

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Drean Borges Martinuzzi

**COMUNICAÇÃO POR LUZ VISÍVEL LED A LED COMPARANDO  
DIFERENTES CONFIGURAÇÕES NO TRANSMISSOR E NO  
RECEPTOR**

Santa Maria, RS, Brasil  
2017

**Drean Borges Martinuzzi**

**COMUNICAÇÃO POR LUZ VISÍVEL LED A LED COMPARANDO  
DIFERENTES CONFIGURAÇÕES NO TRANSMISSOR E NO  
RECEPTOR**

Trabalho de Conclusão apresentado ao  
Curso de Engenharia de Computação, da  
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,  
RS), como requisito parcial para obtenção do  
grau de **Engenheiro de Computação**.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Barriquello

Santa Maria, RS, Brasil  
2017

**Drean Borges Martinuzzi**

**COMUNICAÇÃO POR LUZ VISÍVEL LED A LED COMPARANDO  
DIFERENTES CONFIGURAÇÕES NO TRANSMISSOR E NO  
RECEPTOR**

Trabalho de Conclusão apresentado ao  
Curso de Engenharia de Computação, da  
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,  
RS), como requisito parcial para obtenção do  
grau de **Engenheiro de Computação**.

**Aprovado em 24 de fevereiro de 2017:**

---

**Carlos Henrique Barriquello, Dr. (UFSM)**  
(Orientador)

---

**José Eduardo Baggio, Dr. (UFSM)**

---

**Felipe Loose, Eng. (UFSM)**

Santa Maria, RS, Brasil  
2017

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha tia Simone, que não apenas durante a graduação, me apoiou e incentivou sempre. Dedico também à minha namorada Hendil, que esteve ao meu lado em todos os momentos, me ajudando e dando todo o suporte necessário para que fosse possível a conclusão desta etapa.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Ao professor Carlos Henrique Barriuello, que esteve sempre à disposição para sanar minhas dúvidas, dar sugestões e transmitir todo o seu conhecimento que tanto ajudaram para a realização deste trabalho.*

*A minha namorada Hendil, que foi minha companheira incondicional durante toda a graduação, comemorando os bons e confortando durante os maus momentos pelos quais passamos.*

*A toda minha família, em especial aos meus tios Simone e Gordo, que nunca mediram esforços para me ajudar a concluir mais essa etapa com êxito.*

*A todos que foram meus colegas durante a graduação pela companhia e parceria durante todo o curso.*

## **RESUMO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
Curso de Graduação em Engenharia de Computação  
Universidade Federal de Santa Maria

### **COMUNICAÇÃO POR LUZ VISÍVEL LED A LED COMPARANDO DIFERENTES CONFIGURAÇÕES NO TRANSMISSOR E NO RECEPTOR**

AUTOR: DREAN BORGES MARTINUZZI  
ORIENTADOR: CARLOS HENRIQUE BARRIQUELLO  
Local e data da defesa: Santa Maria/RS, 24 de Fevereiro de 2017

Neste trabalho foi realizado um estudo acerca da comunicação por luz visível (VLC) -que consiste na utilização da mesma luz que ilumina o ambiente, para transmitir dados- usando Leds no transmissor e também no receptor. Além do uso de Leds como fotodetectores, outra inovação deste trabalho foi o fato de testar novas configurações para os Leds. Usando um microcontrolador para transmitir e outro para receber os dados, foram realizados testes para que fosse possível identificarmos qual dessas configurações é melhor. O critério escolhido para tal indicação foi a análise da taxa de erro de bit (BER) durante a comunicação. Após inúmeros testes, a conclusão obtida a foi de que no geral a configuração que apresentou os melhores resultados foi quando foi usado 2 Leds em série tanto no transmissor quanto no receptor. Os testes foram realizados no mesmo ambiente, porém em duas circunstâncias diferentes: primeiro com o ambiente iluminado e depois sem iluminação. Os testes realizados quando o ambiente estava escuro apresentaram melhores resultados para todas as configurações testadas.

**Palavras-chave:** VLC. Comunicação por luz visível. Taxa de erro de bit. Transmissão de dados.

## **ABSTRACT**

Thesis - Final Course Project  
Computer Engineering Course  
Federal University of Santa Maria

### **LED TO LED VISUAL LIGHT COMMUNICATION COMPARING DIFERENT LED CONFIGURATION ON TRANSMITTER AND RECEIVER**

AUTHOR: DREAN BORGES MARTINUZZI  
SUPERVISOR: CARLOS HENRIQUE BARRIQUELLO  
Defense place and date: Santa Maria/RS, February 24 th, 2017

In this work a study was carried out on visible light communication (VLC), which consists in the use of the same light that illuminates the environment, to transmit data using LEDs on the transmitter and also on the receiver. In addition to the use of LEDs as photodetectors, another innovation of this work was the fact of testing new configurations for the LEDs. Using a microcontroller to transmit and another to receive the data, tests were performed so that we could identify which of these configurations is the best. The criterion chosen for such indication was the bit error rate (BER) analysis during the communication. After several tests, the conclusion obtained was that in general the configuration that presented the best results was when 2 Leds were used in series in both transmitter and receiver. The tests were performed in the same environment, but in two different circumstances: first with the ambient illuminated and then with no light. The tests performed when the environment was dark presented better results for all tested configurations.

**Keywords:** VLC. Visible light communication. Bit error rate. Data transmission.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo de sistema VLC .....	19
Figura 2 - Exemplo de codificação Manchester .....	25
Figura 3 - Componentes utilizados .....	27
Figura 4 - Circuito usado para a configuração 2 Leds em paralelo, com 2 resistores de 150 ohms.....	30
Figura 5 - Circuito usado para a configuração 2 Leds em série, com 1 resistor de 68 ohms.....	30
Figura 6 - Exemplo de montagem do circuito para realização dos testes .....	31
Figura 7 - Fluxograma do transmissor .....	32
Figura 8 - Fluxograma do receptor .....	33
Figura 9 - Montagem para realização dos testes.....	34
Figura 10 - BER: Rx 1 Led - Tx 1 Led a 40cm.....	72
Figura 11 - BER: Rx 2 Leds em paralelo - Tx 1 Led a 50cm .....	72
Figura 12 - BER: Rx 2 Leds em paralelo - Tx 2 Leds em paralelo a 60 cm .....	73
Figura 13 - BER: Rx 2 Leds em série - Tx 2 Leds em paralelo a 60 cm.....	73
Figura 14 - BER: Rx 1 Led - Tx 2 Leds em paralelo a 50 cm no escuro .....	74
Figura 15 - BER: Rx 1 Led - Tx 2 Leds em série a 55 cm no escuro.....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Testes de luminosidade com Rx fixado em 1 LED, em ambiente iluminado .....	35
Tabela 2 - Testes de luminosidade com Rx fixado em 2 Leds em série, em ambiente iluminado .....	37
Tabela 3 - Testes de luminosidade com Rx fixado em 2 Leds em paralelo, em ambiente iluminado .....	38
Tabela 4 - Valores da BER com Rx fixado em 1 LED, em ambiente iluminado .....	40
Tabela 5 - Valores da BER com Rx fixado em 2 Leds em série, em ambiente iluminado .....	43
Tabela 6 - Valores da BER com Rx fixado em 2 Leds em paralelo, em ambiente iluminado.....	44
Tabela 7 - Testes de luminosidade com Rx fixado em 1 LED, em ambiente escuro.....	46
Tabela 8 - Testes de luminosidade com Rx fixado em 2 Leds em série, em ambiente escuro.....	48
Tabela 9 - Testes de luminosidade com Rx fixado em 2 Leds em paralelo, em ambiente escuro .....	50
Tabela 10 - Valores da BER com Rx fixado em 1 Led, em ambiente escuro .....	52
Tabela 11 - Valores da BER com Rx fixado em 2 Leds em série, em ambiente escuro.....	53
Tabela 12 - Valores da BER com Rx fixado em 2 Leds em paralelo, em ambiente escuro .....	55
Tabela 13 - Análise dos resultados dos testes de luminosidade com Rx fixado em 1 LED, em ambiente iluminado .....	57
Tabela 14 - Análise dos resultados dos testes de luminosidade com Rx fixado em 2 Leds em série, em ambiente iluminado .....	58
Tabela 15 - Análise dos resultados dos testes de luminosidade com Rx fixado em 2 Leds em paralelo, em ambiente iluminado .....	58
Tabela 16 - Análise dos resultados dos testes de luminosidade com Rx fixado em 1 LED, em ambiente escuro.....	61
Tabela 17 - Análise dos resultados dos testes de luminosidade com Rx fixado em 2 Leds em série, em ambiente escuro.....	62
Tabela 18 - Análise dos resultados dos testes de luminosidade com Rx fixado em 2 Leds em paralelo, em ambiente escuro.....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LED	Diodo emissor de luz
VLC	<i>Visible light communication</i>
BER	<i>Bit error rate</i>
TX	Transmissor
RX	Receptor
ISM	Industrial, scientific and medical
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
RF	Radio frequência
GPS	Sistema de posicionamento global
FSO	<i>Free-space optical</i>

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1. MOTIVAÇÃO.....	13
1.2. OBJETIVOS .....	14
1.2.1. Objetivo Geral .....	14
1.2.2. Objetivos específicos .....	14
1.3. JUSTIFICATIVA.....	15
<b>2. DESENVOLVIMENTO</b> .....	15
2.1. COMUNICAÇÃO POR LUZ VISÍVEL.....	15
2.1.1. Aplicações do VLC .....	17
2.1.2. Desvantagens do VLC.....	21
2.2. DIODO COMO SENSOR .....	22
2.3. ELEMENTOS DE UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO .....	23
2.3.1. Transmissão Assíncrona .....	24
2.3.2. Codificação Digital .....	24
2.3.3. Codificação Manchester .....	25
2.3.4. Avaliação de erros.....	26
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	26
3.1. MATERIAIS UTILIZADOS .....	26
3.2. METODOLOGIA DOS TESTES.....	28
3.3. MONTAGEM DO CIRCUITO .....	29
3.4. ALGORITMO .....	31
<b>4. RESULTADOS</b> .....	33
4.1. PRIMEIRO CENÁRIO- AMBIENTE ILUMINADO .....	34
4.1.1. Teste do valor de luminosidade no Rx variando a distância entre Rx e Tx .....	34
4.1.2. Teste da BER variando a distância entre Rx e Tx. ....	40
4.2. SEGUNDO CENÁRIO – AMBIENTE ESCURO .....	45
4.2.1. Teste do valor de luminosidade no Rx variando a distância entre Rx e Tx .....	45
4.2.2. Teste da BER variando a distância entre Rx e Tx. ....	51
<b>5. DISCUSSÃO</b> .....	56
5.1. PRIMEIRO CENÁRIO – AMBIENTE ILUMINADO.....	56
5.1.1. Teste do valor de luminosidade no Rx variando a distância entre Rx e Tx .....	57
5.1.2. Teste da BER variando a distância entre Rx e Tx. ....	58
5.2. SEGUNDO CENÁRIO – AMBIENTE ESCURO .....	61
5.2.1. Teste do valor de luminosidade no Rx variando a distância entre Rx e Tx .....	61
5.2.2. Teste da BER variando a distância entre Rx e Tx. ....	62
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	65
6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	65

<b>7. APÊNDICES</b> .....	66
7.1. CÓDIGO DO RECEPTOR PARA REALIZAR A LEITURA DA LUMINOSIDADE.....	66
7.2. CÓDIGO DO TRANSMISSOR PARA REALIZAR OS TESTES DA BER.....	67
7.3. CÓDIGO DO RECEPTOR PARA REALIZAR OS TESTES DA BER .....	69
7.4. ALGUNS DOS PRINTS DOS TESTES PARA OBTER A BER .....	72
<b>8. REFERÊNCIAS</b> .....	75

# 1. INTRODUÇÃO

Diodos emissores de luz, ou LEDs, são um dos tipos mais comuns de componentes eletrônicos. Suas diversas aplicações incluem displays numéricos, lanternas, luzes de fundo de cristal líquido, luzes de freio de veículos e sinais de trânsito.

Porque LEDs são comumente usados como emissores de luz, é fácil esquecer que eles são fundamentalmente fotodiodos e, como tal, são detectores de luz também. Embora LEDs não sejam otimizados para detecção de luz, eles são muito eficazes nessa tarefa. Esta permutabilidade entre emissão e detecção de luz foi amplamente divulgada na década de 1970 por Forrest W. Mims, passou por um período de esquecimento e atualmente está sendo novamente explorada. (Dietz et al, 2003).

Redes de Comunicação por Luz Visível baseada em LED (LED VLC) têm propriedades atraentes: LEDs possuem baixo custo e já estão incorporados em muitos dispositivos de consumo. Redes de LED também permitem a integração de iluminação e comunicação e tornam a comunicação visível. VLC, conforme outras formas de comunicação óptica de baixa potência, também é seguro: como qualquer transmissão pode ser capturada somente por nós com uma conexão com linha de visada, espionagem por outros nós (ocultos) já não é mais possível. Além disso, os sistemas de VLC não usam o (possivelmente superlotado) espectro de radiofrequências e não interferem em dispositivos de rádio existentes.

## 1.1. MOTIVAÇÃO

Ultimamente, houve a mudança da capacidade computacional dos computadores de mesa para aparelhos portáteis. Equipamentos como câmeras e celulares podem obter e analisar uma grande quantidade de informação em pouco espaço de tempo. Apesar de oportuna, a transferência de informações entre estes dispositivos continua sendo um desafio devido ao seu pequeno tamanho e consequente portabilidade. Links de alta confiabilidade são indispensáveis para admitir que a informação possa ser transmitida de maneira eficiente e menos sofrível entre estes dispositivos móveis, redes de computadores, servidores de armazenamento e internet.

A comunicação óptica sem fio é uma tecnologia que ainda se encontra em crescimento e nos últimos cinquenta anos mostrou uma evolução muito grande. Existem muitos benefícios neste tipo de comunicação em relação a comunicação via rádio e a técnicas de comunicação utilizando cabos. A comunicação óptica sem fio apresenta maior largura de banda e possivelmente maiores taxas de transmissão de dados quando comparados com a comunicação via rádio convencional. O espectro de luz em que a comunicação óptica opera não é regulamentada, proporcionando maior maleabilidade quando comparada as frequências de rádio, as quais são reguladas. Não somente o espectro usado não é regulado, como a faixa de luz vista pelos humanos está moderada, possibilitando que os equipamentos utilizados para transmissão, também possam ser usados para promover luz virtualmente constante ao ambiente enquanto transmite informações. (HRANILOVIC, 2009)

Este processo de comunicação que ainda está em fase de desenvolvimento e apresenta capacidades de aplicação em inúmeras áreas da engenharia, facilita a comunicação em ambientes onde o uso de RF é limitado ou irrealizável. Como por exemplo, embases aéreas, hospitais, laboratórios e demais locais que se objetiva evitar a interferência das ondas de rádio em sistemas e equipamentos.

A tecnologia de comunicação óptica também simplifica os circuitos de transmissão e recepção visto que é dispensável o custoso trabalho de idealizar e programar circuitos resistentes às perturbações e distorções causadas por outras ondas eletromagnéticas.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo Geral

Estabelecer a comunicação entre dois pontos, o transmissor e o receptor, a fim de testar e analisar qual a melhor configuração tanto no transmissor quanto no receptor.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Verificar o funcionamento do sistema variando-se a distância entre o receptor e transmissor e a influência da luz no meio de comunicação.

- Analisar a qualidade do sinal no receptor em relação à sua distância do transmissor alternando o número (1 ou 2) de LEDs e a configuração (série ou paralelo) do transmissor.
- Verificar qual a distância máxima permitida entre transmissor e receptor para que ocorra a detecção do sinal no receptor alterando o número (1 ou 2) de LEDs e a configuração (série ou paralelo) tanto no transmissor quanto no receptor.
- Comparar a variação da taxa de erro de bit (BER – Bit Error Rate) nas diversas configurações citadas acima.

### 1.3. JUSTIFICATIVA

Atualmente, existe uma quantidade expressiva de equipamentos e dispositivos eletrônicos no mundo, além disso, há uma tendência de crescimento de produção e de consumo desses bens, muitas vezes, indispensáveis. Por conseguinte, inúmeros desses equipamentos possuem ao menos um LED.

Adicionando apenas um microcontrolador aos equipamentos que já possuem LEDs tornaríamos possível a comunicação por luz visível e assim poderíamos usar a VLC amplamente nas residências, locais públicos, entre outros. Além disso, o número tão expressivo de LEDs e a facilidade de implantação tornam esse processo facilmente aplicável e com inúmeros benefícios. Portanto, espera-se que em um futuro próximo possamos usufruir desses benefícios, como, por exemplo, ter internet proveniente dos postes públicos de iluminação ou mesmo das lâmpadas das nossas residências.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1. COMUNICAÇÃO POR LUZ VISÍVEL

Graham Bell e Charles Tainter criaram o fotofone, um dos sistemas precursores em comunicação ótica que utilizou detectores eletrônicos, patenteado nos Estados Unidos da América, em dezembro de 1880. Em 1979, F.R. Gfeller e U. Bapst deram início a comunicação ótica indoor, a qual contava com o uso de transmissões difusas na faixa de infravermelho usadas na comunicação ótica de médio alcance. (ROMANO, 2015).

Nos dias de hoje, a grande maioria das pessoas possuem um smartphone, tablet ou notebook e estão sempre conectados, independente onde estejam, o que geralmente torna as conexões lentas e instáveis.

A maioria desses dispositivos wireless faz o uso das faixas de frequência ISM. A banda ISM compõe parte do espectro de rádio que pode ser utilizada para basicamente qualquer propósito sem a necessidade de requerer licença na maioria dos países. A banda ISM engloba dispositivos muito utilizados no nosso dia a dia como é o caso da tecnologia Bluetooth, IEEE 802.15, e do Wi-Fi, IEEE 802.11. (COELHO, 2012).

A quantidade de bytes de dados enviados e recebidos por aparelhos móveis está dobrando a cada ano e a capacidade de banda da radiofrequência em breve não será suficiente para suprir a demanda, segundo o relatório da Cisco VNI, 2016.

Pouco utilizados até o final do século 20, com a transmissão via rádio parecendo mais promissora, os LEDs, começaram a aparecer, atualmente, em painéis de instrumentos de carro, aparelhos de infravermelhos e TVs. Eles são mais brilhantes, mais resistentes e mais confiáveis do que as lâmpadas incandescentes e estão gradualmente sendo substituídos. (WATTS,2012)

Na busca de novas soluções para a transmissão de dados sem fio, foi criado o chamado Visible Light Communication, ou Comunicação de Luz Visível, conhecido como VLC ou Li-Fi, pelo físico Harald Haas, na Escócia. Utilizando lâmpadas LED modificadas, o padrão permite transmitir informações até uma possível velocidade de 1 Gbps, para que as lâmpadas possam ser transformadas em aparelhos de comunicação e não apenas prover iluminação. (HASS, 2013).

A comunicação de luz visível (VLC) usa pulsos de luz super rápidos para transmitir informações sem fio, assim a lâmpada possui funcionamento similar ao de um bit. Dessa forma, se o LED está aceso, ele transmite um 1 e se está desligado, transmite um 0. (CONDLIFFE, 2011) A lâmpada pode transmitir informações quando ligada e desligada muito rapidamente -em uma velocidade imperceptível ao olho humano-. Para que elas funcionem como pontos de envio de dados, é necessário adaptá-las, abandonando a lâmpada comum pela lâmpada LED com o chip controlador de velocidade. (HASS, 2013).

É possível codificar informações na luz, variando a velocidade na qual os LEDs piscam e apagam para dar diferentes strings de 1s e 0s. A intensidade do LED é

modulada tão rapidamente que a saída aparece constante. (CONDLIFFE, 2011). A VLC centra-se na forma como estes sinais são modulados: a informação, incorporada na luz visível emitida pelos LEDs, é transmitida por meio de muitas mudanças sutis feitas à intensidade da luz na taxa ultra-alta de 100 milhões de ciclos por segundo 100MHz. Um fotodetector, que nesse trabalho é o próprio LED, monitora essas pequenas variações e converte-as de volta em um sinal digital, a partir do qual as informações transmitidas são extraídas. (WATTS,2012)

Dessa maneira, entende-se por que a VLC pode modificar a forma como os dados são entregues, oferece largura de banda relativamente alta – e a luz visível é livre e segura, porque a luz artificial, ao contrário das ondas de rádio, não penetra nas paredes, assim, é possível controlar seu feixe e mesmo que a luz esteja esmaecida até o ponto de aparecer desligada, você permanece conectado, como o sinal de LED ainda está operando. (WATTS,2012)

Além disso, o VLC é energeticamente eficiente. Lâmpadas LED consomem pouca energia em comparação com outros tipos de lâmpadas e servem os propósitos de iluminar e transmitir dados ao mesmo tempo. Além disso, transmissores e receptores VLC são dispositivos baratos. (COELHO, 2012).

Técnicas mais sofisticadas podem aumentar dramaticamente as taxas de dados VLC. Pesquisas estão se concentrando na transmissão de dados paralelos usando matrizes de LEDs, onde cada LED transmite um fluxo de informações diferentes. Outros grupos estão usando misturas de LEDs vermelhos, verdes e azuis para alterar a frequência da luz, com cada frequência codificando um canal de dados diferente. (CONDLIFFE, 2011).

### **2.1.1. Aplicações do VLC**

No geral, a comunicação óptica sem fio era operada basicamente no espectro infravermelho das ondas eletromagnéticas e era feita através da comunicação no espaço livre (FSO), antes do século XXI. Atualmente, foi desenvolvida e implementada a tecnologia VLC, comunicação por luz visível. O maior benefício é que há duas vantagens, primeiro, é transmitir informação a uma alta taxa, e segundo é resolver o problema da iluminação do ambiente em que se quer coletar a informação (ROMANO, 2015).

Segundo Hass (2013), o VLC é, em média, dez vezes mais barato do que Wi-Fi, isso porque usa sinais leves em vez de radiofrequência. Além disso, conta com a longa vida útil do LED, alta tolerância a umidade e baixo consumo de energia devido ao grande avanço na tecnologia de fabricação dos diodos emissores de luz. (CONDLIFFE, 2011).

Assim, as novas gerações de LEDs devem substituir lâmpadas incandescentes e fluorescentes gradativamente devido a sua capacidade de iluminação com baixo consumo de energia. Então, a tecnologia VLC está em processo de evolução, contando para seu sucesso com a onipresença de LEDs na infraestrutura de iluminação. (ROMANO, 2015)..

Assim, surgiu a ideia de conectar dispositivos à internet através da luz de LEDs, de forma similar ao Wi-Fi, com o potencial de apresentar maior largura de banda e resposta rápida no tempo. Esse sistema Li-Fi poderia complementar ou em alguns casos até substituir as redes Wi-Fi. (CONCEIÇÃO, 2015).

Na figura 1 está ilustrado um modelo de sistema VLC, exemplificando dispositivos de acesso a redes e sensores que podem se favorecer dessa tecnologia. É possível também observar na imagem alguns exemplos, como o acesso à internet, sincronização de informações em dispositivos móveis, download de vídeos em HD, controle remoto de sensores e termostatos e sincronização de relógios. (COELHO, 2012).

