

**MEDICÃO E ANÁLISE DE PERTURBAÇÕES ELÉTRICAS EM LINHAS DE
TELECOMUNICAÇÕES**

Este exemplar corresponde à redação final da tese
defendida por José A. D. Rossi
e aprovada pela Comissão
Julgadora em 2 / 4 / 96.
Orientador

Autor : José Antonio Donizete Rossi +
Orientador: Dr. José Pissolato Filho +

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia
Elétrica da Universidade Estadual de Campinas,
UNICAMP como parte dos requisitos exigidos
para obtenção do título de DOUTOR EM
ENGENHARIA ELÉTRICA

Campinas, 02 de Abril de 1996

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

R735m

Rossi, José Antonio Donizete

Medição e análise de perturbações elétricas em linhas
de telecomunicações / José Antonio Donizete Rossi.--
Campinas, SP: [s.n.], 1996.

Orientador: José Pissolato Filho.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas,
Faculdade de Engenharia Elétrica.

1. Telecomunicações. 2. Dispositivos protetores. I.
Pissolato Filho, José. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos às pessoas que direta ou indiretamente colaboraram neste trabalho.

Aos colegas do CPqD que trabalharam no Projeto Copelite, Flávio Eduardo Nallin, Nivaldo Carnetta e Valdir Cardinalli Júnior e, portanto participaram diretamente do trabalho nas medições e na coleta e análise das peças.

Ao Cláudio M. Zaina e Arildo C. Garcia pelo apoio prestado e a todos os colegas do CPqD e LAT/UNICAMP pelo incentivo.

Agradeço ainda a Célio F. Barbosa pela oportunidade oferecida de desenvolver o projeto Copelite assim como pelas discussões ao longo do trabalho.

Em especial ao Prof. Dr. José Pissolato Filho pelo incentivo e dedicada orientação meus agradecimentos.

RESUMO

Este trabalho descreve medições de surtos elétricos em redes de telecomunicações visando estabelecer critérios de aceitação para elementos protetores de estações telefônicas.

Nesse sentido são descritas medições de tensões induzidas em linhas de telecomunicações por descargas atmosféricas utilizando-se para tal de equipamentos eletrônicos.

Como outro processo de medição é descrito o método das marcas em centelhadores a carvão para medição de correntes descarregadas por elementos protetores do Distribuidor Geral de Estações Telefônicas.

Os resultados das medições são utilizadas como o "ambiente elétrico" a que vai estar sujeita a Estação Telefônica.

O conceito de "ambiente elétrico" é associado ao de "Risco de Falha" tornando possível o estabelecimento de desempenho requerido de um elemento protetor colocado nesse ambiente

ABSTRACT

This work describes electric surge measures in telecommunication nets aiming to establish acceptance criteria for switching center protection components. For this, measurements of lightning induced voltage in telecommunication lines are shown.

The "carbon block marks method" is also used to measure current in the protector components of the switching centers Main Distribution Frame.

The results are used as the switching center "electric environment". This concept is associated to "Failure Risk" in order to establish the required performance of the protection components.

ÍNDICE

	INTRODUÇÃO	01
1	REDE DE TELECOMUNICAÇÕES	03
1.1	Conceitos Gerais	03
1.2	Proteção Elétrica da Rede Externa de Telecomunicações	07
1.3	Proteção Elétrica de Estações Telefônicas	09
1.4	Centelhadores	10
1.4.1	Lei de Paschen	11
1.4.2	Centelhadores a gás e carvão	13
1.4.3	Taxa de crescimento dV/dt e tensão de disparo	14
1.5	Especificações de módulos protetores para DG's	17
1.6	Projeto COPELITE	18
2-	SOBRETENSÕES E SOBRECORRENTES EM REDES DE TELECOMUNICAÇÕES	19
2.1-	Redes de Energia Elétrica	19
2.1.1	Indução Magnética	20
2.1.2	Indução Elétrica	21
2.1.3	Acoplamento pelo sistema de aterramento	22
2.1.4	Contatos com rede de energia	23
2.2	Descargas atmosféricas	24
2.2.1	O fenômeno físico da descarga atmosférica	25
2.2.2	Campos Elétricos gerados pela descarga atmosférica e sua influência em redes telefônicas.	30
3	MEDIÇÕES DE TENSÕES INDUZIDAS EM UMA REDE TELEFÔNICA	33
3.1	Características da Rede Telefônica	33
3.2	Características do processo de medição	35
3.3	Caracterização do ambiente	38
3.4	Resultados das medições	39
3.4.1	Tensão de pico	39
3.4.2	Taxa de crescimento da tensão	44
3.4.3	Tempo de decaimento a meio valor	47
3.5	Formas de onda típicas	49
3.6	Medições com o "Contador de Surtos"	50
3.7	Conclusão	51
4	MEDIÇÃO DA ENERGIA DESCARREGADA POR PROTETORES	53
4.1	Introdução	53
4.2	Descrição do método das marcas em centelhadores a carvão	53
4.3	Avaliação do método	55
4.3.1	Elementos básicos	55

4.3.2	Teste de avaliação	59
4.3.3	Índice de acerto 60 hz	60
4.3.4	Grau de acerto dos parâmetros tempo e corrente	60
4.3.5	Erro relativo entre os avaliadores	63
4.4	Locais e periodicidade das medições	65
4.4.1	Locais de medição	65
4.4.2	Periodicidade	67
4.5	Resultados das medições	68
5	RESULTADOS DAS MEDIÇÕES-IMPULSO	70
5.1	Atividade das Estações Telefônicas	70
5.2	Distribuição dos eventos	74
5.3	Atividade por centelhador	75
5.4	Atividade pela extensão da rede	77
5.5	Carga Total Drenada	80
6	RESULTADOS - 60 Hz	81
6.1	Atividade das estações telefônicas	81
6.2	Atividade por centelhador	84
6.3	Atividade pela extensão da rede	84
7	COMPARATIVO DE MEDIÇÕES	87
7.1	Medições de outros países	87
7.1.1	Japão	87
7.1.2	Canadá	88
7.1.3	Estados Unidos	89
7.2	Comparativo das medições	89
8	RISCO DE FALHA	95
8.1	Ambiente elétrico no Distribuidor Geral	95
8.2	Atuação dos Protetores	97
8.3	Risco de falha	98
9	TESTES DE AVALIAÇÃO EM PROTETORES	104
9.1	Geral	104
9.2	Teste de vida útil - Impulso	104
9.3	Teste de drenagem de corrente 60 hz	109
9.4	Conclusões	110
10	CONCLUSÃO	115
11	BIBLIOGRAFIA	117
12	ANEXO	121

INTRODUÇÃO

É inegável a importância dos sistemas de telecomunicações em todo o mundo, principalmente nos dias de hoje, quando mais do que nunca ocorrem evoluções tecnológicas nessa área e aumentam os tipos de serviços prestados.

Por outro lado, também pela evolução tecnológica, a crescente miniaturização de componentes e equipamentos eletrônicos tornam-os muitas vezes mais susceptíveis à ação de interferências e danos de origem elétrica. Dentre esses equipamentos, as centrais telefônicas merecem destaque especial pela sua vital importância, posto estar colocada, como elemento de comutação, no centro da prestação de serviços de telecomunicações.

As centrais realizam tarefas cada vez mais complexas, principalmente as digitais de última geração, necessitando portanto de uma alta confiabilidade e, embora esses equipamentos sejam dotados de uma proteção elétrica intrínseca, se faz necessário um cuidado com a proteção primária, externa ao equipamento, visando minimizar possíveis surtos elétricos provindos da rede de telecomunicações.

No caso do Brasil e muitos outros países, isso é particularmente verdadeiro pois nossa rede de telecomunicações (a chamada rede externa) é essencialmente aérea e em uso mútuo com a rede de energia elétrica, portanto mais vulnerável à entrada de surtos elétricos por descargas atmosféricas ou descargas da rede elétrica.

Embora, no caso do Brasil, tenha sido implantada uma série de medidas na rede externa, visando minimizar ao máximo a entrada desses surtos, faz-se necessário cuidados quanto a que tipo de protetor utilizar na interface entre a rede externa e a central telefônica.

Atualmente os protetores utilizados nessa interface são padronizados pelo tipo de tecnologia (por exemplo centelhadores a gás) e não necessariamente em função dos reais níveis previstos de surtos. Desta maneira, o conhecimento dos níveis dos surtos elétricos no ambiente das centrais possibilitaria a aceitação dos elementos protetores em função das reais necessidades do sistema.

Essa escolha dos protetores torna-se ainda mais complexa com o aparecimento de uma nova geração tecnológica, os protetores de estado sólido, com características diferentes dos centelhadores a gás.

Em se conhecendo os níveis de surtos no ambiente da central seria possível aceitar um elemento protetor em função de uma especificação com parâmetros baseados nessas medições, independente, portanto, da tecnologia utilizada. Em outras palavras, criar especificações funcionais e por desempenho e não construtivas como as atuais, que indicam o tipo de tecnologia a ser empregada e não levam em conta o seu desempenho em função do ambiente em que vai ser instalada.

Em função dessas necessidades, optou-se então por se realizar essas medições de surtos elétricos no ambiente da Central (ou mais especificamente no Distribuidor Geral da Estação Telefônica) em algumas das maiores empresas operadoras de telecomunicações do Brasil, numa amostragem representativa de aproximadamente 70 % dos assinantes do país.

A esse programa de medições deu-se o nome de Projeto Copelite- Conhecimento das Perturbações Elétricas em Linhas de Telecomunicações - e que foi desenvolvido pela Seção de Interferência Eletromagnética e Proteção Elétrica do DRS (Dep. de Rede Externa e Serviços) pertencentes ao CPqD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Telebrás, sediado em Campinas. O projeto foi realizado em conjunto com os Departamentos de Engenharia e Operações da TELEBRÁS - Sede em Brasília e com as empresas operadoras TELESP, TELEMIG e TELERJ.

O presente trabalho procura, a partir dessas necessidades reais do Sistema de Telecomunicações, e em função da realização de um programa de medição em larga escala envolvendo uma amostragem significativa das estações telefônicas brasileiras, estabelecer parâmetros de avaliação de componentes assim como verificar a validade do método de medição utilizado.

Assim sendo, inicialmente procura-se mostrar as principais fontes ofensoras ao sistema de telefonia, os principais estudos que já se realizaram sobre esses assuntos, e a possível influência de cada uma delas nos resultados das medições, principalmente as descargas atmosféricas.

Para melhor compreensão daquilo a ser protegido, uma visão do sistema de telecomunicações e principalmente as peculiaridades do sistema brasileiro na sua rede de cabos e as possíveis consequências dessas particularidades nos resultados obtidos são ainda pormenorizadas.

Outro ponto descrito são os componentes protetores propriamente ditos, suas características físicas e elétricas assim como o modo como são utilizados em associação ou não com outros componentes visando fornecer proteção nas estações telefônicas.

No programa de medição, inicialmente são avaliados os resultados de uma medição realizada em pequena escala, utilizando um método de medição "on line" de sobretensões em redes telefônicas.

A seguir, é descrito e avaliado um método de medição de sobrecorrentes no Distribuidor Geral (DG) de estações telefônicas, o chamado método das marcas em centelhadores a carvão, e que foi o método utilizado em larga escala e que forneceu a base maior de resultados.

Os resultados das medições utilizando o método das marcas em centelhadores a carvão são descritos separadamente naqueles devidos a descargas atmosféricas e a descargas por corrente alternada e, também quanto ao tamanho e tipo de estação telefônica.

Os resultados das medições formam o chamado "ambiente elétrico" da estação e, associando-se esse conceito ao de "Risco de Falha", consegue-se chegar ao desempenho requerido de um elemento protetor, ou ainda especificações de desempenho para esses protetores.

Em resumo, como objetivo maior do trabalho, além do conhecimento do ambiente elétrico da estação telefônica, a possibilidade de se propor testes de aceitação de módulos protetores para o DG da estação telefônica, baseados em critérios funcionais e por desempenho ou baseados no real ambiente elétrico a que estão sujeitos os equipamentos da Central Telefônica.

Como ferramenta de apoio, o conceito de risco de falha que permite, em função do conhecimento do ambiente elétrico de perturbação e da curva de desempenho do protetor, prever o número de falhas ou, em função de um risco de falha desejável, prescrever o desempenho desejado de um elemento protetor por meio de testes de avaliação.

A esquematização do trabalho mostra no Capítulo 1 uma visão geral da Rede de Telecomunicações e dos componentes protetores, no Capítulo 2 as fontes de sobretensões e sobrecorrentes em redes de telecomunicações e suas amplitudes.

O Capítulo 3 mostra medições de tensões induzidas em uma rede de telecomunicações no CPqD utilizando-se de um método eletrônico de aquisição de dados, enquanto no Capítulo 4 o método das marcas em centelhadores a carvão para medição de correntes é descrito e avaliado.

Nos Capítulos 5 e 6 são apresentados os resultados das medições pelo método anteriormente descrito, divididos naqueles devido a descargas impulsivas (Capítulo 5) e a correntes alternadas (Capítulo 6).

Medições de outros países que utilizaram o mesmo método são mostrados no Capítulo 7, comparativamente aos do Copelite.

A avaliação do Risco de Falha como elemento de definição dos níveis a serem exigidos dos elementos protetores é descrito no Capítulo 8 e, finalmente no Capítulo 9, em função dos resultados são elaboradas as possíveis propostas de testes nos elementos protetores.

1 REDE DE TELECOMUNICAÇÕES

1.1 Conceitos Gerais

Segundo definido pela CCITT [1] "O conjunto de equipamentos nas instalações do assinante, o meio de transmissão e a comutação constituem o circuito de telecomunicações que pode ser utilizado para a transmissão de qualquer tipo de informação, levando-se em conta que ela pode ser sujeita a alguma forma de modulação tornando-a capaz de ser transmitida".

Uma visão simplificada do sistema (figura 1.1) envolveria então um "equipamento de comutação" (centrais telefônicas instaladas em um prédio denominado estação telefônica), os equipamentos do assinante (por exemplo o aparelho telefônico) e o meio de transmissão (cabos com condutores metálicos, cabos óticos ou ondas de rádio).

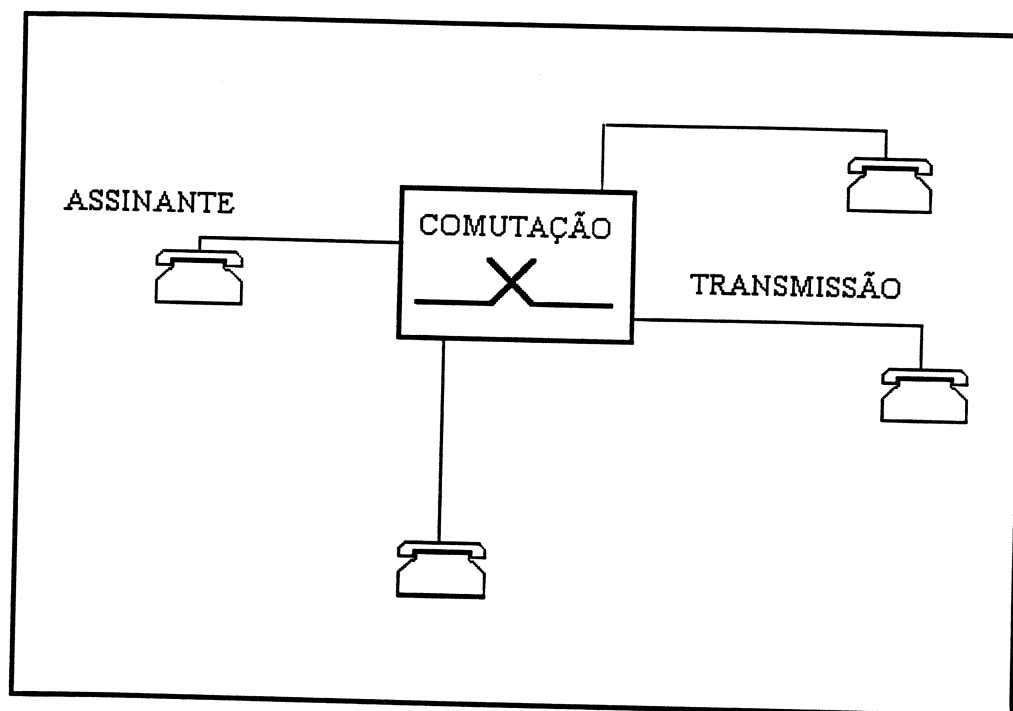


Figura 1.1
Visão simplificada do sistema de telecomunicações

Na realidade o sistema é muito mais complexo já que exige a comunicação a curtas e a longas distâncias, entre diferentes países e continentes.

A figura 1.2 mostra um diagrama esquemático envolvendo diversas estações telefônicas.

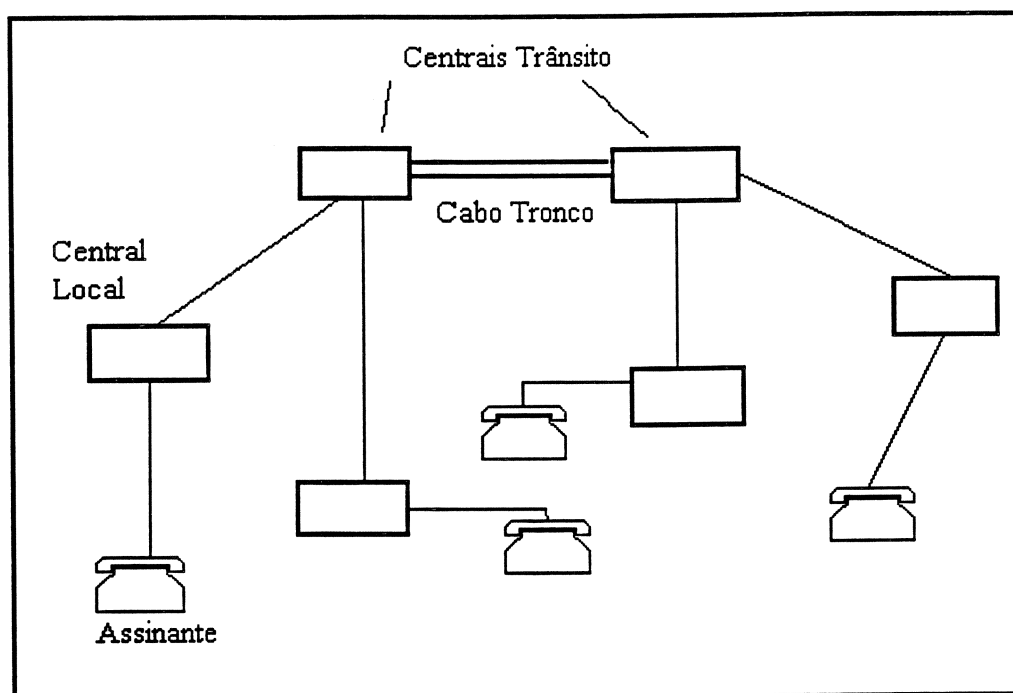


Figura 1.2
Esquemático com diversas estações telefônicas

Os prédios denominados estações telefônicas abrigam as centrais telefônicas que realizam as comutações permitindo as conversações de diferentes assinantes entre si.

Existem as chamadas centrais locais que estão conectadas diretamente aos assinantes e as centrais trânsito que permitem a comunicação entre diferentes centrais.

No prédio da estação da central local vamos descrever o que se chama de "rede local" ou na definição de [2] "na sua forma mais simples, a rede local de telecomunicações consiste em pares de fios nus ou de condutores isolados que vão do DG da estação até os aparelhos dos assinantes".

A rede local (figura 1.3) consiste então do "sistema" que permite a transmissão da comunicação da central telefônica até o assinante, envolvendo o chamado DG (Distribuidor Geral) da estação e os condutores (pares telefônicos em cabos).

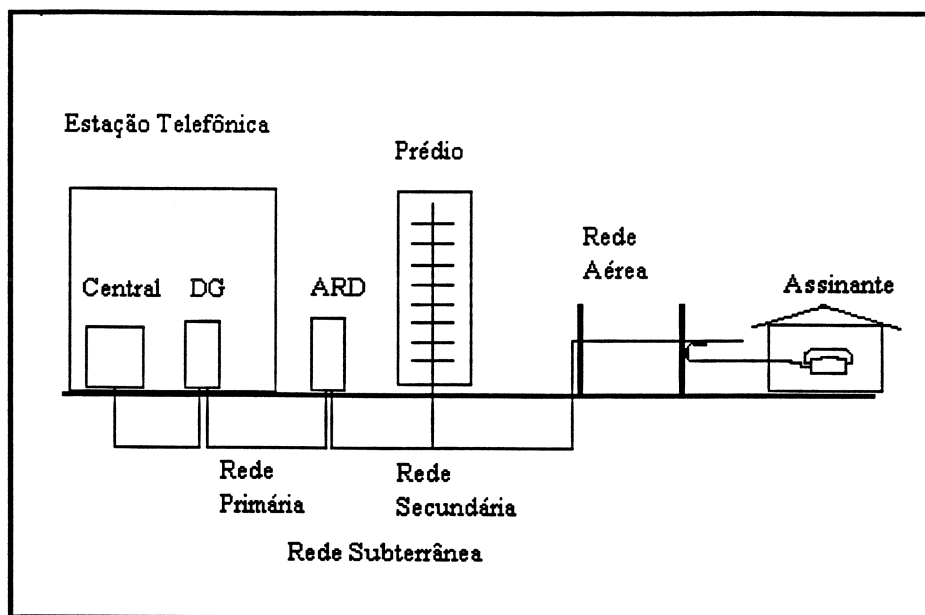


Figura 1.3
Rede Local

O DG (Distribuidor Geral) situa-se no prédio da estação telefônica e faz a interligação entre a central telefônica e os cabos telefônicos que, por sua vez, através de trecho subterrâneo (cabo primário) chegam até o armário de distribuição (ARD), de onde partem, via aérea ou subterrânea, os cabos que vão permitir o atendimento aos assinantes (cabos secundários).

Uma forma comum de atendimento final ao assinante é realizada através do fio externo (fio FE), constituído por um par de condutores isolados saindo do cabo através de pontos de distribuição como TPA's (Terminais de Pronto Acesso) ou TPF's (Terminais Poste -Fachada) e indo direto a casa do assinante. O atendimento a prédios é realizado com cabos, ocorrendo após a distribuição com fios internos (fio FI).

Podem ocorrer ainda outras formas de atendimento como a grandes assinantes diretamente dos cabos primários, quando em suas proximidades, ou ainda o atendimento direto ao assinante desde o DG por cabos totalmente subterrâneos.

O trecho subterrâneo das redes telefônicas pode ocorrer em dutos, como no caso de cabos primários, nesse caso chamado de "cabo subterrâneo" ou simplesmente enterrado diretamente no chão, quando é chamado de "cabo enterrado".

O trecho aéreo das redes telefônicas consiste em cabos em postes normalmente em uso mútuo com a rede de energia elétrica, conforme figura 1.4.

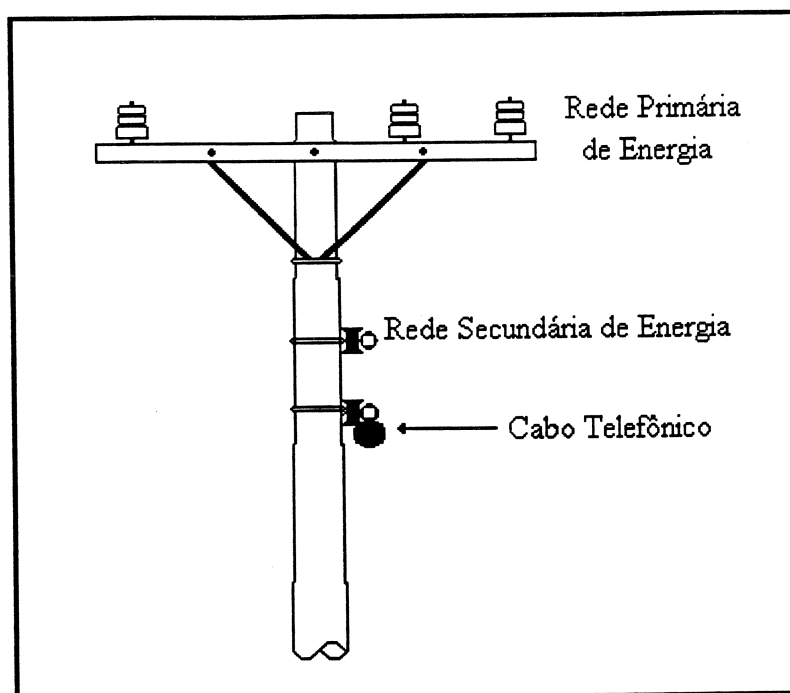


Figura 1.4
Rede Telefônica Aérea isolada

O cabo telefônico de pares metálicos (figura 1.5), que é o objeto de nossos estudos, "consiste na reunião de vários pares telefônicos isolados, dispostos em camadas e envolvidos por uma capa metálica de chumbo ou alumínio que fornece uma blindagem contra induções eletromagnéticas além de prover a estanqueidade dos cabos" [2].

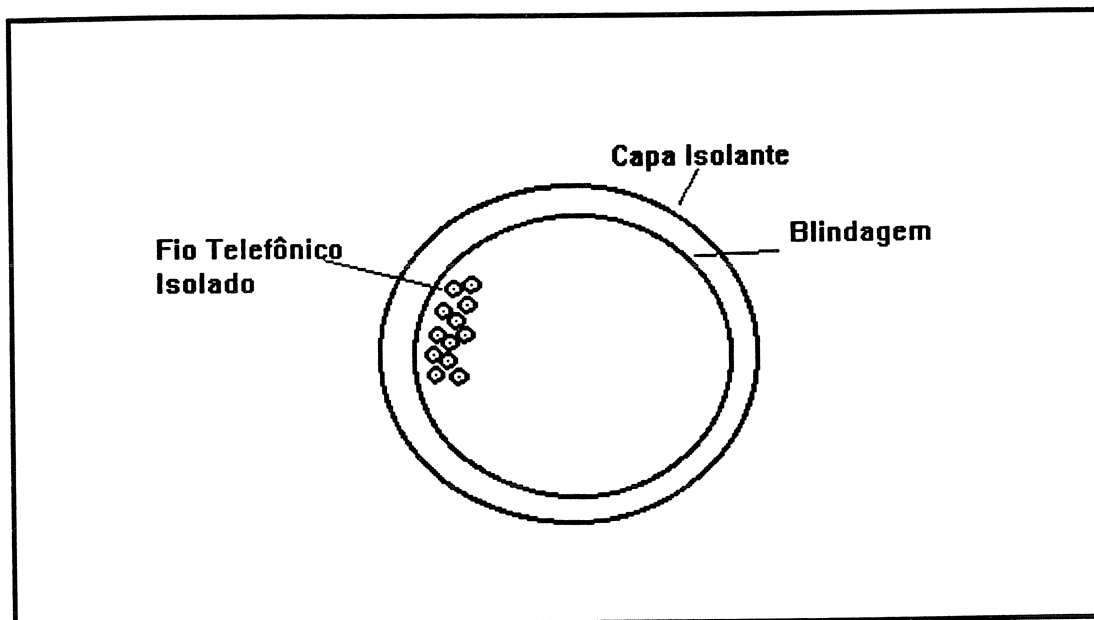


Figura 1.5
Cabo Telefônico

Para proteger e isolar essa capa metálica (blindagem) e os pares, uma segunda capa isolante de polietileno forma a configuração final do cabo telefônico.

Em cabos subterrâneos a isolação individual dos fios condutores é em geral de papel enquanto que em cabos aéreos é de material plástico (maior nível de isolação).

Quando em redes aéreas esse cabo pode ser auto-sustentado (cabo ASF - auto sustentação a fibra) ou então ter como elemento de sustentação uma cordoalha de aço, o que ocorre

na grande maioria dos casos. Essa cordoalha é "amarrada" ao cabo (espinamento) pelo chamado "fio de espinar" e vai ser então fixada ao poste diretamente ou através de isoladores (figura 1.6).

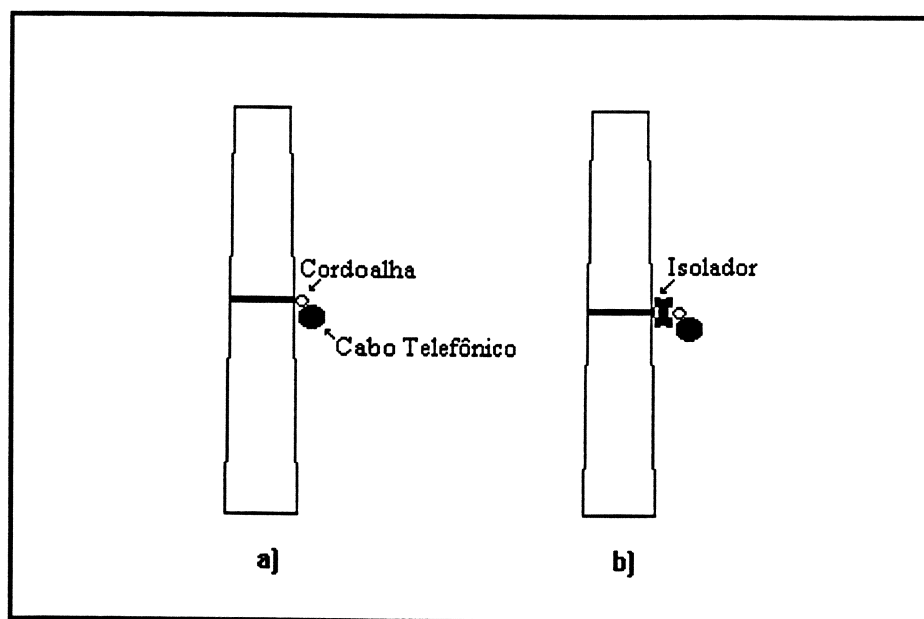


Figura 1.6
Rede sem (a) e com (b) isolamento do poste

O isolamento da cordoalha do poste está hoje estabelecido pela TELEBRÁS [3] através do Manual de Proteção Elétrica e visa a proteção da rede externa, mas o sistema ainda convive com redes sem esse isolamento.

1.2 Proteção Elétrica da Rede Externa de Telecomunicações

Por Rede Externa de Telecomunicações compreende-se o trecho do Sistema de Telecomunicações desde o Distribuidor Geral (DG) na estação telefônica até o ponto final de atendimento do fio FE na entrada do assinante.

A proteção elétrica da Rede Externa, excluindo-se o Distribuidor Geral -DG é estabelecida pelo Manual de Proteção Elétrica volume 1 - Rede Externa [3], conjunto de práticas normativas da TELEBRÁS, cujos princípios gerais são apresentados em [4] e o Projeto de Proteção Elétrica da Rede Aérea em [5]. Os pontos principais dessa proteção incluem [4], [45], [52], [53], :

- a) Isolamento entre cordoalha e poste
- b) Isolamento de emendas, armários e equipamentos de rede da cordoalha e poste.
- c) Desvinculação entre cordoalha e blindagem

O motivo do primeiro item (isolamento entre cordoalha e poste) é se evitar que uma descarga pelo poste via rede de energia atinja a rede de telecomunicações (figura 1.7).

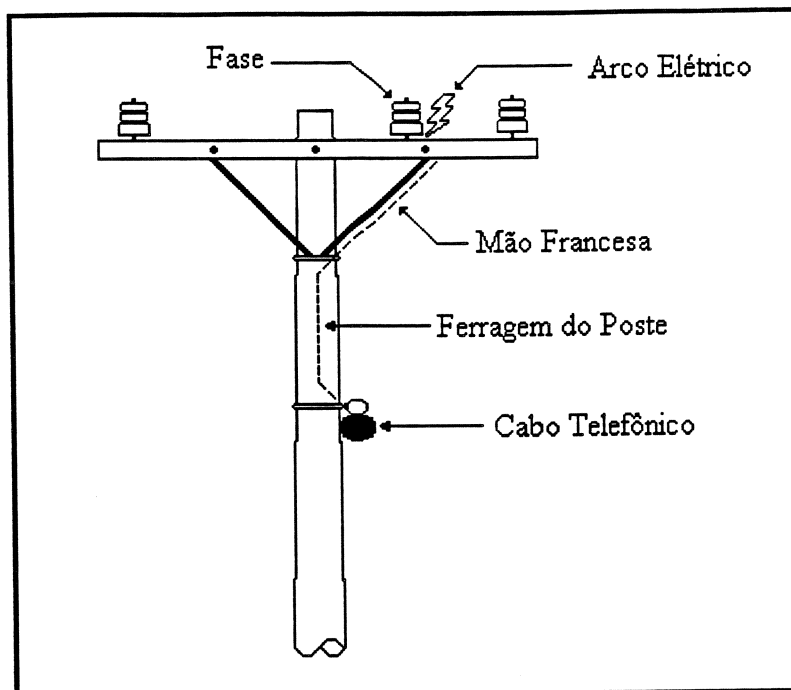


Figura 1.7
Descarga via poste
Rede Telefônica não isolada

O nível desse isolamento deve ser maior que a tensão fase-terra da rede de energia.

A desvinculação cordoalha-blindagem visa evitar a entrada na blindagem do cabo, via cordoalha, de correntes originadas de surtos na rede de energia. Isso porque, embora a cordoalha esteja isolada do poste, essa isolação não é suficiente quando da ocorrência de surtos impulsivos (devidos a descargas atmosféricas) na rede de energia. Esse também é o motivo do nível de isolamento de emendas, armários e equipamentos de rede ser superior ao do cordoalha - poste, visando uma coordenação de isolamento que evite a entrada de surtos indesejáveis no cabo telefônico.

Embora essas disposições estejam normalizadas pela TELEBRÁS, o pouco tempo dessa padronização faz com que coexistam hoje redes isoladas com não isoladas e com e sem desvinculação entre cordoalha e blindagem. Isso vai ser importante nas análises a serem realizadas a posteriori.

1.3 Proteção Elétrica de Estações Telefônicas

A Proteção Elétrica de Centrais Telefônicas é realizada no prédio da Estação Telefônica, no Distribuidor Geral (DG) da Estação através de módulos protetores colocados na entrada dos cabos na estação, conforme figura 1.8.

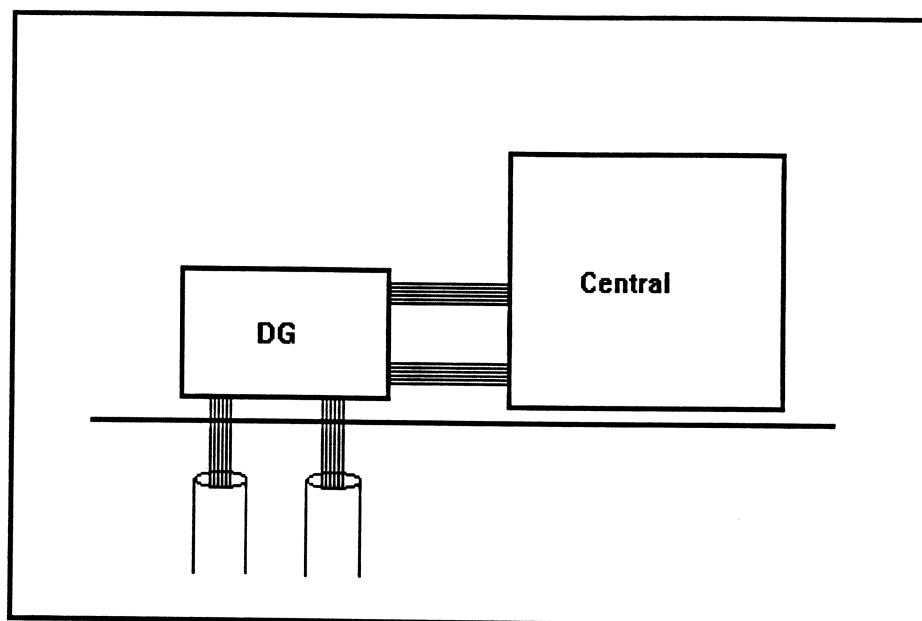


Figura 1.8
Proteção no DG

Esses módulos protetores constituem a chamada proteção primária. Uma proteção secundária, mais fina, pode ser colocada internamente ao equipamento da central telefônica, principalmente no caso de centrais digitais, mais modernas e com componentes eletrônicos mais sensíveis.

Os módulos protetores, de maneira geral, contam com uma proteção em paralelo com a linha telefônica, normalmente um centelhador a gás ou carvão e opcionalmente uma proteção em série com a linha. A proteção série normalmente é constituída de uma bobina térmica, dispositivo de proteção que atua abrindo o circuito quando da passagem de uma sobrecorrente com uma duração superior a um valor pré-determinado.

Os módulos protetores utilizados até hoje no Brasil [7], [50] são divididos em 6 grupos principais denominados :

Código	Centelhador	Prot. Série
MP-1	Bipolar gás	não
MP-2	" "	sim
MP-3	Bipolar carvão	não
MP-4	Bipolar carvão	sim
MP-5	Tripolar gás	não
MP-6	" "	não

Existem ainda, em alguns desses grupos, variações nas faixas de tensão de atuação. Os módulos protetores com centelhadores a carvão [51], embora ainda existentes nos DG's, não são mais adquiridos pela Telebrás.

As figuras 1.9 a 1.11 mostram o circuito elétrico básico de cada um deles, indicando a proteção série (quando existente) e a proteção para terra.

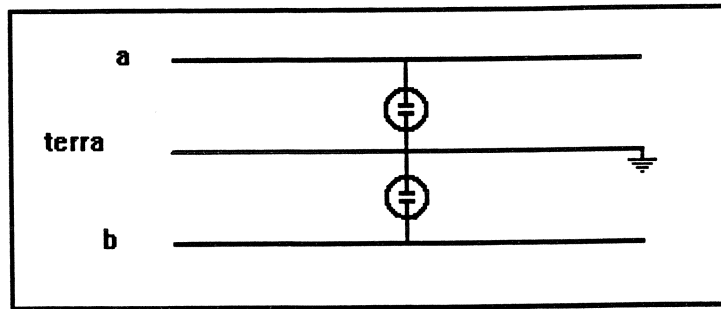


Figura 1.9
Módulo MP-1

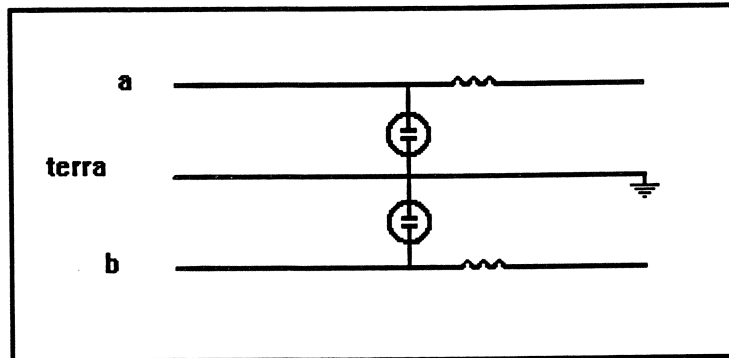


Figura 1.10
Módulo MP-2

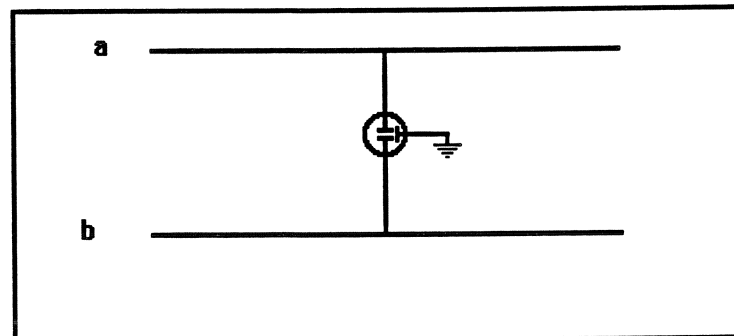


Figura 1.11
Módulos MP-5 e MP-6

Os centelhadores a carvão são sempre bipolares, ou seja, exibem um "gap" de ar entre cada um dos fios do par telefônico e a terra, enquanto que os a gás podem ser bipolares ou tripolares, nesse último caso quando os três eletrodos (2 fios do par telefônico e a terra) estão na mesma câmara.

1.4 Centelhadores

Historicamente [6], a tecnologia utilizada na proteção primária é baseada no princípio da descarga em arco, como os centelhadores a carvão e a gás, que constam basicamente de dois ou três eletrodos ou em uma câmara com gás inerte ou mistura de gases à baixa pressão (como os centelhadores à gás) ou com ar a pressão atmosférica (como os centelhadores à carvão).

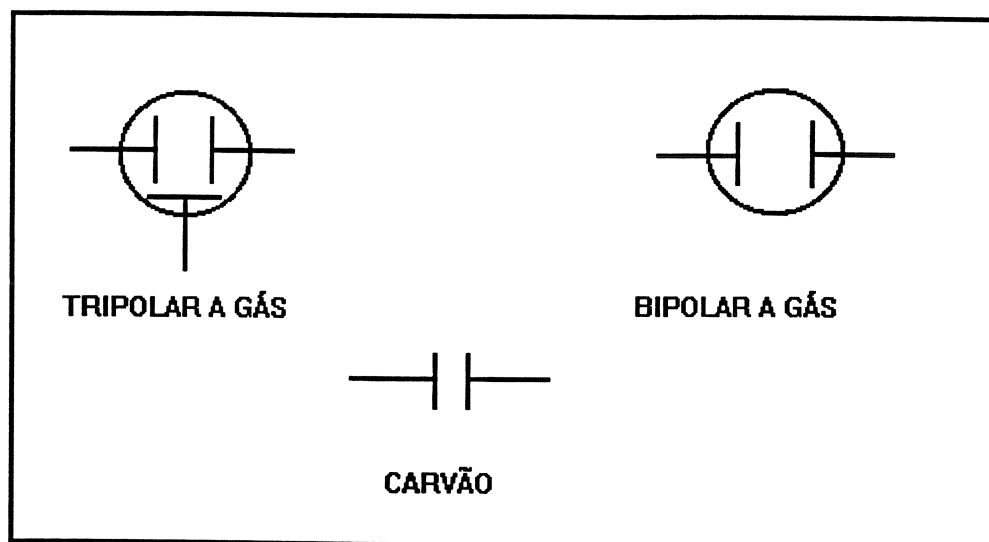


Figura 1.12
Centelhadores - Simbologia

O objetivo desses dispositivos protetores, colocados em paralelo com o par telefônico, é descarregar para terra sobretensões da rede de telecomunicações. Ou, em outras palavras, limitar os níveis de tensão possíveis de atingir os equipamentos protegidos.

Uma característica importantíssima desses dispositivos vai ser então sua tensão de disparo.

1.4.1 Lei de Paschen

A tensão de disparo entre dois eletrodos em um meio gasoso, além da dependência do tipo de gás, material e forma geométrica dos eletrodos, é função da pressão do gás e da distância intereletródica, dependendo na verdade do produto $p \cdot d$ (p =pressão do gás e d = distância entre eletrodos).

Essa relação é conhecida como "Lei de Paschen" [34] e foi estabelecida experimentalmente em 1889. Sua curva característica para o ar é mostrada na figura 1.13.

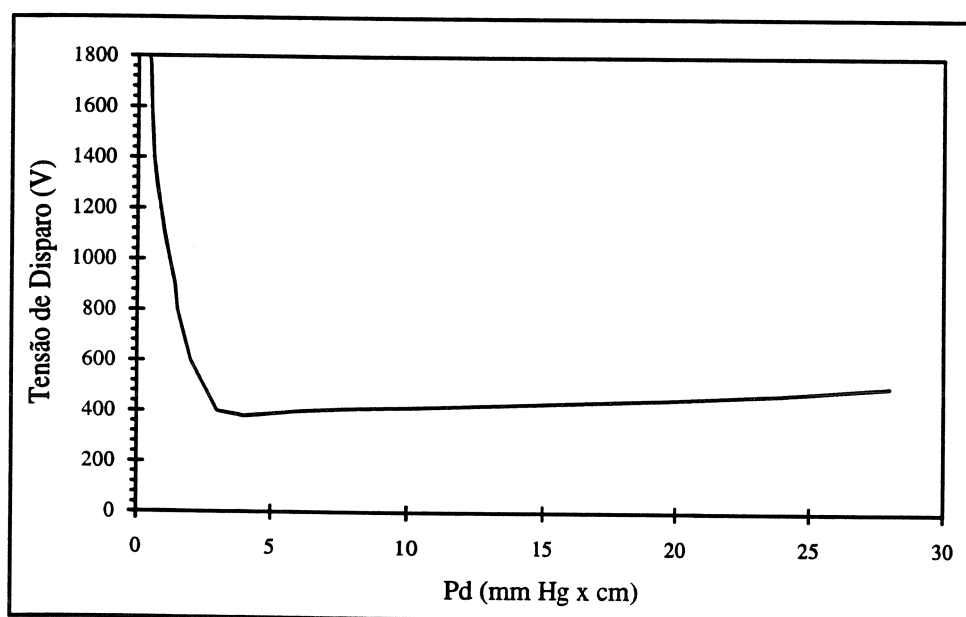


Figura 1.13
Curva de Paschen para o Ar

Se aumentarmos lentamente a diferença de potencial entre um par de eletrodos, com configuração de campo elétrico uniforme, separados por uma distância d e imersos em um gás a uma dada pressão, ao atingirmos uma diferença de potencial específica irá ocorrer a descarga entre os eletrodos (ocorrência do "breakdown" elétrico do gás).

