

	<p><b>XX SNPTEE SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</b></p>	<p>Versão 1.0 XXX.YY 22 a 25 Novembro de 2009 Recife - PE</p>
---	--	---

**GRUPO X**

**GRUPO DE ESTUDOS DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GDS**

**ANÁLISE DA MONITORAÇÃO E ENSAIOS DE SURTOS ELÉTRICOS NO SISTEMA DE  
TELECOMUNICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS**

<b>Ivandro A. Bacca*</b>	<b>Henry L. Lopez</b>	<b>Alexandre R. Aoki</b>	<b>Daniel A. Martins</b>	<b>Leonardo Lipinski</b>
<b>LACTEC</b>	<b>LACTEC</b>	<b>LACTEC</b>	<b>LACTEC</b>	<b>LACTEC</b>

**Helmut Neubauer**

**COPEL**

**RESUMO**

A ocorrência de descargas atmosféricas diretas ou em locais próximos a linhas de telecomunicações geralmente resulta em sobretensões nestas linhas. Estas sobretensões se propagam pelo sistema, incidindo em aparelhos conectados a este sistema, podendo causar danos ou até mesmo sua destruição. Este trabalho apresenta os resultados da monitoração em campo de equipamentos eletro-eletrônicos que possuem terminais de telecomunicações e terminais de energia elétrica, assim como, resultados obtidos em laboratório durante ensaios de suportabilidade de equipamentos eletro-eletrônicos similares aos monitorados em campo.

**PALAVRAS-CHAVE**

Surtos de tensão, equipamentos eletro-eletrônicos, suportabilidade elétrica, modo comum, modo diferencial.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

As indenizações de consumidores residenciais e comerciais devido a danos em equipamentos causam grandes prejuízos financeiros às concessionárias de energia. Na grande maioria dos casos, as queimas de equipamentos de consumidores são atribuídas a surtos nas redes de distribuição das concessionárias de energia. No entanto, danos em equipamentos eletro-eletrônicos podem também ser causados por surtos em linhas de comunicação.

Os surtos de tensão devidos a descargas atmosféricas podem ser considerados como a principal causa de danos em equipamentos (1), principalmente para os que contêm componentes eletrônicos. Estes surtos são originados pela incidência de descargas atmosféricas diretas ou indiretas em linhas aéreas de energia e/ou telecomunicação e, dessa forma, podem ser transmitidos pelos cabos de alimentação e/ou linhas de telecomunicações, respectivamente, aos equipamentos terminais do sistema (2), (3), (4), (5).

Quando os aparelhos ficam expostos a diferenças de tensões entre as diferentes portas (energia e telecomunicação) durante a ocorrência de surtos, danos podem ocorrer no mesmo. As conseqüências que estes surtos terão sobre o equipamento dependem basicamente da sua intensidade e da configuração do sistema de entrada das linhas de telecomunicação e energia. Uma das topologias mais prejudiciais, contudo, comumente encontrada na prática, ocorre quando as entradas da linha de telecomunicação e a linha de energia estão localizadas em partes opostas da construção (6), (7), (8).

(\*)BR-116 – KM 98 – S/Nº – Centro Politécnico da UFPR, Caixa Postal: 19067– CEP 81531-980 Curitiba, PR, – Brasil  
Tel: (+55 41) 3361-6134 – Fax: (+55 41) 3361-6007 – Email: angelo.souza@lactec.org.br

Vários trabalhos foram realizados no intuito de determinar os efeitos que surtos de tensão, advindos pelo sistema de energia, causam em equipamentos eletro-eletrônicos (9). Porém, quando se analisa os danos causados nestes equipamentos por surtos de tensão advindos pelo sistema de comunicação não são muitos os estudos encontrados, principalmente em nível nacional.

Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo apresentar os resultados obtidos de monitorações em campo de equipamentos eletro-eletrônicos. Essas monitorações foram realizadas entre os canais da linha de telecomunicação, o sistema de retorno da linha de telecomunicação e o neutro do sistema de energia elétrica. Além disso, foram realizados ensaios laboratoriais em equipamentos similares aos monitorados. Nestes ensaios, foram aplicados surtos de tensão (padronizados) diretamente aos terminais de telecomunicação e dessa forma, foi testada a suportabilidade desses equipamentos.

Espera-se contribuir assim com a análise da suportabilidade dos equipamentos eletro-eletrônicos sob o foco dos seus terminais de telecomunicação e demais componentes desse sistema, interno ao equipamento, excluindo-se dessa forma problemas advindos pelo sistema de energia. Os resultados e conclusões se aplicam diretamente na análise de pedidos de ressarcimento por danos elétricos nestes equipamentos por parte das concessionárias de energia elétrica, uma vez que, os danos causados em equipamentos podem ser ocasionados por problemas advindos do sistema de telecomunicação e não do sistema de energia.

## 2.0 - MONITORAÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELETRO-ELETRÔNICOS

A monitoração dos consumidores tem como objetivo principal verificar as características dos possíveis surtos que possam incidir nos aparelhos eletroeletrônicos através de seus terminais de telecomunicação. Este tipo de monitoração apresenta extrema dificuldade dado a aleatoriedade da ocorrência das descargas atmosféricas. Além disso, a pouca informação sobre monitorações de linhas de telecomunicação dificulta a configuração dos aparelhos de monitoração, que muitas vezes requerem uma topologia própria para este tipo de estudo (10).

Apesar desses e outros problemas enfrentados, as monitorações em campo foram realizadas através da instalação de aparelhos de monitoração junto a consumidores residenciais. Esses aparelhos de monitoração consistem em osciloscópios, cujas principais características são uma largura de banda de 20 MHz e uma taxa de amostragem de 200 MSa/s. Ao todo foram instalados cinco aparelhos, resultando na monitoração de cinco consumidores diferentes.

Os consumidores foram escolhidos com o auxílio da Concessionária de Energia Elétrica local, uma vez que devido a necessidade da instalação permanente dos aparelhos de monitoração e, sua eventual operação, buscaram-se consumidores com afinidade ao assunto, portanto definiu-se que os aparelhos de monitoração fossem instalados nas residências de empregados da própria concessionária. Apesar dessa escolha, manteve-se certa aleatoriedade das suas localizações geográficas a fim de se monitorar a maior área possível do sistema.

O tempo para a realização das monitorações foi de alguns meses, durante os períodos do ano onde existe a maior probabilidade de ocorrência de descargas atmosféricas (Outubro/2008 até Março/2009). O tempo de monitoramento também consistiu em uma variável de dificuldade, pois verificou-se que, em trabalhos similares realizados, os tempos de monitoração chegaram a se estender por vários anos.

### 2.1 Consumidores Monitorados

Como mencionado anteriormente, ao todo foram monitorados cinco consumidores, que neste trabalho serão designados por A, B, C, D e E. As principais características que levaram a escolha destes consumidores são suas afinidades com a área de energia elétrica e o fato de possuírem equipamentos conectados a linha de telecomunicação. A Tabela 1 descreve os equipamentos monitorados nestes consumidores.

TABELA 1 – Equipamentos monitorados.

Consumidor	Equipamento
A	Receptor de TV analógico
B	Receptor de TV a Cabo
C	Modem ADSL
D	Televisão
E	Modem ADSL

## 2.2 Monitorações e suas Configurações

As linhas de telecomunicação monitoradas são basicamente de dois tipos, a saber: cabo coaxial e par de cabos metálicos. Nos aparelhos com terminais de comunicação do tipo cabo coaxial, ou seja, os receptores de TV e a televisão, os osciloscópios foram instalados conforme mostra a Figura 1 (a). Por sua vez, a monitoração dos aparelhos com entrada da linha de telecomunicação via linhas de pares metálicos, ou seja, os modems, foi realizada conforme ilustra a Figura 1 (b).

