



## SIMULAÇÃO DE UM CANAL ÓPTICO DE COMUNICAÇÃO POR LUZ VISÍVEL DO TIPO SISO COM APLICAÇÃO INDOOR

**João P. Sales Brum**

Acadêmico do curso de Engenharia de Telecomunicações - UFSM

**Adrion A. Rosanelli**

Acadêmico do curso de Engenharia de Telecomunicações - UFSM

**Christian M. Barth**

Acadêmico do curso de Engenharia de Telecomunicações - UFSM

**Lucas Teixeira**

Pós-graduando do curso de Engenharia Elétrica – UFSM

**Marco A. Dalla Costa**

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Elétrica – UFSM

**Resumo.** *Realizou-se a simulação de um sistema de comunicação por luz visível com aplicação indoor, o qual é utilizado não só para iluminar o ambiente, mas também para enviar dados através da luz por um canal de comunicação sem fio. Com isso, foi estabelecido um canal com apenas um sinal de entrada e outro de saída. Dessa forma, o objetivo do trabalho é em analisar o comportamento do sinal em uma sala escura, sem interferências de iluminação externa, utilizando análises numéricas. Assim, é possível posicionar o sensor para obter a melhor potência e também mudar a modulação dos dados a fim de obter menos perdas.*

**Palavras-chave:** *comunicação por luz visível. simulação. indoor*

### 1. INTRODUÇÃO

O sistema de comunicação sem fio tem como recurso do sinal uma determinada frequência no espectro eletromagnético, que busca usar certos comprimentos de onda para enviar dados em uma frequência bem definida. Em função do aumento de dispositivos com acesso à rede, as faixas de frequências utilizadas para comunicação acabam sendo saturadas, necessitando de um auxílio para evitar a saturação. Com o surgimento da tecnologia dos LEDs e

interruptores semicondutores permite a realização de comutação rápida de dispositivos de potências, conforme mostrado por E.F. Schubert [1], que pode ser adequado ao desenvolvimento da comunicação por luz visível. Esta tecnologia tem como base a modulação da intensidade luminosa para enviar dados, e recebê-los através de um receptor sensível à luz.

Atualmente, junto a esta nova tecnologia, emergem algumas aplicações interessantes, como o confinamento de um link em salas. Existem muitas vantagens do ponto de vista da iluminação e da comunicação, por exemplo:

- Segurança, visto que a luz não atravessa paredes;
- Aumento da precisão de coordenadas de localização em ambientes internos;
- Capacidade de comutação em altas frequências.

Neste artigo, é proposto uma análise do canal óptico e a forma como o receptor comporta-se em uma sala, desconsiderando reflexões do ambiente e a luz externa, considerando apenas características físicas e geométricas, utilizando análises numéricas para determinar a distribuição espacial de intensidade do sinal, conforme o trabalho de Y. Tanaka *et al.* [2].

O artigo está organizado da seguinte maneira. Na seção 2, estão evidenciadas as



configurações propostas e parâmetros utilizados na simulação. Na seção 3, encontram-se as propriedades do LED, o ganho do canal óptico e a potência recebida no sensor. Por fim, na seção 4, os resultados obtidos são discutidos.

## 2. CONFIGURAÇÕES DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

O sistema de uma entrada e uma saída (SISO, do inglês *single-input, single-output*) é modelado em uma simulação numérica e parâmetros de uma sala escura. A modulação de intensidade luminosa é detectada pelo sensor, próximo ao chão, sem nenhuma reflexão no caminho. O sistema proposto consistem em apenas uma lâmpada LED, localizada no centro da sala, de medidas 5m x 5m x 3m (comprimento, largura e altura), conforme mostra a Figura 1.

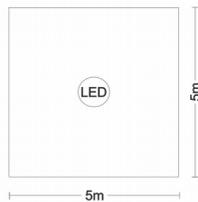


Fig.1 Configuração de uma lâmpada LED no teto centralizada na sala simulada.

## 3. MODELAGEM DO CANAL ÓPTICO

Assume-se que os sinais ópticos se propagam através de uma linha de visada (LDV) com caminho ininterrupto entre o receptor e o transmissor em uma sala escura (Fig.2), livre de reflexões. Para modelar o canal óptico, é simulada uma lâmpada LED instalada no centro do teto da sala e um fotosensor (PD) próximo ao chão.

