

Capítulo IX

Estudo de caso – diagnóstico da QEE

Por Fernando Nunes Belchior, José Maria de Carvalho Filho e Gilson Paulillo*

Consideremos o complexo industrial do consumidor X, alimentado por meio de uma linha de distribuição em 13,8 kV, circuito protegido (rede compacta), originária da subestação de 138 kV/13,8 kV, semi-exclusivo e compartilhado com as indústrias S e T.

Internamente, a linha de produção da fábrica é alimentada por um transformador de 750 kVA 13,8/0,38 kV, conexão delta-estrela, solidamente aterrado. O diagrama unifilar deste consumidor é apresentado na Figura 1.

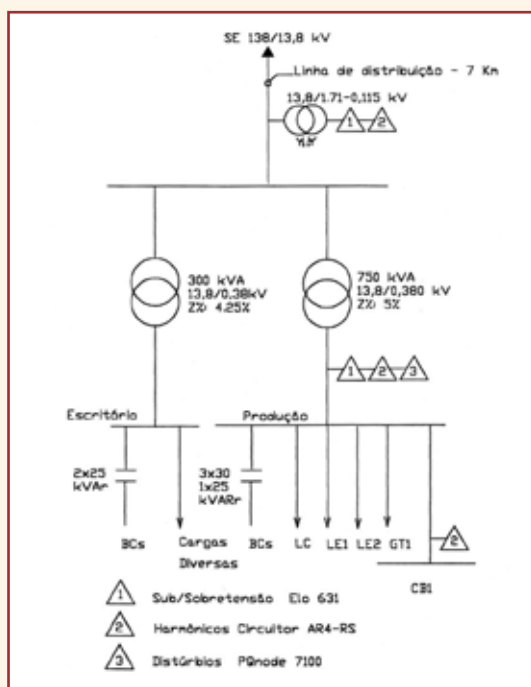


Figura 1 – Diagrama unifilar.

A linha de produção é constituída de um conjunto de máquinas associadas em série, utilizadas na produção de fios e cabos óticos.

Todas as fases do processo necessitam de controle preciso de velocidade, implicando na instalação de sofisticados sistemas de controle (cartões de controle, PLCs, etc.) associados a inversores de frequência e conversores de corrente contínua. Estes equipamentos (inversores e conversores) são considerados tanto como cargas especiais, devido à geração de harmônicos, tanto como cargas sensíveis, por sofrerem o impacto de distúrbios eletromagnéticos originários da rede elétrica, sob a forma de queima de componentes e/ou parada de funcionamento.

Ao contrário da linha de produção, a área de utilidades da fábrica é constituída por cargas convencionais, ou seja, sistema de ar comprimido, compressores, bombas, torres de resfriamento de água etc., acionados por motores de indução.

Devido à alta sensibilidade dos equipamentos utilizados nas linhas de produção, o consumidor X vem enfrentado diversos problemas, tais como, paradas de produção, perdas de matéria-prima etc. Neste sentido, a principal suspeita é a ocorrência de distúrbios na rede elétrica, relacionados à Qualidade da Energia Elétrica (QEE).

Dentro deste contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar a análise e o

diagnóstico da QEE, visando identificar o(s) distúrbio(s) associados às paradas de produção e potenciais soluções.

Metodologia

A metodologia adotada para a elaboração do diagnóstico dos problemas consistiu das seguintes etapas:

- Levantamento de dados dos equipamentos e das instalações da unidade consumidora;
- Registro das ocorrências;
- Monitoramento dos principais fenômenos de QEE, com o objetivo de identificar e quantificar os distúrbios potencialmente associados às paradas de produção, utilizando-se equipamentos específicos para cada um dos principais fenômenos, a saber:
 - Variações de tensão de longa duração;
 - Harmônicos;
 - Desequilíbrios de tensão;
 - Transitórios;
 - Variações de tensão de curta duração (VTCD).
- Procedimento de medição associado a cada fenômeno:
 - Harmônicos:
 - Duração: uma semana;
 - Equipamento utilizado: AR4 – Circutor;
 - Locais de medição:
 - Ponto de acoplamento comum: 13,8 kV;
 - Secundário do transformador de 1 (produção): 3,8/0,38 kV;
 - Painel de alimentação linha de produção CB-I:
 - Variações de tensão de longa duração (sub e sobretensão):
 - Duração: uma semana;
 - Equipamento utilizado: EL0 63 1;
 - Locais de medição (medição simultânea):
 - Ponto de acoplamento comum: 13,8 kV;
 - Secundário do transformador de 1 (produção): 3,8/0,38 kV;
 - VTCD e Transitórios:
 - o Duração: 50 dias;
 - o Equipamento utilizado: PQ Node 7100;
 - o Local de medição:
 - Secundário do transformador de 1 (produção): 3,8/0,38 kV.

