

Sistema de Aquisição de Dados de Descargas Atmosféricas e de Tensões Induzidas em Linhas de Média Tensão

**R. A. Roncolato - CPFL, A. Piantini, T. Ohara, A. Silva Neto - IEE/USP,
J. M. Janiszewski - PTC/EPUSP e R. A. C. Altafim - EESC/USP**

E-mail: roncolato@cpfl.com.br, piantini@iee.usp.br

Palavras-chave - descargas atmosféricas, distribuição, tensões induzidas.

Resumo - A busca de uma melhor qualidade da energia passa necessariamente por um melhor entendimento dos fenômenos relacionados às descargas atmosféricas. No caso de redes de distribuição, uma parcela significativa das interrupções é devido às sobretensões induzidas por descargas próximas às linhas.

Em pesquisas teóricas e experimentais anteriores desenvolveu-se um modelo confiável para o cálculo de tensões induzidas, validado a partir de comparações com alguns dados de descargas reais e diversos resultados obtidos através de modelo em escala reduzida. O trabalho agora proposto propiciará a comprovação, no campo, da validade dessa metodologia, possibilitando a avaliação do número de interrupções em linhas aéreas rurais e urbanas, com ou sem pára-raios, considerando-se os parâmetros relevantes envolvidos no fenômeno.

Este artigo descreve as características gerais do sistema para aquisição de dados de descargas atmosféricas e de tensões induzidas em linhas de distribuição, e apresenta resultados preliminares compreendendo formas de onda típicas das tensões registradas.

1. INTRODUÇÃO

A área da CPFL apresenta níveis cerâmicos na faixa de 60 a 110 dias anuais com incidência de trovoadas, havendo portanto regiões com densidades superiores a 10 descargas/(km².ano). Tais valores são elevados, condizentes com os índices do sistema de distribuição da empresa atribuídos à causa "Descargas Atmosféricas" (20 % a 30 % do DEC e FEC acidentais anuais). A busca de uma melhor qualidade da energia fornecida passa necessariamente, portanto, por um melhor entendimento dos fenômenos relacionados às descargas atmosféricas.

Apesar do fenômeno das tensões induzidas por descargas atmosféricas indiretas vir sendo estudado teórica e experimentalmente há muito tempo por pesquisadores de diversos países, sérias divergências são ainda verificadas entre as teorias existentes, mesmo quando não se considera na linha a presença do condutor neutro, cabo guarda e equipamentos mais complexos, como transformadores e pára-raios.

Em [1] foi desenvolvido um novo modelo, utilizando-se como base a teoria de Rusck [2], porém com modificações tais que permitiram que se levasse em conta tanto os efeitos de descargas em estruturas metálicas

como os efeitos do comprimento do canal de descarga, do comprimento e configuração da linha e da presença do "leader" ascendente. A comparação das tensões calculadas pelo modelo desenvolvido com resultados obtidos experimentalmente no Japão [3-5] confirmou a melhora significativa no modelo de Rusck após a introdução das referidas modificações.

Embora o modelo matemático desenvolvido em [1] tenha sido validado através de comparações com resultados de pesquisas experimentais realizadas no Japão, julgou-se conveniente avaliar o seu desempenho em outras situações. Deve-se observar que, dada a complexidade do fenômeno, tal avaliação só pode ser feita caso sejam conhecidos todos os parâmetros que afetam significativamente as tensões induzidas. A dificuldade na obtenção de dados nessas condições é certamente uma das razões para a existência, ainda hoje, de teorias conflitantes. Assim, a limitação do número de casos disponíveis e o desconhecimento de parâmetros como, por exemplo, a velocidade de propagação da corrente, o comprimento do canal da descarga e a ocorrência ou não do "leader" ascendente, nas pesquisas japonesas, motivaram o desenvolvimento de um modelo em escala reduzida, o qual permitiu uma análise bem mais abrangente do fenômeno [6-9]. Posteriormente foi desenvolvida nova metodologia, a partir do modelo proposto em [1], a qual possibilita a determinação das tensões induzidas em situações em que a linha encontra-se protegida através de cabo-guarda e/ou pára-raios, considerando também a presença de transformadores e do neutro multiaterrado. Em [10] são apresentados os resultados desse novo modelo para o caso de tensões induzidas em linhas aéreas quando da ocorrência de descargas atmosféricas em estruturas metálicas situadas em suas proximidades.

Apesar dos bons resultados obtidos nas diversas comparações realizadas, é sabido que a comprovação final de qualquer modelo matemático complexo deve ser feita com base em resultados de campo. Esse é um dos objetivos desta pesquisa, pois com a comprovação no campo da validade da metodologia desenvolvida ter-se-á uma ferramenta extremamente poderosa para avaliação do número de interrupções em linhas rurais e urbanas, protegidas com cabo guarda, pára-raios ou ambos, considerando-se os parâmetros relevantes envolvidos. Tal metodologia poderá ser também aplicada na obtenção de subsídios para definição de critérios de instalação de pára-raios em transformadores de redes urbanas. Além

disso, o projeto permitirá que seja analisado o desempenho de linhas de distribuição de média tensão, com e sem proteção, face a descargas atmosféricas. Com base nesses resultados, serão definidos critérios para a utilização das técnicas mais eficazes que podem ser adotadas tendo em vista a melhoria do desempenho das linhas.

O estudo irá avaliar a eficácia do pára-raios como dispositivo de proteção contra descargas atmosféricas. Destaca-se aqui o pioneirismo deste trabalho, pois com exceção da pesquisa desenvolvida em [7], através de modelo em escala reduzida, não se tem conhecimento de outro estudo experimental no qual o efeito da utilização de pára-raios na redução das tensões induzidas tenha sido determinado diretamente. Assim, além de possibilitar uma avaliação direta da eficácia do sistema de proteção utilizado, os resultados obtidos permitirão a realização de comparações entre as tensões medidas induzidas na linha e as tensões calculadas através do modelo matemático desenvolvido em [10]. Tais resultados representarão uma importante contribuição para o estado da arte do conhecimento do fenômeno, tendo em vista a escassez de dados de campo envolvendo registros simultâneos de tensões induzidas e correntes de descargas.

2. METODOLOGIA

O sistema de aquisição de dados foi implantado no Campus da Universidade de São Paulo. A Figura 1 mostra a localização de cada componente do sistema.

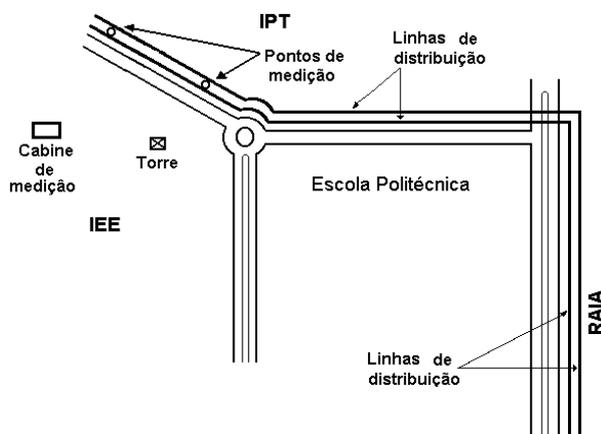


FIGURA 1 – PLANTA GERAL DE LOCALIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO E AQUISIÇÃO.
IPT: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS
IEE: INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA.

