

INFLUÊNCIA DAS DISTORÇÕES HARMÔNICAS NO FATOR DE POTÊNCIA DE UMA INSTALAÇÃO DE ILUMINAÇÃO

Eduardo Gomes Figueiredo (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) egfigueiredo93@gmail.com

Leandro Antônio Pasa (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) pasa@utfpr.edu.br

Resumo

Distorções harmônicas são distúrbios na energia elétrica provocados por cargas não lineares como reatores de lâmpadas de descarga, fontes chaveadas, inversores de frequência. Estes distúrbios trazem consequências negativas para uma instalação elétrica, afetando, entre outras coisas, o fator de potência da instalação. Desenvolvidas recentemente, as lâmpadas LED representam uma alternativa econômica e com elevada durabilidade. Porém, muitos modelos deste tipo de lâmpada são fontes de distorções harmônicas para a instalação. Este trabalho apresenta um estudo sobre as influências das distorções harmônicas geradas por lâmpadas LED no fator de potência e os resultados apontam que, de fato, este tipo de lâmpada reduz o fator de potência da instalação elétrica.

Palavras chave: Distorção harmônica, Fator de Potência, Lâmpadas LED.

HARMONIC DISTORTION INFLUENCE ON POWER FACTOR OF A LIGHTING INSTALLATION

Abstract

Harmonic distortion are disturbances in electricity caused by non-linear loads such as discharge lamp ballasts, switching power supplies, frequency inverters and others. These disturbances have negative consequences for an electrical installation, affecting, among other things, the power factor. Developed recently, LED lamps represent an economical alternative with high durability, compared to other lamps types. However, many of this lamp type models are sources of harmonic distortion. This paper presents a study on the influence of harmonic distortion generated by LED lamps in the power factor and the results indicate that, in fact, this lamp type reduces the power factor of the electrical installation.

Key-words: Harmonic distortion, Power factor, LED lamps.

1. Introdução

Com a evolução tecnológica, o número de cargas não lineares presentes na rede elétrica aumentou. A característica deste tipo de carga está na sua forma de onda da corrente e da tensão que apresentam descontinuidade, sendo a forma de onda da corrente não senoidal.

A presença deste tipo de carga nos sistemas elétricos fez com que a preocupação com a qualidade de energia fornecida aos consumidores aumentasse, uma vez que estas acabam inserido uma série de distúrbios na rede elétrica.

Entre os vários distúrbios encontrados na energia elétrica, um dos mais comuns são as distorções harmônicas, que são ondas com frequências múltiplas da fundamental. Esse tipo de distúrbio causa uma série de efeitos prejudiciais, podendo ser imediatos ou de longo prazo. De efeito imediato, caracterizam-se como disparo indevido de relés, queima de fusíveis, mau funcionamento de controladores, entre outros. Já os de longo prazo, são caracterizados como aquecimento excessivo dos cabos, equipamentos, transformadores e máquinas rotativas; excesso de corrente no neutro, ruídos e vibrações. (LEÃO, SAMPAIO, ANTUNES, 2014).

Dentre os equipamentos que geram esses distúrbios estão os reatores para lâmpadas de descarga, fontes de computador, inversores de frequência, carregadores de bateria, retificadores de onda e as lâmpadas LED, uma alternativa desenvolvida para substituir as lâmpadas fluorescentes, devido a seu baixo consumo de energia e sua longa vida útil.

Nesse contexto, o trabalho a seguir apresenta a comparação da inserção de um conjunto de lâmpadas LED em um sistema de iluminação contendo lâmpadas fluorescentes, com o objetivo de analisar as influências das distorções harmônicas no fator de potência deste sistema de iluminação. Na próxima seção, são apresentados os conceitos teóricos básicos envolvidos neste trabalho. Na Seção 3, a metodologia dos ensaios é detalhada. Os resultados das medições são analisados na Seção 5. Por fim, na Seção 6 estão as conclusões obtidas com este trabalho.

