

**Efeito de Filtro Capacitivo na redução de ruídos e artefatos  
harmônicos na rede elétrica**

Prof. Dr. Ernane José Xavier Costa; Eng<sup>o</sup>. MSc. Aldo Ivan Céspedes Arce;

Eng<sup>a</sup>. Luciana Vieira Piza

**LAFAC- Laboratório de Física Aplicada e Computacional**

**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BÁSICA/FZEA**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

## **Resumo**

Devido a proliferação crescente de artefatos harmônicos e ruídos produzidos por máquinas e equipamentos comercialmente disponíveis, faz-se necessário desenvolver e testar novas tecnologias que possam oferecer uma controle inteligente e eficaz para manter a rede em sintonia com 60Hz reduzindo assim perdas no sistema elétrico como um todo. Este artigo apresenta resultados do uso do Filtro Capacitivo inteligente da LUMILIGHT DO BRASIL® na eliminação de harmônicos e ruídos da rede elétrica. Após testes realizados pelo LANTEQ - Laboratório de medidas e avaliações de produtos e tecnologias, o filtro foi testado em uma condição real de uma linha com rede elétrica ruidosa e os resultados mostraram que os surtos e artefatos harmônicos presentes na rede são reduzidos em até duas ordens de grandeza mantendo a rede estável em 60Hz.

## **1- Introdução**

As perdas ocasionadas pela presença de ruído na rede elétrica, influenciam diretamente na operação econômica segura e confiável do uso da energia elétrica. Além disso, tais perdas induz no sistema como um todo, dúvidas quanto ao futuro do uso sustentável da energia elétrica uma vez que tanto a distribuição quanto o consumo da energia deve levar em conta a otimização de inúmeros parâmetros elétricos (KALAMBE e AGNIHOTRI, 2014).

A preocupação com as perdas no sistema elétrico teve uma maior atenção da comunidade científica a partir da década de 50, onde foi introduzido a técnica de colocação de capacitores para controlar o fluxo de potência, melhorar a estabilidade da rede elétrica, melhorar do perfil de tensão, corrigir o fator de potência e com isso reduzir perdas na potência e na energia gasta na produção e uso da eletricidade. Neste cenário, na década de 50, Neagle and Samson (1956) apresentaram um artigo científico propondo regras gerais para o uso de capacitores na estabilidades da rede elétrica. Na década de 60 os trabalhos de Cook (1961) e Duran (1968) forneceram métodos para analisar as perdas de energia em função da demanda e demonstraram que em algumas circunstâncias, o uso simplesmente de capacitores não solucionaria o problema da transmissão, principalmente sob o ponto de vista econômico, uma vez que nesta década, houve um aumento exponencial da demanda industrial por energia elétrica. Os resultados destes artigos mostraram que: a simples técnica de usar capacitores restringia

a distribuição de carga reativa, não era considerado o problema do controle da tensão elétrica e era usada uma quantidade enorme de suposições e por isso o método não considerava variáveis em situações reais da rede elétrica. Neste contexto, surgiu a necessidade de desenvolver metodologias mais eficazes para reduzir a perda na rede elétrica. Inúmeros trabalhos científicos foram realizados no intuito de investigar as variáveis relacionadas a perdas no uso da energia elétrica para então propor soluções e uma compilação destes artigos foi apresentada por KALAMBE e AGNIHOTRI, 2014.

Uma forma de reduzir perdas na rede elétrica é a redução de ruído e artefatos presente nas fases (KALAMBE e AGNIHOTRI, 2014). Estes ruídos são causados por picos de tensão (surtos), descargas elétricas e equipamentos que geram artefatos harmônicos na rede elétrica (Narasimham ET col. 2011). Estes ruídos e artefatos além de danificar, aumentam o consumo de energia em diversos elementos da rede elétrica como: medidores de energia elétrica, motores e geradores, transformadores, cabos de alimentação, capacitores, equipamentos eletrônicos, aparelhos de medição, relés de proteção e fusíveis (IEEE-519, 1991).