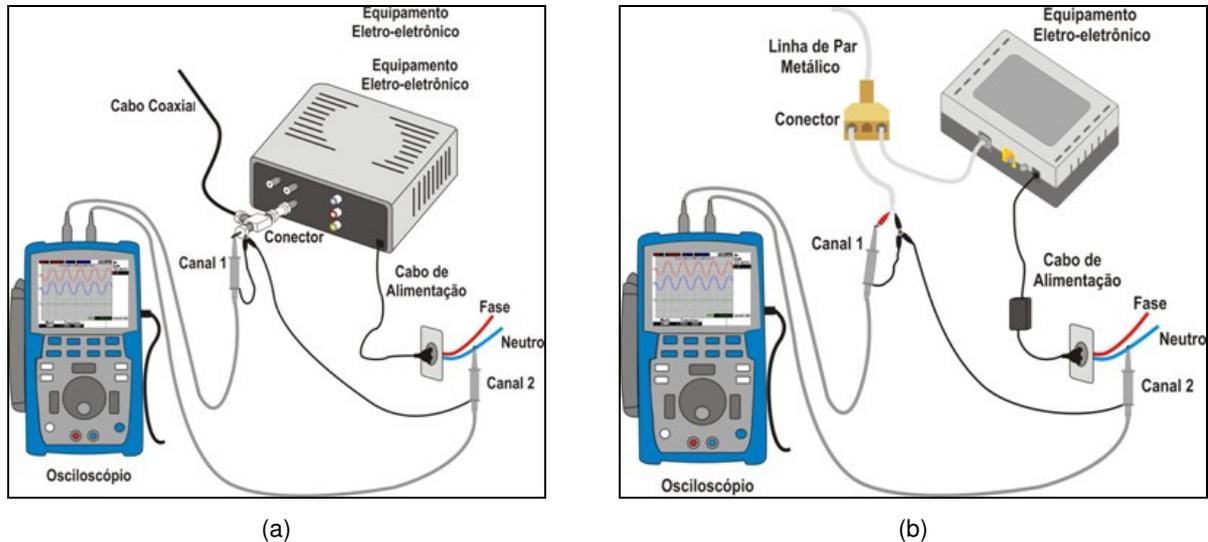


FIGURA 1 – Esquema da monitoração dos equipamentos com linhas de comunicação do tipo (a) coaxial e, (b) par metálico.

Como mencionado acima, as características e configurações do aparelho de monitoração são de fundamental importância nestas monitorações não controladas. Para tentar contornar esta situação, os osciloscópios foram configurados com vários níveis de disparo (*trigger*), que variaram numa faixa de 20 a 200 V, sendo todos disparados através do canal 1, ou seja, o canal conectado entre os terminais de telecomunicação.

Levando em consideração todos estes detalhes, foi verificado o registro de um evento, no consumidor E, no curto espaço de tempo monitorado. A Figura 2 ilustra o sinal registrado.

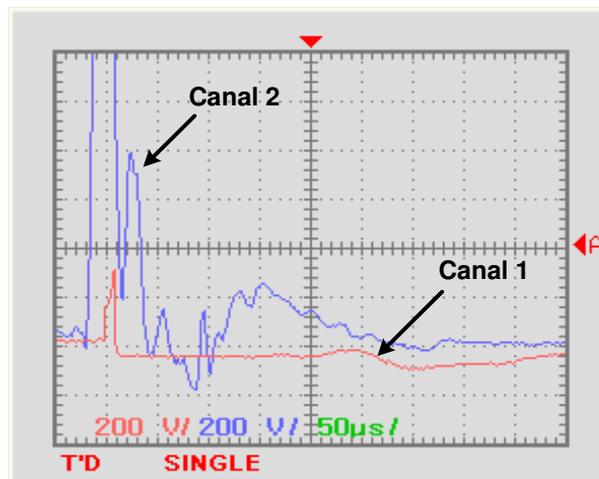


FIGURA 2 – Evento registrado no consumidor E.

