



**COORDENADORIA DE ENGENHARIA DA  
COMPUTAÇÃO**

**ALAN CRUZ ROZA  
ANA JULIA DA SILVA MORAES  
MATHEUS HENRIQUE SANTOS ZACARIAS  
VINICIUS FERREIRA GOMES  
YURI CARLOS A. B. BELINSKI**

**COMUNICAÇÃO LI-FI -  
TRANSFERÊNCIA DE DADOS ENTRE DOIS LEDS**

**SOROCABA - SP**

**2023**



**ALAN CRUZ ROZA**  
**ANA JULIA DA SILVA MORAES**  
**MATHEUS HENRIQUE SANTOS ZACARIAS**  
**VINICIUS FERREIRA GOMES**  
**YURI CARLOS A. B. BELINSKI**

**COMUNICAÇÃO LI-FI -**  
**TRANSFERÊNCIA DE DADOS ENTRE DOIS LEDS**

Relatório de entrega pra disciplina de Usina de Projetos Experimentais apresentado ao Centro Universitário Facens como parte da avaliação continuada na disciplina UP015TIN1.

Orientadores:

Prof. Dr. Gabriel Lobão Vasconcelos Fré

Prof. Dr. Rodrigo Henrique Geraldo

**SOROCABA - SP**

**2023**

Dedicamos este trabalho à todos os professores da universidade Facens que nos auxiliaram durante o desenvolvimento deste projeto. Um agradecimento especial ao professor orientador que nos inspirou a ir além de nossa zona de conforto.

# Agradecimentos

Gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão aos nossos orientadores Prof. Dr. Gabriel Lobão Vasconcelos Fré e Prof. Dr. Rodrigo Henrique Geraldo, cuja orientação e conhecimento foram inestimáveis para o desenvolvimento deste trabalho. Ademais, agradecemos ao Prof. M.Sc. Rafael Rodrigues da Paz por todo auxílio ao desenvolvimento deste projeto, a dedicação e feedback valioso desses profissionais nos guiaram ao longo de todo o processo de pesquisa e desenvolvimento.

Expressamos nossa gratidão a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho, e que de alguma forma fizeram parte desta jornada acadêmica.

Por fim, agradecemos a todas as fontes de referência utilizadas neste trabalho, bem como às instituições e organizações que disponibilizaram recursos, dados e informações relevantes para a realização desta pesquisa. Em especial à Facens, pelos equipamentos disponibilizados.

# Resumo

Este trabalho apresenta uma pesquisa sobre a viabilidade da transmissão de dados por luz entre dois LEDs comuns.

O objetivo principal é validar a utilização de LEDs comuns como uma solução acessível para a tecnologia Li-Fi (Light Fidelity). A metodologia utilizada consiste em experimentos para validar se é possível a transmissão de dados por luz utilizando dois LEDs, avaliando quesitos como a qualidade do sinal, taxa de transferência de dados por meio dos LEDs comuns e comportamento no ambiente.

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b> . . . . .	<b>iii</b>
<b>Lista de Termos e Abreviaturas</b> . . . . .	<b>i</b>
<b>Lista de Siglas</b> . . . . .	<b>i</b>
<b>1 Introdução</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1 Trabalhos Correlatos . . . . .	3
1.2 Diagrama de Blocos . . . . .	4
<b>2 Sistema construído</b> . . . . .	<b>6</b>
2.1 Transmissor . . . . .	6
2.2 Receptor . . . . .	6
2.3 Algoritmos criados . . . . .	6
2.3.1 Comunicação binária . . . . .	6
2.3.2 Código morse . . . . .	7
<b>3 Métricas de avaliação</b> . . . . .	<b>7</b>
<b>4 Resultados</b> . . . . .	<b>7</b>
4.1 Resultados do Receptor . . . . .	8
4.2 Resultados do Transmissor . . . . .	11
4.3 Resultados da Transmissão . . . . .	14
4.4 Finalização do protótipo . . . . .	15
<b>5 Conclusão</b> . . . . .	<b>17</b>
5.1 Sugestões para trabalhos Futuros . . . . .	18
<b>Referências Bibliográficas</b> . . . . .	<b>19</b>

## Lista de Figuras

1	Diagrama de blocos. . . . .	5
2	Teste de comportamento do LED. . . . .	8
3	Resultados obtidos no teste de comportamento do LED. . . . .	8
4	Primeiro circuito desenvolvido para o receptor. . . . .	9
5	Circuito final do Receptor. . . . .	10
6	Validação do circuito Receptor utilizando o flash do celular. . . . .	11
7	Validação do circuito Receptor - Resultado obtido. . . . .	11
8	Laser utilizado no experimento. . . . .	12
9	Representação circuito Emissor. . . . .	13
10	Teste circuito Emissor. . . . .	13
11	Teste do sistema. . . . .	14
12	Placa do circuito emissor. . . . .	15
13	Placa do circuito receptor. . . . .	15
14	Placa do circuito receptor impressa. . . . .	16

## **Lista de Termos e Abreviaturas**

**LED comum** LED vermelho difuso de junção PN 5mm. 2

## **Lista de Siglas**

**IoT** Internet of Things. 1

**LED** Light-Emitting Diode. 2, 3

**Li-Fi** Light Fidelity. i, 1, 2

**M2M** Machine to Machine. 1

**RF** Rádio Frequência. 1



# 1 Introdução

O número de dispositivos sem fio continua a crescer rapidamente, o relatório anual da internet [Cisco 2020] afirma que no ano de 2023 mais de 70% da população terá conectividade móvel, e 48% das aplicações M2M (Machine to Machine) será representada por dispositivos IoT (Internet of Things). Como resultado, os sistemas de comunicação baseados em radiofrequência podem enfrentar problemas com interferência de sinal e congestionamento de rede [Tamburini et al. 2011], tornando o estabelecimento de comunicação confiável um desafio a longo prazo.

Além do mencionado acima, existem outros dispositivos que podem causar interferência de RF. Por exemplo, fornos de micro-ondas, dispositivos Bluetooth, telefones sem fio e monitores de bebê usam as mesmas faixas de frequência que as redes Wi-Fi, o que pode resultar em interferência e degradação do sinal. Da mesma forma, certos tipos de iluminação, como lâmpadas fluorescentes, podem emitir interferência de RF que pode afetar negativamente os sinais sem fio. Em ambientes industriais, máquinas pesadas e motores também podem causar interferência de RF, levando a problemas de comunicação.

Uma alternativa é o Li-Fi, essa tecnologia de comunicação sem fio utiliza luz visível em vez de ondas de rádio para transmitir dados por meio da modulação da intensidade da luz em velocidades muito altas [Rabia et al. 2020]. Essa modulação é feita usando uma técnica chamada Multiplexação por Divisão de Frequência Ortogonal (OFDM), que divide os dados em vários subportadores que podem ser transmitidos simultaneamente. O receptor, então, usa um fotodetector para capturar a luz e decodificar os dados.

Uma das vantagens da tecnologia Li-Fi é a imunidade a interferências de outros sinais sem fio, incluindo sinais de rádio frequência (RF). Como as ondas de luz não penetram em materiais opacos, como paredes, o Li-Fi também oferece um nível mais alto de segurança do que a comunicação sem fio baseada em RF, tendo em vista o maior controle da propagação do sinal emitido. Além disso, o Li-Fi tem o potencial de fornecer taxas de transferência de dados mais rápidas do que o Wi-Fi tradicional, já que a luz visível tem uma frequência mais alta e, portanto, pode transportar com mais eficiência quando comparado ao Wi-Fi.

