

PROPOSTA DE VIABILIDADE ECONÔMICA NO *RETROFIT* DE LÂMPADAS FLUORESCENTES POR LED NO CONDOMÍNIO PRAÇA UBERABA SHOPPING

Renan Thales Zica de Lima¹; Guilherme Henrique Alves²; Leandro Aureliano da Silva³

¹ Faculdade de Talentos Humanos - FACTHUS, Uberaba (MG), e-mail: renanibanezrg@hotmail.com.

² Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia (MG), e-mail: guilherme.henrique.alves@outlook.com.

³ Faculdade de Talentos Humanos - FACTHUS, Uberaba (MG), e-mail: lasilva@facthus.edu.br.

RESUMO: Devido a elevados gastos com energia elétrica para iluminação do condomínio Praça Uberaba Shopping, o presente artigo tem como objetivo oferecer uma proposta de economia de energia a partir do *retrofit* de lâmpadas fluorescentes existentes no condomínio por tecnologia LED. A ideia de utilização do LED para tal fim é devido à sua alta eficiência energética, maior vida útil em relação às demais fontes de iluminação existentes, e por se tratar de uma tecnologia limpa, que não possui metais pesados na sua composição e nem emite radiações prejudiciais ao ser humano. Os critérios usados para a substituição das lâmpadas existentes baseou-se no estudo do fluxo luminoso, índice de reprodução de cor, temperatura de cor, ângulo de abertura das fontes luminosas e equivalências de acordo com catálogos oferecidos por fabricantes de renome, visando um custo de implantação e tempo de retorno do investimento reduzido. A fim de comprovar a permanência na qualidade da iluminação, foi utilizado o software computacional DIALux, específico para projetos luminotécnicos, e que permite ao projetista a visualização do comportamento e características da luz no ambiente.

PALAVRAS CHAVE: DIALux; Economia; Eficiência Energética; Iluminação; LED.

PROPOSAL OF ECONOMIC VIABILITY IN RETROFIT LED FLUORESCENT LAMPS IN PRAÇA UBERABA CONDOMINIUM MALL

ABSTRACT: Due to high expenses with electric power for lighting of the Praça Uberaba condominium Mall, this article aims to offer a proposal for energy saving from the retrofit of existing fluorescent lamps in the condominium for LED technology. The idea of using the LED for this purpose is due to their high energy efficiency, longer life compared to the other existing lighting sources, and because it is a clean technology, it does not have heavy metals in its composition and even harmful radiation to human beings. The criteria used for the replacement of the existing lamps based on the study of the luminous flux, color rendering index, color temperature, opening angle of light sources and equivalences according to catalogues offered by renowned manufacturers, aiming at a cost of deployment and return on investment time reduced. In order to demonstrate the permanence in the quality of lighting, we used computational software DIALux, specific to luminotecnical projects and that allows the designer to preview the light's behavior and characteristics in the environment.

KEYWORDS: DIALux; Economy; Energy Efficiency; Lighting; LED.

INTRODUÇÃO

O diodo emissor de luz ou LED (*Light Emitting Diode*) é um dispositivo semicondutor que emite luz através do princípio da eletroluminescência. O primeiro LED foi inventado em 1927, porém, possuía uma baixa intensidade luminosa. Na metade do século XX o LED começou a ser utilizado como indicativo em equipamentos eletrônicos. E, em 1993 Dr. Shuji Nakamura desenvolveu o primeiro LED azul de alto brilho que, a partir desta criação, foi possível desenvolver o LED branco, conhecido atualmente como LED de potência, que são um marco na indústria luminotécnica da atualidade (BULLOUGH, 2003).

O LED tem seu princípio de funcionamento baseado na junção P-N, que é a composição de dois materiais distintos, onde o lado P contém excesso de lacunas (falta de elétrons) e o lado N é composto de cargas negativas (excesso de elétrons). Quando polarizados diretamente por uma fonte externa, os elétrons e lacunas se direcionam para um mesmo ponto, emitindo fótons a partir

da combinação entre esses elementos (BULLOUGH, 2003).

Bullough (2003) diz que a luz emitida pelo LED é monocromática e o comprimento de onda está relacionado ao material usado na composição do semicondutor. Segundo o *datasheet* da Luxeon (2008), o comprimento de onda do espectro de radiação que define a cor da luz, e se concentra entre 380 e 780nm. Os LEDs de potência mais utilizados atualmente são compostos por AlGaInP, formado por alumínio, gálio, índio e fosfeto.

De acordo com o fabricante LUXEON (2008), dentre as várias vantagens dos LEDs de potência estão: seu ângulo de abertura, em torno de 150°, características de iluminação direcionada, alta eficiência luminosa, atingindo valores acima de 130 lm/W, superiores às lâmpadas incandescentes (15 lm/W) e fluorescentes (80 lm/W). Segundo a OSRAM (2016), além de não necessitarem de um descarte especial como as fluorescentes, possuem uma vida útil de aproximadamente 50.000 horas, valor muito superior às incandescentes e fluorescentes compactas (1000 e 8000 horas, respectivamente).

Devido ao alto consumo de energia elétrica e à grande quantidade de luminárias instaladas no recinto Praça Uberaba *Shopping*, foi feito um estudo para substituição das lâmpadas fluorescentes instaladas atualmente por tecnologia LED, com o objetivo de apresentar a viabilidade econômica e os benefícios do *retrofit* no condomínio citado.

MATERIAL E MÉTODOS

Atualmente tem-se instalado no Praça Uberaba *Shopping* um total de 2421 luminárias e 7264 lâmpadas, divididos em cinco modelos diferentes de acordo com o local. A potência instalada de iluminação é de 269,119 KW, sendo seu consumo mensal referente à aproximadamente 29% do valor gasto com energia elétrica.

A Tab. 01 mostra a discriminação da fatura de energia elétrica do mês de maio de 2016 (mês em que se iniciaram os estudos), sendo considerado o mês de referência para os estudos apresentados. A partir desta tabela verificamos o valor gasto com a demanda contratada igual a R\$ 26.166,25, referente a 2000 KW. O consumo de ponta neste mês (R\$ 100.920,94) representou 35,74% do total da conta de energia elétrica, e o consumo fora de ponta (R\$ 154.574,42) a 54,74%. O tempo de uso do horário de ponta é apenas 21,4% do maior tempo de utilização no horário fora de ponta, porém, representa 65% do valor pago no horário fora de ponta. A partir desta observação, é viável o estudo do tipo de fatura a se utilizar caso seja implantado o projeto exposto, visando uma tarifa com menor custo referente ao horário fora de ponta.

Na fig. 1 temos o gráfico que representa o consumo de energia elétrica referente à iluminação no mês de maio de 2016. O cálculo foi feito a partir da potência das lâmpadas e o tempo de uso diário de cada uma, sendo esta porcentagem referente ao valor gasto com iluminação em relação ao total da conta de energia, subtraído o valor de iluminação pública. Já a Fig. 1.1 mostra os altos valores gastos com energia elétrica nas últimas 13 faturas a partir de maio de 2015 e, por tal razão, surgiu o interesse no estudo de substituição das lâmpadas de descarga para redução de custos.

