



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GCQ-08  
19 a 24 Outubro de 2003  
Uberlândia - Minas Gerais

**GRUPO XIII  
GRUPO DE ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS, COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA E QUALIDADE DE  
ENERGIA – GCQ**

**IMPACTO DE VARIAÇÕES DE FREQUÊNCIA VERSUS VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO**

**Ernesto A. Mertens Jr\***  
Elektro

**Evaldo Serra da Silva**  
Elektro

**Benedito D. Bonatto**  
Elektro

**Luís Fernando S. Dias**  
Elektro

**RESUMO**

Este Trabalho tem por objetivo alertar quanto ao modo habitual de se analisar paradas em processos sensíveis “relacionados” com as Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD).

As Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD's) são freqüentemente citadas como as responsáveis por paralisações em sistemas automatizados. Porém nem sempre elas são as reais causadoras de paradas, pois muitas vezes tem-se outros fenômenos associados a estas oscilações. Neste caso exemplo, realizado em um cliente do ramo siderúrgico, após análise detalhada das medições verificou-se que uma variação na freqüência foi a responsável pelas paradas.

O hábito de se utilizar a curva CBEMA / ITIC com os respectivos registros de duração e magnitude, sem também associar-se estes eventos a outros fenômenos que afetam a qualidade da energia elétrica, pode induzir a erros de avaliação de sensibilidade de determinadas cargas.

**PALAVRAS-CHAVE**

Variações de tensão de curta duração, variações de freqüência, qualidade da energia elétrica, resultados de medição.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Com a crescente modernização, as linhas de produção industriais estão cada vez mais automatizadas e utilizando microprocessadores em larga variedade de equipamentos, processos e controles. Este fato tem

tornado os processos industriais bastante vulneráveis a problemas de qualidade da energia elétrica.

Principalmente nos últimos anos, tem ocorrido uma tendência acentuada de crescimento de cargas baseadas na eletrônica de potência e microcomputadores, com processos e controle operativos extremamente sensíveis a variações das características da energia eletromagnética entregue, o que tem sido a causa de muitas das reclamações por uma “qualidade melhor” no fornecimento de energia elétrica pelas concessionárias (1-6).

Este trabalho apresenta os resultados obtidos junto a um grande cliente do ramo siderúrgico, atendido em tensão de 13,8kV, que vinha reclamando sobre perturbações no sistema elétrico, que resultavam na paralisação do seu processo de produção. Inicialmente, associou-se como causa, as variações transitórias na tensão (VTCD) (7).

O atendimento efetuado pela ELEKTRO ao cliente envolveu, além de serviços de assessoria técnica, também a realização de medições especiais no ponto de acoplamento comum (PCC). Após a avaliação do processo produtivo utilizado pelo cliente, verificou-se que o ponto crítico do processo e a carga considerada como crítica era um forno de indução.

**2.0 - DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA ADOTADA**

**2.1 Caracterização de Variações Momentâneas de Tensão**

As perturbações reclamadas pelo cliente caracterizavam-se por variações momentâneas na

\* Rua Ary Antenor de Souza, 321 – Jardim Nova América - CEP 13053-024 - Campinas - SP - BRASIL  
Tel.: (019) 3726-1477 - Fax: (019) 3726-1351 - E-MAIL: emertens@elektro.com.br

tensão fornecida (tipicamente afundamento momentâneo no nível da tensão eficaz, “voltage sag”), e que segundo o cliente causava a paralisação do seu processo de produção industrial, resultando em perdas materiais e problemas com a retomada do processo.

“Denomina-se Afundamento Momentâneo de Tensão (AMT) o evento em que o valor eficaz da tensão seja superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 pu da tensão nominal durante um intervalo de tempo com duração superior ou igual a um ciclo (16,67 ms) e inferior ou igual a três segundos.

Denomina-se Elevação Momentânea de Tensão (EMT) o evento em que o valor eficaz da tensão seja superior a 1,1 pu da tensão nominal durante um intervalo de tempo com duração superior ou igual a um ciclo (16,67 ms) e inferior ou igual a três segundos” (7).

Os afundamentos momentâneos de tensão (“voltage sag’s”) são condições de tensão baixa com duração entre 1 ciclo e 3 segundos e em geral decorrem de faltas em outras partes do sistema elétrico ou partida de grandes motores. Por outro lado, elevações momentâneas de tensão (“voltage swells”) são condições de tensão alta com duração entre 1 ciclo e 3 segundos e em geral ocorrem nas fases boas de um sistema elétrico trifásico durante uma falta fase-terra ou quando da saída de grandes blocos de carga.