2. Fundamentação Teórica

Com o rápido crescimento tecnológico, o uso da eletricidade aumentou em larga proporção quando comparado a década de 1980, onde as cargas eletrônicas se encontravam em grandes empresas. Analisando o mundo de hoje, fica evidente que há uma grande dependência da energia elétrica, seja na climatização de ambientes, na conservação de alimentos ou no conforto. Entretanto os equipamentos que proporcionam facilidades, necessitam de uma energia de qualidade para seu correto funcionamento e durabilidade.

Os problemas relacionados a má qualidade de energia elétrica (QEE) variam, podendo ir de simples aquecimentos até falhas catastróficas. A sensibilidade à QEE varia de aparelho para aparelho, sendo os mais sensíveis a esse problema os dispositivos eletrônicos. (SACRAMENTO, 2010).

Para que seja mantida a qualidade de energia em um nível que proporcione o bom funcionamento de equipamentos, são estabelecidos limites para os distúrbios que a afetam. Dentre os distúrbios mais comuns estão as distorções harmônicas.

Com origem na área da acústica a palavra harmônico, tem como significado múltiplo inteiro de um tom, assim como os múltiplos não inteiros são denominados sub ou sobretons. Na área da engenharia o termo mais utilizado para esta definição é harmônica. (LEÃO, SAMPAIO, ANTUNES, 2014). Como na acústica, as harmônicas na área da engenharia são definidas como um sinal que possui uma frequência múltipla inteira da frequência fundamental que a originou.

São classificadas de acordo com a sua frequência, sendo divididas em ordens. A ordem da harmônica significa quantas vezes a frequência fundamental é multiplicada. Assim, a harmônica de terceira ordem significa que a frequência fundamental, de 60 Hz no Brasil, é multiplicada por três, tornando sua frequência igual a 180 Hz. (GLODZIENSKI, MASCARI, PAZINATO, 2011, p. 21).

As distorções harmônicas são geradas por cargas não lineares quando conectadas a uma rede de corrente alternada (CA).

Essas cargas possuem componentes como diodos, tiristores e transistores, ou seja, são componentes que operam basicamente em dois estágios, um de bloqueio e outro de condução. (PROCOBRE, 2001).

Dentre as cargas mais comuns presentes em sistemas elétricos estão as lâmpadas, que dependendo da maneira que é feito seu acionamento acabam se tornando cargas não lineares.

Lâmpadas incandescentes são compostas apenas por um filamento de tungstênio que possui uma certa resistência, assim são consideradas uma carga linear e com um fator de potência unitário. Por outro lado, as lâmpadas fluorescentes e LED possuem dispositivos eletrônicos, ou seja, possuem componentes de alta frequência de chaveamento no acionamento fazendo com que se tornem cargas não-lineares e com fator de potência geralmente abaixo de 0,9, e tornando as formas de ondas distorcidas por harmônicas. (MORI, BANDELLI, 2014).

Com o avanço nos sistemas de iluminação, as lâmpadas LED surgem como substitutas para as lâmpadas fluorescentes, devido ao seu baixo consumo de energia e sua longa vida útil, entretanto esse tipo de lâmpada gera distorções harmônicas. Isso ocorre devido ao seu circuito interno possuir um retificador e um conversor CC-CC (de corrente contínua para corrente contínua), controlando assim a corrente de saída.

A fim de ter uma parâmetro de quantificação do nível de distorção harmônica existente em uma instalação, foram criados os indicadores de harmônicas. Os indicadores mais normalmente utilizados são a Taxa de Distorção Harmônica Total (THD) e Taxa de Distorção Harmônica Individual (THI), que representam a porcentagem do valor eficaz das componentes harmônicas de uma forma de onda distorcida. (DUNGAN et al., 2002).

