

MONITORAÇÃO DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA - ASPECTOS PRÁTICOS

Álvaro J. P. Ramos*
CHESF

Daniel P. C. P. de Lira
Politécnica/ UPE

Herivelto S. Bronzeado
CHESF

* Rua Delmiro Gouveia, 333, Anexo II, Bongi, Recife, PE
Fone: (081)-2281819, Fax (081)-227-5409
E-mail: aramos@chesf.gov.br

Resumo: A monitoração do sistema elétrico representa um importante procedimento para a avaliação da qualidade da energia elétrica, essencial para se obter os elementos necessários para o diagnóstico dos problemas nesta área, conhecimento das características de sensibilidade dos equipamentos dos consumidores e sobretudo para a determinação de alternativas de soluções dos problemas. Este artigo apresenta a experiência de oito meses de monitoração da qualidade da energia elétrica fornecida a um consumidor com cargas sensíveis a variações de tensão, principalmente com relação às subtensões momentâneas.

Palavras chave: Qualidade de Energia Elétrica, Monitoração, Variações de Tensão, Subtensão Momentânea, Sobre-tensão Momentânea.

Abstract: *Electric power monitoring constitutes an essential procedure for an appropriate assessment of electric power quality and it is a valuable tool to provide insights for problem diagnosis and analysis of alternatives to mitigate Power Quality problems. This paper presents the experience obtained in monitoring the electric system supplying a textile industry with the objective to determine their load sensitivity with respect to voltage sags. An approximated load acceptability characteristic was obtained and presented. Some questions concerned with the determination of this acceptability characteristic from monitoring results are also discussed.*

Key words: *Power Quality, Voltage Sag, Voltage Swell, Power Quality Monitoring.*

1. INTRODUÇÃO

Um sistema elétrico com tensões senoidais puras, perfeitamente equilibradas, de frequência e amplitudes constantes e de forma permanente forneceria a energia elétrica com uma “qualidade” ideal. Como se sabe, entretanto, um amplo espectro de fenômenos eletromagnéticos estão presentes no cotidiano desses sistemas. Descargas atmosféricas, manobras de chaveamento de equipamentos e linhas de transmissão, curtos-circuitos, são as principais causas destes fenômenos, os quais, atualmente, tem afetado os processos industriais e os equipamentos dos consumidores. Tais distúrbios podem, em parte, ser evitados ou ter seus efeitos atenuados através do uso de dispositivos de proteção e controle diversos. A eliminação total destes fenômenos não é, entretanto viável.

O uso crescente de equipamentos eletrônicos sensíveis, principalmente para instalações industriais modernas, tem suscitado uma incompatibilidade destas cargas aos fenômenos acima mencionados. Como conseqüência, um elevado número de interrupções de processos industriais (sem interrupção no fornecimento de energia elétrica) tem se verificado como resultado de distúrbios causados por defeitos muitas vezes a grandes distâncias do consumidor. Tais defeitos provocam variações momentâneas de tensão que a literatura internacional tem denominado de “*voltage sag*” (subtensão momentânea) ou “*voltage swell*” (sobretensão momentânea). Nestes casos, a monitoração da qualidade de energia elétrica representa uma providência essencial para a

caracterização e identificação precisa dos fenômenos eletromagnéticos envolvidos que afetam as cargas sensíveis do consumidor. Com tais informações é possível se obter um diagnóstico preciso do problema.

A partir do diagnóstico obtido pode-se identificar um universo de alternativas para “melhor compatibilizar” os fenômenos intrínsecos do sistema elétrico às características de sensibilidade das cargas do consumidor. Algumas destas alternativas podem ser implementadas pelas Empresas de Energia Elétrica (EEE) no sentido de reduzir o número de ocorrências ou atenuar a severidade dos mesmos. Outra possibilidade é o emprego de equipamentos condicionadores de energia elétrica, os quais se destinam a mitigar seus efeitos sobre as cargas sensíveis.

Pelo lado do consumidor, as medidas a serem adotadas envolvem, via de regra, uma insensibilização dos processos e dispositivos de proteção/controlados associados, ou também com o uso de equipamentos condicionadores.

