

CARACTERIZAÇÃO E COMPENSAÇÃO DE HARMÔNICOS E REATIVOS DE CARGAS NÃO-LINEARES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS

José Antenor Pomilio e Sigmar Maurer Deckmann

Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação

Universidade Estadual de Campinas

Campinas – Brasil

antenor@dsce.fee.unicamp.br sigmar@dsce.fee.unicamp.br

Resumo – Este artigo utiliza dados experimentais de cargas típicas de uso residencial para verificar seu comportamento como “fonte de corrente” ou “fonte de tensão” harmônica. Discute ainda problemas relacionados com o emprego de técnicas de filtragem ou compensação passiva de harmônicos e de potência reativa. Adicionalmente, com base em medições de campo em redes de distribuição, baixa tensão, em áreas residenciais, identifica-se a proporção entre cargas lineares e não-lineares bem como o tipo de não-linearidade presente, comprovando as análises realizadas com base em experimentos de laboratório.

Palavras-chave – Carga não-linear; Compensação passiva; Harmônicos; Retificador; Compensação de reativos.

CHARACTERIZATION AND COMPENSATION FOR HARMONICS AND REACTIVE POWER OF RESIDENTIAL AND COMMERCIAL NON-LINEAR LOADS.

Abstract - This paper uses data from experimental measurements of typical residential loads to verify whether they behave as current or voltage type non-linear loads, and discusses the drawbacks of passive shunt compensation for harmonics and reactive power. Additionally, based on field measurements in a residential low-voltage distribution grid, the share between linear and non-linear loads is identified, as well as the kind of non-linearity present in the grid.

Keywords – Non-linear load models; Passive compensation; Harmonics; Diode rectifier; Distribution system compensation.

I. INTRODUÇÃO

O uso de filtros sintonizados e de capacitores na rede secundária tem como objetivo realizar a compensação da potência reativa, melhorar o perfil das tensões ao longo do alimentador, reduzir o carregamento dos transformadores e reduzir as perdas ôhmicas na rede.

Diferentemente do que ocorre, em geral, com cargas não lineares industriais, que apresentam um comportamento de

“fontes harmônicas de corrente”, as cargas não-lineares de uso doméstico e comercial têm um comportamento predominante de “fontes harmônicas de tensão” [1-4]. Tais cargas são constituídas, essencialmente, de aparelhos eletro-eletrônicos que possuem em sua entrada um retificador monofásico com filtro capacitivo (computadores, reatores eletrônicos sem correção de fator de potência, lâmpadas fluorescentes compactas, aparelhos de TV, som, etc.). Por outro lado, a potência reativa em redes domésticas sofre pequena variação ao longo de uma jornada diária e está, preponderantemente, relacionada com os refrigeradores, e, eventualmente, por máquinas de lavar.

No entanto, na presença de cargas tipo “fontes harmônicas de tensão”, a conexão de compensadores ou filtros em derivação não é capaz de alterar significativamente a corrente que as mesmas produzem no restante no circuito. Na prática, o que ocorre é um aumento das componentes harmônicas da carga, o que confirma o seu funcionamento como fonte de tensão. De fato, estas “fontes de tensão” não são ideais, apresentando uma certa impedância série, de sorte que pode ocorrer algum efeito de atuação do componente em derivação, mas com eficácia muito menor do que o que se verifica com uma carga não-linear do tipo “fonte de corrente”.

Por outro lado, a compensação da energia reativa pode ser feita por meio da instalação local de capacitores. No entanto, dada a presença de cargas não-lineares, e ainda a existência de distorções na tensão de alimentação, verifica-se também uma amplificação da circulação de correntes harmônicas na presença desses capacitores. Uma solução para este problema seria a inclusão de um reator em série com o capacitor que possibilitaria a compensação dos reativos (na frequência fundamental) sem ampliar demais a distorção da corrente [5].

II. ANÁLISE DE CARGAS TÍPICAS

Para efeito da análise que se segue, as cargas domésticas podem ser divididas em 3 grupos: cargas resistivas, cargas indutivas e cargas eletrônicas. Do ponto de vista de reativos e de harmônicos são as 2 últimas categorias que devem ser consideradas.

A. Refrigeradores: carga tipo fonte de corrente

O comportamento de um refrigerador, que é a carga indutiva mais presente em ambientes residenciais, além de implicar na demanda de potência reativa, também produz harmônicos pela distorção da corrente, como se pode observar na Figura 1. Outros aparelhos, que possuam motores ou transformadores em sua entrada, como máquinas

Artigo submetido em 23 de maio de 2005. Primeira revisão em 7 de setembro de 2005. Segunda revisão em 11 de novembro de 2005. Aceito sob recomendação do Editor da Seção Especial Edson H. Watanabe¹

de lavar, aparelhos de ar condicionado, ventiladores, bombas, etc. podem ser incluídos neste grupo.

As curvas mostradas na Figura 1 referem-se a um refrigerador de baixo consumo (26,6 kWh), com potência aparente de 170VA e fator de potência de 0,64 (131VAR e 108,5W). A Figura 2 mostra o espectro da corrente, cujas principais componentes são: 3ª (6,2%), 5ª (5%) e 7ª (1,5%). A Distorção Harmônica Total (DHT) da tensão é nula pois, neste teste, foi utilizada uma fonte programável.

