

**FACULDADE PATOS DE MINAS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ARTHUR GUILHERME CARVALHO PEREIRA
CRISTIAN AUGUSTO SILVA BRITO**

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO BENEFÍCIO
ENTRE LÂMPADA FLUORESCENTE E LÂMPADA
LED**

**PATOS DE MINAS
2017**

**ARTHUR GUILHERME CARVALHO PEREIRA
CRISTIAN AUGUSTO SILVA BRITO**

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO BENEFÍCIO
ENTRE LÂMPADA FLUORESCENTE E LÂMPADA
LED**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade Patos de Minas
como requisito para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof.^o. Ms. Rafael Augusto da
Silva

**PATOS DE MINAS
2017**

Candidatos:

ARTHUR GUILHERME CARVALHO PEREIRA

CRISTIAN AUGUSTO SILVA BRITO

Título: ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO BENEFÍCIO ENTRE LÂMPADA
FLUORESCENTE E LÂMPADA LED

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Patos de Minas
como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica –
FACULDADE PATOS DE MINAS

Data ____ de _____ 2017

Prof.º.
Orientador

Prof.º.
Examinador

Prof.º.
Examinador

Aprovado ()

Reprovado ()

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter nós dado saúde e força para superar as dificuldades.

A faculdade, seu corpo docente, direção e coordenação que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior.

Ao meu orientador Rafael, pelo suporte e dedicação no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

Aos nossos pais, pelo apoio incondicional, incentivo e amor.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte de nossa formação, o meu muito obrigado.

Análise comparativa do custo benefício entre lâmpada fluorescente e lâmpada LED. 2017. 39f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade Patos de Minas. Patos de Minas, 2017.

ESTÁ AUTORIZADA INTEGRAL OU PARCIALMENTE A REPRODUÇÃO DESTE TRABALHO, PARA FINS DE ESTUDO E/OU PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

RESUMO

A iluminação representa uma parcela significativa do consumo energético no Brasil. Por essa razão, o incentivo ao uso das lâmpadas mais eficientes como a LED para substituição das lâmpadas fluorescentes tem se tornado cada vez maior. Contudo, por ser uma tecnologia recente, o custo de implementação das lâmpadas LED ainda é alto, o que compromete a viabilidade econômica do sistema. A importância dessa pesquisa se concentra em fornecer subsídios para os consumidores promoverem a substituição dos sistemas de iluminação em suas residências. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi demonstrar o comparativo da relação custo benefício das lâmpadas fluorescentes e LED em uma possível substituição. Para tanto, o primeiro piso da Faculdade Patos de Minas foi escolhido como o ambiente de estudo, onde as análises foram conduzidas através da comparação dos parâmetros luminotécnicos e da eficiência energética das lâmpadas fluorescente e LED. Os resultados indicaram maior viabilidade econômica para o sistema LED devido ao seu baixo consumo e vida útil prolongada. Além disso, foi possível identificar que o retorno financeiro da substituição seria pago em menos de dois anos de funcionamento da tecnologia LED. Portanto, pode-se concluir que a eficiência da iluminação LED é maior do que a da iluminação fluorescente.

Palavras-chave: LED. Eficiência energética. Iluminação.

ABSTRACT

Illumination represents a significant portion of the power consumption in Brazil. For this reason, the use of more efficient lamps such as LED, has been encouraged in order to replace fluorescent lamps. However, the initial investment of the LED lamps is still high due to its recent technology. Consequently, the economic viability of these lamps may be affected. The importance of this research is to provide information for consumers, in order to promote the illumination system replacement of their houses. In this sense, the aim of this study was to compare the relationship between cost and benefit of fluorescent and LED lamps in a probably replacement. For this, the first floor from FPM was chosen as study environment, where analysis were carried out by comparison of the lighting parameters and power efficiency from fluorescent and LED lamps. Results have indicated higher economic viability of LED system due to its lower consumption and extended life time. Moreover, it was possible to identify that the payback of the replacement would be guaranteed in less of two years of LED technology working. Therefore, the efficiency of LED illumination is higher than fluorescent illumination.

Keywords: LED. Energetic Efficiency. Illumination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Estrutura de uma lâmpada fluorescente.....	17
Figura 2	Estrutura de uma lâmpada de LED.....	21
Figura 3	Planta baixa do primeiro piso da unidade JK da FPM.....	26
Figura 4	Vida útil (anos) das lâmpadas fluorescentes e LED.....	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	08
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
3	ASPECTOS TÉCNICOS QUE DETERMINAM A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	13
4	CARACTERÍSTICAS DAS LÂMPADAS FLUORESCENTES.....	16
5	TECNOLOGIA LED.....	19
6	MERCADO DA ILUMINAÇÃO.....	23
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
7.1	Caracterização do ambiente de estudo	24
7.2	Análise da Viabilidade Econômica dos Sistemas LED e Fluorescente.....	27
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
	REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios, o homem usufrui dos recursos naturais para garantir sua sobrevivência na Terra. Grande parte do uso destes recursos é destinado à produção de energia elétrica, a qual é responsável pela geração de produtos e serviços nos mais diversos âmbitos, como o industrial, residencial e comercial. Conseqüentemente, essa relação extrativista estabeleceu uma dependência energética para a realização de tarefas, dentre as quais está inclusa a iluminação.

A iluminação representa cerca de 17% do consumo total de energia elétrica no Brasil (1). Destes, 24% são gastos no setor residencial, 44% no comércio e serviços públicos, além de 1% no setor industrial. Evidentemente, a preocupação com as questões ambientais e econômicas tem colocado em pauta a eficiência energética e a redução dos gastos provenientes com a iluminação artificial. Nesse sentido, várias alternativas vêm sendo discutidas, dentre as quais destacam-se os hábitos de uso e emprego de sistemas eficientes, tais como lâmpadas e refletores (2).

A iluminação artificial evoluiu substancialmente nos últimos anos graças ao desempenho tecnológico voltado principalmente para o desenvolvimento de luminárias. Além disto, a regulamentação da portaria interministerial nº1007/2010 fomentou o uso de modelos mais econômicos por meio da proibição do comércio de lâmpadas incandescentes (3). Basicamente, existem dois tipos de lâmpadas que vem substituindo as incandescentes: lâmpadas fluorescentes e LED (*Light Emitting Diode*).

As lâmpadas fluorescentes são conhecidas como lâmpadas de descarga, as quais possuem em seu interior um gás que produz luz pela interação do mesmo com uma corrente elétrica. As lâmpadas de LED por sua vez, são compostas por semicondutores que convertem eletricidade em luz por meio da eletroluminescência (4). Em ambos os casos são descritas inúmeras vantagens sobre as lâmpadas incandescentes, tais como maior durabilidade, menor consumo e aquecimento do ambiente, bem como maior eficiência luminosa (5). Contudo, pouco se sabe sobre os impactos das duas tecnologias nos sistemas elétricos, especialmente no que diz respeito sobre a viabilidade econômica.

Por fim, a eficiência energética se manifesta como uma das principais soluções para garantir o abastecimento agregando vantagens sociais, ambientais e

econômicas (6). Dentre as ações mais significativas para potencializar a eficiência energética do país está o planejamento adequado dos sistemas de iluminação. De fato, a melhoria das instalações luminosas proporciona diversos benefícios que abrangem desde a redução das perdas de energia à promoção da saúde e bem-estar dos usuários.

Neste contexto, este trabalho apresenta uma análise do custo benefício dos sistemas de iluminação LED e fluorescente tendo como base a estrutura física da Faculdade Patos de Minas. Logo, espera-se que ao final deste estudo seja adquirido um maior conhecimento acerca do desempenho energético, bem como dos impactos ambientais das duas tecnologias destinadas a substituir as lâmpadas incandescentes.

Justificou-se tal pesquisa pois, na atual conjuntura social e econômica, é evidente a necessidade de conservação de energia. A iluminação constitui um dos principais usos finais da energia elétrica, sendo responsável por um consumo elevado deste insumo. Por esta razão, a iluminação e seus sistemas merecem especial atenção para evitar desperdícios e potencializar sua vida útil. Neste aspecto, os estudos que tratam a eficiência energética dos projetos de iluminação são imprescindíveis para garantir o aproveitamento sustentável da energia.

Embora vários trabalhos tenham demonstrado os benefícios do uso de luminárias LED sobre as convencionais, ainda existem poucos casos na literatura esclarecendo as vantagens que as lâmpadas LED fornecem sobre as lâmpadas fluorescentes, visto que estas já apresentam ganhos. Diante disto, a importância deste estudo se concentra em demonstrar a viabilidade econômica do sistema LED frente às lâmpadas fluorescentes.

Objetivou-se realizar uma análise comparativa entre dois sistemas de iluminação (lâmpadas LED e lâmpadas fluorescentes) utilizando parte do projeto da Faculdade de Patos de Minas (FPM). Além disto, pretende-se ainda verificar os parâmetros físicos e a viabilidade econômica dos dois tipos de luminárias.

