

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E QUALIDADE DE ENERGIA EM LÂMPADAS INCANDESCENTES FLUORESCENTES E LED'S

Antônia Ferreira dos Santos Cruz¹

Caroline Ribeiro Figueredo²

Alice Alves Soares³

Raul César Mello dos Santos⁴

Rafael Alves Cotrim⁵

Gisele Silva Santos⁶

RESUMO

O objetivo deste trabalho é fazer análise, referentes aos parâmetros da Eficiência energética e Qualidade de energia em tecnologias de lâmpadas, incandescentes, fluorescentes e Led's (diodo emissor de luz). Este trabalho mostra a preocupação da engenharia em preservar não somente o nível de eficiência energética e luminosa, mas também o comportamento linear do sistema que pode ser impactado por estas cargas. No tocante à eficiência energética, fica evidente a superioridade das tecnologias estudadas quando comparadas com as lâmpadas incandescentes. Entretanto, quando se observa os efeitos das lâmpadas fluorescentes e Led's sobre a rede elétrica, verifica-se certo comprometimento, na qualidade de energia, devido ao surgimento de distorções harmônicas assim como o baixo fator de potência.

Palavras-chaves —Qualidade de energia, eficiência energética fator de potência, distorções harmônicas.

1 INTRODUÇÃO

A primeira lâmpada disponível para uso residencial foi a de Thomas Edison, no final do século XIX e, durante todos esses anos descobertas e pesquisas surgiram resultando na grande diversidade de lâmpadas residenciais existentes hoje no mercado. Cada uma com suas vantagens e desvantagens buscando qualidade da luz, beleza decorativa e ainda redução no

¹ Professora Titular do Centro Universitário Jorge Amado, E-mail: acruz1107@unijorge.pro.br

² Bacharelada em Engenharia Elétrica, Centro Universitário Jorge Amado, E-mail: caroline_ribeiro1996@hotmail.com

³ Bacharelada em Engenharia Elétrica, Centro Universitário Jorge Amado, E-mail: aalves1617@gmail.com

⁴ Professor Titular do Centro Universitário Jorge Amado, E-mail: raul.mello@unijorge.edu.br

⁵ Professor Titular do Centro Universitário Jorge Amado, E-mail: rcotrim@unijorge.pro.br

⁶ Bacharelada em Engenharia Elétrica, Centro Universitário Jorge Amado, E-mail: gisele_santos18@hotmail.com

consumo de energia. No Brasil, no ano de 2001, devido à crise no abastecimento de energia elétrica, com o chamado “apagão”, a substituição de fonte luminosa foi mais difundida com foco em aumento de eficiência energética para redução do consumo da energia elétrica.

Com a grande preocupação no abastecimento de energia elétrica é notório investimentos no seu fornecimento, aplicados para aumento da capacidade, porém, a demanda de energia é crescente no país, em uma velocidade maior do que a capacidade de oferta da mesma, Balanço Energetico Nacional (BEN-2022) . O consumo nacional de energia elétrica foi de 42.837 GWh em janeiro de 2023, crescimento de 0,6% em comparação com mesmo mês de 2022, segundo Empresa de Pesquisa Energética (EPE-2022), o que pode ser justificado, principalmente devido ao aumento da população, renda da população ou crescimento economico do país.

A classe residencial (+1,8%) puxou a alta, seguida pelas classes comercial (+1,4%) e industrial (+1,2%). No acumulado em 12 meses o consumo nacional registrou 508.954 GWh, alta de 1,4% em comparação ao período imediatamente anterior,(EPE- 2023).

Tomando como base os dados da Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso, ano base 2019, Classe Residencial Relatório Brasil, a participação de lâmpadas no consumo de energia elétrica residencial no Brasil é de 14%. A pesquisa da Eletrobrás também mostra que a lâmpada tem seu maior consumo de energia nos horários entre 18 e 23 horas, exatamente nos horários de maior consumo de energia elétrica no sistema brasileiro.

No Brasil, no ano de 2001, devido à crise no abastecimento de energia elétrica, com o chamado “apagão”, a substituição de fonte luminosa foi mais difundida com foco em aumento de eficiência energética para redução do consumo da energia elétrica.

Os sistemas de iluminação vêm passando nas últimas duas décadas por profundos avanços em equipamentos e dispositivos auxiliares, baseados em acionamento a estado solido, através do emprego da eletrônica nos processos de ignição, com o objetivo principal de promover a eficiência energética e reduzir o consumo energético deste sistema, destinado ao ambiente doméstico, comercial, industrial e público.

