



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA**

TIAGO BRASILEIRO SILVA

**COMUNICAÇÃO SEM FIO: USANDO A OPTOELETRÔNICA NA
PROPAGAÇÃO DE MENSAGENS**

CAMPINA GRANDE - PB

2021

TIAGO BRASILEIRO SILVA

**COMUNICAÇÃO SEM FIO: USANDO A OPTOELETRÔNICA NA
PROPAGAÇÃO DE MENSAGENS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de licenciado em Física.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Tâmara Pereira Ribeiro de Oliveira Lima e Silva

CAMPINA GRANDE - PB

2021

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586c Silva, Tiago Brasileiro.
Comunicação sem fio [manuscrito] : usando a optoeletrônica na propagação de mensagens / Tiago Brasileiro Silva. - 2021.
18 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2021.

"Orientação : Profa. Dra. Tâmara Pereira Ribeiro de Oliveira Lima e Silva, Departamento de Física - CCT."

1. Transmissão de dados sem fio. 2. Comunicação óptica.
3. Optoeletrônica. I. Título

21. ed. CDD 535

TIAGO BRASILEIRO SILVA

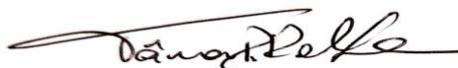
COMUNICAÇÃO SEM FIO: USANDO A OPTOELETRÔNICA NA
PROPAGAÇÃO DE MENSAGENS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada
ao Departamento de Física da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito parcial à
obtenção do título de Licenciatura plena em
Física.

Área de concentração: Física Geral.

Aprovada em: 26 / 05 / 2021.

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dr^a Tâmara Pereira Ribeiro de Oliveira Lima e Silva (Orientadora)

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr Alex da Silva

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Me Deusalete Câmara Vilar Neta

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

“Nossas virtudes e nossos sentimentos são inseparáveis, assim como a força e a matéria, quando se separam o homem deixa de existir”.
Nikola Tesla.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. A OPTOELETRÔNICA NA COMUNICAÇÃO SEM FIO	7
3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	11
3.1. DESCRIÇÃO DO DISPOSITIVO	11
3.2. RESULTADOS E DISCUSSÕES	12
4. CONCLUSÕES	15
REFERÊNCIAS	16

COMUNICAÇÃO SEM FIO: USANDO A OPTOELETRÔNICA NA PROPAGAÇÃO DE MENSAGENS

Tiago Brasileiro Silva¹

RESUMO

Este trabalho trata da construção de um aparato optoeletrônico a fim de ser utilizado como uma proposta didática experimental em Ensino de Física. Confeccionado com materiais acessíveis e de baixo custo, o dispositivo tem a função de transmitir mensagens através da reflexão da luz solar ou de um feixe laser, com o auxílio de uma montagem composta por um espelho preso em uma membrana flexível e um circuito receptor, com o objetivo de simular um comunicador. Em salas de aula de Ensino Médio e em cursos de Graduação universitária, poderá ser utilizado como ferramenta facilitadora da aprendizagem, possibilitando a abordagem de temas como comunicações ópticas e optoeletrônica, associando-os ao cotidiano de cada indivíduo.

Palavras-chave: Transmissão de dados sem fio. Comunicação Óptica. Optoeletrônica.

ABSTRACT

This work is about the construction of an optoelectronic apparatus in order to be part of an experimental proposal in Physics Teaching. Made with accessible and low-cost materials, the device has the function of transmitting messages through sunlight radiation or laser beam reflections, with the aid of an assembly formed by a mirror attached to a flexible membrane and a receiver circuit, with the goal of simulating a wireless communicator. It can be used in high school and undergraduate classrooms as a tool to facilitate learning, enabling the approach of topics such as optical communications and optoelectronics, associating them to daily life.

Keywords: Wireless data transmission. Optical Communication. Optoelectronic.

¹Aluno de graduação em licenciatura em Física na Universidade Estadual da Paraíba - Campus I
tiagobrasileirosilva@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Os primeiros registros da história das comunicações utilizando a luz datam de 35.000 anos antes de Cristo. Acreditava-se que os nossos ancestrais não se utilizavam de falas, mas sim de sons guturais, grunhidos e gritos para se comunicar. Com o desenvolvimento cerebral, apareceram os dialetos e a comunicação começou a se aperfeiçoar, fazendo uso, por exemplo, de sinais de fogo e fumaça, para se comunicar com povos mais distantes [1]. Muitas civilizações antigas utilizavam no período noturno, tochas de fogo para avisar o momento exato de começar um ataque ou um término de combates [2].

