



**GRUPO XIII
GRUPO DE ESTUDO DE INTERFERÊNCIA, COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA E QUALIDADE DE
ENERGIA - GCQ**

**EFEITOS DAS LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS (LFCs) NA QUALIDADE DA ENERGIA
ELÉTRICA DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO**

J. E. L. Almeida* P. M. Silveira* J. P. G. Abreu*

R. Prina** S. G. Carvalho**

*GRUPO DE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

**LIGHT SERVIÇOS DE ELETRICIDADE S. A.

RESUMO

O artigo apresenta resultados de uma pesquisa que avalia os impactos da utilização em larga escala de LFCs na Qualidade da Energia Elétrica (QEE) de um sistema de distribuição. Sabe-se que a presença de cargas não-lineares irá influenciar o perfil harmônico de um sistema de distribuição. Após medições laboratoriais, simulações computacionais foram desenvolvidas buscando-se o comportamento das distorções harmônicas de tensão e de corrente, bem como valores da corrente de neutro, dos fatores de potência e das diversas potências hoje em dia estudadas. Como as cargas possuem comportamento aleatório, um programa utilizando técnicas estatísticas (método de Monte Carlo) foi desenvolvido contemplando assim seus desequilíbrios. Perfis horários das grandezas elétricas de interesse são apresentados.

PALAVRAS-CHAVE

Qualidade da energia elétrica, distorção harmônica total, lâmpadas fluorescentes compactas, cargas não-lineares, desequilíbrio.

1.0 - INTRODUÇÃO

Este trabalho está voltado para a análise dos reais problemas que irão impactar na Qualidade da Energia Elétrica, como resultado da utilização em larga escala das lâmpadas fluorescentes compactas (LFCs) em combinação com outras cargas não lineares, tais como televisores, computadores, lâmpadas fluorescentes tubulares (LFTs), microondas, aparelhos de som, etc.. Estas cargas não lineares poderão ou não estar associadas às cargas lineares como chuveiro convencional, ferro elétrico, lâmpadas incandescentes (LIs) e outras de uso mais constantes como geladeiras, *freezers* e ar condicionado. Todas estas cargas, associadas das mais diferentes formas e em diferentes quantidades produzem correntes harmônicas, podendo distorcer a forma de onda da tensão do sistema supridor (1) e provocar, em maior ou menor escala, diferentes efeitos. Dentre os efeitos estão: aumento da amplitude da corrente distorcida que é absorvida da rede, redução do fator de potência verdadeiro, ressonância, aumento da corrente de neutro, perdas adicionais em transformadores, máquinas, cabos e capacitores, atuação incorreta de relés de proteção, erros em medidores de energia, interferência em circuitos de controle, de comunicação e telefonia. Trabalhos anteriores (2,3) apresentam como resultados muitos destes efeitos citados, porém enfocam sistemas equilibrados não considerando a aleatoriedade de funcionamento das cargas.

Estas situações, desequilíbrio e aleatoriedade das cargas, foram analisadas através de simulações computacionais utilizando-se o *software* Matlab® e seu aplicativo para modelagem e simulação, o *Simulink*®. Um programa computacional foi desenvolvido para este fim.

Modelos de redes trifásicas, com opções de alterar a configuração e a quantidade de cargas com base em curvas de consumo, também foram elaborados. Foram utilizados dados das pesquisas (4,5) para se obter modelos de

residências próximos do real, com as suas respectivas cargas típicas, de modo que os resultados retratassem com mais fidelidade a situação do sistema elétrico de distribuição.

O que motivou este trabalho foi o constante crescimento, nos últimos anos, da instalação de LFCs, em substituição às LIs. Associado a este fato encontra-se o crescimento do consumo de eletroeletrônicos, com características não lineares, em residências, áreas comerciais e industriais. No caso das LFCs, o Brasil não possui ainda uma legislação eficaz que exija menores índices de poluição harmônica, de modo que lâmpadas compactas que são utilizadas no país, apresentam baixos fatores de potência e elevados níveis de distorção harmônica total de corrente (*DHT*).

Neste artigo serão apresentados primeiramente, os resultados de medições laboratoriais as quais tiveram como objetivo levantar diversas características elétricas das LFCs, bem como de uma ampla variedade de eletroeletrônicos e, em seguida, a elaboração e validação de modelos computacionais destes dispositivos. Na seqüência apresenta-se uma descrição do sistema base simulado e da metodologia de simulação. Uma breve apresentação de alguns conceitos sobre potências e fatores de potência é necessária para que os resultados de pesquisa e análise dos mesmos sejam então considerados. São também apresentados os perfis diários, obtidos nas simulações, de várias grandezas elétricas. Finalmente, as conclusões finais seguidas das referências bibliográficas fazem parte do texto.

2.0 - MEDIÇÕES LABORATORIAIS

A primeira atividade deste trabalho foi um levantamento das características elétricas de diferentes marcas de LFCs, bem como de outras cargas não lineares. Para facilitar tal tarefa uma bancada de testes foi instalada no laboratório do Instituto de Sistemas Elétricos da Universidade Federal de Itajubá.

