

ANÁLISE CRÍTICA DO FATOR DE POTÊNCIA EM LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS

João Vitor Neto Cardoso
Nathalia Netto De Souza¹
Nathan Grego Thielmann Dos Santos
Mateus De Oliveira Rabello²
Paulo Victor Lopes Pires³
Pedro Henrique Souza Coelli⁴
Silvane Priscila Adonay Martins⁵
Luiz Paulo Magri⁶

RESUMO

A proposta deste trabalho consiste em avaliar a fidelidade das informações técnicas fornecidas pelo fabricante (Kian) de lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) como também, o efeito de cargas reativas geradas pela LFC causando um fenômeno chamado de defasagem. Para tanto, foram avaliados os seguintes parâmetros: Tensão nominal, corrente de consumo, fator de potência, potência eficaz, temperatura do bulbo e eficiência luminosa. O projeto tem como objetivo secundário justificar a razão de uma LFC de baixa potência possuir um $\cos \phi$ da ordem de 0,50 enquanto uma LFC de alta potência ter um $\cos \phi$ de 0,92. Foram adquiridos no mercado local 7 LFC's de potências (11, 15, 20, 30, 32, 42, 85) watts, de um único fabricante. Foram escolhidas duas LFC's, sendo uma de 11 Watts com $\cos \phi$ de 0,50, e outra de 32 watts com $\cos \phi$ de 0,92. Ambas foram totalmente desmontadas para análise e levantamento de seus circuitos a fim de compreender o seu princípio de funcionamento, suas semelhanças e diferenças, buscando obter a causa das disparidades referentes ao $\cos \phi$. Baseados nos parâmetros adotados os dados foram coletados, tabelados e posteriormente convertidos em gráficos. Esta análise revelou uma grande fidelidade entre as informações fornecidas pelo fabricante e os resultados medidos em laboratório. Quanto ao fator de potência foi constatado que uma LFC de baixa potência possui um circuito eletrônico menos eficiente e de menor custo.

Palavras-chave: Lâmpadas fluorescentes compactas. Fator de potência. LFC.

¹ Graduanda em Engenharia Elétrica, voluntária, e-mail: nathaliansouza@hotmail.com

² Graduando em Engenharia Elétrica, voluntário, e-mail: mateusrabello5@gmail.com

³ Graduando em Engenharia Elétrica, voluntário, e-mail: paulovlpires@hotmail.com

⁴ Graduando em Engenharia Elétrica, voluntário, e-mail: pedrocoelli@hotmail.com

⁵ Graduanda em Engenharia Elétrica, voluntária, e-mail: priscilaadonay15@gmail.com

⁶ Mestrado Profissional, Professor do CES-JF, e-mail: itasung@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Em meio ao desenvolvimento urbano e crescimento populacional ocorre uma maior demanda de recursos, principalmente no setor energético. Por essa razão se faz necessário maior eficiência na distribuição de energia, e um dos problemas que refletem diretamente nessa questão se chama energia reativa. A energia reativa não produz trabalho, mas é necessária ao funcionamento de alguns equipamentos como lâmpadas fluorescentes, motores de geladeira, ar condicionado, computadores, transformadores, entre outros. (Consumo em Pauta, 2011).

A energia reativa produz o fluxo magnético nas bobinas dos equipamentos, para que os eixos dos motores possam girar. Já a energia ativa é aquela que executa de fato as tarefas, fazendo os motores girarem para realizar o trabalho do dia-a-dia. Apesar de necessária, a utilização de energia reativa deve ser a menor possível. O excesso de energia reativa exige condutor de maior secção e transformador de maior capacidade, além de provocar perdas por aquecimentos e queda de tensão. (COELBA, 2018).

À medida que aumenta o tráfego dessa energia no sistema elétrico, diminui-se a capacidade de distribuição da rede. Por essa razão existe a cobrança obrigatória de excedente reativo para consumidores do grupo A (Alta Tensão - Superior a 2,3 KV) e facultativa para os subgrupos B2, B3 e B4 do grupo B (Baixa Tensão - Inferior a 2,3 KV) e proibida ao subgrupo B1(residencial), de acordo com a Resolução Normativa nº. 414, de 9 de setembro de 2010 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2010).

Com o passar dos anos a resoluções que regulamentam o fornecimento de energia sofreram contínuas mudanças visando o aperfeiçoamento do serviço de distribuição.

Devido a essa questão, fabricantes de equipamentos eletroeletrônicos, buscam reduzir ao máximo a geração de energia reativa em seus produtos (como exemplo Lâmpadas Fluorescentes), evitando a defasagem entre tensão e corrente, quantificada pelo chamado Fator de Potência ($FP = \cos \phi$).

Ao contrário dos consumidores industriais e comerciais de grande porte (pertencentes ao Grupo A) que já desenvolveram estratégias para minimizar os efeitos do reativo em sua conta e em seus equipamentos, os consumidores residenciais (Grupo B) não estão aptos a identificar e tratar este problema, já que não são tarifados atualmente e não há uma campanha comercial que exponha essa informação ao consumidor.

