

Correção do Fator de Potência e Redução da Distorção Harmônica em planta industrial por meio de Banco de Capacitor Dessintonizado.

Resumo — Este artigo tem como objetivo apresentar resultados obtidos de medições e simulações referentes à utilização de banco de capacitores convencionais e dessintonizados para a correção do fator de potência e melhora na qualidade de energia, tanto por parte da concessionária como por parte do consumidor. A planta em análise teve como principal problema a queima e mau funcionamento dos bancos de capacitores convencionais. Em função da carga deste cliente ser em sua maioria composta de inversores de frequência associada a uma baixa potência de curto circuito, o nível de distorção harmônica de tensão nas barras de baixa tensão era elevado, em decorrência da amplificação provocada pelos bancos de capacitores inseridos no sistema elétrico.

Palavras-chaves — Capacitores, Indutores, Filtro de Harmônicas, Banco de Capacitores Dessintonizado, Ressonância, Fator de Potência, Inversor de Frequência, Medição, Carga não Linear.

I. INTRODUÇÃO

A correção do fator de potência por bancos de capacitores com indutores de dessintonia é realizada para evitar a ressonância do banco de capacitores com o sistema elétrico, evitando a queima, aumentando a vida útil e também reduzindo consequentemente a amplificação dos níveis de harmônicos.

O estudo prévio do sistema para o projeto envolve medições e simulações, quando existe um nível de distorção harmônica elevado no sistema.

Dependendo do FD (fator de dessintonia) e da impedância do sistema, mais harmônicas serão absorvidas pelo conjunto banco de capacitor e indutor.

Analisando o fator de dessintonia é possível verificar que, quanto menor é o percentual do fator de dessintonia, maior é a Fr (frequência de ressonância entre o indutor e o capacitor).

O projeto do banco de capacitores dessintonizado visa primeiramente a correção do fator de potência em redes com elevada distorção harmônica, entretanto como esse sistema é também um filtro, a característica da impedância do sistema é modificada, evitando a ressonância e drenando mais ou menos correntes harmônicas conforme fator de dessintonia e demais características.

II. ANÁLISE E MEDIÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO ANTES DA INSTALAÇÃO DOS BANCOS DE CAPACITORES DESSINTONIZADOS

As informações que seguem foram fornecidas pela concessionária de energia e dados levantados em campo.

Para análise da qualidade de energia, foram realizadas medições preliminares tanto no sistema elétrico da concessionária em 13,8kV - PAC (Ponto de Acoplamento Comum) como na baixa tensão do cliente em 0,38kV.

O alimentador deste cliente é radial em 13,8kV, com uma corrente de curto-circuito trifásica de 762A. Este cliente está a aproximadamente 10 quilômetros de distância da subestação da concessionária.

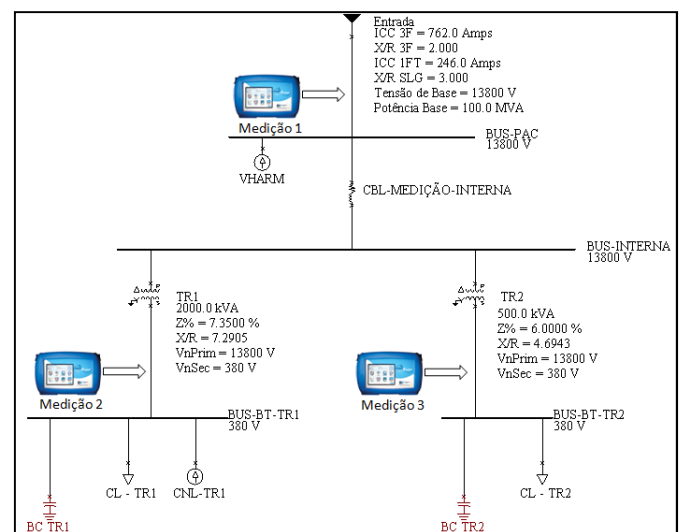


Fig. 1. Diagrama Unifilar Geral.

Na figura 1 são indicados os pontos de medição juntamente com o diagrama unifilar da planta, disposição dos transformadores, bancos de capacitores e cargas.

