

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**ESTUDO DA PROTEÇÃO ELÉTRICA CONTRA DESCARGAS
ATMOSFÉRICAS DE UMA ESTAÇÃO RÁDIO DA OI/ES**

DHYEGO TOSE MARCHEZINI

**VITÓRIA – ES
JULHO/2007**

DHYEGO TOSE MARCHEZINI

**ESTUDO DA PROTEÇÃO ELÉTRICA CONTRA DESCARGAS
ATMOSFÉRICAS DE UMA ESTAÇÃO RÁDIO DA OI/ES**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno Dhyego Tose Marchezini, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

**VITÓRIA – ES
JULHO/2007**

DHYEGO TOSE MARCHEZINI

**ESTUDO DA PROTEÇÃO ELÉTRICA CONTRA DESCARGAS
ATMOSFÉRICAS DE UMA ESTAÇÃO RÁDIO DA OI/ES**

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Paulo José Mello Menegáz
Orientador

Prof. MsC Carlos Caiado Barbosa Zago
Examinador

Eng. Antônio Vitor Cavalieri
Examinador

Vitória - ES, 10, julho, 2007

DEDICATÓRIA

Ao meu avô Orlando Marchezini.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Eng. Antônio Vitor Cavalieri, que me ajudou integralmente no desenvolvimento do projeto e também ao Prof. Paulo José Mello Menegáz que prontificou-se a orientar-me e conduzir a realização deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico relativo à quantidade de incidências de descargas atmosféricas ...	10
Figura 2 - Estação rádio de Vitória (VTAR)	11
Figura 3 - Tipos de portas de acesso.....	13
Figura 4 - Poste de chegada da energia da concessionária	14
Figura 5 - Incidência de descarga atmosférica nas proximidades da R.D.E.E.....	15
Figura 6 - Diferenças de potencial ao longo da malha de aterramento	17
Figura 7 - LEDs demonstrativos de final de vida útil dos varistores	22
Figura 8 - Localização dos protetores próximos à malha de terra.....	22
Figura 9 - Esquema de ligação dos protetores à alimentação.....	23
Figura 10 - Localização dos protetores primários e secundários.....	26
Figura 11 - Localização dos protetores da concessionária de energia elétrica.....	26
Figura 12 - Instalação dos protetores primários	27
Figura 13 - Instalação dos protetores primários no Padrão de Energia Elétrica.....	27
Figura 14 - Possíveis localizações do Quadro de Distribuição Geral.....	28
Figura 15 - Instalação dos protetores secundários no QDG	28
Figura 16 - Instalação dos protetores secundários na parede externa da estação rádio	29
Figura 17 - Loop formado pela interação das esteiras de sustentação com os bastidores dos equipamentos	31
Figura 18 - Formação de arco elétrico nos bastidores não conectados às esteiras de sustentação	32
Figura 19 - Interligação das esteiras de sustentação aos bastidores dos equipamentos	32
Figura 20 - Vista superior das esteiras de sustentação e suas conexões.....	33
Figura 21 - Conexões das esteiras com o retificador e os bastidores	33
Figura 22 - Tipos de conexões para a interligação das esteiras metálicas de sustentação	34
Figura 23 - Detalhe da conexão da esteira metálica com o bastidor de e equipamentos	35
Figura 24 - Detalhe da continuidade elétrica da esteira metálica interligada ao retificador da estação rádio	35