Com base nesta realidade, esse estudo tem por finalidade primária validar as informações deste fabricante de LFC e posteriormente criar uma diretriz para que o consumidor possa escolher uma lâmpada mais eficiente e sustentável.

Sustentabilidade é um princípio de ações e atividades humanas que visam suprir as necessidades atuais dos seres humanos, sem comprometer a satisfação das necessidades de gerações futuras. (Sustentabilidade, 2018).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de comparar as informações fornecidas pelo fabricante de LFC, foram pesquisados dados de catálogo (Kian) e informações impressas no produto, com os dados medidos em laboratório.

Foi elaborada uma tabela com os seguintes itens:

- Valores lidos (Catálogo/lâmpada)
- Valores medidos:
 - Tensão RMS
 - Corrente

- Potência Ativa
- Potência Aparente
- Defasagem
- Temperatura do Bulbo
- Intensidade Luminosa (UFJF)

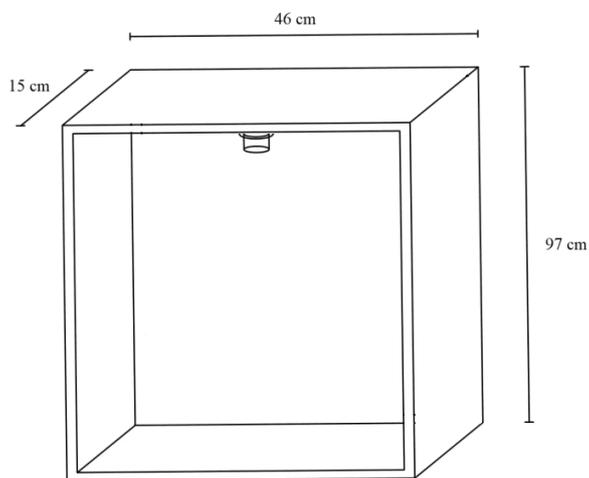
➤ Valores Calculados:

- Eficiência Luminosa
- Potência Reativa

Equipamentos utilizados para análise no laboratório:

- Estrutura de suporte fixo:

Figura 1 – Estrutura de suporte fixo



Fonte: Elaborado pelo
Autor

Figura 2 – Wattímetro Digital

- Wattímetro Digital

Modelo: POL-3



Fonte: (Politem, 2018)

Fabricante: Politerm

- Luxímetro Digital

Modelo: MLM-1011

Fabricante: Minipa

Figura 3 – Luxímetro Digital



Fonte: (Minipa, 2018)

- Termovisor FLIR

Modelo: TG165

Fabricante: Politerm

Figura 4 – Termovisor Flir



Fonte: (Politerm, 2018)

- Alicate Amperímetro

Modelo: ET 4091

Figura 5 - Alicate Amperímetro



Fabricante: Minipa

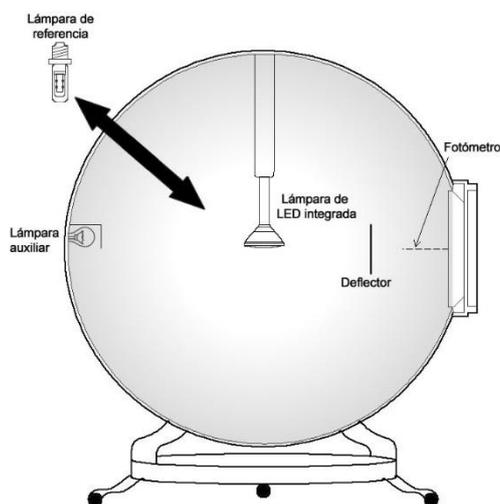
- Esfera Integradora

Figura 6 – Esfera Integradora



Fonte: Jornal da Instalação, 2015

Figura 7 – Esfera Integradora



Fonte: Diário Oficial de La Federacion, 2016

Para obtenção dos resultados foram adotados os procedimentos a seguir:

Primeiramente foi colocado na estrutura de suporte fixo um bocal de louça na parte interna superior, onde foram conectadas as lâmpadas a serem testadas (uma por vez). O bocal tem dois cabos flexíveis de 2.5 mm² com um metro de comprimento e pino banana em suas pontas. Esses pinos foram conectados a saída de energia do medidor de potência (Wattímetro). Todas as lâmpadas tiveram sua energia fornecida através do mesmo, padronizando assim, as condições de teste.

Para coletar as informações, organizou-se um procedimento entre os participantes do grupo de pesquisa. Em primeira instância, quatro elementos participaram da coleta de dados. O primeiro executou a tarefa de conectar a lâmpada ao wattímetro deflagrando o processo de medida e, instantaneamente o segundo membro deu início à contagem de tempo com o uso do cronômetro. Já o terceiro participante se manteve atento ao comando do cronômetro, recolhendo os dados no exato instante. O quarto integrante ditava o valor da

temperatura medida no bulbo da lâmpada, fornecida pelo termo visor que estava localizado a 20 cm da lâmpada na direção do ponto médio de seu bulbo. Elaborado no Excel uma planilha para cada tipo de medida, sendo o eixo vertical representado pela grandeza e o eixo horizontal a periodicidade da medida, sendo esta realizada a cada 30 segundos durante 10 minutos.