Já em 1835 o código Morse foi desenvolvido a partir do surgimento do telégrafo, que permitia a emissão e a recepção de sinais através de impulsos eletromagnéticos. Inventado por Samuel Morse, uma mensagem em código Morse podia ser enviada de várias maneiras, por meio de pulsos curtos e longos, como pulsos elétricos transmitidos através de cabos, ondas mecânicas (som), ondas eletromagnéticas (rádio), e por sinais visuais utilizando a luz (ligando e desligando uma fonte luminosa) [3].

No ano de 1906, partindo da ideia de Daniel Colloden, que utilizava sinos aquáticos para calcular a velocidade do som em baixo d'água, Lewis Nixon desenvolveu o primeiro dispositivo de escuta, baseado no modelo sonar, com o objetivo de detectar *icebergs*. Com o advento da Primeira Guerra Mundial houve a necessidade de identificar submarinos, e Paul Langévin desenvolveu o que seria o primeiro equipamento sonar capaz de identificá-los através da técnica de “eco localização”, utilizando propriedades piezoelétricas do quartzo [4].

A invenção que revolucionou o mundo no período da Guerra Fria, e que até os dias atuais tem se destacado em várias áreas da sociedade é o “*Laser*” (amplificação da luz por emissão estimulada da radiação) [5], que teve grande importância no desenvolvimento das comunicações, pois permitiu que se atingisse uma velocidade maior na transmissão de mensagens de longo alcance. Partindo do trabalho de Einstein intitulado “Teoria Quântica da Radiação” [6], essa tecnologia vem se destacando não só na área da comunicação, como também na medicina e na indústria [7]. Com o avanço tecnológico das comunicações, houve a necessidade de se desenvolver outras formas de transmissão de dados. A fibra óptica² veio

² Na fibra óptica, os feixes de luz são transmitidos por longas distâncias através do fenômeno da reflexão interna total. Elas são produzidas por materiais de baixo índice de refração (como sílica), podendo ser revestida por aço, acrilato e camadas externas de PVC [8].

como uma alternativa poderosa, aliando a alta taxa de emissão de dados em curto espaço de tempo com um menor consumo de energia, o que era ideal para transmissões a longas distâncias [9].

O objetivo desse artigo é apresentar um dispositivo artesanal, construído com materiais de baixo custo, que leva em conta a propriedade de reflexão da luz (como visto na Figura 1), através de um espelho acoplado em uma membrana, utilizando um circuito eletrônico capaz de converter o sinal sonoro em sinal luminoso e vice-versa, com a finalidade de transmitir mensagens a curtas distâncias sem interferência.

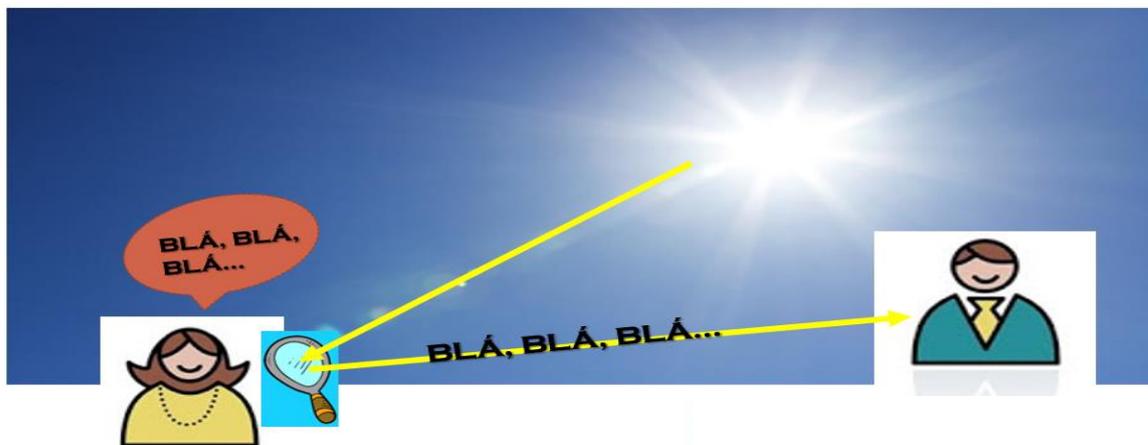


Figura 1: Esquema simplificado do dispositivo desenvolvido neste trabalho, que tem como finalidade propagar uma mensagem sem interferência usando feixes luminosos. Fonte: Original do autor.

O comportamento do transmissor de dados exposto neste trabalho tem a finalidade de apresentar e divulgar, em Ensino de Física, uma aplicação prática relacionando os conceitos de óptica geométrica, óptica física e eletrônica.