Através de diversas medições obteve-se, para cada tipo de carga (LFCs, TVs, computadores, LFTs, geladeiras, etc.), os valores de potência ativa (*P*), não ativa de deslocamento ou "reativa" (*Q*) e aparente (*S*), fator de potência verdadeiro (*FP*) e fator de deslocamento ($\cos \phi$), corrente eficaz, distorções harmônicas totais de corrente (*DHT*), de tensão (*DHT_v*) e os espectros harmônicos de tensão e de corrente (amplitude e fase) até 49ª ordem. Para isso, foram utilizados os registradores de grandezas elétricas PM300 da *Voltech Instruments Ltd.* e o MARH 21 992 da RMS. Todos os dados levantados em laboratório foram armazenados em um banco de dados.

A título de exemplo, a Tabela 1 informa os principais dados que são obtidos em uma medição. No caso, trata-se de uma LFC marca Osram de 23 W, 127 V.

TABELA 1 – Medição de LFC Osram 23 W

Grandeza	Intensidade	Grandeza	Intensidade
Watts (RMS)	25.48 [W]	Tensão (Fund.)	127.95 [V]
Watts (Fund.)	25.95 [W]	Corrente (RMS)	345.7 [mA]
VA (RMS)	44.25 [VA]	Corrente (Fund.)	208.6 [mA]
VA (Fund.)	26.69 [VA]	FP	0.576
VAr (RMS)	36.17 [VAr]	Cos Phi (FP _d)	0.972
VAr (Fund.)	-6.240 [VAr]	DHT _v	2.899%
Tensão (RMS)	128.00 [V]	DHT _i	132.72%

3.0 - MODELAGEM E VALIDAÇÃO

De posse dos dados obtidos nas medições laboratoriais, partiu-se para a modelagem das diversas cargas residenciais. Estas foram representadas por um ramo $P + jQ$ da componente fundamental e, para representar a não linearidade das cargas, foram utilizadas fontes de corrente senoidais ideais, para cada componente harmônica relevante, sendo que as componentes pares, por possuírem valores muito pequenos, foram desprezadas. Para a modelagem das cargas, foi utilizado o *software Simulink* (Matlab 6.5), que possui em sua biblioteca *Power Systems Blockset* modelos de cabos, ramais, cargas, fontes de corrente e tensão e transformadores. A tabela 2 mostra os resultados da modelagem da LFC Osram 23 W, cujos dados reais foram mostrados na tabela 1. Comparando-se os valores da medição e da simulação, verificam-se pequenos erros da ordem de 1 a 2%, o que é considerado aceitável. As formas de onda são praticamente as mesmas.

TABELA 2 – Resultado de Simulação – Osram 23 W

Grandeza	Intensidade	Grandeza	Intensidade
Potência Ativa (W)	25.8	Tensão RMS (V)	128
Potência Reativa (Var)	-5,975	Corrente RMS (mA)	346,3
Potencia Aparente (VA)	44.32	<i>DHT_v</i> (%)	2,923
Fator de potência	0,5843	<i>DHT_i</i> (%)	129,4

4.0 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA

As simulações, cujos resultados são apresentados no decorrer deste artigo, tiveram como base o diagrama elétrico mostrado na Figura 1. Os dados relativos às impedâncias dos cabos e dos transformadores foram obtidos de um sistema real da Light - Rio, constituindo-se de um circuito radial alimentando um condomínio predial residencial. As características das cargas existentes em cada apartamento foram escolhidas tomando como base as Pesquisas de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo, realizadas pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL sob a coordenação da ELETROBRÁS (4,5).

O sistema elétrico foi representado por sua impedância de curto-circuito em 13,8 kV. Este sistema alimenta 6 transformadores de distribuição em conexão delta-estrela DY11 de 225 kVA, 13,8/0,22-0,127 kV, e cada transformador alimenta 90 apartamentos, totalizando 540.

As cargas consideradas para cada apartamento foram: 8 LIs ou 8LFCs, 1 chuveiro, 1 ferro elétrico, 1 microondas, 1 geladeira, 2 LFTs, 1 aparelho de som, 1 máquina de lavar roupa e 1 TV 20".

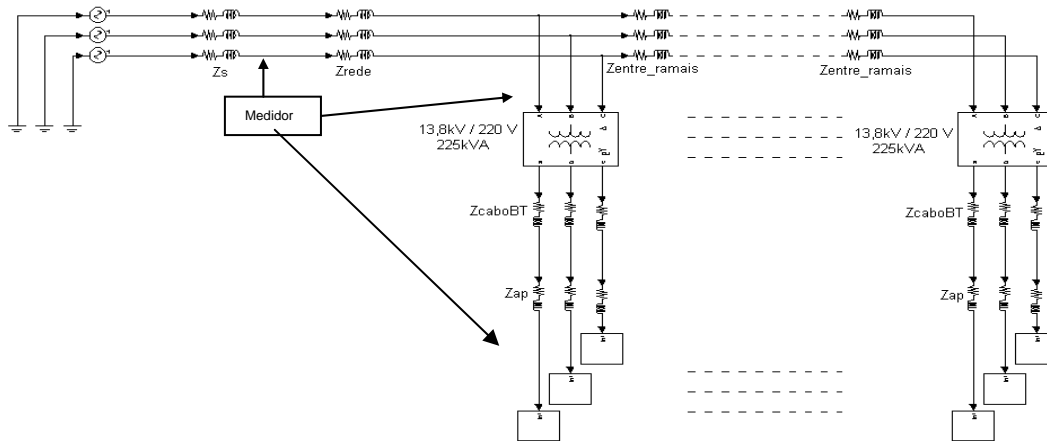


FIGURA 1 – Sistema Elétrico Simulado

Estes dispositivos estão presentes em uma residência do tipo 2, alimentada por uma única fase, a qual representa 72% dos consumidores na região sul-sudeste (4,5).