Figura 25 - Cordoalhas de cobre garantindo a continuidade elétrica das esteiras de sustentação	36
Figura 26 - Comportamento de uma onda incidente sobre uma parede metálica	37
Figura 27 - Gaiola de Faraday	39
Figura 28 - Gaiola de Faraday com malha superior de equalização.....	41
Figura 29 - Interligação da Gaiola de Faraday com as esteiras de sustentação.....	41
Figura 30 - Esquema detalhado da implantação da Gaiola de Faraday em uma estação rádio	42
Figura 31 - Método de fixação da Gaiola de Faraday na estrutura física da estação rádio	43
Figura 32 - Conexão da Gaiola de Faraday no teto da estação rádio	43
Figura 33 - Interligação da Gaiola de Faraday com as esteiras de sustentação.....	44
Figura 34 - Tensão e corrente induzidos pela Lei de Faraday	45
Figura 35 - Demonstração dos parâmetros que compõem a equação da indutância do <i>loop</i>	46
Figura 36 - <i>Loop</i> principal formado pelos condutores externos de uma estação rádio	46
Figura 37 - Transferência do <i>loop</i> principal para fora da estrutura da estação rádio ..	48
Figura 38 - Localização dos protetores para os cabos coaxiais que ligam as antenas ao interior da estação rádio	49
Figura 39 - Esquema detalhado da proteção dos cabos coaxiais na entrada da estação rádio	50
Figura 40 - Conexão da malha de revestimento dos cabos coaxiais ao sistema de aterramento da estação rádio.....	50
Figura 41 - Interligação da barra receptora da proteção dos cabos coaxiais à malha de terra	51
Figura 42 - Variação de tensão sobre cada tomada de terra da malha	52
Figura 43 - Diversas estruturas compartilhando o mesmo ambiente elétrico	53
Figura 44 - Adequação do sistema de aterramento para o caso de compartilhamento do ambiente elétrico.....	54
Figura 45 - Interligação da torre à malha de aterramento.....	54

LISTA DE TABELA

Tabela 1- Valores de tensão induzida para diferentes distâncias de incidência	15
Tabela 2 - Profundidade de penetração de uma onda em função da frequência da mesma	38
Tabela 3 - Tamanho mínimo para a aresta da Gaiola De Faraday em função da frequência do surto incidente.....	40

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	I
AGRADECIMENTOS	II
LISTA DE FIGURAS.....	III
LISTA DE TABELA	V
SUMÁRIO	VI
RESUMO.....	IX
1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	10
1.1 Introdução	10
1.2 Necessidade de implementação de um sistema de proteção para as estações rádio da OI no Espírito Santo.....	11
2 ESTUDO E ANÁLISE DE CRITÉRIOS DE PROTEÇÃO ELÉTRICA PARA AS ESTAÇÕES RÁDIO DA OI NO ESPÍRITO SANTO.....	13
2.1 Análise dos distúrbios e portas de acesso	13
2.2 Surtos de tensão provocados por descargas atmosféricas, conduzidos pelas redes de acesso	14
2.3 Descargas atmosféricas incidentes diretamente sobre a infra-estrutura das estações rádio	16
3 ESTUDO DETALHADO DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NAS ESTAÇÕES RÁDIO DE MÉDIA E ALTA CAPACIDADE DA OI	18
3.1 Metodologia dos cinco níveis	18
4 NÍVEL 1 - ADEQUAÇÃO DA PROTEÇÃO ELÉTRICA DAS REDES DE ENERGIA QUE ALIMENTAM A ESTAÇÃO, ATRAVÉS DA ESPECIFICAÇÃO CORRETA DOS PROTETORES E CUIDADOS RELATIVOS À SUA INSTALAÇÃO	20
4.1 Introdução	20
4.2 A escolha dos protetores ideais para a rede de alimentação de energia elétrica quanto ao quesito de classe de tensão	20
4.3 Os cuidados que devem ser tomados com o final da vida útil dos protetores ..	21

4.4	Arranjo da cordoalha de aterramento e a localização ideal dos protetores.....	22
4.5	Escolha dos protetores quanto ao quesito de energia	23
4.6	Síntese geral para especificação e localização dos protetores para a rede de alimentação numa Estação Rádio	25
4.6.1	Protetor primário no padrão de energia elétrica	27
4.6.2	Protetor secundário no QDG ou na parede externa da estação	28
4.6.2.1	Protetores secundários instalados no QDG	28
4.6.2.2	Instalação na face externa da parede da estação rádio	29
4.7	Considerações finais sobre o primeiro passo	29
5	NÍVEL 2 - EQUALIZAÇÃO DOS CONDUTORES INTERNOS À EDIFICAÇÃO, ATRAVÉS DO ESTABELECIMENTO DE UMA FUNÇÃO ELÉTRICA DAS ESTEIRAS DE SUSTENTAÇÃO DA CABEAÇÃO	30
5.1	Introdução	30
5.2	A função elétrica das esteiras de sustentação	30
5.3	Efeito da interligação das esteiras metálicas.....	32
5.4	Ilustração do 2º passo.....	33
5.5	Considerações finais sobre o segundo passo	34
6	NÍVEL 3 - BLINDAGEM DA EDIFICAÇÃO ATRAVÉS DA GAIOLA DE FARADAY E A FORMAÇÃO DE UMA MALHA Densa	37
6.1	Introdução	37
6.2	A eficiência da blindagem	37
6.3	Blindagem contra campos elétricos	39
6.4	Malha de referência e formação da malha densa.....	40
6.5	Ilustração do terceiro passo.....	42
6.6	Considerações finais sobre o terceiro passo	44
7	NÍVEL 4 - ARRUMAÇÃO DA CABEAÇÃO EXTERNAMENTE AOS PRÉDIOS (PARA REDUÇÃO DOS EFEITOS PROPORCIONADOS PELO ACOPLAMENTO INDUTIVO).....	45
7.1	Introdução	45
7.2	Indutância do loop e tensão formada	45

