SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

GCQ - 14
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

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

# SENSIBILIDADE DE EQUIPAMENTOS ELETRODOMÉSTICOS SUBMETIDOS A AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

**Hermes R. P. M. de Oliveira*** **AES SUL**
**Nelson Clodoaldo de Jesus** **AES SUL**
**Gustavo Brendler Viecili** **UNIJUÍ**
**Cássio F. Bazana Nonenmacher** **UNIJUÍ**
**Fabiano Tondello Castoldi** **UNIJUÍ**

RESUMO

O trabalho tem por objetivo apresentar resultados experimentais em termos do desempenho operacional de equipamentos eletro-eletrônicos quando submetidos à degradação na qualidade do fornecimento de energia.
O estudo trata especificamente dos efeitos de afundamentos de tensão na operação de equipamentos eletrodomésticos. Para tanto, verificou-se a sensibilidade dos equipamentos utilizando-se uma fonte com capacidade de geração de formas de ondas arbitrárias. Deste modo, tem-se um levantamento das principais características de operação dos equipamentos, obtendo-se as respectivas curvas de desempenho por meio das respostas frente aos afundamentos de tensão. Uma análise comparativa também é realizada entre os equipamentos sob teste e curvas utilizadas como padrões de referência.
Este informe técnico visa contribuir ao tema de qualidade de energia, com um levantamento e detalhamento dos níveis de sensibilidade de diversos equipamentos, amplamente utilizados em sistemas residenciais. Os resultados obtidos mostram quais os verdadeiros efeitos nestes tipos de equipamentos, visto que todos os passos foram monitorados com analisadores da qualidade de energia.

PALAVRAS-CHAVE

Qualidade de energia, Afundamentos de tensão, Sensibilidade de equipamentos, Distúrbios.

## 1.0 - INTRODUÇÃO

A área de qualidade de energia tornou-se notadamente fundamental na avaliação dos sistemas elétricos em geral e, neste contexto, o estudo de sensibilidade de equipamentos tem sido amplamente realizado para uma melhor compreensão dos efeitos dos fenômenos de variações na qualidade de energia sob a operação de equipamentos.
No ambiente industrial, os impactos acarretam imensos prejuízos econômicos em função de paradas de processos produtivos e a necessidade de novas inicializações. Intenta-se neste trabalho, obter informações sob o desempenho de equipamentos de uso doméstico. Salienta-se que este estudo faz parte de uma das etapas realizadas durante a execução do projeto de pesquisa e desenvolvimento P&D AES SUL : “Metodologia para Avaliação dos Níveis de Sensibilidade de Equipamentos Submetidos a Perturbações na Qualidade de Energia”.
Dentre os fenômenos relacionados à qualidade da energia, destacam-se os afundamentos de tensão em função da sua freqüência de ocorrência. Sendo assim, avaliações da operação e desempenho de equipamentos frente a este tipo de perturbação tornam-se importantes em todos os setores. Os afundamentos de tensão são caracterizados como um decremento na magnitude da tensão eficaz, cujo valor pode estar compreendido entre 0,1 e 0,9 pu da tensão nominal de operação. A seguir, apresentam-se as definições gerais das variações de tensão de curta duração, os procedimentos adotados e os resultados obtidos nos ensaios.

* Av. Presidente Roosevelt, 68 - CEP 93010-060 - São Leopoldo - RS - BRASIL
Tel.: (51) 589-6364 - Fax: (51) 590-7587 - E-MAIL: hermes.oliveira@aes.com

