

# CARACTERIZAÇÃO ELETROTÉRMICA APLICADA AO ESTUDO DAS COORDENADAS CROMÁTICAS EM LEDS RGB

**Guilherme G. Pereira**

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica, UFSM  
guilhermepereira@gedre.ufsm.br

**Alexandre dos S. Cardoso**

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica, UFSM  
alex.cardoso@gedre.ufsm.br

**William D. Vizzotto**

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica, UFSM  
william.vizzotto@gedre.ufsm.br

**Marco A. Dalla Costa**

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Elétrica, UFSM  
marcodc@gedre.ufsm.br

**Resumo.** *O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia de análise das coordenadas de cromaticidade em LEDs RGB, considerando a influência da temperatura de junção nas mesmas. Uma revisão teórica dos conceitos de colorimetria é realizada, bem como uma demonstração do equacionamento de fluxo luminoso que considera o efeito das características térmicas e elétricas dos LEDs. Os resultados das equações que representam a temperatura do dissipador e da junção dos LEDs são comparados com simulações em elementos finitos e com medições experimentais. A equação do fluxo luminoso é relacionada com as matrizes dos valores tristímulo a fim de obter-se uma relação precisa entre as condições de operação do LED e a cor desejada. Por fim, resultados experimentais são apresentados.*

**Palavras-chave:** *Colorimetria. Coordenada de Cromaticidade. LEDs RGB.*

## 1. INTRODUÇÃO

Diversos estudos sobre diodos emissores de luz (LEDs) têm sido realizados nos últimos anos, isso se justifica pela elevada vida útil, alta eficácia, robustez, economia de energia, entre outras vantagens

apresentadas por esses dispositivos (VIEIRA, 2009).

Dentro da área de iluminação decorativa, destacam-se os LEDs RGB (Red-Green-Blue). Lâmpadas que utilizam LEDs RGB possuem diversas vantagens quando comparadas com outras técnicas, como a possibilidade de representar basicamente qualquer cor, apresentar uma alta eficácia luminosa, possibilitar mudança instantânea de cor e controle da intensidade luminosa. Suas principais aplicações são em iluminação de fundo e iluminação decorativa (MUTHU e GAINES, 2003).

Os resultados das equações que representam a temperatura do dissipador e da junção dos LEDs serão comparados com simulações em elementos finitos através do programa computacional ANSYS® e com medições experimentais na esfera integradora, utilizando um espectrofotômetro/colorímetro, um termômetro Fluke 51 II e um termovisor Fluke Ti25.

## 2. CARACTERÍSTICAS DOS LEDS RGB

### 2.1 Colorimetria

Através da mistura de 3 LEDs, sendo um verde, um vermelho e um azul, podemos sintetizar qualquer cor dentro do triângulo

formado por eles. O diagrama CIE1931, mostrado na Fig.1, representa matematicamente a percepção de cor pelo olho humano. Neste plano, qualquer cor pode ser representada por duas coordenadas (x,y) (CREE, 2010) (WANG, 2010).

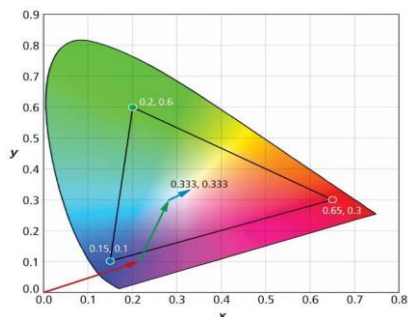


Figura 1. Vetor de soma de cores no diagrama de cromaticidade CIE1931

Para utilização em fontes de luz, a forma de mistura das cores é a aditiva, sendo que cada cor, vermelha, verde e azul, é considerada um vetor independente e perpendicular. Estes três vetores formam um espaço de cor. Um exemplo desta soma de vetores das três cores para fazer a luz branca é mostrado na Fig.1.