7.3 Exemplo prático ilustrativo.....	46
7.4 Metodologia para minimizar os danos causados pelo acoplamento indutivo...	48
7.5 Considerações finais sobre o nível 4.....	51
8 NÍVEL 5 - ELIMINAÇÃO DOS ACOPLAMENTOS GALVÂNICOS ENTRE ESTAÇÕES COMPARTILHADAS (RÁDIO E CELULAR) ATRAVÉS DA INSTALAÇÃO DE PROTETORES PARA OS CABOS COAXIAIS DE INTERLIGAÇÃO.	52
8.1 Introdução	52
8.2 Melhoria da equalização da malha de aterramento.....	53
8.3 Interligação de equipamentos de estações compartilhadas.....	55
8.4 Considerações finais sobre o 5º passo	55
CONCLUSÕES.....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

RESUMO

Desenvolveu-se um estudo do modelo técnico, utilizado para adequação da proteção contra descargas atmosféricas das estações rádio da empresa de telecomunicações OI/ES, ressaltando os aspectos mais importantes como a vulnerabilidade do sistema caso a proteção não fosse implementada e as melhorias advindas com a implementação do processo.

1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

1.1 Introdução

As descargas atmosféricas são responsáveis por inúmeros danos nos sistemas de telecomunicações do planeta. Em determinadas regiões, existem períodos específicos do ano, em que os problemas ocasionados por surtos de tensão e corrente, provenientes de descargas atmosféricas são mais comuns, deixando todo um sistema de telecomunicações vulnerável e susceptível às paralisações.

Tomando uma estação rádio como base para o estudo de proteção elétrica contra descargas atmosféricas e analisando um breve histórico de ocorrências [1], percebeu-se que o maior número de incidências de descargas atmosféricas é sobre a RDEE (Rede de Distribuição de Energia Elétrica), que compreende uma parcela de aproximadamente 74% do total de incidências. Em segundo lugar, vem o número de descargas atmosféricas incidentes sobre as Torres das estações, que abrange cerca de 22% do total. Ainda resta o caso das incidências diretamente sobre os cabos telefônicos, que representam uma parcela de 4% do total, conforme mostrado no gráfico da figura 1.

Levantamentos de dados sobre os tipos de incidências.

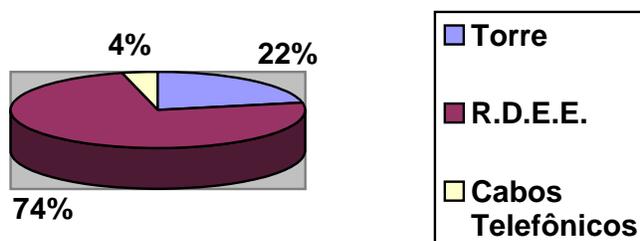


Figura 1 - Gráfico relativo à quantidade de incidências de descargas atmosféricas

1.2 Necessidade de implementação de um sistema de proteção para as estações rádio da OI no Espírito Santo

Os danos ocasionados por uma descarga atmosférica que incide direta ou indiretamente sobre uma estação rádio são bastante significativos. Existem os danos econômicos e os danos operacionais.

