

Aplicação de Filtros Harmônicos Passivos em Circuitos Secundários

José Rubens M. Jr, ESCELSA; José W. Resende, Milton I. Samesima, Davi B. Gomes, UFU

RESUMO

Em meados do ano 2000, foi desenvolvido o primeiro filtro harmônico passivo para utilização em circuitos secundários aéreos de distribuição [1]. Neste projeto, pioneiro no Brasil, foram utilizados reatores a núcleo de ferro para composição dos filtros. Apesar dos resultados obtidos terem sido satisfatórios sob o aspecto harmônico, a utilização de reatores em núcleo de ferro proporcionava uma série de inconvenientes como, por exemplo, perdas elevadas e ruído audível considerável. Com base nestes resultados, o projeto caminhou para a construção de filtros utilizando-se reatores com núcleo de ar. O grande transtorno dessa nova topologia seria o tamanho elevado dos reatores, uma vez que os mesmos deveriam ser alocados junto a postes de distribuição. Entretanto, após vários contatos com fabricantes, a ALSTOM se prontificou a fabricar um reator especial, de proporções muito reduzidas, para utilização na composição dos novos filtros harmônicos. Dessa forma, obteve-se o equipamento apresentado neste trabalho, o qual contempla todos os benefícios do seu antecessor sob o aspecto harmônico sem, no entanto, apresentar os inconvenientes verificados no mesmo.

PALAVRAS CHAVE

Circuitos secundários de distribuição, harmônicas, filtros passivos sintonizados.

capacitores de potência e a indutância do sistema elétrico equivalente, mal funcionamento de relés microprocessados, assim como, de relés que dependem de valores de pico ou passagem por zero das ondas de tensão ou corrente para operação, acarretando em interrupção do fornecimento de energia elétrica. Dentre outros efeitos, podem-se citar também as interferências em sistemas de telecomunicação, perda da vida útil de transformadores e motores elétricos, etc.

Para a mitigação do problema relacionado a harmônicas, uma das práticas mais usuais em termos de Brasil é a aplicação de filtros harmônicos passivos. Essa solução vem ocupando cada vez mais espaço em grandes instalações industriais ou, ainda, em subestações conversoras para transmissão em corrente contínua. Nos sistemas de distribuição (média e baixa tensão), entretanto, praticamente não existem instalações de filtros passivos visando-se o controle de harmônicas. Nesse sentido, o presente trabalho propõe uma solução inovadora no contexto nacional para a melhoria dos níveis da qualidade da energia elétrica em circuitos secundários de distribuição.

I. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, as unidades consumidoras conectadas aos circuitos secundários de distribuição possuem um caráter fortemente indutivo e de características não-lineares. Este fato se deve aos avanços tecnológicos verificados nos últimos anos, a partir dos quais surgiram equipamentos como lâmpadas fluorescentes compactas, reatores eletrônicos, aparelhos de aquecimento com controle estático de temperatura, microcomputadores, televisores com modernas fontes de alimentação a estado sólido, dentre outros. Todos estes equipamentos possuem características não-lineares ou, em outras palavras, “injetam” nos circuitos secundários de distribuição das concessionárias de energia correntes com frequências múltiplas inteiras da frequência fundamental. São as chamadas frequências harmônicas.

Em linhas gerais, com a proliferação destas cargas geradoras de harmônicas, os sistemas elétricos, tanto das concessionárias de energia como das unidades consumidoras, passaram a conviver com o problema da distorção da onda de tensão e suas consequências.

Os efeitos da distorção da forma de onda de tensão podem ser os mais variados possíveis como, por exemplo, comprometimento da precisão de medidores de energia do tipo Watt-hora indutivos, ressonâncias paralelas entre

II. ASPECTOS GERAIS

Nos sistemas elétricos de distribuição, particularmente nos circuitos secundários de baixa tensão, é cada vez maior o número de problemas relacionados às frequências harmônicas. Os problemas vão desde de pequenas interferências em sinais de comunicação até ressonâncias paralelas entre capacitores de baixa tensão e a indutância equivalente da rede.

Atualmente, algumas concessionárias brasileiras estão instalando capacitores de baixa tensão em circuitos secundários de distribuição. Esta medida, sem dúvida alguma, traz vários benefícios ao circuito como, por exemplo, diminuição do carregamento dos transformadores de distribuição, diminuição das perdas técnicas no segmento considerado, aumento do nível de tensão, melhoria do fator de potência, entre outros. Entretanto, todos estes benefícios se relacionam somente à frequência fundamental do sistema elétrico. Sob o ponto de vista harmônico, esta técnica pode se mostrar muito insatisfatória, principalmente, quando da ocorrência de ressonância paralela entre o capacitor instalado na baixa tensão e a indutância equivalente do sistema elétrico a montante, no caso, o transformador de distribuição.

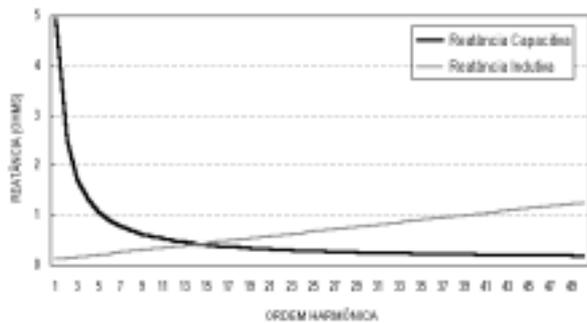


FIGURA 1 – Reatâncias do transformador e do capacitor em função da frequência.

