



VI SBQEE

21 a 24 de agosto de 2005
Belém – Pará – Brasil



Código: BEL 01 7730
Tópico: Análise, Diagnóstico e Soluções

AVALIAÇÃO ECONÔMICA E DE SUPORTABILIDADE A CHAVEAMENTOS QUANDO DA SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS INCANDESCENTES POR FLUORESCENTES COMPACTAS

MILTON ITSUO SAMESIMA

UFU

JOSÉ WILSON RESENDE

UFU

GABRIEL MARQUES V. PEREIRA

UFU

RESUMO

Este trabalho apresenta resultados de investigações desenvolvidas com lâmpadas fluorescentes compactas (LFCs) relativamente aos níveis de suportabilidade a chaveamentos. O artigo também analisa a viabilidade econômica da substituição de uma lâmpada incandescente (LI) por uma LFC equivalente em termos de rendimento luminoso.

PALAVRAS-CHAVE

Lâmpada fluorescente compacta, chaveamentos, suportabilidade, avaliação econômica.

1.0 INTRODUÇÃO

A substituição das lâmpadas incandescentes (LIs) pelas lâmpadas fluorescentes compactas (LFCs), tem gerado alguns questionamentos, como: geração de elevado nível de distorção harmônica de corrente, baixo fator de potência, aumento de perdas joulicas, etc. Adicionalmente a esses fatores, torna-se interessante também avaliar o comportamento relativo à suportabilidade das lâmpadas quando submetidas a diferentes tipos de chaveamento. Por outro lado, devido aos altos custos iniciais de uma LFC frente à LI, os consumidores questionam quanto à aquisição de uma LFC. Isto é, o fato dela causar uma economia de kWh em suas contas de energia, ainda não é assimilado por uma grande maioria de consumidores. Assim,

nos itens a seguir são apresentados desenvolvimentos que possam

esclarecer de maneira mais detalhada e responder a estas questões.

2.0 SUPORTABILIDADE A CHAVEAMENTOS

Neste artigo analisou-se LFCs de quatro das maiores marcas vendidas no Brasil, denominadas por fabricantes F1, F2, F3 e F4.

Visando esta análise e, tendo-se verificado que o processo de resfriamento e aquecimento da LFC é um fator preponderante nos instantes das operações liga/desliga e, conseqüentemente na vida útil da lâmpada, realizou-se um estudo para avaliar o comportamento térmico das LFCs. Neste sentido, foram obtidas curvas de aquecimento e resfriamento das LFCs utilizando um termômetro a laser.

Após a verificação do tempo necessário para uma LFC se aquecer e resfriar completamente (15 a 20 min para aquecer e também 15 a 20 min para resfriar) estabeleceu-se três ciclos de chaveamento que visaram atender às condições mais críticas de operação bem como às condições que mais se aproximassem de uma operação real de chaveamento, a saber:

- Ciclo 1: LFCs energizadas durante 1 minuto e desenergizadas durante 1 minuto;
- Ciclo 2: LFCs energizadas durante 20 minutos e desenergizadas durante 5 minutos;
- Ciclo 3: LFCs energizadas durante 20 minutos e desenergizadas durante 20 minutos.

Para os três ciclos de chaveamento, foram analisadas três lâmpadas de cada potência e tensão por fabricante, totalizando 144 LFCs ensaiadas.

Salienta-se que os resultados para o primeiro ciclo já foram apresentados conforme referência [1], no entanto, estão sendo novamente aqui apresentados para efeitos de comparação com os resultados obtidos posteriormente à publicação de [1], nos dois ciclos complementares adotados.

Os ensaios para estabelecer a suportabilidade das LFCs aos três ciclos de operações consistiu-se na energização e deserenergização das lâmpadas, de acordo com os tempos de cada ciclo. Em seguida, o ciclo foi repetido inúmeras vezes, até que todas as LFC's não mais apresentassem operações satisfatórias.

Em cada um dos 3 ciclos ensaiados, foram obtidos os números de acionamentos médios que as lâmpadas suportaram, de acordo com:

- Fabricantes (F1, F2, F3 e F4);
- Tensões nominais (220V e 127V);
- Potências (15W e 20W);

As figuras 1 e 2 mostram um panorama da bancada onde foram feitos os testes para análise da suportabilidade a chaveamentos, no início (figura 1) e na fase final de ensaios (figura 2) de um dos 3 três ciclos.