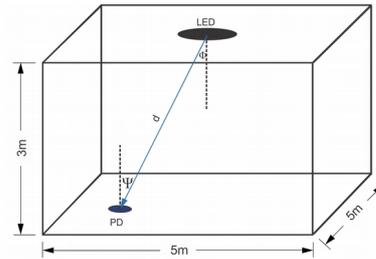


Fig.2.Sala escura com um LED no teto e um fotosensor próximo ao chão.

### 3.1 Propriedades do LED e sua iluminância

O LED pode ser descrito com dois tipos de propriedades, a intensidade luminosa e a potência óptica transmitida. A distribuição de iluminância assume um padrão de radiação a partir da lei de Lambert-Beer, conforme evidencia T. Komine *et al.* [3], assumindo uma dependência entre o cosseno do ângulo de emissão e a normal da superfície. A intensidade luminosa no ângulo  $\phi$  é dada por:

$$I(\phi) = I(0) \cos^n(\phi) \quad (1)$$

onde  $I(0)$  é o centro da intensidade luminosa,  $\phi$  é o ângulo de irradiação, e  $n$  é a ordem da emissão de Lambert, dado pelo semi-ângulo de meia potência do LED  $\phi_{1/2}$ :

$$n = \frac{-\ln 2}{\ln(\cos \phi_{1/2})} \quad (2)$$

E a iluminância horizontal  $E_{hor}$  no ponto  $(x,y)$  é:

$$E_{hor} = \frac{I(0) \cos^n(\phi)}{D^2 \cos(\psi)} \quad (3)$$

onde  $D$  é a distância entre o transmissor e o receptor, e  $\psi$  é o ângulo de incidência.



### 3.2 Simulação da Iluminância

Nesta subseção, é mostrada a simulação da iluminância do LED, com base nos parâmetros calculados pela Equação (3), os mesmos estão citados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros para a Iluminância do LED

Parâmetros	Valores
Distância entre TX e RX	2 m
Semi-ângulo de meia potência	30°
Centro da intensidade luminosa	4600 cd

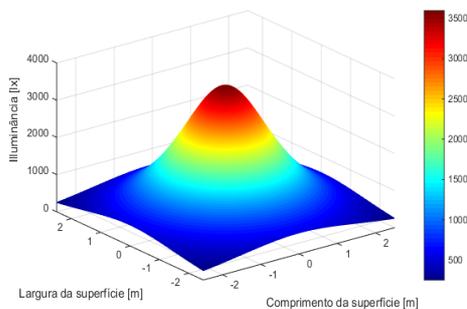


Fig 3. Distribuição da iluminância em uma sala escura com 5 metros de comprimento e largura.

A Figura 4 mostra a simulação da distribuição da iluminância horizontal, com um máximo de 3593,5 lx, e um mínimo de 251,86 lx. Como o LED está no centro, o maior valor está mais perto do centro da sala, quando o ângulo de incidência é zero.

### 3.3 Ganho do canal e potência recebida no sensor

Como um canal óptico de comunicação sem fio é assumido para simulação da máxima potência recebida no foto sensor. Foi analisado apenas o ganho do canal, a fim de ser aplicado na potência do sensor. Para isso, esse ganho, mostrado por F. R. Gfeller *et al.* [4]:

$$H_{LDV} = \begin{cases} \frac{(n+1)A}{2\pi D^2} \cos^n(\phi) T_s(\psi) \cos(\psi), & 0 < \psi \leq CDV \\ 0, & \psi > CDV \end{cases} \quad (4)$$

Na Equação (4),  $n$  é a ordem de emissão de Lambert,  $A$  é a área ativa do foto sensor,  $D$  é a distância entre o transmissor e o receptor,  $\psi$  é o ângulo de incidência,  $\phi$  é o ângulo de irradiação,  $T_s$  é o ganho do filtro óptico e  $g(\psi)$  é o ganho do concentrador do filtro óptico. O ângulo de incidência deve ser menor que o ângulo do campo de visão (CDV) do foto sensor. O concentrador óptico pode ser dado como [4]:

$$g(\psi) = \begin{cases} \frac{i^2}{\sin^2(CDV)}, & 0 \leq \psi \leq CDV \\ 0, & \psi > CDV \end{cases} \quad (5)$$

$i$  refere-se ao índice de refração.