No tocante à eficiência energética, fica evidente a superioridade das lâmpadas de leds quando comparadas com as lâmpadas fluorescentes e principalmente as lâmpadas incandescentes que utiliza apenas 5% da energia elétrica em energia luminosa. Entretanto, quando se observa os efeitos destas novas tecnologias no sistema, onde elas essas cargas são empregadas, verifica-se certo comprometimento na qualidade de energia ofertada devido ao baixo fator de potência e surgimento de distorções harmônicas indesejadas na redes elétricas.

Distorções harmônicas são compostas de frequências múltiplas ou submúltiplas da fundamental (60 Hz), a presença da resultante das harmônicas nas ondas de corrente e tensão, pode causar inconvenientes no sistema elétrico como, perdas energéticas, queima e mau funcionamento dos equipamentos. Neste contexto objetivo deste trabalho é avaliar as distorções da forma de onda da tensão e corrente das lâmpadas fluorescentes e Led's de diferentes fabricantes. Para tanto, são analisados fator de potência, forma de onda de tensão e de corrente, distorção harmônica total (DHT), potência ativa consumida e quantidade de iluminação.

As diferentes tecnologias de lâmpadas estudadas serão avaliadas individualmente. Este trabalho mostra a preocupação da engenharia em preservar não somente o nível de eficiência energética e luminosa, mas também a qualidade de energia no sistema, o qual pode ser impactado grandemente por estas cargas que tem uma crescente demanda, nos diversos setores.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Eficiência Energética e Qualidade de Energia

O termo eficiência energética vem se tornando cada vez mais recorrente nas discussões e divulgações sobre demanda de energia, a nível global. É ainda responsável por importantes medidas políticas de energia e meio ambiente, especialmente àquelas relacionadas às mudanças climáticas, MENKES, 2004). Pode-se dizer que sistemas energéticos eficientes são aqueles em que os custos com energia são reduzidos concomitantemente ao aumento da quantidade de energia fornecida, sem que haja alteração da geração. O resultado disto é a redução do consumo e consequentemente diminuição da necessidade de investimentos governamentais na produção, transmissão e distribuição de energia, reduzindo os impactos ambientais, (GOLDEMBERG, 2007)

As tecnologias de lâmpadas fluorescentes e Led's, apesar de serem mais eficientes do que as tradicionais incandescentes representam cargas não lineares para o sistema elétrico. Estas cargas, pelas suas características, geram distorções harmônicas e baixo fator de potência, que impactam diretamente na qualidade de energia.

A elevada distorção de harmônicos da corrente e o reduzido fator de potência ocasionam problemas à rede elétrica como: distorção da tensão da rede de corrente alternada, redução da potência útil, aumento das perdas em condutores, redução da eficiência e consequente necessidade de aumento da geração de potência (PIGNATI, 2012).

Atualmente é muito comum encontrar consumidores, dos diversos setores, com cargas comandadas eletronicamente, tais como fornos de microondas, computadores e periféricos,

diversos aparelhos de TV, áudio e outras. Um claro exemplo do emprego da eletrônica em uma área anteriormente dominada por cargas resistivas, são as novas tecnologias de lâmpadas econômicas, que substituiu as lâmpadas incandescentes tradicionais, puramente resistiva, com objetivo de redução do consumo de energia elétrica motivado pelas crises energéticas.

A qualidade de energia interfere na vida útil dos equipamentos elétricos, na manutenção dos processos produtivos, na conservação da própria energia, além disso, está relacionada com a segurança das pessoas em ambientes internos e externos, (PIGNATI, 2012).

2.1 Lâmpadas incandescentes

As lâmpadas incandescentes (LI) comuns são a forma mais antiga de iluminação e são constituídas de um filamento de tungstênio dentro de um bulbo de vidro com vácuo no interior ou gases não halógenos. A iluminação deste tipo de lâmpada resulta da incandescência de um fio percorrido por corrente elétrica, devido ao seu aquecimento, quando este colocado no vácuo ou em meio gasoso apropriado. Para que o filamento possa emitir luz efetivamente, através da incandescência, deverá possuir um elevado ponto de fusão e baixa evaporação. Neste princípio de funcionamento ocorre elevada dissipação de calor que gera com consequente desperdício de energia, apenas 5% é aproveitado para a energia luminosa.

Quando em regime térmico permanente, as LI apresentam-se como uma resistência linear e constante. Dessa maneira, a forma de onda da corrente que nelas se estabelece é a mesma da tensão imposta. Com isso, o fator de potência neste tipo de lâmpada é sempre unitário, o que raramente acontece com as fluorescentes, devido à presença do reator (fortemente indutivo).

As lâmpadas incandescente (LI) apresentam variações em suas características construtivas como por exemplo: incandescente convencional, halógena e halógena dicrótica. Neste estudo será utilizada a lâmpada incandescente convencional de 60 W (Figura 1)

Figura 1. Lâmpada incandescente de 60 W.