Figura 1 – Bancada para os ensaios (início dos testes)



Figura 2 – Bancada para os ensaios (fase final dos testes)

2.1 Resultados

Para fins de análise dos resultados, cada modelo de LFC (e para cada fabricante) foi representado por uma suportabilidade *média* entre as amostras de 3 lâmpadas. Isso foi feito no intuito de não incluir nas análises um eventual defeito de fabricação de uma lâmpada ou algum caso excepcionalmente irreal. Os resultados destas médias entre 3 LFC's de cada fabricante para os três ciclos de chaveamentos adotados estão indicados nas tabelas 1, 2 e 3, a seguir. Visando-se estabelecer uma base de comparação entre os fabricantes, a última linha destas tabelas apresenta uma *média* das suportabilidades a chaveamentos por modelo de cada fabricante e a última coluna, a *média* das suportabilidades chaveamentos do ciclo correspondente.

TABELA 1 – Médias das suportabilidades a chaveamentos (ciclo 1)

Fabric.	15 W		20 W		Média de suportabilidade do ciclo
	127V	220V	127V	220V	
F1	7.427	11.400	5.919	15.385	
F2	6.914	7.992	10.469	8.077	
F3	11.508	10.533	8.990	5.128	
F4	5.522	8.707	7.281	7.481	
Média de suportabilidade de cada modelo	7.843	9.658	8.165	9.018	8671

TABELA 2 – Médias das suportabilidades a chaveamentos (ciclo 2)

Fabric.	15 W		20 W		Média de suportabilidade do ciclo
	127V	220V	127V	220V	
F1	6470	7469	5107	8717	
F2	8621	3495	8775	7043	
F3	8198	7123	3323	3691	
F4	4666	8448	7373	6163	
Média de suportabilidade de cada modelo	6989	6634	6145	6404	6543

TABELA 3 – Médias das suportabilidades a chaveamentos (ciclo 3)

Fabric.	15 W		20 W		Média de suportabilidade do ciclo
	127V	220V	127V	220V	
F1	3564	5808	3787	6156	
F2	5496	3864	4560	4956	
F3	6156	5808	5808	5208	
F4	2172	5136	5544	4416	

Média de suportabilidade de cada modelo	4347	5154	4925	5184	4902
-----------------------------------------	------	------	------	------	-------------

Os resultados apresentados nas 3 tabelas mostram que, para o ciclo 3 (LFCs energizadas durante 20 minutos e desenergizadas durante 20 minutos), o qual representa, na prática, a hipótese em que a LFC são reenergizadas apenas quando elas retornam à temperatura ambiente, a vida útil das LFCs decresce muito. A figura 3, relativa à *média* de suportabilidade a chaveamentos para cada ciclo, também ilustra esta constatação.

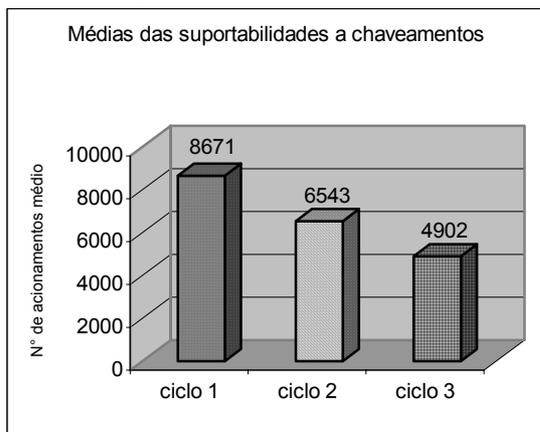


Figura 3 – Média das suportabilidades a chaveamentos

3.0 SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADA INCANDESCENTE POR FLUORESCENTE COMPACTA EQUIVALENTE

Nesta seção pretende-se analisar, economicamente, a viabilidade da substituição de uma LI por uma LFC. Tendo em vista o alto custo inicial de uma LFC frente à LI, muito se questiona quanto à aquisição de uma LFC simplesmente devido ao fato de ela causar uma economia de kWh.