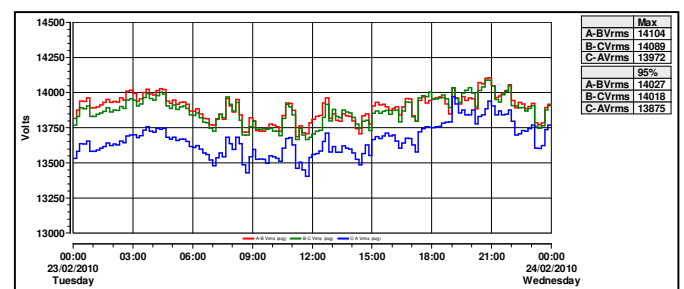


Fig. 2. Medição 1, Tensão Fase – Fase [V] na Barra de 13,8kV.

III. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA ELÉTRICO

O sistema elétrico analisado é basicamente composto por motores de indução trifásicos, sendo os mesmos acionados por inversores de frequência ou partida direta, separados em dois transformadores conforme informações das Tabelas I e II.

TABELA I. PERCENTUAL DE CARGAS LINEARES/NÃO LINEARES | TR-1.

Tipo de Carga	Carga [kW]	Percentual de Carga Linear [%]	Percentual de Carga Não Linear [%]
Carga Linear [kW]	1.090kW	60	39
Carga Não Linear [kW]	724kW		

TABELA II. PERCENTUAL DE CARGAS LINEARES/NÃO LINEARES | TR-2.

Tipo de Carga	Carga [kW]	Percentual de Carga Linear [%]	Percentual de Carga Não Linear [%]
Carga Linear [kW]	371kW	100	0
Carga Não Linear [kW]	0		

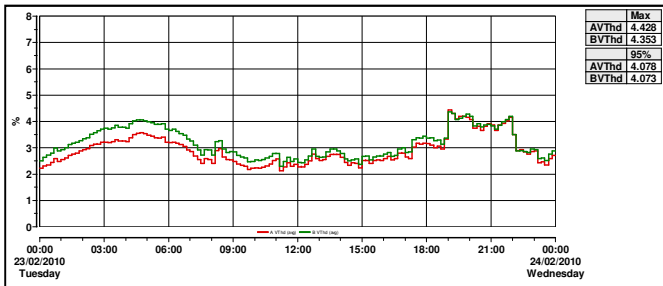


Fig. 3. Medição 1, DHTv[%] Fase - Fase [V] na Barra de 13,8kV.

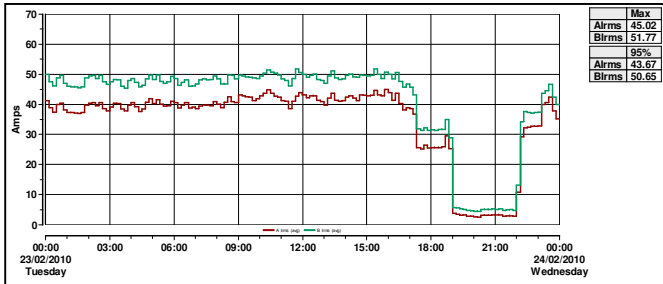


Fig. 4. Medição 1, Corrente [A] em 13,8kV.

As medições no PAC (ponto de acoplamento comum) são indicadas nas figuras 2, 3, 4 e 5. A tensão está dentro do limite de regulação de -7%/+5% conforme os limites PRODIST. A DHTv[%] (distorção harmônica total de tensão) no PAC está no limite de 5% conforme a IEEE-519 e abaixo do limite de 8% conforme o PRODIST.

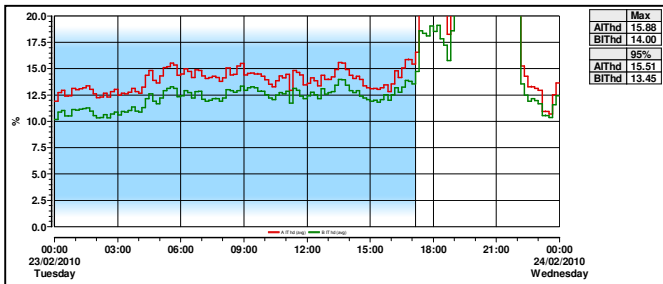


Fig. 5. Medição 1, DHTi[%] em 13,8kV.