Então, a potência recebida no sensor é calculada pela potência do LED  $P_{LED}$  e a intensidade de radiação de Lambert, consequentemente, resultando na potência transmitida  $P_{tx}$ , a qual é evidenciada no trabalho de L. Zeng *et al.* [5] e pode ser calculada pela expressão:

$$P_{tx} = \frac{(n+1)}{2\pi} \cos^n(\phi) P_{LED} \quad (6)$$

A potência óptica recebida no sensor  $P_{rx}$  depende diretamente da potência óptica transmitida  $P_{tx}$ , como segue:

$$P_{rx} = H_{LDV} \cdot P_{tx} \quad (7)$$

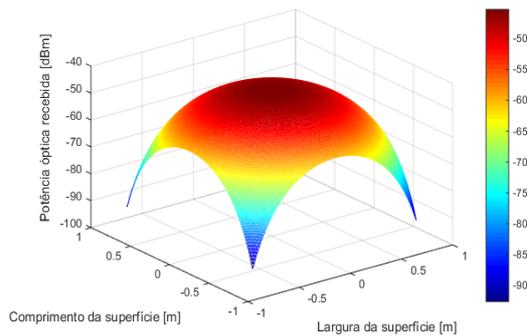


Fig 4. Distribuição de potência óptica recebida no sensor. Min. -92,58 dBm e máx. de -46,04 dBm.

#### 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

É possível perceber que a potência recebida pelo sensor está diretamente relacionada com a potência irradiada pelo LED e principalmente do ganho do canal CC. Este é diretamente relacionado com ângulos de incidência e irradiação entre transmissor e receptor. Então, para uma aplicação de um sistema SISO para CLV, é perceptível que a maior concentração de potência luminosa se situará no centro da sala, quanto mais próximo de zero for o ângulo de incidência. Entre o centro e o canto da sala, é possível ver uma queda de 46,64 dB, resultando em muito menos potência. Essa constatação pode ser relacionada com a relação entre sinal e ruído (considerando este constante em todo o ambiente), podendo esta característica ser explorada pelo sistema de comunicação que alterne em diferentes modulações para compensar a menor relação entre sinal e ruído nos cantos, diminuindo a taxa de transmissão e/ou a complexidade da codificação dos dados, a fim de atingir uma pequena probabilidade de erro de símbolo.

#### 5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi realizada uma simulação para a obtenção da potência máxima recebida num sensor aplicado à

comunicação por luz visível, de acordo com as coordenadas  $x, y$  de uma sala escura.

Verificou-se que um sistema SISO não é o melhor modelo para uma implementação, devido à grande perda nos cantos da sala, assim tendo que alternar a modulação ou diminuir a taxa de transmissão para aumentar o ganho.

#### Agradecimentos

Este trabalho não seria realizado sem a ajuda dos colegas de graduação, assim como os pós-graduandos, ambos do GEDRE. Também, gostaria de agradecer ao curso de Engenharia de Telecomunicações pelo apoio durante a pesquisa e a UFSM pela estrutura.

#### 6. REFERÊNCIAS

- [1] E. F. Schubert, Light-Emitting Diodes. UK: Cambridge University Press, 2006.
- [2] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama, and M. Nakagawa, "Indoor visible light data transmission system utilizing white led lights," IEICE transactions on communications, vol. 86, no. 8, pp. 2440–2454, 2003.
- [3] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 50, no. 1, pp. 100–107, 2004.
- [4] F. R. Gfeller and U. Bapst, "Wireless in-house data communication via diffuse infrared radiation," Proceedings of the IEEE, vol. 67, no. 11, pp. 1474–1486, 1979.
- [5] L. Zeng, D. O'Brien, H. Le-Minh, K. Lee, D. Jung, and Y. Oh, "Improvement of data rate by using equalization in an indoor visible light communication system," in Circuits and Systems for Communications, 2008. ICCSC 2008. 4th IEEE International Conference on. IEEE, 2008, pp. 678–682.