Alguns dados tiveram sua coerência questionada uma vez que seus valores foram parcial ou totalmente divergentes dos valores de referência. Quando ocorrido essa contrariedade, novamente o teste foi realizado para validar ou não a medida anterior.

Com os dados obtidos e transpostos para a planilha, foi possível avaliar o comportamento de cada lâmpada através dos gráficos gerados.

Alguns efeitos foram dignos de nota, como por exemplo, a transição observada até atingir a máxima luminosidade da lâmpada, que só ocorreu após vários minutos sob constante alimentação.

A estabilidade térmica, luminosa e de consumo de energia só ocorre após alguns minutos.

Para o cálculo da potência reativa foi utilizada a seguinte fórmula:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

O cálculo da eficiência luminosa foi obtido pela razão da intensidade pela potência:

$$\text{Eficiência Luminosa} = \frac{\text{Lumens}}{\text{Watt}}$$

Para aferir o fluxo luminoso foi realizada uma parceria com a Universidade Federal de Juiz de Fora, detentora do equipamento utilizado (Esfera Integradora), com o auxílio do Professor Dr. Cristiano G. Casagrande.

Funcionamento da esfera Integradora:

O princípio de funcionamento da esfera integradora é de que, dada uma iluminação homogênea, a iluminação indireta (E) em seu interior será proporcional ao fluxo luminoso (Φ) da fonte. Considerando uma esfera de raio R cujo interior esteja iluminado homoganeamente e, além disso que todas as

reflexões sucessivas de um raio luminoso tenham o mesmo coeficiente reflexivo (ρ), pode-se descrever a iluminação na esfera após a primeira reflexão (E_1) por:

$$E_1 = \frac{\rho\Phi}{4\pi R^2}$$

Levando em consideração que todas as reflexões possuem o mesmo ρ é natural descrever E_2 como:

$$E_2 = \frac{\rho^2\Phi}{4\pi R^2} E_2 = \frac{\rho^2\Phi}{4\pi R^2}$$

Assim sucessivamente para todas as reflexões, de maneira que a iluminação total (E), após n reflexões será dada por:

$$E = \sum_{i=1}^n E_i = \frac{\Phi}{4\pi R^2} \cdot \frac{\rho}{1 - \rho}$$

Pode-se facilmente inverter a equação e escrever o fluxo Φ :

$$\Phi = k \cdot E$$

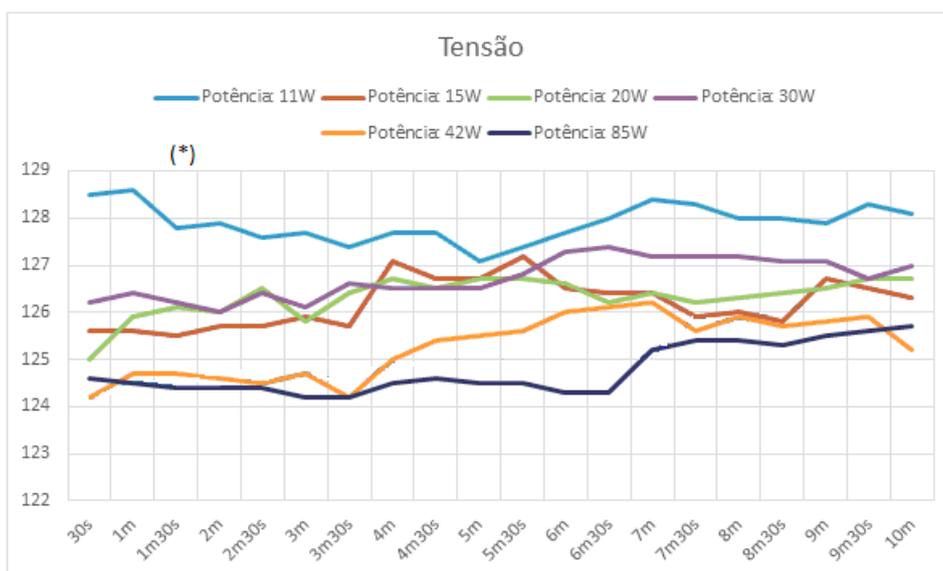
Esse resultado é válido para uma esfera sob condições ideais e na prática podem-se tomar alguns cuidados na medição para que a relação entre a iluminação medida e o fluxo calculado seja o mais linear possível:

- Um revestimento uniforme tal que o coeficiente ρ seja o mesmo em toda a esfera.
- Uma barreira deve evitar a exposição direta do sensor à fonte para evitar a iluminação direta.
- Manter as aberturas para os sensores as menores possíveis em relação à área total da esfera (Esfera Integradora, 2018).