Contudo, o Li-Fi, como outras tecnologias, possui pontos de desvantagem, sendo os principais: limitação de cobertura, sensibilidade à luz ambiente. A limitação de cobertura acontece quando a luz encontra barreiras físicas o que impede a comunicação. A luz ambiente pode causar interferência na comunicação, uma vez que o Li-Fi utiliza dessa faixa de frequência para a transmissão dos dados.

Para que os dados sejam efetivamente transmitidos, a visibilidade direta entre o receptor e o emissor é necessária. Por exemplo, um local com forte névoa ou fumaça, que aumente a opacidade entre o emissor e receptor, dificultando a visibilidade direta entre eles, o que pode gerar interferência na comunicação. Contudo, se aplicado em situações apropriadas, essa tecnologia abre uma grande gama de oportunidades na área da comunicação.

Esta tecnologia relativamente ainda pouco estudada e comercializada, deve se tornar comum nas próximas décadas [Chaudhuri, Dutta e Saha 2015]. Para isso é necessário estudos que comprovem sua eficácia e eficiência para que haja preços competitivos comercialmente com as tecnologias já existentes, se tornando uma alternativa realista para as tecnologias já comercializadas no mercado atual.

O tema central deste trabalho é trazer uma pesquisa da viabilidade do uso de LED comum (LED difuso de junção PN 5mm) para a recepção de dados, deste modo diminuindo o custo para a produção de sistemas com utilização do Li-Fi, uma vez que o LED comum é mais barato que os fotodiodos convencionais, contribuindo para o avanço dessa tecnologia e popularização.

Busca-se avaliar e comprovar a eficiência da utilização do LED como fotodetector, característica que recebe por ser um dispositivo semicondutor, quando exposto a incidência de luz visível e ainda infravermelho, pode gerar corrente elétrica. Esse fenômeno é conhecido como fotodiodo reverso ou mais popular fotovoltaico [Suzuki, Asahi e Watanabe 2015].

O LED possui essa característica porque em sua estrutura interna existe uma camada chamada "junção PN", onde elétrons e lacunas são separados quando a luz incide sobre ela, gerando diferença de potencial na junção. Quando essa diferença de potencial é maior do que a tensão de ruptura do LED, a corrente elétrica flui pelo dispositivo, o que pode ser detectado por um circuito eletrônico.

Se uma tensão externa é aplicada à camada de junção, esses elétrons e lacunas são separados e geram uma corrente elétrica proporcional à intensidade da luz que atinge o LED. Embora não sejam tão sensíveis quanto os fotodiodos convencionais, que são projetados especificamente para serem usados como detectores de luz [Suzuki, Asahi e Watanabe 2015; Li, Huang e Xu 2017], podem ser uma alternativa de baixo custo e de fácil acessibilidade.

Visando o objetivo da pesquisa, foi adotado o modo de comunicação ponto a ponto pela simplificação e facilitação da validação conceitual do trabalho. Dado que, a comunicação ponto a ponto acontece quando a transmissão é direta entre dois dispositivos [Bustos-Jiménez et al. 2005], como por exemplo uma conversa privada em um chat de mensagens. Em contraponto, a comunicação ponto-multiponto acontece quando um dispositivo (ou ponto) envia informações para vários outros dispositivos (múltiplos pontos) ao mesmo tempo, como por exemplo uma conversa em grupo de um chat de mensagens. A internet utiliza desse último modo de comunicação [Heng, Zhong e Cheng 2010].

A prova de validação acontece uma vez que os dados são enviados por meio de luz através de um emissor são recebidos e interpretados corretamente no LED receptor, comprovando a possibilidade da utilização desse componente como fotodetector.

Por conseguinte, para recepção dos pulsos de luz gerados pelo emissor foi utilizado o LED como peça chave, para eliminação de ruídos e aprimoramento do sinal gerado pelo LED foi utilizado um circuito amplificador operacional e também um microcontrolador. Caso o emissor não consiga emitir o suficiente, podem ser utilizadas lentes colimadoras entre o emissor e o receptor, afim de potencializar

o sinal recebido no LED.

## 1.1 Trabalhos Correlatos

Em 2011 um grupo de pesquisadores sérvios (Dusan Jokanovic e Milos Josipovic) publicaram um artigo intitulado “RF spectrum congestion: Resolving an interference case” [Jokanovic e Josipovic 2011] onde debatem um ocorrido com uma estação de rádio FM em Belgrado que havia relatado dificuldades de transmissão dos seus programas.

Depois de uma intensa pesquisa por parte dos engenheiros da rádio foi detectado que um sinal de vídeo sem fio estava se sobrepondo ao sinal da estação. Diversas medidas foram tomadas na época como a instalação de filtros de sinal, realocação da frequência de transmissão do vídeo e a seleção de antenas apropriadas. Por mais que este problema foi mitigado os autores levantam um problema emergente: a importância de compreender o espectro de radiofrequência e como a interferência de sinal pode afetar a conectividade de dispositivos de comunicação.

Visando contornar estes problemas alguns intelectuais têm buscado meios alternativos de transmissão de sinal, uma parte destes tem elencado o Li-Fi como uma possibilidade. “A survey on Li-Fi technology” [Kulkarni, Darekar e Joshi 2016], um artigo publicado por um grupo de cientistas (S. Kulkarni, A. Darekar e P. Joshi) possui uma descrição extremamente abrangente sobre esta tecnologia.

De acordo com o texto o conceito de Li-Fi nada mais é que utilizar uma fonte de luminosidade para transmitir dados. Esta transmissão se torna possível devido a modulação de amplitude de intensidade (OOK) que é utilizada para codificar os dados na luz.

Na publicação, é trazida a ideia que assim como todo sistema de transmissão de dados, o Li-Fi tem três principais componentes: Transmissor, receptor e o canal de comunicação. O transmissor por muitas vezes pode ser um LED ou um laser capaz de executar a modulação supracitada, o receptor por sua vez é um dispositivo capaz de transformar os sinais recebidos via luz em sinal elétrico e decodificá-los, e por fim, o canal é a própria luz que é transmitida pelo ar e pode ser bloqueada por materiais opacos exigindo sempre linha de visão clara entre Emissor-Receptor.

É debatido na pesquisa sobre vantagens, desvantagens e usabilidade desta comunicação. Com relação as redes tradicionais de Wi-Fi, as redes ópticas sem fio apresentam maior largura de banda, maior segurança, menor interferência e menor impacto ambiental podendo ser implementadas em redes locais, sistemas de posicionamento em interiores, sistemas de comunicação de veículos e ambientes de realidade aumentada.

A dependência de luz o torna limitante em determinados aspectos, como por exemplo, a implementação em ambientes externos já que sofrem interferência de outras luzes, possui um alcance limitado e por fim a necessidade de visão se torna um empecilho para disseminação no uso doméstico.

Por fim, os autores trazem a ideia de que a tecnologia tem um grande potencial para revolucionar a forma como os dados são transmitidos sem fio, oferecendo vantagens significativas em relação

as redes RF convencionais, contudo são apresentados desafios a serem superados dado que há necessidade de padrões de comunicação e de equipamentos especializados.