Fonte : Elaboração própria

Esse tipo de lâmpada possui como vantagens seu baixo custo e alto índice de reprodução de cores (IRC=100), porém, tem como desvantagens a baixa vida útil, cerca de 1000 horas, e principalmente, o baixo rendimento (10 lm/W) (BRAGA, et al., 2014). Devido a Portaria Interministerial do Ministério de Minas e Energia nº1.007/2010 que trata da eficiência energética de lâmpadas incandescentes, os fabricantes de lâmpadas incandescentes devem garantir uma eficiência energética mínima, variável em função das potências de cada lâmpada e o nível de tensão da rede, 127 ou 220 V. Desse modo as lâmpadas incandescentes que não se enquadraram na regulamentação da portaria foram retiradas do mercado (BASTOS, 2011).

2.2 Lâmpadas Flourescentes

As lâmpadas flourescentes são compostas de um invólucro translúcido de vidro transparente chamado de tubo de descarga. Ao aplicar uma diferença de potencial externa, o eletrodo negativo (cátodo) emite elétrons que são acelerados em direção ao eletrodo positivo (ânodo) e colidem com os átomos do vapor metálico no meio do caminho. A colisão causa a ionização dos átomos, ou seja, perda ou ganho de elétrons, os quais também se movimentam em direção aos eletrodos. A conversão de átomos do vapor metálico em íons libera uma radiação ultravioleta que incide no revestimento de fósforo na parede interna do tubo e se converte em luz visível.

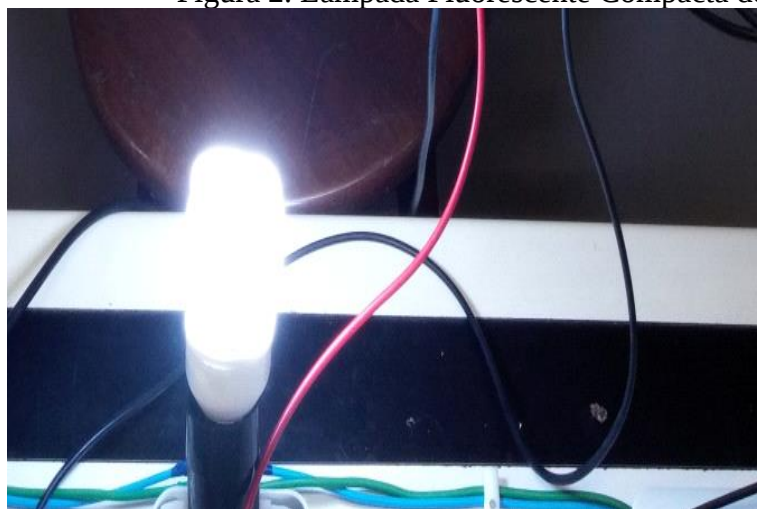
O processo de funcionamento, tanto das LFT quanto das LFC, baseia-se em descargas elétricas bruscas para a ionização do gás, formação do arco no ambiente gasoso e excitação do fósforo. Em algumas lâmpadas o acionamento depende do reator e do starter, nestas geram-se as descargas a partir de circuitos eletrônicos. As LFT também podem utilizar reatores eletrônicos, amplamente empregados atualmente

As lâmpadas a baixa descarga podem ser classificadas em flourescente tubular e flourescente compacta, também conhecidas como eletrônicas. As lâmpadas flourescentes comuns (LFT) são as lâmpadas tubulares, consideradas de baixa pressão, e são revestidas internamente por fósforo. Elas funcionam com a instalação auxiliar de reatores que servem para limitar a corrente e adequar as tensões ao perfeito acendimento das lâmpadas.

As lâmpadas denominadas flourescentes compactas (LFC) são revestidas com fósforo e compostas de um pequeno bulbo flourescente, possuindo em alguns modelos os dispositivos de partida (starters) e reatores incorporados ao seu invólucro compacto (BASTOS, 2011). São bastante utilizadas, pois possuem o mesmo bocal (bocal E27) da lâmpada incandescente, o que

facilita sua substituição. Foi utilizado nesse estudo lâmpada fluorescente compacta de 15 W (Figura 2).

Figura 2. Lâmpada Fluorescente Compacta de 14 W



. Fonte : Elaboração própria

2.3 Lâmpadas LED (diodo emissor de luz)

Os Led's são fontes de luz de estado sólido baseados em semicondutores inorgânicos que emitem luz por eletroluminescência (OSRAM, Life Cycle Assessment of Illuminants, 2009). Eletroluminescência é um processo de emissão gerado por meio de excitação eletrônica, pela passagem de uma corrente elétrica através do material. Esse processo pode ocorrer em materiais inorgânicos semicondutores, cristais orgânicos e polímeros orgânicos (OLIVEIRA, H.P.M., 2006).