Usualmente, afundamentos momentâneos de tensão são causadas por faltas em “outras partes do sistema”, que não o próprio circuito que atende a carga do cliente. Assim, uma falta transitória no sistema de transmissão interligado ou mesmo uma falta em um outro circuito alimentador de distribuição não supridor do cliente, pode resultar em um afundamento momentâneo na tensão da barra de 13,8 kV na qual está conectado o alimentador que atende o cliente, sujeitando então suas cargas sensíveis à esta variação momentânea de tensão. Também uma falta nas instalações internas do cliente, pode ter como consequência, um afundamento momentâneo de tensão ou afundamento temporário de tensão (ATT, o evento em que o valor eficaz da tensão seja superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 pu da tensão nominal durante um intervalo de tempo com duração superior a três segundos e inferior ou igual a um minuto (7)).

Tipicamente, o menor tempo em que a proteção de um sistema de distribuição consegue “perceber uma falta (ou curto-circuito)”, enviar sinal de comando ao disjuntor e este abrir os contatos, é da ordem de 6 a 8 ciclos (de 100 a 133 ms para a frequência do sistema elétrico igual a 60Hz). Assim, durante este curto período de tempo, o sistema elétrico em questão, experimenta uma variação momentânea de tensão.

## 2.2 Variações de Frequência

“Variações de frequência são definidas como um desvio da frequência fundamental do sistema de seu valor nominal especificado (ex. 50 ou 60Hz). A frequência do sistema elétrico de potência está diretamente relacionada à velocidade dos geradores que alimentam o sistema. Há pequenas variações na frequência à medida em que muda o balanço dinâmico entre carga e geração. Variações de frequência que

ultrapassem os limites aceitáveis para operação normal em regime permanente do sistema elétrico de potência podem ser causadas por faltas no sistema de transmissão interligado, um grande bloco de carga sendo desconectado, ou uma grande fonte geradora sendo desligada.

Em modernos sistemas elétricos de potência interligados, variações significativas de frequência são raras. É mais provável ocorrer variações de frequência com maiores consequências para cargas que são supridas por um gerador isolado do sistema da concessionária. Em tais casos, a resposta do controlador de velocidade a variações bruscas de carga pode não ser adequada para regular dentro da estreita faixa requerida por equipamentos sensíveis à frequência.

Recortes de tensão (“voltage notching”) algumas vezes podem ser confundidos com variações de frequência. Os recortes (“notches”) podem chegar suficientemente próximos de zero para causar erros em instrumentos e sistemas de controle que dependem da passagem por zero (“zero crossing”) para calcular frequência ou tempo” (8).

## 2.3 Planejamento e Esquema de Medições Realizadas

Com o objetivo de verificar a intensidade e frequência de ocorrência do fenômeno reclamado, foi prevista a execução de uma medição especial com um analisador de qualidade da energia apropriado para esta função, o qual foi instalado na cabina de medição (ponto de entrega ou ponto de acoplamento comum - PCC), em tensão de 13,8kV.

O tipo de analisador de qualidade de energia utilizado pela ELEKTRO foi um equipamento da DRANETZ-BMI, modelo PQNode 8020, que permite o registro de perturbações (tais como impulsos, distorções de forma de onda, oscilações transitórias de tensão, interrupções e transitórios de energização) o que exige que os sinais sejam amostrados continuamente e registrados quando estes ultrapassam limites pré-estabelecidos (‘thresholds’). Além disso, permitem o monitoramento de grandezas elétricas tais como tensão, corrente, frequência, potência ativa, reativa e aparente e distorções harmônicas. Logo, trata-se de instrumento adequado para diagnóstico de problemas de qualidade da energia elétrica.

## 2.4 Resultados das Grandezas Monitoradas de “Regime Permanente”

### 2.4.1 Nível de tensão de fornecimento

A primeira providência possível com a instalação do analisador da qualidade da energia, foi a verificação quanto aos níveis de tensão de fornecimento. Verificou-se que os níveis de tensão de fornecimento em regime permanente estavam adequados, conforme pode-se visualizar no gráfico da Figura 1. A tensão de fornecimento em 13,8kV apresentava boa regulação, mantendo-se entre 98,4 % e 103,9 % do valor da tensão nominal, como pode ser verificado na Figura 1.

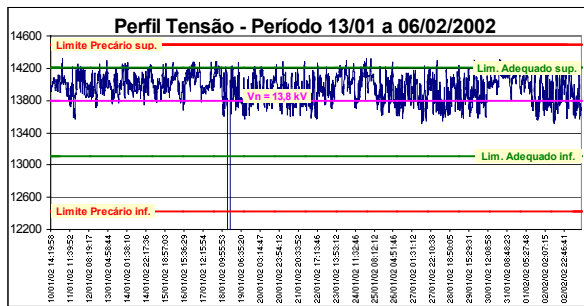


FIGURA 1 - Perfil de tensão eficaz no PCC.