Este potencial é acentuado quando se é analisado a pesquisa de Supriya Dinesh e Bharti Chourasia, pesquisadoras indianas e criadoras do artigo “Light Fidelity (Li-Fi) Technology: Will It Be An Eco-Friendly For Monitoring The Covid-19 Patients In Hospital” [Dinesh e Chourasia 2021] que aborda a utilização do Li-Fi para monitoramento de pacientes internados com Covid-19.

O projeto se baseia na utilização de equipamentos versáteis como pulseiras ou adesivos capazes de monitorar os sinais vitais como frequência cardíaca, temperatura, níveis de oxigênio no sangue etc. organizados numa rede óptica transmitindo estes dados para uma central de monitoramento.

É defendido pelas autoras que o sistema Li-Fi tem vantagens chave neste tipo de situação, além de possuir melhor segurança e eficiência energética por se tratar de uma tecnologia com uma maior largura de banda acaba tendo mais rapidez na atualização dos dados.

O sistema proposto pode ser integrado com outras tecnologias como aprendizado de máquina a fim de fornecer análises mais avançadas e precisas acerca dos dados coletados ajudando a identificar rapidamente pacientes em risco ou que precisam de intervenção médica imediata.

Todavia, aplicações práticas não são o único viés de pesquisa para esta rede, algumas pesquisas se baseiam em inovar o modo com que o sistema se compõe, por exemplo, fazer receptor e emissor com dispositivos primariamente emissores. O Prof. Giuseppe Schirripa Spagnolo traz esta ideia no artigo “LED as Transmitter and Receiver of Light: A Simple Tool to Demonstrate Photoelectric Effect” [Schirripa Spagnolo, Leccese e Leccisi 2019] escrito inicialmente para fins educacionais, o texto sugere um experimento que permite que dois led transmitam sinais entre si através da luz.

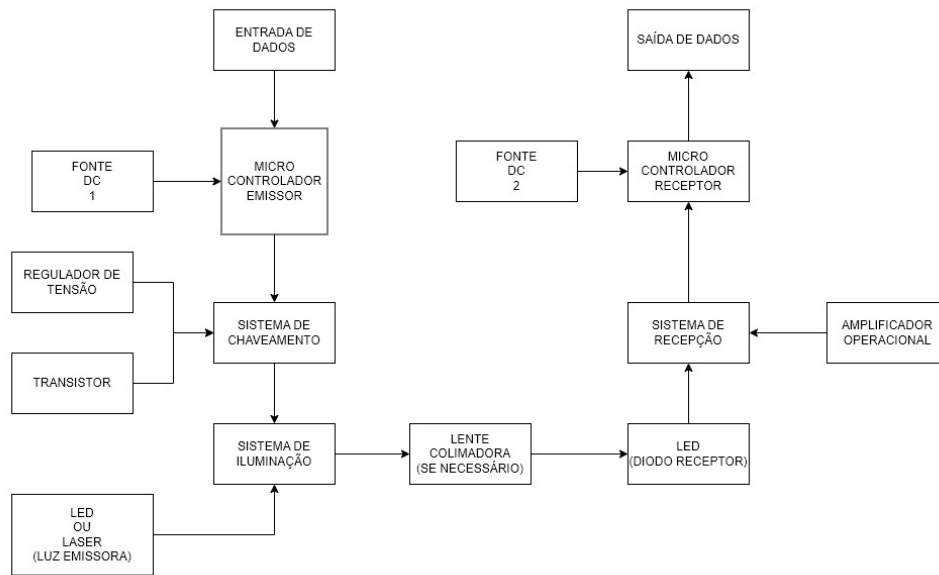
O experimento consiste em dispor dentro de uma câmara escura um LED emissor alimentado com uma fonte de corrente e um receptor conectado a um amplificador de transimpedância e um osciloscópio a fim de se medir a corrente gerada pelo LED. Assim que o emissor é energizado ele emite fótons que interagem com o LED receptor, gerando elétrons livres que são e convertidos em uma corrente elétrica mensurável.

Após a realização em múltiplas condições, variando a corrente do emissor, a distância entre os LEDs e a intensidade da luz ambiente, é colhido os resultados obtidos, analisados e comparados com a teoria do efeito fotoelétrico, assim assegurando a validade do experimento e da demonstração do fenômeno.

## **1.2 Diagrama de Blocos**

Estruturação com visão macro do projeto por meio de um diagrama de blocos (Figura 1).

Figura 1: Diagrama de blocos.



Fonte: Autoria própria.

Seguindo uma linha vertical imaginária ao centro do diagrama de blocos (Figura 1), todos os blocos contidos ao lado esquerdo desta linha imaginária, é responsável pelo sistema de emissão dos dados através de luz. Sendo assim, o lado direito dessa mesma linha refere-se pelo sistema receptor dos dados através de luz. São utilizados um microcontrolador para emissão e outro para recepção dos dados e para controle e manipulação dos sistemas pertinentes, como sistema de chaveamento e sistema de recepção respectivamente.

## **2 Sistema construído**

Para este projeto, foi construído um simples sistema de comunicação, o qual é composto por um transmissor e um receptor. A comunicação é gerenciada por microcontroladores, os quais são responsáveis por codificar e decodificar a mensagem transmitida. O objetivo inicial era utilizar LEDs comuns para a transmissão e recepção de dados, porém a o LED emissor foi inviabilizado visto que o LED emissor não foi capaz de emitir a quantia necessária de luz para que o LED receptor fosse capaz de captar e transformar em sinal elétrico, sendo substituído o LED emissor por um laser.

### **2.1 Transmissor**

O transmissor é composto por um microcontrolador ESP8266, um laser verde de 5mW e um circuito para fornecer tensão e corrente ao laser. O microcontrolador é responsável por receber uma mensagem via comunicação serial, codificá-la e enviar os sinais elétricos correspondentes ao laser. Visto que a corrente máxima de saída do ESP8266 é de 12mA, visando o funcionamento e a eficiência da comunicação, foi utilizado um circuito fornecedor para que a corrente de alimentação do laser seja satisfatória.

### **2.2 Receptor**

O receptor é composto por um microcontrolador ESP8266, um LED comum e um circuito para amplificar a tensão gerada pelo LED. As formas de onda geradas pelo LED, em resposta ao sinal recebido do transmissor, passam pelo circuito amplificador para que o microcontrolador possa recebê-las de forma segura, decodificá-las e exibir a mensagem resultante no monitor serial.

### **2.3 Algoritmos criados**

Foram criados algoritmos de codificação e decodificação para dois tipos de comunicação, binária e via código morse. A comunicação binária é capaz de transmitir bits que podem corresponder a diversos fins. A via código morse é capaz de transmitir todas as 26 letras do alfabeto.

#### **2.3.1 Comunicação binária**

Após receber uma mensagem de texto via serial, para a transmissão binária, cada caractere é transformado em um número binário e cada dígito deste número é guardado em um vetor. Para iniciar a transmissão, é enviado um bit de início de transmissão, seguido pelos bits gerados pelos caracteres da mensagem, e por fim um byte para finalizar a transmissão. Quando o receptor recebe o bit de transmissão, ele lê todos os bits subsequentes e os guarda em vetores de bytes, até que seja recebido um byte de fim de transmissão. Todos os bytes recebidos são convertidos em caracteres de texto e exibidos no monitor serial.

O tempo utilizado para enviar cada bit, o tamanho dos bytes e o byte de fim de transmissão são valores arbitrários e podem ser alterados para atingir diversos fins, como envio de diferentes tipos de dados ou para testar a eficiência da comunicação.