Especificamente analisar a viabilidade econômica e o custo benefício da tecnologia LED sobre a fluorescente; Comparar a manutenção e consumo de energia elétrica pelas duas luminárias; Determinar a eficiência luminosa e a vida útil dos dois tipos de lâmpadas.

Além do mais, as análises de desempenho energético das tecnologias disponíveis no mercado para iluminação, são fundamentais para assegurar um

maior conhecimento para o consumidor. Desta forma, o presente estudo se destaca ao fornecer subsídios técnicos para uma escolha apropriada das tecnologias que irão compor o sistema elétrico das instalações.

A metodologia adotada foi que o presente trabalho caracteriza-se como pesquisa descritiva com abordagem qualitativa e quantitativa, realizada por meio de um estudo de caso que tem por finalidade analisar a viabilidade econômica e energética dos sistemas de iluminação LED e fluorescente, estabelecendo uma comparação entre o custo e o benefício de cada tecnologia. Neste sentido, inicialmente foi apresentado às características do ambiente de estudo, tais como a localização, descrição e situação atual da edificação correspondente ao primeiro piso da Faculdade de Patos de Minas (FPM).

Posteriormente, a eficiência luminosa do projeto luminotécnico foi verificada pela quantidade de lâmpadas presentes na infraestrutura atual do primeiro piso do campus, assim como o número de lâmpadas por luminária. As especificações dos fabricantes foram consideradas e comparadas em uma tabela usando o software Excel. As variáveis analisadas entre os dois tipos de lâmpadas foram a potência, tensão, modelo, fluxo luminoso, custo unitário e vida útil.

Este estudo está organizado em três capítulos, sendo que o primeiro aborda os conceitos de alguns parâmetros luminotécnicos e sua influência na eficiência energética dos sistemas luminosos. No segundo capítulo serão discutidos os aspectos gerais das lâmpadas fluorescentes, inclusive suas vantagens e desvantagens. Por fim, o terceiro capítulo apresenta a tecnologia LED, suas aplicações, benefícios e características.

Partiu-se da seguinte problematização que o consumo de eletricidade devido à iluminação tem se tornado cada vez maior e altamente significativo, gerando grandes impactos na matriz energética do país. Além dos efeitos econômicos, a iluminação artificial é responsável pelo uso irracional dos recursos naturais, acarretando grandes perdas ambientais pela exploração de fontes primárias de energia. Ademais, o dispêndio causado pela iluminação contribui para a emissão de gases como o dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera, agravando assim o efeito estufa.

Diversas características técnicas e de uso podem influenciar o consumo final de energia pela iluminação. Sabe-se que o tipo de luminária interfere significativamente nestes padrões, o que cunhou no desenvolvimento das lâmpadas

LED e fluorescentes. Embora ambas tecnologias alcancem os padrões de eficiência exigidos, questiona-se qual o verdadeiro custo benefício e a viabilidade destes dois sistemas de iluminação para se atingir níveis de economia superiores.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A vida útil em anos das duas lâmpadas investigadas foi considerada a partir da equação proposta por Ascurra (23):

$$\text{Vida útil em anos} = \frac{\text{vida útil das lâmpadas (h)}}{\text{Tempo de uso da lâmpada (h/ano)}}$$

As análises de viabilidade econômica foram conduzidas considerando a quantidade de lâmpadas, o investimento inicial, o consumo de energia mensal, o número de substituições, o gasto com energia e manutenção, bem como o custo anual de cada um dos sistemas. O investimento inicial com as lâmpadas foi estimado pelo número de lâmpadas multiplicado pelo valor unitário de cada um dos sistemas de iluminação. A previsão do número de lâmpadas LED necessárias para a substituição das fluorescentes foi calculada através da fórmula:

$$\text{lux} = \frac{\text{lumens}}{\text{m}^2}$$

Onde:

Lux: é a medida de iluminância;

Lumens: fluxo luminoso;

m²: área do ambiente de estudo.

De acordo com a norma vigente NBR ISO 8995-1, a iluminação das salas de leitura e laboratórios deve ser em média 500 lux. Logo, esse padrão foi estabelecido como a medida de iluminância necessária para o ambiente de estudo. A área total

do primeiro piso da unidade contém 3.025,47 m². Portanto, a estimativa do número de lâmpadas LED para o ambiente de estudo foi feita através do cálculo de lumens, ou seja, a quantidade de luz necessária para iluminar o ambiente:

$$\text{Lumens} = \text{lux} \times \text{m}^2$$

A projeção do número de substituições de lâmpadas em cada sistema foi realizada pela razão entre o tempo de luz acesa (horas) de cada lâmpada durante 365 dias e a vida útil da mesma. O valor obtido desse cálculo revelou o número de lâmpadas queimadas a serem substituídas no período de um ano. Com esse resultado, foi possível calcular os gastos com a manutenção de cada sistema durante o mesmo período. Para tanto, a quantidade de lâmpadas a serem substituídas foi multiplicada pelo custo unitário de cada luminária.

Ademais, foram conduzidas análises de consumo de energia elétrica em quilowatts/h pelos dois sistemas considerando as normas vigentes, para indicar qual tecnologia tem o melhor custo benefício para atender a demanda energética da planta. Neste sentido, a análise de viabilidade econômica dos dois sistemas foi estimada conforme descrito por Silva et al (24), onde a fórmula utilizada para o cálculo do consumo de energia foi definida por:

$$C(\text{kWh}) = \frac{P(\text{W}) * Q * h * 30}{1000}$$

Onde:

C (kWh): Consumo de energia mensal;

Potência da geração (W): Potência nominal de cada lâmpada;

Q: Quantidade de lâmpadas no local;

h: Horas de funcionamento por dia.

Uma vez obtido o valor correspondente ao consumo energético mensal, foi possível determinar o custo mensal em reais para os dois modelos de iluminação:

$$Ct(R\$) = C * T$$

Onde:

Ct(R\$): Custo de energia mensal;

C (kWh): Consumo de energia mensal;

T (R\$): Tarifa CEMIG referente ao custo de 1kWh.

Por fim, o gasto anual de cada sistema foi projetado pela soma dos valores obtidos nos gastos com energia elétrica e o custo de manutenção. O valor correspondente ao investimento inicial não foi considerado visto que este representa um custo fixo e não contabilizado nos anos subsequentes. O percentual de economia foi estimado através da fórmula:

$$Economia = \left(\frac{1 - \text{Menor valor gastos}}{\text{Maior valor gastos}} \right) \times 100\%$$

Os resultados obtidos foram organizados em tabelas e gráficos para melhor compreensão e discussão da viabilidade luminotécnica dos dois sistemas investigados.

3 ASPECTOS TÉCNICOS QUE DETERMINAM A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Atualmente, cerca de 24% da energia elétrica é gasta com iluminação no setor residencial brasileiro. Segundo as tendências atuais, a demanda por iluminação artificial aumentará 80% até 2030 com o aumento da população. Esse crescimento pelo uso da energia revela a importância de se melhorar a eficiência energética dos equipamentos destinados à iluminação nesse setor (1).

Alguns estudos apontam que o principal motivo do gasto com os sistemas de iluminação se resume na adoção de padrões técnicos inadequados, como ambientes com iluminação em excesso, falta de aproveitamento da iluminação artificial, uso de equipamentos com baixa eficiência luminosa, falta de comando das

luminárias, ausência de manutenção depreciando o sistema e hábitos de uso inadequados (2).

Nessa perspectiva, o dispêndio energético devido à iluminação pode ser reduzido substancialmente com algumas medidas paliativas e eficazes, como a pintura dos ambientes interiores com cores claras, escolha correta do tipo de lâmpada e sua quantidade, posicionamento adequado dos sistemas de iluminação, entre outras. Neste sentido, alguns parâmetros técnicos devem ser considerados durante o planejamento das instalações elétricas, tais como boas condições de visibilidade e reprodução de cores, economia de energia, facilidade e menores custos de manutenção, custo de instalação compatível, entre outros (7).

De modo geral, algumas grandezas luminotécnicas influenciam o desempenho dos sistemas luminosos, especialmente no que diz respeito ao consumo energético. Dentre estes, um dos principais elementos capazes de interferir na qualidade da iluminação é a potência total. Também denominada fluxo energético, a potência total representa a medida de eletricidade de todas as lâmpadas do sistema de iluminação, sendo expressa em quilowatts. Logo, quanto mais watts de potência em uma lâmpada, maior será o fluxo luminoso emitido e conseqüentemente maior o consumo de energia pela mesma (8, 9).

Outro aspecto importante se refere ao fluxo luminoso, ou seja, a quantidade de luz produzida por uma lâmpada entre 380nm e 780nm. O fluxo luminoso é expresso em lúmens e se apresenta como uma medida útil para estimar a radiação de uma lâmpada quantitativamente. Além disso, o fluxo luminoso é uma grandeza utilizada para prever a eficiência luminosa de uma lâmpada, uma vez que esta é determinada pela razão entre o fluxo luminoso e a potência. Desta maneira, a eficiência luminosa está associada ao consumo energético de modo que, quanto menos energia a lâmpada consumir, maior será a sua eficiência (8).

