



Projeto luminotécnico com LED no Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora.¹

*SOUZA, Nathalia Netto de*²

Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora – CES/JF

*NOGUEIRA, Fernando José*³

Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora – CES/JF

RESUMO

O Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora (CES/JF), como unidade prestadora de serviços, além da cultura e tradição em ensino e aprendizagem, dispõe de condições únicas quais sejam, entre outras características, fornecer ao mercado de trabalho profissionais plenamente qualificados, flexíveis e capazes de acompanhar o dinamismo do mundo moderno. Em atenção ao nível de qualidade deste serviço, novos parâmetros definem novas adequações, e é nesta perspectiva que a elaboração de um projeto luminotécnico empregando diodos emissores de luz (ou LED) no CES/JF proporcionará aos alunos e colaboradores melhor conforto visual para desempenhar suas atividades. Este estudo se propõe a aperfeiçoar o formato atual, garantido maior eficiência energética, conforto visual, segurança e economia nas contas de energia elétrica. Será apresentada uma metodologia de projeto luminotécnico para instalação de luminárias LED em ambientes internos (salas de aula) e em áreas externas (via de trânsito carroçável, calçada e estacionamento) do Campus Academia do CES/JF. Em posse de um seleto acervo bibliográfico, o estudo se desenvolve por meio de simulações em software e ensaios práticos de maneira a proporcionar a análise quantitativa e qualitativa para fins comparativos em relação ao antigo sistema de iluminação.

Palavras-chave: Diodos emissores de luz. Eficiência energética. Projeto luminotécnico. LED.

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, consumir de forma eficiente pode ser considerado um princípio norteador para toda e qualquer ação humana. É partindo desta premissa que normativas e legislações, bem como estudos e implementações capazes de promover a diminuição do consumo, são necessárias ao equilíbrio da existência.

¹ Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora, como requisito parcial para a conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

² Graduanda em Engenharia Elétrica pelo Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora.

³ Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora.

Desenvolver tecnologias capazes de equilibrar as necessidades aos impactos, entretanto, tem sido um desafio diário, mas importante para o meio sócio-econômico e ambiental quanto às questões atinentes ao desenvolvimento sustentável, isto porque parte considerável da energia elétrica gerada atende em 30% à iluminação artificial, incrementada sua importância ao potencial econômico solicitado (POLONSKII & SEIDEL, 2008).

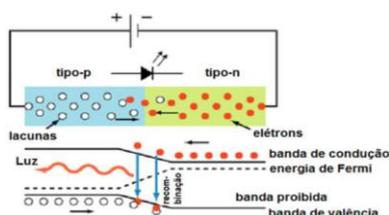
Os LED de potência de luz branca mostraram-se promissores para ambientes internos e externos (RODRIGUES, 2012; SALES, 2011, ALMEIDA *et al.*, 2011; NOGUEIRA, 2013). Com elevada eficácia luminosa, longa vida útil, fácil controle sobre a intensidade luminosa, capacidade de emissão de luz branca, além do ótimo índice de reprodução de cores, a utilização de LED tem-se mostrado eficiente em substituição a modelos convencionais de iluminação, proporcionando a luminosidade necessária e a redução do consumo de energia.

Sendo assim, este trabalho se propõe a projetar um sistema de iluminação com LED em ambientes internos e externos do CES/JF Campus Academia, embasado pelas normas iluminação de ambientes de trabalho - NBR 8995-1 (ABNT, 2013) e Iluminação pública - NBR 5101, (ABNT, 2012).

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO: DIODOS EMISSORES DE LUZ

Caracterizado como semicondutor por considerar uma condutividade elétrica intermediária entre condutores e isolantes, os LED são constituídos de camadas de junção do tipo PN. Suas propriedades garantem que o fluxo de corrente siga apenas em uma direção. Quando polarizado diretamente, os elétrons da camada N e as lacunas da camada P se movem para uma região de transição, onde há a recombinação dos elétrons e lacunas e a energia é liberada na forma de fótons de luz (BULLOUGH, 2003; SCHUBERT, 2006). A partir da Figura 1, é possível perceber de que forma o processo de emissão da luz acontece.

Figura 1 – Representação do comportamento físico de um LED.



Fonte: Almeida, 2012.

Na iluminação pública, há dois tipos de LED empregados, (1) os de alto brilho e (2) os de potência, diferenciados basicamente pelo nível de potência. Os LED de alto brilho, que trabalham em baixa potência, possuem correntes nominais típicas de 20 mA, enquanto os LED de alta potência, em oposição à primeira citada, trabalham com correntes nominais típicas de 300 mA e 1,5 A.

A diferença entre os dois tipos aponta para a quantidade de fluxo luminoso e eficácia luminosa, sendo estes fatores melhor representados pelos LED de potência (RODRIGUES 2012) e motivo pelo qual é indicado à iluminação. Na Figura 2, são mostrados os LED de alto brilho em (a) e de potência em (b).

Figura 2 – Dois tipos de LED (a) LED de alto brilho e (b) LED de Potência.