O trabalho prevê a obtenção de registros simultâneos das correntes de descargas atmosféricas incidentes em uma torre e das correspondentes tensões induzidas em duas linhas de distribuição monofásicas situadas na proximidade da mesma. Na base da torre foram instalados um resistor “shunt” e um osciloscópio, que compõem o sistema de medição de corrente. A utilização de cruzetas de tamanho superior ao convencional permitiu a instalação de duas linhas, em uma das quais foram instalados pára-raios em pontos estratégicos; a outra está

desprovida de qualquer tipo de proteção. Nos postes foram instalados divisores de tensão e osciloscópios, que compõem o sistema de medição da tensão. Nas proximidades da torre foi construída uma cabine blindada onde ficam os equipamentos responsáveis pelo gerenciamento e controle da aquisição e do armazenamento dos dados e pelo acionamento do sistema de medição de tensões induzidas.

Para a determinação da altura com que a torre deveria ser construída, alguns parâmetros importantes, como o nível cerâmico e a densidade de descargas para a terra por quilômetro quadrado na cidade de São Paulo foram obtidos e o número estimado de descargas diretas na torre foi calculado (uma descarga a cada 1,5 anos). Obviamente, o número obtido deve ser considerado como mera estimativa, não significando que irão ocorrer efetivamente tantas descargas quantas previstas.

A torre na qual podem incidir as descargas é metálica, com estais isolantes e altura de 62,5 m (Figura 2). Para a medição das correntes das descargas, na base da torre foi instalado um resistor “shunt” (R_s) por onde toda corrente flui até atingir o sistema de aterramento. O resistor “shunt” foi projetado para que o seu valor fosse baixo (faixa de $m\Omega$), possibilitando a medição direta das correntes das descargas pelo osciloscópio. A base da torre é isolada da terra por isoladores de porcelana tipo suporte cilíndrico, como indicado na Figura 3. O sistema de medição de corrente é composto pelo resistor “shunt”, osciloscópio, “mini modem”, bateria, carregador, contator e protetor contra surtos.



FIGURA 2 – TORRE ESTAIADA COM 62,5 m DE ALTURA.



FIGURA 3 – DETALHE DA BASE DA MOSTRANDO O SISTEMA DE MEDIÇÃO DE CORRENTE.

Na iminência de uma tempestade, a alimentação da rede no ponto de medição da corrente é desligada por meio do seccionamento de um trecho do cabo de alimentação situado em um poste próximo à cabine de medição. Isto provoca a abertura dos contatos normalmente abertos do contator e o carregador é desligado da rede, enquanto a bateria é ligada ao osciloscópio através dos contatos normalmente fechados do mesmo contator. Para evitar sobretensões que poderiam danificar o sistema, a rede está protegida através de pára-raios instalados nas entradas de alimentação do carregador e do osciloscópio. Após o período de medições (final da tempestade), o trecho do cabo é conectado novamente ao circuito, restabelecendo-se a conexão da rede com o carregador, desligando-se, ao mesmo tempo, o osciloscópio da bateria.

Os sinais elétricos armazenados no osciloscópio são transmitidos via fibra óptica até o computador instalado dentro da cabine de medição, sendo a conversão sinal elétrico/sinal óptico e vice-versa feita por “mini modems”. A alimentação do sistema de medição na torre é aérea para evitar que as diferenças de potencial causadas no solo por descargas atmosféricas diretas na torre sejam transferidas para a cabine. Inicialmente, a interrupção do fornecimento de energia elétrica da rede e conseqüente acionamento do sistema de medição de corrente seria feito por uma chave-faca. Entretanto, para resistência de aterramento medida de 5Ω na base da torre e estimando-se descargas com amplitudes até 80 kA, o nível de isolamento que a chave deveria suportar seria 400 kV. Como o custo de uma chave com NBI de 400 kV seria muito elevado, optou-se por um simples seccionamento do cabo de alimentação, ou seja, a interrupção é feita retirando-se uma seção do cabo, para que a isolamento elétrica necessária (400 kV) entre o sistema de alimentação da corrente e a alimentação da rede seja obtida pelo ar.

Para alimentar as lâmpadas que fazem parte do balizamento noturno da torre, foi construído um sistema de alimentação isolado da rede com um nível básico de isolamento de 400 kV. Esse sistema é composto por um motor ligado à rede e que fornece potência mecânica para um alternador através de uma correia isolante. A tensão de saída da bateria, que é carregada pelo grupo motor-alternador, é convertida em tensão alternada, alimentando as lâmpadas.

A linha experimental é composta por duas linhas monofásicas, conforme indicado na Figura 4, sendo instalada proteção (pára-raios) apenas na linha mais afastada da torre. Essas duas linhas são sustentadas pelos mesmos postes e instaladas nos dois extremos de cruzetas especiais, com aproximadamente 6 m de comprimento. Essa separação das linhas é suficiente para que não haja influência mútua significativa. Na Figura 5 são indicadas as dimensões reais da linha experimental e os pontos de instalação dos pára-raios, assim como os pontos de medição M1 e M2 e as terminações. Nas duas extremidades da linha sem proteção foram colocados resistores com valor de resistência (R) igual ao da impedância característica das linhas (Z_c), para evitar reflexões das ondas de tensões. Por sua vez, a linha protegida tem pára-raios em uma das extremidades, enquanto que a outra está casada. Um dos pontos de medição escolhido (M1) está próximo a um dos pára-raios, enquanto que o outro (ponto M2) está mais afastado do pára-raios. Desse modo, a influência da distância entre pára-raios pode ser avaliada e dimensionada de acordo com a importância do trecho da linha de distribuição analisado. Note-se que cada ponto compreende na realidade duas medições, visto que estas são realizadas tanto na linha com pára-raios como na linha desprovida de proteção.



FIGURA 4 – LINHA EXPERIMENTAL COMPOSTA PELAS DUAS LINHAS MONOFÁSICAS (COM E SEM PÁRA-RAIOS).

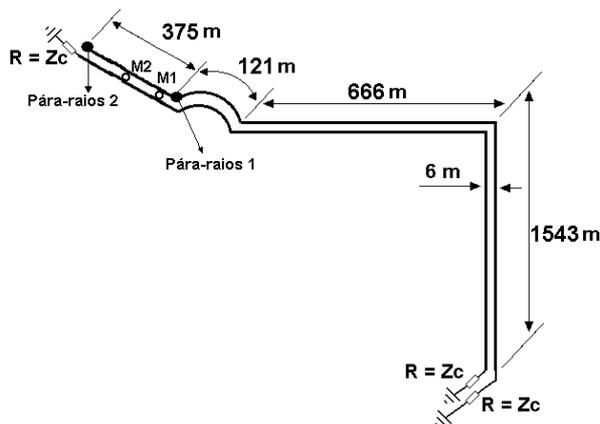


FIGURA 5 – LINHA EXPERIMENTAL.
M1 E M2: PONTOS DE MEDIÇÃO DE TENSÃO.

Para verificação do efeito da distância de separação entre as linhas monofásicas (tamanho da cruzeta) em relação às tensões induzidas nas linhas com e sem proteção foram feitas diversas simulações, utilizando-se a metodologia descrita em [10]. Nas simulações, a amplitude da forma de onda da corrente da descarga foi variada entre 10 kA e 80 kA. Além disso, as formas de onda de tensões induzidas foram calculadas nos pontos de medição M1 e M2. Com referência à Figura 5, a distância entre o ponto de medição M1 e o pára-raios 1 é igual a 27,5 m, sendo de 193 m a distância entre o ponto M2 e o pára-raios 2. Tais simulações mostraram que as diferenças entre as tensões induzidas na linha sem proteção e aquelas que seriam induzidas nessa mesma linha na ausência da linha com pára-raios não são relevantes, indicando que a distância de 6 m, ilustrada na Figura 5, é suficiente para que os pára-raios da linha protegida não interfiram significativamente nas tensões induzidas na linha sem proteção.