Figura 1 - Porcentagem de energia elétrica referente à iluminação no mês de maio/2016



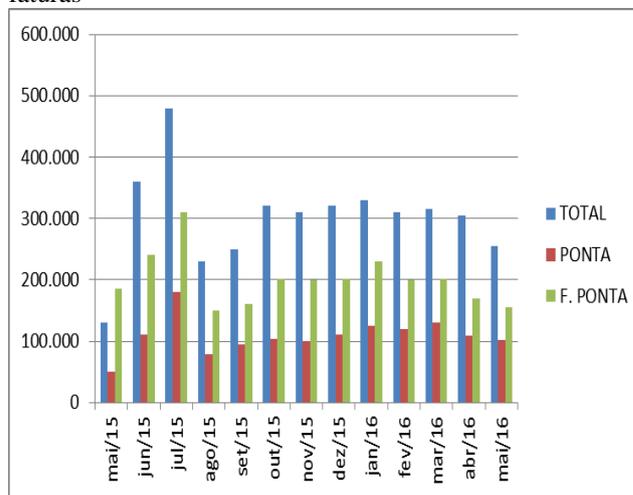
Fonte: O autor (2016)

Tabela 1 - Discriminação da fatura de energia elétrica do mês de maio.

Parcelas	Valor Cobrado R\$	Percentual
Demanda	26.166,25	9,27%
Ultrapassagem	0,00	0,00%
Subtotal demanda	26.166,25	9,27%
Consumo na PONTA	100.920,94	35,74%
Consumo FORA DE PONTA	154.574,42	54,74%
Consumo Madrugada	0,00	0,00%
Subtotal Consumo	255.495,36	90,48%
Multa fator potência na PONTA	0,00	0,00%
Multa fator potência FORA DE PONTA	0,00	0,00%
Multa fator potência MADRUGADA	0,00	0,00%
Subtotal multa fator de potência	0,00	0,00%
Multa atraso pagamento	0,00	0,00%
Iluminação pública	716,37	0,25%
Valor total da fatura	282.377,98	100,00%

Fonte: Siclo (2016)

Figura 1.1 - Valor pago de energia elétrica nas últimas 13 faturas



Fonte: Siclo (2016)

A partir da fig. 1.1, destacamos que o mês onde se teve menor gasto com energia elétrica foi em maio/2015 devido ao fato de que o *shopping* ainda não havia sido inaugurado, e o de maior consumo foi em julho/2015, pois a adequação dos horários de ligamento das luminárias não havia sido estabelecida. Já o mês de maio/2016 está em 10º lugar em ordem decrescente de preço gasto com energia elétrica nos últimos 13 meses, representando um aumento de quase 50% no mesmo período do ano anterior. No estudo em questão, não iremos considerar a potência consumida pelos reatores, equipamento necessário para o pleno funcionamento das lâmpadas de descarga, devido ao fato de que seu consumo é muito baixo, entre 3 W e 9 W nos modelos instalados, e esse range de consumo é similar à potência de trabalho dos *drivers* utilizados nas luminárias de LED, que são circuitos de controle necessário para o funcionamento dos diodos emissores de luz (ABILUX, 2015). Sendo assim, a potência de trabalho destes circuitos externos na substituição será equivalente, tendo o foco de trabalho apenas na eficiência da fonte de iluminação.

Na Tab. 1.2, temos a descrição de todas as lâmpadas existentes no Praça Uberaba Shopping, com suas principais propriedades e a localização de onde se encontram. As substituições se deram a partir das características expostas e modelos equivalentes ofertados pelos fabricantes.

Os *drivers* das luminárias substituídas escolhidas, assim como os reatores utilizados possuem fator de potência de alta eficácia, sendo de 0,98 o menor fator de potência nos *drivers* exigidos para este estudo.

Para evitar o pagamento de multas cobrado pela CEMIG, caso o fator de potência fique abaixo de 0,92 (CEMIG, 2011), tem-se instalado nos três QGBT's (Quadros Gerais de Baixa Tensão) do Praça Uberaba *Shopping* relés varimétricos Varlogic NR12 da Schneider, que fazem o controle do fator de potência de forma automática, comutando os bancos de capacitores conforme a necessidade.

Para a comprovação da eficiência luminosa e a permanência na sua qualidade, foi utilizado o *software* DIALux evo da Osram. O DIALux é um *software* gratuito para cálculo de projetos luminotécnicos, onde se pode projetar, calcular e visualizar a luz profissionalmente. Disponível em 26 idiomas diferentes e utilizado em todo o mundo, o DIALux foi desenvolvido para Windows XP, Vista e 7 (E-CIVIL, 2016).

O DIALux faz cálculos do fator de luz do dia, da iluminância no interior do edifício e do fluxo luminoso em diferentes ângulos, na área definida pelo projetista, e apresenta visualização 3D fotográfica do ambiente, tendo compatibilidade de importação de arquivos tipo DXF, DWG e 3DS, ou seja, formatos utilizados pelos mais conceituados *softwares* de arquitetura, como o Auto-Cad e *Sketchup* (OSRAM, 2016).

Para a elaboração da visualização 3D foi considerada três áreas distintas do *Shopping*, onde se encontrava instalados as lâmpadas de descargas propostas pelo estudo de substituição, tendo como ferramenta para tal, o *software* arquitetônico de desenho CAD (Desenho Auxiliado por Computador), *Sketchup*.

Tabela 1.2 - Descrição das lâmpadas de descarga utilizadas no condomínio

Item	Foto	Descrição	Quant. De Lâmpadas	Potência (w)	Fluxo Luminoso (lm)	Temperatura de Cor (K)	Vida Útil (Horas)	Eficiência Energética (lm/w)
1		¹ Lâmpada Osram Smartlux Tubular T5 Fluorescente HE 840 25°	2988	28	2600	2700	19.000	92,85
2		² Lâmpada GE Proline Tubular T5 Fluorescente SPX30/830	2484	54	4450	3000	17.000	82,41
3		¹ Lâmpada Osram Dulux D/E Fluorescente Compacta 827	1609	26	1710	2700	20.000	65,77
4		¹ Lâmpada Osram Excellence Multivapor Metálico HQI-TS	88	70	6200	5350	12.000	88,57
5		³ Lâmpada Philips Vapor Metálico CDM-T 830	95	35	3000	3000	12.000	85,71

Fonte: ¹Osram; ²GE; ³Philips (2016)

Tabela 1.3 – Fontes de iluminação de LED propostas para o *retrofit*

Item	Foto	Descrição	Quant. De Lâmpadas	Potência (w)	Fluxo Luminoso (lm)	Temperatura de Cor (K)	Vida Útil (Horas)	Eficiência Energética (lm/w)
A		¹ Luminária Lumicenter ECN02	1810	37	4300	4000	40.000	116
B		² Fita de Led SuperLed IX3 5mts 120 Leds/mt	497	120	12000	2700	40.000	100
C		³ Luminária de embutir Osram Ledvance Dowlight	766	25	2200	3000	40.000	88
D		⁴ Luminária retangular para poste tipo pétala Itaim Delta 1xLed	60	60	5901	5000	100.000	98
E		⁵ Luminária de embutir Trust Top Pro Led	95	25	3000	3000	30.000	120

Fonte: ¹Lumicenter; ²Superled; ³Osram; ⁴Itaim; ⁵Trust (2016)

A taxa cobrada de acordo com o mês de referência em KWh no horário fora de ponta é soma da energia ativa HFP mais os componentes de encargo HFP, totalizando em R\$ 0,4528142/KWh. E, a taxa no horário de ponta é o somatório da energia ativa HP e os componentes de encargo HP, totalizando em R\$ 1,71532223 (tarifas referentes à bandeira verde A4, vide talão de energia do mês de maio/2016) (CEMIG – 2016).