O sistema de monitoração a ser usado depende de cada caso em particular. É portanto de importância fundamental que o objetivo da monitoração seja precisamente definido para que se determine os dispositivos de monitoração mais apropriados para cada caso.

Este trabalho descreve a experiência obtida pelos autores na monitoração de cargas sensíveis com o objetivo principal de se conhecer a sensibilidade da carga industrial de uma indústria textil às variações momentâneas de tensão, principalmente subtensões. Algumas dificuldades encontradas na determinação da

característica de sensibilidade da carga a partir da monitoração são discutidas.

2. PROBLEMAS ASSOCIADOS À QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

Um universo muito amplo e diversificado de fenômenos eletromagnéticos pode ocorrer nos sistemas elétrico, dos transitórios ultra-rápidos (surto de tensão ou transitórios oscilatórios de alta frequência) até os de baixa frequência, típicos de oscilações eletromecânicas entre grandes sistemas interligados.

No entanto, as subtensões momentâneas resultantes de curtos-circuitos no sistema de transmissão ou distribuição são os principais responsáveis pela interrupção de cargas sensíveis atualmente presentes nas modernas instalações industriais. Essas subtensões, com duração típica na faixa de 0,5 ciclo a 1 minuto, atingem valores que se situam na faixa de 10% a 90% da tensão nominal (valor **rms**) [1]. Quando a tensão cai abaixo de 10%, o fenômeno é classificado como interrupção momentânea.

A ocorrência de subtensão momentânea pode provocar abertura de contactores, desligamento de lâmpadas de descarga, além de uma enorme variedade de dispositivos de controle, robôs, etc.

Em muitos casos é possível reduzir a sensibilidade dos controles ou proteções através de mudanças nos ajustes ou lógicas de proteção/controle, sem afetar a segurança dos equipamentos ou a qualidade do produto produzido. Em outros casos isto não é viável, como pôr exemplo, teares modernos controlados por microprocessadores, onde a ocorrência destas variações pode provocar imperfeições no tecido produzido.

Flutuações de tensão, cintilação, desequilíbrios, distorções harmônicas constituem outros aspectos da qualidade da energia elétrica que demandam monitoração ou ensaios especiais. Referimo-nos como monitoração, o registro de fenômenos do sistema elétrico através de instrumentos permanentemente instalados no sistema, os quais se utilizam condições de disparo ou “trigger previamente programadas. A monitoração é essencial para aqueles fenômenos que não são usualmente viáveis de se programar no sistema real, tais como curtos-circuitos.

Este artigo apresenta e discute aspectos práticos considerados relevantes no que concerne a monitoração de subtensão momentânea.

O principal objetivo desta monitoração é avaliar a sensibilidade global da instalação do consumidor a tais variações de tensão.

3. MONITORAÇÃO DE CARGAS SENSÍVEIS.

Dispositivos de monitoração

Existe uma enorme variedade de tipos de instrumentos para monitoração, disponíveis no mercado, com recursos e preços diversos.

A seleção do instrumento a ser utilizado deve ser precedida da definição clara e precisa dos objetivos da monitoração.

Caso fenômenos de alta frequência sejam objeto de interesse, é necessário que as características técnicas do sistema de monitoração sejam compatíveis com a rapidez do fenômeno a registrar, em particular com relação a taxa de amostragem. Também os dispositivos de conexão ao sistema de alta tensão, transformadores de potencial/ TPs ou transformadores de corrente/ TCs devem apresentar resposta em frequência apropriada.

A monitoração da qualidade de energia elétrica pode ser parte de ensaios preparados, quando o distúrbio, foco do problema, é provocado intencionalmente, tal como manobras de equipamentos. Nos casos de monitoração de harmônicos ou flutuação de tensão, a própria operação normal da carga perturbadora irá provocar os fenômenos que se deseja analisar.

Para o estudo e diagnóstico das variações momentâneas de tensão, a monitoração depende da ocorrência natural de defeitos, o que requer recursos de disparo ou “trigger” dos dispositivos de monitoração.

Embora a maioria dos dispositivos disponíveis no mercado possibilitem o registro das formas de ondas de tensão e corrente, o registro dos valores eficazes (rms) destas grandezas é suficiente para a análise de subtensões e sobretensões momentâneas.