## 2.0 - VARIAÇÃO DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO (VTCD)

As variações de tensão de curta duração (VTCD) são definidas por desvios no valor eficaz da tensão com duração máxima equivalente a um intervalo de um minuto. Neste caso, incluem-se as interrupções de curta duração (*Outage*), as subtensões de curta duração, denominadas de afundamentos de tensão (*Voltage Sag*) e as sobretensões de curta duração, denominadas de elevações de tensão (*Voltage Swell*). Conforme classificação da comunidade técnica internacional de qualidade de energia, estas variações podem ser subdivididas em instantâneas, momentâneas e temporárias, de acordo com a respectiva duração do evento (1). As variações de tensão de curta duração são decorrentes principalmente de faltas ocorridas no sistema elétrico. A energização de transformadores ou partida de grandes motores também pode implicar em afundamentos de tensão, devido às elevadas correntes iniciais. A entrada ou saída de grandes blocos de cargas e possíveis perdas de conexões intermitentes em barramentos do sistema também causam as VTCD's. Dependendo da localização e tipo de curto-circuito, bem como das condições do sistema, a falta pode causar uma queda de tensão (afundamento), aumento das tensões nas fases sãs (elevação), ou uma completa desconexão da fonte (interrupção). O impacto das VTCD's durante as condições de falta dependerá fundamentalmente da magnitude e duração dos distúrbios até que os dispositivos de proteção eliminem a falta e restabeleçam as condições normais de operação. Em âmbito nacional, a classificação mescla os eventos instantâneos e momentâneos, ou seja, as VTCD's são divididas em dois tipos, momentâneas e temporárias, conforme as recomendações do Submódulo 2.2. dos procedimentos de rede do ONS, como mostra a tabela 1. Comparando-se com a classificação e valores típicos da norma IEEE 1159 (4), observa-se uma outra diferença também em termos de duração, ou seja, a duração mínima considerada é de um ciclo (16,66 ms) e não inferior a este valor.

TABELA 1 - Classificação das variações de tensão de curta duração VTCD - ONS (2)

| Classificação | Denominação | Duração da Variação | Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão nominal |
|---|---|---|---|
| Variação Momentânea de Tensão | Interrupção Momentânea de Tensão | Inferior ou igual a três segundos | inferior a 0,1 pu |
| Variação Momentânea de Tensão | Afundamento Momentâneo de Tensão | superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos | superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 pu |
| Variação Momentânea de Tensão | Elevação Momentânea de Tensão | superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos | superior a 1,1 pu |
| Variação Temporária de Tensão | Interrupção Temporária de Tensão | superior a três segundos e inferior ou igual a um minuto | inferior a 0,1 pu |
| Variação Temporária de Tensão | Afundamento Temporário de Tensão | superior a três segundos e inferior ou igual a um minuto | superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 pu |
| Variação Temporária de Tensão | Elevação Temporária de Tensão | superior a três segundos e inferior ou igual a um minuto | superior a 1,1 pu |

A título de ilustração, a figura 1 mostra uma seqüência na forma de onda da tensão, estabelecendo a ocorrência das possíveis variações de tensão de curta duração. A caracterização das VTCD's também depende de vários parâmetros como valor eficaz, duração, instante ou ângulo de fase inicial, instante ou ângulo de fase final, defasagem, distorção harmônica, desequilíbrio de tensão, diferença de amplitude entre fases, diferença de ângulo de fases (3), (5). Entretanto, neste trabalho, as grandezas principais referem-se somente a magnitude e tempo de exposição, pois as tensões monofásicas aplicadas durante os ensaios de afundamentos não apresentaram mudança no ângulo de fase, nem tampouco distorção harmônica significativa. Conforme descrito anteriormente, este trabalho abordará especificamente os efeitos dos afundamentos de tensão na operação de equipamentos eletro-eletrônicos, visando determinar os respectivos níveis de sensibilidade.

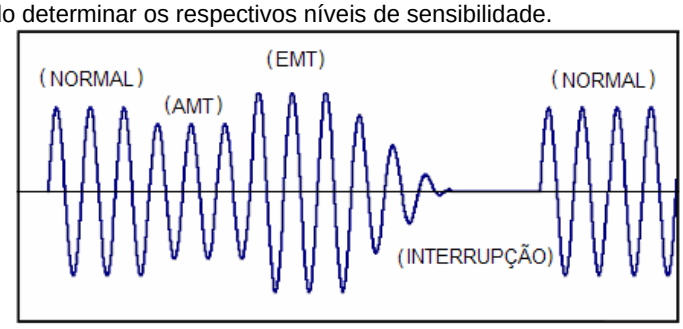


FIGURA 1 - Tipos de variações de tensão de curta duração (VTCD)

