

Power Quality Analysis at Medium-Voltage Connection of a Manufacturing Plant

Julio Santos
Fluminense Federal University
Niterói, Brazil
juliosimoes@id.uff.br

Bruno França
Fluminense Federal University
Niterói, Brazil
bwfranca@id.uff.br

Wellington Lobato
Fluminense Federal University
Niterói, Brazil
wellingtonjoac@hotmail.com

Henrique Henriques
Fluminense Federal University
Niterói, Brazil
hohenriques@id.uff.br

Abstract— This paper presents an analysis of the power quality in a factory with 13.2 kV supply voltage, powered by a medium voltage circuit of approximately 8 km of predominantly overhead distribution network, located in the southeastern region of Brazil. The objective of this work is to evaluate the effectiveness and benefits of an active filter installation to correct 3rd and 5th order harmonic disturbances present in the common coupling point. The system was modeled on PSCAD / EMTDC software as a means to reproduce power quality issues and to design the Active filter properly. Actual field measurements using a power quality meter were used to validate the modeling. Measurements were performed over a period of 40 consecutive days. The system was compared with and without filter compensation against the minimum values defined in the current National Regulation.

Keywords— Power Quality, Medium voltage, Active filter, Voltage deviation.

I. INTRODUÇÃO

A necessidade de garantia da qualidade de energia elétrica (QEE) no seu fornecimento dentro de padrões pré-estabelecidos se torna cada vez mais preponderante no cenário brasileiro, principalmente nos segmentos industriais, onde esta exigência se torna mais acentuada por conta da sua influência na qualidade dos processos fabris [1]. A qualidade de fornecimento em uma determinada planta pode sofrer influências significativas, que estão associadas aos fenômenos elétricos, oriundos das características construtivas dos equipamentos, como transformadores, motores e cargas não lineares que podem causar problemas induzidos por distorção como sobreaquecimento, avaria do equipamento e aumento de perdas de energia, e que podem também produzir discontinuidades na corrente em função dos disparos de conversores, por exemplo [2]. Estes efeitos, em algumas situações, causam distorções nas formas de ondas que acarretam mau funcionamento, perda de sincronismo ou interrupções nos dispositivos/maquinários, dentre outros problemas, convergindo para perda de produção e insumos, afetando a saúde financeira no processo fabril [1]. A QEE no seu suprimento vem sendo, cada vez mais alvo de estudos e

pesquisas, especialmente no que tange a classificação e detecção de distúrbios [3].

É importante ressaltar que esses distúrbios se originam, por exemplo, pela troca de bancos de capacitores, pela grande presença de cargas não lineares, entrada e saída de grandes cargas indutivas e falhas no alimentador de distribuição primário [4]. A inserção de novas tecnologias para monitoramento, ganho de produtividade e encadeamento de processo veio acompanhada do surgimento das redes inteligentes. Com isso a preocupação com a qualidade da energia empregada nos equipamentos é constante devido aos novos componentes serem sensíveis às variações e distúrbio da rede [5].

Neste sentido, a necessidade de medição específica direcionada a determinados fenômenos elétricos, de forma contínua e eficaz, se faz necessária. Essas medições permitem que sejam feitas análises e atuações pontuais para a devida correção de problemas de QEE existentes. As análises sempre definem dois focos de direcionamento das ações de ajuste, sendo o primeiro oriundo da fonte de suprimento, neste caso a Concessionária, e o segundo originado da própria unidade fabril. Para ambos cenários, existem ações específicas que garantem a conformidade do produto entregue, de acordo com os requisitos regulamentados por normas do setor elétrico, ou por orientação do fabricante da planta industrial. De qualquer modo é importante salientar as determinadas situações em que pode haver divergência de necessidades, principalmente no quesito regulatório que define parâmetros mínimos e máximos de grandezas elétricas direcionadas à fonte de suprimento, quando tais limites não forem suficientes para garantir os requisitos de operação dos equipamentos relacionados às suas especificações técnicas de sensibilidade.