Nas formas de onda dos surtos registrados, ilustrado na Figura 2, o canal 1 corresponde ao sinal em vermelho e, conseqüentemente, o canal 2 ao sinal em azul. A disposição desses canais foi realizada conforme ilustra a Figura 1, ou seja, o canal 1 corresponde a monitoração entre a linha de telecomunicação e o canal 2 corresponde a monitoração entre o neutro da instalação de energia elétrica e o retorno do sistema de telecomunicações. Com base neste registro podem-se verificar algumas características interessantes:

- A elevada magnitude do surto registrado pelo canal 2. Este canal, assim como o canal 1, foi configurado com 200 V/div e um DC Offset de 400 V, totalizando então uma escala de 1200 V. Como pode ser verificado, este surto ultrapassou essa escala, provavelmente em mais algumas centenas de volts;
- A forma de onda do surto do canal 2 apresenta características típicas de um surto oscilatório com um acentuado grau de atenuação. O tempo aproximado verificado da presença deste surto é de 350  $\mu$ s;
- O surto verificado no canal 1 apresenta uma magnitude reduzida, em torno de 300 V, o que foi suficiente para disparar o trigger do aparelho que estava configurado para 200 V;
- A forma de onda do surto do canal 1 também apresenta características especiais, uma vez que se pode verificar a rápida duração do surto propriamente dito e a presença de uma tensão residual de nível contínua após o término desse.

Uma possível interpretação desse registro é a indução do surto verificado no canal 2, ou seja, o terminal de telecomunicação, pelo surto registrado pelo canal 1. Esta análise se fundamenta nos seguintes detalhes:

- A baixa probabilidade de um surto com as características verificadas no canal 1 induzir um surto como o verificado pelo canal 2, tanto em magnitude como período;
- O relato do consumidor onde foram registrados esses sinais. Segundo o mesmo, o evento foi registrado em um dia sem a presença de tempestades. Isto resulta em uma remota possibilidade que o surto tenha advindo das linhas de telecomunicação.

Dessa forma, conclui-se que o surto incidente pelo sistema de energia tenha induzido o surto verificado no terminal de telecomunicação. Este conclusão, apesar de contrariar a expectativa que era verificar os possíveis surtos advindos pelo sistema de telecomunicação, mostra características do acoplamento existente entre os sistemas de energia e telecomunicação em aparelhos eletro-eletrônicos.

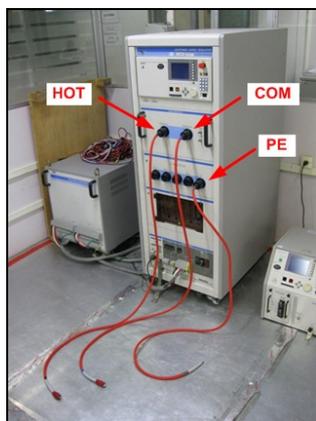
Vale destacar que para o presente registro, o equipamento eletro-eletrônico, no caso um modem ADSL, não apresentou alterações em seu funcionamento, ou seja, o equipamento não sofreu nenhum dano aparente.