Alguns instrumentos calculam um valor rms correspondente a uma “janela” (do tamanho de um ciclo, por exemplo) para cada amostragem. Este é o valor rms “instantâneo” pois este valor é atualizado em todos os instantes de amostragem, com o deslocamento da “janela” ponto a ponto.

No presente caso, os instrumentos utilizados na monitoração possibilitaram, entre outros recursos, o registro das formas de onda e valores rms das tensões e correntes nas fases quando a tensão de qualquer uma das fases ficava abaixo de 90% ou acima de 110%. Para registrar a forma de onda utilizou-se 16 pontos por ciclo de senóide porém o medidor é capaz de registrar até 36 ciclos para cada sinal de tensão e corrente.

Características da Instalação Monitorada.

Trata-se da instalação de uma indústria têxtil moderna onde inúmeros processos e máquinas são controlados por microprocessadores, entre eles teares, engomadeiras, estamparias, etc. A potência instalada é de 50MVA, 69kV, e a demanda máxima atualmente é de 19MW.

As instalações do consumidor consiste em 4 transformadores de 12,5MVA, 69kV/13.8kV, ligação delta/estrela-aterrada. Existe outros barramentos distribuídos, com tensão de 4.16kV, 440V e 380V.

Levantamento de Sensibilidade da Carga

A literatura especializada sugere expressar a sensibilidade de um certa carga através de uma curva que delinea regiões em um plano XY relacionando a subtensão momentânea no eixo vertical Y e a duração da ocorrência no eixo horizontal X. As curvas denominadas ITIC (antigas CBEMA) constitui um exemplo desta forma de expressar e quantificar a sensibilidade das cargas [2]. Tais curvas são referenciadas também por “acceptability curves”.

Entretanto na determinação destas curvas através de sistemas de monitoração surgem algumas questões de fundamental importância como a seguir descritas.

Que fase deve ser selecionada para registro da subtensão momentânea?

Nos curtos-circuitos que envolvem as três fases do sistema, muitas vezes ocorrem variações de tensão com magnitudes e de durações distintas em cada uma das fases. É necessário se conhecer, portanto, qual dos fatores, se **duração** ou **magnitude**, tem maior influência no caso de interrupção da carga sensível.

A Figura 1 mostra um caso real onde o maior afundamento ocorreu na fase b enquanto a maior duração se verificou na fase c. Pode-se escolher a fase onde a variação de tensão teve a maior duração ou aquela onde houve o de maior afundamento na tensão

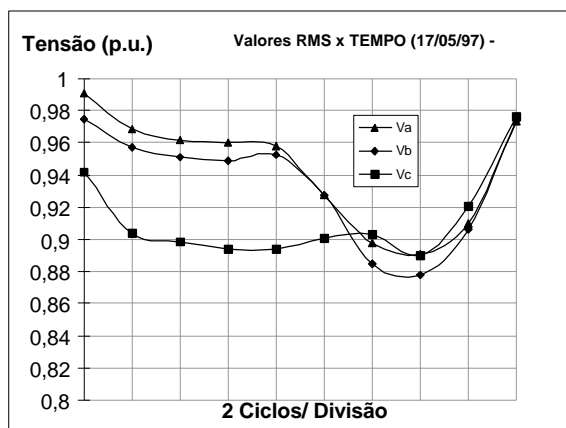


Figura 1 - Subtensão Momentânea (Qual fase?)

Qual a magnitude e duração da subtensão que deverá ser associado a sensibilidade da carga?

A Figura 2 mostra uma medição de campo onde se verifica que os valores rms nas três fases ficaram aproximadamente 700ms abaixo de 90%, porém apenas 200ms abaixo de 80%. O valor mínimo ficou no entorno de 72%. Neste caso houve interrupção no processo industrial do consumidor.

Sabemos, no entanto, com um bom grau de segurança, que as cargas da indústria não sofrem interrupções quando a tensão fica acima de 80% do seu valor nominal. Isto significa que o tempo em que a tensão permaneceu abaixo de 90% porém acima de 80% do seu valor nominal não tem qualquer relação com a interrupção destas cargas. O tempo em que as

tensões permaneceram abaixo de 80% podem ser o fator decisivo da sensibilidade da carga, sendo, portanto, o responsável pela interrupção.