Neste contexto, o tipo de luminária interfere diretamente no rendimento das lâmpadas. De fato, a vida útil da lâmpada é afetada pela escolha do tipo de luminária. Além do mais, as luminárias são capazes de alterar a distribuição do fluxo luminoso produzido pela lâmpada. Logo, ao avaliar uma luminária, as características de emissão e eficiência devem ser consideradas para otimizar o desempenho de uma lâmpada (7).

A análise dessas características pode ser conduzida avaliando a relação entre a luz emitida pela luminária e a emitida pela lâmpada em questão. De fato,

cada fonte luminosa apresenta características específicas ajustadas para a aplicação que é desenvolvida, especialmente no que se refere às características de luz. Nesta perspectiva, as várias lâmpadas disponíveis no mercado podem apresentar parâmetros luminotécnicos diferenciados (10).

As lâmpadas fluorescentes e as lâmpadas LED são as alternativas mais promissoras para elevar a eficiência energética dos sistemas de iluminação. De fato, estas alternativas são energeticamente eficientes. Além disso, essas lâmpadas são apropriadas para uso em residências e edificações em geral. Contudo, todo sistema de iluminação independentemente do tipo, está sujeito à depreciação no nível de iluminância. Essa depreciação é decorrente do tempo de uso e do acúmulo de poeira sobre as luminárias, os quais reduzem o fluxo luminoso (11).

Nesse contexto, a iluminância representa outro parâmetro importante para a eficiência energética dos sistemas de iluminação. Definida pela densidade de luz necessária para a realização de uma tarefa visual, a iluminância apresenta valores padronizados de luz de acordo com o tipo de atividade desenvolvida nos projetos de iluminação. A norma NBR ISO 8995-1 que trata da iluminação de interiores contém todos os valores relativos à iluminância tabelados por atividade, garantindo assim a qualidade e eficiência dos projetos de iluminação (12).

As cores transmitidas pela iluminação artificial também fazem referência à eficiência dos sistemas. Como conhecido, a luz artificial deve possibilitar a correta percepção das cores pelo olho humano. Neste caso, o índice de reprodução de cores (IRC) é a medida que certifica a correspondência entre a cor real de um objeto e a sua aparência diante de uma determinada fonte de luz. Consiste em uma escala que varia entre 0 e 100, onde 100 representa a iluminação de uma fonte referência, como por exemplo, a luz natural. Assim, lâmpadas que possuem índice IRC 100%, apresentam cores com total fidelidade e precisão da iluminação natural, sendo, portanto, melhores para adoção em projetos luminotécnicos (2).

As lâmpadas, assim como outras fontes de luz, podem emitir uma iluminação de aparência quente ou fria. Essa característica é denominada temperatura de cor, a qual determina que as cores quentes possuem uma aparência avermelhada ou amarelada para lâmpadas com temperatura abaixo de 3300 K, ao passo que as cores frias são de tonalidade azulada ou branca para lâmpadas com temperaturas acima de 5300 K. Estas temperaturas são muito significativas para a produtividade e o conforto do ambiente (13).

O tempo de duração de uma lâmpada também é um parâmetro muito significativo para a eficiência energética dos sistemas de iluminação. Essa durabilidade pode ser classificada por três maneiras diferentes: vida útil, vida média e vida mediana. A vida útil é o termo mais utilizado pelos fabricantes e é definida pelo número de horas em que a lâmpada operou até que 70% de sua luminosidade tenha decaído. A vida mediana representa o tempo de funcionamento de uma certa quantidade de lâmpadas até que 50% delas permaneçam acesas. A vida média, por sua vez, consiste na média aritmética do tempo de duração de cada lâmpada (14).

A maioria dos projetos de iluminação no Brasil estão inadequados e energeticamente ineficientes. Apesar disso, o país se encontra em dia com a pauta de eficiência energética internacional no setor de iluminação. De fato, o Brasil apresenta regulamentações específicas para coibir o uso de produtos e equipamentos de iluminação ineficiente, tais como lâmpadas incandescentes, além de controlar a qualidade dos equipamentos disponíveis no mercado como as lâmpadas fluorescentes e LED (15).

Portanto, o conhecimento dos aspectos referentes à iluminação pode auxiliar na melhoria dos pontos críticos das instalações. Além disto, o uso consciente aliado a adoção de equipamentos que garantam um melhor custo benefício contribuem para o aumento da qualidade dos sistemas luminosos.

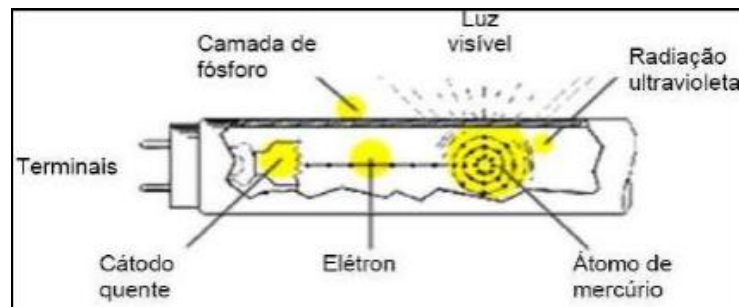
4 CARACTERÍSTICAS DAS LÂMPADAS FLUORESCENTES

As lâmpadas fluorescentes surgiram como alternativa às incandescentes, em resposta à crise energética e necessidade da redução do consumo de eletricidade. Contudo, a adoção das luminárias fluorescentes ocorreu de forma gradativa através de metas de racionalização (16). De maneira geral, as lâmpadas fluorescentes são caracterizadas pelo aproveitamento da luminescência e fotoluminescência. Nesse sentido, as lâmpadas fluorescentes são capazes de aproveitar estímulos da radiação ultravioleta (UV) para a emissão de luz (2).

A estrutura das lâmpadas fluorescentes é constituída por um bulbo tubular longo recoberto internamente com um pó fluorescente ou fósforo que determinam a quantidade e a cor da luz emitida (Figura 1). Geralmente, as lâmpadas fluorescentes apresentam a cor branco azulado. Cada extremidade do bulbo apresenta um

filamento preenchido por um vapor de mercúrio com uma pequena quantidade de gás inerte, o qual é responsável por fornecer uma descarga. Por esta razão, as lâmpadas fluorescentes são consideradas lâmpadas de descarga de baixa pressão. Neste sentido, o princípio de funcionamento desta lâmpada se baseia na ativação do pó fluorescente pela radiação ultravioleta da descarga (2).

Figura 1- Estrutura de uma lâmpada fluorescente.



Fonte: (10).

As lâmpadas fluorescentes podem ser divididas em duas categorias distintas: fluorescentes compactas e fluorescentes tubulares. Em referência ao nome, as fluorescentes compactas possuem um design leve, moderno e compacto, sendo mais indicadas para a substituição das lâmpadas incandescentes, pois apresentam consumo menor e durabilidade maior. Além disso, essas lâmpadas são mais vantajosas do que as incandescentes, pois aquecem menos o ambiente e possuem um bom índice de reprodução de cores (85%), tornando adequada para o uso em ambientes que demandam valorização do espaço (2).

As lâmpadas fluorescentes tubulares são mais econômicas em relação às compactas graças à maior durabilidade e eficiência das mesmas. Por essa razão, as lâmpadas fluorescentes tubulares têm sido aplicadas em vários segmentos comerciais e industriais. Outra vantagem associada a esse tipo de lâmpada é a variação dos índices de cores adequados para cada tipo de aplicação. Contudo, o maior progresso das lâmpadas fluorescentes até agora é a redução do diâmetro, visto que sua redução foi capaz de melhorar a eficiência das luminárias. De fato, quanto menor é o diâmetro das lâmpadas, melhor é a possibilidade de desenvolvimento ótico dos refletores (11).

Atualmente, as lâmpadas fluorescentes são produzidas em diferentes diâmetros e comprimentos do bulbo. As versões mais tradicionais são produzidas

em T12 (T:Tubular; n°:Especificação) e T10, as quais apresentam 38mm e 33mm respectivamente. As versões mais modernistas estão sendo comercializadas em T8 e T5 com 28mm e 16mm respectivamente. A estrutura dessas lâmpadas permite que as mesmas sejam alojadas em luminárias que possibilitam um melhor redirecionamento do fluxo luminoso. Nesse sentido, o desempenho da lâmpada fluorescente está diretamente relacionado com a estrutura de suas luminárias (17).

As lâmpadas fluorescentes compactas podem ser classificadas em dois grupos: integradas ou não integradas. Nas do tipo integradas, o reator é integrado ao corpo da lâmpada, constituindo uma única unidade. Essas lâmpadas possuem base/soquete E27 similar à lâmpada incandescente, o que facilita o processo de substituição pela instalação imediata. Diferentemente, nas lâmpadas do tipo não integradas o reator não se encontra integrado, tornando necessária a instalação do mesmo na luminária. Esse tipo de lâmpada é mais convencional, apresentando base/soquete de 2 ou 4 pinos (11).

