

# Plataforma flexível para ensino de sistemas de comunicação por luz visível

Guilherme Toniolo Barreto, Gabriel Sette, Rodrigo Luiz Ximenes e Leandro Ronchini Ximenes

**Resumo** — Este trabalho propõe uma plataforma flexível e de relativo baixo custo voltada para o ensino de sistemas de comunicação por luz visível (*Visible Light Communications - VLC*), com suporte para as modulações *On-Off-Keying (OOK)* e *Color-Shift-Keying (CSK)*. A plataforma é baseada na utilização de dispositivos do tipo Arduino, onde se conseguiu um obter um link de comunicação bem sucedido entre um transmissor e um receptor. A plataforma desenvolvida é suficiente para utilização de arranjos variados de LEDs e fotodiodos.

**Palavras-Chave** — Comunicação por luz visível, *On-Off Keying (OOK)*, *Color-Shift Keying (CSK)*, Arduino

## I. INTRODUÇÃO

No contexto atual e futuro das telecomunicações, é inegável o significativo crescimento do uso de dispositivos móveis, compostos por *Smartphones*, sensores, *tablets* e também dispositivos para a Internet das Coisas (IoT), tais como carros, geladeiras, televisores, veículos autônomos, entre outros. Em meio a este cenário, o espectro eletromagnético que suporta a comunicação desses dispositivos citados já se encontra atualmente com capacidade sobrecarregada [1].

Com isso, é neste contexto que ganha destaque a comunicação por luz visível – ou *Visible Light Communications (VLC)*, em inglês. Como o próprio nome diz, esta tecnologia utiliza a larga faixa do espectro eletromagnético da luz visível. Por esse motivo, o emprego de sistemas VLC pode permitir maiores taxas de dados, reduzida interferência eletromagnética e até mesmo uma segurança maior na comunicação. Além disso, a comunicação VLC tem altíssima eficiência energética, uma vez que a luz é usada também para iluminação dos ambientes [2].

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma plataforma didática para ensino de sistemas VLC à nível de Graduação em Engenharia, na qual seja permitido a transmissão e recepção de sinais utilizando as modulações *On-Off-Keying (OOK)* e *Color-Shift Keying (CSK)*. Nota-se que devido à relativa recente aparição de sistemas VLC como tecnologias promissoras para 5G e 6G, há uma escassez de recursos didáticos disponíveis no mercado.

## II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

De maneira resumida, modulação é modulação é um processo no qual um sinal modulante (mensagem a ser transmitida) modula uma onda portadora, normalmente em amplitude, para transmitir sua informação em outra faixa do espectro eletromagnético.

### A. Modulação OOK

A modulação OOK para comunicação por luz visível é baseada na transmissão binária da qual a transmissão de bit 0

Gabriel Sette<sup>1</sup> g168151@dac.unicamp.br; Guilherme Toniolo Barreto<sup>1</sup> g169177@dac.unicamp.br; Rodrigo Luiz Ximenes<sup>1</sup> ximenes@ft.unicamp.br; Leandro Ronchini Ximenes<sup>1</sup> leandro@ft.unicamp.br; <sup>1</sup>FT-UNICAMP, <sup>1</sup>Limeira, São Paulo 13484-332

pode ser representado um LED apagado e a transmissão do bit 1 por um LED aceso [3].

### B. Modulação CSK

A modulação CSK foi proposta na documentação do padrão IEEE 802.15.7. Nesta modulação, a informação contida na mensagem modula as intensidades de cores de arranjos com três (TLED) ou quatro (QLED) LEDs coloridos. É importante salientar ainda que a modulação CSK possui a importante característica de garantir uma potência luminosa constante ao longo do tempo, reduzindo efeito indesejado centelhamento ou *flickering* [3, 4].