Utilizando o conceito de espaço de cor, é possível obter-se as equações dos tri-estímulos XYZ de cada cor, como visto em (YANG, 2009). Equação (1) mostra a luminância [cd/m<sup>2</sup>] necessária para obter a cor desejada, em forma de matriz, onde os valores da coordenada desejada (x<sub>c</sub>, y<sub>c</sub>) são mostrados nas Eq. (2) e (3).

$$\begin{bmatrix} Y_r \\ Y_g \\ Y_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x_r}{y_r} & \frac{x_g}{y_g} & \frac{x_b}{y_b} \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 - x_r - y_r & 1 - x_g - y_g & 1 - x_b - y_b \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{x_c}{y_c} \\ 1 \\ 1 - x_c - y_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$x_c = \frac{1}{\frac{Z_c + Y_c}{X_c} + 1} \quad (2)$$

$$y_c = \frac{1}{\frac{X_c}{Y_c} + \frac{Z_c}{Y_c} + 1} \quad (3)$$

Onde x<sub>i</sub> e y<sub>i</sub> são as coordenadas de cromaticidade das cores primárias e X<sub>c</sub>, Y<sub>c</sub> e Z<sub>c</sub> são os valores tristímulos do estímulo da cor desejada. Os índices r,g e b representam os LEDs vermelho, verde e azul, respectivamente. O índice i refere-se

também às três cores citadas, sendo substituídos por r, g ou b.

## 2.2 Modelo Eletrotérmico para LEDs RGB

O fluxo luminoso de um LED é influenciado principalmente por dois fatores: a corrente elétrica que circula pelo dispositivo e a temperatura de junção (T<sub>j</sub>). Um aumento na corrente causa um aumento na T<sub>j</sub>. Vários estudos abordam a relação entre características ópticas (fluxo luminoso e eficácia luminosa), térmicas (temperatura da junção, do dissipador e do ambiente) e elétricas (tensão e corrente diretas) (J. GARCIA, 2008). A metodologia proposta por (BENDER, IARONKA, *et al.*, 2012) apresenta uma aproximação onde parâmetros elétricos e térmicos são considerados para obter o fluxo luminoso. O mesmo procedimento será utilizado neste trabalho, porém aplicado à LEDs RGB.

Uma analogia da parte térmica de um sistema RGB pode ser realizada com um circuito elétrico, conforme a Fig. 2. As fontes de corrente Q<sub>r</sub>, Q<sub>g</sub> e Q<sub>b</sub> representam o calor [W] gerado pelos LEDs. Logo após, têm-se as respectivas T<sub>j</sub> de cada LED, bem como as resistências térmicas da junção (R<sub>j*c*</sub>). T<sub>hs</sub> representa a temperatura média do dissipador, no qual estão dispostos os três LEDs, e R<sub>hs</sub>, a resistência térmica do mesmo. T<sub>a</sub> representa a temperatura ambiente.

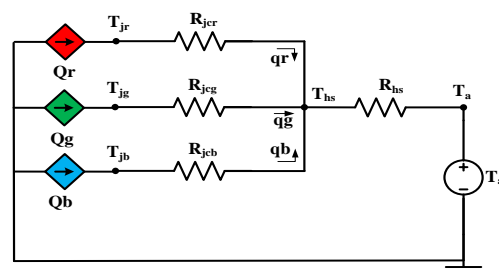


Figura 2 – Modelo térmico para LEDs RGB no mesmo dissipador.

Para quantificar o calor produzido por cada LED (sendo n<sub>i</sub> o número de LEDs), considera-se a potência elétrica aplicada ao dispositivo e um fator que representa a

porção que este dispositivo transforma em calor, conforme Eq. (4). A tensão direta do dispositivo,  $V_{fi}$ , é representada pela Eq. (5), onde  $I_{fi}$  é a corrente direta do LED e  $k_h$  o fator que representa a quantidade da potência elétrica que é transformada em calor pelo LED (aproximadamente 0,85),  $V_{oi}$  a tensão limiar do LED,  $R_{si}$  a resistência série do LED,  $k_{vi}$  o fator que representa o decréscimo da tensão com o aumento da temperatura de junção [V/°C] e  $T_0$  a temperatura em que os testes da folha de dados foram feitos, usualmente 25°C.