3 RESULTADOS

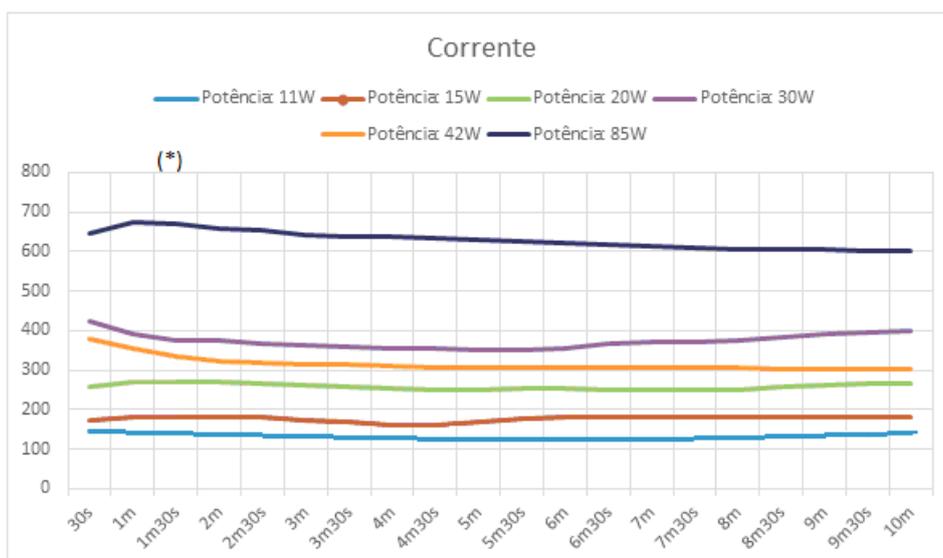
Através dos gráficos é possível compreender o comportamento das lâmpadas:

Gráfico 1 – Tensão nominal



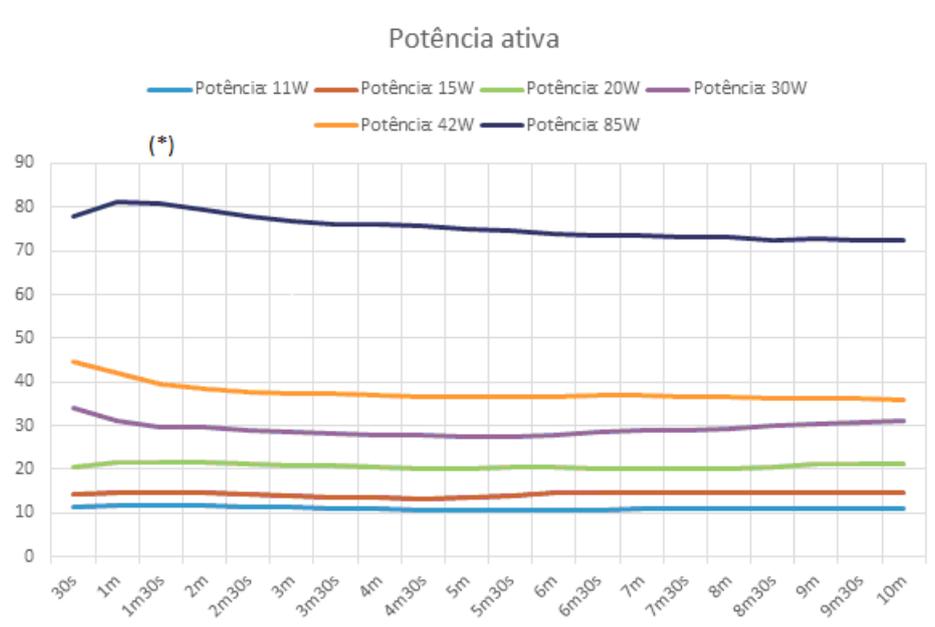
Fonte – Resultado da Pesquisa

Gráfico 2 – Corrente



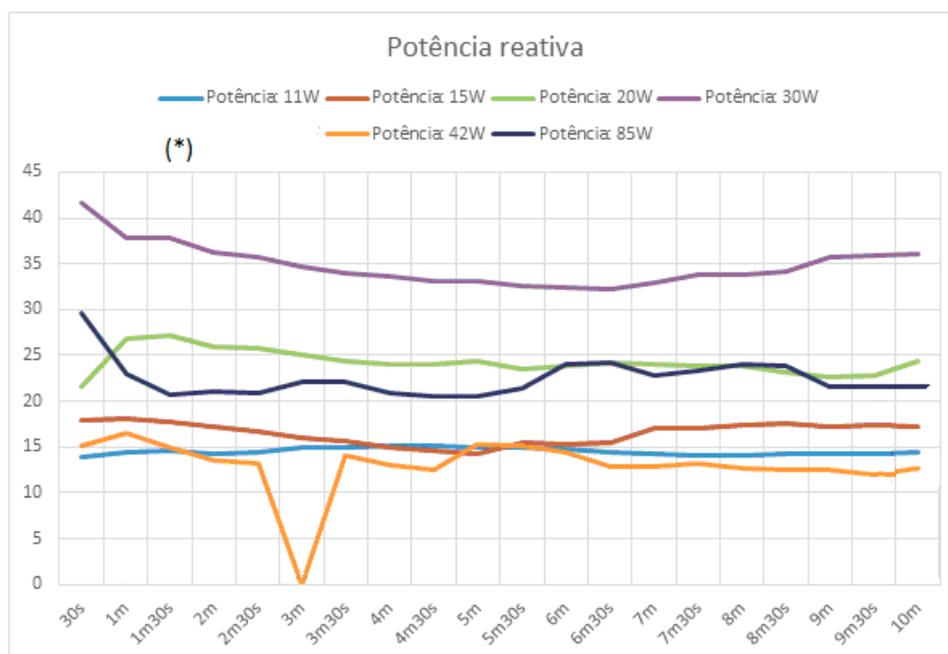
Fonte – Resultado da Pesquisa

Gráfico 3 – Potência Ativa



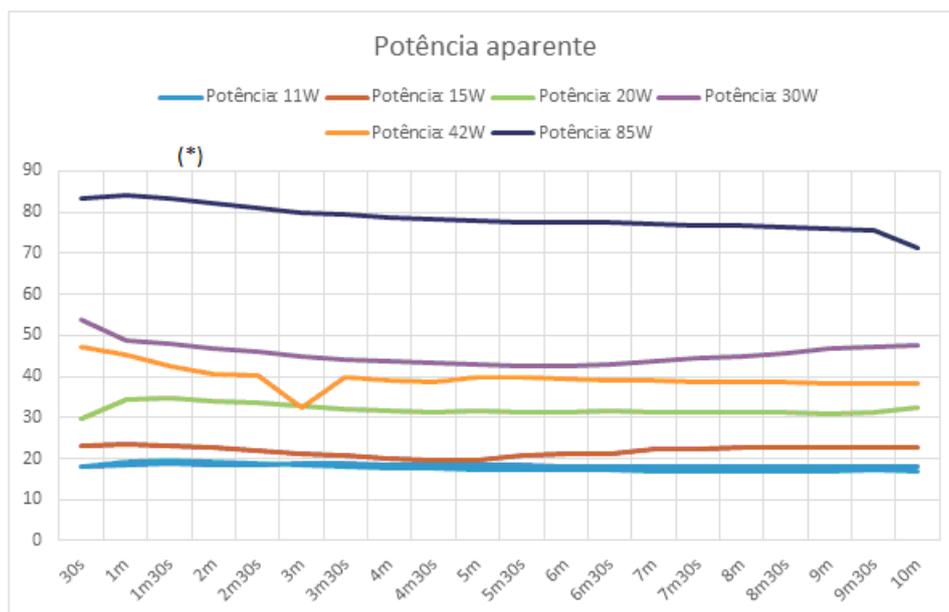
Fonte – Resultado da Pesquisa

Gráfico 4 – Potência Reativa



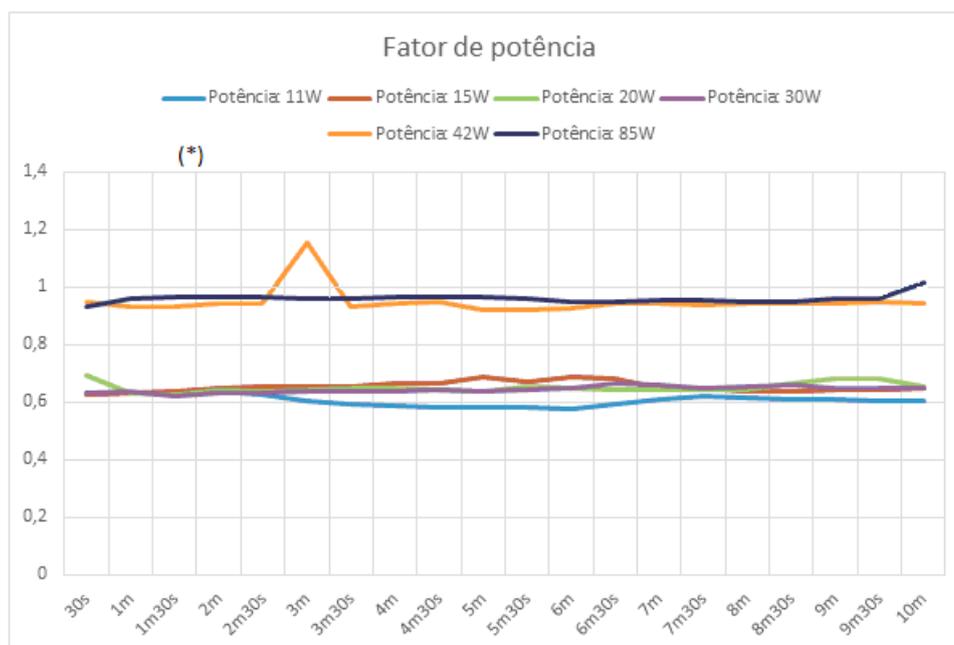
Fonte – Resultado da Pesquisa