## 3.0 - PROCEDIMENTOS DOS ENSAIOS

O procedimento geral utilizado nos ensaios consta da aplicação de afundamentos de tensão seqüenciais na alimentação dos equipamentos, verificando-se possíveis disfunções. Para tanto, utilizou-se uma fonte de tensão controlada monofásica, marca California Instruments, modelo 3001 iX, a qual apresenta capacidade de geração de formas de ondas arbitrárias. Este modelo possui em sua biblioteca os testes relacionados ao padrão IEC 61000. De qualquer modo, ampliando-se as faixas de aplicação, os ensaios foram executados por variações das tensões em (pu) por determinados períodos (ciclos), sendo que as tensões variaram de 0,1 a 0,9 pu, com razão de 0,1 pu, e os ciclos foram selecionados com um limite máximo, partindo de 1 ciclo a 300 ciclos, ou seja, até 5 segundos, divididos em 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 12, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 250 e 300 ciclos. Neste caso, retratam principalmente os afundamentos momentâneos, apesar de excederem a faixa inicial na definição do tipo temporário (3 segundos). Essas informações foram inseridas no programa da fonte para a geração das formas de onda. Para realização das medições nos equipamentos foi utilizado um analisador de qualidade de energia conectado aos equipamentos sob teste. Sendo assim, registrou-se os principais eventos durante os ensaios realizados, sendo o objetivo final o levantamento das curvas de sensibilidade para cada tipo de equipamento frente aos afundamentos de tensão. De posse das tensões e correntes instantâneas dos eventos, pode-se analisar o comportamento durante a ocorrência dos distúrbios. Os equipamentos avaliados referem-se a 3 amostras para cada um dos 3 diferentes fabricantes de televisores, 1 amostra contemplando duas marcas diferentes de aparelhos de som portátil com CD, 2 amostras de geladeiras de um mesmo fabricante e uma amostra de forno de microondas para duas marcas diferentes. Para efeito comparativo da sensibilidade dos equipamentos utilizou-se a curva de referência ITIC - *Information Technology Industry Council,* conforme apresentada na figura 2, sendo a versão atualizada da curva CBEMA - *Computer & Business Equipment Association*. Deste modo, para subtensões acima da referência, tem-se o funcionamento normal e, para os valores inferiores ao envelope, tem-se normalmente problemas com disfunções. Os ensaios propostos foram realizados junto ao levantamento de cada tipo de disfunção, dependente das características de operação dos equipamentos.

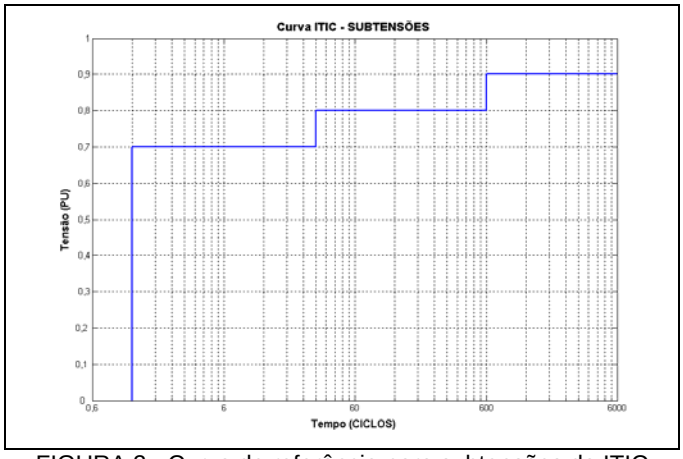


FIGURA 2 - Curva de referência para subtensões do ITIC

## 4.0 - RESULTADOS OBTIDOS

Para verificação das formas de ondas nos ensaios com os equipamentos, utilizou-se o analisador de qualidade de energia PP4300 - Dranetz BMI. Os equipamentos foram divididos de acordo com as suas principais características, considerando que a tensão nominal dos aparelhos era de 220 V, portanto, a tensão base (1 pu). Inicialmente, apresentam-se as tensões e correntes instantâneas durante a etapa dos testes e, posteriormente, a curva geral de sensibilidade obtida para cada tipo de equipamento (4), (5). Nos itens que seguem serão apresentados os resultados e análise de alguns equipamentos que utilizam fontes chaveadas, como os aparelhos televisores e os microcomputadores. Os aparelhos de som portáteis considerados apresentam fontes com transformadores e seleção da tensão nominal por Tap's. Adicionalmente, foram testados equipamentos com maior potência, como no caso dos fornos de microondas e, motores de indução, como nos refrigeradores domésticos.

### 4.1 Aparelho Televisor

Foram submetidos aos testes de sensibilidade a afundamentos de tensão, três marcas distintas de televisores de 14", observando-se os respectivos comportamentos durante as variações de curta duração. A figura 3 ilustra a resposta de uma das amostras durante a aplicação de um afundamento de tensão com duração de 1 ciclo e magnitude de 0,2 pu, onde verificou-se a interrupção de corrente no intervalo de redução da tensão e posterior aumento no momento de estabilização da tensão ao valor nominal. Este comportamento está diretamente relacionado com a operação da ponte retificadora de entrada e filtro capacitivo, tipicamente de fontes chaveadas.