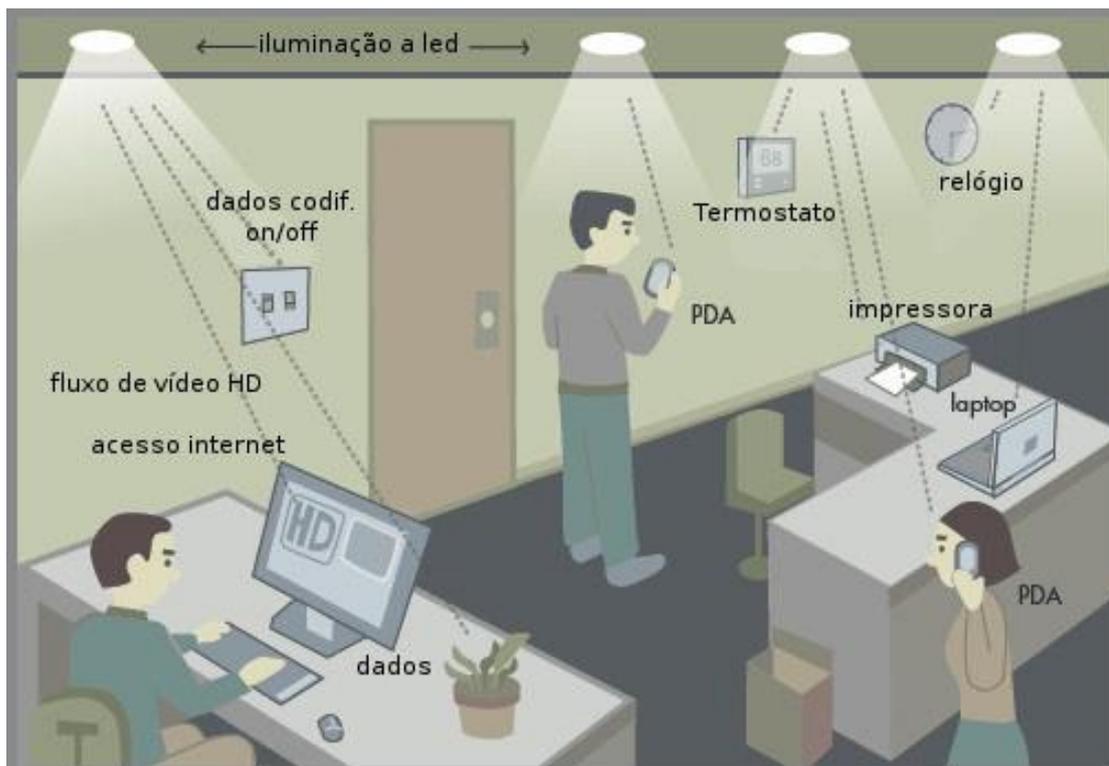


Figura 1 - Exemplo de sistema VLC

Dessa forma, grandes quantidades de informações podem ser transferidas usando várias formas de luz (infravermelho, ultravioleta e visível), em múltiplos fluxos paralelos. Os dispositivos móveis podem ser usados com iluminação regular e eletrônica e poderiam transformar a maneira como se acessa tudo, desde vídeo a jogos, acelerando a velocidade de acesso à internet por muitas centenas de megabits. (WATTS,2012)

Dessa forma o VLC cria novas soluções onde o uso de radiofrequência não é suficiente, não desejado ou impossível, já que pode ser usado com segurança em locais onde o Wi-Fi é proibido, como por exemplo em aeronaves, integrado em dispositivos médicos e hospitais, ou em lugares em que o Wi-Fi não funciona, por exemplo, em locais subaquáticos. (CONCEIÇÃO, 2015).

As aplicações potenciais são enormes. Podem fazer uso da VLC, por exemplo, cabines de aviões e ambientes sensíveis à interferência eletromagnética. Os passageiros de aeronaves não podem conectar-se à Internet ou fazer uso de equipamentos que emitam ondas de rádio, pois podem causar interferência com aparelhos de comunicação do avião, porém através dos LEDs, já usados dentro da aeronave e do VLC, poderiam iluminar e transmitir dados, permitindo que as luzes

fossem usadas para conectar celulares e laptops em pleno voo. (WATTS, 2012; HASS, 2013; CONCEIÇÃO, 2015).

Outra vantagem do VLC é proporcionar segurança em locais de trabalho que o uso de radiofrequência oferece risco de explosão. Nesse caso, o uso de VLC pode proporcionar a iluminação e a comunicação simultaneamente, diminuindo os riscos de acidentes. (CONCEIÇÃO, 2015).

Além disso, os mergulhadores que trabalham em profundidades podem usar a luz para se comunicar, já que as tecnologias que usam radiofrequência não funcionam de maneira adequada na água. (HASS, 2013). Os LEDs podem proporcionar a comunicação sem fio entre mergulhadores e/ou máquinas submarinas, já que mesmo com o alcance limitado pela atenuação da água, é possível atingir taxas de centenas de Mbps para distâncias de até 100 metros. (CONCEIÇÃO, 2015).

Em 2003, o Japão, desenvolveu o que é chamado de comunicações de luz visível subaquática, um meio de pegar a voz de um mergulhador usando um microfone em uma luz LED e enviar para outro mergulhador. (WATTS,2012).

Atualmente os satélites do sistema de posicionamento global (GPS) são disponíveis apenas em ambientes externos pela visibilidade do céu, não funcionando bem em ambientes internos, pois o sinal GPS não atravessa paredes. Essas aplicações de geolocalização podem se beneficiar do VLC. Lâmpadas, objetos fixos, podem ser usadas como referência de uma posição, possibilitando distribuir informações sobre localização, especialmente quando usar o serviço de navegação em ambientes internos grandes e com diversas salas ou saídas, como metrô, shoppings, hospitais, entre outros locais públicos, servindo de ajuda principalmente para deficientes visuais. Estudos e protótipos estão em desenvolvimento para sistemas de posicionamento global dentro de edificações usando essa tecnologia. (COELHO, 2011; CONCEIÇÃO, 2015).

Estudos apontam que o VLC pode ser usado no trânsito de cidades, já que os LEDs já são usados em semáforos e carros, para também transmitir informação. Pode ser usada a comunicação inter-veicular, permitindo, por exemplo, que veículos troquem mensagens entre si no tráfego. Uma rede adhoc pode ser formada, onde cada carro serve como um nó e repassa os dados para o carro seguinte, além disso, é possível transmitir mensagens com informações relativas ao trânsito, para controle de tráfego ou mensagens de urgência, comunicando uma informação de emergência

sobre possíveis acidentes. O veículo poderá obter informações do próprio semáforo que podem ser usados para transmitir informações para o veículo e seus ocupantes, e assim os semáforos poderiam melhor regular o fluxo de tráfego usando essas informações. O uso de VLC para comunicação dos automóveis com a infraestrutura das rodovias é uma das aplicações mais promissoras, porém exige uma enorme padronização. (COELHO, 2011; WATTS, 2012; CONCEIÇÃO, 2015).

Existem ainda aplicação na área de construção civil, para monitorar o deslocamento de estruturas significativas, por exemplo, uma ponte pode ser monitorada por sensores de imagem que recebem e detectam a direção da luz emitida em diversos pontos da ponte, o erro de posição para um objeto de 100 metros é de 5mm com um sensor de imagem não muito complexo. (COELHO, 2012).

A VLC é útil como uma alternativa para proporcionar maior segurança para a área da tecnologia de informação, protegendo a informação contra pessoas mal-intencionadas, pois já que a pessoa deve ficar onde os LEDs iluminam, fica difícil para um invasor fazer uso do sinal transmitido sem ser visto. (CONCEIÇÃO, 2015).

### **2.1.2. Desvantagens do VLC**

A tecnologia do VLC é aparentemente muito coerente e promissora, porém possui suas limitações considerando que a luz não consegue ultrapassar obstáculos. Assim, qualquer objeto que interfira no caminho da luz irá fazer com que a transmissão de dados falhe. (HASS, 2013).

A luz artificial não pode se aproximar do alcance e da penetração das ondas de rádio, essa é uma desvantagem importante. Assim, um telefone celular habilitado por Li-Fi (através de seu fotorreceptor incorporado) nunca será tão útil como rádio ao ar livre. Contudo, é possível aliviar a pressão sobre a capacidade das redes existentes através do Li-Fi, que oferecerá uma alternativa atrativa ao espectro congestionado da frequência de rádio. (WATTS, 2012)

O pequeno alcance é um dos principais obstáculos do VLC, a distância utilizada para links VLC são tipicamente de alguns metros. Comparando essa tecnologia com as comunicações de radiofrequência, essa distância é relativamente pequena. Além de que a luz fica mais sujeita a interrupções na transmissão e a intensidade da luz se atenua rápido quando se aumenta a distância entre o transmissor e o receptor. (CONCEIÇÃO, 2015)

Outro obstáculo é o fato de que o excesso de luz ambiente, como a incidência solar direta ou lâmpadas fluorescentes e incandescentes poderá saturar o fotodetector ou reduzir muito a relação sinal-ruído, forçando a redução na taxa de transmissão ou mesmo inviabilizando a comunicação. (COELHO, 2012).

Ademais, a presença de superfícies espelhadas e a refletividade das paredes do ambiente acarretará em um sinal atrasado em relação ao originado da luminária e chegará no receptor em tempos diferentes. Esse fenômeno resultará na dispersão temporal (alargamento do pulso). Para que não haja interferência inter-simbólica (um pulso que se alonga demais afetando o pulso seguinte, por exemplo), um pulso mais largo obriga a redução na taxa de bits. (COELHO, 2012).

Além disso, a lâmpada não conseguiria receber informações, sendo capaz apenas de enviar dados para o receptor. Apesar disso, esses problemas poderiam ser contornados à medida que o VLC não é uma tecnologia independente, e sim uma tecnologia que pode ser usada em conjunto com a rede Wi-Fi e 3G padrão. Dessa forma, quando a VLC falhar, bastaria se conectar automaticamente via wireless padrão. (HASS, 2013).

## 2.2. DIODO COMO SENSOR

Um diodo é um dispositivo eletrônico formado por uma junção PN, a qual também está presente em todos os semicondutores, como Leds e transistores. Como o próprio nome sugere, a junção é composta por um material do tipo P (positivo) e outro do tipo N (negativo). Com a realização do processo chamado dopagem, impurezas (átomos de Boro e Fósforo) são inseridas dentro desses materiais. Como o Boro é um elemento trivalente, surgirá uma lacuna no lado P. Por outro lado, sobrá um elétron no lado N, pois o fósforo possui 5 elétrons na última camada.

Quando os materiais P e N são ligados entre si, os elétrons que estão sobrando no lado N são atraídos pelas lacunas do lado P. Esse fenômeno equilibra o diodo e é chamado de recombinação. No entanto, tal fato só ocorre no centro da junção, onde as forças de atração são mais fortes. Essa área central de estabilidade é chamada de camada de depleção.

A junção PN pode ser polarizada direta ou reversamente. Na polarização reversa, o lado N é ligado ao pólo positivo da fonte e o lado P é ligado ao pólo negativo. Com isso, as cargas concentram-se nos extremos do diodo devido ao fato de que

os opostos se atraem. Desse modo, a camada de depleção ficará maior, impedindo que a corrente elétrica circule pelo diodo. Já para ocorrer a polarização direta, o lado N é ligado ao pólo negativo e o lado P ao pólo positivo da fonte. Isso fará com que a fonte “empurre” as cargas para dentro do diodo, fazendo com que a camada de depleção fique cada vez menor, até o ponto em que ela acabe possibilitando assim que os elétrons fiquem livres para recombinarem-se. A recombinação e seguinte condução de corrente ocorrerá quando a tensão da fonte for maior ou igual a 0,7 volts para diodos de silício.

Podemos explorar essas características da junção PN para criarmos os mais variados sensores. O sensor de temperatura tira vantagem da propriedade que diz que a corrente reversa na junção PN é diretamente proporcional à temperatura do silício. Desse modo, um diodo, por exemplo, pode ser usado como um sensor de temperatura em circuitos que não exigem uma precisão muito alta, possibilitando um custo bem mais baixo em relação a outros sensores.

Outro exemplo de sensor usando a junção PN são os painéis solares. Quando uma fonte de luz externa, no caso o sol, incide sobre o painel, elétrons e lacunas da camada de depleção são liberados. O campo elétrico faz com que os elétrons se desloquem para o material tipo P e as lacunas para o tipo N. Esse fluxo de elétrons e lacunas gera uma voltagem e conseqüente corrente elétrica, que será armazenada em “baterias” para uso posterior.

Com os Leds acontece algo similar. Eles são dispositivos cuja resistência depende da intensidade da luz que neles incide, sendo essa resistência mais alta quando o Led está exposto à pouca luz. Conforme aumenta-se a intensidade da fonte de luz, essa resistência diminui rapidamente. Nos testes realizados nesse trabalho e apresentados na seção “resultados”, essa variação está bem visível e coerente com o comportamento esperado do Led.

### 2.3. ELEMENTOS DE UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

A comunicação de dados pode ser definida basicamente como aquela que trata da comunicação entre dispositivos e elementos diferentes ou semelhantes, por meio de um meio de transmissão comum. Um sistema de comunicação é constituído de alguns elementos básicos: transmissor, receptor, meio de comunicação e mensagem. (PERCÍLIA, 2017).

O transmissor é o dispositivo que modula e codifica a mensagem de dados, para logo após enviá-la ao receptor, o transmissor pode ser um computador, uma estação de trabalho ou um telefone, por exemplo. O receptor, por sua vez, é o elemento da rede que recebe e trata a informação recebida, demodulando e decodificando os dados. Já o meio de comunicação é definido como o caminho físico por onde trafega a mensagem emitida pelo transmissor e dirigida ao receptor. Por fim temos a mensagem, que é o item mais importante do sistema de comunicação, todo o sistema trabalha para que a informação contida na mensagem chegue no receptor a mais fidedigna possível. Ela pode ser constituída de texto, números, figuras, áudio e vídeo ou uma combinação desses itens. (PERCÍLIA, 2017).

Nesse trabalho, tanto o receptor quanto o transmissor foram diodos emissores de luz (LEDs), o meio de comunicação foi o espaço livre e a mensagem transmitida foi um conjunto de 100 bytes.

### **2.3.1. Transmissão Assíncrona**

Uma transmissão é dita assíncrona quando não é especificado, no receptor, nenhuma técnica de sincronização relativa ao emissor, ou seja, não é utilizado nenhum sinal de relógio. Deste modo, as sequências de bits enviadas devem conter dentro de si uma indicação, tanto para o início quanto para o fim de cada conjunto de dados; neste caso, o intervalo de tempo entre os envios de cada grupo de bits pode variar (pois não há nenhum clock que imponha sincronismo). (ESCOLA, 2013).

Sendo assim, a leitura, demodulação e decodificação das informações terá de ser feita pelo receptor tendo em vista apenas as sequências de bits recebidos e o protocolo utilizado pelo transmissor na codificação e modulação dos dados. (ESCOLA, 2013).

### **2.3.2. Codificação Digital**

Para que uma informação possa ser transmitida em um sistema de comunicação digital, é necessário que haja uma mudança na representação de tal informação. Para haver a comunicação, essa transformação para um sinal digital deve ser realizada observando-se as condições do sistema de comunicação. (BREUNIG, 2016).

Existem várias maneiras de modulação e codificação digital. Uma das mais simples consiste em representar 1s com o uso de uma tensão positiva e representar os 0s com uma tensão negativa ou nula. Em se falando de VLC, podemos usar a presença de luz como sendo bits 1s e a ausência de tal como sendo a representação de 0s. (BREUNIG, 2016).

Entretanto, essa forma de representação apresenta alguns problemas quando aplicada em um sistema VLC. Como o objetivo é termos uma iluminação constante perante a percepção humana, teríamos um grande problema caso o transmissor enviasse uma longa sequência de 0s, por exemplo. Isso resultaria em uma “lacuna” na iluminação.

Para eliminarmos esse empecilho, deve ser usada uma codificação que possua um equilíbrio do nível DC, pois assim independente de qual bit estiver sendo enviado, teremos dois níveis para representa-lo, eliminado o problema citado anteriormente. No item seguinte, será apresentada a codificação Manchester, que foi a escolhida para a realização das transmissões desse trabalho por possuir a característica do equilíbrio do nível DC.

### 2.3.3. Codificação Manchester

A codificação Manchester possui o que é chamado de equilíbrio do nível DC, o que significa que ela mantém o número de 1s e 0s iguais, pois cada bit enviado é dividido em metades complementares. Desse modo, serão enviados dois bits (0 e 1) para cada sinal, independentemente de o sinal ser 0 ou 1. O que vai diferenciar um bit 0 de um bit 1 é justamente essa transição, de modo que uma transição de tensão de valor positivo para valor negativo no meio do bit indica o envio de um bit ‘0’. Para enviar um bit ‘1’, a transição é inversa: indo de um valor negativo de tensão para um valor positivo.

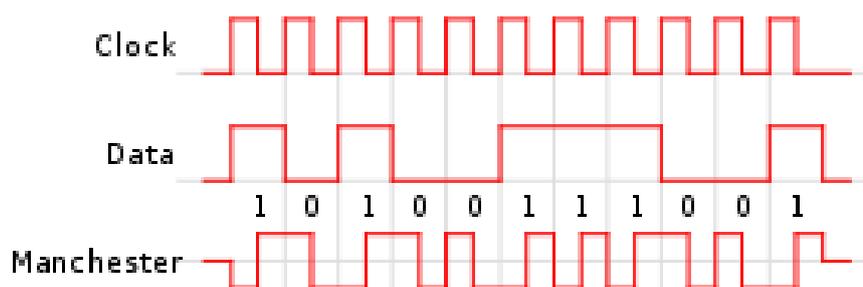


Figura 2 - Exemplo de codificação Manchester

Infelizmente, a codificação Manchester também possui uma desvantagem. Por ela representar cada sinal com dois bits, a frequência será afetada. O uso dessa codificação é desejável pelo fator de ela possuir o equilíbrio DC, porém esse equilíbrio traz o custo de dobrar o tempo necessário para o envio da sequência de bits, diminuindo a frequência pela metade.

#### **2.3.4. Avaliação de erros**

De acordo com Souza (2013), um sistema de comunicação de dados que utiliza luz visível consiste em um sistema de transmissão de dados onde o transmissor possui tanto a função de enviar dados quanto a de iluminar determinado ambiente. Além disso, compete ao receptor diferenciar as alterações na iluminação emitida pelo transmissor para poder recuperar os dados enviados.

Para termos uma noção dos erros durante a transmissão, podemos comparar, no micro controlador (Arduino, nesse caso), os dados recebidos com os dados enviados e assim obter informações do sistema como a Taxa de Erro de Bit (BER), obtida através da seguinte equação. (BREUNIG, 2016).

$$BER = \frac{\text{Bits recebidos com erro}}{\text{Total de bits transmitidos}}$$

Essa informação foi usada para avaliar o desempenho do sistema nas diferentes condições e configurações dos testes realizados nesse trabalho.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. MATERIAIS UTILIZADOS**

Para a execução deste trabalho foram usados os seguintes componentes (Figura 3):

- a. 2 Arduinos MEGA 2560
- b. Canaleta plástica de passagem de fios
- c. Protoboard
- d. Leds vermelhos de 5mm

- e. Jumpers eletônicos
- f. Resistores de 150 Ohms
- g. Resistor de 68 Ohms

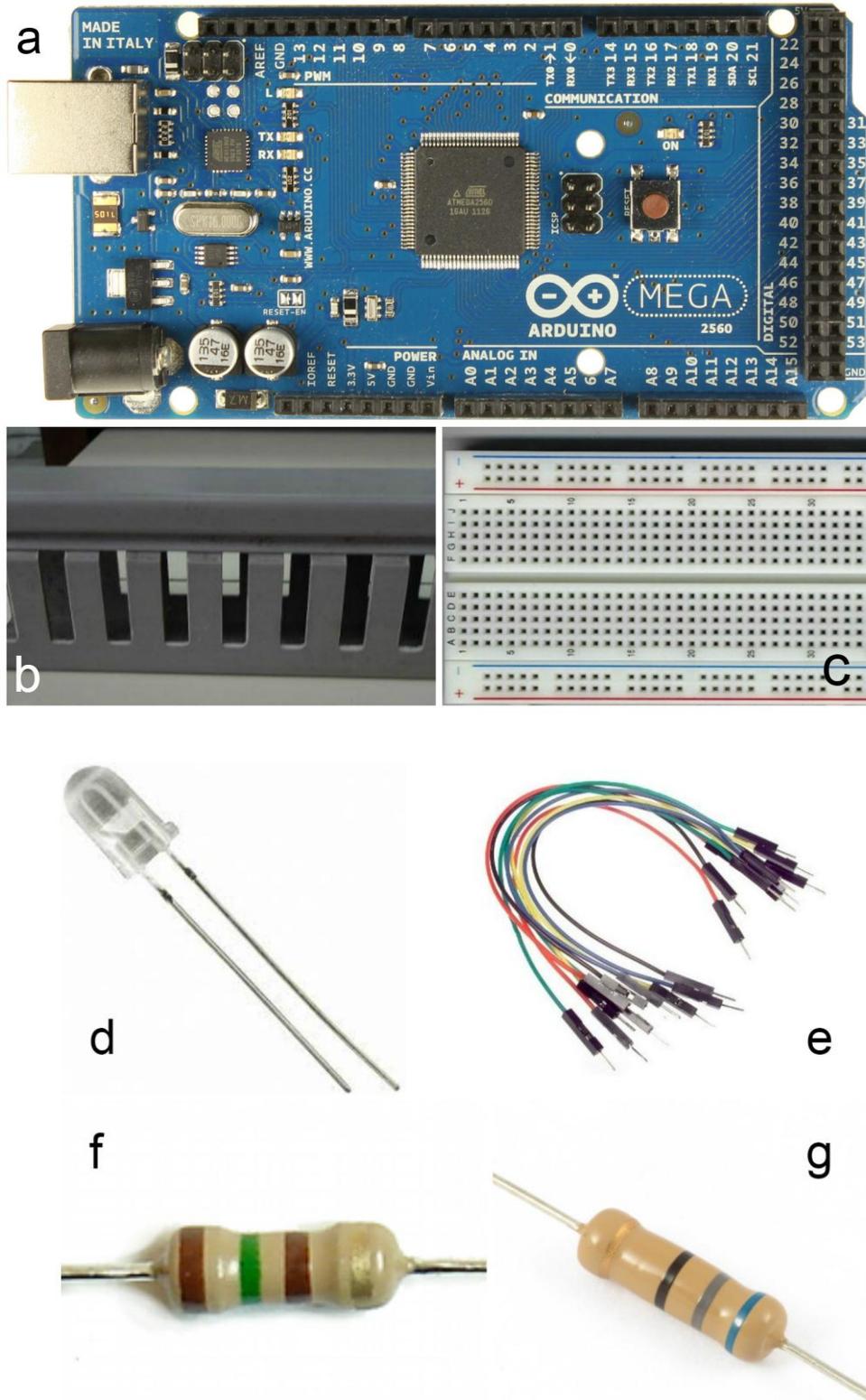


Figura 3 - Componentes utilizados

A montagem básica usada em todos os testes especificados nesse relatório foi feita sobre uma canaleta plástica usada para passagens de fios. Sobre a sua tampa foram fixados tanto o receptor (fixo) quanto o conjunto transmissor (arduino+protoboard). Desta forma foi possível variar a distância dos testes mantendo o exato ângulo e linha de visada em todas as distâncias.

Alguns Leds de 5mm foram soldados para que ficassem na configuração desejada (série e paralelo). Já no transmissor foi necessário o uso de uma placa protoboard e de jumpers eletrônicos, pois é necessário um circuito diferente para cada configuração.

Os resistores de 150 e 68 Ohms tiveram a função de limitar e igualar o máximo possível a corrente nos Leds transmissores em todas as configurações usadas. O resistor de 68 Ohms foi usado na configuração em série dos Leds, enquanto os de 68 Ohms foram usados tanto na configuração paralelo como também quando foi usado apenas um Led no transmissor.

### 3.2. METODOLOGIA DOS TESTES

Os primeiros testes realizados tiveram por objetivo aferir os valores lidos de luminosidade variando-se a distância entre o transmissor e o receptor. Tais testes foram realizados no mesmo ambiente, porém em dois cenários distintos: o primeiro foi com as luzes acesas (várias lâmpadas fluorescentes tubulares espalhadas pelo teto da sala gerando um ambiente bem iluminado e constante) e o segundo foi com todas essas lâmpadas apagadas, tendo como fonte de iluminação alheia ao circuito apenas a luz emitida pelo monitor do computador usado para programar os microcontroladores.

Em cada um desses cenários também foram alteradas as configurações do transmissor e do receptor, sendo combinados 1 led, 2 Leds em paralelo e 2 leds em série, totalizando 9 configurações diferentes para cada cenário.

Logo após obter os dados de luminosidade, o próximo passo foi fazer a transmissão de dados para medir a BER (*bit error rate*). Os valores resultantes dos primeiros testes foram usados como parâmetros para definir o valor limite de luminosidade que seria usado para distinguir se o valor lido pelo receptor deveria ser considerado como 0 ou como 1. Assim como os primeiros, os testes de transmissão

de dados também foram feitos em 9 configurações diferentes para cada um dos dois cenários já citados.

