

Aplicação e Análise Prática do Sensor Espectral Modelo AS7341

Matheus Vargas Linhares e Nathália Grazziotin

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Santa Maria

Resumo – A tecnologia dos diodos emissores de luz (LEDs) está em constante expansão nos últimos anos, sendo amplamente utilizada nas mais diversas áreas de conhecimento. Dessa forma, é de fundamental importância conhecer o espectro luminoso que está sendo utilizado para validar sua efetividade de acordo com as especificidades das aplicações. Este artigo foi desenvolvido a partir da utilização prática do sensor espectral modelo AS7341, através do qual é possível utilizar técnicas de processamento de sinais para avaliar qual das propostas representa o melhor comportamento desse modelo de sensor.

Palavras Chave – Sensor, Sinal, Espectro Luminoso, LEDs, Aproximação Numérica, Interpolação, Erro Médio Quadrático.

I. INTRODUÇÃO

A capacidade de identificar a presença ou ausência de luz em ambientes diversos, além da detecção das cores que compõe o espectro luminoso visível, são fatores de extrema importância para o ramo de iluminação. A luz é uma forma de radiação eletromagnética, um tipo de energia que se propaga através de ondas. Ondas de rádio, micro-ondas e raio X são outros exemplos de radiações eletromagnéticas. A combinação de todos os tipos de radiação eletromagnética forma o espectro eletromagnético. Conforme apresentado na Figura 1, cada onda eletromagnética possui um comprimento de onda específico e diferentes tipos de radiação têm diferentes faixas características de comprimentos de onda. As radiações com comprimento de onda longo, tais como as ondas de rádio, carregam menos energia do que as radiações com um comprimento de onda curto, como os raios-X. O espectro visível, ou seja, única parte do espectro eletromagnético que pode ser vista pelo olho humano inclui a radiação eletromagnética cujo comprimento de onda está entre 400 e 700nm [1][2].

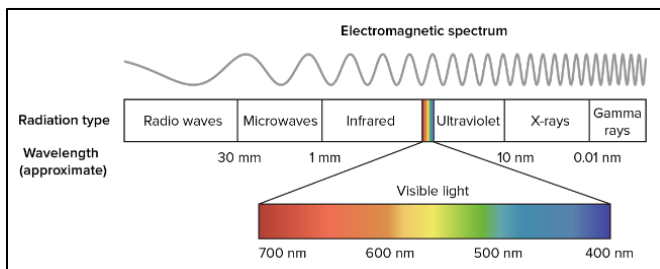


Fig. 1. Espectro Eletromagnético.

II. SENSOR ESPECTRAL

Os luxímetros não possuem as mesmas respostas para todos os tipos de fontes luminosas, não sendo tão eficientes quando aplicados a LEDs coloridos, tais como modelos RGBW e LEDs específicos para aplicação em horticultura. Dessa forma, para assegurar medições mais precisas, o sensor utilizado nesse trabalho é o modelo AS7341, do fabricante, ams-OSRAM. Conforme ilustrado pela Figura 2, trata-se de um espectrômetro de 11 canais utilizado em dispositivos móveis para identificação espectral e correspondência de cores. Ele abrange uma resposta espectral definida nos comprimentos de onda de entre 350nm e 1000nm. Seis canais podem ser processados simultaneamente através de conversores analógico-digitais independentes, enquanto os outros canais são acessados através de um multiplexador. Oito canais ópticos cobrem o espectro de luz visível, um canal pode ser utilizado para medir luz infravermelha, e um canal é um fotodiodo sem filtro. Além disso, o dispositivo possui um canal específico para detectar a cintilação da luz ambiente, também denominado efeito *flicker*, em frequência de 50 ou 60Hz. O mecanismo de detecção de cintilação também armazena dados em buffer para calcular outras frequências de cintilação externamente [3].

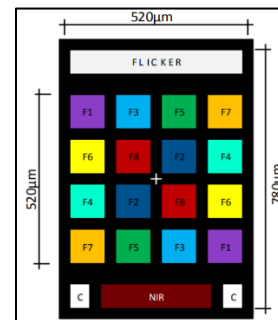


Fig. 2. Construção do Sensor.