Nessa análise foram consideradas “equivalentes” a LI e a LFC que proporcionarem o mesmo fluxo luminoso para o usuário residencial. Assim, de acordo com os ensaios realizados nesta pesquisa a equivalência luminosa entre uma LI e uma LFC é tal que:

1 lâmpada incandescente (LI) de 100 watts equivale a 1 lâmpada fluorescente compacta de 20W.

Desta forma, o estudo será centrado na substituição de uma lâmpada incandescente (LI) de 100W/127V por uma lâmpada fluorescente compacta (LFC) equivalente de 20W/127V. Nestas condições, a figura 4 expressa, genericamente, os comportamentos dos custos

(fixo + variável) que um consumidor terá, devido ao uso de uma LI ou uma LFC ao longo do tempo. A figura 4 indica que, apesar de uma LFC possuir um custo inicial alto (que aqui será denominado de *custo fixo*), após um determinado tempo a LFC se paga e, a partir daí, poderá causar uma economia na conta de energia elétrica do consumidor.

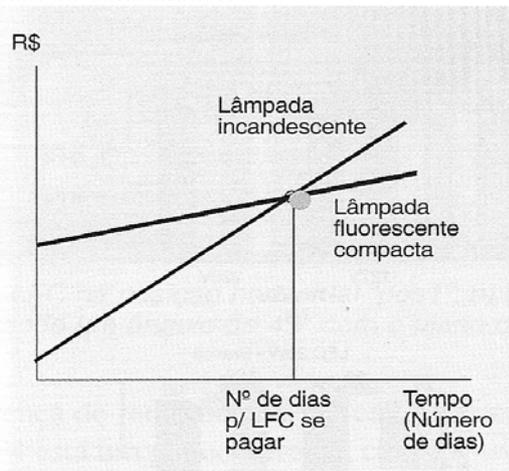


Figura 4: Comportamento do custo de uma LI e uma LFC ao longo do tempo de vida útil das mesmas

O número de dias requeridos para uma LFC se pagar depende dos seguintes fatores:

- Custo fixo da LFC e da LI,
- Custo variável. Os fatores que influenciam no custo variável são: vida útil das LI e LFC, número diário de horas de utilização das lâmpadas, o custo do kWh e potência das lâmpadas.

Tais fatores podem ser representados matematicamente pela seguinte equação linear:

$$CT = CF + CV = CF + P.Nh.Ce.Nd \quad (1)$$

Onde:

- CT : custo total da lâmpada e da energia gasta por ela, ao longo de um período de avaliação em [R\$];
- CF : custo fixo da lâmpada em [R\$];
- CV : custo variável, devido ao consumo de energia em [R\$];
- P : potência nominal da lâmpada em [kW];
- Nh : número de horas por dia que a lâmpada permanece ligada [h/dia];
- Ce : custo da energia [R\$/kW.h];
- Nd : número de dias requeridos para a lâmpada se pagar.

Outro aspecto importante que este trabalho analisa refere-se à determinação do ponto de cruzamento das duas retas ilustradas na figura 4.

Este ponto indica o “número de dias necessários para a LFC se pagar”.

Para determinação deste ponto, a equação (1), genérica para as duas retas, deverá ser escrita para os dois tipos de lâmpadas (LI e LFC). Em seguida, as duas expressões devem ser igualadas e solucionadas para a variável Nd (número de dias para a LFC se pagar). Isto está mostrado a seguir:

$$C_{LFC} + P_{LFC} \cdot Nh \cdot Ce \cdot Nd = C_{LI} + P_{LI} \cdot Nh \cdot Ce \cdot Nd$$

Extraindo-se “ Nd ”:

$$Nd = \left(\frac{C_{LFC} - C_{LI}}{Nh \cdot C_e (P_{LFC} - P_{LI})} \right) \quad (2)$$

Onde:

- C_{LFC} : custo da LFC, em R\$.
- C_{LI} : custo da LI, em R\$.
- P_{LI} : Potência da LI [kW]
- P_{LFC} : Potência da LFC [kW].