2. A OPTOELETRÔNICA NA COMUNICAÇÃO SEM FIO

O aparato desenvolvido neste trabalho leva em conta os conceitos da optoeletrônica, área de relevante interesse quando se trata de transmissão de mensagens, fazendo uso das tecnologias atuais associadas ao uso do *laser*, fibra óptica e LED (diodo emissor de luz) [10].

Basicamente, a optoeletrônica conecta conceitos da óptica em Física Moderna aplicados à fabricação de circuitos como chaves e limitadores ópticos [11] e transmissão de dados em redes de comunicações (*network communications*).

Para entendermos como funciona a transmissão de dados sem fio, é necessário saber que o comportamento das ondas eletromagnéticas depende da frequência (ν), de seu comprimento de onda (λ) e da velocidade da luz ($c = 3 \times 10^8$ m/s) [12], que se relacionam com a energia transportada pela equação:

$$E = h \nu = \frac{hc}{\lambda}, \quad (1)$$

onde h é a constante de Planck [13].

O espectro eletromagnético (visto na Figura 2) se divide em faixas ou bandas: a faixa do ultravioleta ou UV (com $\lambda < 400$ nm) corresponde a frequências mais elevadas e, portanto, à capacidade de transporte de maior energia; a faixa do visível (com $400 \text{ nm} < \lambda < 750$ nm); a faixa do infravermelho ou IR ($750 \text{ nm} < \lambda < 1600$ nm) [12].

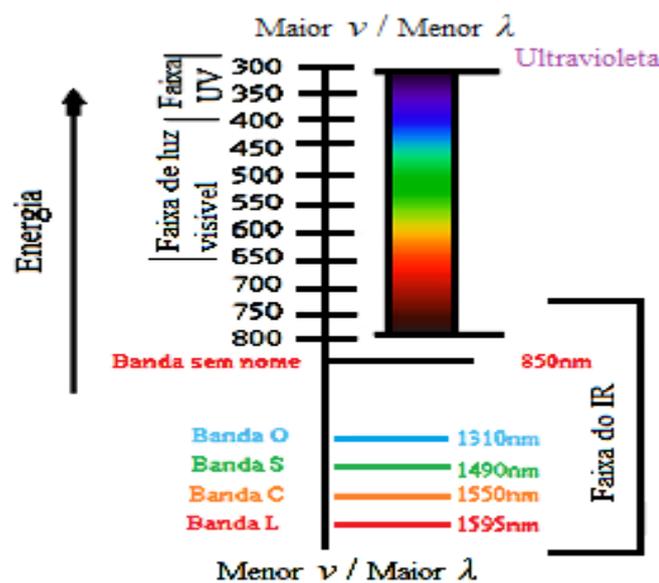


Figura 2: Espectro eletromagnético dividido em faixas de frequência (ν) ou comprimento de onda (λ). A faixa UV representa frequências mais elevadas, associadas a valores maiores de energia, enquanto $\lambda > 750$ nm já está associado à região do IR, subdividida em bandas de comunicação óptica (Banda *Original* – O; banda *Short* – S; banda *Conventional* – C; banda *Large* – L). Fonte: Original do autor.

A região do IR se destaca pelo amplo uso em redes de comunicação, sendo subdivididas em bandas de acordo com o comprimento de onda da fonte luminosa (geralmente um *laser*), a qual é acoplada a um sistema de fibras ópticas para transporte de dados de longa distância [10]. Na Figura 2, por exemplo, as bandas L (*Large*) e C (*conventional*), centradas em $\lambda = 1.595$ nm e $\lambda = 1.550$ nm (respectivamente), correspondem à região do espectro que utiliza a tecnologia DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing* ou Multiplexação Densa por Divisão de Comprimento de Onda) [14], onde é possível uma combinação de uma dezena de canais numa única fibra óptica (chamada multimodo). Dessa forma, pode-se aumentar a capacidade de transmissão de dados vinculada à economia de energia. É dessa maneira que os dados são transportados na *internet* (banda larga).

Com o avanço da tecnologia nos aparelhos eletrônicos usados nas redes de comunicações, foi necessário um grande investimento para que o tráfego de dados também acompanhasse esse desenvolvimento [15].

Como os circuitos eletrônicos utilizam sinais elétricos e não luz, é necessário um transmissor óptico que converta estes em luminosos, utilizando um meio material para transporta-los até um receptor óptico, que os converte em elétricos novamente, isto é, faz o processo inverso [9][8]. No caso dos sinais da *internet* e de TV a cabo, a fibra óptica é o meio material que conduz esse sinal (de banda L e banda C) até o seu destino.