Os danos econômicos variam de forma proporcional à intensidade dos surtos incidentes, de maneira que, quanto mais intensa a descarga atmosférica sobre a estação, maiores serão as perdas por queima dos equipamentos. Tais equipamentos muitas vezes são de elevado valor comercial, causando para a empresa, neste caso, um prejuízo significativo.

Os danos operacionais estão ligados ao fato de que numa situação de surto de tensão ou corrente, incidente sobre uma estação rádio como a da figura 2 e ocasionados por uma descarga atmosférica, dependendo dos equipamentos afetados na ocasião, a estação em questão pode ficar fora de operação por bastante tempo. Alguns equipamentos não possuem sobressalentes para imediata substituição, o que acarreta paralisações longas numa central. Por sua vez, essas paralisações além de causar transtornos à população que necessita dos serviços locais de telefonia ocasionam perdas para a companhia, que deixa de faturar durante o período em que a estação fica fora de operação e ainda fica sujeita as penalidades da ANATEL.



Figura 2 - Estação rádio de Vitória (VTAR)

Torna-se grande a necessidade de adotar medidas preventivas para que se possa aumentar a confiabilidade e eficiência do sistema de proteção das estações rádio. Serão analisados os tipos de distúrbios que as estações podem sofrer, assim como as portas de acesso pelas quais as estações ficam susceptíveis aos surtos originados por eventuais descargas atmosféricas.

São diversos os tipos de incidências de uma descarga atmosférica sobre o ambiente de uma estação rádio e para cada tipo será estudada uma solução com o intuito de melhorar o sistema de proteção. Essas soluções serão detalhadas e ilustradas nos capítulos a seguir.

2 ESTUDO E ANÁLISE DE CRITÉRIOS DE PROTEÇÃO ELÉTRICA PARA AS ESTAÇÕES RÁDIO DA OI NO ESPÍRITO SANTO

2.1 Análise dos distúrbios e portas de acesso

Os distúrbios de origem elétrica tratados neste estudo são caracterizados como as interferências eletromagnéticas, que de alguma maneira atuam sobre o sistema de telecomunicações, provocando uma série de perturbações no ambiente elétrico das estações rádio.

As estações rádio, quase sempre estão situadas no alto de morros como mostra a figura 4. As estações rádio celulares por sua vez, geralmente ficam em regiões urbanas e possuem torres com altura superior a 50 metros. Existem ainda casos em que as estações rádio e as estações celulares partilham um mesmo ambiente, aumentando ainda mais a vulnerabilidade dos equipamentos a uma eventual descarga atmosférica.

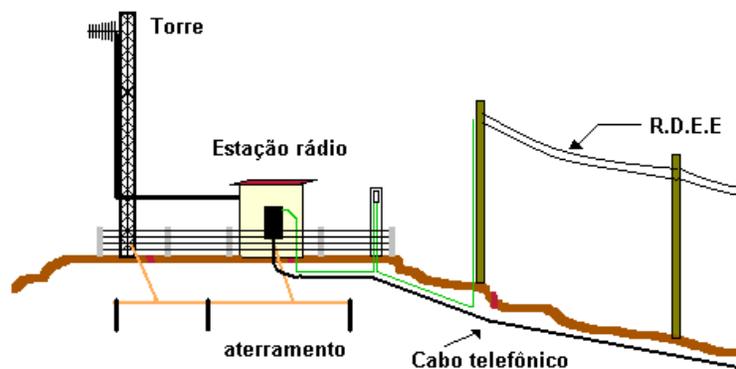


Figura 3 - Tipos de portas de acesso

Em função de suas características assim como de sua localização, as estações rádio estão sujeitas as seguintes formas de interferências eletromagnéticas:

- Surtos de tensão originados pela incidência de descargas atmosféricas sobre a rede de distribuição de energia elétrica (RDEE) conduzidos pela rede de energia e telefônica em uso mútuo de posteação;

- Transitórios da rede de energia elétrica conduzidos por ela mesma e induzidos na rede telefônica em uso mútuo de posteação;
- Descargas atmosféricas incidentes diretamente na infra-estrutura da estação base.