FIGURA 6 – CRUZETA SEPARANDO AS LINHAS
COM E SEM PÁRA-RAIOS.

Para a medição das tensões induzidas pelas descargas atmosféricas são utilizados divisores de tensão localizados em dois pontos da linha experimental. O sistema de medição, indicado na Figura 7, é acionado através de uma chave situada na cabine de medição. O funcionamento do sistema de aquisição e armazenamento de dados de tensões é similar ao de correntes. A alimentação CA do sistema de medição de tensões é subterrânea para evitar que sejam induzidas tensões nos cabos de alimentação por ocasião das descargas. Cada divisor de tensão foi instalado em uma caixa blindada, ficando em seu interior o braço de baixa tensão do divisor, um osciloscópio e suas pontas de prova e um “mini modem” de comunicação via fibra óptica. Alguns cuidados foram tomados antes de instalar os equipamentos de medição de tensão e corrente, destacando-se a medição de temperatura dentro das caixas expostas à luz solar intensa e a verificação da estanqueidade das caixas.



FIGURA 7 – SISTEMA DE MEDIÇÃO DAS
TENSÕES INDUZIDAS.

A cabine de medição, indicada na Figura 8, está situada a aproximadamente 40 m da torre. Nela está a chave que controla a ligação de quatro osciloscópios situados na linha experimental, sendo dois em cada um dos postes escolhidos para as medições das tensões induzidas (pontos M1 e M2 da Figura 9). Prevendo-se uma tempestade, a chave é acionada e o sistema de medição de tensão é ligado. Um computador com “multiplex” está conectado através de “mini modems” de comunicação via fibra óptica com os cinco osciloscópios. O computador armazena os registros relativos às tensões induzidas nas duas linhas e às correntes das descargas incidentes na torre. A aquisição das formas de onda armazenadas nos osciloscópios é feita através de uma conexão “full duplex” de fibra óptica entre o computador e cada osciloscópio. Para realizar essa conexão é utilizado um “mini modem” assíncrono ligado à porta serial RS 232 do osciloscópio e outro “mini modem” ligado à porta serial

de um “multiplex” (MUX). O computador executa um programa que controla a aquisição de dados dos cinco osciloscópios utilizados. Primeiramente, o programa verifica se a conexão com os osciloscópios está funcionando corretamente. Se houver alguma forma de onda armazenada em qualquer um dos cinco osciloscópios, o programa lê o canal 1 do primeiro osciloscópio. Em seguida, lê o canal 2 desse mesmo osciloscópio e repete esse procedimento de leitura para todos os osciloscópios. Após a aquisição das formas de onda de cada osciloscópio, o programa imediatamente o deixa novamente habilitado para fazer novas aquisições. O programa atualmente em uso permite a aquisição das formas de onda registradas a cada minuto.



FIGURA 8 – CABINE DE MEDIÇÃO.

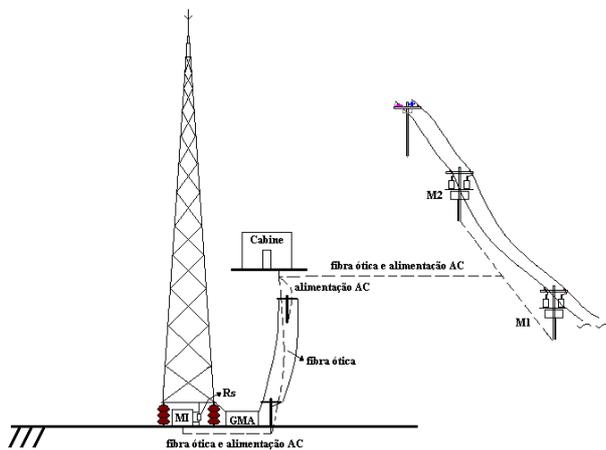
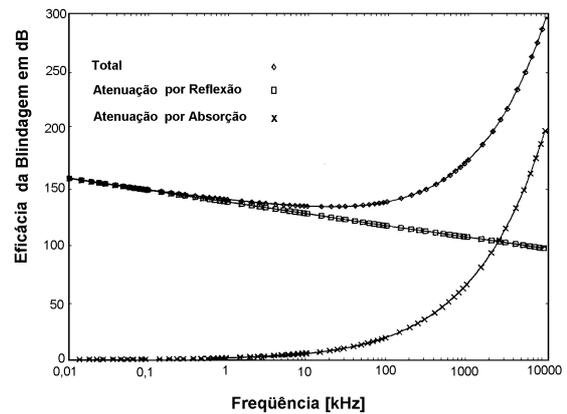


FIGURA 9 - INTERLIGAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO COM A CABINE.

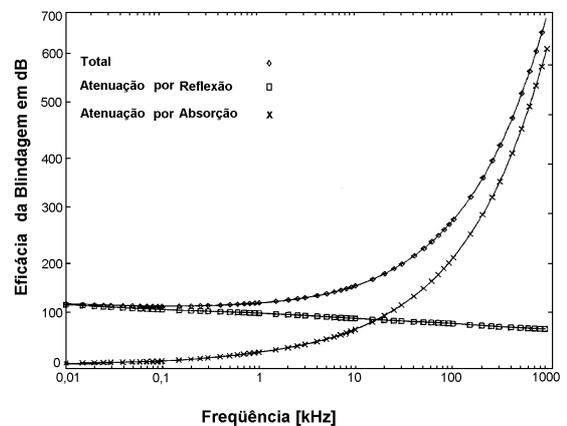
MI: PONTO DE MEDIÇÃO DE CORRENTE
M1 E M2: PONTOS DE MEDIÇÃO DE TENSÃO

Quando uma descarga atmosférica incide na torre, campos elétrico e magnético, com espectro cobrindo uma faixa que se estende desde baixas frequências até cerca de

1 MHz, são gerados pela propagação da onda de corrente pelo canal da descarga. Para reduzir a influência desses campos sobre o sistema de controle e aquisição de dados, a cabine foi construída com chapas de aproximadamente 2 mm de espessura de material ferromagnético (aço). Através de comparações entre o cobre e o aço (Figura 10), pôde-se verificar que o aço apresenta um efeito de aumento da eficácia da blindagem por atenuação (perdas), particularmente em frequências altas, supondo incidência de ondas planas, ou seja, fontes de campo suficientemente afastadas da cabine.



(A)



(B)

FIGURA 10 - EFEITO DE BLINDAGEM – ONDAS PLANAS (ADAPTADA DE [11]).

A) COBRE

B) AÇO

Cuidados especiais foram tomados em relação ao efeito de aberturas na blindagem, tais como o caso de portas e janelas, visando obter perfeita continuidade dos materiais condutores das paredes e dos acessos.

O sistema de medição de correntes instalado na base da torre foi testado quanto à eficiência da blindagem proporcionada pela caixa metálica que armazena o osciloscópio. Foram realizados ensaios injetando-se no

resistor “shunt” correntes com tempo de frente de cerca de 7,7 μ s e amplitudes de até 42 kA, não tendo sido constatados nas formas de onda registradas ruídos significativos causados por interferências eletromagnéticas e nem sido constatado mau funcionamento do osciloscópio.

