

Melhoria do perfil de tensão em alimentadores residenciais – Estudo de caso

Bruno de César Toledo Camilo, Marcelo Brunoro, Domingos Sávio Lyrio Simonetti, Lucas Frizera Encarnação
Laboratório de Eletrônica de Potência e Acionamentos Elétricos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Universidade Federal do Espírito Santo
Vitória, Brasil

Abstract— Este trabalho apresenta um estudo de caso que aplica uma estratégia direcionada às concessionárias de energia elétrica, baseada em uma topologia específica de filtragem híbrida paralela, para melhorar o perfil de tensão em alimentadores residenciais de redes de distribuição secundária, promovendo assim melhorias na qualidade da energia elétrica fornecida aos consumidores.

Palavras-chave — Filtragem híbrida, distribuição secundária, qualidade de energia elétrica.

I. INTRODUÇÃO

No Brasil, principalmente após o racionamento de energia elétrica, ocorrido entre anos 2001 e 2002, o sistema elétrico passou por uma mudança profunda com a proliferação de cargas monofásicas não lineares em sistemas de distribuição residenciais, onde o terceiro harmônico é geralmente o dominante. O uso intensivo de equipamentos eletrônicos eficientes, sem controle de injeção de harmônicos de corrente, trouxe uma economia de energia considerável, contudo, deteriorou a qualidade de energia no sistema elétrico.

A inserção de bancos de capacitores, que no passado era uma solução efetiva para regular o nível de tensão em sistemas de distribuição secundária, agora, começa a se tornar um motivo de preocupação para as concessionárias, pois a amplificação de componentes harmônicos devido à ressonância entre as indutâncias da linha e as capacitâncias dos bancos pode trazer sérios problemas técnicos e financeiros. Além disso, de acordo com as recomendações do IEEE [1], as concessionárias de energia elétrica têm a responsabilidade de limitar as tensões harmônicas nas barras do sistema de distribuição, então é de se esperar que em um futuro próximo as normas brasileiras tornem-se mais rigorosas em relação ao assunto. Ou seja, é evidente a necessidade de soluções técnicas mais completas.

Filtros híbridos, constituídos por uma associação de filtros ativos e passivos, combinam as vantagens de ambos, uma vez que melhoram as características de compensação de filtros passivos e permitem a redução das características nominais do filtro ativo. Dessa forma, obtêm-se melhoras tanto em termos de custo quanto de desempenho [2].

O uso desses equipamentos já foi discutido em diversos trabalhos [2-4], entretanto, percebe-se que a aplicação deles em sistemas de distribuição secundária ainda não foi muito explorada. Na verdade, ainda que se tratando dessas redes, é comum que a estratégia desenvolvida leve em consideração que toda a carga fique concentrada em uma única barra [5], o que faz sentido para verificar a distorção de corrente de um único consumidor. Contudo, para um alimentador residencial, a análise da distorção de tensão, do ponto de vista da concessionária, fica prejudicada, pois o local de instalação do filtro e até mesmo o tipo de cabo utilizado são fatores bastante relevantes.

Alguns dos principais fatores que contribuem para a deterioração da qualidade da tensão na rede de distribuição secundária são: a queda de tensão nos alimentadores, as correntes harmônicas injetadas por cargas não lineares e o desbalanceamento entre as fases.

Este artigo apresenta um estudo de caso baseado em uma estratégia de controle para um filtro híbrido, a qual tem como finalidade minimizar os efeitos negativos de todos os fatores supracitados sobre as tensões nas barras de um alimentador residencial, levando em consideração que a solução proposta não deve ser proibitivamente cara ou impraticável do ponto de vista computacional.

II. DESCRIÇÃO DA REDE

Em sistemas de distribuição secundários urbanos, é comum que os alimentadores residenciais possuam de 5 a 7 postes, separados por distâncias de 30 a 40 m, de acordo com dados fornecidos pela EDP Escelsa. Por isso, o estudo aqui realizado será feito utilizando uma rede secundária no qual o filtro híbrido é instalado na última barra de um alimentador radial de distribuição de 220 V, composto por 7 postes, distanciados em 40 m, como mostra a Fig. 1.

Considera-se que a distribuição de energia elétrica na rede secundária é feita via condutores nus com alma de aço, 4/0 AWG, os quais apresentam indutância elevada, e, por isso, causam quedas de tensão consideráveis ao longo do alimentador.