Gráfico 5 – Potência Aparente



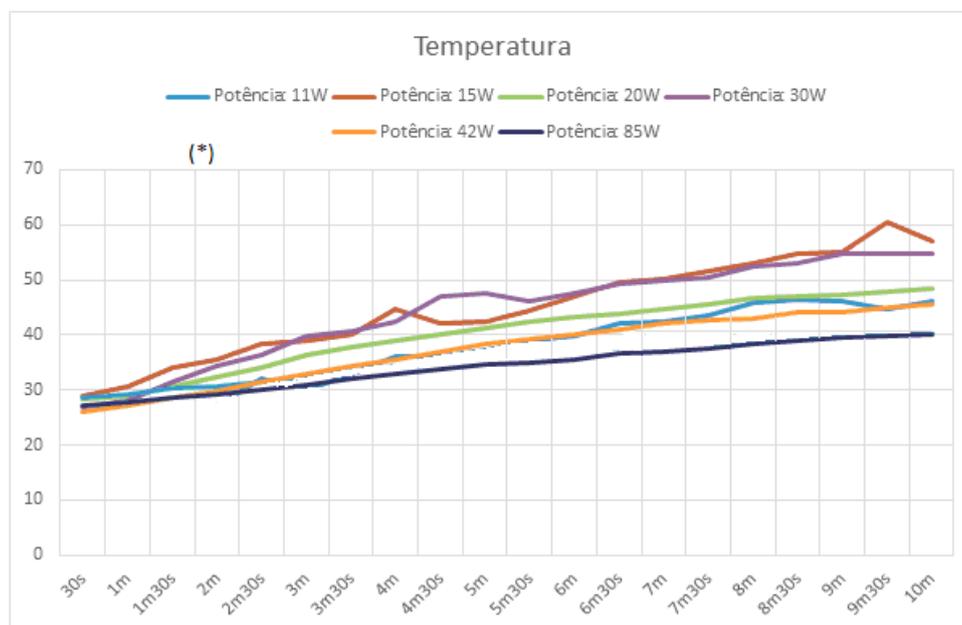
Fonte Resultado da Pesquisa

Gráfico 6 – Fator de Potência



Fonte – Resultado da Pesquisa

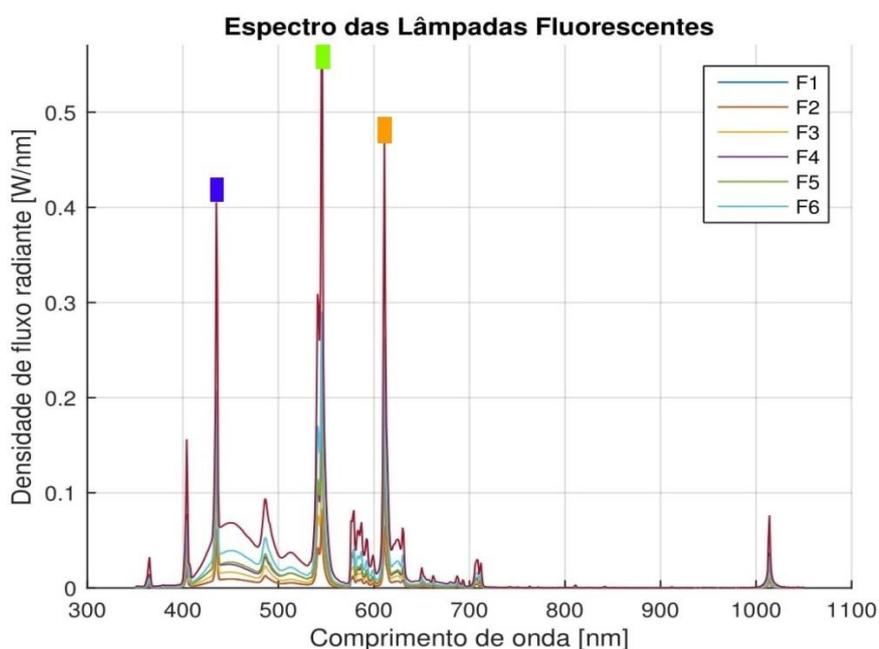
Gráfico 7 – Temperatura



Fonte – Resultado da Pesquisa

(*)A lâmpada de 32W foi retirada da análise gráfica em função da constatação de erro metodológico durante a coleta de dados.