De forma a garantir confiança nos valores medidos, foram realizados testes de medição e comunicação entre os osciloscópios e o computador instalado na cabine. Os testes consistiram em aplicar, através de um gerador portátil, impulsos de tensão com amplitudes de até 10 kV nas linhas e comparar as medições realizadas pelo sistema de medição descrito anteriormente com um outro sistema de medição, adotado como padrão. O sistema de medição adotado como padrão consistiu em um osciloscópio TDS 3012, fabricação Tektronix®, e um divisor de tensão. O divisor e o osciloscópio padrão foram instalados inicialmente no ponto de medição M2. Aplicando o impulso na rede, obtiveram-se duas medições através dos dois sistemas de medição e

aquisição. Pela comparação gráfica das medições realizadas nos testes, verificou-se que o sistema de medição e aquisição é perfeitamente confiável.

3. RESULTADOS PRELIMINARES

O sistema foi efetivamente implantado no final de fevereiro de 2002. Apesar das medições terem sido iniciadas efetivamente apenas no final do período de chuvas (verão 2001/2002), foram registradas algumas formas de ondas de tensões induzidas. Durante as primeiras medições ocorreram alguns problemas no funcionamento do programa de aquisição que impossibilitaram o armazenamento das formas de onda de tensões induzidas nos quatro osciloscópios. Entretanto, após a realização de alguns ajustes, esses problemas foram sanados e todas as formas de onda registradas nos osciloscópios foram armazenadas no banco de dados.

As Figuras 11 a 17 mostram as formas de onda de tensões induzidas nos pontos de medição M1 e M2.

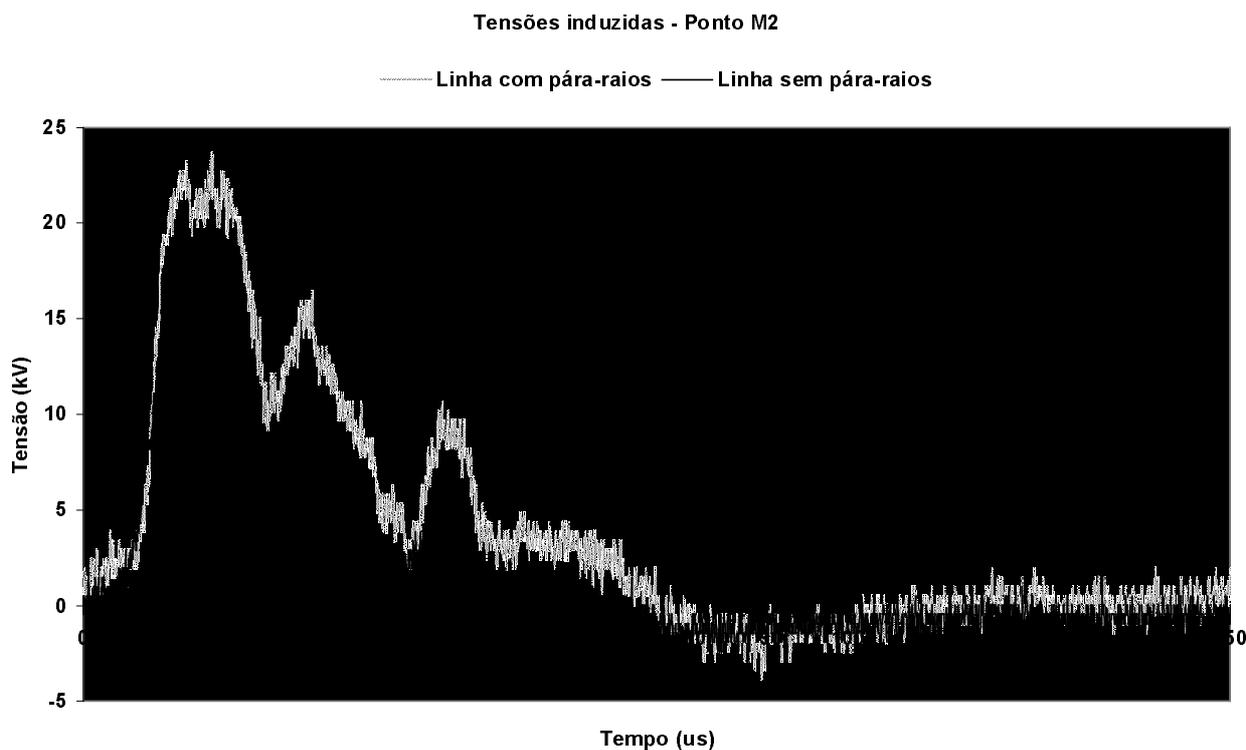


FIGURA 11 – TENSÕES INDUZIDAS MEDIDAS NO PONTO M2 – 04/03/2002 (16h 16' 12").

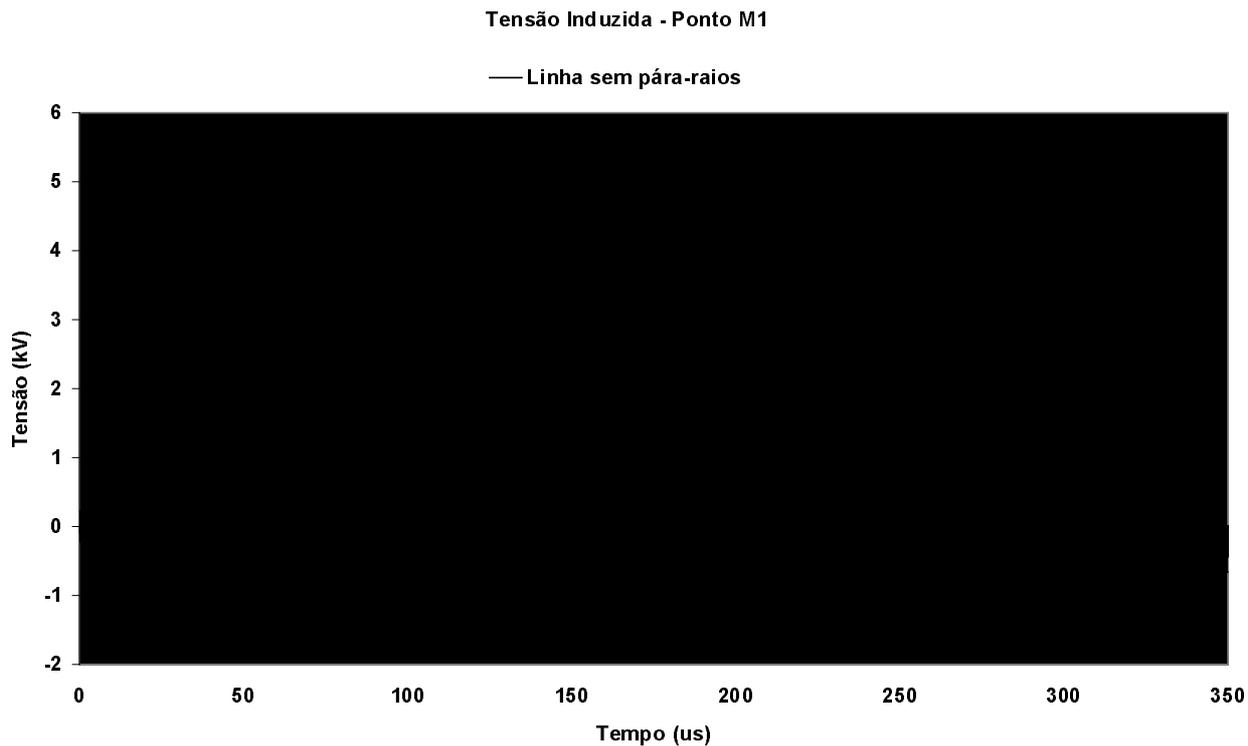


FIGURA 12 – TENSÃO INDUZIDA NO PONTO DE MEDIÇÃO M1 - 08/03/2002 (17h 40' 34").