As cargas lineares de cada barra são representadas como impedâncias constantes, idênticas entre si, com fator de potência de 0,8.

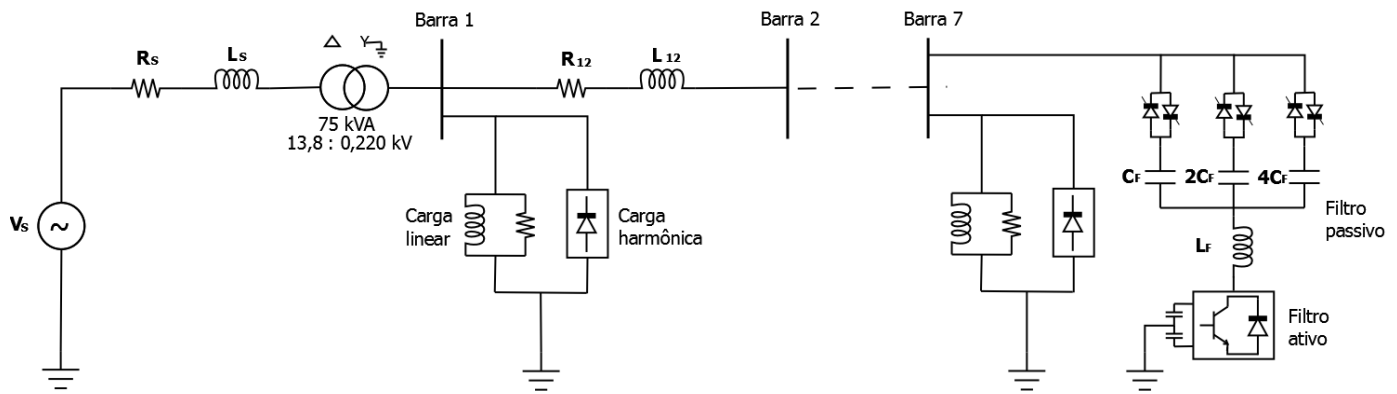


Fig. 1. Esquema do alimentador residencial analisado, com filtro híbrido instalado na última barra.

As cargas não lineares, responsáveis por injetar harmônicos na rede, são modeladas como retificadores monofásicos com filtro capacitivo, os quais representam bem as principais cargas harmônicas residenciais [6]. A divisão entre as cargas lineares e não lineares é feita de forma a obter uma distorção total de corrente de aproximadamente 20%, em cada barra, na condição de demanda de 1 pu.

As cargas totais de cada barra são desbalanceadas de forma que as demandas das fases B e C, em relação à fase A, sejam de 85% e 70%, respectivamente.

A rede de distribuição primária é modelada como uma fonte ideal, com valor de tensão nominal de 13,8 kV de frequência 60 Hz, em série com uma fonte de 0,138 kV de quinto harmônico, conectada a um transformador de 13,8/0,22 kV e 75 kVA, ligado em delta/estrela aterrado. A impedância da fonte é calculada com base na corrente de curto circuito no ponto de acoplamento comum, de aproximadamente 1,2 kA.

III. FILTRO HÍBRIDO

A topologia de filtro híbrido a ser explorada neste trabalho consiste em um filtro ativo, baseado em detecção de tensão, ligado em série com um filtro passivo, para instalação paralela na última barra de um alimentador de distribuição secundária.

Esse é um modelo cujo circuito é bastante simples e dispensa o uso de transformador, sendo bastante atrativo do ponto de vista prático, em razão dos seguintes fatores: estrutura simples, volume pequeno e baixo custo, comparado a outras topologias mais complexas.

A. Filtro passivo

O estágio passivo, neste trabalho, agrega três funções:

- 1) Injetar potência reativa na rede a fim de garantir níveis de tensão adequados nos barramentos do alimentador, garantindo que a tensão eficaz de todas as barras, em qualquer situação de demanda, fique limitada entre os valores limites de 117 e 133 pu [7].
- 2) Absorver correntes harmônicas produzidas pelas cargas, reduzindo por consequência, a distorção das tensões ao longo do alimentador.
- 3) Impor uma impedância elevada na frequência fundamental para que a tensão nessa frequência apareça exclusivamente sobre do filtro passivo. Isso resulta em uma tensão nula na fundamental aplicada

sobre do filtro ativo, o que reduz drasticamente a sua potência nominal.

