

RETROFIT DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA ATRAVÉS DO EMPREGO DE LUMINÁRIAS LED

MICHAEL DOS SANTOS NEPOMUCENO¹, CRISTIANO GOMES CASAGRANDE², HEITOR CARDOSO DOS SANTOS AMARAL DE JESUS³ e AMÉRICO ZILLE GABRIEL DE ALMEIDA⁴

¹Graduando em Engenharia Elétrica – Energia, UFJF, Juiz de Fora - MG, michael.santos@engenharia.ufjf.br;

²Dr. em Engenharia Elétrica, Prof. Adj., UFJF, Juiz de Fora – MG, cristiano.casagrande@ufjf.edu.br;

³Graduando em Engenharia Elétrica – Energia, UFJF, Juiz de Fora - MG, heitor.cardoso@engenharia.ufjf.br;

⁴Graduado em Engenharia Elétrica – Potência, UFJF, Juiz de Fora - MG, americo.zille@engenharia.ufjf.br;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
Palmas/TO – Brasil
17 a 19 de setembro de 2019

RESUMO: Este trabalho objetiva-se a tratar sobre o estudo de caso da modernização do tipo retrofit da iluminação pública da Avenida Barão do Rio Branco, Juiz de Fora – MG, através da substituição da tecnologia de vapor de sódio de pela tecnologia LED. A metodologia utilizada para a modernização do sistema é baseada na norma de iluminação pública NBR 5101. Para constatar os principais benefícios da modernização, foram realizadas simulações computacionais através do software DIALux 4.1 e uma análise financeira simplificada. Os resultados demonstraram que o emprego da tecnologia LED, além de proporcionar um benefício técnico e social, gera benefícios econômicos de 36,32% para o cofre municipal.

PALAVRAS-CHAVE: Iluminação pública, tecnologias de iluminação, retrofit.

RETROFIT OF STREET LIGHTING THROUGH EMPLOYMENT OF LED LUMINAIRES

ABSTRACT: This work aims to deal with the case study of the modernization of the retrofit type of public lighting of Avenida Barão do Rio Branco, Juiz de Fora - MG, by replacing high pressure sodium technology with LED technology. The methodology used for the modernization of the system is based on the street lighting standard NBR 5101. In order to verify the main benefits of the modernization, computational simulations were performed through DIALux 4.1 software and a simplified financial analysis. The results showed us that the use of LED technology, besides providing a technical and social benefit, brings economic benefits of 36.32% to the municipal safe.

KEYWORDS: Street lighting, lighting technologies, retrofit.

INTRODUÇÃO

Atualmente, o setor de iluminação pública (IP) encontra-se diante de novos desafios devido às mudanças tanto no âmbito da regularização do serviço quanto na adoção de novas tecnologias. Uma dessas mudanças diz respeito à resolução normativa 414/2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica, a qual preconizou que a administração dos ativos de IP fosse transferida das concessionárias de energia para as prefeituras municipais (ANEEL, 2010).

Nos dias de hoje, estima-se que haja mais de 18 milhões de pontos de iluminação pública no Brasil, com um consumo energético anual de aproximadamente 15.000 GWh. Toda essa demanda de energia elétrica dos sistemas de iluminação pública é equivalente a aproximadamente 3% de toda a matriz energética brasileira e representa em torno de 33% do total de energia elétrica demandada pelo setor público, despendendo um custo anual para o setor na ordem de 3,8 bilhões de reais que é diretamente repassado para o contribuinte (EPE, 2017; MAGGI, 2013).

No Brasil, há um grande movimento no setor de IP, observado desde a substituição das lâmpadas vapor de mercúrio por vapor de sódio (HPS, do inglês: *High Pressure Sodium*) e, mais recentemente, na substituição das lâmpadas de vapor de sódio pela tecnologia LED (CASAGRANDE, 2017). Segundo o Centro Brasileiro de informação de eficiência energética, a modernização desse

sistema através do emprego de tecnologias mais eficientes é capaz de atingir uma economia de energia cerca de 30% por sistema de iluminação pública (PROCEL, 2017).