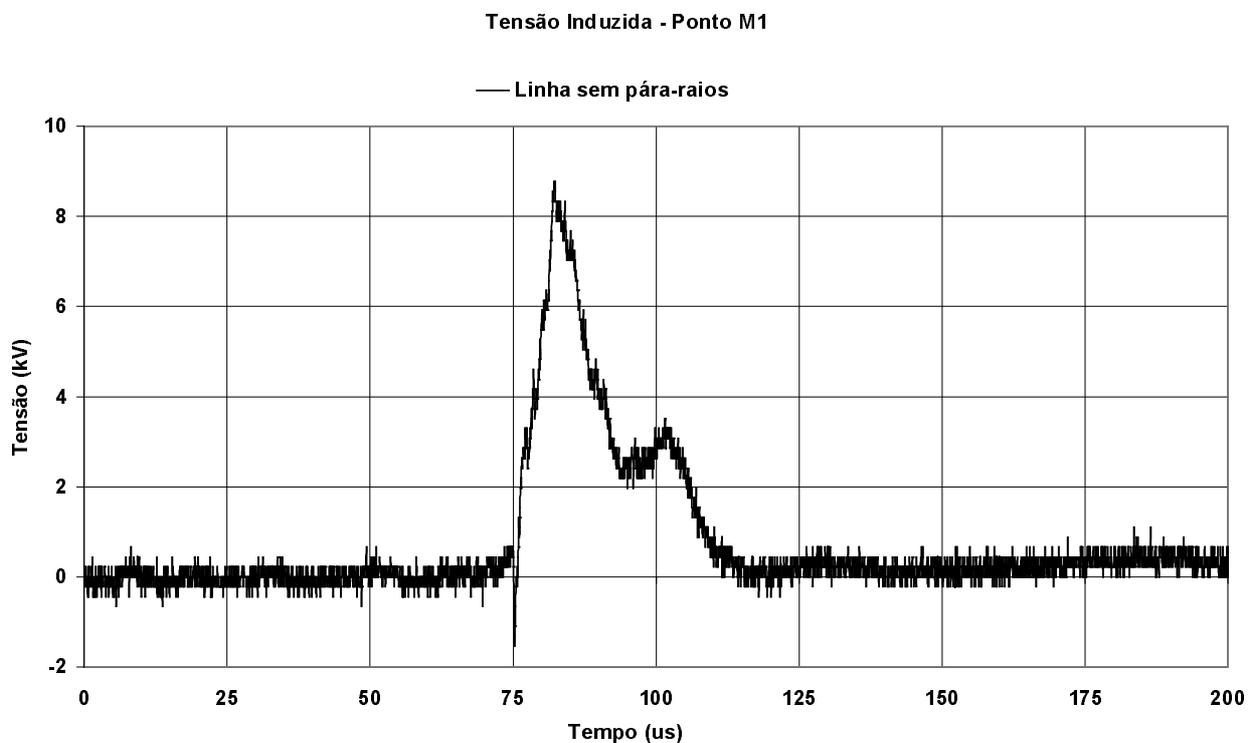


FIGURA 13 – TENSÃO INDUZIDA NO PONTO DE MEDIÇÃO M1 - 08/03/2002 (17h 56' 14").

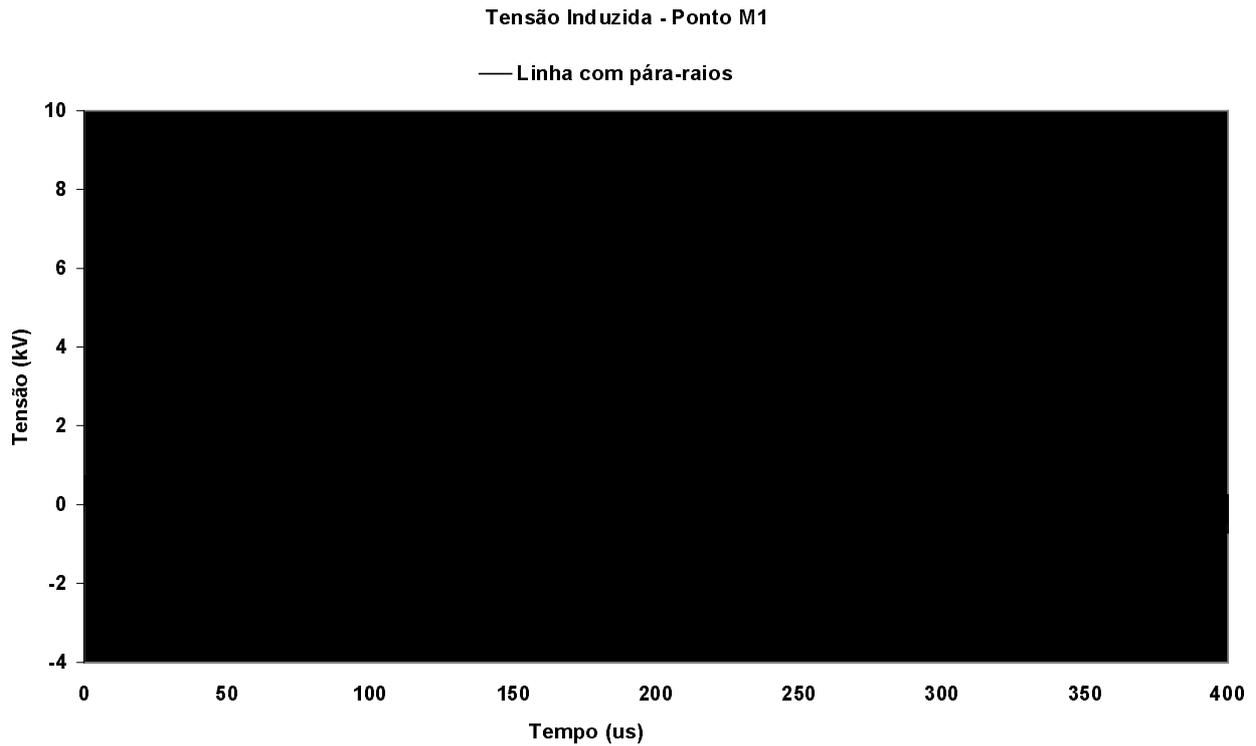


FIGURA 14 – TENSÃO INDUZIDA NO PONTO DE MEDIÇÃO M1 - 08/03/2002 (18h 02' 33").