Como a demanda ao longo do dia é variável, é indicado que haja diferentes níveis de compensação reativa. Isso é obtido por meio por meio da conexão paralela de três capacitores, de capacitâncias C , $2C$ e $4C$, em série com um único indutor para cada fase. Essa escolha é interessante, pois permite oito combinações diferentes entre os capacitores, com degraus idênticos entre um estado e outro. A conexão e desconexão de capacitores dependerão do valor da componente de sequência positiva da tensão na última barra do sistema.

O controle da inserção dos capacitores é feito por pares de tiristores ligados em antiparalelo no lugar das chaves mecânicas, por serem mais precisos no instante de disparo. Essa característica é importante, pois, com o intuito de evitar transitórios de corrente e tensão acentuados, o chaveamento dos capacitores deve ser feito somente quando a tensão instantânea na rede é máxima.

O indutor foi dimensionado de modo que a frequência de ressonância entre ele e a combinação de $2C$ e $4C$ fosse próxima de 180 Hz, ou seja, equivalente ao terceiro harmônico, que é o mais crítico. A combinação de $2C$ e $4C$ foi escolhida como referência para a sintonização no filtro, pois, na sua faixa de atuação, ela engloba a demanda de 1 pu.

A Tabela I mostra os dados do filtro passivo.

TABELA I. Dados do filtro passivo

Filtro passivo (15,5 kVA)	
L	1,1 mH
C	120 μ F
2C	240 μ F
4C	480 μ F
Fator de qualidade	20

B. Filtro ativo

Propõe-se a utilização de um filtro ativo de baixa potência nominal, no caso, 3,5 kVA, equivalente a 4,7% da potência nominal do sistema (75 kVA).

Esse filtro deverá ser sintonizado em múltiplas frequências harmônicas (3ª, 5ª, 7ª e 9ª) a fim de reduzir a distorção total de tensão (DTT%) ao longo do alimentador, em especial, na barra em que está instalado.

Para o nível de alimentação adotado, as recomendações definidas nos PRODIST [7] são mandatórias. Entretanto, conforme a Tabela II, dentre as normas [1,7-9], a mais rigorosa em relação a esse indicador recomenda um valor máximo de 6%, o qual também atende a [7]. Portanto ele será usado como referência.

TABELA II. Recomendação de DTT% em diferentes normas

Norma	PRODIST Módulo 8	PROREDE Submódulo 2.8	IEEE Std 519	IEC 61000-2-2
Nível de tensão	$V \leq 1 \text{ kV}$	$V \leq 69 \text{ kV}$	$V \leq 1 \text{ kV}$	$V(1\phi) \leq 420 \text{ V}$ ou $V(3\phi) \leq 690 \text{ V}$
DTT%	10,00	6,00	8,00	8,00

Além disso, o filtro ativo também deve ser capaz de reduzir o fator de desequilíbrio (FD%), por meio da compensação da componente de sequência negativa da fundamental da tensão. Como não há previsão na norma brasileira do valor limite para o FD% em barramentos de sistemas distribuição de baixa tensão, será utilizado como referência o valor de 2%, que vale para os demais casos [7].

Uma vez que é necessário compensar tensões de sequência zero, é utilizado um inversor convencional, de três braços, cujo neutro está diretamente ligado ao ponto central de seu barramento CC, o qual tem como tensão nominal 90 V.

IV. ESTRATÉGIA DE CONTROLE

Em alimentadores de distribuição secundária, seria inviável instalar filtros híbridos de potência nominal elevada, tanto por questões espaciais quanto financeiras. Dessa forma, o ideal seria utilizar uma estratégia de controle efetiva e que, ao mesmo tempo, não exigisse um filtro híbrido demasiadamente grande.

É de se esperar quando a demanda dos consumidores estiver elevada, o filtro ativo seja mais exigido, pois, ainda que a DTT% e o FD% sejam menores, é bastante provável que a potência necessária para minimizar esses problemas seja maior. Por isso, propõe-se o uso de uma estratégia controle baseada no estado do banco de capacitores (3 bits), que está diretamente relacionado à queda de tensão no sistema, e que, por sua vez, é proporcional à demanda. A Tabela III traz as funções ativas (“on”) e inativas (“off”) do filtro híbrido, de acordo com o estado do banco de capacitores.