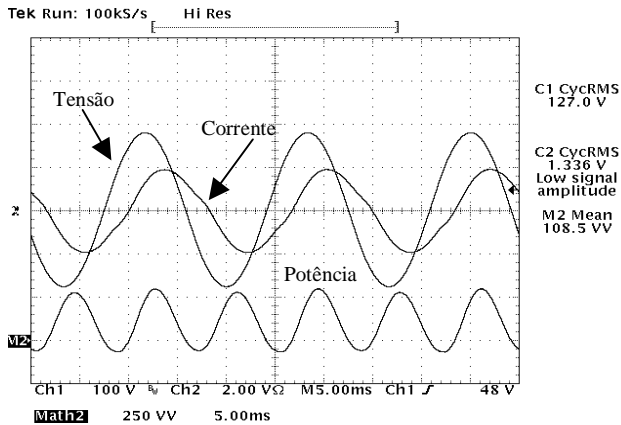


Fig. 1. Tensão (100V/div), corrente (2A/div) e potência instantânea (250W/div) em refrigerador.

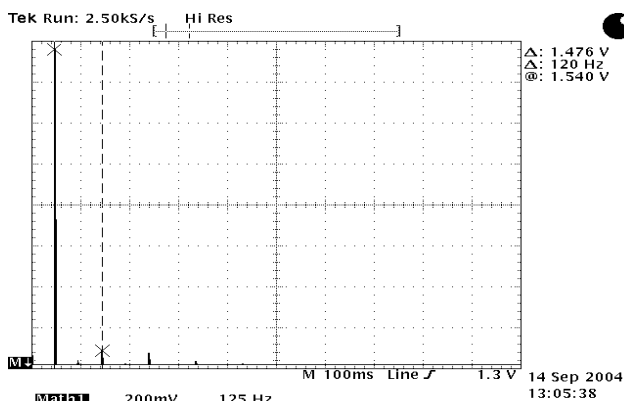


Fig. 2. Espectro da corrente do refrigerador. (0,2A/div., 125Hz/div.).

Esta distorção na corrente pode ser bem modelada por fontes de correntes harmônicas, ou seja, a inclusão de um filtro em derivação no ponto de acoplamento da carga consegue evitar que estes harmônicos se propaguem pelo restante do circuito, como se verá na seqüência deste trabalho.

Um refrigerador de duas portas tem um consumo médio maior que o dobro do valor anterior. Considerando um ciclo de trabalho de 1/3, tem-se um consumo médio, por domicílio, de 130VA (83W, 100VAr).

Considerem-se agora os resultados de uma medição de campo em uma rede secundária, com 141 consumidores residenciais (70% da demanda), 8 consumidores comerciais (25% da demanda) e 1 consumidor industrial (5% da demanda). Trata-se de um bairro de classe média, o que tem implicações sobre o padrão de consumo de energia elétrica.

Os resultados de medições que se seguem foram realizados com o equipamento TOPAS-1000, fabricado pela LEM.

A Figura 3 mostra, para cada fase, o comportamento da potência reativa durante o período de 1 semana de medição. O desequilíbrio entre as fases é pequeno, de modo que não é importante identificar cada uma das três fases. Esta consideração é também válida para os outros resultados de medições apresentados.

Na figura 3 nota-se um valor base (mínimo) de potência reativa em torno das 6 horas da manhã, que apresenta um crescimento ao longo da manhã e decréscimo após o meio dia. O valor mínimo é perfeitamente consistente com as estimativas de consumo dos refrigeradores domésticos. Ao longo da manhã há um aumento na potência reativa, justificável pelo uso de máquinas de lavar e outros eletrodomésticos contendo motores. A partir do meio dia observa-se uma redução sistemática da potência reativa, na direção oposta ao da potência ativa, mostrada na Figura 4. Ou seja, as novas cargas adicionadas, especialmente no final da tarde e início da noite, devem possuir fator de deslocamento próximo da unidade. Poderiam ser cargas resistivas (lâmpadas incandescentes e chuveiros) ou cargas eletrônicas, como se verá na seqüência.

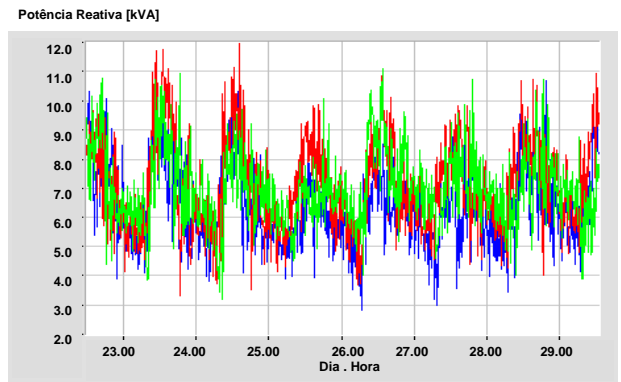


Fig. 3. Potência reativa medida na saída do transformador.

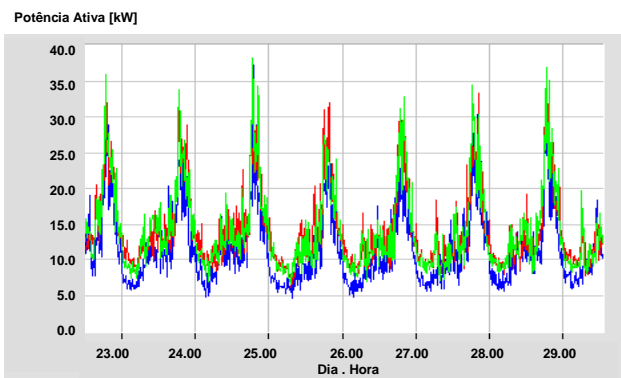


Fig. 4. Potência ativa medida na saída do transformador.