A Tabela 1 mostra a padronização do IEEE para níveis de potência em QLED (utilizando 4 LEDs na transmissão), para modulação 4-CSK e 8-CSK. Esta tabela relaciona os símbolos com a intensidade luminosa ( $w/m^2$ ) de cada LED colorido: azul (B), ciano (C), amarelo (Y) e vermelho (R), bem como relaciona, através das colunas x e y, os símbolos com as coordenadas do padrão de cromaticidade usado na modulação CSK.

		x	y	B	C	Y	R
	Symbol			( $w/m^2$ )	( $w/m^2$ )	( $w/m^2$ )	( $w/m^2$ )
4-CSK	$S_0$	0.169	0.007	1	0	0	0
	$S_1$	0.011	0.460	0	1	0	0
	$S_2$	0.734	0.265	0	0	0	1
	$S_3$	0.402	0.597	0	0	1	0
8-CSK	$S_0$	0.169	0.007	1	0	0	0
	$S_1$	0.09	0.2335	0.5	0.5	0	0
	$S_2$	0.2065	0.5285	0	0.5	0.5	0
	$S_3$	0.011	0.460	0	1	0	0
	$S_4$	0.4515	0.1360	0.5	0	0	0.5
	$S_5$	0.734	0.265	0	0	0	1
	$S_6$	0.402	0.597	0	0	1	0
	$S_7$	0.568	0.431	0	0	0.5	0.5

Tabela 1: Padronização IEEE para níveis de potência em QLED para modulação 4-CSK e 8-CSK [4].

## III. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Os materiais utilizados para esta plataforma foram: dois *notebooks* (um para o envio da mensagem e outro para o recebimento desta), dois Arduinos UNO REV3 (um para transmissão e outro para recepção) e *protoboards*.

## IV. METODOLOGIA

A Figura 1 ilustra de modo simplificado o projeto. A interface de dados da plataforma, tanto do transmissor quanto do receptor, é realizada pelo computador (através do Monitor Serial do Arduino) conectado aos Arduinos via comunicação serial.

### A. Transmissor

A Figura 2 apresenta o diagrama de blocos do transmissor. Os blocos de mensagem, codificação de fonte e serial para paralelo/mapeamento são implementados pelo Arduino.

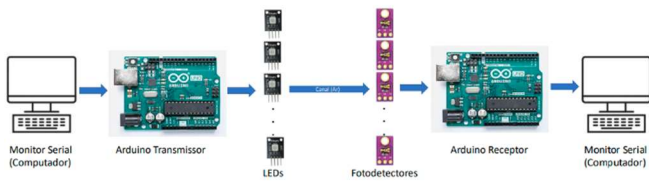


Figura 1: Diagrama de blocos simplificado do sistema VLC implementado.

A modulação OOK é implementada no transmissor utilizando até 8 saídas digitais do Arduino para o acionamento de um arranjo de até 8 LEDs. Já a modulação CSK é implementada utilizando saídas PWM (*Pulse Width Modulation*) do Arduino. A plataforma é capaz de converter o nível de potência necessário para cada símbolo (e.g., aqueles da Tabela 1) em um valor de razão cíclica.

Por fim, estas saídas são submetidas a um amplificador de tensão (AMP) e depois direcionado aos seus respectivos LEDs, através de um circuito externo.

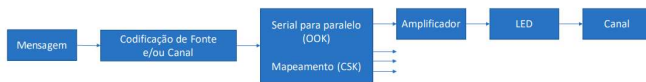


Figura 2: Diagrama de blocos do transmissor.

### B. Receptor

A Figura 3 apresenta o diagrama de blocos do receptor. Os blocos paralelo para serial/demapeamento, decodificação de fonte e mensagem são implementados pelo Arduino.

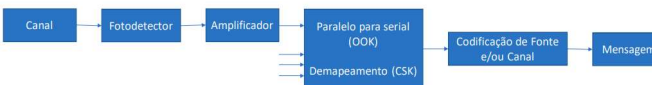


Figura 3: Diagrama de blocos do receptor.

O tipo de modulação utilizado na transmissão e recepção (OOK ou CSK) é configurado via Software através do código desenvolvido para o Arduino transmissor. Em outras palavras, uma mensagem de sinalização é trocada entre os dois Arduinos para garantir a mesma modulação nas duas pontas, e para fins de alinhamento e sincronia.