É interessante ainda que o filtro ativo atue em frequências próximas à frequência de ressonância do filtro passivo, pois, caso contrário, a potência consumida no estágio ativo fica muito elevada. Por isso, um fator que deve ser levado em consideração na implementação dessa estratégia é que, em razão de haver apenas um indutor por fase, a frequência de ressonância do filtro passivo varia de acordo com o estado do banco de capacitores.

TABELA III. Funções ativas/inativas de acordo com o estado do banco de capacitores

Estado	C	2C	4C	3º h.	5º h.	7º h.	9º h.	FD%
111	on	on	on	on	off	off	off	on
011	off	on	on	on	off	off	on	on
101	on	off	on	on	off	off	on	on
001	off	off	on	on	off	off	off	on
110	on	on	off	on	off	off	off	on
010	off	on	off	on	on	on	on	off
100	on	off	off	off	on	on	off	on

A. Princípio da compensação harmônica

Conforme mencionado anteriormente, limitar as tensões harmônicas nas barras do sistema de distribuição pode ser considerado uma responsabilidade das concessionárias de energia. Nesse caso, seria interessante aplicar um método que atuasse diretamente sobre as tensões harmônicas das barras, em vez de trabalhar, por exemplo, com compensação de correntes harmônicas das cargas não lineares, que seria um método que poderia ocasionar melhoras na qualidade das tensões ao longo do alimentador, porém, de forma indireta. Partindo do circuito apresentado na Fig. 2, uma maneira de atuar diretamente sobre a tensão da rede seria utilizar o seguinte princípio de operação do filtro:

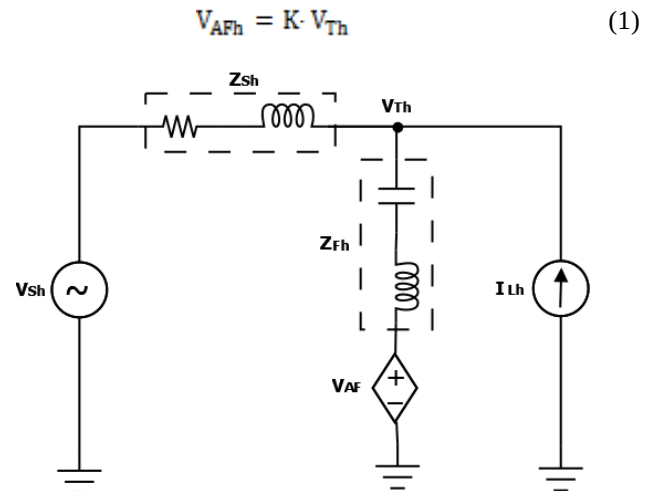


Fig. 2. Circuito monofásico equivalente para análise do filtro híbrido.

Utilizando o princípio da superposição chega-se às seguintes equações:

$$V_{Th} = \frac{Z_{Fh}}{Z_{Fh} + (1 - K)Z_{Sh}} V_{Sh} + \frac{-Z_{Sh} Z_{Fh}}{Z_{Fh} + (1 - K)Z_{Sh}} I_{Lh} \quad (2)$$

$$I_{Sh} = \frac{(1 - K)}{Z_{Fh} + (1 - K)Z_{Sh}} V_{Sh} + \frac{Z_{Fh}}{Z_{Fh} + (1 - K)Z_{Sh}} I_{Lh} \quad (3)$$

Fica claro, a partir de (2), que ajustando o ganho K para um valor negativo elevado é possível eliminar a distorção harmônica na tensão no terminal, seja ela proveniente de carga cargas não lineares ou de uma fonte distorcida.

Além disso, verificando (3), percebe-se que essa estratégia exclui também a possibilidade de ocorrência de ressonância série e paralela. Idealmente, restaria somente uma parcela de corrente harmônica fluindo pela linha do sistema causada por distorções na tensão da fonte.