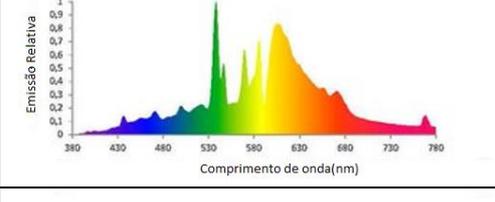
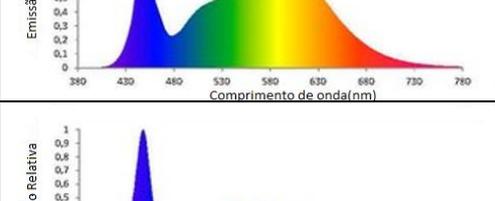
Fonte: Nogueira, 2013.

Uma característica importante dos LED aponta para sua eficácia luminosa, o que, com a evolução e implementação tecnológica, alcança o equivalente a 150 lm/W (DUPUIS & KRAMES, 2008), motivo do aumento da demanda em larga escala nas aplicações de iluminação em geral.

Por meio da Tabela 1, é possível comparar a eficácia luminosa dos diodos emissores de luz em relação a outras fontes de luz.

Tabela 1 – Eficácia luminosa em diferentes fontes luminosas.

Descrição	Espectro	Consumo de energia do sistema medido (W)	Fluxo luminoso da lâmpada ou módulo, medido (lm)	Eficácia luminosa do sistema (lm/W)
Halôgênio de alta tensão (120 W)	<p>The graph shows the relative emission spectrum of a high-pressure halogen lamp. The x-axis is labeled 'Comprimento de onda (nm)' and ranges from 380 to 780. The y-axis is labeled 'Emissão Relativa' and ranges from 0 to 1. The spectrum shows a continuous distribution of light across the visible spectrum, with higher relative intensity in the red and orange regions.</p>	127,4	2.249	17,7

Halogênio de baixa tensão (60 W)		59,9	1.535	25,6
Lâmpada fluorescente T 5 (54 W), 830		51,3	4.184	81,6
Lâmpada de iodetos metálicos, 70 W, 830		79,8	7.912	99,2
LED, 35 W, 830		34,2	4.739	138,6
LED, 35 W, 840		34,5	4.806	139,3
LED, 16 W, 750		16,2	2.436	150,5

Fonte: Dial.de 2016.

A vida útil do LED é baseada no tempo em que o fluxo luminoso leva para alcançar 70% do fluxo inicial (ALBERTINI, 2010) e o encontro desses resultados garante hoje uma vida útil equivalente a 100 mil horas, além da expectativa de aumentar esse dado no futuro, o que impactaria diretamente nos gastos com a manutenção dos sistemas de iluminação (LAUBSCH *et al.*, 2010).

O direcionamento do fluxo luminoso dos LED é importante porque permite a diminuição de poluição luminosa além de propiciar a eficiência na distribuição. Neste

sentido, ampliando as vantagens no uso de LED, de acordo com Nogueira (2013), ainda há para citar:

- Elevado índice de reprodução de cores;
- Design livre adaptado para diferentes ambientes;
- Segurança (alta resistência a impactos e tensão reduzida no LED diminui danos com acidentes elétricos);
- Longa vida útil;
- Redução dos custos de manutenção (devido à elevada vida útil);
- Luz branca com diversidade de Temperatura Correlata de Cor;
- Luz colorida de alta eficiência e saturação (LEDs RGB);
- Fonte de luz com menor nível de componentes tóxicos (ausência de mercúrio);
- Partida e religamento instantâneos, sem afetar a vida útil dos LEDs;
- Possibilidade de dimerização e telegerenciamento;
- Possuem *drivers* com elevado fator de potência e reduzida distorção harmônica;
- Maior eficiência luminosa (relação entre o fluxo luminoso gerado e o fluxo luminoso que sai da luminária);
- Estreita faixa de emissão de luz (não produz radiação infravermelha e ultravioleta);
- Ser uma tecnologia não saturada, com grande potencial de desenvolvimento. (NOGUEIRA, 2013, p. 18).

Diferentemente das lâmpadas atualmente utilizadas, os LED ainda se encontram relativamente caros, isto porque necessitam de um sistema de dissipação melhor projetado, além do *driver* citado anteriormente. Como sua função requer a manutenção da corrente, torna-se mais complexo e diminui sua vida útil quando comparado aos reatores eletromagnéticos hoje utilizados (NOGUEIRA, 2013).

3 METODOLOGIA

Seguindo a linha de pesquisa da Eficiência Energética, contempla, a partir do projeto proposto, a opção por nova estrutura de iluminação do CES/JF a partir de LED. O intuito é garantir, além da condição melhorada da iluminação, a segurança dos alunos e colaboradores, e a diminuição dos gastos com perdas energéticas.

3.1 ÁREAS DE ABORDAGEM DO PROJETO

De forma que atenda à proposta deste estudo, centralizou-se os levantamentos dos dados em duas áreas específicas do CES/JF: uma sala de aula, considerada como ambiente interno e uma via de trânsito de veículos e pedestres, definida como ambiente externo. Esta definição baseou-se na representação mais significativa dos sistemas de iluminação de base e espera-se que possam traduzir um protótipo eficiente de sua execução prática.

