

Testes de Sobretensões em Equipamentos Eletro-Eletrônicos. A Quem Cabe o Ônus das Possíveis Avarias?

H.R.P.M. de Oliveira, *AES Sul*, N.C. de Jesus, *UNIJUI*, M. L. B. Martinez, *UNIFEI*

Resumo--Apresenta-se neste trabalho os principais resultados de testes de sobretensões em equipamentos eletrônicos. Foram realizados ensaios por meio da aplicação de sobretensões impulsivas bem como na frequência industrial em televisores novos e usados, para verificação das condições de operação e suportabilidade dos equipamentos. O estudo visa contribuir ao termo de indenizações, fornecendo informações e um levantamento a título de critérios, limites e procedimentos técnicos para análise do tema de solicitações de ressarcimentos de danos elétricos em equipamentos. Sob este mesmo foco e considerando aspectos gerais de suas complexidades e particularidades são discutidas algumas características sobre o impacto de possíveis avarias e a relação entre os agentes envolvidos.

Palavras-Chaves - Sobretensões, Equipamentos Eletro-Eletrônicos, Suportabilidade, Ressarcimentos, Qualidade de Energia.

I. INTRODUÇÃO

A Avaliação da operação de equipamentos submetidos a perturbações decorrentes da degradação da qualidade de energia é de fundamental importância ao estabelecimento de procedimentos e critérios técnicos no que tange ao desempenho e limites de funcionamento. Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos neste sentido, porém, geralmente, analisam-se os parâmetros de sensibilidade dos equipamentos frente a perturbações e distúrbios, os quais, em sua grande maioria, tratam do impacto de harmônicos, desequilíbrios e afundamentos de tensão, amplamente justificativos no ambiente industrial. Entretanto, sob o prisma de proteção e suportabilidade de equipamentos residenciais, o parâmetro relativo as sobretensões torna-se o principal ponto a ser investigado. Dessa maneira, o objetivo principal do trabalho é o levantamento da suportabilidade de equipamentos submetidos a sobretensões, contribuindo em termos técnicos

ao tema de ressarcimento de danos elétricos em equipamentos instalados em unidades consumidoras. Inicialmente, foram propostos ensaios e solicitações de regime permanente em televisores de diferentes marcas e com tempos determinados de vida útil. Os procedimentos foram elaborados no sentido de submeter às amostras a sobretensões na frequência industrial por diversos patamares de tensões e períodos de aplicação, objetivando determinar os reais limites de operação dos componentes. Da análise, verificou-se que tanto os modelos novos como os usados apresentam, relativamente, um alto grau de suportabilidade a estas sobretensões, com limitação na fonte de entrada, principalmente em função da especificação da tensão do filtro capacitivo. Por outro lado, tomando-se como base uma forma de onda transitória esperada em sistemas de distribuição, quando da parcela principal de transferência direta em função da atuação de pára-raios ZnO instalados no primário do transformador, realizou-se ensaios seqüenciais de sobretensões impulsivas em cada amostra. Em todos os ensaios os equipamentos eletro-eletrônicos continuaram a operar quando conectados a rede com tensão nominal. Deste modo, realizou-se um levantamento experimental do impacto de sobretensões transitórias e em regime na operação de televisores. Tomando-se como base os resultados obtidos em termos de suportabilidade e os recentes fatores explícitos em resolução específica sobre ressarcimentos de equipamentos por danos elétricos, apresentam-se considerações sobre o problema das avarias de equipamentos, bem como o envolvimento entre as partes no que refere ao estabelecimento de procedimentos e critérios técnicos para análise de solicitações por parte de consumidores.

II. CONSIDERAÇÕES SOBRE RESSARCIMENTO DE DANOS ELÉTRICOS EM EQUIPAMENTOS DE CONSUMIDORES

No momento atual, com a utilização maciça de dispositivos semicondutores e circuitos integrados nos aparelhos e equipamentos eletro-eletrônicos industriais, comerciais e residenciais, ocorre naturalmente uma maior probabilidade de falhas à medida que os mesmos se tornam mais sensíveis. Os danos que, predominantemente, têm afetado aos equipamentos dos consumidores podem ser desde uma falha operacional até a falha permanente, quando de possíveis avarias e/ou queimas de componentes dos equipamentos [2]. O tema é relacionado às perturbações na qualidade de energia em função dos fenômenos eletromagnéticos. Este problema tem sido objeto

This work was developed by the project "Power Quality", making part of the program of Research & Development of the Brazilian Electric Sector, driven by National Agency of Electric Power (ANEEL), and financed by AES Sul - Distribuidora Gaúcha de Energia S/A.