5.0 - METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO

Conhecer, em um determinado instante ou intervalo de tempo, a quantidade de carga em funcionamento de um sistema de distribuição, as suas respectivas distribuições nas fases do sistema e o tempo de funcionamento de cada uma delas é uma tarefa demasiadamente complexa.

Visando contribuir para a elaboração de um modelo mais consistente, cuja dinâmica se aproxime de um sistema real, foi desenvolvido um programa que simula o comportamento das cargas ao longo do dia, levando em conta a aleatoriedade do funcionamento das mesmas. Este programa é baseado no Método de Monte Carlo, o qual utiliza séries históricas denominadas de curvas de densidade de probabilidades do evento a ser analisado, para então gerar novas séries como funções de distribuição de probabilidades acumulada. Estas servirão como parâmetros que irão provocar os eventos desejados: ligar ou o desligar eletroeletrônicos em cada residência. As curvas de densidade de probabilidades são as curvas de carga de cada eletroeletrônico doméstico. Estas curvas foram também obtidas das citadas pesquisas (4,5). Em outras palavras, o programa concebido irá executar o acionamento das cargas de um sistema, em um determinado horário escolhido. Esses acionamentos são feitos de modo aleatório, porém obedecendo às curvas que retratam o comportamento individual de cada equipamento ao longo do dia. Uma vez o programa de aleatoriedade tenha sido rodado, para aquele instante ou período escolhido pelo usuário, todas as cargas de todas as residências estarão configuradas (o tipo, o estado, a fase e o tempo de permanência), podendo-se em seguida rodar o simulador (*simulink*). O tempo de simulação é previamente ajustado.

O esquema de simulação está concebido com duas importantes características: (i) É possível escolher o percentual/tipo de lâmpada a ser usada, ou seja, 100% LI, 50% LI e 50% LFC, 100% LFC ou outro percentual desejado. Com esta escolha, poder-se-á comparar resultados da substituição das LIs pelas LFC. (ii) É possível fazer um levantamento do perfil elétrico do sistema ao longo do dia, contemplando, por exemplo, as distorções de corrente e de tensão, as correntes e tensões eficazes, a corrente de neutro, as potências ativa, não ativa de deslocamento, não ativa de distorção, aparente e fator de potência.

6.0 - CONCEITOS

Em um sistema elétrico trifásico simétrico, tem-se a seguinte equação para as potências aparente vetorial (S_v), ativa (P), reativa (Q) e de distorção (D):

$$S_v = \sqrt{(\sum_k P_k)^2 + (\sum_k Q_k)^2 + (\sum_k D_k)^2} \quad (1)$$

Sendo $k = 1, 2, 3$ (3 fases)

Se as cargas forem lineares, a potência de distorção é nula em cada fase. Neste caso tem-se:

$$S_v = \sqrt{(\sum_k P_k)^2 + (\sum_k Q_k)^2} \quad (2)$$

As cargas não lineares, que absorvem correntes harmônicas, conduzem ao conceito de potência de distorção (D). Dentre as várias proposições para cálculo da potência de distorção (D), a fórmula de Budeanu modificada, vem sendo normalmente utilizada ao longo dos anos (8). A expressão de Budeanu é resultante do produto cruzado entre os harmônicos de tensão pelos de corrente de mesmas fases (8) e permite, obter diretamente a potência de distorção D .

$$D = \sum_{k=A,B,C} \sqrt{\sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=m+1}^{\infty} V_{km}^2 I_{kn}^2 + V_{kn}^2 I_{km}^2 - 2 \times V_{km} I_{kn} V_{kn} I_{km} \cos(\gamma_{km} - \gamma_{kn})} \quad (3)$$

Sendo que γ_m é o ângulo formado entre a tensão e a corrente da harmônica de ordem m e γ_n é o ângulo formado entre a tensão e a corrente da harmônica de ordem n :

$$\gamma_m = \phi_m - \varphi_m \quad (4)$$

$$\gamma_n = \phi_n - \varphi_n$$

Os sistemas reais convivem com um certo grau de assimetria de tensão e corrente devido, principalmente, às cargas monofásicas distribuídas nas fases, que têm características de funcionamento aleatório. Para se considerar a assimetria, há que se alterar o conceito do cálculo de potência aparente. Neste caso S passa a ser denominada de potência aparente do sistema (9) (S_s), dada por:

$$S_s = V_{rms_{3\phi}} \cdot I_{rms_{3\phi}} = \sqrt{V_a^2 + V_b^2 + V_c^2} \cdot \sqrt{I_a^2 + I_b^2 + I_c^2} \quad (5)$$

Sendo:

$V_{rms_{3\phi}}$ - tensão eficaz trifásica

$I_{rms_{3\phi}}$ - corrente eficaz trifásica

V_a, V_b, V_c, I_a, I_b e I_c – tensões e correntes eficazes de fase

Obviamente, nesta situação a expressão da equação 1 não fecha e passa a ser necessária um novo conceito de potência chamada de potência não ativa de assimetria ou de desequilíbrio (A). É o resultado do produto cruzado dos sinais de tensão e corrente (fundamental e harmônicas) de fases diferentes (8).