#### 2.4.2 Distorção Harmônica de Tensão

A distorção harmônica total (THD) de tensão verificada ao longo do período, apresentou valores acima dos limites globais adotados pelas recomendações atuais (6,0 % para clientes atendidos em tensão igual ou inferior a 69 kV (5)). Apresenta-se na Figura 2 o perfil da THD de tensão durante a medição, onde verifica-se que o valor máximo medido foi de 9,62%, valor este relativo à componente fundamental da tensão.

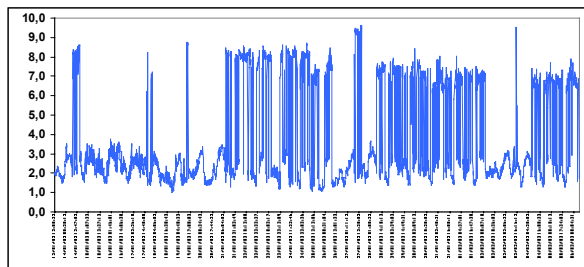


FIGURA 2 - Perfil da distorção harmônica total de tensão.

#### 3.0 - VARIAÇÕES MOMENTÂNEAS DE TENSÃO

No gráfico da Figura 3 são apresentadas todas as variações momentâneas de tensão aquisitadas durante o período de medição, que estão plotadas através de suas magnitudes e durações, e comparadas com a curva de suportabilidade de microcomputadores adotada pela CBEMA – “Computer Business Equipment Manufacturers Association”), atualizada pela curva ITIC (“Information Technology Industry Council”). O gráfico permite estimar o número de vezes em que variações rápidas de tensão possam eventualmente ter comprometido processos industriais controlados por computadores.

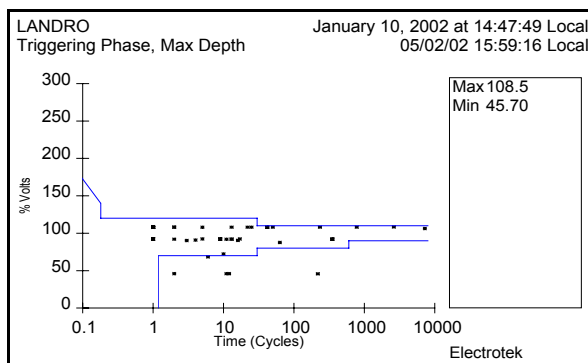


FIGURA 3 - Curva ITIC - magnitudes e durações.

As oscilações indicadas abaixo da linha inferior ou acima da superior, são as identificadas como críticas para o funcionamento de processos controlados por computadores. As variações registradas, quando confrontadas com a curva citada, também mostram que a grande incidência das variações rápidas de tensão não chegariam a provocar danos ao funcionamento de processos sensíveis.

Como podemos observar nos registros aquisitados da Figura 3, existem cinco pontos abaixo da linha inferior da curva CBEMA – ITIC. Todas estas variações ocorreram no dia 05 de Fevereiro de 2002, às 15:59 horas, sendo portanto, resultado de uma única ocorrência, e afetaram apenas as fases B-C e C-A. Segundo o cliente, não existe nesta data nenhuma informação de parada no seu processo produtivo, e provavelmente as oscilações registradas foram originadas na própria planta do cliente. Apresenta-se na Figura 4, o evento com maior afundamento temporário de tensão neste dia.

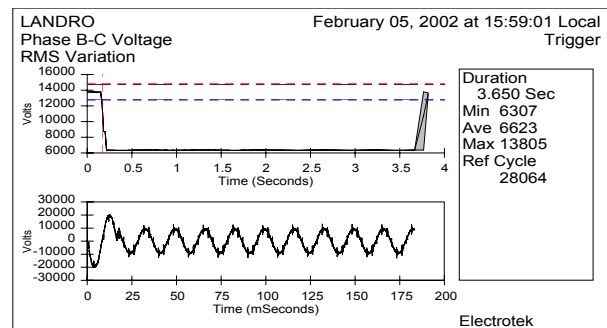


FIGURA 4 - Evento de afundamento temporário de tensão.

Através da visualização do gráfico diário do perfil de tensão contendo os valores mínimos, médios e máximos apresentada na Figura 5, pode-se também verificar a perturbação citada.

