

FATOR DE POTÊNCIA E DISTORÇÃO HARMÔNICA DE LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS

ANDRÉ JINNO GOMES PINTO¹, BRUNO RODRIGUES NUNES¹,
MANUELLA DE OLIVEIRA ANTUNES¹, RICARDO BARROSO LEITE^{*1}

¹Curso de Graduação em Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação/
UNICAMP

E-mail do autor correspondente: rleite@fee.unicamp.br

RESUMO: Usando medidas realizadas em laboratório com diversas lâmpadas fluorescentes compactas disponíveis no mercado, foram obtidos os sinais de corrente e tensão destes equipamentos. Com isso, foi possível determinar o fator de potência das lâmpadas usadas no ensaio, além de observar as componentes harmônicas que elas geram na linha. A seguir, estes dados foram usados para estimar o quanto se poderia economizar de energia caso as lâmpadas usadas tivessem seu fator de potência corrigido. Conclui-se que, caso o Brasil adotasse uma legislação que exigisse a correção do fator de potência pelos fabricantes, como já ocorre em outros países, poder-se-ia conseguir uma economia da ordem de 1,5% das perdas nas linhas.

PALAVRAS-CHAVE: lâmpada fluorescente compacta, fator de potência, economia de energia elétrica.

INTRODUÇÃO

Antes do Apagão energético no Brasil, em 2001, a iluminação de residências era feita com lâmpadas incandescentes (AKATU, 2006). Essas lâmpadas têm um rendimento baixíssimo, mas são usadas por serem vendidas por um preço bem mais baixo que as alternativas. Em 2001, com o racionamento de energia imposto pelo governo pelo aumento das tarifas e multas, muitas pessoas trocaram suas lâmpadas

incandescentes por fluorescentes, que têm rendimento muito superior às primeiras e, em especial, as lâmpadas fluorescentes compactas, que podem ser utilizadas nos mesmos soquetes das incandescentes (FUCHS, 2006). O governo criou, à época, diversos incentivos para a produção dessas lâmpadas, que eram importadas (RODRIGUES, 2001). Hoje, 70% da iluminação artificial no mundo é feita com lâmpadas fluorescentes (AKATU, 2006) e, no Brasil, um

quarto das lâmpadas vendidas no mercado são fluorescentes compactas (FUCHS, 2006).

Apesar do baixo consumo de potência ativa, porém, estas lâmpadas, apresentam dois problemas. O primeiro deles aparece no descarte, porque elas contêm mercúrio, além de outros metais pesados e, por isso, se não forem descartadas corretamente, podem causar danos ao meio ambiente e às pessoas que são expostas a esses resíduos (AKATU, 2006). O outro, que é tratado neste trabalho, é o baixo fator de potência e a alta distorção harmônica desses dispositivos, que aumentam as perdas de energia nas linhas e nos transformadores da rede elétrica (POMÍLIO, 1997).

a) Definição do Fator de Potência

Na Figura 1, é mostrado um esquema de um equipamento ligado a uma fonte de tensão. O sinal da fonte de tensão é representado por $v(t)$ e a corrente do equipamento por $i(t)$. O fator de potência do equipamento é definido como: (POMÍLIO, 1997)

$$FP = \frac{\frac{1}{T} \int i(t)v(t)dt}{I_{RMS}V_{RMS}}, \quad (1)$$

em que FP é o fator de potência, T o período do sinal, $I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int i(t)^2 dt}$ e $V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int v(t)^2 dt}$.

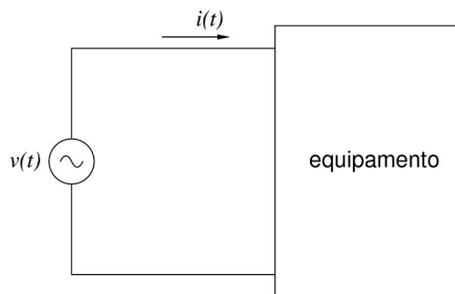


Figura 1. Esquema de um equipamento ligado a uma fonte de tensão variável.