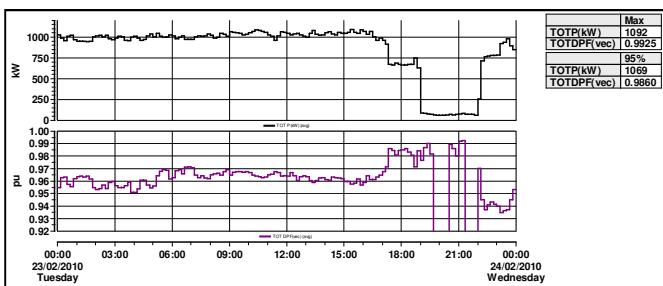


Fig. 6. Medição 1, Potência Ativa [kW] e Fator de Potência[%] em 13,8kV.

A planta industrial trabalha em regime contínuo, parando somente no horário de ponta conforme pode ser verificado na Fig. 4. A DHTi[%] (distorção harmônica total de corrente) varia com carga máxima entre 10% e 16% no PAC (Ponto de Acoplamento comum) em 13,8kV.

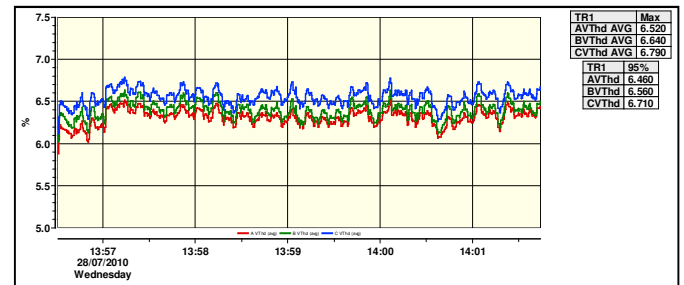


Fig. 7. Medição 2, DHTv[%] em 380V no TR-1.

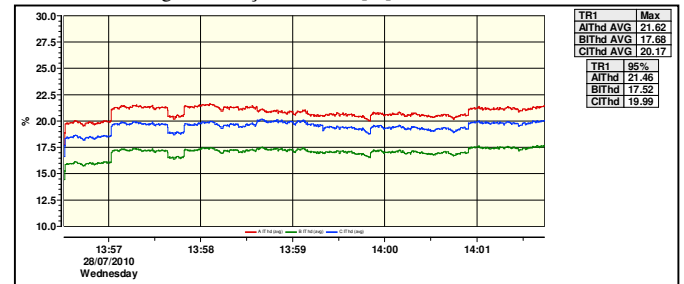


Fig. 8. Medição 2, DHTi[%] em 380V no TR-1.

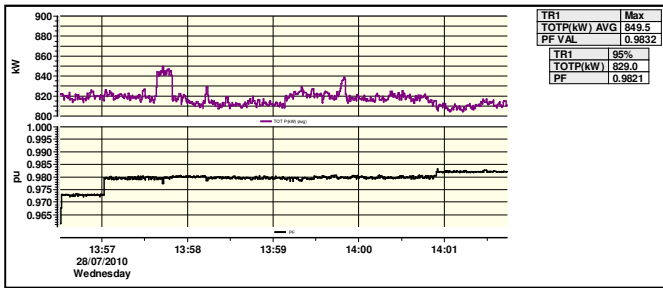


Fig. 9. Medição 2, Potência Ativa [kW] e Fator de Potência [%] em 380V no TR-1.

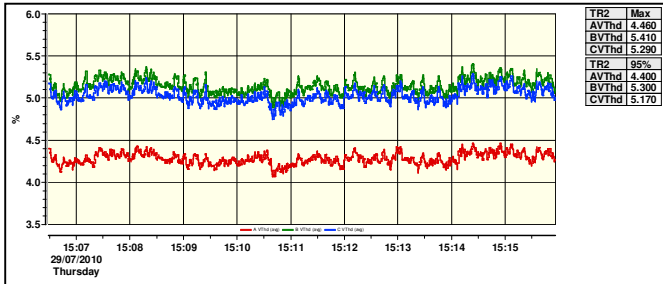


Fig. 10. Medição 3, DHTv[%] em 380V no TR-2.

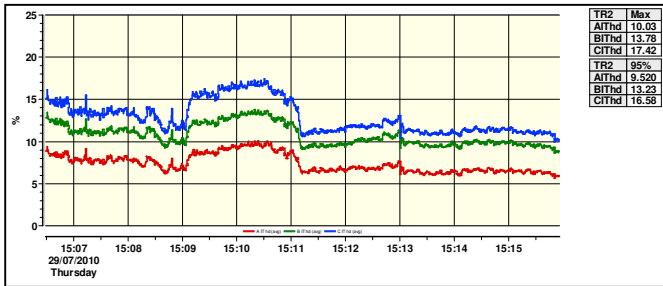


Fig. 11. Medição 3, DHTi[%] em 380V no TR-2.