H. R. P. M. de Oliveira is with AES Sul - Distribuidora Gaúcha de Energia S/A, São Leopoldo/RS, Brazil (e-mail: hermes.oliveira@aessul.com)

N. C. de Jesus is with Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - Unijui, Ijuí/RS, Brazil (e-mail: ncj@unijui.tche.br)

M. L. B. Martinez is with Universidade Federal de Itajubá, Unifei, Itajubá/MG, Brazil (e-mail: martinez@iee.efei.br)

de crescente atenção do setor elétrico em nível mundial devido à difusão de dispositivos eletro-eletrônicos e seu grau de vulnerabilidade frente às perturbações na tensão de alimentação. Salienta-se que a questão de ressarcimento por danos elétricos perpassa por aspectos técnicos, legais e econômicos, além de ser dependente de inúmeras variáveis na determinação das causas e conseqüências. Enquanto vários países já implementaram, regras claras que definem responsabilidades pelo provimento de sistemas de proteção, no Brasil, ainda não foram estabelecidas estas responsabilidades, sendo alvo de formulação questões de determinação em termos de deferimento ou não, sem evidências de ações direcionadas a redução dos índices de danos pela agência reguladora [2]. Por outro lado, seria oportuno direcionar os esforços no sentido de trilhar para condições que pudessem esclarecer as principais questões, como quais os casos indenizáveis ou não, com máximo embasamento técnico, como exemplo, por uma classificação adequada das causas prováveis, dependendo das condições e características dos eventos, como sugerido em [3].

Cabe mencionar que por muitas vezes a insatisfação dos consumidores se agrava pelo fato de não terem sido claramente informados do risco natural de danos e das formas de prevenção, estando por outro lado, mais conscientizados quanto aos seus direitos e código de defesa do consumidor. Como fato concorrente ao aumento dos pedidos de indenizações, pode-se destacar, adicionalmente, a falta de melhores orientações por fabricantes dos aparelhos quanto aos riscos de serem danificados se não forem adequadamente instalados, bem como apresentar claramente nos manuais os níveis de tolerância a perturbações na qualidade de energia. Os pedidos de indenizações por danos de aparelhos eletro-eletrônicos se tornaram um grande problema da sociedade brasileira, com aumento expressivo do número de solicitações, gerando ao mesmo tempo, o aumento de conflitos entre consumidores e concessionárias. O que se procura é o equilíbrio entre os direitos e deveres dos consumidores nas exigências por um alto grau de qualidade do fornecimento por parte das concessionárias. Recentemente foi publicada a resolução da ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Resolução N° 61 de 29/04/2004), a qual trata das disposições relativas ao ressarcimento de danos elétricos em equipamentos instalados em unidades consumidoras, causados por perturbação ocorrida no sistema elétrico [1]. No âmbito desta resolução, além das definições básicas, define-se ressarcimento de dano elétrico como reposição do equipamento elétrico danificado na mesma condição de funcionamento anterior a ocorrência constatada no sistema elétrico ou, alternativamente, indenização em valor monetário equivalente ao que seria necessário para fazê-lo retornar à referida condição, ou, ainda, substituição por equipamento equivalente. A mesma resolução só se aplica ao ressarcimento de dano elétrico em equipamentos pertencentes a consumidores alimentados diretamente pela rede de distribuição pública em baixa tensão ($U_N < 2,3 \text{ kV}$). Além disso, não abrange ressarcimento por danos morais, lucros cessantes ou outros danos emergentes. Estabelece também as condições básicas para a solicitação de ressarcimento. No item de procedimentos em seu Art. 5° e parágrafo único cita que na comprovação do nexo de causalidade devem ser considerados os eventos prováveis causadores do dano, entre