A taxa de distorção harmônica individual pode ser calculada pela Equação (1):

$$THI = \frac{I_n}{I_1} \times 100 \quad (1)$$

Onde I_n é o valor RMS da componente harmônica que se deseja calcular e I_1 é o valor RMS da componente fundamental (FUCHS, MASOUM, 2008)

A taxa de distorção harmônica total é calculada pela Equação (2):

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n y_h^2}}{y_1} \quad (2)$$

Onde o sinal y_h representa o valor eficaz das harmônicas até a ordem n (até a 51ª ordem) e y_1 representa o valor eficaz da harmônica de ordem 1, ou seja, o valor eficaz da onda fundamental. (PROCOBRE, 2001)

Há ainda uma outra taxa segundo a Norma IEEE -519 (2014) que é a Taxa de Distorção da Demanda, que é expressa como uma porcentagem da corrente máxima demandada pela carga e é calculada pela Equação (3):

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n I_h^2}}{I_L} \quad (3)$$

Onde o sinal I_h é o valor RMS das componentes harmônicas até ordem n (normalmente até a 51ª ordem), e I_L representa o valor máximo da corrente da demanda da carga.

As distorções harmônicas causam diversos problemas nas instalações elétricas, como aquecimento demasiado do condutor neutro, disparo de proteções, ressonância em capacitores e afeta também o fator de potência da instalação.

Segundo Capelli (2013) o fator de potência é uma relação entre a potência aparente [kVA] e a potência ativa [kW]. Quanto mais próxima de 1 essa relação, melhor é o fator de potência da carga.

A potência aparente da carga é a real potência drenada por ela do sistema e a potência ativa é a parte da potência aparente que realiza trabalho.

Para a análise do Fator de Potência são considerados três casos para a corrente e a tensão. (POMILIO, 2006).

O caso 1, é o mais comumente usado para o cálculo de fator de potência, onde a tensão e a corrente são senoidais sem distorções. Assim ele é considerado o cosseno do ângulo entre a potência ativa e aparente, sendo calculado pela Equação (4):

$$FP = \cos(\phi) = \frac{P[W]}{S[VA]} \quad (4)$$

Segundo Pomilio (2006), o caso 2 é caracterizado quando a tensão é senoidal e a corrente é distorcida, neste caso o cálculo do fator de potência é realizado através da Equação (5):

$$Fp = \frac{\cos(\phi)}{\sqrt{1 + THD^2}} \quad (5)$$

Este é o caso mais comumente usado para se determinar o fator de potência na presença de distorções harmônicas. Fica assim evidente a relação entre o fator de potência e a distorção da corrente absorvida da linha, neste sentido são estabelecidas normas para limitar a quantidade máxima de harmônicas de corrente que podem ser injetadas na rede por um equipamento ou dispositivo.

O caso 3 é caracterizado por possuir corrente e tensão não senoidais, porém de mesma frequência. Neste caso, o cálculo do fator de potência é feito pela Equação (6):

$$Fp = \frac{P}{S} = \frac{\frac{1}{T} \int v_i(t) \cdot i_i(t) dt}{V_{RMS} \cdot I_{RMS}} \quad (6)$$

A Equação (6) é definida como a equação geral para o cálculo do fator de potência, uma vez que não leva em conta a forma de onda da corrente e tensão. Assim, para o cálculo do fator de potência dado pelo caso 3, é necessário obter o valor médio do produto dos sinais a fim de se analisar a potência ativa. Neste último caso, tanto a componente fundamental quanto as componentes harmônicas poderão produzir potência, desde que as componentes espectrais de corrente e tensão sejam as mesmas e que a defasagem entre as ondas não seja de 90 graus (POMILIO, 2006).

4. Metodologia

Na realizações das medições foi utilizado o registrador e medidor portátil SMART METER T da IMS, que consegue mensurar diversos fatores como: tensão, corrente, THD, fator de potência, harmônicas da 1ª a 41ª ordem, demanda, potência ativa, potência reativa e aparente, consumo e etc.