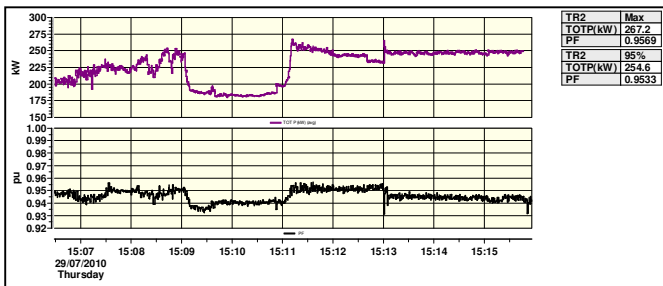


Fig. 12. Medição 3, Potência Ativa [kW] e Fator de Potência [%] em 380V no TR-2.

As figuras 7 e 8 mostram os valores da Distorsão Harmônica de Tensão e Corrente percentuais, confirmando os dados da Tabela I, onde a maior parte da carga deste transformador são inversores de frequência, as figuras 9 e 10 indicam a Potência Ativa em KW e seu respectivo Fator de Potência [pu] ao longo do tempo.

O nível de DHTv[%] está acima de 5% conforme a IEEE-519, reduzindo a vida útil, causando vazamentos, e posterior queima das células capacitivas e provocando constante troca dos mesmos. Com base na suportabilidade e análise das células PPM com tensão de dielétrico igual ao do barramento de conexão, é possível verificar que o nível de DHTv[%] existente nas barras de conexão dos capacitores é superior a

suportabilidade recomendada, causando problemas já relatados.

Nas figuras 10 e 11 onde as medições foram realizadas no TR-2 é possível verificar que o nível de DHTv[%] está menor que no TR-1, ficando no limite da IEEE - 519. Este transformador possui em sua maioria somente cargas lineares, tendo o impacto da distorção harmônica tensão proveniente do sistema a montante.

IV. SIMULAÇÃO DO FLUXO DE HARMÔNICAS

Em função dos problemas ocorridos com os bancos de capacitores “puros” instalados, os estudos foram realizados visando à solução dos problemas de correção do fator de potência, permitindo a proteção contra a ocorrência de ressonâncias harmônicas no sistema, e mantendo a qualidade de energia dentro do nível aceitável para operação dos equipamentos.

a) Com os Bancos de Capacitores “puros” Instalados:

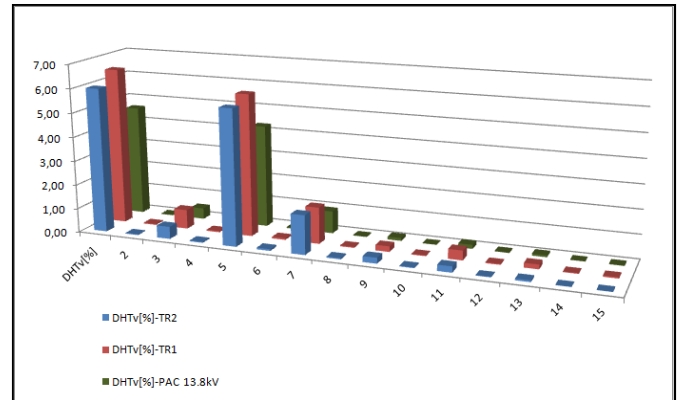


Fig. 13. Distorsão harmônica de tensão simulada em 13,8kV e nos transformadores TR-1 e TR-2.

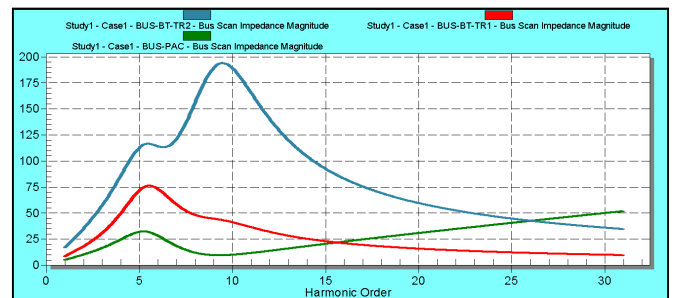


Fig. 14. Resposta em frequência da Impedância em pu no PAC, e nas barras de baixa tensão dos transformadores.