$$Q_i = n_i V_{fi} I_{fi} k_h \quad (4)$$

$$V_{fi} = V_{oi} + R_{si} I_{fi} + k_{vi} (T_{ji} - T_0) \quad (5)$$

Após definir quanto calor é produzido, pode-se definir a temperatura do dissipador, que é representada pela Eq. (6), onde são consideradas as resistências térmicas do sistema. A temperatura da junção,  $T_{ji}$ , de cada dispositivo pode ser calculada através da Eq. (7). Os valores de  $R_{hs}$  e  $R_{jci}$  são dados do fabricante.

$$T_{hs} = T_a + R_{hs} (Q_r + Q_g + Q_b) \quad (6)$$

$$T_{ji} = T_{hs} + R_{jci} Q_i \quad (7)$$

Sendo assim, o fluxo luminoso total de cada cor pode ser descrito por (8), onde se têm a influência da  $T_j$  e da  $I_f$  do dispositivo em conjunto. O fluxo nominal do LED [lm] é representado por  $F_{oi}$ . Os coeficientes  $c_{oi}$  e  $d_{oi}$  são os coeficientes lineares das curvas do fluxo luminoso em função da  $T_j$  e da corrente, respectivamente. Os coeficientes  $c_{1i}$  e  $d_{1i}$  são os coeficientes angulares das curvas do fluxo luminoso em função da  $T_j$  e da corrente, respectivamente. Estes coeficientes são calculados a partir de curvas fornecidas na folha de dados do fabricante.

$$F(I_{fi}) = n_i F_{oi} (c_{oi} + c_{1i} T_{ji}) (d_{oi} + d_{1i} I_{fi}) \quad (8)$$

### 3. RESULTADOS OBTIDOS

A fim de confirmar a aplicabilidade da metodologia abordada anteriormente, foram realizados simulações e testes. Para a quantificação dos erros entre valores medidos e calculados, foi utilizada a Eq. (9), onde E% é o erro percentual,  $x_c$  e  $y_c$  são os

valores das coordenadas calculados e  $x_m$  e  $y_m$  são os valores das coordenadas medidos.

$$E\% = 100 * \sqrt{(x_c - x_m)^2 + (y_c - y_m)^2} \quad (9)$$

A Fig. 3 apresenta a comparação dos valores de temperatura do dissipador calculados e por medição a partir do termopar. A corrente direta de cada LED foi variada de 0,1 a 0,9 A com um passo de 0,1 A, exceto do LED vermelho, que teve a corrente mantida em 0,35 A. A  $T_a$  média foi de 26°C e o resultado obtido é bastante próximo ao calculado, com um desvio máximo de 7%.

Foram escolhidas algumas cores aleatoriamente, bem como o fluxo total, sendo obtidas então as correntes necessárias para cada LED. Na Fig. 4 as coordenadas escolhidas são comparadas com as coordenadas obtidas experimentalmente. A maior diferença entre a coordenada escolhida e a medida foi de 10%. Os fluxos totais não ultrapassaram 5% de desvio relativo.

A Fig. 5.a representa os dados experimentais e a Fig. 5.b os dados da simulação utilizando o MEF. Estes dados validam as equações (7) e (8). A corrente dos LEDs vermelho, verde e azul são, respectivamente, 300 mA, 700 mA e 300 mA. A  $T_a$  média igual a 23°C. O LED verde apresentou a maior temperatura, conforme esperado, devido ao arranjo geométrico utilizado.