### 3.0 - ENSAIOS NOS EQUIPAMENTOS ELETRO-ELETRÔNICOS

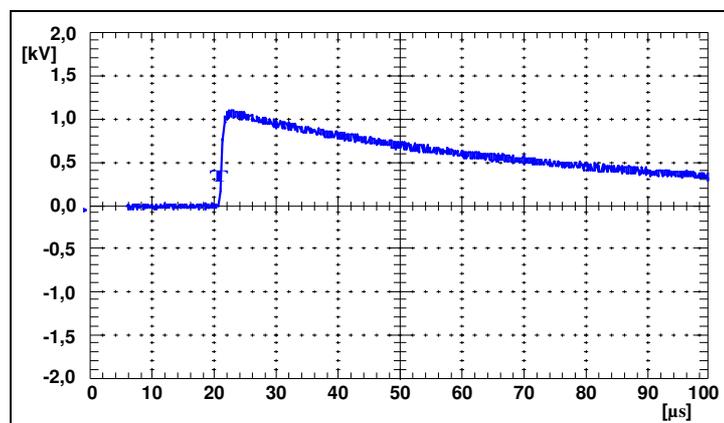
Os ensaios de laboratório tiveram o objetivo de verificar a suportabilidade dos aparelhos eletro-eletrônicos quando da aplicação de surtos de tensão nos seus terminais de telecomunicações. Nestes ensaios não se levou em consideração os condutores das linhas de telecomunicações, bem como, a existência de outros equipamentos eletro-eletrônicos conectados a montante do equipamento sob análise. Estas considerações foram levadas em consideração, pois as características dos surtos são influenciadas grandemente por tais configurações e, desta forma, sendo difíceis de serem reproduzidos em outros eventuais estudos. Além disso, o objetivo é avaliar a suportabilidade do equipamento e não do sistema como um todo. Dessa forma, nos ensaios realizados, os surtos aplicados aos equipamentos tiveram uma forma de onda padrão de 1,2/50  $\mu$ s, conforme a norma IEC 61000-4-5 (11).

#### 3.1 Características dos Ensaios

Para aplicação do surto de tensão aos aparelhos eletroeletrônicos foi utilizado um gerador de impulso marca *NoiseKen* modelo *LSS-15AX*. Este gerador tem capacidade de gerar um impulso de tensão de até 15 KV em vazio e um impulso de corrente de 7,5 KA quando curto-circuitado. Na Figura 3 (a) e (b) é ilustrado o gerador e a forma de onda de um impulso de 1 kV gerado por esse, onde *HOT* é a saída positiva, *COM* o retorno e *PE* o cabo de proteção.



(a)



(b)

FIGURA 3 – (a) Gerador de surtos e, (b) forma de onda 1,2/50  $\mu$ s produzida por este gerador.

A polaridade dos surtos aplicados foi positiva e negativa, sendo obtidas respostas análogas nos dois casos. Os ensaios realizados foram o de modo comum para todos os equipamentos e o modo diferencial para os televisores (entrada coaxial). O ensaio em modo comum é a modalidade de aplicação de um surto no equipamento de forma que sejam solicitados os circuitos e/ou isolamentos situados entre o terminal e a terra ou massa do equipamento. O ensaio de modo diferencial é definido como a modalidade de aplicação de um surto no equipamento de forma que sejam solicitados os circuitos e/ou isolamentos situados entre as duas linhas de um mesmo terminal de telecomunicações (linha A para linha B) ou entre dois terminais de energia elétrica (fase para neutro ou fase para fase) (12). A Figura 4 (a) e 4 (b) ilustra a configuração do modo comum e diferencial, respectivamente.