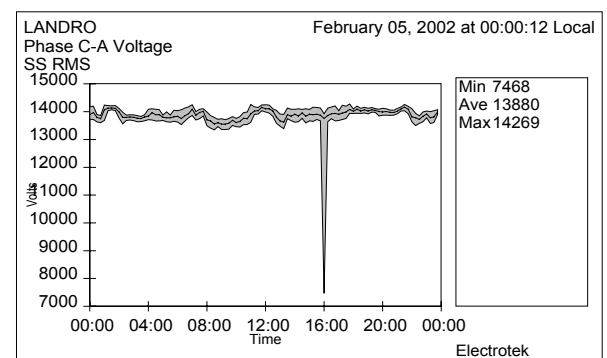


FIGURA 5 - Perfil de tensão – valores min./médio/max.

A seguir apresenta-se, na Figura 6, o mesmo tipo de gráfico, porém para a corrente de carga do cliente, permitindo-se verificar, que seu processo se manteve operando normalmente ao longo do dia.

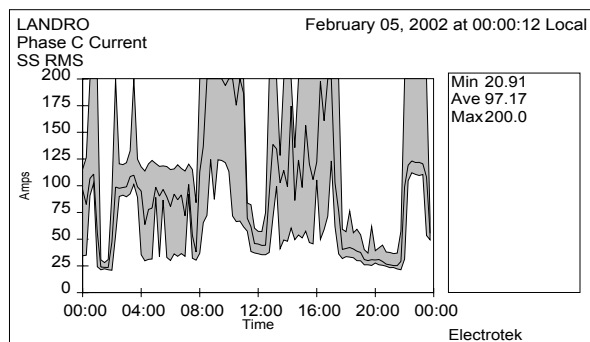


FIGURA 6 - Perfil de corrente – valores min/médio/max.

#### 4.0 - OUTRAS PERTURBAÇÕES REGISTRADAS

No dia 25 de janeiro de 2002, por volta das 16 horas ocorreu uma parada de origem elétrica na indústria. Após análise dos dados, foi constatado que neste horário não houve nenhuma oscilação de tensão, ocorrendo porém uma **variação na frequência** da rede, como pode ser comprovado no gráfico da Figura 7, que demonstra os valores mínimos, médios e máximos registrados nesta data.

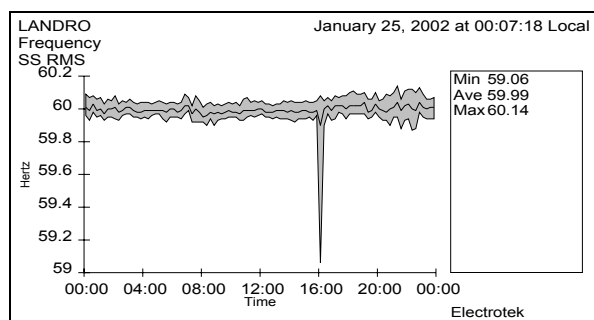


FIGURA 7 - Perfil de frequência – valores min./médio/max.

Em pesquisa realizada junto ao Operador Nacional do Sistema (ONS), verificou-se que neste instante houve um curto circuito para terra, na linha de transmissão (LT) Itaberá – Tijuco Preto com perda momentânea de geração de aproximadamente 2.000 MW.

Pela avaliação dos valores de corrente de carga no momento citado, pode-se confirmar a saída de grande parte das cargas do cliente, pois neste instante houve uma redução de corrente de mais de 70 %, conforme demonstra o gráfico do perfil de corrente na Figura 8:

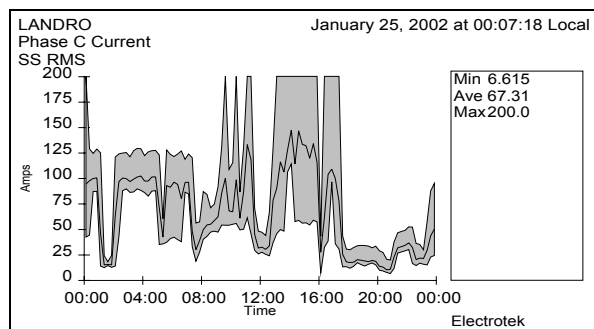


FIGURA 8 - Perfil de corrente - valores min/médio/max.

Considerando a coincidência das informações, concluiu-se que o cliente possui grande sensibilidade às oscilações de frequência. Estas variações podem causar problemas em inversores e conversores de frequência, ocasionando paradas no processo produtivo.

Após uma avaliação detalhada de seu processo, verificou-se que o sistema de proteção do retificador controlado do forno de indução, não suportou os valores de frequência atingidos, ocasionando o seu desligamento.