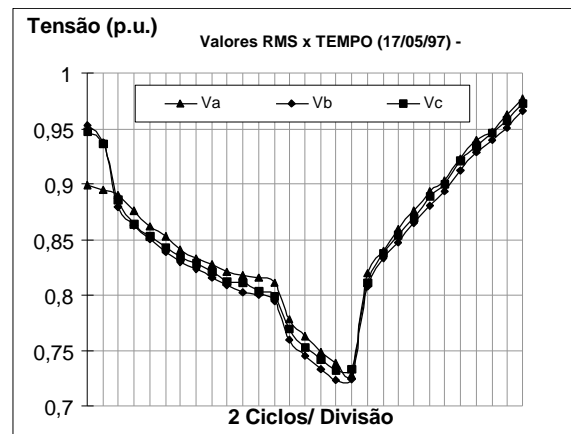


Figura 2 - Subtensão Momentânea (Magnitude ou Duração?)

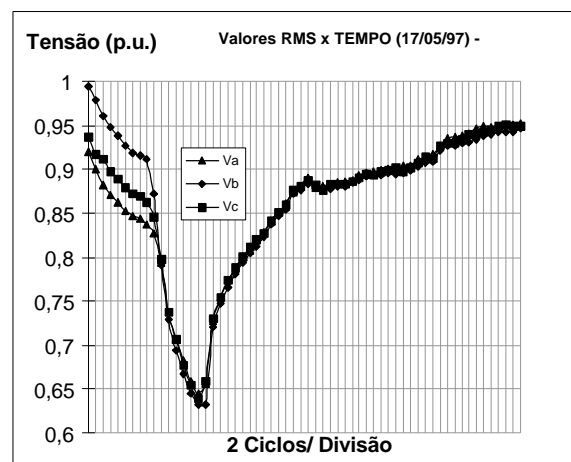


Figura 3 - Subtensão Momentânea (Magnitude?)

A Figura 3 também ilustra uma situação onde houve também interrupção do processo industrial. Como se pode ver, fica difícil definir as regiões de sensibilidade de uma carga baseando-se somente na duração e valores mínimo da subtensão.

Ocorrência simultânea de Subtensão e Sobretensão Momentâneas.

Curto-circuitos desequilibrados, tipo fase-terra, causam subtensão na fase de defeito concomitantemente com sobretensões nas fases sãs. Nestes casos, existe a dificuldade de definir se a causa da interrupção foi a subtensão ou a sobretensão, principalmente se a carga é trifásica. O próprio desequilíbrio poderá eventualmente ser a causa da interrupção. Se as cargas interrompidas forem monofásicas, o conhecimento das tensões no ponto de ligação da carga possibilitará um esclarecimento adequado. É importante ressaltar que motores trifásicos são muitas vezes desligados pela sensibilidade do CLP que o controla ou da bobina do

contactor. elementos estes normalmente alimentados monofasicamente. A Figura 4 ilustra uma situação onde ocorreu simultaneamente uma subtensão e uma sobretensão momentânea