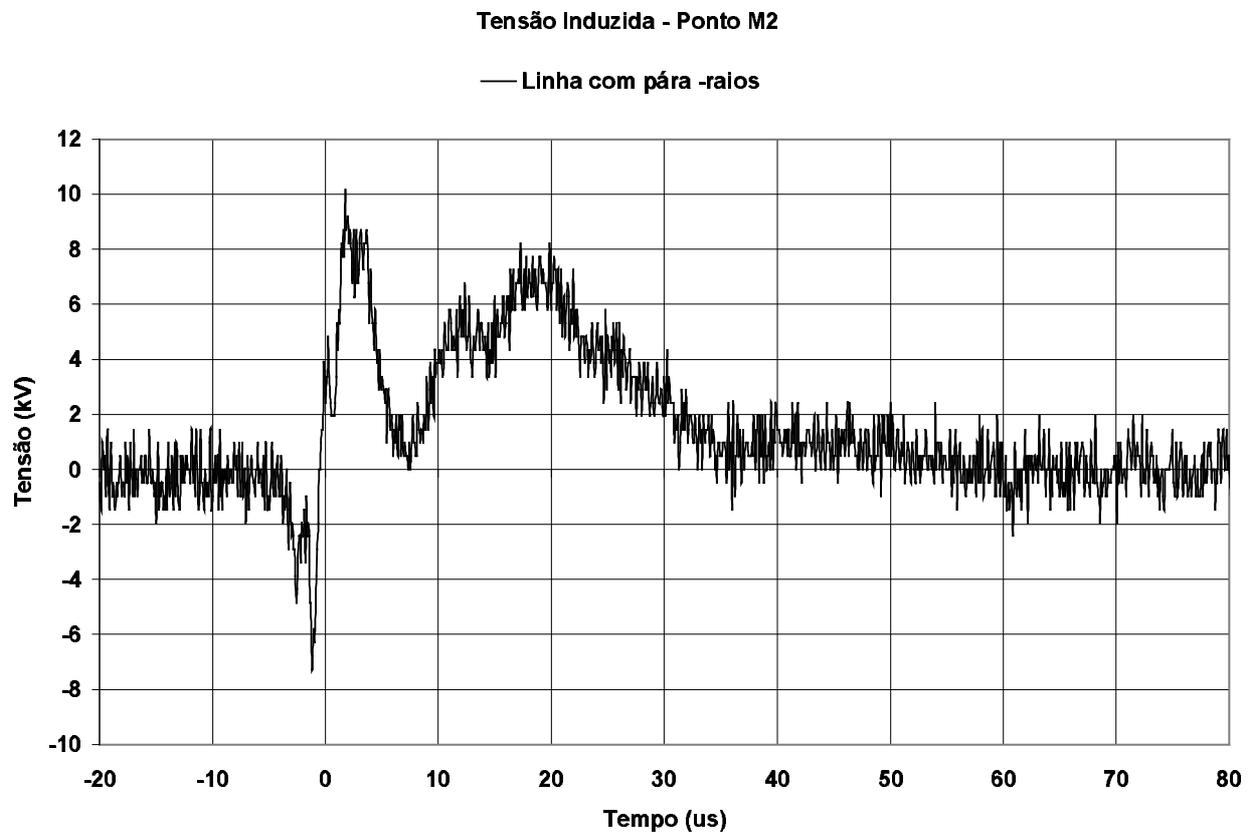


FIGURA 15 – TENSÃO INDUZIDA NO PONTO DE MEDIÇÃO M2 - 15/03/2002 (16h 32' 50").

Observando-se as formas de onda apresentadas nas Figuras 11 a 15, pode-se notar que as amplitudes das tensões induzidas não foram suficientes para que o pára-raios (ZnO, classe 10 kA e tensão nominal 12 kV), atuasse.

No caso ilustrado na Figura 11, a tensão medida na linha sem pára-raios apresentou menor amplitude que a registrada na linha com pára-raios pelo fato de ambas as suas extremidades estarem casadas. Como os valores das tensões induzidas foram relativamente baixos, as impedâncias instantâneas dos pára-raios não foram reduzidas significativamente pelos surtos. Assim, o coeficiente de reflexão na extremidade da linha com pára-raios apresentou valor positivo, o que resultou em uma tensão, nesta linha, com amplitude superior àquela correspondente na linha sem pára-raios.

As Figuras 16 e 17 apresentam as formas de onda das tensões induzidas nas duas linhas, por uma mesma descarga, nos pontos de medição M1 e M2,

respectivamente. Pode-se observar que, também neste caso, os pára-raios não atuaram, de modo que as tensões medidas na linha com pára-raios atingiram intensidades superiores às tensões correspondentes na linha sem pára-raios devido às reflexões sofridas pelas ondas na extremidade próxima aos pontos de medição.

Apesar do sistema não fornecer a localização dos pontos atingidos pelas descargas atmosféricas, em pelo menos um caso esse ponto pôde ser determinado com exatidão. Através da constatação de queda de uma descarga atmosférica em um eucalipto situado a aproximadamente 61 m de distância da linha experimental e da análise das amplitudes e dos instantes de registro das tensões induzidas nesse dia, foi possível concluir que as tensões apresentadas na Figura 18, medidas no ponto M1, foram induzidas por essa descarga. A título de ilustração, a Figura 19 mostra os danos sofridos pelo eucalipto atingido.

Tensões Induzidas - Pontos M1 e M2

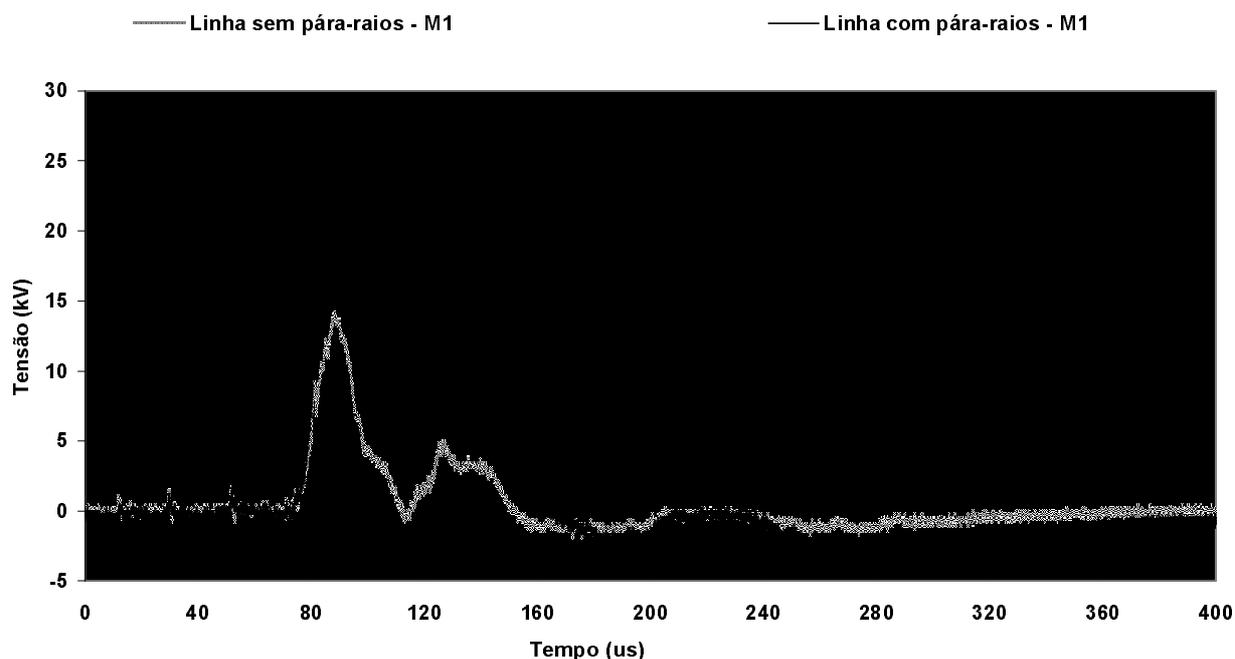


FIGURA 16 – TENSÕES INDUZIDAS NO PONTO DE MEDIÇÃO M1 – 17/03/2002 (16h 50' 27").
MEDIÇÕES SIMULTÂNEAS ÀQUELAS CORRESPONDENTES ÀS ONDAS APRESENTADAS NA FIGURA 17.