Na definição de Meek and Craggs [34] "Este breakdown é caracterizado pela rápida transição do gás de um mau condutor elétrico com uma resistividade da ordem de 10^{14} ohm.m a um relativamente bom condutor com resistividade dependente de condições particulares com muitas ordens de grandeza menor, tornando-se tipicamente da ordem de 10^3 ohm.m na fase de descarga "glow", por exemplo. A diferença de potencial na qual a transição ocorre é chamada de tensão de "breakdown" ou "sparking" que em geral depende da natureza e densidade do gás, do material e estado dos eletrodos e do grau de ionização pré-existente".

Pela curva da figura 1.13 observa-se que mantendo-se " d " constante à medida que a pressão " p " decresce, a tensão de descarga " V_d " também decresce. A razão disto é que [48] o "livre caminho médio" fica mais longo e a aceleração dos elétrons devido à ação do campo elétrico fica maior, aumentando-se, como consequência, a ionização por colisão.

A tensão de descarga decresce até atingir um mínimo para determinado valor do produto " $p.d$ ".

Para pressões menores que este valor, a tensão de descarga " V_d " cresce abruptamente, sendo que nesse caso supõe-se que o livre caminho médio fica exageradamente longo, diminuindo-se consequentemente a frequência de colisões de elétrons, reduzindo-se portanto a ionização por colisão.

O ponto de inflexão ocorre em um mínimo da curva, correspondendo a um " $p.d$ " mínimo e a uma chamada tensão crítica de descarga.

O ponto " $p.d$ " mínimo corresponde a uma eficiência máxima de ionização, não podendo ocorrer ruptura do dielétrico abaixo da correspondente tensão crítica de descarga, mesmo variando-se quaisquer dos parâmetros.

A tensão de descarga num dado gás vai depender também da função-trabalho do material do catodo (efeito de ionização) e das condições superficiais dos eletrodos.

De qualquer maneira, um dado gás, sob determinadas condições, tem uma curva característica de tensão de descarga versus " $p.d$ " e, portanto, uma tensão mínima de descarga.

Para diferentes gases teremos diferentes curvas características e valores típicos de " V_d " mínimo, como pode ser visto na figura 1.14 onde são plotados valores experimentais de " V_d " versus " $p.d$ " para Argônio, gás carbônico e Hidrogênio [35] e na figura 1.15 para Argônio e diferentes materiais dos eletrodos.

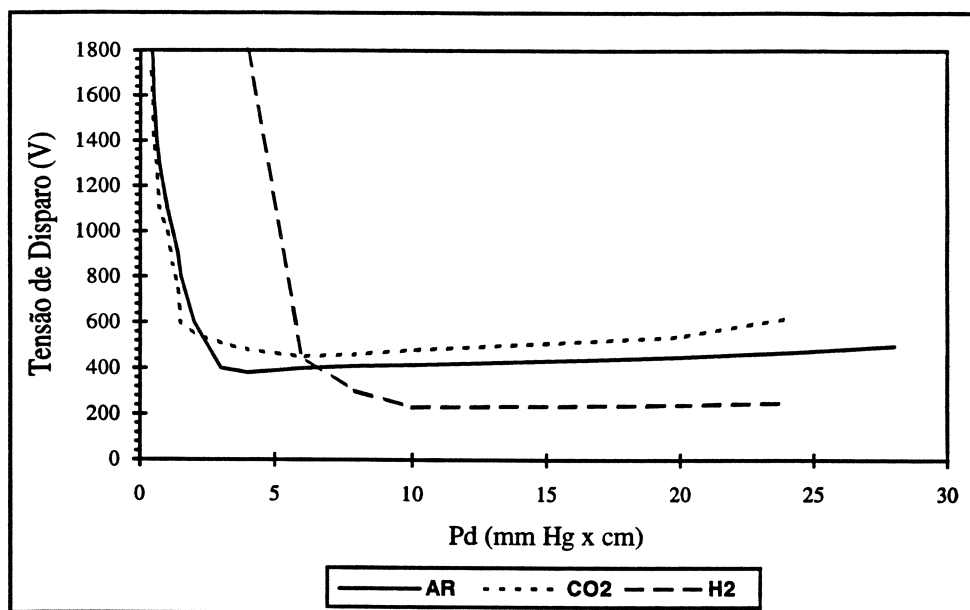


Figura 1.14
Curvas de Paschen
Ar, Gás Carbônico e Hidrogênio

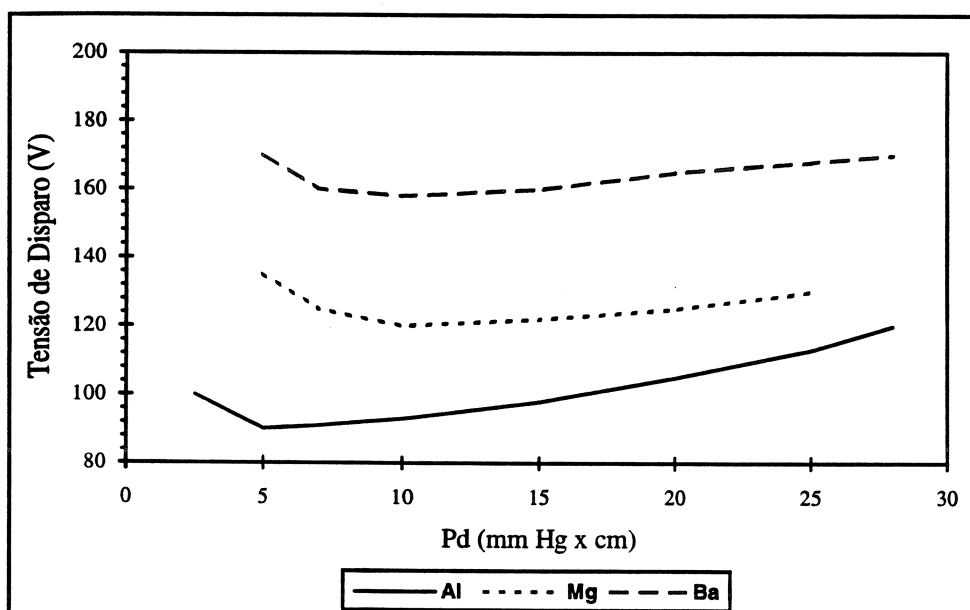


Figura 1.15
Curvas de Paschen
Argônio

Uma outra técnica utilizada para se conseguir menores valores de tensão de disparo é a mistura de gases (efeito Penning). Segundo Meek and Craggs [34] "em certos gases a tensão de disparo é grandemente reduzida acrescentando-se uma pequena quantidade de outro gás. Um exemplo é a mistura neônio-argônio, onde a tensão de disparo da mistura é menor que em neônio ou argônio puro".

1.4.2 Centelhadores a gás e carvão

Os centelhadores a carvão são constituídos de dois eletrodos com um "gap" de ar da ordem de 0,1 mm entre eles, à pressão atmosférica.

Como os centelhadores a carvão trabalham com o ar à pressão atmosférica para se conseguir disparo nos valores desejados exige-se valores de "gap" muito pequenos, dificultando o controle dessa distância em escala industrial. Por isso, o centelhador a carvão apresenta uma variação grande na sua tensão de disparo ou uma maior faixa de tensão de disparo.

Os centelhadores a gás possuem um "gap" maior, da ordem de 1 mm, com dois ou três eletrodos metálicos em uma câmara com um gás inerte ou mistura de gases à baixa pressão. Por trabalhar com câmaras fechadas com gases nobres, mistura de gases, gases nobres com dopantes ou outros artifícios que permitam um maior controle do processo de ionização do meio, tem a probabilidade de trabalhar com faixas mais estreitas de tensão de disparo (comparativamente com os a carvão) e com maior reprodutibilidade.

1.4.3 Taxa de crescimento dV/dt e tensão de disparo

A tensão de disparo dos centelhadores é dependente também da taxa de crescimento com o tempo (dV/dt) da tensão incidente.

A figura 1.16 mostra a resposta típica de centelhadores a gás e carvão às solicitações elétricas, com níveis de tensão de disparo mais baixos na região estática, de baixas taxas dV/dt , que na região dinâmica, de altos dV/dt .

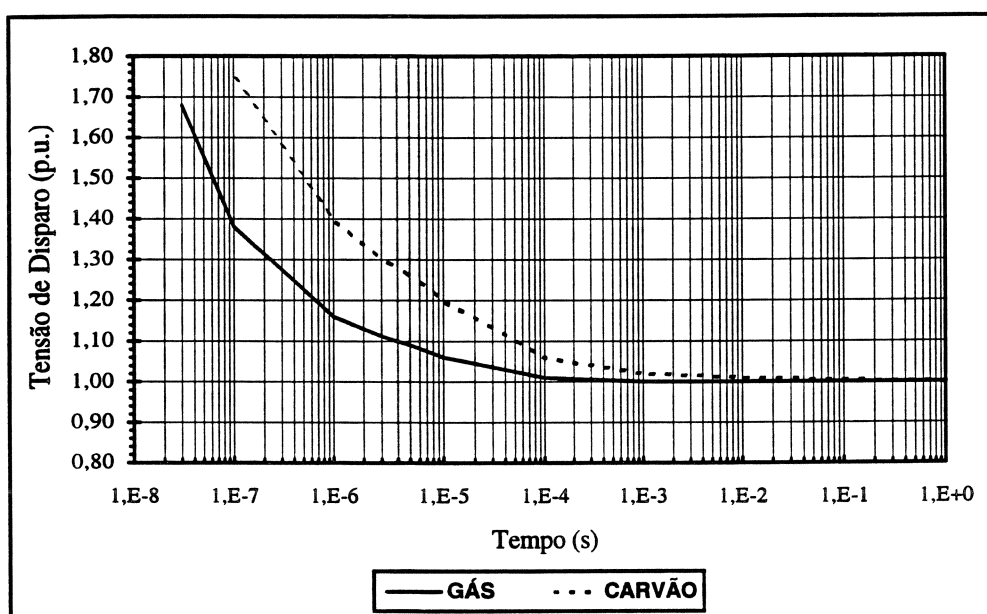


Figura 1.16
Tensão de Disparo x Tempo

Normalmente, os valores de tensão de disparo para caracterização dos protetores são fixadas em 100 V/s (chamada de tensão contínua) e 1 kV/ μ s ou 100 V/ μ s, chamada de tensão de impulso.

A figura 1.16 mostra a tensão de disparo do protetor versus tempo, mostrando a tensão em valores por unidade (p.u.) relativa a tensão de disparo para 100 V/s (tensão contínua), ou seja 1 [p.u.] corresponde ao valor dessa tensão.

A característica $t \times V$ de descarga de um centelhador a gás é mostrada na figura 1.17 [37], nas suas etapas de disparo, iluminação e tensão de arco.

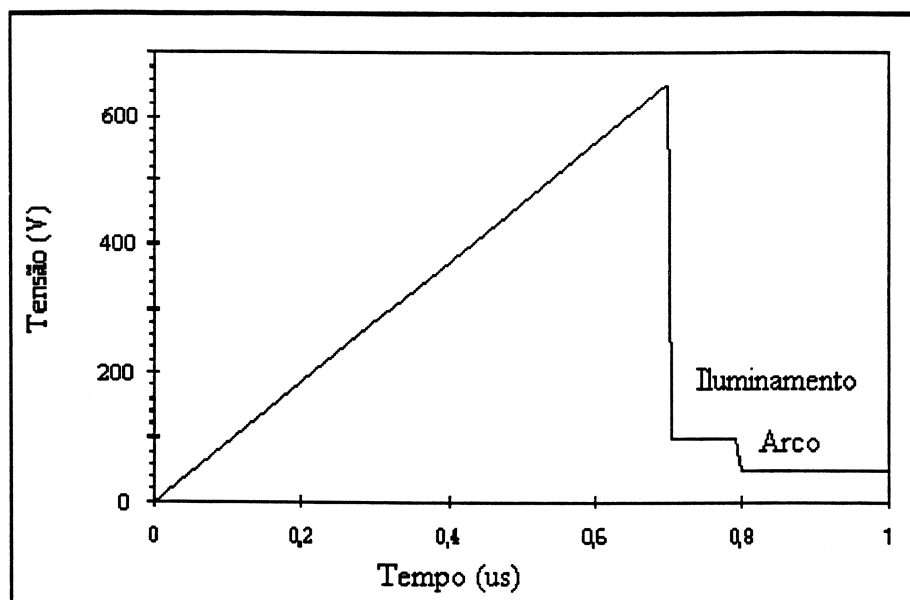


Figura 1.17
Característica txV de descarga do centelhador a gás

Uma outra característica importante é a sua capacidade de dreno de corrente, ou seja, a intensidade de corrente que pode suportar durante um dado tempo.

Essa característica é avaliada submetendo-se o centelhador ou a uma corrente alternada durante alguns ciclos (teste de longa duração) ou a correntes impulsivas (da ordem de microsegundos).

A aplicação de uma série de correntes impulsivas pode estabelecer a vida útil do componente, além de prever o modo de falha quando em fim de vida.

O modo de falha admissível para o componente é o curto-circuito, protegendo assim o equipamento.

Os materiais dos eletrodos; carbono (centelhadores a carvão), metálico (centelhadores a gás), a presença de oxigênio e a necessidade de um "gap" muito pequeno para o centelhador a carvão fazem com que a suportabilidade a descargas (vida útil) do centelhador a carvão seja menor que a do centelhador a gás.

Uma nova família de componentes de proteção aparece nos anos 80, a base de semicondutores (estado sólido), cuja característica $I \times V$ é similar ao dos centelhadores a gás mas possuindo algumas características que os distinguem.

A tensão de disparo do protetor a estado sólido apresenta menor variação entre a zona estática (baixos dV/dt) e zona dinâmica (altos dV/dt) do que ocorre nos centelhadores a gás e carvão, como pode ser visto nas figuras 1.18 e 1.19, além de uma menor dispersão de valores de tensão de disparo para uma mesma taxa de crescimento de tensão (dV/dt), conforme figura 1.20.

A figura 1.19 mostra as três taxas típicas de dV/dt , considerando-se uma tensão de disparo contínua (100 V/s) de 300 V, ou seja 1 p.u. equivale a 300 V.

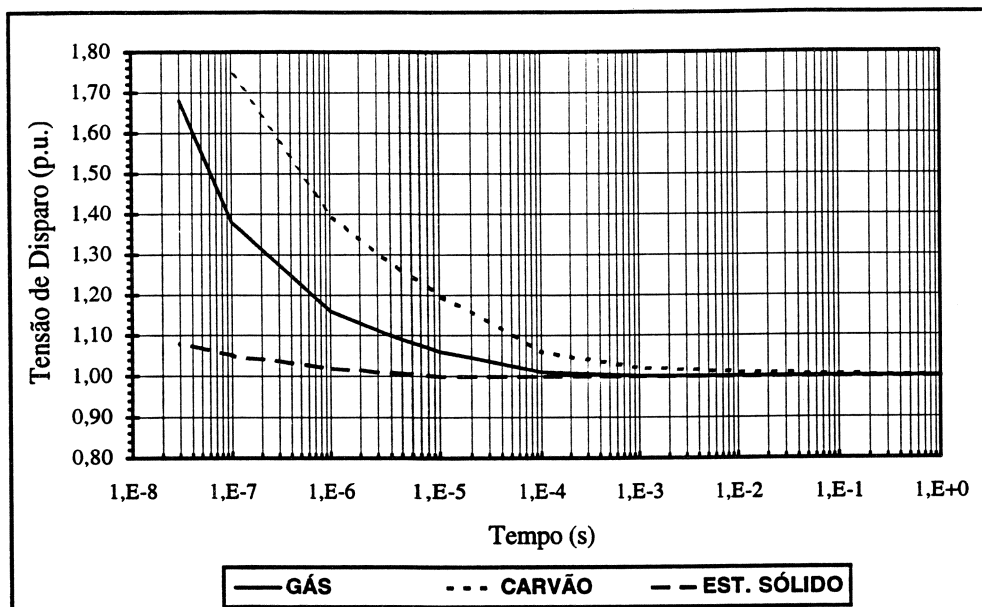


Figura 1.18
Tensão de Disparo x Tempo

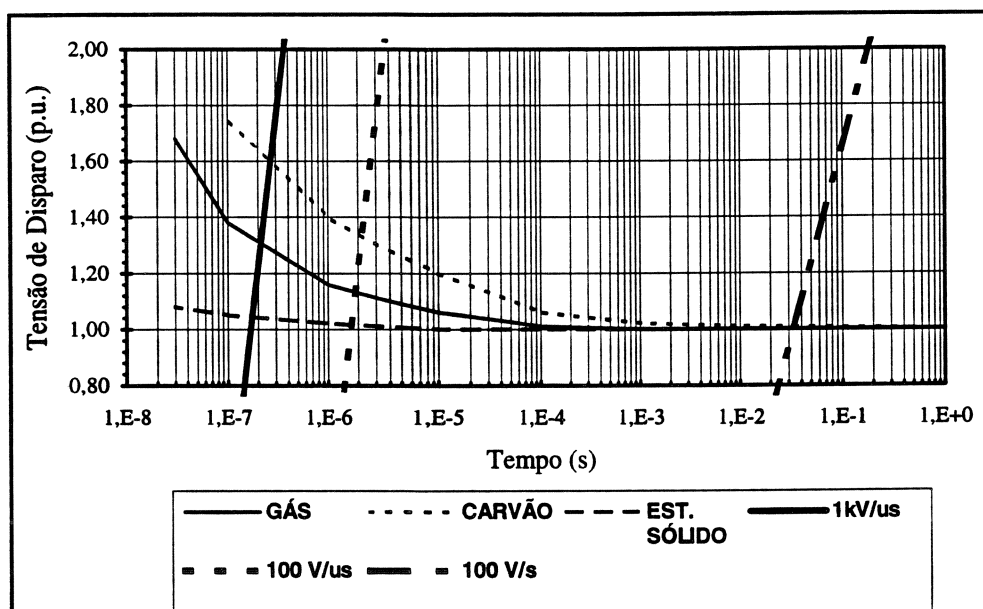


Figura 1.19
Tensão de Disparo e Taxa de crescimento dV/dt
1 [p.u.] = 300 V

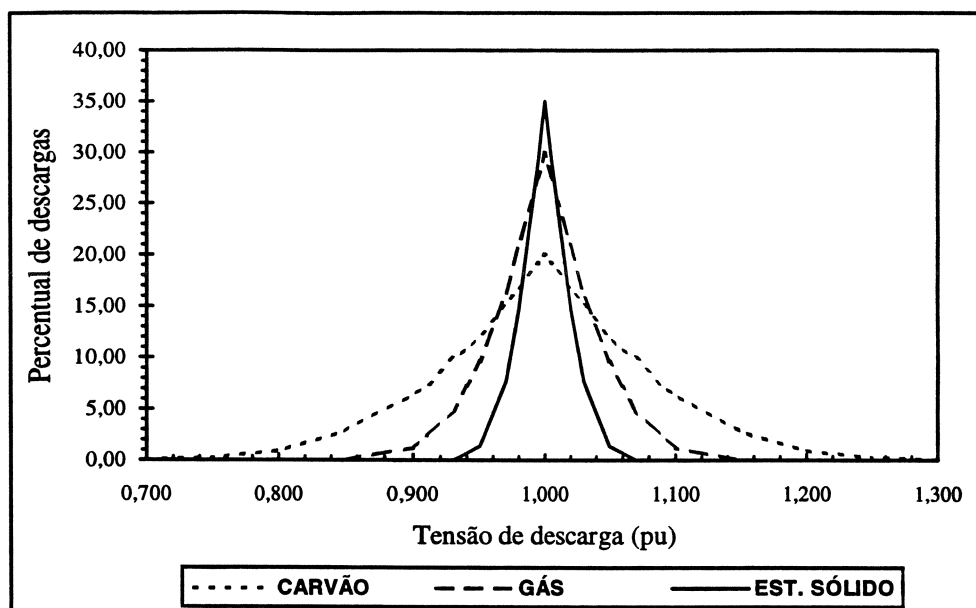


Figura 1.20
Distribuição de frequência da Tensão de Disparo (100 V/μs)

Por outro lado a capacidade de drenagem de corrente do estado sólido é menor que a do centelhador a gás, ou seja, enquanto um centelhador a gás é previsto suportar centenas de descargas de, por exemplo, 500 A e até mesmo uma aplicação no nível de 10 kA, os dispositivos de estado sólido devem suportar centenas de aplicações em correntes do nível de 100 A porém geralmente não suportam uma aplicação no nível de 500 A.

1.5 Especificações de módulos protetores para DG's

As especificações do Sistema Telebrás (STB) [7] e CCITT [49] para protetores instalados nos Distribuidores Gerais (DG's) de Estações Telefônicas eram baseadas no limite que uma dada tecnologia pode oferecer e não nas reais necessidades do sistema de telecomunicações.

Desta maneira as especificações para os módulos protetores a serem instalados nos DG's [7] seguiam os valores máximos possíveis de serem alcançados pela tecnologia de centelhadores a gás, assim como até alguns anos atrás convivia-se com especificações diferentes para centelhadores a carvão e gás, ambas visando a mesma utilização.

Assim é que, por exemplo, para o teste de vida útil, com aplicações de 500 A com uma onda de 10/1000 μs, enquanto se exigia até 400 disparos para a tecnologia gás, para o carvão o limite máximo era de 20 aplicações, ou seja o limite da tecnologia.

De qualquer maneira, tanto em um como no outro caso os valores exigidos nada tinham a ver com as reais necessidades do sistema, ou com valores obtidos de medições.

As especificações, baseando-se nessas características, são especificações construtivas, ou seja, indicam a tecnologia a ser utilizada, exigindo-se o limite fornecido por ela (no caso, as especificações da tecnologia gás).

Embora os protetores a arco tenham uma excelente capacidade de drenagem de energia, eles apresentam alguns problemas [6]. O mais crítico é o da erosão apresentada pelos seus eletrodos quando submetidos a descargas, gerando problemas operacionais tais como ruído ou curto circuito do par, levando a necessidade de manutenção.

Objetivando-se conhecer o ambiente elétrico no DG, e assim estabelecer critérios mais realistas de desempenho para módulos protetores, criou-se então a necessidade de se realizar medições de surtos em Distribuidores Gerais.

1.6 Projeto COPELITE

Diversos países realizaram medições de sobretensões e sobrecorrentes em linhas telefônicas[8],[9],[10],[11],[12],[13],[14],[15],[16],[17],[18],[19], e dadas as condições específicas da rede telefônica brasileira optou-se por realizar tais medições no Brasil, através do CPqD, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Telebrás, no chamado Projeto COPELITE - Conhecimento das Perturbações Elétricas em Linhas de Telecomunicações.

Antes de se decidir qual método utilizar foram realizadas medições em uma linha telefônica experimental utilizando-se três diferentes métodos.

Um deles foi um "Sistema de Monitoração de Transientes" que consiste em um sistema eletrônico capaz de armazenar informações de formas de onda monitoradas. Embora esse sistema forneça informações completas, não é possível se cobrir com ele um grande número de linhas devido a seu alto custo. Os resultados obtidos por esse método estão mostrados no capítulo 3.

Um outro método avaliado foi o Contador de Surtos, que consiste em um equipamento eletrônico que permite a contagem do número de surtos que ultrapasse um determinado nível de tensão ou corrente.

Também nesse caso os fatores limitantes são o custo envolvido e procedimentos operacionais que limitam seu uso a poucas linhas telefônicas.

O terceiro método avaliado foi o das marcas em centelhadores a carvão, que foi o método utilizado em larga escala, e cujos resultados estão nos capítulos 4,5 e 6. O capítulo 2 a seguir mostra as principais fontes de perturbação da rede telefônica.

2 SOBRETENSÕES E SOBRECORRENTES EM REDES DE TELECOMUNICAÇÕES

As redes de telecomunicações estão sujeitas a ocorrências de sobretensões e sobrecorrentes advindas de fontes externas tais como redes de energia elétrica, descargas atmosféricas e outras. São normalmente divididas quanto a sua origem [2] naquelas devidas a redes de energia elétrica e descargas atmosféricas como causas principais e a tração elétrica, rádio-difusão, pulsos nucleares, tempestades magnéticas e outras como causas de menor monta.

Essas sobretensões e sobrecorrentes podem ainda causar danos, quando de maior intensidade, ou simplesmente interferência. No primeiro caso, provocadas principalmente por redes de energia e descargas atmosféricas, podem ocorrer danos ou interrupções na própria rede de cabos e fios, danos ou mau funcionamento dos equipamentos do assinante ou dos equipamentos e protetores de estações telefônicas (DG, Central, etc..).

No segundo caso, podem ocorrer mau-funcionamento de equipamentos e interferência propriamente dita na conversação telefônica (sinal de voz) ou na transmissão de dados.

Nesse estudo, o enfoque a ser dado abrange principalmente as interferências e danos causados por descargas atmosféricas e em menor grau, por linhas de energia elétrica. Nesse sentido, as outras fontes não serão comentadas. As subdivisões dos itens apresentados a seguir envolvem essas duas fontes de perturbações.

2.1-Redes de Energia Elétrica

No caso de Energia Elétrica, podemos subdividir em 4 casos principais :

- a)-Contato entre a redes telefônica e de energia
- b)-Acoplamento pelos sistemas de aterramento
- c)-Indução Magnética
- d)-Indução Elétrica

Em qualquer dos casos, a maior fonte de problemas ocorre devido ao uso mútuo de posteação entre as redes de energia e de telecomunicações, comum na grande maioria da rede telefônica brasileira. Usualmente, a rede telefônica vai conviver com as redes de energia primária e secundária, numa disposição propícia a ocorrência de eventos (figura 2.1).

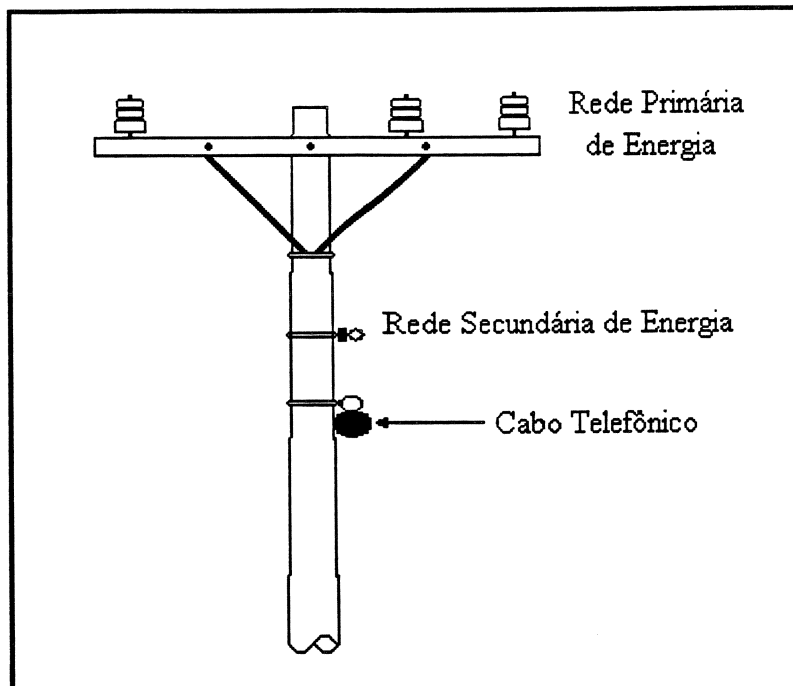


Figura 2.1
Posteação com uso mútuo entre redes de energia e telefônica
Rede Telefônica não isolada

Conforme descrito em 1.2, a rede telefônica pode ou não estar isolada do poste e, além do uso mútuo, podem ainda ocorrer paralelismos entre as duas redes, embora em posteações diferentes. No caso de linhas de transmissão, com a rede de energia em torres ou postes e com a existência de paralelismos ou cruzamentos com a rede telefônica.

2.1.1 Indução Magnética

Esse tipo de acoplamento [31], [32], [33] entre as redes foi especificamente estudado por Barbosa [2], principalmente para as condições das redes de energia e telefônica no Brasil e, segundo sua definição, "consiste na imposição de tensões nas linhas de telecomunicações devido ao acoplamento magnético com linhas de energia elétrica" ou ainda "como o fenômeno através do qual as correntes que circulam em uma linha de energia elétrica (circuito indutor) induz tensões em uma linha de telecomunicações (circuito induzido)".

No caso da rede telefônica esse acoplamento se dá pela indução direta nos fios quando do uso de redes de fios, ou em fios externos (fio FE) como na figura 2.2, ou através da circulação de correntes, via indução da rede de energia, na blindagem do cabo (normalmente aterrada nas pontas) e com posterior acoplamento com os pares no seu interior (tensão de transferência).

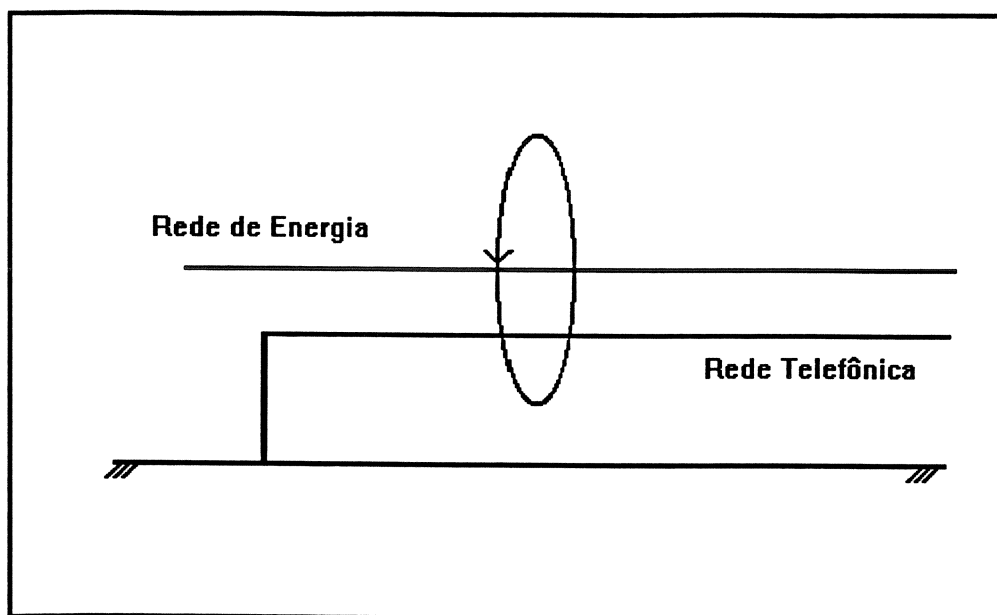


Figura 2.2
Indução Magnética do fio telefônico

2.1.2 Indução Elétrica

A indução elétrica [31] vai se produzir pelo acoplamento capacitivo entre as redes de energia elétrica e de telecomunicações. Assim como no caso da indução magnética, a tensão induzida por acoplamento capacitivo é dependente da distância entre o fio indutor e o induzido e a existência ou não de elementos de blindagem, só que nesse caso não importa a existência ou não de corrente circulando no elemento indutor (rede de energia) mas apenas seu nível de tensão. O modo básico de acoplamento capacitivo é mostrado na figura 2.3.

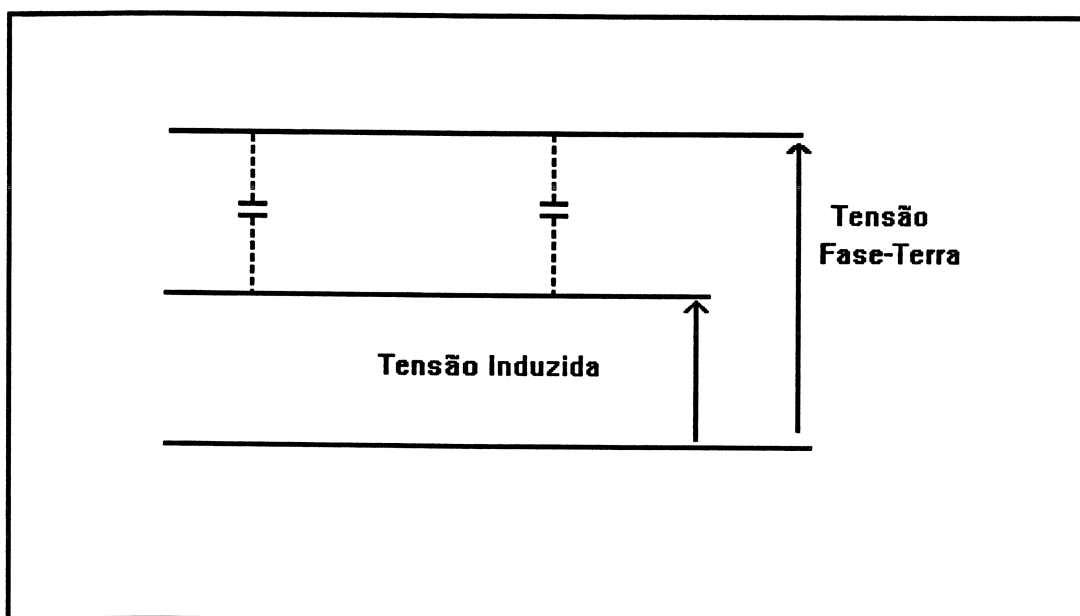


Figura 2.3
Indução Elétrica

A corrente circulante no condutor induzido vai depender da extensão do paralelismo entre as duas redes. A seguir, nas figuras 2.4 e 2.5, são mostradas duas configurações [25] de acoplamentos de redes de energia e de telecomunicações com o perfil da tensão induzida no fio

telefônico. Na figura 2.4, o caso de uma rede monofásica com retorno por terra, na figura 2.5 uma rede trifásica a três fios (sem neutro) com 13,8 kV em uso mútuo com a rede telefônica.

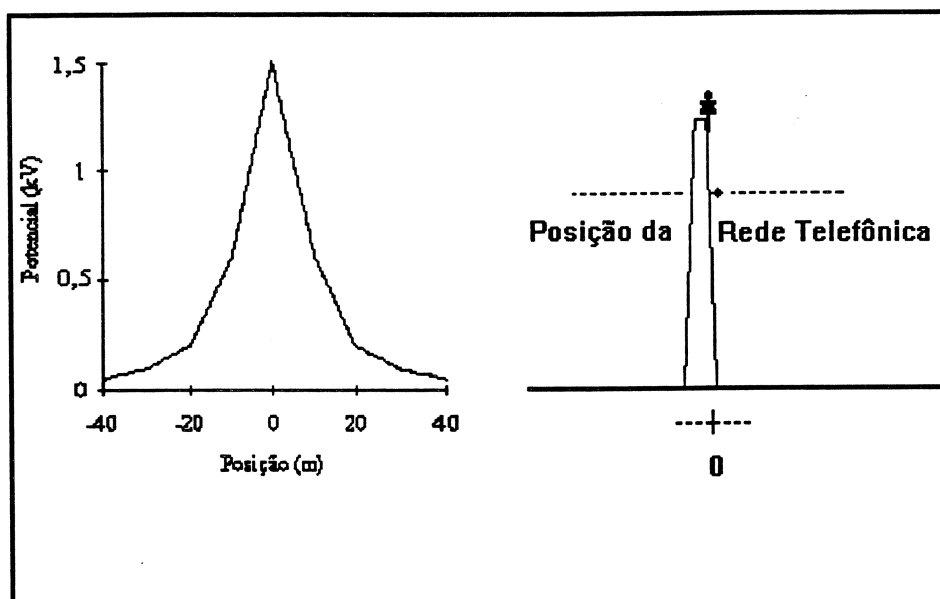


Figura 2.4
Indução Elétrica Linha Monofásica

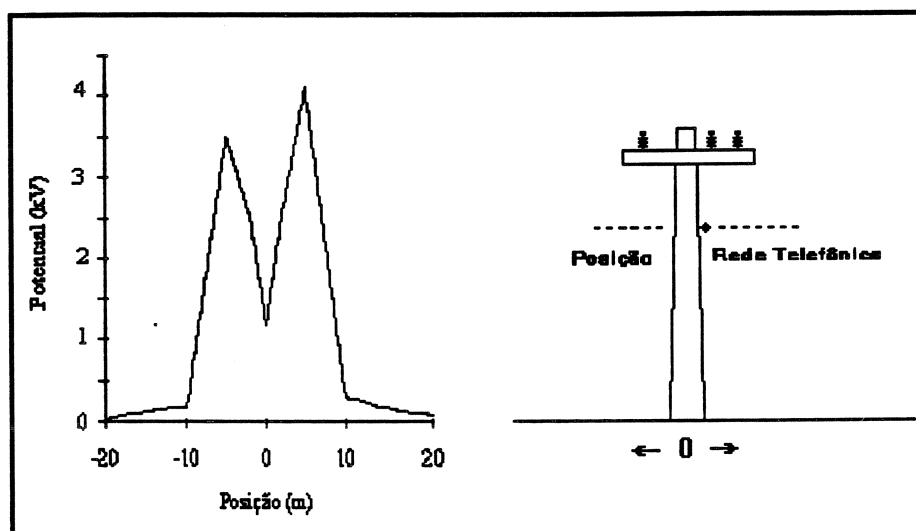


Figura 2.5
Linha Trifásica 13,8 kV

2.1.3 Acoplamento pelo sistema de aterramento

A rede telefônica realiza aterramentos do seu cabo mensageiro e da blindagem e estes aterramentos podem estar próximos de aterramentos do neutro da rede de energia elétrica ou de subestações de energia. Quando da ocorrência de drenagem de corrente para terra na rede de energia, vão ser criados equipotenciais no solo nas proximidades desse aterramento, podendo com isso impor potenciais ao aterramento da rede telefônica e, conseqüentemente, na própria rede de telecomunicações.

Deve-se então manter uma distância mínima de aterramentos ou de subestações de energia elétrica para se evitar danos à rede telefônica por esse tipo de acoplamento. O perfil de tensões típico de aterramentos de energia, ou de malhas de subestações podem ser vistos nas figuras

2.6 e 2.7 [4]. As práticas Telebrás recomendam [5] um afastamento mínimo de 20 metros dos aterramentos de energia e 250 metros da cerca de subestações.

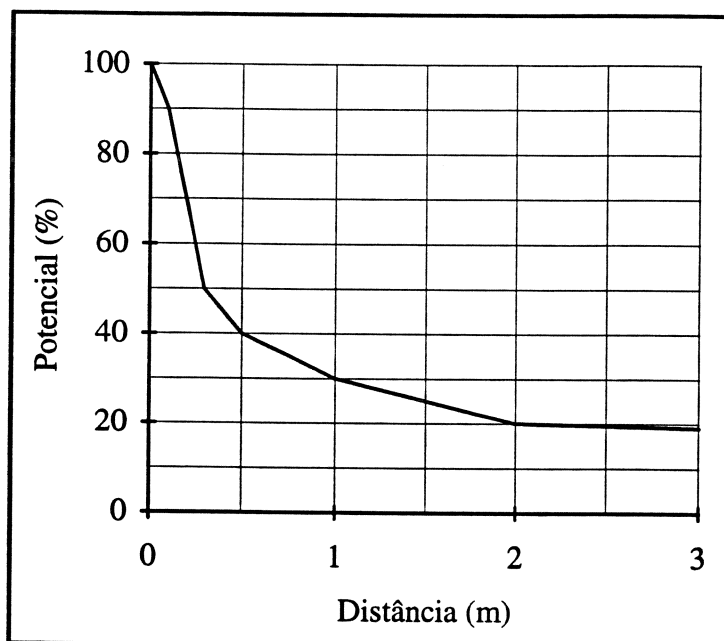


Figura 2.6

Perfil de potencial de um aterramento de neutro de energia [4]

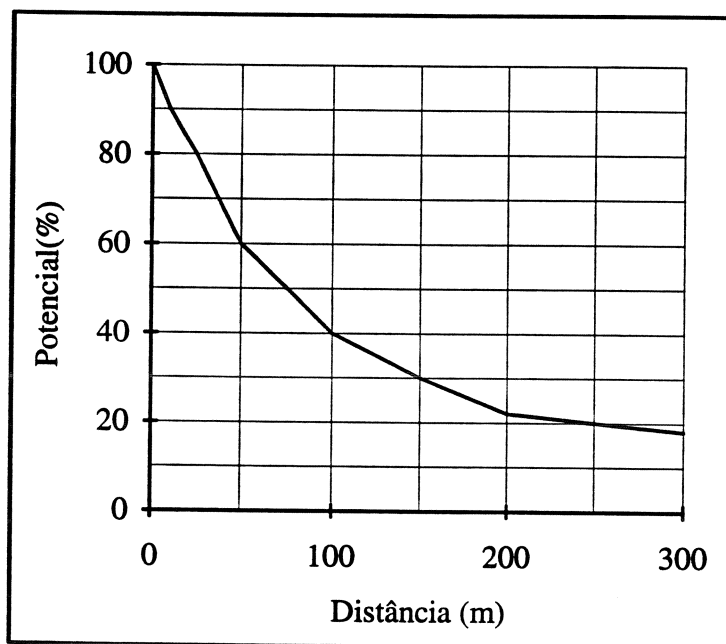


Figura 2.7

Perfil de potencial da malha de aterramento de subestação [4]

2.1.4 Contatos com rede de energia

O contato entre a rede telefônica e de energia pode se dar de 2 formas :

- Contato metálico direto
- Contato via rompimento de isolação, ou via arco elétrico.

O primeiro caso ocorre quando temos rompimento do condutor de energia com queda sobre os condutores telefônicos. Já o segundo caso, mais frequente, pode ocorrer com a descarga via isoladores de energia para o poste e deste para a rede telefônica, conforme descrito por [26] e [4] e mostrado na figura 2.8.

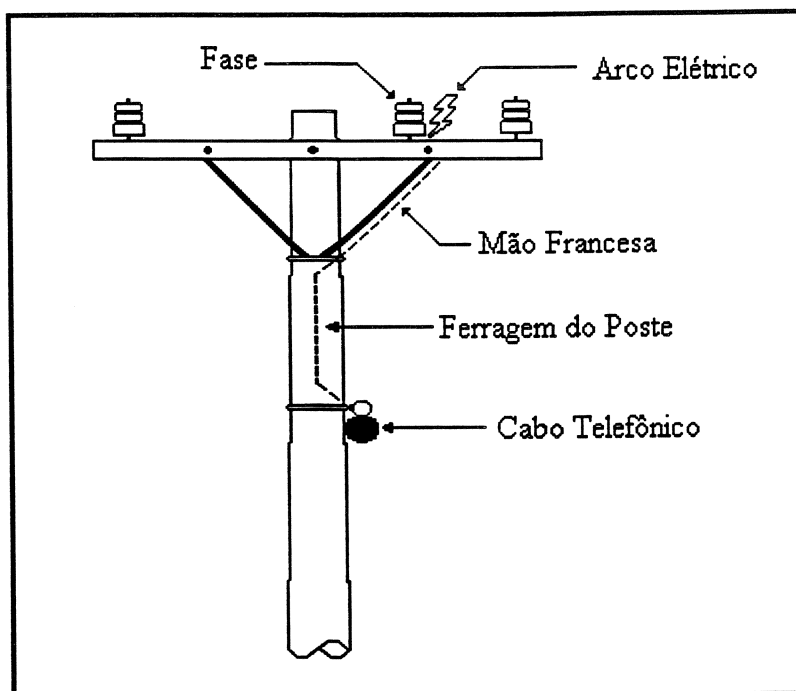


Figura 2.8
Rompimento de isolamento entre redes telefônica e de energia

Os contatos entre rede telefônica e de energia foram estudados por Paulino [26] e mostram que o caminho da descarga via poste, com o rompimento da isolamento do isolador de energia e posterior entrada no cabo telefônico pode ser minimizado com a isolamento da rede telefônica do poste [4] em níveis superiores ao nível de tensão da rede de energia. Mesmo com esse isolamento, podem ainda ocorrer descargas subsequentes [4] em 60 hz em sequência a arcos por descargas impulsivas. Nesse caso, as práticas Telebrás [5] indicam uma coordenação de isolamento com a isolamento entre o cabo mensageiro e outros elementos da rede, e a utilização deste último como elemento de dreno dessas correntes.

É importante salientar que embora essas recomendações da Telebrás reduzam substancialmente a entrada de correntes em 60 Hz (assim como por descargas atmosféricas) e que esse sistema esteja sendo implantado em praticamente todos os Estados do Brasil, hoje ainda se convive com redes sem essa coordenação de proteção, principalmente na época em que foram realizadas as medições constantes desse trabalho.

2.2 Descargas atmosféricas

Este trabalho concentra-se principalmente nas sobretensões e sobrecorrentes em redes de telecomunicações originadas por descargas atmosféricas diretas ou indiretas (por indução), razão pela qual esse tema vai ser colocado mais detalhadamente. Vão estar sujeitos a danos e interferências por descargas atmosféricas tanto cabos aéreos como subterrâneos ou enterrados, e embora descargas diretas provoquem danos maiores quando ocorrem, o grande percentual de ocorrências de danos por descargas atmosféricas vai ser devido aquelas ocorridas nas proximidades da rede telefônica (descargas indiretas), indicando a relevância de seu estudo.

2.2.1 O fenômeno físico da descarga atmosférica

Segundo a definição de Uman e Krider [27] "descarga atmosférica é uma descarga elétrica transitória de alta corrente e com a extensão do canal de descarga medida em quilômetros" e que "a fonte de descarga atmosférica mais comum é a carga elétrica presente em nuvens de tempestade".