Neste contexto, o presente trabalho objetiva apresentar um breve estudo de caso atual referente à modernização do tipo Retrofit da iluminação pública da Avenida Barão do Rio Branco na cidade de Juiz de Fora – MG, através da substituição da tecnologia de iluminação empregada atualmente pela tecnologia LED

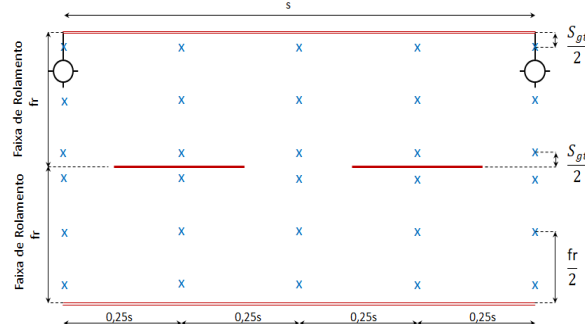
MATERIAL E MÉTODOS

A Av. Barão do Rio Branco é a principal via urbana da cidade de Juiz de Fora – Minas Gerais e apresenta uma extensão de aproximadamente 6,3 km com 1260 pontos de iluminação, sendo eles: 840 presentes na via central e 420 presentes nas vias laterais. Além disso, ela é composta por seis faixas de rolamento. A via central possui duas faixas de rolamento, dedicadas integralmente para o transporte público, sendo separadas das demais por meio de dois canteiros centrais. Já as vias laterais, simétricas e compostas por duas faixas de rolamento, são responsáveis pela coleta e/ou distribuição do tráfego motorizado nas vias subjacentes. Devido sua grande extensão, suas características topológicas de iluminação não são uniformes ao longo de toda a via, o que dificulta consideravelmente uma análise luminotécnica real da avenida como todo. Com o intuito de normalizar as assimetrias citadas e definir claramente o cenário de estudo, adota-se a premissa de que a topologia luminotécnica presente do número 3839 ao número 3855 resume os principais cenários topológicos de iluminação encontrados da Av. Barão do Rio Branco.

Neste trabalho, leva-se como base a norma de iluminação pública NBR 5101, que, a partir de uma classificação prévia em relação ao tipo da via e ao nível de tráfego motorizado ali presente, define os padrões mínimos de iluminação necessários para proporcionar, aos cidadãos, os benefícios econômicos e sociais que advém da iluminação pública.

Com o objetivo de averiguar o estado do atual da iluminação, é realizada a medição da iluminância, luminância e uniformidade, de acordo com a malha de inspeção sugerida pela norma NBR 5101. Os equipamentos utilizados para realizar as aquisições dos parâmetros são: luxímetro MLM 1011 MINIPA e luminômetro LS100 KONICA MINOLTA. Na Figura 2, é mostrada a malha de inspeção utilizada. Assim, a iluminância média e luminância média são calculadas através da média aritmética das medições efetuadas em todos os pontos da malha, enquanto a uniformidade é a relação entre a iluminância mínima e a iluminância média. Para o entendimento da figura a seguir, temos que: “s” é o espaçamento entre postes; “S_{gt}” é o espaçamento transversal e “fr” é a largura da faixa de rolamento.

Figura 1 - Malha de inspeção segundo NBR 5101.



Através dos valores mínimos de iluminação definidos pela NBR 5101 e a atual situação luminotécnica levantada, é desenvolvido, por meio de simulações computacionais no software DIALux 4.1, um modelo luminotécnico computacional que é capaz de assimilar-se ao real cenário proposto. Para isso, foram utilizadas, na simulação, as lâmpadas: PHILIPS SGP 398 GB 1xSON-T400W e SGP 398FG 1xSON-T150W com fator de uso de 0,82 para ambas, considerando-se as seguintes condições:

- Para a via central: lâmpadas de 400W, duas faixas de rolamento, vão de 30m e altura do ponto luminoso em relação à via de 11,5m. Postejamento bilateral, onde o primeiro poste encontra-se sobre a origem do sistema, inclinação de +15° em relação ao plano da pista e uma distância de 2,43m para a pista em relação ao plano da pista. O segundo poste encontra-se deslocado 18m

do primeiro, com inclinação de +10° em relação ao plano da pista. Já o terceiro poste encontra-se 30m em relação ao primeiro e possui suas mesmas características.