Nesta perspectiva, a sala de aula guarda dimensões de 7,8 m x 8,16 m e é iluminada por lâmpadas fluorescentes tubulares. A área externa por sua vez, iluminada predominantemente por lâmpadas de vapor de sódio em alta pressão e pontos isolados de lâmpadas de vapor de mercúrio, foi segregada em trechos representativos de sua composição: a via de trânsito carroçável (6,6 m), a calçada (1,8 m) e o espaço destinado para estacionamento de veículos (4,5 m), considerando ainda a distância média de 24 m entre os postes.

3.2 ILUMINAÇÃO DE AMBIENTES DE TRABALHO - NBR 8995-1 E ILUMINAÇÃO PÚBLICA - NBR 5101

As Normas Brasileiras de Regulamentação (NBR) têm por objetivo fixar padrões em um nível mínimo de qualidade de produtos e serviços. Estes padrões são feitos segundo ensaios e procedimentos em laboratórios por especialistas e certificados por laboratórios acreditados do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), o que garante sua eficácia.

As normas apontadas neste item são direcionadas para projetos luminotécnicos, cada uma em um ambiente específico. Seu emprego tem por característica principal propiciar a segurança ao tráfego de pedestres e veículos (NBR 5101); atividade de ensino dos professores e aprendizado dos alunos (NBR 8995-1), ambos associados à eficiência energética.

3.3 O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DO CES/JF

A fim de quantizar valores experimentais a este estudo, foi avaliada a iluminação nos dois ambientes sob as premissas da iluminância média (E_{med}) e uniformidade, de tal forma que associa-se E_{med} a média aritmética da iluminância medida (E_n) em cada um dos pontos escolhidos, como pode ser visto em (1):

$$E_{med} = \frac{\sum_{n=1}^k E_n}{k}, \quad (1)$$

E_n (Equação 1) é a iluminância medida em um dado ponto n , de tal forma que o total de pontos na malha de medição é apontado pela letra k .

A uniformidade (U_0) é dada segundo a relação entre a iluminância mínima pela iluminância média na malha, como mostrado em (2):

$$U_0 = \frac{E_{\min}}{E_{\text{med}}}, \quad (2)$$

De acordo com os valores pré-definidos de iluminância na NBR 8995-1, o ambiente interno (sala de aula) deve apontar para um valor de iluminância média de 500 lux e uniformidade de 0,6.

A NBR 5101, por sua vez, preconiza que a iluminação em vias públicas seja classificada segundo o tipo de via e fluxo de veículos, como se observa na Tabela 2. No CES/JF, adota-se a classificação Leve (L).

Tabela 2 – Tráfego motorizado.

Classificação	Volume de tráfego noturno ^a de veículos por hora, em ambos os sentidos ^b , em pista única
Leve (L)	0 a 500
Médio (M)	501 a 1 200
Intenso (I)	Acima de 1 200

Valor máximo das médias horárias obtidas nos períodos compreendidos entre 18 h e 21 h.
Valores para velocidades regulamentadas por lei.

Fonte: ABNT 2012.

Seguindo a classificação relacionada ao tipo do tráfego L, a classe da iluminação para cada tipo de via é dada, de acordo com a norma, como V5: vias locais; vias de conexão menos importante; vias de acesso residencial.

Para classe de iluminação V5 (Tabela 3), a $E_{\text{med},\text{mín}}$ equivale a 5 lux e o U_0 , 0,2.

Tabela 3 – Requisitos mínimos de E_{med} e U_0 para cada classe de iluminação.

Classe de iluminação	Iluminância média mínima $E_{\text{med},\text{mín}}$ lux	Fator de uniformidade mínimo $U_0 = E_{\min}/E_{\text{med}}$
V1	30	0,4
V2	20	0,3
V3	15	0,2
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Fonte: ABNT 2012.

3.4 DIALUX – SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO COM LED DO CES/JF

Para simulação computacional do sistema de iluminação, foi adotado o software utilitário DIALUX (<http://www.dial.de/DIAL/en/>), disponível na plataforma *dial.de*, de livre acesso na internet e reconhecido internacionalmente.

O arquivo eletrônico de fotometria (IES) foi cedido pelos fabricantes das luminárias LED. Utilizado para efetuar as simulações, ajustou-se o fator de manutenção em 0,8, requisito necessário para atender à depreciação do fluxo luminoso dos LED, de acordo com Maggi (2013).

4 ESTUDO DE CASO

O estudo se propôs a estudar a condição luminotécnica de dois ambientes distintos localizados dentro do CES/JF. Um ambiente interno, a sala de aula, e um ambiente externo, o estacionamento.

Baseado em normativas da ABNT que estipulam a projeção dos sistemas tais que atendam condições mínimas de iluminância média e uniformidade, o cálculo para análise efetiva da condição real disponibilizada pela instituição foi alcançada com cálculos relativos a partir de dados alcançados com um luxímetro.

Para fins de comparação, utilizou-se o software Dialux que disponibiliza os resultados de cálculo de forma precisa a partir das informações dos fabricantes do LED inseridas.

Das duas informações: condição do sistema atual e simulação do sistema proposto, a ideia se apresenta em forma de sugestão capaz de melhorar a estrutura do Centro.

4.1 O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO INTERNO DO CES/JF

A fim de quantizar a iluminação do CES/JF, mediu-se a iluminância média e uniformidade das salas de aula de forma experimental (sala 233 do prédio do Colégio Academia). Com modelo característico apresentando nove luminárias com dezoito lâmpadas fluorescentes tubulares de especificação de potência equivalente a 36 W, percebeu-se que, na dimensão da sala - 7,6 m x 8,16 m e fixa à 4,0 m de altura - os valores auferidos devem ser de 500 lux e 0,6 de uniformidade.