Assim, a potência aparente do sistema pode também ser representada pela equação 6.

$$S_s = \sqrt{(\sum_k P_k)^2 + (\sum_k Q_k)^2 + (\sum_k D_k)^2 + \sum_h A_h^2} \quad (6)$$

Onde h é o índice de cada harmônica presente e $k = 1,2,3$ (3 fases)

O fator de potência tem sido historicamente abordado como sendo a eficiência em se realizar um trabalho, com uma potência ativa " P ", a partir de uma certa ocupação do sistema elétrico traduzida como potência aparente " S ". O fator de potência (FP) é universalmente conhecido sendo:

$$FP = \frac{P}{S} \quad (7)$$

No caso de cargas lineares e equilibradas, coincide com o $\cos\phi$ (ϕ é o ângulo entre tensão e corrente de cada fase). Porém, na existência de cargas não lineares, haverá o aparecimento da potência de distorção e logo ter-se-á não mais um triângulo de potências, mas sim, um tetraedro de potências (1). Neste caso, o fator de potência dado pela equação 7, que pode ser denominado de fator de potência vetorial (FP_v), não mais coincidirá com o $\cos\phi$. Este por sua vez, passa a ser denominado de fator de deslocamento (FP_d).

Finalmente, em sistemas trifásicos assimétricos, utilizando-se o conceito de potência aparente do sistema (S_s), o fator de potência calculado por (7), agora denominado de fator de potência do sistema (FP_s), resultará em um valor menor quando comparado com o fator de potência calculado utilizando-se a equação 5, ou seja: $FP_v > FP_s$ em sistemas trifásicos desequilibrados.

7.0 - RESULTADOS

A seguir serão apresentados os perfis horários de algumas grandezas elétricas obtidas na BT (na carga) e MT (primário do 1º transformador) nos casos 100% LI e 100% LFC. É importante ressaltar que, para efeito de análise da influência das LFCs no sistema, foram substituídas as LIs por LFCs enquanto as demais cargas foram mantidas inalteradas. Chama-se atenção do leitor que os perfis apresentados à esquerda referem-se sempre aos casos com 100% de lâmpadas incandescentes.