Neste sentido, existem estudos específicos que analisam as plantas industriais e definem a melhor solução técnica para funcionamento dos equipamentos que as compõem, incorporando à planta da unidade fabril, dispositivos capazes de filtrar e mitigar os distúrbios que distorcem as formas de onda e que afetam a produção. Estes dispositivos, quando atuam de forma ativa no circuito através de equipamentos

baseados em conversores eletrônicos de potência, são denominados Filtros Ativos [6] [7]. Já quando utilizam apenas componentes passivos sintonizados, são denominados Filtros Passivos [8] [7]. O objetivo deste trabalho é avaliar a eficácia e os benefícios de uma instalação de filtro ativo para corrigir distúrbios harmônicos de 3ª e 5ª ordem presentes no ponto de acoplamento comum. O sistema foi modelado no software PSCAD / EMTDC como um meio para reproduzir os problemas de qualidade de energia e para o design adequado do filtro Ativo. Na seção II será abordado o estudo de caso, na seção III relatadas às medições de qualidade da planta fabril utilizadas para a modelagem equivalente da carga, que é descrita na seção IV. Na seção V, é feita a concepção do controle e do cálculo das correntes de referência apresenta também a definição do filtro mais adequado para eliminação do distúrbio elétrico identificado e sua modelagem. Na seção VI e VII são apresentados Resultados do funcionamento do filtro e análise dos resultados finais, respectivamente.

II. ESTUDO DE CASO

Este estudo aborda um caso específico de uma unidade fabril do segmento têxtil localizada na região Sudeste do Brasil, alimentado em média tensão por um circuito elétrico de 13,8 kV e aproximadamente 8 km de extensão (predominante rede nua) com tensão contratada de 13,20 kV. Cabe destacar que este cliente está localizado no final do circuito que contém diversos pontos de manobras com chaveamentos manuais e automáticos para transferência de carga ao longo do mesmo. A demanda deste cliente é de 400 kW e sua rotina laboral é de 24 horas. Sua planta é composta na sua maioria por motores, inversores e iluminação. Sendo uma unidade têxtil, e pela especificidade do produto, qualquer variação de energia elétrica associada em nível de tensão em regime permanente e/ou transitório provoca uma sensibilização das máquinas que passam a não funcionar de forma adequada, interrompendo o correto ciclo de produção. Esta fábrica tem a capacidade de produção de 2 milhões de peças/mês. Dessa forma, foi realizada a análise dos fenômenos elétricos presentes na unidade fabril através da captura real das leituras através de um Medidor de Qualidade de Energia (Qualímetro) [9] no ponto de entrega de energia pela Concessionária, o referido equipamento é específico e direcionado para as análises mais detalhadas e estudos de qualidade de energia. Este equipamento tem a capacidade de registrar fenômenos elétricos de origem permanente (tensão, fator de potência, variação de frequência e harmônicos) e de origem transitória, tal como a variação de tensão de curta duração, denominada VTCD [10].

A regulação vigente [10] determina o registro de 30 dias corridos para que tenhamos dados suficientes para as devidas análises e que cubram todas as especificidades diárias associadas ao suprimento e qualidade de energia.

III. MEDIÇÕES E CAPTURA DE GRANDEZAS ELÉTRICAS

Com o objetivo de ter maior precisão no diagnóstico do problema, foi realizada medição de aproximadamente 40 dias, que corresponde a 6.168 leituras com integração de dados de 10 minutos. Este volume de leituras permite a captura temporal das grandezas elétricas com foco no fornecimento de informações específicas para a correta formulação das ações para estabilidade da corrente elétrica do cliente, e blindagem da rede de distribuição no que tange a eventos de distorções que poderiam impactar outros clientes ligados ao mesmo segmento de fornecimento de energia. A medição foi realizada com um equipamento denominado Power Quality PQ-700 do Fabricante IMS. Após o período de instalação no ponto de entrega do cliente, o diagnóstico gerado semanalmente (S1, S2, S3 e S4) pelo software está resumido na Tabela 01, onde são informados valores superiores ao limite regulatório do fenômeno elétrico de Distorção Harmônica DTT3 95% [10] e que também pode ser evidenciado nas Figuras 03, 04 e 05. Os dados da tabela abaixo reportam valores comparados às metas regulatórias dos fenômenos elétricos definidos no Prodist [10] relativos à tensão de fornecimento e são os referenciais que direcionam a necessidade de ação quando das transgressões dos limites.