A partir dos valores de tarifas expostos e do conhecimento do tempo de funcionamento das lâmpadas no condomínio, podemos calcular o valor gasto com a iluminação nos horários de ponta e fora de ponta, desconsiderando a potência dos reatores, de acordo com as equações a seguir:

$$V = P \times N \times H \times THP \quad (1)$$

$$V = P \times N \times H \times THFP \quad (2)$$

Onde:

V = valor total em R\$

P = Potência ativa em KW

N = Número de dias do mês

H = Tempo de funcionamento em horas

THP = Tarifa cobrada no horário de ponta

THFP = Tarifa cobrada no horário fora de ponta

O período abrangido para o cálculo foi de 30/04/2016 à 31/05/2016 totalizando 31 dias de consumo (SICLO – 2016). E o tempo de funcionamento diário da iluminação é fixo, conforme programação automatizada do condomínio - programação esta realizada pelo próprio autor. O horário de ponta abrange três horas do dia, sendo das 19:00 às 22:00h (SICLO – 2016).

De acordo com os dados conhecidos e expostos, o valor de energia elétrica gasto com iluminação no mês de referência foi de R\$ 80.595,21. Este valor representa aproximadamente 29% do valor total gasto com energia elétrica no mês de maio.

Assim sendo, a Tab. 1.3 indica as fontes luminosas de LED propostas para o *retrofit*, visando uma economia significativa e reduzido tempo de *payback*.

Na Tab. 1.3 os itens representados por letras substituem, em ordem vertical crescente, os itens representados por números na Tab. 1.2. Os itens 1 e 3 da Tab. 1.2 são ilustrados individualmente, entretanto, essas lâmpadas são dispostas em luminárias duplas, sendo assim, os valores de potência, fluxo luminoso e eficiência energética também são o dobro do valor citado na tab. 1.2, e a vida útil é inerente à lâmpada unitária.

A escolha destas fontes de iluminação para a substituição partiu do princípio de semelhança às existentes nas características elétricas e de iluminamento, como ângulo de abertura e fluxo luminoso. Com a simples comparação entre a Tab. 1.2 e 1.3 podemos perceber a

grande vantagem que a tecnologia LED tem sobre as lâmpadas de descargas citadas.

Com uma maior eficiência luminosa e tempo de vida prolongado, o que acarreta em menos investimentos e gastos com manutenção devido a trocas de lâmpadas, é de grande importância ressaltar as vantagens oferecidas pelas luminárias de LED em ambientes com ar-condicionado, por se tratar de fontes luminosas frias, que não contribuem com a elevação de temperatura do ambiente, consequentemente, diminuindo o tempo necessário para o ar-condicionado resfriar o local quando comparado com fontes de luz quentes. Alcançando seu valor pré-estabelecido de resfriamento em menor tempo, significa também menor tempo de trabalho do ar-condicionado e, portanto, menos consumo de energia elétrica.

As escolhas para substituição se deram a partir da eficiência luminosa, mantendo o fluxo luminoso e reduzindo a potência. Assim sendo, para substituir o item 1 (Tab. 1.2) foi necessário um aumento no número de luminárias em 21,15% para manter o fluxo luminoso existente. No item 2, a preocupação maior foi a economia, por se tratar da sanca onde o tipo de iluminação é indireta, com objetivo de complemento da iluminação direta e, principalmente, com a estética arquitetônica. Já no item 3, o fluxo luminoso da luminária escolhida é menor do que o fluxo da existente, entretanto, sua escolha foi baseada no catálogo da OSRAM, onde o próprio fabricante indica a Ledvance *Dowlight* como substituta direta da *Dulux* 2x26W.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da potência conhecida de cada luminária de LED, e a quantidade necessária para a substituição, foi realizado o cálculo do valor gasto com a iluminação de forma análoga ao realizado para as lâmpadas de descarga, utilizando também as equações (1) e (2). Os valores de tarifa no horário de ponta e fora de ponta utilizados foram os mesmos citados acima para o mês de referência do estudo. Assim, o valor de energia gasto com iluminação após o *retrofit* é de R\$ 48.252,85.

O consumo de energia elétrica no mês de maio referente à iluminação foi de R\$ 80.595,21 e, com o *retrofit* tem-se uma queda de R\$ 32.342,36. Este valor significa uma economia de 40,13% com o gasto de energia elétrica para a iluminação e, de 11,45% de economia referente ao valor total do talão de energia.

Na tab.02 temos o valor total do orçamento para a substituição das luminárias, realizado pelos fabricantes das marcas sugeridas no estudo. E também nos fornece o valor do serviço de mão de obra para realização do *retrofit*. A empresa escolhida foi a Wed Montagens, por se tratar de uma empresa local, e por ter oferecido um valor de serviço menor que outras empresas locais solicitadas.

Com o valor total de orçamento necessário para a realização do projeto (R\$ 1.383.605,54), e o valor de economia mensal (R\$ 32.342,36) que a substituição irá proporcionar, verificamos que o tempo de *payback* é de 42,77 meses, ou aproximadamente 3 anos e 6 meses.

Para verificação da permanência na qualidade de iluminação do condomínio em estudo, foi utilizado o

software DIALux, que fornece a potência luminosa vertical dado em lux e a densidade de luminância, dada em candela por metro.

O DIALux nos fornece uma visualização em 3D do ambiente desejado, com uma simulação real de iluminação. Os resultados obtidos através do *software* serão dispostos por setores do *shopping*, onde se tem instalado todos os tipos de luminárias a serem substituídas. As simulações foram feitas primeiramente com as lâmpadas de descarga atualmente instaladas, e também com as luminárias de LED propostas para o *retrofit*, para que seja feita uma comparação entre a iluminação de ambas. As lâmpadas instaladas na área externa do pavimento 01 é o item 5 da tab. 1.2, substituída pelo item E da tabela 1.3.

A tab. 2.1 nos fornece o valor da densidade luminosa, sendo de 7,87 cd/m² para a lâmpada de descarga e 10 cd/m² para a luminária de LED, e a potência luminosa de 54,5 lx e 69,2 lx, para descarga e LED, respectivamente. Através destes valores, podemos destacar a superioridade na qualidade de iluminação da luminária de LED em relação à lâmpada de vapor metálico utilizada.

Tabela 2.1 - Dados referente ao iluminamento da área externa do Pavimento 01

Área Externa de entrada do Pav.01	Densidade de Luminância (cd/m ²)	Potência Luminosa Vertical (lx)	Ângulo (°)
Descarga	7,87	54,5	10
Led	10	69,2	60

Fonte: DIALux (2016)

Na tab. 2.2 abaixo, temos os valores de cálculo fornecidos pelo DIALux das luminárias dos *malls* no condomínio Praça Uberaba *Shopping*. As lâmpadas instaladas atualmente nos *malls* se referem ao item 3 da tab. 1.2, e a luminária equivalente sugerida para o *retrofit* refere-se ao item C da tab. 1.3.

Na área selecionada para o cálculo, a lâmpada de descarga possui 36,1 cd/m² e 126 lx, entretanto, a luminária de LED sugerida fornece 43,3 cd/m² e 151 lx, além de 27° a mais de ângulo de abertura.

Tabela 2.2 - Dados referente ao iluminamento do Mall

MALL	Densidade de Luminância (cd/m ²)	Potência Luminosa Vertical (lx)	Ângulo (°)
Descarga	36,1	126	62
Led	43,3	151	89

Fonte: DIALux (2016)

Nas fig. 03, 3.1 e 3.2, temos a visualização da iluminação na área externa de entrada do pavimento 01, a intensidade de iluminação com escala de cores dada em lux e o ângulo de abertura das lâmpadas de descarga, respectivamente. E, nas fig. 3.3, 3.4 e 3.5, as mesmas visualizações, porém, para as luminárias de LED equivalente.