outros, descargas atmosféricas e sobretensões oriundas da energização de circuitos, os quais não eximem a concessionária da responsabilidade do ressarcimento. Porém, somente estabelece os procedimentos e prazos quanto à análise das solicitações. Em seguida, no item dos limites de responsabilidades, em seu Art.10°, determina que a concessionária responde, independente da existência de culpa, pelos danos elétricos causados a equipamentos. A mesma só poderá eximir-se do ressarcimento quando comprovar a inexistência de nexo causal, quando o consumidor providenciar por sua conta e risco, a reparação dos equipamentos, ou quando comprovar que o dano foi ocasionado pelo uso incorreto do equipamento ou por defeitos gerados a partir das instalações internas da unidade consumidora. Finalmente, estabelece as disposições gerais, fixando a necessidade de normas internas sob os procedimentos para ressarcimento de danos. Observa-se que não foram estabelecidos critérios técnicos sob quais os eventos seriam indenizáveis ou não. Basicamente, quanto a dano nas condições da resolução, pode-se visualizar as sobretensões como fenômeno principal, partindo ao encontro da pergunta final do título do trabalho. A princípio, de quem é a culpa pelos estragos provocados por descargas atmosféricas nos sistemas elétricos e a quem cabe o ônus de possíveis avarias? Aliás, existe algum culpado, seria a concessionária ou o consumidor, ou ainda, cada qual deveria zelar pelo seu patrimônio. A origem de descargas por outro lado é de difícil determinação, podendo afetar equipamentos por outro meio que não a propagação pelo sistema elétrico. Tem-se, contudo, um dilema ao se tratar de solução tecnológica atual em termos de proteção frente a sobretensões, por meio da instalação de equipamentos no ponto de entrega, ou seja, quem é responsável pelo custo dos DPS's. Neste sentido, e devido a importância da inclusão desta alternativa, fica claro a falta de especificação da resolução sobre as condições técnicas das instalações elétricas. A solução citada em termos de proteção de equipamentos é contemplada na norma nacional (NBR 5410), também em sua revisão [3], a qual prescreve o uso de DPS, a não ser em termos de omissão, assumindo o risco calculado. Entretanto, em nenhuma hipótese a proteção deve ser dispensada se essas conseqüências puderem resultar em risco direto ou indireto à segurança das pessoas. Portanto, se o consumidor decide dispensar o uso de DPS, optando por sujeitar seus equipamentos ao risco de sobretensões destrutivas, como poderia ainda pleitear o ressarcimento por uma omissão conscientemente assumida. A seguir, têm-se os resultados de ensaios de sobretensões em equipamentos eletro-eletrônicos, visando fornecer dados adicionais à luz do problema de indenizações em termos de levantamento de limites reais e níveis de suportabilidade para televisores novos e usados. É notória a expansão natural da pergunta original.

III. RESULTADOS DOS ENSAIOS EM TV'S

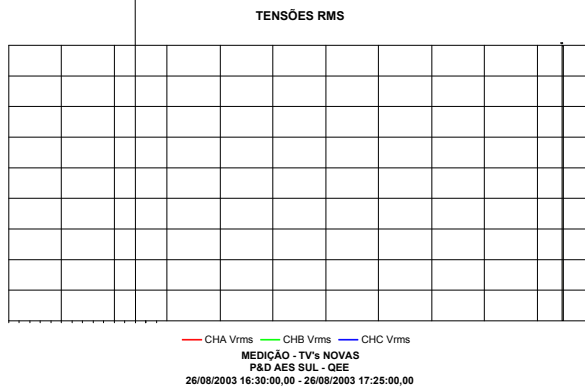
Para um levantamento dos níveis de susceptibilidade de equipamentos eletro-eletrônicos sob o impacto de sobretensões, foram realizados preliminarmente ensaios em televisores com diferentes marcas e tempo de vida útil, sob solicitações de sobretensões em regime permanente e transitório. Os principais resultados obtidos, incluindo alguns testes destrutivos são apresentados como se segue [5].

A. Caso 1 - Sobretensões em Regime

Nestes primeiros ensaios, aplicou-se sobretensões a 60 Hz em seis amostras de TV's de 20" ($U_N = 220V$), incluindo três aparelhos novos e três usados, na faixa de 5 a 8 anos, de diferentes modelos e fabricantes. A seguir, tem-se um resumo dos dados obtidos durante os testes, nos quais adotou-se aplicações seqüenciais de sobretensões de 1,05 até 1,8 pu, com tempo de exposição variando em 30 seg, 1 min. e 5 min.

1) Ensaio em TV's Novas

Apresenta-se na figura 1 o comportamento das tensões durante o ensaio de maior severidade para os aparelhos sob teste (faixa de 1,5 a 1,8 pu), mantendo-se as amostras com sobretensões durante um período total de 5 minutos, sendo que neste caso, verificou-se falhas de operação motivadas por queimas de componentes em duas das amostras.