Os pontos de medição vistos na Figura 3 foram obtidos pela Equação (3), obtida na NBR 8995-1, onde p é o tamanho da grade e d é a maior dimensão da superfície de referência (ambos expressos em metros) e n o número de pontos de medição na sala tal que assuma o inteiro mais próximo da relação $n = d/p$.

Sendo assim,

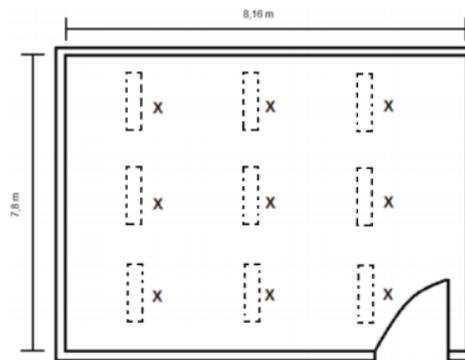
$$p = 0,2 \times 5^{\log_{10} d} \quad (3)$$

$$p = 0,2 \times 5^{\log_{10} 8,16}$$

$$p = 0,87 \text{ m}$$

$$n = 8,16 / 0,87 \approx 9 \text{ pontos}$$

Figura 3 – Malha de inspeção de iluminância de uma sala de aula de (7,6 x 8,16) m.



Fonte: Autor.

Portanto, a grade de medição apresentará nove pontos. Os resultados de iluminância nesses pontos foram obtidos com o auxílio do luxímetro Minipa MLM1011 e estão mostrados na Tabela 4:

Tabela 4 – Valores de medição na área interna.

256	280	260
247	281	275
237	272	247

Fonte: Autor.

As medições foram coletadas na altura de trabalho (mesa da carteira escolar) tal que o valor E_{med} segundo (1) foi de 261,67 lux, e a uniformidade a partir de (2) foi 0,9. Tais resultados mostram que o atual sistema de iluminação com

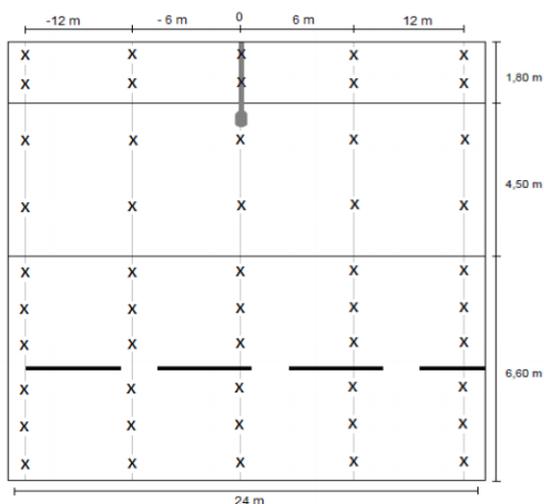
lâmpadas fluorescentes não está em conformidade com os requisitos mínimos de iluminância média.

4.2 O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EXTERNA DO CES/JF

De maneira análoga, diferencia-se pela área de representação do trecho tal que se defina 6,6 m o equivalente à via de trânsito de veículos, 4,5 m o estacionamento e 1,8 m a calçada. Considera-se o posteamento unilateral com vão médio de 24 m, altura das luminárias em 7 m, inclinação de 10° e avanço de 2,1 m em relação ao poste.

A Figura 4 apresenta a malha de inspeção segundo norma de iluminação pública NBR 5101.

Figura 4 – Inspeção de área externa do estudo.



Fonte: Autor.

O posicionamento da malha foi obtido num trecho com três luminárias tal que a medição ocorreu na luminária central, ficando com duas adjacentes. Duas em sequência possuíam lâmpadas vapor de sódio em alta pressão enquanto a terceira, vista à esquerda, era de vapor de mercúrio.

Também com o auxílio do luxímetro Minipa MLM1011, foram coletados os valores de iluminância mostrados na Tabela 5:

Tabela 5 – Iluminâncias de área externa em estudo.

Calçada	6	33	105	29	4
	6	36	120	33	5
Estacionamento	10	40	120	37	16
	13	38	100	36	15
Vias de trânsito de veículos	12	37	70	30	16
	11	33	57	30	16
	10	28	40	25	13
	10	25	36	25	13
	9	33	25	20	11
	8	16	20	15	10

Fonte: Autor.

Os valores auferidos de iluminância média e uniformidade das áreas externas são:

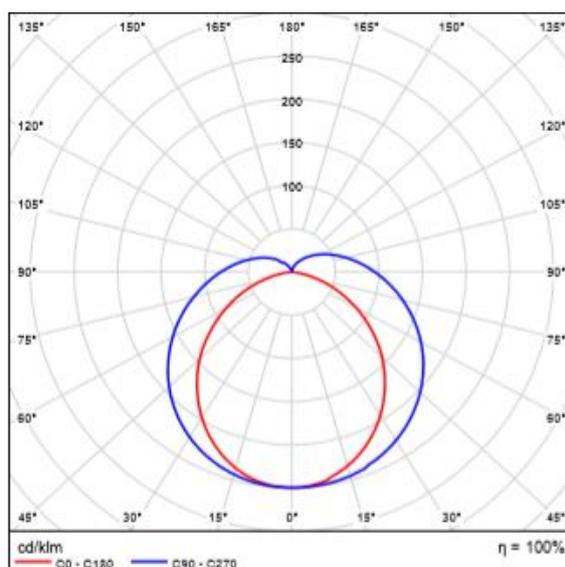
- Vias de trânsito de veículo: 23,46 lux e 0,34;
- Calçada: 37,7 lux e 0,1;
- Estacionamento: 42,5 lux e 0,23.