Área externa de entrada do Pavimento 01

Figura 3 - Visualização da entrada do pavimento 01 com lâmpadas de descarga



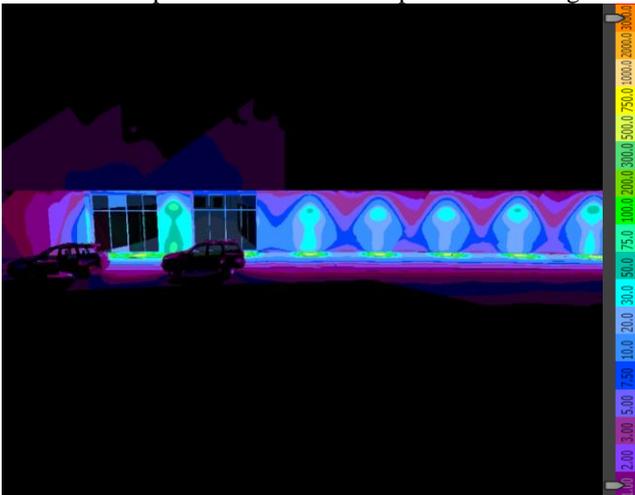
Fonte: DIALux (2016)

Figura 3.3 - Visualização da entrada do pavimento 01 com lâmpadas de LED



Fonte: DIALux (2016)

Figura 3.1 - Intensidade de iluminação com escala de cores da entrada do pavimento 01 com lâmpadas de descarga



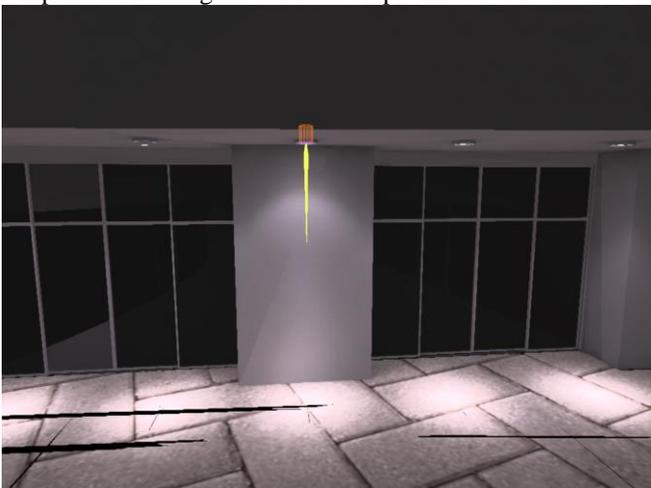
Fonte: DIALux (2016)

Figura 3.4 - Intensidade de iluminação com escala de cores da entrada do pavimento 01 com lâmpadas de LED



Fonte: DIALux (2016)

Figura 3.2 - Visualização do ângulo de abertura da lâmpada de descarga da entrada do pavimento 01



Fonte: DIALux (2016)

Figura 3.5 - Visualização do ângulo de abertura da luminária de LED da entrada do pavimento 01



Fonte: DIALux (2016)

Tabela 2 – Orçamento para o retrofit de LED no Praça Uberaba Shopping

Descrição	Quantidade e Tempo de Execução	Fornecedores e Mão de Obra	Valor Unitário (R\$)	Valor Total com Frete e Impostos Incluso (R\$)
¹ Luminária ECN02 Completa 37w	1810	Lumicenter	190,9742	464.979,73
² Fita de Led IX3 5mts 120 Leds/mt + fonte de alimentação	497	SuperLed	482	195.085,00
³ Luminária de embutir Ledvance Dowlight	766	Osram	187,47	143.602,02
⁴ Módulo retangular para poste tipo pétala Delta 1xLed + suportes simples, duplos e quádruplos	60	Itaim	396,47	301.284,65
⁵ Luminária de embutir Top Pro Led completa	95	Trust	315,72	33654,14
⁶ Serviços de execução do retrofit	Quatro meses	Wed Montagem	-	245.000,00
Valor Total do Orçamento				1.383.605,54

Fonte - ¹Lumicenter; ²Superled; ³Osram; ⁴Itaim; ⁵Trust; ⁶Wed Montagens (2016)

Na tab. 2.3 temos os valores calculados para a iluminação nas sancas do *shopping*, onde as lâmpadas fluorescentes apresentam valores elevados em relação às fitas de LED propostas para substituição. As lâmpadas fluorescentes instaladas fornecem uma densidade de luminância de 163 cd/m² e 1052 lx, para a área considerada no cálculo, já a fita de LED, 90,2 cd/m² e 582 lx. Os valores representados pelas fontes de descarga aproximam-se do dobro em relação às sugeridas, porém, a iluminação das sancas é apenas decorativa e de complemento da iluminação direta oferecida pelas luminárias do *mall*. Sendo assim, os valores reduzidos de cálculo oferecidos pelas fitas de LED não foram uma preocupação em relação à qualidade de iluminação. E, na iluminação da sanca foi onde se teve a maior economia, por se tratar do local com maior número de lâmpadas de descarga.

Tabela 2.3 - Dados das lâmpadas das sancas

SANCAS	Densidade de Luminância (cd/m ²)	Potência Luminosa Vertical (lx)	Ângulo (°)
Descarga	163	1052	150
Led	90,2	582	120

Fonte: DIALux (2016)

A tab. 2.4 nos fornece os valores calculados pelo DIALux das lâmpadas de vapor metálico, item 4 da tab. 1.2 e módulos de LED tipo poste, item D da tab. 1.3. Onde podemos notar valores apreciáveis para as fontes de LED.

Temos então, 14,3 cd/m², 128 lx e ângulo de abertura de 90° para a lâmpada de vapor metálico na área selecionada para o cálculo e, para os módulos de LED, temos 22,5 cd/m², 202 lx e 120° de ângulo de abertura

Tabela 2.4 - Dados da luminária tipo poste do pavimento 3

Estacionamento Externo - Pavimento 03	Densidade de Luminância (cd/m ²)	Potência Luminosa Vertical (lx)	Ângulo (°)
Descarga	14,3	128	90
Led	22,5	202	120

Fonte: DIALux (2016)

Para as luminárias do estacionamento (Tab. 2.5) os valores comparados ficaram próximos, sendo de 4,88 cd/m² e 43,78 lx para as lâmpadas fluorescentes e, 4,96 cd/m² e 43,84 lx para as luminárias de LED. Para manter o fluxo luminoso atual, foi adicionado 316 luminárias LED.

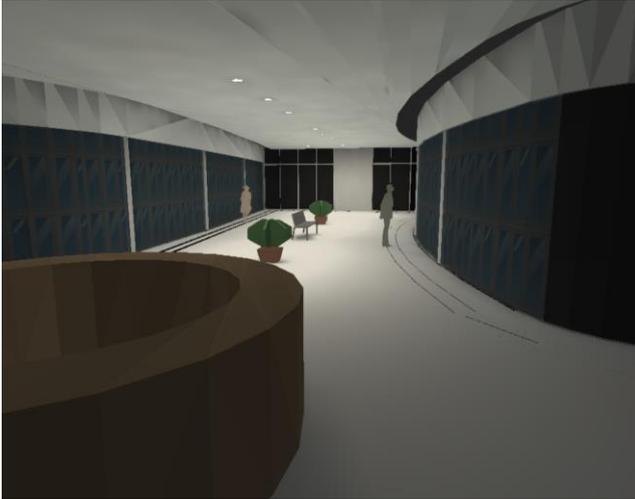
Tabela 2.5 - Dados da luminária do estacionamento interno

Estacionamento Interno SS1	Densidade de Luminância (cd/m ²)	Potência Luminosa Vertical (lx)	Ângulo (°)
Descarga	4,88	43,78	120
Led	4,96	43,84	160

Fonte: DIALux (2016)