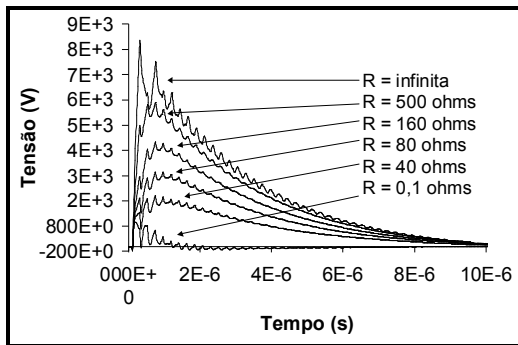


Figura 10 - Tensões transitórias de referência

Considerando a relevância do trabalho descrito em [4], adotou-se como base as respectivas formas de onda, assumindo que as amplitudes das sobretensões podem ser tipicamente transferidas as unidades consumidoras, apesar da forte dependência com valores de aterramento impraticáveis em situações normais. Partindo-se como levantamento inicial da suportabilidade dielétrica de televisores frente a Impulso Atmosférico, foram realizados ensaios no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá - LAT/UNIFEI [6]. Os impulsos aplicados estão de acordo com as maiores sobretensões, ou seja, considerando resistências de aterramento do transformador de 160 Ω , 500 Ω e teoricamente infinito, as quais resultam em tensões de pico próximas a 4, 6 e 8 kV, respectivamente. Inicialmente as amostras das TV's foram conectadas a rede de baixa tensão, para verificação de sua operação sob condições normais. Aplicou-se um impulso de polaridade positiva de valor reduzido com o gerador de impulsos (HAFFELLY TRENCH), na conexão 1S/6P, para verificação e calibração da forma de onda do impulso, a título de futuras comparações e em conformidade com as tensões de referência. Após a verificação e calibração das sobretensões, foram aplicados 5 impulsos consecutivos com valores próximos a 4 kV e, entre cada aplicação, ligava-se o televisor para constatar o seu pleno funcionamento. O mesmo procedimento foi adotado para tensões de referência de 6 e 8 kV, repetindo-se as seqüências de cinco impulsos subsequentes. Entre as aplicações dos impulsos de diferentes valores e, após as aplicações finais de 8 kV, foram aplicados impulsos de valores reduzidos chamados intermediários, para verificação de possíveis discrepâncias e alterações das respostas. Na realização dos ensaios com sobretensões transitórias, pode-se observar que, cada aparelho teve aplicado aos seus terminais 30 impulsos. Preliminarmente foram realizados ensaios com o equipamento desenergizado da rede e, posteriormente procedeu-se no sentido de aplicar as seqüências de sobretensões impulsivas estando os televisores conectados a rede elétrica. Para tanto, o circuito de teste foi rearranjado de forma a prever isolamento adequada, sem comprometer os objetivos dos ensaios [6].

1) Ensaios em TV's Novas

Os resultados a serem apresentados em termos dos 5 impulsos seqüenciais de referência são para a máxima magnitude, ou seja, valores próximos a 8 kV, bem como os de valores reduzidos, são relativos aos obtidos quando o equipamento sob teste se encontrava energizado simultaneamente pela rede, sendo que as amostras já tinham sido submetidas aos mesmos impulsos quando na condição a vazio (desenergizado). As figuras 11, 12 e 13 ilustram as seqüências da primeira a quinta aplicações de sobretensões nas três TV's novas, bem como as respostas ao impulso reduzido, inicial e final, a título de comparação entre os equipamentos.

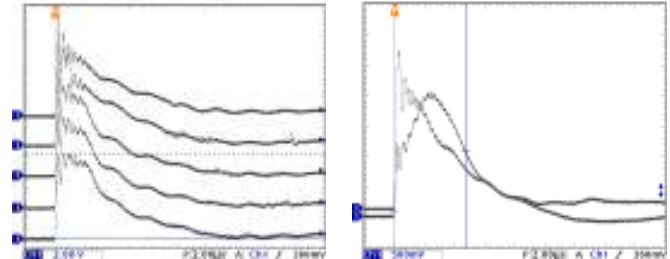


Figura 11 - Seqüência de sobretensões impulsivas de 8 kV aplicadas as Tv's novas e respostas a impulsos reduzidos iniciais e finais (Amostra 1-N)