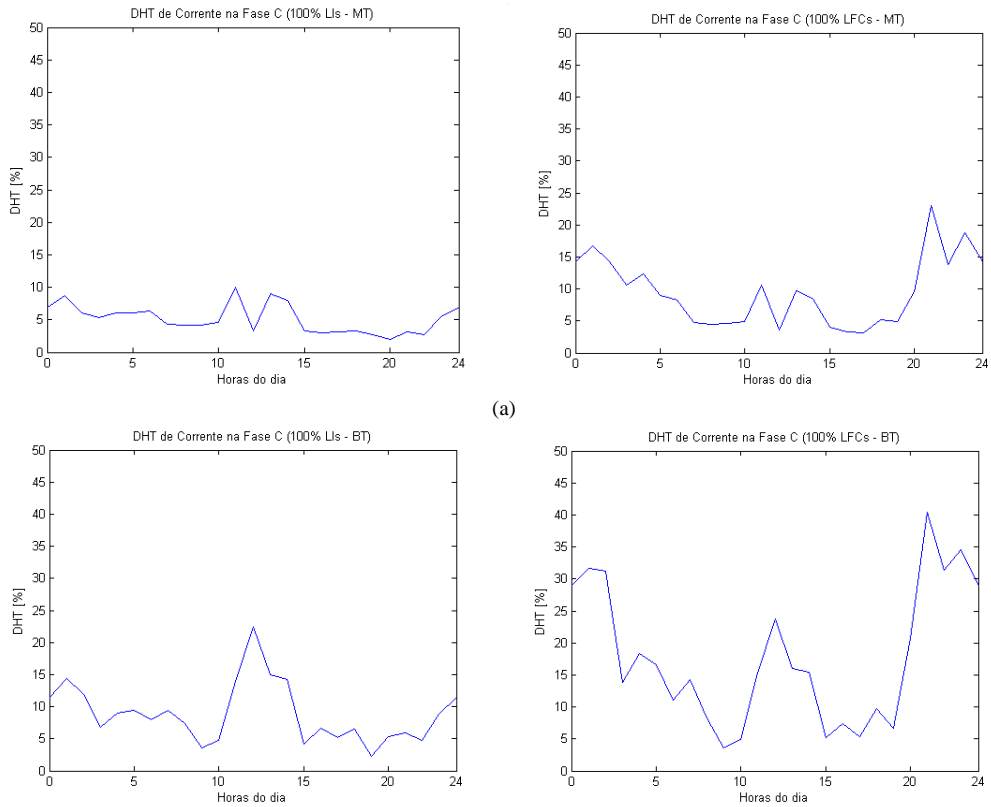


FIGURA 2 – Comparativo de DHTi – 100% LI x 100% LFC (a) MT (b) BT

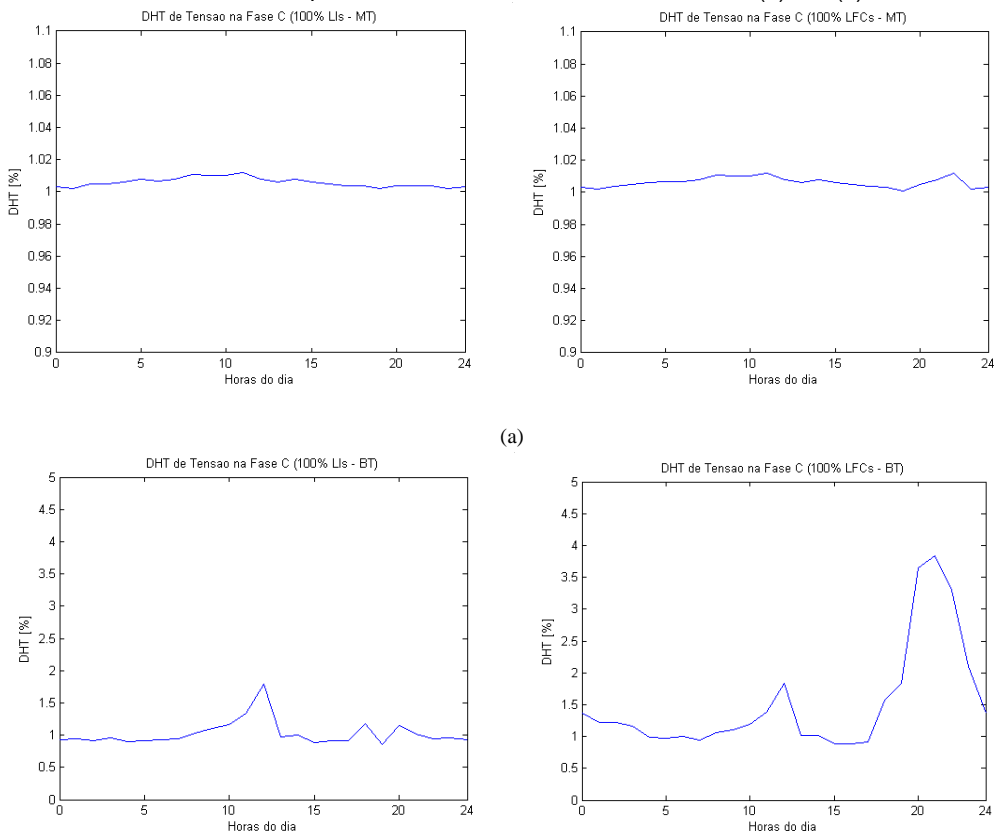


FIGURA 3 – Comparativo de DHTv – 100% LI x 100% LFC (a) MT (b) BT

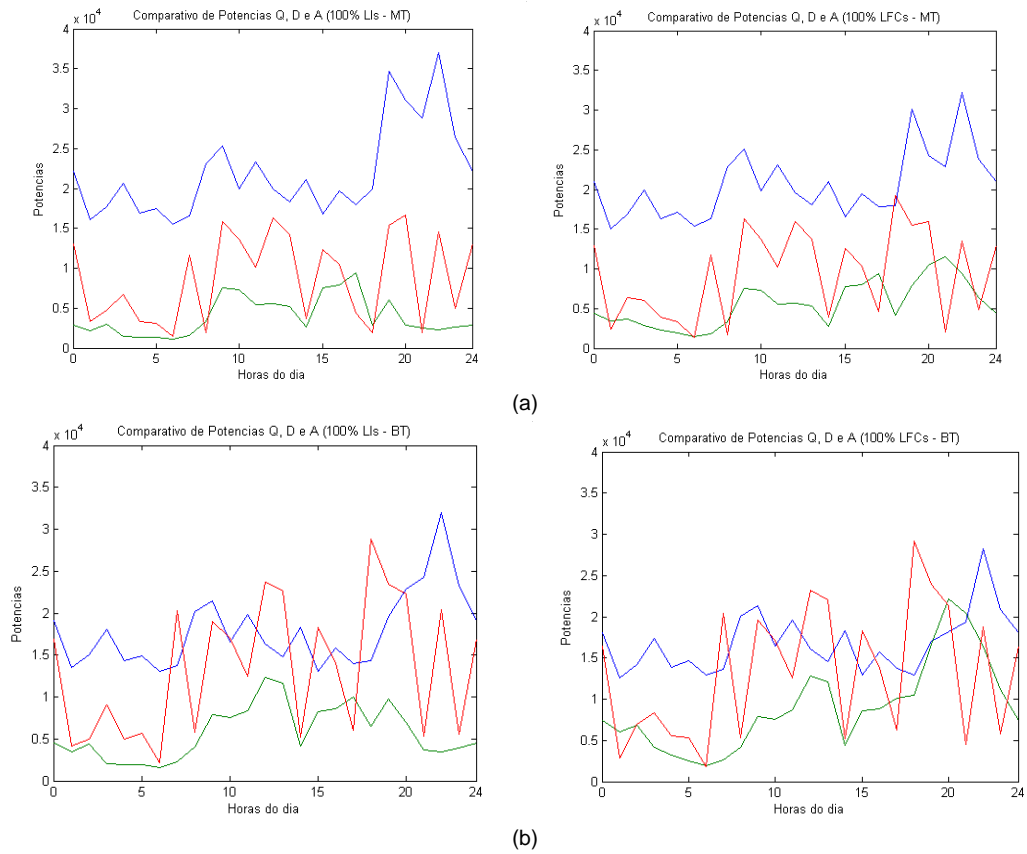