Características dos dados coletados

Foram coletadas informações referentes ao sistema de suprimento de energia (concessionária Y), sistema de alimentação interno (consumidor X) e dos equipamentos envolvidos diretamente nas linhas de produção, conforme a seguinte descrição:

- Sistema de suprimento:
 - Diagrama unifilar do sistema da concessionária, englobando a região geográfica e adjacências, nas tensões de 13,8 kV e 138 kV;
 - Características do sistema de proteção das linhas de transmissão e distribuição, bem como ajustes dos relés de proteção;
 - Práticas de religamento utilizadas pela concessionária;
 - Nível de curto-circuito no barramento da subestação de suprimento de 138 kV/13,8 kV;
 - Quilometragem total das linhas de transmissão e de distribuição;
 - Relatórios de ocorrências no sistema da concessionária nos instantes em que foram registradas paradas de produção.
 - Banco de dados de curto-circuito da rede transmissão e distribuição.

- Sistema de distribuição do consumidor:
 - Diagrama unifilar do sistema de distribuição da fábrica;
 - Dados sobre o sistema de aterramento;
 - Filosofia de chaveamento dos bancos de capacitores existentes.

- Cargas sensíveis do processo industrial:
 - Tipos de equipamentos utilizados no processo industrial;
 - Diagrama unifilar, indicando a forma de alimentação destes equipamentos (circuitos de força e de controle);
 - Sensibilidade destes equipamentos diante dos distúrbios de QEE, por meio de consultas diretas aos fabricantes;
 - Obtenção dos ajustes e das parametrizações das proteções e controles inerentes aos acionamentos;
 - Relatórios de produção e de manutenção.

Diagnóstico da QEE

Inicialmente, foram analisados os dados obtidos nas medições de campo, de forma a quantificar e correlacionar os distúrbios de QEE com as ocorrências de paradas de produção. Foram investigadas a presença dos principais

distúrbios de QEE, destacando-se:

- Sub e sobretensões;
- Harmônicos;
- Transitórios;
- VTCDs: afundamentos e elevações de tensão.

Uma vez identificados e quantificados os distúrbios, o próximo passo consistiu na comparação dos resultados obtidos com os limites estabelecidos em normas técnicas e/ou recomendações internacionais.

Resultados das medições

Os resultados das medições para os principais distúrbios associados à QEE são mostrados a seguir:

- Sub e sobretensões

O tratamento estatístico executado para estes dois itens está sintetizado nas figuras 2 e 3, considerando o primário e o secundário do transformador de 750 kVA, respectivamente.

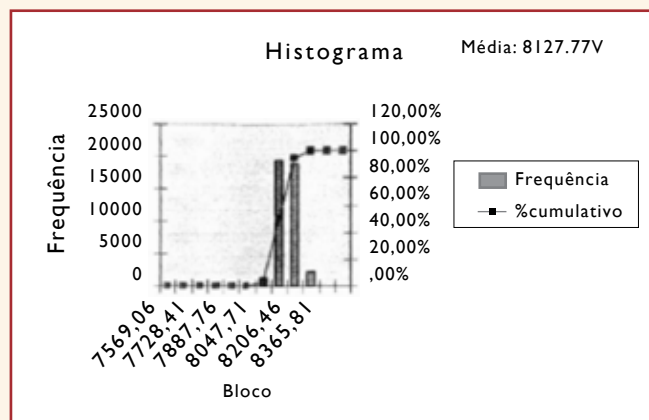


Figura 2 – Tensão de regime permanente – Primário do transformador.