### **2.3.2 Código morse**

Após receber uma mensagem de texto via serial, para a transmissão via código morse, os caracteres correspondentes às letras de A a Z são guardados em um vetor. Este vetor é lido e cada letra é convertida para seu sinal morse correspondente (sinais longos e curtos) e transmitida. Quando o receptor recebe o primeiro sinal, ele o declara como um sinal longo ou curto e o guarda em um vetor. Para cada letra recebida, os sinais são comparados e a letra correspondente a estes sinais é exibida no monitor serial.

Os tempos utilizados para os sinais curtos e longos, o tempo entre o envio de cada letra e o tempo entre o envio de cada palavra são arbitrários e devem ser testados para validar a eficiência da comunicação.

## **3 Métricas de avaliação**

Para este projeto, é definido como um sistema funcional ao conseguir transmitir uma mensagem completa de um ponto ao outro (do emissor ao receptor) com integridade, sem sofrer perda de dados. Para isso, são utilizadas as seguintes métricas de validação para o circuito receptor de mensagens via luz, desenvolvido neste experimento, sendo:

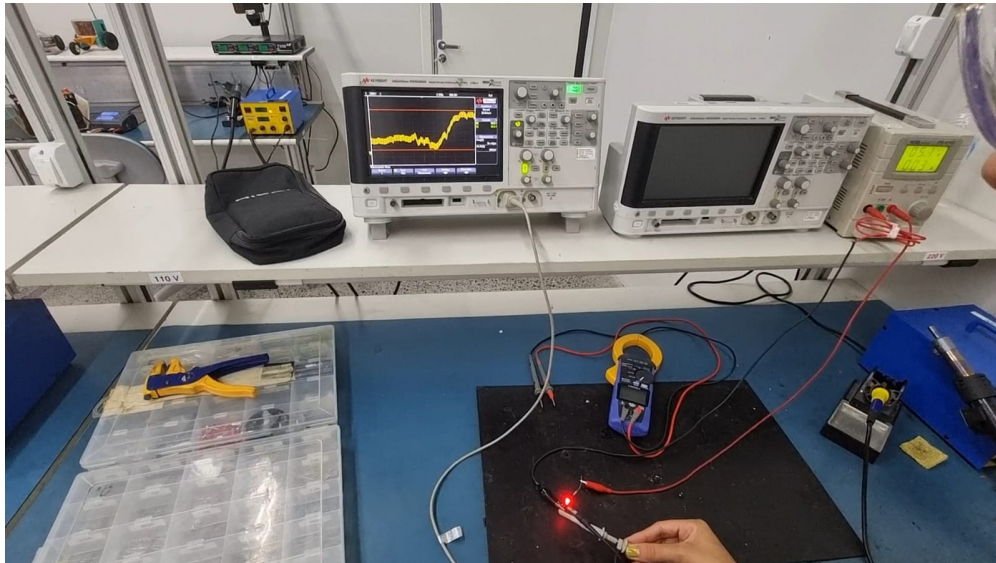
Concluir a troca de mensagens entre dois pontos em um ambiente aberto e sem interferências físicas entre o emissor e o receptor, obtendo bons resultados tanto em um ambiente diurno quanto noturno.

Receber mensagens a um alcance de pelo menos 6 cm de distância entre cada um dos pontos do sistema, podendo, assim, explorar o limite de sua precisão com relação ao aumento da distância durante os testes.

## **4 Resultados**

Quando exposto a uma forte fonte de luminosidade, um LED pode gerar uma pequena fonte de energia elétrica [Suzuki, Asahi e Watanabe 2015]. Isso é confirmado quando o LED é exposto a uma fonte luminosa relativamente menos intensa. Utilizando um equipamento de medição (multímetro ou osciloscópio) é possível obter uma pequena variação de tensão nos terminais do LED, que consegue chegar a aproximados 1V, como observado no teste realizado nas Figuras 2 e 3.

Figura 2: Teste de comportamento do LED.



Fonte: Autoria própria.

Figura 3: Resultados obtidos no teste de comportamento do LED.



Fonte: Autoria própria.

#### 4.1 Resultados do Receptor

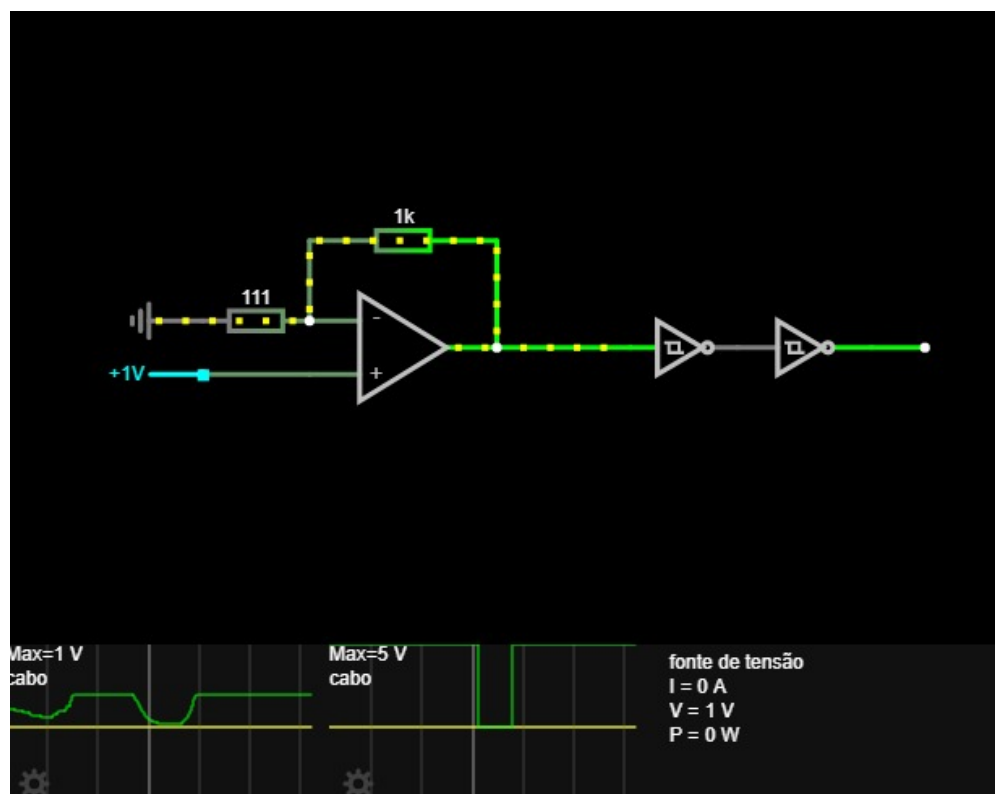
A variedade de LEDs disponíveis no mercado é grande e, para esta pesquisa, a análise do experimento é restrita a comprovação de um LED Difuso de 5mm como um forte receptor de comunicação LI-FI. Sendo possível que o modelo de LED selecionado durante o experimento não seja a melhor opção a depender do ambiente e/ou condições climáticas.

A tensão gerada pelo LED durante as medições foi insuficiente para que possibilitasse um micro-controlador distinguir um nível logico baixo de um nível logico alto, sobretudo ruídos luminosos pre-



sentes no ambiente corroboram para a insuficiência dessa tensão gerada, notou-se a necessidade do desenvolvimento de um circuito amplificador para o receptor. O modelo selecionado previamente foi o circuito integrado LM358 devido ao seu baixo consumo. Além dele, foi selecionado juntamente um Schmitt Trigger 74HC14 atuando como um filtro de sinal e evitando oscilações durante a troca de dados na comunicação (Figura 4).