A temperatura de cor destas lâmpadas varia entre 2.700K a 7.500K, sendo maior do que a das lâmpadas incandescentes. Da mesma forma, a vida útil das lâmpadas fluorescentes é superior às incandescentes, podendo alcançar 15.000 horas de duração e economia de 80% de energia elétrica. Além da eficiência luminosa superior, contribuem para a manutenção da temperatura do ambiente, visto que não produzem calor excessivo (2, 6). Essas características associadas a um preço acessível fizeram com que as lâmpadas fluorescentes dominassem o mercado de iluminação, substituindo as incandescentes.

Entretanto, a grande desvantagem destas lâmpadas é a presença de metais pesados como o mercúrio em seu interior. Este elemento faz com que esse sistema de iluminação represente uma grande ameaça aos ecossistemas, visto que pode causar graves prejuízos ambientais quando não descartado corretamente (7). De fato, quando descartada de modo inadequado, as lâmpadas fluorescentes podem contaminar rios e percursos de água em até 20 mil litros (6).

Outro ponto negativo dessas luminárias é que durante seu processo de produção há um gasto excessivo de energia. Além disso, as lâmpadas fluorescentes podem emitir radiação eletromagnética, a qual é prejudicial à saúde humana. A intensidade luminosa dessas lâmpadas também diminui conforme o tempo de uso, assim, quanto menor a vida útil, menor será a intensidade de luz (17).

A ideia de que as lâmpadas fluorescentes poderiam comprometer a saúde dos usuários surgiu em 1980 quando se constatou que esse tipo de fonte de luz pode emitir uma pequena quantidade de radiação ultravioleta. Um dos efeitos indesejáveis associados à exposição a esse tipo de radiação em altos níveis é o surgimento de melanomas (10).

Contudo, as emissões da radiação ultravioleta pelas lâmpadas fluorescentes é extremamente pequena devido ao fato que a reação do fósforo e o invólucro de vidro da lâmpada promovem uma atenuação dessa emissão. Além do mais, as lâmpadas fluorescentes utilizadas atualmente nos sistemas de iluminação contêm um difusor e controlador que refletem ou absorvem qualquer radiação ultravioleta emitida durante o funcionamento da lâmpada (10).

Outra desvantagem associada às lâmpadas fluorescentes diz respeito à configuração das mesmas. A vida útil dessas lâmpadas é fortemente influenciada pelo número de acionamentos. Desta maneira, quanto mais a lâmpada for ligada e desligada, menor será a sua durabilidade. Logo, existe um limite operacional do sistema que compõe as lâmpadas fluorescentes, onde se ultrapassado, este se deteriora com o tempo e as repetições (18).

5 TECNOLOGIA LED

O sistema LED (diodo emissor de luz) vem sendo utilizado por mais de meio século nos mais diversos tipos de dispositivos eletrônicos, como relógios digitais, semáforos, controles remotos, displays de televisores, lâmpadas e muitos outros aparelhos. Nos últimos anos, essa tecnologia evoluiu significativamente ao ponto de ter suas características luminosas aumentadas para ampla aplicação. Basicamente, o sistema que compõe os LEDs consiste de pequenos diodos emissores de luz que se ajustam facilmente a um circuito elétrico (5, 7).

A história dos LEDs deu-se início em 1907 quando Henry Joseph Rond descobriu que a matéria inorgânica seria capaz de gerar luminosidade quando percorridos por uma corrente elétrica. Essa descoberta foi minuciosamente analisada pelo físico Oleg Lossew, que definiu o fenômeno observado como eletroluminescência, a qual representa a base dos sistemas LED. Contudo, foi apenas em 1962 que a primeira lâmpada com a tecnologia LED foi desenvolvida

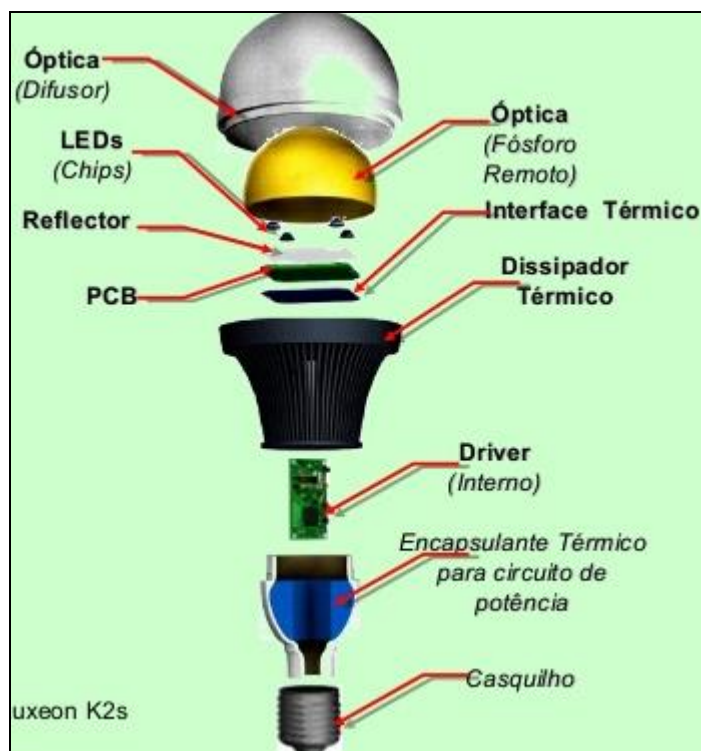
pelo engenheiro elétrico Nick Holoniak Jr. Nessa época, as lâmpadas de LED possuíam exclusivamente a cor vermelha, mas em tempo foram disponibilizadas no mercado com várias cores, apresentando melhorias significativas na produção e eficiência (18).

A década de 1990 apresentou um marco para o desenvolvimento das lâmpadas a base da tecnologia LED, uma vez que foram criados os diodos emissores de luz no espectro azul e verde, permitindo as condições necessárias para a emissão de luz branca com alto rendimento. Nesse sentido, o primeiro LED com luz branca foi desenvolvido pela fusão das três cores básicas (vermelho, verde e azul), além da conversão de luminescência em 1995. A partir do ano 2000, a produção dos LEDs com chips de alta potência possibilitou a operação dos mesmos em altas correntes. Essa invenção proporcionou aos LEDs uma evolução significativa ao ponto de torná-los essenciais aos atuais sistemas de iluminação (18).

Os diodos que formam o sistema LED são semicondutores que fornecem iluminação pelo movimento de elétrons neste material. Esse fenômeno de conversão de corrente elétrica em luz é denominado eletroluminescência. Neste sentido, a natureza dos semicondutores é extremamente importante, pois além de interferir na capacidade luminosa, ainda é responsável pela definição das cores dos LEDs. A maioria dos semicondutores utilizados nesta tecnologia são compostos por silício e germânio (5, 7).

As lâmpadas LED são formadas por um bulbo que concentra os diodos e um driver, o qual consiste de um circuito que permite a ligação do sistema LED à rede elétrica. Por outro lado, são desprovidos de eletrodos, filamentos e tubos de descarga (6). Diferentemente das lâmpadas incandescentes que abrangem todo espectro de cores, as lâmpadas LED são monocromáticas. A Figura 2, esquematiza a estrutura das lâmpadas providas por esta tecnologia.

Figura 2- Estrutura de uma lâmpada de LED.



Fonte: (20).

As lâmpadas LED podem ser divididas em: LEDs indicativos, LEDs de alto brilho e LEDs de potência. Os LEDs indicativos são utilizados em aparelhos eletrônicos sinalizando se o aparelho está ligado ou desligado. Os LEDs de alto brilho são mais eficientes do que os LEDs indicadores, sendo apropriados para uso em sinalização semafórica e letreiros. Os LEDs de potência possuem um alto brilho além de trabalharem em potências superiores a 1W. Geralmente esses tipos de LED são empregados em iluminação de interiores e decoração, uma vez que possuem fluxo luminoso elevado (18).

A principal característica das lâmpadas LED é a elevada vida útil associada ao tamanho compacto, o qual tem atraído a atenção de arquitetos e decoradores. O tamanho reduzido das lâmpadas LED contribui para a estética dos ambientes, proporcionando conforto, qualidade e eficiência. Além do mais, as lâmpadas LED emitem uma luz mais direcionada, assim o aproveitamento dessa é muito mais otimizado, especialmente em ambientes que necessitam de uma melhor iluminação com óticas específicas (5).

A durabilidade do LED se equipara à de um semicondutor, podendo atingir 50.000 horas, ou seja, mais de 20 anos. Outra vantagem relacionada a essa

tecnologia é a ausência de componentes químicos que degradam o ambiente, tais como os metais pesados que estão presentes na composição das lâmpadas fluorescentes. Outro benefício relacionado aos LEDs é que esses não sofrem interferência em sua vida útil pelo ato de ligar e desligar. Por outro lado, as lâmpadas fluorescentes, assim como outras lâmpadas de descarga, têm sua vida útil reduzida pelo acionamento dos interruptores (19).

As lâmpadas LED são mais eficientes em função do gasto energético reduzido. Alguns estudos têm apontado que essa eficiência pode ser comparada com a da lâmpada fluorescente compacta. Além disso, essa tecnologia oferece a possibilidade de iluminação de ambientes amplos sem perder a qualidade. Elas são capazes de fornecer um alto brilho com baixa potência, esse aspecto contribui para a elevação dos indicadores de qualidade de iluminação, os quais são medidos pela temperatura de cor e índice de reprodução de cores. Este fato é muito importante, além de aumentar a qualidade do produto, ainda pode explicar o consumo reduzido de energia por essas luminárias (9).