A figura 2.9 mostra uma distribuição típica de cargas em uma nuvem de tempestade [39], [41] com cargas positivas no topo e na base da nuvem e com cargas negativas no centro da nuvem.

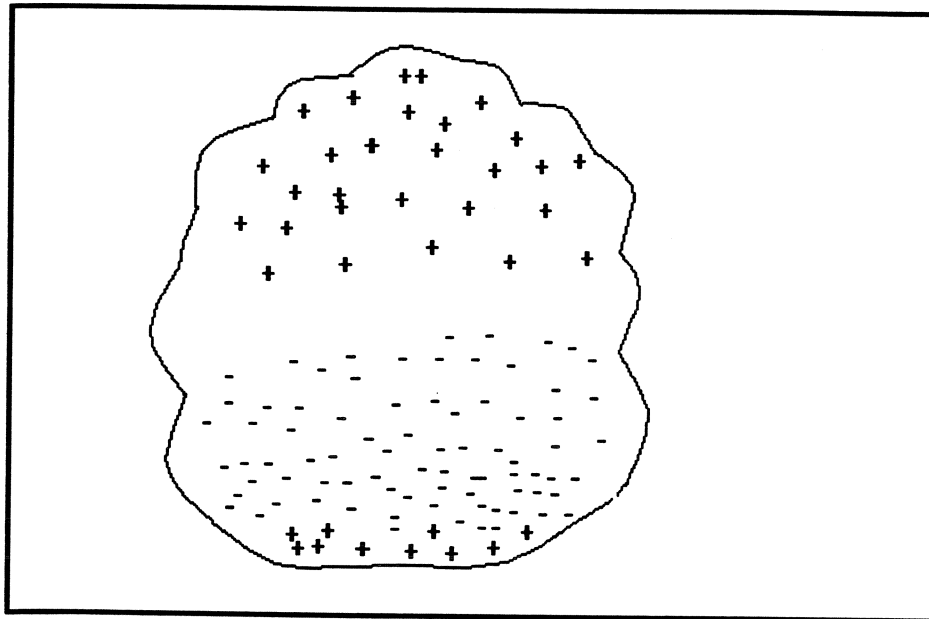


Figura 2.9
Distribuição de cargas em uma nuvem de tempestade

Essa distribuição de cargas induz um campo elétrico próximo à terra variando [39] de alguns kV/m a 50 kV/m, de acordo com a intensidade das cargas.

Embora, principalmente em países tropicais, as descargas nuvem-nuvem e intranuvens sejam maioria [28], as chamadas descargas nuvem-terra são as que são mais estudadas, principalmente pelos efeitos causados ao ser humano, a edifícios, incêndios em florestas e, no caso desse presente trabalho, às perturbações em redes de energia e telefônicas. O que não significa que descargas nuvem-nuvem e intranuvem não provoquem perturbações nas redes de telecomunicações, mas tão somente que são menos conhecidas. De qualquer maneira, as medições mostradas neste trabalho não diferenciam sua origem, ou seja, contabilizam as interferências causadas por descargas atmosféricas em redes telefônicas, independente de serem descargas para terra ou entre nuvens.

As descargas nuvem-terra podem ser positivas ou negativas, sendo, em aproximadamente 75 % dos casos, negativas [29].

As descargas positivas, embora minoritárias, apresentam valores de pico superiores às negativas e são observadas principalmente nas chamadas tempestades de inverno no Japão.

Uma descarga nuvem-terra é composta de uma ou mais "sequências de descargas" ou "strokes" [29] e cada "stroke" é composto basicamente de uma "descarga piloto" ("stepped-leader") e uma descarga de retorno ("return-stroke"). A descarga-piloto se inicia na nuvem e avança em direção à terra em degraus e, quando está próxima do solo, uma descarga se inicia na terra em direção à nuvem (descarga de retorno) através do caminho previamente preparado pela descarga piloto.

A descarga de retorno vai neutralizar a carga deixada pela "descarga piloto", ocorrendo então a passagem de uma alta corrente da terra para a nuvem, com grande luminosidade [29], [27]. A velocidade da descarga de retorno é tipicamente [27] um terço da velocidade da luz.

Em seguida a essa primeira descarga de retorno pode ocorrer novamente o início de uma descarga para terra e, conseqüentemente, novas descargas de retorno.

Numerosos outros processos intervêm [27], mas o principal processo gerador de danos a rede de telecomunicações é a descarga de retorno. A figura 2.10 sumariza um típico processo de descarga nuvem-terra.

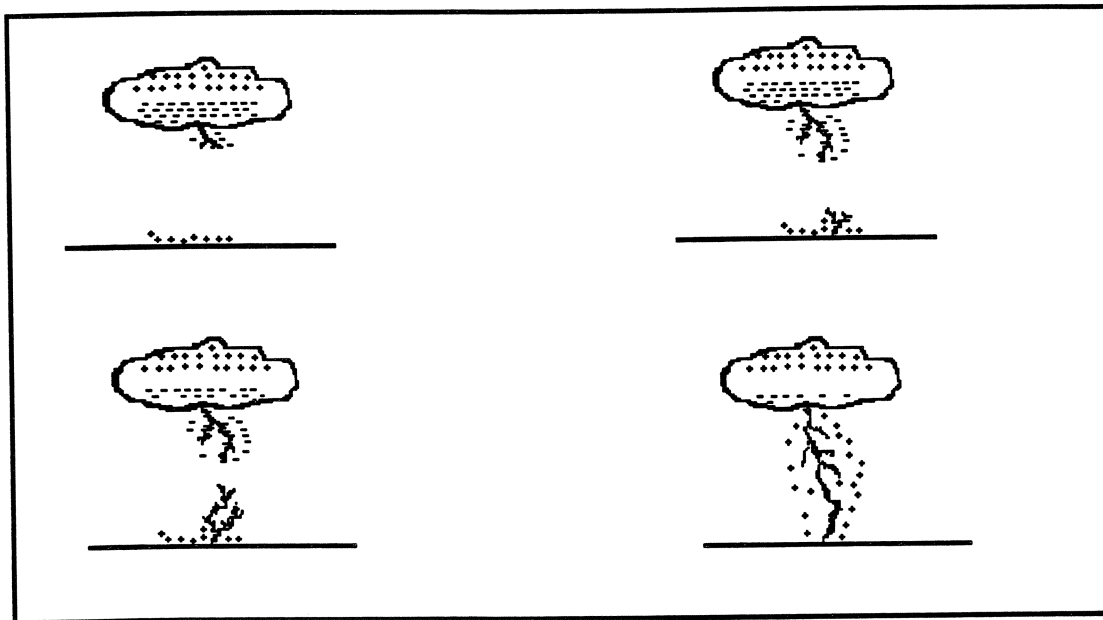


Figura 2.10

- a) início da descarga piloto
- b) propagação da descarga piloto
- c) início da descarga de retorno
- d) propagação da descarga de retorno

A diferença de potencial entre a nuvem e terra no momento em que antecede a descarga é estimado entre 50 a 100 milhões de volts. Quanto aos valores típicos da corrente de descarga, foram realizadas inúmeras medições do valor de pico da corrente e o CCITT [29] apresenta uma curva representativa desses valores, mostrada na figura 2.11.

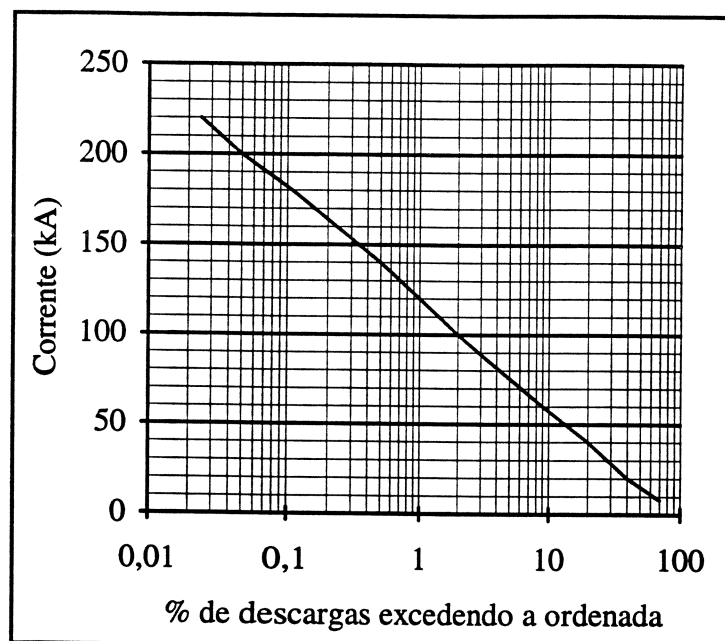


Figura 2.11

Frequência acumulada do valor de pico da corrente de descarga de retorno

Pela curva pode-se observar que eventos acima de 100 kA significam apenas 2% das observações ou 10% acima de 60 kA. A forma de onda da corrente da descarga de retorno é de um impulso unidirecional com um tempo de frente da ordem de 5 a 15 μs [29] (para primeira descarga de retorno) com uma taxa de crescimento de no máximo 10 a 20 kA por microsegundo. As descargas de retorno subseqüentes costumam ser mais rápidas, com tempos de frente da ordem de 2 μs .

O tempo de queda a meio valor é da ordem de dezenas ou até mesmo centenas de microsegundos [29]. Ainda segundo o CCITT [29], 75% das descargas têm polaridade positiva, 20% negativa e o restante com descargas em ambas as polaridades.

As correntes impulsivas da descarga são simuladas em laboratório por uma onda dupla exponencial [29], com um tempo de frente e de meio valor medidos de acordo com a figura 2.12 e com valores típicos como 8/20 μs .

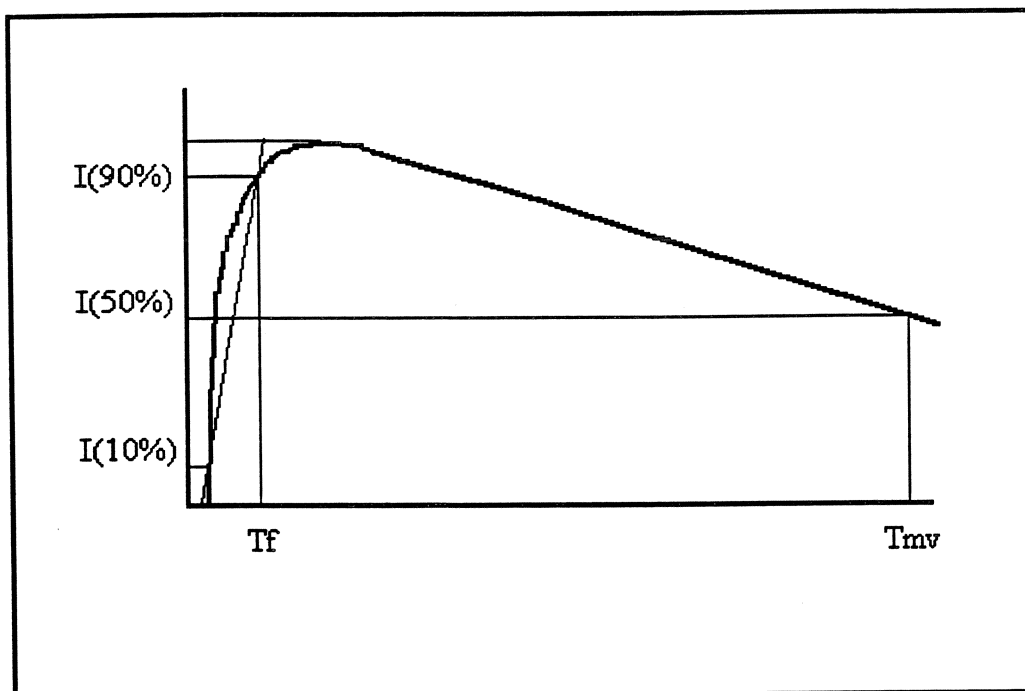


Figura 2.12
Forma de onda padrão de corrente impulsiva de descarga

A figura 2.13 mostra [39] uma distribuição estatística dos principais parâmetros das descargas atmosféricas.

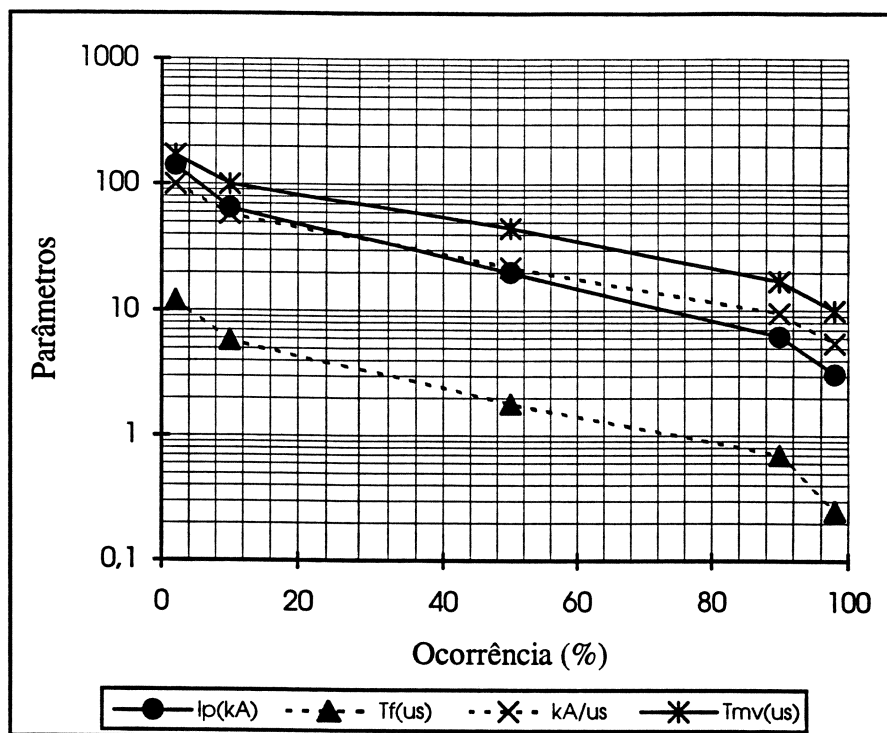


Figura 2.13

Distribuição estatística dos parâmetros das descargas atmosféricas

I_p =Corrente de pico (kA)

T_f =Tempo de frente (μs)

$kA/\mu s$ =Taxa de crescimento

T_{mv} =Tempo de meio valor (μs)

Outro parâmetro importante nas descargas atmosféricas é sua frequência de ocorrência nas diversas regiões do planeta. Esses valores são estabelecidos pelo chamado "nível ceraúnico" que corresponde ao número de dias de tempestade numa dada região por ano. Diversas publicações mostram esses valores para o Brasil, segundo dados da ABNT [30] [37] e para a região sudeste segundo levantamento da CEMIG [40] [37]

Outro fator importante é o número de descargas para terra por dia de tempestade e por km^2 . Embora não sejam disponíveis muitos dados, o CCITT [29] sugere um valor médio de 15 descargas para terra/ dia de tempestade/100 km^2 .

Uma curva relacionando dias de tempestade e densidade de descargas para terra de observações na África do Sul [39] é indicado na figura 2.14.

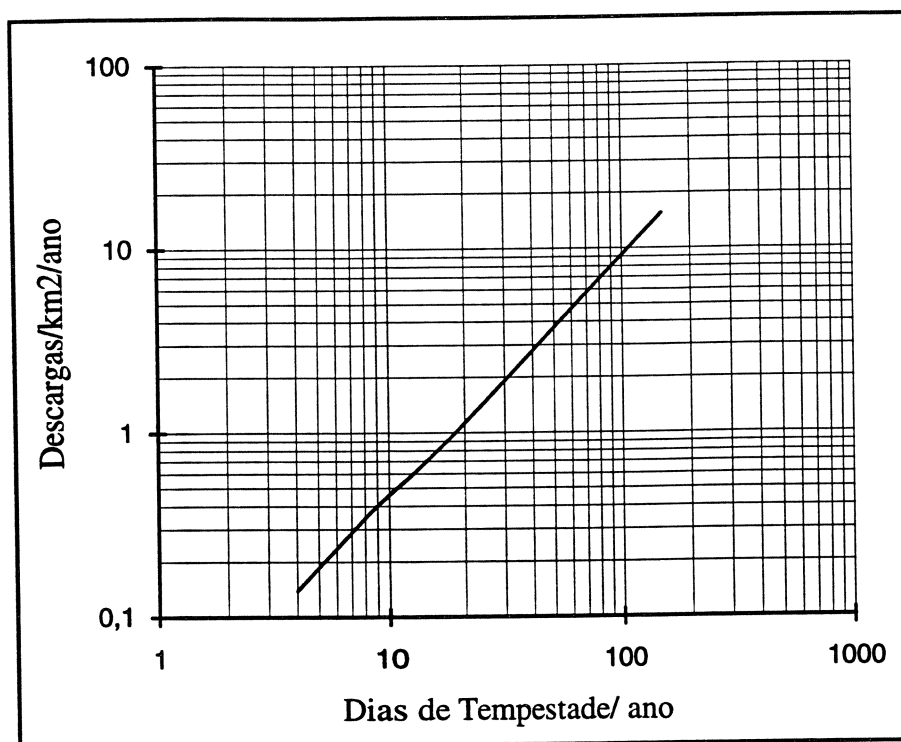


Figura 2.14
Densidade de descargas para terra

2.2.2 Campos Elétricos gerados pela descarga atmosférica e sua influência em redes telefônicas.

A corrente drenada no canal de descarga vai provocar nas suas imediações um campo eletromagnético cuja intensidade vai ser proporcional à distância do canal de descarga e da altura em relação ao solo. Assim sendo um condutor elétrico nas proximidades da descarga vai estar sujeito aos efeitos desse campo eletromagnético.

O espectro de frequência desses campos, de acordo com Uman [27], é mostrado na figura 2.15 composto de medições já publicadas e incorporando o efeito de todo o processo de descarga.

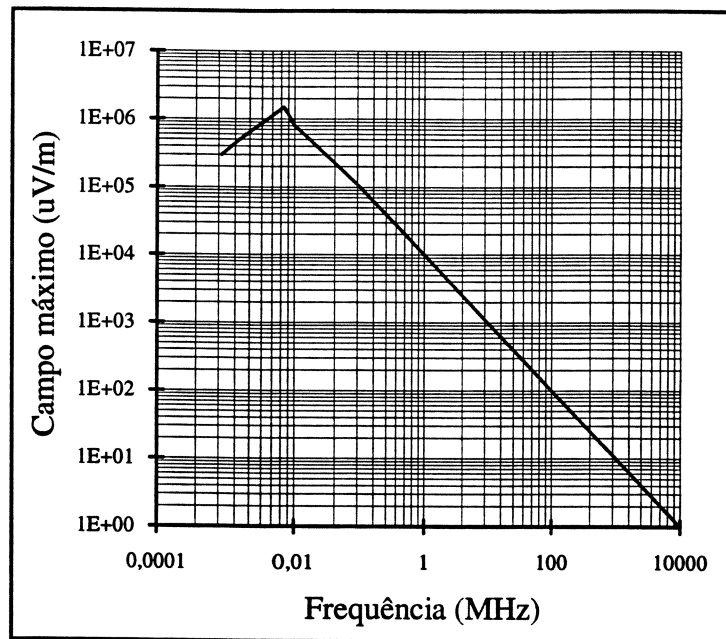


Figura 2.15

Espectro de frequência da descarga atmosférica (medição a 10 km de distância) [27]

Se considerarmos uma linha aérea (figura 2.16) constituída de um fio e se imaginarmos uma descarga para terra nas suas proximidades, podemos avaliar as correntes induzidas nessa linha pela descarga.

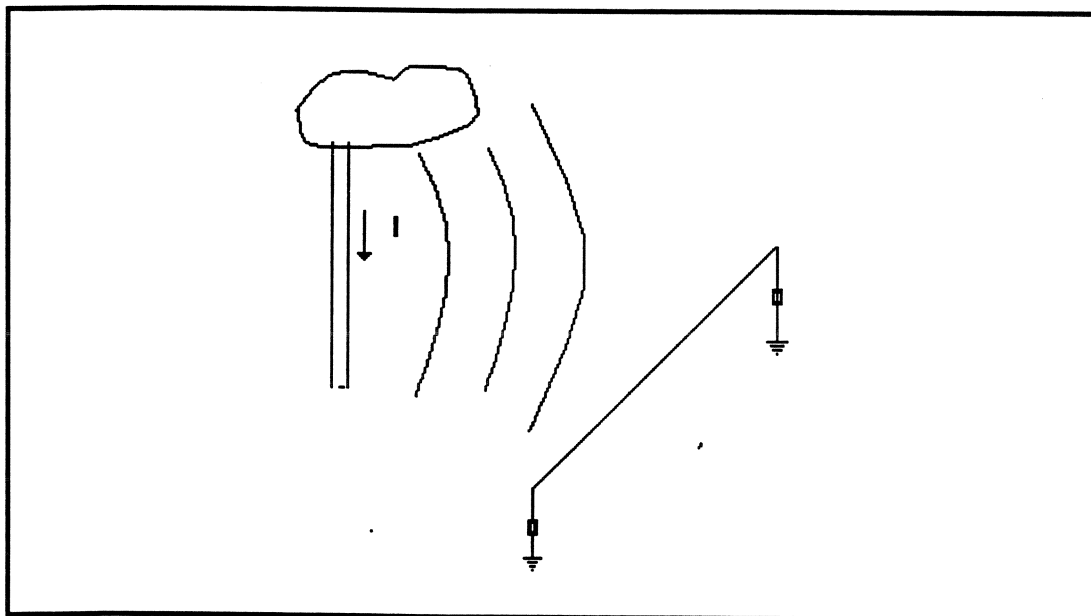


Figura 2.16

Descarga atmosférica nas proximidades de uma linha telefônica

Quando a descarga se desenvolve, ocorrem rápidas variações do campo elétrico nas suas proximidades, provocando então o aparecimento de correntes e tensões em condutores nas suas proximidades. Se imaginarmos uma descarga a uma distância "d" do fio condutor serão geradas tensões e correntes que se propagarão para ambos os lados do condutor (figura 2.16).

A figura 2.17 mostra dados do CCITT [29] de corrente induzida em um condutor com 1000 metros devido a uma corrente de descarga de 150 kA (5/65 μ s) a distâncias de 100 metros e 1000 metros.

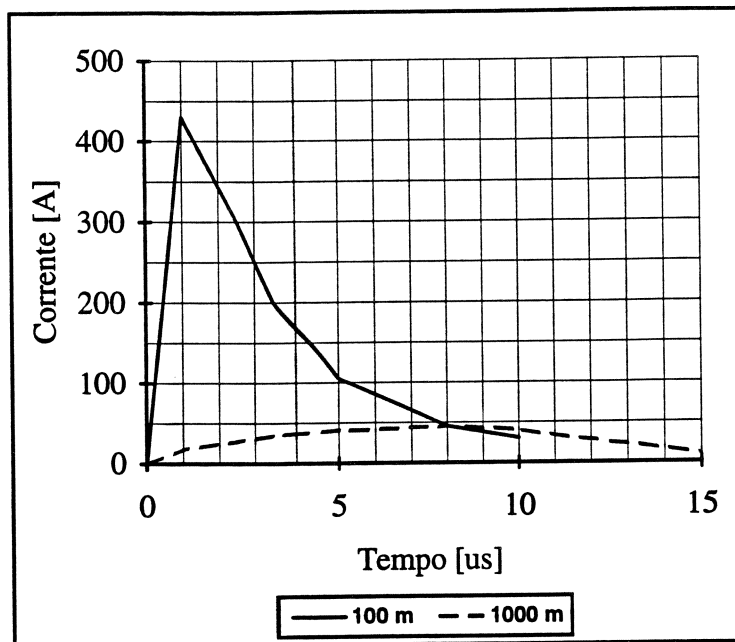


Figura 2.17
Correntes induzidas por uma descarga de 150 kA

As tensões a serem observadas serão proporcionais à impedância do condutor. Outros valores de medições de tensões e correntes induzidas em linhas telefônicas, assim como os dados de tempos de subida e duração desses eventos, estão detalhados no capítulo 3, em comparação com as medições realizadas no Brasil.

Diversos trabalhos realizam ainda simulações das descargas atmosféricas e de sua interação com linhas elétricas e telefônicas, utilizando modelos físico-matemáticos como os de Uman [27] e de Rusck [57], analisado por Lorenzato [44], ou ainda, modelo como o apresentado por Panicali [58] para acoplamentos entre campos eletromagnéticos e linhas de transmissão que simplifica bastante a modelagem matemática para os cálculos. No entanto não trataremos desses aspectos nesse trabalho.

3 MEDIÇÕES DE TENSÕES INDUZIDAS EM UMA REDE TELEFÔNICA

3.1 Características da Rede Telefônica

Durante os anos de 1991 e 1992 foram realizadas medições de tensões induzidas por descargas atmosféricas em uma linha telefônica experimental no CPqD, objetivando um levantamento das características principais desses eventos em termos de sua amplitude, duração e formas de onda características.

Na análise foram utilizados dois trechos de linhas [20], uma pretendendo simular medição no DG de uma Central Telefônica (configuração "cabo") e outra no lado do assinante (configuração "fio drop").

Para representar cada uma das situações foram colocadas cargas artificiais para balanceamento dos pares nas pontas das redes de acordo com as figuras 3.1 e 3.2.

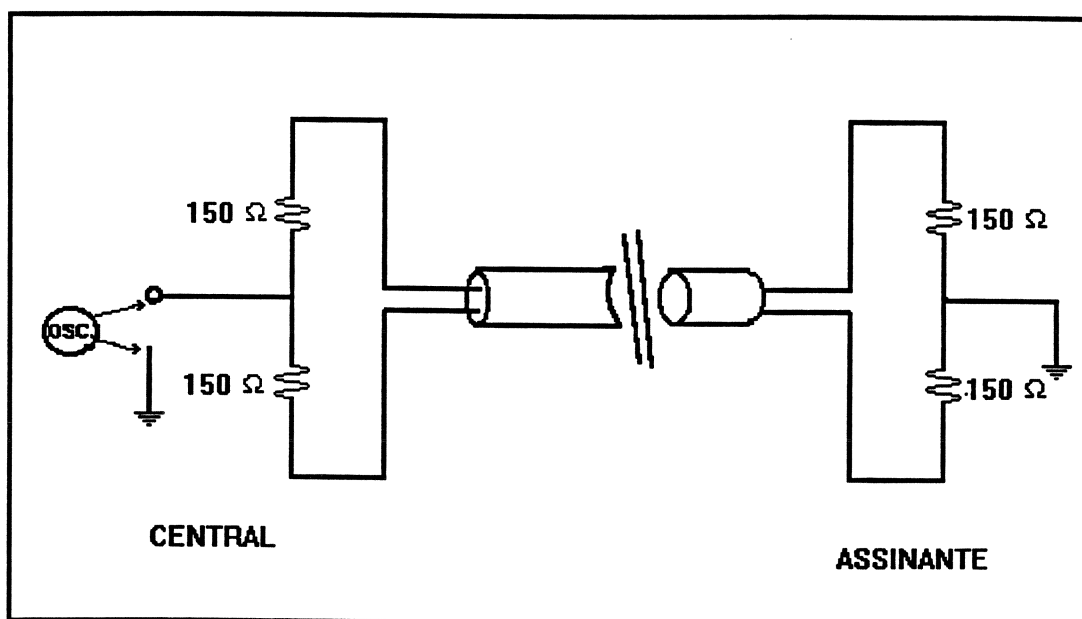


Figura 3.1
Medição na configuração "cabo"- DG

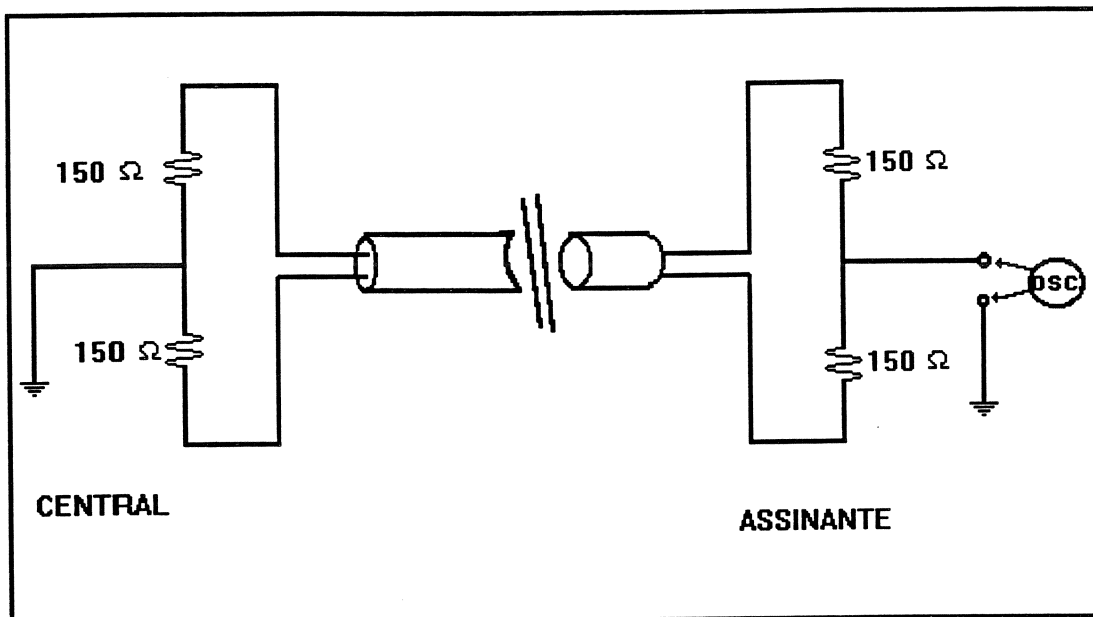


Figura 3.2
Medição na configuração "fio drop"-ASSINANTE

As configurações das redes foram diferentes nos dois casos, para extensão total e das partes aérea e subterrânea. A figura 3.3 mostra a configuração da rede para medição "fio drop" e a 3.4 a configuração para medição "cabo".

O comprimento total da rede no caso "fio drop" (assinante) é de 445 metros (60 metros de cabo subterrâneo, 320 m de cabo aéreo e 65 m de fio FE) e no caso "cabo" (DG) com 610 metros (550 m de cabo aéreo e 60m de cabo subterrâneo).

O valor da resistência de aterramento da blindagem é de 50 ohms.

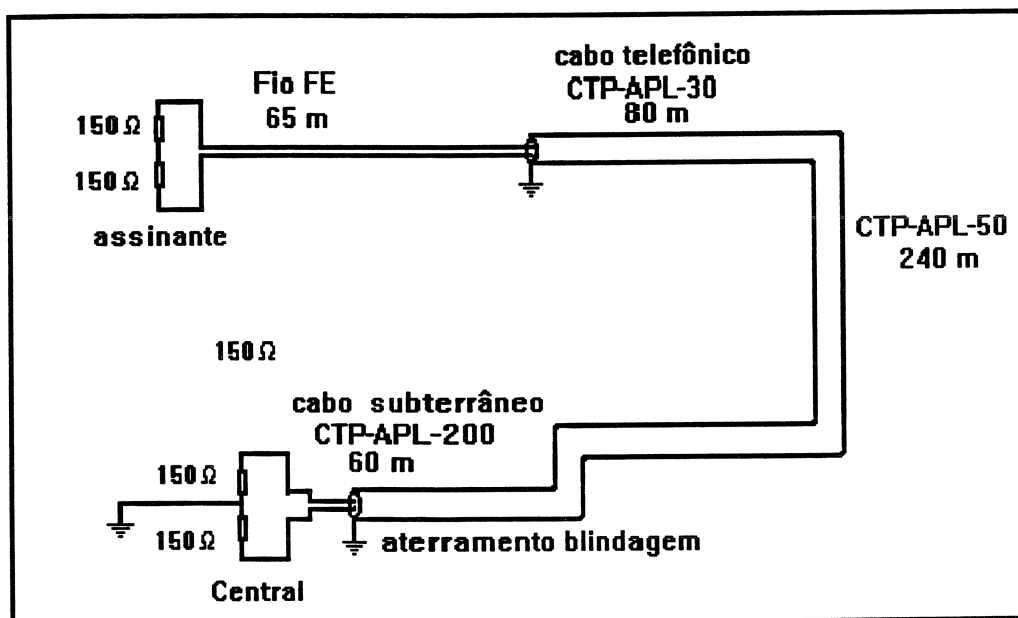


Figura 3.3
Configuração para medição no assinante (fio drop)

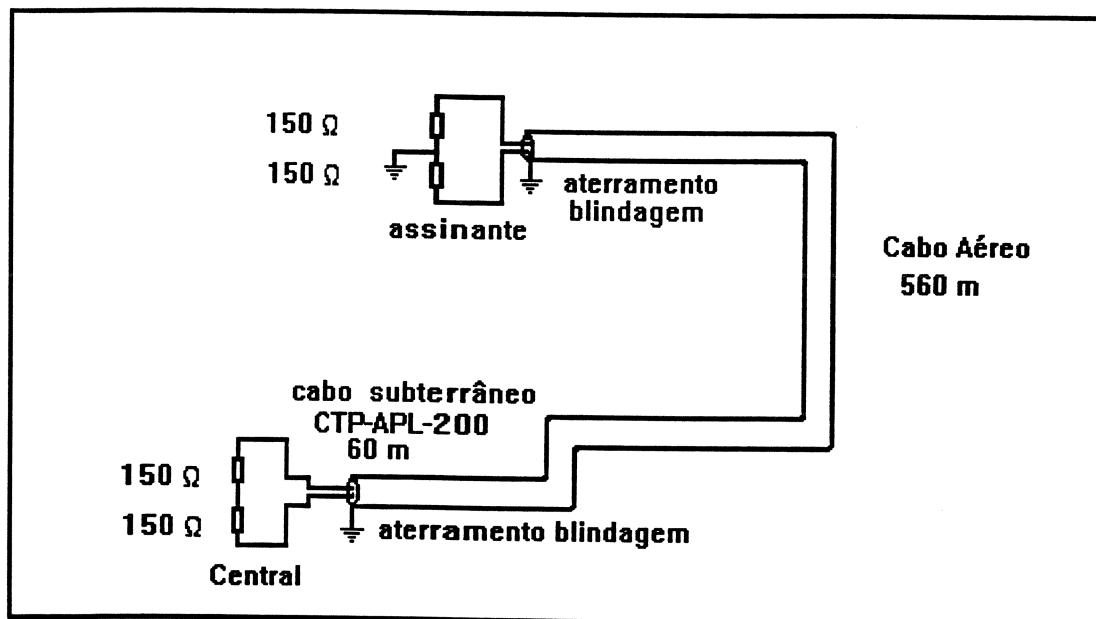


Figura 3.4
Configuração para medição no DG (cabo)

A diferença básica entre as duas configurações, para topologia da rede, é a existência no caso da configuração "fio drop" de um trecho de 65 metros de fio FE (fio externo, utilizado no atendimento de assinantes) enquanto que na configuração "cabo" as duas pontas da linha terminam no próprio cabo telefônico.

Em ambos os casos a cordoalha da rede telefônica está totalmente desvinculada da blindagem sendo aterrada em pontos distintos desta.

3.2 Características do processo de medição

O processo utilizado para aquisição e avaliação das tensões induzidas na rede telefônica por descargas atmosféricas foi um método automatizado para obtenção dos oscilogramas dessas tensões.

O sistema automático de aquisição de dados [21] de tensões induzidas consta de uma Ponta de Prova de Alta Tensão, osciloscópio de memória acoplado a um sistema de digitalização do sinal com interface tipo GBIP, um micro computador tipo PC e como acessórios impressora e "plotter".

A monitoração é feita "on line", sendo o sistema dotado de "no break" no caso de falta de energia.

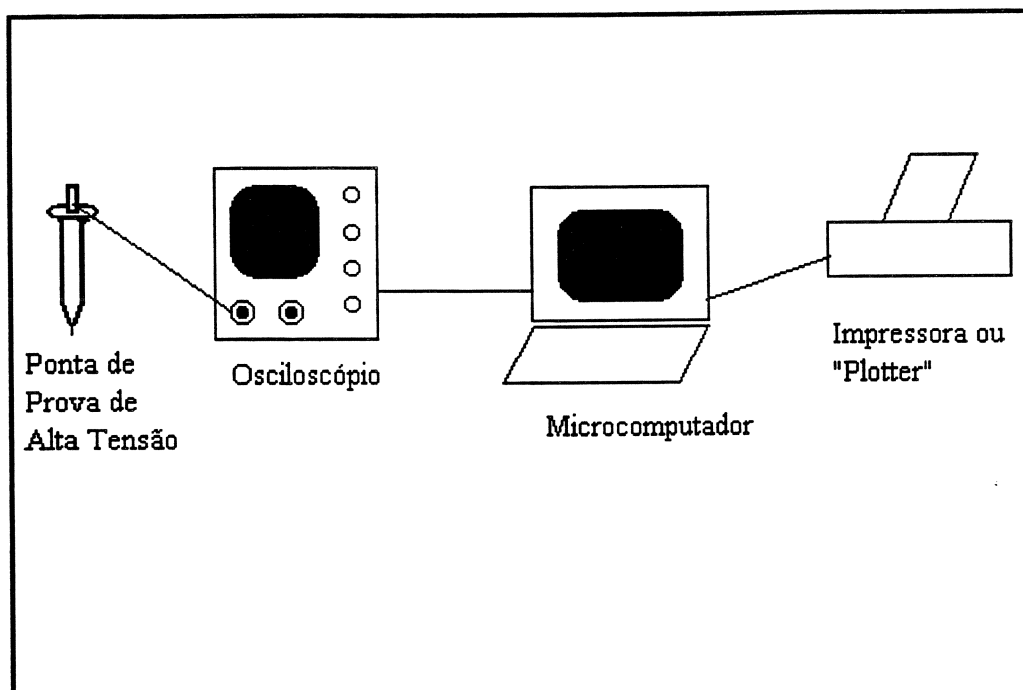


Figura 3.5
Sistema Automático de aquisição de dados

As características dos equipamentos utilizados são listadas abaixo:

a) Osciloscópio Analógico de Memória

Modelo	Tektronix 7633
Faixa de passagem	DC a 100 MHz
"Rise Time"	3,5 ns
Velocidade de gravação em tela	1000 cm/ μ s

b) Digitalizador

Gaveta Digitalizadora para Osciloscópios da série 7000 Tektronix

Modelo	Tektronix 7D20 GPIB Programmable Digitizer
Faixa de Passagem	70 MHz p/ sinais repetitivos 10 MHz "single-shot"

c) Ponta de prova de Alta Tensão

Modelo	P6015A Tektronix 1000X High Voltage		
	Probe		
Máxima Tensão de Entrada	DC + AC pico	20 kV	
	Impulso	40 kV	
Faixa de Passagem	Cabo 10 ft	75 MHz	
Atenuação	1000X		
Resistência de Entrada	100 M Ω		
Capacitância de Entrada	≤ 3 pf		

d) Microcomputador PC-XT

O sistema funciona pela captação da forma de onda gerada pela tensão induzida na linha telefônica, via ponta de prova de Alta Tensão e osciloscópio de memória, a qual é transferida e armazenada pelo micro computador para posterior análise.

O "software" que controla tanto a aquisição como a posterior análise da forma de onda foi desenvolvido internamente ao CPqD, tendo registro no INPI/SEI como "Registrador de Transientes" [22].

Todos os registros obtidos são avaliados em tensão de pico, dV/dt , tempo de meio valor, tempo de duração, assim como data e hora de ocorrência do registro. O nível mínimo de disparo ("trigger") do sistema é alterável, mas nos nossos estudos foi estabelecido em 250 V.

A tela de escolha dos parâmetros para aquisição é mostrada na figura 3.6, e o diagrama de blocos do "software" [22] é mostrado na figura 3.7.

Canal 1	Tempo Base	Global
Volts/div : 5V Acoplamento : AC	Tempo/div : 100 μ s	Início do Programa Hora: 10:00:00 data: 20:06:90
Canal 2	Trigger	Aquisições realizadas : 10
Volts/div : 5 V Acoplamento : AC	Nível : 5 div. Modo Normal Origem Canal 1	Ultima aquisição : data Hora
Sistema para Registro de Surtos em Redes Telefônicas		

Figura 3.6

Tela do "Registrador de Transientes"

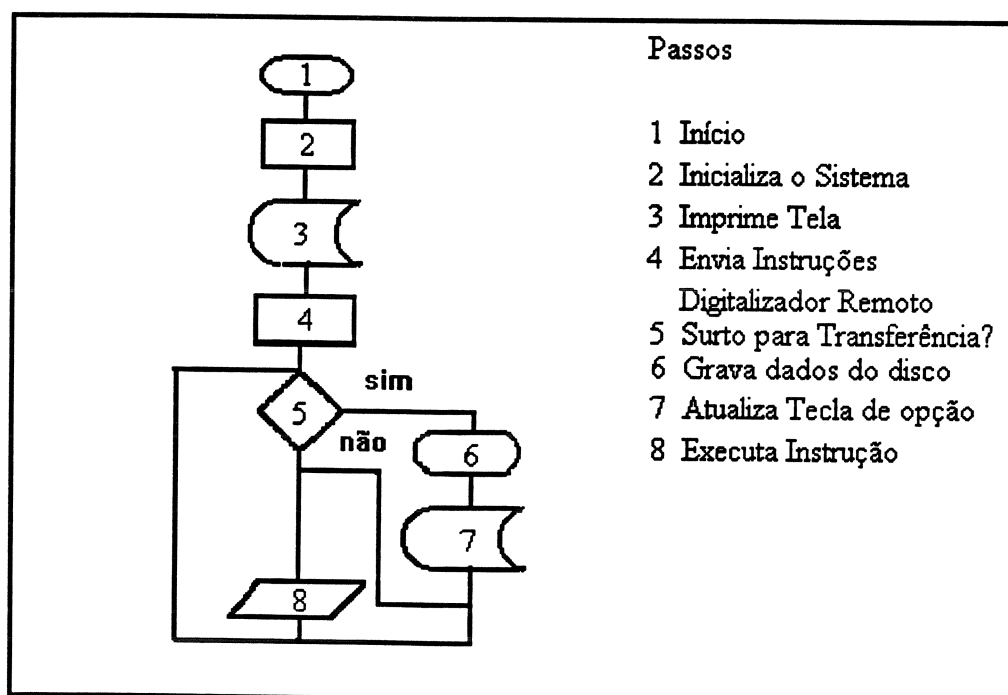


Figura 3.7

Diagrama de blocos do Registrador de Transientes

Os dados adquiridos por esse sistema foram armazenados e posteriormente avaliados nos valores médios e de desvio padrão dos parâmetros típicos das tensões induzidas na linha telefônica por descargas atmosféricas.

3.3 Caracterização do ambiente

Conforme descrito anteriormente, as medições foram realizadas numa rede telefônica experimental situada no CPqD e que serve apenas para propósito de testes, não estando ligada a nenhuma estação telefônica real ou assinante.

Com o objetivo de se avaliar o número de dias de tempestade por ano, importante na caracterização do ambiente elétrico da rede telefônica, foi instalada uma antena acoplada a um equipamento detector de surtos [20], [47] que registra a ocorrência de descargas atmosféricas nas proximidades.

Um levantamento realizado durante o período de fevereiro/91 a janeiro/92 (tabela 3.1) mostra o número de dias de tempestade por mês.

Ano	1991											92
Mes	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan
Dias de Temp.	6	7	4	3	0	1	2	5	5	6	8	8

Tabela 3.1
Número de dias de tempestade/mês

Isso fornece no período um total de 55 dias/tempestade/ano. Esse valor está dentro da previsão do nível ceraúnico (número de dias/tempestade/ano) da região e vai servir como balizamento para nossos estudos comparativamente com levantamentos realizados em outros países.

Essa rede telefônica utiliza posteação exclusiva, não havendo portanto uso mútuo com rede de energia. Desta maneira, todos os surtos registrados serão devidos a tensões induzidas por descargas atmosféricas ocorridas nas redondezas.

Também importante na avaliação do ambiente elétrico das medições é o número de eventos/dia de tempestade, ou seja, o número de descargas ultrapassando um dado limiar, no que diz respeito a tensões induzidas, por dia de tempestade.

No nosso caso foram contadas apenas as descargas que provocaram tensões induzidas acima de 250 V. Esses resultados estão na figura 3.8 e vão ser melhor avaliados no item seguinte.

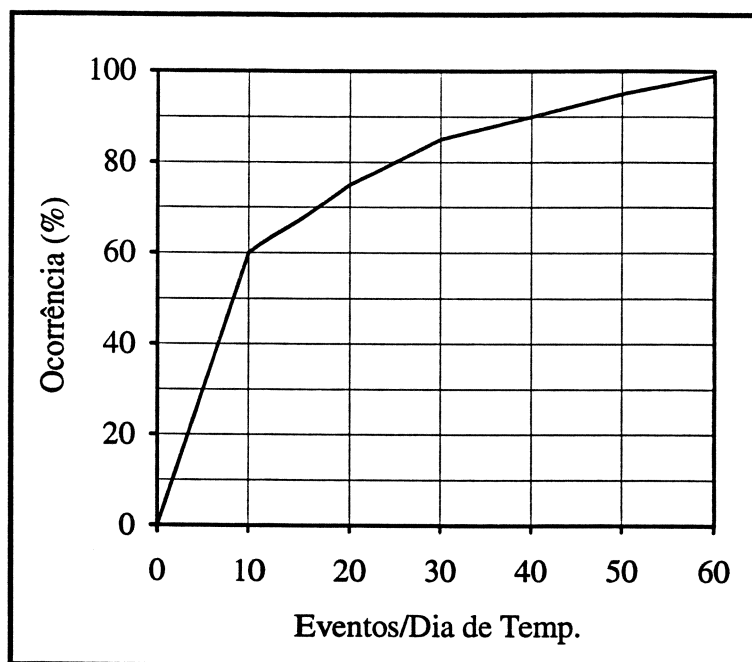


Figura 3.8
Número de Eventos/dia de tempestade

3.4 Resultados das medições

Os resultados das medições [23] foram sumarizados em :

- a) Tensão de pico
- b) dV/dt
- c) Tempo de meio valor

A razão da escolha desses parâmetros é que eles vão mostrar os pontos essenciais necessários para se prover de proteção uma rede telefônica. Esses mesmos dados são comparados com resultados similares obtidos em campanhas de medição de outros países.