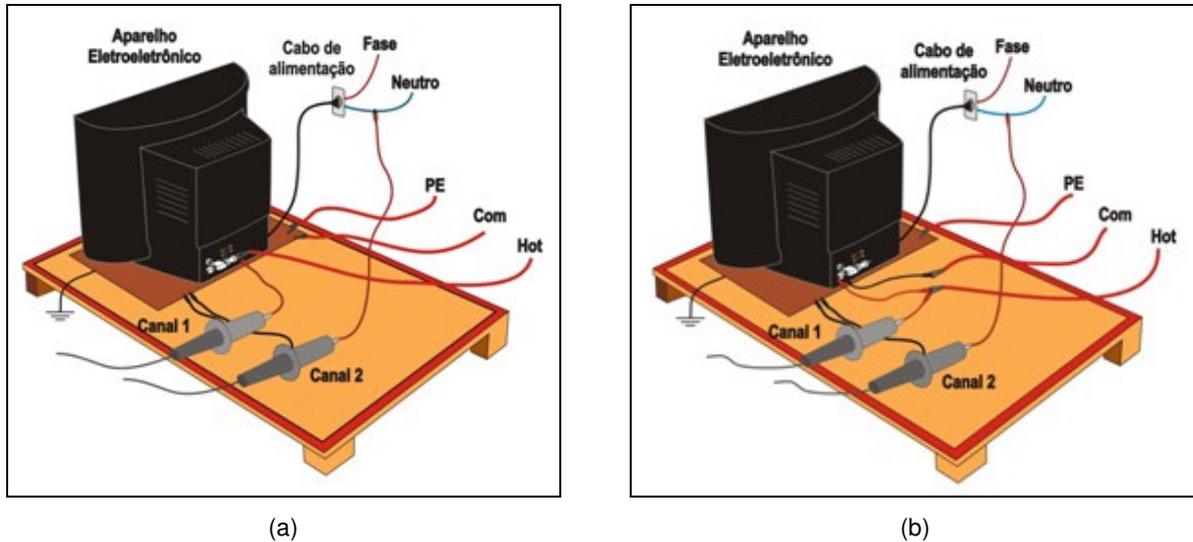


FIGURA 4 – Detalhes dos ensaios de (a) modo comum e, (b) modo diferencial.

Os equipamentos eletro-eletrônicos usados nos ensaios, bem como as magnitudes dos surtos de tensão aplicados estão descritos na Tabela 2. A escolha destes equipamentos foi resultado de pesquisa feita com a COPEL, através de revisão do listado de reclamações e ressarcimentos por equipamentos danificados.

TABELA 2 – Características dos aparelhos ensaios realizados.

Equipamento	Quantidades	Modo de Ensaio	Magnitude dos Surtos [kV]
Televisão	– 05 unidades	– Modo Diferencial	1,0 a 4,0 kV; $\Delta V^* = 0,2$ kV
		– Modo Comum	1,0 a 4,0 kV; $\Delta V = 0,2$ kV
Aparelho de DVD	– 03 unidades	– Modo Comum	0,6 a 4,0 kV; $\Delta V = 0,2$ kV
Modem ADSL	– 08 unidades	– Modo Comum	0,2 a 2,0 kV; $\Delta V = 0,2$ kV
Computador	– 01 unidades	– Modo Comum	0,6 a 4,0 kV; $\Delta V = 0,2$ kV

\*  $\Delta V$  – Incremento de tensão.

### 3.2 Resultados dos Ensaios Laboratoriais

A Tabela 3 descreve os resultados obtidos nos ensaios realizados para cada equipamento, destacando o fato de inicialmente ser realizado o ensaio em modo comum e posteriormente, se possível, a realização do ensaio em modo diferencial, no caso dos televisores.

Pode-se observar na Tabela 3 que todos os equipamentos suportaram o nível de tensão de 1 kV estabelecido por norma, a exceção do DVD Marca 3 onde aconteceu perda do sinal de vídeo a 0,8 kV. Alguns equipamentos suportaram a aplicação de 4 kV sem ser danificados.

TABELA 3 – Características dos aparelhos ensaios realizados.

Equipamentos		Resultados dos Ensaios					
		Modo Comum			Modo Diferencial		
		Tensão Final	Situação	Observações	Tensão Final	Situação	Observações
Televisor	TV Marca 1	4 kV	Não danificado	–	4 kV	Não danificado	–
	TV Marca 2	4,0 kV	Dano temporário	A partir de 2,8 kV até 4,0 kV a cada surto aplicado ocorreu perda momentânea de sinal de vídeo	3,2 kV	Dano permanente	Para 3,2 kV aconteceu perda permanente do sinal de vídeo
	TV Marca 3	3,0 kV	Dano permanente	Em 3 kV houve dano geral no equipamento	1 kV	Não danificado	–
	TV Marca 4	4 kV	Não danificado	–	4 kV	Não danificado	–
	TV Marca 5	4 kV	Não danificado	–	4 kV	Não danificado	–
Aparelho de DVD	DVD Marca 1	2,6 kV	Dano Permanente	Dano geral no equipamento	–	–	–
	DVD Marca 2	4 kV	Não Danificado	Não Danificado	–	–	–
	DVD Marca 3	0,8 kV	Dano Permanente	Perda do sinal de vídeo	–	–	–
Modem ADSL	ADSL Marca 1	2 kV	Não danificado	–	–	–	–
	ADSL Marca 2	2 kV	Não danificado	–	–	–	–
Computador	PC	1,2 kV	Dano permanente	Para 1,2 kV houve dano permanente na placa de rede, não sendo mais possível conectar-se a internet	–	–	–