É possível verificar que os valores medidos de distorção harmônica de tensão listados nas figuras 3, 7 e 10 na baixa e alta tensão, refletem com os dados da figura 13 conforme modelos simulados.

b) Com os Banco de Capacitores Dessintonizados:

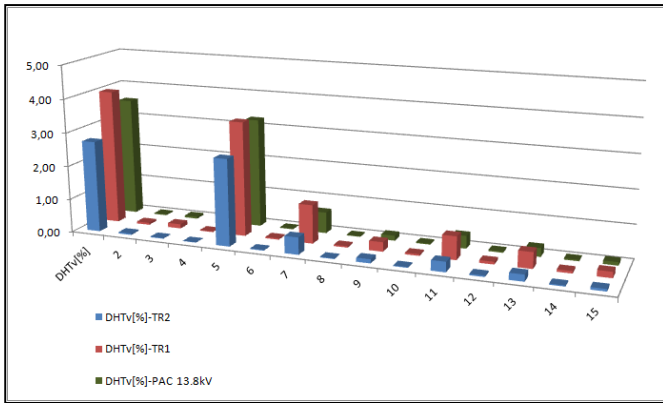


Fig. 15. Distorção harmônica de tensão simulada em 13,8kV e nos transformadores TR-1 e TR-2.

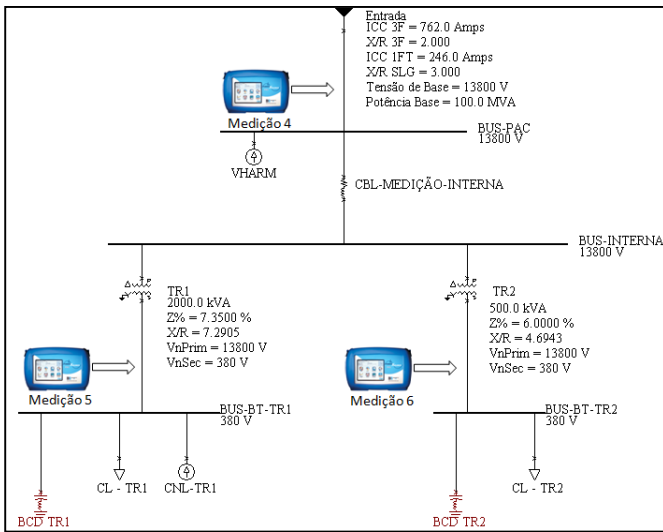


Fig. 16. Diagrama Unifilar com os pontos de instalação dos bancos de capacitores Dessintonizados (FD=7% - 222Hz)

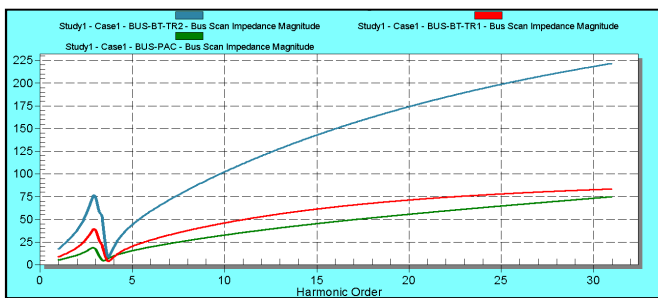


Fig. 17. Resposta em frequência da Impedância em pu no PAC e nas barras de baixa tensão dos transformadores.

V. ANÁLISE DAS MEDIÇÕES REALIZADAS APÓS A INSTALAÇÃO DOS BANCOS DE CAPACITORES DESSINTONIZADOS.

As medições realizadas após o projeto e instalação dos bancos de capacitores dessintonizados foi realizada nos transformadores de baixa tensão TR-1 e TR-2, bem como no PAC em 13,8kV conforme figura 16.