Figura 4: Primeiro circuito desenvolvido para o receptor.



Fonte: Autoria própria.

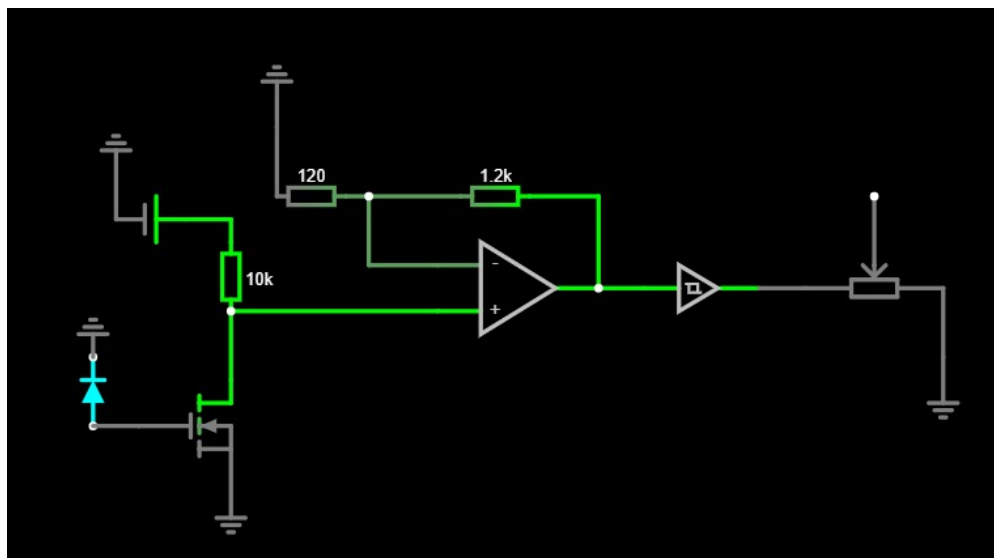
Entretanto, a corrente gerada pelo LED não foi suficiente para ser reconhecida pelo amplificador. Novos testes foram realizados utilizando diferentes modelos de amplificadores como o CA3140 e o UA741CN. Mesmo assim, não houve nenhum retorno positivo do circuito no objetivo de amplificar a tensão gerada pelo LED.

Como nenhum deles se mostrou eficaz, uma nova estratégia foi abordada. Como é possível observar, é necessário obter primeiro um ganho de corrente para então amplificar a tensão (Figura 5). Devido a lei de conservação de energia [Carvalho Cunha, s.d.], utilizar um amplificador de corrente projeta um aumento da corrente de um sinal de entrada, mas isso geralmente é acompanhado por uma redução proporcional na tensão. Isso acontece porque o amplificador precisa fornecer energia adicional à corrente de saída, e essa energia é extraída da fonte de alimentação, ou seja, isso deixaria a tensão gerada pelo LED ainda menor e consequentemente sua variação.

Entretanto, a utilização de um transistor MOSFET sensível a baixa tensão e corrente tem o mesmo

objetivo e apenas replica a tensão com um ganho de corrente sem uma perda significativa ao sistema. Sendo assim, o modelo de transistor selecionado foi o 2N7000 e o circuito final é representado na Figura 5.

Figura 5: Circuito final do Receptor.



Fonte: Autoria própria.

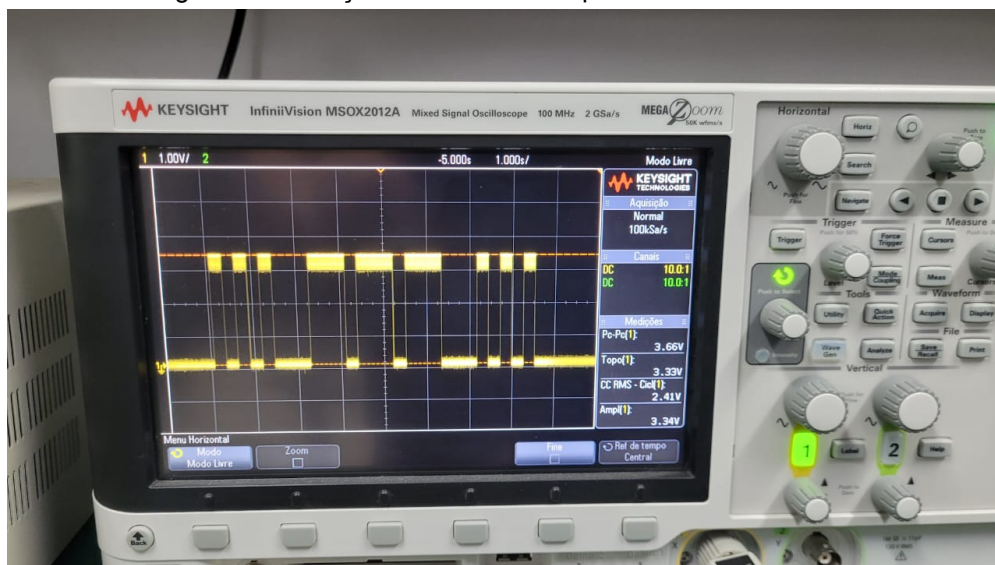
Para comprovar o funcionamento do circuito receptor, um teste simples pode ser aplicado, utilizando o flash da câmera de um celular e um aplicativo de comunicação morse por luz. Os resultados obtidos podem ser analisados nas Figuras 6 e 7.

Figura 6: Validação do circuito Receptor utilizando o flash do celular.



Fonte: Autoria própria.

Figura 7: Validação do circuito Receptor - Resultado obtido.



Fonte: Autoria própria.

## 4.2 Resultados do Transmissor

Tendo em vista a inviabilidade do LED comum como o emissor de luz, foi adotado o laser como uma alternativa a fim de validar o circuito receptor. O laser possui um faixe focal menor quando comparado ao LED comum, devido às suas características físicas e de funcionamento, o que torna o laser mais adequado para este experimento.

Uma vez que, a emissão de luz através do LED acontece de forma incoerente, isso significa que as ondas de luz que são emitidas não estão em fase umas com as outras. Por outro lado, o laser

emite luz de forma coerente, tendo as ondas de luz em fase e alinhadas [Dionisio 1993]. Como consequência a luz emitida por um laser é mais direcional e concentrada em um feixe estreito, o que garante melhor incidência de luz sobre o LED receptor. O laser utilizado tem feixe de luz verde, potência máxima de 5mW e tensão de funcionamento 3V (Figura 8).

Figura 8: Laser utilizado no experimento.



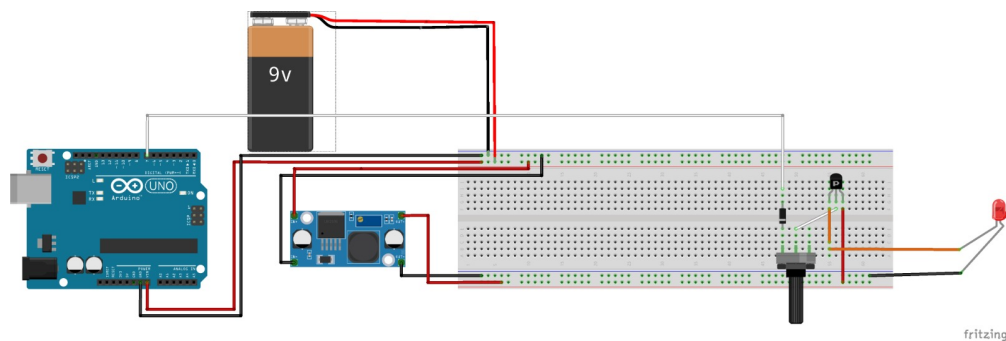
Fonte: Autoria própria.