B. Circuito de controle

A fim de eliminar a necessidade de vários quadros de referência síncronos para realizar a filtragem de múltiplos harmônicos [10], foi criada uma técnica de controle baseada na utilização integradores de sinais senoidais (SSI), que se comportam como filtros passa-faixa e garantem erro estacionário nulo para entradas senoidais em frequências especificadas [11]. Apesar de essa técnica permitir a filtragem simultânea de duas componentes harmônicas com somente um filtro SSI [12], preferiu-se utilizar um filtro SSI para cada frequência harmônica, usando coordenadas $\alpha\beta$, já que assim há maior liberdade para selecionar o que se deseja compensar para cada faixa de demanda.

Para corrigir problemas causados por desbalanceamentos entre as fases, em [13], mostrou-se que é possível realizar com eficácia a extração das componentes de sequência positiva, negativa e zero na frequência fundamental da tensão, por meio de uma transformada dq0 por fase, seguida de uma mudança de base para componentes de sequência. Aqui essa operação será chamada de “transformada abc - dq(+,-,0)”. Após a extração, usa-se um filtro rejeita-faixa sintonizado em 120 Hz e um filtro passa-baixa para eliminar componentes indesejáveis resultantes do processo de *heterodyning* e distorções harmônicas, respectivamente.

Com base nisso, os autores propõem a utilização simultânea dos SSI para filtragem do 3º, 5º, 7º e 9º harmônico e da transformada abc - dq(+,-) [13] (note que o “zero” foi omitido) para compensar a componente de sequência negativa da fundamental, reduzindo assim o fator de desequilíbrio. A inserção gradual dos capacitores é feita com base na componente de sequência positiva, apenas da fase A, obtida desta mesma transformação. A frequência fundamental ω_1 usada nas transformações é obtida por meio de um circuito PLL.

A Fig. 3 ilustra essa metodologia de controle, lembrando que as funções são utilizadas de forma seletiva, dependendo do estado do banco de capacitores. Os ganhos dos controladores são mostrados na Tabela IV.

TABELA IV. Ganhos dos controladores SSI e PI

Constantes dos controladores			
SSI		PI	
Ki,3	0.05	Kp	4
Ki,5	0.05		
Ki,7	0.05	Ki	0.0005
Ki,9	0.05		

V. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

As simulações foram executadas no programa PSCAD.

Primeiramente, é importante verificar a necessidade e a efetividade da utilização de compensação reativa para manter o nível de tensão do sistema elétrico em questão dentro dos padrões previstos em [7]. A Fig. 4 exibe as tensões eficazes em cada uma das sete barras do sistema com e sem o uso do filtro passivo (o filtro ativo é omitido nesta etapa), variando-se a demanda de 1,15 a 0,3 pu.

Nota-se que sem a presença do filtro passivo as tensões de cinco barras no sistema chegam a níveis bem distantes da faixa de adequação. Depois, com a inserção do filtro passivo, as tensões de todas as barras mantêm-se acima de 0,93 pu ao longo de toda a variação da demanda.

A seguir, três condições de operação foram simuladas:

- Sem qualquer tipo de compensação;
- Com somente o banco de capacitores (dimensionado para o filtro híbrido) conectado à última barra do alimentador;
- Com o filtro híbrido conectado à última barra do alimentador.

A Fig. 5 mostra as formas de onda de tensão obtidas na última barra do alimentador (a mais crítica) para o segundo e o terceiro caso. Já a Tabela V resume as seguintes medidas, obtidas em cada uma das sete barras, na condição de demanda de 1 pu de potência: a tensão eficaz, a DTT% e o FD%.

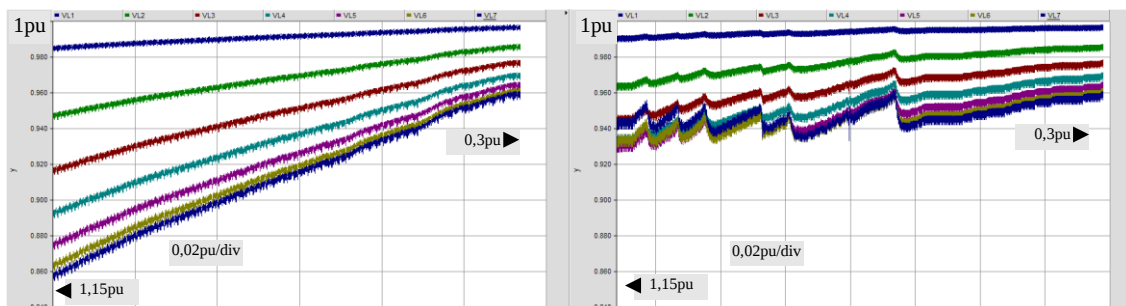


Fig.4. Tensões eficazes nas barras sem o filtro passivo (esquerda) e com o filtro passivo (direita).