O LED (do inglês Light Emission Diode, diodo emissor de luz) é um dispositivo eletrônico semicondutor, que quando polarizado diretamente. Dentro do semicondutor ocorre a recombinação de lacunas e elétrons. Essa recombinação exige que a energia armazenada por esses elétrons seja liberada na forma de calor ou luz devido à passagem da corrente elétrica na junção anodo para o catodo. Diferentemente de uma lâmpada incandescente, a lâmpada Led não possui filamento, o grande responsável por converter a maior parte da energia elétrica em energia térmica (calor) que significa desperdício, pois o objetivo é iluminar e não aquecer. A lâmpada Led é capaz de produzir muito mais luz visível do que calor ao ser comparado com uma lâmpada incandescente, o que a torna mais eficiente comparada às fontes tradicionais.

Por se tratar de uma tecnologia relativamente nova, o mercado das lâmpadas Led's está em grande expansão com vários modelos e formatos, o que motiva a análise do uso adequado

destes tipos de carga para cada situação específica. A lâmpada utilizada nesta pesquisa foi a Led com potência declarada de 10 W (Figura 3)

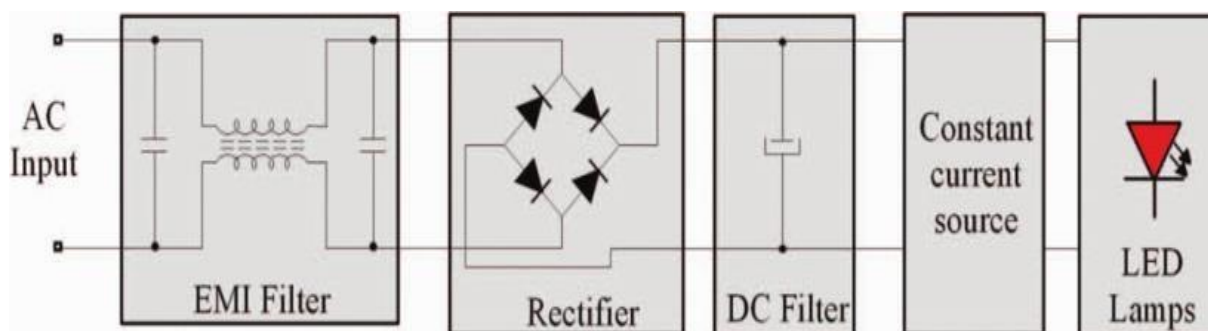
Figura 3. Lâmpada Led de 10 W



Fonte : Elaboração Propria

A topologia das lâmpada Led consiste basicamente em componentes eletrônicos que apresentam comportamento não linear o que caracteriza presença de harmônicos quando são acionadas, as lâmpadas, para utilização. Observa-se no esquema simplificado, na Figura 4, a presença do filtro de interferência eletromagnética, retificador com suavização da onda de corrente contínua e algum tipo de controle da corrente, (RATA; RATA 2016).

Figura 4 – Esquema simplificado da topologia de uma lâmpada LED
Fonte: RATA; RATA (2016).



Fonte: RATA; RATA (2016).

2.4 Harmônicos e distorções harmônicas

Antigamente predominavam cargas lineares com valores de impedância fixo (iluminação incandescente, cargas de aquecimento, motores sem controle de velocidade). Atualmente surgiram cargas não lineares geradoras de poluição elétrica (harmônicas).

Tecnicamente, uma harmônica é a componente de uma onda periódica cuja frequência é um múltiplo inteiro da frequência fundamental. As distorções harmônicas vêm contra os objetivos da qualidade do suprimento promovido por uma concessionária de energia elétrica, que deve fornecer aos seus consumidores uma tensão puramente senoidal, com amplitude e frequência constantes. Entretanto, o fornecimento de energia a determinados consumidores que causam deformações no sistema supridor, prejudica não apenas o consumidor responsável pelo distúrbio, mas também outros conectados à mesma rede elétrica.

Cargas com características não lineares eram pouco utilizadas e os equipamentos eram mais resistentes aos efeitos provocados por harmônicas. Nos últimos anos, com o rápido desenvolvimento da eletrônica de potência e com a utilização de métodos que buscam o uso mais racional da energia elétrica, o conteúdo harmônico presente nos sistemas tem-se elevado, causando uma série de efeitos indesejáveis em diversos equipamentos, comprometendo a qualidade e o próprio uso racional da energia elétrica.