Considerando-se um determinado circuito secundário de distribuição, ao qual se encontra instalado um capacitor de baixa tensão (220 V) com uma potência de 10 kVAr, tem-se uma frequência de ressonância paralela em torno da harmônica de ordem 15, conforme pode ser observado pela figura 1. Isto equivale a dizer que a impedância equivalente, considerando-se o capacitor e o transformador de distribuição, terá um máximo nesta frequência.

Dessa forma, se a ordem de uma corrente harmônica injetada por um equipamento perturbador corresponder à ordem da ressonância paralela, há risco de sobretensões harmônicas, especialmente quando a rede opera com pouca carga. Para o caso de circuitos secundários de distribuição, os riscos se tornam ainda maiores quando a frequência de ressonância paralela se encontra entre 180 e 420 Hz.

Para o caso específico de circuitos aos quais se encontram instalados capacitores de baixa tensão, verificam-se, ainda, outros problemas decorrentes do avanço tecnológico presente nestes sistemas. Exemplo disso, são os circuitos aos quais se encontram acoplados modernos sistemas baseados em transmissão de dados como, por exemplo, medidores de dupla tarifação para implantação da Tarifa Amarela.

A leitura desses medidores é realizada a partir de qualquer ponto do circuito secundário (inclusive através de uma tomada comum no interior de uma determinada residência) pela leitura de sinais de alta frequência. Nesse sentido, os capacitores de potência instalados no mesmo circuito apresentam, para altas frequências, valores muito pequenos de reatância capacitiva - conforme pode ser observado na figura 1 - se comportando, portanto, como verdadeiros filtros para os sinais de alta frequência utilizados nos modernos sistemas exemplificados acima.

Conforme pode-se verificar na figura 1, para valores elevados de frequência a reatância capacitiva do capacitor é praticamente nula, comportando-se, portanto, como um filtro passivo para os sinais (da ordem de kHz) transmitidos por equipamentos com tecnologias avançadas de transmissão de dados, impossibilitando, dessa forma, o correto funcionamento dos mesmos.

Em linhas gerais, a presença de correntes harmônicas em circuitos secundários de distribuição emitidas por equipamentos perturbadores, vêm se tornando cada vez mais

acentuada. Paralelamente a este fato, os equipamentos utilizados em residências, instalações comerciais e até mesmo em pequenas indústrias conectadas à baixa tensão, passam a exigir uma qualidade da energia elétrica cada vez maior para o seu correto funcionamento.

Sob o ponto de vista harmônico, os circuitos secundários típicos dos sistemas de distribuição apresentam um espectro rico em 5ª harmônica. Apenas a título de ilustração, a figura 2 apresenta o espectro de tensão medido no barramento secundário (220 V) de um transformador de distribuição de 112,5 kVA, com predominância de unidades consumidoras residenciais.

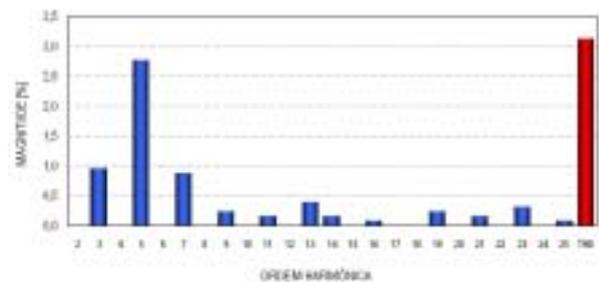


FIGURA 2 – Espectro harmônico de tensão típico dos circuitos secundários.

No Brasil, ainda não existe uma legislação específica acerca dos limites para frequências harmônicas nos sistemas de distribuição de energia elétrica. Desse modo, para a baixa tensão especificamente, as concessionárias vêm, de um modo geral, praticando alguns limites, cuja tendência, é apresentada nas tabelas 1 e 2, a seguir.

TABELA 1
Limites de tensão por consumidor expressos em porcentagem da tensão fundamental

ÍMPARES		PARES	
ORDEM	VALOR	ORDEM	VALOR
3 a 25	1,5%	TODOS	0,6%
≥ 27	0,7%		
DHT = 3%			

TABELA 2
Limites globais de tensão expressos em porcentagem da tensão fundamental

ÍMPARES		PARES	
ORDEM	VALOR	ORDEM	VALOR
3, 5, 7	5%	2, 4, 6	2%
9, 11, 13	3%		
15 a 25	2%	8, ...	1%
≥ 27	1%		
DHT = 6%			

Em geral, os limites globais estabelecidos nas tabelas 1 e 2, são ultrapassados apenas em circuitos secundários onde se verificam unidades consumidoras possuidoras de equipamentos de elevado caráter não-linear, como por exemplo, grandes motores com sistemas de partida suaves, máquinas de solda, grande quantidade de lâmpadas

fluorescentes compactas ou fluorescentes convencionais com reatores eletrônicos e, mais raramente, chuveiros e torneiras com controles estáticos de temperatura.

A partir desse momento, serão mostrados os fundamentos teóricos básicos que permitiram o desenvolvimento de um equipamento de mitigação dos problemas referentes às frequências harmônicas em circuitos secundários de baixa tensão. Trata-se de um filtro harmônico passivo para instalação junto aos circuitos secundários de distribuição. Para análise do comportamento do equipamento escolheu-se um circuito secundário ao qual se encontra conectada uma unidade consumidora cujo barramento de conexão à rede apresenta tensões harmônicas superiores aos limites estabelecidos pela tabela 2. Neste sentido, foram realizadas diversas medições, antes e após a instalação do equipamento, em diversos pontos do circuito.

III. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

O projeto piloto desenvolvido pela ESCELSA constituiu-se basicamente na construção de um filtro passivo, utilizando-se reatores núcleo de ar, e sua conexão a um circuito secundário de baixa tensão. O equipamento é composto pela ligação de reatores [L] em série com capacitores [C] de baixa tensão, conforme ilustra a figura 3.

O reator [L] pode ser conectado ao capacitor de duas maneiras diferentes, dependendo da posição da frequência de sintonia do ramo LC. Estas duas maneiras são as seguintes:

- sintonizando o ramo LC em frequências fracionárias, fora das linhas do espectro harmônico;
- sintonizando do ramo LC em uma frequência múltipla inteira da fundamental para a qual se deseja filtrar as correntes harmônicas.

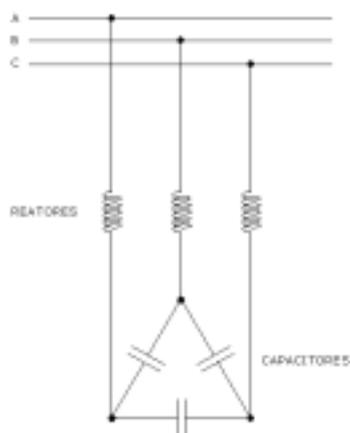


FIGURA 3 - Diagrama trifilar simplificado do filtro passivo sintonizado de baixa tensão.

Para a sintonização em frequências fracionárias, a seleção de [L] é tal que o ramo LC se comporta indutivamente para as frequências harmônicas superiores à frequência de sintonia. Dessa forma, por exemplo, para um filtro sintonizado em uma ordem harmônica de 4,8 (288 Hz), considerando-se frequências iguais ou superiores à 5ª harmônica,

o sistema “perceberá” apenas um reator conectado ao circuito, não existindo, desse modo, nenhum risco de ocorrência de ressonâncias paralelas nessa faixa de frequências.

A utilização desta forma de sintonização do ramo LC, oferece duas vantagens, a saber:

- elimina o perigo de ressonâncias paralelas entre os capacitores e o equivalente do sistema para correntes com frequências superiores à frequência de sintonia;
- elimina correlativamente as altas distorções da tensão da rede, sem, entretanto, reduzir as mesmas a um valor especificado.

Considerando-se, agora, a sintonização do ramo LC em uma frequência múltipla inteira da fundamental, tem-se dois tipos distintos de filtros: *filtros sintonizados* e *filtros amortecidos*.

Os filtros sintonizados são circuitos ressonantes série que, na frequência de sintonia ou de ressonância, apresentam baixa impedância (praticamente igual à resistência do circuito). Para frequências menores que a frequência de sintonia são capacitivos, e para as frequências superiores àquela frequência, são indutivos. Portanto, para a frequência fundamental, estes filtros funcionam como compensadores de reativos.

Os filtros amortecidos são circuitos formados por capacitores, indutores e resistores em diferentes combinações, e que oferecem baixa impedância sobre uma larga faixa de frequência. Na frequência fundamental, a exemplo dos filtros sintonizados, os filtros amortecidos também apresentam impedância predominantemente capacitiva. Já nas frequências superiores, eles são essencialmente resistivos.

Para o presente projeto, optou-se por motivos de segurança, devido principalmente à inconstância das características de topologia dos circuitos secundários de baixa tensão, a sintonização do ramo LC em frequências fracionárias, mais especificamente, em 288 Hz.

A seguir, para um melhor posicionamento do leitor ao longo deste trabalho, apresentam-se os equacionamentos básicos relativos à sintonização entre capacitores e indutores para a composição de filtros harmônicos passivos. Este processo se baseia tão somente nos conceitos de ressonância série.

A ressonância série é uma condição na qual um circuito contendo pelo menos um capacitor e um indutor, apresentará uma impedância de entrada puramente resistiva. Aplicando-se este conceito ao circuito ressonante série do equipamento, cuja impedância complexa é dada pela equação (1), observa-se que com a variação da frequência sobre o ramo LC existirá um valor de frequência f_r em que esta impedância será puramente resistiva.

$$Z(\omega) = R + j.(X_L - X_C) \quad (1)$$

Considerando-se a frequência de sintonia utilizada no desenvolvimento do equipamento como sendo 288 Hz (harmônica fracionária de ordem 4,8) e a aplicação do mesmo

junto ao circuito secundário de um transformador de 45 kVA / 220 Volts fase-fase, tem-se como parâmetros fixos os seguintes valores:

- Potência do capacitor = 10 kVA;
- Frequência de sintonia = 4,8 p.u.;
- Tensão nominal = 220 Volts.

O processo de sintonia do filtro é simplesmente o cálculo da frequência para ressonância série entre o capacitor e o indutor do ramo LC. A variável fixa no caso, é a capacitância do capacitor, que não deve ser superior à potência reativa mínima requerida pelo transformador de distribuição ao longo do dia. Após análises e medições do carregamento reativo de vários transformadores, obteve-se a tabela 3 na qual estão relacionadas as potências de capacitores para utilização em transformadores de diferentes potências.