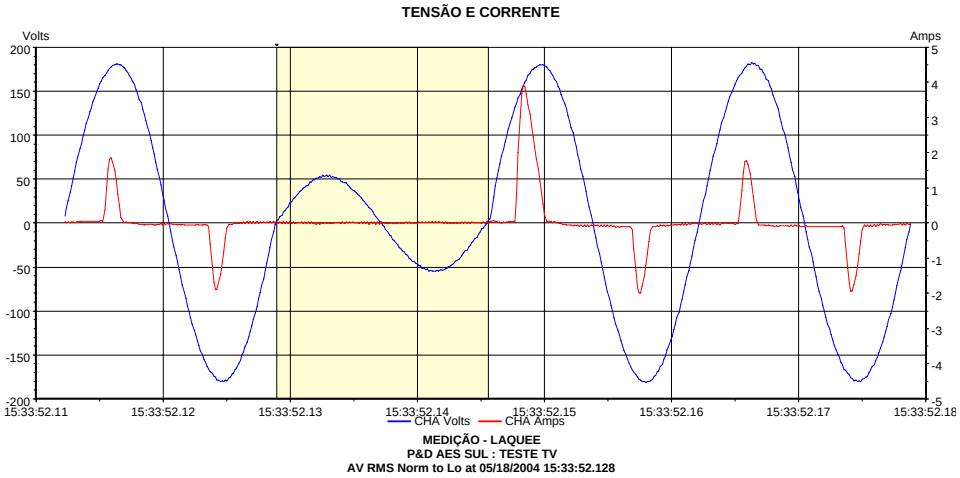


FIGURA 3 - Tensão e corrente do televisor durante afundamento de tensão

Os níveis de sensibilidade dos aparelhos utilizados no teste de afundamento podem ser analisados através da figura 4, sendo que a amostra A se mostrou a mais sensível. Portanto, para este equipamento específico, tem-se disfunções para tensões de 20% da nominal por períodos maiores do que 10 ciclos. As demais marcas apresentam disfunção somente com 10% da tensão, diferenciando-se ligeiramente em relação ao período de aplicação. Os resultados indicam certa imunidade deste tipo de equipamento quando submetidos a afundamentos momentâneos de tensão.

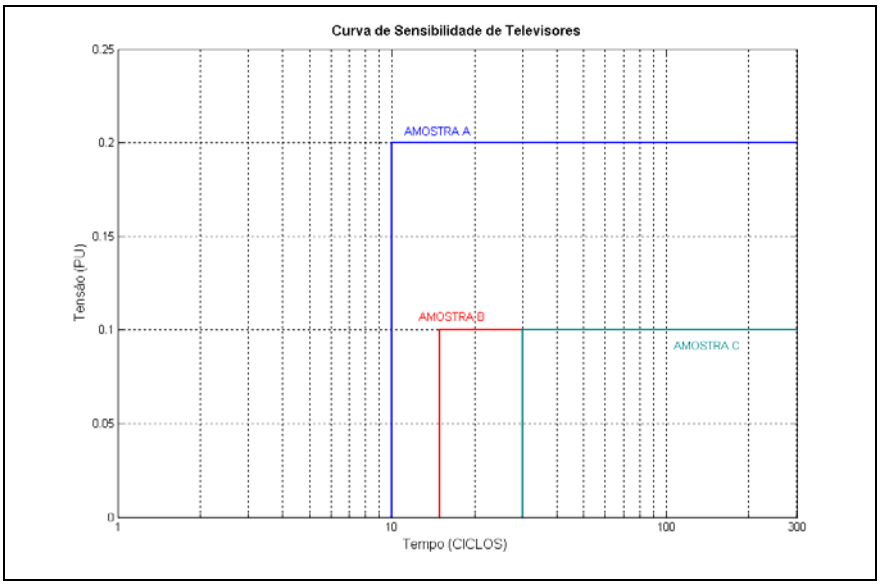


FIGURA 4 - Curvas de sensibilidade dos televisores

4.2 Microcomputador

Em relação aos testes de microcomputadores (PC's), foram avaliados dois equipamentos, sendo uma amostra nova e a outra com tempo de uso em torno de 5 anos, portanto, máquinas com tecnologias e capacidades diferenciadas. Os sistemas sob teste compreenderam todos os equipamentos normais à utilização de PC's, ou seja, nos testes, o conjunto era composto por estabilizador convencional, CPU e monitor. Neste caso, o fator de sensibilidade está relacionado aos desligamentos (Reset) durante os ensaios programados. A figura 5 mostra o comportamento da tensão e corrente de uma das amostras durante a aplicação de um afundamento de 3 ciclos com valor de 10% do nominal. Observa-se a mesma tendência do resultado obtido para os televisores, considerando as formas de onda das correntes, exceto em relação aos valores absolutos de magnitude.

