas. Foi optado a escolha desses valores para construção do protótipo, lembrando que existem outros disponíveis no mercado.



Mini Painel Solar

Os painéis solares são feitos de material semicondutor, como o silício por exemplo. As células são separadas em um material tipo N (elétrons) e um tipo P (lacuna), logo há uma polarização entre a junção dos dois. Ao incidir uma luz, proveniente do sol ou de outra fonte luminosa, os fótons promovem um fluxo de elétrons entre as duas camadas do material e gera uma corrente elétrica (ZANI et al., 2016).

Para o receptor foi utilizado um mini painel solar emparelhado com o LED e a saída de som foi determinada por um alto-falante. A variação da intensidade luminosa incidida no painel gera uma corrente proporcional em seus terminais elétricos reproduzindo o sinal de áudio transmitido pelo circuito. A corrente e a tensão máxima desse dispositivo são respectivamente 6 V e 100 mA resultando uma potência máxima de saída de 600 mW.

Transistor

O transistor é um componente usado para chaveamento e amplificação de sinais elétricos. No projeto, o transmissor consiste em um transistor polarizado na região de operação ativa (SEDRA et al., 2014). Essa região permite que o dispositivo amplifique os sinais de áudio que ele recebe no pino 2 da base (entrada) e altere a luminosidade do LED conectado no pino 1 do coletor (Saída). O pino 3 do emissor recebe os sinais vindos da base e do coletor permitindo a circulação de corrente no dispositivo. No receptor, o sinal de corrente do mini painel solar é conectado na base e amplificado para alimentar o alto-falante conectado no coletor. O transistor comercial utilizado no protótipo é o modelo BC 547 NPN.

Capacitor

O capacitor (C1) de entrada no transmissor é usado para bloquear o sinal de corrente contínua da bateria usada para polarizar o transistor na região de amplificação. Isso acontece porque os capacitores neste circuito funcionam como um filtro passa alta, logo possuem resistência infinita para corrente contínua evitando que o transistor saia da região ativa e distorça sinais aplicados na base transistor (SEDRA et al., 2014).

Resistores

Os resistores são utilizados para configurar o transistor como um amplificador, de forma a obter um ganho de corrente.

4.2 Cálculos

Conforme determinado no teste de linearidade, a corrente no coletor do transistor foi limitada com variação entre 3 a 9 mA, ou seja, uma média de 6 mA. Foi considerada uma queda de tensão de 3,5 V no LED. Entre o coletor e emissor (V_{ce}) foi determinada uma queda de 4,5 V ($V_{cc}/2$), onde V_{cc} é a tensão de 9 V da bateria. A tensão no resistor R_e do emissor (V_e) foi de 0,9 V, restando 0,1 V para tensão no resistor R_c do coletor (V_c).

Para os cálculos das correntes do transistor temos que:

$$I_c = \beta I_b \quad (1)$$

$$I_e = I_c + I_b \quad (2)$$

Onde a corrente no coletor $I_c = 6$ mA, β é o ganho estático devido a corrente na base I_b , e I_e é o somatório das duas correntes. Pela Equação (1) $I_b = 30 \mu\text{A}$, considerando $\beta = 200$, e pela Equação (2) $I_e = 6,03$ mA.



Para cálculos das resistências dos resistores usados no circuito amplificador, foi usada a Lei de Ohm dada pela Equação (3). Onde R é a resistência, V é volts e I a corrente.

$$R = \frac{V}{I} \quad (3)$$

A partir da Equação (3) e dos valores das correntes foram encontradas as resistências do resistor do coletor e do emissor, respectivamente Rc e Re.

$$R_c = \frac{0,1 V}{6 mA} \therefore R_c \cong 17 \Omega$$

$$R_e = \frac{0,9 V}{6,03 mA} \therefore R_e \cong 149 \Omega$$

Analisando o nó ligado a base, podemos escrever a Equação nodal (4)

$$\frac{V_{cc} - (V_{be} + V_e)}{R_1} = \frac{V_{be} + V_e}{R_2} + I_b \quad (4)$$

$$\frac{9 - 1,6}{R_1} = \frac{1,6}{R_2} + 30 \times 10^{-6}$$

Substituindo os valores e determinando o valor de R2 = 3,3 kΩ, temos R1 ≅ 14 kΩ.

Os valores nominais para os resistores estão representados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores Nominais dos Resistores

| Resistores | Valor nominal |
|------------|---------------|
| R1 | 15 kΩ |
| R2 | 3,3 kΩ |
| Rc | 18 Ω |
| Re | 150 Ω |

Fonte: Elaborado pelos Autores

Para calcular o valor aproximado do capacitor C1, é usada a Equação (5).

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f R} \quad (5)$$

Onde f é a frequência de corte e R é a resistência total em paralelo de R1 e R2, vistos pela fonte Vcc.