No caso da iluminação externa, nota-se que está em acordo com a NBR 5101 quanto a iluminância média. Porém, diverge no quesito de uniformidade da calçada, isto porque apresenta um valor inferior a 0,2.

4.3 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO COM LED EM AMBIENTE INTERNO

Analisado o comportamento das lâmpadas fluorescentes no item 4.1, nesta seção, buscou-se analisar com auxílio do software Dialux, a substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas Tubo LED da marca Intral, modelo *HO Branco Frio* (<https://www.intral.com.br/pt/produtos/lampadas-led/tubo-led/lampada-tubo-led-ho>). A curva de emissão luminosa da luminária LED é mostrada Figura 5:

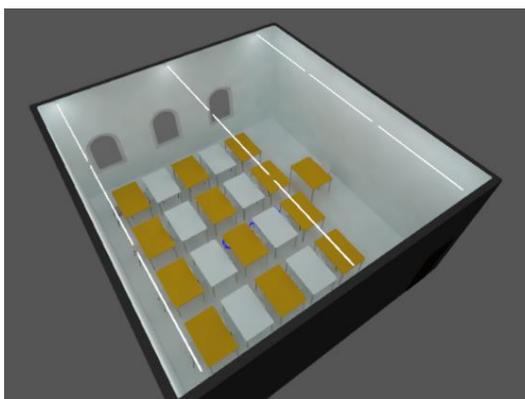
Figura 5 – Curva de emissão luminosa da luminária LED segundo especificações do fabricante.



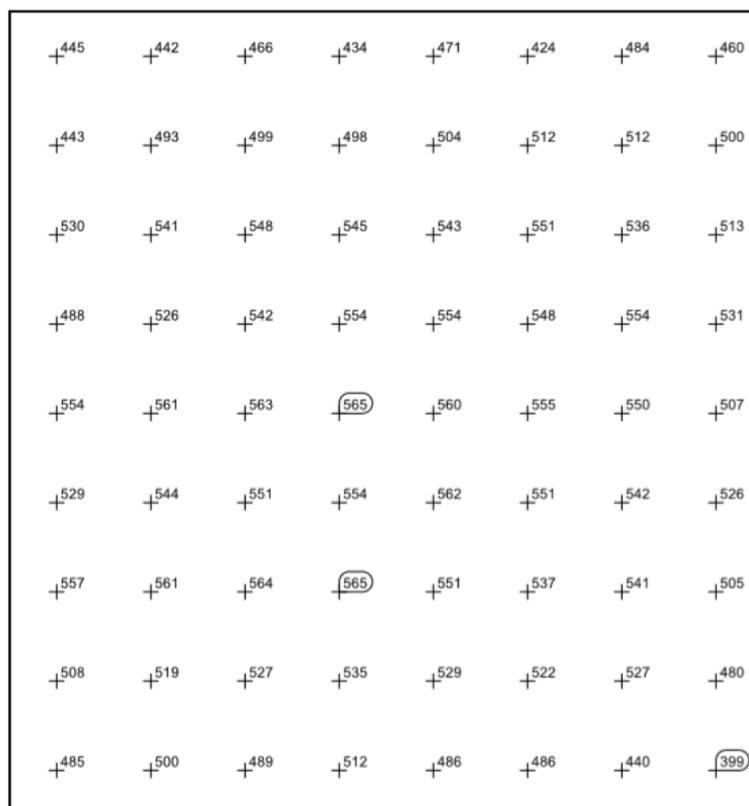
Fonte: Software Dialux.

Com potência de 40 W e fluxo luminoso de 4077 lumens, a eficácia luminosa garantida da luminária LED é de 101,9 lm/W. Na simulação, foram consideradas a mesma posição e altura das luminárias fluorescentes (condição de retrofit). Na Figura 6 é possível verificar a visão da sala de aula, enquanto na Figura 7 é mostrada a grade de cálculo de iluminância ponto a ponto.

Figura 6 – Visão da sala de aula utilizada na simulação.



Fonte: Software Dialux

Figura 7 – Grade de iluminância ponto a ponto da sala de aula.

Fonte: Software Dialux.

A partir dos dados e da simulação, a iluminância média obtida foi de 519 lux no plano de trabalho e uniformidade de 0,61, estando de acordo com a NBR 8995-1. As 18 lâmpadas, com potência total de 648 W, podem ser substituídas por nove luminárias LED de 40 W, com total de 360 W, mais eficientes energeticamente.