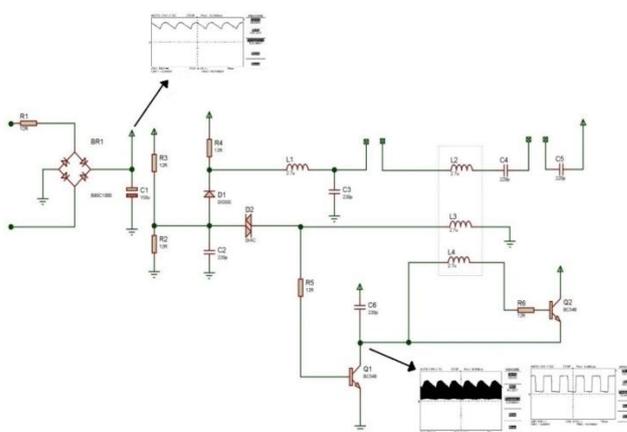
Gráfico 8 – Análise Espectral



Fonte – Resultado da Pesquisa

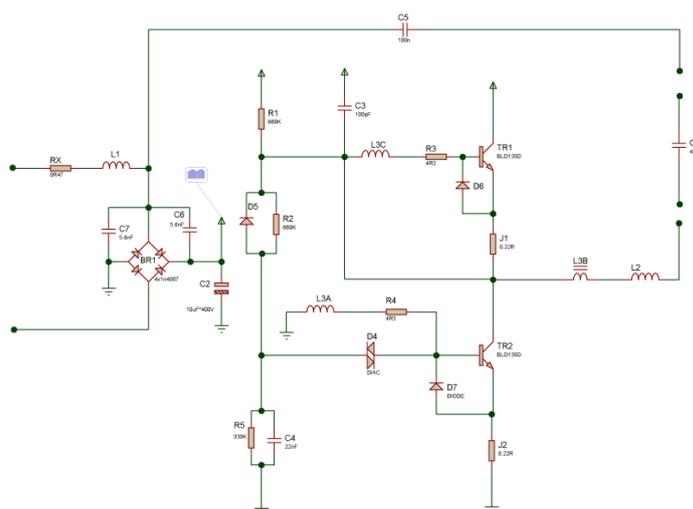
Após as medições feitas das lâmpadas como vista nos gráficos acima, passamos para outro processo, o de abertura das lâmpadas de 11 Watts e 32 Watts respectivamente. E a partir disso, foi feita a análise do circuito com auxílio do Proteus (software de simulação de circuitos) para que pudéssemos compreender melhor as diferenças entre elas e suas características.

Figura 7 – Circuito da Lâmpada de 11Watts



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 8 – Circuito da Lâmpada de 32Watts



Fonte: Elaborado pelo Autor

Análise comparativa entre as lâmpadas de 11 e 32 watts com base nos resultados gráficos:

- Fator de Potência: na lâmpada de 32W ocorre a variação no intervalo de 0 a 45 segundos com alcance da estabilidade em um minuto e meio. Se mantendo na ordem de 1. Na lâmpada de 11W obteve-se o valor de 0,6 , em um lapso de nove minutos para estabilizar.
- Potência Ativa e Aparente: enquanto a potência ativa e aparente da lâmpada de 32W são graficamente parecidas, em torno de 17 unidades respectivamente, na lâmpada de 11W a potência ativa tem um valor médio de 11 e a aparente de 18 unidades. O que se justifica devido a lâmpada de 11W ter uma média de 14 em Potência Reativa enquanto a de 32W se aproxima de 0.
- Corrente: na lâmpada de 11W a corrente varia consideravelmente, entre 145 a 130 mA, em nove minutos. Para a lâmpada de 32W, de igual forma e tempo, a corrente varia entre 155 a 140mA. Comparativamente, a corrente maior pode ser esclarecida pela maior potência, se tratando dessa forma de um valor esperado. Contudo esta alcança a estabilidade em menor tempo, seis minutos aproximadamente.
- Tensão: a tensão na lâmpada de 11W se inicia em torno de 124V chegando a estabilidade após nove minutos e se mantendo em 126V. Na lâmpada de 32W apesar de apresentar um comportamento menos estável manteve seus valores em torno de 127 a 128V.
- Fluxo Luminoso: apesar do comportamento semelhante em ambas as lâmpadas analisadas, ressalta-se que a de 11W leva cerca de um minuto para alcançar a estabilidade e atingir 275 lumens, enquanto a lâmpada de 32W estabiliza em dois minutos com 500 lumens.
- Eficiência: analisando o comportamento do fluxo luminoso ao longo do tempo e a potência, foram constatados os valores esperados. O comportamento é semelhante nas duas lâmpadas e a diferença se dá ao tempo de alcance da

estabilidade do valor. Na lâmpada de 11W demora cerca de um minuto para o valor de 25 lm/W, enquanto na de 32W, três minutos para o valor respectivo de 30 lm/W.

- Temperatura (bulbo e base): é possível analisar no gráfico apenas a temperatura de base: maior a potência, maior a temperatura inicial. A estabilização final da temperatura, entretanto, é cerca de 40 °C para a lâmpada de 32W e 45 °C para 11W, uma variação equivalente dentro do tempo estipulado e alcançando o valor de estabilização no mesmo tempo.
- Circuitos: A análise do circuito da LFC de 11W apontou que este é menos sofisticado, apresentando um diagrama mais simples e objetivo, diferentemente da de 32W que apresenta filtros associados ao circuito, corrigindo então o fator de potência.