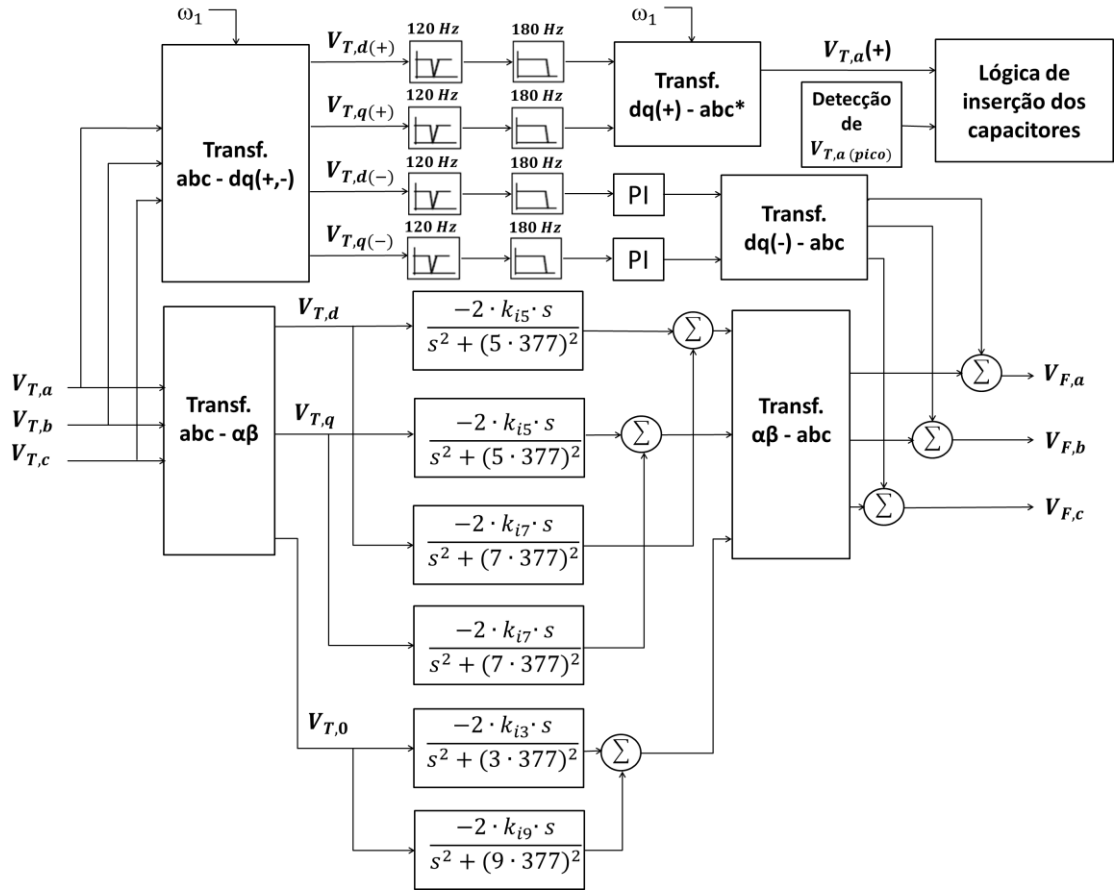


Fig.3. Metodologia de controle do filtro híbrido.