TABELA 3
Potências de capacitores para diferentes transformadores

POTÊNCIA DO TRANSFORMADOR [kVA]	TENSÃO [V]	POTÊNCIA DO CAPACITOR [kVAr]
30	220	7,5
45	220	10
75	220	15
112,5	220	20

Considerando-se o transformador de distribuição de 45 kVA (com aproximadamente 70% de carregamento) utilizado no projeto em estudo, tem-se que a variação entre a potência reativa do capacitor a ser utilizado no filtro e o fator de potência do circuito na frequência fundamental obedece à curva da figura 4.

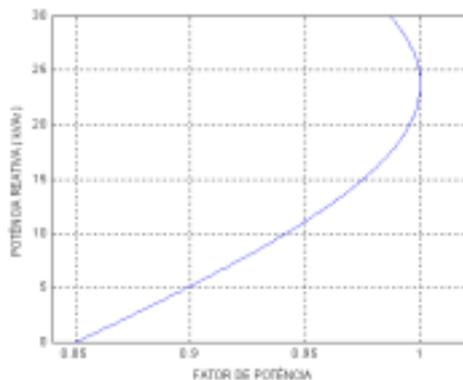


FIGURA 4 – Variação do fator de potência com a potência do capacitor

Pela análise da figura, pode-se verificar que a máxima potência capacitiva possível de se utilizar no filtro, sem que o circuito secundário torne-se capacitivo, é de aproximadamente 25 kVAr. Em termos práticos, considerou-se como padrão um fator de potência de 0,95, o que equivale a um capacitor de 10 kVAr para utilização junto a um transformador de 45 kVA.

Um outro aspecto a ser considerado no desenvolvimento do filtro de baixa tensão diz respeito ao indutor. A grande melhoria no projeto atual, conforme dito anteriormente, foi exatamente a utilização de reatores com núcleo de ar, especialmente desenvolvidos pela ALSTOM para os propósitos deste projeto. A tecnologia utilizada na fabricação dos reatores é denominada de CAMFIP. Segundo esta tecnologia, o reator ou indutor consiste basicamente de uma bobina cujas espiras são formadas por vários condutores (fios) de cobre de pequena bitola, isoladas com esmalte sintético especial, conectados em paralelo. Estes condutores são mecanicamente imobilizados e encapsulados por meio de um enrolamento de fibra de vidro, formando cilindros. Dependendo da potência do reator, são utilizados um ou mais cilindros conectados em paralelo e distanciados entre si por meio de espaçadores de fibra de vidro, os quais providenciam o resfriamento axial entre cilindros do reator. Nos extremos dos cilindros são colocados duas cruzetas de cobre que são firmemente interligadas por meio de amarrações isoladas de fibra de vidro. Todos os materiais empregados na fabricação dos reatores correspondem à classe F de isolamento, cuja temperatura máxima é de 155° C, conforme normas IEC e ABNT.

A figura 5, a seguir, ilustra o esquema de todo o conjunto que compõe o filtro harmônico passivo desenvolvido, incluindo-se o capacitor, os reatores e a caixa de proteção e manobra.

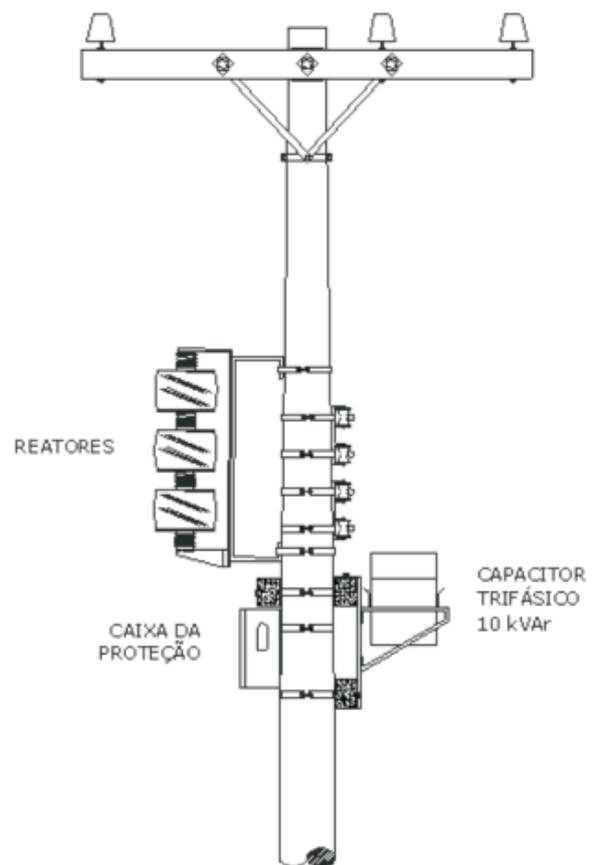


FIGURA 5 – Esquema do filtro desenvolvido

IV. DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DO FILTRO

Considerando-se um capacitor trifásico de 10 kVar, para composição do filtro a ser aplicado a um transformador de 45 kVA, tem-se que a reatância capacitiva equivalente para a conexão em estrela das unidades capacitivas que compõem o capacitor trifásico em delta é exatamente igual a 1/3 (um terço) da reatância capacitiva entre fases do capacitor em questão. Dessa forma, tem-se:

$$X_{c\Delta} = \frac{V^2}{Q_C} = \frac{(220)^2}{10 \cdot 10^3} = 4,84 \Omega \quad (2)$$

$$X_{cY} = \frac{1}{3} \cdot X_{c\Delta} = \frac{4,84}{3} = 1,61 \Omega \quad (3)$$

onde:

$X_{c\Delta}$ = Reatância capacitiva para ligação em delta [W];

X_{cY} = Reatância capacitiva para ligação equivalente em estrela [W];

V = tensão entre fases no capacitor [Volts];

Q_C = potência reativa do capacitor [VAr].