A intensidade do sinal transmitido num sistema de comunicação óptico é dada conforme a equação abaixo [09]:

$$I(z) = I(0)e^{-(\alpha z)}, \quad (2)$$

onde α é o coeficiente de atenuação, z é dado em quilômetros, sendo medido em decibéis por quilômetros (dB/km).

Quanto maiores a distância percorrida pelo sinal e a presença de ruído na transmissão de dados, mais esta fica comprometida. Assim, é necessária a implantação de repetidores de sinal (ou postes) para impulsionar e reduzir a atenuação ao longo da trajetória, como visto na Figura 3.

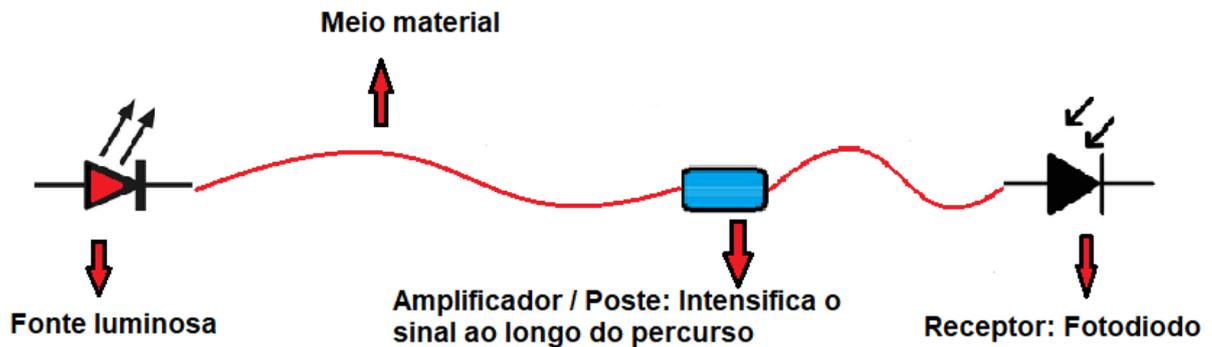


Figura 3: Esquema geral de um sistema de transmissão de dados. O sinal luminoso é emitido pelo transmissor e, durante sua trajetória, sofre atenuação; por isso é necessário o uso dos postes para amplificar e impulsionar o sinal ao longo do percurso. Aqui a fonte luminosa está representada por um LED e o receptor por um fotodiodo. Fonte: Original do autor.

Já nos sistemas de comunicação via satélite [16], o envio de ondas eletromagnéticas ocorre na faixa de micro-ondas, e a distribuição também acontece por meio de um emissor (um canal por onde a mensagem é enviada) e um receptor; nesse caso o sinal viaja pelo vácuo. A comunicação por meio de satélites se destaca positivamente quando estes são utilizados para envio de sinais a locais remotos (com superação de obstáculos naturais); em contrapartida suas desvantagens estão relacionadas a problemas como o atraso de sinal devido a condições climáticas, interferências e grandes atenuações do espaço livre [17].

Este artigo aborda a transmissão de dados através de ondas eletromagnéticas por meio de um dispositivo que utiliza como meio de propagação o ar, coletando a luz através de um espelho acoplado a uma membrana, a qual a reflete até um receptor.

Diferente da fibra óptica que utiliza a luz na forma guiada, sendo acoplada a uma fonte de luz coerente³, monocromática e de baixa dispersão [15], o aparato deste trabalho usa a luz natural (radiação solar que é policromática, incoerente e de alta dispersão). Além disso o dispositivo optoeletrônico construído é de baixo custo e de fácil montagem, podendo ser usados para fins didáticos em Ensino de Física.

³ Luz coerente é a radiação formada por ondas eletromagnéticas de mesma frequência e direção que mantêm uma relação de fase constante entre si [13].

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1. DESCRIÇÃO DO DISPOSITIVO

O comunicador sem fio deste trabalho é capaz de transmitir uma mensagem de voz utilizando o ar como meio de propagação, enviando-a até o receptor óptico por meio da reflexão em um espelho. O experimento foi realizado de duas formas: usando a luz natural (radiação solar) e um apontador *laser*.

O aparato foi desenvolvido a partir de materiais de fácil acesso e baixo custo, como visto na Figura 4.