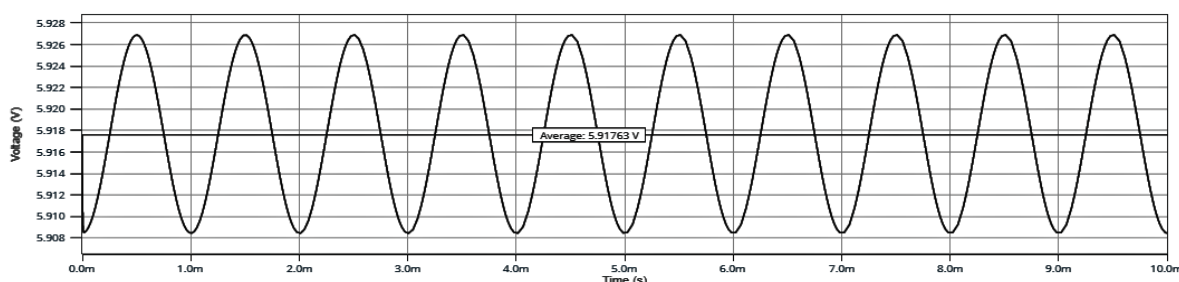
$$C_1 = \frac{1}{2\pi * 1k * 2,7k} \therefore C_1 \cong 0,059 \mu F$$

O valor nominal do capacitor eletrolítico usado no projeto foi de 1μF.

4.3 Simulação e Teste do protótipo

Ao simular o amplificador proposto, foi obtida a forma de onda da corrente no coletor mostrada na Figura 7. Nesta simulação foi utilizada uma tensão de entrada de 1 V com frequência de 1 kHz. Como pode ser observado, a corrente no coletor se comportou dentro do esperado, uma vez que a média de corrente é 6mA.

Figura 7 - Corrente de Coletor



Fonte: Elaborado pelos Autores

A figura 8 mostra a imagem do protótipo montado e em funcionamento. É possível visualizar o smartphone conectado através de um conector P2. Uma luz azul transmitida de um módulo preto é incidida em um módulo branco onde se encontra o mini painel solar. É possível visualizar também uma caixa de som usada para emitir o sinal de áudio recebido. Este sinal possui alta frequência, e devido essa característica a visão humana não tem a capacidade de perceber a variação de luminosidade no LED. Isso permite que os usuários tenham um conforto visual ao utilizar o sistema.

Figura 8 – Protótipo Montado e em Funcionamento



Fonte: Elaborado pelos Autores

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Efetuada as medições e análise visual do funcionamento do protótipo, foi constatado que o circuito se comporta como o esperado, com geração de uma corrente com a média de 6 mA no coletor e mantida a luminosidade do LED constante. A reprodução do áudio no receptor se comporta de forma fidedigna e sem distorções, comprovando a eficácia do sistema.

O papel das engenharias, principalmente da eletrônica e telecomunicações é atuar de forma que tecnologias como a apresentada nesse artigo possam em breve se tornar de fácil acesso a todos. O desenvolvimento e a construção do protótipo têm o intuito de despertar o interesse de estudantes para pesquisas que possam colaborar para o avanço da comunicação VLC e Li-Fi de forma possibilitar esse acesso.



REFERÊNCIAS

DE VRIES, J. P., SIMIC, L., ACHTZEHN, A., PETROVA, M., E MAHONEN, P. **The Wi-Fi Congestion Crisis: Regulatory criteria for assessing spectrum congestion claims.** Telecommunications Policy, 2014.

HAAS, H., YIN, L., WANG, Y., CHEN, C. **What is Li-Fi?** Journal of Lightwave Technology, 2016.

MURAWWAT, S., MEHROZE, R., MOEEN, A., SHEIKH T. **An Overview of Li-Fi: a 5G candidate Technology.** International Symposium on Recent Advances in Electrical Engineering (RAEE), Islamabad, Pakistan, 2018, pp. 1-6, 2018.

NDJIONGUE, A. R., FERREIRA, H. C., & NGATCHED, T. M. N. **VISIBLE Light Communications (VLC) Technology.** Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering, 2015.

N.H. ZAINI, M. Z. A. AB-KADIR, M. IZADI, N.I. AHMAD, M.A.M RADZI AND N. AZIS, W.Z. WAN HASAN. **On the Effect of Lightning on a Solar Photovoltaic System.** Centre for Electromagnetic and Lightning Protection Research (CELP), 2016.

ROBERT L. BOYLESTAD; NASHELSKY R.L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria dos Circuitos**, 11ed, Pearson Universidades.

SEDRA, A.S.; SMITH, K.C. **Microelectronic Circuits**, 7 th, Oxford, 2014.

Z. DING, B. P. LATHI. **Modern Digital and Analog Communication Systems**, 3 ed, LTC, RJ, 2014.

LI-FI TECHNOLOGY APPLICATION FOR AUDIO SIGNAL TRANSMISSION

***Abstract:** The expansion of telecommunications and Iot (Internet of Things) increasingly requires number of wireless connections between communication devices. This causes a frequency spectrum overload problem in the Wi-Fi range (Wireless Fidelity). One of the alternatives to solving this problem is the use of visible light communication, VLC (Visible Light Communication), related to Li-Fi (Light Fidelity) technology which employs the use of light emitting diodes, Leds (Light Emission Diodes), for transmitting information using visible light wave modulation. The main advantages of this communication is the safety of the information, since light does not cross solids as happens with Wi-Fi systems conventional and its high data transmission rate. This work presentes a Project of a VLC circuit for transmitting na audio signal in the FM radio frequency band.*

Keywords: Li-Fi, VLC, LED e Modulation.