

O Impacto dos Programas de Eficiência Energética na Qualidade da Energia Elétrica

Cristiane Penna ; Paulo César Ajeje - **ENERSUL**

José Wanderley Scucuglia; Fausto Donizeti Dantas - **UNIDERP**

Luís Carlos Origa de Oliveira; José Carlos Rossi; Gilvana Antunes de Melo - **LQCEE/UNESP**

Resumo – Este trabalho apresenta os resultados de investigações conduzidas no sentido de identificar e quantificar os problemas relacionados com a qualidade da energia elétrica decorrentes de ações de efficientização energética. Foram avaliados o desempenho energético de vários equipamentos elétricos, analisou-se neste trabalho o desempenho elétrico de dispositivos eficientes como, por exemplo, lâmpadas fluorescentes compactas, reatores eletrônicos, utilização de sistemas de partida suave para motores, controladores de temperatura de chuveiro, controladores de luminosidade, entre outros, estabelecendo-se causas e efeitos relacionados com a Qualidade da Energia Elétrica.

Palavras chave– Eficiência energética, qualidade de energia, harmônicas

I. INTRODUÇÃO

O uso racional dos insumos é um dos princípios da competitividade no mundo globalizado. Para muitas empresas o consumo de energia chega a 20% do seu faturamento, dos quais cerca de 5% correspondem ao consumo de energia elétrica.

A maioria das plantas industriais e comerciais apresentam grande potencial para a redução do consumo de energia elétrica, quando se adota tecnologias energeticamente eficientes para diferentes usos finais.

Em geral as análises que norteiam a implementação de programas de eficiência energética baseiam-se fundamentalmente em estudos de viabilidade econômica dos investimentos visando a diminuição dos custos operacionais da instalação. Ocorre, entretanto, que a implantação de projetos desta natureza normalmente leva a uma crescente utilização de equipamentos e dispositivos auxiliares baseados em acionamento a estado sólido, os quais, quando utilizados em larga escala acabam criando outros problemas do ponto de vista operacional, devido a perda de qualidade da energia elétrica ofertada.

Neste trabalho são investigados os problemas relacionados com a qualidade da energia decorrentes de ações na busca da eficiência energética, objetivando sua caracterização e quantificação. São enfocados os principais aspectos sob o ponto de vista da oferta de energia elétrica (concessionárias) bem como da demanda (consumidores).

II. PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

Com o objetivo de investigar os efeitos de um programa de conservação de energia pelo lado da oferta, realizou-se uma série de medições em um ramal de distribuição secundário 220/127V previamente selecionado. Adotou-se a seguinte metodologia:

- Elaborou-se um plano de medições em campo;
- Realizou-se gestão junto à Gerência de Redes da Concessionária para a escolha de um circuito

secundário de distribuição para a realização das medições;

- Elaborou-se um relatório relacionando-se as residências visitadas e as respectivas cargas instaladas;
- Fez-se medições em alguns pontos do circuito, desde o ponto de entrega de energia às unidades consumidoras até o barramento secundário do transformador de distribuição;
- Instalaram-se, nos consumidores conectados ao circuito secundário selecionado, dispositivos considerados energeticamente eficientes, principalmente lâmpadas fluorescentes compactas.;
- Realizou-se novas medições no circuito;
- Realizou-se vários estudos experimentais envolvendo o comportamento dos dispositivos eficientes.

A. O lado da Oferta

Foram realizadas medições no barramento secundário do transformador que alimenta o circuito, e em dois consumidores conectados ao circuito selecionado, em datas e horários distintos, antes e após a instalação dos equipamentos citados. Foi dado maior enfoque às medições nos horários das 18h às 22h, visto ser este o intervalo de tempo de carga máxima do sistema, no qual os equipamentos eficientes instalados estão em pleno funcionamento.

O consumidor CDC 356884 está conectado à fase “B” do circuito selecionado e sua carga total instalada era de 12.950W. Foram substituídas cinco lâmpadas incandescentes de 60W /127V por cinco lâmpadas fluorescentes compactas de 23W / 127V. O outro consumidor selecionado, CDC 356965, está conectado às fases “A” e “C” com carga original instalada de 27.437W. Neste, foram substituídas dez lâmpadas incandescentes de 100W / 220V por dez lâmpadas fluorescentes compactas de 23W / 220V, e instalado um regulador estático de luminosidade - “dimmer” de 100 W. Os resultados obtidos nas medições nos consumidores citados encontram-se resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Potências nos consumidores.