A parametrização do medidor pode ser feita de duas maneiras, a primeira se dá através de um computador com o software SMART ANALISADOR T instalado, através de porta serial; a segunda é feita através do display do equipamento, onde apresenta-se uma tela de cristal e 8 teclas de membrana como mostra a Figura 1:



Figura 1 – Display do analisador

De acordo com o manual do equipamento antes de iniciar as medições deve-se observar se certos quesitos estão sendo atendidos, tais como: a alimentação do equipamento deve ficar entre 70 e 300 VAC, os cabos de medição devem conter uma tensão de 50 a 500 VAC, instalações elétricas e aterramento em perfeitas condições.

O esquema de conexão dos pinos de tensão e dos sensores de corrente são mostrados nas Figuras 2 e 3.

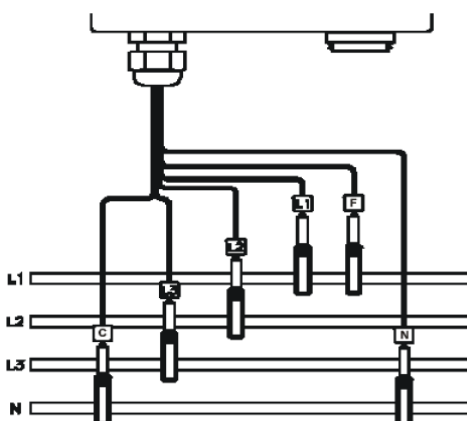


Figura 2 - Conexão do SMART METER T

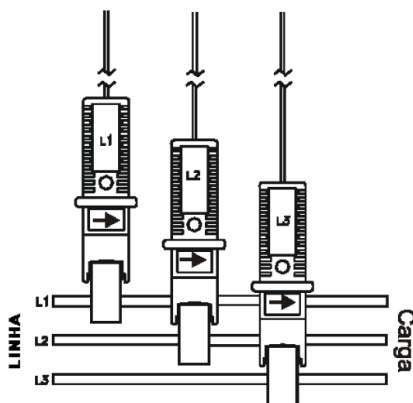


Figura 3 - Conexão dos sensores de corrente

Neste trabalho, o esquema de ligação a ser utilizado é o de medição monofásica, assim apenas o sensor de corrente com a anilha L1 será utilizado, bem como somente o conector identificado com a anilha L1. Os demais sensores de corrente deverão ficar abertos para evitar erros na medição, e os conectores identificados com as anilhas L2, L3 devem ser conectados no barramento neutro. Neste caso o conector que possui anilha F deve ser conectado na mesma fase que está conectado o conector com a anilha L1.

As configurações do aparelho para a realização das leituras foram: tempo de amostragem de 200ms, intervalo de registro de 5 segundos, memória circular, sensor de Corrente do tipo Rugowski (FLEX), número de Fases: 1F, número de TC's: 3TC's, porcentagem para variação de Tensão: 10%.

As cargas dos sistemas analisados têm entre 450 watts a 480 watts e foram feitas três leituras: uma somente com lâmpadas LED, uma somente com lâmpadas fluorescentes tubulares. Entretanto para a terceira medida devido a limitações do analisador, foi feito uma reprodução em escala menor de potência, 157W com a combinação dos dois tipos de lâmpadas. As medições foram efetuadas durante 15 minutos.

Foram utilizadas lâmpadas de 40W fluorescentes e de 20W LED para os dois primeiros ensaios. Já para o terceiro ensaio, as lâmpadas fluorescentes possuem 20W.

5. Resultado e Discussões

Através da metodologia anteriormente descrita foram obtidos os valores de THD de corrente e FP para os três casos da instalação. Os gráficos das análises foram plotados no software SMART ANALIZATOR T.

Para o primeiro caso, instalação somente com lâmpadas LED, com a tensão variando entre 128,5V e 129,8V, e corrente entre 4.33A e 4.47A, foram obtidos os seguintes valores de THD, apresentado na Figura 4.