Assim é de grande importância citar aqui os vários tipos de cargas elétricas com características não lineares que têm sido implantadas em grande quantidade no sistema elétrico brasileiro: Circuitos de iluminação com lâmpadas de descarga; Fornos a arco; Compensador estático do tipo reator saturado; Motores de corrente contínua controlados por retificadores; Motores de indução controlados por inversores com comutação forçada; Processos de eletrólise através de retificadores não controlados; Motores síncronos controlados por ciclo conversores; Fornos de indução de alta frequência; Cargas de aquecimento controladas por tiristores; Computadores; Eletrodomésticos com fontes chaveadas; Lâmpadas fluorescentes compactas e Led's, como foram analisadas neste trabalho

3. PROJETO

Os testes foram realizados em lâmpadas, que conforme especificado pelos fabricantes, apresentam o mesmo resultado em termos de iluminação, com menor consumo de energia elétrica, porém apresentam distorções diferenciadas devido às características técnicas de cada uma. Os resultados obtidos serão analisados para verificar, posteriormente, a possibilidades de

atenuar os efeitos das distorções de harmônicos e do baixo fator de potência nas instalações elétricas nas quais estão ligadas as cargas.

Três tipos de lâmpadas foram avaliados durante os ensaios. Dentre eles, uma lâmpada fluorescente compacta, uma Led e uma incandescente. Esta última foi tomada como referência. Uma breve descrição destes modelos é apresentada na Tabela 1.

TABELA1. LÂMPADAS UTILIZADAS

Lâmpada	Quantidade	Potencia(W)
Incandescente	1	60
Fluorescente	1	15
Led	1	10

3.1 Metodologia aplicada

As medições foram realizadas em uma bancada didática para medidas elétricas e fez-se uso de parte de seu instrumental, a saber, amperímetro, voltímetro, analisador e medidor de energia e o luxímetro, conforme apresentado na Fig. 1. Os instrumentos da bancada serviram como referência de medidas durante a realização dos ensaios, porém as grandezas elétricas de interesse para o estudo foram consideradas do analisador e medidor de energia .

Para cada um dos arranjos de lâmpadas empregados foram registrados os valores instantâneos de potência, fator de potência, e iluminamento. Foi registrado também o comportamento da tensão e corrente elétrica, através de equipamentos específicos de medições. Para a medição do nível de iluminamento foi empregado um luxímetro posicionado a meio metro da fonte luminosa, perpendicularmente ao plano no qual a lâmpada estava instalada. As características elétricas como potência, corrente, fator de potência e distorção harmônica total foram determinadas pelo analisador de energia da Fluke modelo 43 e o medidor modelo RE-6040 da EMBRASUL. Todas as medições foram efetuadas em condições controladas, sendo a temperatura ambiente de $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ e a umidade relativa do ar menor que 65%.

Após a preparação das amostras a serem empregadas no experimento, as lâmpadas foram instaladas na bancada e submetidas à sua tensão nominal de operação (127 V). Na fase de uso do método experimental primeiramente foi realizado o cruzamento de informações declaradas nas embalagens pelo fabricante, com os dados obtidos em laboratório.

3.2 Resultados

Os dados coletados nas embalagens dos fabricantes de cada tipo de lâmpada foram dispostos em tabelas, e foram levados em consideração os seguintes parâmetros: tensão, potência, fator de potência, fluxo luminoso, temperatura de cor e eficiência luminosa. A tabela 2 apresenta os dados coletados na embalagem da lâmpada incandescente utilizada no estudo e a tabela 3, os resultados coletados nos ensaios. Estes resultados foram retirados da tela do analisador, conforme apresentado nas Figuras 2 e 3.

TABELA 2. DADOS DE FABRICANTE DA LÂMPADA INCANDESCENTE.

Tensão declarada do fabricante (V)	127
Potencia declarada do fabricante (W)	60
Fator de Potencia *	NI
Fluxo Luminoso declarado (lm)	864
Temperatura de cor (K)*	NI
Eficiência Luminosa (lm/W)	14.4

*NI – Não informado

Fonte : Elaboração Própria

TABELA 3. RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DA LÂMPADA INCANDESCENTE.

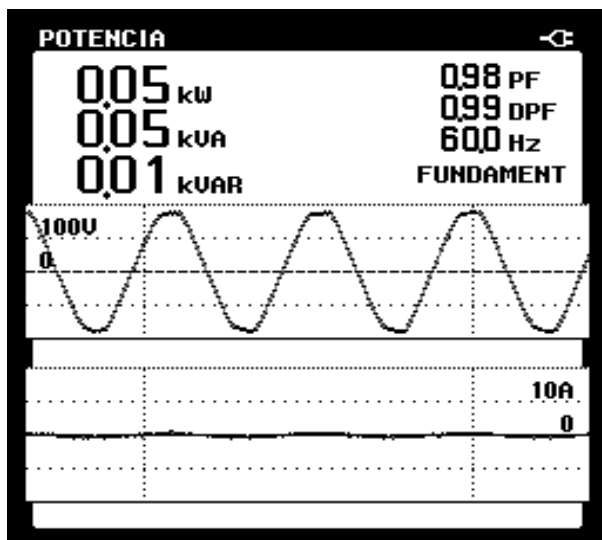
DHT da tensão (%)	3.0
DHT da corrente (%)	4.0
Corrente (A)	0.471
Tensão (V)	126.8
Potencia (W)	60
Fator de Potencia	1
Iluminacia (Lux)	363