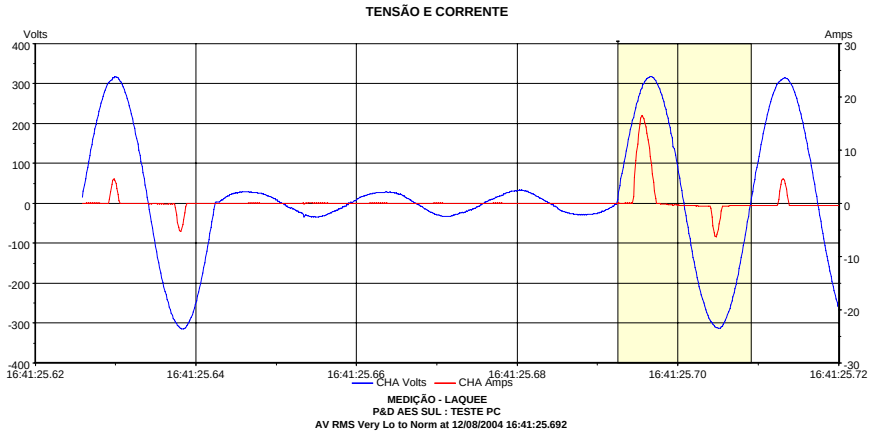


FIGURA 5 - Tensão e corrente do microcomputador durante afundamento de tensão

As curvas de sensibilidade para o modelo novo e usado, amostras B e A, respectivamente, podem ser verificadas por meio da figura 6, com valores superiores em termos de magnitude e sensibilidade na comparação com os resultados anteriores.

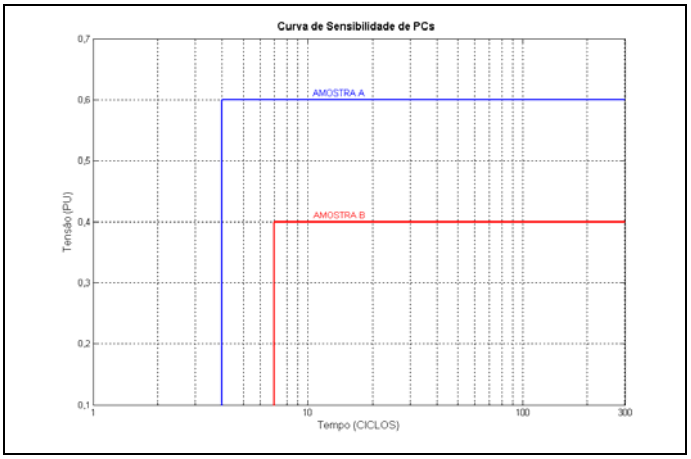


FIGURA 6 - Curvas de sensibilidade dos PC's

4.3 Aparelho de Som Portátil

Neste caso, foram testados aparelhos de som portáteis com rádio e CD (Microsystem), os quais apresentam seletor de tensão, por meio de fonte linear com transformador de entrada. Neste caso, o equipamento sob teste estava trabalhando com CD no volume máximo. A figura 7 mostra o comportamento obtido durante uma das etapas dos ensaios. Salienta-se que em função da baixa potência, a corrente possui magnitude bem reduzida.