### 3.3. MONTAGEM DO CIRCUITO

Para a realização dos testes, desejamos que todos os Leds, independente da configuração em que estejam sendo usados, possuam a mesma corrente passando por eles, pois desta forma asseguramos a mesma luminosidade em todos eles. Para que isso ocorra, foram usados resistores para limitar essa corrente. A equação abaixo mostra como foram calculados esses resistores.

$$R = \frac{\textit{Tensão do Arduino} - \textit{Tensão do LED}}{\textit{Corrente desejada no LED}}$$

A corrente que foi adotada para uso em todos os Leds foi de aproximadamente 22,5 mili ampéres. Tendo essa corrente como base, sabendo que a tensão fornecida pelo Arduino é de 5 V e que a tensão no Led é aproximadamente 1,7 volts, a equação gerou os valores que deveriam ser usados com os Leds.

Quando usamos apenas 1 Led no transmissor, chegamos ao valor de 146.67 ohms, como mostra a equação a seguir.

$$R = \frac{5\text{ V} - 1.7\text{ V}}{0.0225\text{ mA}} = 146.67\ \Omega$$

Nos testes usando essa configuração foi usado o resistor de 150 ohms, pois foi o de valor comercial mais próximo ao valor calculado.

Quando foram usados 2 Leds em paralelo, foi usado um resistor de 150  $\Omega$  para cada Led, ficando o circuito exatamente como o mostrado na figura 4.

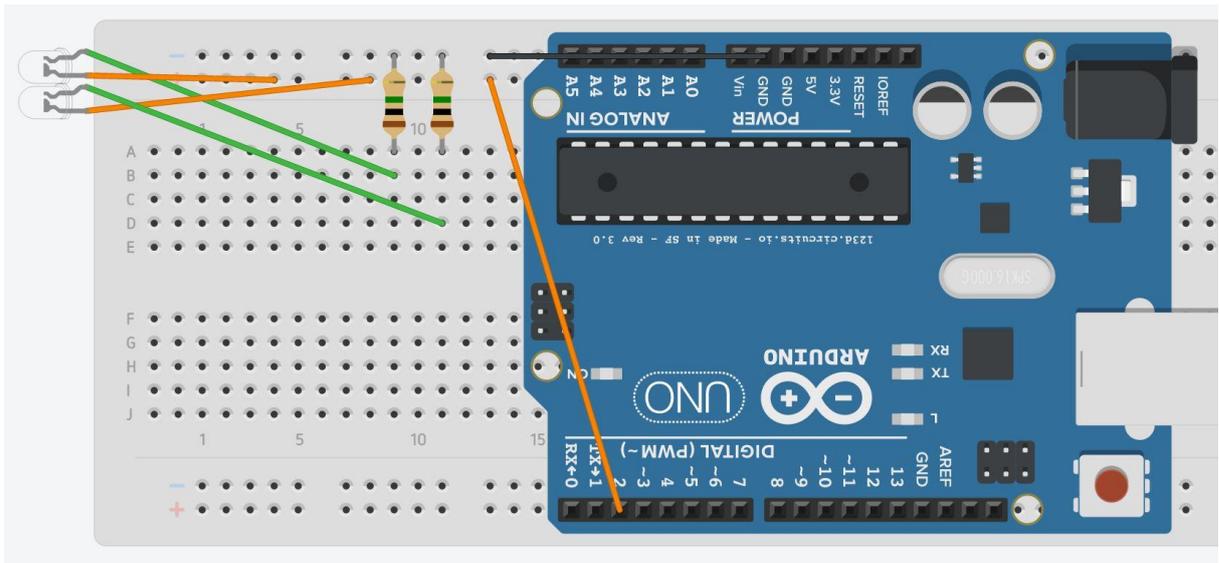


Figura 4 - Circuito usado para a configuração 2 Leds em paralelo, com 2 resistores de 150 ohms

Já quando foram usados 2 Leds em série, a equação muda um pouco, pois a corrente que passará nos dois Leds será a mesma. Agora devemos utilizar a tensão de ambos os Leds na equação para obtenção do valor do resistor, ficando da seguinte maneira:

$$R = \frac{5V - 2 \times 1.7V}{0.0225mA} = 71.11 \Omega$$

Novamente, como não havia disponível um resistor comercial com esse valor exato, o resistor usado na configuração 2 Leds em série foi o resistor de 68 ohms.

A figura 5 mostra como ficou montado o circuito nessa configuração.

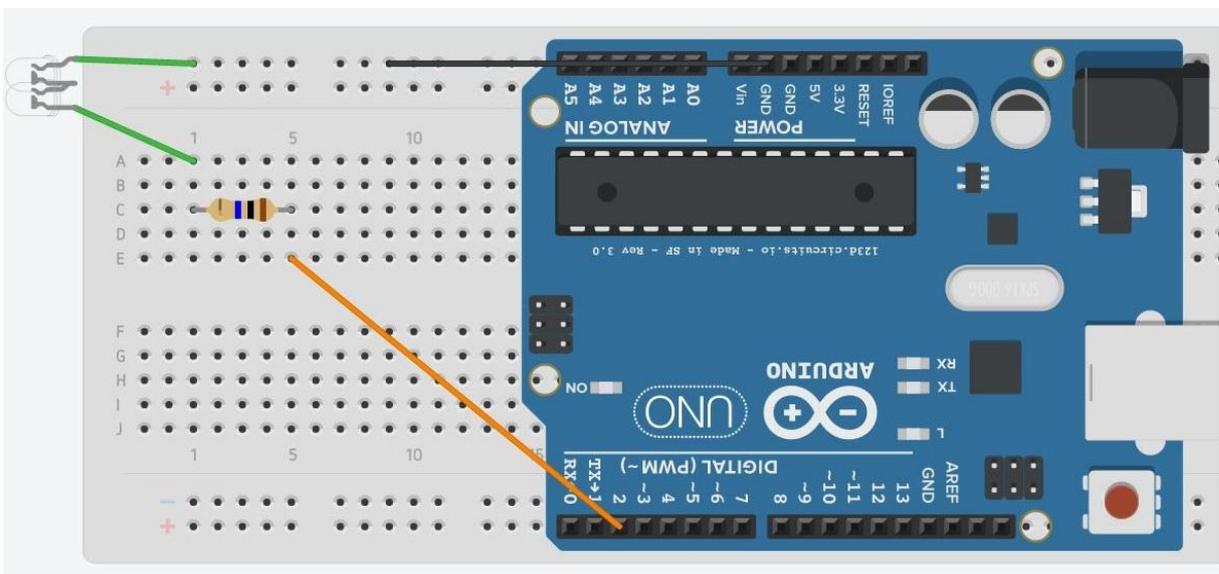


Figura 5 - Circuito usado para a configuração 2 Leds em série, com 1 resistor de 68 ohms

A figura 6 mostra um exemplo de montagem do circuito, desta vez um dos que foram usados para realização dos testes desse trabalho. Nessa figura, podemos ver 2 Leds em série como transmissor e 1 Led como receptor, na distância de 0 centímetros.

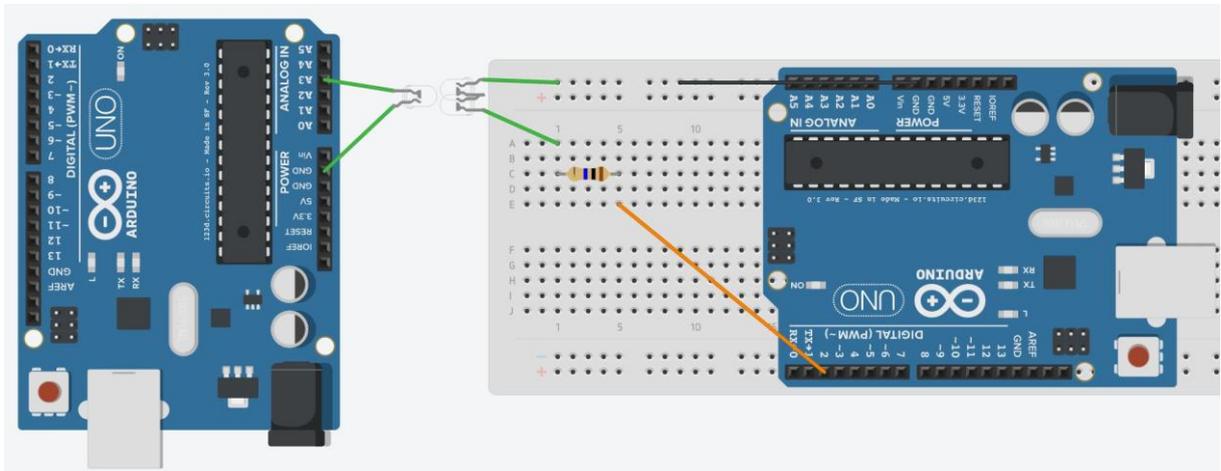


Figura 6 - Exemplo de montagem do circuito para realização dos testes

### 3.4. ALGORITMO

As figuras 7 e 8 mostram os fluxogramas do transmissor e do receptor, respectivamente. No transmissor, o primeiro estado ocorre quando o Led fica oscilando. Esse estado tem a função de garantir que o RX não detecte um ruído como sendo o início da transmissão. O segundo e terceiro estados funcionam como “trigger” para sinalizar ao receptor quando ele deve começar a ler os bits enviados pelo TX. Por último e mais importante, no quinto estado ocorre a transmissão efetiva dos bits.

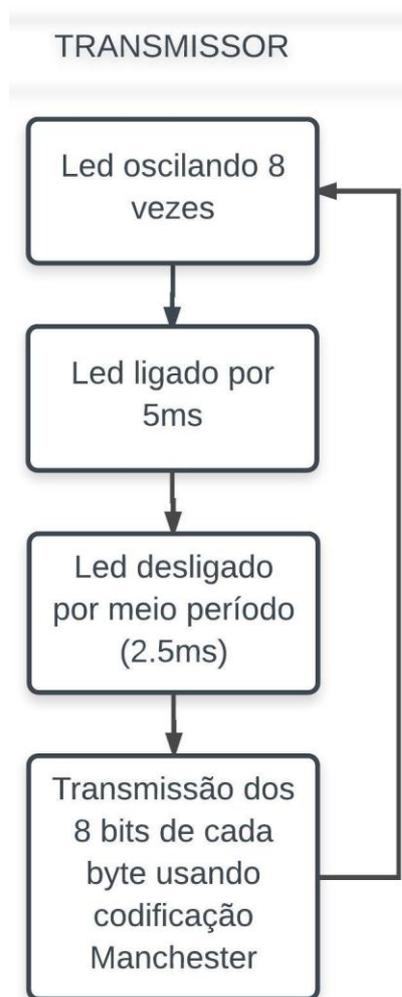


Figura 7 - Fluxograma do transmissor

No receptor, o microcontrolador fica trancado no primeiro estado realizando diversas leituras para prosseguir para o próximo estado apenas quando o Led permanecer acesso por no mínimo 3.9ms. O segundo e terceiro estados são os delays que antecedem a leitura dos bits. No quarto estado, ocorre a leitura dos bits e a contagem de erros usando o byte pré definido como referência. No quinto estágio, se os erros do byte lido em relação ao byte referência forem maior ou igual a 6, o caracter é considerado como sendo o fim do algoritmo, retornando assim para o começo do

código. Caso o erro seja menor do que 6, o caracter lido é impresso e o próximo estado será o primeiro.

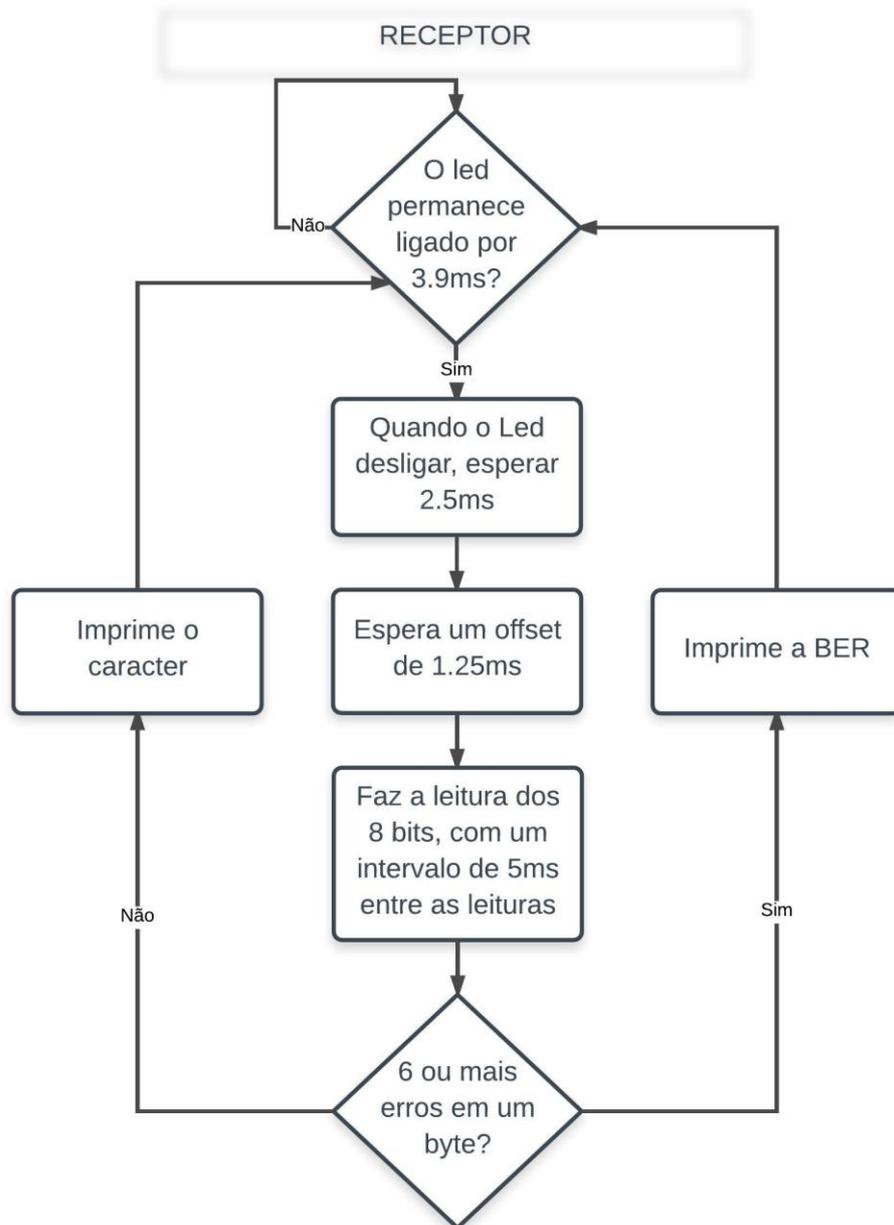


Figura 8 - Fluxograma do receptor

## 4. RESULTADOS

Para poder realizar a análise da variação da BER conforme a distância, é necessário primeiro que se tenha conhecimento sobre os níveis de intensidade luminosa no receptor quando o sistema está exposto à luz ambiente e no escuro também.

A leitura da porta analógica do arduino retorna um valor entre 0 e 1023, correspondendo respectivamente a 0 e 5 Volts. Na tabela são apresentados os dois formatos de representação, tendo em vista que na programação do Arduino foi usado o primeiro formato (para evitar manipulações numéricas desnecessárias que resultariam apenas em memória e tempo extra) e nos gráficos foi usado o segundo formato (voltagem). A conversão de um modo para o outro é bem simples: para obter o valor em volts, por exemplo, basta apenas multiplicar o valor lido pela porta analógica por 5 e dividir por 1023.

A figura 9 mostra um exemplo de montagem para realização desses testes. No caso dessa figura, podemos ver 2 Leds em série como transmissor e 1 Led como receptor, na distância de 0 centímetros.

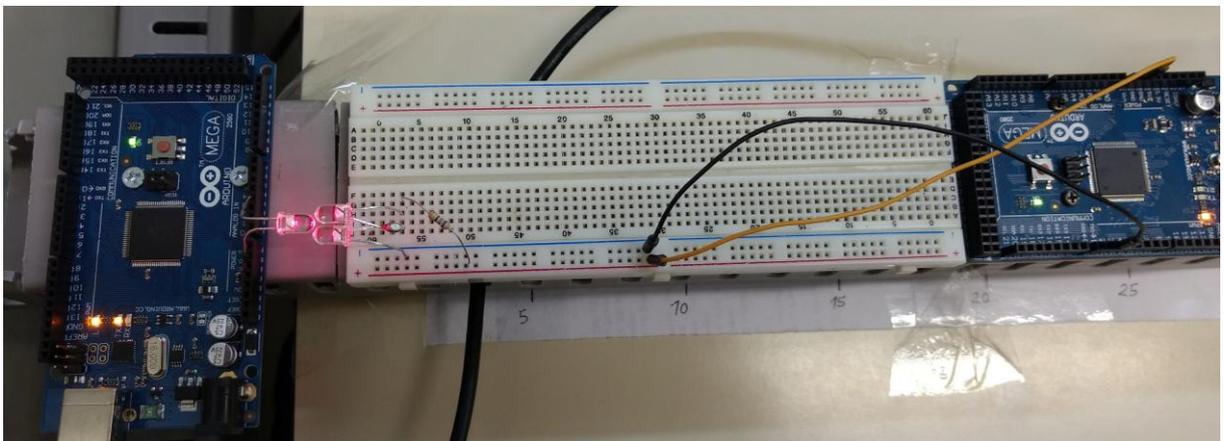


Figura 9 - Montagem para realização dos testes

#### 4.1. PRIMEIRO CENÁRIO- AMBIENTE ILUMINADO

##### 4.1.1. Teste do valor de luminosidade no Rx variando a distância entre Rx e Tx

###### Rx fixo – 1 Led

As tabelas a seguir mostram os valores de luminosidade para o primeiro cenário (sala com as luzes acesas) variando-se a distância entre o receptor e o transmissor. Ambos os códigos, tanto do receptor quanto do transmissor que foram usados para gerar tais valores podem ser vistos na seção apêndice.

A tabela 1 apresenta as três configurações diferentes do emissor para a mesma configuração do receptor: apenas 1 Led. Nessas três configurações o valor lido pelo

receptor quando o transmissor está desligado, ou seja, apenas a leitura da luminosidade ambiente, foi de 183 ou 0,894 Volts.

Distância em cm			0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	RX	TX													
Valor lido	1 LED	1 LED	251	222	210	204	200	197	196	195	194	193	192	191	191
Valor em Volts			1,227	1,085	1,026	0,997	0,978	0,963	0,958	0,953	0,948	0,943	0,938	0,934	0,934
valor lido	1 LED	2 LEDs série	253	232	221	213	209	205	202	200	198	197	196	195	194
valor em Volts			1,237	1,134	1,080	1,041	1,022	1,002	0,987	0,978	0,968	0,963	0,958	0,953	0,948
valor lido	1 LED	2 LEDs paralelo	253	232	221	213	209	204	202	200	198	197	196	195	194
valor em Volts			1,237	1,134	1,080	1,041	1,022	0,997	0,987	0,978	0,968	0,963	0,958	0,953	0,948

Tabela 1 - Testes de luminosidade com Rx fixado em 1 LED, em ambiente iluminado

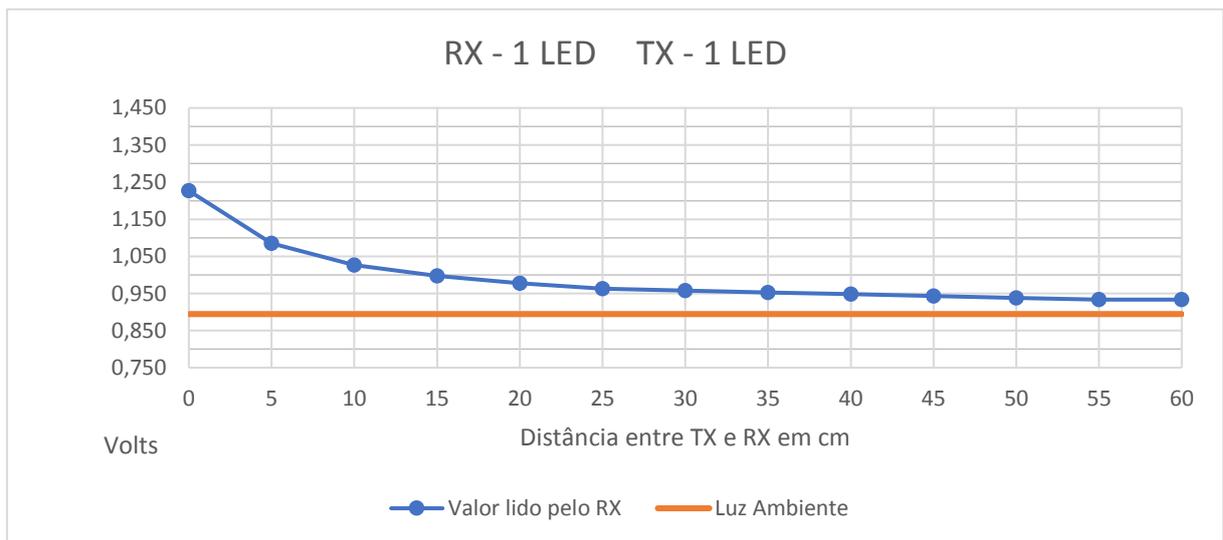
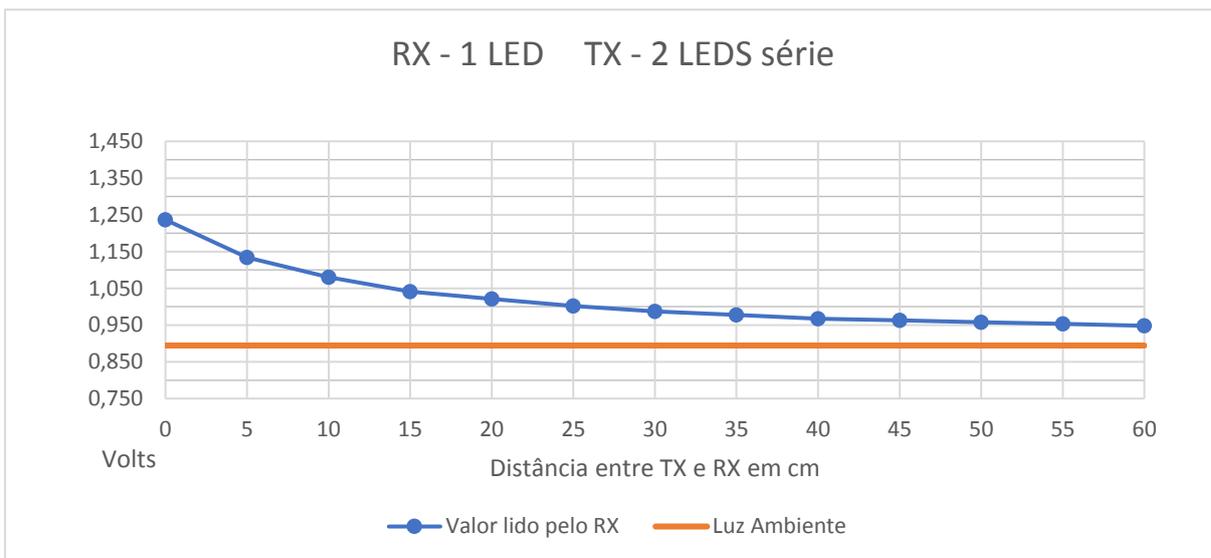
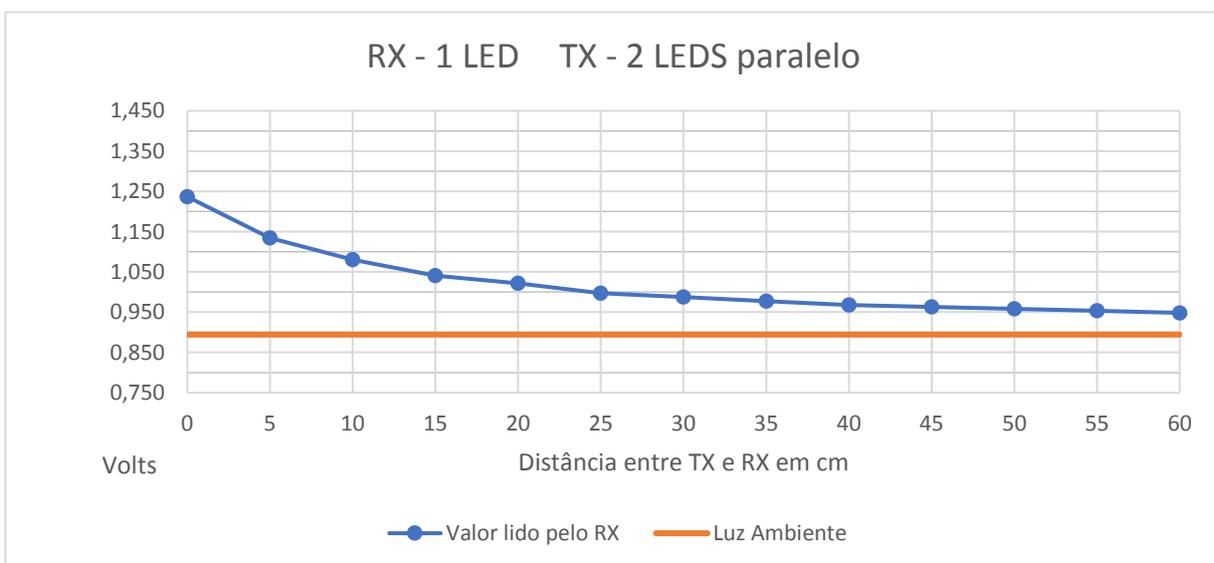


Gráfico 1 – Valor de luminosidade sendo RX - 1 LED TX - 1 LED

Os gráficos 1, 2 e 3 foram feitos com base nos dados da tabela 1, para uma melhor compreensão. Foi inserido também uma linha limite que é o valor da luz ambiente.