Consumidores	antes		depois	
	kVA	W	kVA	W
CDC 356884	0,99	0,92	0,63	0,57
CDC 356965	0,85	0,85	0,97	0,66

Para a avaliação nos consumidores citados alguns cuidados foram tomados no sentido de instruí-los para que mantivessem o mesmo perfil de consumo nos dias selecionados para a realização das medições antes e após a implantação dos dispositivos eficientes. Os resultados mostram, como esperado, uma diminuição efetiva no

consumo de potência ativa. Há que se destacar entretanto o aumento da potência aparente no consumidor CDC 356965. Tal fato se deve a forte influência das distorções harmônicas sobre o fator de potência da instalação.

Foi constatado um aumento percentual na distorção harmônica de corrente (THDi) do consumidor CDC 356884 de 89,3% e no consumidor CDC 356965 de 208,0%. As componentes harmônicas individuais com amplitudes mais acentuadas, para ambos os casos foram as de 3^ª, 5^ª e 7^ª ordens. O fator de potência sofreu uma redução, 5,6% no consumidor CDC 356884 e 33,3% no consumidor CDC 356965.

Considerando pois o aumento do efeito pelicular na condução de correntes harmônicas, a degradação do fator de potência e ainda, em alguns casos, o aumento da potência aparente conclui-se que a capacidade liberada no alimentador deve ficar abaixo da expectativa normalmente preconizada nos programas convencionais de eficiência energética.

Por outro lado, os altos níveis harmônicos registrados poderão ter consequências imprevisíveis sobre o desempenho dos medidores de energia do tipo disco de indução e portanto sobre a energia faturada. Estes, como se sabe [01], podem apresentar erros que dependendo dos ângulos de fase entre as harmônicas poderão levar a faturamentos indevidos da energia elétrica.

Para a avaliação global do impacto das medidas de eficiência energética, foram registradas as potências ativa e aparente no barramento secundário do transformador que alimenta o ramal selecionado, antes e depois da instalação dos dispositivos eficientes.

Do ponto de vista energético, as medições não mostram com clareza os resultados decorrentes da implantação do projeto de conservação de energia. Isto pode ser atribuído ao pequeno percentual de substituição dos equipamentos quando comparados à potência total instalada no circuito. A potência total substituída foi de 14790 W, ou 2,6% da potência total instalada, enquanto que a nova potência implantada foi de 4600 W, ou seja 0,8% da potência total instalada. Foram liberados portanto apenas 10190 W, que representam aproximadamente 1,8% da potência total instalada.

De um modo geral, o impacto global sobre economia real de energia obtida pela aplicação de lâmpadas fluorescente compactas depende da proporção de energia elétrica consumida por lâmpadas elétricas nas residências com relação as demais cargas presentes no mesmo ramal de distribuição. No Brasil, estudos mostram que cerca de 7% da energia elétrica é usada pela iluminação residencial, sendo este setor responsável por um consumo em torno de 28% da energia total ofertada [03]. Considerando pois estes índices indicativos, e admitindo três diferentes cenários de substituição de lâmpadas, a Tabela 2 mostra a redução de consumo de energia esperado pela introdução de lâmpadas fluorescente compactas (LFC) na cargas de iluminação residencial que utilizam lâmpadas incandescentes.

Tabela 2. – Conservação de energia utilizando-se LFC's

Quantidade Substituída	Redução no Consumo Residencial	Redução no Consumo Total
10%	2%	0,56%
20%	4%	1,12%
40%	8%	2,24%

Embora os resultados sob o ponto de vista energético tenham se mostrados inexpressivos face as considerações feitas anteriormente, os aspectos negativos da implantação dos dispositivos eficientes puderam ser observados com clareza.

Pode-se verificar, através da análise dos resultados das medições colhidas no barramento secundário do transformador, que houve um sensível aumento das taxas de distorção harmônica de tensão e corrente após a instalação dos equipamentos eficientes. Esta característica ficou mais evidente nos horários de pico, devido à própria característica dos dispositivos instalados.

Na Figura 1 são mostrados comparativos do comportamento das taxas de distorções harmônicas da tensão, da corrente na linha e da corrente no neutro, tomando-se por base um dia típico na semana.