Mall do Pavimento 01

Figura 4 - Visualização do mall pavimento 01 com lâmpadas de descarga



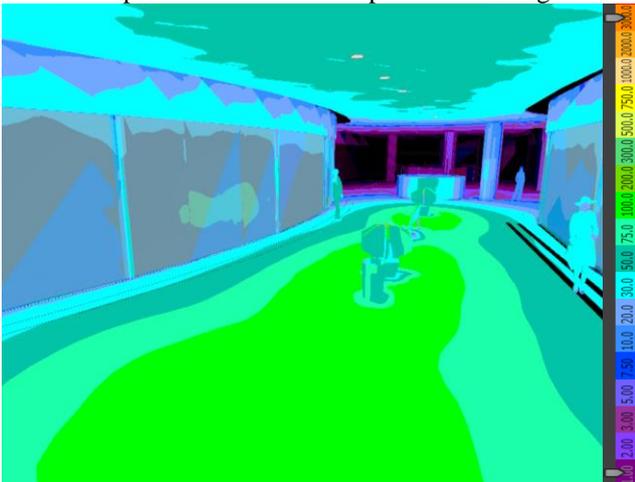
Fonte: DIALux (2016)

Figura 4.3 - Visualização do mall pavimento 01 com luminárias de LED



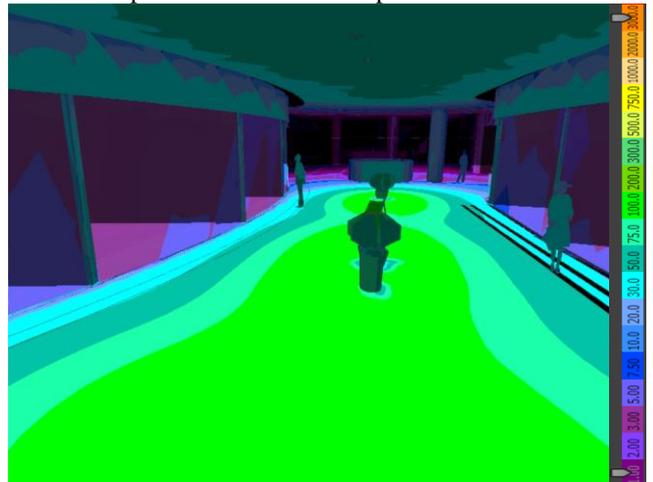
Fonte: DIALux (2016)

Figura 4.1 - Intensidade de iluminação com escala de cores do mall no pavimento 01 com lâmpadas de descarga



Fonte: DIALux (2016)

Figura 4.4 - Intensidade de iluminação com escala de cores do mall no pavimento 01 com lâmpadas de LED



Fonte: DIALux (2016)

Figura 4.2 - Visualização do ângulo de abertura da luminária com lâmpada de descarga do mall pavimento 01



Fonte: DIALux (2016)

Figura 4.5 - Visualização do ângulo de abertura da luminária de LED do mall no pavimento 01



Fonte: DIALux (2016)

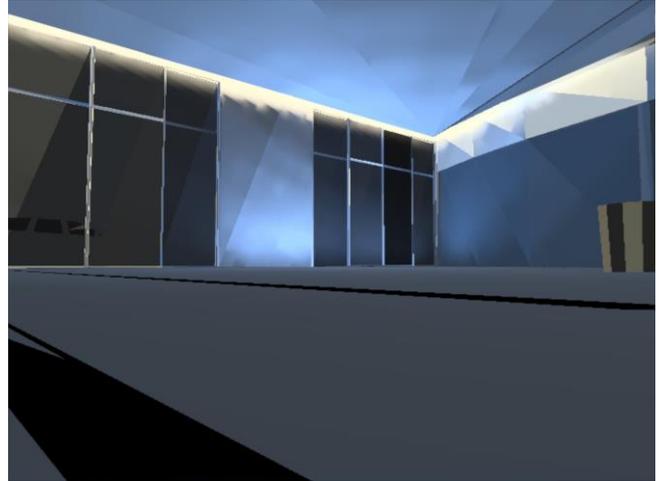
Iluminação das Sancas

Figura 5 - Visualização da sanca no pavimento 01 com lâmpadas de descarga



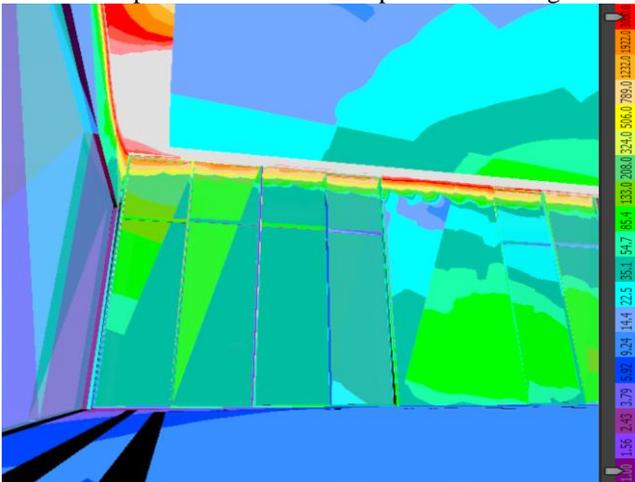
Fonte: DIALux (2016)

Figura 5.3 - Visualização da sanca no pavimento 01 com fitas de LED



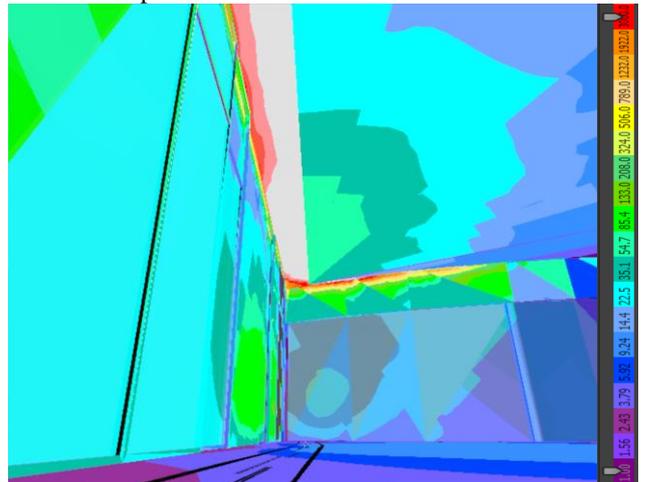
Fonte: DIALux (2016)

Figura 5.1 - Intensidade de iluminação com escala de cores da sanca no pavimento 01 com lâmpadas de descarga



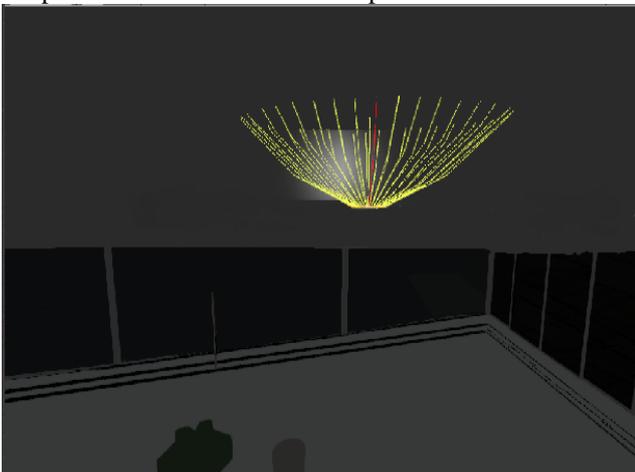
Fonte: DIALux (2016)

Figura 5.4 - Intensidade de iluminação com escala de cores da sanca no pavimento 01 com fitas de LED