Para fins dessa análise, a Figura 5 apresenta o resultado obtido em modo comum no terminal de vídeo e áudio (terminais fisicamente curto-circuitados) do DVD marca 1. Para nível de tensão aplicado de (a) 2,4 kV e (b) 2,6 kV, o ultimo correspondente ao nível que resultou em danos no equipamento.

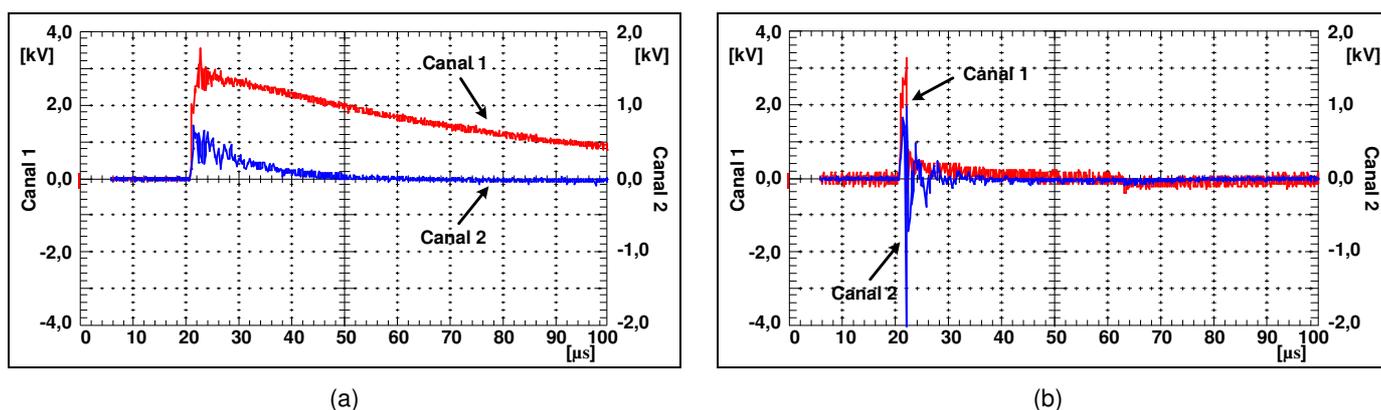


FIGURA 5 – Ensaio em modo comum para o aparelho de DVD da marca 1 para um surto com magnitude de (a) 2,4 kV e (b) 2,6 kV.

Para 2,4 kV de pico, antes de acontecer falha no equipamento observa-se uma semelhança na forma de onda do impulso registrado no terminal de comunicação quando comparado com o impulso de tensão induzido entre o neutro do equipamento e a terra do gerador de impulso. A tensão pico deste último é de 0,8 kV. Para 2,6 kV observa-se que o impulso, depois de atingir um elevado valor, decresce rapidamente até 0 V. Este comportamento

pode ser interpretado como a ruptura da isolação do equipamento. No momento em que acontece esta falha, o gerador vê isto como um curto circuito e a taxa ( $di/dt$ ) de variação de corrente em relação ao tempo é alta, ocasionando assim uma elevação do potencial de terra, que ao alcançar o mesmo potencial do neutro, resulta em uma tensão induzida oscilatória entre o neutro do equipamento e a terra do gerador. O valor pico do impulso de tensão induzido é 2,4 KV.

Com a aplicação deste surto de tensão observou-se o dano permanente no aparelho de DVD, isto é, dano tanto no sistema de energia como de comunicação do mesmo.