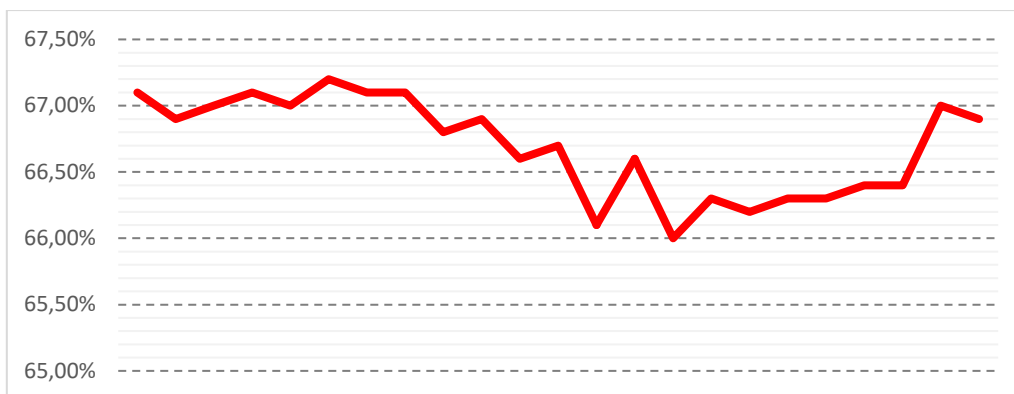


Figura 4 – THD de corrente ensaio 1.

Nesta análise o valor de THD variou entre 66% a 67,2% do valor da corrente fundamental. Para este mesmo ensaio foi obtido o fator de potência de 0,763 a 0,78, como mostrado na Figura 5.

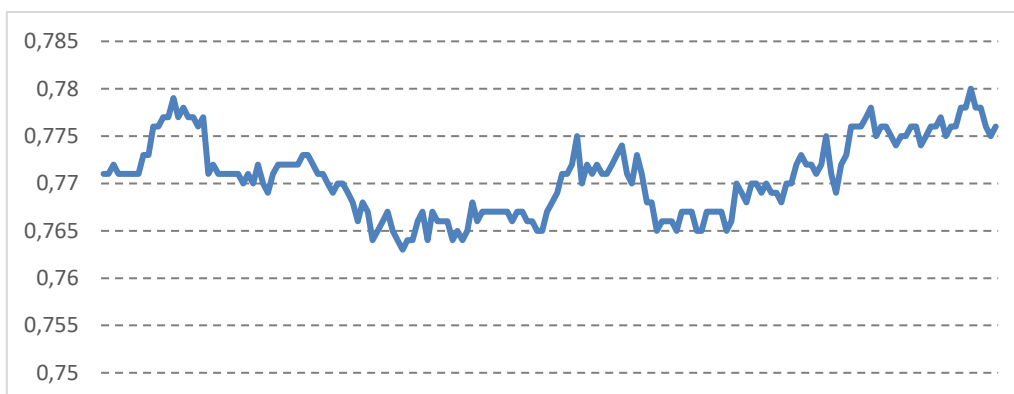


Figura 5 – Fator de potência ensaio 1.

Na segunda análise foram consideradas apenas as lâmpadas fluorescentes, somando um total de 450W instalados. Com a tensão variando entre 130.4V a 131.4V e corrente 3.47A e 4.56A foram obtidos os seguintes valores de THD, mostras na Figura 6.