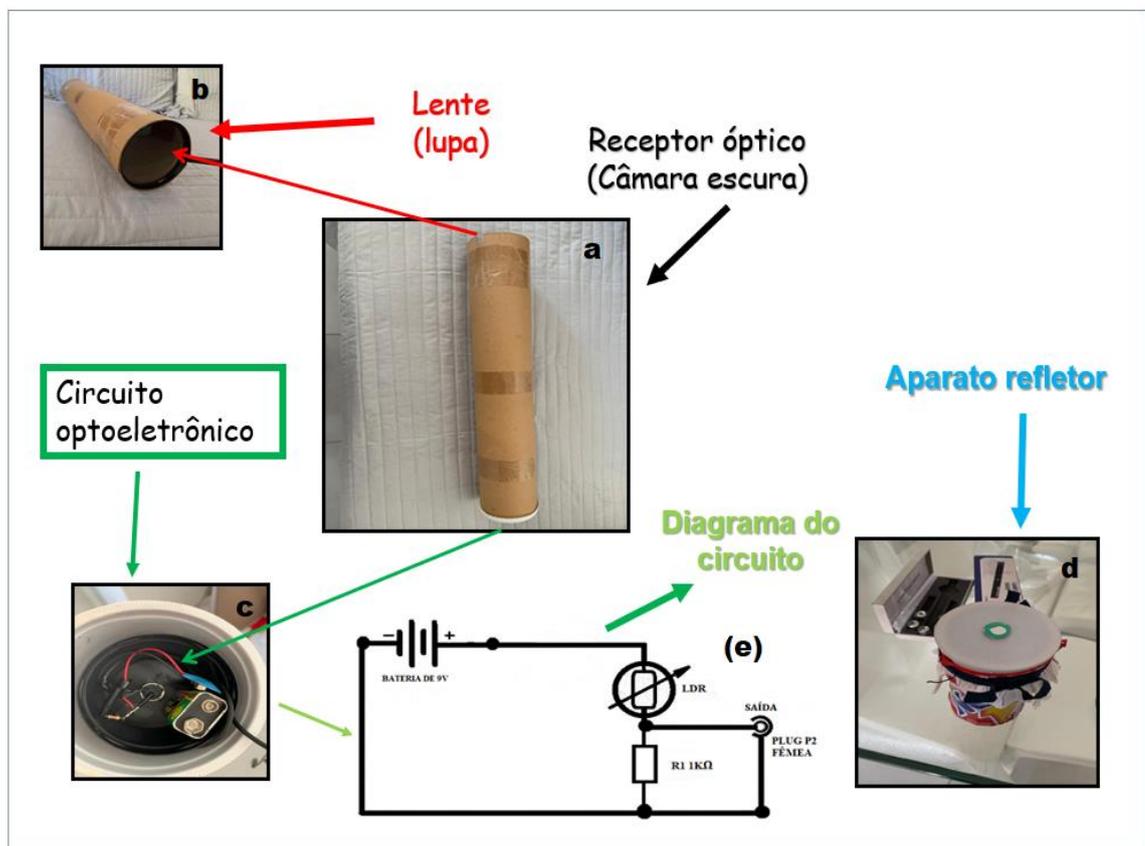


Figura 4: Detalhes da montagem experimental. Para a confecção do receptor óptico (a) foram utilizadas uma lupa acoplada a um cilindro de papel cartão e fita adesiva (amarração da estrutura) (b); um pote plástico (pote de manteiga), ao qual foi acoplado o circuito optoeletrônico (c). O refletor óptico (d) foi confeccionado usando-se uma lata de metal, uma membrana (pedaço de sacola plástica) presa à lata por meio de um elástico, um espelho de 10 mm de diâmetro e fita dupla face. O circuito do receptor óptico [18] foi acoplado a uma das extremidades da câmara escura, a 50 cm de distanciada da lente (na outra extremidade) (e). Fonte: O autor.

Sua estrutura geral (câmara escura) foi produzida com papel cartão em forma de cilindro e, em uma de suas extremidades, foi colocada uma lupa⁴ (com foco de 50 cm), na outra, acoplamos um circuito optoeletrônico (visto na Figura 4) que capta da luz, convertendo-a em sinal elétrico, e uma caixa de som foi utilizada para reproduzir o som emitido. A distância entre a lupa e o circuito optoeletrônico foi de cinquenta centímetros.

Para obter a captação da luz pelo receptor óptico, foi necessário um refletor óptico que tem a função de refletir a luz emitida pela fonte (radiação solar ou *laser*), direcionando-a para o fundo da câmara escura, onde está posicionado o circuito. O refletor foi confeccionado com o auxílio de uma lata de metal, uma membrana presa em uma de suas bordas e um pequeno espelho preso no centro dessa membrana.

O comunicador óptico desenvolvido aqui aborda estrutura semelhante ao sistema de transmissão de dados da Figura 3. O conjunto formado pela fonte luminosa e o refletor óptico constituem o emissor óptico. Já a câmara escura, que é formado pela lupa e o circuito optoeletrônico em extremidades opostas, representa um receptor óptico.