3.4.1 Tensão de pico

Os resultados para tensão de pico são importantes na escolha do nível de tensão de disparo de protetores da rede telefônica, sendo que foram registrados apenas surtos acima de 250 V, por considerarmos ser esse o limite mínimo abaixo do qual entraríamos nos valores de tensão de operação da rede telefônica.

A figura 3.9 mostra os valores obtidos divididos em "DG" e "assinante" (ver item 3.1).

O limitante superior no nível de tensão foi de 1000 V, limitação esta obtida via centelhador colocado em paralelo com a linha sob medição, visando protegê-la.

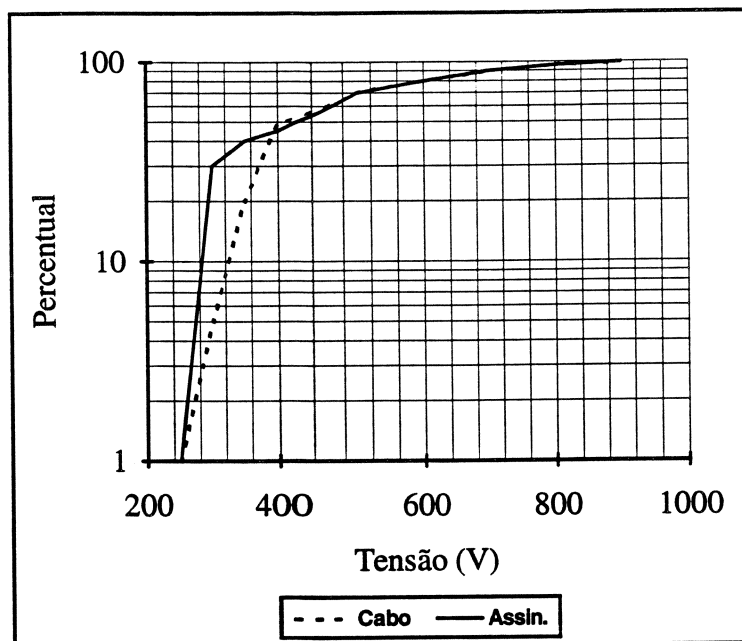


Figura 3.9
Tensão de pico

Os valores foram medidos em modo comum (condutor-terra) e mostram grande concordância entre os valores de "DG" e "assinante".

Nas duas configurações os valores de média e desvio padrão obtidos foram :

	DG	Assinante
Média	408 V	420 V
Desvio Padrão	120 V	166 V

Uma análise comparativa com valores obtidos em medições realizadas em outros países é mostrada na figura 3.10.

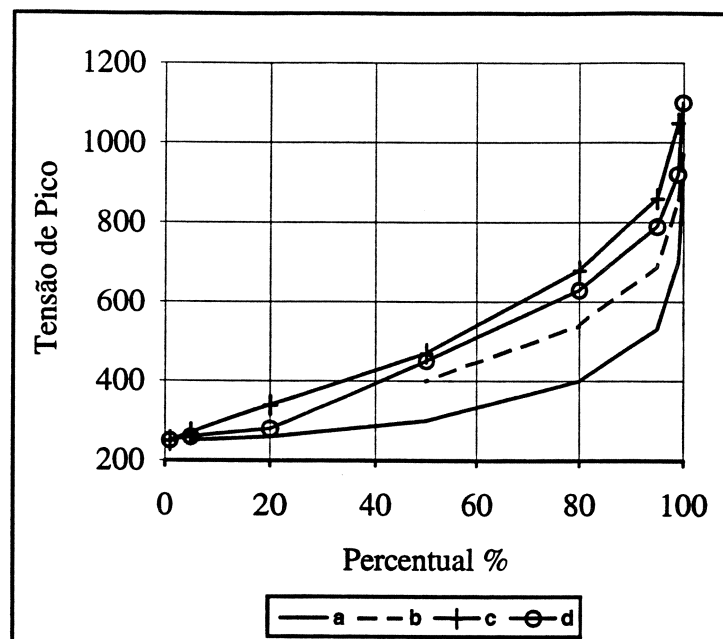


Figura 3.10
Comparativo entre valores de tensão de pico
a)Bodle[10];b)Copelia[14];c)Washington[8];d) Copelite - DG

Como pode ser observado, os resultados das medições no Brasil (configuração "DG") mostram-se mais severos que a maioria das outras medições, com exceção de Washington [8]. O parâmetro tensão de pico é importante na avaliação do ambiente elétrico, mostrando uma estimativa do número de vezes que um protetor vai atuar [8].

Também de interesse, no sentido de se avaliar a quantidade de vezes que um protetor vai atuar, é o número de vezes que os surtos vão ultrapassar um dado limiar de tensão por dia de tempestade. A figura 3.11 mostra esses resultados e a 3.12 um comparativo com os de outras medições.

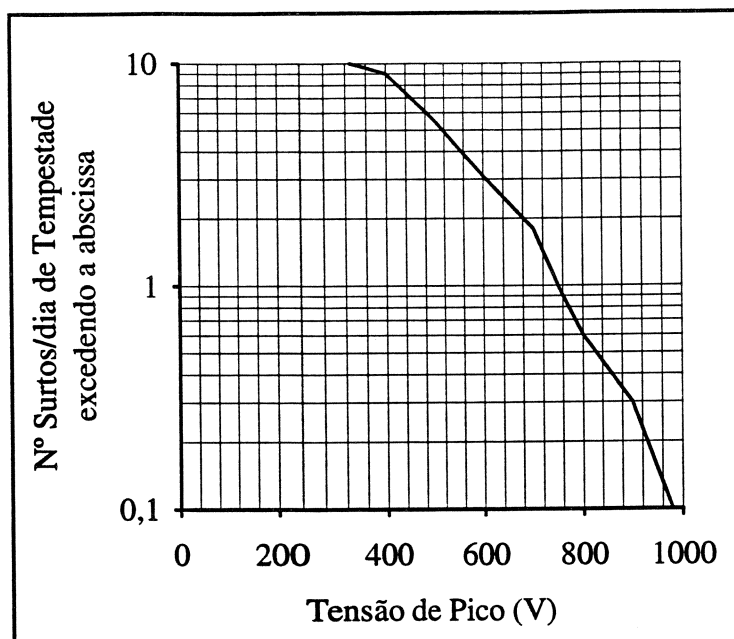


Figura 3.11
Número de surtos/dia de tempestade

Se considerarmos que o nível ceraúnico da região é de 55 dias/tempestade/ano, temos na figura 3.13 o número esperado de eventos ultrapassando um dado limiar de tensão por ano, por assinante.

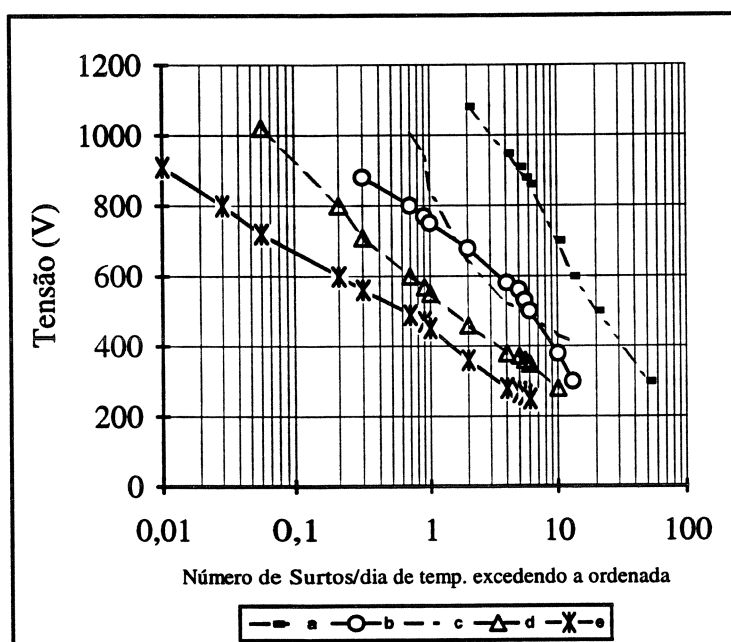


Figura 3.12
Número de surtos/dia de tempestade
Quadro comparativo
a)Washington[8]; b)Copelite c)Cleveland[9]; d)Bennison[13] e)Bodle[10]

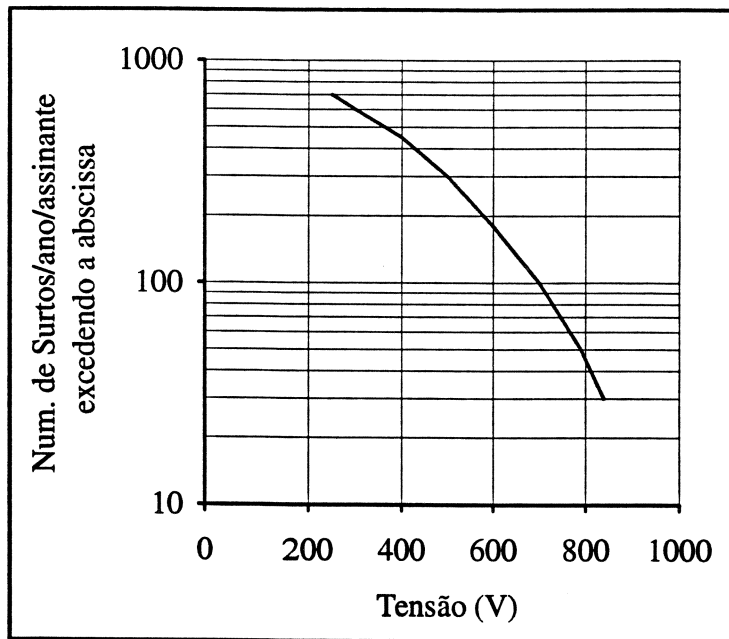


Figura 3.13
Número de surtos/ano/assinante

De acordo com os dados da figura 3.13 são esperadas 650 atuações por ano por assinante para tensões iguais ou superiores a 250 V, tensão comumente utilizada como tensão de disparo de módulos protetores de DG's.

Deve-se levar em conta nessa avaliação as peculiaridades da linha avaliada, como grau de exposição (trecho praticamente aéreo, área aberta, etc..) e extensão.

Embora não seja uma rede em uso mútuo com a rede de energia, o fato de ser em sua grande parte aérea, e não ser localizada dentro de uma zona residencial/comercial, faz com que tenha um grau de exposição razoável a descargas atmosféricas.

Outro aspecto importante a ser avaliado nessas atuações previstas do centelhador é o nível de corrente drenada. Isso porque, conforme descrito no capítulo 1, se o nível de disparo do centelhador é importante, uma outra característica que deve ser avaliada é o nível de energia descarregada, determinado pela corrente drenada (corrente de pico e duração do evento).

Medições realizadas no Japão [18] e mostradas na figura 3.14, indicam grande predominância de correntes baixas. Por exemplo, são esperados 1,2 eventos/dia de tempestade/assinante para correntes superiores a 1,0 Ampère, 8,7 para correntes acima de 0,3 A e 0,016 para correntes superiores a 10 A.

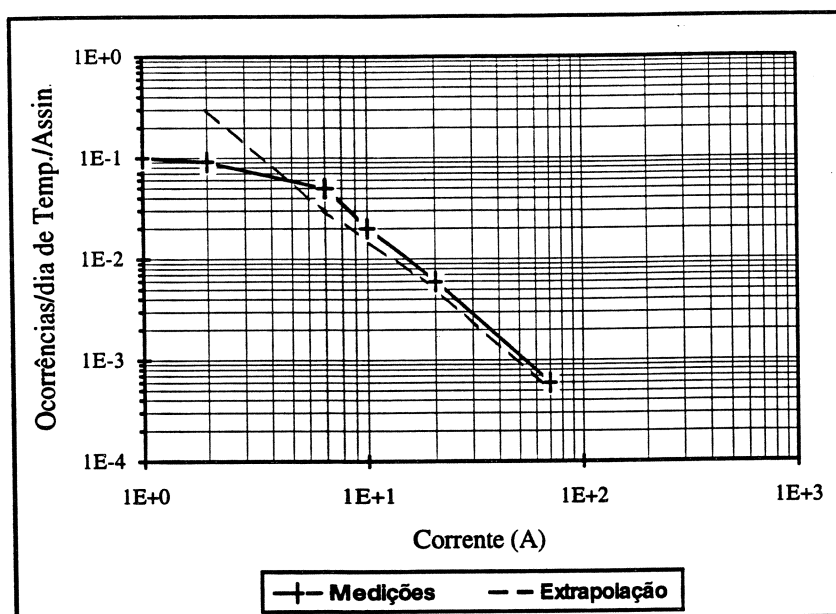


Figura 3.14
Medições de correntes em Estações Telefônicas

Se considerarmos um nível ceraúnico de 55 dias/tempestade/ano, típica da região de Campinas, teremos 435 eventos/assinante/ano para correntes acima de 0,3 A e 0,8 eventos para correntes acima de 10 A. Esses resultados do Japão indicam predominância de correntes baixas, ou seja, baixas energias, mesmo para um número considerável de ocorrências.

De qualquer maneira, isso evidencia a necessidade de realizar medições de correntes efetivamente drenadas por protetores no Brasil, o que vai ser avaliado a partir do capítulo 4, quando serão avaliadas ainda medições em diferentes condições, como zonas residencial, suburbana e rural.

3.4.2 Taxa de crescimento da tensão

A taxa de crescimento de tensão dV/dt em $V/\mu s$ é importante na definição das características do protetor, pois seu nível de tensão de atuação é dependente dessa taxa.

Assim é que, quanto maior a taxa de crescimento, maior o nível mínimo de atuação do elemento protetor.

Os valores obtidos de dV/dt foram bem diferentes para os casos "DG" e "assinante", sendo que o valor médio para o segundo foi de 118 $V/\mu s$ enquanto que para o primeiro o valor obtido foi 11,7 $V/\mu s$, ou seja, 10 vezes menor. Os resultados são mostrados nas figuras 3.15 e 3.16.

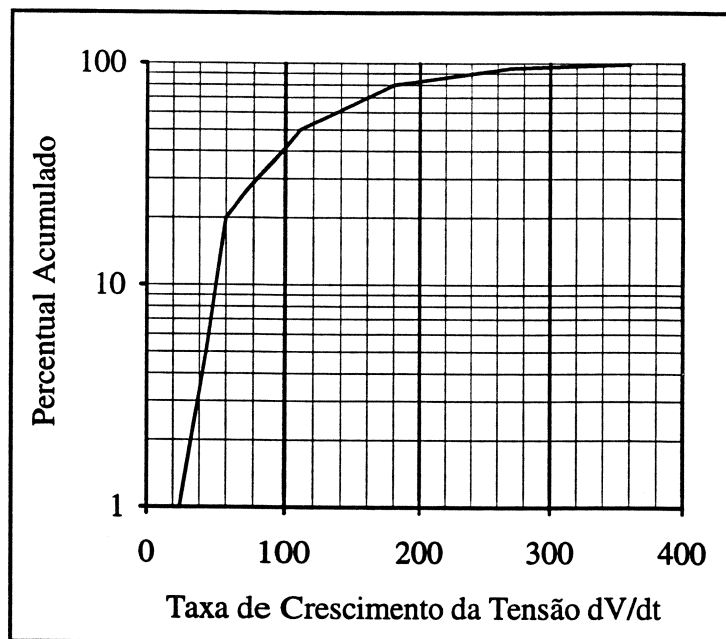


Figura 3.15
Taxa de crescimento da tensão dV/dt
"assinante"

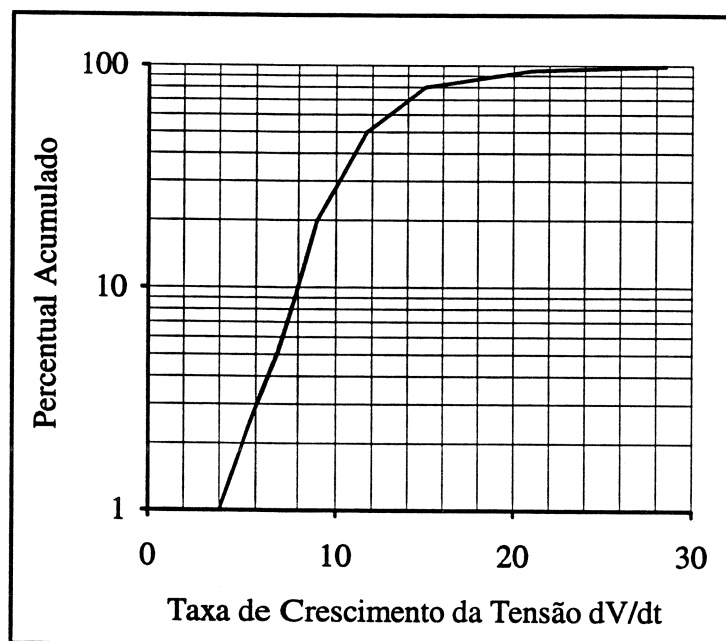


Figura 3.16
Taxa de crescimento da tensão dV/dt
"DG"

As figuras 3.17 e 3.18 mostram um comparativo com as medições de South Carolina[9], Washington[8] e Austrália[16], com a ressalva da diferença de métodos de obtenção do dV/dt.

No nosso caso, o dV/dt foi obtido medindo-se o valor de pico da tensão dividido pelo tempo de pico, enquanto que em [8] e [9] esses valores eram tomados como sendo a relação tensão/tempo até 300 V e 500 V respectivamente.

Os valores de dV/dt nos casos citados foram :

	Média [V/ μ s]	D. Padrão[V/ μ s]
Washington (500 V) [8]	22,8	20,9
Washington (300 V) [8]	13,2	13,1
South Carolina (300 V) [9]	9,5	10,2
COPELITE "DG"	11,7	9,0
COPELITE "ass"	118	80

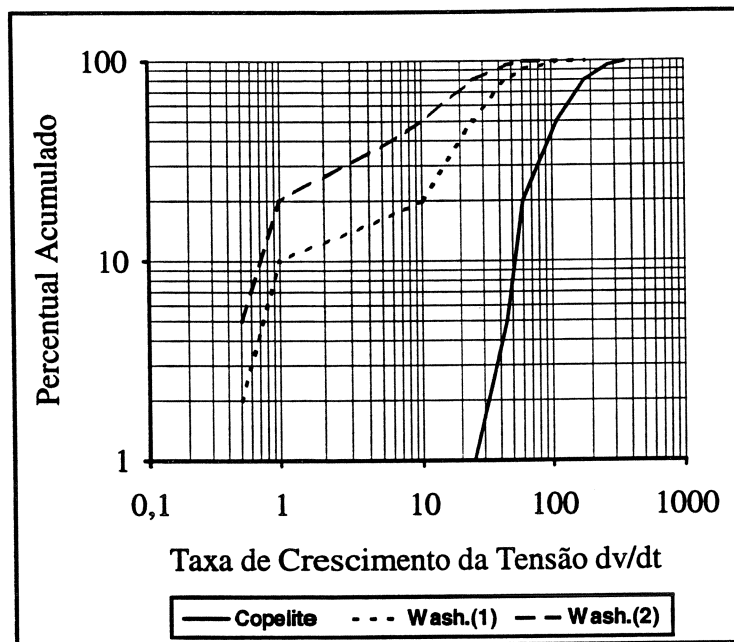


Figura 3.17
 Comparativo de taxa de crescimento da tensão
 Wash(1)-Washington (500 V)
 Wash(2)-Washington (300V)
 "Assinante"

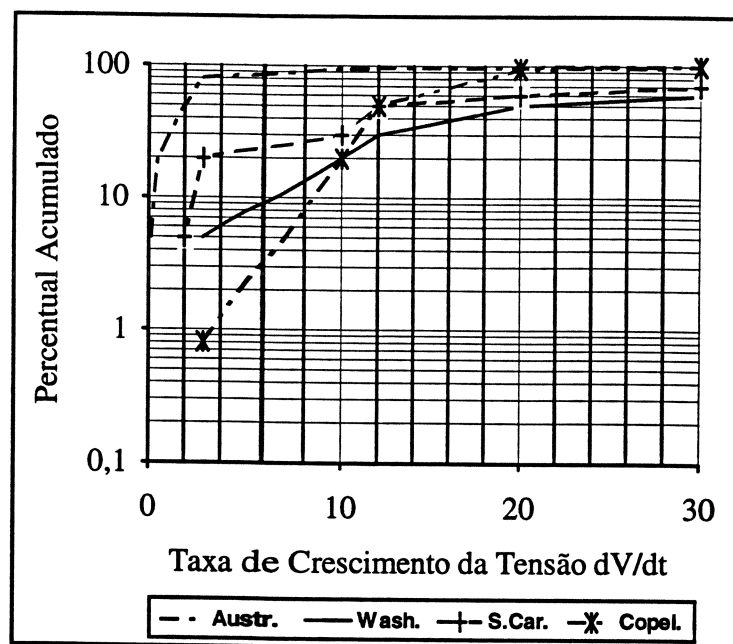


Figura 3.18
Comparativo de taxa de crescimento da tensão
"DG"

Nas nossas medições, no caso "DG" o maior valor obtido foi de 30 V/ μ s enquanto que no "assinante" foram obtidos valores de até 400 V/ μ s, sendo que em 80 % dos casos foi menor que 200 V/ μ s. Ressalte-se ainda que a medição Washington foi realizada em um fio drop.

3.4.3 Tempo de decaimento a meio valor

Conforme figura 3.19, os valores obtidos de tempo de decaimento a meio valor foram significativamente menores que os obtidos em medições de outros países, tanto no caso "DG" como no "assinante" em virtude do comprimento de nossas linhas ser menor comparativamente ao das outras medições.

O tempo de decaimento a meio valor é importante na avaliação da energia total do surto, logo fundamental na análise da vida útil de elementos protetores das redes telefônicas.

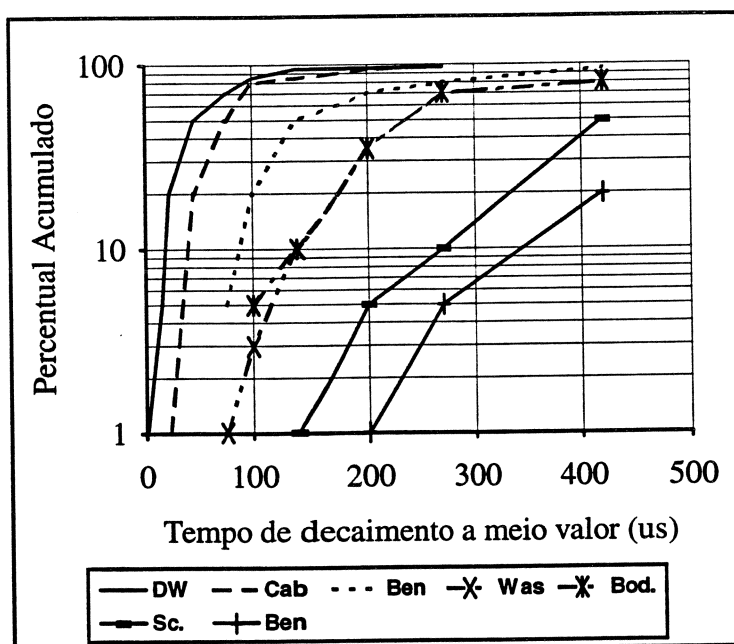


Figura 3.19
Tempo de decaimento a meio valor
Quadro comparativo
DW[8]; Ben[13]; Was[8]; Bod[10]; SC[9]; Ben[13]

A definição exata de tempo de decaimento a meio valor é dada pelo tempo decorrido entre zero e o ponto no qual a onda decai a metade de seu máximo valor. No caso das nossas medições esta definição nem sempre é adequada, posto que devido ao caráter oscilatório das ondas (principalmente no caso "assinante") esse ponto é atingido várias vezes.

Assim sendo, esse tempo foi definido como sendo aquele decorrido entre o zero e a primeira vez em que a onda atinge o ponto de decaimento a metade de seu valor máximo, contado a partir do final da onda (figura 3.20).

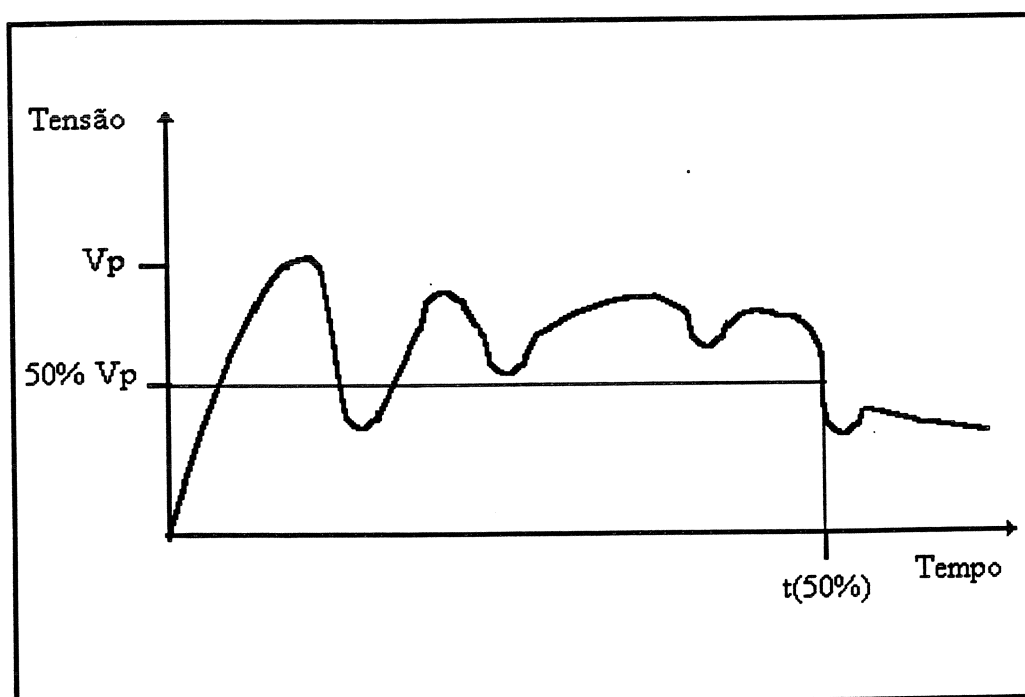


Figura 3.20
Método de cálculo de tempo de decaimento a meio valor

3.5 Formas de onda típicas

A maioria das medições foi realizada em modo comum, e as formas de onda encontradas foram diferentes para os casos "DG" e "assinante", principalmente no que diz respeito ao dV/dt , conforme relatado no item 3.4.

As figuras 3.21 e 3.22 mostram duas medições típicas do caso "DG" e 3.23 do caso "assinante", todas realizadas em modo comum.

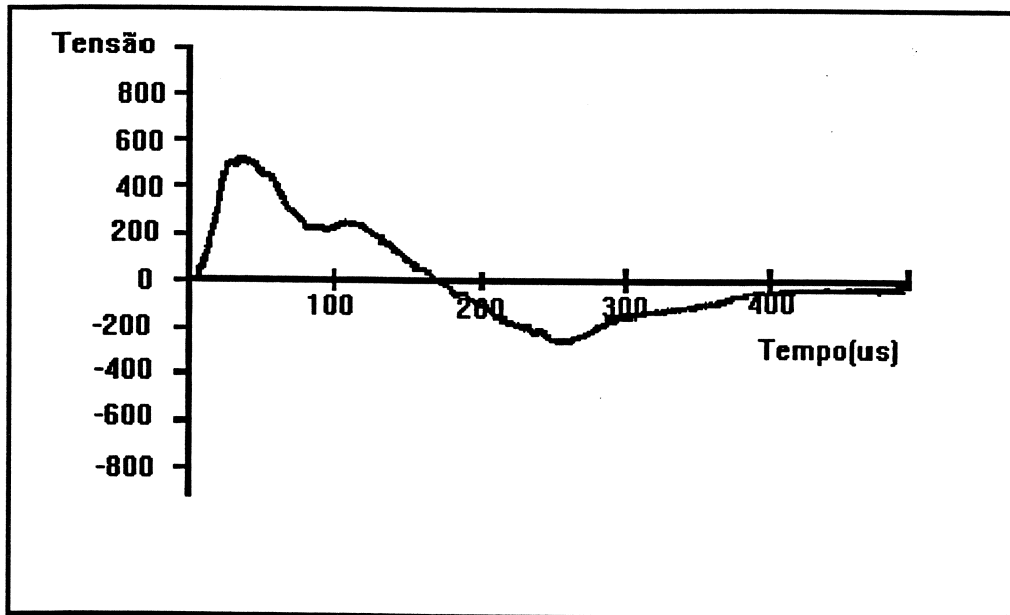


Figura 3.21
Medição em modo comum
Configuração "DG"

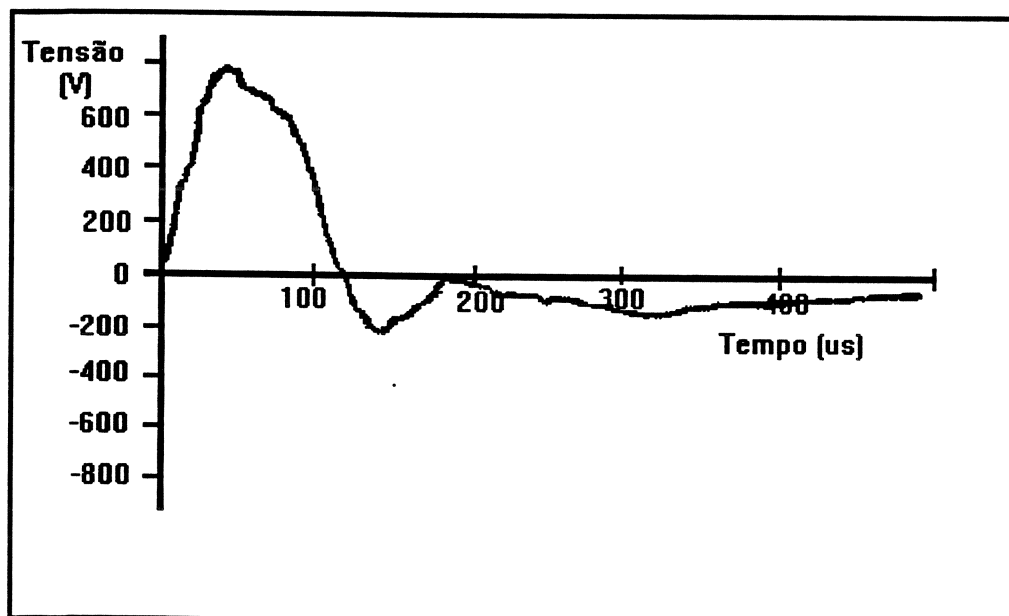


Figura 3.22
Medição em modo comum
Configuração "DG"

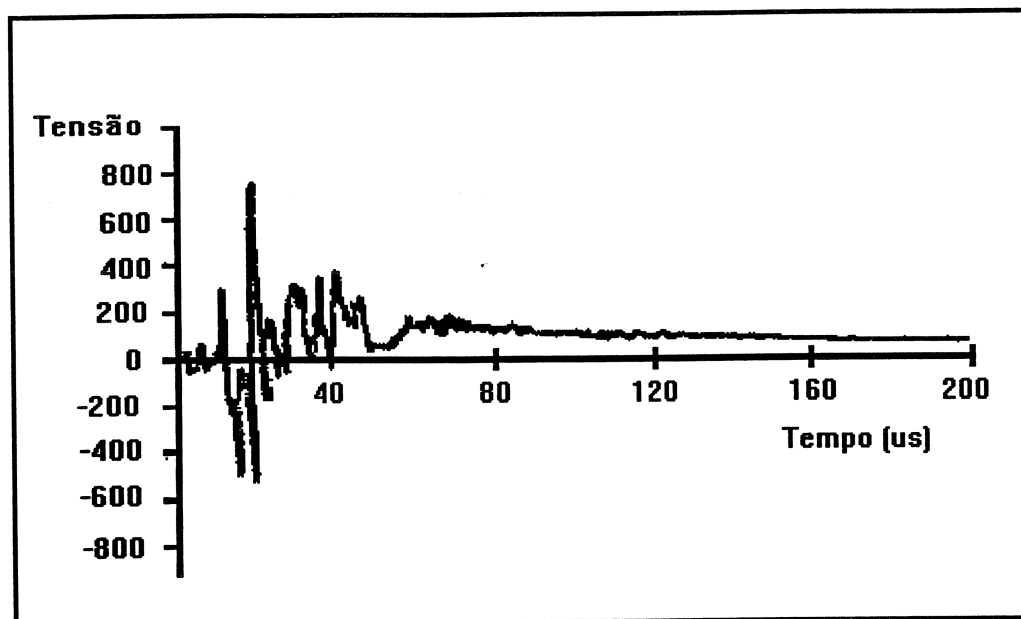


Figura 3.23
Medição em modo comum
Configuração "assinante"

Ainda como característica de diferenciação o forte grau oscilatório das formas de onda na configuração "assinante" em comparação com os da "DG".

3.6 Medições com o "Contador de Surtos"

Um outro método eletrônico de medição avaliado foi o do "Contador de Surtos" que utilizou um equipamento desenvolvido, em um convênio UNICAMP-CPqD/TELEBRÁS [47], com o objetivo de detectar surtos de tensão e corrente. Esse Contador de Surtos consiste em um equipamento eletrônico digital com oito canais, cada qual acoplado a um sensor, que calibrados para um dado limiar de tensão (ou corrente) efetuam digitalmente uma contagem dos eventos que ultrapassem esse limiar.

Como sensores, no modo medição de corrente, são utilizados bobinas em núcleos de ferrite, que via acoplamento magnético, à passagem de corrente enviam o sinal para o contador.

Nessa etapa do projeto o Contador de Surtos foi instalado na Rede Experimental do CPqD para uma avaliação "qualitativa" de algumas configurações de rede telefônica, como blindagem aterrada nas duas pontas do cabo, necessidade de proteção na transição aéreo-subterrâneo, pares em conversação e repouso, e outras. Como essa análise foge ao escopo deste trabalho, assim como muitos desses aspectos ainda permanecem sob estudo, não trataremos deste assunto com maiores detalhes.

De qualquer maneira o "Contador de Surtos", embora não consiga armazenar informações tipo tempos de duração e de frente, forma de onda, pode ser utilizado na contagem do número de surtos de corrente e/ou tensão em pares telefônicos ou condutores de aterramento de dispositivos protetores.

Para os objetivos desse trabalho o Contador foi efetivamente utilizado acoplado a antenas externas como contador de dias de Tempestade (nível ceraúnico), resultados que já foram descritos anteriormente neste mesmo capítulo. Para os objetivos de medições de tensões e correntes ele não foi efetivamente utilizado, permanecendo essa hipótese para futuros trabalhos nessa área.

3.7 Conclusão

As medições realizadas na linha experimental, embora limitadas a uma única linha e portanto sob condições específicas, mostram alguns parâmetros importantes das descargas induzidas.

Como já explicado no capítulo 1, uma das características importantes no desempenho de módulos protetores é sua tensão de disparo e as medições trouxeram informações importantes a esse respeito, como a distribuição de níveis de tensões induzidas.

Além da tensão de disparo, os valores de taxa de crescimento da tensão (dV/dt) se mostraram compatíveis com outros já observados em outras medições, a menos de valores encontrados para "assinantes", com taxas dV/dt muito maiores.

Uma aplicação prática desses resultados é o da realização de testes de aceitação de equipamentos a serem instalados em estações telefônicas e no ambiente do assinante.

As práticas CCITT que tratam de testes em equipamentos de estações Recomendação K20 [55] e de equipamentos de assinantes Recomendação K21 [56], estabelecem como um dos ensaios aplicação de surtos na forma de onda 10/700 μs com valores de tensão de pico de 1000 V para estações e 1500 V para assinantes.

Considerando-se que os valores de média (m) e desvio padrão (σ) para tensão de pico foram :

	Média	D. Padrão
Estações	408	120
Assinantes	420	166

e que o valor de $[m + 3\sigma]$ ou média mais três desvios padrões corresponde a 99,86% dos casos (figura 3.24), no caso de estações uma probabilidade de $+3\sigma$ (99,86%) significa 768 V e para assinantes 918 V, implicando que os valores medidos estão um pouco abaixo dos estabelecidos pela CCITT. Uma compilação de valores de medições de diversos países, e portanto de maior abrangência do que as medições aqui apresentadas, realizada por Pomponi [54] indica uma proximidade dos valores da CCITT com os das medições avaliadas com uma probabilidade entre 97,7% (2σ) e 99,86% (3σ).

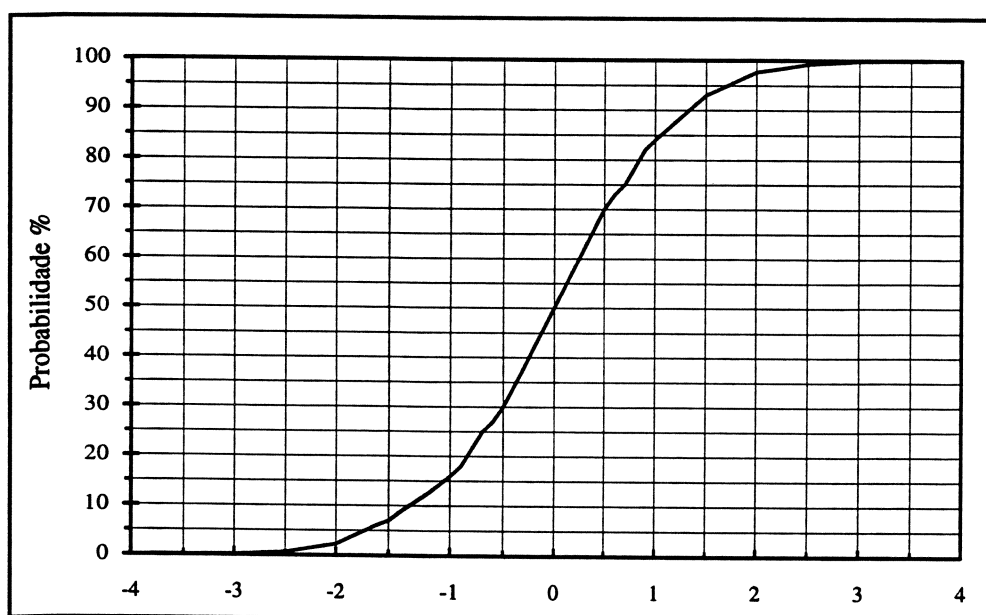


Figura 3.24
Distribuição de probabilidades

Como análise importante ainda a ser realizada resta a energia drenada pelos dispositivos protetores, ou seja, a corrente induzida nas redes telefônicas, seu valor de pico e duração.

Para tal optou-se por um outro método de medição, mais abrangente, por ser possível de verificação em linhas telefônicas reais em larga escala. Esse método e seus resultados serão apresentados nos capítulos a seguir.

4 MEDIÇÃO DA ENERGIA DESCARREGADA POR PROTETORES

4.1 Introdução

Um dos métodos mais antigos de medição de tensões e correntes elétricas utiliza o princípio básico das chamadas figuras de Lichtenberg [41] :

"Em 1778 Lichtenberg realizou um experimento onde um capacitor foi descarregado através de um "spark-gap" no qual foi colocado uma placa isolante, coberta com pólvora. Um eletrodo do "spark-gap" estava em contato com a placa isolante. Observou-se que a descarga fazia com que a pólvora formasse figuras características (Figuras de Lichtenberg) e com diferentes formas para diferentes polaridades".

Uma adaptação desse processo foi o Klidonografo [41], [42], equipamento utilizado para medição de tensões com figuras de Lichtenberg, porém com filme fotográfico no lugar da placa com pólvora. Esse equipamento foi um dos primeiros a ser utilizado para medição de tensões de descargas atmosféricas em linhas de transmissão de energia elétrica.

Interessante notar que as figuras de Lichtenberg obtidas por esse processo tinham como características [41] :

- Raio da figura proporcional ao máximo da tensão
- Mesmo eventos com duração da ordem de microsegundos eram possíveis de observação.
- Forma e configuração da figura proporcional a forma de onda da tensão.

Esse mesmo processo pode ser utilizado na medição de correntes impulsivas considerando-se que [41] "se a tensão de pico através de uma impedância conhecida é determinada pelo raio da figura de Lichtenberg, a corrente correspondente pode ser encontrada dividindo a tensão pela impedância".

Uma adaptação do klidonografo para medição de correntes impulsivas foi realizado [41] por Griscombi [43], chamado de kine-klidonografo.

4.2 Descrição do método das marcas em centelhadores a carvão

Conforme já descrito anteriormente no capítulo 2, dispositivos protetores tipo centelhadores a carvão foram largamente utilizados em DG's de estações telefônicas e até hoje é possível encontra-los instalados na maioria das estações.

O centelhador a carvão consiste em dois eletrodos separados por um "gap" de ar, e que tem como característica, quando atuam, deixar impressa nas faces de seus eletrodos de carvão uma marca que é proporcional a intensidade e duração da corrente descarregada.

Desta maneira, analogamente ao descrito para as figuras de Lichtenberg e klidonografo, é possível se avaliar as características das sobrecorrentes pela configuração das marcas deixadas nos eletrodos.

Isso é possível pelo material dos eletrodos, carvão (carbono), ser vulnerável à ação da descarga elétrica e pelo fato dessas marcas serem proporcionais à corrente descarregada.

A avaliação das marcas (intensidade e duração do evento sobrecorrente) pode ser efetuada comparando-se um centelhador retirado do DG com um padrão de marcas montado em laboratório.

Analisando-se as marcas e comparando-as com o padrão de laboratório consegue-se uma avaliação dos níveis de sobrecorrente que atingiram a rede telefônica.

Uma das vantagens do método é a grande quantidade de centelhadores disponíveis nos DG's armazenando um histórico de atuações por um determinado período de tempo, além de ser um método relativamente barato, por não envolver equipamentos eletrônicos e/ou computadores.

Alguns estudos de medição de sobrecorrentes em redes telefônicas [17], [18], [19] utilizam esse método de se avaliar marcas deixadas em centelhadores a carvão para se medir a energia descarregada por esses dispositivos.

Esse método foi também utilizado no projeto Copelite [6], [23], [24], visando obter a distribuição estatística de sobrecorrentes em linhas telefônicas no Brasil e a base de dados obtida por esse método vai ser utilizada nos capítulos seguintes desse trabalho como elemento fundamental para seu desenvolvimento.

O processo de avaliação consiste em se retirar do campo centelhadores já em operação, portanto com tempo de instalação estimado, substituí-los por centelhadores sem marcas que vão ficar instalados por um ano, quando então serão retirados.

São avaliadas as marcas nos centelhadores com tempo estimado e aqueles com um ano de instalação, comparando-as com um padrão de laboratório.

Esse padrão consiste em matrizes padrões com marcas produzidas em laboratório, montadas em corrente x tempo, variando de 10 μ s a 10000 μ s e de 10 A a 1000 A (figura 4.1). No total foram montadas 4 matrizes padrões uma para cada tipo de módulo com centelhador a carvão, já que as peças retiradas de campo não são do mesmo tipo (fabricante, modelo).

I(A) t(μ s)	10	25	50	100	150	200	250	300	400	500	700	1000
10												
20												
50												
100												
300												
1000												
3000												
6000												
10000												

Figura 4.1

Montagem da matriz padrão de marcas para impulso

Além dos surtos devidos a descargas atmosféricas, os protetores podem atuar também para surtos de 60 Hz que, embora como vai ser observado posteriormente, em menor quantidade de ocorrência que aqueles devidos a impulsos atmosféricos, são importantes na análise de uma proteção eficiente da rede telefônica.

A matriz de 60 Hz é montada conforme figura 4.2, variando de 1 a 60 ciclos e de 1 a 30 Ampéres.

corrente ciclos	1 A	3 A	5 A	7 A	10 A	15 A	20 A	25 A	30 A
1									
5									
12									
20									
40									
60									

Figura 4.2

Matriz padrão para 60 hz

Uma vez montadas as matrizes padrão, as peças retiradas dos Distribuidores Gerais das Estações são avaliadas separadamente por 2 pessoas.

Essa técnica de se utilizar 2 pessoas na avaliação visa reduzir erros decorrentes da subjetividade caso uma única pessoa realizasse a operação. Os resultados parciais são apresentados pelo número de marcas por célula (Ixt) para cada estação avaliada.

4.3 Avaliação do método

4.3.1 Elementos básicos

Conforme descrito anteriormente os elementos básicos na avaliação das marcas nos centelhadores e, conseqüentemente, da estatística dos surtos em redes telefônicas são :

- a) Montagem da matriz padrão
- b) Análise comparativa peça x matriz realizada por 2 pessoas

Em função desses 2 elementos básicos é que se pode avaliar o grau de precisão do método.