B. Cargas eletrônicas domésticas: fontes de tensões harmônicas

As cargas eletrônicas domésticas, tipicamente possuem um estágio retificador a diodos, com filtro capacitivo na saída. Como resultado tem-se uma corrente de entrada muito distorcida, com baixo fator de potência. O fator de deslocamento da fundamental resulta levemente capacitivo. A forma de onda da corrente é influenciada pela impedância

do alimentador, de modo que um mesmo retificador apresentará diferentes espectros de corrente para fontes com impedâncias distintas.

Cargas eletrônicas residenciais e comerciais típicas são televisores, lâmpadas fluorescentes compactas, reatores eletrônicos para lâmpadas fluorescentes tubulares (sem correção de fator de potência), computadores, aparelhos de som, etc. Em termos de consumo, a análise pode se limitar a televisores e lâmpadas compactas. Em regiões de maior poder aquisitivo, deve-se considerar também a presença de computadores e reatores eletrônicos.

Outros eletrodomésticos são de potência muito pequena (como rádio-relógio, aparelhos de segurança, carregadores de baterias), ou de uso não contínuo (forno de micro-ondas, aparelhos de som, *dimmers*, etc.).

A Figura 5 mostra a corrente de entrada de um aparelho de TV de 21', operando normalmente. Nota-se a distorção típica da corrente associada a um retificador com filtro capacitivo. Na mesma figura têm-se as medidas dos valores eficazes da tensão, da corrente e da potência ativa. A potência aparente vale $S=85,54VA$.

Com tais grandezas pode-se determinar o fator de potência, que é de 0,63. A potência consumida, 54W, pode ser considerada típica para televisores deste porte. Este valor se altera, principalmente em função da área da tela. Pode-se supor que um aparelho de 29', tendo uma área de tela com o dobro daquela do aparelho de 21', consuma cerca de 100W. Uma TV de 14' deve consumir cerca de 30W.

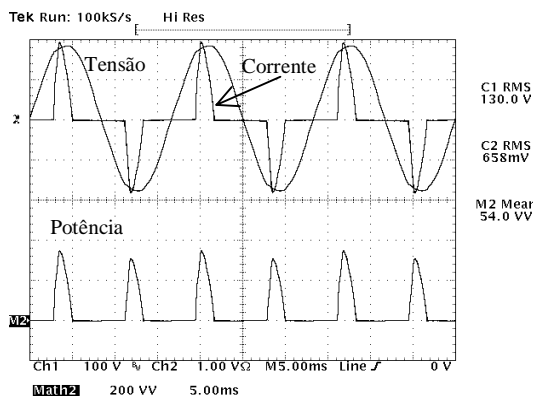


Fig. 5. Tensão (100V/div), corrente (1A/div) e potência instantânea (200W/div) de aparelho de TV.

Para uma lâmpada compacta, pode-se considerar uma potência média de 10W. Um computador, incluindo o monitor, apresenta um consumo médio em torno de 100W.

Reatores eletrônicos para lâmpadas tubulares apresentam-se em variada faixa de potência. A partir de 60W, por norma, devem possuir alto fator de potência. Para os de potência inferior, em geral a corrente absorvida da rede é como a mostrada na Figura 5. Pode-se considerar uma potência média de 30W por reator.

A Figura 6 mostra o espectro da corrente (valor eficaz das componentes harmônicas). Como esperado, tem-se expressiva presença de componentes ímpares. A componente fundamental da corrente resultou adiantada de $14,4^\circ$ em relação à tensão.

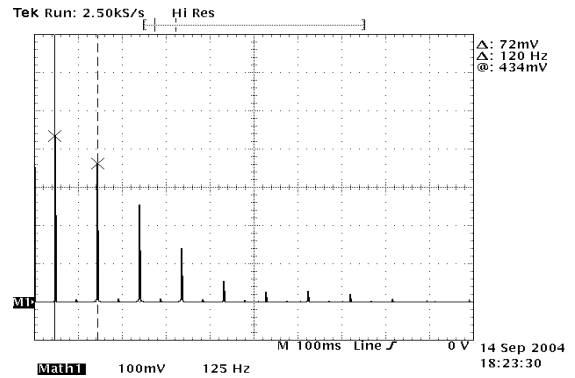


Fig. 6. Espectro de corrente da TV valor eficaz das componentes (100mA/div).

III. MODELAGEM DE CARGAS NÃO-LINEARES

A. Cargas tipo fonte de corrente

No caso de uma carga que possa ser modelada como uma fonte de corrente [6], a relação entre a corrente da carga e a corrente da fonte CA, na presença de um filtro em derivação com impedância Z_f , é dada por um divisor de corrente entre tal impedância e a impedância da fonte, Z_i .

$$\frac{I_i}{I_h} = \frac{Z_f}{Z_f + Z_i} \quad (1)$$

Torna-se evidente que à medida que Z_i diminui (maior nível de curto-circuito) a eficácia do filtro se reduz.

Se a carga efetivamente apresentar um comportamento de fonte de corrente, um filtro sintonizado, conectado em derivação, como mostra a Figura 7, pode ser usado para desviar da fonte CA os componentes harmônicos de corrente gerados pela carga, representada por I_h .

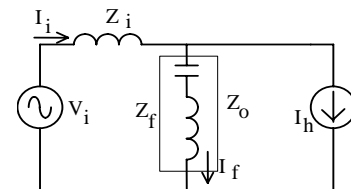


Fig. 7. Modelagem de carga não-linear como fonte de corrente, incluindo filtro em derivação para atenuação de harmônicos de corrente.