A ressonância série do circuito LC a ser constituído se dará quando $X_C = X_L$ na equação (1). Assim, tem-se:

$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (4)$$

Onde: $\omega = 2\pi \cdot f_r$

Rescrevendo-se a equação (4), resulta a frequência de sintonia do ramo LC.

$$f_r = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}} \quad (5)$$

Considerando-se os parâmetros fixos citados anteriormente, tem-se o cálculo da indutância do reator que irá compor o equipamento. Assim, isolando-se a variável [L] na equação (5), resulta:

$$L = \frac{1}{4\pi^2 \cdot f_r^2 \cdot C} \quad (6)$$

As variáveis fixas na equação (6) são:

$$C = \frac{Q_C}{\omega \cdot V^2} = \frac{10000}{2\pi \cdot 60 \cdot 220^2} = 0,000548 \text{ Farad} \quad (7)$$

$$f_r = 4,8 \text{ p.u} = 288 \text{ Hz} \quad (8)$$

Substituindo-se as variáveis fixas em (6), resulta finalmente em $L = 0,000557 \text{ Henrys}$.

Considerando-se, ainda, que a resistência total do ramo LC (resistência intrínseca do reator + condutores) é $R = 0,1\Omega$, tem-se a topologia final do filtro passivo aplicado ao transformador de 45 kVA, conforme mostrado na tabela 4.

TABELA 4
Valores de R, L e C para o filtro desenvolvido

PARÂMETROS DO FILTRO		
R [Ω]	L [μH]	C [μF]
0,1	557	548

A figuras 6 e 7, a seguir, ilustram o comportamento da magnitude da impedância do ramo LC, constituinte do filtro desenvolvido e da magnitude da impedância equivalente entre o ramo LC e o transformador de distribuição, em função da frequência, respectivamente.

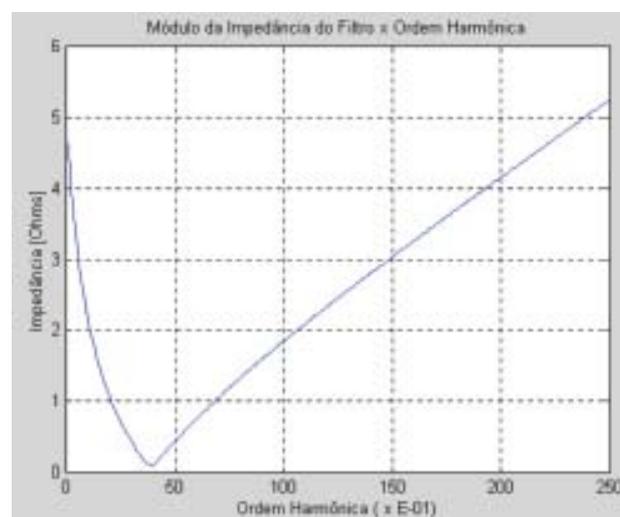


FIGURA 6 – Resposta em frequência da impedância do filtro

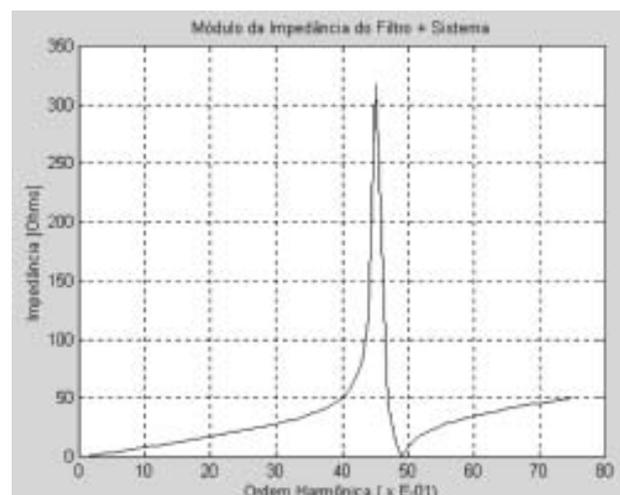


FIGURA 7 – Resposta em frequência da impedância do conjunto filtro-transformador

O tópico seguinte apresentará os resultados obtidos quando da conexão do equipamento a um circuito secundário de distribuição com um determinado nível de distorção harmônica.

V. RESULTADOS OBTIDOS

As figuras a seguir ilustram a situação verificada junto ao barramento secundário do transformador de distribuição antes e após a energização do filtro.

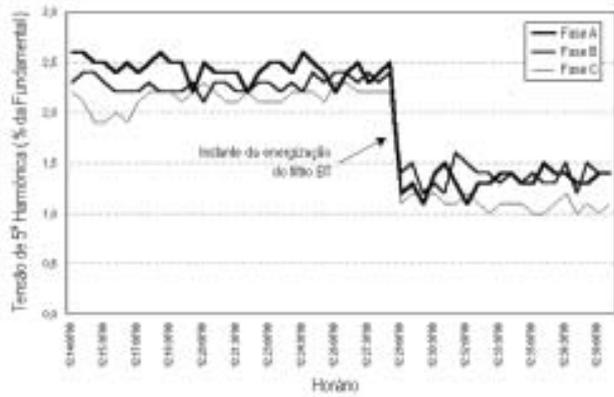


FIGURA 8 – Tensão de 5ª harmônica

Pela análise da figura 8, observa-se uma grande redução da tensão de 5ª harmônica após a energização do filtro. Em média, essa grandeza teve uma redução de 48%, lembrando-se que a sintonia do filtro foi direcionada para a ordem harmônica 4,8.