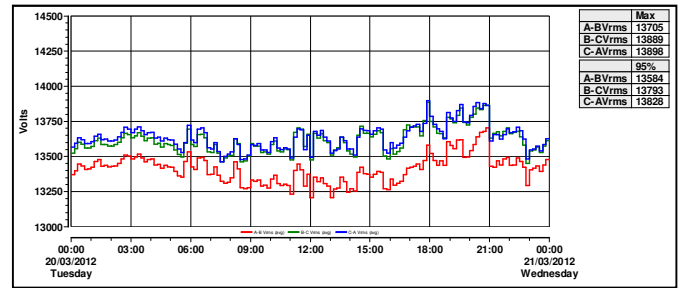


Fig. 18. Medição 4, Tensão Fase – Fase [V] em 13,8kV

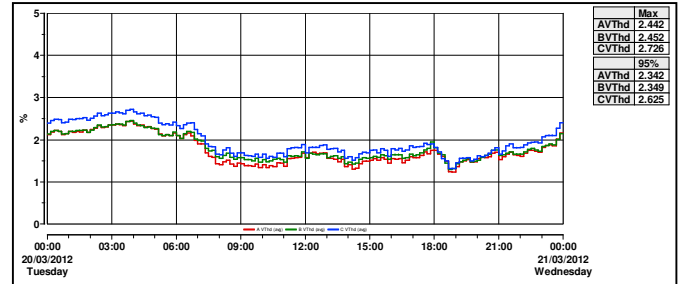


Fig. 19. Medição 4, DHTV[%] Fase – Fase em 13,8kV

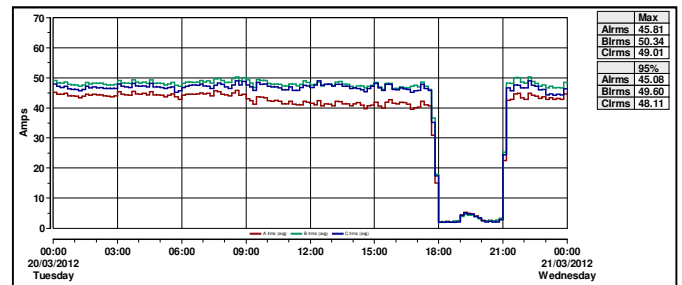


Fig. 20. Medição 4, Corrente [A] em 13,8kV

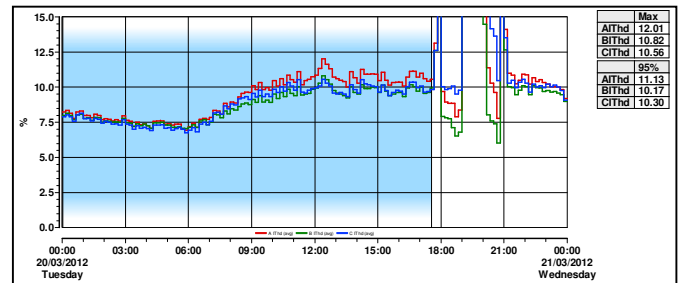


Fig. 21. Medição 4, DHTI[%] em 13,8kV

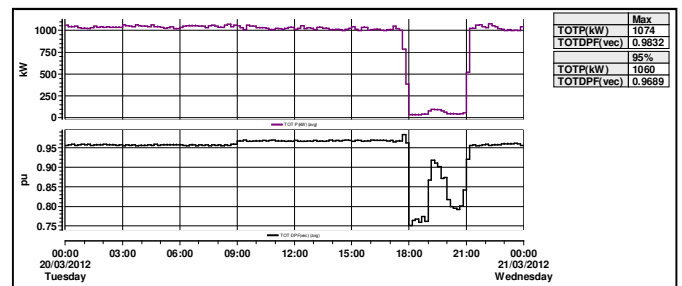


Fig. 22. Medição 4, Potência Ativa [kW] e Fator Potência [pu] em 13,8kV

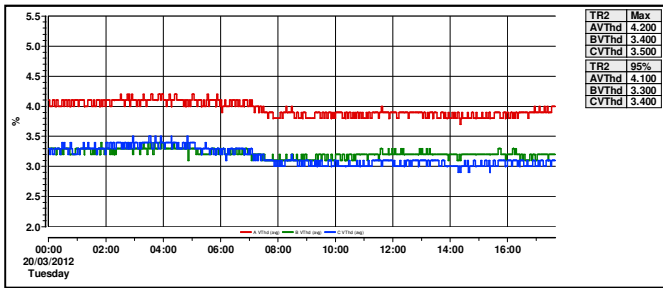


Fig. 23. Medição 6, DHTv[%] em 380V no TR-2.