Nos medidores, desde 1982 estudos científicos mostram que ruídos e artefatos interferem ativamente nas medições de consumo, e segundo a publicação do IEEE Power Applications and Systems (IEEE Task Force, 1982), os medidores de energia elétrica apresentam erros de medidas, podendo inclusive registrar aumento de consumo devido a artefatos harmônicos e surtos transientes presentes na rede elétrica. Em motores, o aumento de consumo de energia elétrica está associado com o aumento do aquecimento, o que diminui também o torque e, por conseguinte a eficiência mecânica do motor. Nos transformadores, elemento presente em muitos sistemas eletrônicos para

conversão da corrente alternada em contínua, a presença de harmônicos na tensão e corrente aumentam as perdas na estrutura de cobre e ferro respectivamente, apesar destas componentes harmônicas serem de pequena amplitude, ocasionalmente pode ocorrer fenômenos de ressonância criando harmônicos de alta frequência e amplitude elevada que passam a ser preponderantes (IEEE, 1982) podendo inclusive interferir nos parâmetros eletrônicos. Mesmo nos cabos condutores, ocorre aumento de perdas devido a presença de artefatos harmônicos, isto se dá principalmente, devido aos efeitos de indução que ocorrem pela proximidade entre os condutores, aumentando a resistência do condutor e, por conseguinte ocorrendo o efeito Joule (OCHOA e HARRISON, 2011). Desta forma, o ruído e artefatos harmônicos presentes na rede elétrica devem ser devidamente monitorados e removidos, para que seja possível o consumo eficiente e sustentável da energia elétrica.

Este artigo apresenta resultados da eficiência de filtros capacitivos inteligentes acoplados em paralelo à rede elétrica para remover ruídos, surtos e artefatos harmônicos.

## **2- Materiais e Métodos**

Para testar a eficiência de filtros capacitivos na remoção de ruídos, surtos e artefatos harmônicos na rede elétrica, foi utilizado o equipamento FILTRO CAPACITIVO INTELIGENTE da LUMILIGHT DO BRASIL® nas versões monofásica e trifásica. Antes de ser utilizado neste estudo o filtro foi submetido à ensaios de avaliação no LANTEQ – Laboratório de medidas e avaliações de produtos e tecnologias.

O filtro foi testado em uma linha experimental situada no LAFAC- Laboratório de Física Aplicada e Computacional da FZEA – USP. Nesta linha foi identificado diferentes tipos de surtos e artefatos harmônicos. Um painel de testes foi devidamente montado com os filtros e a seguir inserido na linha para avaliar a redução dos ruídos e artefatos presentes na mesma. O painel foi constituído de um reator gerador de surtos e artefatos harmônicos operando sobre um sistema de lâmpadas fluorescente. Os reatores usados foram dimensionados para ter um fator de potência menor que 0.55, comumente encontrados no mercado. O sistema foi acoplado em uma rede elétrica com inúmeros surtos e harmônicos presentes. A montagem do sistema monofásico esta listrada na Figura 1 e a montagem trifásica na Figura 2.