Em 1931, o Comitê Internacional de Iluminação (CIE) lançou um sistema de colorimetria (CIE 1986) que possibilitou a definição de um estímulo de cor por meio de apenas três valores: X, Y e Z. Desde então, havia dificuldades em trabalhar com três dimensões, dessa forma, foi desenvolvida uma projeção bidimensional que desconsiderou a dimensão de brilho (Y). Isso resultou na criação de um diagrama de cromaticidade XY, no qual as cores podem ser representadas graficamente. Nesse diagrama, a mistura aditiva de cores pode ser prevista por

meio de linhas retas que conectam os pontos que representam as cromaticidades das luzes. As coordenadas de cromaticidade são amplamente utilizadas em diversas aplicações, como padrões internacionais para iluminação de sinalização. Além disso, o diagrama também é útil para analisar o comprimento de onda dominante e a pureza de excitação dos estímulos [4][5].

III. MÉTODOS DE APROXIMAÇÃO NUMÉRICA

Tendo como base a CIE1931, para obtenção de uma medida espectral precisa, é necessário avaliar os pontos a cada nanômetro dentro da distribuição espectral total. Como mencionado anteriormente, o sensor AS7341 captura apenas oito pontos dentro do espectro de luz visível, ou seja, um conjunto de dados que não possui continuidade, e que consequentemente não representa de forma adequada o espectro luminoso obtido através das medições práticas. Através do processo de interpolação, é possível construir uma função contínua que se ajusta aproximadamente a esses dados pontuais. Isso significa que uma função é criada para preencher os espaços vazios entre os pontos amostrados, de modo a criar uma representação suave e contínua dos dados. Dessa forma, a interpolação permite uma melhor compreensão e modelagem teórica de fenômenos reais com base em dados limitados [6].

A partir de uma leitura prática realizada pelo sensor, foram obtidos os oito pontos apresentados na Tabela 1.

TABELA I DADOS DO SENSOR	
X	Y
410	0,04332
440	0,11134
470	0,14157
510	0,15285
550	0,39392
583	0,43069
620	0,46029
670	0,11813

Os dados obtidos através da leitura do sensor foram plotados graficamente utilizando o MATLAB® e os resultados são apresentados na Figura 3.

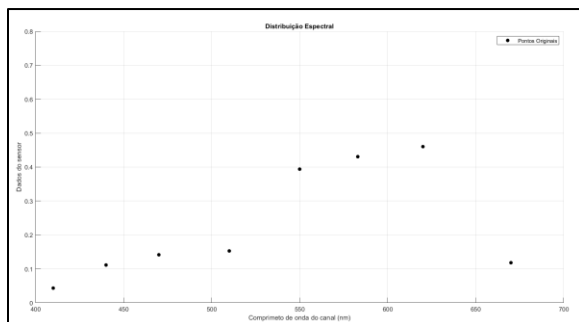


Fig. 3. Pontos originais obtidos através do sensor.

A partir desses dados, foram definidas cinco técnicas de interpolação com a finalidade de determinar o espectro luminoso completo, avaliando ponto a ponto dentro da faixa de

comprimento de onda que varia de 410 a 670nm. Os métodos utilizados foram: Spline, Pchip, Sinc, Lagrange e Newton.

A interpolação de spline cúbica é um método utilizado para encontrar uma curva que conecte pontos de dados com um grau igual ou inferior a três. As splines são curvas suaves e contínuas formadas por polinômios em um determinado gráfico, e possuem primeira e segunda derivadas contínuas nos pontos de junção. O principal aspecto das splines é que elas combinam diferentes polinômios, ao invés de utilizar um único polinômio de grau 'n' para ajustar todos os pontos simultaneamente. Isso evita o uso de polinômios de grau elevado e, consequentemente, o problema de superajuste. Os polinômios de baixo grau utilizados nas splines devem ser escolhidos de forma que a curva resultante seja não apenas contínua, mas também suave. Isso significa que a transição entre os polinômios adjacentes deve ser feita de maneira que a curva seja livre de descontinuidades bruscas ou pontos de inflexão. Dessa forma, a interpolação de spline cúbica permite obter uma curva suave e contínua que passa pelos pontos de dados, evitando problemas de sobreajuste com polinômios de alto grau [6][7].

Além das condições de spline, é possível utilizar polinômios cúbicos por partes que atendam às condições de interpolação de Hermite, também conhecidos como Pchip (Piecewise cubic Hermite interpolation). Esses polinômios permitem especificar os valores e derivadas da função em cada ponto nodal. Se não houver derivadas prescritas nos pontos nodais, é possível atribuir esses valores de forma a satisfazer restrições adicionais. Essa flexibilidade é obtida, no entanto, ao custo de alguma perda de diferenciabilidade. Os interpoladores Hermite cúbicos por partes não são, em geral, diferenciáveis duas vezes de maneira contínua [6][7].