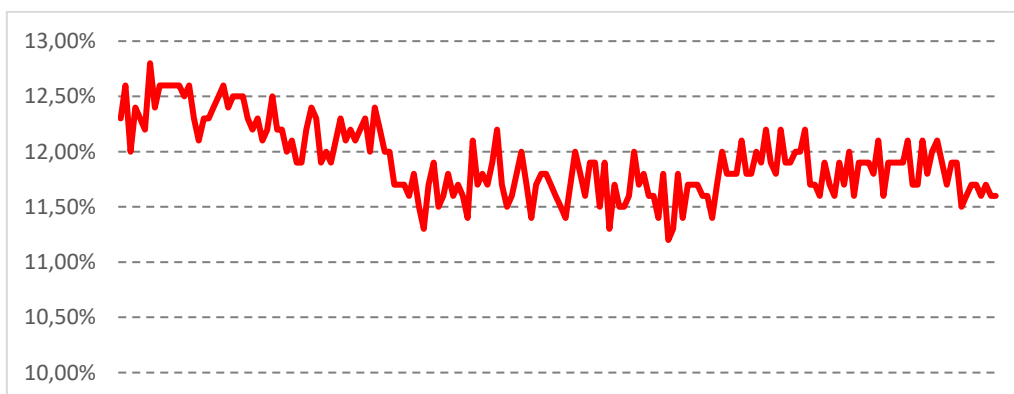


Figura 6 –THD de corrente ensaio 2.

Os valores neste ensaio variaram de 11,2 a 12,8%, mostrando-se bem inferiores aos valores obtidos no ensaio com lâmpadas LED.

O fator de potência obtido neste ensaio foi de 0,994 a 0,996, ficando a maior parte do tempo em 0,995 mostrado na Figura 7.



Figura 7 – Fator de potência ensaio 2.

Para a realização do ensaio 3, devido as lâmpadas não estarem na mesma fase, e devido a limitações do analisador, foi realizado o estudo em laboratório com potência reduzida de 157W, assim pode-se ligar as lâmpadas LED e Fluorescentes na mesma fase e observar o que ocorria com o fator de potência e THD de corrente da mesma, quando lâmpadas LED eram inseridas juntamente com as lâmpadas Fluorescentes.

Neste ensaio a tensão ficou entre 128.7V e 129.5V e a corrente entre 1.36A e 1.41A, o gráfico de THD é observado na Figura 8.

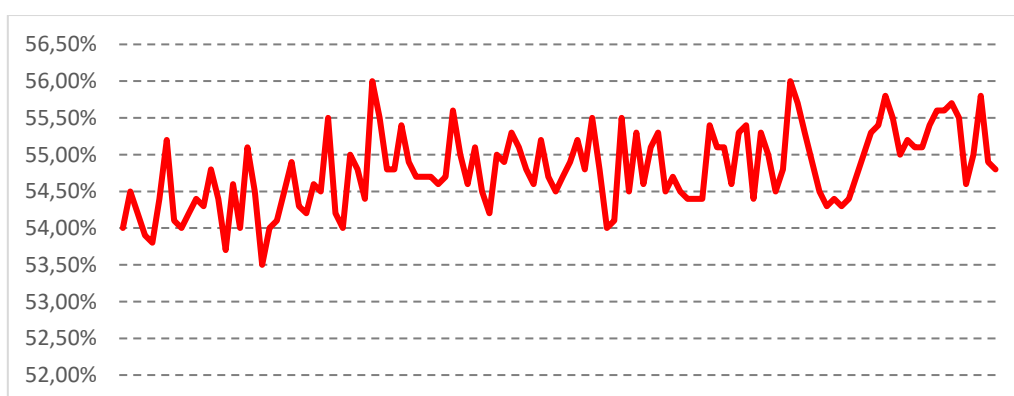


Figura 8 –THD de corrente ensaio 3.

Os valores da THD de corrente, neste ensaio variaram de 53,5% a 56%.

O fator de potência obtido neste ensaio foi de 0,849 a 0,858, como mostrado na Figura 9.