3.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Quando falamos emitimos sons, ondas mecânicas que vibram em determinadas frequências. Essas vibrações podem ser visualizadas como imagens em um anteparo fazendo uso de um apontador a *laser* [19], o feixe *laser* transporta a mensagem original percorrendo uma trajetória até chegar a um anteparo, onde literalmente podemos “ver” o sinal sonoro, agora convertido em sinal luminoso. No experimento deste trabalho podemos observar esse fenômeno quando o sinal sonoro associado à nossa fala atinge o refletor óptico. Nesse momento a onda sonora atinge a membrana que vibra no comprimento de onda do som de nossa fala, e é essa vibração que carrega a informação do que foi falado. Quando incidimos a luz (apontador a *laser*) no espelho preso a essa membrana este necessariamente vibra junto (com a mesma frequência da voz) e propaga a mensagem recebida através da luz, a qual é refletida carregando a informação, que é direcionada a um anteparo onde é possível observar o desenho associado à sua frequência específica, conforme visto na Figura 5.

⁴ A função da lupa é convergir o feixe luminoso para um ponto, facilitando a coleta da luz por parte do circuito do receptor óptico [12].

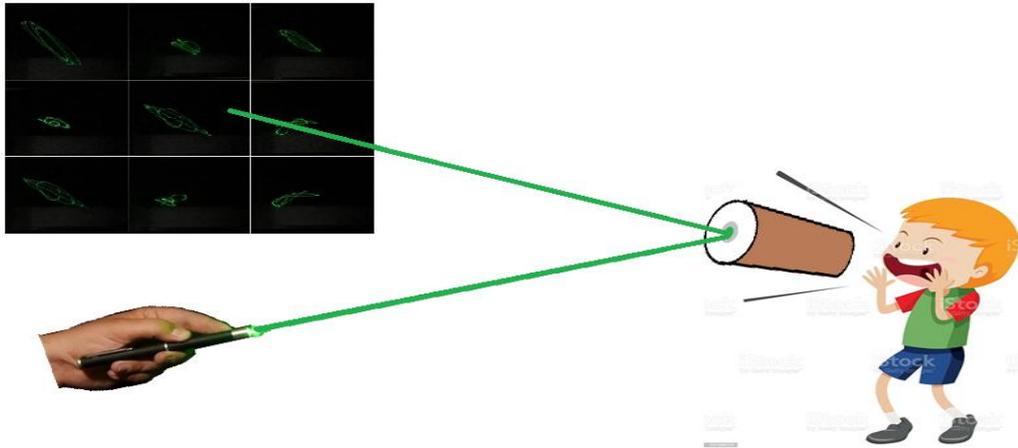


Figura 5: Imagens formadas a partir da vibração de ondas sonoras em determinadas frequências, observadas em um anteparo emissor por reflexão de um feixe *laser*, que transporta a mensagem original em forma de sinal luminoso. Fonte: Original do autor.

Posteriormente, o anteparo foi substituído, pois somente assim a informação transportada pela luz poderia ser convertida em som novamente. Para isso é necessário que a luz refletida tenha como destino um receptor óptico, que nesse caso é o cilindro (câmara escura), com uma das extremidades contendo uma lente e outra um circuito optoeletrônico que coleta a luz, ao qual chega ao receptor óptico com a mensagem propagada (o sinal sonoro original).

O circuito optoeletrônico visto na Figura 4 é formado por um LDR⁵ ou (fotoreistor) [20] esse componente é responsável por coletar a luz que chega convergido da lente na câmara escura e, juntamente com o circuito optoeletrônico, converte-la em sinal elétrico.

Tudo o que foi feito pode ser representado pela Figura 6 e resumido da seguinte forma: quando falamos no aparato refletor, o som se propaga até a membrana e a luz, ao incidir no espelho, reflete a informação como onda luminosa até a lente do receptor óptico; essa lente converge o sinal luminoso para o circuito optoeletrônico que está no fundo do receptor e este converte o sinal luminoso em sonoro novamente, fazendo o caminho inverso do processo. Dessa forma quando plugamos o receptor óptico em uma caixa de som amplificadora pode-se ouvir a mensagem enviada originalmente.

⁵ O LDR (*Light Dependent Resistor*), conhecido como fotoreistor, é um tipo de resistor que tem a capacidade de variar a sua resistência em função da intensidade de luz que incide sobre ele.