Para verificar este fato, um filtro de 5ª harmônica foi inserido junto à entrada da alimentação do refrigerador estudado anteriormente. A frequência de ressonância do filtro foi ajustada um pouco abaixo da frequência harmônica para evitar a amplificação desta componente caso a mesma se encontre presente na tensão da rede [7].

O resultado é mostrado na Figura 8. O alimentador tem uma impedância série de 2%, que é 7 vezes maior do que a impedância do filtro na frequência de sintonia (285 Hz). Em 300 Hz a relação é de aproximadamente 3:1. A capacitância foi calculada para compensar o fator de deslocamento (20 μF), resultando em um indutor de 15,6 mH.

Com este filtro, a componente de 5ª harmônica na rede foi reduzida em 3,6 vezes. A 7ª harmônica permaneceu praticamente inalterada, enquanto a 3ª harmônica teve um aumento para 9% devido ao efeito de anti-ressonância entre o

filtro e a impedância do alimentador. Para este tipo de carga (refrigerador), considerando os resultados da aplicação do filtro, pode-se considerar que o modelo tipo “fonte de corrente” é adequado, pois os resultados são consistentes com a expectativa.

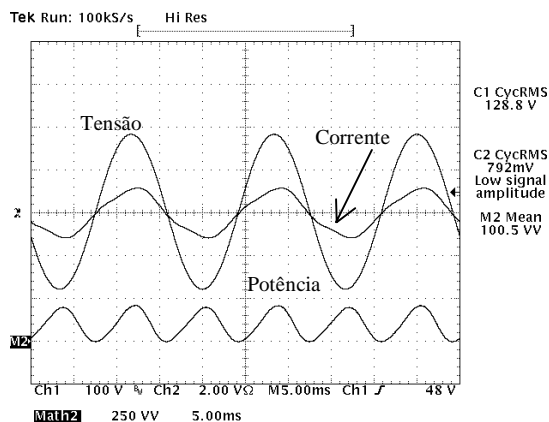


Fig. 8. Tensão (100V/div), corrente (2A/div) e potência instantânea (250W/div) na rede com uso de filtro em derivação (carga: refrigerador).

B. Cargas tipo fonte de tensão

Em um retificador com filtro capacitivo, como mostrado na Figura 9, a tensão na entrada do retificador é imposta pelo capacitor do lado CC durante o intervalo de tempo em que os diodos estiverem em condução. Isto implica que a carga não linear não deve ser modelada como uma fonte de corrente, mas sim como uma fonte de tensão.

A eficácia de um filtro LC, com impedância Z_f , conectado em paralelo com a carga, pode ser expressa pela admitância equivalente [1]:

$$\frac{I_i}{V_o} = \frac{Z_f}{Z_o Z_i + Z_o Z_f + Z_i Z_f} \quad (2).$$

Esta equação mostra quanto uma componente harmônica de tensão imposta pela carga produz de corrente na rede. A compensação depende tanto da impedância da carga, Z_o , quanto da fonte CA (Z_i). Se Z_o for nula (a carga se comporta como uma fonte de tensão ideal), o filtro em paralelo é inútil. O mesmo ocorre se a impedância da rede for nula.

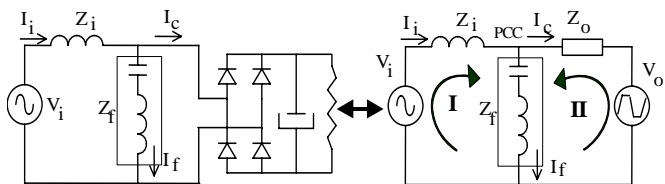


Fig. 9. Retificador com filtro capacitivo e modelo de carga como fonte de tensão.

O comportamento tipo fonte de tensão deste tipo de carga pode ser comprovado por simulação ou experimentalmente.

A Figura 10 mostra resultados simulados em que a carga é composta por uma parte linear (RL, equivalente ao refrigerador) e uma parcela não linear (equivalente a um aparelho de TV). Inicialmente o filtro de 5ª harmônica está conectado no ponto de acoplamento comum (PAC), pensando o fator de deslocamento. Nota-se uma maior

distorção da corrente. A Figura 11 mostra um resultado experimental nas mesmas condições.

Conforme mostra a Tabela I, a corrente da carga é menos distorcida sem o filtro. O aumento dos componentes harmônicos da corrente da carga (TV) comprova a natureza de fonte de tensão da mesma.

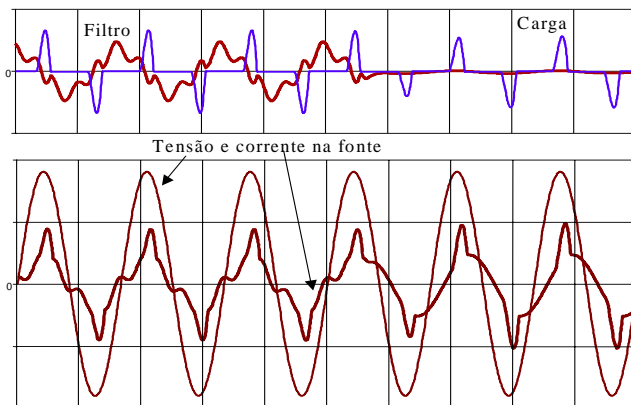


Fig. 10. Formas de onda da corrente com e sem compensação por filtro sintonizado. Traços superiores: Corrente no filtro de 5º harmônico e na carga (TV) (4A/div). Traços inferiores: Tensão (100V/div.) e corrente na fonte (4A/div.).