Dos dados analisados no estudo, como a economia de energia é real devido à redução da potência das luminárias, foi desenvolvida uma análise em modelo de *payback* simplificado (PS), a fim de mensurar o retorno do investimento. Isto porque, alterar uma estrutura consolidada implica na substituição ou mudança do sistema, o que demanda custo, disponibilidade de materiais e serviços.

Sendo assim, utilizando-se o PS tal que desprezados o quantitativo relacionado ao reajuste do kWh e juros, constata-se o valor de custo em efeito comparativo entre lâmpadas LED e fluorescentes conforme a Tabela 6, levando-se em consideração alguns fatores como o preço médio de cada tipo de lâmpada, o tempo médio de uso em horas por dia e a mão de obra do electricista.

Tabela 6 – PS comparativo.

DESCRIÇÃO DE CUSTOS PARA UMA SALA DE AULA	LÂMPADA FLUORESCENTE	LÂMPADA LED
Preço de 9 luminárias	Não há	R\$ 391,05
Potência total da lâmpada por luminária	72 W	40 W
Tempo de Utilização Mensal	330h	330h
Custo mensal	R\$ 117,61	R\$ 65,34
Economia	R\$ 52,27	
Mão de obra	Não há	R\$ 135,00

Fonte: Autor.

O custo médio das luminárias em dois diferentes fornecedores de luminárias LED foi equivalente a R\$ 43,45. Sendo R\$ 40,90 valor cotado no site Mercado Livre (www.mercadolivre.com.br) e R\$ 46,00 o valor cotado no site Planeta LED Brasil (www.planetaledbrasil.com.br)

Para encontrar o valor da fatura mensal das lâmpadas fluorescentes e luminárias LED, foi multiplicado o valor da potência de cada uma em KW, pela quantidade de horas que as luminárias funcionam durante o mês (15 horas diárias, durante 22 dias úteis no mês, totalizando 330 horas) vezes o valor atual do KWh pago pela instituição (R\$ 0,55). Os resultados do custo mensal de cada luminária são mostrados em (4) e (5).

Fatura mensal lâmpada Fluorescente:

$$0,072 \text{ (W)} \times 330 \text{ (h)} \times 0,55 \text{ (R\$)} = \text{R\$}13,07; \quad (4)$$

Fatura mensal para a luminária LED:

$$0,040 \text{ (W)} \times 330 \text{ (h)} \times 0,55 \text{ (R\$)} = \text{R\$} 7,26, \quad (5)$$

Portanto, um total de R\$ 117,61 para nove luminárias fluorescentes (com duas lâmpadas fluorescentes em cada luminária) e um total de R\$ 65,34 para nove luminárias LED.

A diferença entre as faturas mensais garante uma economia de R\$ 52,27 na implementação de lâmpadas LED. Dessa forma, feito o PS, constata-se que o retorno do investimento se dará em aproximadamente onze meses, considerando

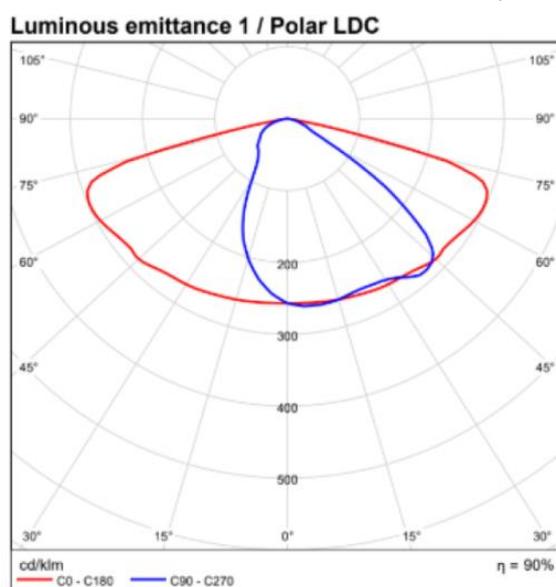
ainda para efeito de cálculo o valor total das lâmpadas (R\$400,05) de LED e o valor do eletricitista (R\$ 135,00), que irá efetuar a instalação das novas luminárias. O valor total de R\$526,05, dividido pela diferença das faturas mensais, (R\$ 52,27), será o tempo estimado de retorno do investimento, ou seja, de 10,23 meses, como visto em (6). Portanto, é possível concluir que a instalação de luminárias LED nas salas de aula seria vantajosa para a instituição, uma vez que o valor investido, teria retorno durante a vida útil da luminária LED.

$$PS = \frac{526,05}{52,27} = 10,06 \text{ meses} \quad (6)$$

4.4 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO COM LED EM AMBIENTE EXTERNO

Foi utilizada para análise computacional a luminária LED Philips BGP322 (<http://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp910505016384-pss-global>) com potência de 127W e fluxo luminoso de 13.595 lúmens, o que resulta em uma eficácia luminosa de 107 lm/W. De forma similar à análise do ambiente interno, preservou-se as condições características de altura da luminária, tamanho do braço do poste e inclinação das luminárias. Na Figura 8, é apresentada a emissão luminosa da luminária LED Philips BGP322.

Figura 8 – Curva de emissão luminosa da luminária Philips BGP322.



Fonte: Software Dialux.

Em síntese, apresenta-se a Tabela 7 com os principais resultados obtidos por meio de simulação no software Dialux.

Tabela 7 – Resultados de simulação da área externa com a luminária LED.