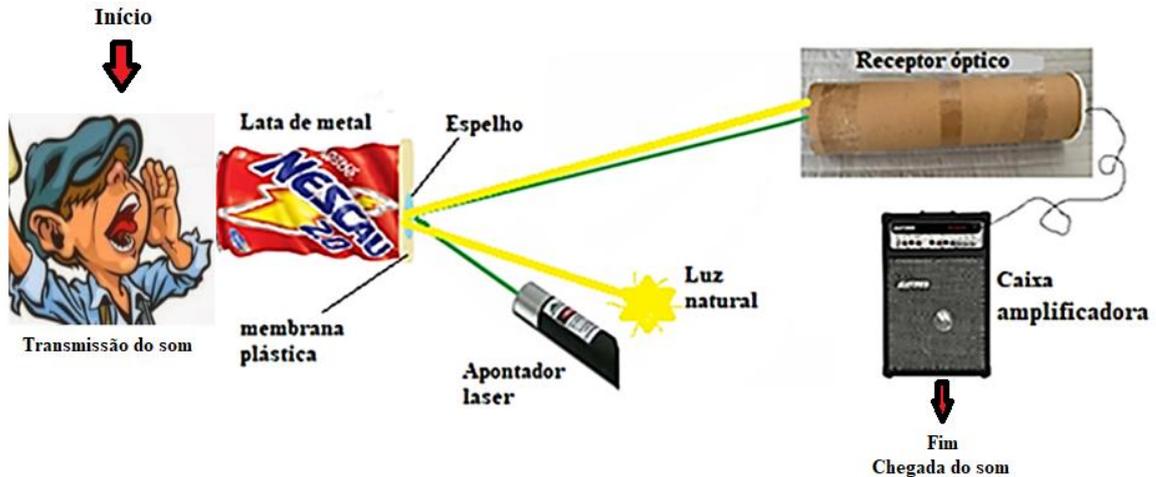


Figura 6: Funcionamento do sistema de transmissão de mensagem sem fio.

O processo foi feito, num primeiro momento, com o auxílio de um apontador *laser* ($\lambda=532\text{ nm}$), incidindo a luz no espelho preso à membrana da lata de metal. O alcance da transmissão foi de aproximadamente seis metros, que está associado à distância que a luz percorre transportando a mensagem, entre o refletor óptico e o receptor óptico sem sofrer interferência.

No segundo momento foi realizado o experimento utilizando como fonte luminosa a radiação solar com a qual, por sua vez, foi obtido um alcance de transmissão menor, em torno de três metros.

A diferença de alcance da transmissão está relacionada ao comportamento das fontes luminosas e suas propriedades, como visto na Figura 7.



Aproximadamente 6 metros



Aproximadamente 3 metros

Figura 7: Trajetória do feixe *laser* (532 nm) e do feixe de radiação solar do refletor óptico até o receptor óptico. As setas coloridas indicam o alcance de cada trajetória, sendo seis metros para o *laser* e três metros para a radiação solar. Fonte: O autor.

O *laser* emite luz monocromática e coerente (não sofre dispersão a longas distâncias); por outro lado, a radiação solar é incoerente e sofre bastante dispersão (espalhamento) ao longo da trajetória percorrida pelo sinal antes de chegar ao receptor óptico, demandando mais tempo de alinhamento durante a realização do experimento para transportar o sinal sem interferência ao longo da trajetória.

É possível aumentar a distância de transmissão sem fio para os dois casos, porém, para que isso ocorra, se faz necessário a utilização dos repetidores de sinal (postes) anteriormente citados. Nesse caso, seriam necessários outros dispositivos optoeletrônicos, separados entre si ao longo da trajetória, com o objetivo de impulsionar e amplificar o sinal, aumentando sua intensidade e, conseqüentemente, o alcance, e diminuindo a atenuação do sinal transmitido (como visto na Figura 3). Tais modificações no aparato são as perspectivas para o que foi desenvolvido neste Trabalho de Conclusão de Curso.

4. CONCLUSÕES

Neste Trabalho de Conclusão de Curso, a transmissão de dados através da comunicação sem fio foi abordada, levando em conta a utilização de ferramentas associadas à Optoeletrônica. O experimento desenvolvido para este fim enfatiza um dispositivo artesanal (construído com materiais de fácil acesso) que utiliza o ar como meio de transporte de uma mensagem através de um feixe luminoso.

Os resultados foram positivos, tanto usando-se como fonte a radiação solar como um apontador *laser* (operando em 532 nm), sendo possível entender o sinal transmitido de forma clara e sem interferência no ponto de chegada, isto é, ao final da trajetória percorrida pela informação. Mostramos que é possível construir um dispositivo simples, com tecnologia de baixo custo, que pode ser aplicado no Ensino de Física, sendo uma importante ferramenta didática para discutir conceitos de Óptica Física e Física Moderna em sala de aula.