Fonte : Elaboração Própria

Como esperado, a LI de 60 W apresentou fator de potência igual a 0.98, conforme Figura 2, praticamente unitário, além de baixa distorção de harmônica total - THD de corrente, apenas 4,0%. Este valor que pode ser considerado desprezível comparado com as demais tecnologias

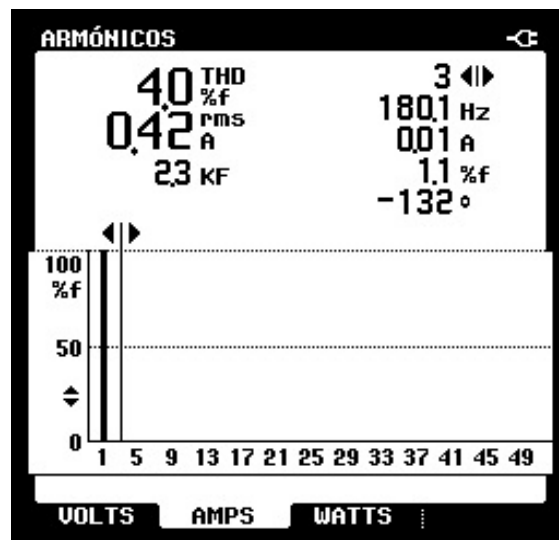
que utiliza circuitos eletrônicos para seu acionamento. O comportamento da tensão em relação a sua forma não foi verificado nenhuma distorção não somente na lâmpada incandescente, mas nas demais lâmpadas em teste. Neste caso, foram apresentados neste trabalho somente as THD de corrente, conforme Figura 3.

Fig. 2. Fator de Potência incandescente de 60 W



Fonte : elaboração Própria

Fig.3. TDH de corrente



Fonte : elaboração

Na Tabela 4 são apresentados os dados nominais coletados dos fabricantes da LFC de 15 W utilizada no estudo e, na Tabela 5, os resultados das medições realizadas nesta mesma lâmpada. O total de distorções da 3ª harmônica de corrente assim como o fator de potência desta lâmpada pode ser observado nas Figuras 4 e 5 respectivamente.

TABELA 4. DADOS DE FABRICANTE DA

Tensão declarada do fabricante (V)	127
Potencia declarada do fabricante (W)	14
Fator de Potencia	≥ 0.5
Fluxo Luminoso declarado (lm)	900
Temperatura de cor (K)	6500
Eficiência Luminosa (lm/W)	64

Fonte : elaboração Própria

TABELA 5. RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS

DHT da tensão aplicada (%)	2.9
----------------------------	-----

DHT da corrente (%)	70.7
Corrente (A)	0.216
Tensão (V)	127.6
Potencia (W)	15
Iluminancia com distância de 0.5 m (Lux)	530
Fator de Potencia	0.55

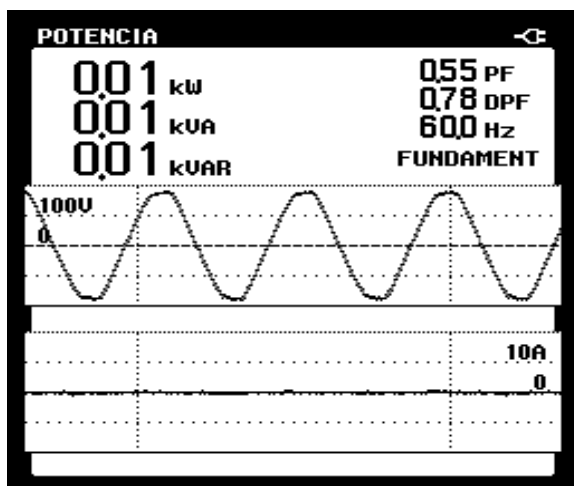
Fonte : elaboração Propria

Apesar da potência demandada pela LFC ser um quarto da potência demandada pela LI, e da sua eficiência ser cinco vezes maior, é claramente perceptível o baixo fator de potência e a forte distorção harmônica de corrente inserida.

O fator de potência estabiliza em 0.55 assim como a distorção total de harmônica chega a 70,7 %, da 3ª ordem, valores que representam fontes de contribuição para redução da qualidade de energia na rede elétrica, quando essas cargas participam de forma crescente no sistema elétrico.