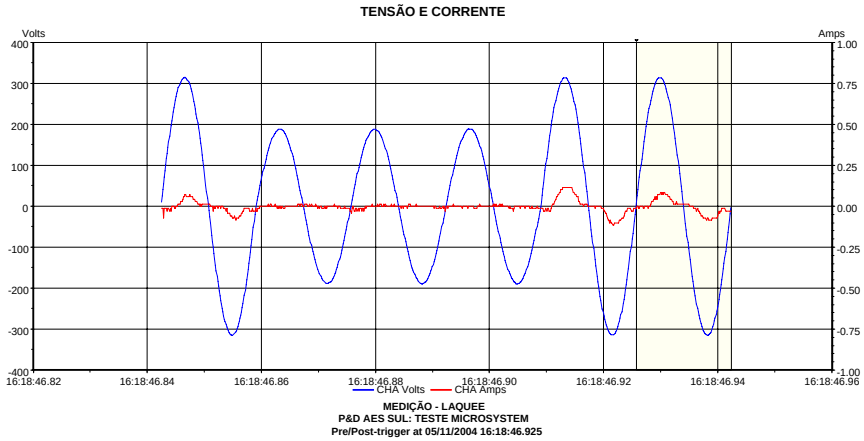


FIGURA 7 - Tensão e corrente do microsystem durante afundamento de tensão

As curvas obtidas para os aparelhos de som são ilustradas em seguida, onde se verifica uma sensibilidade maior a redução das tensões em comparação aos equipamentos que utilizam fontes chaveadas.

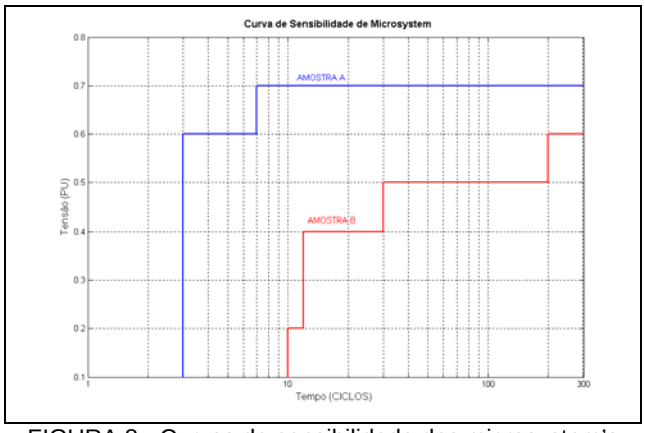


FIGURA 8 - Curvas de sensibilidade dos microsystem's

4.4 Refrigerador

Foram analisadas duas amostras de refrigeradores de 320 Litros de um mesmo fabricante. A figura 9 mostra o comportamento da tensão e corrente durante a aplicação de um afundamento momentâneo de tensão em uma das amostras. Durante determinados eventos, ocorreram sobrecorrentes no instante de estabilização da tensão, causando inclusive a atuação do dispositivo de proteção térmica (relé).

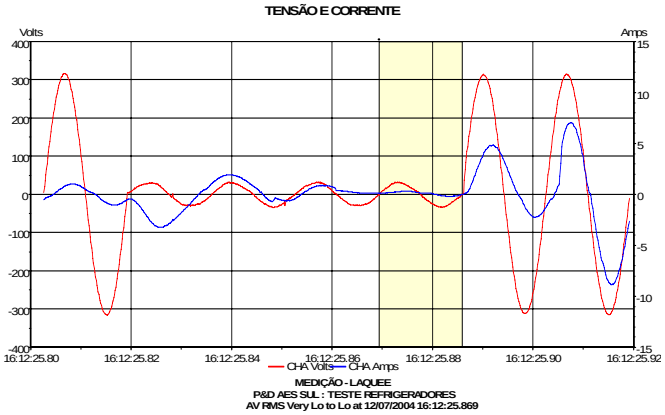


FIGURA 9 - Tensão e corrente do refrigerador durante afundamento de tensão

As curvas obtidas para as duas amostras são apresentadas na figura 10. Para este tipo de equipamento, a principal disfunção observada foi relacionada à atuação do relé de proteção térmica durante a estabilização das tensões aplicadas e sobrecorrentes resultantes. Os resultados mostram que ocorreram variações em termos da sensibilidade frente aos afundamentos, apesar de que as amostras das geladeiras avaliadas são da mesma marca e modelo.