Considerando a mudança atribuída, visando a segurança do microcontrolador, é necessário adicionar uma fonte externa para alimentação do laser, neste caso uma fonte de 12V. Dado o aumento de complexidade no circuito também houve a necessidade de introduzir um transistor (BC558B do

tipo PNP) como chaveador de controle para que o microcontrolador pudesse controlar o laser. Para regular a tensão do circuito a um nível adequado para o laser é utilizado, a princípio, um regulador de tensão LM317 com potenciômetro. Contudo essa implementação, para regular a tensão, não foi capaz de ligar o laser.

Dado a necessidade de maior complexidade para realizar a regulação da tensão, um módulo de Stepdown (LM2596) é substituído no lugar do LM317 com o potenciômetro, como exemplificado na Figura 9 e 10.

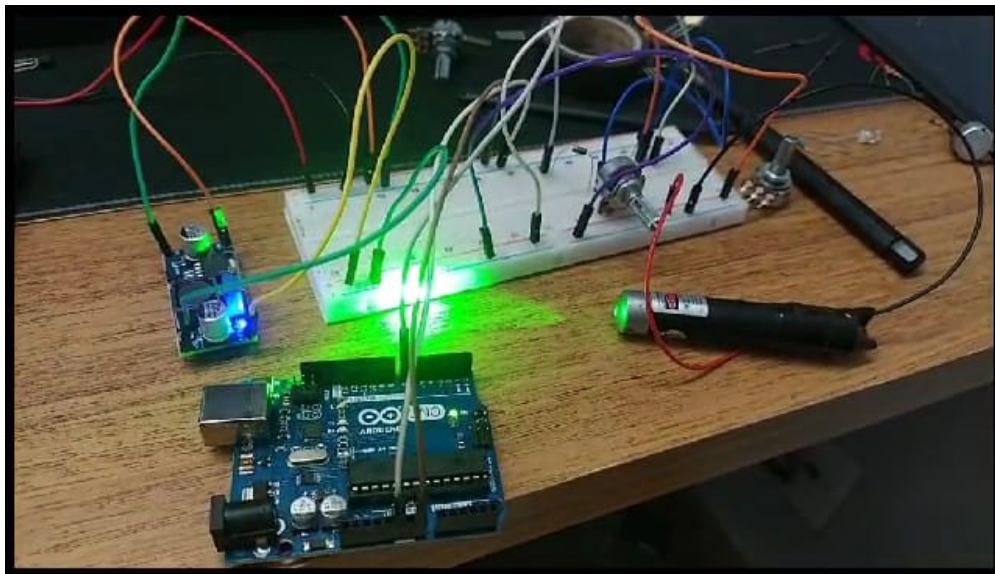
Figura 9: Representação circuito Emissor.



Fonte: Autoria própria.

Para finalizar a eletrônica do sistema emissor, um potenciômetro de 100kOhm foi inserido como resistor de base do transistor (BC558B) e um diodo (1N4001) no emissor do transistor, afim de fornecer proteção contra sobretensão reversa e tensões indesejadas que podem ocorrer durante o funcionamento do circuito, conforme é possível visualizar o circuito completo nas Figuras 9 e 10.

Figura 10: Teste circuito Emissor.



Fonte: Autoria própria.



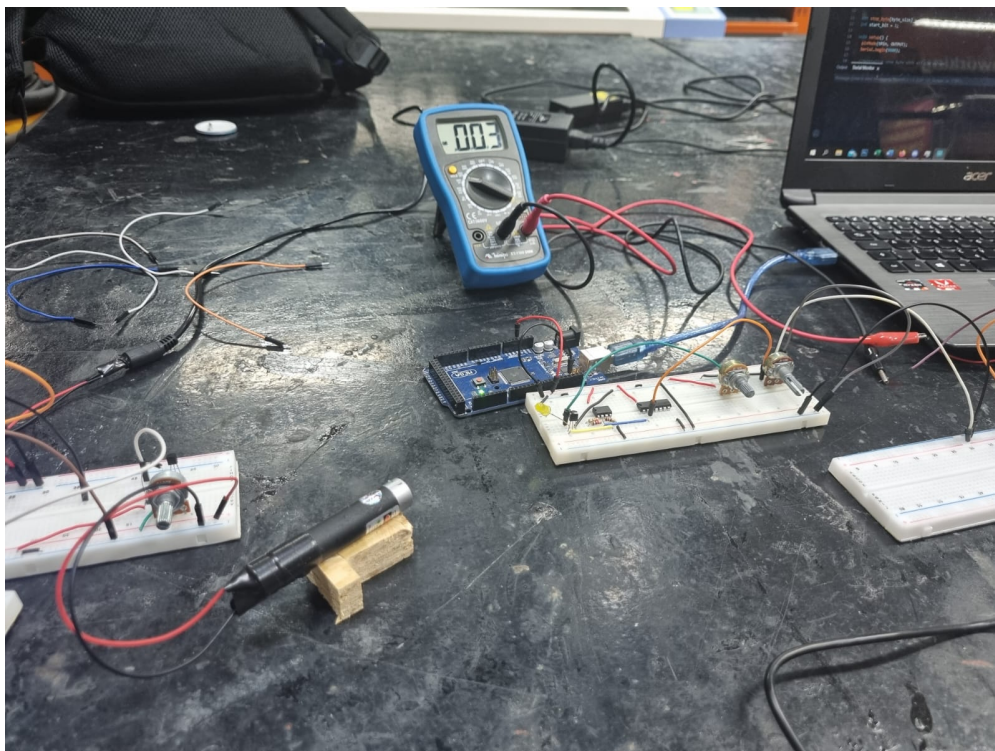
### 4.3 Resultados da Transmissão

Utilizando os circuitos desenvolvidos, transmissor e receptor, aplicou-se uma sequência de testes utilizando o algoritmo desenvolvido.

Durante os testes, o algoritmo utilizou a entrada serial do microcontrolador para receber uma mensagem, que foi posteriormente convertida pelo programa em sinais binários ou sinais do tipo morse. Nesta sequência de sinais é representada a mensagem a ser transmitida via luz pelo laser até o receptor.

A mensagem então transitou até o receptor, que recebeu os pulsos e realizou o processo de decodificação da mensagem. Após a decodificação, a mensagem foi disponibilizada via serial do microcontrolador, a estrutura para os testes pode ser observada na Figura 11.

Figura 11: Teste do sistema.



Fonte: Autoria própria.

Durante os testes realizados, foi possível transmitir mensagens de texto de até 100 caracteres. É importante ressaltar que a limitação no tamanho das mensagens não se deve ao sistema em si, mas sim ao programa desenvolvido e ao espaço de memória reservado pelo mesmo no microcontrolador.