A matriz padrão é montada aplicando-se surtos corrente x tempo em laboratório, portanto com controle das formas de onda aplicadas. É visível a variação do tipo e tamanho da marca em função do aumento da corrente ou tempo. O aumento da corrente produz um aumento da área da marca conforme pode ser observado nas fotos das figuras 4.3 a 4.6, comparando-se marcas de 10, 50, 200 e 500 A.

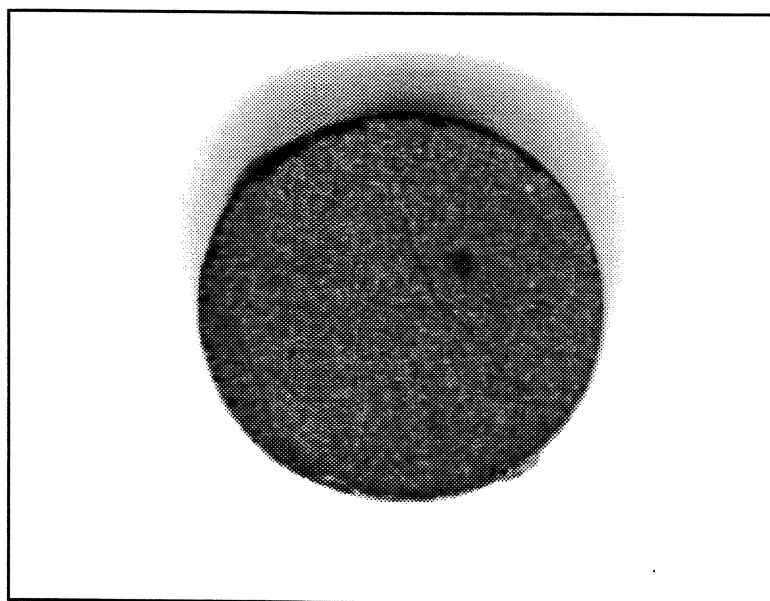


Figura 4.3
Marca de 10 A, 10 μ s

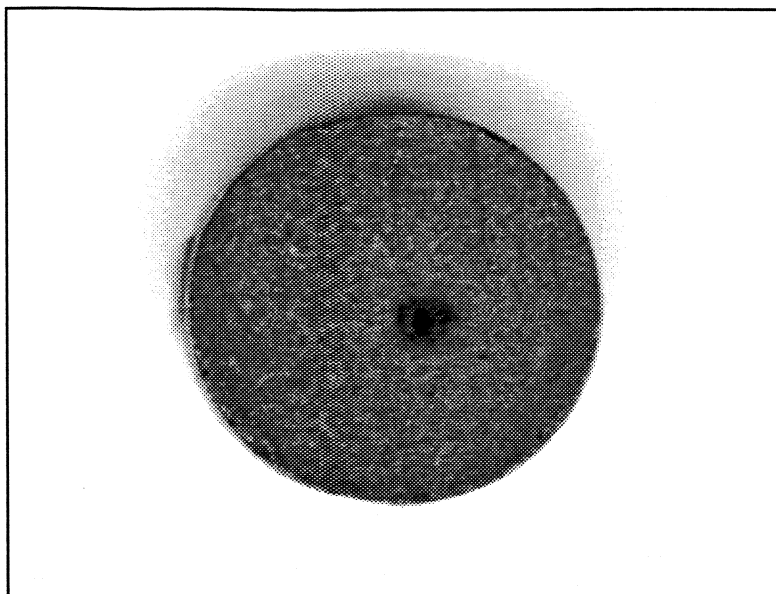


Figura 4.4
Marca de 50 A, 10 μ s

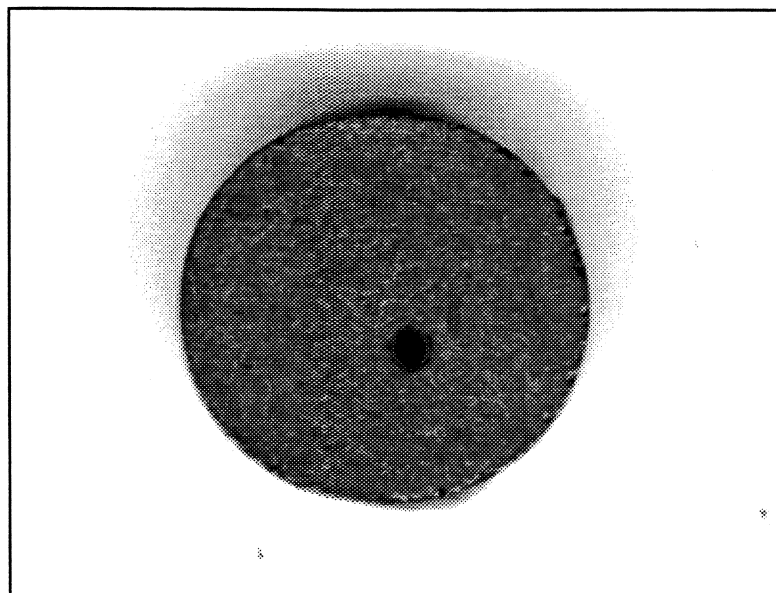


Figura 4.5
Marca de 200 A, 10 μ s

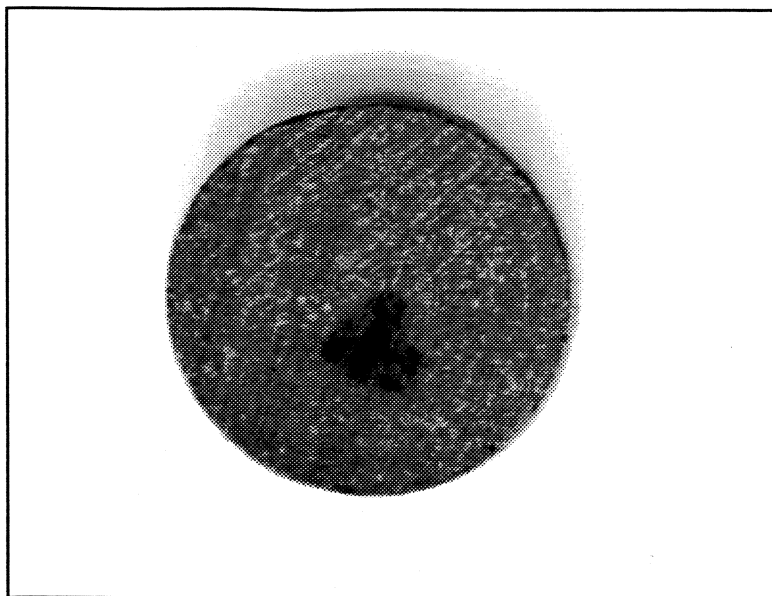


Figura 4.6
Marca de 500 A, 10 μ s

Por outro lado a variação do tempo provoca um aumento na "profundidade da marca" (cavidade no carvão) em função do aumento do tempo.

Esse fenômeno é mais difícil de ser observado via fotos, mas perfeitamente visível a olho nu. De qualquer maneira, as fotos das figuras 4.7 e 4.8 mostram essa variação.

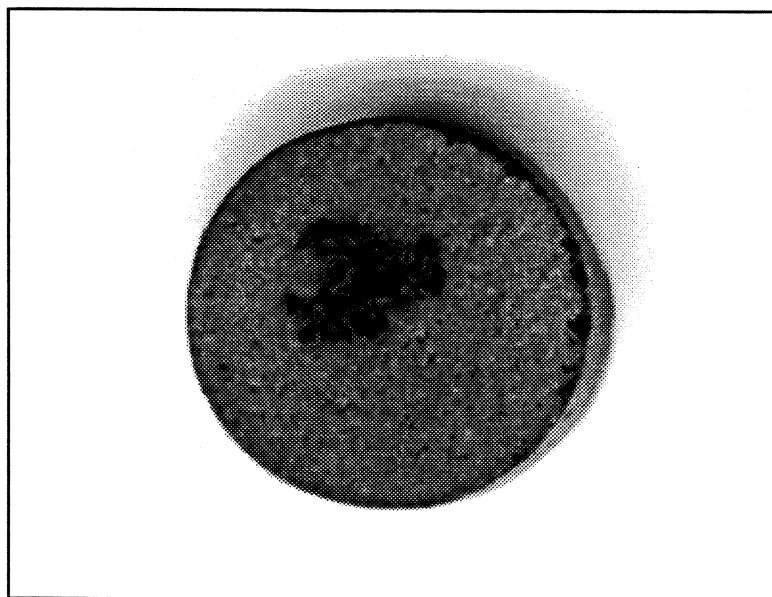


Figura 4.7
Marca de 1000 A, 10 μ s

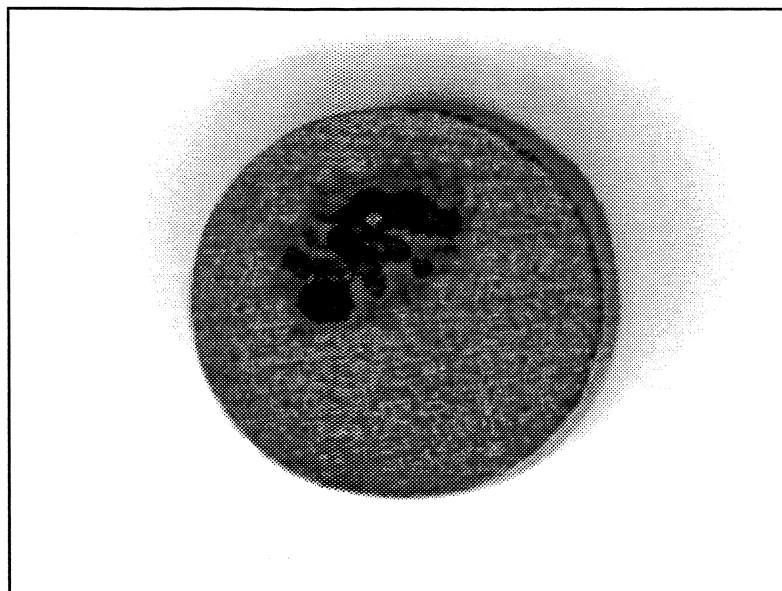


Figura 4.8
Marca de 1000 A, 50 μ s

Baseado nessas características, o observador teria que escolher um valor de I_{xt} para uma dada peça sendo avaliada, podendo ocorrer também a existência de múltiplas marcas numa mesma peça, que estando em posições distintas no eletrodo de carvão podem ser avaliadas como no procedimento anterior.

Além disso, o observador deve diferenciar uma marca devida a descarga atmosférica de um surto de corrente alternada 60 Hz.

O primeiro fator de ajuda nessa diferenciação é o fato de normalmente ocorrerem várias atuações do centelhador para um mesmo surto (durante alguns ciclos) dando então uma marca característica e diferente daquelas impulsivas (figura 4.9).

Nesse caso (mais de um ciclo) a diferenciação que deveria ser realizada é 60 Hz x múltiplas marcas de impulso, porém as marcas de 60 Hz apresentam ainda como característica de diferenciação o fato de serem mais profundas e deixarem uma marca mais escura.

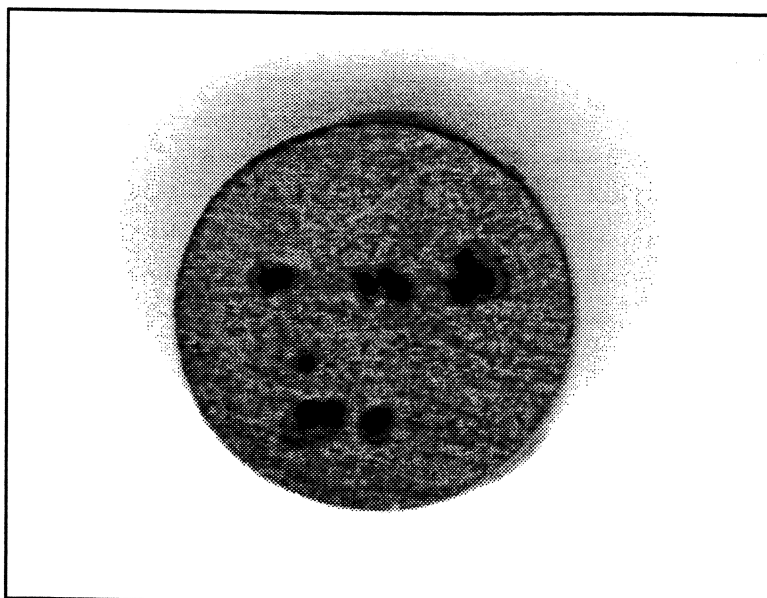


Figura 4.9
Marcas em 60 Hz

4.3.2 Teste de avaliação

No sentido de se avaliar até que ponto os conceitos das características das marcas eram válidos e também o fator subjetividade do avaliador, foi montado um teste para os dois analisadores.

Esse teste consistiu em se utilizar 100 centelhadores com marcas previamente conhecidas e fornece-las para avaliação dos dois analisadores, com a distribuição das marcas mostrada nas figuras 4.10 e 4.11, envolvendo centelhadores com marca única de impulso, múltiplas de impulso e 60 Hz.

I(A) t(μs)	10	25	50	100	150	200	250	300	400	500	700	1000
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
20	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
50	2	2	2	2	2	2	2	2				
100	2	2	2	2	2	2						
300	2	2	2	2	2							
1000	2											
3000												
6000												
10000												

Figura 4.10
Distribuição das marcas
Impulso - marcas únicas

ciclos	1 A	3 A	5 A	7 A	10 A	15 A	20 A	25 A	30 A
1									
5			2						
12					2				
20		2							
40						2			
60				2					

Figura 4.11
Distribuição das marcas
60 Hz

As marcas múltiplas para impulso foram (com duas peças em cada tipo de marcas múltiplas) :

2	x	10A/10 μ s
3	x	10A/10 μ s
5	x	10A/10 μ s
10	x	10A/10 μ s
2	x	10A/10 μ s + 25A/10 μ s

As 100 peças com essas marcas foram então avaliadas pelos dois analisadores separadamente, sem que os mesmos tivessem conhecimento da distribuição das marcas. Com os resultados obtidos pode-se avaliar o grau de precisão do método

4.3.3 Índice de acerto 60 Hz

Um primeiro ponto de avaliação é o que diz respeito ao discernimento entre uma marca de 60 hz e uma de impulso no tocante a subjetividade da escolha do avaliador.

Entre as 100 peças disponíveis dez contavam com marcas 60 Hz, sendo que o analisador B acertou integralmente todas as peças e apenas estas como sendo marcas de 60 Hz. Já o analisador A acertou oito dessas peças e incluiu duas com marcas impulsivas múltiplas como sendo 60 Hz. Em qualquer dos casos o acerto foi no tocante ao tipo de marca (60 Hz x impulso) e não necessariamente aos valores de tempo e corrente.

De qualquer maneira, no pior dos casos o grau de acerto do tipo de marca foi satisfatório (analisador A =80%).

4.3.4 Grau de acerto dos parâmetros tempo e corrente

A análise do grau de acerto no tocante aos valores de tempo e corrente foi realizada baseando-se na posição relativa na matriz quanto ao valor real e o escolhido. Assim sendo, se considerarmos na figura 4.12 a posição "00" como sendo "acertos" as posições "11", "12", "13", etc.. indicam o erro relativo (em número de posições na matriz) em relação ao acerto (0,0), para corrente e tempo (nessa ordem).

22	12	02	12	22
21	11	01	11	21
20	10	00	10	20
21	11	01	11	21
22	12	02	12	22

Figura 4.12
Grau de acerto (Corrente-Tempo)

A figura 4.13 mostra esse grau de acerto em relação ao padrão para os examinadores A e B para correntes e a 4.14 para tempo. As figuras 4.15 e 4.16 (em percentuais acumulados) mostram os mesmos resultados, só que não levando em conta se o erro foi para valores acima ou abaixo do especificado e incluindo somente o grau de acerto relativo a posição da matriz.

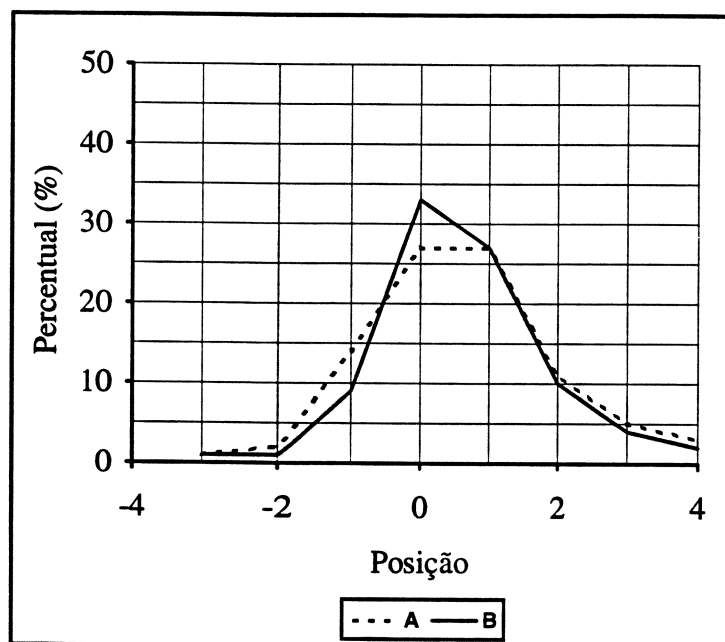


Figura 4.13
Grau de acerto em relação ao padrão
Corrente

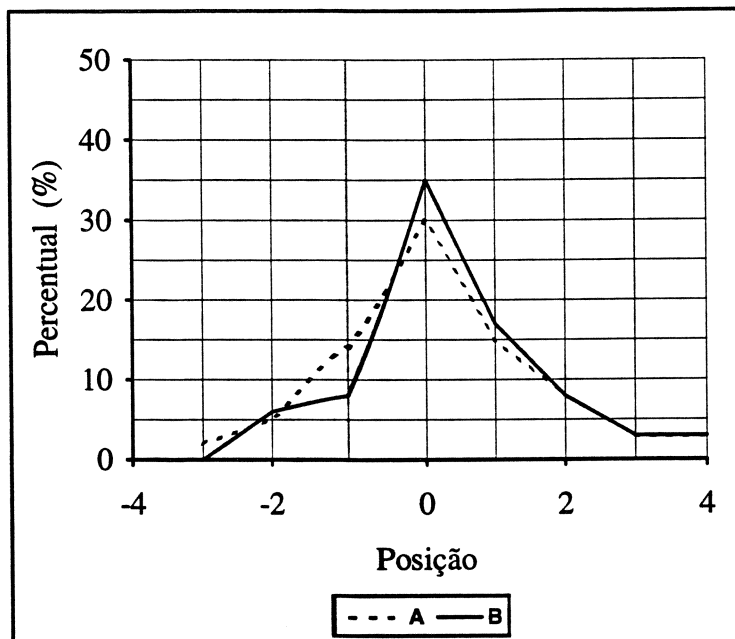


Figura 4.14
Grau de Acerto em relação ao padrão
Tempo

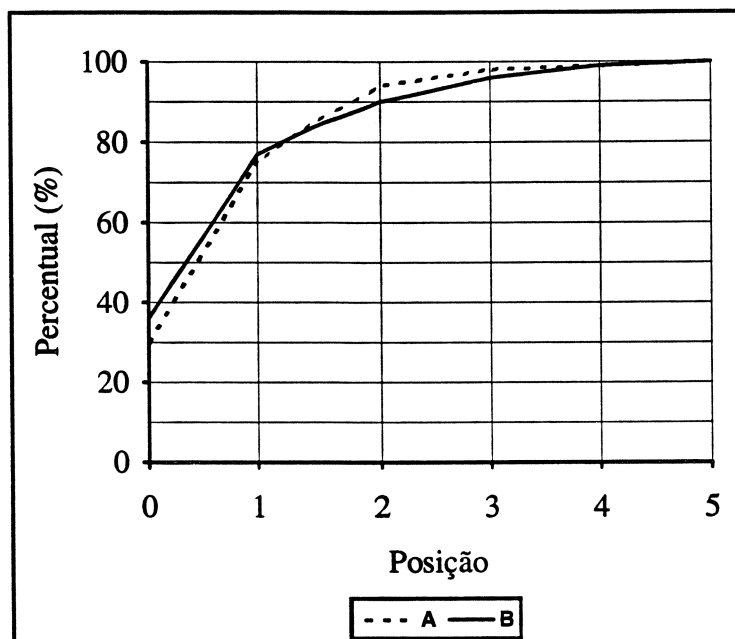


Figura 4.15
Grau de Acerto -Percentual Acumulado
Tempo

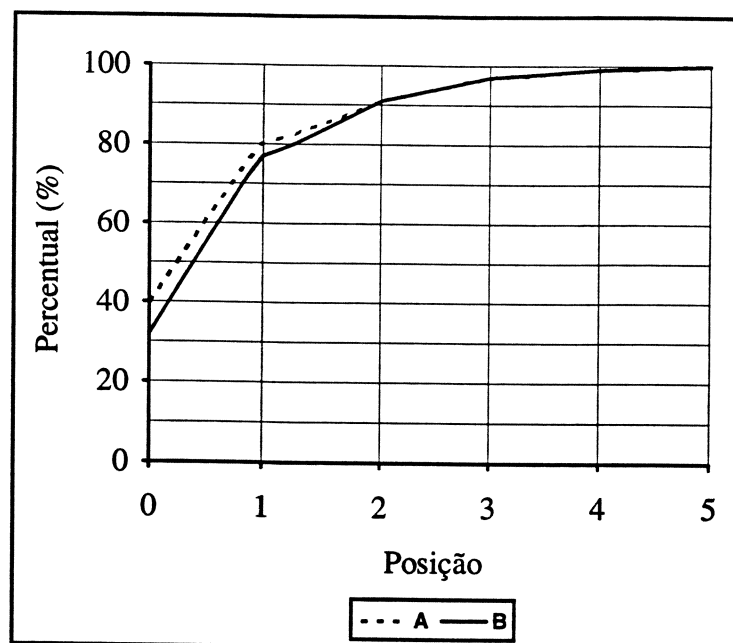


Figura 4.16
Grau de Acerto -Percentual Acumulado
Corrente

O erro em relação a corrente mostra, para os analisadores A e B, uma tendência para valores acima do real. Os percentuais de erro para valores acima ou abaixo do real são mostrados na tabela 4.1, que inclui ainda os valores de "acerto" e "errado", este último quando o erro não se relaciona com posições na matriz mas com troca de marcas de 60 Hz por impulso (ou vice-versa), observação de marcas não existentes, ou não observação de marcas existentes.

%	Acerto	Acima	Abaixo	Errado
A	28	45	16	11
B	34	45	10	11
Média	31	45	13	11

Tabela 4.1
Percentual de acerto
Corrente

Como pode ser observado em média 45% dos valores são escolhidos acima do real (28% até uma posição) enquanto que apenas 13% abaixo, mostrando uma tendência conservativa dos resultados. Em relação ao tempo não existe essa tendência.

De qualquer maneira as figuras 4.15 e 4.16 mostram que o erro relativo até uma posição atinge 80% dos casos para corrente e 75% para tempo, e até duas posições acima de 90%, mostrando que o erro total envolvido na avaliação não é proporcionalmente de grande monta, principalmente se levarmos em conta que o processo é realizado com uma amostragem significativa.

4.3.5 Erro relativo entre os avaliadores

Outro fator importante é o erro relativo entre os analisadores, o qual é mostrado nas figuras 4.17 e 4.18.

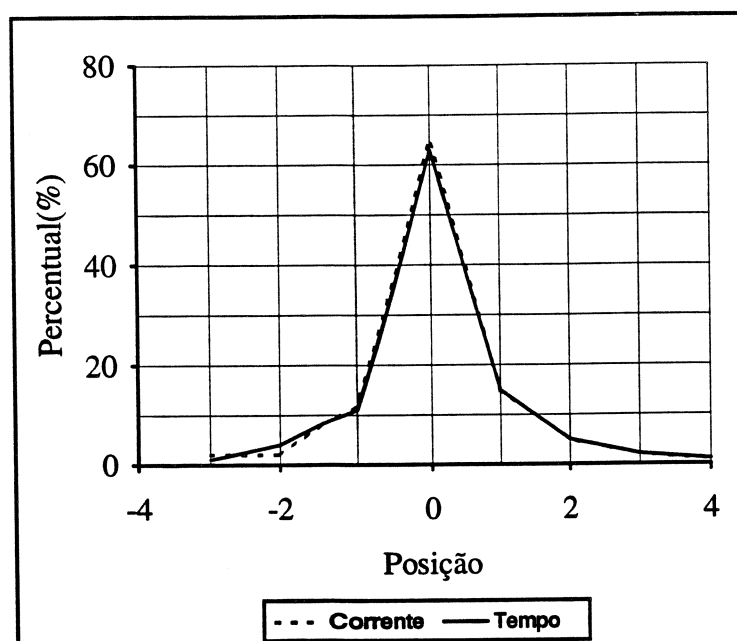


Figura 4.17
Grau de Acerto relativo entre os examinadores A-B
(Base examinador A) Tempo e Corrente

As figuras 4.17 e 4.18 mostram um acerto total (Posição 0) em aproximadamente 65% dos casos tanto para tempo como corrente, e em até uma posição 90% dos casos.

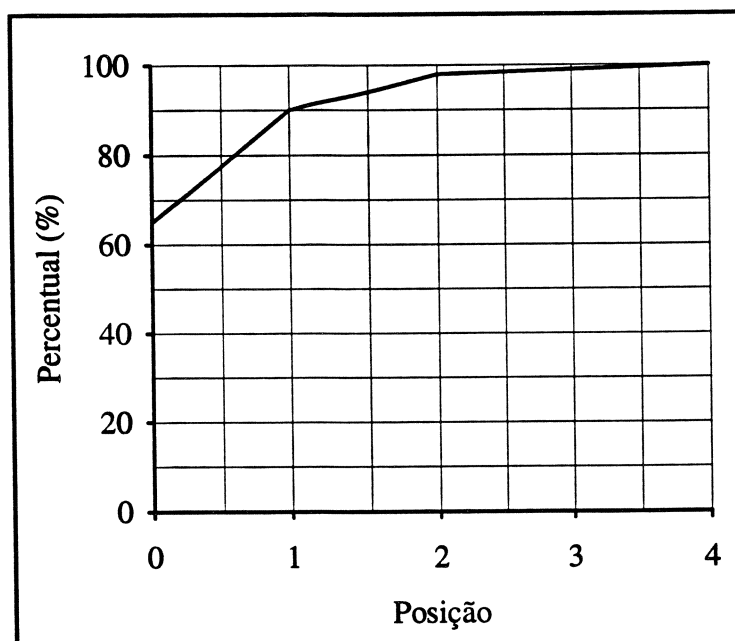


Figura 4.18
Grau de Acerto relativo A-B

Isso implica em um alto grau de concordância entre os analisadores quanto ao tipo de marca observada.

4.4 Locais e periodicidade das medições

4.4.1 Locais de medição

O objetivo primeiro da avaliação é se conhecer a distribuição estatística de surtos em redes telefônicas no Brasil, decidindo-se então por realizar a observação nos estados de S.Paulo (Telesp), Rio de Janeiro (Telerj) e Minas Gerais (Telemig), que representam aproximadamente 70 % dos assinantes do Sistema Telebrás. Os locais de observação escolhidos foram divididos em 4 grupos:

- a)Telesp-Campinas
- b)Telesp-S.Paulo
- c)Telerj
- d)Telemig

O estudo foi então localizado em 3 estados e dividido em 4 grupos de observação (itens a-d acima), e em cada um dos casos a escolha das estações para análise foi realizada levando-se em conta uma das características de atendimento.

Em cada um dos grupos optava-se por:

A)-Uma estação com atendimento tipo urbano, com alta densidade populacional (edifícios) e comercial (tipo centro de cidade).

B)-Uma estação (ou duas) com atendimento tipo urbano-suburbano, com densidade menor de prédios e existência de residências isoladas.

C)-Duas estações com atendimento suburbano com predominância de residências isoladas e/ou regiões reconhecidamente problemáticas do ponto de vista de proteção elétrica (grande incidência de descargas atmosféricas, grande percentual de linhas aéreas, regiões com alto percentual de atendimento tipo rural ou grande concentração industrial, etc..).

As estações escolhidas foram:

CASO	OPERADORA	CIDADE	ESTAÇÃO	TIPO
a	TELESP	Campinas	Centro	A
			C.Elíseos	B
			B.Geraldo	C
			Souzas	C
b	TELESP	S.Paulo	Consolação	A
			Penha	B
			S.Amaro	B
			Cumbica	C
			Parelheiros	C
c	TELERJ	R.de Janeiro	Tiradentes	A
			Ramos	B
		Resende	Resende	C
		N. Friburgo	N. Friburgo	C
d	TELEMIG	B. Horizonte	Tamoios	A
			Pampulha	B
			Cid.Indust.	C
		N. Lima	Nova Lima	C

Tabela 4.2
Estações escolhidas

A tabela 4.3 mostra o número de pares avaliados assim como o número de pares terminados no DG em cada estação

CASO	ESTAÇÃO	Pares Amostrados	Pares no DG
a	Centro	200	92 000
	C.Elíseos	100	22 000
	B.Geraldo	100	7 000
	Souzas	100	2 700
b	Consolação	100	119 000
	S.Amaro	100	164 000
	Penha	100	125 000
	Cumbica	100	18 000
	Parelheiros	100	16 000
c	Tiradentes	200	65 000
	Ramos	100	62 000
	N. Friburgo	100	10 500
	Resende	100	6 200
d	Tamoios	200	20 000
	Pampulha	100	17 000
	Cid.Industrial	100	13 000
	N. Lima	100	2 000
TOTAL		2000	760 700

Tabela 4.3
Pares amostrados

O total de pares amostrados e o número de pares do DG são importantes para a ponderação dos resultados.

4.4.2 Periodicidade

A sistemática de retirada e avaliação dos centelhadores a carvão foi realizada inicialmente retirando-se dos DG's das estações telefônicas uma dada quantidade de centelhadores (por amostragem) que já estavam instalados por um período de tempo estimado e substituí-los por centelhadores novos que ficariam um ano instalados, após o que seriam também retirados.

Tanto em um caso (centelhadores com tempo de instalação estimado) como no outro (centelhador com um ano de instalação) as peças foram avaliadas conforme descrito no item 4.3.1.

O tempo de instalação "estimado" foi avaliado em sete (07) anos em função da data de fabricação e levando-se em conta um período de estocagem. Nesse caso, podemos enumerar as seguintes desvantagens :

- Falta de controle no tipo de carvão, já que as peças retiradas eram de fabricantes diferentes, nem sempre com características que facilitassem a análise (eletrodos com faces reticuladas, com furo central, etc..).

- Tempo de instalação apenas estimado, dificultando análises envolvendo previsão de quantidade de surtos/ano.

- O fato do tempo de instalação ser relativamente grande (07 anos) leva a ocorrência de uma quantidade maior de marcas ocasionando as vezes sobreposições, dificultando a análise.

Já no caso dos centelhadores com um ano de instalação as peças eram previamente preparadas (centelhadores com eletrodos "limpos", sem marcas), as faces dos centelhadores tem características que facilitam a identificação das marcas (faces lisas, carvões com boas características para marcação das descargas, etc..), além do tempo de instalação determinado (um ano).

As análises foram feitas separadamente para os dois casos. Os dados coletados nas fases I e II (07 anos e 01 ano respectivamente) são similares quanto a distribuição de tempos e correntes, com as diferenças básicas de na fase I existirem valores mais elevados de corrente e na fase II um maior número de eventos em baixas energias (baixos tempos e correntes) do que na fase I. Os valores mais elevados de corrente observados na fase I são justificados pelo maior tempo de exposição (estimado em média em 07 anos) que os da fase II, aumentando a probabilidade de ocorrência de eventos mais raros em altas energias. A maior quantidade de eventos em baixas energias na fase II é explicada pela maior sensibilidade do tipo de carvão utilizado nessa fase, permitindo identificação de marcas menores.

Os dados das duas fases foram superpostos e a curva gerada considerada como representativa das medições, com os dados da fase II prevalecendo na região de baixos tempos e correntes e os da fase I para altas correntes.

Todos os dados a serem mostrados são resultantes da composição das duas fases de medição.

4.5 Resultados das medições

O total de centelhadores analisados foi de 8000, ou 33000 centelhadores . ano e a distribuição de eventos mostra uma grande preponderância de marcas impulsivas. De uma maneira geral foram observadas 6842 marcas assim distribuídas :

	Fase 1	Fase 2
Centelhadores sem marcas	56 %	85 %
Centelhadores com marcas impulsivas	42%	13%
Centelhadores com marcas 60 hz	2%	2%
Quantidade de marcas	5433	1409

A maior quantidade de marcas na fase I é explicada pelo maior tempo de exposição (07 anos contra 01 ano). As figuras 4.19 e 4.20 mostram nas marcas observadas nas duas fases a divisão entre as impulsivas e 60 Hz, mostrando a grande preponderância das primeiras.

Isso mostra que os eventos produzidos por indução por descargas atmosféricas são muito mais frequentes que por 60 Hz.

Os capítulos 5 e 6 a seguir vão mostrar , separadamente os resultados de impulso e 60 Hz.

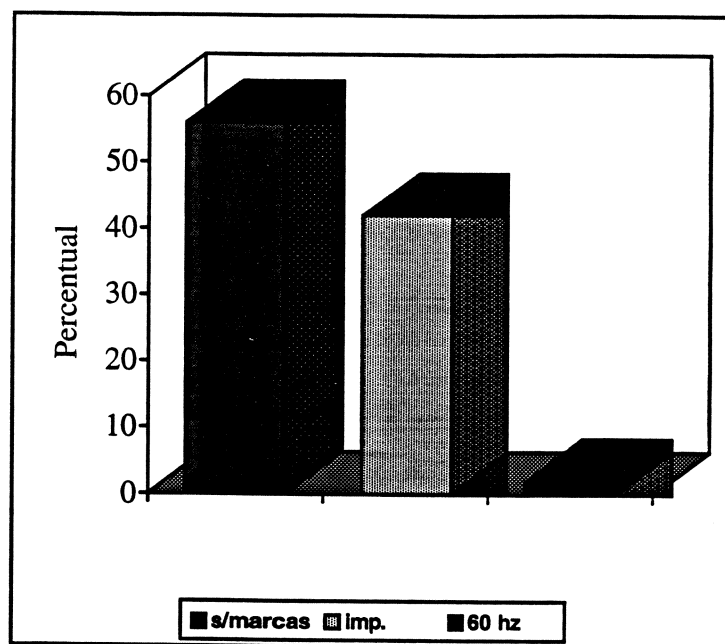


Figura 4.19
Histograma dos percentuais de marcas Fase 1

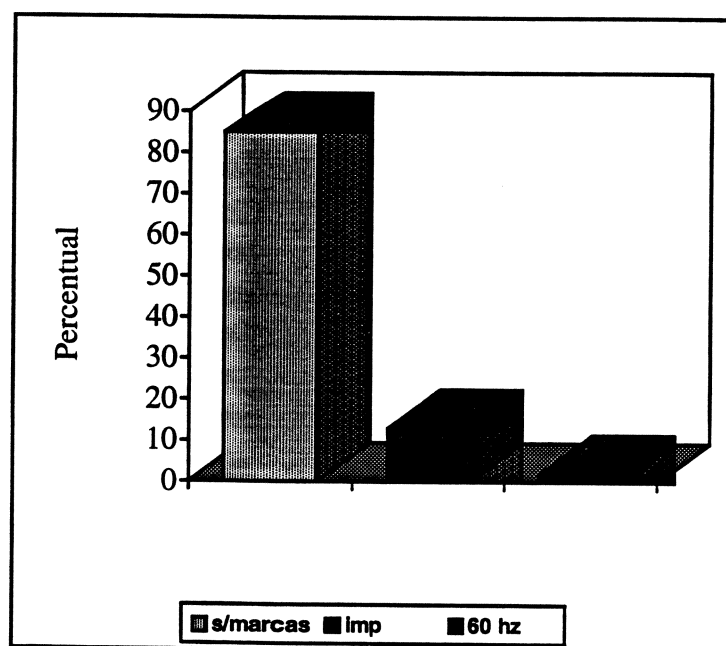


Figura 4.20
Histograma do percentual de marcas Fase 2

5 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES-IMPULSO

5.1 Atividade das Estações Telefônicas

Os resultados são mostrados em Eventos/1000 assinantes/ano por ser esta uma maneira que torna possível se avaliar o número esperado de ocorrências em um dado universo de usuários num dado espaço de tempo.

Os dados resultantes da reunião das fases I (um ano de instalação) e II (sete anos) em eventos/1000 assinantes/ano (figura 5.1) computando-se todas as estações analisadas, mostram uma grande concentração de eventos para baixas energias (baixos tempos e correntes) com uma correspondente baixa incidência na região de altas energias, sendo que o maior valor encontrado de corrente foi de 500 A.

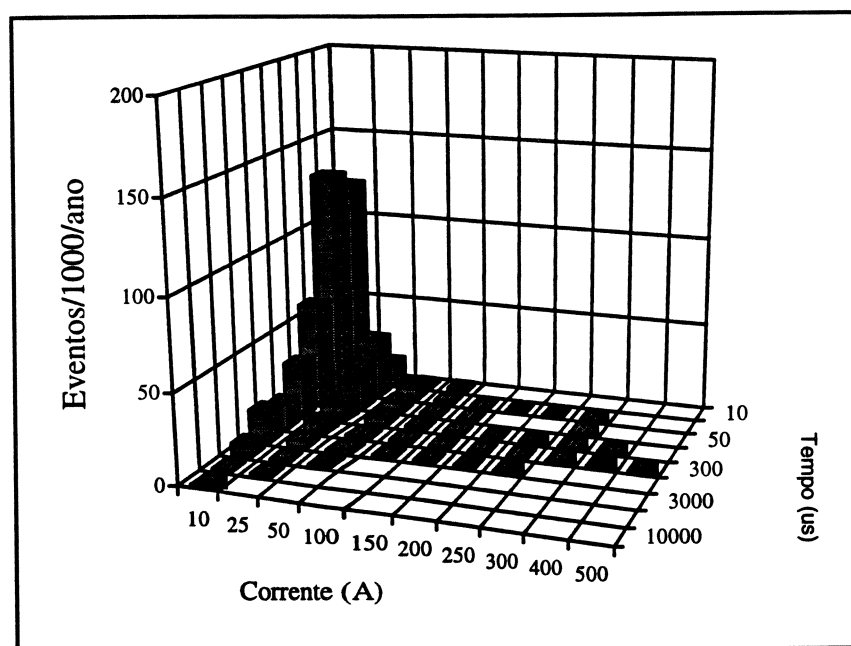


Figura 5.1
Atividade de todas as Estações

Os resultados são computados ponderando-se os dados pelo número de assinantes de cada estação e como as estações com mais baixa atividade são aquelas com maior número de assinantes, estas últimas acabam preponderando quando se analisam os dados reunidos.

Por esse motivo os dados das medições foram ainda analisados dividindo-se as estações em duas classes quanto ao seu grau de exposição: Classe 1 envolvendo as estações com grande número de assinantes (mais de 20000 pares terminados no DG) em regiões urbanas, com cabos com grande percentual de trechos subterrâneos e, portanto, menores extensões de trechos aéreos (em média 260 metros), enquanto que a Classe 2 representa as estações menores (20000 ou menos pares terminados no DG) com atendimento a áreas suburbanas e rurais, com maiores comprimentos de cabos aéreos (em média 700 metros).

Das 17 estações analisadas 8 foram classificadas como Classe 1 (englobando os tipos A e B do capítulo anterior) e 9 como Classe 2 (tipo C anterior). A seguir são discriminadas as estações e sua classificação.

CLASSE 1

Tamoios
Centro
C.Elíseos
Tiradentes
Ramos
Consolação
Sto.Amaro
Penha

CLASSE 2

Cid.Industrial
Pampulha
N. Lima
N.Friburgo
Resende
Cumbica
Parelheiros
B.Geraldo
Souzas

Os resultados das medições para as Classes 1 e 2 são mostrados nas figuras 5.2 e 5.3.

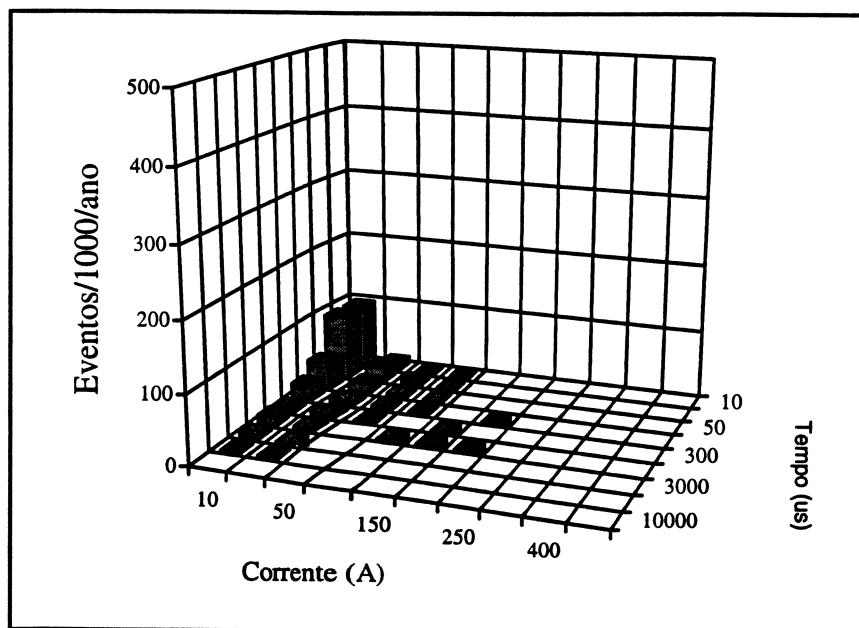


Figura 5.2
Atividade das Estações Classe 1

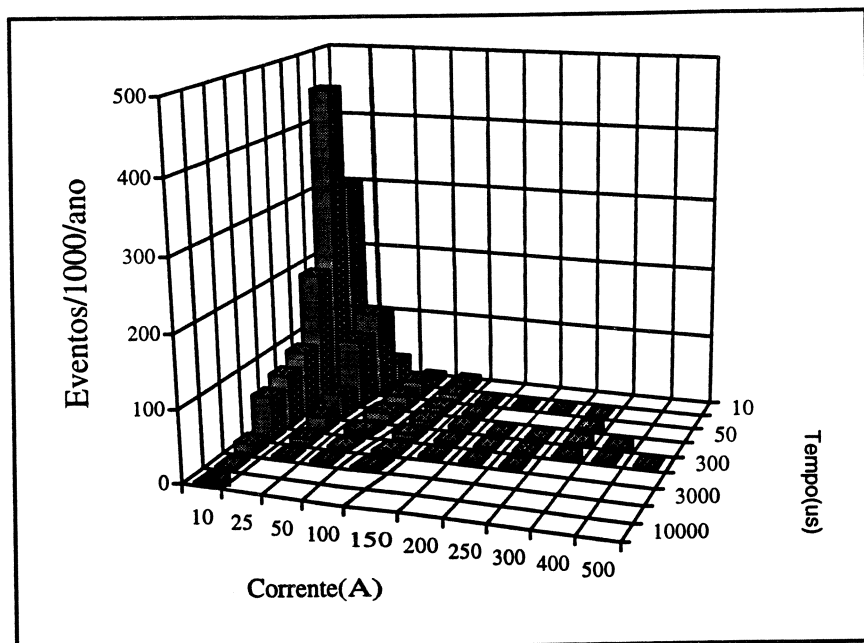


Figura 5.3
Atividade das Estações Classe 2

Comparando-se as figuras 5.1, 5.2 e 5.3 verifica-se que [24] as estações da Classe 1 estabelecem a quantidade de eventos, posto seu maior peso relativo pela maior quantidade de assinantes, enquanto que as da Classe 2 estabelecem o seu espraioamento nos eixos horizontais (valores de tempo e corrente), visto o seu maior grau relativo de atividade.

A distribuição de correntes, tempos e energia para as três classes consideradas (Classes 1, 2 e Geral) são mostradas nas figuras 5.4, 5.5 e 5.6.