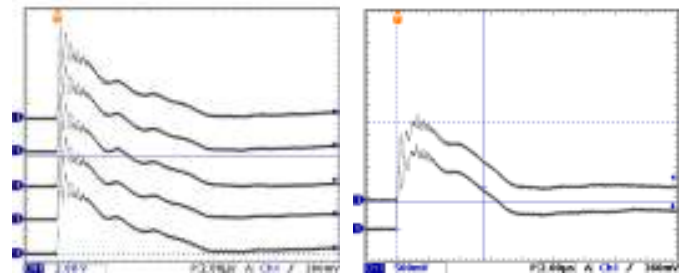


Figura 12 - Seqüência de sobretensões impulsivas de 8 kV aplicadas as Tv's novas e respostas a impulsos reduzidos iniciais e finais (Amostra 2-N)

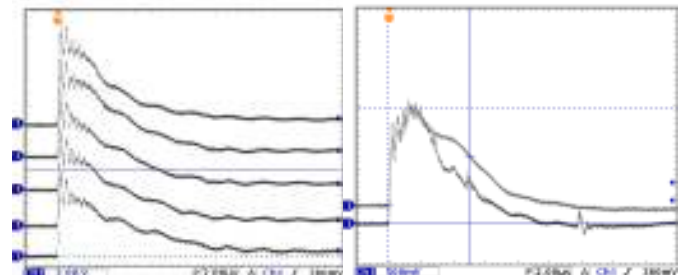


Figura 13 - Seqüência de sobretensões impulsivas de 8 kV aplicadas as Tv's novas e respostas a impulsos reduzidos iniciais e finais (Amostra 3-N)

Analisando-se os resultados em termos comparativos, as três TV's novas, apresentaram comportamentos distintos durante e após a aplicação de sobretensões. Verifica-se que a Amostra 2-N apresentou excelente comportamento, sem quaisquer mudanças significativas em termos de formas de onda. Aliás, na comparação com as amostras restantes, tem-se uma avaliação clara em termos de desempenho global, indicando um projeto adequado e a utilização provável de componentes com características tecnicamente interessantes frente às solicitações de sobretensões impulsivas.

2) Ensaios nas TV's Usadas

Seguindo as mesmas condições dos impulsos, considerados como referência, na condição a vazio e em carga, foram aplicadas sobretensões impulsivas de 4, 6 e 8 kV, em dois equipamentos com cerca de 10 anos de utilização, também de fabricantes distintos. Em uma das amostras não se tem o registro dos valores intermediários, com tensões reduzidas.

Entretanto, este fato não comprometa a análise em termos de limites de operação. A figura 14 (a) mostra as respostas da primeira TV com determinado tempo de operação (Amostra 4-U) aos ensaios com tensões máximas de 8 kV, aplicadas por cinco vezes consecutivas, estando o equipamento conectado a rede de alimentação. Cabe lembrar novamente, as solicitações anteriores na condição a vazio, totalizando 30 aplicações por amostra, como no caso anterior. Já a figura 14 (b), ilustra as tensões durante o ensaio de 8 kV para a segunda amostra dos equipamentos usados, rotulada aqui de Amostra 5-U. Os resultados desta amostra, quando da aplicação de impulsos reduzidos no início e término dos ensaios das sobretensões impulsivas de 8 kV são mostrados na figura 15, na qual percebe-se uma alteração significativa do comportamento.

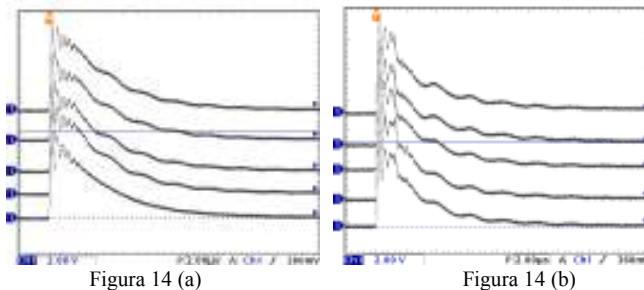


Figura 14 - Seqüência de sobretensões impulsivas de 8 kV aplicadas as Tv's usadas (a) - Amostra 4-U (b) - Amostra 5-U