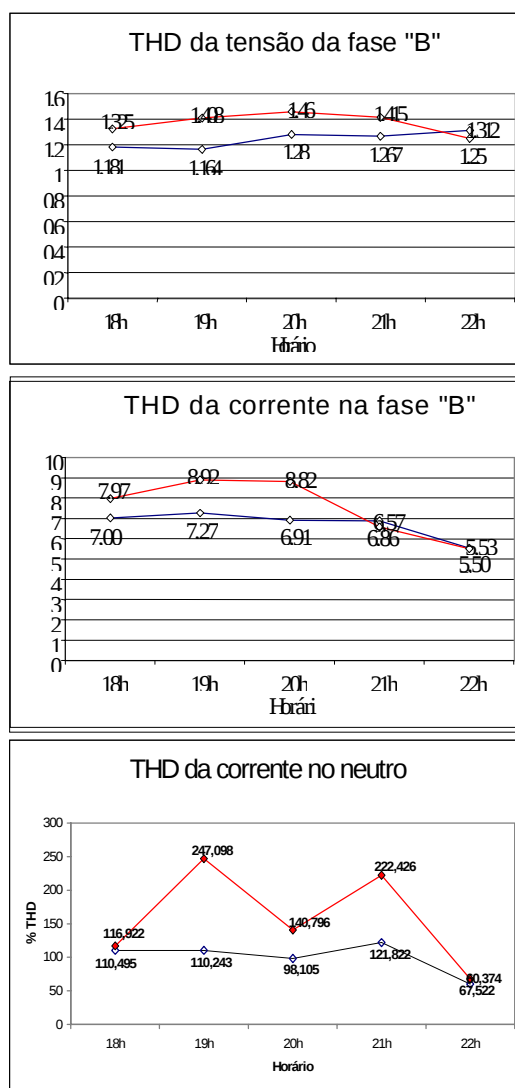


Figura 1 – Distorções harmônicas antes (♦) e após (♦) a instalação dos dispositivos eficientes.

As medições mostraram que as distorções harmônicas no barramento secundário do transformador são, de um modo geral, muito menores que aquelas verificadas junto aos consumidores.

Fazendo um comparativo entre as taxas de distorção harmônica médias das corrente nos terminais dos dispositivos eficientes instalados, na entrada das instalações dos consumidores e no barramento secundário do

transformador do circuito selecionado para estudo, verificou-se uma tendência decrescente entre a carga e a fonte, Figura 2.

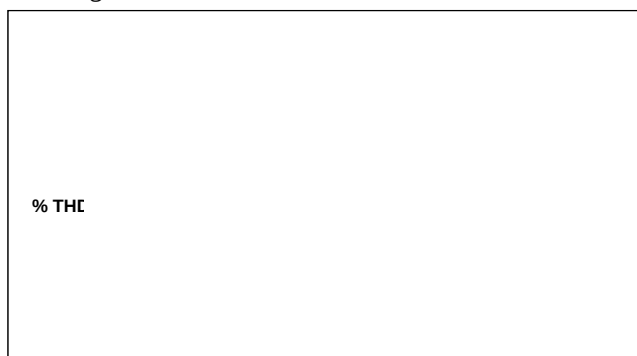


Figura 2 – THD_i médios em diferentes pontos de medição.

Estes resultados se devem, principalmente, à diversidade de cargas elétricas ligadas neste ramal e à substancial diminuição da relação global entre cargas lineares e não-lineares na medida em que se aproxima do barramento secundário do transformador.

Além disso, um outro aspecto que contribui para a diminuição dos níveis de distorção harmônica é o cancelamento ou atenuação das correntes harmônicas individuais resultante da composição das diferentes cargas não lineares.

B. O Lado da demanda

A implantação de dispositivos eficientes, sob a ótica com consumidor normalmente é analisada somente sob o ponto de vista econômico tomando por base a redução do consumo de energia ativa. Entretanto, outros aspectos devem ser considerados uma vez que os dispositivos tradicionalmente utilizados possuem características não-lineares podem alterar substancialmente o comportamento dos circuitos elétricos nos quais serão inseridos.

Com finalidade de investigar os diferentes aspectos envolvendo esta aplicação tomou-se como exemplo um estudo de “retrofitting” em um sistema de iluminação fluorescente de uma biblioteca que funciona 24 horas por dia. A proposta analisada considerou a substituição total dos reatores eletromagnéticos por reatores eletrônicos para lâmpadas HO.

Os resultados obtidos a partir de metodologias tradicionalmente utilizadas em estudos desta natureza mostraram-se animadores na medida em que a economia de energia obtida pela substituição dos reatores proporciona o retorno do capital investido em menos de 5 meses.

Sob um ponto de vista mais abrangente é necessário considerar inicialmente outros parâmetros relativos a tarifação da energia elétrica, tais como, fator de potência e demandas contratadas.

Por outro lado, existem ainda questões associadas a qualidade da energia elétrica, cuja capitalização de custos pode ser relativamente complexa dentro de um contexto econômico, mas que certamente devem ser investigadas no sentido de garantir os limites toleráveis estabelecidos em normas ou recomendados para o funcionamento adequado da instalação.