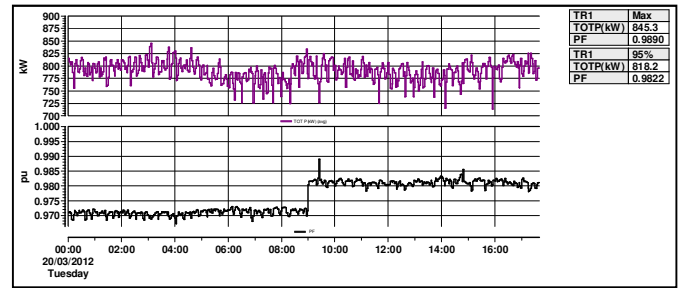


Fig. 28. Medição 5, Potência Ativa [kW] e Fator de Potência [%] em 380V no TR-1.

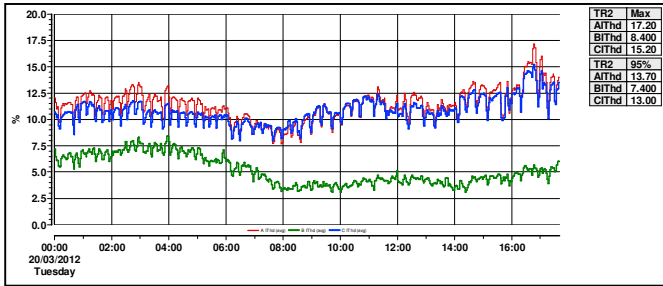


Fig. 24. Medição 6, DHTi[%] em 380V no TR-2.

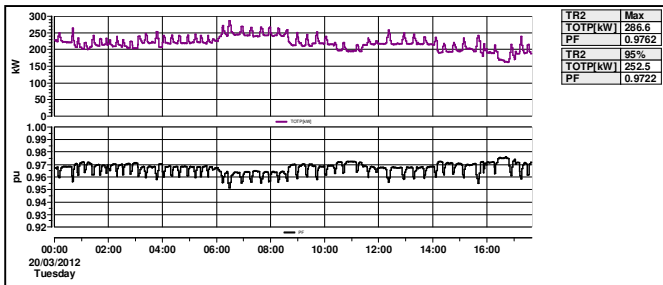


Fig. 25. Medição 6, Potência Ativa [kW] e Fator Potência [pu] em 380V no TR-2.

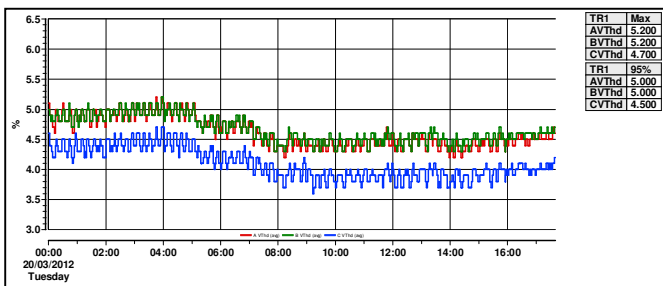


Fig. 26. Medição 5, DHTv[%] em 380V no TR-1.

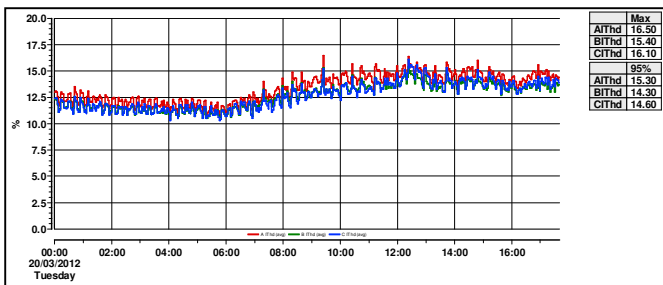


Fig. 27. Medição 5, DHTi[%] em 380V no TR-1.

As figuras acima foram retiradas das medições, e demonstram uma melhora geral na qualidade de energia, tanto na barra de média tensão 13,8kV como na baixa tensão dos transformadores.

O sistema opera com fator de potência acima de 0,92i e tensão dentro dos limites de regulação de tensão impostos pelo PRODIST. O tendência da DHTv[%] no PAC e na baixa tensão dos transformadores permaneceu abaixo do limite de 5% conforme recomenda da IEEE 519.

TABELA III. RESUMO DAS MEDIÇÕES DO SISTEMA ELÉTRICO COM BANCO DE CAPACITORES.