A função sinc, cujo nome é uma abreviação de "seno cardinal", é representada por duas definições praticamente equivalentes: a versão normalizada e a versão não normalizada. A única diferença entre essas duas definições está na escala da variável independente, que é multiplicada por um fator de π na versão normalizada. A função sinc é analítica em todos os pontos. Ela é conhecida como uma função de interpolação passa-banda, o que significa que $\text{sinc}(0) = 1$ e $\text{sinc}(x) = 0$ para valores inteiros e não nulos de x . Isso significa que a função sinc atinge o valor máximo de 1 quando x é igual a zero, e é zero para todos os outros valores inteiros e não nulos de x . Essa propriedade é importante na teoria de comunicação e processamento de sinais, pois a função sinc é frequentemente utilizada para interpolar sinais e realizar a reconstrução precisa de uma banda de frequência específica [6][8].

A interpolação de Lagrange é um método utilizado para aproximar uma função desconhecida a partir de um conjunto de pontos conhecidos. A ideia básica da interpolação de Lagrange é encontrar um polinômio que passe por todos os pontos nodais, de modo que a função interpoladora se aproxime o máximo possível da função original nos pontos desejados. O polinômio interpolador de Lagrange é construído como uma combinação linear de polinômios de base, onde cada polinômio de base é associado a um ponto nodal. Cada polinômio de base de Lagrange é definido de tal forma que ele é igual a 1 no ponto nodal associado e igual a 0 em todos os outros pontos nodais. Isso garante que o polinômio interpolador passe exatamente pelos pontos nodais desejados. É uma técnica amplamente utilizada, no entanto, dependendo do espaçamento dos pontos

nodais e das características da função original, a interpolação de Lagrange pode apresentar limitações, como o fenômeno de Runge, onde a precisão da interpolação reduz nos extremos do intervalo de interpolação [6][7][8].

A interpolação de Newton, assim como a interpolação de Lagrange, tem o objetivo de encontrar um polinômio que passe por todos os pontos nodais e se aproxime ao máximo da função original nos pontos desejados. O polinômio interpolador de Newton é construído usando a fórmula das diferenças divididas. As diferenças divididas são coeficientes que relacionam os valores das ordens superiores dos pontos nodais. Uma vantagem da interpolação de Newton é que ela permite adicionar novos pontos de interpolação sem ter que recalcular todo o polinômio interpolador. Isso é conhecido como interpolação incremental. Além disso, a interpolação de Newton também pode ser estendida para interpolação polinomial em diferenças divididas avançadas ou atrasadas, dependendo da localização dos pontos nodais. É importante ressaltar que a escolha adequada dos pontos nodais pode influenciar a precisão da interpolação, especialmente em casos onde há uma distribuição não uniforme dos pontos [6][7][8].

IV. SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Em posse dos conceitos teóricos obtidos sobre os cinco métodos de interpolações propostos, foi realizada a simulação dos mesmos no MATLAB®. Os resultados obtidos de forma gráfica são apresentados na Figura 4.

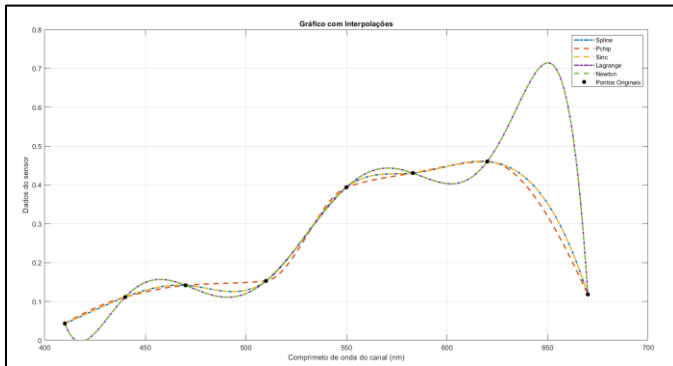


Fig. 3. Interpolações geradas através dos métodos propostos.