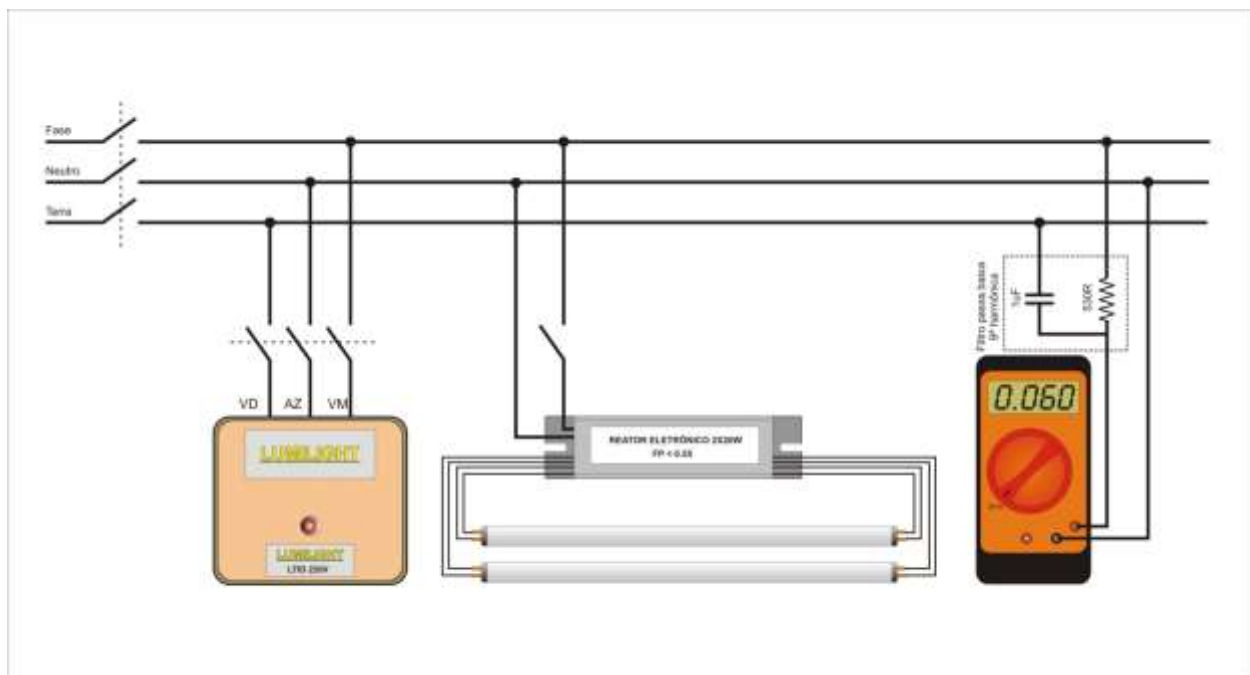


Figura 1 – Montagem do sistema monofásico

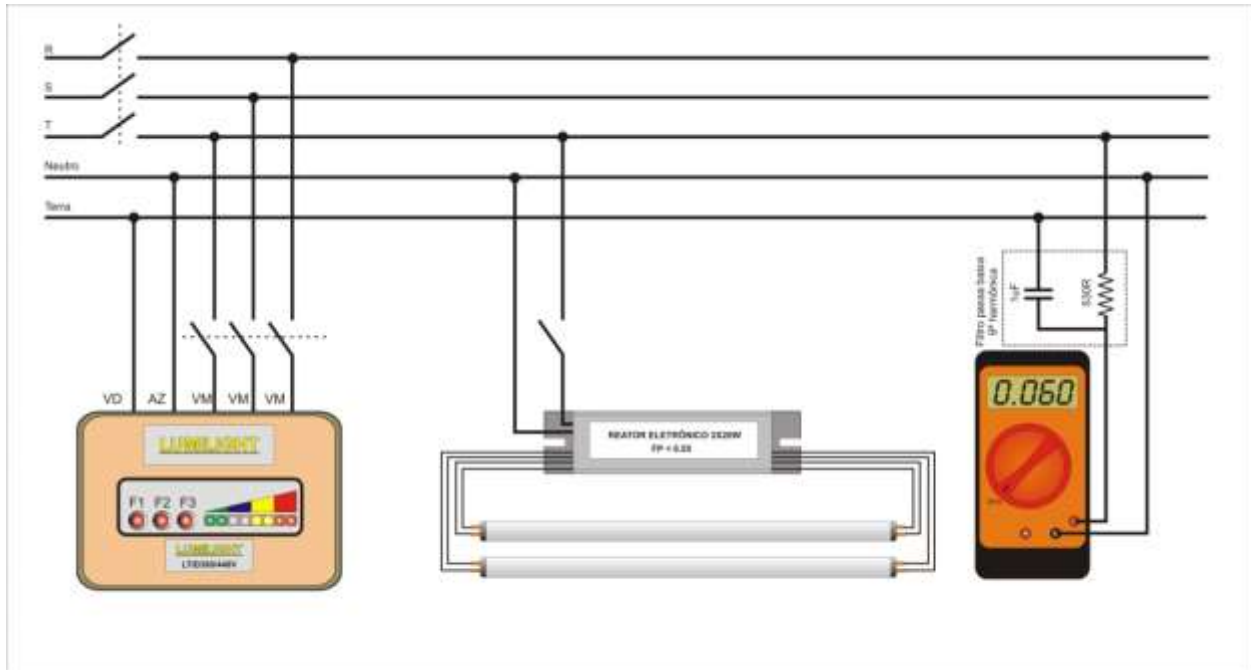


Figura 2 – Montagem do sistema Trifásico

Nestas configurações, o sinal da rede elétrica foi amostrado antes e depois da atuação do filtro. Os resultados foram analisados no medidor de frequência e o efeito do filtro demonstrado em gráficos e tabelas evidenciando os efeitos no domínio do tempo e da frequência respectivamente.