Área sob avaliação	Iluminância média E_{med} (lux)	Fator de Uniformidade $U_0 = E_{min} / E_{med}$
Calçada	16,81	0,27
Estacionamento	35,06	0,44
Via de trânsito de veículos	21,20	0,54

Fonte: Software Dialux

As características apresentadas no sistema simulado mostraram-se promissoras, isto porque foram obtidos resultados de iluminância média maior que 5 lux e uniformidade 0,2 em todas as áreas, contemplando o previsto na norma NBR 5101. Em uma segunda análise, buscou-se obter resultados plausíveis e próximos do sistema antigo de iluminação, com foco à preocupação dos usuários não perceberem a mudança do nível de iluminação.

Nesta linha, a luminária LED de 127 W é sugerida para substituir a lâmpada de vapor de sódio em alta pressão de 250 W. Isso acarretaria na consequente redução do consumo de energia, além de garantir que as cores sejam reproduzidas com maior fidelidade. Nesta perspectiva, levando-se em consideração a fotometria mesópica que considera a dinâmica visual do olho humano, o nível de luminância pode influenciar diretamente nos resultados de percepção humana da luz.

Em Casagrande (2016)⁴, foi mostrado que luminárias LED elevam a percepção de fluxo luminoso efetivo em 10%, enquanto lâmpadas de vapores de sódio de alta pressão apontam uma redução de 5% no valor de fluxo luminoso efetivo. Além disso, as luminárias LED aceitam sistemas de dimerização (controle de fluxo luminoso), havendo possibilidade de reduzir o nível de luminosidade das luminárias em horários de menor movimento no campus.

Na área externa foram realizados os mesmos passos de avaliação por meio do cálculo do *payback* simplificado, a fim de se verificar se a substituição do antigo sistema de iluminação por luminárias LED vale o investimento a ser realizado. Os principais parâmetros utilizados no cálculo do PS são mostrados na Tabela 8.

⁴ Estudo de caso realizado na instituição de ensino superior uffj.

Tabela 8 – PS comparativo

DESCRIÇÃO DE CUSTOS PARA UMA SALA DE AULA	LÂMPADA VAPOR DE SÓDIO	LÂMPADA LED
Preço de 3 luminárias	Não há	R\$ 6000,00
Potência	285 W (Lâmpada + reator)	127 W
Tempo de Utilização Mensal	88h	88h
Custo mensal	R\$ 41,38	R\$ 18,44
Economia	R\$ 22,94	
Mão de obra	Não há	R\$ 260,00

Fonte: Autor

O custo médio das luminárias LED foi de R\$ 2.000,00, valor encontrado na internet no site denominado (www.ebay.com). O valor da fatura mensal das lâmpadas de Vapor de Sódio e LED foi encontrado multiplicando-se o valor da potência de cada uma luminária em KW, pela quantidade de horas que as luminárias funcionam por mês (4 horas diárias, no período de 19h às 23h, durante 22 dias úteis, totalizando 88 horas) vezes o valor atual do KWh (R\$ 0,55).

A fatura mensal da lâmpada Vapor de Sódio é estimada em (7):

$$0,285 \text{ (W)} \times 88 \text{ (h)} \times 0,55 \text{ (R\$)} = \text{R\$ } 13,79, \quad (7)$$

Já a fatura mensal da luminária LED é estimada em (8):

$$0,127 \text{ (W)} \times 88 \text{ (h)} \times 0,55 \text{ (R\$)} = \text{R\$ } 6,15, \quad (8)$$

O consumo total para 3 luminárias com lâmpadas de vapor de sódio em alta pressão de 250W (mais 35W de seu reator) será de R\$ 41,37, enquanto o consumo de 3 luminárias LED de 150 W será de R\$ 18,45.

A diferença de uma fatura mensal para outra economizaria o equivalente a R\$ 22,92.

Sendo assim, constata-se que o retorno do investimento se dará em aproximadamente vinte e três anos, pois o valor total das lâmpadas de LED mais o valor do eletricitista e o andaime consultados somam R\$ 6260,00. Dividindo esse

valor pela diferença das faturais mensais, que é de R\$ 22,92, encontra-se um período de *payback* de aproximadamente 273 meses (Equação 9).

$$PS = \frac{6260}{22,92} = 273 \text{ meses} \quad (9)$$

Portanto, no caso do ambiente externo, em que o custo das luminárias LED é maior, e o período de utilização menor, não é vantajoso se efetuar a troca do atual sistema de iluminação por luminárias LED, uma vez que o tempo de retorno do investimento se dará muito além da vida útil das luminárias LED.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta deste trabalho teve por fator norteador a proposição de um projeto luminotécnico para o CES/JF de forma que coexista economia e comodidade aos alunos, professores e colaboradores atendendo a normatização de referência.

Um dado interessante acerca das normas brasileiras reguladoras é de que todo conteúdo técnico abordado tem estreita relação com a tecnologia. Isto quer dizer que qualquer sistema está apto a se tornar mais eficiente pelo simples fato de atender a norma afim.

Dessa forma, observado o problema que motivou este estudo, medir as áreas internas e externas para verificar o nível de iluminação foi o caminho que se mostrou melhor, seguindo uma sequência de etapas tal que propiciasse a melhor análise do conteúdo.