Outras vantagens relacionadas ao uso das lâmpadas LED são a versatilidade do sistema, a qual permite o ajuste eletrônico de vários componentes do sistema tais como intensidade, brilho e cor da luz. Maior segurança, pela capacidade de oferecer melhor visibilidade nos ambientes e redução da poluição visual. Resposta rápida no acionamento dos comandos liga e desliga. Além disso, os sistemas com iluminação LED maximizam a produtividade, pois permitem a seleção do nível adequado para as atividades a serem desenvolvidas, reduzindo assim o estresse visual e a fadiga (20).

Neste contexto, pode-se destacar inúmeros benefícios da adoção da tecnologia LED. Contudo, a garantia de sustentabilidade oportunizada por esse sistema tem sido o principal atrativo para o mercado. De fato, as luminárias compostas por LEDs não emitem raios infravermelhos (IR) e ultravioletas (UV) que provocam grandes impactos ambientais. Além disto, o descarte destas lâmpadas se torna mais simples e fácil devido à ausência de elementos tóxicos (7).

Por outro lado, o custo elevado na aquisição dessa tecnologia representa o maior impasse para sua implementação. Outra desvantagem relacionada à lâmpada LED é a dependência de componentes importados e mão de obra especializada durante o processo de produção. Além disso, o retorno financeiro devido ao alto investimento é um pouco prolongado (19).

Por fim, a iluminação LED tem se apresentado como um sistema promissor em todos os setores de atuação. De fato, existe uma forte tendência de crescimento do mercado de iluminação LED até 2030. Diante disso, devem-se incentivar estudos de viabilidade econômica a fim de comprovar a eficiência energética destes sistemas (21).

6 MERCADO DA ILUMINAÇÃO

O mercado global de iluminação tem crescido exponencialmente ano a ano em torno de 5%. Algumas projeções de mercado futuro da iluminação apontam que este acréscimo gradual persistirá até 2020 quando atingirá US\$ 104 bilhões de faturamento. No Brasil, o setor de iluminação vem se desenvolvendo significativamente há pouco menos de 20 anos em resposta às intensas transformações impulsionadas pela evolução tecnológica dos sistemas e às tendências de consumo (20).

Em 2005, a lâmpada incandescente predominava o mercado da iluminação, porém em 2017 parou de ser comercializada. Aos poucos, a lâmpada fluorescente foi ganhando espaço até alcançar 50% das vendas. Recentemente, a tecnologia LED ocupou o centro das atenções do mercado da iluminação em função de seus inúmeros benefícios (6).

Em 2011, a venda de lâmpadas com a tecnologia LED alcançou 4 milhões de unidades. Três anos depois, o número de luminárias LED vendidas saltou para 25 milhões. Em 2015, o consumo das lâmpadas LEDs cresceu 200%, chegando a 81 milhões de unidades vendidas. A razão para o aumento do mercado de lâmpadas LED pode ser evidenciada pela variedade de marcas disponíveis, o que gera um incremento de oferta e assim, redução dos preços a cada ano (22).

O setor de iluminação no Brasil é muito competitivo, sendo dominado por empresas de médio e pequeno porte. Atualmente, existem 20 empresas que fabricam produtos com a tecnologia LED voltados para os segmentos residencial, comercial e industrial. Dentre estes produtos, 61% são luminárias, 28% lâmpadas e 11% reatores. A maior parte dessas companhias estão concentradas no estado de São Paulo. O aumento da popularidade da tecnologia no país fez com que a

produção de lâmpadas dobrasse em 2016, contudo ao contrário do que aconteceu em 2015, houve uma queda nas vendas de lâmpadas LED (22).

As lâmpadas LED estão cada vez mais acessíveis ao consumidor, prova que as vendas dessa tecnologia crescem 20% a cada ano. De fato, existe uma forte tendência na redução dos custos dos LEDs até 2030. Essa redução pode ser explicada pela melhoria das condições de produção e da otimização da tecnologia, bem como pela diminuição dos custos no processo de montagem das lâmpadas (20).

Além disso, algumas estimativas apontam que o mercado das lâmpadas LED representará 74% das vendas de equipamentos para iluminação até 2023. A causa de todo esse potencial de crescimento, se resume no aumento da demanda pelas lâmpadas energeticamente mais eficientes em decorrência do fim da comercialização das lâmpadas incandescentes. Aliado a isso, a crise econômica a qual o país vem enfrentando encareceu a energia elétrica. Conseqüentemente, os reajustes neste setor fizeram com que os consumidores procurassem alternativas mais baratas e duradouras (6).

Por outro lado, existe uma grande dependência de produtos importados voltados para a iluminação, como é o caso do LED. Em consequência disso, há uma grande dificuldade do consumidor em substituir as lâmpadas. Apesar disso, a penetrância da tecnologia LED em todos os segmentos do mercado deve ser cada vez maior até 2030, especialmente na iluminação pública e no comércio, os quais demandam mais horas de luz artificial. Nesta perspectiva, destaca-se a importância de estudos de viabilidade econômica das novas tecnologias disponíveis no mercado para oferecer ao consumidor fontes de informação para a obtenção de um melhor custo benefício em suas instalações elétricas (20).

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Caracterização do ambiente de estudo

A Faculdade de Patos de Minas (FPM) é uma instituição de ensino superior, fundada em 2005 pela Associação Educacional de Patos de Minas. Seu campus está situado na região do Alto Paranaíba, mais especificamente na cidade de Patos

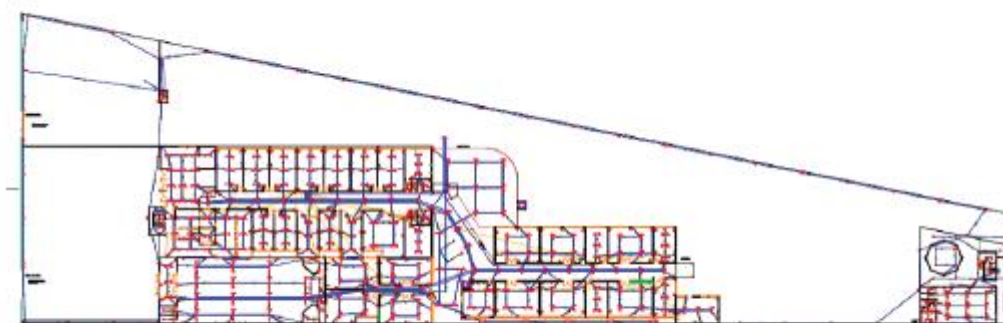
de Minas, em Minas Gerais. Atualmente, a faculdade conta com três unidades acadêmicas e uma policlínica. Assim, a instituição está presente em toda a cidade ofertando aproximadamente 50 cursos entre as modalidades de graduação e pós-graduação.

O objetivo da faculdade é formar profissionais e especialistas qualificadas nas mais distintas áreas do conhecimento de nível superior, estando aptos para o exercício profissional e do desenvolvimento da sociedade. Além disso, a faculdade se dispõe a promover o ensino, pesquisa e extensão, assim como na divulgação científica e cultural. Dada sua função social e econômica, a faculdade de Patos de Minas quer se destacar por sua ação sustentável. Para tanto, necessita passar por um processo de modernização, visando economia de energia, menor manutenção, melhor qualidade e redução do descarte de materiais danosos ao meio ambiente. Nessa perspectiva, o setor de iluminação precisa passar por uma avaliação para atender a tendência mundial de uso mais eficiente dos recursos.

Nesse contexto, o primeiro andar da unidade JK da FPM foi escolhido como o ambiente de estudo deste trabalho devido ao fato que as principais atividades acadêmicas, as quais demandam um nível mais alto de iluminação, são desenvolvidas neste pavimento. O imóvel está instalado em uma área comercial, com ruas pavimentadas e arborizadas. Atualmente é constituído por hall de entrada, salas de aula, sala da administração, laboratórios, circulação, escadas, banheiros e auditório tendo uma área total de 4.638,58 m² e pé direito de aproximadamente 3,00m o qual está representado na Planta Baixa (Figura 3).

O ambiente possui paredes brancas, algumas estruturadas em vidro, teto de estrutura metálica com telha de zinco, janelas envidraçadas com exposição ao sol em boa parte do dia e chão com piso de cimento fosco. O ambiente possui 850,11 m² de área verde permeável, contudo, a vegetação próxima às janelas não atrapalha a iluminação natural. O abastecimento energético da região onde está situada a unidade analisada é de responsabilidade da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), a qual fornece energia em padrão trifásico, sob tensão de 220 volts.

Figura 3- Planta baixa do primeiro piso da unidade JK da FPM.