#### 4.0 - CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou os resultados obtidos na monitoração de surtos de tensão provenientes de linhas de telecomunicação e incidentes nos terminais de telecomunicação de aparelhos eletro-eletrônicos. Também foram apresentados alguns resultados sobre ensaios de suportabilidade realizados em equipamentos eletro-eletrônicos com o objetivo de verificar os danos causados nestes quando da aplicação de um surto nos seus terminais de telecomunicação.

As monitorações em campo, por dependerem predominantemente de fatores naturais, principalmente as descargas atmosféricas, produziram grandes dificuldades para registro desses possíveis surtos, principalmente pela aleatoriedade dessas descargas e a maneira de se configurar os equipamentos de monitoração. Ademais, o tempo relativamente curto (seis meses) para este tipo de estudo limitou profundamente os resultados esperados. Contudo, com base no sinal registrado pode-se perceber a existência de um acoplamento forte entre as partes de energia e telecomunicação de aparelhos eletro-eletrônicos.

Os ensaios de suportabilidade, por sua vez, mostraram que, dependendo das marcas dos equipamentos a aplicação de surtos de tensão no terminal de telecomunicação pode produzir danos nas partes de sinais, principalmente os de vídeo, desses aparelhos, bem como danos permanentes ao equipamento, ou seja, danos nos componentes do sistema de alimentação do equipamento.

#### 5.0 - BIBLIOGRAFIA

- (1) LECCECE, F., Study and Characterization of a New Protection System Against Surges and Over Voltages for Domestic Telecommunication Networks, INTELEC 2007 – 29<sup>th</sup> International Telecommunications Energy Conference, pp. 363-368, Italy, September/October 2007.
- (2) WOODWARD, J., Case Histories Lightning Damage to Data and Telephone Installations, IEE – Colloquium on Experience of Lightning and Surge Damage by Users of Telecommunications Equipment and the Proposed Remedies, pp. 2/1 – 2/5, London, UK, October 1991;
- (3) CHRYSANTHOU, C., and PARENTE, M., Data Errors Caused by Surge Voltages on Paired-Conductor Lines, IEEE – Transactions on Power Delivery, Vol. 16, no.1, pp. 131 – 137, January 2001.
- (4) KOGA, H., and MOTOMITSU, T., Lightning – Induced Surges in Paired Telephone Subscriber Cable in Japan, IEEE – Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-27, no.3, pp. 152 - 161, August 1985.
- (5) DAMAS, J., MYUNGI, N. H., and MAMYAHI, J., Lightning Strike on Overhead Telephone Line: A Case Study of Tanzania Telecommunication Company Limited (TTCL), AFRICON 2007, pp. 1 – 7, Windhoek, September 2007.
- (6) MARTZLOFF, F. D., Surging the Upside-Down House: Measurements and Modeling Results, Proceedings, PQA'95 Conference, New York, May 1995.
- (7) KEY, T. S., MARTZLOFF, F. D., Surging the Upside-Down House: Looking into Upsetting Reference Voltages, Proceedings, PQA'94 Conference, Amsterdam, October 1994.
- (8) KEY, T. S., NASTASI, D., PHIPPS, K., and MARTZLOFF, F. D., Some Enlightening Case Histories on Lightning Damage, Proceedings 25th International Conference on Lightning Protection – Rhodes, September 2000;
- (9) IEEE Committee Report., Bibliography on Surge Voltages in AC Power Circuits Rated 600 Volts and Less, IEEE – Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-89, no.6, pp. 1056 – 1061, July 1970;

(10) HAHN, G. J., MARTZLOFF, F., Surge Voltages in Residential Power Circuits, IEEE – Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-89, no.6, pp. 1049 – 1056, July 1970;

(11) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, IEC 610004-5: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and Measurement Techniques – Surge immunity test, Edition 2.0, 2005-11.

(12) TELEBRÁS, Prática – Requisitos de Proteção Elétrica para Equipamentos de Telecomunicações, Sistema de Documentação TELEBRÁS – Série Engenharia, Maio 1998;