Aquí, os equipamentos analisados são as lâmpadas fluorescentes compactas usadas no ensaio. As lâmpadas fluorescentes requerem um reator – eletrônico, no caso das compactas – para o seu acionamento e limitação da corrente. O comportamento deste tipo de lâmpada é fortemente não linear e, por isso, o fator de potência destes equipamentos é muito baixo e sua corrente apresenta muitas componentes harmônicas com alta energia, como será mostrado na próxima seção.

b) Perdas nas linhas de transmissão e o fator de potência

As linhas de transmissão de energia elétrica são guias de ondas e, como os condutores de que são constituídas não são ideais, elas apresentam perdas ôhmicas devido à corrente induzida pelo campo magnético da onda sendo transmitida. Essas perdas são proporcionais ao quadrado da

corrente RMS (*root mean square* ou valor eficaz) na linha, como nos resistores. Quando comparadas duas cargas com mesma potência ativa mas com fator de potência diferente, a corrente RMS da carga com menor fator de potência será maior. Por isso, as perdas nas linhas de transmissão são maiores no caso de cargas com baixo fator de potência, sendo que o ideal é que a carga tenha fator de potência unitário, já que neste caso a perda seria a menor possível (POMÍLIO, 1997).

Tipicamente, a carga de residências tem fator de potência próximo de 1, enquanto que cargas de indústrias têm fator de potência bem mais baixo. No Brasil, as indústrias são obrigadas a corrigir o fator de potência no estabelecimento, sendo que o mínimo permitido é de 0,92. No caso de residências, a potência reativa não é cobrada, de forma que não há nenhum incentivo para que haja a correção do fator de potência de cargas residenciais. No que diz respeito às lâmpadas fluorescentes, no Brasil, o Inmetro determina que apenas reatores de mais de 56W precisam ter correção de fator de potência (INMETRO, 2004), mas as lâmpadas fluorescentes compactas estão isentas desta certificação. Neste trabalho, é mostrado que também as lâmpadas fluorescentes compactas, que têm potência inferior a 56W e cujos reatores eletrônicos não podem ser separados sem danificá-las, necessitam ter o fator de potência corrigido. Em muitos países, os fabricantes

desses equipamentos já são obrigados a vender apenas lâmpadas compactas com reatores que tenham correção do fator de potência.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram medidos os sinais de corrente e tensão para diversas lâmpadas disponíveis no mercado. Os materiais usados para realizar as medidas foram

1. um osciloscópio digital;
2. um soquete para lâmpada;
3. um resistor linear de 5Ω ;
4. um transformador 110V—110V;
5. um transformador 110V—220V;
6. sete lâmpadas fluorescentes compactas, cujas especificações são mostradas na Tabela 1.



Figura 2: Modelo de lâmpada fluorescente utilizado nos experimentos.

Tabela 1. Dados nominais das lâmpadas usadas no ensaio.

	tensão (V)	corrente (mA)	potência (W)
A	127	400,0	25
B	127	370,0	23
C	127	190,0	13
D	127	235,0	15
E	127	275,0	20
F	127	190,1	15
G	220	95,0	12

A Figura 3 mostra a montagem usada nos ensaios realizados. Para os ensaios das lâmpadas de A a F, foi usado o transformador de 110V—110V. Para a lâmpada G, foi usado o transformador 110V—220V.

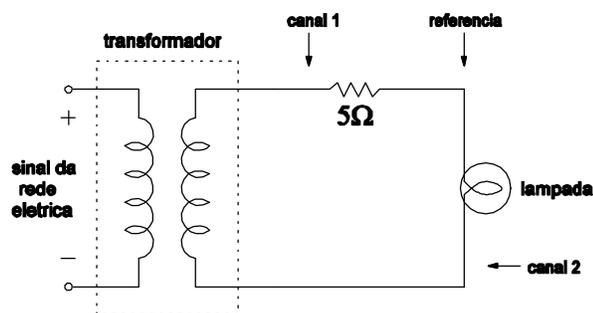


Figura 3. Esquema da montagem feita para a realização dos ensaios.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Usando a montagem da Figura 3, foram

medidos os sinais de tensão e corrente sobre as lâmpadas da Tabela 1. Para ilustrar a forma da corrente deste tipo de equipamento, são mostrados na Figura 4 os gráficos de corrente e tensão medidos no osciloscópio sobre a lâmpada E. Os sinais de tensão e corrente das outras lâmpadas são visualmente muito semelhantes.