Fonte: Próprio autor. (2017)

Dependendo da atividade desenvolvida no ambiente, torna-se necessário assegurar boas condições de iluminação, considerando os níveis adequados e confortáveis, de modo a proporcionar um bom desempenho visual ao usuário. Em se tratando de instituições de ensino como a FPM, essas atividades estão relacionadas principalmente aos trabalhos de leitura e escrita, e considerando que grande parte destas atividades se concentram em período noturno, o planejamento dos sistemas de iluminação deve ser priorizado para o bem-estar dos usuários. Geralmente, para os processos de leitura e escrita adota-se a iluminação difusa e abundante por cima dos ombros ou pela lateral (25).

Nesta perspectiva, o tipo de iluminação mais adequado para a área estudada é a denominada iluminação de tarefa. Esse tipo de iluminação representa uma boa alternativa para melhorar a eficiência luminosa, uma vez que prioriza a quantidade de luz sobre uma área específica do ambiente (iluminância), sem a necessidade de iluminar de modo uniforme todo o espaço, especialmente em áreas amplas como o primeiro piso da FPM. Além disso, a iluminação de tarefa proporciona o conforto visual bem como a economia de energia. Contudo, esse tipo de iluminação requer muito cuidado durante a colocação e posicionamento das luminárias para que não sejam produzidas sombras tampouco atrapalhe a realização das tarefas (26).

O atual sistema de iluminação da unidade estudada da FPM é composto por um total de 858 lâmpadas distribuídas em luminárias com capacidade para abrigar

quatro lâmpadas cada. Estas luminárias encontram-se com uma quantidade razoável de poeira acumulada, o que influencia o fluxo luminoso do conjunto. A distribuição dessas lâmpadas conforme descrito anteriormente, pode ser evidenciada principalmente em salas de aulas, laboratórios e corredores permanecendo acesas por um período de 6 horas.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) padroniza as normas técnicas de iluminação no Brasil. Conforme estabelecido pela norma NBR ISO 8995-1, a iluminação das salas de leitura e laboratórios deve ser em média 500 lux. Foi constatado que a eficiência luminosa do atual sistema de iluminação atende a instrução normativa prevista. Este fato é muito importante, pois a iluminação afeta o desempenho de alunos e professores nas salas de aula, visto que ambientes pouco iluminados causam sensação de cansaço e desmotivação. Portanto, a melhoria das instalações depende da qualidade das lâmpadas adotadas na faculdade.

7.2 Análise da Viabilidade Econômica dos Sistemas LED e Fluorescente

O objetivo central desta pesquisa consistiu em analisar e discutir a viabilidade econômica de dois tipos de sistemas de iluminação, a tecnologia LED e fluorescente, por meio da comparação. No caso, a lâmpada utilizada na área observada da FPM é a fluorescente tubular, embora exista uma forte tendência a adotar a tecnologia LED em função dos benefícios oferecidos, além de ser considerada uma tecnologia inovadora nos sistemas de iluminação. As lâmpadas fluorescentes são do tipo T10 de 40 w, as quais possuem um fluxo luminoso médio de 2700 lúmens (lm), mais considerando o fator de fluxo luminoso do reator de 0.9, o fluxo luminoso real emitido pela lâmpada é em média 2430 lúmens (lm) e obtém um aspecto luz do dia na cor branca. A durabilidade da lâmpada atinge um total de 8.000 horas de uso.

As lâmpadas fluorescentes tubulares são amplamente usadas em diversos segmentos como o residencial, industrial e comercial. Em residências, o uso dessas lâmpadas é bastante comum nas cozinhas e em cômodos destinados a atividades de leitura e trabalho. No que diz respeito às instalações comerciais e industriais, esse sistema é adotado principalmente por escritórios, consultórios, academias,

escolas e hospitais. Apesar do modelo T10 presente no ambiente de estudo ser considerado mais antigo, sua utilização atende as necessidades de iluminação do primeiro piso da unidade, visto que possui uma ótima distribuição de luz no local que demanda muitas horas de iluminação artificial.

Foi identificado que a utilização dessas lâmpadas não é padronizada. De fato, algumas luminárias possuem lâmpadas com potências diferenciadas, variando entre 26, 40 e 110 W. Dessa forma, das 858 lâmpadas pertencentes ao projeto, 788 possuem 40 W de potência, enquanto que outras 42 apresentam somente de 26 W e as 28 restantes são registradas com 110 W de potência. Logo, cerca de 92% das lâmpadas apresentam 40 W de potência, enquanto apenas 5% possuem 26 W e 3% restantes correspondem a maior potência de 110 W. A principal consequência dessa discrepância entre as lâmpadas é a geração de diferentes taxas de consumo de energia. Contudo, vale ressaltar que todas elas são voltadas para a tensão nominal de 127 V.

Considerando o cenário evidenciado, foi possível delinear a substituição do sistema atual para a lâmpada de LED tubular modelo T8, que de acordo com o fabricante, possuem um fluxo luminoso médio de 1560 lúmens e potência de 18 W. O aspecto oferecido pela lâmpada é a cor branco claro e límpido. O modelo tubular foi escolhido considerando a equivalência e no fato de ser ideal para a substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares de modelo T8 e T10. Além disso, a lâmpada LED tubular é capaz de proporcionar uma luminosidade intensa e homogênea, produzindo ainda mais resplandecência com economia de carga.

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise comparativa das características gerais entre as duas tecnologias de iluminação. Comparando-se as duas propostas de iluminação para o primeiro piso da FPM, pode-se inferir que qualitativamente, as duas lâmpadas possuem características bem diferentes. À primeira vista, a utilização das lâmpadas LED apresenta um melhor custo benefício devido à durabilidade dos seus componentes. De fato, a vida útil desse equipamento é 5 vezes mais prolongada do que das lâmpadas fluorescentes que compõem o sistema atual de iluminação, o que reduziria consideravelmente os custos de manutenção. Além do mais, as lâmpadas LED tubulares são capazes de fornecer a iluminação necessária com uma potência menor, o que gera vantagens sobre as lâmpadas fluorescentes.

Tabela 1- Análise comparativa das características dos sistemas LED x Fluorescente.

<i>Parâmetros</i>	<i>Fluorescente</i>	<i>Tecnologia LED</i>
Potência (w)	40	18
Tensão (volts)	127	127
Modelo	T10	T8
Vida útil (h)	8.000	40.000
Fluxo Luminoso (lm)	2430	1560
Custo Unitário (R\$)	12,00	40,00
Fabricante	Golden	GE

Contudo, pode-se observar que a tecnologia LED demanda um maior investimento inicial, uma vez que o custo unitário de cada lâmpada é maior que o da fluorescente. Neste contexto, pode-se confirmar que o valor de investimento é a principal desvantagem para o uso das lâmpadas LED como substituta do atual sistema de iluminação da FPM. De fato, o preço da lâmpada LED foi aproximadamente 4 vezes maior que o da fluorescente. Contudo, considerando o consumo reduzido das lâmpadas providas com a tecnologia LED, o custo inicial gasto com a instalação poderá ser compensado após alguns anos de uso (27).

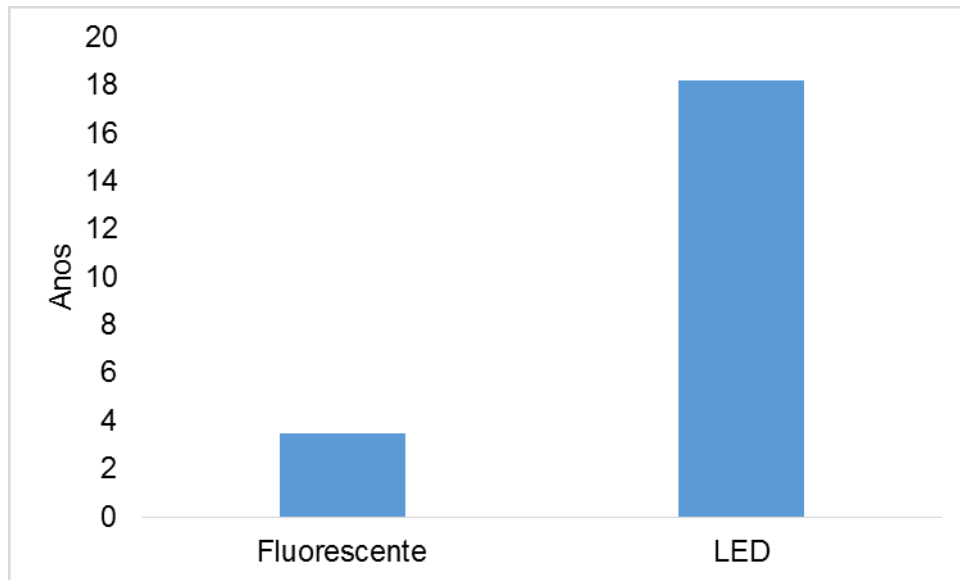
Entretanto, o tempo de retorno pode ser muito grande, entre 7 a 15 anos. A razão para esse longo prazo é devido à eficiência da lâmpada fluorescente e o custo inicial elevado da lâmpada LED. Porém, estabelecimentos comerciais e edificações em que a iluminação elétrica costuma funcionar por mais horas, como o ambiente de estudo em questão, o retorno do investimento inicial é mais rápido, o que viabiliza o processo de substituição (21).