TABELA I
Corrente na carga (TV)

Ordem Harmônica	Sem filtro [mA]	Com filtro de 5º harm. [mA]
1	808	830
3	687	732
5	488	563
7	275	368
9	114	192
11	60	78
DHT(%)	111%	123%

A Tabela II mostra os componentes harmônicos da tensão no PAC. Como esperado há uma redução no 5º (e também no 7º) harmônico, mas há um aumento no 3º e 9º componentes. A distorção harmônica total (DHT) está dentro de limites de normas como a IEEE-519 [8]. A redução da DHT deve-se ao pequeno valor resultante, na tensão, para o 5º harmônico.

A Tabela III mostra o feito sobre a corrente na fonte. O filtro leva a uma redução no 5º harmônico (embora proporcionalmente menor do que no caso do refrigerador). Há um aumento no 3º e 9º harmônicos. A fundamental se reduz devido à compensação da potência reativa.

TABELA II
Tensão no PAC

Ordem Harmônica	Sem filtro [%]	Com filtro de 5º harm. [%]
3	2,2	2,92
5	2,58	0,83
7	2,03	1,73
9	1,08	1,27
11	0,69	0,66
DHT(%)	4,46	4,05

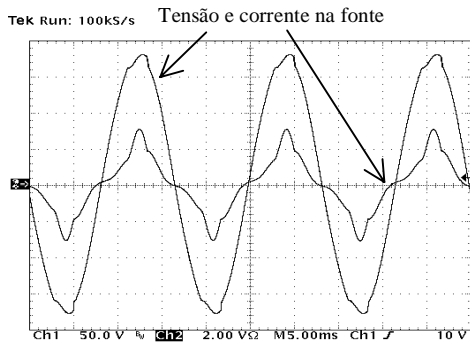


Fig. 11. Tensão (50V/div) e corrente (2A/div) na fonte, alimentando refrigerador e TV, com uso de filtro de 5° harmônico.

TABELA III
Corrente na fonte (valor de pico)

Ordem Harmônica	Sem filtro [A]	Com filtro de 5° harm. [A]
1	2,68	2,2
3	0,671	0,904
5	0,477	0,157
7	0,268	0,232
9	0,11	0,132
11	0,058	0,056
DHT(%)	32,8%	43,7%

A presença do filtro sintonizado pode produzir um efeito adverso em termos de melhoria na forma de onda, principalmente no caso de existir uma componente de tensão do alimentador nesta frequência de sintonia. A baixa impedância do filtro levará a um aumento na distorção da corrente e da tensão. A Figura 12 mostra o resultado com o mesmo filtro, mas incluindo apenas 2% de 5° harmônico na tensão da fonte. Mesmo de-sintonizado, o filtro amplifica essa corrente para 23% da fundamental!

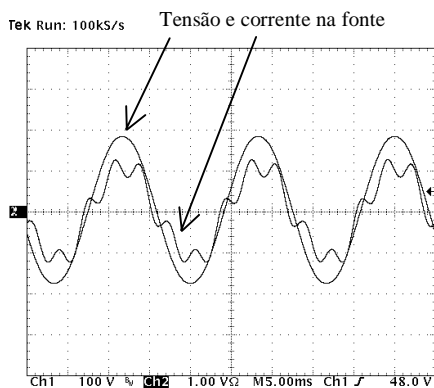


Fig. 12. Tensão da fonte (2% de 5° harmônico) (100V/div) e corrente (1A/div) com filtro sintonizado junto à carga.

IV. EFEITO DE CARGAS TIPO FONTE DE TENSÃO EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO

A. Carga em rede com consumidores residenciais

A seguir será analisado o comportamento da terceira harmônica ao longo de um período de medição. Foi visto que a corrente medida do refrigerador apresenta cerca de 6% de

3ª harmônica, ou seja, um valor de aproximadamente 70 mA. Considerando refrigeradores com consumo maior do que o ensaiado, este valor se eleva para 175 mA. Com ciclo de trabalho de 1/3, a participação média por refrigerador é de 60mA. Havendo 141 domicílios, igualmente divididos entre as 3 fases, isto deve representar 2,8 A por fase de terceira harmônica. Durante as madrugadas tais componentes são dominantes, como se vê na Figura 13.

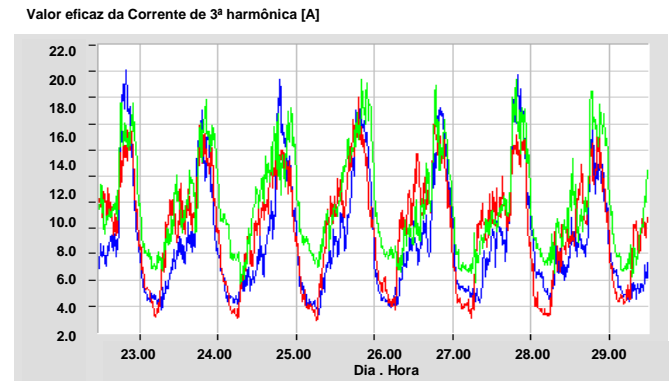


Fig. 13. Terceiro harmônico da corrente, medido em rede secundária, ao longo de 7 dias.