FIGURA 4 – Comparativo de potências Q (azul), A (vermelho) e D (verde) – 100% LI x 100% LFC (a) MT (b) BT

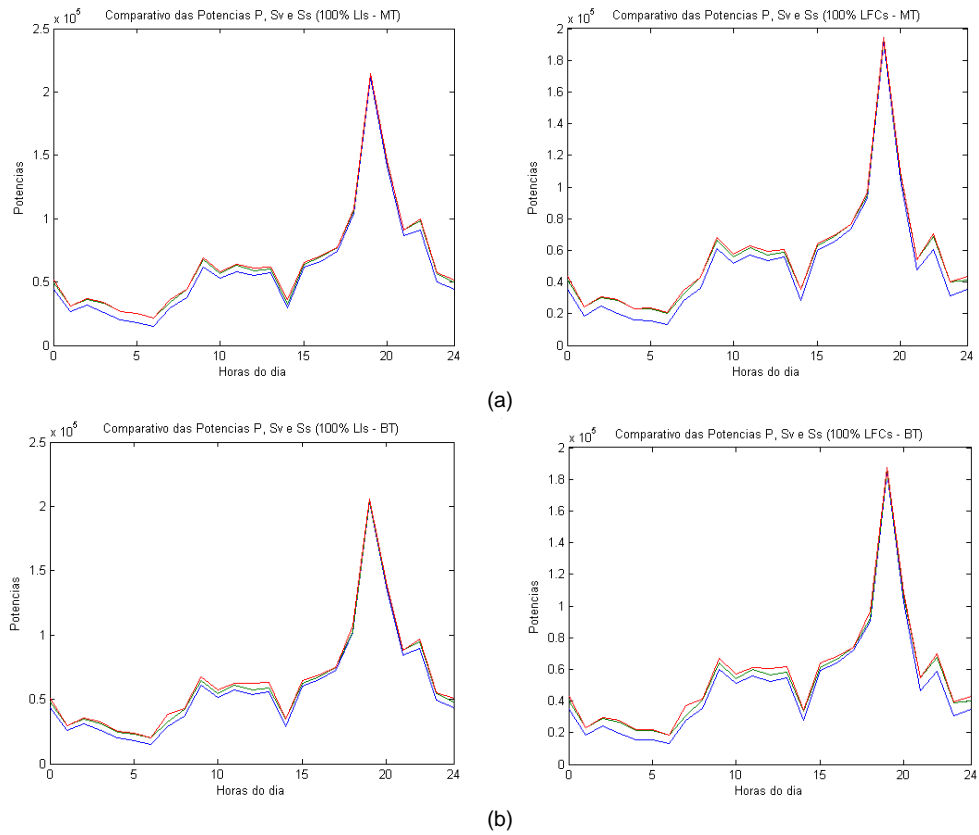


FIGURA 5 – Comparativo de potências P (azul), S_s (vermelho) e S_v (verde) – 100% LI x 100% LFC (a) MT (b) BT