**Gráfico 2 – Valor de luminosidade sendo RX - 1 LED TX - 2 LEDS série**



**Gráfico 3 – Valor de luminosidade sendo RX - 1 LED TX - 2 LEDS paralelo**

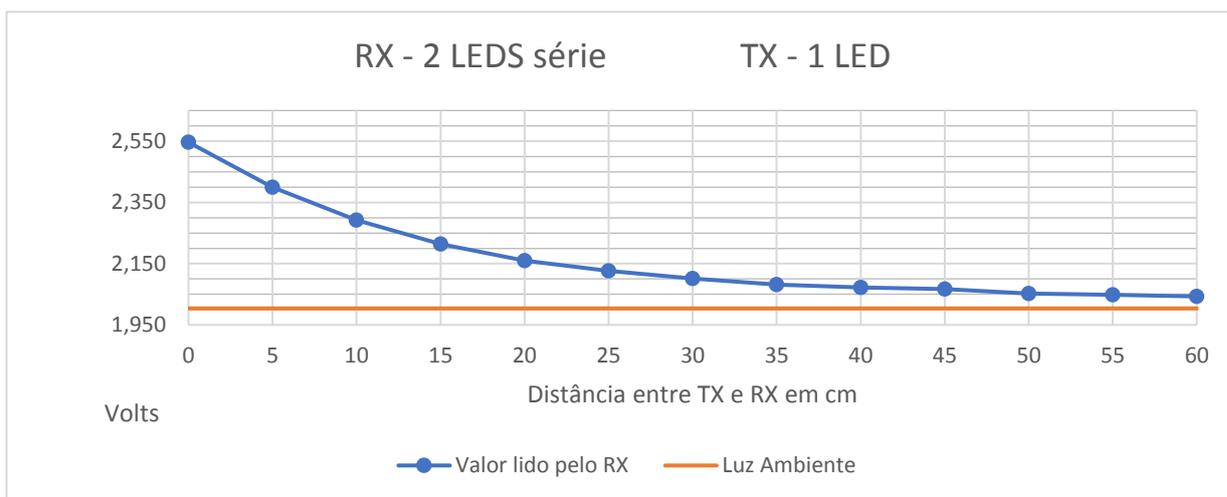
### **Rx fixo – 2 Leds em série**

A tabela 2 apresenta novamente as três configurações diferentes do emissor, mantendo o receptor fixo como sendo 2 Leds em série. Nessas três configurações o valor lido pelo receptor quando o transmissor está desligado, ou seja, apenas a leitura da luminosidade ambiente, foi de 410 ou 2,004 Volts.

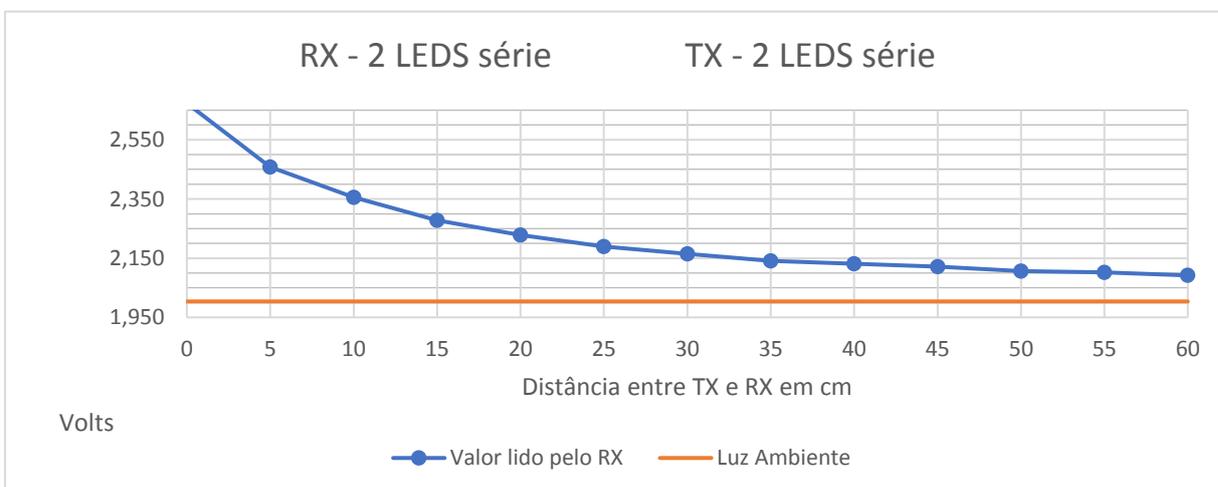
Distância em cm			0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	RX	TX													
Valor lido		1 LED	521	491	469	453	442	435	430	426	424	423	420	419	418
Valor em Volts			2,546	2,400	2,292	2,214	2,160	2,126	2,102	2,082	2,072	2,067	2,053	2,048	2,043
Valor lido	2 LEDS série	2 LEDS série	547	503	482	466	456	448	443	438	436	434	431	430	428
Valor em Volts			2,674	2,458	2,356	2,278	2,229	2,190	2,165	2,141	2,131	2,121	2,107	2,102	2,092
Valor lido	2 LEDS paralelo	2 LEDS paralelo	542	503	481	466	456	449	444	439	436	434	432	429	428
Valor em Volts			2,649	2,458	2,351	2,278	2,229	2,195	2,170	2,146	2,131	2,121	2,111	2,097	2,092

**Tabela 2 - Testes de luminosidade com Rx fixado em 2 Leds em série, em ambiente iluminado**

Os gráficos 4, 5 e 6 foram feitos com base nos dados da tabela 2, para uma melhor compreensão. Foi inserido também uma linha limite que é o valor da luz ambiente.



**Gráfico 4 – Valor de luminosidade sendo RX – 2 LEDS série TX - 1 LED**



**Gráfico 5 – Valor de luminosidade sendo RX – 2 LEDS série TX - 2 LEDS série**

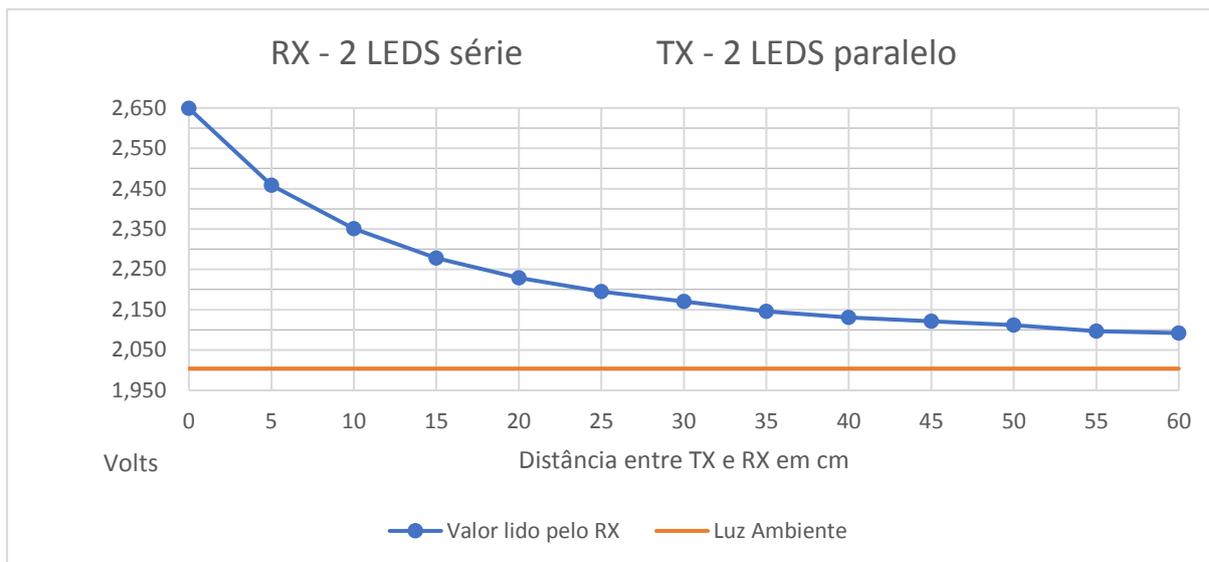


Gráfico 6 – Valor de luminosidade sendo RX – 2 LEDs série TX - 2 LEDs paralelo

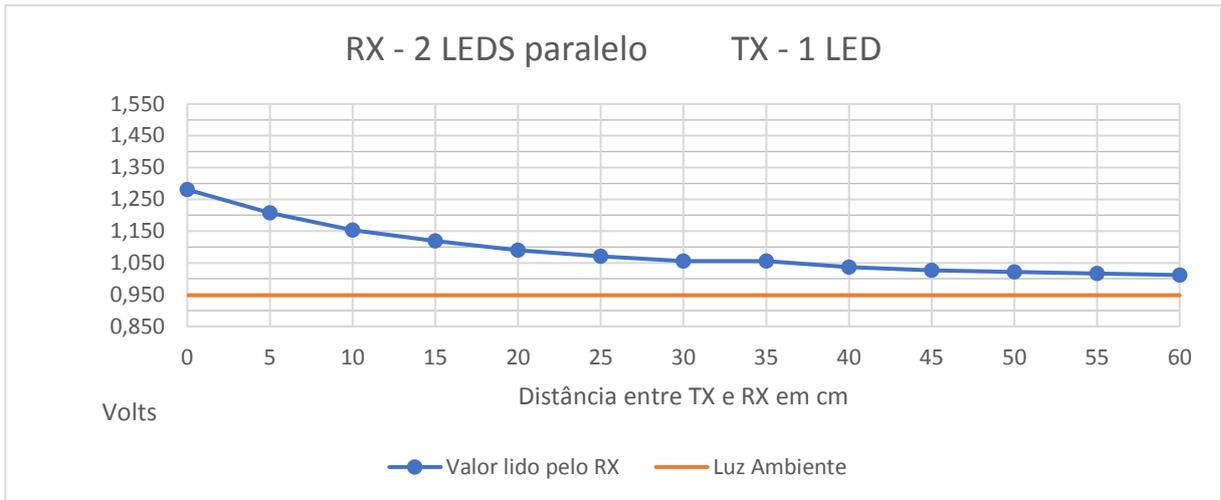
### Rx fixo – 2 Leds em paralelo

A Tabela 3 apresenta as três últimas configurações diferentes do emissor, mantendo o receptor fixo como sendo 2 Leds em paralelo. Nessas três configurações o valor lido pelo receptor quando o transmissor está desligado, ou seja, apenas a leitura da luminosidade ambiente, foi de 194 ou 0,948 Volts.

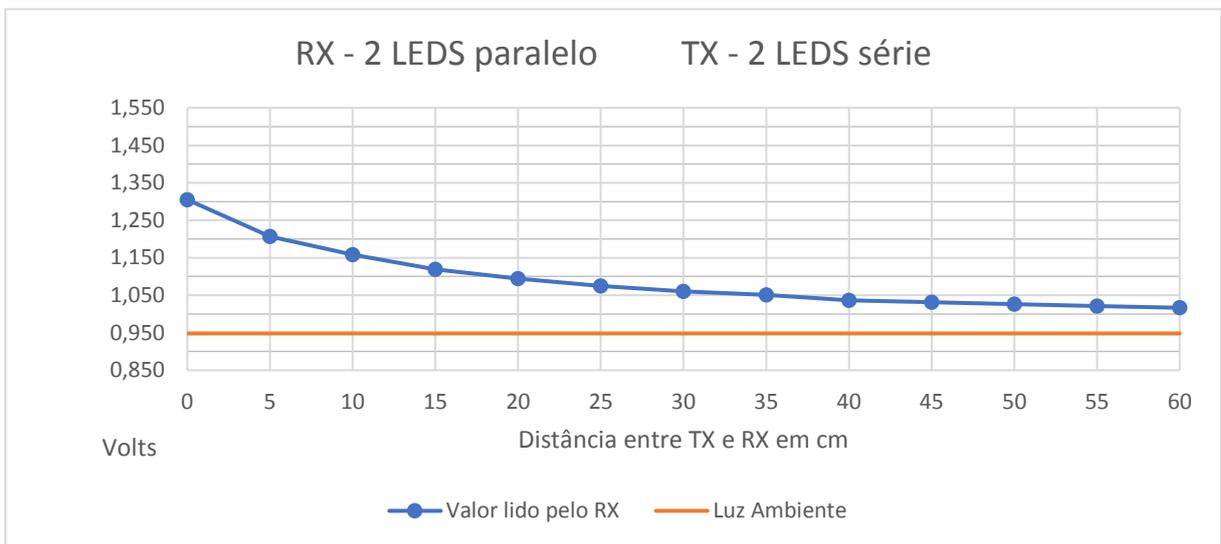
Distância em cm	RX	TX	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Valor lido	2 LEDs paralelo	1 LED	262	247	236	229	223	219	216	216	212	210	209	208	207
Valor em Volts		1 LED	1,281	1,207	1,153	1,119	1,090	1,070	1,056	1,056	1,036	1,026	1,022	1,017	1,012
Valor lido	2 LEDs paralelo	2 LEDs série	267	247	237	229	224	220	217	215	212	211	210	209	208
Valor em Volts		2 LEDs série	1,305	1,207	1,158	1,119	1,095	1,075	1,061	1,051	1,036	1,031	1,026	1,022	1,017
Valor lido	2 LEDs paralelo	2 LEDs paralelo	266	247	235	228	223	219	216	214	212	210	209	208	207
Valor em Volts		2 LEDs paralelo	1,300	1,207	1,149	1,114	1,090	1,070	1,056	1,046	1,036	1,026	1,022	1,017	1,012

Tabela 3 - Testes de luminosidade com Rx fixado em 2 Leds em paralelo, em ambiente iluminado

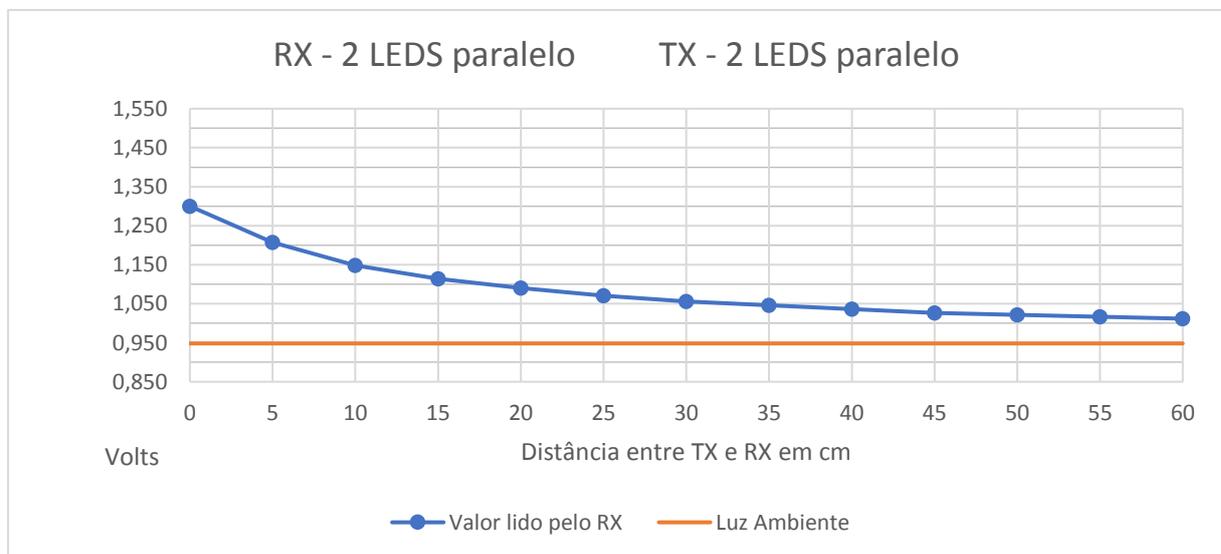
Os gráficos 7, 8 e 9 foram feitos com base nos dados da tabela 3, para uma melhor compreensão. Foi inserido também uma linha limite que é o valor da luz ambiente.



**Gráfico 7 – Valor de luminosidade sendo RX – 2 LEDS paralelo TX - 1 LED**



**Gráfico 8 – Valor de luminosidade sendo RX – 2 LEDS paralelo TX - 2 LEDS série**



**Gráfico 9 – Valor de luminosidade sendo RX – 2 LEDS paralelo TX - 2 LEDS paralelo**

#### 4.1.2. Teste da BER variando a distância entre Rx e Tx.

Com os dados de luminosidade, foi possível testar os melhores valores para serem usados como parâmetros para fazer a transmissão dos dados e assim obter a BER.

Abaixo são apresentados os resultados dos testes da BER. A linha “limite\_luz” mostra os valores que foram adotados como parâmetro para decidir quando um valor lido deve ser considerado como 0 ou como 1. Na parte da análise dos resultados, é explicado porque esse limiar muda de valor conforme vamos alterando a distância entre o transmissor e o receptor. Já a linha “erros” apresenta o número absoluto de bits que foram lidos errados durante a transmissão dos N bytes. A BER foi calculada seguindo a seguinte fórmula:

$$BER = \frac{Erros}{8 \times N}$$

N é o número de bytes enviados na transmissão, nos testes apresentados nesse trabalho o valor de N é igual a 100.

#### Rx fixo – 1 Led

Fixando o receptor em 1 Led, temos os seguintes resultados:

Distância		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	RX TX													
limite_luz	1 LED	193	193	193	193	193	192	191	191	190	190			
Erros		0	0	0	0	0	0	2,1	17,4	92,5	142,7			
BER		0	0	0	0	0	0	0,003	0,022	0,116	0,178			
limite_luz	1 LED 2 LEDs série	193	193	193	193	193	193	193	193	192	191	191	191	190
Erros		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,4	10,3	111,6
BER		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,004	0,013	0,140
limite_luz	1 LED 2 LEDs paralelo	194	194	194	194	194	194	193	192	192	191	191	191	
Erros		0	0	0	0	0	0	0	0	7,3	26,6	42,0	95,4	
BER		0	0	0	0	0	0	0	0	0,009	0,033	0,053	0,119	

Tabela 4 - Valores da BER com Rx fixado em 1 LED, em ambiente iluminado

Os gráficos 10, 11 e 12 mostram a BER no eixo principal (esquerdo) e os erros de modo absoluto no secundário (direito). Os três gráficos foram originados da tabela 4.

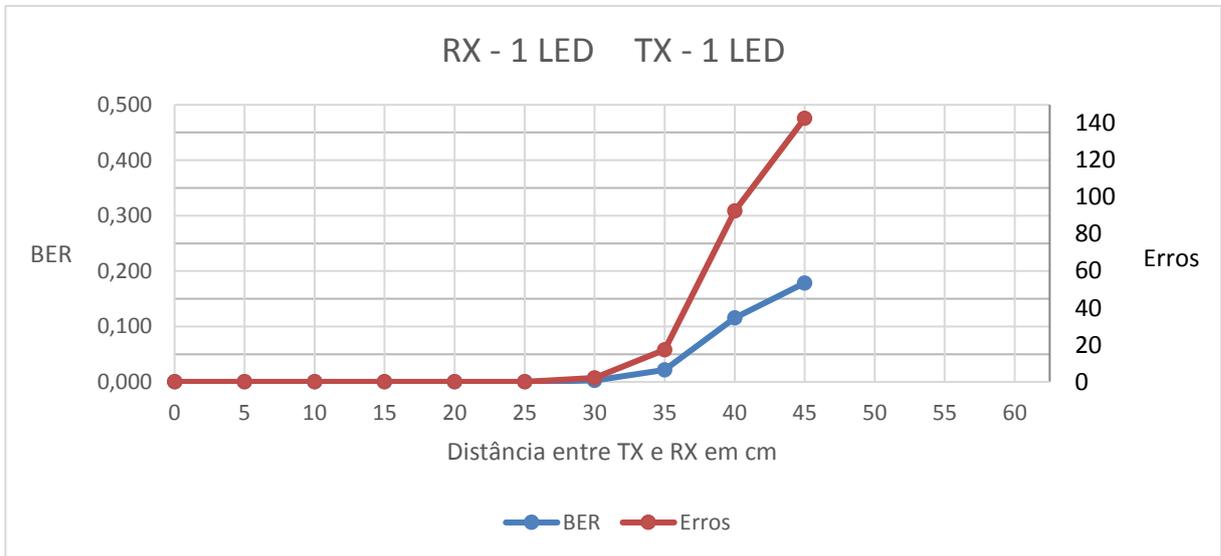


Gráfico 10 – Teste da BER sendo RX - 1 LED TX - 1 LED

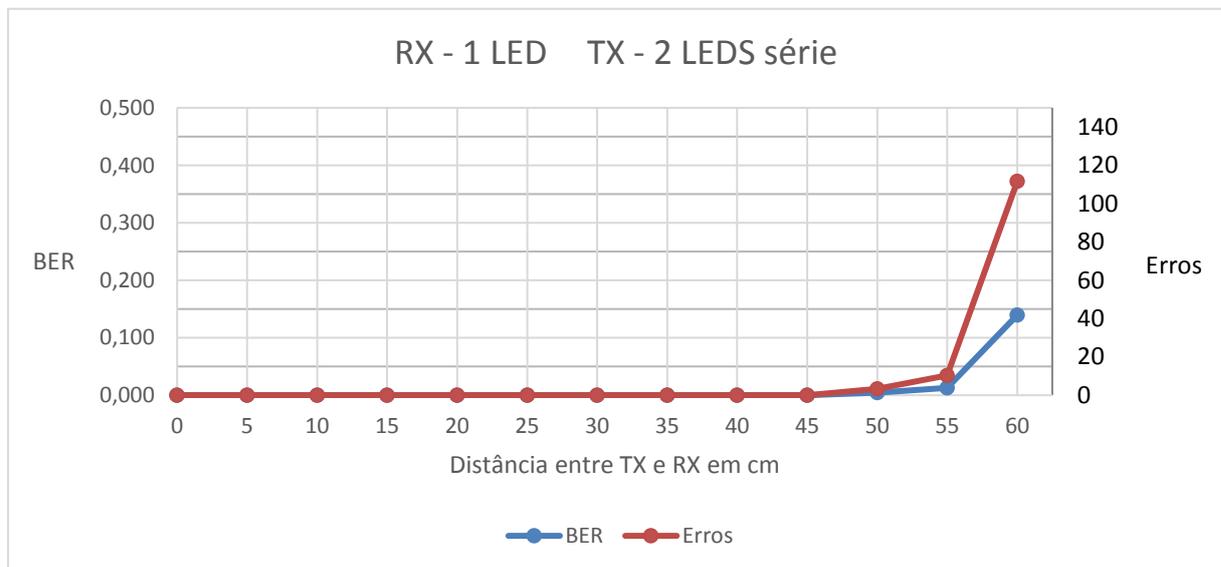


Gráfico 11 – Teste da BER sendo RX - 1 LED TX - 2 LEDS série

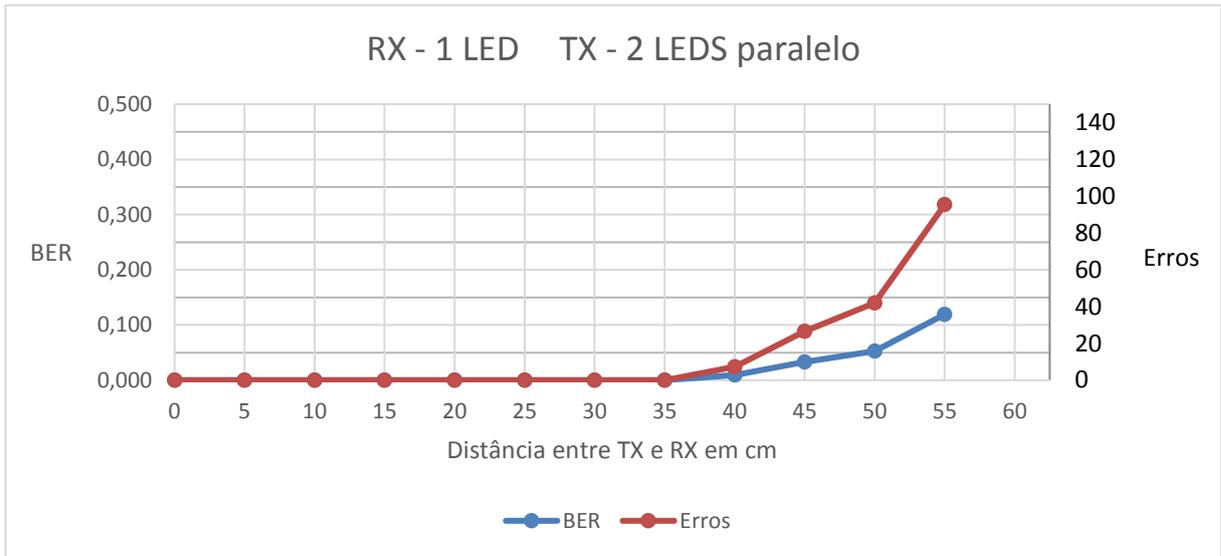


Gráfico 12 – Teste da BER sendo RX – 1 LED TX - 2 LEDs paralelo

### Rx fixo – 2 Leds em série

Agora fixando o receptor em 2 Leds em série, temos a tabela 5 e os gráficos 13, 14 e 15.