Supondo a presença de um televisor e de 3 lâmpadas compactas por residência, tem-se uma potência similar à do refrigerador (hipotético) considerado (80 W). Tais cargas produziriam uma componente de 3° harmônico de 700 mA, ou seja, mais de 7 vezes a distorção produzida pelo refrigerador. Muito provavelmente nem todos os domicílios estarão com estas cargas ligadas no horário noturno. Caso 65% dos aparelhos estejam ligados (valor consistente com medições de índice de audiência de TV em horário noturno, em finais de semana), isto indica que deve haver 15 A (por fase), além do relacionado à geladeira. Tais valores também são coerentes com as medições observadas.

Isto mostra que a distorção da corrente é majoritariamente determinada pelas cargas tipo retificador, e apenas marginalmente (10 a 20%) pelos refrigeradores e outras cargas deste tipo (motores). Também explica a redução da potência reativa total (Figura 3), já que as cargas não-lineares do tipo retificador apresentam leve característica capacitiva em termos da fundamental. O crescimento relativo da 3ª harmônica é menor que o da potência ativa, o que indica o aumento das cargas resistivas no final da tarde e começo da noite.

B. Carga em rede com consumidores comerciais

Neste caso, as medições se referem a uma rede secundária radial, relativamente curta, porém com concentração de cargas comerciais (80% da carga) e industriais (11% da carga). Quase 65% das cargas comerciais estão conectadas em uma mesma barra. Trata-se de um alimentador urbano, com alta presença de cargas não-lineares típicas de escritórios de serviços (iluminação com reatores eletromagnéticos e eletrônicos, computadores, impressoras, condicionadores de ar, etc.).

Das medições foram extraídos alguns resultados significativos para a análise do tipo de carga conectada. Por exemplo, a carga total está razoavelmente bem balanceada

(Figura 14). No entanto, as cargas não lineares estão concentradas em duas fases, como se pode concluir da análise da Figura 15.

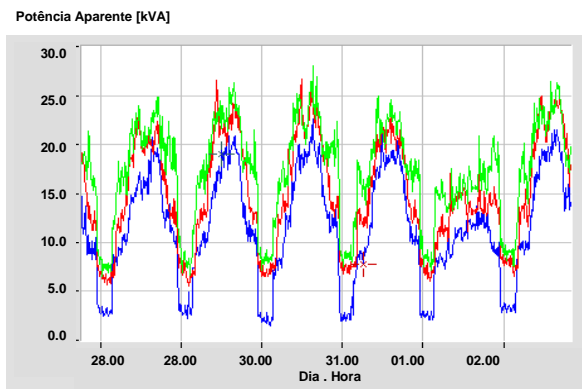


Fig. 14. Potência aparente no secundário do trafo na rede comercial, ao longo de 6 dias.

O 3º harmônico aumenta durante o horário comercial apenas em duas fases, sugerindo cargas bifásicas não lineares (reatores sem correção de fator de potência). Comportamento análogo se nota também nas demais componentes harmônicas da corrente. Tal desequilíbrio leva a uma propagação de componentes harmônicas da corrente para o lado de alta tensão do transformador, o que resultará na distorção da tensão no sistema de distribuição para outras cargas.

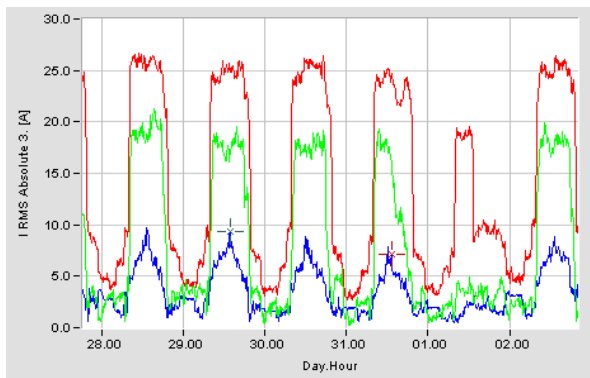


Fig. 15. Terceiro harmônico da corrente da carga comercial ao longo de 6 dias.

V. COMPENSAÇÃO CAPACITIVA EM REDES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS

As empresas de distribuição de energia elétrica ou mesmo grandes consumidores estão interessados na aplicação de filtros passivos ou de compensação capacitiva nas redes com o objetivo de, ao melhorar o perfil de tensão, postergar investimentos nestas redes [9-13].

Dado que o uso de filtros sintonizados, na presença de distorções na rede, pode significar uma situação de risco, uma alternativa a ser analisada é a compensação apenas da potência reativa por meio de capacitores.

Em ambos os tipos de compensação, o montante de reativos capacitivos pode ser dimensionado de modo a compensar a parcela “base” de potência reativa (como indicado na Figura 3). Como benefícios econômicos, tem-se

a redução de perdas no transformador e na rede, mas, principalmente, uma elevação da demanda por conta do aumento da tensão para os consumidores.

A Figura 16 mostra a alteração na potência reativa medida no transformador (rede residencial) com compensação com um banco capacitivo (17,5 kVAr), enquanto a Figura 17 mostra o efeito sobre a tensão na saída do transformador.

A Figura 18 mostra que se tem um aumento na DHT da tensão com a instalação do banco capacitivo. A DHT média de tensão se elevou de 2% para 2,5%, enquanto a de corrente aumentou de 8,5% para 10%, como mostra a Figura 19.