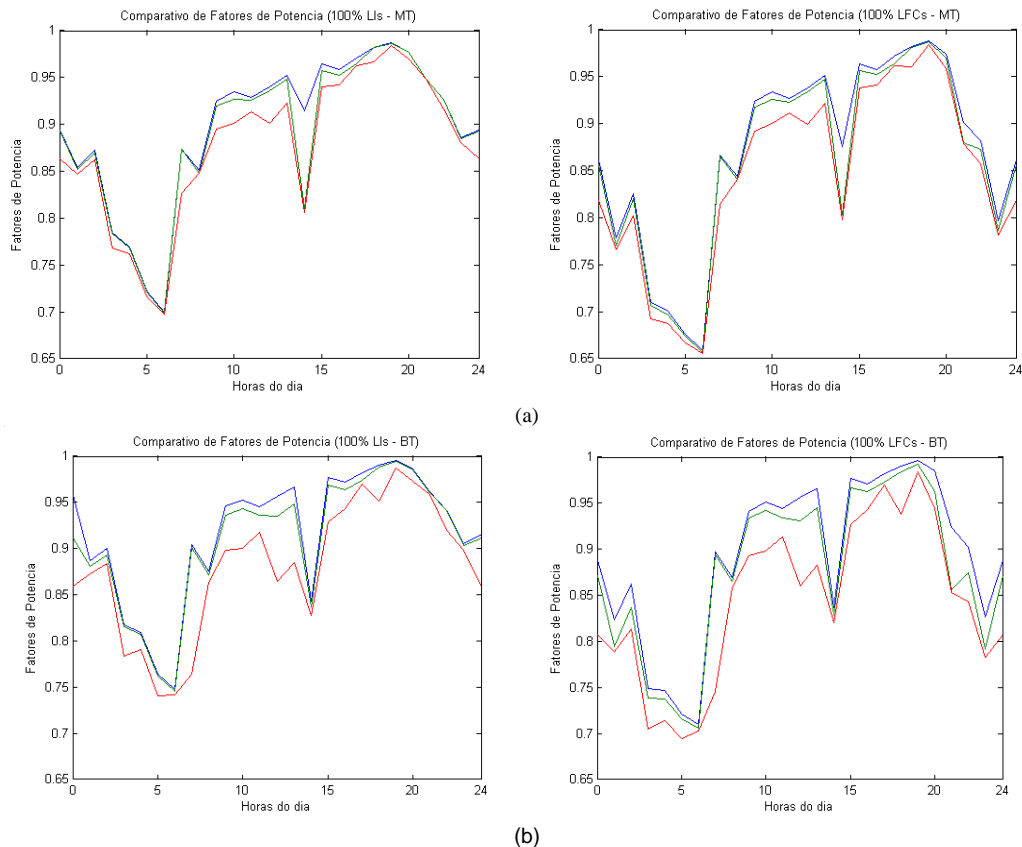


FIGURA 6 – Comparativo de fatores de potência FP_d (azul), FP_s (vermelho) e FP_v (verde) – 100% LI x 100% LFC (a) MT (b) BT

8.0 - AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Alguns resultados das simulações são avaliados a seguir:

1) Pode-se observar nos perfis das distorções totais de corrente (DHT_i) e de tensão (DHT_v) (Figuras 2 e 3) que nos horários de maior presença de lâmpadas, isto é, nas primeiras horas do dia e a partir das 18:00 h, há acréscimo daquelas distorções quando da substituição de LIs por LFCs. Ainda, comparando-se os perfis da MT e BT, conclui-se que há uma forte atenuação tanto das distorções totais de corrente como de tensão, da BT para a MT. Isto ocorre devido ao aprisionamento da maior parte das componentes harmônicas homopolares na conexão delta do transformador, que funciona então como filtro de harmônicos equilibrados de 3ª ordem e seus múltiplos. Na figura 3, nota-se que a DHT_v na MT pouco se altera, mantendo-se próxima de 1% devido ao sistema apresentar alta capacidade de curto-circuito. Na BT, no caso 100% LFC, a DHT_v oscilou entre 0,88% e 3,84%, este último valor, no horário de forte presença de LFCs. Porém, a DHT_v , tanto na BT como na MT, se manteve, ao longo do dia, em patamares que atendem aos requisitos da IEEE-519 (6) que a limita em 5% para tensões abaixo de 69 kV. Cabe mencionar que tal resultado deve-se a um sistema forte, com alta capacidade de curto-circuito.

Analisando-se a Figura 4(a), pode-se observar uma redução da potência não ativa de deslocamento (Q) no caso 100% LFC. Este fato é devido à menor solicitação de corrente elétrica nestes horários. Acompanhando esta redução da potência Q , observa-se a elevação da potência não ativa de distorção (D) no caso 100% LFC. A potência não ativa de desequilíbrio e/ou assimetria (A) praticamente não se altera em relação aos casos 100% LI e 100% LFC, pois ela é devida à disposição das cargas nas respectivas fases. A sua imprevisibilidade e variação são conseqüências dos sorteios realizados pelo programa de aleatoriedade, que promove as entradas e saídas de cargas.

A mesma análise é válida para a Figura 4(b), agora na BT, onde pode-se observar, a partir das 18:00 h, um acréscimo maior da potência D que na Figura 4(a). Isto é devido à conexão delta do transformador que retém a grande maioria dos harmônicos homopolares. A potência de desequilíbrio A apresenta valores maiores que no caso da MT, pois também neste caso, a conexão do transformador funciona como um filtro de desequilíbrio quando promove a soma das correntes de fase para compor as correntes de linha do lado de MT.

Nas Figuras 5(a) e 5(b) pode-se acompanhar o perfil das potências ativa (P), aparente vetorial (S_v) e aparente do sistema (S_s) cujas definições foram estabelecidas no item 6 deste artigo. Como a potência ativa P é a componente preponderante das citadas potências aparentes, as figuras mostram um perfil muito próximo para as três. Pode-se verificar que nos casos 100% LFC, há uma redução do pico de consumo em relação aos casos 100% LI devido à substituição das lâmpadas.

Nas figuras 6(a) e 6(b), relativas aos fatores de potência, nota-se as diferenças nos gráficos apesar dos perfis serem semelhantes. O fator de potência de deslocamento (FP_d) que é normalmente medido pelas concessionárias de energia, apresenta sempre os maiores valores. Considerando-se a potência de distorção (D), o fator de potência vetorial (FP_v) apresenta menores valores configurando o maior carregamento do sistema. Ainda, incluindo mais a potência de desequilíbrio e/ou assimetria (A), o fator de potência passa a ser o do sistema (FP_s), a curva vermelha, que apresenta os menores valores. Outra observação, comparando-se os casos 100% LI e 100% LFC, diz respeito aos menores valores apresentados pelos fatores de potência nos casos 100% LFC. Isto ocorre também nos horários de maior presença de lâmpadas devido ao acréscimo da potência de distorção D . Observa-se na Figura 6, que o *fator de potência verdadeiro* ficou abaixo de 0,92 em alguns períodos, podendo então ser motivo de preocupação das concessionárias.