Tabela I Medidas realizadas pelo Qualímetro

Fenômeno	Indicador	Limites	Medição				Parecer
			S1	S2	S3	S4	
Tensão em Regime Permanente	DRP	3,0	0,00	0,00	0,00	0,00	Adequado
	DRC	0,5	0,00	0,00	0,00	0,00	Adequado
Desequilíbrio de Tensão	FD95%	2,0	1,01	1,05	1,06	1,06	Adequado
Flutuação	Pst95%	1,5	0,23	0,22	0,22	0,23	Adequado
Distorção Harmônica	DTT95%	8,0	6,15	6,10	5,86	5,82	Adequado
	DTTp95%	2,0	0,26	0,25	0,27	0,26	Adequado
	DTTI95%	6,0	3,22	3,20	3,24	3,14	Adequado
	DTT ₃ 95%	5,0	5,95	5,91	5,65	5,64	Procedente
VTCDs	FI	1,0	0,25				Adequado

Para mostrar o comportamento da carga do cliente, foi capturada uma base de medições ao longo de um dia com intervalo de integração de 10 minutos e pode-se observar uma variação significativa da corrente média ao longo do ciclo laboral diário e mostram uma variação muito acentuada durante o regime de trabalho e que são referenciados chegando a variações na ordem dos 23%, entre a máxima e mínima registrada, conforme Fig. 01.

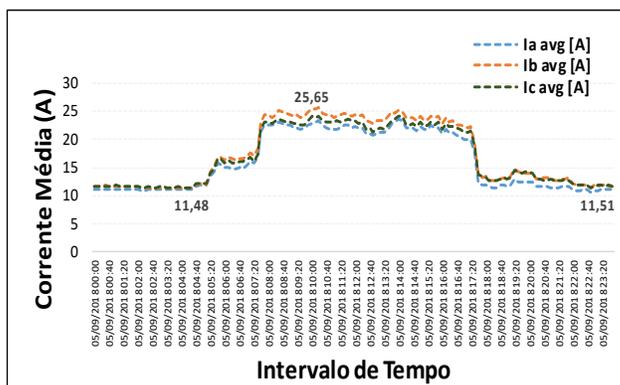


Figura. 01 – Nível de Corrente das fases (1º dia)

Na Fig. 2 observam-se as tensões de fornecimento com contínua estabilidade dentro dos padrões máximos e mínimos estabelecidos pelo Prodist. Reiterando a tensão contratada pelo cliente é de 13,20 KV.

Com relação à tensão de fornecimento contratada, os limites máximos e mínimos, estão sendo respeitados, apresentando uma variação de 4% durante as leituras do 1º dia de atividade.

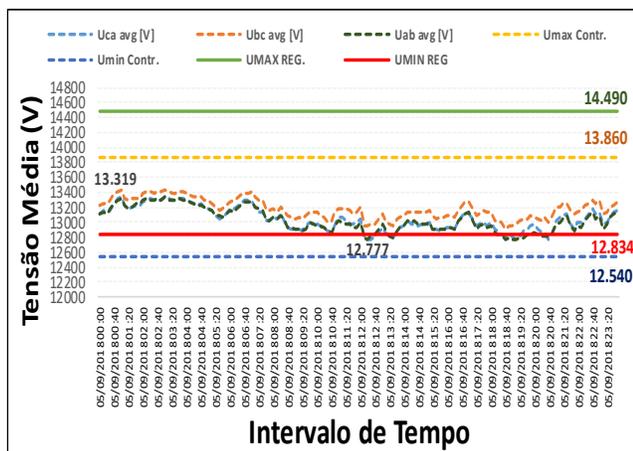


Figura. 02 – Nível de Tensão das Fases (1 dia)

Na fig. 03 é possível visualizar as contribuições harmônicas nas respectivas fases. A partir dos dados obtidos através da medição foi feita uma análise dos mesmos e foi possível notar nos gráficos gerados pelo software Excel2010 uma maior presença da 3º e 5º harmônicas na carga, o que possibilitou a modelagem no software PSCAD gerando seu equivalente elétrico e buscando a representação do resultado da corrente medida. As informações apuradas a respeito da carga da indústria é que possui predominantemente carga indutiva, devido ser do seguimento têxtil.

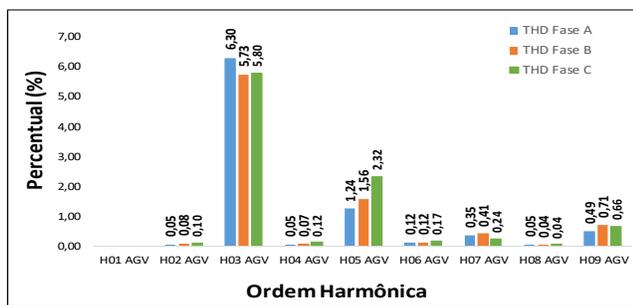


Figura. 03 - Contribuições Harmônicas nas fases

IV. EQUIVALENTE DA CARGA ELÉTRICA

Nesta fase, aplicamos uma impedância (RL) para a componente fundamental da carga e fontes de corrente de forma a gerar os valores das correntes medidas com incorporação das correntes de distúrbios harmônicos de 3ª e 5ª ordem, conforme a Fig. 04, para formar o equivalente elétrico da carga representado pela Fig. 05.