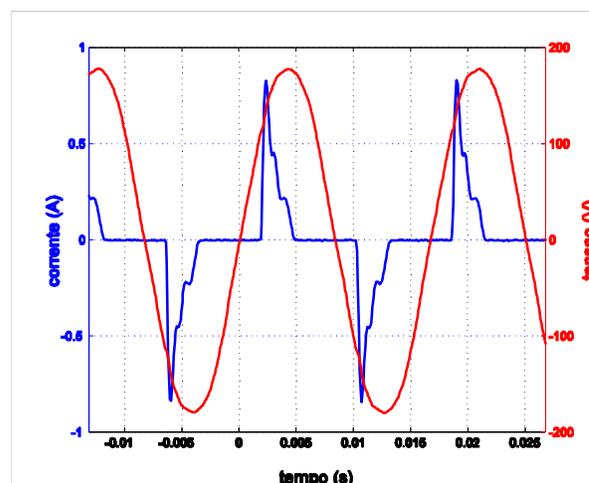


Figura 4. Gráficos de tensão e corrente da lâmpada E.

Usando os dados obtidos com o osciloscópio, é possível calcular o fator de potência das lâmpadas em questão usando a equação (1). Com isso, foram obtidos os dados da Tabela 2.

Tabela 2. Dados do ensaio com as lâmpadas.

	tensão RMS (V)	corrente RMS(A)	fator de potência
A	130,2	0,3560	0,4768
B	130,7	0,3660	0,5042
C	127,9	0,1804	0,6006

D	127,7	0,1512	0,5469
E	126,8	0,2200	0,5744
F	127,6	0,1931	0,5495
G	243,3	0,0976	0,5028

Da Tabela 1, pôde-se calcular o fator de potência médio da amostra utilizada,

$$\overline{FP} = 0,5365 \pm 0,0439.$$

a) Estimativa das perdas

A seguir calcula-se qual seria a diminuição percentual das perdas na transmissão de energia elétrica caso o fator de potência das lâmpadas fluorescentes compactas fosse corrigido. Para isso, considera-se P a potência ativa da carga de lâmpadas fluorescentes compactas, cujo fator de potência é \overline{FP} . De (1), a corrente RMS neste caso será dada por

$$I_{RMS} = \frac{P}{V_{RMS} \overline{FP}} \quad (2)$$

Se o fator de potência da carga for corrigido, tem-se $\overline{FP} = 1$ e, portanto, a corrente RMS será

$$I_{RMS}^{corrigido} = \frac{P}{V_{RMS}} \quad (3)$$

Dividindo (3) por (2), tem-se

$$\frac{I_{RMS}^{corrigido}}{I_{RMS}} = \overline{FP} \quad (4)$$

Como já foi mencionado na Introdução, as

perdas ôhmicas na linha são proporcionais ao quadrado da corrente RMS. Portanto, a razão r entre as perdas após a correção do fator de potência e antes desta correção será, da equação (4),

$$r = \left(\frac{I_{RMS}^{corrigido}}{I_{RMS}} \right)^2 = (\overline{FP})^2 \quad (5)$$

No Brasil, em 2006 o consumo total de energia elétrica foi de 390 TWh e o consumo residencial foi de 85,8 TWh (EPE, 2007). Portanto, a fração da energia consumida em residências é $f_{res} = 0,22$. Sabe-se ainda que a iluminação responde por cerca de 20% do consumo de uma residência (CAPE, 2001) e que 50% da iluminação das residências é feita com lâmpadas fluorescentes (PORTAL, 2008). Com isso, obtém-se a fração da energia total consumida que é devida às lâmpadas fluorescentes compactas, a saber,

$$f_{LFC} = f_{res} \times 0,20 \times 0,50 = 0,022,$$

ou seja, cerca de 2,2% de toda a carga é de lâmpadas fluorescentes e, portanto, opera com o baixo fator de potência calculado, $\overline{FP} = 0,5365$. A fração das perdas totais na transmissão que poderia ser reduzida com a correção do fator de potência das lâmpadas fluorescentes compactas é dada por

$$f = (1-r)f_{LFC} \quad (6)$$

o que resulta em

$$f = 0,7122 \times 0,022 = 0,0157.$$

Conclui-se, portanto, que a correção do fator de potência poderia reduzir as perdas totais na linha em 1,57%.