Tensões Induzidas - Pontos M1 e M2

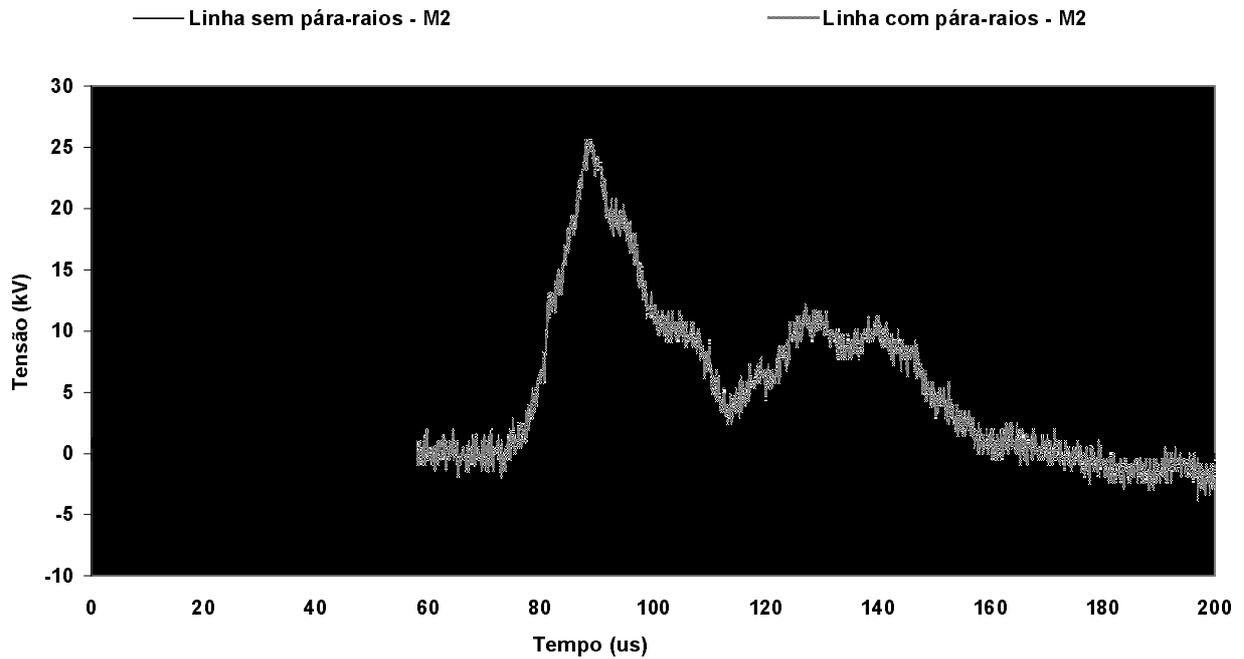


FIGURA 17 – TENSÕES INDUZIDAS NO PONTO DE MEDIÇÃO M2 – 17/03/2002 (16h 50' 27").
MEDIÇÕES SIMULTÂNEAS ÀQUELAS CORRESPONDENTES ÀS ONDAS APRESENTADAS NA FIGURA 16.

Tensões Induzidas - Ponto M1

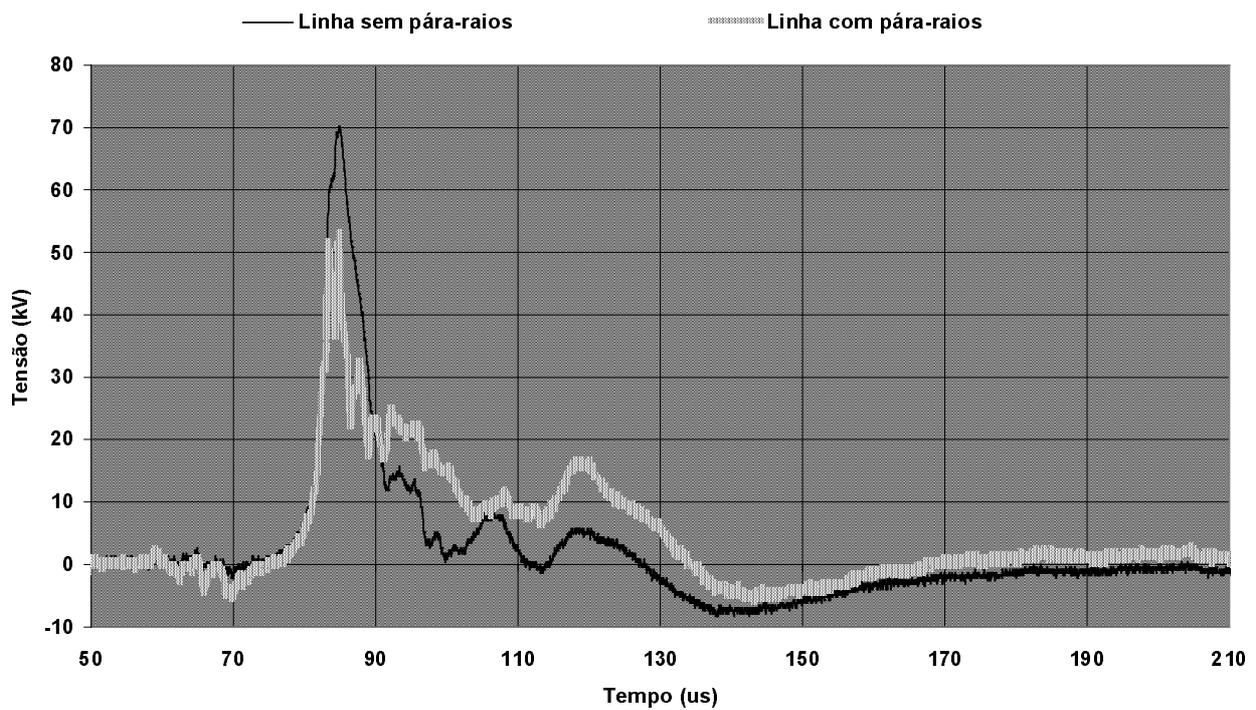


FIGURA 18 – TENSÕES INDUZIDAS NO PONTO DE MEDIÇÃO M1 - 17/03/2002 (16h 47' 44").



FIGURA 19 – EUCALIPTO ATINGIDO EM 17/03/2002 (16h 47' 44")
PELA DESCARGA ATMOSFÉRICA RESPONSÁVEL PELA
INDUÇÃO DAS TENSÕES APRESENTADAS NA FIGURA 18.

As tensões mostradas na Figura 18 foram as que atingiram as maiores intensidades registradas pelo sistema até o momento. Devido à atuação do pára-raios, houve uma redução na amplitude da tensão induzida na linha protegida.

Os níveis de “offset” dos osciloscópios situados no ponto de medição M2 estavam com valores elevados devido à variação de temperatura. Por essa razão, os osciloscópios foram disparados por sinais menores que o valor ajustado para o “trigger”, o que impediu a obtenção simultânea das tensões induzidas nesse ponto, nas duas linhas.

A título de ilustração, a Figura 20 apresenta mais uma forma de onda típica de tensão induzida na linha com pára-raios, no ponto de medição M2. Assim como em outros casos, as amplitudes das tensões induzidas na linha experimental por essa descarga não atingiram valores suficientemente altos para que houvesse atuação dos pára-raios. Desse modo, conforme explicado anteriormente, nessa situação as reflexões sofridas pelos surtos na extremidade com pára-raios ocasionaram nessa linha tensões com amplitudes superiores àsquelas induzidas na linha sem pára-raios (embora essas não sejam mostradas na Figura 20).