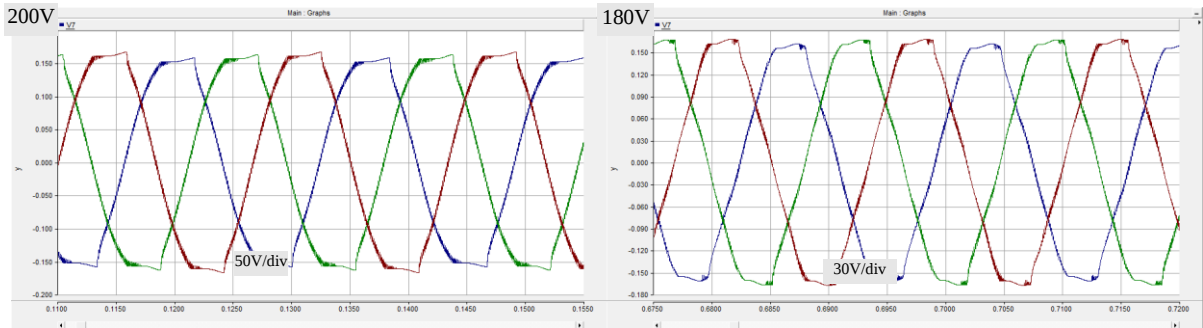


Fig. 5. Formas de onda da tensão na última barra somente com o banco de capacitores conectado (esquerda) e com o filtro híbrido conectado (direita).

Quando somente o banco de capacitores está conectado, as formas de onda ficam extremamente distorcidas, em especial na barra 7, chegando a níveis de DTT% e FD% de 8,77% e 1,97%, respectivamente, ambos elevados, considerando as normas vigentes, e inapropriados para fornecimento para o consumidor. Percebe-se também que quanto mais distante do transformador, pior é o perfil de tensão.

No segundo caso, com o filtro híbrido conectado, a DTT% é bastante reduzida, chegando ao valor de 3,96% na sétima barra. Com a estratégia de controle sugerida, o filtro não só corrige os efeitos negativos provocados pela carga não linear

conectada na última barra, como também injeta correntes harmônicas que se propagam para cargas conectadas nas barras à montante, melhorando por consequência a DTT% ao longo de todo o alimentador. A melhoria do FD% também segue uma lógica semelhante, já que os benefícios provocados pelo filtro alcançam todas as barras de maneira significativa.

A Tabela VI, por sua vez, expressa o comportamento do filtro híbrido e da sétima barra do alimentador frente à variação da demanda de 1,15 pu até 0,2 pu. Percebe-se que com uma potência máxima de 3,5 kVA no filtro ativo é possível obter resultados bastante satisfatórios.

TABELA V. Medidas obtidas em cada uma das sete barras, na condição de demanda de 1 pu

Barra	Resultados da simulação sem compensações			Resultados da simulação com somente o banco de capacitores			Resultados da simulação com o filtro híbrido		
	Tensão eficaz (pu)	DTT%	FD%	Tensão eficaz (pu)	DTT%	FD%	Tensão eficaz (pu)	DTT%	FD%
1	0,985	1,52	0,23	0,991	1,48	0,24	0,990	1,47	0,17
2	0,952	2,80	0,67	0,967	2,90	0,72	0,965	2,67	0,47
3	0,922	4,06	1,05	0,950	4,33	1,13	0,947	3,66	0,70
4	0,902	5,13	1,37	0,940	5,76	1,46	0,936	4,40	0,84
5	0,885	6,03	1,62	0,936	6,82	1,72	0,931	4,84	0,90
6	0,875	6,78	1,78	0,938	7,73	1,89	0,932	4,61	0,87
7	0,870	7,20	1,87	0,947	8,77	1,97	0,938	3,96	0,76
Limite	0,930	6,00	2,00	0,930	6,00	2,00	0,930	6,00	2,00

Na primeira condição de operação, a DTT% ultrapassa o valor estabelecido como limite até o penúltimo estado do banco de capacitores. Isso significa que em toda a faixa de demanda compreendida entre 0,5 e 1,15 pu, a sétima barra fica fora dos padrões recomendados, o que é bastante expressivo. Com a inserção do filtro híbrido, esse indicador melhora consideravelmente e a barra se mantém abaixo do limite de 6% em toda a faixa de demanda considerada.

Já o FD%, que, no primeiro caso, assume valores relativamente altos para um sistema de distribuição secundária (próximos de 2%), após da inserção do equipamento estudado, mantém-se praticamente constante, em torno de 0,9%, um valor bem mais aceitável.