### 3- Resultados e Discussão

Os resultados da ação filtro, podem ser visualizados nas Figuras 3 e 4. Na Figura 3 tem-se a montagem do sistema com o filtro desligado e uma leitura do ruído na rede maior que 500Hz. Na Figura 4, o filtro foi acionado e o medidor mostra a rede com uma oscilação de 60Hz.



Figura 3 – Arranjo experimental ilustrando a presença de ruído na rede sem a ação do filtro



Figura 4 – Arranjo experimental ilustrando a presença de 60Hz na rede após a ação do filtro.



Para efeito de comparação, um sinal de 60Hz padrão e um sinal com ruído são representados na Figura 5. O sinal ruidoso possui artefatos harmônicos e picos transientes.

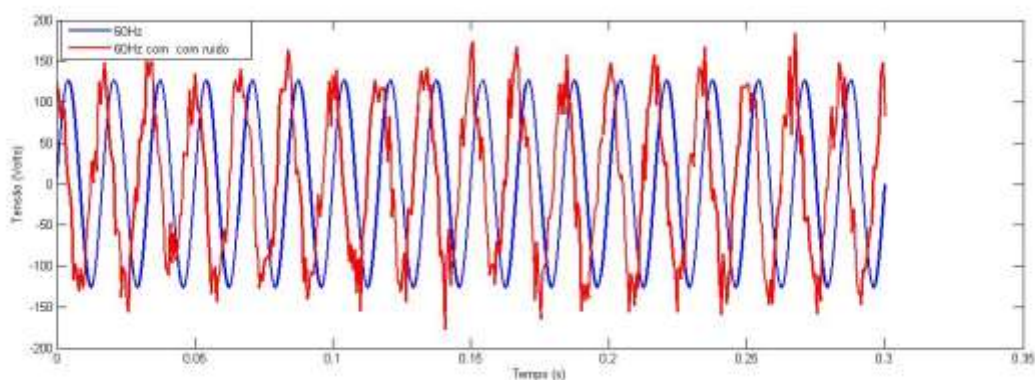


Figura 5 – Gráfico comparativo entre um sinal com ruído (em vermelho) e sinal de 60Hz (em azul).

Na Figura 6 tem-se o sinal obtido após a ação do filtro e na Figura 7 tem-se o espectro de potência do sinal antes de filtrar e depois de filtrado.

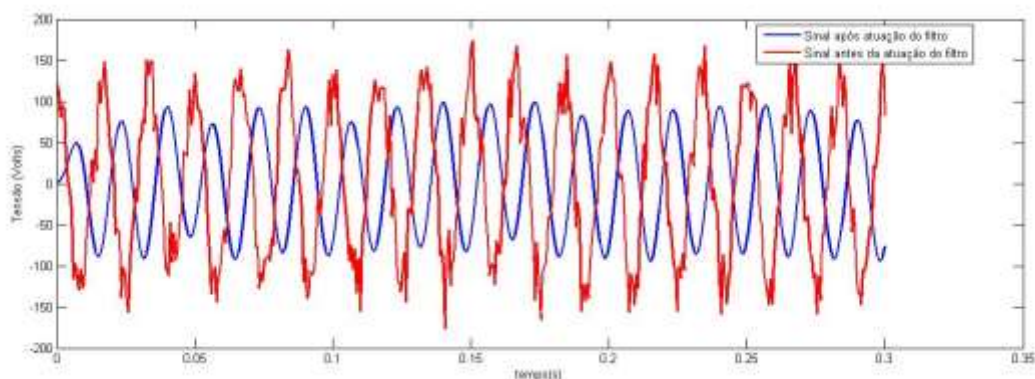


Figura 6 – Comparação entre o sinal da rede antes (em vermelho) e depois (em azul) da ação do filtro.