Além disso, analisando o fluxo luminoso das duas lâmpadas investigadas, pode-se perceber que a lâmpada fluorescente apresenta um maior fluxo luminoso que o da tecnologia LED. Porém a eficiência luminosa é dada em lumens por watts, então se pode verificar que a lâmpada LED é mais eficiente. A substituição das lâmpadas fluorescentes pela tecnologia LED ainda pode ser vantajosa se forem considerados todos os impactos ambientais e a vida útil do produto (13).

Os resultados referentes à vida útil em anos dos dois sistemas de iluminação consideraram que a iluminação artificial no ambiente de estudo permaneceria 6 horas diárias em funcionamento durante 12 meses. Com isso, o estudo revelou que teoricamente, cada lâmpada fluorescente do primeiro piso da FPM tem duração de 3,5 anos. Se fosse aprovada a substituição pela tecnologia LED, a durabilidade de

cada lâmpada passaria a ser de 18 anos e 2 meses, gerando menos gastos com reposição (Figura 4). Contudo, vale considerar que alguns fatores ambientais e luminotécnicos como falhas, podem interferir nesses resultados da durabilidade de algumas lâmpadas, impactando no menor tempo de vida útil.

Figura 4- Vida útil (anos) das lâmpadas fluorescentes e LED.



Fonte: próprio autor (2017).

Essa análise das características das lâmpadas possibilitou perceber que as 858 lâmpadas fluorescentes presentes no atual sistema poderiam ser substituídas por 969 lâmpadas da tecnologia LED tubular. Este fato pode ser explicado pelas próprias características das lâmpadas, visto que as fluorescentes emitem um fluxo luminoso maior do que as lâmpadas de LED. Por esse motivo, o número de lâmpadas e luminárias com essa tecnologia no ambiente de estudo é menor que se fosse substituído pelas lâmpadas LED (27).

Essa característica implica a necessidade de instalação de mais pontos de luz no processo de substituição para a tecnologia LED para que se alcance o mesmo fluxo luminoso. Esse fato representa um dos principais fatores que dificultam a substituição dos sistemas fluorescentes para LED. Desta forma, se a substituição fosse aprovada, seriam necessárias 111 lâmpadas LED a mais que a fluorescente, gerando um custo de instalação de R\$ 38.760,00. Assim, seria aproximadamente 18 mil reais mais caro instalar lâmpadas de LED do que lâmpadas fluorescentes.

O aumento do número de luminárias pode ser explicado pelas características luminosas das lâmpadas LED bem como do ambiente de estudo. A área da unidade JK permite que se atinja uma melhor distribuição da iluminação artificial com uma potência maior, o que influencia no consumo e qualidade luminotécnica do projeto. Nesse sentido, nota-se que os níveis de iluminância são mais vantajosos quando utilizado a lâmpada fluorescente para iluminar o ambiente de estudo. De fato, é necessário um número menor de lâmpadas fluorescentes do que lâmpadas LED para que sejam atendidos os padrões de iluminação requeridos pela faculdade.

Apesar do número reduzido de lâmpadas fluorescentes, a grande desvantagem que acarreta nos custos desse sistema é a necessidade do uso de reatores. Atualmente, a faculdade dispõe de cerca de 429 reatores que abrigam as lâmpadas fluorescentes. Contabilizando o custo de cada um, que é de aproximadamente R\$25,00, o gasto voltado para a instalação e manutenção dessas lâmpadas seria bem significativo, alcançando em torno de R\$10.725,00. As lâmpadas LED, por serem mais modernas, dispensam o uso desse acessório, o que representa um benefício sobre o uso das lâmpadas fluorescentes.

No que diz respeito à eficiência energética relacionado ao consumo das lâmpadas testadas, comprovou-se que a tecnologia LED proporcionaria um menor consumo de energia mensal, cerca de 3.139,56 kWh, do que as lâmpadas fluorescentes (6.177,60 kWh), mais os reatores (1.853,28 kWh). Logo, a diferença do consumo mensal de energia é de 4.891,32 kWh. O consumo inferior das lâmpadas tubulares de LED é devido à baixa potência nominal em relação às lâmpadas fluorescentes. Este fato pode ser explicado pela capacidade que a tecnologia LED tem de emitir um fluxo luminoso significativo (1560 lm) com baixa potência (18 w), pouco mais da metade do fluxo luminoso das lâmpadas fluorescentes tubulares.

Estes resultados corroboram com Castro (26), que encontrou em seu estudo de eficiência energética um consumo de energia de 206,4 kWh mensais pelas lâmpadas fluorescentes contra 95,40 kWh consumidos mensalmente pelas lâmpadas LED. Similarmente, Santos et al (28) comprovou em seu estudo que a tecnologia LED utiliza apenas 28,36% de energia em comparação à uma lâmpada fluorescente, o que resulta em uma economia de aproximadamente 72%.

Além do consumo de energia, o custo das luminárias também é influenciado pela manutenção do sistema. Como as lâmpadas investigadas possuem tempo de

vida útil significativamente diferenciado, conseqüentemente existem diferentes números de substituições para cada sistema. De acordo com as análises realizadas, as lâmpadas fluorescentes dispostas atualmente no primeiro piso demandam a troca anual de 235 lâmpadas, totalizando um custo de R\$2.820,00. Por outro lado, se fossem instaladas as lâmpadas LED, seriam gastos anualmente R\$ 2.120,00 com a manutenção de 53 lâmpadas.

Logo, a substituição das lâmpadas fluorescentes para a tecnologia LED proporcionaria uma economia de R\$700 por ano nos gastos com a manutenção do sistema de iluminação, caracterizando um ponto positivo para a substituição. Ademais, existem fortes evidências que apontam uma evolução da tecnologia LED em ordem de torná-la ainda mais eficiente energeticamente e acessível ao consumidor. Nesta perspectiva, pode-se esperar que em alguns anos a adoção desse sistema seja mais vantajosa, dado os incentivos governamentais e melhoria do custo benefício da tecnologia LED.

Alguns estudos explicam que a tecnologia LED proporciona economia por causa da durabilidade de suas lâmpadas, a qual dispensa de manutenção de suas luminárias. De fato, o uso da tecnologia LED aumenta o intervalo de manutenção devido à robustez das luminárias, reduzindo o número de atendimentos por ano. Além disso, a diferença de gastos entre as duas lâmpadas pode ser explicada pelo fato de que nas fluorescentes é maior devido a uma menor vida útil, o que gera mais trocas de lâmpadas queimadas (23).

O quadro 1 apresenta um resumo dos resultados referentes à análise de custo dos dois sistemas de iluminação. As lâmpadas fluorescentes mais os reatores produzem um custo de R\$4.244,32 mensais com energia elétrica, ao passo que as lâmpadas LED poderiam reduzir este gasto para R\$1.657,68 mensais. Analisando esses resultados, pode-se perceber que a substituição do sistema fluorescente para a lâmpada LED proporcionaria um decréscimo de 156% no valor da conta da lâmpada fluorescente por mês.

Foi constatado que o tempo de funcionamento da iluminação artificial durante um período de 12 meses é equivalente a 2.190 horas. Isto posto, foi possível determinar o gasto anual de cada lâmpada, sendo que o sistema atual composto pela lâmpada fluorescente foi de R\$53.751,84. Adotando a substituição com a tecnologia LED, o gasto anual de cada lâmpada seria de R\$22.012,16. Nesse

contexto, a economia anual oportunizada pela substituição seria aproximadamente R\$32 mil reais.

Analisando esses resultados, pode-se verificar que o custo anual do sistema LED é quase 2,5 vezes menor comparado com a lâmpada fluorescente. Portanto, verifica-se que a economia gerada pela substituição do sistema atual composto por lâmpadas fluorescentes tubulares pela tecnologia LED é de 144%. De modo similar, Kuczynski e Muncinelli (8), encontraram em seu estudo de viabilidade econômica das lâmpadas LED e fluorescente, uma economia de 24,97% oportunizado pela tecnologia LED frente ao sistema fluorescente.

Desta maneira, considerando os gastos com a instalação das lâmpadas, a economia providenciada pela conta de luz poderia pagar o investimento inicial da substituição em 8 meses de implantação do sistema LED. Nesse sentido, comparando-se os custos de implementação com o tempo de vida útil dos dois tipos de iluminação, pode-se concluir que o projeto é economicamente viável.

Quadro 1 – Análise comparativa dos custos dos sistemas LED e Fluorescente.

	Lâmpada Fluorescente	Lâmpada LED
Número de Lâmpadas	858	969
Investimento Inicial	R\$ 10.296,00 + R\$10.725,00	R\$ 38.760,00
Consumo de energia mensal	8.030,88 kWh	3.139,56 kWh
Lâmpadas substituídas/ano	235	53
Gasto anual de manutenção	R\$2.820,00	R\$ 2.120,00
Gasto com energia mensal	R\$4.244,32	R\$1.657,68
Custo anual	R\$53.751,84	R\$22.012,16

Neste contexto, considerando o conjunto de resultados obtidos ao longo desse estudo, pode-se constatar que ao iniciar um projeto luminotécnico deve-se considerar a realização de um planejamento preliminar para escolher o tipo de iluminação mais adequada LED ou fluorescente, o tipo de luminária, o local e as

atividades desenvolvidas, de modo a possibilitar a sua manutenção mais facilmente e gerar maiores ganhos econômicos (8).