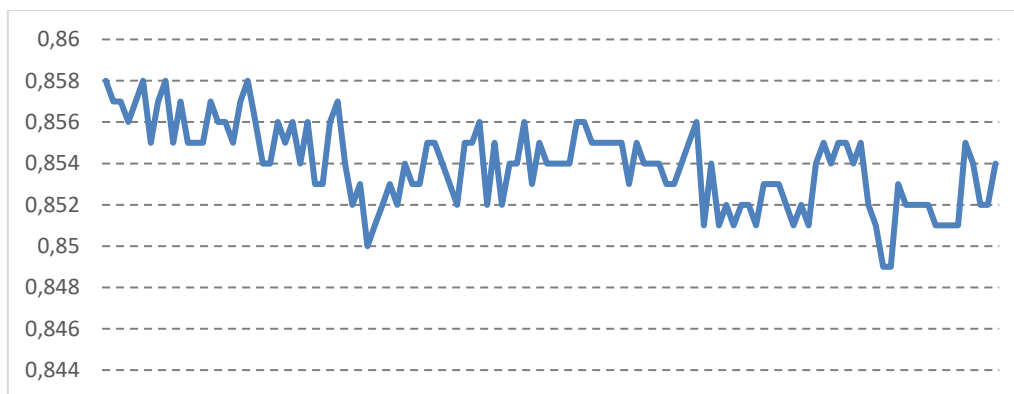


Figura 9 –Fator de potência ensaio 3.

6. Conclusão

Com este trabalho foi possível analisar como as distorções harmônicas exercem forte influência no fator de potência de uma instalação elétrica.

Nos ensaios 1 e 2 verificou-se o comportamento das instalações que contenham apenas um tipo de lâmpada, seja LED ou fluorescente. Devido ao tipo de acionamento destas lâmpadas, elas apresentam distorções harmônicas em suas formas de corrente.

O ensaio 1, apresentou um nível de harmônica muito elevado, influenciando o fator de potência, que ficou baixo.

No ensaio 2, devido ao elevado fator de potência do reator eletrônico que aciona a lâmpada, o valor de fator de potência ficou próximo da unidade, que é o ponto ótimo. A taxa de distorção harmônica total foi reduzida, causando menos problemas na instalação.

Com o ensaio 3, fica evidente como a influência das distorções harmônicas causadas pelas lâmpadas LED afetam o fator de potência da instalação.

Com este trabalho podemos concluir que devemos observar, além da economia e durabilidade, as características elétricas das lâmpadas, tais como níveis de distorções harmônicas geradas, para evitar problemas na instalação elétrica.

Referências

- DUNGAN, R.C.; McGRANAGHA, M.F.; SANTOSO, S.; BEATY, H.W.** *Electrical Power Systems Quality*. Vol. 2, 2002.
- FUCHS, E.F.; MASOUM, M.A.S.** *Power Quality in Power Systems and Electrical Machines*. ELSEVIER, 2008.
- GLODZIENSKI, G.; MASCARI, L.; PAZINATO, M.S.** *Fluxo harmônico em planta comercial na presença de grupo gerador*, Trabalho de conclusão de curso UTFPR - Curitiba, 2011.
- IEEE-519.** *Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. Std. IEEE, 2014.
- LEÃO, R.P.S; SAMPAIO, R.F; ANTUNES, F.L.M.** *Harmônicos em Sistemas Elétricos*. – 1 Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- MORI, C.K; BADELLI, D.C.** *Harmônicos em Sistemas Elétricos*. – Trabalho de conclusão de curso UTFPR – Curitiba, 2014.
- POMILIO, J.A.** *Fator de Potência e Distorção Harmônica*. Fascículo apresentado na revista O Setor Elétrico. Revista o Setor Elétrico, 2006.

PROCOPRE. *Manual de harmônicas nas instalações elétricas: causas, efeitos e soluções.* – Instituto Brasileiro do Cobre – São Paulo, 2001.

SACRAMENTO, R.N. *Estudo da qualidade de Energia elétrica de um Transformador Trifásico em um Sistema Elétrico Industrial.* Monografia Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2010.