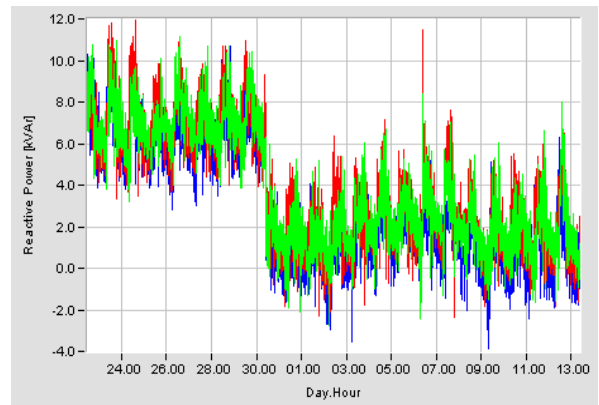


Fig. 16. Efeito da compensação de reativos em rede predominantemente residencial.

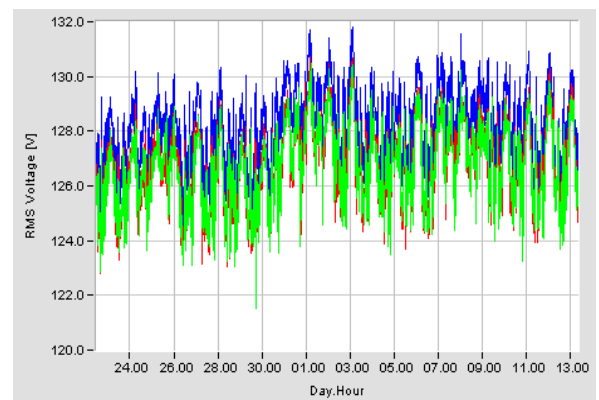


Fig. 17. Aumento na tensão junto ao transformador com compensação capacitiva a partir do dia 30.

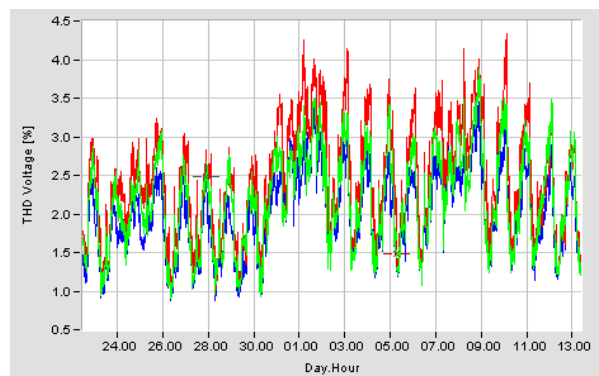


Fig. 18. DHT da tensão antes e após a instalação do banco capacitivo.

O aumento da distorção (especialmente a 7ª harmônica) somente é explicado pela presença de cargas não lineares do tipo fonte de tensão, conforme já foi discutido, e demonstra que este tipo de solução deve ser usado com cuidado e apenas em situações em que a presença deste tipo de carga represente uma parcela relativamente pequena da demanda, o que é o caso da rede residencial.

Assumindo que a carga tem um comportamento de fonte de tensão, para a explicação deste comportamento é necessário considerar a ressonância paralela entre o banco capacitivo e a impedância da fonte. O componente harmônico da tensão no PAC, para um dado valor presente na carga (V_{oh}) é dado por:

$$\frac{V_{hPAC}}{V_{oh}} = \frac{Z_i // Z_f}{Z_o + Z_i // Z_f} \quad (3)$$

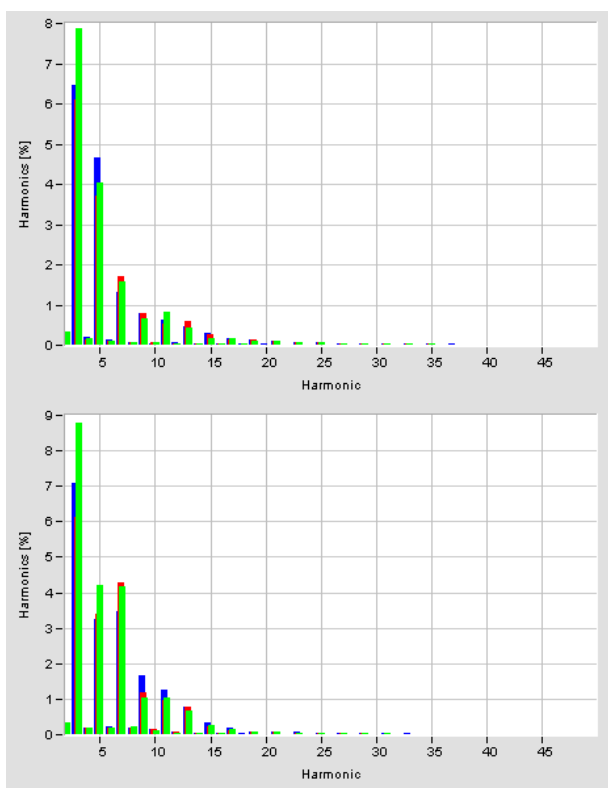


Fig. 19. Espectro da corrente no transformador antes (alto) e depois (baixo) da instalação do banco de capacitores.

VI. CONCLUSÕES

Os equipamentos eletro-eletrônicos de uso dominante em áreas residenciais e comerciais possuem, em sua interface com a rede, retificadores a diodos com filtro capacitivo. Tais dispositivos comportam-se como cargas não-lineares do tipo fonte de tensão harmônica, o que implica na ineficiência de dispositivos em derivação para a filtragem das correntes harmônicas. A natureza de fonte de tensão destas cargas foi verificada por simulação e experimentalmente.