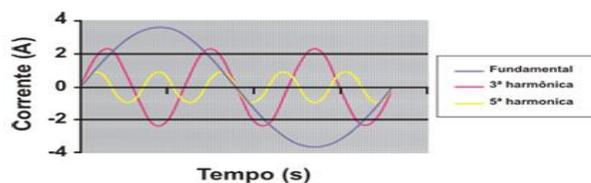


Figura. 04 – Formas de onda da 3º e 5º harmônica [12]

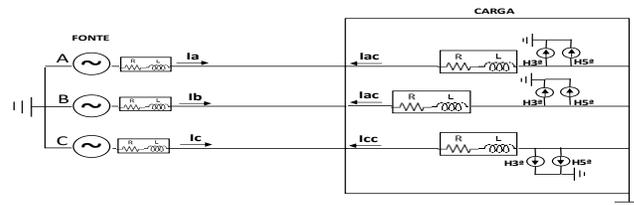


Figura. 05 – Equivalente Elétrico da carga

Na fase seguinte, modelou-se a carga no Software PSCAD para fazer as comparações entre a corrente real medida pelo equipamento (Qualímetro) e a corrente simulada no programa. Foi necessário fazer os ajustes na configuração dos componentes modelados de forma a garantir um percentual de aderência compatível com a situação real para iniciar os tratamentos matemáticos e para a configuração do filtro ativo, com foco em garantir a compensação das ondas de corrente distorcida pelos fenômenos harmônicos de 3ª e 5ª ordem da Planta Fabril, conforme diagnóstico na Tabela 01 (S1, S3 e S4).

As correntes harmônicas inseridas no equivalente elétrico foram devidamente ajustadas para os percentuais registrados pelas medições capturadas pelo Qualímetro e cujos valores de cada sequência harmônica estão representados na Fig. 03, anteriormente citada. Identificadas às características do 3º e 5º harmônico, conforme a Figura 01 foi preciso configurar as fontes de correntes do equivalente elétrico de forma a garantir o percentual dos harmônicos e suas defasagens angulares intrínsecos a cada fase (Ia, Ib e Ic). Esta configuração no PSCAD foi obtida atrasando/adiantando o ângulo das correntes harmônicas, a fim de representar a injeção de 3ª e 5ª harmônicas, respectivamente.

V. MODELAGEM MATEMÁTICA PARA DETERMINAR A CORRENTE DE COMPENSAÇÃO

O cálculo das correntes que foram incorporadas a rede (I^*_{ca} , I^*_{cb} e I^*_{cc}) para compensar os distúrbios harmônicos gerados pela carga tem formulação matemática no referencial obtido pela Transformada de Clarke [11]. A transformada tem como principal objetivo fazer uma conversão algébrica das grandezas trifásicas em referência bifásica. Para sistemas classificados como quatro fios, a transformada faz a desacoplagem das componentes de sequência zero das componentes α e β .

Na equação (1), através do cálculo das Potências Instantâneas P e Q , equação (2), que são utilizadas para cálculo das correntes de compensação i^*_{α} e i^*_{β} , equação (3) e, finalmente, utilizando a Transformada Inversa de Clarke representada na equação (4) que tem por objetivo gerar as correntes de compensação que serão inseridas no filtro para

reduzir/eliminar os distúrbios identificados na medição da corrente de carga para retorno ao referencial abc. As representações desse procedimento de cálculo no PSCAD estão mostradas nas Fig. 06, 07, 08, 09 e 10. As formas de onda das tensões de fornecimento E_a , E_b e E_c e as correntes I_a , I_b e I_c foram obtidas utilizando o software conforme Fig.11 e 12, respectivamente. Cabe realçar que as medições iniciais apresentaram distorções de pouca sensibilidade, haja vista que a transgressão harmônica máxima foi de 0,22 p.p acima do limite máximo estabelecido por regulação de 5% [10].

$$\begin{bmatrix} v\alpha \\ v\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} va \\ vb \\ vc \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} i\alpha \\ i\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} iLa \\ iLb \\ iLc \end{bmatrix}$$

Equação 1 – Transformada de Clarke

$$\begin{aligned} p &= v\alpha * i\alpha + v\beta * i\beta \\ q &= v\beta * i\alpha - v\alpha * i\beta \end{aligned} \quad (2)$$