Distância	RX	TX	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
limite_luz	2 LEDs série	1 LED	423	423	423	423	423	419	419	418	417	416	415	415	
Erros			0	0	0	0	0	0	0	5,8	14,5	44,5	145,7	168,7	
BER			0	0	0	0	0	0	0	0,007	0,018	0,056	0,182	0,211	
limite_luz	2 LEDs série	2 LEDs série	423	423	423	423	423	423	423	423	419	419	419	418	418
Erros			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,7	19,1
BER			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,003	0,024
limite_luz	2 LEDs paralelo	2 LEDs paralelo	423	423	423	423	423	423	423	419	419	419	418	418	418
Erros			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,2	6,2	15,7
BER			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,003	0,008	0,020

Tabela 5 - Valores da BER com Rx fixado em 2 Leds em série, em ambiente iluminado

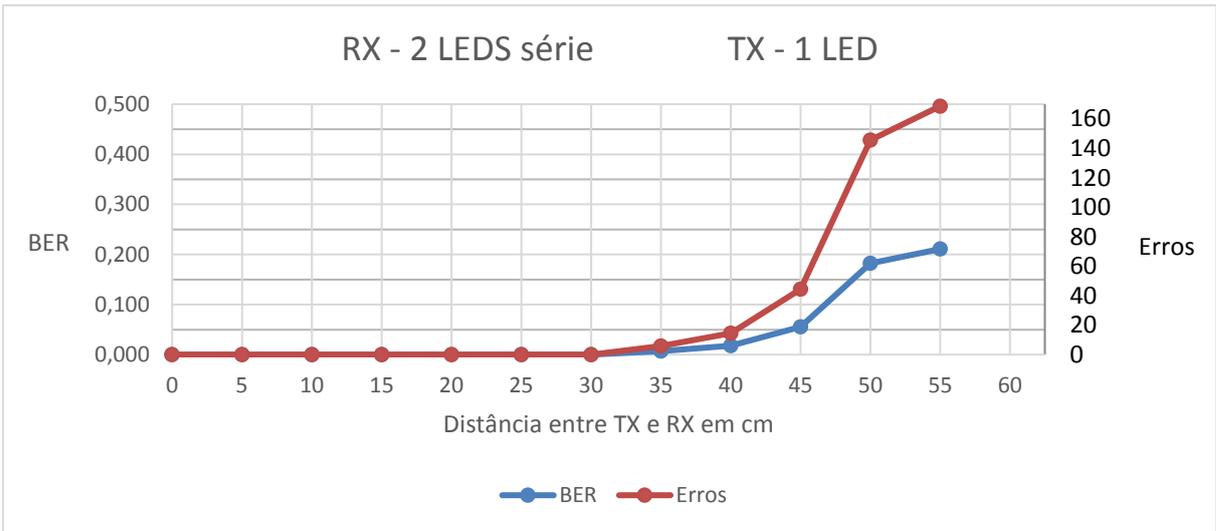


Gráfico 13 – Teste da BER sendo RX - 2 LEDs série TX - 1 LED

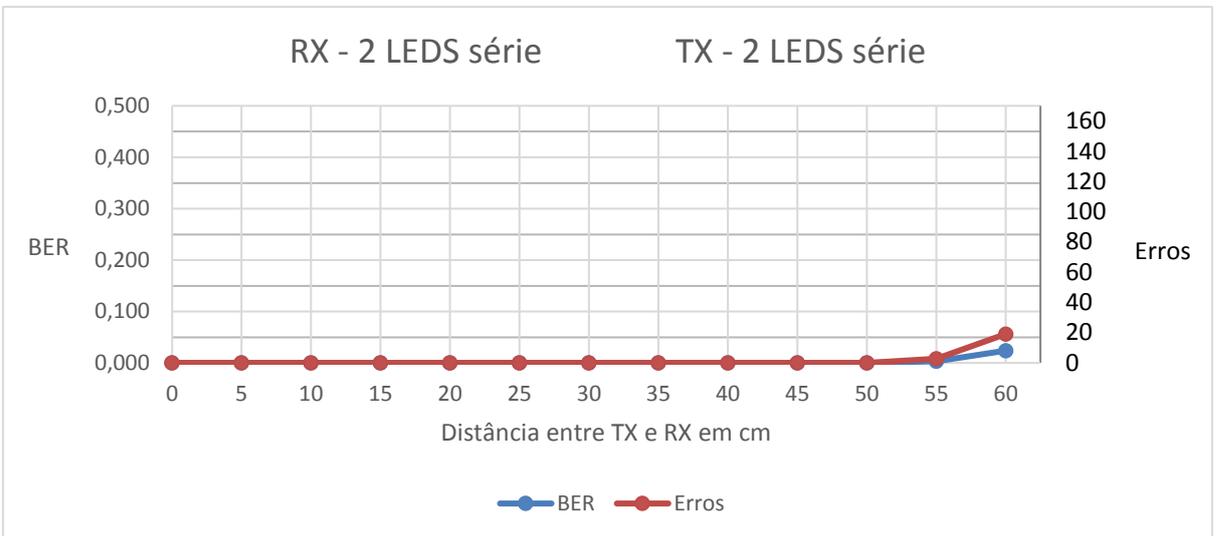


Gráfico 164 – Teste da BER sendo RX - 2 LEDs série TX - 2 LEDs série

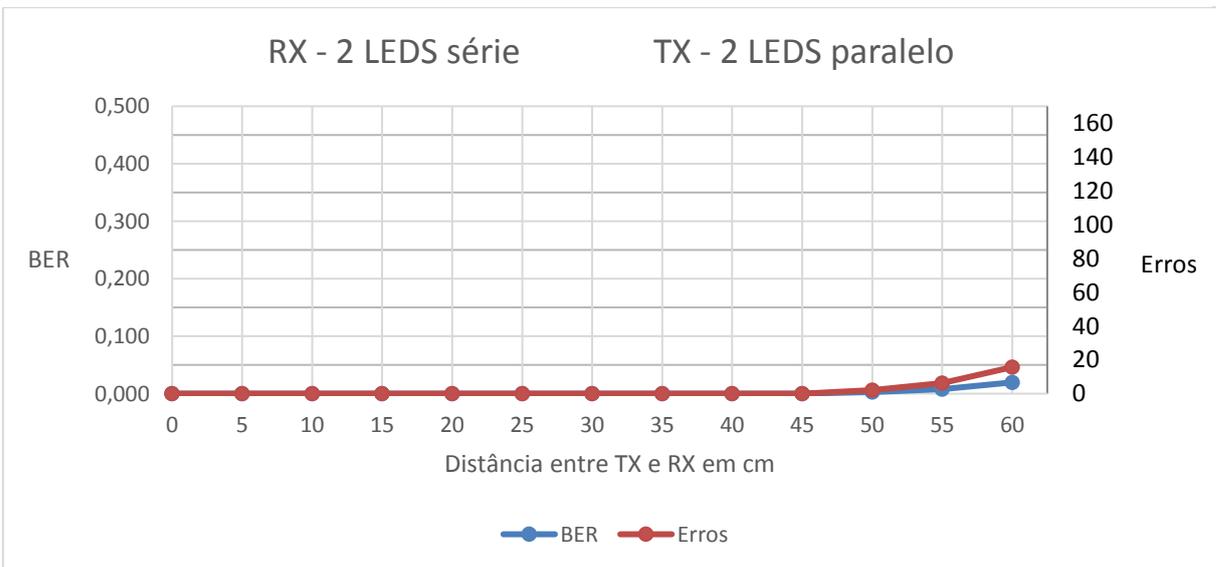


Gráfico 15 – Teste da BER sendo RX - 2 LEDs série TX - 2 LEDs paralelo

## Rx fixo – 2 Leds em paralelo

Por último, fixando o receptor em 2 Leds em paralelo, temos a tabela 7 e os gráficos 16, 17 e 18.

Distância		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	RX													
	TX													
limite_luz	1 LED	204	204	204	204	204	204	204	203	203	203	202		
Erros		0	0	0	0	0	0	0	1,6	11,9	46,2	136,1		
BER		0	0	0	0	0	0	0	0,002	0,015	0,058	0,170		
limite_luz	2 Leds paralelo	204	204	204	204	204	204	204	204	204	203	203	203	203
Erros		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,9	10,6	39,4
BER		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,004	0,013	0,049
limite_luz	2 Leds paralelo	204	204	204	204	204	204	204	204	204	203	203	203	203
Erros		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,1	13,5	21,6
BER		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,003	0,017	0,027

Tabela 6 - Valores da BER com Rx fixado em 2 Leds em paralelo, em ambiente iluminado

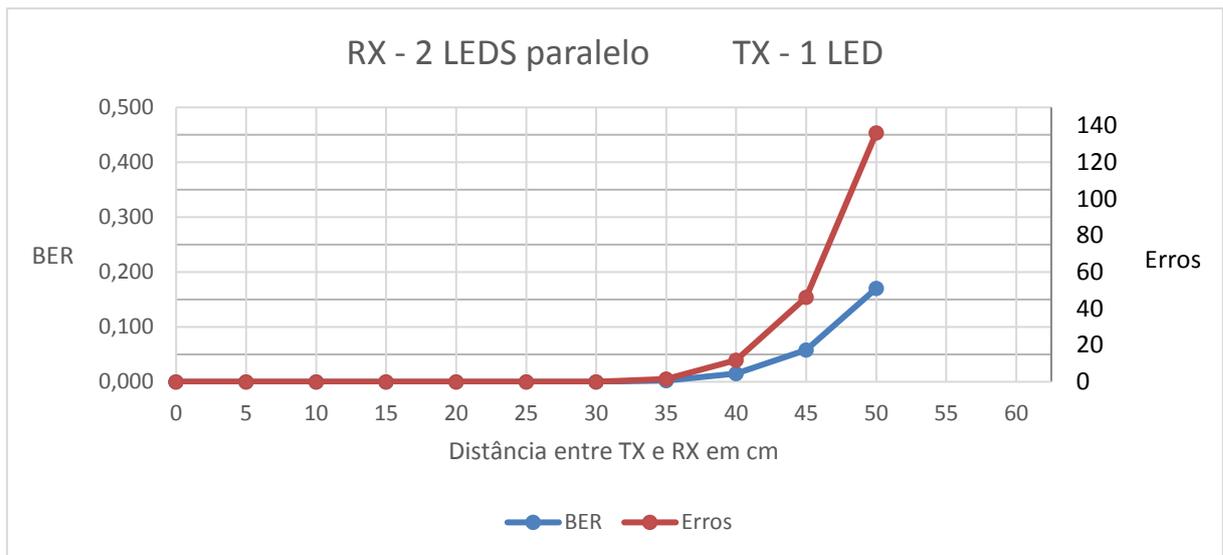


Gráfico 16 – Teste da BER sendo RX – 2 Leds paralelo TX - 1 LED

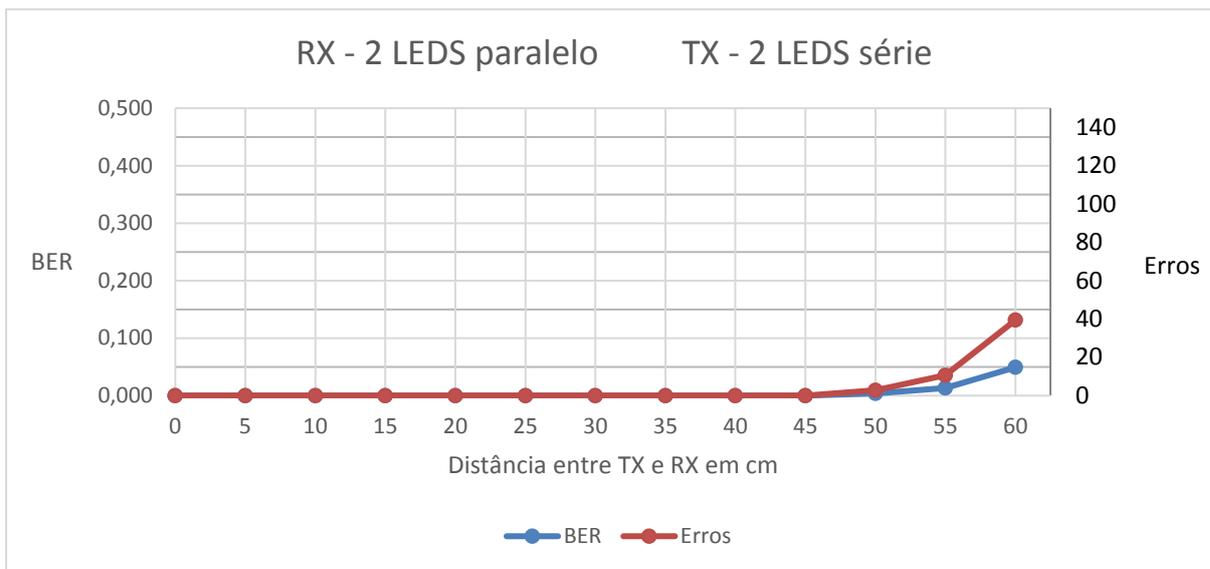


Gráfico 17 – Teste da BER sendo RX – 2 LEDs paralelo TX - 2 LEDs série

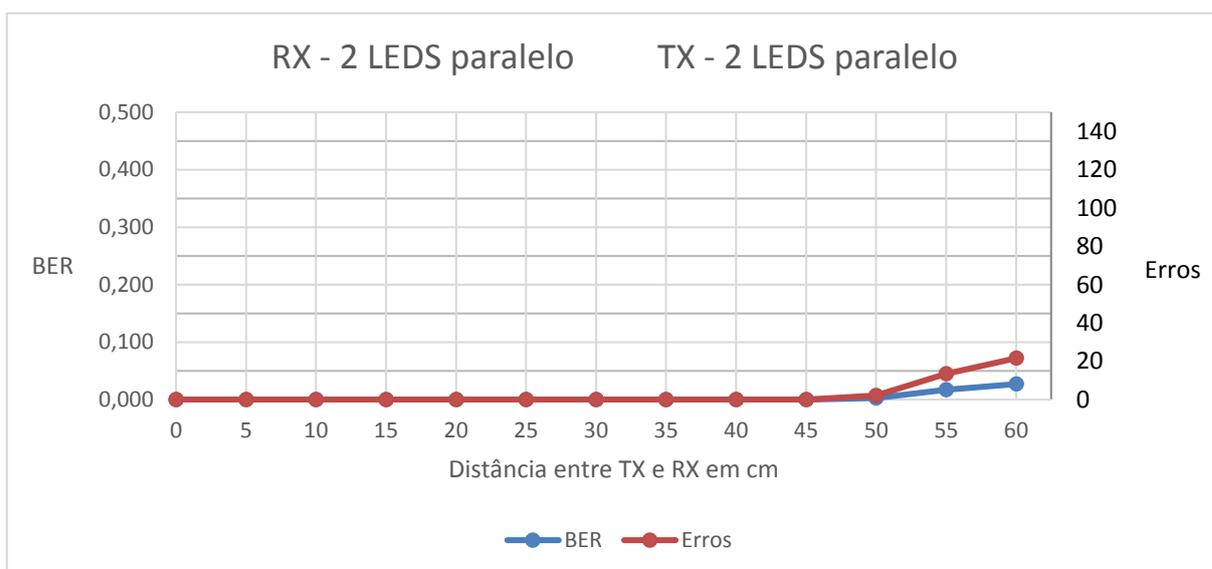


Gráfico 178 – Teste da BER sendo RX – 2 LEDs paralelo TX - 2 LEDs paralelo

## 4.2. SEGUNDO CENÁRIO – AMBIENTE ESCURO

### 4.2.1. Teste do valor de luminosidade no Rx variando a distância entre Rx e Tx

Após fazer todos os testes com as luzes da sala acessas, elas foram desligadas e foram feitos novamente os testes de variação de luminosidade, os quais serviram como parâmetros nos testes que avaliaram a BER e que já foram explicados.



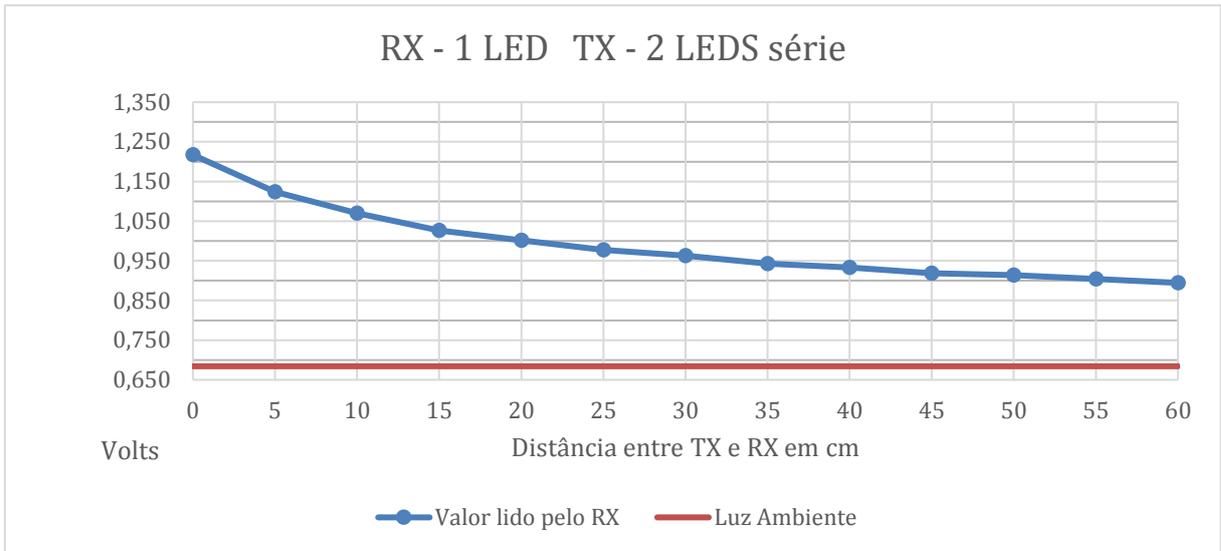


Gráfico 20 – Valor de luminosidade sendo RX - 1 LED TX - 2 LEDs série

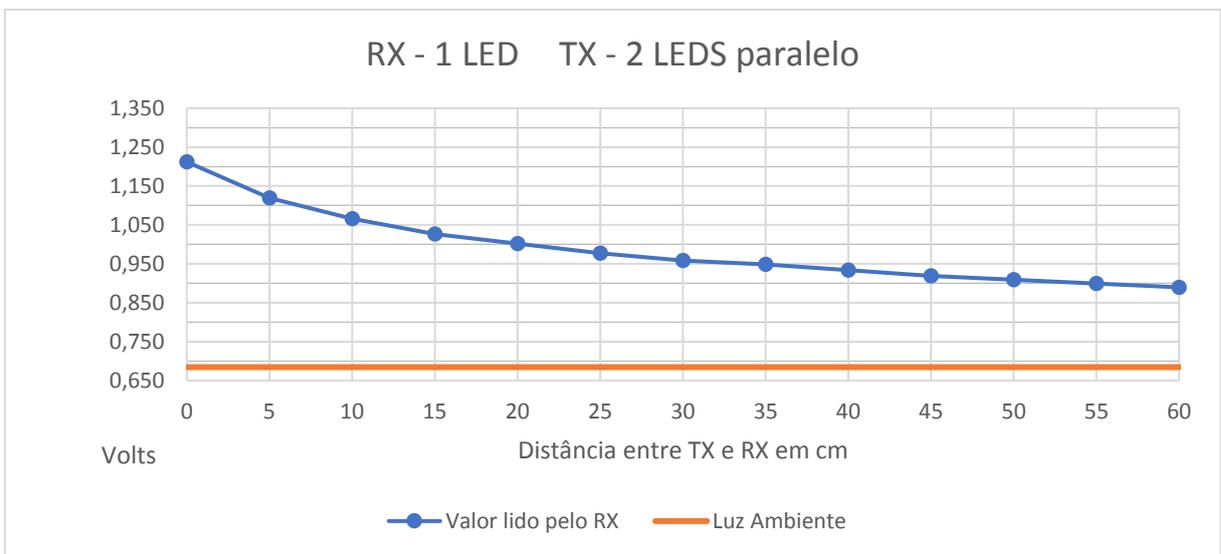


Gráfico 21 – Valor de luminosidade sendo RX - 1 LED TX - 2 LEDs paralelo

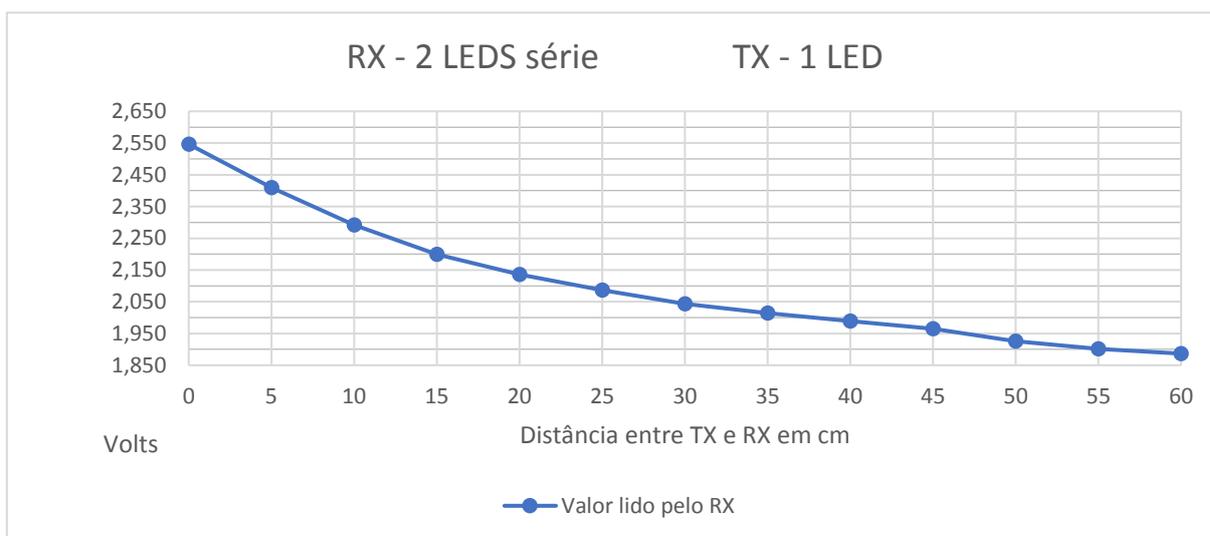
### Rx fixo – 2 Leds em série

A imagem 9 e os gráficos 22, 23 e 24 continuam sendo para o cenário escuro, mas agora o Rx ficará fixo sendo 2 Leds em série. A leitura do valor ambiente ficou novamente oscilando entre um intervalo, que nesse caso foi de 185 a 201 ou 0,904 a 0,982 Volts. Para seguirmos com a metodologia adotada até o momento, adotaremos 201 como sendo o valor da luminosidade ambiente.