O estudo de redes com cargas deste tipo por meio de modelos com fonte de corrente são inadequados e conduzem a resultados errados.

Nas condições anteriores, a colocação de bancos capacitivos para a compensação de reativos e conseqüente melhora no perfil de tensão ao longo da rede de baixa tensão, leva a uma ampliação da distorção harmônica da tensão e da corrente, de modo que deve ser usada com muito cuidado.

Em redes secundárias que já possuam uma elevada DHT de corrente, como é o caso de consumidores comerciais, a simples inclusão de bancos capacitivos pode levar a níveis inaceitáveis de harmônicos. Nestes casos deve-se utilizar reatores em série com o banco capacitivo de modo a minimizar a ampliação dos harmônicos de corrente, tomando-se o cuidado para evitar ressonâncias com os harmônicos impostos pela tensão no lado AT (primário) do transformador.

AGRADECIMENTOS

Este artigo foi motivado por atividades de pesquisa desenvolvidas junto à Elektro Eletricidade e Serviços Ltda (Proj. CAPSEC, ciclo 2003/04). Assim, por sua participação no projeto, os autores desejam agradecer aos colegas Ernesto Mertens e Luis Dias (Elektro), Alexandre Aoki, Mateus Duarte (Lactec) e Flávio Garcia (Iesa).

REFERÊNCIAS

- [1] F. Z. Peng, G-J Su, and G. Farquharson, "A series LC filter for harmonic compensation of AC Drives". *Proc. of the IEEE Power Electronics Specialists Conference - PESC'99*, Charleston, USA, June 1999.
- [2] S. M. Deckmann, J. A. Pomilio, E. Mertens and L. Dias, "Uso de filtros passivos em redes de distribuição com cargas não-lineares", *Anais do XV CBA*, Gramado - RS, Setembro de 2004.
- [3] S. M. Deckmann, J. A. Pomilio "Characterization and compensation for harmonics and reactive power of residential and commercial loads", *Anais do 8º Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência, COBEP 2005*, Recife, 14-17 de junho de 2005.
- [4] S. M. Deckmann, J. A. Pomilio.; E.A. Mertens, L.F.S Dias, A. R. Aoki,., M.D Teixeira, F.D.Garcia, "Compensação Capacitiva em Redes de Baixa Tensão com Consumidores Domésticos: impactos no nível de Tensão e na Distorção Harmônica", *Anais do VI SBQEE* Belém, PA. Ago. 2005.
- [5] J. K. Phipps, J. P. Nelson, P. K. Sen, "Power Quality and Harmonic Distortion on Distribution Systems", *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 30, no. 2, March/April 1994, pp. 476-484.
- [6] T. Key, and J-S. Lai, "Costs and benefits of Harmonic Current Reduction for Switch-Mode Power Supplies in a Commercial Building", *Proc. of IEEE Industry Applications Annual Meeting*, 2001, USA, pp. 1101-1108.
- [7] J. A. Bonner, "Selecting ratings for capacitors and reactors in applications involving multiple single-tuned filters", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol.10, No.1, Jan. 1995, pp.547-555.

- [8] "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems." Project IEEE-519, 1991.
- [9] A. M. de Oliveira, J. W. de Medeiros Jr., A. M. M. Medeiros, A. C. M. do Valle, F. B. de Mendonça, "Energy Quality x Capacitor Bank", *Anais do 7º Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência – COBEP 2003*, Fortaleza, Ceará.
- [10] J. R. Macedo Jr., J. W. Resende, M. I. Samesima, e D. B. Gomes, "Aplicação de Filtros Harmônicos Passivos em Circuitos Secundários", *Anais do II CITENEL*, Salvador, Nov. 2003, pp.845-852.
- [11] C. Penna, e J. W. Resende, "Análise da Instalação de Filtros Harmônicos Passivos em Circuitos Secundários de Distribuição", *Proc. of the II CITENEL*, Salvador, Nov. 2003, pp.839-844.
- [12] T. Tanaka, Y. Nishida, S. Funabike, "A Method of Compensating Harmonic Currents Generated by Consumer Electronic Equipment Using the Correlation Function", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 19, No.1, Jan. 2004, pp. 266- 271.
- [13] ANEEL, Resolução Normativa Nº 505 de 26/11/2001.

DADOS BIOGRÁFICOS

Sigmar Maurer Deckmann, nascido em Cruz Alta, RS, em 06/04/1946, é engenheiro eletricista (1973), Mestre (1976) e Doutor (1980) em Engenharia Elétrica. Contratado desde 1974 pela Unicamp, atualmente é Professor Titular na mesma Universidade. Foi chefe de departamento (1986-90) e vice-diretor (1999-2003) da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Especializou-se na análise de cintilação luminosa (flicker). Desenvolve pesquisas na área de Qualidade de Energia Elétrica para apuração de indicadores de qualidade referentes a distúrbios de curta duração, flutuações de tensão e distorções harmônicas.

José Antenor Pomilio, nascido em Jundiaí, SP, em 06/05/1960, é engenheiro eletricista, Mestre, Doutor e Livre-docente em Eng. Elétrica pela Unicamp. De 1988 a 1991 foi chefe do grupo de eletrônica de potência do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron. Realizou estágios de pós-doutoramento na Universidade de Pádua e na Terceira Universidade de Roma, na Itália. Foi presidente da Sociedade Brasileira de Eletrônica de Potência. É editor da revista *Eletrônica de Potência* e editor associado da *IEEE Trans. on Power Electronics* e da revista *Controle & Automação*. É professor da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp desde 1984.