Equação 2 – Potência Instantânea

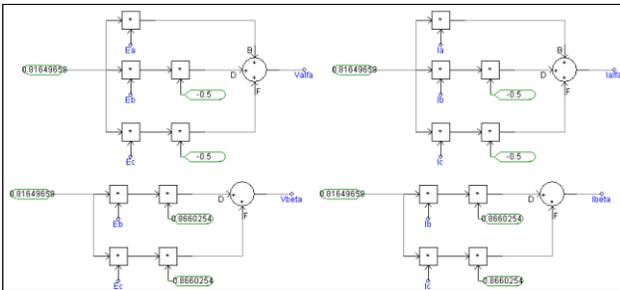


Figura.06 – Transformada de Clarke-PSCAD

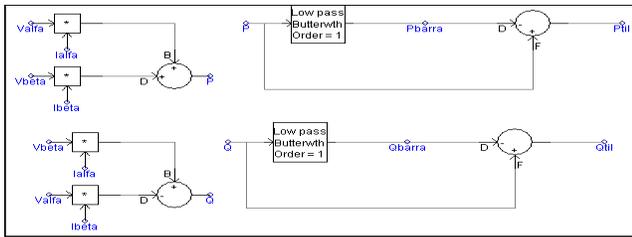


Figura. 07 – Potência Instantânea-PSCAD

Na Fig. 09 temos a representação do bloco de controle, podendo verificar todos os passos para o cálculo da corrente a ser compensada.

$$\begin{bmatrix} i * \alpha \\ i * \beta \end{bmatrix} = \frac{1}{v^2 \alpha + v^2 \beta} \begin{bmatrix} v\alpha & v\beta \\ v\beta & -v\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -p * C \\ -q * C \end{bmatrix} \quad (3)$$

Equação 3 – Matriz de Cálculo Corrente α e β

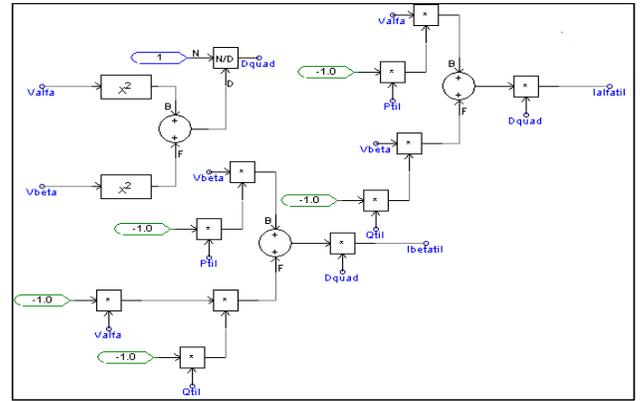


Figura. 08 – Correntes α e β – PSCAD

$$\begin{bmatrix} i * Ca \\ i * Cb \\ i * Cc \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i * \alpha \\ i * \beta \end{bmatrix} \quad (4)$$

Equação 4 – Transformada Inversa de Clarke

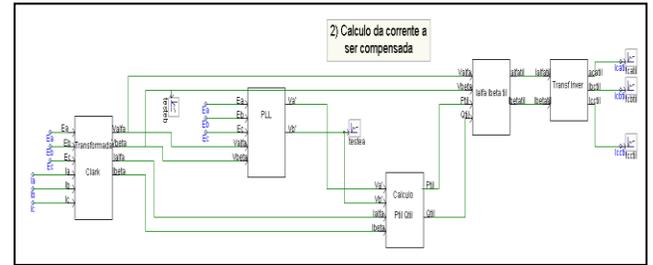


Figura. 09 – Diagrama de controle

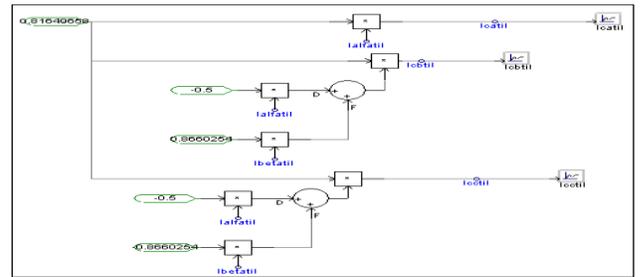


Figura. 10 – Transformada Inversa de Clarke – PSCAD

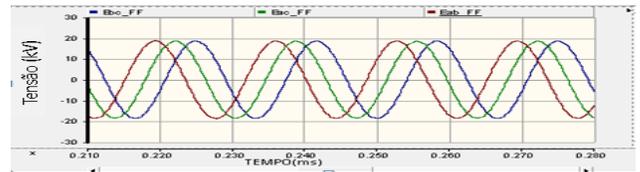


Figura. 11 – Tensões de Fornecimento

Na Fig. 12, a seguir, temos as formas de onda das correntes da carga defasadas e que apresentam as distorções na sua forma, causadas pelos distúrbios harmônicos de 3ª e 5ª ordem. Essas contribuições harmônicas foram simuladas

através de fontes de correntes no software e foram modeladas de acordo com sua magnitude e fase.