Observando-se os resultados experimentais, apresentados na Figura 3, destacam-se dois problemas que merecem atenção sob o ponto de vista da qualidade da energia. O

primeiro está relacionado com o fator de potência registrado para os reatores eletromagnético e eletrônico, 0,53 e 0,97 respectivamente.

Particularmente para o reator eletrônico utilizado nesta análise observa-se que, embora a absorção de potência ativa seja de 88,1W a potência aparente foi de 166,3 VA.

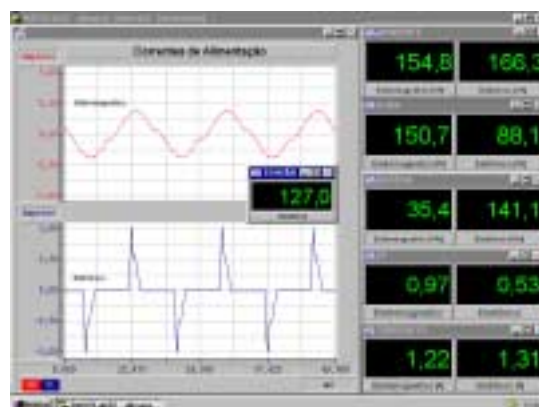


Figura 3 – Resultados experimentais para o reator eletromagnético e eletrônico.

Assim, na substituição do reator eletromagnético pelo eletrônico, espera-se um ganho de aproximadamente 62,6W por unidade. Por outro lado, devido ao baixo fator de potência, a potência aparente esperada na substituição dos reatores acaba aumentando em 11,5 VA por unidade.

Para o caso de um consumidor residencial ou comercial de pequeno porte, os resultados obtidos nos estudos de viabilidade econômica podem ainda ser considerados satisfatórios, uma vez que a forma de tarifação utilizada para estes consumidores considera apenas a parcela relativa ao consumo de energia. No entanto, em aplicações industriais onde o faturamento da energia elétrica é baseado na demanda, no consumo, excedentes de demanda e consumo devido baixo fator de potência, é indispensável estudos mais detalhados envolvendo a composição dos custos operacionais e viabilidade econômica.

Um outro aspecto importante a ser avaliado é a influencia dos dispositivos considerados energeticamente eficientes no comportamento dos circuitos elétricos onde os mesmos são inseridos.

A título de ilustração, admitiu-se um alimentador trifásico que se inicia em um quadro de distribuição interno e destina-se a alimentação de um circuito de iluminação. Os resultados apresentados foram obtidos através de ensaios experimentais realizados com três lâmpadas incandescentes de 100W e três lâmpadas compactas 22W.

Cada conjunto de lâmpadas foi alimentado de forma trifásica através de uma fonte de alimentação controlada e de uma impedância série equivalente, representando um condutor bitola de 4mm² e 100m de comprimento..

A partir do padrão característico das tensões, correntes e quedas de tensão colhidas pelo sistema de aquisição de dados foram extrapolados os valores representativos para uma instalação real através de um “software” de processamento de sinais. Com a finalidade de ilustrar os fenômenos desejados e garantir um padrão de comparação entre os dispositivos adotou-se como parâmetro comum a corrente de linha absorvida pela carga total, no caso de aproximadamente 2,4A. A Tabela 3 mostra os resultados obtidos nos terminais de alimentação das lâmpadas.

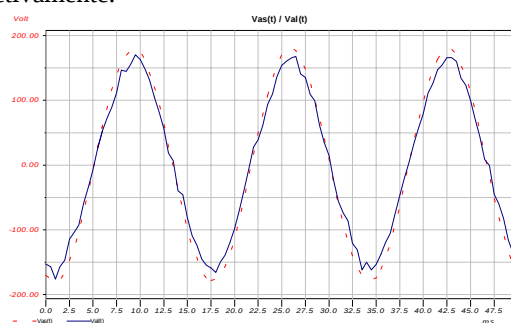
Tabela 3 - Resultados experimentais / simulados

Carga	Tensão (V)	THD _v (%)	ΔV (%)	I _a (A)	I _n (A)
Incandescente	122,4	1,7	4,0	2,37	0,07
Compactas	113,0	5,6	11,2	2,35	4,17

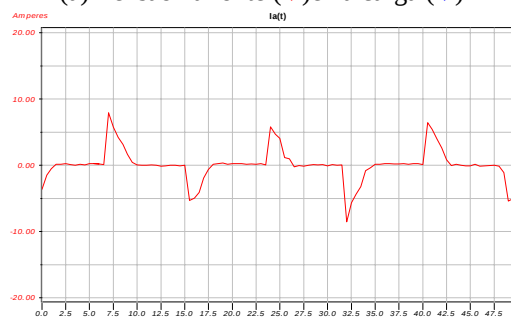
Verifica-se que, na alimentação de uma carga trifásica de iluminação, composta apenas por lâmpadas incandescentes, os valores de distorção harmônica e quedas de tensão atendem os padrões estabelecidos por normas para distorção harmônica ($THD_v \leq 5\%$) e quedas de tensão percentual ($\Delta V\% \leq 4\%$) [01], [03]. Outro aspecto importante a ser observado é a corrente no condutor neutro, que neste caso, devido ao equilíbrio da carga resultou praticamente nula.