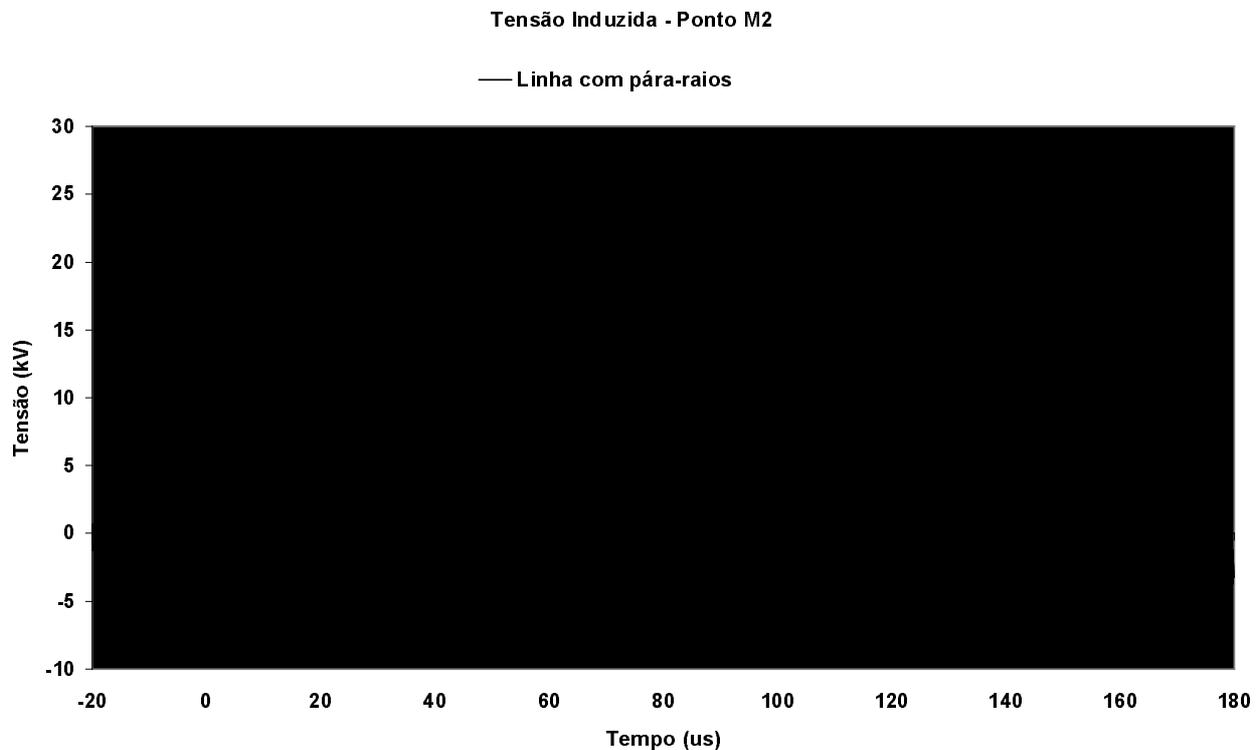


FIGURA 20 – TENSÃO INDUZIDA NO PONTO DE MEDIÇÃO M2 - 17/03/2002 (16h 57' 50").

4. CONCLUSÕES

Foram apresentadas, neste trabalho, as linhas gerais da implantação dos sistemas de medição e de aquisição de dados para um estudo que visa analisar o comportamento das tensões induzidas em linhas de distribuição devido a descargas atmosféricas indiretas e avaliar a eficácia da utilização de pára-raios na redução dessas tensões. Foram também citados alguns problemas técnicos encontrados e solucionados nessa implantação. Considerações foram feitas quanto aos procedimentos adotados para que as medições realizadas não sofram influência de ruídos e interferências decorrentes de campos eletromagnéticos, em especial aquelas referentes ao sistema de medição de correntes de descargas incidentes na torre de captação, uma vez que o osciloscópio que fará essa medição foi instalado na base da torre. Como se sabe, realizar medições em campo envolve vários parâmetros não plenamente controláveis, como por exemplo temperatura, umidade, resistência de aterramento e outras. Antes da instalação do sistema de medição foram feitos os ensaios de estanqueidade e elevação de temperatura nas caixas que abrigam os osciloscópios e demais equipamentos.

Ressalta-se o caráter pioneiro da metodologia empregada nesta pesquisa, a qual possibilitará a avaliação direta da eficácia da utilização de pára-raios quanto à redução das amplitudes das tensões induzidas em linhas de distribuição devido à ocorrência de descargas atmosféricas em suas proximidades.

Embora o sistema tenha sido implantado somente no final da temporada de chuvas do verão 2001/2002, diversas formas de onda de tensões induzidas foram obtidas e armazenadas. Com as próximas temporadas de chuvas espera-se registrar um conjunto de dados estatisticamente relevante, que possibilite a avaliação quantitativa da avaliação dos benefícios proporcionados pela presença de pára-raios na linha em termos da melhoria do desempenho da linha face a descargas atmosféricas indiretas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar seus agradecimentos ao engenheiro Celso P. Braz e ao técnico Clóvis Y. Kodaira, do IEE/USP, e ao professor José C. Sartori, da EESC/USP, que participam do grupo de trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Piantini, A. "Contribuição ao estudo das tensões induzidas em linhas de distribuição por descargas atmosféricas indiretas", Dissertação de Mestrado, Dep. Eng. Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1991.
- [2] Rusck, S. Protection of distribution lines. In: Golde, R. H., ed. *Lightning*. V. 2 London, Academic Press, 1977. chap. 23, pp. 747-771.
- [3] Yokoyama S., Miyake K.; Fukui, S. Advanced observations of lightning induced voltage on power distribution lines (II), *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 4, n. 4, pp. 2196-2203, Oct. 1989.
- [4] Yokoyama, S.; Miyake, K.; Mitani, H.; Yamazaki, N. Advanced observations of lightning induced voltage on power distribution lines. *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 1, n. 2, pp. 129-139, Apr. 1986.
- [5] Yokoyama, S.; Miyake, K.; Mitani, H.; Takanishi, A. Simultaneous measurement of lightning induced voltages with associated stroke currents. *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, vol. 102, n. 8, pp. 2420-2427, Aug. 1983.
- [6] Piantini, A.; Janiszewski, J. M. An Experimental study of lightning induced voltages by means of a scale model. *Proc. of the 21st Int. Conf. on Lightning Protection (21st ICLP)*, paper 4.08, pp. 195-199, Berlin, 1992.
- [7] Piantini, A. ; Janiszewski, J. M. Surtos induzidos por descargas atmosféricas indiretas em linhas protegidas por pára-raios. *IV Seminário Internacional de Proteção contra Descargas Atmosféricas (IV SIPDA: Proceedings)*. São Paulo, IEE/USP, Sep. 1997. pp. 99-104.
- [8] Piantini, A. ; Janiszewski, J. M. Lightning induced voltages on distribution lines protected with surge arresters. *Proc. of the Int. Conf. On Electricity Distribution (CIRED)*. Birmingham, June 1997. Session 2, Contribution 3.30, pp.73-74.
- [9] Piantini, A. ; Janiszewski, J. M. Uso do cabo guarda em linhas aéreas para proteção contra descargas atmosféricas indiretas. *III Seminário Internacional de Proteção contra Descargas Atmosféricas (III SIPDA: Proceedings)*. São Paulo, IEE/USP, 1994. pp. 4.9-4.17.
- [10] Piantini, A.; Janiszewski, J. M. Induced voltages on distribution lines due to lightning discharges on nearby metallic structures. *IEEE Trans. on Magnetics*, v. 34, n. 5, pp. 2799-2802, Sep. 1998.
- [11] Paul, C. R. *Introduction to Electromagnetic Compatibility*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1992. Cap. 11, pp. 651-656.