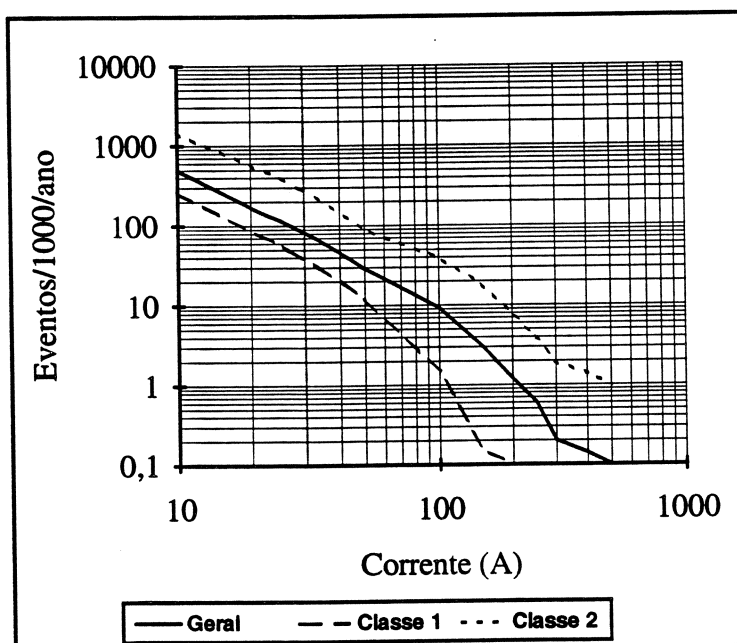


Figura 5.4
Distribuição de Correntes

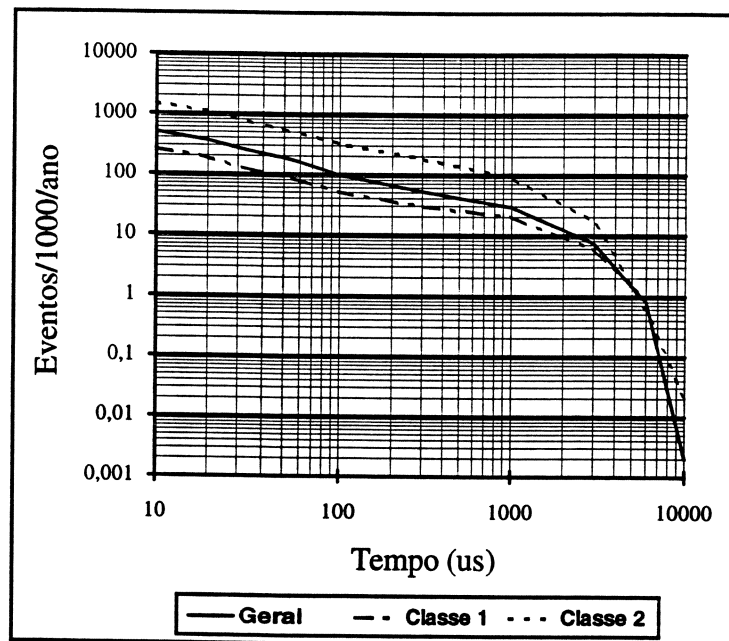


Figura 5.5
Distribuição de Tempos

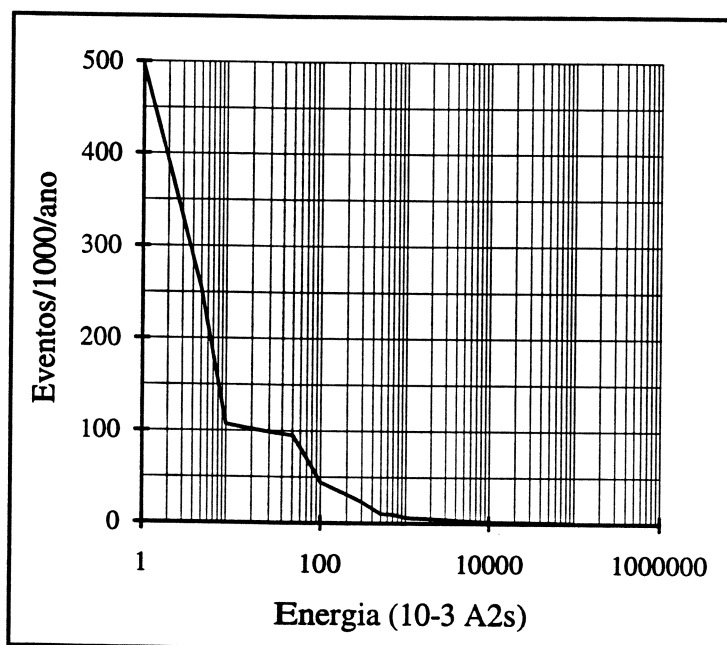


Figura 5.6
Distribuição de Energias
Geral

Em um grupo de 1000 linhas, considerando-se todas as estações analisadas, é esperado de ocorrer um (1) surto maior ou igual a 200 A por ano, e para as estações classe 2 o mesmo nível de atividade tem uma corrente correspondente de 500 A.

Esses valores mostrados correspondem a média para as classes consideradas, obviamente existindo valores extremos (mínimos e máximos) para as estações analisadas.

Para efeito de análise na figura 5.7 é mostrada a faixa de distribuição de correntes para todas as estações analisadas, com as correspondentes curvas médias para efeito comparativo. As curvas com linha tracejada correspondem a estações Classe 1 e com linha contínua Classe 2, com limites superior, inferior e média de cada Classe.

A curva "média" representa o valor médio calculado das estações Classes 1 e 2, que é o mesmo valor representado nos gráficos anteriores para essas Classes (figura 5.4) e os limites inferior e superior representam os máximos e mínimos observados nas medições para as duas classes.

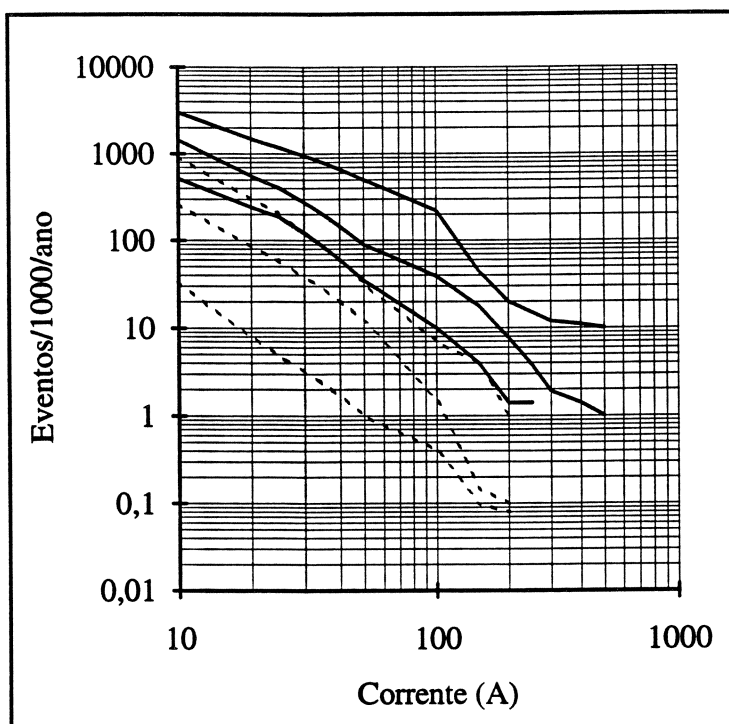


Figura 5.7
Faixa de abrangência

Os extremos de cada classe são importantes na análise dos "piores casos" de eventos/1000 assinantes/ano esperados quando da escolha de um determinado nível de corrente.

5.2 Distribuição dos eventos

As distribuição de correntes, tempos e energia das figuras 5.4, 5.5 e 5.6 mostram os resultados obtidos das medições. No entanto, para facilitar as análises posteriores, é interessante trabalhar com as curvas e extrapolar seus resultados para valores maiores e menores de corrente, tempo e energia.

De uma maneira geral, as curvas têm um decaimento exponencial e, se traçadas em escala log-log, se aproximam de uma reta (figura 5.8).

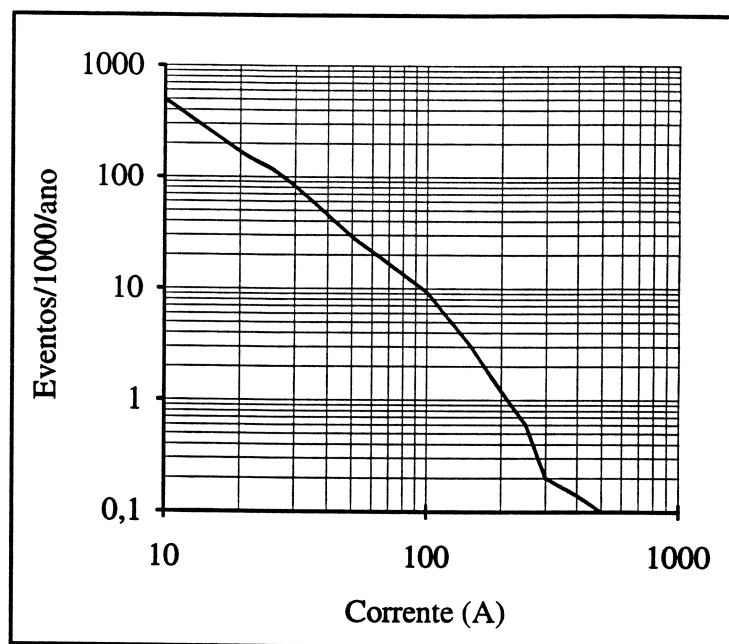


Figura 5.8
Curva de distribuição de correntes-Geral

5.3 Atividade por centelhador

Os dados apresentados anteriormente mostram uma média de todos os centelhadores amostrados, mas os surtos não estão uniformemente distribuídos em todas as linhas mas, concentrados em algumas mais expostas. Assim é que, conforme mostrado no Capítulo 4, as 1409 marcas detectadas na fase 2 estão concentradas em 15% dos centelhadores (607 centelhadores) e mesmo na fase 1, em 7 anos, em 56% dos centelhadores não foi observada nenhuma marca, sendo 5433 marcas observadas nos restantes 44% dos centelhadores (1751 centelhadores).

A maior quantidade de marcas na fase I é explicada pelo maior tempo de exposição (7 anos contra 1 ano) enquanto que a concentração de marcas em determinadas linhas pode ser explicada pelos diferentes graus de exposição a que estão submetidas.

A distribuição das 1409 marcas da fase II e nos 607 centelhadores ponderados pelo tamanho da estação, é mostrado na figura 5.9 com 48% dos centelhadores com uma marca e com no máximo 16 marcas em um mesmo centelhador.

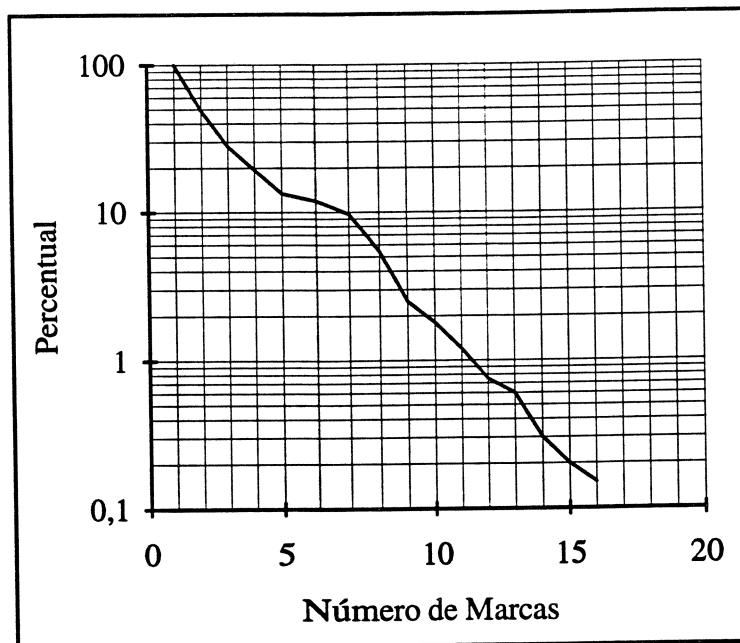


Figura 5.9
Distribuição de surtos em centelhadores com marcas

Para os centelhadores com mais de uma marca a distribuição de correntes é semelhante à distribuição geral (figura 5.4), ou seja, grande concentração de eventos para correntes baixas e um pequeno número de ocorrências para correntes maiores.

A figura 5.10 mostra a distribuição de correntes para centelhadores com 2 marcas na fase II, em contraposição à distribuição geral.

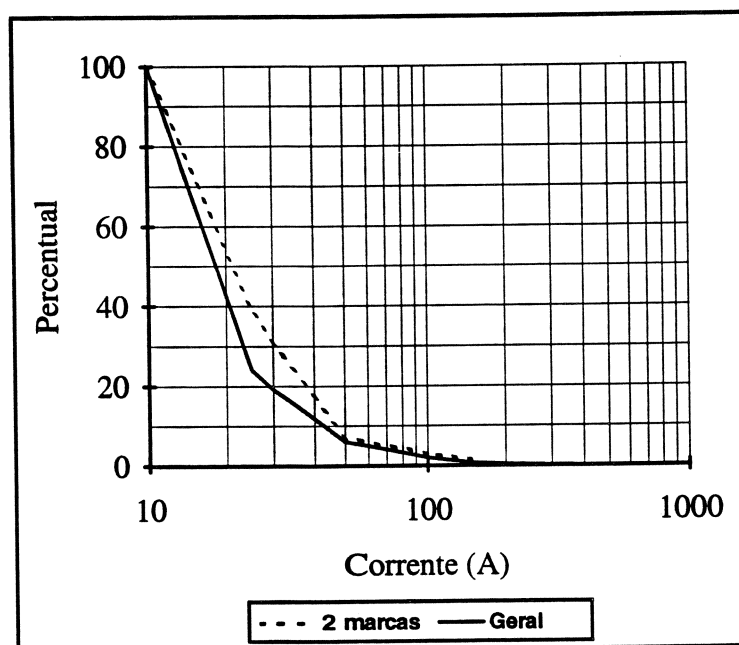


Figura 5.10
Distribuição de correntes em centelhadores com 2 marcas

As classes 1 e 2 mostram um grau de atuação diferenciado, como mostrado na tabela 5.1, em contraposição aos dados de todas as estações.

	CLASSE 1	CLASSE 2	GERAL
Centelhadores s/ marcas	2065	1325	3390
Centelhadores c/ marcas	135	475	610

Tabela 5.1
Grau de atuação

O total de marcas na fase 2, para as estações Classe 1 e 2 foram :

Classe 1	Classe 2	Geral
271	1138	1409

Ou seja, como era de se esperar, a maior quantidade de marcas se concentra nas estações menores, que tem redes com maior grau de exposição. Fazendo-se uma análise semelhante a anterior, a figura 5.11 mostra os valores de marcas nos centelhadores divididos nas Classes 1,2 e Geral e ponderados pelo tamanho das estações.

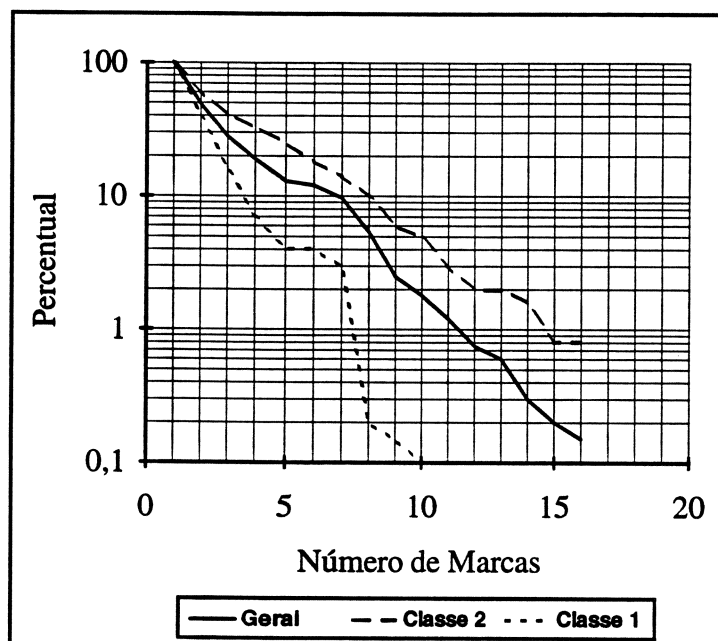


Figura 5.11
Distribuição das marcas

5.4 Atividade pela extensão da rede

Um importante fator de diferenciação entre estações é a extensão média de sua rede aérea ou, em outros termos, o seu grau de exposição à indução por descargas atmosféricas pela exposição da rede telefônica.

A extensão média da rede aérea nas estações analisadas é de, no caso geral, 300 metros, de 263 metros para estações classe 1 e de 704 metros para estações classe 2.

Se tomarmos os valores de eventos/1000 assinantes/ano e ponderarmos por essa extensão média estaremos avaliando o grau de atividade por km de rede aérea, permitindo assim comparar as estações independente da extensão de sua rede.

Na figura 5.12 os valores ponderados pela extensão da rede aérea mostram que as estações classe 2 mantêm uma maior atividade independente da maior extensão da sua rede aérea, ainda que proporcionalmente esse maior grau de atividade tenha diminuído, conforme as figuras 5.13 e 5.14 e 5.15.

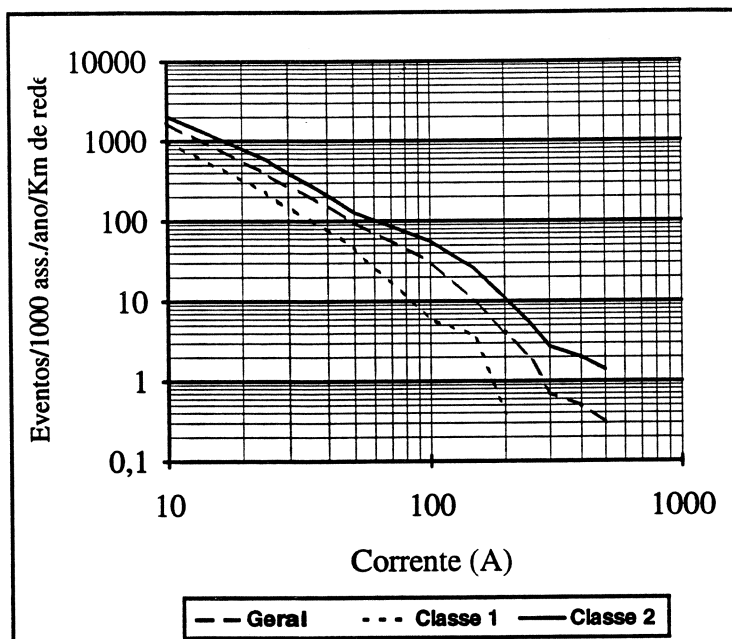


Figura 5.12
Ponderação pela extensão da rede

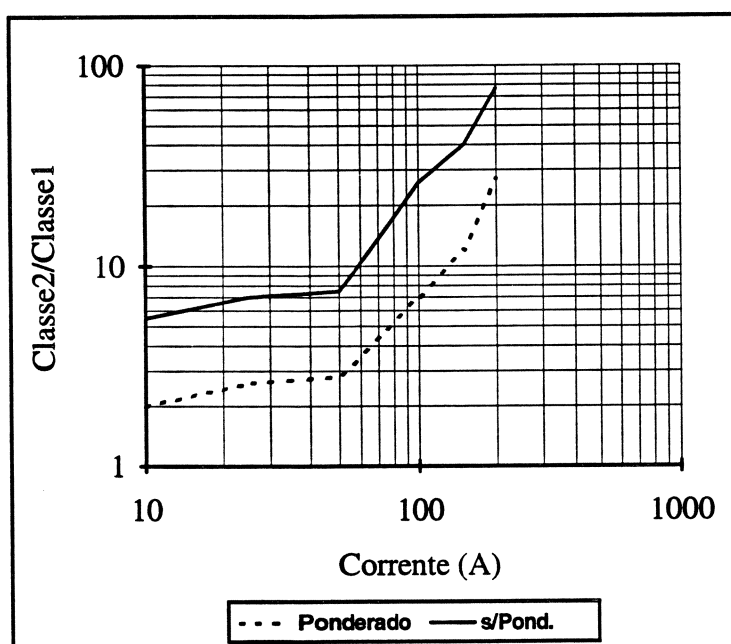


Figura 5.13
Comparativo com e sem ponderação pela extensão da rede
Classe 2 / Classe 1

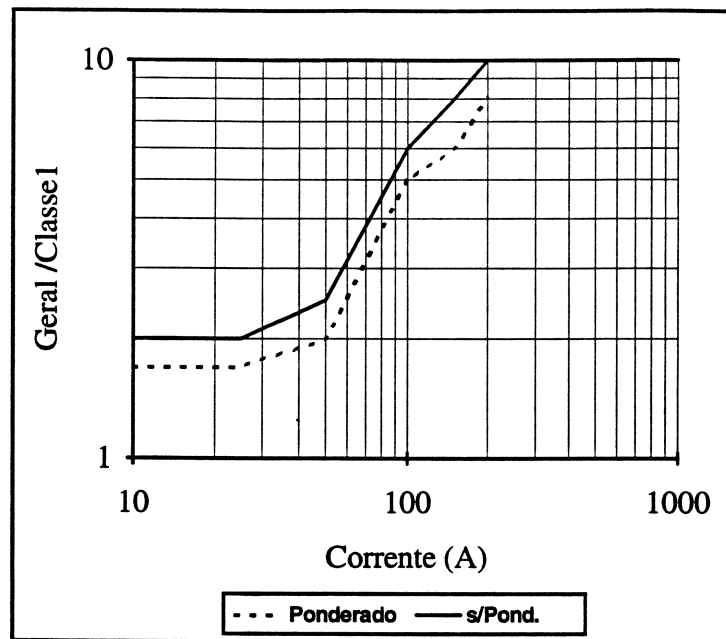


Figura 5.14
Comparativo com e sem ponderação pela extensão da rede
Geral / Classe 1

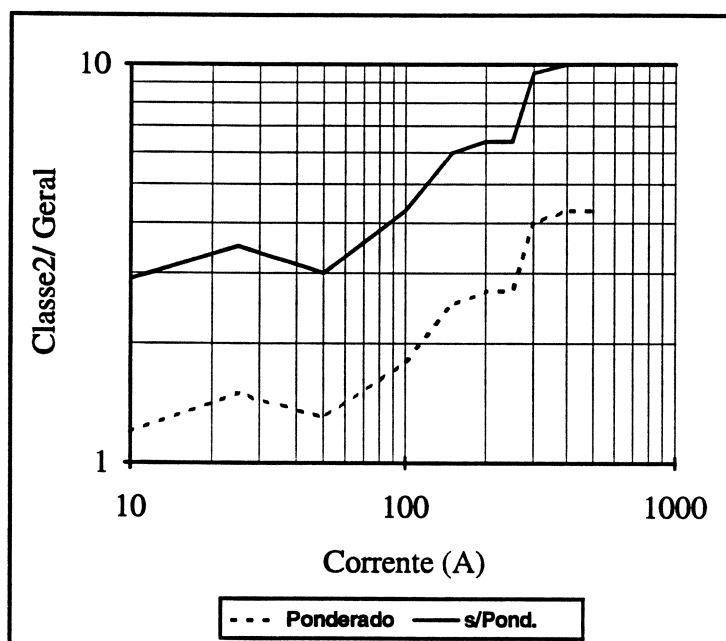


Figura 5.15
Comparativo com e sem ponderação pela extensão da rede
Classe 2 / Geral

As estações Classe 2 mantêm esse maior nível de atividade independente da extensão da rede provavelmente pela blindagem contra descargas atmosféricas oferecida por prédios, residências e árvores em centros urbanos mais densamente povoados, que são características das estações de Classe 1.

Isso levando-se em conta que o nível ceraúnico não varia entre estações de diferentes graus localizadas em uma mesma região de observação, ou seja, considerando-se o mesmo nível ceraúnico na cidade de S.Paulo para Parelheiros (Classe 2) e Consolação (Classe 1).

Algumas das estações Classe 2 avaliadas possuem também como características o fato de estarem situadas em regiões montanhosas, levando-se a supor que mesmo estando numa região de mesmo nível ceraúnico poderia contar com um maior número de descargas/km²/dia de tempestade.

Uma observação importante é o maior grau relativo de atividade das estações Classe 2 para valores maiores de correntes, da ordem relativa de até 12 vezes entre 10 e 200A.

Ou seja, uma corrente de 200 A tem uma probabilidade 12 vezes maior de ocorrência em uma estação Classe 2 que em uma Classe 1 comparativamente a uma corrente de 10 A.

Isso evidencia a maior probabilidade de ocorrência de eventos com altas correntes para estações Classe 2.

5.5 Carga Total Drenada

A "Carga Elétrica" drenada por um centelhador, quando de sua atuação é dada por:

$$q = \int_0^{\infty} I dt \cong I \cdot t_{mv} \quad [C]$$

onde I = Corrente [A]
 t_{mv} = Tempo de meio valor [s]

Um indicativo do grau de atividade de cada estação telefônica pode ser observado se totalizarmos a "carga" total drenada/1000 assinantes/ano para as marcas impulsivas. Isso é conseguido somando-se todas as contribuições por:

$$Q = \sum_{n=1}^N I \cdot t_{mv} \quad [C]$$

Na prática isso é realizado pela somatória dos valores individuais de cada célula da matriz Ixt. Por exemplo, se tivermos 10 eventos/1000 assinantes/ano para corrente de 10 A e tempo 10 μ s, a contribuição dessa carga para a somatória será de

$$10 \times 10 \times 10^{-6} = 10^{-4} \quad [C/1000 \text{ assinantes/ano}]$$

Como era de se esperar os valores de "carga drenada" para estações classe 2 são muito superiores aos de classe 1, ou de 7,5 vezes conforme abaixo:

Geral	1,14	[C/1000 ass./ano]
Classe 1	0,63	[C/1000 ass./ano]
Classe 2	4,68	[C/1000 ass./ano]

6 RESULTADOS - 60 Hz

6.1 Atividade das estações telefônicas

Ao analisar os dados das marcas provocadas por eventos de descargas em corrente alternada (60 Hz) deve-se sempre ressaltar o seu significativamente menor índice de ocorrências. De qualquer maneira, como os dados são avaliados em eventos/1000 assinantes/ano, pode ser facilmente observado esse menor índice de ocorrência, assim como prever a sua probabilidade em eventos.

Novamente nesse caso, computando-se todas as estações analisadas e ponderando-se os dados pelo tamanho da estação (figura 6.1) vemos uma concentração maior em baixas energias (baixos tempos e correntes)

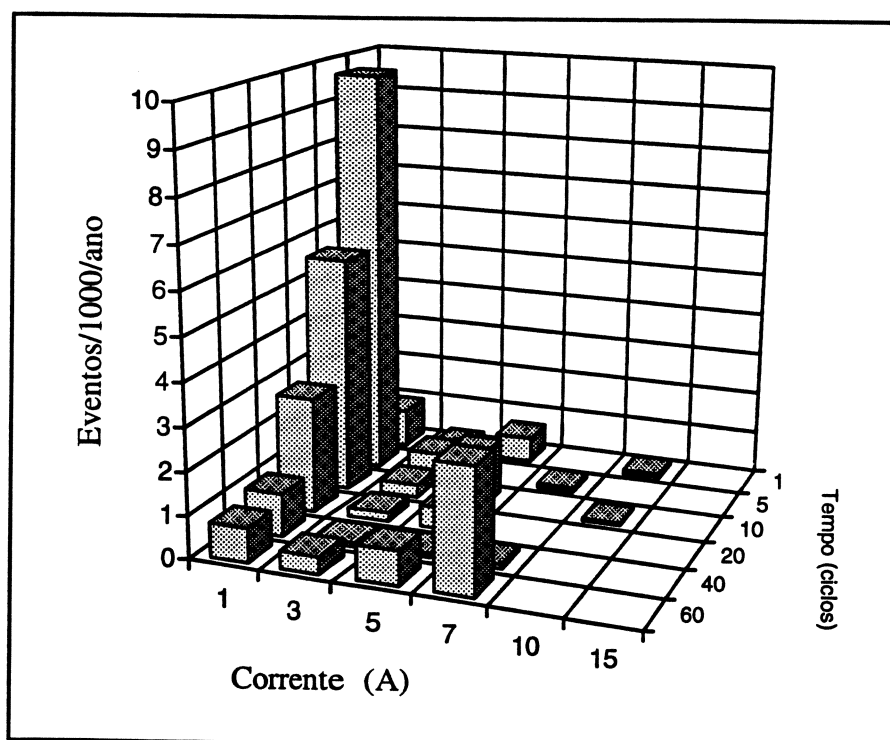


Figura 6.1
Atividade de todas estações (Geral)
60 Hz

Também analogamente ao caso do impulso, se dividirmos as estações em classes 1 e 2, os dados das figuras 6.2 e 6.3 mostram um também comparativamente maior grau de atividade das estações classe 2.

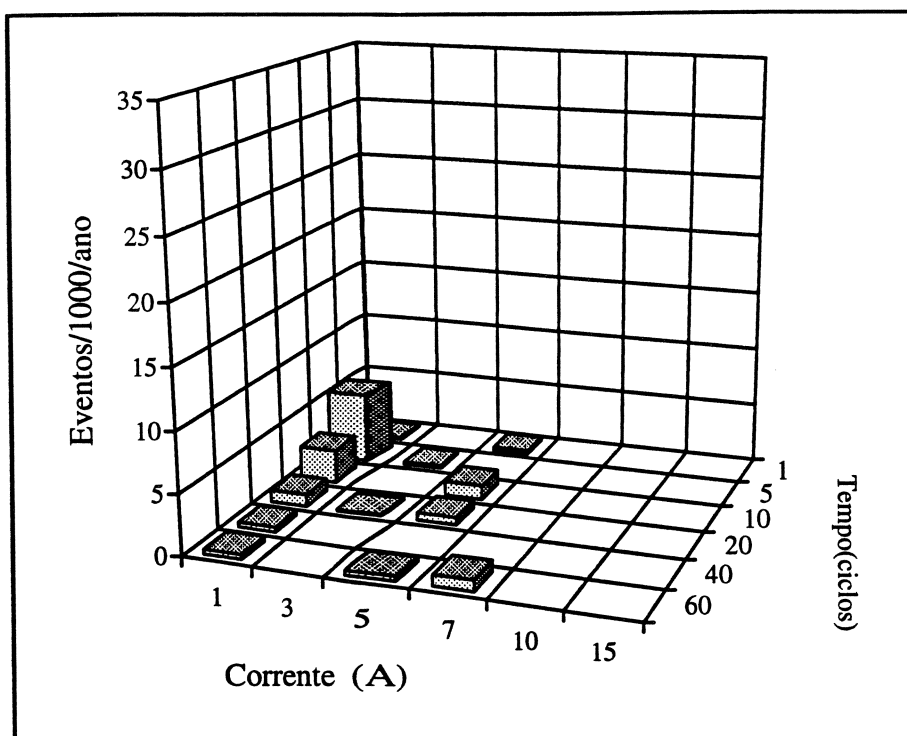


Figura 6.2
Atividade das estações Classe 1
60 Hz

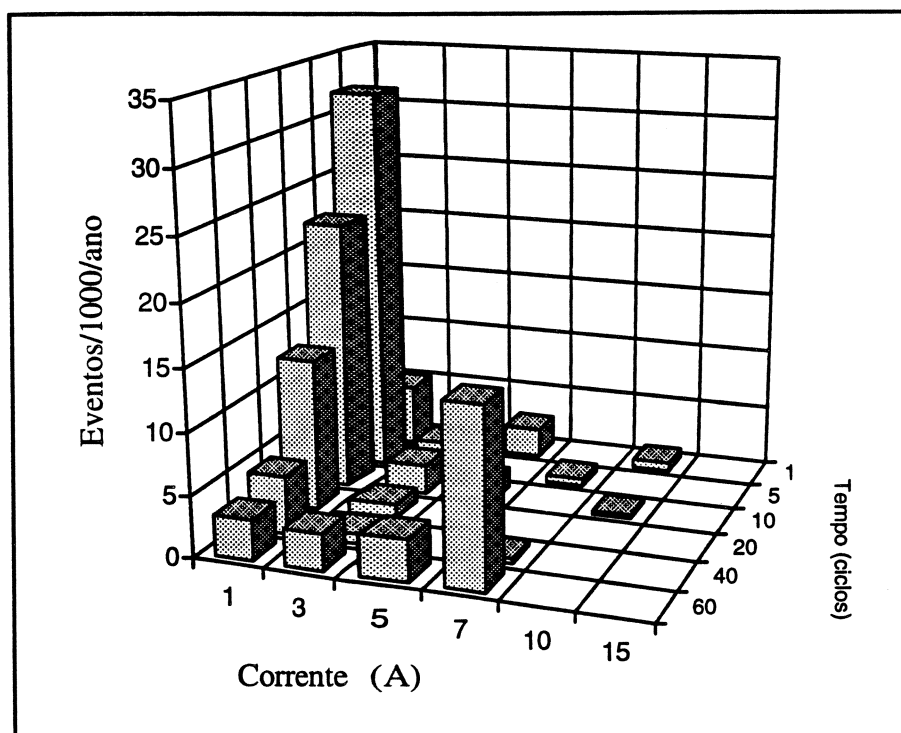


Figura 6.3
Atividade das estações Classe 2
60 Hz

No caso de 60 Hz a análise também foi realizada compondo-se os valores das fases I e II (tempo de instalação) e os dados de corrente, tempo e energia de 60 Hz são mostrados nas figuras 6.4, 6.5 e 6.6 para as Classes 1, 2 e geral.

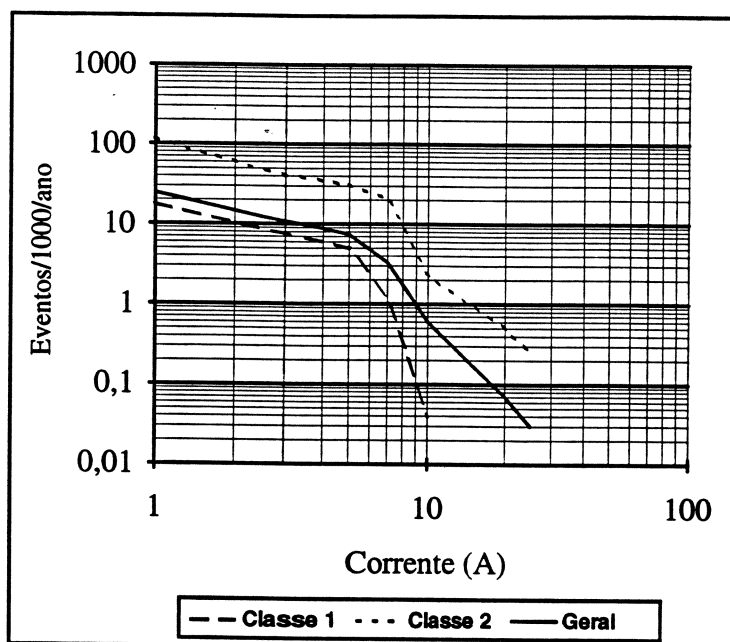


Figura 6.4
Distribuição de correntes 60 Hz

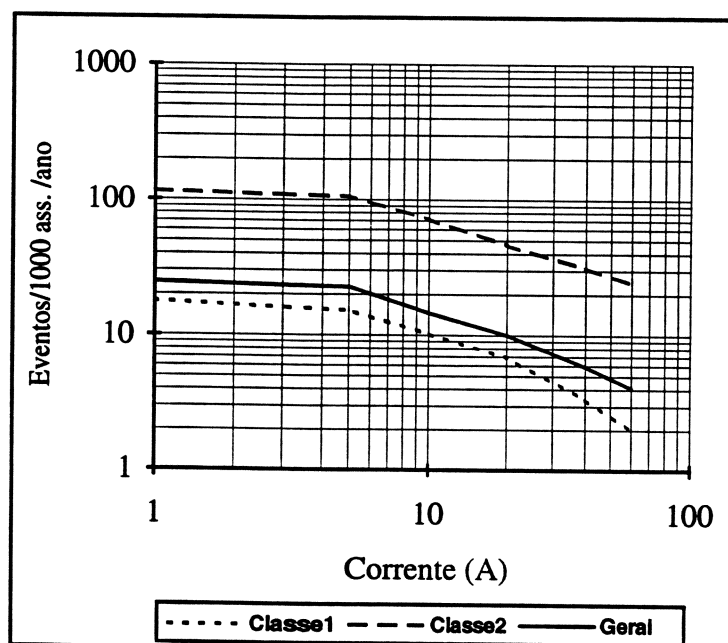


Figura 6.5
Distribuição de tempos 60 Hz

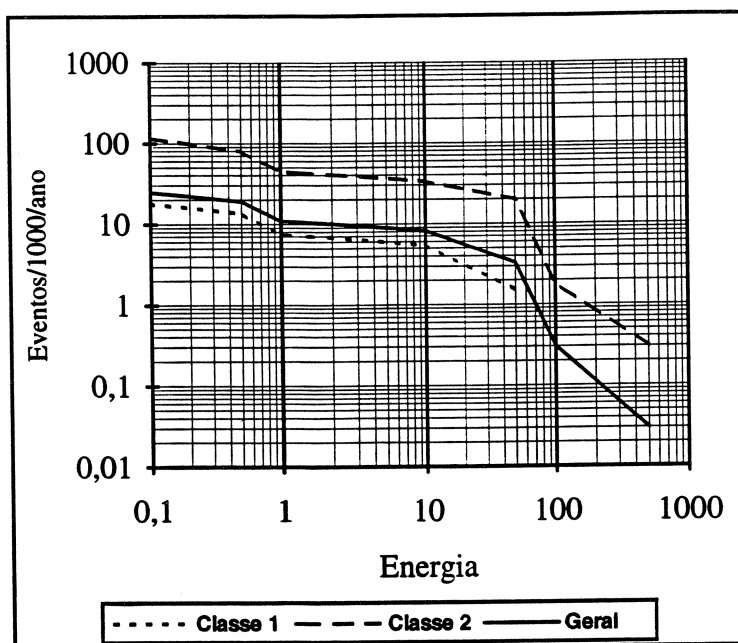


Figura 6.6
Distribuição de Energias 60 Hz

O máximo valor encontrado de corrente foi de 25 A e a máxima duração do evento 60 ciclos. Como pode ser observado, se comparado com as figuras 5.4, 5.5 e 5.6, o número esperado de Eventos/1000 assinantes/ano para 60 Hz é da ordem de 10 vezes menor que para impulso.

6.2 Atividade por centelhador

Motivado também pelo seu baixo índice de ocorrência, as marcas de 60 Hz, ao contrário das impulsivas, estão dispersas. Por exemplo, na fase II são 84 marcas em 80 centelhadores, ou seja, nos centelhadores com alguma marca em 60 Hz a média é de praticamente uma marca por centelhador. Embora as estações classe 2 possuam uma maior atividade em 60 Hz (da ordem de 5 vezes maior) essa proporção de uma ocorrência por centelhador com marca permanece. Ressalte-se ainda que quando se especifica uma marca, normalmente ocorre mais de um ciclo, ou seja, mais de um disparo do centelhador.

6.3 Atividade pela extensão da rede

A extensão da rede aérea é importante no caso de 60 Hz porque normalmente a rede telefônica convive em uso mútuo com a rede de energia, ou seja, na mesma posteação, possibilitando a entrada do 60 Hz da rede de energia.

Deve-se ressaltar que o simples contato direto entre a rede secundária de energia, quando em 110 V ou 127 V, e a rede telefônica não faria disparar o centelhador pelo fato do nível de tensão não ser suficiente para isso, atuando nesse caso a proteção série (normalmente uma bobina térmica), não sendo detectado portanto no método de medição utilizado.

Também nesse caso, embora as estações mantenham seus diferentes graus de atuação (figura 6.7), essa diferença relativa diminui (figuras 6.8, 6.9 e 6.10), quando ponderados pelo tamanho da rede aérea.

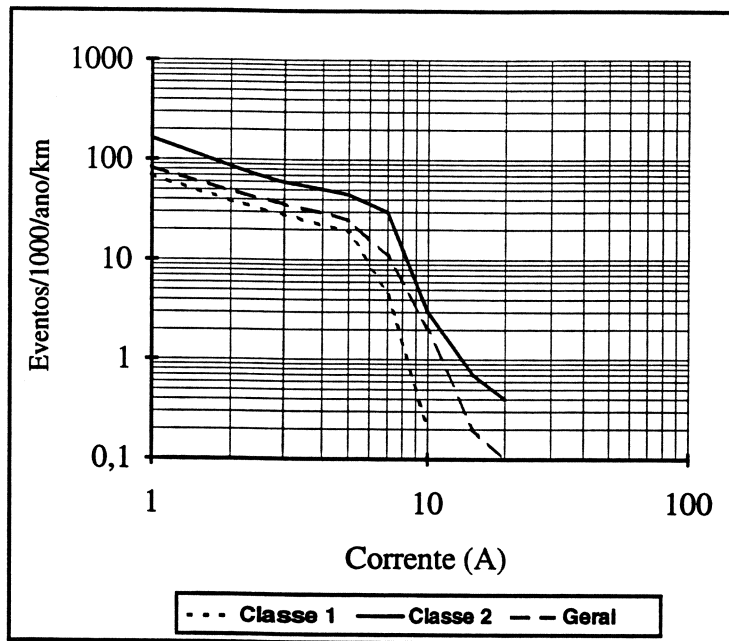


Figura 6.7
Ponderação pelo tamanho da rede aérea

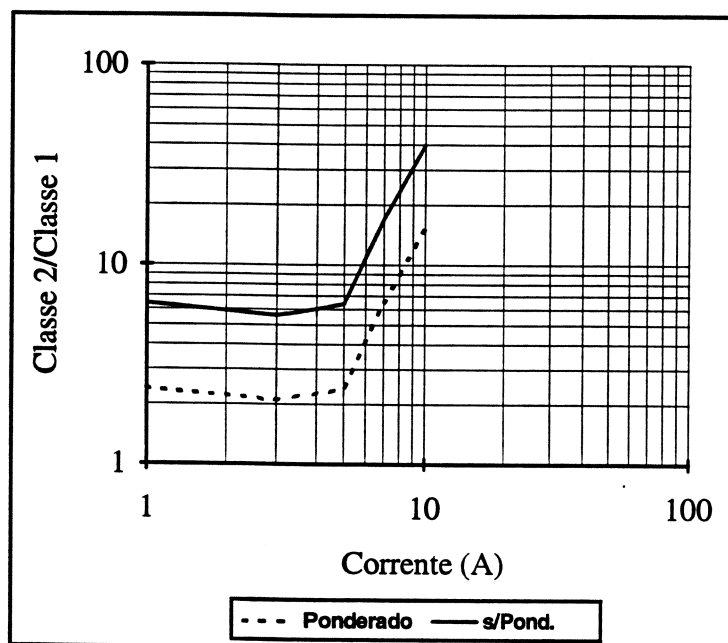


Figura 6.8
Eventos/1000 ass/ano com e sem ponderação pela extensão da rede aérea
Classe 2 / Classe 1

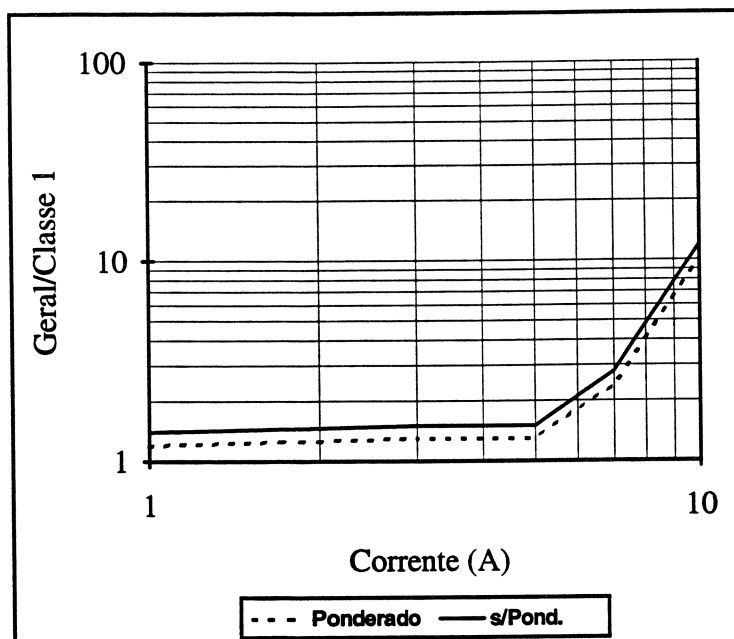


Figura 6.9

Eventos/1000 ass/ano com e sem ponderação pela extensão da rede aérea
Geral / Classe 1

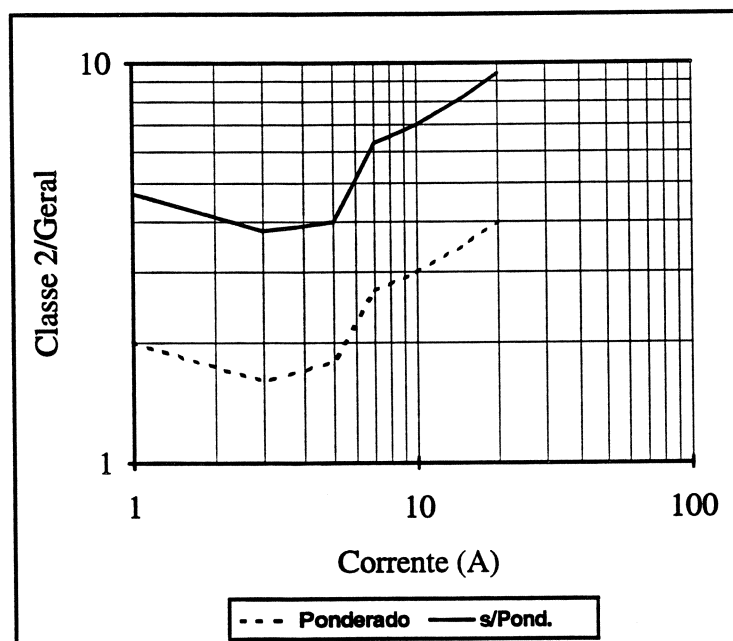


Figura 6.10

Eventos/1000 ass/ano com e sem ponderação pela extensão da rede aérea
Classe 2/Geral

Os mesmos comentários do item 5.4 da "blindagem" oferecida pelos centros urbanos é válido para 60 Hz, já que os curto-circuitos na rede elétrica são frequentemente iniciados por descargas atmosféricas.