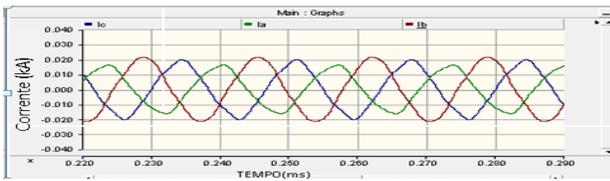


Figura. 12- Corrente com Distúrbios Harmônicos Iniciais

Com o foco em potencializar o problema para uso dos modelos de ajustes dos distúrbios, multiplicamos três vezes os impactos dos distúrbios harmônicos de 3ª e 5ª ordem em todas as fases, o que gerou novas distorções das correntes da carga e que mostram os resultados presentes na Fig. 13.

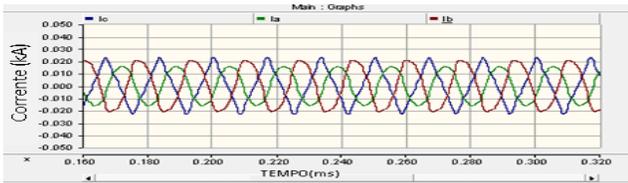


Figura. 13 – Corrente com Distúrbio Majorado

VI. MODELAGEM DO FITRO ATIVO

Após o tratamento matemático e com os módulos e fasores das correntes compensatórias definidas foi possível à configuração do Filtro Ativo para a correção do distúrbio harmônico presente no sistema da Fig. 14.

Para efeito de simulação via software PSCAD foi dimensionado um filtro em paralelo com a carga e seus componentes, foram também ajustados na busca de valores a partir de simulações diversos parâmetros por meio de tentativas e análises dos resultados. Ao final desse processo o filtro LC foi definido baseado na resposta de saída que compensou as componentes harmônicas presentes na carga e definidos valores finais de indutância em 0.190 H e capacitância em 80 μ F.

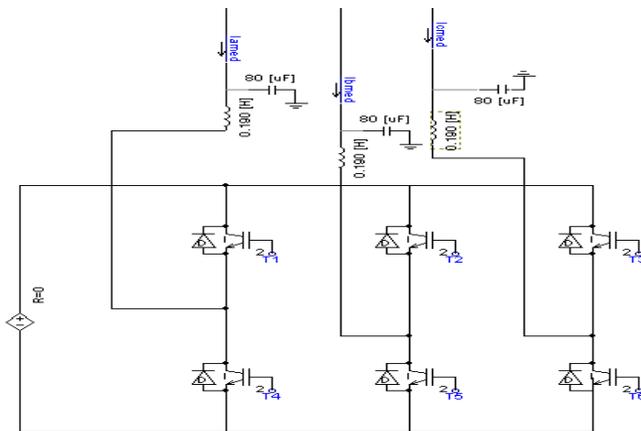


Figura. 14 – Filtro Ativo para correção de distúrbio harmônico

Para verificação do filtro ativo modelado e a correta corrente compensatória (I_{amed} , I_{bmed} e I_{cmed}) a ser inserida no circuito para garantia de corrente mais aderente a forma senoidal, fazemos a soma das correntes da carga com os referidos distúrbios harmônicos (I_a , I_b e I_c) com as correntes de compensação (I_{catil} , I_{cbtil} e I_{cctil}) vistas na Fig. 15 e que está representada pelas correntes I_{asoma} , I_{bsoma} e I_{csoma} , conforme Fig. 16.