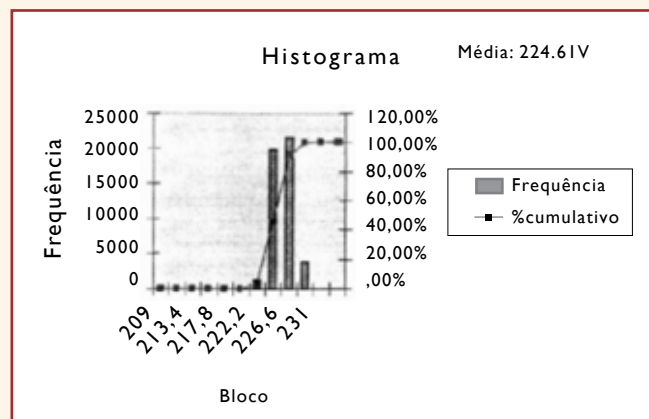


Figura 3 – Tensão de regime permanente – Secundário do transformador.

- Harmônicos

O tratamento estatístico dos harmônicos de tensão, consolidado por meio do indicador associado à distorção harmônica total de

tensão (VTHD – Voltage Total Harmonic Distortion) é mostrado na Figura 4 e a forma de onda representativa desta distorção é mostrada na Figura 5.

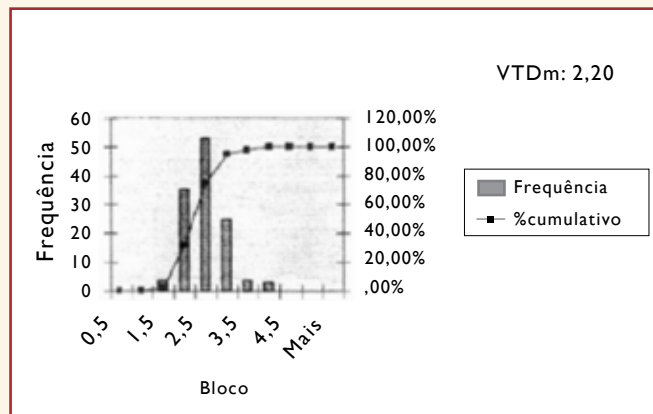


Figura 4 – Distorção harmônica total de tensão – Painel de entrada.

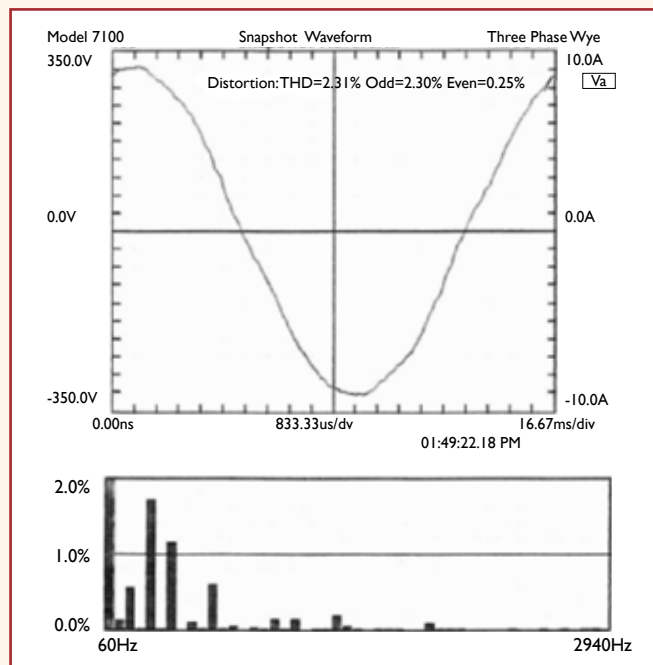


Figura 5 – Forma de onda de tensão e respectivo espectro harmônico.

Observando-se os resultados obtidos, conclui-se que a distorção harmônica total de tensão em todos os pontos monitorados ficou abaixo do menor limite recomendado pelas normas internacionais, ou seja, 5% (IEEE). Além disso, o espectro de frequência mostrado na Figura 5 confirma os valores esperados, com predominância dos harmônicos de quinta e sétima ordem, devido à presença de conversores de seis pulsos utilizados nos diversos acionamentos utilizados na planta.