7 COMPARATIVO DE MEDIÇÕES

7.1 Medições de outros países

O método das marcas em centelhadores a carvão, para medição de surtos em redes telefônicas, foi inicialmente utilizado em campanhas de medição no Japão, Canadá e Estados Unidos. De maneira geral o processo de medição foi o mesmo, com variantes no Japão onde o processo decisório de quantificação das marcas foi optoeletrônico enquanto que nos outros casos, e também no caso do Brasil, o processo foi visual.

7.1.1 Japão [18]

A medição no Japão utilizou o método das marcas em carvão com a magnitude da corrente sendo medida pela área da marca deixada pela descarga através de um processo eletrônico, com câmera de vídeo e computador, sem intervenção humana direta.

Foram efetuadas medições no lado do assinante e da estação telefônica. Na análise do método foram avaliadas as características das marcas das descargas com a dependência da sua área com a magnitude da corrente, tempo de duração e polaridade, chegando a fórmulas empíricas relacionando a área das marcas com o tempo de duração e valor de pico de corrente.

As medições foram realizadas de junho de 1980 a dezembro de 1981 em 25 áreas, nas regiões de Kyushu e Hokieriku, com 970 amostras de carvão no assinante e 755 no lado da Estação Telefônica. A distribuição de correntes encontrada é mostrada na figura 7.1, e essa distribuição é expressa respectivamente para Assinante e Estação com as equações 7.1 e 7.2.

$$N_s = 11 \times I^{(-1.8)} \quad (7.1)$$

$$N_e = 1.2 \times I^{(-1.8)} \quad (7.2)$$

onde:

N_s = Distribuição de correntes no assinante

N_e = Distribuição de correntes na estação

I = Valor de pico da corrente

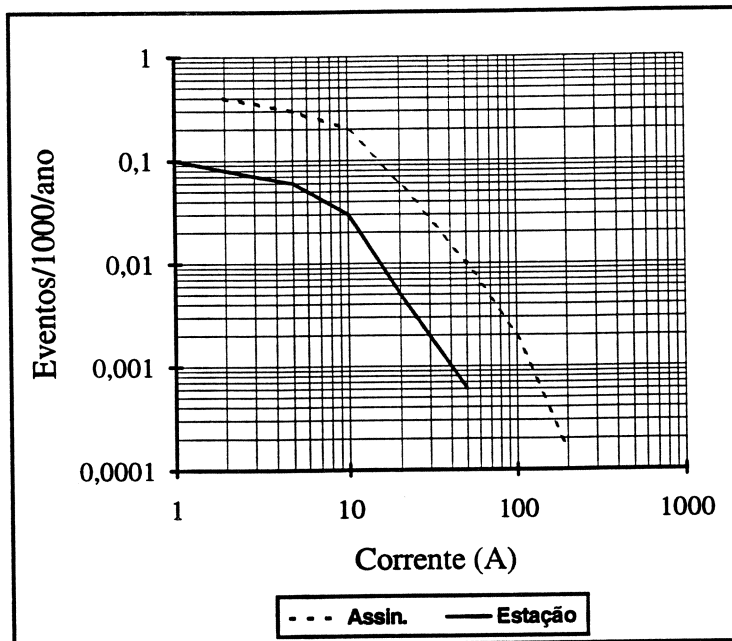


Figura 7.1
Distribuição de correntes Japão

7.1.2 Canadá [17]

Foram avaliadas pela Bell Northern Research, em 33 cidades na região de atuação da Bell Canadá, 10000 carvões (5000 pares) em estações acima de 2000 pares, numa região de nível ceraúnico de 20 dias/tempestade/ano. Os resultados obtidos são mostrados na figura 7.2 em quantidade de eventos e mostram uma distribuição semelhante a encontrada no Brasil quanto a concentração em baixas energias, embora a maior corrente encontrada tenha sido de 300 A contra 500 A no caso do Brasil.

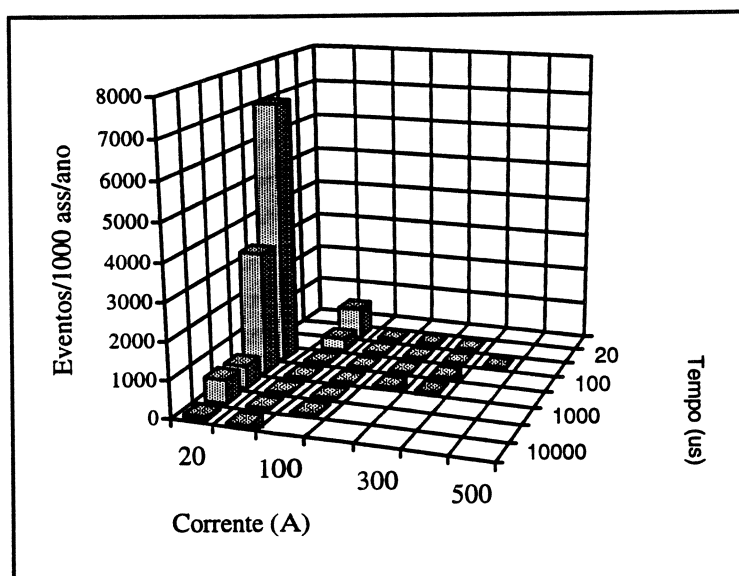


Figura 7.2
Distribuição de tempos e correntes

A análise das marcas foi realizada por duas pessoas independentemente, como no caso brasileiro, sendo as amostras sido coletadas em duas fases. A primeira com tempo de instalação estimado e a segunda com um ano de instalação. Os dados da figura 7.2 mostram os resultados da segunda fase (um ano).

7.1.3 Estados Unidos [19]

As medições foram realizadas na região de atuação da Bell South, com 8000 carvões (ou 4000 linhas) em 3 estações, em um período de janeiro a agosto de 1988. A análise foi realizada via um microscópio comparando-se com marcas padrões de laboratório. Os resultados da distribuição de eventos pela energia de 0,002 A²s a 7 A²s estão na figura 7.3.

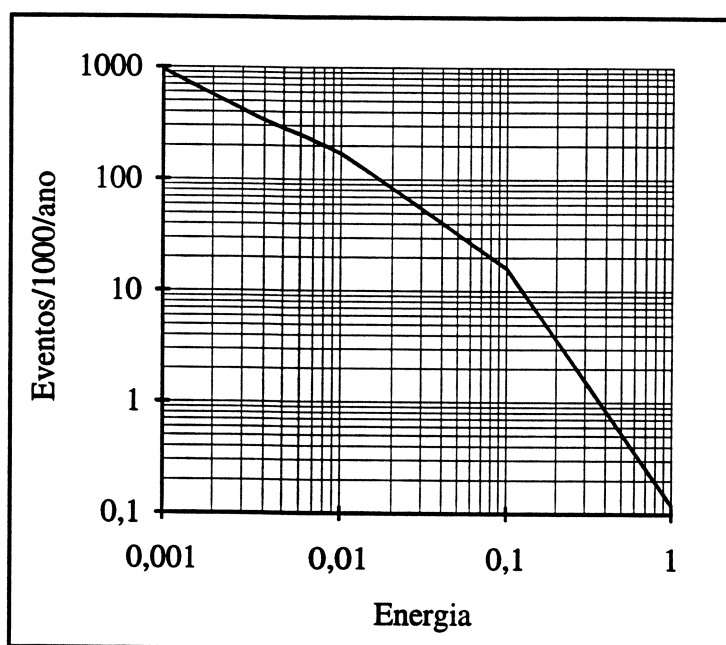


Figura 7.3
Distribuição de energias

Também nesse caso a distribuição de energia mostra grande concentração em baixos valores, com a diferença da maior energia observada ter sido de 0,55 A²s equivalente a 27 A, 10/1000 μ s, bem abaixo dos valores encontrados no Brasil e no Canadá. A média anual de dias de tempestade na região varia de 60 a 100.

7.2 Conclusão

De maneira geral, os valores de corrente e energia do COPELITE apresentaram distribuição semelhante a medições, principalmente do Japão e Canadá, com ampla predominância de baixos valores de corrente e tempo (baixas energias), chegando no entanto a medir valores mais altos de corrente (500 A) e energia. A figura 7.4 mostra um comparativo das medições de corrente para Brasil, Japão e Canadá com as ressalvas de que os valores de eventos/1000 assinantes/ano não estão ponderados pelo tamanho da estação, visto estarem assim apresentadas as medições dos dois outros países. As medições do Copelite foram então convertidas a valores sem ponderação para

melhor comparação. Nos dados do Japão foram desconsideradas as medições abaixo de 10 A, visto ser esse o limite mínimo do Copelite e Canadá.

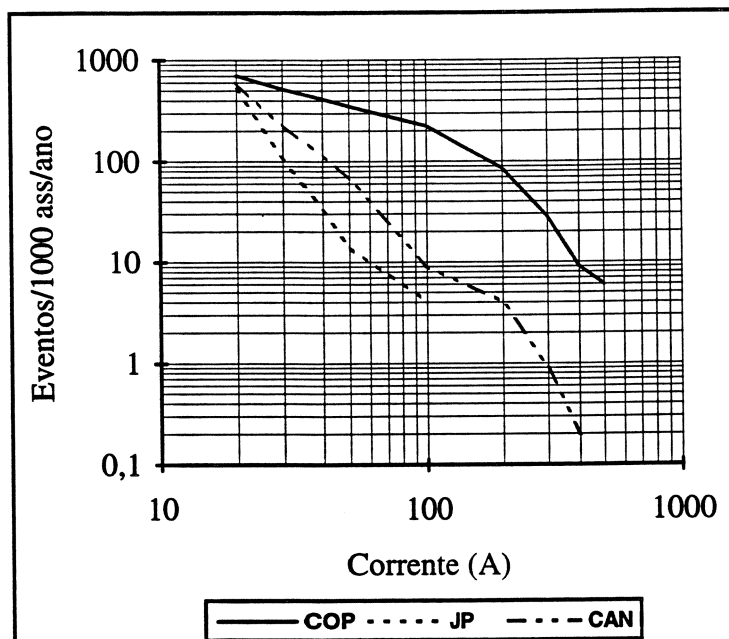


Figura 7.4
Comparativo de medições

Os valores brasileiros apresentam ainda uma maior taxa de ocorrência que os demais. Se considerarmos como níveis ceraúnicos presumíveis os seguintes valores:

Japão	20
Canadá	30
Brasil	50

chegaremos ao apresentado na figura 7.5 para eventos/1000 assinantes/dia de tempestade.

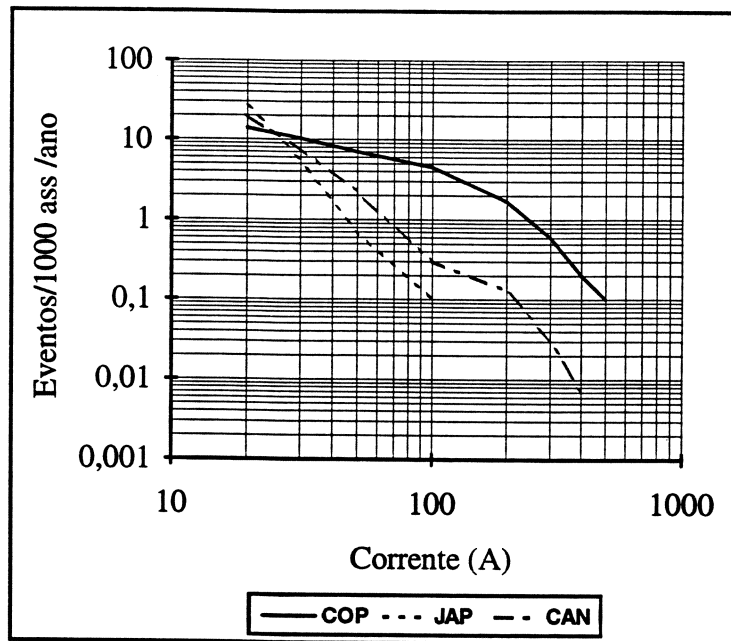


Figura 7.5
Eventos/1000 assinantes/dia de tempestade

Nesta condição os valores do Copelite para baixas correntes se apresentam inferiores aos demais, embora para correntes maiores do que 20 A sejam significativamente maiores. Deve-se ressaltar o fato de que no nosso caso as estações avaliadas serem de tipos de atendimento bem diferenciados (Classes 1 e 2) e na figura 7.6 são mostrados os dois tipos em comparação com os valores de Japão e Canadá.

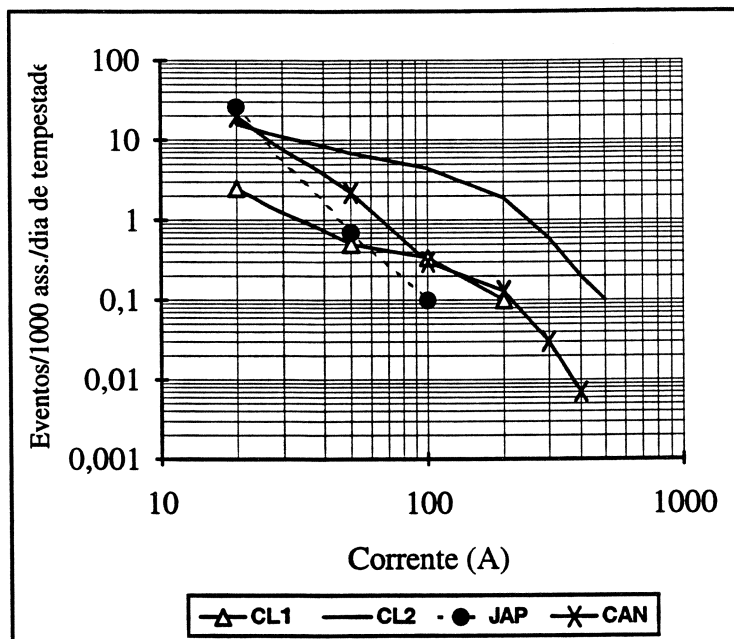


Figura 7.6
Eventos/1000 assinantes/dia de tempestade
CL1, CL2 Classes 1 e 2 -Copelite

Para estações Classe 2, o número de eventos/dia de tempestade é superior ao encontrado nas duas outras medições. Em valores de energia, é possível um comparativo com os valores do Canadá e Estados Unidos com os Brasil (figura 7.7).

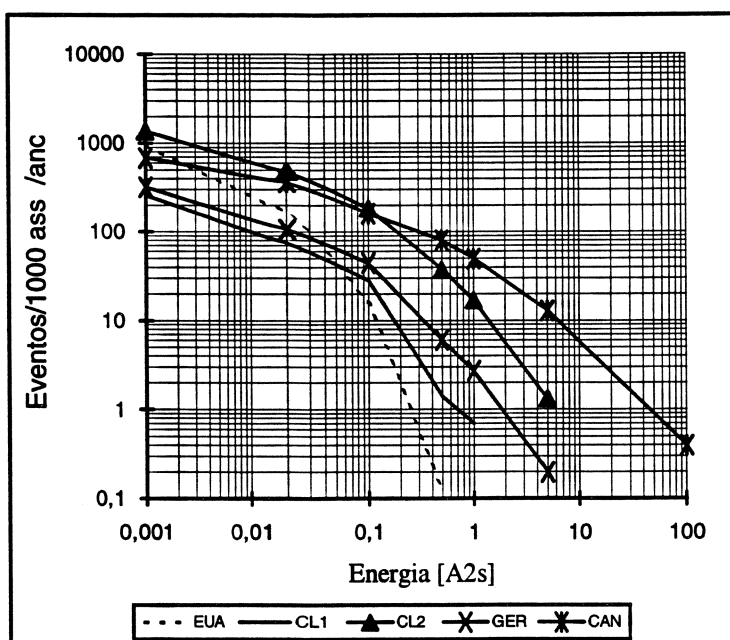


Figura 7.7
Eventos/1000 assinantes/ano Energia
CL1, CL2 e GER Classes 1, 2 e Geral - Copelite

Para altas energias, os valores de medições nos Estados Unidos são os que apresentam os menores valores esperados de Eventos/1000 assinantes/ano, com a maior energia encontrada tendo sido de 7 A²s, correspondendo a algo como 27 A, 10/1000 μ s.

Os valores do Canadá estão entre o Geral e Classe 2, para baixas energias, dos valores brasileiros. Levando-se em conta os níveis ceraúnicos (figura 7.8), estes últimos se aproximam, para baixas energias, de EUA e Canadá.

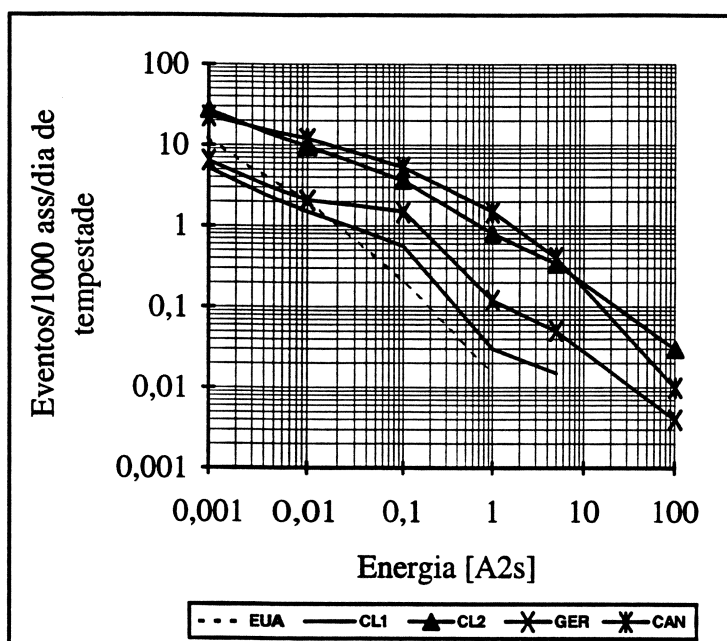


Figura 7.8
Eventos/1000 assinantes/dia de tempestade
Energia
CL1, CL2 e GER Classes 1, 2 e Geral - Copelite

A medição realizada pela Bell South nos EUA apresenta ainda os valores de 60 Hz e quantidade de marcas mostrados na tabela 7.1 em comparação com os equivalentes do Brasil.

Bell South				Copelite		
ET	SA	ECF	Bell South	Classe 1	Classe 2	Geral
136	74	216	142	18	115	25

Tabela 7.1
Eventos/1000 assinantes/ano
(Total para todos os valores de corrente)

onde: ET Eastern Tennessee
SA South Alabama
ECF Flórida
Bell South

As estações da Bell South utilizadas para medição tem menos que 12000 pares no DG. A maior delas é a South Alabama, com 12000 assinantes. Portanto se enquadrariam no que consideramos como Classe 2. Em eventos 60 Hz os números totais observados são coerentes com as estações Classe 2 do Copelite.

Por outro lado, os baixos valores máximos de corrente encontrados para impulso estão mais próximos de estações Classe 1. O período total de observação foi de 8 meses, com altos níveis ceraúnicos na região (60, 100 e 100 respectivamente para ET,SA,ECF) e a quantidade de dias de tempestade no período observado de 33, 53 e 38.

8 RISCO DE FALHA

8.1 Ambiente Elétrico no Distribuidor Geral

As medições realizadas mostram uma distribuição de tempos e correntes para eventos/1000 assinantes/ano, ou seja, a probabilidade de ocorrência de um dado evento (por exemplo, um determinado valor de corrente impulsiva) em um universo de assinantes e determinado período de tempo.

Essa distribuição, para valores de correntes impulsivas, é mostrada na figura 8.1, numa curva de eventos/1000 assinantes/ano não cumulativa e repetida na figura 8.2 para valores não acumulados de eventos/1000 assinantes/ano, com valores de corrente extrapolados até 1000 A, embora não tenham sido medidos valores acima de 500 A.

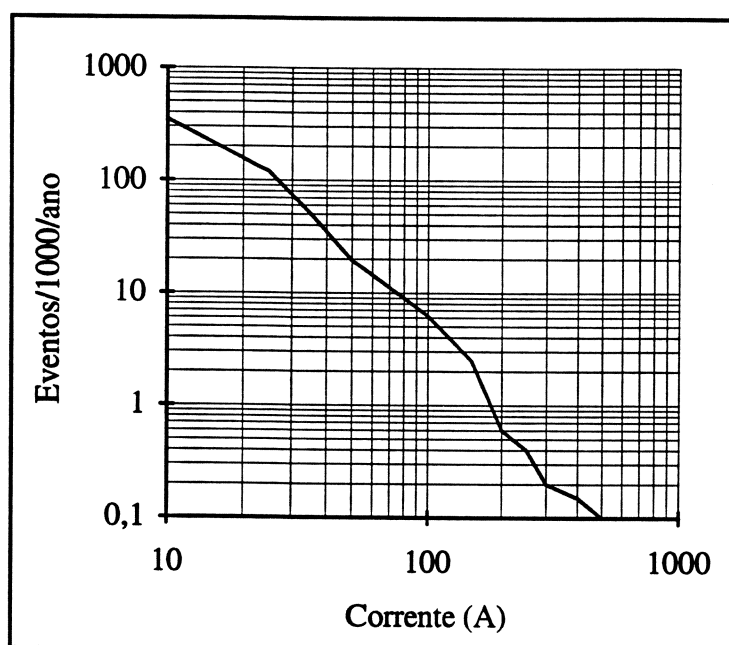


Figura 8.1
Ambiente elétrico no DG
Valores Não - Acumulados

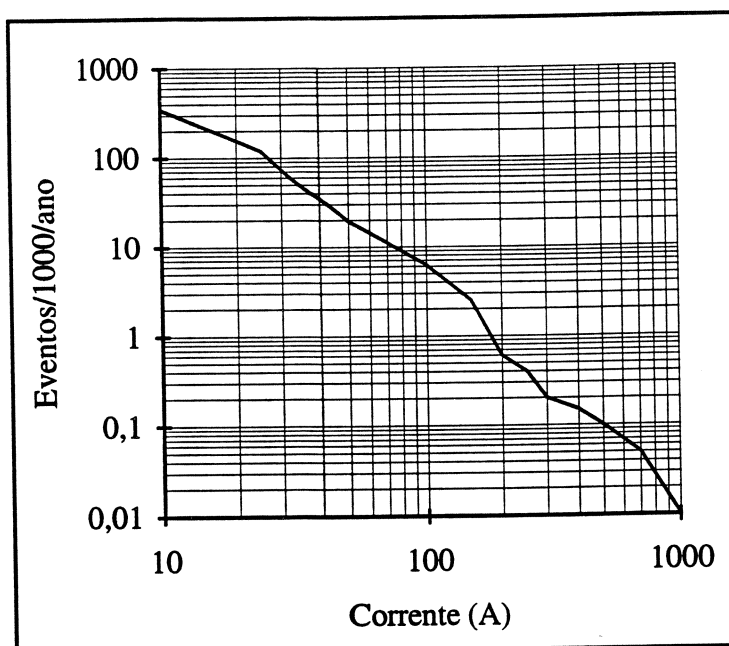


Figura 8.2
Ambiente elétrico no DG
Valores Não Acumulados (Extrapolação)

Essas curvas representam o ambiente elétrico médio a que vão estar submetidos os protetores que são instalados em um Distribuidor Geral de uma estação Telefônica. Como já explanado anteriormente, existem estações que vão estar sujeitas a ambientes mais agressivos (estações Classe 2, figura 8.4), assim como aqueles em que o ambiente é mais ameno (figura 8.3, estações Classe 1) do que o mostrado nas figuras 8.1 e 8.2.

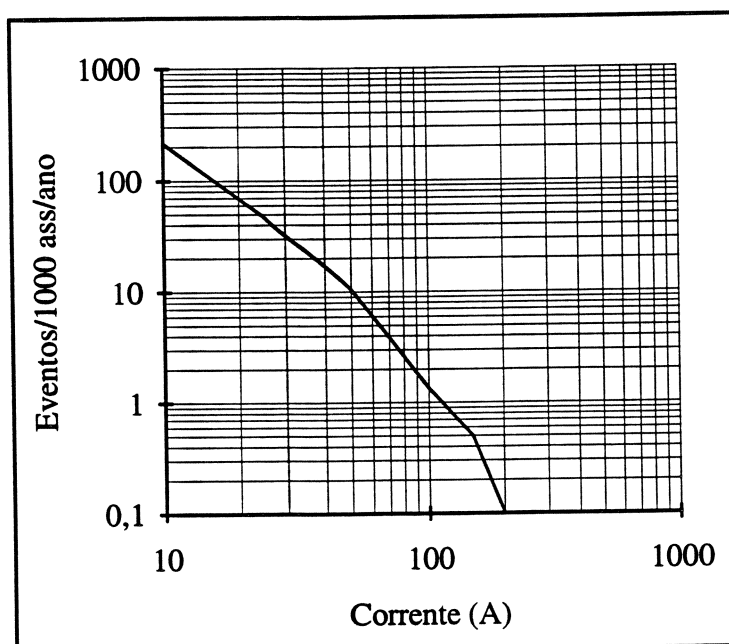


Figura 8.3
Estações Classe 1

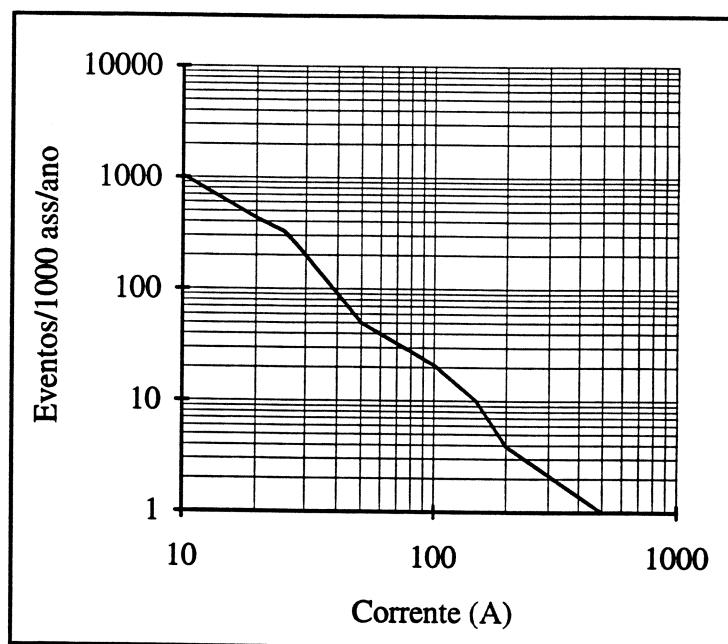


Figura 8.4
Estações Classe 2

8.2 Atuação dos Protetores

Se considerarmos um elemento protetor contra sobretensões no Distribuidor Geral (centelhador a gás, carvão ou protetor de estado sólido) ele vai ter como características principais, níveis de tensão de atuação para eventos lentos (DC, por exemplo) e para surtos (variando o nível de atuação de acordo com a taxa de crescimento da tensão).

Além do nível de atuação uma outra característica importante é sua vulnerabilidade a valores de corrente de descarga ou, o nível de corrente em que o dispositivo vai falhar. Como falha subentende-se que após a aplicação da corrente o dispositivo vai atuar fora da faixa de tensão especificada.

Esse valor de corrente é variável com o tipo de tecnologia empregada (gás, carvão ou estado sólido) e com o fabricante (inclusive para uma mesma tecnologia). Além disso, mesmo para um tipo específico de protetor (mesma tecnologia, mesmo fabricante e mesmo tipo) existe uma "faixa" de vulnerabilidade à corrente, ou seja, para uma mesma família de protetores os valores de corrente em que o dispositivo vai falhar pode variar de uma amostra para outra. Essa "faixa" pode ser representada em função de uma distribuição estatística de probabilidade de não suportabilidade ao surto de corrente com uma média $\mu=0$ e um desvio padrão $\sigma=1$ (figura 8.5).

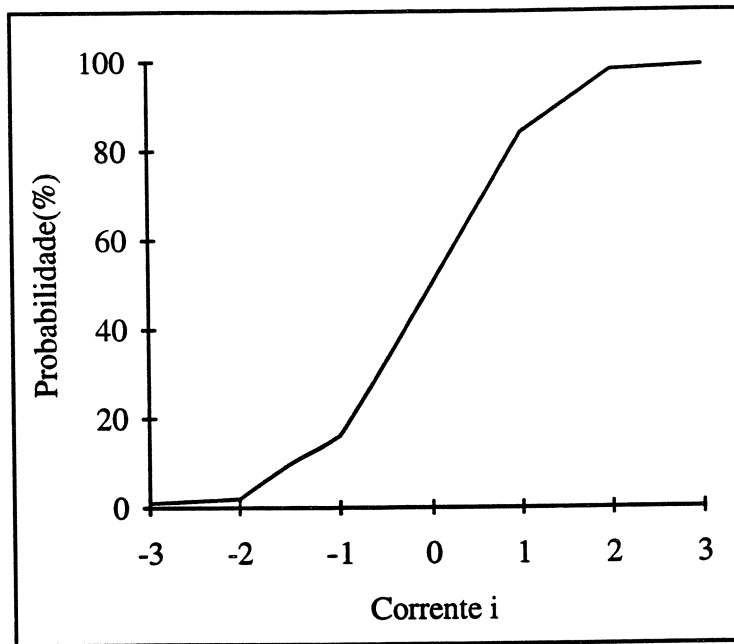


Figura 8.5
Distribuição de Probabilidade não suportabilidade
 $i = (I - I_m)/\sigma$

8.3 Risco de falha

O conceito de Risco de Falha é comumente utilizado na Coordenação de Isolamento em Redes de Energia Elétrica [38] : "O Risco de Falha é a probabilidade cumulativa das falhas de isolamento e é igual à probabilidade otimizada cumulativa que o esforço de tensão aplicada ao isolamento exceda a capacidade isolante".

Aplicando-se o mesmo conceito ao caso de elementos protetores de Distribuidores Gerais e supondo conhecidas a função de probabilidade de ocorrência de sobrecorrentes (ambiente elétrico) e a função de probabilidade de Não Suportabilidade do componente protetor, podemos definir o "Risco de Falha" desse elemento protetor.

A figura 8.6 mostra $Pe(i)$ a função de probabilidade de ocorrência do evento i (corrente), $Pf(i)$ a função de probabilidade de não suportabilidade do elemento protetor, e E o número total de eventos/1000 assinantes/ano.

O valor de i é dado por:

$$i = (I - I_m)/\sigma$$

onde I_m = corrente média

σ = Desvio padrão

A probabilidade de que um evento [38] entre i e $i+di$ ocorra será :

$$Pe(i).di$$

O Risco de Falha do elemento protetor devido a esta corrente, em valores percentuais será:

$$dR = Pe(i).Pf(i).di$$

Considerando-se todos os valores de corrente I possíveis de ocorrência temos:

$$R(i) = E \int_{-\infty}^{+\infty} Pe(i) \cdot Pf(i) \cdot di$$

onde E = número total de ocorrências

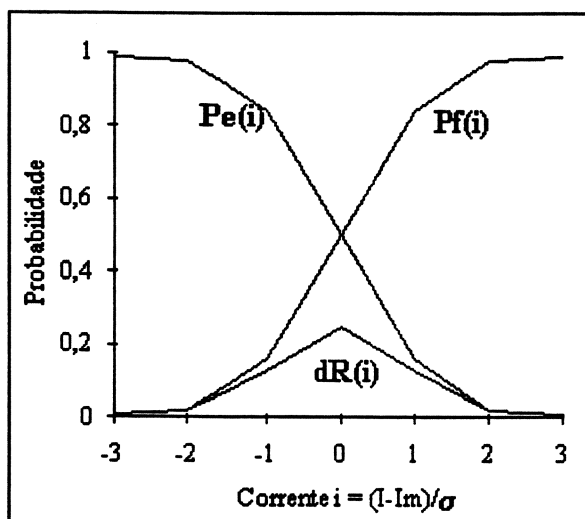


Figura 8.6
Risco de Falha

Nesse caso a função de probabilidade de ocorrência do evento é associada com a curva do ambiente elétrico no DG, ou a curva de probabilidade de ocorrência de valores de corrente impulsiva. A função de probabilidade de falha está associada a distribuição de probabilidade de falha do componente protetor a um dado surto de corrente.

O risco de falha mostra para um dado universo de assinantes e em um determinado espaço de tempo o provável número de falhas em protetores. Se considerarmos da figura 8.1, a distribuição de probabilidade de ocorrência de eventos para todas estações agrupadas e como uma curva típica de desempenho do protetor uma corrente média de 200 A e um desvio padrão de 50 A, o risco de falha (figura 8.7) para 1000 assinantes/ano vai ser fornecido pela integral da área sob a curva de probabilidade de risco de falha multiplicada pelo total previsto de eventos/1000 assinantes/ano para todas as correntes. Fazendo-se esses cálculos chega-se a um valor de 1,7 eventos/1000 assinantes/ano como valor calculado de risco de falha, ou seja, são previstos 1,7 falhas em cada 1000 protetores, por ano.

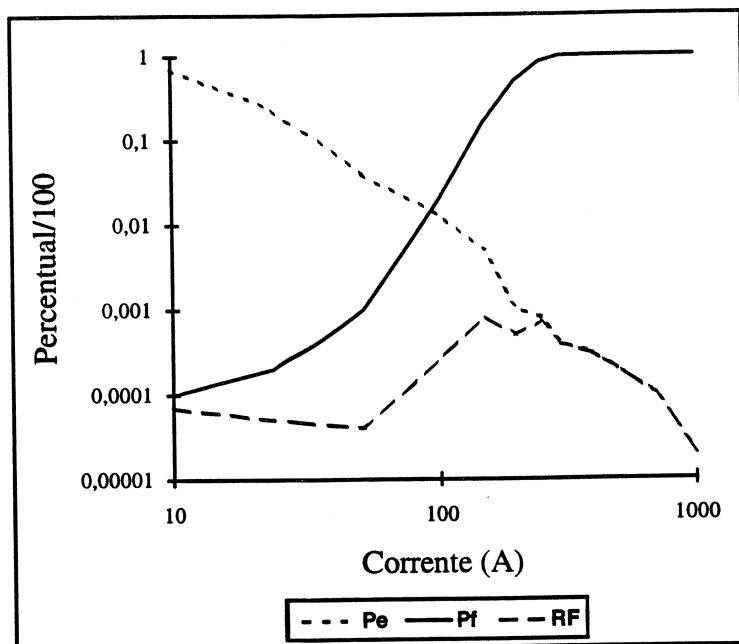


Figura 8.7
Risco de falha

Se repetirmos o procedimento para outros valores de corrente (média e desvio padrão) teremos famílias de curvas (figura 8.8 e 8.9) com os respectivos riscos de falha (figura 8.10).

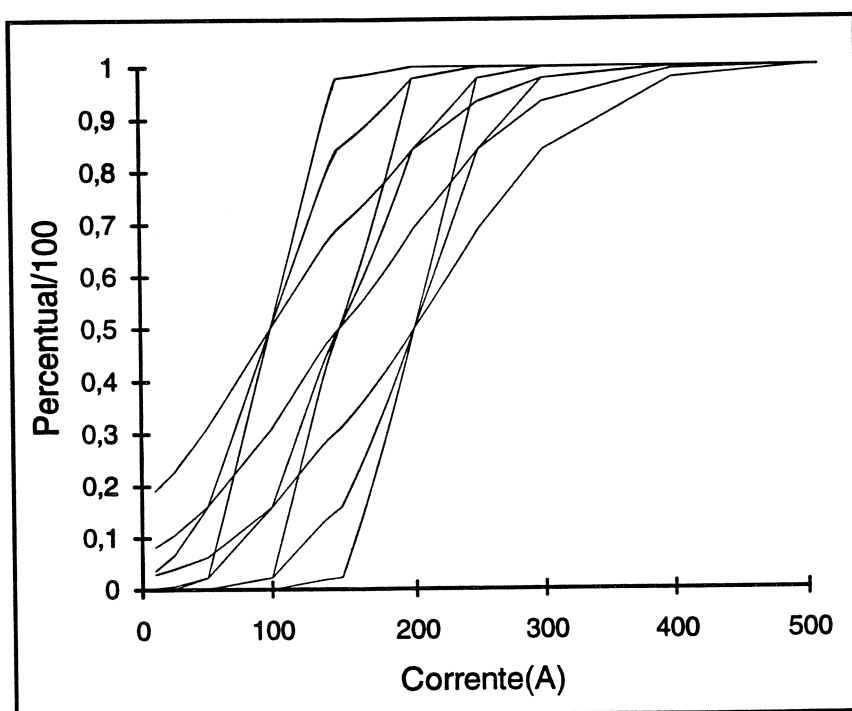


Figura 8.8
Distribuição de probabilidade de desempenho
Médias = 100 A 150 A 200 A
Desvio Padrão = 25,50 e 100 A

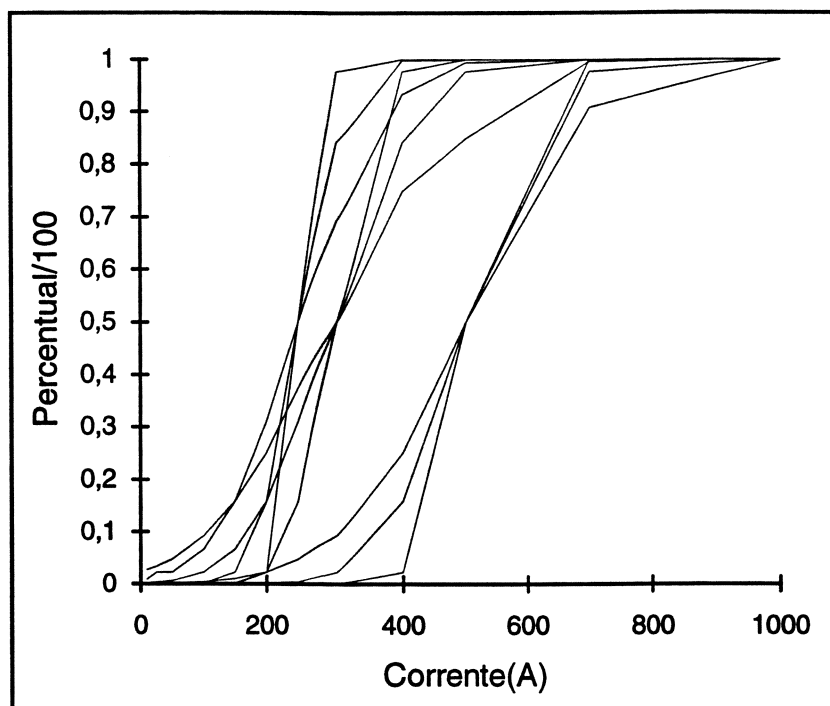


Figura 8.9
Distribuição de probabilidade de desempenho
Médias = 250,300 e 500 A Desvio Padrão = 50,100 e 150 A

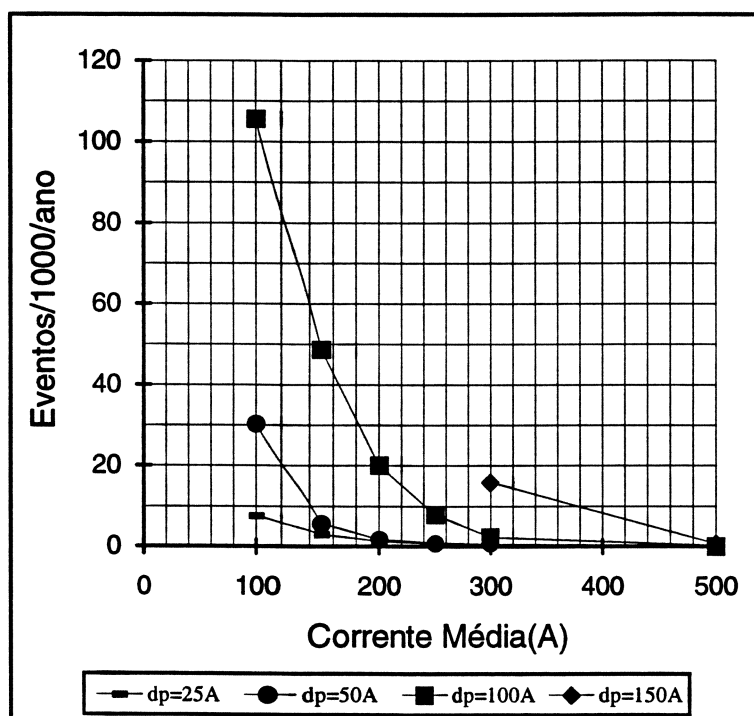


Figura 8.10
Risco de Falha - Geral

Se considerarmos essas mesmas curvas de desempenho para protetores em estações Classes 1 e 2, as curvas de risco de falha vão ser mais críticas na classe 2 (figura 8.12) e mais amenas na classe 1 (figura 8.11).

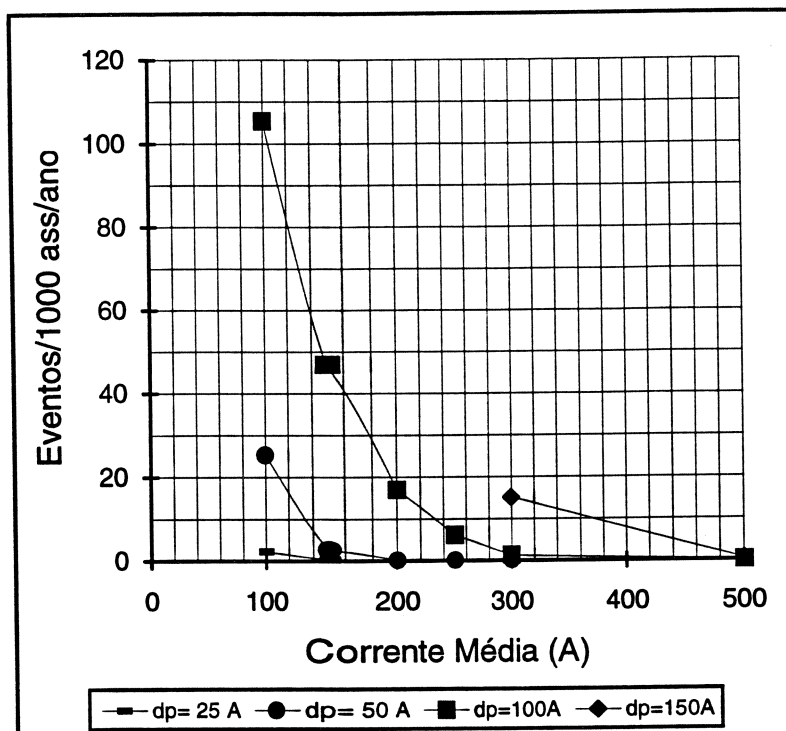


Figura 8.11
Risco de Falha
Estações Classe 1

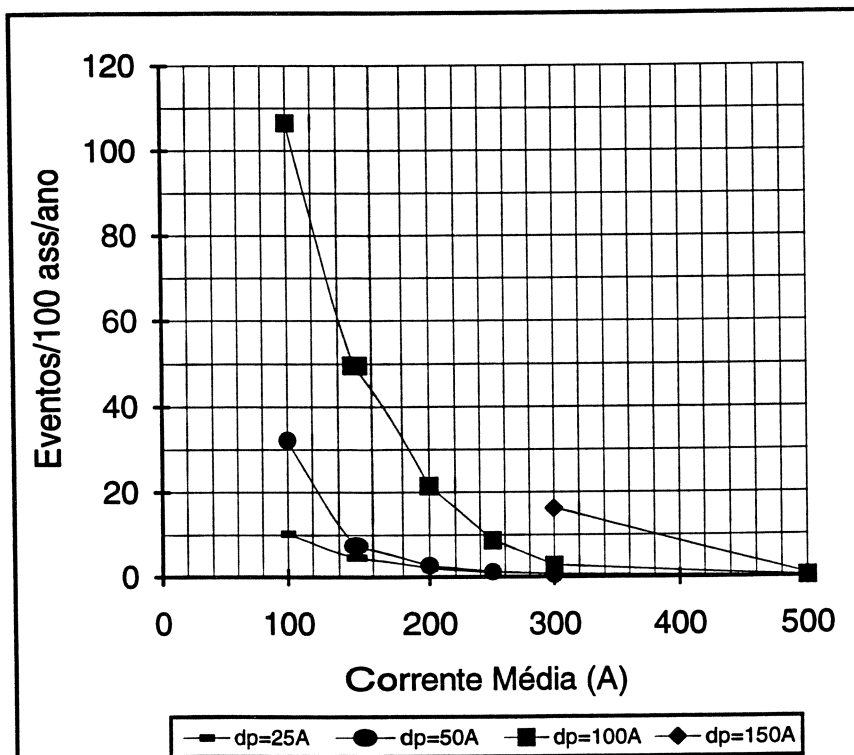


Figura 8.12
Risco de Falha
Estações Classe 2

De acordo com as figuras 8.10 a 8.12 um protetor com melhores características de desempenho seria um que aliasse o maior valor possível de corrente média e também uma menor relação desvio padrão/média. Isso porque para um mesmo valor médio de corrente o desempenho melhor é daquele com menor valor de desvio padrão.

Um protetor com uma curva de desempenho com menor relação desvio padrão/média, ou com menor desvio padrão é o que vai apresentar menor probabilidade de falha para maiores valores de corrente, ou menor aumento de Pf (Probabilidade de Falha) com aumento da corrente.