Diversas taxas de transmissão foram testadas. O primeiro teste foi feito com 1 bit enviado a cada 100 milissegundos (10bits/s), e apresentou resultados satisfatórios. Testes subsequentes foram feitos a fim de se descobrir a velocidade mínima de transmissão que o circuito construído poderia atingir. De tal forma, foi observado que uma taxa de 1 bit a cada 15 milissegundos (66,6bits/s) é a velocidade máxima possível para uma transferência eficaz e segura. As taxas de transmissão foram medidas

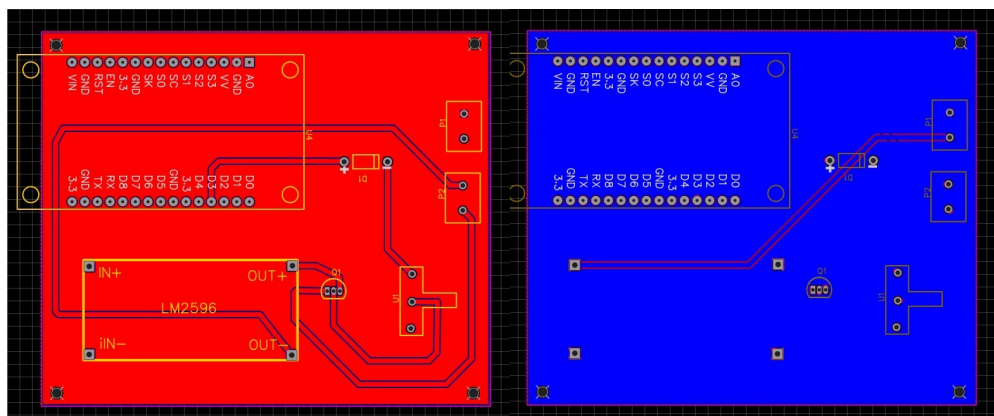
através do software, utilizando uma variável auxiliar para contar o tempo dos bits.

Devido a disponibilidade de recursos, a distância máxima testada entre o receptor e o transmissor foi de 15cm, essa distância foi obtida utilizando um paquímetro. Esta distância apresentou resultados satisfatórios, porém distâncias maiores são teoricamente possíveis. O sistema é extremamente sensível à variações nas posições do transmissor e receptor, quanto maior a distância entre ambos, maior a chance de uma falha na comunicação.

#### 4.4 Finalização do protótipo

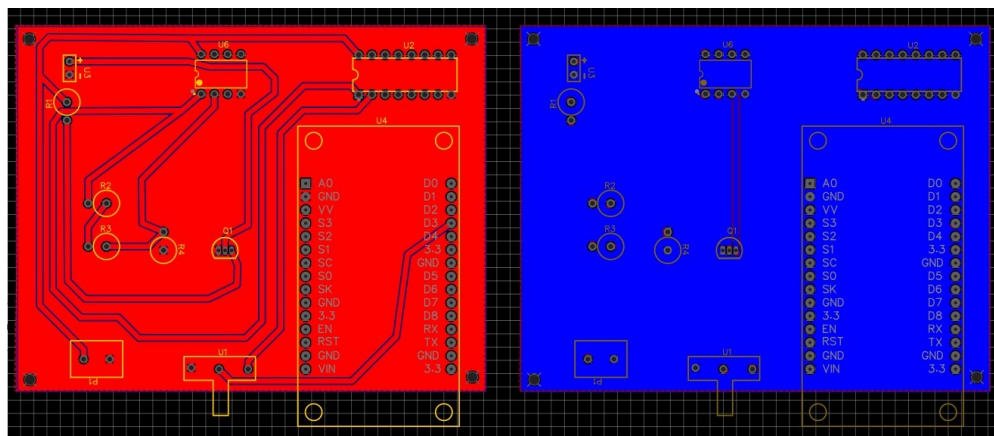
Por fim, com o sistema validado, foi desenvolvido o design de circuitos impressos para melhor acomodação e segurança de transporte do projeto. A placa referente ao circuito emissor pode ser observada na Figura 12 e a placa do circuito receptor na Figura 13.

Figura 12: Placa do circuito emissor.



Fonte: Autoria própria.

Figura 13: Placa do circuito receptor.

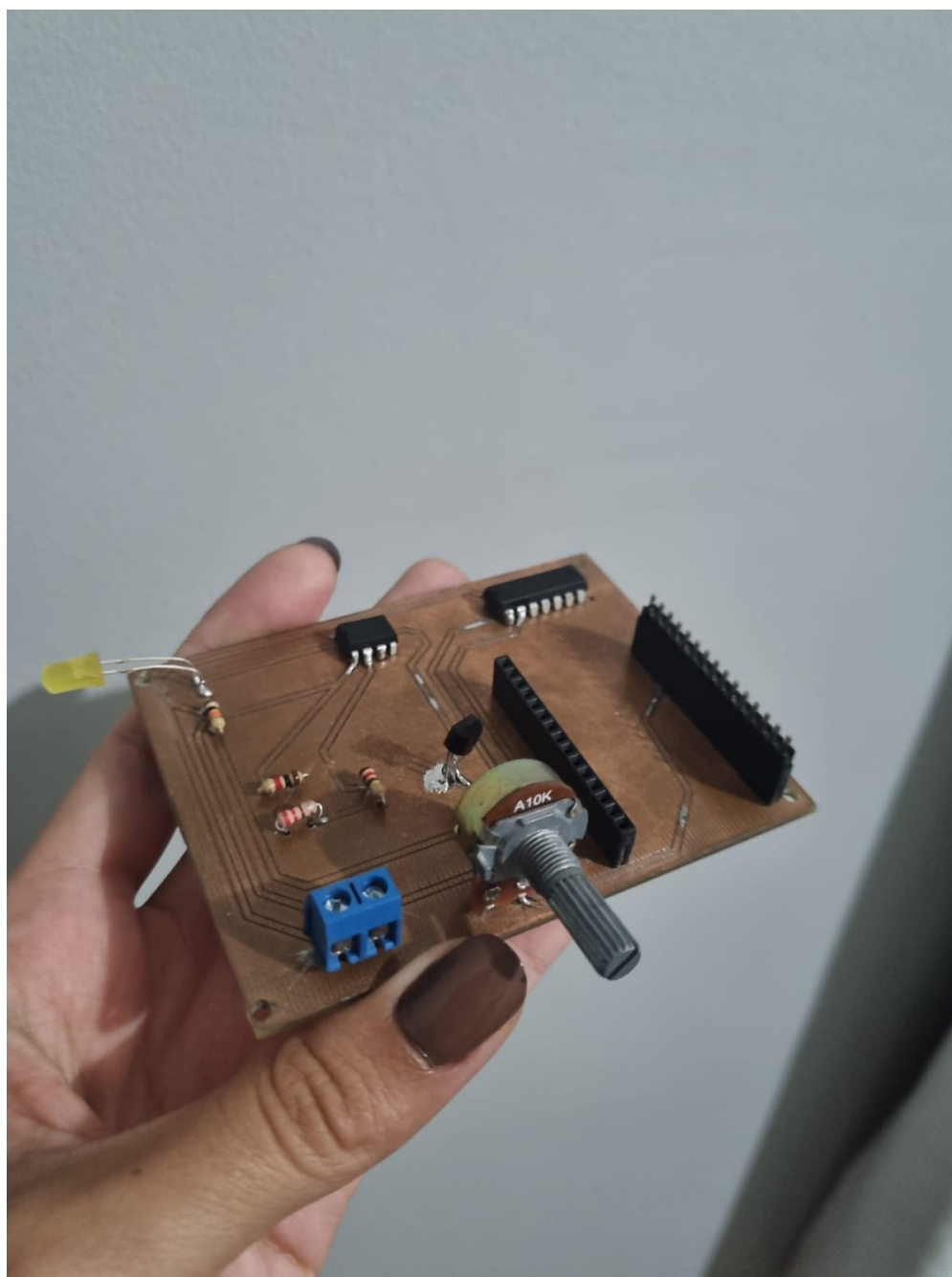


Fonte: Autoria própria.