A Distorção Harmônica Total também sofreu um decréscimo após a energização do filtro (figura 9), uma vez que a tensão de 5ª harmônica era a predominante do espectro.

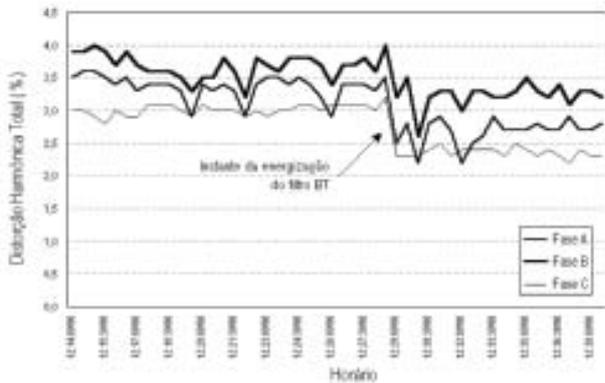


FIGURA 9 – Distorção Harmônica Total

Com a energização do filtro, pode-se observar, também (figura 10), os efeitos da compensação reativa na frequência fundamental, proporcionada pelo capacitor BT. Dessa forma, verificou-se um ganho médio de tensão da ordem de 1,1 Volts. Este benefício, pode ser utilizado na postergação de obras para regularização dos níveis de tensão, em atendimento à Resolução ANEEL Nº 505. Para uma melhor análise deste benefício, a figura 11, a seguir, ilustra o perfil da tensão na fase A do circuito durante um período de monitoração de 7 (sete) dias, considerando-se inicialmente o filtro desligado e, em seguida, outros 7 (sete) dias o filtro ligado.

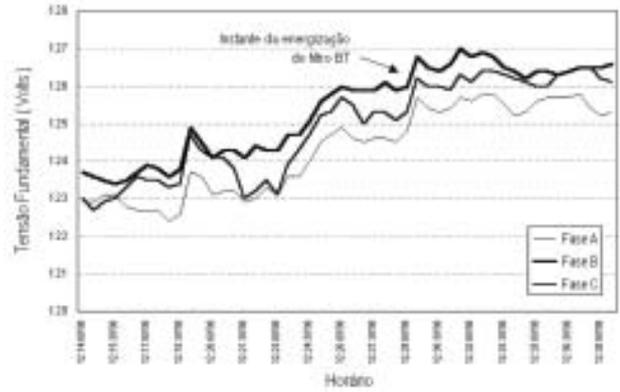


FIGURA 10 – Tensão Fundamental

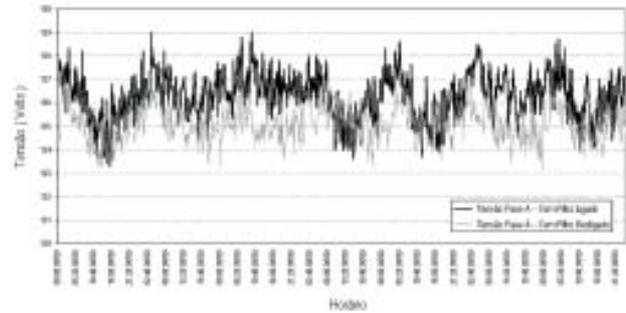


FIGURA 11 – Tensão fundamental na fase A – 7 dias

Ainda em função dos efeitos da compensação reativa na frequência fundamental, observa-se uma melhora no fator de potência do circuito (figura 12), elevando-se o mesmo para valores superiores ao fator de potência de referência, igual a 0,92.

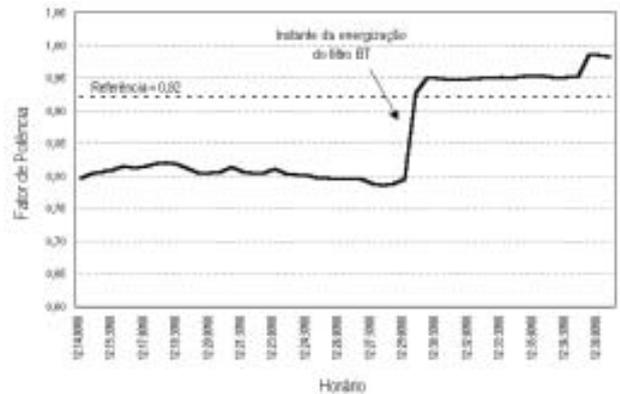


FIGURA 12 – Fator de potência trifásico

A figura 13 mostra a composição da corrente no ramo do filtro, a qual é composta, em sua quase totalidade, por correntes de 5ª harmônica, conforme esperado.