Grandeza	PAC 13.8kV	TR-1 380V	TR-2 380V	BC TR-1	BC TR-2
DHTv[%] Máxima	4,42	6,79	5,29	-	-
DHTv[%] P95%	4,07	6,71	5,30	-	-
DHTi[%] Máxima	15,88	21,62	17,42	40,20	37,17
DHTi[%] P95%	15,51	21,46	16,58	-	-
FP	0,95	0,98	0,95	-	-
kW	1092	849	267	-	-

TABELA IV. RESUMO DAS MEDIÇÕES DO SISTEMA ELÉTRICO COM BANCO DE CAPACITORES DESSINTONIZADO.

Grandeza	PAC 13.8kV	TR-1 380V	TR-2 380V	BCD TR-1	BCD TR-2
DHTv[%] Máxima	2,72	5,20	4,20	-	-
DHTv[%] P95%	2,62	5,00	4,10	-	-
DHTi[%] Máxima	12,01	16,50	15,20	17,10	10,87
DHTi[%] P95%	11,13	15,30	13,70	-	-
FP	0,95	0,98	0,96	-	-
kW	1074	845	286	-	-

Analisando as tabelas III e IV vemos que todos os objetivos foram atingidos, ou seja, realizar a correção do fator de potência sem a queima das células capacitivas e consequente redução dos níveis de distorções harmônicas de tensão e corrente.

Com a aplicação dos bancos dessintonizados, o nível de DHTi[%] nos ramos dos bancos de capacitores que ficava entre 35% a 40% reduziu 57% no TR-1 e 70% no TR-2, com valores de 17,10% de DHTi[%] no TR-1 e 10,87% de DHTi[%] para o TR-2.

A DHTv[%] nas barras de saída ficou dentro do limite da IEEE-519 ($\leq 5\%$) e também do PRODIST ($\leq 10\%$). Do ponto de vista da DHTi[%] nos transformadores e PAC, a redução não foi expressiva, já que os bancos de capacitores dessintonizados não tem como prioridade a filtragem de harmônicas, mas evitar a ressonância entre os bancos de

capacitores e o sistema elétrico, bem como a correção do fator de potência.

VIII. CONCLUSÃO

Com base no estudo realizado, onde foram realizadas medições no sistema de Média Tensão – 13,8kV e baixa tensão – 0,38kV de uma planta industrial, concluímos que:

- As medições de qualidade de energia na baixa e média tensão são importantes para definição de um projeto específico para cada configuração do sistema elétrico.
- O levantamento do percentual de cargas lineares e não lineares e a correta modelagem do sistema elétrico é necessário para uma correta análise entre os resultados simulados e medidos, e, para uma correta especificação de projeto.
- A compensação de reativo em sistemas que possuem sistema com cargas não lineares, como inversores de frequência, e, cargas lineares que necessitam de reativo capacitivo, associada à uma baixa potência de curto circuito por parte da concessionária, deverá sempre levar em conta a possibilidade de ressonância para baixar frequências (entre o banco de capacitores e sistema elétrico).
- Deve-se analisar ainda a injeção de corrente harmônica por parte do consumidor e a distorção harmônica de tensão imposta pelo sistema de distribuição.
- A análise do nível de DHTv[%] com base na IEEE-519 e PRODIST para baixa tensão nem sempre representa um indicador confiável para suportabilidade das células capacitivas com tecnologia PPM.
- A utilização de banco de capacitores dessintonizados, permite a correção do fator de potência, mantendo os níveis de DHT dentro dos limites adequados, com o aumento da vida útil do sistema de compensação de reativos.
- A instalação de bancos de capacitores dessintonizados em plantas existentes, sempre deverá ter como base medições preliminares e posteriores (comprobatórias), juntamente com simulação de fluxo de harmônicas, fluxo de potência e pontos de ressonância de todo o sistema.

REFERÊNCIAS

- [1] R. C. Dugan, M. F. Granaghan, S. Santoso e H. W. Beaty. Electrical Power System Quality, McGraw-Hill. 2003.
- [2] J. Arrilaga, B.C. Smith, N. R. Watson and A. R. Wood. Power System Harmonic Analysis, John Wiley. 1997.
- [3] C. Sankaran, Power Quality, CRC Press. 2002.
- [4] Dranetz, Dran-View 6 User's Guide.
- [4] PTW32 (Power Tools for Windows) -Tutorial.
- [6] Análise Técnico/Financeira para Correção de Fator de Potência em Planta Industrial com Fornos de Indução. Jeremias Wolff e Guilherme Schallenberger - Electric Consultoria e Serviços 2010.