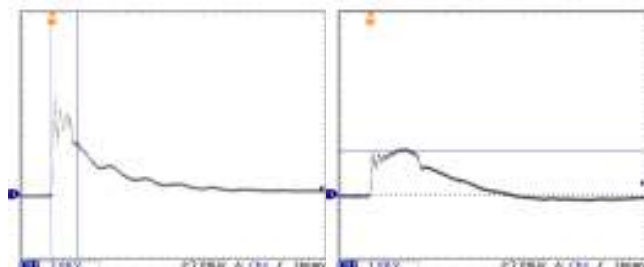


Figura 15 - Respostas a impulsos reduzidos iniciais e finais (Amostra 5-U)

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho objetivou fazer uma reflexão sob os aspectos envolvidos na problemática de ressarcimentos de equipamentos conectados a rede elétrica em função de possíveis avarias motivadas por sobretensões. Para tanto, descreveram-se as principais disposições apontadas em legislação específica sobre o tema. Visando fornecer subsídios e contribuição, foram apresentados os resultados de ensaios e sobretensões em equipamentos eletro-eletrônicos, mais especificamente televisores, os quais sem dúvida apresentam as maiores ocorrências nos pedidos de ressarcimentos. Deste modo, foram levantados limites reais de operação em regime permanente, por meio de testes destrutivos, os quais indicaram,

a priori, o componente determinante quando da ocorrência de falha permanente. Sob os ensaios de impulsos atmosféricos, conclui-se que para os níveis adotados, em nenhuma das aplicações foi observada a ocorrência de descargas internas e/ou externas, sendo que após todas as seqüências de solicitações de impulsos, os equipamentos sob teste (TV's), quando conectados novamente à rede, operaram de maneira adequada, sem quaisquer anormalidades, podendo-se afirmar que os limites de suportabilidade frente a sobretensões de origem atmosférica são superiores aos analisados e não foram violados durante os testes aqui apresentados. Ensaios similares com maior severidade e em outros eletro-eletrônicos, na busca dos reais limites estão em fase de execução, cujos resultados iniciais permitem dizer que os níveis de suportabilidade se mostraram maiores que os esperados. Salienta-se para todos os agentes envolvidos, que não pode existir qualidade de energia sem instalação de qualidade e, sendo assim, o problema é dependente de modo conjunto. Torna-se imperativo seguir as prescrições das normas técnicas de instalações elétricas, as quais incluem uma solução técnica para o problema, no sentido de redução do número de ocorrências por meio da aplicação de sistemas de proteção dedicados (DPS). Outras regras igualmente relevantes também são estabelecidas na mesma norma, como o conceito de equipotencialização principal, necessário ao estabelecimento de condições adequadas de desempenho, justamente quanto aos fatores abordados e também em termos de segurança das instalações consumidoras. A conscientização de fabricantes, concessionárias, consumidores e do próprio órgão regulador, deveria ter consonância, de modo a esclarecer que o ônus do ressarcimento deve ser preferencialmente reduzido com alternativas técnica e economicamente viáveis para ambas as partes. Neste aspecto, a consulta das principais referências sobre o tema, bem como iniciativas já implantadas em nível mundial mostram alguns caminhos possíveis para o equacionamento do problema, com regras claras quanto as reais alternativas na busca pelo equilíbrio tão desejado entre consumidores e concessionárias.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Resolução N° 61 ANEEL, "Ressarcimento de Danos Elétricos em Equipamentos Elétricos Instalados em Unidades Consumidoras, Causados por Perturbação Ocorrida no Sistema Elétrico", 29 de Abril de 2004.
- [2] Jucá, A. S., "Avaliação do Relacionamento entre Consumidores e Concessionárias na Solução de Conflitos por Danos Elétricos: Proposta de Adequação", Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), São Paulo, 2003.
- [3] Souza, J. R. A., Cunha, J. G., Modena, J., "Contribuição Técnica - Audiência Pública N° 029 ANEEL", Brasília, Outubro de 2003.
- [4] De Conti, A.R.; Pereira, C.; Visacro, S., "Qualidade de Energia: Práticas de Proteção dos Consumidores", IX ERLAC - Encontro Regional Latino Americano da Cigré, Foz do Iguaçu/PR, Maio de 2001.
- [5] LAQUEE/UNIJUÍ - Relatório Técnico, "Resultados de Testes de Sobretensões em Regime na Operação de Equipamentos Eletro-Eletrônicos", Ijuí/RS, Agosto de 2003.
- [6] LAT/UNIFEI - Relatório Técnico, "Suportabilidade Dielétrica de Televisores Frente a Impulso Atmosférico", Itajubá/MG, Outubro de 2003.