- Para as vias laterais: duas faixas de rolamento, vão de 30m. Postejamento bilateral, onde o primeiro poste encontra-se sobre a origem do sistema, com lâmpada de 150W HPS, comprimento do braço extensor de 2,4m, altura do ponto luminoso em relação a via de 8m. O segundo poste encontra-se deslocado 2m do primeiro, com lâmpada de 400W HPS, altura do ponto luminoso em relação a via de 11,5m. O terceiro poste encontra-se deslocado 30m do primeiro e possui as mesmas características do mesmo.

A partir do modelo computacional que caracterize o cenário proposto, é realizada a substituição da tecnologia HPS utilizada pela tecnologia LED de iluminação pública, de tal forma que as características luminotécnicas de ambos os modelos sejam semelhantes. Para isso, houve a substituição das lâmpadas de 400W e 150W HPS por luminárias de 250W e 105W LED, modelos: PHILIPS BGP323 T35 1xECO287-3S/657 DN e PHILIPS BGP322 T35 1xECO121-3S/657 DC respectivamente. Além disso, as seguintes alterações no projeto luminotécnico foram feitas: na via central, utilizou-se um fator de uso de 0,93 e alterou-se o ângulo do ponto de luz em relação ao plano da via do sistema de iluminação em +15°, ao mesmo tempo em que, na via lateral, o fator de uso foi elevado para 1,0.

Com o intuito verificar os benefícios técnicos e sociais proporcionados pela modernização da iluminação, é realizada uma comparação quantitativa, por meio do indicador uniformidade (E_0) e da relação E_{med}/P_{in} , e uma análise gráfica comparativa por meio da distribuição de cores falsas da via central e lateral separadamente.

Por fim, é realizada uma análise financeira simplificada, colocando em questão a economia anual proporcionada ao cofre municipal devido a modernização do sistema de iluminação. Para mensurar financeiramente a economia proporcionada, é utilizada a Equação (1), dada por:

$$Ec_{anual} = (C_{sodio} - C_{Led}) \cdot T \quad (1)$$

Onde: Ec_{anual} é a economia anual; C_{sodio} e C_{Led} são os consumos anuais dos sistemas de iluminação e T é o valor médio da tarifa de iluminação pública, definida pela ANEEL. O valor médio da tarifa (T) disponibilizado pelo Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 é de 259,38 R\$/MWh (ANEEL, 2010; EPE, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por ser caracterizada como a principal via urbana da cidade de Juiz de Fora, a Av. Barão do Rio Branco possui um tráfego intenso, pertencendo à classe de iluminação do tipo V1, que tem os requisitos mínimos de luminosidade mostrados no Quadro 1.

No Quadro 2, são mostrados os resultados obtidos através das medições realizadas no dia 13/02/2019 no cenário proposto. É possível visualizar que o atual sistema de iluminação satisfaz todas as condições fotométricas previstas na NBR 5101, porém o sistema encontra-se extremamente sobredimensionado para vias do tipo V1, pois os valores de iluminância e luminância média encontram-se, respectivamente, 99,33% e 25,25% acima do previsto em norma para a via central e 108,2% e 4% para a via lateral, acarretando em uma elevada carga instalada e, conseqüentemente, um elevado consumo de energia elétrica.

Quadro 1 - Valores mínimos de iluminação para classe V1, segundo a NBR 5101.

| Classe | $E_{med,min}$ [lux] | $U_o = E_{min}/E_{med}$ | L_{med} [cd/m ²] |
|--------|---------------------|-------------------------|--------------------------------|
| V1 | 30 | 0,4 | 2,00 |

Quadro 2 - Parâmetros fotométricos medidos em campo.

| Via | E_{med} [lux] | $U_o = E_{min}/E_{med}$ | L_{med} [cd/m ²] |
|---------|-----------------|-------------------------|--------------------------------|
| Central | 59,80 | 0,501 | 4,25 |
| Lateral | 62,46 | 0,416 | 4,25 |

No Quadro 3, são mostrados os resultados de simulação do modelo computacional desenvolvido baseado na tecnologia HPS. Nota-se que, na via central, os dados encontrados em simulação de iluminância, uniformidade e luminância média estão, respectivamente, 6,5%, 31,2% e 0,47% acima dos encontrados em medição, enquanto na via lateral apresentam uma variação percentual aproximada de 0,74%, 16,2% e 5,5% em relação aos valores medidos. Essa disparidade de valores deve-se ao fato que não foram modeladas as áreas de penumbra, ocasionadas pela vegetação não homogênea presente nos canteiros, a não uniformidade e a não regularidade do asfalto em ambas as vias. Sendo assim, o modelo desenvolvido é capaz de assimilar-se com o real cenário proposto.