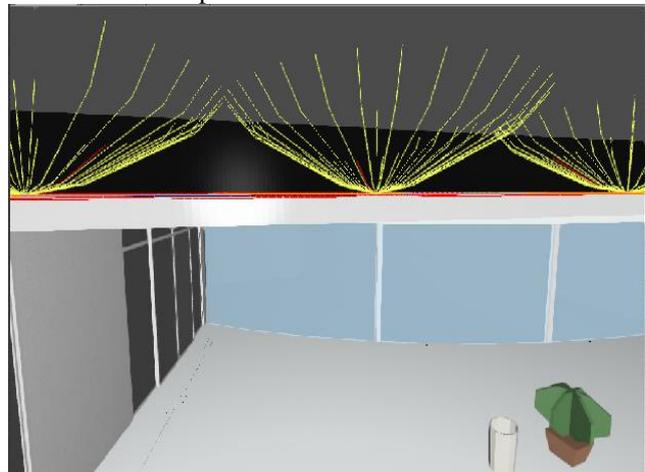
Fonte: DIALux (2016)

Figura 5.2 - Visualização do ângulo de abertura da lâmpada fluorescente da sanca no pavimento 01



Fonte: DIALux (2016)

Figura 5.5 - Visualização do ângulo de abertura da fita de LED da sanca no pavimento 01



Fonte: DIALux (2016)

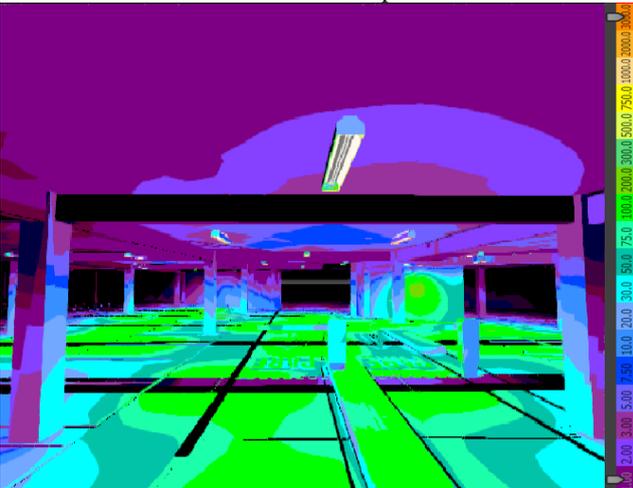
Estacionamento Interno – Subsolo 01

Figura 06 - Visualização do estacionamento subterrâneo com lâmpadas fluorescentes



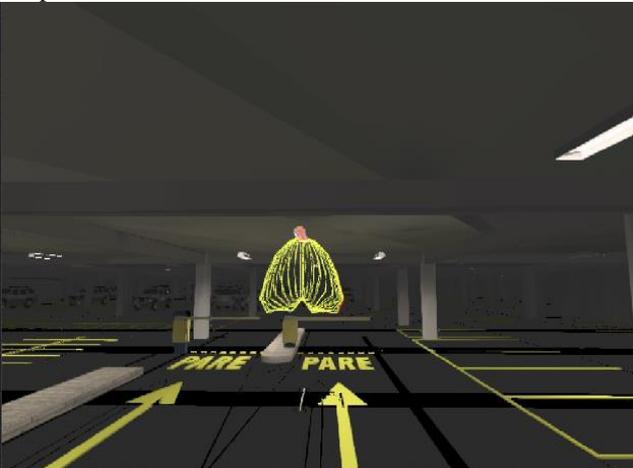
Fonte: DIALux (2016)

Figura 6.1 - Intensidade de iluminação com escala de cores do estacionamento interno com lâmpadas fluorescentes



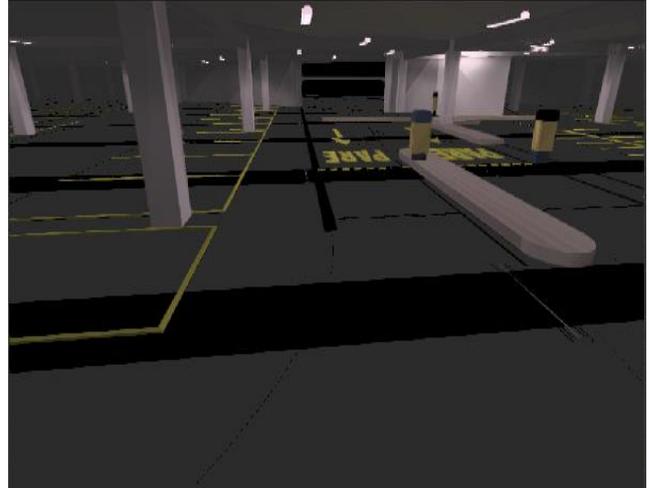
Fonte: DIALux (2016)

Figura 6.2 - Visualização do ângulo de abertura das lâmpadas fluorescentes do estacionamento subterrâneo



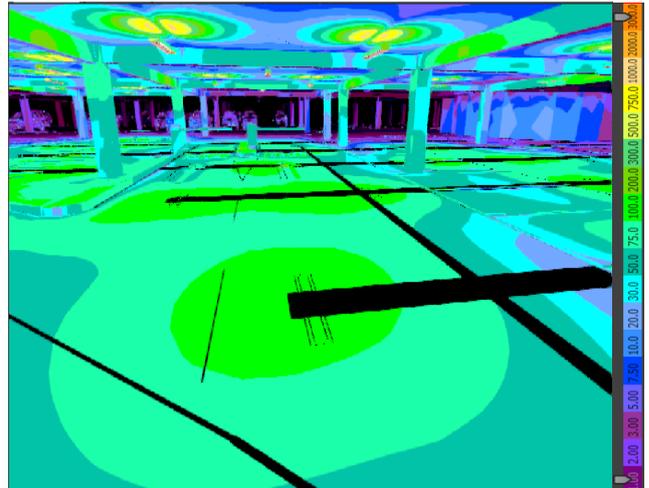
Fonte: DIALux (2016)

Figura 6.3 - Visualização da sanca pavimento 01 com fitas de LED



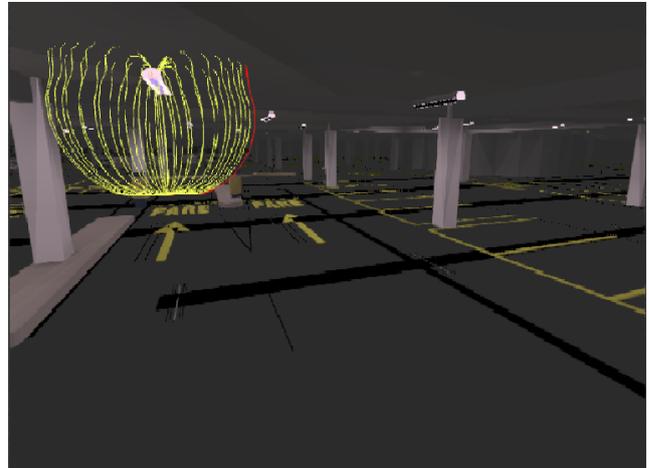
Fonte: DIALux (2016)

Figura 6.4 - Intensidade de iluminação com escala de cores do estacionamento interno com luminárias de LED



Fonte: DIALux (2016)