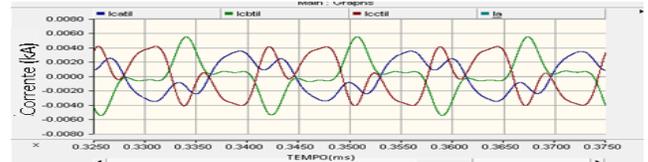


Figura 15– Correntes de compensação (I_{catil} , I_{cbtil} e I_{cctil})

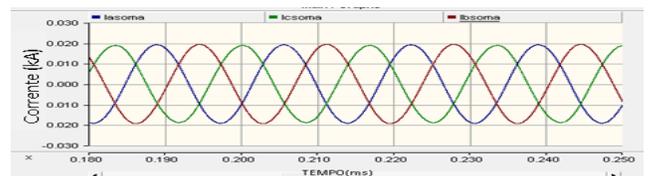


Figura. 16– Sinais da Corrente Compensada

Os erros quando comparados aos valores das correntes calculadas (I_{catil} , I_{bctil} e I_{cctil}) e as corrente injetadas ao circuito pelo filtro ativo (I_{amed} , I_{bmed} e I_{cmed}) foram mínimos, conforme representação na Fig. 17 e para fazer esta comparação entre as correntes I_{catil} e I_{amed} utilizou-se um dos recursos de modelagem do software e foi feita a sobreposição das mesmas para melhor visualização gráfica na Fig. 18.

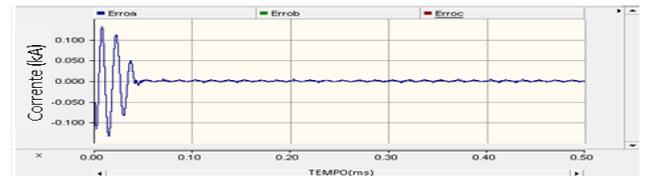


Figura. 17-Erro

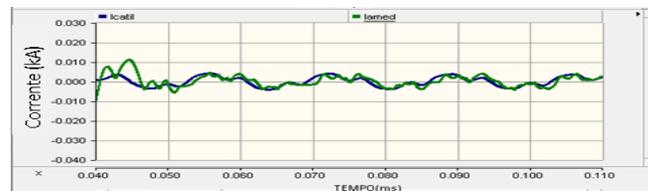


Figura. 18 - Sobreposição dos sinais fase A - $I_{catil}+I_{amed}$

VII. RESULTADO

Neste artigo foi elaborado, um estudo de caso, baseado na análise dos dados das grandezas elétricas de uma indústria fabril e que foram capturados por um medidor de energia (Qualímetro) durante 40 dias consecutivos como forma de

capturar o real comportamento do fornecimento de energia no ponto de entrega da unidade.

Com os dados obtidos e organizados utilizando-se do software EXCEL2010, tornou-se possível gerar gráficos que auxiliaram a modelagem inicial através do software PSCAD. Os resultados obtidos pelo PSCAD quando da incorporação do filtro ativo se mostraram eficazes. Um tema de suma relevância foi à incorporação do phase locked loop (PLL) [13] que é um sistema de controle capaz de rastrear a componente fundamental baseando-se em sinais de entrada e saída com frequência e fase em sincronismo, o sinal amostrado é capaz de manter em regime permanente as frequências de saída e entrada, o que torna possível a eliminação de ruídos que comprometeriam os resultados finais e que, de fato, apresentaram problemas nos primeiros resultados obtidos devido à ausência do PLL nas simulações. Importante destacar a gama de possibilidades e análises diferentes que essa combinação permite e insere no tema QEE ainda mais abrangência.

Salientamos que focados no objetivo de ter a melhor resposta do Filtro Ativo e garantir a melhor qualidade das correntes e das características intrínsecas ao comportamento da fundamenta, houve a necessidade de ajustes no filtro para que os resultados obtidos fossem satisfatórios e coerentes com os dados reais que inicialmente foram obtidos, através de medições de campo.

Com a aplicação do filtro ativo modelado no PSCAD, que apresentou como resposta as correntes lamed, lbmed e lamed, que são as correntes a serem injetadas no Sistema para garantir a anulação dos efeitos harmônicos de 3ª e 5ª ordem gerados pela carga definida no Estudo do Caso, observamos um resultado satisfatório no que tange ao objetivo inicial. Na Fig. 19 apresentamos o resultado final do comportamento da forma de onda das correntes Iac, Ibc e Icc (correntes compensadas).