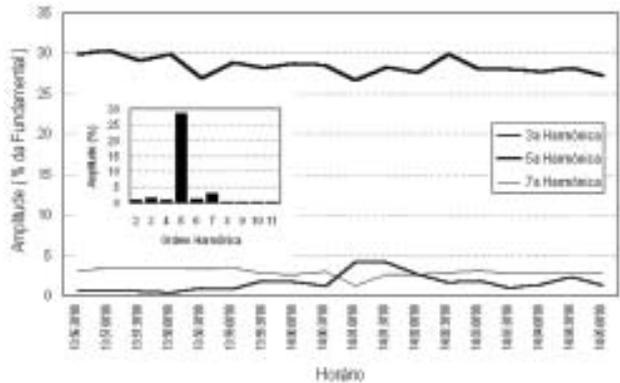


FIGURA 13 – Composição da corrente no ramo do filtro

A seguir, serão apresentadas figuras referentes a medições de 24 horas, considerando-se inicialmente o filtro ligado e, em seguida, o filtro desligado.

Pela análise das figuras 14, 15 e 16 observa-se que a tensão de 5ª harmônica após a ligação do filtro manteve-se, na grande maioria do tempo, com valores oscilando em torno de 1,0%, tendo apresentado, em média, uma redução de 49,2% na fase A, 48,5% na fase B e 59,2% na fase C, em relação aos valores de tensão de 5ª harmônica monitorados com o filtro desligado.

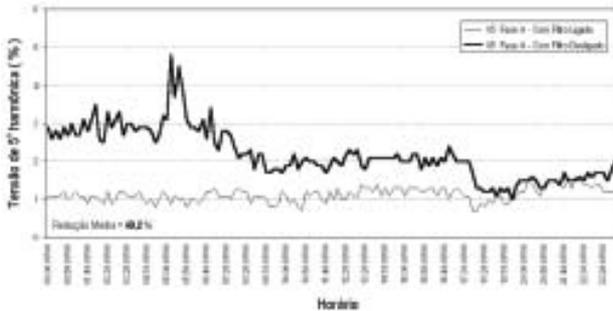


FIGURA 14 – Tensão de 5ª harmônica na fase A – 24 horas

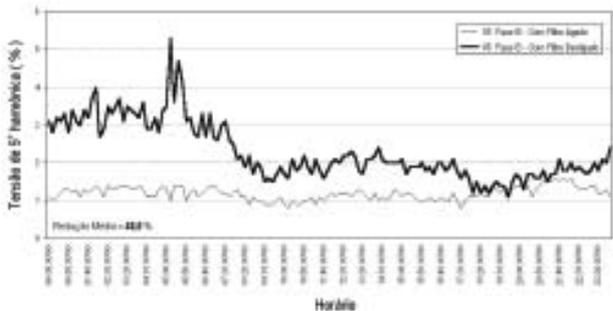


FIGURA 15 – Tensão de 5ª harmônica na fase B – 24 horas

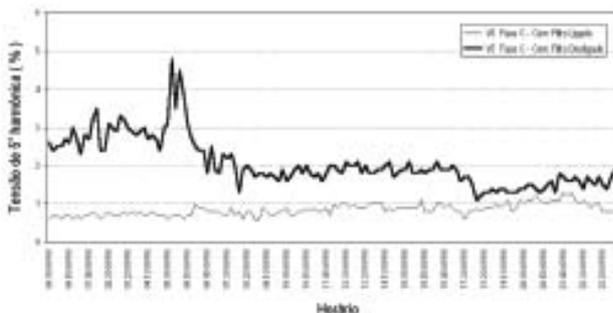


FIGURA 16 – Tensão de 5ª harmônica na fase C – 24 horas

As figuras 17.a e 17.b, apresentam os histogramas da tensão de 5ª harmônica, considerando-se 7 (sete) dias de monitoração para o filtro desligado e outros 7 (sete) dias de monitoração para o filtro ligado, respectivamente.

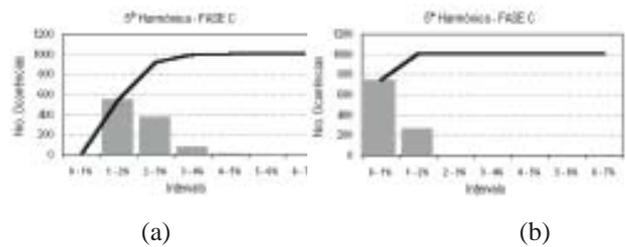
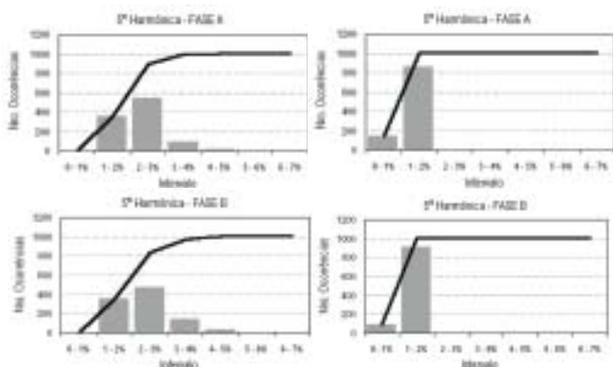


FIGURA 17 – Histogramas de tensão para a 5ª harmônica. (a) Filtro desligado e (b) Filtro ligado.

Observa-se pela análise dos histogramas da figura 17, que após a energização do filtro, as barras do histograma se deslocam para a esquerda, indicando um maior número de leituras (ocorrências) de valores de distorção harmônica mais baixos.