3.1 Estudos de caso

3.1.1 Custo de uma lâmpada ao longo de sua vida útil

A seguir a equação (1) será aplicada para o caso em que se deseja substituir uma lâmpada incandescente de 100W por uma LFC de 20W, ambas na tensão de 127V.

Um fator importante na análise será o conhecimento da vida útil da LFC. Isso porque os cálculos de viabilidade econômica não terão sentido prático caso a LFC se danifique muito precocemente (o que pode acontecer se ela for submetida ao processo *liga/desliga* em condições desfavoráveis, como o ciclo 3).

Nesta análise serão consideradas condições de uso semelhantes àquelas da iluminação de um quarto ou sala de uma residência. Será também assumido que o consumidor utilizará a iluminação artificial entre as 18h e 23h e que, em média, a lâmpada será ligada por um período de 20 minutos e, em seguida, desliga-se por outros 20 minutos, e assim sucessivamente. Isto é, serão consideradas as condições do ciclo 3. Esta condição significa que o ciclo liga/desliga da iluminação é de 40 minutos. Logo, no intervalo entre as 18h e as 23h, a LFC permanecerá 2h30m ligada e 2h30m desligada. Ou seja, o número de horas/dia (Nh) que a lâmpada permanece ligada é de 2,5h/dia.

De acordo com a seção 2.0, para o ciclo 3 (20 minutos LIGADAS E 20 minutos DESLIGADAS), em média, as LFC's suportarão 4.925 ciclos.

Cabe aqui salientar que a vida útil da LFC de acordo com o ciclo de operação 20 minutos

LIGADA e 20 minutos DESLIGADA ora ilustrado, é bem inferior ao informado normalmente pelos fabricantes (8.000 a 10.000 horas). Esta média fornecida pelos fabricantes é válida apenas para LFC's energizadas por um período contínuo de 3 horas diárias.

Nas condições de operação do ciclo 3 (20min x 20min), entre as 18h e às 23h (o que significa 300 minutos) a LFC cumprirá 7,5 ciclos/dia (do tipo “ciclo 3”), conforme abaixo indicado:

$$300 \text{ min} / (20 \text{ min} + 20 \text{ min}) = 7,5 \text{ ciclos/dia.}$$

Considerando que, neste regime, a LFC dura, em média, 4.925 ciclos, então o número de dias (Nd) de vida útil desta LFC é de:

$$4.925 [\text{ciclos}] / 7,5 [\text{ciclos/dia}] = 656,6 \text{ dias.}$$

Com relação à vida útil de uma lâmpada incandescente, embora isso não tenha sido investigado na presente pesquisa, os fabricantes indicam entre 1.000 e 2.000 horas. Por outro lado, esta vida útil não é muito afetada pela maneira com que a LI é acionada. Logo, para a LI também será assumido a vida útil de 656,6 dias, pois isso significará 656,6 dias x 2,5h/dia = 1.641 horas (que está entre as 1.000/2.000 horas acima mencionadas).

Outros dados necessários:

- O custo do kWh (C_e) será assumido como sendo de R\$ 0,50.
- O custo da LFC de 20W (CF) será assumido como sendo de R\$ 15,00, enquanto que o da LI de 100W será de R\$ 1,50.

Finalmente, a equação (1) poderá ser aplicada. Para a LFC de 20 W ($P = 0,020$ kW) e para a Lâmpada incandescente de 100 W ($P = 0,100$ kW):

$$CT = CF + CV = CF + P \cdot Nh \cdot Ce \cdot Nd$$

I) Custo total para a LFC de 20W:

$$CT = R\$ 15,00 + 0,020[\text{kW}] \cdot 2,5[\text{h/dia}] \cdot R\$0,50/[\text{kW.h}] \cdot 656,6[\text{dias}] = R\$ 31,41$$

II) Custo total para a LI de 100W:

$$CT = R\$ 1,50 + 0,100[\text{kW}] \cdot 2,5[\text{h/dia}] \cdot R\$0,50/[\text{kW.h}] \cdot 656,6[\text{dias}] = R\$ 83,58$$

Resumindo os resultados obtidos:

- Consumo da LFC em kW = 0,02kW.2,5h/dia . 656,6 dias = 32,83 kWh;
- Consumo da LI em kW = 0,10kW . 2,5h/dia . 656,6 dias = 164,15 kWh;

- Economia de energia comparando-se a LI e a LFC = 131,32 kWh;
- Lucro líquido pela substituição da LI pela LFC = R\$52,17.