Distância em cm			0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	RX	TX													
Valor lido		1 LED	521	493	469	450	437	427	418	412	407	402	394	389	386
Valor em Volts			2,546	2,410	2,292	2,199	2,136	2,087	2,043	2,014	1,989	1,965	1,926	1,901	1,887
Valor lido	2 LEDs série	2 LEDs série	533	497	473	458	444	435	427	420	415	410	406	401	397
Valor em Volts			2,605	2,429	2,312	2,239	2,170	2,126	2,087	2,053	2,028	2,004	1,984	1,960	1,940
Valor lido	2 LEDs paralelo	2 LEDs paralelo	531	496	474	459	446	437	429	423	416	413	407	403	396
Valor em Volts			2,595	2,424	2,317	2,243	2,180	2,136	2,097	2,067	2,033	2,019	1,989	1,970	1,935

**Tabela 8 - Testes de luminosidade com Rx fixado em 2 Leds em série, em ambiente escuro**

Os três gráficos referentes à tabela 9 não possuem o valor da luminosidade ambiente. Como esta se mostrou um valor muito baixo em relação aos valores lidos, se fossemos inseri-la no gráfico, a variação da tensão ficaria muito grande, ocasionando uma distorção e atrapalhando a compreensão.



**Gráfico 22 – Valor de luminosidade sendo RX - 2 LEDs série TX - 1 LED**

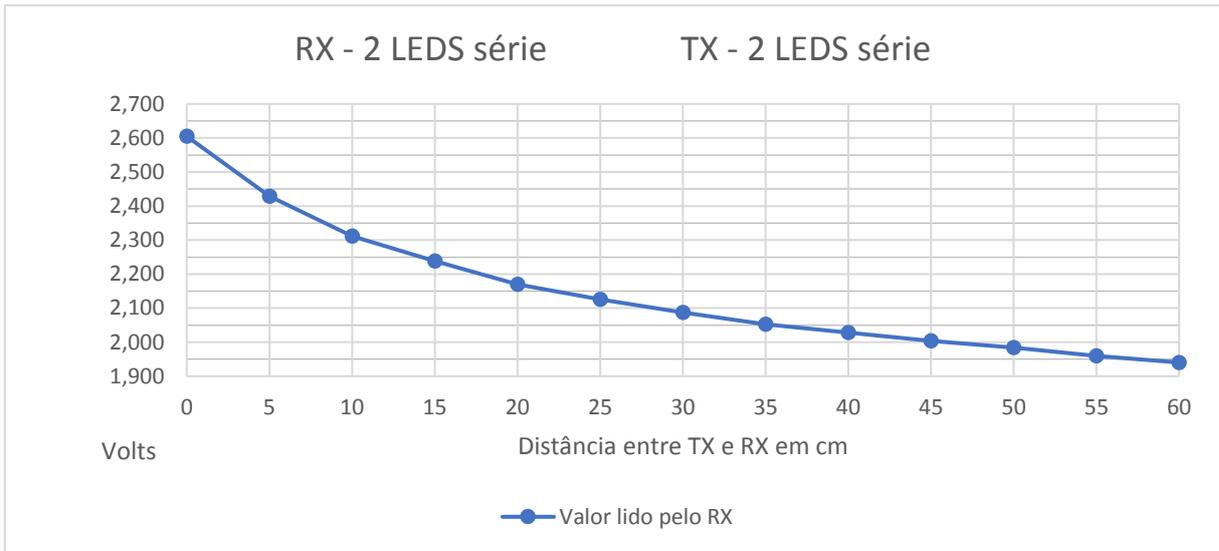


Gráfico 23 – Valor de luminosidade sendo RX – 2 LEDs série TX - 2 LEDs série

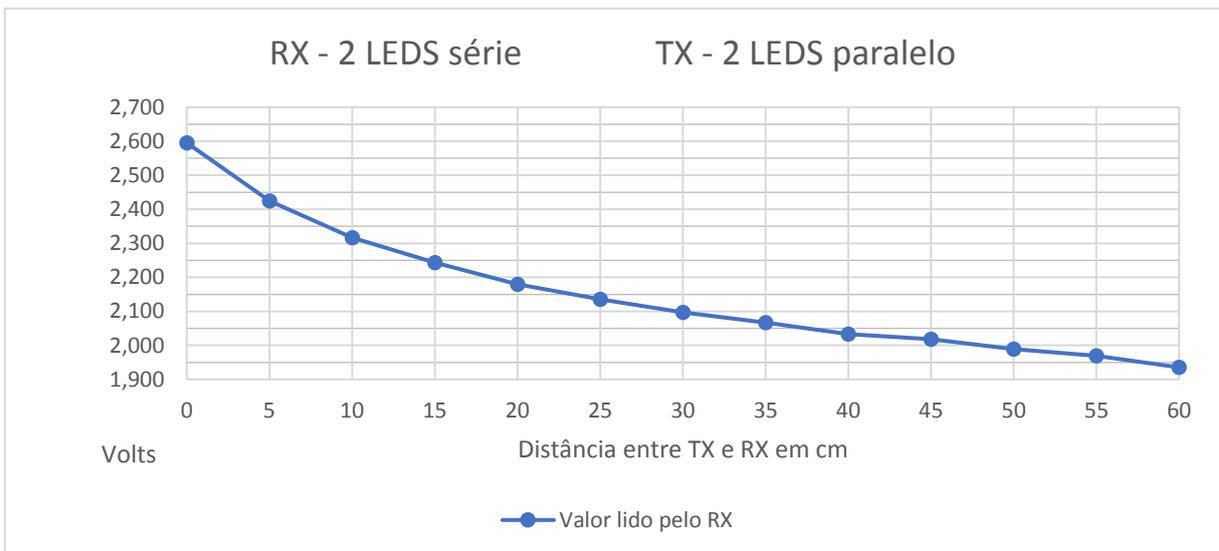


Gráfico 204 - Valor de luminosidade sendo RX – 2 LEDs série TX - 2 LEDs paralelo

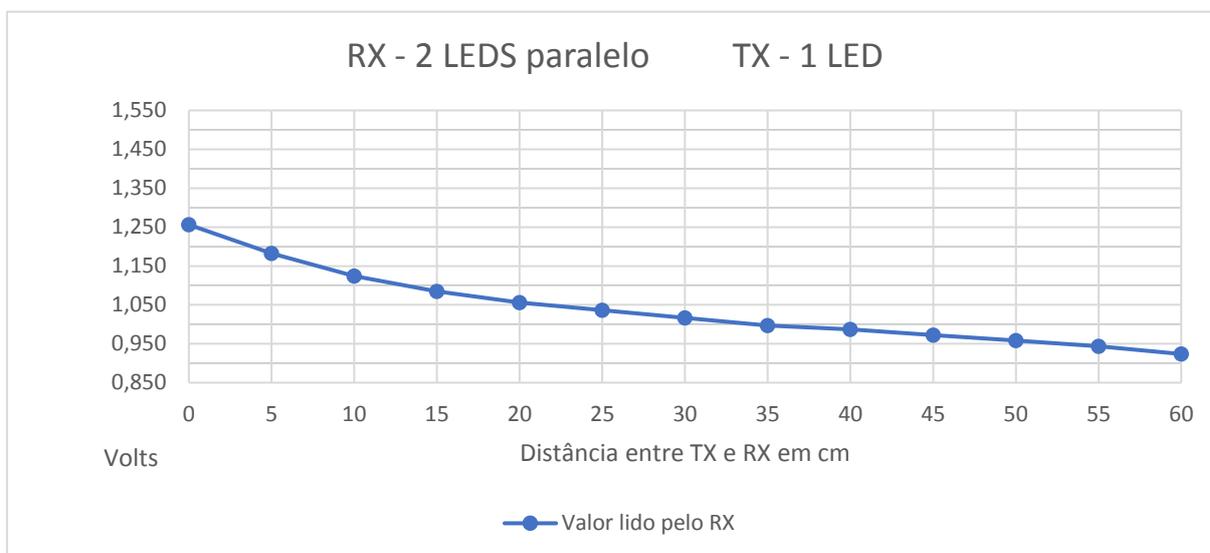
### Rx fixo – 2 Leds em paralelo

Por último, são mostrados os valores lidos no ambiente escuro quando o Rx fica fixo sendo 2 Leds em paralelo. A leitura do valor ambiente ficou novamente oscilando entre um intervalo, que nesse caso foi de 88 a 95 ou 0,430 a 0,464 Volts. Para seguirmos com a metodologia adotada até o momento, adotaremos 95 como sendo o valor da luminosidade ambiente.

Distância em cm			0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	RX	TX													
Valor lido		1 LED	257	242	230	222	216	212	208	204	202	199	196	193	189
Valor em Volts			1,256	1,183	1,124	1,085	1,056	1,036	1,017	0,997	0,987	0,973	0,958	0,943	0,924
Valor lido	2 LEDs paralelo	2 LEDs série	264	244	232	224	219	214	211	207	204	202	199	197	194
Valor em Volts			1,290	1,193	1,134	1,095	1,070	1,046	1,031	1,012	0,997	0,987	0,973	0,963	0,948
Valor lido	2 LEDs paralelo	2 LEDs paralelo	264	245	233	225	219	215	211	207	204	202	199	196	194
Valor em Volts			1,290	1,197	1,139	1,100	1,070	1,051	1,031	1,012	0,997	0,987	0,973	0,958	0,948

**Tabela 9 - Testes de luminosidade com Rx fixado em 2 Leds em paralelo, em ambiente escuro**

Assim como aconteceu quando o Rx estava fixo em 2 Leds em série, os três gráficos referentes à tabela 10 não possuem o valor da luminosidade ambiente. Como esta se mostrou um valor muito baixo em relação aos valores lidos, se fossemos inserir no gráfico, a variação da tensão ficaria muito grande, ocasionando uma distorção e atrapalhando a compreensão.



**Gráfico 215 – Valor de luminosidade sendo RX – 2 LEDs paralelo TX - 1 LED**

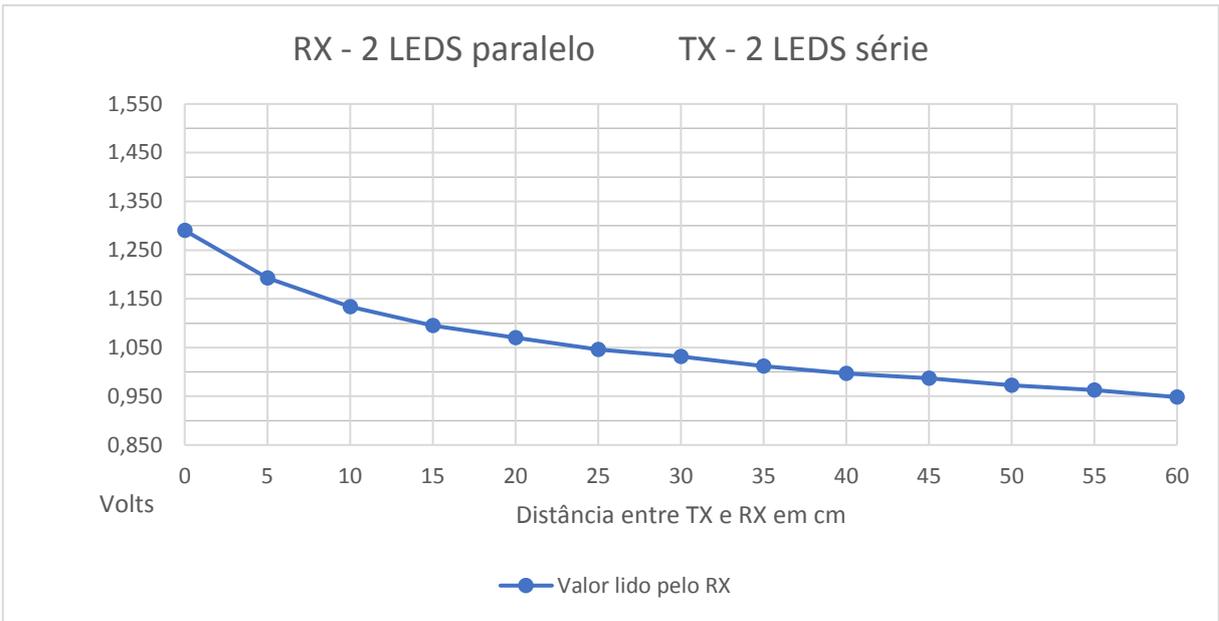


Gráfico 236 – Valor de luminosidade sendo RX – 2 LEDs paralelo TX - 2 LEDs série

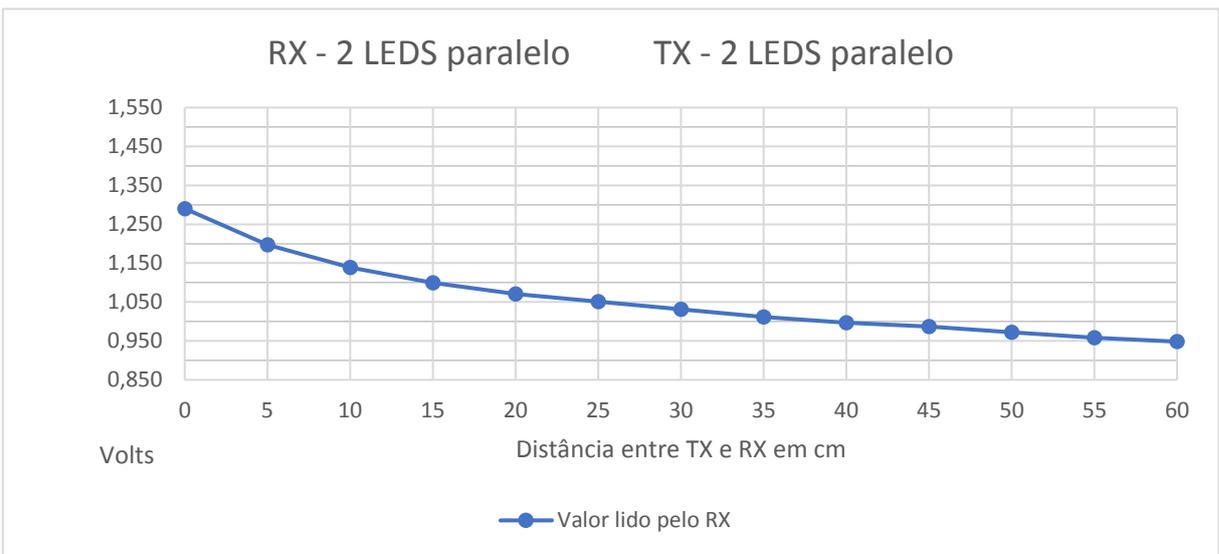


Gráfico 227 – Valor de luminosidade sendo RX – 2 LEDs paralelo TX - 2 LEDs paralelo

Estes valores de luminosidade foram os parâmetros para os testes da BER que seguem: primeiro para o Rx sendo 1 Led apenas.

#### 4.2.2. Teste da BER variando a distância entre Rx e Tx.

##### Rx fixo – 1 Led

Distância		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	RX													
	TX													
limite_luz		192	192	192	186	184	182	179	178					
Erros	1 LED	0	0	0	0	0	0	0	0					
BER		0	0	0	0	0	0	0	0					
limite_luz		190	190	190	190	190	185	185	183	180	179	177	175	
Erros	1 LED	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,4	39,3	
BER	2 LEDS série	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,003	0,049	
limite_luz		190	190	190	190	190	185	185	183	180	179	177	175	174
Erros		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,5	43,8	51,600
BER	2 LEDS paralelo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,017	0,055	0,065

Tabela 10 - Valores da BER com Rx fixado em 1 Led, em ambiente escuro

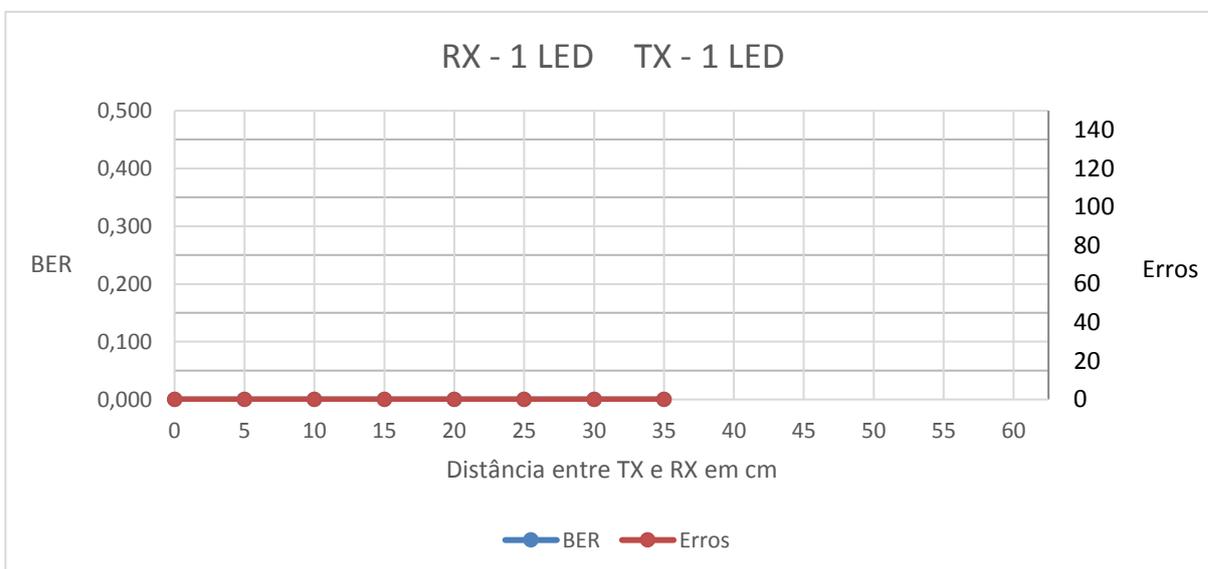


Gráfico 298 – Teste da BER sendo RX – 1 LED TX - 1 LED

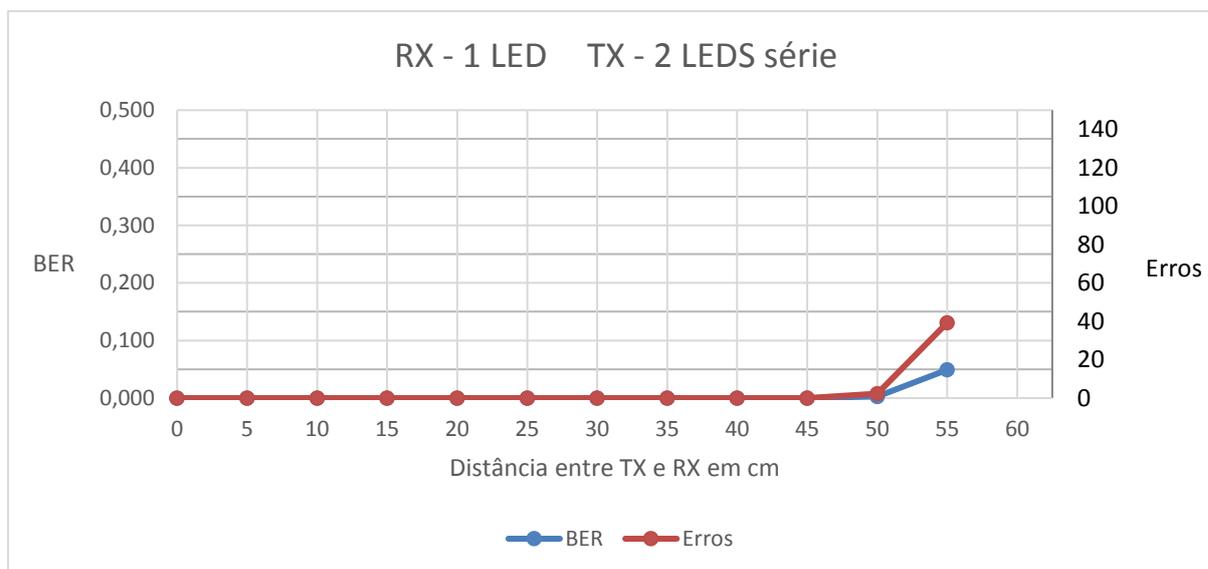


Gráfico 249 – Teste da BER sendo RX – 1 LED TX – 2 LEDS série

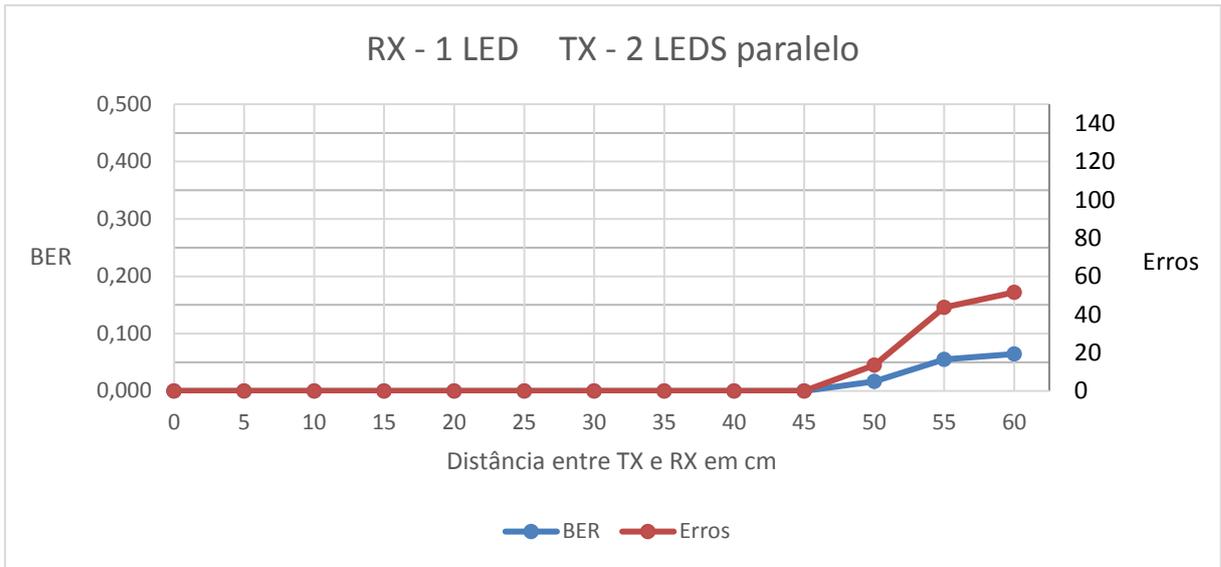


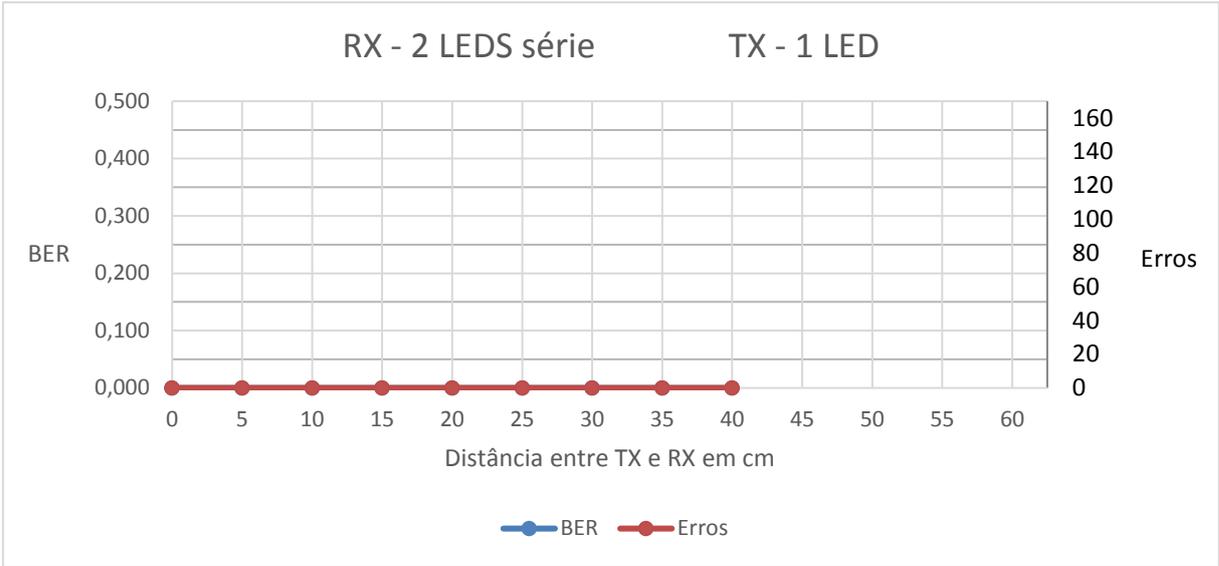
Gráfico 30 – Teste da BER sendo RX – 1 LED TX - 2 LEDS paralelo