Para um tipo de protetor especificado e determinado ambiente elétrico pode-se então determinar o risco de falha previsto. Ou, conhecendo-se o ambiente elétrico e estabelecendo-se o risco de falha máximo permitido é possível se estabelecer os requisitos necessários para o protetor a ser utilizado no DG. Em outras palavras, pode-se estabelecer critérios de teste para aceitação de elementos protetores.

9 TESTES DE AVALIAÇÃO EM PROTETORES

9.1 Geral

Conforme anteriormente descrito no capítulo 2, os testes a que são submetidos atualmente os módulos protetores de DG's, por serem baseados na capacidade da tecnologia do centelhador, não necessariamente refletem as suas reais necessidades de proteção.

Os dados de medição encontrados, aliados ao conceito de risco de falha mostrados no capítulo anterior (cap. 8), permitem contrapor alguns dos testes atuais com os valores realmente existentes de sobretensões e sobrecorrentes no Distribuidor Geral da Estação Telefônica, assim como avaliar possíveis propostas de testes de componentes protetores a luz desses dados.

O que se deseja de um componente de proteção, dentre outras características, é que um determinado percentual deles tenha uma vida útil mínima, em que não podem falhar dentro das características propostas e que dentre os restantes, quando ocorrer a falha, que esta ocorra em modo seguro (falha em curto circuito), ou seja, protegendo o equipamento e denunciando a sua ocorrência (linha em curto circuito). Logicamente, deve-se permitir um nível percentualmente ainda mais baixo de falha em que esta situação não ocorra (falha em modo não seguro ou em circuito aberto).

Em outras palavras, deve-se estabelecer um tempo de vida mínimo para o componente, nesse tempo de vida o risco de falha permitido e também o tipo de falha.

Em função desses conceitos de vida útil mínima, modos de falha e risco de falha vão ser examinadas algumas proposições de avaliação de módulos protetores em função dos resultados de medição.

9.2 Teste de vida útil - Impulso

Se considerarmos um tempo de vida para os protetores de 20 anos, usual para produtos de rede externa de telecomunicações [24] e supondo que se permita que um determinado percentual seja danificado nesse período, é possível a partir da figura 5.8 (repetida na figura 9.1) se estabelecer a quantidade máxima de surtos a que estaria sujeito em 20 anos um centelhador.

Por exemplo, se estabelecermos que um percentual de 2% dos centelhadores possa ser danificado em 20 anos, pela figura 9.1, 2% das peças estariam sujeitas a seis ou mais surtos por ano, ou 120 surtos em 20 anos.

Notar que como a figura 9.1 corresponde a centelhadores com uma ou mais marcas, ou seja, 15% do total, 2% dos centelhadores corresponde na curva a 13% dos centelhadores com marca..

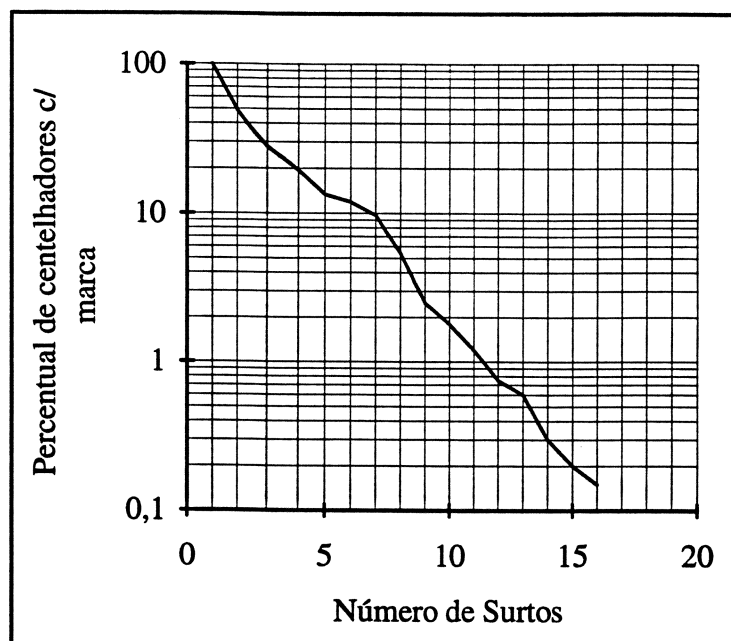


Figura 9.1
Distribuição de surtos em centelhadores com marcas

Os 98% restante dos centelhadores são esperados serem submetidos a 120 ou menos surtos e esses 120 devem ser distribuídos em correntes de acordo com a figura 5.4 (Geral) ou figura 5.13, ou seja a distribuição geral de correntes. A figura 5.13 mostra a distribuição de correntes em centelhadores com 2 marcas em comparação com a distribuição geral, mostrando que a distribuição de correntes em centelhadores com mais de uma marca é semelhante à geral.

Repetindo-se a figura 5.4 na figura 9.2, é possível então se estabelecer uma distribuição para esses 120 surtos em valores discretos. Uma distribuição possível seria:

Corrente(A)	20	50	100	200
Número de Surtos	120	20	6	1

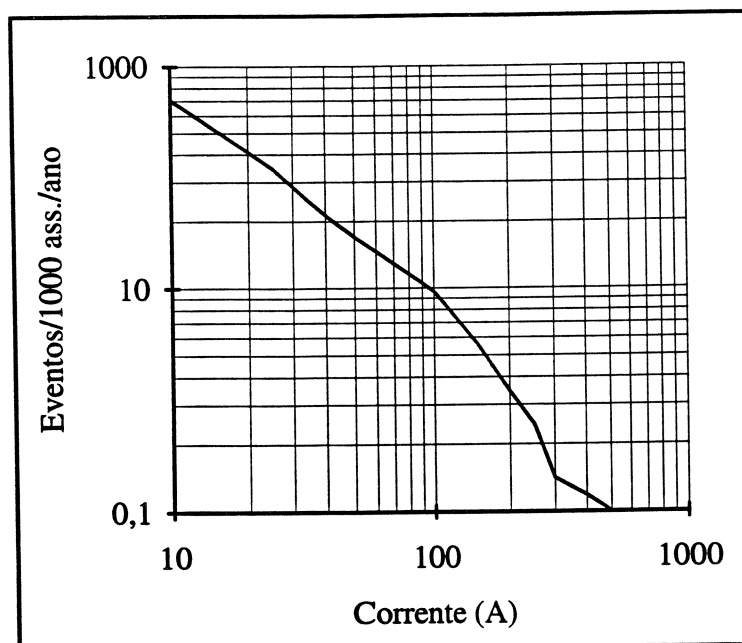


Figura 9.2
Percentual de ocorrência
Correntes

Note-se que as aplicações foram agrupadas em alguns valores de corrente, visto ser impossível a determinação de valores exatos em todos os níveis. Outra ressalva diz respeito a não colocação de aplicações de correntes superiores a 200 A.

Não é esperada ocorrência de correntes superiores a 200 A durante o tempo de vida proposto para os 98% dos centelhadores restantes, pois pela figura 9.2 é esperado 1 evento/1000 assinante/ano para essa corrente ou 20 eventos/1000 assinantes em 20 anos (2% do total).

Assim sendo, com esse risco de falha proposto de 2% em 20 anos, não é esperada a ocorrência de eventos em correntes, por exemplo, tão altas como 1000 A, ou, a probabilidade extrapolada de ocorrência é da ordem de 0,01 eventos/1000 assinantes/ano ou 0,2 eventos/1000 assinantes/20 anos.

De qualquer maneira pode-se incluir uma aplicação no nível de 1000 A na avaliação do protetor no sentido de se verificar o modo de atuação (ou de falha) do elemento frente a surtos dessa ordem de grandeza.

Para o total dessas aplicações devemos então prevenir um risco de falha calculado de 2% em 20 anos ou 20 eventos/1000 ass/20 anos ou 1 evento/1000 ass/ano em função do percentual de falha permitido.

Corrente (A)	Aplicações	Falha do Protetor (%)	Percent. de Falha
10	120	0	0
50	20	0	0
100	6	10	0,1N
200	1	50	0,5N
1000	1	100	N

Risco de Falha
Tabela 9.1

Esse valor é obtido a partir de um percentual máximo de falha em cada nível de corrente para um total de amostras a ser avaliado.

Por exemplo, na tabela 9.1, se estabelecermos uma amostragem de N elementos protetores a serem avaliados, o total permitido de falhas é mostrado na quarta coluna.

A terceira coluna (percentual de falha) enuncia o comportamento esperado de um suposto elemento protetor quanto a suportabilidade a surtos de corrente, para um dado universo (amostragem). As duas colunas apresentam, nesse caso, valores coincidentes porque o percentual de falhas permitido coincide com o comportamento esperado do componente protetor.

Quando se estabelece o percentual de falha máximo permitido está se criando, na verdade, uma curva de desempenho "desejável" para um componente protetor. Um centelhador submetido a esse teste e que tenha um desempenho no mínimo igual ao requerido, vai proporcionar no máximo um risco de falha igual ao calculado, nas condições de ambiente elétrico padronizadas pelo ensaio, nesse caso as condições do caso chamado Geral, ou seja agrupando as estações Classes 1 e 2.

Como o número de aplicações, por nível de corrente, é variável, o valor mostrado de percentual esperado de falha equivale ao total de aplicações por amostra no universo de amostras avaliado. Ou seja, a probabilidade de falha para uma única aplicação pode ser diferente do que para "n" aplicações.

É esperado, portanto, que a probabilidade de falha para uma aplicação seja diferente do que para n aplicações :

$$P_{tf} = 1 - (1 - P_{if})^n$$

onde :

P_{tf} = Probabilidade total de falha para n aplicações

P_{if} = Probabilidade de falha para uma única aplicação

n = Total de aplicações

Esse mesmo raciocínio pode ser estendido para outros valores de risco de falha, lembrando-se que nesse caso deve-se alterar também a quantidade de descargas na amostra em função do percentual máximo permitido de falhas no tempo de vida previsto de acordo com a figura 9.1.

A figura 9.3 mostra o número total de aplicações para diferentes riscos de falha considerando-se um tempo de vida útil de 20 anos, lembrando-se que esse total de aplicações deve ser convenientemente dividido nas diferentes correntes.

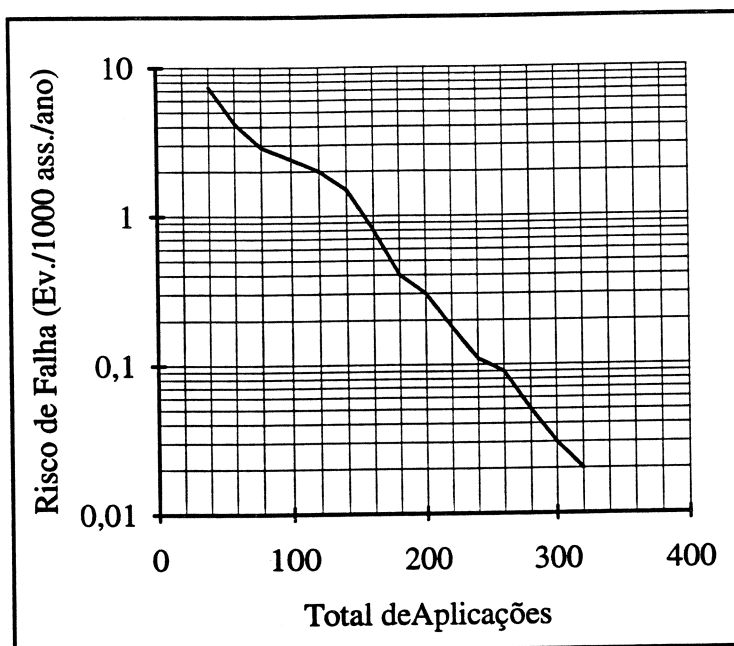


Figura 9.3
Número total de aplicações X Risco de Falha

A duração do surto pode ser obtida da figura 5.1 repetida na figura 9.4 e na distribuição de tempos para diferentes níveis de corrente, mostrado na figura 9.5, por onde se pode observar que para baixas correntes é concentrado em 20 μ s e para altas correntes (como 200 A) variável de 50 a 300 μ s.

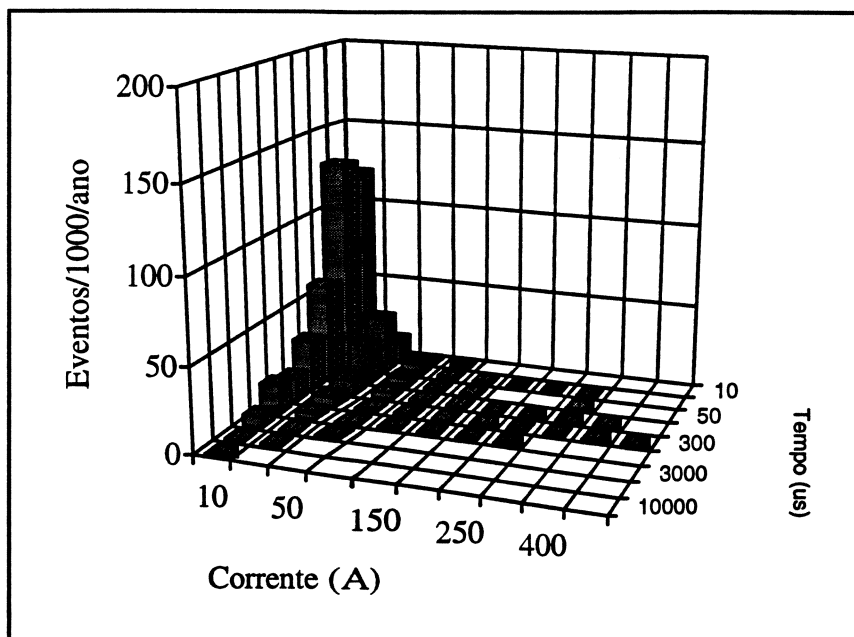


Figura 9.4
Histograma de tempos e correntes

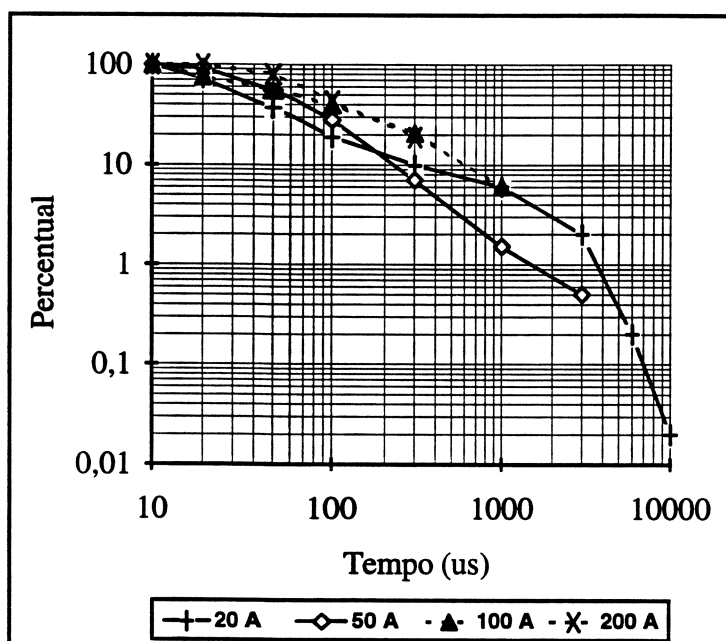


Figura 9.5
Distribuição de Tempos por Corrente

9.3 Teste de drenagem de corrente 60 Hz

De acordo com o mesmo raciocínio utilizado para os testes com correntes impulsivas, 98% dos centelhadores devem ter uma vida útil de 20 anos, ou seja, não podem falhar de modo algum nesse período.

Em um ano de instalação (fase II) foram observados eventos em 60 Hz em 2% do total dos centelhadores instalados, sendo que não foi possível detectar, em

um ano a ocorrência de mais de um evento 60 Hz em um mesmo centelhador. No pior caso, em 20 anos, um mesmo centelhador deveria então suportar 20 surtos em 60 Hz.

De acordo com a curva de Eventos x Correntes em 60 Hz (figura 6.1) uma distribuição possível das correntes é mostrada na tabela 9.2.

Aplicações	I(A)
12	1
5	5
2	7
1	10

Tabela 9.2
Proposta de teste para 60 Hz

Como para correntes iguais ou superiores a 10 A são esperados 1 evento/1000 assinante/ano ou 20 eventos/1000 assinantes em 20 anos (2% do total), analogamente ao teste de vida útil (200 A) a máxima corrente a ser aplicada é 10 A.

O tempo médio de duração do evento é de 20 ciclos, independente da corrente (50% dos eventos foram menores ou iguais a 20 ciclos e 80 % menores ou iguais a 60 ciclos).

9.4 Conclusões

Uma das questões a ser avaliada é a necessidade ou não de se estabelecer condições de avaliação diferenciadas para estações Classe 1 e Classe 2, em face dos diferentes ambientes elétricos a que são submetidas (figura 9.2). Em função de uma condição de desempenho do elemento protetor (com uma corrente média e desvio padrão) os riscos de falha calculados vão ser diferentes para os três casos analisados (Geral, Classes 1 e 2) e, dependendo do seu grau de variação, pode levar a se propor avaliações diferenciadas.

A figura 9.6 indica a diminuição do risco de falha quando se analisa, para um mesmo desempenho do elemento protetor, a mudança do caso Geral para Classe 1, podendo chegar até a 700 vezes. Essa diminuição é mais pronunciada para maiores níveis de corrente média e para menores relações desvio padrão/média, ou seja, para elementos protetores com melhores características de desempenho.

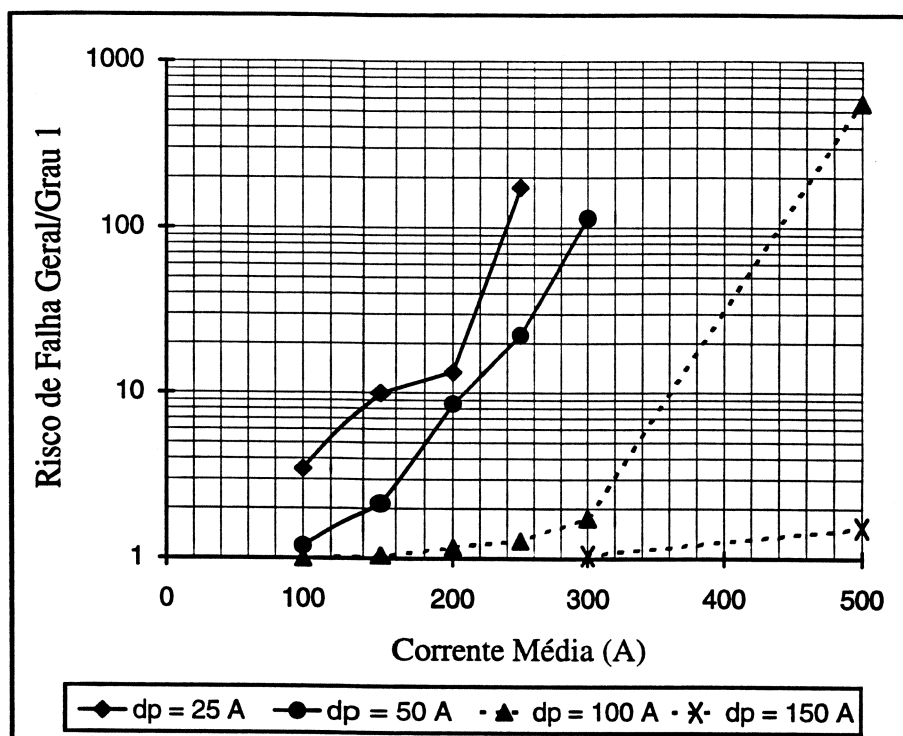


Figura 9.6
Risco de Falha Geral/Classe 1

Um protetor com melhores características de desempenho seria então um que aliasse maior valor possível de corrente média e também uma menor relação desvio padrão/média. A figura 9.7 mostra essa relação desvio padrão/média para as três curvas a, b e c com valores crescentes de desvio padrão, com mesmo valor médio de corrente.

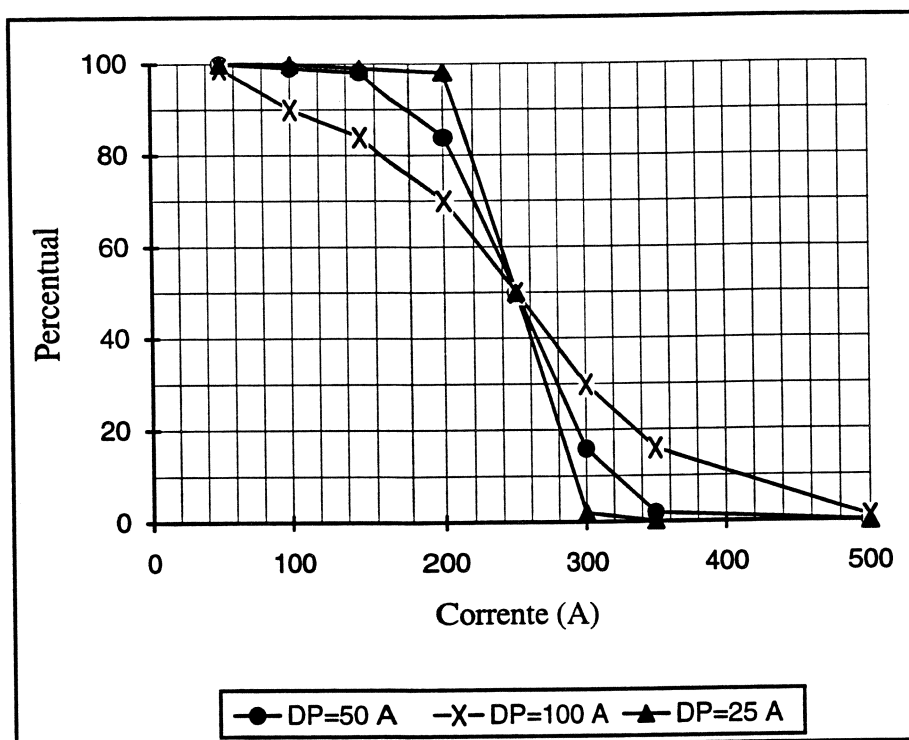


Figura 9.7
Relação desvio padrão/média

Um protetor com menor relação desvio padrão/média, ou com menor desvio padrão para uma mesma corrente, é o que vai apresentar menor probabilidade de falha.

Para estações Classe 2 o aumento do risco de falha em relação ao caso geral não é muito pronunciado em nenhum dos casos analisados, conforme pode ser visto na figura 9.8, com fator máximo de 1,6 vezes .

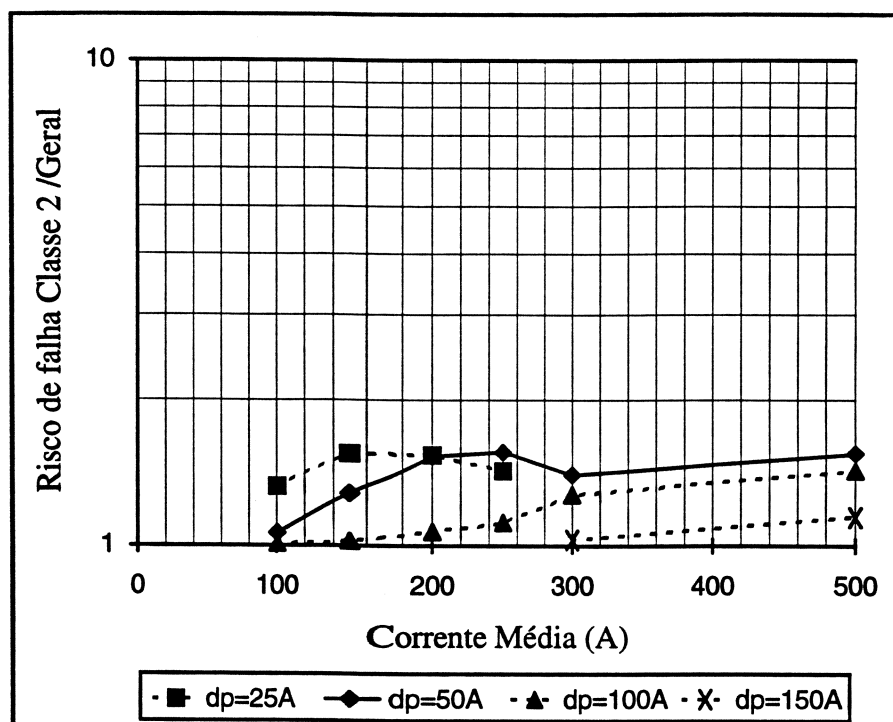


Figura 9.8
Risco de Falha
Classe 2 / Geral

Assim sendo, ao se fazer uma única especificação genérica para avaliação de elementos protetores, se tem um ganho significativo para o caso das estações com menor índice de atividade (Classe 1) que contam com uma significativa maioria dos assinantes e, no caso das estações mais ativas, o aumento de risco não é significativo a ponto de se necessitar de uma especificação própria.

Na nova proposta de prática para avaliação de módulos protetores emitida pela Telebrás [46], o teste de vida útil foi baseado nos resultados do Copelite e apresenta os seguintes valores de aplicações e percentuais permitidos de falha, com uma amostragem de $N = 20$ peças, com um risco de falha calculado de 1 evento/1000 assinantes/ano ou 20 eventos/1000 assinantes em 20 anos, com três possibilidades de percentual de falha permitido, todas totalizando o mesmo risco de falha.

I(A)	Apl.	Perc. de Falha		
		(1)	(2)	(3)
25	120	0	0	0
50	20	0	0	0
100	6	0	0.05N	0.1N
200	1	0.8N	0.5N	0.2N
1000	1	N	N	N

Tabela 9.3

O teste da prática anterior exigia 400 disparos de 500 A, em 20 amostras com permissão de falha em 3 amostras. A chance de ocorrência de 400 eventos de 500 A em um centelhador é de 1 ocorrência/ 10^6 assinantes/16 anos, isso considerando-se

que todas esses eventos ocorressem em um mesmo centelhador situado numa condição extremamente crítica (todos os eventos previstos para o universo de 10^6 assinantes ocorrendo num mesmo protetor).

Se considerarmos um tempo de vida útil de 20 anos, com 15% de percentual de falha permitido de amostras (3/20) teremos um risco de falha calculado de 1 evento/ $5,3 \times 10^6$ assinantes em 20 anos, de qualquer maneira um valor extremamente baixo.

10 CONCLUSÃO

De uma maneira geral a primeira contribuição do trabalho diz respeito a avaliação dos resultados da primeira medição em larga escala realizada no Brasil de sobretensões e sobrecorrentes em linhas de telecomunicações.

Por outro lado, o objetivo maior do trabalho era, em se utilizando os dados dessas medições, estabelecer critérios de desempenho para elementos protetores de linhas de telecomunicações e equipamentos de centrais telefônicas.

O trabalho deve ser analisado em dois blocos distintos, o primeiro com o método eletrônico de medição de sobretensões descrito no Capítulo 3 e o segundo com os resultados do método de marcas em carvões para medições de sobrecorrentes, que abrange os Capítulos 4 a 9.

Embora o segundo bloco, pelo próprio volume e abrangência dos resultados, seja a princípio mais relevante para os objetivos propostos, os resultados obtidos pelo método eletrônico indicaram pontos importantes a serem observados para a proteção efetiva de equipamentos e para a especificação de componentes protetores.

O método eletrônico em si mostrou-se efetivo, embora seu custo possa inviabilizar a instalação de muitos pontos de monitoração. De qualquer maneira, é um instrumento que pode ser utilizado em medições futuras em locais onde se deseje monitorar as sobretensões, ou então na mesma linha experimental em que foram realizadas as medições constantes desse trabalho para se medir outros parâmetros de sobretensões e sobrecorrentes.

Quanto aos resultados, os valores medidos de tensão de pico, taxa de crescimento da tensão (dV/dt) e tempo de duração são importantes na avaliação do desempenho de elementos protetores, assim como em testes de qualificação de equipamentos a serem utilizados no ambiente da central e do assinante.

Quanto ao método das marcas em centelhadores a carvão, mostrou-se um método de baixo custo e eficaz na avaliação de sobrecorrentes, em valores de pico e duração do evento.

A análise do método, mostrada no Capítulo 4, evidencia o seu relativamente baixo erro esperado na avaliação dos valores de tempo e corrente pelos analisadores das marcas, em que 80 % dos casos está em aproximadamente 1 posição da matriz padrão de marcas. Além disso, o erro encontrado foi conservativo, ou seja, preponderou o erro para valores maiores de corrente.

Quanto aos locais de medição, as 17 estações telefônicas escolhidas permitem uma gama variada de tipos de ambientes elétricos, representativas da maioria das situações possíveis de serem encontradas.

Além de estarem situadas nos três estados que somados representam aproximadamente 70 % dos assinantes do STB (Sistema de Telecomunicações Brasileiro) os diferentes tipos de estações mostraram coerência de resultados entre estações de mesmo tipo (urbanas, suburbanas e rurais).

O período total de observação, se somarmos as fases I e II, corresponde a 8 anos em média, o que também permite a observação de eventos mais raros.

Os resultados das medições propriamente ditas indicaram que os valores exigidos atualmente para testes de desempenho de componentes protetores estão muito além do necessário e uma ampla preponderância de eventos devidos a descargas impulsivas em contraposição às de corrente alternada.

Embora a análise tenha sido realizada separadamente para estações Classes 1 e 2, a aplicabilidade dos resultados da chamada curva Geral, que engloba os

dois tipos anteriores, se por um lado pode superdimensionar a proteção de estações com atividade menos intensa (Classe 1), aumenta em média em 2 vezes o risco de falha para estações mais ativas (Classe 2).

Uma vez obtida a curva do ambiente elétrico das estações, e eventualmente uma curva de desempenho de um dado elemento protetor, uma ferramenta que se mostrou eficaz é a do cálculo do Risco de Falha.

De uso frequente na Coordenação de Isolamento de Linhas de Transmissão de Energia Elétrica, esse conceito de Risco de Falha mostrou-se importante na análise do número de falhas previsto do elemento protetor em função do ambiente em que for instalado. Ou, quando da especificação de testes de desempenho do protetor, para o cálculo dos níveis e da quantidade de aplicações de corrente necessária para se conseguir para um determinado Risco de Falha, o desempenho desejado do componente.

Em resumo, com a curva de sobrecorrentes do ambiente elétrico da estação e com o conceito de risco de falha, é possível se estabelecer testes de desempenho baseados nas reais necessidades do sistema de telecomunicações, ou em outras palavras, especificações de testes funcionais e por desempenho.

Como possibilidades de continuidade do trabalho poderiam ser ampliadas as medições de correntes pelo método das marcas em carvões para outros estados do país, para se avaliar possíveis discrepâncias regionais.

Outra possibilidade de continuidade seria de se estender as medições para as instalações do assinante com algum dos métodos utilizados no trabalho, ou algum outro método alternativo.

11 BIBLIOGRAFIA

- [1]CCITT "Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified lines" Vol. I, "Design, construction and operational principles of telecommunication, power and electrified railway facilities", ed. 1989
- [2]Barbosa, C.F. "Indução Magnética de Linhas de Energia Elétrica em Linhas de Telecomunicações" Dissertação de Mestrado, UFMG, 1988
- [3]Manual de Proteção Elétrica -Volume 1 - Rede Externa - , Conjunto de Práticas Normativas da Telebrás
- [4]SDT 235-600-002 "Princípios Gerais de Proteção Elétrica da Rede Externa" Sistema de Documentação Telebrás-1991
- [5]SDT 235-610-603 "Projeto de Proteção Elétrica da Rede Aérea" Sistema de Documentação Telebrás - 1991
- [6]Barbosa, C.F.; Rossi, J.A.D.; Cardinalli Jr., V.; Carnetta, N " Surtos de Corrente Induzidas em Linhas de Telecomunicações" Seminário de Proteção Elétrica Telesp 94, São Paulo 1994
- [7]SDT 235-430-731 " Especificação de Módulos para Blocos Terminais do tipo 303 para DG's/ centelhadores a gás" Sistema de Documentação Telebrás-1987
- [8]Carrol, R.L.; Miller, P.S. "Loop Transients at the Customer Station" The Bell Sys. Tech. Journ., nov. 1980, pg 1609-1643
- [9]Carrol, R.L. "Loop Transients Measurements in Cleveland, South Carolina "The B.S.T.J. ;nov 1980; pg 1645 - 1680
- [10]Bodle, D.W.; Gresh, P.A. "Lightning Surges in Paired Telephone Cable Facilities" The B.S.T.J., Mar. 1961, pg. 547-576
- [11]Kuwabara,N.;Koga,H.;Motomitsu,T. "Indirect Lightning Surges at Subscriber Line Ends"Review on Elect. Comm. Lab., vol. 31, nº. 4, 1983, pg. 539-549
- [12]Ishida, Y; "Induced Lightning Surges in Paired Telephone Cable" Review of the Elec. Comm. Labs., Vol. 20, num. 3-4, March-April 1972, pg. 253-262
- [13]Bennison, E.; Ghazi, A.I.; Ferland, P. 'Lightning Surges in Open Wire, Coaxial and Paired Cables" IEEE Trans. on Comm., vol. COM -21 nº. 10, Oct. 1973, pg. 1136 - 1143
- [14]Delepine, J.L.; Gleonec, M; Perignon, M. "Campagne de Mesures "Copelia". Presentation des Differents Sites pris en Observation et des Surtensions Recueillies pendant la periode janvier 1984 a fevrier 1985" Note Technique NT/LAA/ELR/459 mai 1985.

- [15]Int. Telephone and Telegraph Corporation "Results and Conclusions of Surge Counting on Subscriber Lines" Contribution nº 13 Study Group V - CCITT - period 1977-80 - COM V- nº 13
- [16]Mackerras, D "Characteristics and Rate of Occurrence of Lightning Caused Induced Voltage Surges in a Telephone Line" Journal of Elec. and Elect. Eng., Australia - I.E. Aust. & IREE Aust., vol. 5, nº 3, pg. 227-234, Sept. 1985
- [17]Coleman, M.J. "Characterization of the Urban/Suburban Electrical Environment" Rel. BNR 1985
- [18]Ohtsuki, F.; Koga, H.; Motomitsu, T. "Lightning Surge Current Measurements on Telecommunication Lines by using Carbon Arrester Discharge Vestiges" Review of the Elec. Comm. Lab. vol. 31 nº 4, 1983 pg. 550-556
- [19]Trasher, M "A solid State Solution" Telephony jun 12, 1989 pg. 47-53
- [20]Rossi, J.A.D.; Nallin, F.E. "Rede Telefônica Experimental DRE/CPqD "RTR - REL.PE 17/90 Relatório Interno CPqD Telebrás
- [21]Nallin, F.E. "Sistema Automático de Aquisição de Tensões Induzidas em Redes Telefônicas-Projeto COPELITE" RTR-REL.PE 15/90 Rel. Interno CPqD Telebrás 1990
- [22]Nallin, F.E. "Registrador Automático de Transientes" software de apoio- Projeto Copelite Registro INPI/SEI
- [23]Barbosa, C.F.; Rossi, J.A.D.;Nallin, F.E. " Telecommunication Cable Shield effect upon Lightning Induced Overvoltages" 21st. ICLP - International Conference on Lightning Protection - 1992 - Berlim - Alemanha
- [24]Rossi, J.A.D.; Barbosa, C.F.; Cardinalli Jr., V.;Carnetta, N. " Lightning Induced Surge Currents on Telecommunication Lines " 22nd. ICLP 1994 - Budapest - Hungria
- [25]Rossi, J.A.D.; "Indução Elétrica de Linhas de Energia Elétrica em Linhas de Telecomunicações" EST-PE 01/88 - Relatório Interno SIEPE CPqD - 1988
- [26]Saldanha Paulino, J.O. ; "Influência de Curto-Circuitos nas Redes de Distribuição sobre Redes Telefônicas em uso mútuo de posteação" Tese de Mestrado em Eng. Elétrica -UFMG 1985
- [27]Uman, M; Krider, ; "Review of natural lightning" IEEE Trans. EMC, vol EMC- 24 n 2, May 1982
- [28]Leteinturier, C; Hamelin, J ; "Eclairs Tropicaux : Caracterisation Electromagnétique Experience COPT 81 " 2eme Nat. Exp. Comp. Elect. Tregastel 1983 pg. A2.1- A2.5
- [29]CCITT "Protection of Telecommunication lines and equipment against Lightning Discharges" 1978

- [30]ABNT - NBR 5419 "Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas" 1992
- [31]CCITT "Directives Concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified lines" Vol. III "Capacitive, Inductive and Conductive coupling" ed. 1989
- [32]CCITT - "Directives Concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified lines" Vol. II, Directives concerning the protection of calculating induced voltages and currents in practical cases", ed. 1989
- [33]ABNT NB 447 "Influência de Sistemas de Potência em instalações de Telecomunicações" ed. 1979
- [34]Meek, J.M., Craggs, J.D. "Electrical Breakdown in gases" Chapter 3 Dutton, J. "Spark Breakdown in Uniform Fields"
- [35]Kuffel, E., Abdullah, M. "High Voltage Engineering" Chapter 2 "Electric Breakdown in Gases" Pergamon Press, 1970.
- [36]Treguier, J.P. "Les Composants de Protection"-Seminaire DPR-CNET Protection, pg 157-187, 1983
- [37]Moreira Leite, D.; Moreira Leite, C. "Proteção contra Descargas Atmosféricas" Vol. 1, Ed. Oficina de Mídia, 1994.
- [38]Hedman, D.E., Mountford, J.D. -"Conceitos Modernos de Coordenação de Isolamento Parte II- Procedimentos e Métodos Estatísticos" in Coordenação de Isolamento Volume 8 - Un.Federal de Sta. Maria 1979
- [39]Berger, G; "Lightning Phenomena" III SIPDA, 5-9 Set. 1994, S.Paulo Brasil
- [40]Triginelli, W.A.C.; Diniz, J.H.; Carvalho, A.M.; Cherchiglia, L.C.L. "Ground flashes densities in Minas Gerais "III Int. Seminar on Lightning Prot. SIPDA - S. Paulo - Brasil - 1994 pgs. 1.15- 1.28
- [41]Uman, M "Lightning", McGraw Hill Co. 1969
- [42]Peters, J.F. "The klydonograph", Electrical World, 83; 769-773 (1924)
- [43]Griscomb, S.B. "The kine-klydonograph - A transient waveform Recorder" Trans. AIEE (PAS) 79; Pgs. 603-610 (1960)
- [44]Lorenzato da Fonseca, A.F.; "Cálculo do campo Eletromagnético e análise da tensão induzida em linhas aéreas devido a descargas atmosféricas" Tese de Mestrado - UFMG 1990

- [45]Barbosa, C.F.; Rossi, J.A.D.; Joaquim, A.; Biajoto, A.S. "Projeto PROTEL e sua implantação na TELESP" Revista Telebrás- Edição Tecnologia - 18 (61) : Set. 94, pgs. 83 a 90.
- [46]SDT-235-430-708 "Requisitos de Módulos para Distribuidores Gerais" Sistema de Práticas Telebrás 1995
- [47]"Estudo e pesquisa de perturbações elétricas em redes telefônicas", Relatório de Pesquisa Convênio Unicamp/Telebrás/Funcamp, Relatório n. 1, 1986
- [48]"Centelhadores a gás e Geradores de Surtos para seus testes elétricos", Relatório de Pesquisa Convênio Telebrás/Unicamp/Funcamp, Pub. FEE n. 016/87, 1987
- [49]ITU-T Recommendation K12 " Characteristics of gas discharge tubes for the protection of telecommunications installations" 1984
- [50]SDT-235-430-531 "Aceitação em fábrica de módulos para blocos terminais do tipo 303 para DG's/Centelhadores a gás" Sistema de Documentação Telebrás - 1987
- [51]SDT-235-430-714 "Especificação de módulos para blocos terminais do tipo 303 para DG's" Sistema de Documentação Telebrás - 1986
- [52]Barbosa, C.F. "Electrical Protection of the Telebrás Outside Plant - The Protel Project" The 1994 Symposium on Electromagnetic Compatibility 1994- S.Paulo Brasil
- [53]Rossi, J.A.D.; Barbosa, C.F. "Proteção Elétrica na Rede" 1º Seminário de Rede Externa" Telebahia - Salvador 1995
- [54]Pomponi, R - Draft of a new chapter of lightning handbook "Overvoltages and overcurrents measured on telecommunication subscriber lines" Temporary Document 2-E ITU-Telecommunication Standardization Sector.
- [55]ITU-T Recommendation K20 "Resistibility of telecommunication switching equipment to overvoltages and overcurrents" 1993
- [56]ITU-T Recommendation K21 "Resistibility of subscribers" terminals to overvoltages and overcurrents" 1993
- [57]Rusck, S. "Induced Lightning Overvoltages on Power Transmission Lines with special Reference to the Overvoltage Protection on low Voltage Networks", Doctor's Thesis, Trans. of Royal Institute of Technology Stockolm, núm. 120, 1958
- [58]Panicali, A. R. "Aplicação do Teorema da Indução Elétrica na Solução de Problemas de Acoplamento de Campos Eletromagnéticos com Linhas de Transmissão" III Encontro sobre Proteção Elétrica 1991 pag. 231-242.

12 ANEXO

Os resultados das medições de correntes pelo método das marcas em carvões são apresentados, na sua forma final, de duas maneiras. A primeira na forma de histogramas, como por exemplo nas figuras 5.1, 5.2 e 5.3. A segunda na forma de curvas de Eventos/1000 assinantes/ano versus Corrente, Tempo ou Energia, como nas figuras 5.4, 5.5 e 5.6. Estas são formas resultantes de compilações de planilhas montadas a partir da observação direta das marcas em carvões na visão de dois analisadores, comparados com uma matriz "padrão" de marcas montada em laboratório.

Os módulos retirados de campo eram agrupados quanto a sua procedência (estação telefônica do qual foram retirados) e desmontados para retirada dos dois centelhadores a carvão de cada um deles (cada centelhador protege um dos fios do par telefônico).

Os módulos eram numerados e os centelhadores individualmente identificados como lado A e lado B. Assim, por exemplo, os centelhadores eram identificados como, por exemplo, 1-A, 1-B, 2-A etc..., e avaliados pelos 2 analisadores.

Era montada então uma planilha (figura 12.1) onde se enunciava a operadora telefônica, a estação telefônica, tempo de instalação (fase I-07 sete anos ou fase II - 01 ano) e o nome do analisador das peças.

Operadora:		Estação:
Fase:		Pares DG:
Centelhadores:		Analisador::
Centelhador Nº	Lado	Marcas
1	A	
1	B	
2	A	
2	B	
3	A	
3	B	

Figura 12.1
Planilha de coleta de marcas

A seguir, para cada centelhador retirado, era anotada a existência ou não de marcas e, no caso positivo, o tipo de marca - impulsiva ou 60 Hz - e características - corrente x tempo.

Para cada estação telefônica eram montados dois conjuntos de planilhas (uma para cada analisador) com 200 ou 400 (o número de centelhadores por estação foi variável) centelhadores analisados em cada uma delas e, em seguida realizada uma compilação e agrupamento das informações dos dois analisadores por uma terceira pessoa.

Os dados compilados geravam uma outra planilha, por estação telefônica, e de tipo idêntico a anterior, com as marcas compiladas por tempo e corrente. Nessa fase, as planilhas ainda estão montadas por estação telefônica e por tempo de instalação (fase I ou II), mas já estão agrupadas para os dois analisadores.

Os dados estavam então organizados separadamente por:

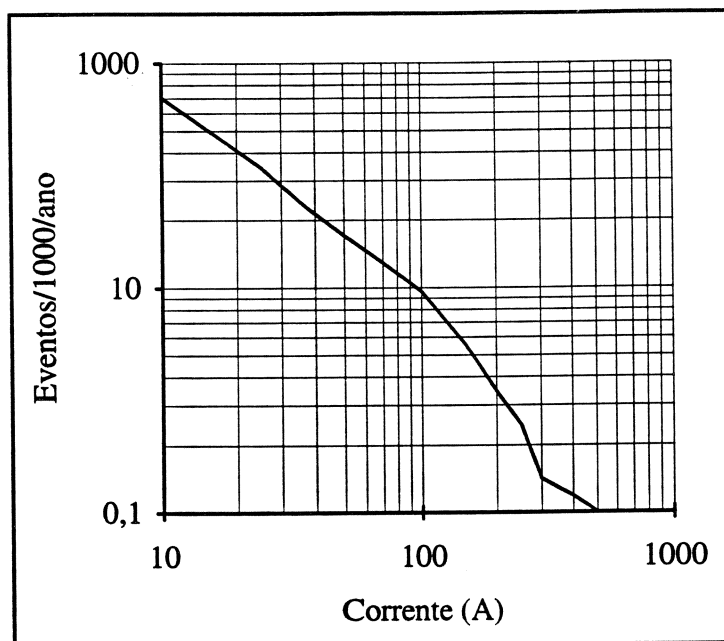


Figura 12.3
Curva típica Corrente x Eventos

Essa curva é chamada no decorrer do texto de curva "GERAL" para ser diferenciada das curvas geradas por processo análogo realizado separadamente para as estações Classe 1 e Classe 2.

Ao todo foram avaliados 8 000 centelhadores de 17 estações telefônicas, representando 760 700 assinantes com 6 842 marcas observadas e avaliadas.

A totalização dos resultados foi realizada por planilhas de cálculo computacionais, lembrando-se sempre que todos os dados foram ponderados pelo tamanho da estação (número de pares terminados no DG).