Para a análise do comportamento das demais ordens harmônicas antes e após a energização do filtro, apresentaram-se a seguir os espectros de tensão harmônica médios, considerando-se 7 (sete) dias de monitoração, antes e após a conexão do filtro ao circuito.

Analisando-se os espectros da figura 18, observa-se uma redução das tensões de 5ª, 7ª e DHTv em todas as fases do circuito. Com relação à tensão de 3ª harmônica, observou-se uma redução da mesma apenas para a fase A do circuito. Nas demais fases do circuito esta grandeza teve um ligeiro crescimento médio, sem prejuízos para a instalação.

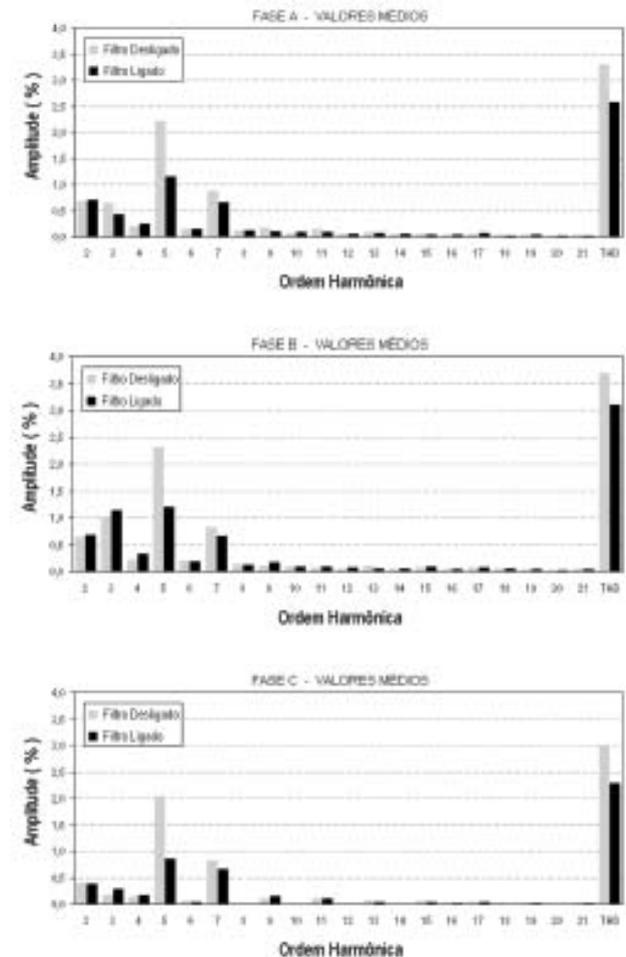
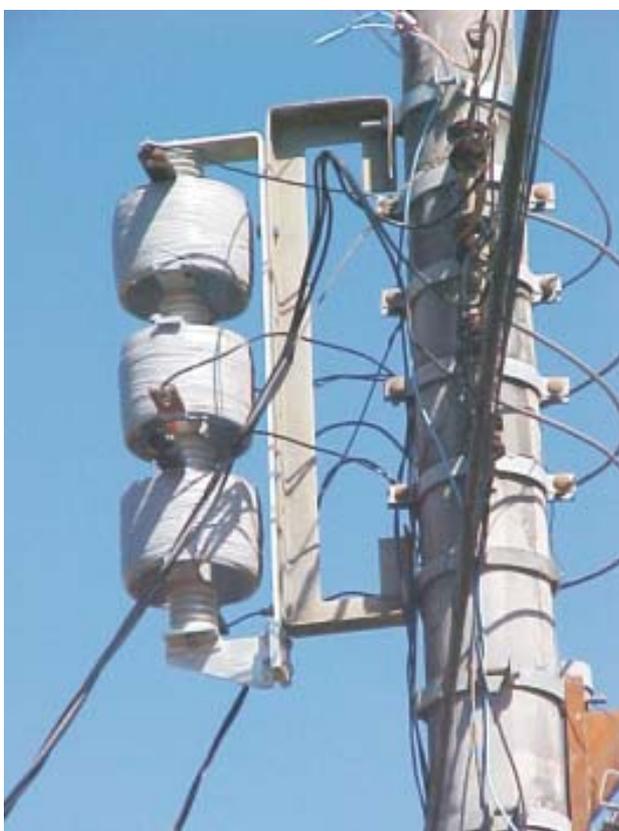


FIGURA 18 – Espectros harmônicos da tensão nas fases A, B e C. Valores médios registrados em um período de 7 (sete) dias

As figuras 19 e 20 a seguir mostram fotos do equipamento instalado em um circuito secundário da rede urbana da Grande Vitória.



FIGURA 19 – Foto do equipamento montado



(a)



(b)

FIGURA 20 – (a) Reator, (b) Montagem do equipamento

VI. CONCLUSÕES

O desenvolvimento e a aplicação de filtros harmônicos sintonizados passivos em circuitos secundários de distribuição apresenta grandes benefícios não somente pela redução da distorção harmônica total, como também pela compensação reativa na frequência fundamental proporcionada pelo capacitor BT que integra o equipamento. Em linhas gerais, este projeto piloto proporciona um aumento no nível da qualidade da energia elétrica fornecida para clientes atendidos em baixa tensão e, ainda, postergação de investimentos em obras para regularização dos níveis de tensão, em atendimento à Resolução ANEEL Nº 505.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] – MACEDO Jr., J. R., “Aplicação de filtros harmônicos passivos em circuitos secundários”, Revista Eletricidade Moderna, Agosto de 2000.