#### 5.0 - CONCLUSÕES

No período monitorado, de 10/01/02 a 06/02/02, as variações de tensão ocorridas não chegaram a interferir no processo produtivo do cliente. Vale ressaltar que as mesmas mantiveram-se, quase em sua totalidade, dentro da curva ITIC. Os pontos fora da curva referem-se ao dia 05/02/02, e apesar de sua intensidade, não interferiram no processo industrial da planta do cliente. A única parada registrada no período foi em consequência de uma oscilação de frequência, demonstrando que este tipo de carga, que utiliza inversores e conversores de frequência, tem uma grande sensibilidade a estas oscilações.

As Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD's) são frequentemente citadas como as responsáveis por paralisações em sistemas automatizados. Porém nem sempre elas são as reais causadoras de paradas, pois muitas vezes tem-se outros fenômenos associados a estas oscilações.

Neste caso específico, após análise detalhada das medições verificou-se que variações na frequência foram as responsáveis pelas paradas.

O problema é que na maioria das vezes em que há uma variação de frequência, ocorre também uma variação na tensão, dificultando a identificação da real causa. Outro ponto é que já existe uma cultura de se atribuir as paradas às variações de tensão de curta duração. Isto ocorre devido ao fato de muitas vezes não se efetuar o monitoramento de outros fenômenos simultaneamente, entre eles a frequência, levando-se a induzir que a causa principal esteja ligada às variações momentâneas da tensão.

O hábito de se utilizar a curva CBEMA / ITIC com os respectivos registros de duração e magnitude, sem associar estes eventos a outros fenômenos, pode induzir a erros de avaliação de sensibilidade de determinadas cargas, pois muitas vezes atribui-se uma determinada sensibilidade a uma carga em função dos registros de variações de tensão de curta duração, mas a real causa pode estar associada a um outro fenômeno.

Portanto deve-se usar com cautela estas informações, e sempre que possível o monitoramento de qualidade da energia deve abranger o maior número de fenômenos possíveis de serem registrados simultaneamente.

Finalizando, este trabalho procura demonstrar a necessidade de uma avaliação mais ampla nos aspectos relacionados com os fenômenos causadores de interrupções em processos industriais.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) B. D. Bonatto, E. A. Mertens Jr., E. S. da Silva, and L. F. S. Dias, "**Power Quality Assessment at Sensitive Loads**", IEEE/PES Transmission and Distribution Latin America Conference (IEEE/PES T&D 2002 Latin America), São Paulo –SP, Brazil, March 18-22, 2002.
- (2) B. D. Bonatto, E. A. Mertens Jr., F. A. Fernandes, e L. F. S. Dias, "**A Qualidade da Energia Elétrica em Consonância com a Segurança Industrial**", XIV Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica (XIV SENDI), Foz do Iguaçu - PR, Brasil, 18 - 23 de novembro de 2000.
- (3) B. D. Bonatto, E. A. Mertens Jr., E.A. e Fernandes, F.A., "**Diagnóstico da Qualidade da Energia Elétrica em Clientes Industriais - Estudo de Caso**", III Seminário Brasileiro sobre a Qualidade da Energia Elétrica (SBQEE'99), Brasília - DF, Brasil, 8 - 12 Agosto de 1999.
- (4) B. D. Bonatto, B.D., E. A. Mertens Jr., e F. A. Fernandes, "**Diagnóstico da Qualidade de Energia Elétrica no Sistema de Distribuição**", III Conferência Latino-Americana de Distribuição de Energia Elétrica (III CONLADIS), Escola Politécnica da USP, Cidade Universitária, São Paulo - SP, Brasil, 8 - 13 de setembro de 1998.
- (5) L. E. O Pinheiro, B. D. Bonatto, R. Torrezan, e F. A. Fernandes, "**Monitoramento da Qualidade de Energia Elétrica Fornecida: Casos Práticos, Soluções e a Visão de Planejamento**", XIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica (XIII SENDI), São Paulo - SP, Brasil, 11 - 16 de maio de 1997.
- (6) L. E. O. Pinheiro, O. S. I. Komukai, B. D. Bonatto, e E. Yoshida, "**Medições para Monitoramento da Qualidade de Energia em Sistema de Distribuição**", I Seminário Brasileiro de Qualidade da Energia Elétrica (I SBQEE), UFU, Uberlândia - MG, Brasil, 10 -13 de junho de 1996.
- (7) Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), "**Procedimentos de Rede, Submódulo 2.2 – Padrões de Desempenho da Rede Básica**", endereço na internet: <http://www.ons.org.br>.
- (8) R. C. Dugan, M. F. McGranaghan and H. W. Beaty, "**Electrical Power Systems Quality**", McGraw-Hill, 1996.