### Rx fixo – 2 Leds em série

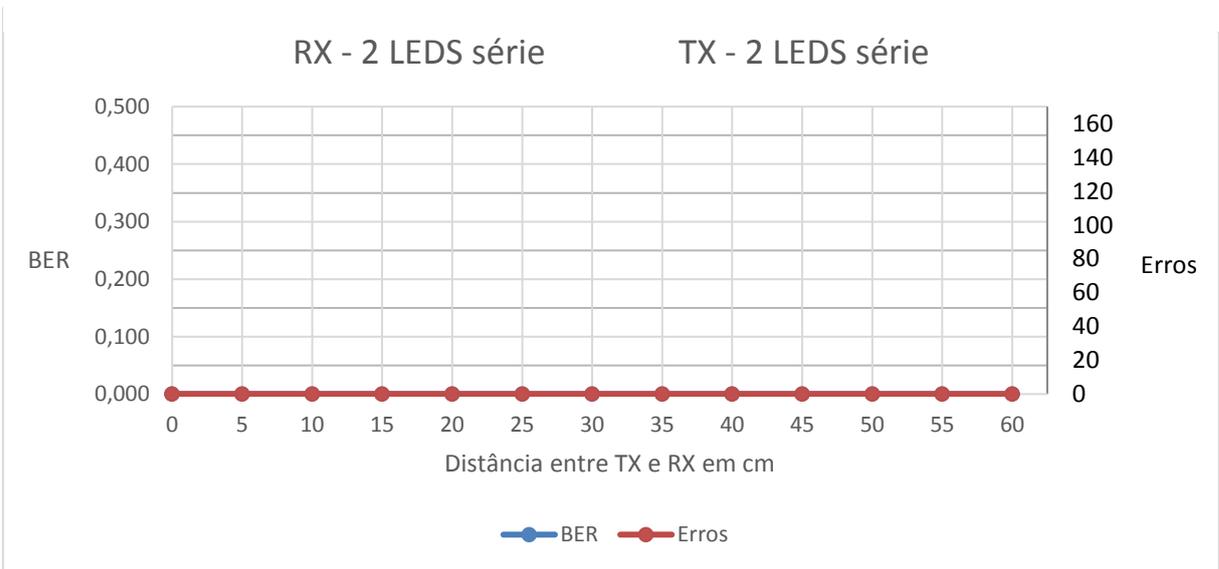
Já para o Rx fixo em 2 Leds em série, no ambiente escuro, a tabela e os gráficos são os seguintes:

Distância	RX	TX	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
limite_luz	2 LEDS série	1 LED	413	413	412	412	401	401	393	390	385					
Erros			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
BER			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
limite_luz	2 LEDS série	2 LEDS série	410	410	410	410	410	397	397	397	389	389	384	380	375	
Erros			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BER			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
limite_luz	2 LEDS paralelo	2 LEDS paralelo	410	410	410	410	410	397	397	397	389	389	385	383	379	
Erros			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BER			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

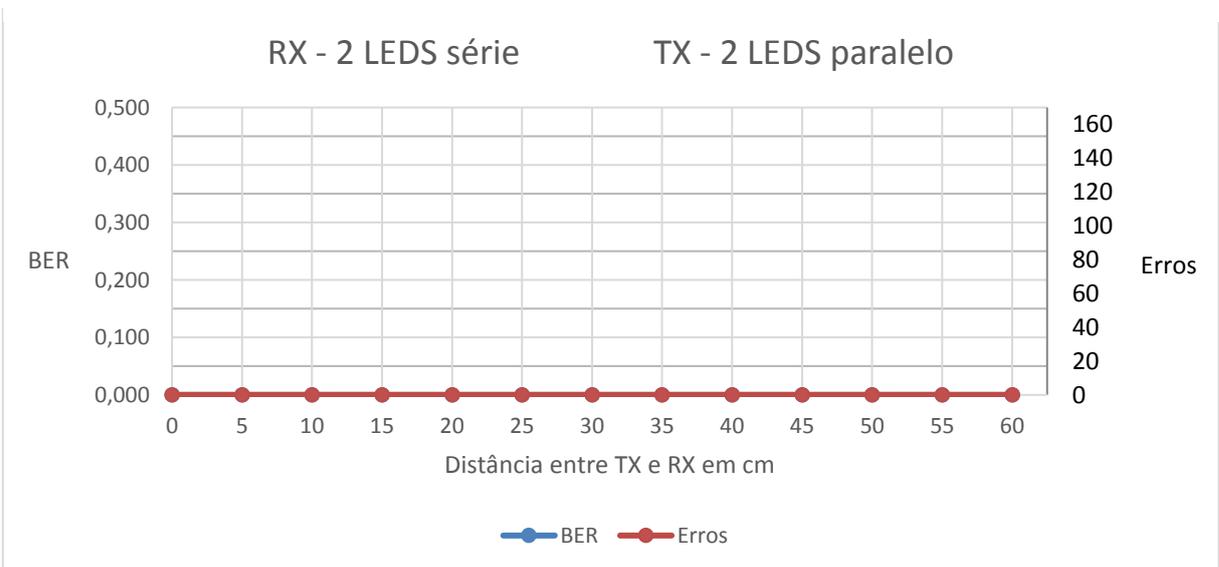
Tabela 11 - Valores da BER com Rx fixado em 2 Leds em série, em ambiente escuro



**Gráfico 331 – Teste da BER sendo RX – 2 LEDs série TX - 1 LED**



**Gráfico 312 – Teste da BER sendo RX – 2 LEDs série TX - 2 LEDs série**



**Gráfico 323 – Teste da BER sendo RX – 2 LEDs série TX - 2 LEDs paralelo**

## Rx fixo – 2 Leds em paralelo

Por fim, o Rx foi fixado em 2 Leds em paralelo, e no ambiente escuro, resultou na tabela 13 e nos gráficos 34, 35 e 36.

Distância			0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
	RX	TX														
limite_luz	2 Leds	1 LED	198	198	198	198	198	192	192	192	187	187	185	184	183	
Erros			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BER			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
limite_luz	2 Leds paralelo	2 Leds série	197	197	197	197	197	197	189	189	189	185	185	183	183	
Erros			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
BER			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
limite_luz	2 Leds paralelo	2 Leds paralelo	197	197	197	197	197	197	189	189	189	185	185	183	183	
Erros			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
BER			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabela 12 - Valores da BER com Rx fixado em 2 Leds em paralelo, em ambiente escuro

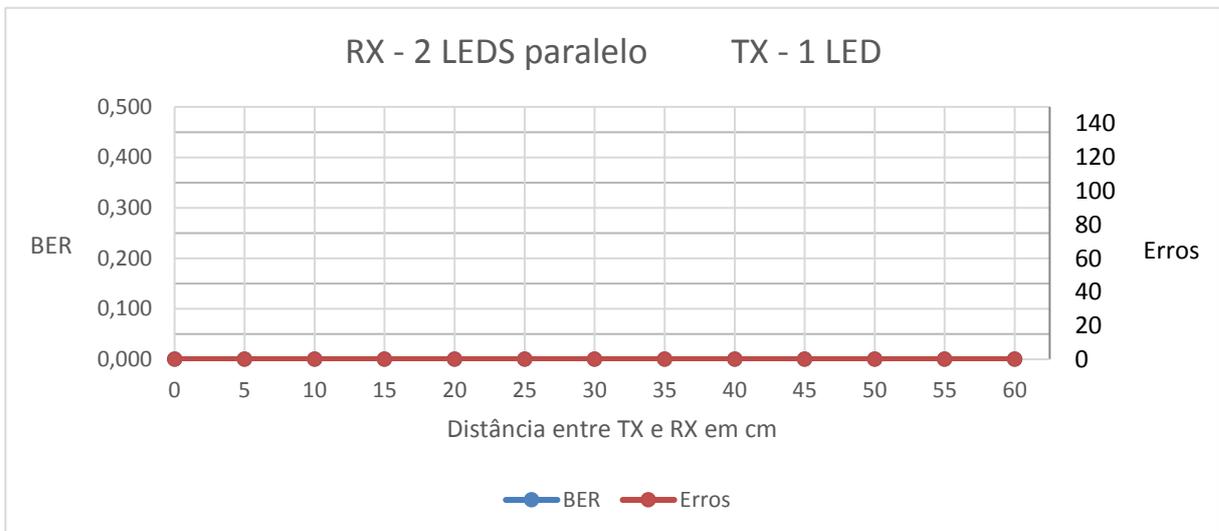


Gráfico 34 – Teste da BER sendo RX – 2 Leds paralelo TX - 1 LED

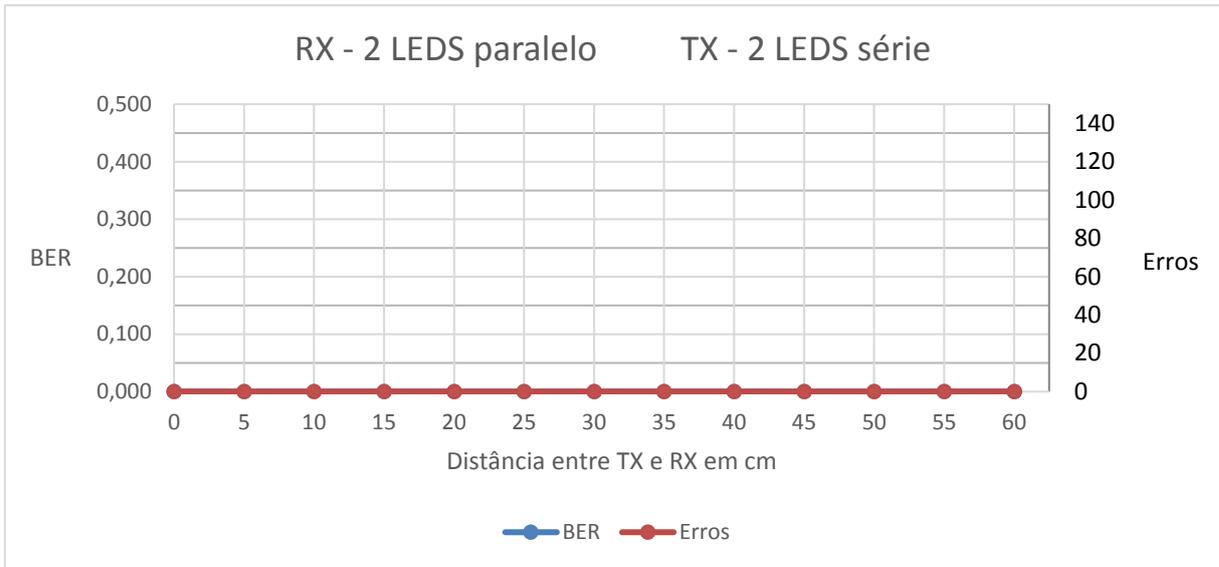


Gráfico 365 – Teste da BER sendo RX – 2 LEDs paralelo TX - 2 LEDs série

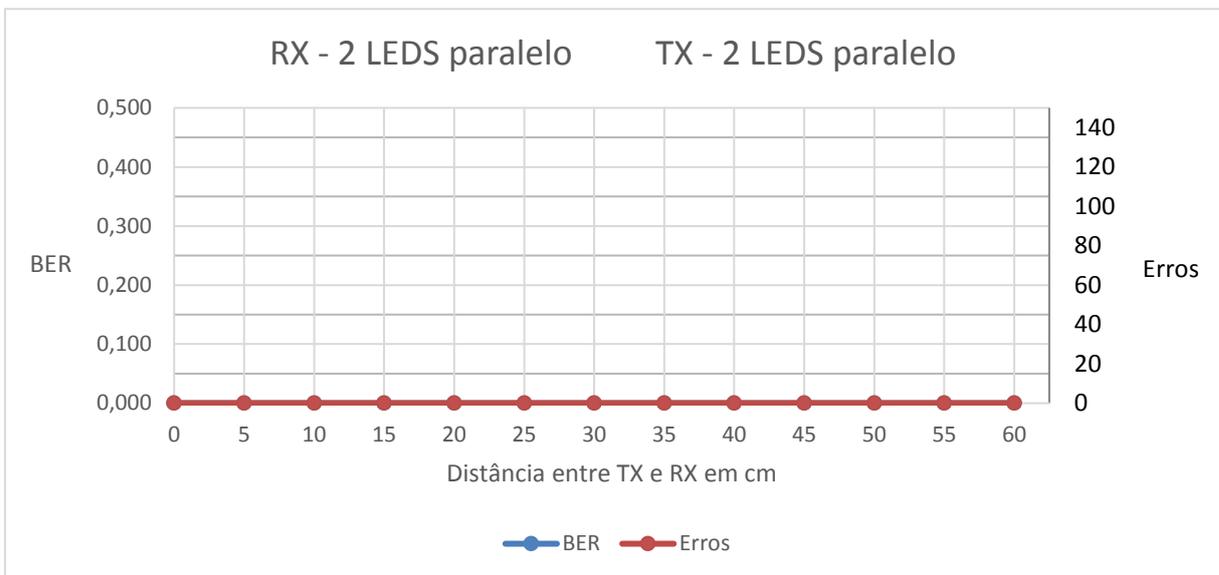


Gráfico 356 – Teste da BER sendo RX – 2 LEDs paralelo TX - 2 LEDs paralelo

## 5. DISCUSSÃO

Nesta seção, serão comparados e discutidos os resultados, apresentadas as conclusões e respondidos os questionamentos a que se propôs esse trabalho de conclusão de curso.

### 5.1. PRIMEIRO CENÁRIO – AMBIENTE ILUMINADO

### 5.1.1. Teste do valor de luminosidade no Rx variando a distância entre Rx e Tx

A seguir são comparadas as variações nos valores já apresentados na seção resultados. A coluna com a letra “A” assim como mostra a legenda, apresenta a diferença entre o valor da luz ambiente e o valor lido a 0 cm, ou seja, o valor no Rx quando o Tx está desligado e quando ele está ligado o mais próximo do Rx (0cm). A coluna com a letra “B” representa o quanto o valor lido atenuou com a distância. Por fim, a coluna com a letra “C” mostra a margem de segurança que o Rx possui entre o valor lido com 60 cm de distância e a luz ambiente.

O que buscamos como melhor configuração é aquela que apresenta o maior valor de “C”, pois desta forma teremos uma maior margem para detectar luz no transmissor e assim sendo possível até mesmo de aumentarmos a distância entre o Rx e o Tx. Um maior valor de “A” e menor valor de “B” também representam condições para um maior valor de “C”, indicando assim, uma melhor configuração.

#### Rx fixo – 1 Led

Legenda							
A	Diferença Luz ambiente - Valor lido a 0 cm						
B	Diferença Valor lido a 0 cm - Valor lido a 60 cm						
C	Diferença Valor lido a 60 cm - Luz ambiente						
RX	TX	Luz ambiente	Valor lido a 0 cm	Valor lido a 60 cm	A	B	C
1 LED	1 LED	183	251	191	68	60	8
	2 LEDs série	183	253	194	70	59	11
	2 LEDs paralelo	183	253	194	70	59	11

Tabela 13 - Análise dos resultados dos testes de luminosidade com Rx fixado em 1 LED, em ambiente iluminado

De acordo com o explicado acima, com o Rx sendo 1 Led apenas, as melhores configurações no Tx foram 2 Leds em série e 2 Leds em paralelo, com exatamente os mesmos valores.

#### Rx fixo – 2 Leds em série

RX	TX	Luz ambiente	Valor lido a 0 cm	Valor lido a 60 cm	A	B	C
2 LEDs série	1 LED	410	521	418	111	103	8
	2 LEDs série	410	547	428	137	119	18
	2 LEDs paralelo	410	542	428	132	114	18

Tabela 14 - Análise dos resultados dos testes de luminosidade com Rx fixado em 2 Leds em série, em ambiente iluminado

Assim como aconteceu no caso anterior, com o Rx sendo 2 Leds em série, as melhores configurações no Tx também foram 2 Leds em série e 2 Leds em paralelo, com novamente os mesmos valores de “C”.

### Rx fixo – 2 Leds em paralelo

RX	TX	Luz ambiente	Valor lido a 0 cm	Valor lido a 60 cm	A	B	C
2 LEDs paralelo	1 LED	194	262	207	68	55	13
	2 LEDs série	194	267	208	73	59	14
	2 LEDs paralelo	194	266	207	72	59	13

Tabela 15 - Análise dos resultados dos testes de luminosidade com Rx fixado em 2 Leds em paralelo, em ambiente iluminado

Sendo o Rx 2 Leds em paralelo, a melhor configuração no Tx foi 2 Leds em série, pois apresentou o maior valor para “C”.

Já quando analisamos o Rx, chegamos à conclusão que a melhor configuração foi a 2 Leds em série, pois foi ela que apresentou os maiores valores de “C” quando variamos os receptores e deixamos fixos os transmissores.

Com base nas análises das melhores configurações para Rx e Tx, chegamos à conclusão de que obtemos os melhores resultados quando usamos 2 Leds em sérietanto no Rx quanto no Tx.

### 5.1.2. Teste da BER variando a distância entre Rx e Tx.

A seguir são comparados os resultados relativos à transmissão de dados propriamente dita, por meio da BER, resultados estes já apresentados anteriormente,

porém sem uma análise, que é o que será feito logo abaixo. Diferente da comparação que foi feita quando analisamos os valores de luminosidade no Rx, para a BER, iremos apresentar a análise em forma de gráfico, pois desta forma a visualização e compreensão se mostrou mais efetiva.

Desta vez, o que buscamos como melhor configuração é aquela que apresenta a curva mais próxima possível do valor 0, que representa uma taxa de erro de bit nula, ou seja, todos os bits foram transmitidos corretamente.

### Rx fixo – 1 Led

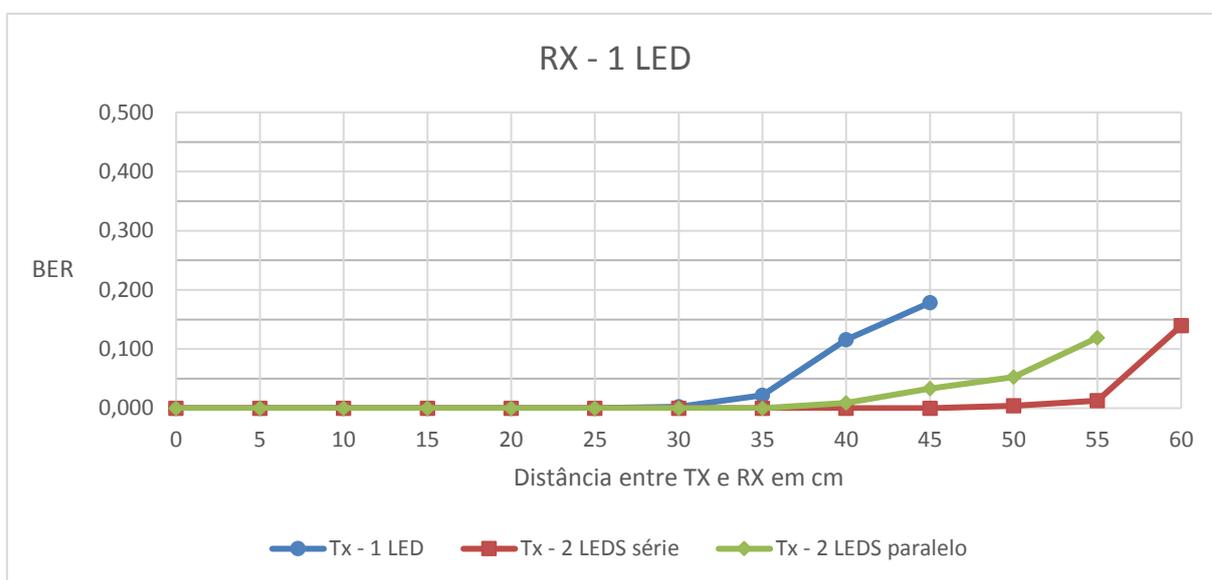


Gráfico 37 - Rx fixo sendo 1 Led

Levando em consideração os parâmetros descritos acima, com o Rx sendo 1 Led apenas, a melhor configuração no Tx foi 2 Leds em série. Foi a curva que ficou mais próxima do 0 e a única que resultou valores para todas as distâncias usadas nos testes, já que para 1 Led e 2 Leds em paralelo, não foi possível estabelecer comunicação para distâncias maiores que 45 e 55 cm, respectivamente.

### Rx fixo – 2 Leds em série

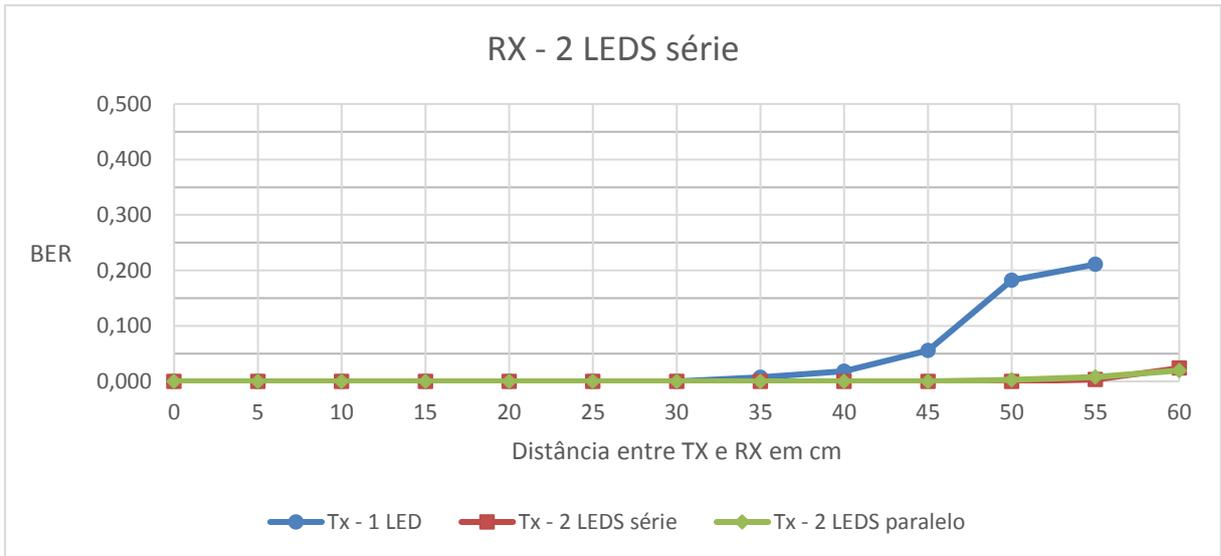


Gráfico 38 - Rx fixo sendo 2 LEDs em série

Levando em consideração o gráfico acima e a tabela com os resultados para a BER já apresentada, com o Rx sendo 2 Leds em série, a melhor configuração no Tx também foi 2 Leds em série. Apesar de o valor para a distância da 60 cm ter sido maior em comparação com 2 Leds em paralelo, ela apresentou apenas 2 valores não nulos para a BER, enquanto 2 Leds em paralelo apresentaram 3 valores não nulos.