Por outro lado, suprimindo com a mesma corrente de linha, uma carga de iluminação composta por lâmpadas compactas, observa-se um comportamento substancialmente diferente com respeito a queda de tensão, distorção harmônica e fluxo de corrente pelo neutro.

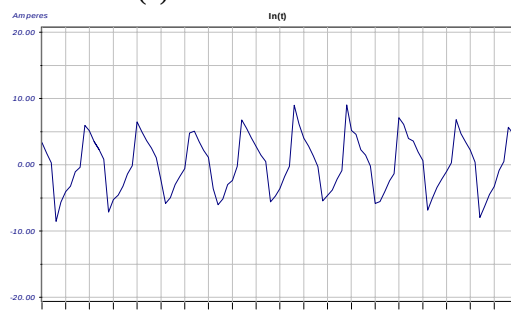
As formas de onda das tensões terminais, da corrente na fase A e no neutro são apresentadas na Figura 4 a, b e c respectivamente.



(a) Tensão na fonte (♦) e na carga (◆)



(b) Corrente na linha A



(c) Corrente no neutro

Figura 4 – Circuito com lâmpadas compactas

As altas taxas de distorção harmônica das correntes provocam quedas de tensão acentuadas, sobretudo devido a relação direta dos valores das reatâncias nas linhas com a frequência. Além disso, um outro aspecto de fundamental

importância é a corrente de circulação pelo condutor neutro que contribui também para aumento da queda de tensão. A composição das harmônicas múltiplas de três provocaram neste caso uma corrente de neutro 77% maior que o valor rms das correntes de linha. Os resultados apresentados indicam que o dimensionamento de circuito contendo cargas não-lineares, particularmente lâmpadas compactas merece cuidados especiais no sentido de garantir uma regulação de tensão e taxa de distorção adequadas. Particularmente, o condutor neutro deve ser analisado com muito critério, sobretudo quanto ao seu dimensionamento nos alimentadores principais.

IV. CONCLUSÕES

A julgar pelos resultados obtidos nos ensaios experimentais envolvendo dispositivos energeticamente disponíveis no mercado nacional, alguns cuidados devem ser tomados na implantação de programas de GLD. Com introdução das lâmpadas fluorescentes compactas em grande escala espera-se um aumento considerável dos níveis de harmônicos de tensão e de corrente nos próximos anos, o que pode trazer sérias consequências à operação dos sistemas de elétrico como um todo. Entre elas destacam-se, entre outros, a deterioração da qualidade da energia fornecida, a degradação da vida útil de equipamentos, o funcionamento inadequado da proteção, os erros no sistema de medição da energia elétrica, as sobretensões e/ou sobrecorrente devido a ressonâncias e a interferência nos sistemas de comunicação.

Destaca-se também mesmo reconhecendo que os programas de conservação de energia propostos levem de fato a otimização do consumo de energia elétrica, verificou-se que os resultados obtidos ficam, em geral, abaixo da expectativa preconizada devido principalmente a grande diversidade na qualidade técnica dos dispositivos considerados eficientes.

Finalmente, recomenda-se que em para trabalhos futuros seja desenvolvida uma metodologia para estudo de viabilidade econômica do investimento que incorpore os custos adicionais relacionados a perda de qualidade da energia elétrica ofertada.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] DUGAN, R.C.; MCGRANAGHAN, M.F.; BEATY, H.W.; - "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill, 1996.
- [02] TAKAHASHI, K., MALISZEWSKI, R.M., MESLIER, F., WALLACE, P., SALVADERI, L. and WATANABE, T., "Impacts Of Demand Side Power Electronics Technologies On Power System Planning", CIGRE SC-37, 1995.
- [03] IEEE Task Force, -"Effects of Harmonics on Equipment" – IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.8, N.2, pp. 672-680, April, 1993
- [04] Agência Nacional de Energia Elétrica, 1999d. "Relatório Síntese dos Programas de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica", Ciclo 1999/2000, Brasília: ANEEL.