Por fim, é importante enfatizar que a tecnologia LED tem evoluído significativamente ao longo dos últimos anos. Todo esse desenvolvimento emerge a tendência de tornar essa tecnologia cada vez mais acessível para o consumidor e mais competitiva financeiramente no mercado, viabilizando sua adoção nas instalações residenciais e edificações. A redução dos custos da lâmpada LED pode vir a ser uma boa estratégia para o governo no combate à crise energética, visando à economia de energia (21).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou um estudo de caso da viabilidade econômica dos sistemas LED e fluorescente a partir de dois projetos luminotécnicos com os dois tipos de lâmpadas. As análises realizadas permitiram obter dados contundentes para inferir sobre o custo benefício das duas tecnologias no ambiente investigado. Nessa perspectiva, pode-se confirmar a hipótese inicial que o sistema LED é mais vantajoso do que as lâmpadas fluorescentes.

Os resultados aqui apresentados permitiram concluir que a tecnologia de lâmpadas LED apresenta um grande potencial de redução de consumo de energia elétrica chegando ser mais eficiente que o sistema de iluminação atual composto pelas lâmpadas fluorescentes. Na análise econômica fica evidente o quão promissora é a tecnologia LED, sendo mais vantajosa nos quesitos de durabilidade, economia de energia e nos gastos com manutenção e consumo. O fator que dificulta o processo de substituição é o alto custo na aquisição desse sistema, porém com a popularização da tecnologia esse investimento inicial será reduzido gradativamente, como ocorre com quase todas as novas tecnologias que chegam ao mercado.

A lâmpada LED possui grandes benefícios que levam a concluir que esse sistema apresenta um custo benefício melhor do que a lâmpada fluorescente. Um dos principais motivos comprovados nesse estudo que justificam essa escolha é a eficiência energética superior aliado ao baixo consumo das lâmpadas LED. Entretanto, considerando o investimento inicial elevado da tecnologia LED, sugere-se que a substituição do sistema de iluminação seja realizada em etapas, mantendo-

se em alguns compartimentos da edificação algumas lâmpadas fluorescentes. Ainda sim, vale ressaltar que o custo inicial da instalação será compensado pela economia de energia bem como pelo baixo custo de manutenção do sistema.

Por fim, vale ressaltar que não adianta propor melhorias físicas na instalação com a escolha de equipamentos adequados e eficientes, se os usuários não adotarem um comportamento consciente a respeito da economia de energia. De fato, mesmo com a adoção de lâmpadas eficientes, a iluminação também tem consumo individual bastante significativo graças ao período de utilização diário e anual. Portanto, os resultados desse estudo só fazem sentido considerando que os usuários da instalação irão adotar bons hábitos de uso e se comportar adequadamente.

REFERÊNCIAS

1 MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

2 CONSERVAÇÃO de energia: eficiência energética de instalações e equipamentos. Itajubá: EE, 2001.

3 BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Portaria Interministerial n. 1.007, de 31 de dezembro de 2010**. Brasília: Consultoria Jurídica, 2010.

4 KALACHE, N. et al. Análise Comparativa de Sistemas de Iluminação - Viabilidade Econômica da Aplicação de LED. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33., 2013. Salvador. **Anais...** Salvador: ABEPRO, 2013. p.1-18.

5 MONTEIRO, R.V.A. **Lâmpadas Tubulares LED x Fluorescentes**: estudos de viabilidade, na perspectiva da qualidade da energia e eficiência elétrica. 2015. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) - Faculdade De Arquitetura, Engenharia E Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2015.

6 LIMA, V.A.A. **Estudo Comparativo entre Lâmpada com LED de Alta Potência e Lâmpadas Comuns, considerando a Viabilidade Econômica**. 2013. 75f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia Eletrotécnica) - Departamento Acadêmico De Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

7 MOTA, R.E.; SILVA, T.A.; GUEDE, J.R.A. Análise da Viabilidade de Iluminação à LED's em Residências. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 13., 2010. São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2010. p.1-6.

8 KUCZYNSK, D.A.; MUNCINELLI, G. Estudo de Comparação das Características de Desempenho Técnico e Financeiro da Tecnologia LED com as Fluorescentes e Incandescentes em Ambiente Residencial. **Ágora Revista de Divulgação Científica**, Santa Catarina, v. 19, n. 1, p. 149-173, jan./jun. 2014.

9 SOUZA, T.C.; FERRARI, L.C.B. Análise Econômica da Substituição de Lâmpadas Fluorescentes por Tecnologia LED em uma Empresa de Manutenção de Máquinas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32., 2012. Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: ABEPRO, 2012. p.1-9.

10 MARCON, M. **Estudo Da Viabilidade Econômica De Lâmpadas LED na Substituição de Lâmpadas Comerciais**. 2013. 51f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Centro De Engenharias E Ciências Exatas, Universidade Estadual Do Oeste Do Paraná. Foz do Iguaçu, 2013.

11 ELETROBRÁS. **Manual de iluminação**. Rio de Janeiro: Procel, 2011. 54 p.

12 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 8995-1: iluminação de ambientes de trabalho**. Rio de Janeiro, 2013.

13 PESSOA, J.L.N.; GHISI, E. **Nota técnica referente à eficiência luminosa de produtos LED encontrados no mercado brasileiro**. Florianópolis: Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações, 2013.

14 UTRILA, D.P.M.O.; FERREIRA, V.R. Sustentabilidade: Viabilidade Econômica na Utilização de Iluminação LED para o Consumidor. In: Semana de Estudos Contábeis e Administração. 2015. Paranavaí. **Anais...** Paranavaí: UNESPAR, 2015. p.1-10.

15 VARGAS, M.C.; MESTRIA, M. Eficiência Energética Em Edificações Residenciais: iluminação e refrigeração. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 35., 2015. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABEPRO, 2015. p.1-18.

16 OMINIA, A. **Estudo de Viabilidade da Substituição de Lâmpadas Fluorescentes por LED**. Disponível em: <<http://omniapcp.com.br/site/dicas/estudo-de-viabilidade-de-uso-de-lampadas-de-led/>>. Acesso em: 12 maio 2017.

17 MIQUELIN, J.Z. **Análise de Desempenho de Lâmpadas LEDs e LFCs como alternativas em iluminação residencial em função da implementação da portaria ministerial nº 1007 que limita o uso de lâmpadas incandescentes no Brasil**. 2011. 77f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Guaratinguetá, 2011.

18 DIAS, M.P. **Avaliação do emprego de um pré-regulador boost de baixa frequência no acionamento de LEDs de iluminação**. 2012. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2012.

19 ZANATTA, I.X. **Estudo da Viabilidade Econômica da Troca de Soluções Convencionais por Lâmpadas Leds**. Joinville: UDESC, 2012.

20 TEIXEIRA, I.; RIVERA, R.; REIFF, L.O. **Iluminação LED: sai Edison, entram Haitz e Moore – benefícios e oportunidades para o país**. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9576/1/BS%2043%20Ilumina%C3%A7%C3%A3o%20LED%20sai%20Edison%2C%20entram%20Haitz%20e%20Moore_P_BD.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2017.

21 BAPTISTA, T.F. **Impacto no Sistema de Energia pela Troca das Lâmpadas Tradicionais por Lâmpadas LED**. 2016. 129f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

22 QUEIROZ, R. **Uma questão real de eficiência energética: a iluminação residencial e pública** [internet]. Blog Infopetro. 2015 jun. 29. Disponível em: <<https://infopetro.wordpress.com/2015/06/29/uma-questao-real-de-eficiencia-energetica-a-iluminacao-residencial-e-publica/>> . Acesso 25 de jun. 2017

23 ASCURRA, R.E. **Eficiência Elétrica em Iluminação Pública utilizando Tecnologia LED: um estudo de caso**. 2013. 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2013.

24 SILVA, A. L. et al. Viabilidade da Transição Fluorescente para LED para o IFCE-Campus Cedro. In: XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 2015. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CNEG, 2015. p. 1-11.

25 SCHNEIDER, J.L. **Estudo de Viabilidade Econômica para Substituição do Sistema de Iluminação por Vapor Metálico para Lâmpadas de Indução ou Fluorescentes.** 2014. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Horizontina. Horizontina, 2014.

26 CASTRO, D.F. **Eficiência Energética Aplicada a Instalações Elétricas Residenciais.** 2015. 138f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

27 PADILHA, M.; JUNG, F.; RODRIGUES, E. Estudo Comparativo entre Lâmpadas Fluorescentes e LED Aplicado no IFC – Campus Luzerna. In: VIII Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar. 2015. Santa Rosa do Sul. **Anais...** Santa Rosa do Sul: Instituto Federal Catarinense, 2015. p.1-5.

28 SANTOS, T.S. et al. Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. **Eng. San. Ambiental**, v.20, n.4, 2015.