TABELA VI. Comportamento do filtro híbrido e da sétima barra do alimentador frente à variação da demanda de 1,15 pu até 0,2 pu

Estado	Resultados da simulação com somente o banco de capacitores			Resultados da simulação com o híbrido			
	Nível de tensão mínimo	DTT% máximo	FD% máximo	Nível de tensão mínimo	DTT% máximo	FD% máximo	Potência máxima no filtro
111	0,922	9,06	2,25	0,933	3,97	0,75	3,5
011	0,940	8,60	2,02	0,931	4,09	0,80	3
101	0,937	8,20	1,80	0,931	3,66	0,90	2,5
001	0,937	8,10	1,65	0,931	3,35	0,86	2
110	0,938	8,35	1,38	0,932	2,90	0,90	1,6
010	0,938	7,60	1,28	0,934	1,40	1,28	0,5
100	0,938	5,25	1,15	0,935	3,97	0,90	0,8
Limite	0,930	6,00	2,00	0,930	6,00	2,00	-

VI. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo de caso baseado em um método, direcionado às concessionárias, para minimizar problemas de qualidade de energia bem comuns em alimentadores residenciais. As simulações realizadas apresentaram resultados bastante satisfatórios.

Inicialmente, constatou-se que de fato, em alimentadores de distribuição secundária formados por condutores nus com alma de aço, é um tanto provável que haja a necessidade de realizar compensação reativa para manter os níveis de tensão em valores adequados. Entretanto, a seguir, foi mostrado que

utilizar somente um banco de capacitores não resolve o problema de poluição harmônica de tensão. Aliás, viu-se que realmente essa solução pode até mesmo deteriorar a DTT%.

Com a instalação do filtro híbrido paralelo na última barra do sistema e o uso da estratégia de controle, baseada em detecção de tensão, proposta aqui, provou-se que é possível e efetivo resolver simultaneamente os problemas de nível de tensão, DTT% e FD% ao longo de um alimentador residencial.

Além disso, verificou-se que a solução proposta é simples, compacta e baseia-se no uso de um filtro ativo de baixa potência nominal.

REFERÊNCIAS

- [1] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE Std. 519-2014, 2014.
- [2] R. Inzunza and H. Akagi, "A 6.6-kV transformerless shunt hybrid active filter for installation on a power distribution system", IEEE Trans. Power Electron., vol. 20, no. 4, pp.893-900, 2005.
- [3] J. Dixon, L. Moran, J. Rodriguez, and R. Domke, "Reactive power compensation technologies: State-of-the-art review", Proc. IEEE, vol. 93, no. 12, pp. 2144-2164, 2005.
- [4] J. E. Hernandez, R. P. Kandula, F. Lambert, and D. Divan, "A practical directional third harmonic hybrid active filter for medium voltage utility applications", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 49, no. 6, pp. 2674-2683, 2013.
- [5] L. S. Caires and L. F. Encarnação, "Filtro Híbrido Trifásico a Quatro Fios Aplicado a Consumidores de Baixa Potência com Amortecimento Harmônico", V Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2014.
- [6] M. L. y Gonzales, I. A. Pires, and S. R. Silva, "Correntes Harmônicas em Aparelhos Eletrodomésticos," VI Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica, 2005.
- [7] Agência Nacional de Energia Elétrica, Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional: Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, Brasil, 2015.
- [8] Operador Nacional do Sistema Elétrico, Procedimentos de Rede: Submódulo 2.8 – Gerenciamento dos indicadores de desempenho da rede básica e dos barramentos dos transformadores de fronteira, e de seus componentes, 2011.
- [9] IEC 61000-2-2, Part 2-2: Environment - Compatibility Levels for Low Frequency Conducted Disturbances and Signalling in Public Low Voltage Power Supply Systems, IEC 61000-2-2 Standard, 2004.
- [10] S. Bhattacharya and D. M. Divan, "Synchronous Reference Frame Based Controller Implementation for a Hybrid Series Active Filter System", Proceedings, IEEE-IAS Annual Meeting, pp.2531-2540, 1995.
- [11] D. N. Zmood, D. G. Holmes, and G. Bode, "Frequency domain analysis of three phase linear current regularors", IEEE Transactions on Industry Applications, pp.601-610, 2001.
- [12] F. T. Gheti, P. G. Barbosa, H. A. C. Braga, and A. A. Ferreira, "Estudo Comparativo de Técnicas de Controle de Corrente Aplicadas a Filtros Ativos Shunt", XVIII Congresso Brasileiro de Automática, 2010.
- [13] C. Hochgraf and R. H. Lasseter, "Statcom Controls for Operation with Unbalanced Voltages", IEEE Trans. On Power Delivery, vol. 13, no.2, pp. 538-544, 1998.