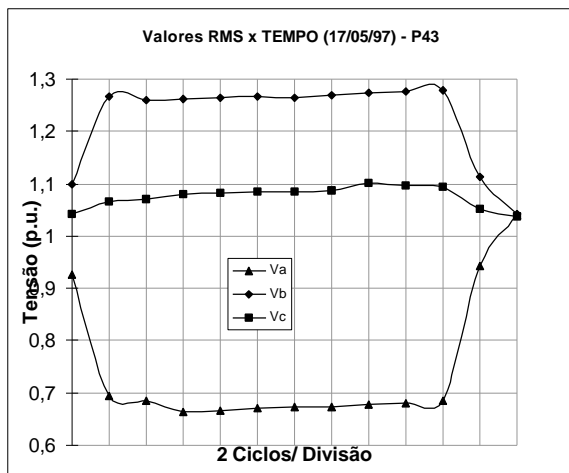


Figura 4 - Ocorrência simultânea de subtensão e sobretensão momentânea

Ligações dos transformadores

Ligações de transformadores em delta/estrela-aterrada são muito comuns nos sistema de potência, com as tensões fase-terra do lado estrela correspondendo as tensões fase-fase no lado delta. Isto significa que durante um curto fase-terra no lado delta, as tensões fase-terra no lado estrela do transformador não apresentarão necessariamente afundamentos. Desta forma, as cargas trifásicas ligadas no lado estrela, ou aquelas cargas monofásicas ligadas fase-terra não serão afetadas pela subtensão verificada no lado delta do transformador, podendo, ao contrário, até sofrer uma sobretensão. Assim, é possível que uma carga seja interrompida por sobretensão momentânea quando da ocorrência de curtos-circuitos no sistema, dependendo da ligação do transformador. Isto significa que, para se determinar a sensibilidade da carga, a monitoração deve estar situada na barra mais próxima possível da carga.

Restabelecimento lento da tensão.

Em geral a duração das subtensões está relacionada ao tempo de eliminação do defeito. A Figura 5 mostra os valores de tensão rms das três fases durante e após a remoção de um curto-circuito trifásico ocasionado pela queda de uma árvore sobre uma linha de 69kV. Na análise da ocorrência verificou-se que um dos terminais da linha defeituosa abriu rapidamente, em aproximadamente 3-4 ciclos, pela atuação da proteção de distância de 1ª zona, enquanto o outro terminal da linha só abriu após aproximadamente 1 segundo, pela atuação da proteção de 2ª zona. Como se pode observar, o tempo de abertura com 1 segundo ocasionou o surgimento do fenômeno de “Delayed

Recovery Voltage” - (DRV), típico de sistema radiais fracos com elevado percentual de cargas de motor (ar-condicionado) [3].

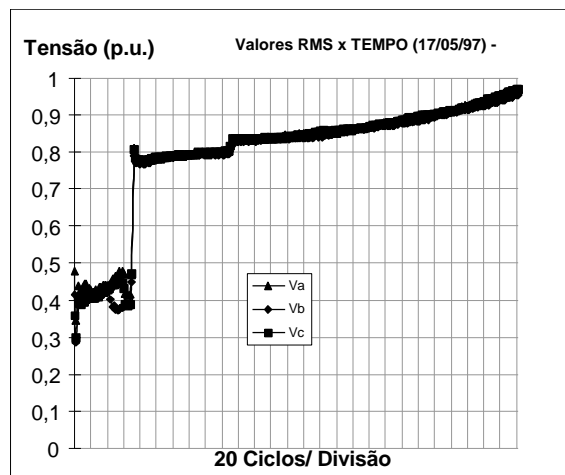


Figura 5 - Restabelecimento lento das tensões após curto-circuito trifásico longo.

Evidentemente que um evento desta natureza é bastante específico, sendo difícil saber se a carga sofreu interrupção logo nos primeiros 3-4 ciclos, onde a tensão atingiu 30% do seu valor nominal, ou se durante o período seguinte de 1s, onde esta tensão ficou em torno de 45%.

4. CARACTERÍSTICA DE SENSIBILIDADE DA CARGA MONITORADA

O gráfico da figura 6 mostra a característica de sensibilidade da carga às Subtensões Momentâneas, resultado de um período de monitoração de 8 meses. Pode-se observar, do gráfico, que a carga não sofre interrupção para Subtensões Momentâneas onde o valor da tensão permanece acima de 80% do seu valor nominal. Abaixo deste valor pode haver interrupção do processo produtivo, dependendo da duração do defeito.

5. CONCLUSÃO

A experiência demonstrou que a obtenção da característica de sensibilidade de uma carga através da monitoração, envolve ainda muitas dificuldades práticas. A reação das cargas sensíveis às variações momentânea de tensão pode ser uma questão bem mais complexa, de modo que uma simples curva **Tensão-versus-Tempo** não pode definir se haverá ou não desligamento para uma certa variação momentânea de tensão.

Recomenda-se que a monitoração para o levantamento da curva de sensibilidade da carga deva ser realizada no barramento onde a carga está ligada, evitando assim a influência das ligações dos transformadores entre o ponto de monitoração e a carga.

É importante destacar o fato de que as subtensões momentâneas podem ter características bastante diferentes dos padrões mostrados na literatura (“formato banheira”).