Avaliando os resultados obtidos na simulação, fica evidente que os métodos Spline, Pchip e Sinc possuem respostas semelhantes. O mesmo ocorre com as interpolações Lagrange e Newton, porém há uma diferença significativa entre os métodos, principalmente nos comprimentos de onda de 420nm e 650nm.

Para validar qual das técnicas de interpolação melhor representa o comportamento do sensor espectral, foi realizado um teste de validação cruzada, que consiste na remoção de cada um dos pontos conhecidos, seguida da reconstrução do sinal, realizada através das mesmas técnicas de interpolação. Os dados obtidos nos testes de remoção dos oito pontos conhecidos foram tabulados e utilizados para realização do cálculo do erro quadrático médio, definido como a média do quadrado da diferença entre os valores reais e os valores esperados, os resultados são apresentados na Tabela 2.

TABELA II
ERRO QUADRÁTICO MÉDIO

Y	Spline	Pchip	Sinc	Lagrange	Newton
0,04332	-0,2040	0,0771	-0,2040	-2,0147	-2,0147
0,11134	0,1752	0,1074	0,1752	0,4660	0,4660
0,14157	0,0933	0,1291	0,0933	-0,0273	-0,0273
0,15285	0,2666	0,2665	0,2666	0,2773	0,2773
0,39392	0,2953	0,3034	0,2953	0,2758	0,2758
0,43069	0,5097	0,4404	0,5097	0,6181	0,6181
0,46029	0,2960	0,3725	0,2960	-0,2380	-0,2380
0,11813	1,1765	0,4757	1,1765	8,7544	8,7544
Erro	0,1555	0,0198	0,1555	9,9409	9,9409

A partir da análise dos dados apresentados na Tabela 2, é possível constatar que o método de interpolação Pchip é o que possui menor erro quadrático médio, sendo dessa forma o que melhor representa o comportamento do sensor espectral.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme apresentado neste trabalho, foi possível compreender a importância da correta análise espectral proveniente das fontes luminosas. Também fica evidente que os instrumentos de medição disponíveis não possuem as mesmas respostas, dessa forma não são totalmente eficazes para todos os tipos de aplicações. Os conceitos matemáticos de aproximações numéricas foram explanados e aplicados, para assegurar a análise espectral em conformidade com a CIE1931. A partir disso, foi possível verificar os resultados através de recursos gráficos e calcular o erro quadrático médio de cada um dos métodos de interpolação propostos.

Para os trabalhos futuros pretende-se determinar uma metodologia de utilização desse sensor espectral para realização das medições em cada uma das frequências que compõe o comprimento de onda de luz visível, tendo como objetivo validar o método de interpolação Pchip a partir da avaliação de um maior número de pontos conhecidos.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] REHMAN, M, ULLAH S, BAO Y, WANG B, PENG D, LIU L. Light-emitting diodes: whether an efficient source of light for indoor plants? *Environ Sci Pollut Res Int*. 2017. Disponível em: <https://europepmc.org/article/med/28980183>.
- [2] RUNKLE, Erik *et al*. The indoor lighting guide: Growing seedlings under LEDs. *Grower Talks*, Chicago, 24p, jul. 2021. Disponível em: <https://www.canr.msu.edu/resources/indoor-lighting-guide>.
- [3] AMS OSRAM. Datasheet: AS7341 11-Channel Spectral Color Sensor. Electronic Publication, jun. 2020. Disponível em: <https://ams.com/as7341>.
- [4] BROADBENT, Arthur D. A critical review of the development of the CIE1931 RGB color-matching functions. *Color Research And Application*, v. 29, p. 267-272, ago. 2004. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/col.20020>.
- [5] SCHANDA, Janos. *Colorimetry: Understanding the CIE System*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2007. 498 p.
- [6] MILNE, William Edmund. *Cálculo numérico: aproximações, interpolação, diferenças finitas, integração numérica e ajustamento de curvas*. São Paulo: Polígono, 1968. 346 p.
- [7] LOPES, Álvaro Pereira; COSTA, Manuel de Jesus dos Santos. Comparação entre Métodos de Aproximação Numérica utilizando o programa MATLAB. *Revista Margens Interdisciplinar*, Belém, v. 11, n.

17, p. 245-258, dez. 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/revistamargens/article/view/5447>.

- [8] DOURADO, Wesley Barbosa. Avaliação de Técnicas de Interpolação de Imagens Digitais. 2014. 141 p. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Matemática Aplicada e Computacional, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/115892/000806982.pdf?sequence=1>.