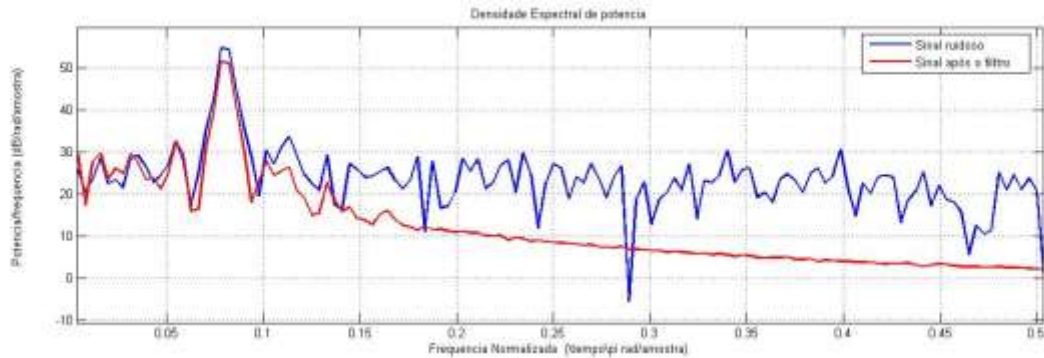


Figura 7 – Espectro de potência do sinal da rede antes (em azul) e depois (em vermelho) da atuação do filtro

A densidade espectral de potência ilustrada na Figura 7, mostra que o sinal ruidoso apresenta, além da frequência fundamental centrada em 60Hz, diversas outras frequências incluindo os artefatos harmônicos múltiplos de 60Hz e outras respostas em frequência devido aos surtos que ocorrem na linha, este fato está descrito também no Boletim técnico da ABB (QT8ABB, 2008). O espectro de frequência em vermelho mostra que após a ação do filtro, foi mantida a frequência fundamental de 60Hz e as harmônicas e outras frequências espúrias foram reduzidas em até duas ordens de grandeza. Estes resultados estão de acordo com o que foi observado por Lin e colaboradores (2012) onde usaram filtro capacitivo inteligente para controle estratégico de distorções na rede elétrica.

#### 4- Conclusão

Os resultados permitem concluir que o filtro Capacitivo INTELIGENTE da LUMILIGHT® usado neste ensaio experimental reduz em até duas ordens de grandeza o ruídos gerados por surtos e artefatos harmônicos presente na rede elétrica.

## 5 – Referências

Cook RF. Optimizing the application of shunt capacitors for loads in certain areas reactive-volt-ampere control and loss reduction. **AIEE Transactions**; PAS-80:430–44. (1961).

Duran H. Optimum number, location, and size of shunt capacitors in radial distribution feeders—a dynamic programming approach. **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**; PAS-87(9):1769–74.(1968).

IEEE-519 IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems – **Project IEEE-519**, (1991).

IEEE – Sine wave Distortions in powers systems and the impact on protective relaying. **Committee of the IEEE Power System**, (1982).

IEEE Task Force, “The Effects of Power System Harmonics on Power System Equipment and Loads”, IEEE Trans. **Power App. and Systems**, vol. 104, no. 9, , pp. 2555-2563. (1985).

Lin S.; Salles D.; Freitas W.; and Xu W. An intelligent control Strategy for Power Factor Compensation on Distorted Low Voltage Power Systems. **IEEE Trans. On Smart Grid** v.3; n3; pp1562-1570. (2012).

Neagle NM, Samson L. Reduction from capacitors installed on primary feeders. **AIEE Transaction**; PAS-75(III):950–9, (1956).

Ochoa LF, Harrison GP. Minimizing energy losses: optimal accommodation and smart operation of renewable distributed generation. **IEEE Transactions on Power Systems**; 26(1):198–205, (2011).

QT8ABB – Power factor correction and Harmonic filtering in electrical plants – **Technical Application Paper ABB - QT-8**; ref. Num. 1SDC007107G0201, (2008).

Rao RS, Narasimham SVL, Raju MR, Rao AS. Optimal network reconfiguration of large-scale distribution system using harmony search algorithm. **IEEE Transactions on Power Systems**;26(3):1080–8, (2011).

Shilpa Kalambe, Ganga Agnihotri. Loss minimization techniques used in distribution network: bibliographical survey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Volume 29, p.p 184–200, (2014).