- Transitórios

A Figura 6 mostra um transitório típico associado ao chaveamento de banco de capacitores, comandado pelo controlador de fator de potência. Como não houve registro de paradas de produção nestes instantes, não se pode, neste caso, correlacionar os transitórios medidos e as paradas de processo.

tensão (VTHD – Voltage Total Harmonic Distortion) é mostrado na Figura 4 e a forma de onda representativa desta distorção é mostrada na Figura 5.

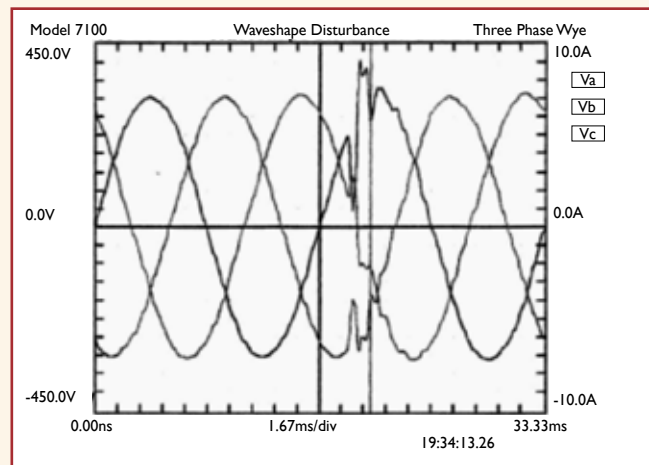


Figura 6 – Transitório de chaveamento de banco de capacitores

- VTCDs – Afundamentos e elevações de tensão

Os eventos registrados no período de monitoramento (50 dias) estão sintetizados na Tabela 1 e na Figura 7. Observa-se, quantitativamente, que os afundamentos de tensão foram os distúrbios que estiveram mais presentes nas instalações do consumidor X.

TABELA 1 – AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

| Intensidade (%) Duração (ms) | 90-85 | 85-80 | 80-75 | 75-70 | 70-65 | 65-60 | 60-55 | 55-50 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0-50 | 3 | | | | | | | |
| 50-100 | 1 | 3 | | | | | | |
| 100-150 | 5 | 2 | | | | 3 | | |
| 150-200 | 2 | | 1 | | 1 | | | |
| 200-250 | | | | | | | | |
| 300-350 | 3 | 2 | 1 | 2 | | 1 | | |
| 350-400 | | 3 | 1 | 1 | | | | 1 |
| 400-450 | | 3 | 1 | 1 | | 1 | | |
| 450-500 | 1 | | | | | | | |
| 500-550 | | | 1 | 1 | | | | |
| 550-600 | 1 | 1 | | | | | | |

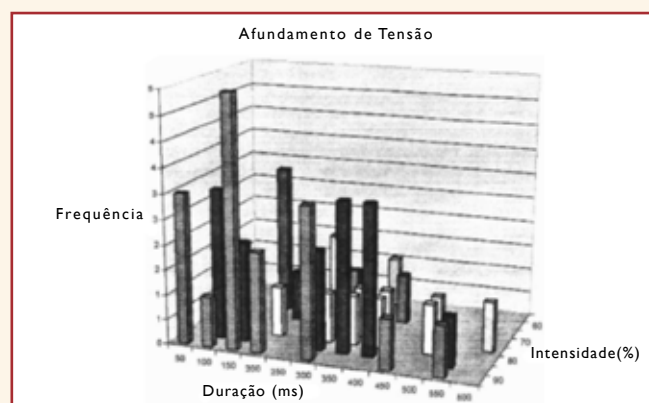


Figura 7 – Características dos afundamentos de tensão.

Em função da característica dos desligamentos dos equipamentos associados ao processo produtivo, bem como aos resultados mostrados anteriormente, concluiu-se que as ocorrências de afundamentos de tensão de tensão constituíram-se na principal suspeita da causa das paradas de produção do consumidor X.

A fim de confirmar esta hipótese, correlacionaram-se os eventos registrados (paradas de processo) com as ocorrências dos afundamentos de tensão e suas características intrínsecas (intensidade e duração). Neste caso, a combinação do grau de severidade dos afundamentos e a sensibilidade dos equipamentos (acionamentos CA e CC e sistemas de controle) tiveram impacto direto no desligamento dos equipamentos e na interrupção dos processos produtivos associados. Como exemplo, a Figura 8 mostra um registro de afundamento de tensão com elevado grau de severidade.