2) Os desequilíbrios das correntes são acentuados enquanto que das tensões quase inexistentes. Por outro lado, estes desequilíbrios são sensivelmente atenuados quando se chega à entrada do alimentador. Na BT, por exemplo, às 21:30 h, no caso 100% LFC, o desequilíbrio da corrente é de 24,2% e da tensão é de 0,175%. Já na MTg, tem-se o desequilíbrio de 7,85% (corrente) e 0,017% (tensão). A atenuação do desequilíbrio de corrente na MTg se deve à distribuição uniforme da alimentação de energia das residências em cada fase, bem como à própria aleatoriedade do funcionamento das cargas, cuja função se aproxima de uma distribuição uniforme à medida que o conjunto de amostras aumenta.

9.0 - CONCLUSÃO

O enfoque deste trabalho foi avaliar o reflexo da penetração de lâmpadas fluorescentes compactas em relação às lâmpadas incandescentes em consumidores de baixa tensão de um típico sistema de distribuição já composto por cargas lineares e não lineares. Levando-se em consideração a aleatoriedade de funcionamento das cargas, algumas conclusões podem ser resumidas:

(i) O aumento do número de LFCs tem provocado aumento das distorções de tensão e de corrente, queda do fator de potência, aumento da corrente de neutro, redução das potências ativa e aparente e aumento da potência de distorção (D). A potência de desequilíbrio (A) não sofre variações expressivas, devido ao fato dela estar mais relacionada à disposição da carga no sistema. Pondera-se aqui que o efeito na DHT_v está diretamente relacionado à capacidade de curto-circuito do ponto de acoplamento comum (PAC). Quanto mais fraco o sistema, maior o aumento da DHT_v devido às cargas não lineares.

(ii) Por outro lado, o aumento das distorções harmônicas de corrente tem sido “ocultado” pela forte redução da corrente fundamental, a qual causa alívio no sistema elétrico (neste caso, em torno de 10% no horário de 18:15 h). De forma global, uma das importantes conclusões do trabalho é de que a troca de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas possui sim suas vantagens. Embora produzindo aumento dos componentes harmônicos, tal aumento permanece irrelevante frente à redução da corrente fundamental/potência ativa. Em outras palavras, os benefícios trazidos pelas substituições de Lis por LFCs em termos de alívio de carregamento do sistema e economia para os usuários, suplantam as questões de qualidade ora verificados para os casos específicos estudados nesta pesquisa. Porém, os autores chamam a atenção de que deve haver uma preocupação com o crescimento da corrente de neutro, do fator de potência e da distorção total de tensão, em certos horários.

Finalmente, os autores devem mencionar que para o consumidor residencial, que hoje paga apenas potência ativa, a substituição das Lis por LFCs representa um ganho. Considerando-se, por exemplo, 8 lâmpadas com 2 horas de funcionamento por dia, o consumidor terá o seu investimento recuperado após aproximadamente um ano. Para a concessionária de energia elétrica, o reflexo virá no faturamento o qual será reduzido, porém o alívio na potência do sistema poderá postergar investimentos ou mesmo ser utilizado com novos consumidores.

10.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) R.C. Dugan, M.F. MsGranaghan, S. Santoso, H.W. Beaty, *Electrical Power System Quality*, McGraw Hill, USA, Second Edition, 2002, p.209-220.
- (2) A.E. Emanuel, T.M. Gentile, D.J. Pileggi, C.E. Root, E.M. Gulachenski “The effect of modern compact fluorescents lights on voltage distortion”, *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 8, Nº 3, July 1993, pp. 1451-1457.
- (3) J.C. Oliveira, M.D. Teixeira, C.A. Medeiros, “A power quality comparative analysis related to electronic and electromagnetic fluorescent ballast operation”, *10th International Conference on Harmonics and Quality Power ICHQP*, 2002, Rio de Janeiro, RJ.
- (4) Eletrobrás-Procel. “*Pesquisa de posse de eletrodomésticos e de hábitos de consumo*” Projeto 5.2.3, 1989.
- (5) Eletrobrás-Procel. “*Pesquisa de posse de eletrodomésticos e de hábitos de consumo*”, CEMIG – MG, 2000.
- (6) IEEE Std. 519. IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Standart 519, New York, 1993.
- (7) W. M. Grady, A. Mansoor. “Analysis of Compensation Factors Influencing the Net Harmonic Current Produced by Single-Phase Non-Linear Loads”, *8th Conference on Harmonic and Quality Power ICHQP98*, Athens, Greece, October, 1998.
- (8) Yildirim, D. and Fuchs, E.F., “Commentary on Various Formulations of Distortion Power D”, *IEEE Power Engineering Review*, volume 19, number 5, pp. 50-52, May 1999.
- (9) *Power System Quality Assessment* – Ed. John Wiley & Sons, J. Arrillaga, N. R. Watson, S. Chen, 2000.