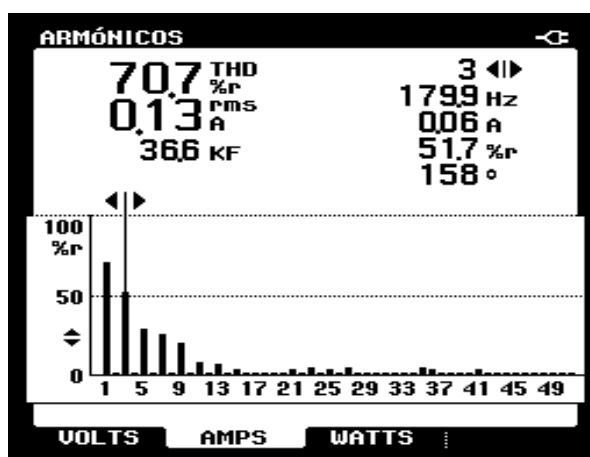
Este comportamento também previsível devido às lâmpadas de descarga apresentar uma característica tensão versus corrente fortemente não linear, incrementando o conteúdo de harmônicos na rede. De acordo com esta referência, as lâmpadas de descarga geralmente são utilizadas em conjunto com reatores que podem apresentar um baixo fator de potência, absorvendo reativos, bem como causando distorções nas redes elétricas.

Fig. 4. Fator de Potencia da fluorescente de 15 W



Fonte : Elaboração Própria

Fig. 5. TDH de corrente da fluorescente de 15 W



Fonte : Elaboração Própria

Para a lâmpada Led utilizada no estudo, os dados considerados são apresentados na Tabela 6 (dados fornecidos pelo fabricante) e na Tabela 7 (dados coletados nos testes). O total de distorções da 3ª harmônica de corrente relativo a essa lâmpada pode ser observado na Fig. 6, assim como o resultado do fator de potência conforme a Fig. 7.

TABELA 6. DADOS DE FABRICANTE DA

Tensão declarada do fabricante (V)	127
Potencia declarada do fabricante (W)	10
Fator de Potencia	NI
Fluxo Luminoso declarado (lm)	800
Temperatura de cor (K)	3000
Eficiência Luminosa (lm/W)	80

Fonte : Elaboração Própria

TABELA 7. RESULTADOS OBTIDOS NOS

DHT da tensão aplicada	2,8
DHT da corrente %	48.1
Corrente (A)	0,95
Tensão (V)	127
Potencia (W)	10
Iluminancia com distância de 0.5 m	700
Fator de Potencia	1

Fonte : Elaboração Própria

Observando os resultados obtidos da lâmpada Led, verificou-se que esta apresenta o maior valor de eficiência luminosa com 80 lm/w, porém, com nível significativo no DHT de corrente. Mesmo abaixo da fluorescente, este valor é uma preocupação para os engenheiros de sistemas de potência, pois quando há o uso simultâneo de uma grande quantidade destas cargas não lineares, há grande possibilidade de ocasionar problemas que podem modificar o funcionamento de alguns equipamentos, além de perdas de energia.

O fator de potência desta carga apresentou alto nível de instabilidade, mesmo considerando um tempo após seu acionamento. Os valores observados ficaram entre 0.6 a 0.9, retirando assim uma leitura mais frequente durante os testes que foi 0.78, conforme figura 6.

Fig. 6. Fator de Potencia da lâmpada Led de 10 W

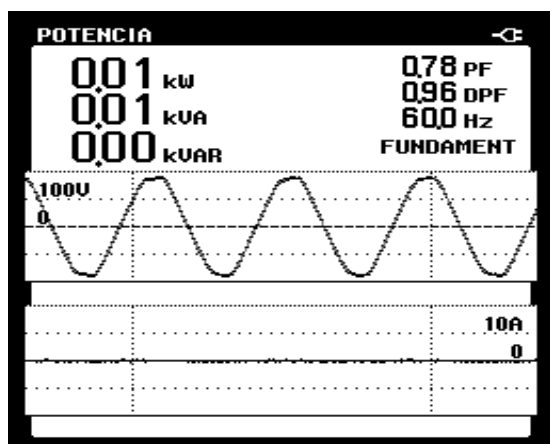
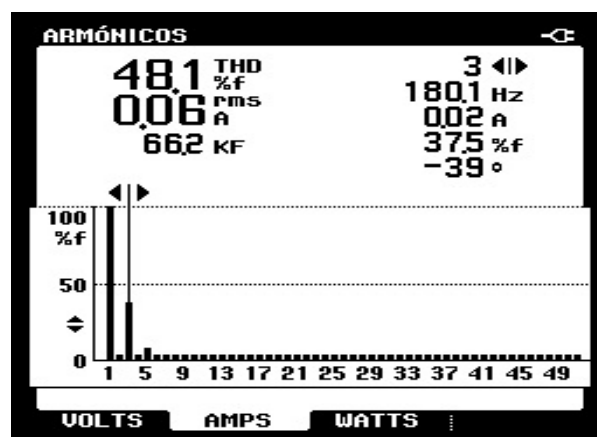