Quadro 3 - Parâmetros fotométricos obtidos em simulação com lâmpadas de sódio.

| Via | E_{med} [lux] | U_o | L_{med} [cd/m ²] | E_{med}/P_{in} [lux/W] | |
|---------|-----------------|-------|--------------------------------|--------------------------|----------------|
| | | | | $P_{in} = 400$ | $P_{in} = 150$ |
| Central | 64 | 0.728 | 4.27 | 0,160 | --- |
| Lateral | 62 | 0,496 | 4,50 | 0,155 | 0,413 |

No Quadro 4, são mostrados os resultados da simulação baseado na tecnologia LED. É importante destacar, primeiramente, o aumento da uniformidade de 4,5% e 22,79% para a via central e para a via lateral respectivamente, o que favorece os usuários da avenida ao minimizar zonas de iluminância desiguais e aumentar do contraste entre objetos. É de igual importância destacar o fator de eficiência energética, em que há um aumento considerável na relação E_{med}/P_{in} de 57,5% referente à iluminação na via central e de 54,84% e 38,26% referente a via lateral em relação as luminárias de 250W e 105W respectivamente.

Quadro 4 - Parâmetros fotométricos obtidos em simulação com lâmpadas LED.

| Via | E_{med} [lux] | U_o | L_{med} [cd/m ²] | E_{med}/P_{in} [lux/W] | |
|---------|-----------------|-------|--------------------------------|--------------------------|----------------|
| | | | | $P_{in} = 250$ | $P_{in} = 105$ |
| Central | 63 | 0.763 | 4.16 | 0,252 | --- |
| Lateral | 60 | 0,609 | 4,09 | 0,240 | 0,571 |

As Figuras 3 e 4 mostram a comparação dos resultados gráficos obtidos nas simulações em cores falsas das vias central e lateral utilizando a tecnologia HPS e LED na devida ordem. É possível constatar visualmente que a tecnologia LED proporciona melhor uniformidade na distribuição luminosa em ambos os cenários.

Nos Quadros 5 e 6, são mostrados, respectivamente, os dados de potência e os dados energéticos, separados por tecnologia de iluminação. Nota-se que a modernização do atual sistema de iluminação pública pela tecnologia LED tem como benefício uma redução em 36,32% da potência instalada e do consumo energético.

Neste contexto, com a utilização da Equação (1) e os resultados obtidos em simulação, vemos que a modernização da iluminação pública da Av. Barão do Rio Branco na Cidade de Juiz de Fora - MG representa uma economia anual de R\$ 162.370,00 ao cofre municipal.

Figura 2 - Distribuição de cores falsas na via central utilizando a tecnologia HPS e LED respectivamente.