REFERÊNCIAS

- [1] BOUISSAC, P. Disponível em: [http:// Maestrovirtuale.com/Como nossos ancestrais se comunicaram?](http://Maestrovirtuale.com/Como_nossos_ancestrais_se_comunicaram?). (2013). Acesso em: 15 fevereiro 2021.
- [2] LACY, E.A. **Fiber optics**. Prentice-Hall (1982).
- [3] CERQUEIRA, F.; CERQUEIRA, W. **Código Morse**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilestola.uol.com.br/geografia/codigo-Morse.htm>. (2021). Acesso em: 15 fevereiro 2021
- [4] LESKANARIS. Disponível em: <http://br.leskanaris/7627-the-history-of-sonar.html>. **Quem inventou o sonar?**. Novo - 2021 (leskanaris.com) (2021). Acesso em: 17 fevereiro 2021
- [5] SCHAWLOW, A. L. **Infrared and Optical Masers**. Phys. Rev. 12, 1940-1948 (1958).
- [6] BBC (British Broadcasting Corporation). **Como a invenção do laser gerou um conflito que durou 30 anos**. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-49943082>. (2019). Acesso em: 20 fevereiro 2021
- [7] OLIVEIRA, H. S. **O laser e suas aplicações** UFU (2008).
- [8] AINSLIE, B. J. et al. **The Desing and Fabrication of Monomode Optical Fiber**. IEEE J. Quantum Electron., 18 (1982).
- [9] SOUSA, L. A. H. **Uma análise da Física Óptica nas redes de comunicações**. Trabalho de Conclusão de Curso, UEPB (2017).
- [10] REZENDE, S. M. **A Física de Materiais e Dispositivos Eletrônicos**. LTC (1996)
- [11] TUTT, L. W.; BORGESS, T. F. **Program Quantum Electronics**. 17, 299 (1993)

- [12] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física 4. Óptica e Física Moderna**, LTC (1991).
- [13] EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica**. 8a Edição. Campus (1994).
- [14] JENSEN, T. et al. **Testing DWDM Components for Loss and Dispersion**. Opt. Photon. News 14 (7), 36 (2003).
- [15] VIEIRA, E. M.; BONINI, L. A.; SEIDEL, A. R. **Desenvolvimento de um sistema de comunicação via luz visível utilizando modulação vppm**. Rev. Bras. de Iniciação Científica RBIC- UFSM (2019).
- [16] GENNARO, S. A.; DURAND, F. R. **Estudo de comunicação via satélite**. 2º Congresso Nacional de Extensão Universitária. UNOPAR (2008)
- [17] SBIZERA, D. O. **Um sistema de comunicações para transmissão de dados a longa distância em aeronaves do projeto ARARA**. USP – São Carlos (2003).
- [18] OLIVEIRA, T. R. **Comunicação à Velocidade da Luz**. II ENECT-UEPB (2015).
- [19] MANUAL DO MUNDO. **Como enxergar a própria voz**. Disponível em:
<https://manualdomundo.uol.com.br/experiencias-e-experimentos/como-enxergar-a-voz/>
- [20] SEABRA, A. C.; ALBUQUERQUE, R. O. **Utilizando a Eletrônica com AO, ACR, TRIAC, UJT, PUT, CI 555, LDR, LED, FET, IGBT**. 2ª Edição, Ed Érica (2012).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, por todos os momentos que estive comigo nessa caminhada, pela saúde, discernimento, sabedoria, e por nunca ter soltado minhas mãos, mesmo nos momentos mais difíceis, tanto na universidade, como fora dela.

À minha mãe que sempre foi minha inspiração, que sempre teve paciência e esperança que um dia chegaria minha vez; à minha querida esposa, que com muita paciência me apoiou e incentivou para que enfim este dia chegasse; e ao meu pai (*in memoriam*) que não está aqui fisicamente, mas que foi fundamental na formação do meu caráter.

A todos que fazem a Universidade Estadual da Paraíba uma grande instituição, em particular todo o Departamento de Física, dos professores que contribuíram diretamente com a minha formação até os funcionários dos serviços gerais, que possibilitam o bem estar de todos.

Destaco os professores Elialdo (*in memoriam*) e Mará (*in memoriam*), Deusalete, Alex e o técnico de laboratório Thiago por sempre acreditarem em mim, e por seus conselhos e experiências não só profissionais, mas de vida.

Em especial à professora Tâmara, que me deu a oportunidade de ser membro do OSA Campina Student Chapter, de ser seu orientando e seu amigo. Excelente profissional, ética, zelosa, que nunca obstaculou em nada para ajudar quem dela precisava.