Após impressa a placa do circuito receptor, os componentes foram soldados na placa e pronta

para uso (Figura 14).

Figura 14: Placa do circuito receptor impressa.



Fonte: Autoria própria.



## 5 Conclusão

Durante o trabalho foi elaborado um sistema de comunicação LI-FI. O objetivo inicial foi utilizar LEDs comuns (tipo difusor de 5mm) para a transmissão e recepção de dados por luz, porém, devido à baixa intensidade de luz emitida pelo LED emissor foi necessário adotar um laser como fonte de luz. Ainda assim, a tensão gerada no receptor era insuficiente para ser interpretada de forma confiável pelo microcontrolador.

Inúmeros circuitos amplificadores foram testados, porém nenhum deles se mostrou funcional com a proposta. Como alternativa, foi adotado um transistor MOSFET sensível à baixa tensão e corrente para amplificar a corrente gerada pelo LED, garantindo uma variação adequada para o circuito receptor.

O LED, ainda que gere tensão e corrente quando sob incidência de luz, os valores gerados de corrente são ínfimos, gerando dificuldade para identificá-la. Além da área limitante de funcionamento, sendo que ao ser escolhido um laser, como emissor, o foco de luz se tornou extremamente conciso, necessitando o feixe de luz ser precisamente ajustado, pouco acima do centro do LED, utilizando essa técnica a luz ambiente tem menor interferência na transmissão.

Ainda, utilizar a comunicação serial diretamente para o LED não gerou resultados satisfatórios, foi necessário utilizar das portas digitais do microcontrolador. O circuito não foi modulado para atender os requisitos da porta serial, no qual um sinal de identificação para início de comunicação é requerido pelo sistema.

Por conseguinte, com essa configuração adotada foi possível enviar mensagens de até 100 caracteres (essa limitação é resultante do programa desenvolvido e espaço de memória reservada no microcontrolador), sem perdas de dados e garantidas até 15 centímetros de distância (distância máxima testada sem falhas, contudo, teoricamente, é possível utilizar em distâncias superiores). Com frequência de transmissão mínima de 10bits/s e máxima de 66,6bits/s. Após diversos testes As cores do LED e o feixe de luz emitido pelo laser foram fatores de crucial importância para maximizar e viabilizar os resultados do experimento.

A relação da energia gerada pelo LED foi diretamente afetada ao alterar a coloração dele, quando utilizado um LED de cor vermelha ou incolor o fator de conversão de luz em energia foi menor do que quando em relação a cor amarela, que obteve um ganho maior e por esse motivo foi utilizada para o experimento. Considerando que o feixe do laser incidido sobre o LED foi sempre da cor verde.

Deste modo o experimento demonstrou a viabilidade de um sistema de comunicação baseado em transmissão de luz, com LED como receptor. O sistema demonstrou sua capacidade de transmitir mensagens completas e integras, utilizando o LED como alternativa de baixo custo e fácil acessibilidade.

## **5.1 Sugestões para trabalhos Futuros**

Para futuros projetos, um dos aspectos que revelou-se promissor foi a incorporação ao presente modelo de um método de decodificação que apresente os dados emitidos pelo laser de maneira simultânea. Assim como a evolução do sistema visando ampliar e permitir uma maior quantidade de dados sendo enviados e recebidos.

Sugere-se, também, a incorporação de um estudo detalhado sobre o tópico que implica no entendimento de como métodos de transmissão de mensagens de forma digital podem otimizar a eficiência da comunicação durante a etapa de interpretação dos sinais pelo microcontrolador.

Visando, também, um melhor entendimento de como aplicação de técnicas de manipulação de características da onda luminosa como amplitude, intensidade e frequência podem ser capazes de atingir uma melhora de performance da comunicação entre emissor e receptor.

## Referências Bibliográficas

- Bustos-Jiménez, Javier, Denis Caromel, Al Costanzo, Mario Leyton e José M. Piquer. 2005. "Balancing active objects on a peer to peer infrastructure". *XXV International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC'05)*, 7–.
- Carvalho Cunha, Frederico Guilherme de. s.d. "CONSERVAÇÃO DA ENERGIA".
- Chaudhuri, Rajarshi Roy, Kaustav Dutta e Archisman Saha. 2015. "Review on Li-Fi Technology".
- Cisco. 2020. *Annual Internet Report*. url<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490>.
- Dinesh, Supriya, e Bharti Chourasia. 2021. "Light Fidelity (Li-Fi) Technology: Will It Be An Eco-Friendly For Monitoring The Covid-19 Patients In Hospital". Em *2021 International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering (ICACITE)*, 234–238. <https://doi.org/10.1109/ICACITE51222.2021.9404680>.
- Dionisio, Paulo Henrique. 1993. "Será a luz de um laser necessariamente polarizada, completamente coerente e rigorosamente monocromática?" *Caderno catarinense de ensino de física. Florianópolis. Vol. 10, n. 1 (abr. 1993), p. 53-58*.
- Heng, K.H., Wen-De Zhong e Tee Hiang Cheng. 2010. "Multipoint free-space optics system for short-range communications between flight platforms." *Applied optics* 49 2:258–66.
- Jokanovic, Dusan, e Milos Josipovic. 2011. "RF spectrum congestion: Resolving an interference case". Em *2011 IEEE International Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronic Systems (COMCAS 2011)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/COMCAS.2011.6105933>.
- Kulkarni, Shivaji, Amogh Darekar e Pavan Joshi. 2016. "A survey on Li-Fi technology". Em *2016 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSP-NET)*, 1624–1625. <https://doi.org/10.1109/WiSPNET.2016.7566413>.
- Li, Shangbin, Boyang Huang e Zhengyuan Xu. 2017. "Experimental MIMO VLC Systems Using Tricolor LED Transmitters and Receivers". *2017 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, 1–6.
- Rabia, Naveed Ali, Shahzaib Ali, Ahthasham Sajid e Afia Zafar. 2020. "A SECURITY REVIEW OVER WI-FI AND LI-FI".
- Schirripa Spagnolo, Giuseppe, Fabio Leccese e Mariagrazia Leccisi. 2019. "LED as Transmitter and Receiver of Light: A Simple Tool to Demonstration Photoelectric Effect". *Crystals* 9 (10). ISSN: 2073-4352. <https://doi.org/10.3390/cryst9100531>. <https://www.mdpi.com/2073-4352/9/10/531>.
- Suzuki, Kousuke, Kensaku Asahi e Akira Watanabe. 2015. "Basic Study on Receiving Light Signal by LED for Bidirectional Visible Light Communications". *Electronics and Communications in Japan* 98:1–9.
- Tamburini, Fabrizio, Elettra Mari, Anna Sponselli, Bo Thid'e, Antonio Bianchini e Filippo Romanato. 2011. "Encoding many channels on the same frequency through radio vorticity: first experimental test". *New Journal of Physics* 14.