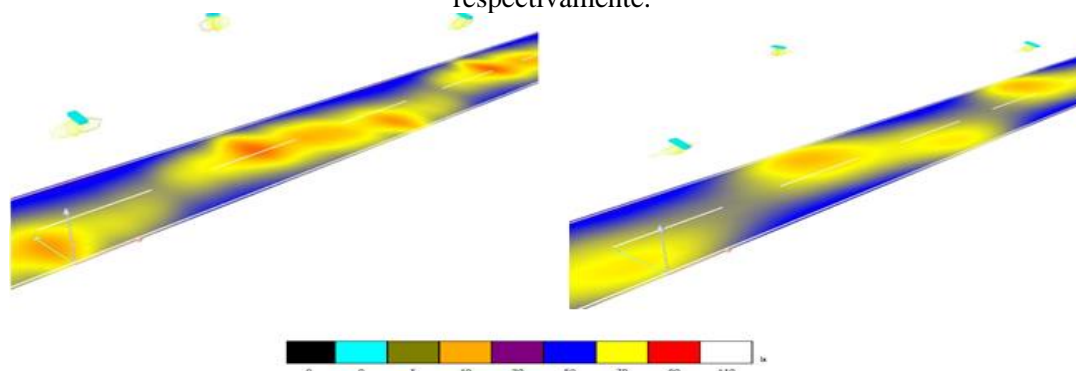
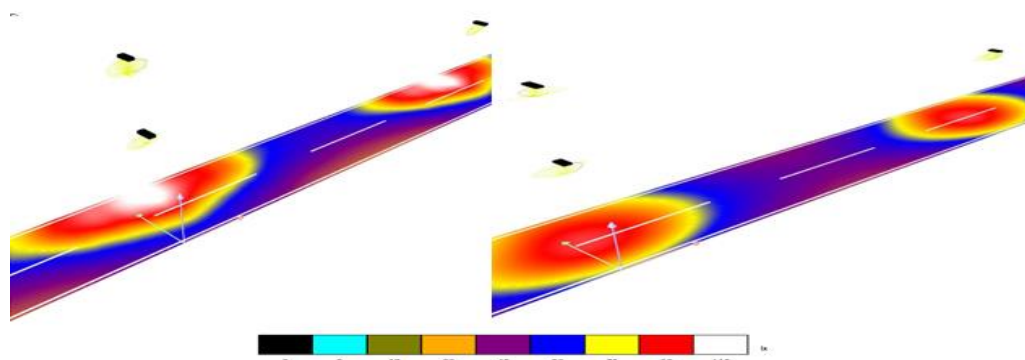


Figura 3 - Distribuição de cores falsas na via lateral, utilizando tecnologia HPS e tecnologia LED respectivamente.



Quadro 5 – Potência instalada total de tecnologia HPS e potência total simulada de tecnologia LED.

| Tipo | Potência | nº de unidades | Potência instalada | Potência instalada total |
|------|----------|----------------|--------------------|--------------------------|
| HPS | 400W | 840 | 336 kW | 399 kW |
| | 150W | 420 | 63 kW | |
| LED | 250W | 840 | 210 kW | 254,1 kW |
| | 105W | 420 | 44,1 kW | |

Quadro 6 - Energia consumida anualmente pelo uso da tecnologia HPS e tecnologia LED.

| Tipo | Potência inst. total | Tempo de utilização | nº de dias | nº. de meses | Consumo anual |
|------|----------------------|---------------------|------------|--------------|---------------|
| HPS | 399 kW | 12h por dia | 30 | 12 | 1723,7 MW ano |
| LED | 254,1 kW | 12h por dia | 30 | 12 | 1097,7 MW ano |

CONCLUSÃO

Baseando-se nas medições, foi constatado, do ponto de vista fotométrico, que as atuais luminárias HPS atendem às exigências previstas na norma de iluminação pública NBR 5101 para classe de iluminação V1, porém encontram-se altamente sobredimensionadas.

Comparações dos resultados de simulações baseadas na iluminância média, uniformidade, luminância média e razão E_{med}/P_{in} entre o antigo sistema HPS e o novo sistema LED foram realizadas comprovando a eficácia no retrofit do sistema de iluminação.

Dessa forma, através de uma avaliação financeira simplificada, comprovamos uma economia de RS 162.370,00 anuais à prefeitura de Juiz de Fora – MG através da modernização do tipo retrofit do sistema de iluminação pública proposto.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Educação Tutorial PET/MEC e ao Laboratório de Eficiência Energética LEENER pelo suporte ao trabalho realizado.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010. [S. l.], 2010. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2019.
- CASAGRANDE, C. G. Iluminação pública: panorama, tecnologias atuais e novos paradigmas. Juiz de Fora, Novas Edições Acadêmicas, 2017.
- EPE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017: ano base 2016. Rio de Janeiro, 2017.
- MAGGI, T. Estudo e implementação de uma luminária de iluminação pública à base de LEDs. 2013. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Santa Maria, RS, 2013.
- PROCEL. Relatório de resultados do Procel 2017: ano base 2016. [S. l.]: Conceito comunicação Integrada, 2017. Disponível em: http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2017/docs/rel_procel2017_web.pdf. Acesso em: 18 jun. 2019.