A correlação de todos os registros de afundamentos de tensão com o relatório de produção indicou a ocorrência de seis eventos.

Assim, com base nestas informações concluiu-se que a causa principal das paradas de produção do consumidor X foram os afundamentos de tensão, provocando o mau funcionamento e desligamento de Controladores Lógico Programáveis (CLPs) e acionamentos CA e CC.

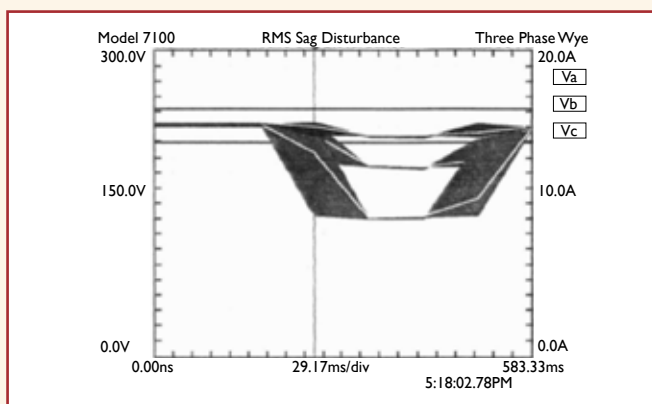


Figura 8 – Afundamento de tensão de grande severidade.

Conclusões

Considerando as condições de carga, as medições realizadas indicaram que o sistema de distribuição do consumidor X tem boa qualidade da energia no que se refere às tensões de regime permanente, distorção harmônica e transitórios.

Contudo, verificou-se um número substancial de ocorrências de afundamentos de tensão. Considerando que a instalação do consumidor não registrou e ocorrência de curtos-circuitos internos, bem como não dispõe de motores de elevada potência, principais causas deste tipo de fenômeno, os eventos registrados foram originados fora da instalação do consumidor.

Estes eventos culminaram em diversas paradas de produção na unidade consumidora, com os seguintes impactos:

- Desligamento de acionamentos CA e CC e efeitos associados ao processo;
- Paradas de produção em processos contínuos devido às disfunções ocorridas em CLPs e cartões de controle;
- Desligamento de motores na área de serviços auxiliares devido ao desligamento de contatores e relés auxiliares.

Para minimizar os problemas identificados, recomendou-se a execução de estudos de viabilidade e projeto de instalação, visando as seguintes ações:

- Estabilizar as tensões de comando para alimentação de CLPs e cartões de controle por meio de no-break (solução local);
- Estabilizar as tensões de comando para a alimentação de bobinas de contatores e relés auxiliares;
- Implantar um sistema de alarmes, visando notificar a equipe de manutenção elétrica dos desligamentos de equipamentos auxiliares;
- Avaliar, juntamente com todos os fabricantes, a possibilidade de dessensibilização dos acionamentos CA e CC por meio de uma nova parametrização dos acionamentos. Neste particular, faz-se necessário a obtenção, junto aos fornecedores, das parametrizações em uso nos equipamentos;
- Estabilizar as tensões de alimentação das demais cargas sensíveis por meio de nobreaks (solução local).

**GILSON PAULILO é engenheiro eletricista, com mestrado e doutorado em qualidade de energia elétrica pela universidade Federal de Itajubá. Atualmente, é consultor tecnológico em energia no Instituto de Pesquisas Eldorado, em Campinas (SP). Sua atuação é voltada para áreas de qualidade de energia elétrica, geração distribuída, eficiência energética e distribuição.*

FERNANDO NUNES BELCHIOR é engenheiro eletricista, mestre e doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU-MG). Desde fev/2007 é professor adjunto no Grupo de Estudos da Qualidade da Energia Elétrica (GQEE) no Instituto de Sistemas Elétricos e Energia (ISEE) da Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI-MG, Brasil. Atualmente é presidente da SBQEE, Gestão 2013-2015.

JOSÉ MARIA DE CARVALHO FILHO é engenheiro eletricista pela UFMG, com mestrado e doutorado pela Unifei. Atualmente, é professor da Unifei e membro do Grupo de Estudos em Qualidade da Energia (GQEE), com atuação em Qualidade e Proteção de Sistemas Elétricos.

Continua na próxima edição

Confira todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail redacao@atitudeeditorial.com.br