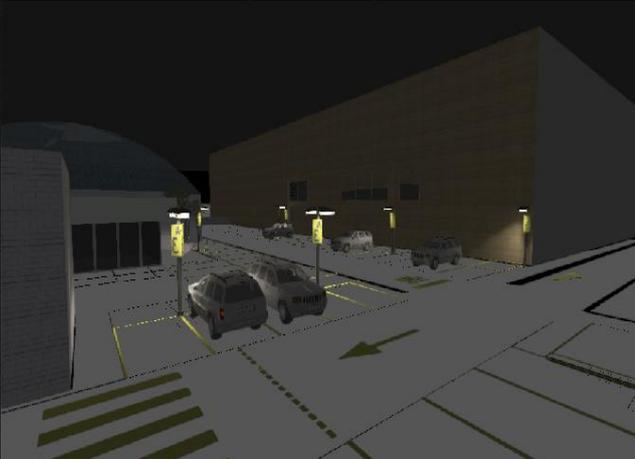
Figura 6.5 - Visualização do ângulo de abertura das luminárias de LED do estacionamento subterrâneo



Fonte: DIALux (2016)

Estacionamento Externo – Pavimento 03

Figura 07 - Visualização do estacionamento externo pavimento 03 com lâmpadas de vapor metálico



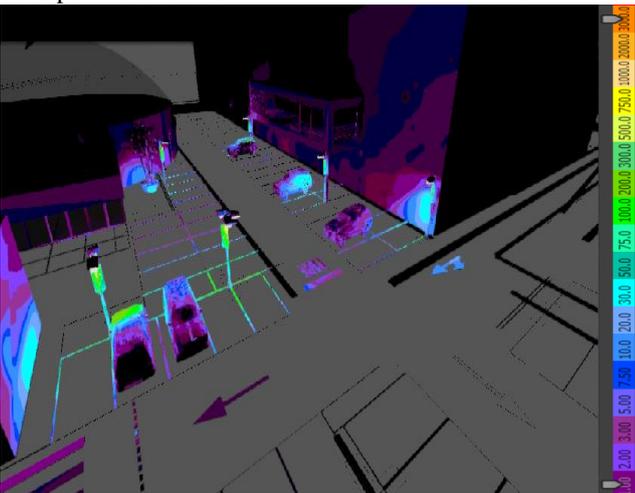
Fonte: DIALux (2016)

Figura 7.3 - Visualização do estacionamento externo pavimento 03 com módulos de LED tipo poste



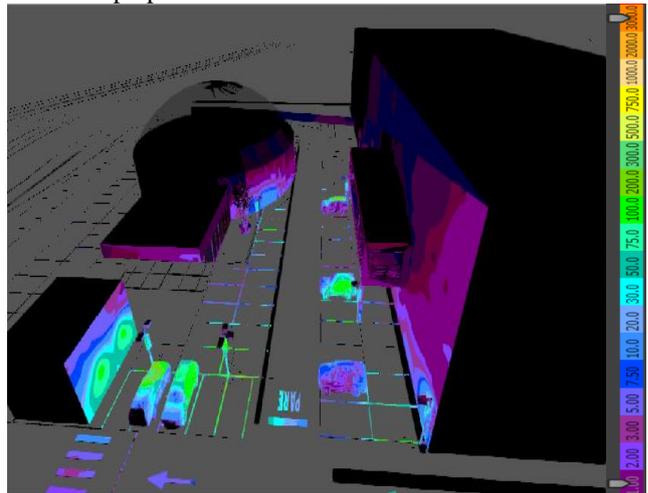
Fonte: DIALux (2016)

Figura 7.1 - Intensidade de iluminação com escala de cores do estacionamento externo no pavimento 03 com lâmpadas de vapor metálico



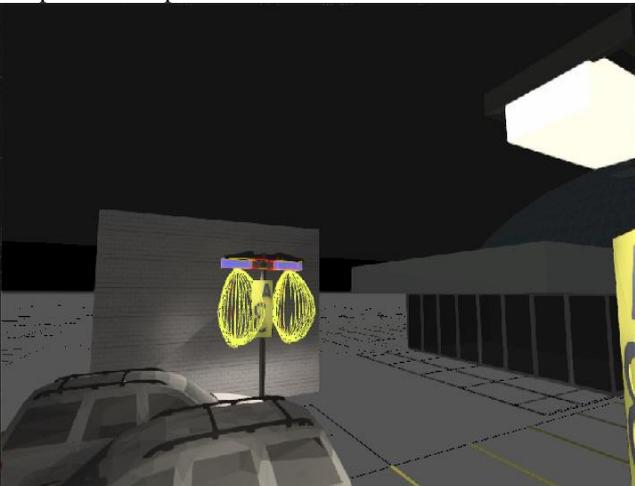
Fonte: DIALux (2016)

Figura 7.4 - Intensidade de iluminação com escala de cores do estacionamento externo no pavimento 03 com módulos de LED tipo poste



Fonte: DIALux (2016)

Figura 7.2 - Visualização do ângulo de abertura das lâmpadas de vapor metálico do estacionamento externo



Fonte: DIALux (2016)

Figura 7.5 - Visualização do ângulo de abertura dos módulos de LED do estacionamento externo



Fonte: DIALux (2016)

As fig. 04, 4.1 e 4.2 são, respectivamente, a visualização da iluminação do *mall* do pavimento 01 com lâmpadas fluorescentes *Dulux* 26 W, a visualização da intensidade de iluminação dada em lux com escala de cores, mostrando a cor verde com maior intensidade no local com mais incidência de luz e o formato do ângulo de abertura que a luminária com duas lâmpadas *Dulux* 26 W fornece. Já, nas fig. 4.3, 4.4 e 4.5 temos as mesmas visualizações, porém, com a luminária de LED *Downlight* proposta para a substituição.

Visivelmente não se nota grande diferença entre as duas, entretanto, a visualização da intensidade de iluminação com escala de cores nos indica uma maior intensidade de luz no piso e uma maior concentração de fecho luminoso, pelo fato do ângulo de abertura ser menos disperso.

A iluminação das sancas através de lâmpadas fluorescentes tubulares 54 W é vista nas fig. 05, 5.1 e 5.2, onde temos, respectivamente, a visualização real da iluminação no ambiente, a intensidade de iluminação com escala de cores e o ângulo de abertura dos fechos de luz. E, as fig. 5.3, 5.4 e 5.5 nos fornecem as mesmas visualizações, no entanto, para as fitas de LED de 120 W propostas para o *retrofit* nas sancas.

A iluminação das sancas foi o único local do estudo onde se teve um menor fluxo luminoso por área com a utilização do LED, todavia, comparando a fig. 05 com a fig. 5.3, a diferença de iluminamento é imperceptível, por se tratar de uma forma indireta de iluminação, além disto, é importante ressaltar a facilidade e o menor tempo gasto com manutenção e troca, ao se utilizar fita de LED nas sancas, por ser flexível, leve e ter um comprimento cinco vezes maior do que uma lâmpada tubular.

Para a iluminação do subsolo 01, utilizaram-se luminárias de LED com 37 W e fluxo luminoso de 4300 lm, sendo necessário um complemento de 316 luminárias para manter o fluxo luminoso oferecido pelas luminárias instaladas atualmente com duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 28 W cada e fluxo luminoso total de 5200 lm por luminária.

As fig. 06, 6.1 e 6.2 mostram o desempenho das lâmpadas fluorescentes tubulares existentes no subsolo 01, e, as fig. 6.3, 6.4 e 6.5, para questão de comparação, oferecem vistas semelhantes, contudo, utilizando as luminárias de LED propostas.

Apesar da necessidade do acréscimo de 316 luminárias no estacionamento do subsolo 01 para manter a proposta deste estudo de não alterar a qualidade na iluminação do recinto Praça Uberaba *Shopping*, ainda foi possível reduzir a potência instalada de iluminação nos estacionamentos internos, de 83,67 KW para 66,97 KW, vide potências e quantidades nas tab. 1.2 e tab. 1.3. (lembrando que o subsolo 01 e subsolo 02 são idênticos quanto à quantidade e modelo de luminárias adotadas).