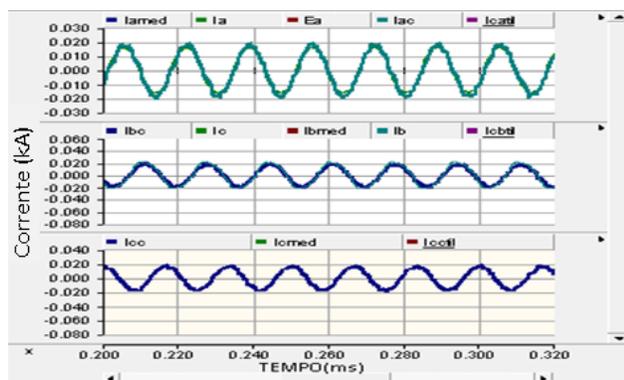


Fig. 19. Correntes compensadas pelo filtro ativo

VIII. CONCLUSÃO

A modelagem do Filtro Ativo para uma Unidade Fabril a partir das informações das medições reais de campo realizadas por um Medidor de Grandezas Elétricas de Qualidade do Produto (Qualímetro) foi possível através da aplicação das modelagens matemáticas das correntes e tensões extraídas. O

uso do Software PSCAD se tornou essencial para que as simulações fossem executadas. Depois de definidos os ajustes necessários, como a incorporação de elementos, tais como o PLL, foi necessário alterar os parâmetros para ter correntes compensadoras eficientes e com resultados satisfatórios, possibilitando assim a garantia do comportamento das respostas dentro dos requisitos esperados.

Como sugestões, para trabalhos futuros, identificamos algumas melhorias bem significativas a serem implantadas na simulação. A componente de sequência zero, gerada pelas fontes de corrente, não estava sendo filtrada pelo filtro dimensionado, logo, foi necessário deixar que elas se anulassem no próprio circuito e como proposta para resolução, surgiu à ideia de projetar um sistema a quatro fios. A outra é dimensionar um Filtro Ativo com melhor capacidade de filtragem e controle que pode gerar resultados mais robustos para uma possível filtragem prática do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. Alahakoon; X. Yu; Smart Electricity Meter Data Intelligence for Future Energy Systems: A Survey - IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS, VOL. 12, NO. 1, FEBRUARY 2016.
- [2] Phipps, J. K., Nelson, J. P., Sen, P. K. (1994): "Power Quality and Harmonic Distortion on Distribution Systems", IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 30, no. 2, March/April 1994, pp. 476-485;
- [3] D. Granados-Lieberman, R. J. Romero-Troncoso, R. A. Osornio-Rios, A. Garcia-Perez, and E. Cabal-Yepez, "Techniques and methodologies for power quality analysis and disturbances classification in power systems: A review," IET Gener. Transm. Distrib., vol. 5, no. 4, pp. 519-529 Apr.2011.
- [4] R. C. Dugan, M. F. Mc Granaghan, S. Santoso, and H. W. Beaty, Electrical Power Systems Quality, 3rd ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2002
- [5] A Low-Cost Power-Quality Meter With Series-Arc-Fault Detection Capability for Smart Grid Kostyantyn Koziy, Bei Gou, Member, IEEE, and Joel Aslaxson IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 28, NO. 3, JULY 2013
- [6] Z. Shuai A. Luo C. Tu D. Liu. New control method of injection-type hybrid active power filter. Published in IET Power Electronics Received on 8th November 2010 Revised on 21st March 2011 doi: 10.1049/iet-pel.2010.0353.
- [7] R. C. Filho; M. F. Braga; S. M. Silva; APLICAÇÃO DE FILTROS ATIVOS E PASSIVOS DE POTÊNCIA: ESTUDO DE CASO – VIII Conferência Internacional de Aplicações Industriais – INDUSCON, Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil 2008
- [8] A. Mantzke; Otto-von-Guericke; S. V. Kochetov; Robert Bosch GmbH,- Broad-Band Modeling of Passive Power-Supply Filter Structures - IEEE TRANSACTIONS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY, VOL. 55, NO. 1, FEBRUARY 2013.
- [9] W. A. Souza; F. P. Marafão; E. V. Liberado; I. S. Diniz; P. J. A. Serni - Power Quality, Smart Meters and Additional Information from Different Power Terms - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, São Paulo, Brasil, IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, VOL. 13, NO. 1, JAN. 2015
- [10] Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Setor Elétrico Nacional – Prodist Módulo 08 – Revisão 10 – 2018
- [11] Abdullah Asuhaimi Mohd Zin, Makmur Saini, Mohd Wazir Mustafa, Ahmad Rizal Sultan, Rahimuddin. New algorithm for detection and fault classification on parallel transmission line using DWT and BPNN based on Clarke's transformation. Neurocomputing 168 (2015) 983–993
- [12] <http://www.ohmic.com.br/site/produtos-filtros-harmonicos-saiba-mais>
- [13] Power electronics: converts, applications, and design, 3° editions Ned Mohan, Tore.M Undeland, Willian .P Robbins