Com ferramentas importantes de levantamento de dados como o software Dialux, foi possível lançar os parâmetros tais que empregando-se os LED pudesse atender os requisitos mínimos previstos em norma, além de garantir a eficiência do sistema de iluminação, uma vez as luminárias antigas terem sido substituídas por outras com menor consumo de energia elétrica.

Com a análise de investimento, a implementação da luminária LED para as salas de aulas é uma boa opção para ter uma fatura mensal reduzida em pouco tempo, já no estacionamento, devido às lâmpadas ficarem pouco tempo ligadas, não compensa por questão do tempo de retorno do investimento ser muito longo, mas caso a lâmpada vapor de sódio (ou de mercúrio) queimar, ao invés de substituí-la por outra, trocá-la por LED, devido a uma série de benefícios, como: impacto na

qualidade devido ao índice de reprodução de cores, deixando o ambiente mais agradável, uma vida útil maior, estreita faixa de emissão de luz, entre outros.

ABSTRACT

The Centro de Ensino Superior of Juiz de Fora (CES/JF), as a service provider unit, in addition to the culture and tradition in teaching and learning, allows unique conditions, such as, among other characteristics, supply to the labor market with qualified professionals, flexible and able to keep up of modern dynamism world. In attention to level quality services, new parameters points out new adaptations. In this perspective will elaborated a lighting project that in addition to improving the teaching quality, provide students and staff with the performance and performance of their activities. Employing light-emitting diodes (or LED) in CES/JF-Campus Academy areas, this study allows the optimization of the current format, guaranteed beyond work efficiency, safety and economy. A lighting design methodology for the installation of LED luminaires indoors (classrooms) and outdoors (via car traffic, sidewalk and parking), possession of the selected bibliographic collection, development study through software simulations and practical tests to provide quantitative and qualitative analysis for comparative purposes to the old lighting system.

Keywords: Light Emitting Diodes. Energy efficiency. Luminotechnical Project. LED.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 5101. **Iluminação Pública**. 2012.

ABNT NBR ISO/CIE 8995-1. **Iluminação de ambientes de trabalho**. 2013.

ALBERTINI, A.; MASI, M. G.; MAZZANTI, G.; PERETTO, L.; A Test Set for LEDs Life Model Estimation. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2010.

ALMEIDA, P. S.; RODRIGUES, C. R. B. S.; BRAGA, H. A. C.; PINTO, D. P.; ASTORGA, O. A. M.; SOARES, G. M. **Iluminação Pública Eficiente Empregando LEDs**. 2011. In: CBEE, 2011, (Tutorial) Juiz de Fora. CBEE2011, 2011.

ALMEIDA, P. S. **Conversor Integrado Sepic Buck-Boost Aplicado ao Acionamento de Leds de Potência Em Iluminação Pública**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

BULLOUGH, J. D. Light Emitting Diode Lighting Systems. **NLPIP - Lighting Answers**. v. 7. Issue 3. May, 2003.

CASAGRANDE, C. G. **Desafios da Iluminação Pública e Nova Técnica de Projetos Luminotécnicos Fundamentada na Fotometria Mesópica**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

DUPUIS, R.D.; KRAMES, M.R.; History, Development, and Applications of High-Brightness Visible Light-Emitting Diodes. **Lightwave Technology, Journal of** , vol.26, no.9, May1, 2008

LAUBSH, A.; SABATHIL, M.; BAUR, J.; PETER, M.; HAHN, B. High-Power and High-Efficiency InGaN-Based Light Emitters. **IEEE Transactions on Electronic Devices**. Vol. 57, no. 1, January, 2010.

MAGGI, T **Estudo e Implementação de uma Luminárias de Iluminação Pública à Base de LEDs**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2013.

NOGUEIRA, F. J. **Avaliação Experimental de Luminárias Empregando LED Orientadas à Iluminação Pública**. 193 f. 2013. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica-Área de Concentração em Sistemas Eletrônicos)– Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora.

POLONSKII, M. e SEIDEL, A. R. **Reatores Eletrônicos para Iluminação Fluorescente**. Editora Unijuí. Ijuí, 2008.

RODRIGUES, C. R. B. S. **Contribuições ao Uso de Diodos Emissores de Luz em Iluminação Pública**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2012.

SALES, R.P. **LED, o Novo Paradigma da Iluminação Pública**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Curitiba, 2011.

SCHUBERT, E. F. **Light-Emitting Diodes**, Cambridge University Press, 2nd Edition, Cambridge, UK, 2006.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Solid-State Lighting Research and Development: Multi Year Program Plan**, Abril de 2012.

DIAL DE. **DIALux, Lighting, Smart Building**. Disponível em: <<https://www.dial.de/en/blog/article/efficiency-of-ledsthe-highest-luminous-efficacy-of-a-white-led/>> Acesso em: 2 set.2019.

INTRAL. **Intral iluminação eficiente**. Disponível em: <<https://www.intral.com.br/pt/produtos/lampadas-led/tubo-led/lampada-tubo-led-ho>> Acesso em: 5 set.2019.

PHILIPS. **Datasheet do fabricante- BGP322 ECO151--3S/657 I DW FG AL SI**. Disponível em: <<http://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp910505016384-pss-global>> Acesso em: 5 set.2019.