Este valor é 47,8% maior do que o capital inicialmente aplicado na aquisição da LFC (R\$15,00).

Esta vantagem seria maior caso o consumidor tivesse o hábito de manter, em sua residência, as lâmpadas acessas por mais tempo do que as 2,5 horas diárias estimadas para este estudo.

3.1.2 Cálculo do número de dias gastos para uma LFC se pagar:

A expressão (2) desenvolvida neste trabalho para a determinação de "Nd", será agora aplicada para o caso em que se deseja determinar o número de dias necessários para a LFC de 20W se pagar, após ter sido instalada no lugar da LI de 100W, nas mesmas condições do estudo de caso do item 3.1.1.

Assim, inserindo-se os valores numéricos na equação (2), tem-se que:

$$Nd = \left(\frac{15,00 - 1,50}{2,5 \times 0,50(0,10 - 0,02)} \right) = 135 \text{ dias}$$

Repetindo o estudo acima para substituição de uma LI de 60W (de custo R\$ 1,00) por uma LFC de 15W (de custo R\$11,00), o número de dias necessário para a LFC de 15W se pagar será de 178 dias.

Ainda para a hipótese da troca de uma LI de 100W por uma LFC de 20W, considerando que a vida útil da LFC é de 656,6 dias, então ter-se-ão 521,6 dias de uso (656,6-135) em fase de economia. Ou seja, se nestes 521,6 dias fosse usada a LI de 100W, o consumo seria bem maior. Assim sendo, a diferença economizada (DIF) em R\$ pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$DIF = Nd_{restantes} \times Nh(P_{LI} - P_{LFC}) \quad (3)$$

Onde:

$Nd_{restantes}$: Número de dias de uso em fase de economia [dias].

Aplicando a equação (3) para o caso ora em análise (LI de 100W x LFC de 20W), tem-se:

$$DIF = 521,6 \times 2,5 \times (0,10 - 0,02) = R\$104,32$$

3.2 Conclusões

Diante dos resultados apresentados, pode-se concluir que:

- A substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas pela LFC é viável, economicamente, para o consumidor.
- Embora o custo inicial da LI seja menor do que a da LFC, ao longo dos meses esta economia é diluída rapidamente, pois o consumo da energia pela LFC é menor do que o da LI;
- A vida útil da LFC de acordo com o ciclo 3 de operação (20 minutos LIGADAS x 20 minutos DESLIGADAS) apresentado, é bem inferior ao informado normalmente pelos fabricantes (8.000 a 10.000 horas) de lâmpadas fluorescentes compactas porém é bem mais próxima da realidade.

4.0 CONCLUSÕES GERAIS

Neste artigo foram apresentados resultados de investigações desenvolvidas com lâmpadas fluorescentes compactas (LFCs), relativamente aos níveis de suportabilidade a três tipos de chaveamentos. Foram analisadas LFC's de quatro das maiores marcas comercializadas no Brasil.

Os resultados apresentados mostram que, para o ciclo 3 (LFCs energizadas durante 20 minutos e desenergizadas durante 20 minutos), o qual representa, na prática, a hipótese em que a LFC são reenergizadas apenas quando elas retornam à temperatura ambiente, a vida útil das LFCs decresce muito.

Foi também apresentado um estudo que analisa a viabilidade de substituição de Lis por LFCs e este estudo mostrou que a substituição é economicamente viável.

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Resende, J.W., Samesima, M.I, Ribeiro, G. C., Petean, D., Penna, C. – " Avaliação das características elétricas, de iluminação e de suportabilidade a chaveamentos de lâmpadas fluorescentes compactas" – V SBQEE 2003 – Aracajú –SE – Volume I , pp. 7 – 12.

[2] Petean, D. – " Avaliação técnica e econômica de lâmpadas fluorescentes compactas" – Dissertação de mestrado UFU/2003.