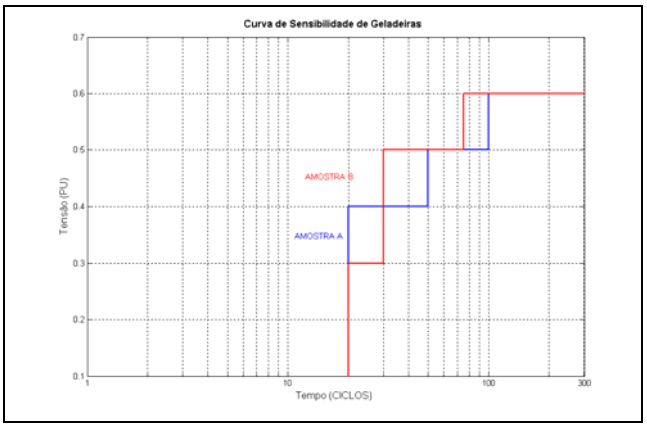


FIGURA 10 - Curvas de sensibilidade dos refrigeradores

4.5 Forno de microondas

Para este tipo de equipamento foram submetidas duas amostras de fabricantes diferentes as variações de tensão. Diferentemente dos casos anteriores, onde independente da marca e modelo, as formas de onda apresentavam similaridade, neste caso, para os dois fornos de microondas, foram obtidas correntes distintas. Sendo assim, as figuras 11 e 12 apresentam as tensões e correntes obtidas para as duas amostras, durante um dos eventos registrados no monitoramento. Fica evidente o diferente comportamento dos equipamentos, principalmente em regime permanente de operação das duas amostras de fornos de microondas avaliadas. As curvas de sensibilidade para os fornos de microondas são comparadas na figura 13.

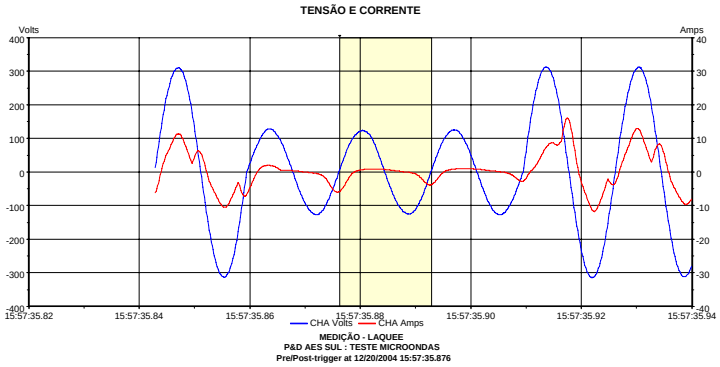


FIGURA 11 - Tensão e corrente do forno de microondas durante afundamento de tensão (amostra A)

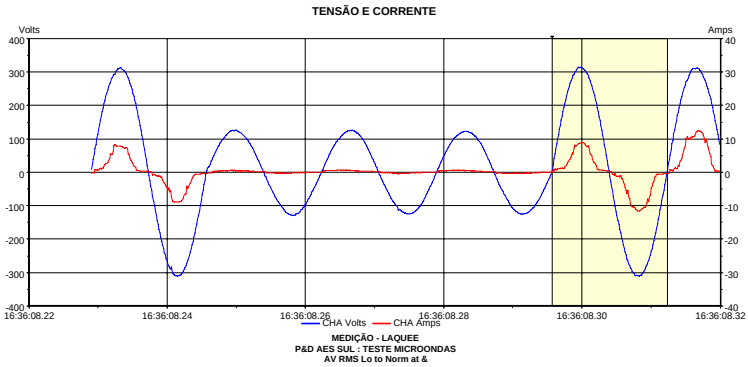


FIGURA 12 - Tensão e corrente do forno de microondas durante afundamento de tensão (amostra B)

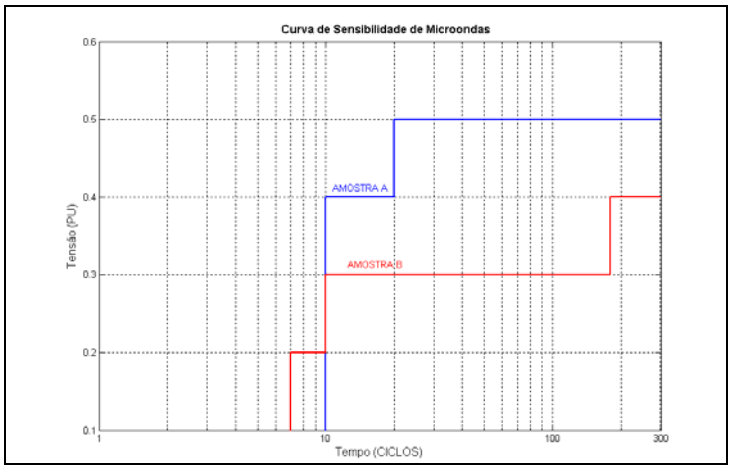


FIGURA 13 - Curvas de sensibilidade dos fornos de microondas

5.0 - CURVAS DE SENSIBILIDADE

Um resumo contendo as curvas de sensibilidade de todos os equipamentos avaliados é apresentado como se segue. Em função do número de curvas, adotou-se para os equipamentos anteriores, somente a amostra que resultou na curva de maior sensibilidade, ou seja, representada pelo maior valor de tensão em que cada tipo de equipamento apresentou algum tipo de disfunção (6).