4 CONCLUSÕES

Esta análise revelou fidelidade entre as informações fornecidas pelo fabricante e os resultados das medidas em laboratório. O tempo de 10 minutos, arbitrado para que o sistema (LFC) se estabilizasse, se mostrou suficiente e possivelmente as variações de corrente e luminosidade observadas dentro deste lapso de tempo se deva ao retardo na ionização do gás dentro do bulbo. O espectro das lâmpadas confirma a deficiência das LFC's sobre este quesito, apresentando uma resposta pobre, com proeminências agudas em 435nm, 550nm e 620nm. No Brasil é comum a utilização de LFC de 6500K (temperatura de cor), mais azulada, para uso doméstico esta opção é a pior escolha para as fluorescentes compactas, pois é a que mais causa fadiga visual. Quanto ao fator de potência foi constatado que uma LFC de baixa potência possui um circuito eletrônico mais simples, com menor cuidado com os filtros, tendo por consequência menor custo (esta característica das LFC's de baixa potencia está dentro da legislação vigente no Brasil). Concluímos que somente o fator preço de aquisição (barato), justificaria a instalação de uma

LFC de potencia inferior a 24W , pois tendo um fator de potencia na casa de 0,50, estaríamos “perdendo” quase que 50% da energia consumida , uma vez que a LFC de 32W tem fator de potencia de 0,92.

ABSTRACT

The purpose of this work is to evaluate the reliability of the technical information provided by the manufacturer (Kian) of compact fluorescent lamps (CFL). For that, the following parameters were evaluated: Nominal voltage, current of consumption, power factor, effective power, bulb temperature and luminous efficiency. The purpose of the project is to justify the reason that a low power LFC has a $\cos \phi$ of the order of 0.50 while a high power LFC has a $\cos \phi$ of 0.92. 7 LFC's of power ranging from 11 watts to 85 watts from a single manufacturer were purchased on the local market. We chose two LFC's, one of 11 Watts with $\cos \phi$ of 0.50, and one of 32 watts with $\cos \phi$ of 0.92. Both were completely disassembled for analysis and survey of their circuits in order to understand their operating principle, their similarities and differences, seeking to obtain the cause of the disparities referring to $\cos \phi$. Based on the adopted parameters, the data were collected, tabulated and later converted into graphs. This analysis revealed great fidelity between the information provided by the manufacturer and the results measured in the laboratory. Regarding the power factor, it was verified that a low power LFC has a less efficient and less expensive electronic circuit.

Keywords: Compact Fluorescent Lamps; Power factor; LFC

REFERÊNCIAS

CONSUMO EM PAUTA. **O que é energia reativa?**. Disponível em:
<<http://www.consumoempauta.com.br/o-que-energia-reativa-2/>>. Acesso em:
01 jul. 2018.

ANEEL. **Direitos e deveres do consumidor de energia elétrica**. Disponível em:
<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/folder_perguntas%20e%20respostas_414_final.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2018.

SUA PESQUISA.COM. **Sustentabilidade**. Disponível em:
<<https://www.suapesquisa.com/ecologiasaude/sustentabilidade.htm>>. Acesso em: 04 jul. 2018.

POLITERM. **Wattímetro/cossifímetro (cos - phi) digital de bancada modelo pol-43**. Disponível em: <<http://www.politerm.com.br/produto-c-1-wattimetrocossifimetro-cos---phi-digital-de-bancada-modelo-pol-43-versao-143-143.aspx>>. Acesso em: 28 jun. 2018.

MINIPA. **MIm-1011-1300**. Disponível em:
<http://www.minipa.com.br/images/proposta_tecnica/mlm-1011-1300-br.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2018.

POLITERM. **Termovisor flir modelo tg165**. Disponível em:
<<http://www.politerm.com.br/produto-produtos-termovisor-termovisor-flir-modelo-tg165-versao-234-251.aspx>>. Acesso em: 28 jun. 2018.

MINIPA. **Alicates wattímetros et-4091**. Disponível em:
<<http://www.minipa.com.br/alicates-produtos/alicates-wattimetros/73-et-4091>>. Acesso em: 28 jun. 2018.

JORNAL DA INSTALAÇÃO. **Stellatech investe em qualidade**. Disponível em:
<http://www.jornaldainstalacao.com.br/index.php?id_secao=1-icia=12278>. Acesso em: 14 jun. 2018.

DIÁRIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN. **Norma oficial mexicana nom-030-ener-2012, eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (led) integradas para iluminación general. límites y métodos de prueba**. Disponível em:
<http://dof.gob.mx/normasoficiales/6067/sener11_c/sener11_c.html>. Acesso em: 15 jun. 2018.

IV SEMINÁRIO DE EXTENSÃO E PESQUISA

05 A 07 DE NOVEMBRO DE 2018



COELBA. Energia Reativa. O que é energia Reativa?. Disponível em:
<servicos.coelba.com.br/comercial-industrial/Pages/energia-reativa.aspx>.
Acesso em: 14 nov. 2018.

Sustentabilidade. Disponível em:
<<https://www.suapesquisa.com/ecologiasaude/sustentabilidade.htm>>. Acesso
em: 14 nov. 2018.

Esfera integradora. Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Esfera_integradora>. Acesso em: 26 nov. 2018.