### C. Flexibilidade da plataforma

No contexto deste projeto, define-se como “flexível” a capacidade da plataforma se reconfigurar a nível da camada física a diferentes modulações, além de permitir a utilização de diferentes arranjos de LEDs e fotodiodos.

No caso da modulação OOK, a plataforma permite que este tipo de modulação seja realizado com quantas saídas digitais o usuário desejar. O fator limitante é o número de saídas digitais que o Arduino transmissor e o Arduino receptor apresentam (8, como já mencionado).

No caso da modulação CSK, a plataforma realiza as modulações 4-CSK e 8-CSK apresentadas na Tabela 1, podendo funcionar com pequenas modificações tanto para três (TLED) ou quatro (QLED) LEDs.

### D. Especificações da plataforma

Considerando a utilização do Arduino UNO REV3 e a comunicação serial entre o computador e o Arduino, é esperado que a largura de banda da saída da placa permita um enlace de

até 9600 baud. A máxima corrente contínua do Arduino por entrada/saída digital é de 20mA e a máxima corrente contínua por entrada/saída analógica é de 50mA.

## V. RESULTADOS

Até o momento, foram implementados os blocos de mensagem e serial para paralelo/mapeamento do transmissor (Figura 2) e os blocos de mensagem e paralelo para serial/demapeamento no receptor (Figura 3).

Como resultados obtidos, têm-se o gráfico da Figura 4, que representa a BER (taxa de erros) em função das taxas de transmissão para a modulação OOK.

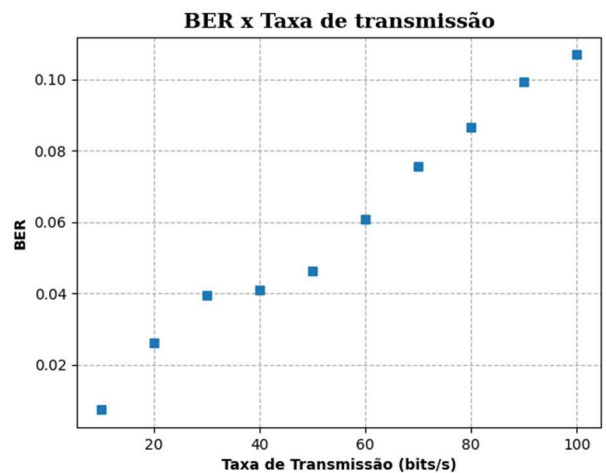


Figura 4: Gráfico da BER x Taxa de transmissão.

Desta forma, percebe-se que foi possível o estabelecimento de um *link* de comunicação entre o Arduino transmissor e o receptor utilizando diversas taxas de transmissão e, como esperado, a taxa de erros aumenta proporcionalmente com o aumento da taxa de transmissão.

## VI. CONCLUSÃO

Este trabalho propôs a criação de uma plataforma funcional, acessível, flexível e de baixo custo para ensino de conceitos relacionados à tecnologia de comunicação por luz visível

Para as próximas etapas do projeto, serão realizados testes adequados para a obtenção de resultados envolvendo taxa de erros para a modulação CSK (de maneira análoga aos obtidos para a modulação OOK).

## VIII. REFERÊNCIAS

- [1] X. F. P. H. a. P. M. P. H. Pathak, “Visible light communication, networking, and sensing: A survey, potential and challenges,” *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, p. 2047–2077, 2015.
- [2] R. M. Marè, “Proposta e avaliação de um sistema complementar de posicionamento baseado em comunicação por luz visível aplicado a sistemas inteligentes de transporte,” 2018. [Online]. Available: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3141/tde-26022018-144410/publico/RenataMariaMareCorr18.pdf>.
- [3] W. Y. e. al., “3.25-Gbps visible light communication system based on single carrier frequency domain equalization utilizing an RGB LED,” em *Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC)*, 2014.
- [4] S. a. al., “An Enhanced Color Shift Keying Modulation Scheme for HighSpeed Wireless Visible Light Communications,” *Journal of Lightwave Technology*, 2014.