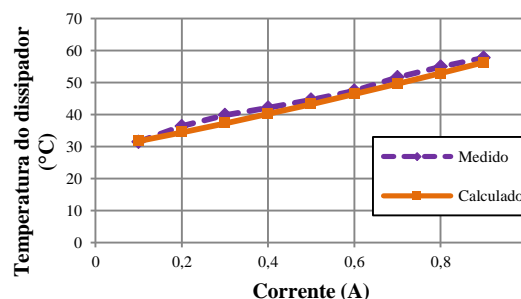


Figura 3. Comparação entre dados de temperatura medidos e calculados

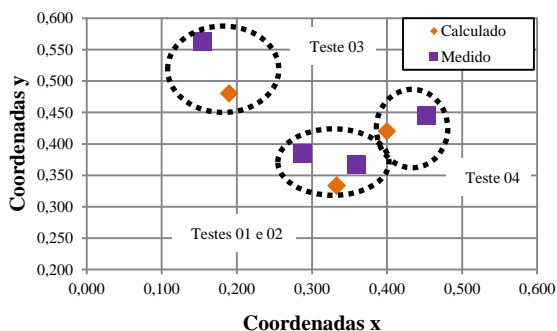
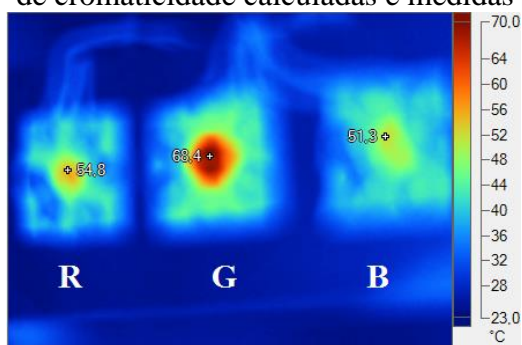
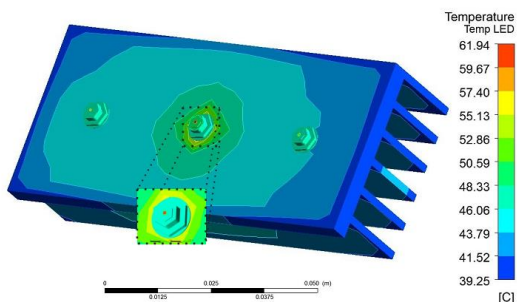


Figura 4. Comparação entre as coordenadas de cromaticidade calculadas e medidas



(a)



(b)

Figura 5. Comparação entre dados de temperatura medidos (a) e simulados (b).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um equacionamento para estabilizar as coordenadas de cromaticidade foi proposto, partindo-se de um modelo eletrotérmico, onde parâmetros elétricos, térmicos e de emissão luminosa foram considerados, visto que todos eles são interdependentes. Através disso, foi possível analisar as variações das coordenadas cromáticas, bem como definir a corrente necessária em cada cor para que se obtivesse determinada coordenada de cromaticidade.

Testes experimentais foram realizados e comparados com os dados calculados e com

simulações utilizando o MEF. Essa comparação demonstrou que a metodologia pode ser utilizada para todas as problemáticas propostas no presente trabalho, sendo os desvios aceitáveis, com valor máximo não superior a 10%. O trabalho desenvolvido apresenta aplicações em iluminação decorativa, propiciando o uso de LEDs RGB sem a necessidade do uso de fotodiodos para o controle da luz emitida.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da FAPERGS, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul - Brasil.

## REFERÊNCIAS

- BENDER, V. C. et al. An optimized methodology for LED lighting systems designers. **Industry Applications Society Annual Meeting (IAS)**, V.1, 2012. p.7-11.
- CREE. **LED Color Mixing: Basics and Background**. Disponível em: <www.cree.com/xlamp>. Acesso em 25 abril 2012.
- J. GARCIA, E. A. An estimator of luminous flux for enhanced control of high brightness LEDs. **Power Electronics Specialists Conf.** p.1852-1856, 2010.
- MUTHU, S.; GAINES, J. Red, Green and Blue LED-based White Light Source: Implementation Challenges and Control Design. **Industry Applications Conf.**, 2003.
- VIEIRA, I. D. C. **Projeto de um Conversor Flyback auto-oscilante de baixo custo para LEDs de potência**. Dissertação de mestrado em Engenharia Elétrica, UFMG. Belo Horizonte. 2009.
- WANG, F.-C. Multivariable Robust Control for a RGB LED Lighting System. **IEEE Trans. on Power Electronics**, Taiwan, 2010.
- YANG, Y.-R. Implementation of a Colorful RGB-LED Light Source with an 8-bit Microcontroller. **Industrial Electronics and Applications (ICIEA)**, 2010.