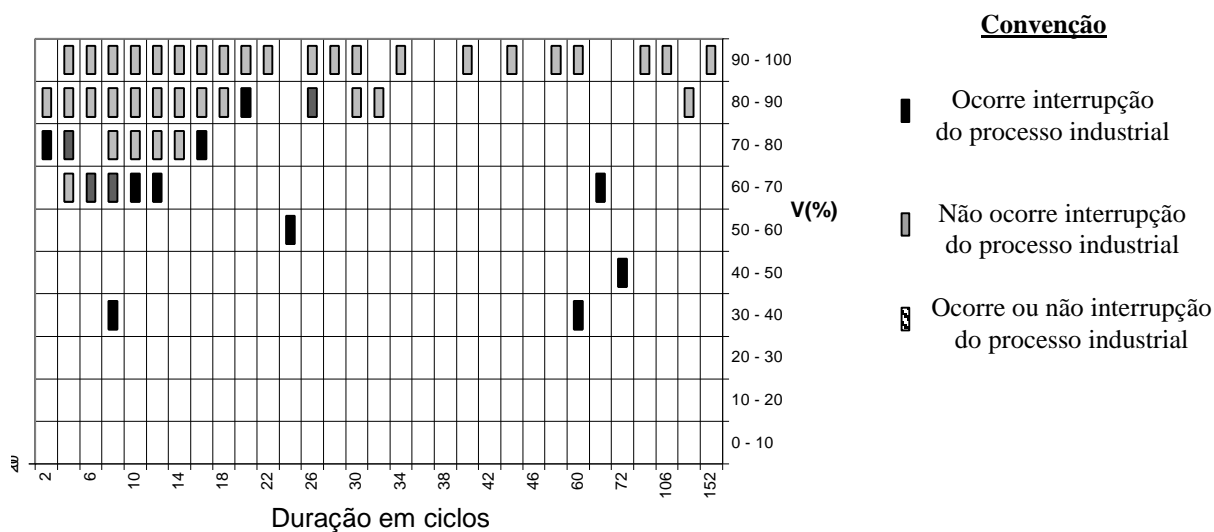
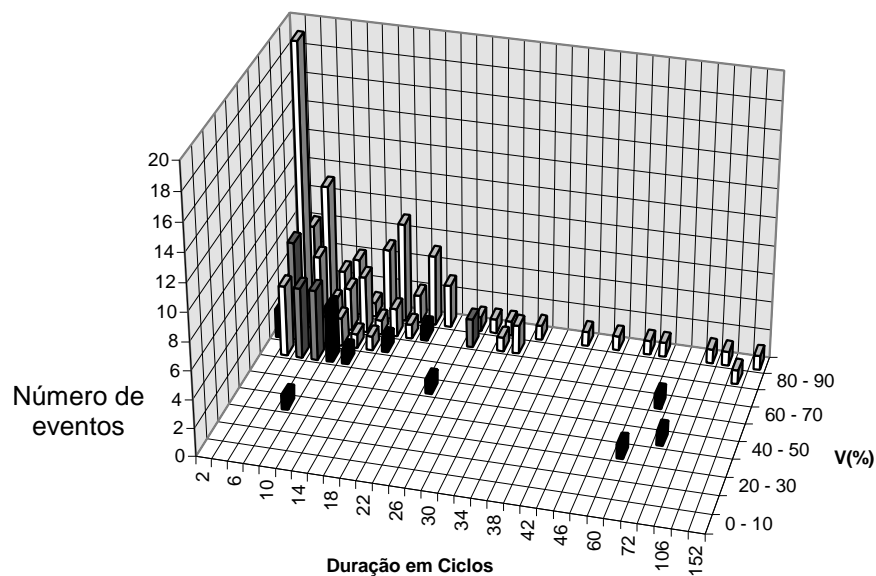


Figura 6 - Característica de sensibilidade da carga monitorada às Subtensões Momentâneas.

REFERÊNCIAS

[1] Working Group on Monitoring Electric Power Quality, “IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality”, IEEE Std 1159-1995

[2] M. F. McGranaghan, D. R. Mueller, M. J. Samotyj, “Voltage Sags in Industrial Systems”, IEEE Trans. on

Industry Applications, Vol.29, No.2, Março/Abril 1993.

[3] J. W. Shaffer, “Air Conditioner Response to Transmission Faults “, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 12, May 1997.