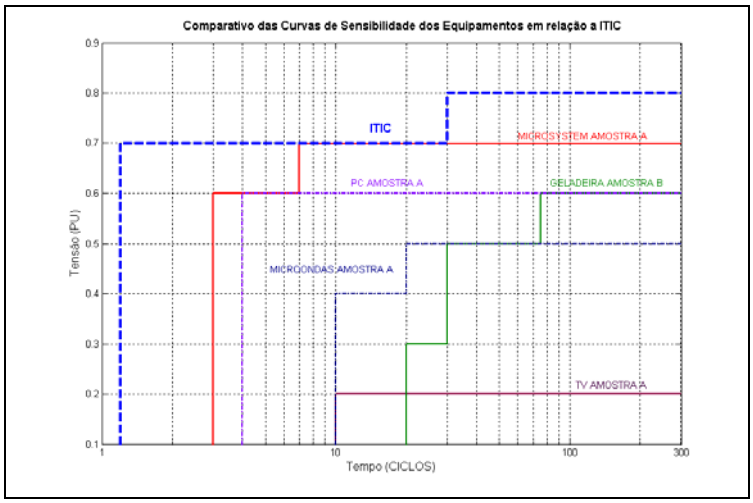


FIGURA 14 - Comparação das curvas de sensibilidade

## 6.0 - CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um levantamento das curvas de sensibilidade de diversos equipamentos eletro-eletrônicos, amplamente utilizados no setor residencial. Salienta-se que a obtenção dos parâmetros de sensibilidade exige acompanhamento permanente durante a realização dos ensaios. Diferentemente do setor industrial, o impacto dos equipamentos eletrodomésticos está relacionado principalmente com o desconforto ou perda de informações. Neste particular, torna-se necessário comentar que durante todos os testes realizados nenhuma das amostras apresentou queima ou falhas permanentes em função da aplicação dos afundamentos de tensão. Foram apresentadas as formas de onda antes, durante e após as variações de tensão de curta duração. Os tipos de equipamentos eletrodomésticos sob teste foram os televisores, microcomputadores, aparelhos de som do tipo portátil, refrigeradores e fornos de microondas. Outros equipamentos como DVD's, vídeos cassetes, rádios relógios e outros deverão ser incluídos, obtendo uma gama completa da sensibilidade dos equipamentos eletrodomésticos frente aos afundamentos de tensão. Dentre todos os equipamentos, os aparelhos de som, que utilizam transformadores na fonte de entrada, mostraram uma maior susceptibilidade frente aos afundamentos, apresentando disfunções para maiores valores eficazes, ou seja, os mais sensíveis da análise. De qualquer modo, pode-se considerar que ainda permaneceram dentro da curva de referência adotada (ITIC). Por outro lado, os aparelhos televisores apresentaram o melhor comportamento, com significativa imunidade aos afundamentos de tensão. As fontes utilizadas na execução dos ensaios permitiram verificar o comportamento dos diversos equipamentos, em conjunto com o sistema de monitoramento, observando-se detalhes durante a operação sob condições não ideais. A metodologia utilizada nos ensaios permitiu o levantamento das curvas de cada tipo de equipamento para análise comparativa, fornecendo uma contribuição ao tema do desempenho de equipamentos sob variações na qualidade de energia.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Dugan, R.C.; McGranaghan, M.; Beaty, H.W., "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill, 1996.

(2) ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico - Procedimentos de Rede - "Submódulo 2.2: Padrões de Desempenho da Rede Básica", 2002.

(3) Bollen, M.H.J., "Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions, Piscataway, IEEE Press, 2000.

(4) IEEE, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality", IEEE Standard 1159 - 1995.

(5) IEEE, "IEEE Guide for Service to Equipment Sensitive to Momentary Voltage Disturbances", IEEE Standard 1250- 1995.

(6) LAQUEE/UNIJUÍ, RT P&D AES SUL - Relatório Técnico: "Sensibilidade de Equipamentos Frente a Afundamentos de Tensão", 2004.