b) Análise Espectral

A Figura 5 mostra o espectro da corrente obtido com a operação DFT (*Discrete Fourier Transform* – Transformada Discreta de Fourier). Pode-se observar a presença de muitas harmônicas (componentes em frequências múltiplas à frequência fundamental). Este resultado era esperado da observação do sinal no tempo, que possui pontos de descontinuidade bem pronunciados, como pode ser visto no sinal de corrente na Figura 4. Em particular, entre a terceira harmônica ($f_3 = 180\text{Hz}$) e a frequência fundamental ($f_1 = 60\text{Hz}$) existe uma diferença de aproximadamente 1,1424 dB (87,68%), que é uma fração muito alta. (Como comparação, as lâmpadas incandescentes, que se comportam basicamente como resistores não lineares, não apresentam nenhuma harmônica além da fundamental, ou seja, esta relação é de 0%.) A presença dessas harmônicas na corrente em um sistema residencial pode afetar equipamentos mais sensíveis a variações em frequência, como os que utilizam osciladores a cristal (computadores), além de ser responsável pelo aumento das perdas nos transformadores da rede elétrica.

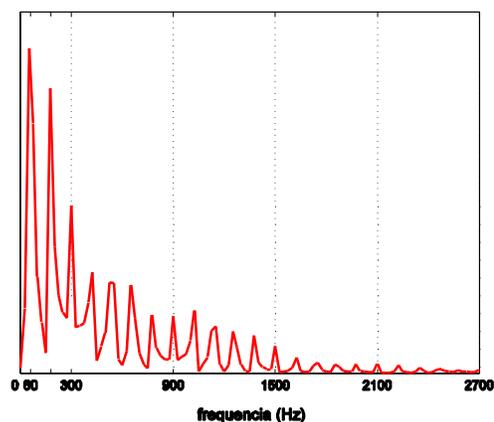


Figura 5. Espectro da corrente na lâmpada E.

CONCLUSÃO

Com este trabalho, obtiveram-se medidas do fator de potência e das componentes harmônicas das lâmpadas fluorescentes compactas que, por não estarem sujeitas à regulamentação do INMETRO, apresentam desempenho extremamente ruim nestes aspectos. Com isso, estimou-se que aproximadamente 1,5% das perdas nas linhas poderiam ser eliminadas caso a lei brasileira obrigasse os fabricantes dessas lâmpadas a incluir a correção do fator de potência em seus produtos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao prof. José Antenor Pomílio por nos ter autorizado a usar o laboratório da FEEC para a realização dos ensaios deste trabalho.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RODRIGUES, K. e Silva, L. W. Lâmpadas do apagão podem causar danos à saúde, Folha de S. Paulo, Junho/2001, Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u31341.shtml>>

FUCHS K. Capa Fluorescentes - A Revanche, Revista Lumière, Edição: Junho/2006, Disponível em: <http://www.abilumi.org.br/abilumi/index.php?option=com_content&task=view&id=37&Itemid=34>

Instituto AKATU, Frias ou quentes? Lâmpada fluorescente consome menos energia, mas por outro lado contém metais pesados., Julho/2006, Disponível em: <<http://www.akatu.org.br/central/noticias/2006/07/1515/>>

POMILIO, J. A. Harmônicos e Fator de Potência: um Curso de Extensão, Publicação FEEC 05/97, Revisão Janeiro de 1997, Disponível em: <http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/harm_o.html>

INMETRO. Portaria nº 188, de 09 de novembro de 2004.

PORTAL do Consumidor, Usar lâmpadas fluorescentes é uma decisão em prol do planeta, Janeiro/2008, Disponível em: <<http://www.portaldoconsumidor.gov.br/noticia.asp?busca=sim&id=9708>>

EPE, Empresa de Pesquisa Energética, Ministério de Minas e Energia, Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>

CATE, Centro de Aplicação de Tecnologias Eficientes, Setor Residencial: Dicas de Economia de Energia, Março/2001, Disponível em: <http://www.cate.cepel.br/setatuac/residenc/dicas_res.htm>