### Rx fixo – 2 Leds em paralelo

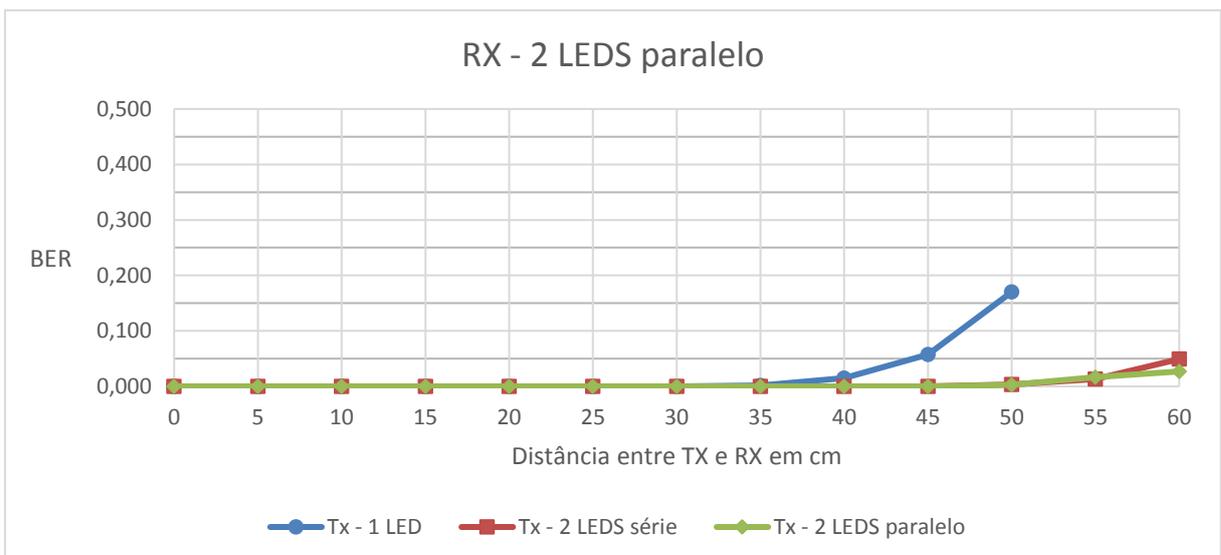


Gráfico 39 - Rx fixo sendo 2 LEDs em paralelo

Diferente dos dois resultados anteriores, desta vez obtivemos os melhores resultados quando fixamos o Rx em 2 Leds em paralelo, apesar da sua curva ter sido bem semelhante à dos 2 Leds em série, que foi a melhor configuração para os dois primeiros testes.

Quando analisamos o Rx, chegamos à conclusão que a melhor configuração foi a 2 Leds em série, pois foi ela que apresentou as melhores curvas para os receptores quando deixamos fixos os transmissores.

Com base nas análises das melhores configurações para Rx e Tx, chegamos à conclusão de que obtemos os melhores resultados de todos os casos quando usamos 2 Leds em série tanto no Rx quanto no Tx. Desse modo foram concretizadas as expectativas, pois no teste da BER obtivemos a mesma configuração que obtivemos no teste dos valores de luminosidade como sendo a melhor.

## 5.2. SEGUNDO CENÁRIO – AMBIENTE ESCURO

Nesta seção, serão comparados e discutidos os resultados para quando as luzes foram desligadas.

### 5.2.1. Teste do valor de luminosidade no Rx variando a distância entre Rx e Tx

Nas análises a seguir, seguiremos os mesmos critérios e parâmetros usamos quando analisamos o primeiro cenário – ambiente iluminado.

#### Rx fixo – 1 Led

Legenda							
A	Diferença Luz ambiente - Valor lido a 0 cm						
B	Diferença Valor lido a 0 cm - Valor lido a 60 cm						
C	Diferença Valor lido a 60 cm - Luz ambiente						
RX	TX	Luz ambiente	Valor lido a 0 cm	Valor lido a 60 cm	A	B	C
1 LED	1 LED	140	248	179	108	69	39
	2 LEDS série	140	249	183	109	66	43
	2 LEDS paralelo	140	248	182	108	66	42

Tabela 16 - Análise dos resultados dos testes de luminosidade com Rx fixado em 1 LED, em ambiente escuro

De acordo com a tabela acima, com o Rx sendo 1 Led apenas, a melhor configuração para o Tx no ambiente escuro foi 2 Leds em série.

### Rx fixo – 2 Leds em série

RX	TX	Luz ambiente	Valor lido a 0 cm	Valor lido a 60 cm	A	B	C
2 LEDS série	1 LED	201	521	386	320	135	185
	2 LEDS série	201	533	397	332	136	196
	2 LEDS paralelo	201	531	396	330	135	195

Tabela 17 - Análise dos resultados dos testes de luminosidade com Rx fixado em 2 Leds em série, em ambiente escuro

Novamente, 2 Leds em série apresentaram o melhor resultado.

### Rx fixo – 2 Leds em paralelo

RX	TX	Luz ambiente	Valor lido a 0 cm	Valor lido a 60 cm	A	B	C
2 LEDS paralelo	1 LED	95	257	189	162	68	94
	2 LEDS série	95	264	194	169	70	99
	2 LEDS paralelo	95	264	194	169	70	99

Tabela 18 - Análise dos resultados dos testes de luminosidade com Rx fixado em 2 Leds em paralelo, em ambiente escuro

Para o Rx como 2 Leds em paralelo, os 2 Leds em série e em paralelo obtiveram exatamente os mesmos resultados.

Para o Rx, assim como aconteceu com o ambiente iluminado, chegamos à conclusão que a melhor configuração foi a 2 Leds em série, pois foi ela que apresentou as melhores curvas para os receptores quando deixamos fixos os transmissores. Aqui vale ressaltar a grande diferença numérica obtida com esta configuração em comparação com as outras duas apresentadas.

Sendo assim, não poderia ser diferente. Dentre todas as configurações, a melhor foi 2 Leds em série no transmissor e também no receptor.

### 5.2.2. Teste da BER variando a distância entre Rx e Tx.

Por último, chegamos à análise dos resultados dos testes que avaliaram a BER.

## Rx fixo – 1 Led

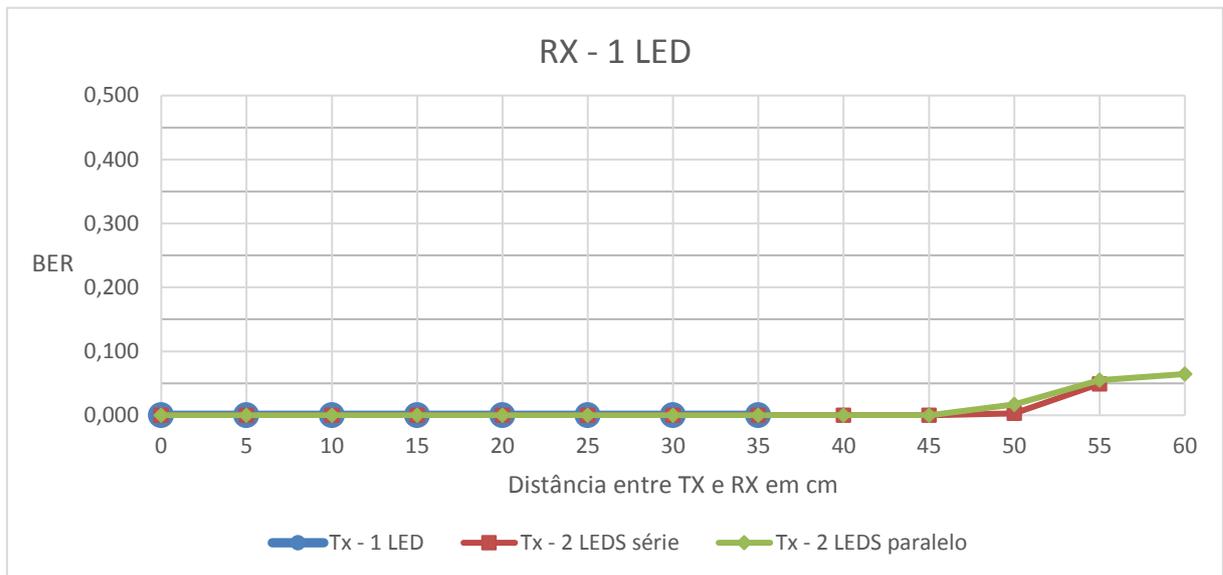


Gráfico 40 - Rx fixo sendo 1 Led

Levando em consideração os parâmetros já mencionados para os testes da BER, com o Rx sendo 1 Led apenas, a melhor configuração no Tx foi 2 Leds em paralelo. Aqui, vale uma observação: pela primeira vez até então, 2 Leds em série não foi um dos melhores resultados, pois não foi possível estabelecer comunicação para distâncias maiores que 55 cm.

## Rx fixo – 2 Leds em série

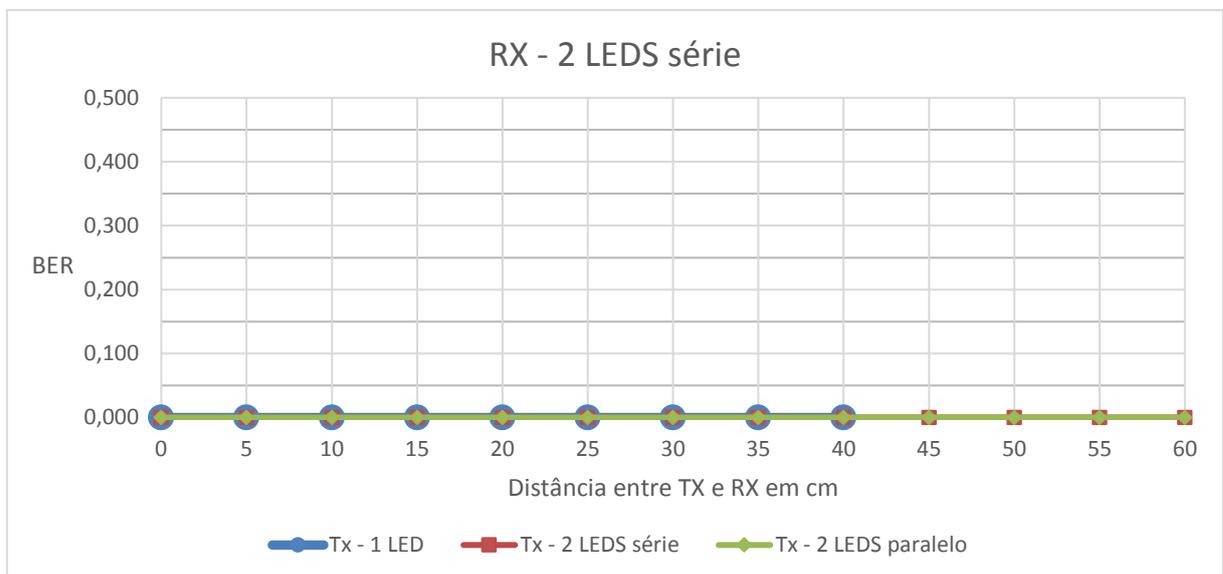


Gráfico 41 - Rx fixo sendo 2 LEDs em série

No ambiente escuro, com o Rx fixo em 2 Leds em série, as configurações com 2 Leds (em série e em paralelo) apresentaram os melhores resultados possíveis: transmissão de todos os dados em todas as distâncias com BER igual a 0, ou seja, nenhum bit foi enviado com erro nem tampouco deixou de ser enviado.

### Rx fixo – 2 Leds em paralelo

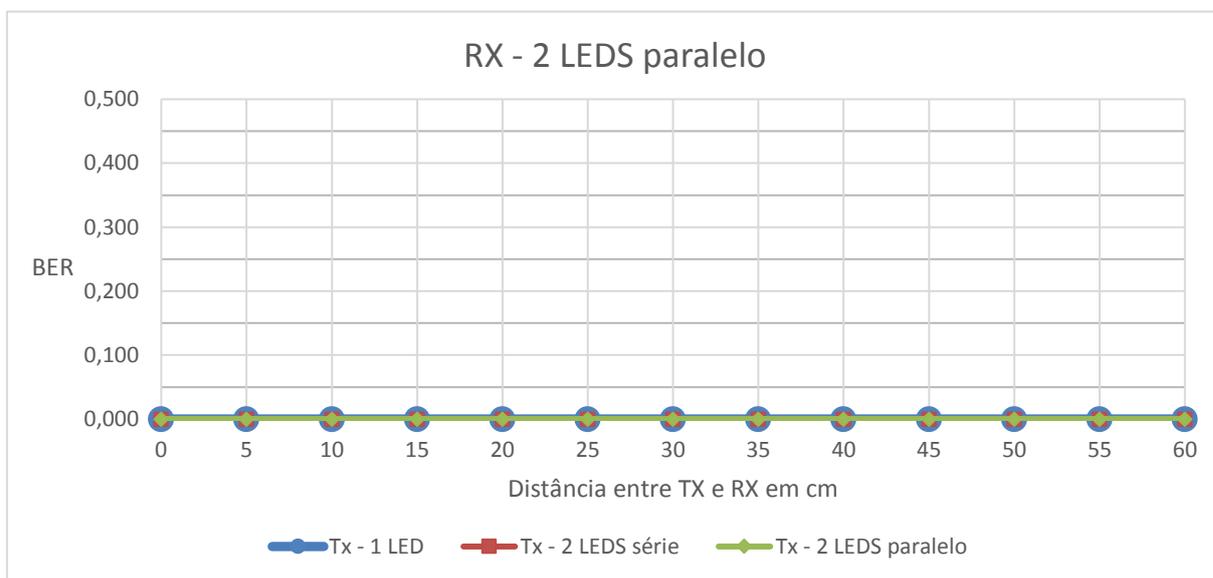


Gráfico 42 - Rx fixo sendo 2 LEDs em paralelo

No último dos testes realizados, eis que obtemos o melhor resultado de todos. Para as três configurações possíveis no Tx, obtivemos taxa de erro de bit nula para todas as distâncias testadas. Foi também a primeira e única vez que o Tx como 1 Led apresentou um resultado parecido com as duas outras possibilidades.

Para o Rx, diferente do que aconteceu com os dois testes em ambiente iluminado e com os testes de luminosidade no ambiente escuro, em que a melhor configuração havia sido 2 Leds em série, desta vez a melhor configuração foi 2 Leds em paralelo.

Sendo assim, em ambiente escuro a melhor combinação nos testes da BER foi 2 Leds em paralelo no transmissor e também no receptor.

## 6. CONCLUSÃO

O objetivo desse trabalho era testar e analisar qual a melhor configuração tanto no transmissor quanto no receptor em um sistema de comunicação por luz visível LED a LED. Foram realizados inúmeros testes com várias combinações de configurações no transmissor e no receptor, em dois cenários bem distintos entre si.

Os resultados de todos esses testes demonstraram uma grande confiabilidade e consistência, pois no geral teve uma configuração que se sobressaiu como a melhor em quase todos os testes. Houve consistência até nos erros, pois até quando ocorria tal evento, raramente esse erro era aleatório e sempre apresentava uma tendência.

Pode-se dizer que no geral o trabalho atendeu as expectativas e cumpriu com as metas estipuladas, tendo em vista que conseguimos descobrir e provar que a configuração que apresentou os melhores resultados foi o receptor e o transmissor ambos sendo 2 Leds em série. Essa conclusão foi ao encontro do que era esperado, pois quando usamos dois Leds em série, aumenta-se a tensão, facilitando assim a leitura dos valores e possibilitando uma melhor separação entre o dado realmente lido e o ruído causado pela luz ambiente.

### 6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Trabalhos futuros podem complementar ainda mais o sistema que foi desenvolvido. Por exemplo, aprimorar a definição dos parâmetros dos valores lidos que foram usados para ter os resultados da BER para que esta seja feita automaticamente e utilizar alguma técnica para detecção ou correção de erros.

Outra possibilidade para melhoria nesse trabalho é alterar o modo como é feita a leitura dos valores pelo receptor. Ao invés do uso da leitura analógica, que é lenta, pode-se implementar um sistema que use dois receptores, um captando os dados do transmissor e outro capturando apenas a luz ambiente. Tendo esses dois valores, pode-se usar um simples comparador, bem mais veloz que a leitura analógica, para decidir se o valor lido deve ser considerado como “1” ou “0”.

Por fim, há a possibilidade de realizar testes usando sequências aleatórias de bits e verificar como todo o sistema se comporta diante dessas adversidades. Todas essas possíveis melhorias são evoluções que com certeza podem enriquecer ainda mais o que sabemos a respeito da comunicação por luz visível.

## 7. APÊNDICES

### 7.1. CÓDIGO DO RECEPTOR PARA REALIZAR A LEITURA DA LUMINOSIDADE.

```
intLEDPin = A3;
intLEDval = 0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  LEDval = analogRead(LEDPin);
  Serial.println(LEDval);
  delay(300);
}
```

## 7.2. CÓDIGO DO TRANSMISSOR PARA REALIZAR OS TESTES DA BER

```
void setup(){
  pinMode(2, OUTPUT);
}

void loop(){

  #define n 100
  int j;

  for(j=0;j<n;j++){
    vlc_send('M');
  }

  vlc_send('2');          //envia o byte 2 que é o complemento do byte M
  delay(300);
}

void vlc_send(byte input){
  int i;

  for(i=0; i<8; i++){    //faz o TX oscilar
    digitalWrite(2, HIGH);
    delayMicroseconds(1500);
    digitalWrite(2, LOW);
    delayMicroseconds(1500);
  }

  digitalWrite(2, HIGH); // aqui deixo o LED do TX ligado por 5 ms,
  delay(5);              //que vai ser usado como trigger no RX.
  digitalWrite(2, LOW); //deixo LOW por meio período(2.5 ms) e começo a
  delayMicroseconds(2500); //transmissão.
```

```
    for(i=0; i<8; i++){
        if(bitRead(input,i)==1)
            digitalWrite(2, HIGH);           //transmissãofetiva
        else
            digitalWrite(2, LOW);
        delayMicroseconds(2500);

        if(bitRead(input,i)==1)
            digitalWrite(2, LOW);
        else
            digitalWrite(2, HIGH);
        delayMicroseconds(2500);
    }/i

    digitalWrite(2, LOW);
}
```

### 7.3. CÓDIGO DO RECEPTOR PARA REALIZAR OS TESTES DA BER

```
#define limite_luz X                //definido conforme o cenário e a
                                   //configuração do TX e do RX

#define N 100                       //número de bytes da transmissão

const byte ref = B01001101;        //binário da letra M.
int i;
int LEDPin = A3;                   //pino de entrada analógica do sensor de Led
int good;
byte data_in;
interros=0;
int pare=0;
int j;

void setup(){

Serial.begin(9600);

}

void loop(){

for(i=0; i<13; i++){
if(analogRead(LEDPin)>limite_luz){ //nesse for eu garanto que o LED fique
delayMicroseconds(300);          //acesso por no mínimo 3.9 ms, que é o trigger
good=1;
}
else{
good=0;
i=100;
}
}
}
}
```

```

    if(good==1){                                     //sóentra se ficou on por 3.9 ms

while(1){

    if(analogRead(LEDPin)<limite_luz){               //após ficar on por 3.9 ms, quando for
                                                    //para LOW, eu espero meio período
delayMicroseconds(3750);                            // e começo a ler, usando 1.25 mili
                                                    //como offset. por isso delay(3750).

        for(i=0; i<8; i++){

    if(analogRead(LEDPin)>=limite_luz)               //leitura propriamente dita, a cada
                                                    // período(5 ms).

    bitWrite(data_in, i, 1);
        else
    bitWrite(data_in, i, 0);
        delay(5);
        if(bitRead(data_in, i)^bitRead(ref, i))
    erros++;

        }//for

        for(j=0; j<8; j++){
            if(bitRead(data_in, j)^bitRead(ref, j))
    pare++;
        }

    if(pare > 5){
    Serial.println("");
    Serial.print(erros-pare);                        //caso haja 6 ou mais bits errados em 1 byte
    Serial.print("   BER: ");                        //é considerado como sendo o final
    Serial.println(((float)(erros-pare)/(8*N),4));    // da transmissão dos N bytes
    erros=0;
        }

```

```
    else
Serial.print(char(data_in));           //imprime o caracter
    pare=0;
    break;
} //if
} //while
} //if
} //loop
```

#### 7.4. ALGUNS DOS PRINTS DOS TESTES PARA OBTER A BER



Figura 10 - BER: Rx 1 Led - Tx 1 Led a 40cm



Figura 11 - BER: Rx 2 Leds em paralelo - Tx 1 Led a 50cm





## 8. REFERÊNCIAS

BREUNING, L. Z., **Estudo e implementação de um sistema de comunicação ótico sem fio**. Trabalho de conclusão de graduação, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

CISCO VNI, **Relatório Cisco VNI**. 2016. Disponível em: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/complete-white-paper-c11-481360.html>. Acessado em fevereiro de 2017.

COELHO, J. H. **Comunicação de dados utilizando luz visível**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2011.

CONCEIÇÃO, M. L. **Comunicação por Luz Visível**. Trabalho de conclusão de graduação, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

CONDLIFFE, J. **Will Li-Fi be the new Wi-Fi?** Technology News, 2011. Disponível em: <https://www.newscientist.com/article/mg21128225-400-will-li-fi-be-the-new-wi-fi/>. Acessado em: fevereiro de 2017.

DIETZ, P. H.; YERAZUNIS, W. S.; LEIGH, D. L. **Very low-cost sensing and communication using bidirectional LEDs**, Int. Conf. Ubiquitous Comput. UbiComp, 2003.

DANTAS, M. **Tecnologias de redes de comunicação e computadores**. Tradução. Rio de Janeiro (RJ): Axcel Books, 2002.

ESCOLA, S.M.F. **Transmissões Síncronas e Assíncronas**. 2013. Disponível em: <http://esmf.drealentejo.pt/pgescola/g2t10/html/cartip/tiptrans/sincass.htm>. Acesso em fevereiro de 2017.

GFELLER, F. R.; BAPST, U. **Wireless in-house communication via diffuse infrared radiation**. In: *Proceedings of the IEEE*. [S.l.: s.n.], 1979. p. 1474–1486.

HASS, H. **O que é Visible Light Communication (VLC)?** Futurecom, 2013. Disponível em: <http://blog.futurecom.com.br/o-que-e-visible-light-communication-vlc/>. Acessado em: fevereiro de 2017.

HRANILOVIC, S. **Wireless Optical Communication Systems**. New York, NY, USA: Springer-Verlag New York, Inc., 2009.

MIMS, Forrest M., III, **Siliconconnections: Coming of Age in the Electronic Era**, McGraw-Hill, New York, NY, 1986.

MIMS, Forrest M., III, **LED Circuits and Projects**, Howard W. Sams and Co., Inc., New York, NY, pp. 60-61, 76-77, 122-123.

**Mobil Speedpass is an RFID payment system**. Disponível em: <http://speedpass.com>. Acessado em: dezembro de 2016.

IrDA, Infrared Data Associates. **Information and specifications can be obtained at the association's**. Disponível em: <http://www.irda.org>. Acessado em: julho de 2016.

SIG, Bluetooth information and specifications can be obtained from the Bluetooth, Inc. Disponível em: <http://www.bluetooth.o>. Acessado em: agosto de 2016.

MCDERMOTT-WELLS, P. **What is bluetooth?** Potentials, IEEE, v. 23, n. 5, p. 33–35, Dec 2005.

PERCÍLIA, Eliene. **Comunicação de Dados**. Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/informatica/comunicacao-dados.htm>>. Acesso em 23 de fevereiro de 2017.

ROMANO, V. F. F. **VLC - Comunicação Óptica por Luz Visível**. Trabalho de Conclusão de Graduação. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.

SOUZA, J. J. de; FONSECA, Z. P. da; STEVAN, S. L.. **Projeto de um sistema de comunicação por luz visível (VLC) baseado em iluminação LED**. , 2013.

STANDAGE, T. *The Victorian internet: The remarkable story of the telegraph and the nineteenth century's on-line pioneers*. New York: Walker, 1998. ix, 227 p.

WATTS, M. **Meet Li-Fi, the LED-based alternative to household Wi-Fi**. Wired Magazine, 2012. Disponível em: <http://www.wired.co.uk/article/the-lightbulb-moment>. Acessado em fevereiro de 2017.

WON, E. T.; SHIN, D.; JUNG., D. **Visible light communication: Tutorial. PowerPoint**. 2008.