Nas fig. 07, 7.1 e 7.2 temos a ilustração, em parte, da iluminação atual com lâmpadas de vapor metálico do estacionamento externo do pavimento 03, onde é possível notar pela visão de intensidade de iluminação com escala de cores da fig. 7.1, uma fraca dispersão de iluminamento sobre o solo. E, por fim, as fig. 7.3, 7.4 e 7.5 ilustram o

desempenho dos módulos de LED propostos para substituir as lâmpadas de descarga no estacionamento externo.

Os módulos de LED propostos, além de possuir maior ângulo de abertura, possuem potência luminosa e densidade de luminância 1,57 vezes maior que as lâmpadas de descargas utilizadas nos postes atualmente.

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados encontrados, foi possível notar os benefícios que a tecnologia LED pode trazer para uma instalação de grande porte, como a do estudo em questão.

Além da capacidade em manter uma iluminação de qualidade, com variedade de cores e formatos, as modernas luminárias de LED possuem uma vida útil elevada em relação a outras fontes de luz, como incandescentes e de descarga, uma alta eficiência luminosa, que possibilita manter um fluxo luminoso equivalente, porém, com menor potência, conseqüentemente menor gasto com energia elétrica e, por se tratar de luminárias com dissipador de calor embutido, por tal razão conhecidas como fonte de luz fria, elas não aquecem o ambiente, sendo assim, o consumo do ar-condicionado também diminui, se comparado com lâmpadas de descarga.

Em virtude dos fatos mencionados, concluímos que o *retrofit* de lâmpadas fluorescentes por LED no condomínio Praça Uberaba *Shopping* é de grande valia, mesmo se tratando de um alto investimento (R\$ 1.383.605,54), pelo fato de que se obteve uma redução de 40,13% com gastos de energia elétrica referente à iluminação, valor este que representa uma economia de R\$ 32.342,36 e um tempo de retorno do investimento de aproximadamente 3,5 anos, além disto, empresas do setor luminotécnico financiam 100% do projeto, de forma a obter o valor das parcelas menores do que a economia gerada com o *retrofit*, sendo assim, não é necessário possuir o montante para o investimento, nem retirar do capital de giro a quantia gerada para pagamento das parcelas. Com os valores expostos notamos que o projeto em questão possui excelente viabilidade econômica devido ao alto valor de economia e um tempo *de payback* curto em relação ao custo do investimento.

REFERÊNCIAS

ABILUX. **Descrição de led**. Disponível em: <http://www.abilux.com.br/portal/pdf/gua_led.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2016.

BULLOUGH, J. D. **Lighting Answers: LED Lighting Systems**. National Lighting Product Information Program, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. Vol. 7, 2003.

CEMIG. **Manual de Gerenciamento de Energia**. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/Eficiencia_Energetica/Documents/MANUAL%20DE%20GERENCIAMENTO%20DE%20ENERGIA%202011_>

BAIXA_16-01_LOS%20(2).pdf>. Acesso em: 24 ago. 2016.

DIALux – **Lighting design**. Disponível em: <<https://www.dial.de/en/dialux/>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

E-CIVILNET. **Software Osram DIALux**. Disponível em: <http://www.ecivilnet.com/software/dialux_calculo_d_e_iluminacao.htm>. Acesso em: 24 ago. 2016.

FILHO, J. M. “**Instalações Elétricas Industriais**”. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

ITAIM Iluminação. **Pétala Delta 1xLed Itaim**. Disponível em: <<http://www.itaimiluminacao.com.br/catalogo/produto/id/10343>>. Acesso em: 24 ago. 2016.

LUMICENTER Iluminação. **Luminária ECN02 LED**. Disponível em: <<http://www.lumicenteriluminacao.com.br/en/catalogo/produto/1229.html>>. Acesso em: 24 ago. 2016.

LUXEON. **Power light source Luxeon Rebel: LXML-PWN1-0080**. Folha de Especificações. 2008. Disponível em: <<http://www.luxeon.com/pdfs/DS56.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

MALVINO, A. P. “**Eletônica**”. 4. ed. São Paulo: Pearson, 1997.

MOREIRA, V. A. **Iluminação Elétrica**. São Paulo, SP: Edgard Blucher, 1999.

OSRAM, 2016. Disponível em: <<http://www.osram.com.br>>. Acesso em: 16 ago. 2016.

SICLO. **Consultoria de energia**. Apostila de consultoria energética do Praça Uberaba Shopping do mês de maio/2016.

TRUST ILUMINAÇÃO. **Embutir Top Pro Led**. Disponível em: <<http://trustiluminacao.com.br/produto/top-pro-led/>>. Acesso em: 24 ago. 2016.

ANEXOS

FLUXO LUMINOSO (Φ): é a potência de radiação total emitida por uma fonte de luz, ou é a potência de energia luminosa de uma fonte percebida pelo olho humano. O lúmen pode ser definido como o fluxo luminoso emitido segundo um ângulo sólido de um esterradiano, por uma fonte puntiforme de intensidade invariável em todas as direções e igual a 1 candela.

EFICIÊNCIA LUMINOSA: é a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma lâmpada e a potência elétrica desta lâmpada.

INTENSIDADE LUMINOSA: (I): é a potência da radiação luminosa numa dada direção. A intensidade luminosa é a grandeza de base do sistema internacional para iluminação, e a unidade é a candela (cd).

ILUMINÂNCIA OU ILUMINAMENTO (E): é a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície, ou seja, é a densidade de fluxo luminoso na superfície sobre a qual este incide. A unidade é o LUX, definido como o iluminamento de uma superfície de 1 m² recebendo de uma fonte puntiforme a 1m de distância, na direção normal, um fluxo luminoso de 1 lúmen, uniformemente distribuído.

LUMINÂNCIA: é um dos conceitos mais abstratos que a luminotécnica apresenta. É através da luminância que o homem enxerga. No passado denominava-se de brilho, querendo significar que a luminância está ligada aos brilhos. A diferença é que a luminância é uma excitação visual, enquanto que o brilho é a resposta visual; a luminância é quantitativa e o brilho é sensitivo. É a diferença entre zonas claras e escuras que permite que se aprecie uma escultura; que se aprecie um dia de sol. As partes sombreadas são aquelas que apresentam a menor luminância em oposição às outras mais iluminadas.

ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR – IRC: É a correspondência entre a cor real do objeto proveniente da luz natural (sol) e sua aparência quando submetida à fonte de luz artificial. Para as lâmpadas, o IRC é estabelecido no intervalo de 0 a 100, portanto quanto maior a diferença na aparência de cor do objeto iluminado em relação ao padrão (luz do sol), menor é seu IRC.

TEMPERATURA DE COR: No instante que um ferreiro coloca uma peça de ferro no fogo, esta peça passa a comportar-se segundo a lei de Planck e vai adquirindo diferentes colorações na medida em que sua temperatura aumenta. Na temperatura ambiente sua cor é escura, tal qual o ferro, mas será vermelha a 800 K, amarelada em 3.000 K, branca azulada em 5.000K. Sua cor será cada vez mais clara até atingir seu ponto de fusão. Pode se então, estabelecer uma correlação entre a temperatura de uma fonte luminosa e sua cor, cuja energia do espectro varia segundo a temperatura de seu ponto de fusão.

VIDA ÚTIL: é o número de horas decorrido quando se atinge 70% da quantidade de luz inicial devido à depreciação do fluxo luminoso de cada lâmpada, somado ao efeito das respectivas queimas ocorridas no período, ou seja, 30% de redução da quantidade de luz inicial.