Fig.7. TDH de corrente da lâmpada Led de 10 W



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os estudos experimentais apresentados neste trabalho, pode-se constatar que a substituição das lâmpadas incandescentes promoveu significativa redução do consumo de energia quando comparado à lâmpada fluorescente compacta e, principalmente à tecnologia Led. Entretanto, verificou-se que esses dois tipos de lâmpadas, apesar consumirem menos energia, causam distorções relevantes na onda senoidal da corrente elétrica principalmente. Isto pode ser justificado pelas características tensão versus corrente, fortemente não linear, o que faz incrementar o conteúdo de harmônicos na rede.

Na ótica da eficiência energética observa-se maior índice na tecnologia Led, porém o fluxo luminoso da lâmpada florescente se destaca entre as três tecnologias analisadas. Com relação à questão da qualidade de energia, a lâmpada florescente apresentou o maior índice de distorções harmônicas e o mais baixo fator de potência.

Os testes confirmaram, em todos os casos, os dados fornecidos na embalagem, com diferenças aceitáveis. A lâmpada fluorescente apresentou o maior fluxo luminoso, 900 lm. Enquanto que a tecnologia Led apresentou menor fluxo luminoso, 800 lm. A lâmpada incandescente de bulbo transparente apresentou um fluxo luminoso de 864 lm. Das três tecnologias analisadas verificou-se que a tecnologia Led apresentou maior eficiência luminosa, com valor de 80 lm/w, enquanto que a lâmpada incandescente e florescente apresentaram respectivamente 14 lm/w e 64 lm/w.

Desta forma, existe a necessidade de uma regulamentação com as especificações dos equipamentos elétricos que inclua critérios tanto de Eficiência Energética como de Qualidade de Energia, para que as cargas possam operar adequadamente em condições reais de uso.

Conforme visto as lâmpadas fluorescentes compactas e Leds podem ter um impacto significativo na economia de energia. Contudo, o uso em massa dessas lâmpadas em sistemas de energia deve ser cuidadosamente planejado, a fim de evitar qualquer efeito negativo inesperado sobre os outros equipamentos do sistema. Portanto, devem ser adotados os cuidados necessários nos sistemas de energia para o uso seguro dessas tecnologias. Quando o objetivo a ser atingido é a eficiência energética e a qualidade de energia elétrica em sistemas de iluminação com lâmpadas mais eficientes, há de ser levado em conta o desempenho e a qualidade do conjunto lâmpada-reator.

As políticas de incentivo à substituição de lâmpadas são de muita importância para a redução do gasto de energia globalmente. Poupar é importante também pelo aspecto de

preservação da natureza. Porém é importante salientar que o problema das harmônicas também é preocupante. Assim, é de grande importância a avaliação das distorções harmônicas na implantação de políticas públicas de conservação de energia, onde a certificação das lâmpadas pode ter um papel fundamental com a verificação dos níveis de distúrbios causados.

REFERÊNCIAS

CANESIN, C.A. Qualidade de energia elétrica, eficiência e racionalização: desperdício versus desconhecimento. Disponível em: <<http://www.dee.feis.unespe.br/docentes/canesin/power.html>>. Acesso em: 20 de mar. 2022.

ELETROBRÁS. Centro de memória de eletricidade do Brasil. Disponível em <<http://www.memoria.eletronbras.gov.br/main.asp>> Acesso em 23 de março. 2022.

FUJIWARA, J. K. et al. Interferência causada pelo uso de fluorescentes compactas em residências. Eletricidade Moderna: os avanços e as tendências da tecnologia eletroeletrônica. Ano XXXV. n.294. .

GOLDEMBERG, J. Pesquisa e desenvolvimento na área de energia. São Paulo: Perspec. n.3, p.91-97.

KALACHE, N. et al. Análise comparativa de sistemas de iluminação: viabilidade econômica da aplicação de led. In: XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Salvador, 2013.

MENKES, M. Eficiência Energética, políticas públicas e sustentabilidade. 295 f. Tese (Doutorado em desenvolvimento sustentável) – Centro de desenvolvimento sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco energético nacional 2013, ano base 2012.** Disponível em <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2_-

[BEN - Ano Base/1 - BEN 2013 Portugues - Inglxs - Completo.pdf](#).> Acesso em: 25 de março 2022.

OSRAM, Life Cycle Assessment of Illuminants A Comparison of Light Bulbs, Compact Fluorescent Lamps and LED Lamps, 2009.

PANESI, A. R. Q. Fundamentos da Eficiência Energética (Industrial, Comercial Residencial). Editora: Ensino Profissional, 2006.