A seguir, será feita uma abordagem mais detalhada sobre as formas de interferência eletromagnética nas estações base. Entretanto não será tratado o caso dos transitórios da R.D.E.E., pois, embora sendo relevantes no que se refere a danos nos equipamentos, o assunto foge ao foco do trabalho, que trata dos danos ocasionados por descargas atmosféricas.

2.2 Surtos de tensão provocados por descargas atmosféricas, conduzidos pelas redes de acesso

É caracterizada como rede de acesso, todo tipo de rede de energia elétrica e telefônica, geralmente em uso mútuo na mesma posteação, como demonstra a figura 4. O grau de exposição das redes de acesso que atendem as estações rádio às descargas atmosféricas é função de diversos fatores tais como o nível ceráunico da região em questão, características das redes, tais como comprimento, se é aérea ou subterrânea, se são cabos ou fios, resistividade do solo e outros.



Figura 4 - Poste de chegada da energia da concessionária

Os distúrbios são provocados pela incidência de descargas atmosféricas diretamente sobre as redes de acesso ou na grande maioria dos casos, próximos a elas (descargas laterais).

Torna-se possível então, de maneira simplificada, descrever o distúrbio como uma onda impulsiva de corrente, que se propaga para as extremidades nas redes de acesso e em função de suas impedâncias características de surto, submetem os equipamentos terminais a um impulso de tensão. Para as descargas laterais, a distância entre a descarga atmosférica incidente e os condutores das redes de acesso é um fator importante na determinação do valor de pico da tensão impulsiva que poderá vir a atingir a estação rádio, como demonstrado na figura 5.

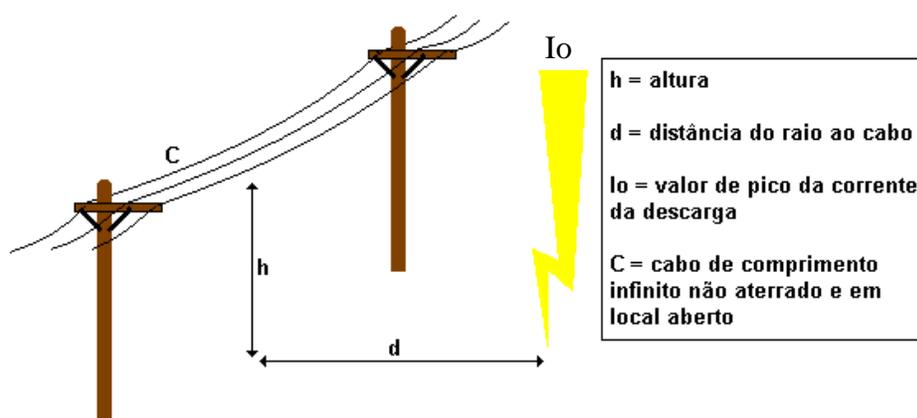


Figura 5 - Incidência de descarga atmosférica nas proximidades da R.D.E.E

Na tabela a seguir [1] são indicadas estimativas dos valores típicos de tensão de surto que podem ser atingidos no caso de descargas atmosféricas laterais.

Tabela 1- Valores de tensão induzida para diferentes distâncias de incidência

d = distância (km)	I ₀ = valor de pico (kA)	Vinduzida (Volts)
0,8	2	500
12	34	500
40	100	500
5	34	1400
2,2	34	2800
1	34	7000
1	50	10000
0,1	50	100000

Como pode se observar na tabela 1, os surtos induzidos podem assumir valores elevadíssimos, ocasionando riscos à segurança pessoal, além de sérios danos aos equipamentos. Vale ressaltar ainda que, conforme mencionado anteriormente, os surtos conduzidos pelas redes de acesso representam a grande maioria dos casos de danos aos equipamentos contidos nas estações rádio da OI.

2.3 Descargas atmosféricas incidentes diretamente sobre a infra-estrutura das estações rádio

As descargas incidentes diretamente sobre a infra-estrutura das estações rádio, na maioria dos casos sobre as torres de sustentação das antenas, geralmente ocasionam danos mais elevados aos equipamentos.

Os elementos mais importantes quando se analisa a incidência de uma descarga atmosférica diretamente sobre a infra-estrutura são:

- Aterramento;
- Blindagem;
- Arranjo e equalização de potenciais da cabeção;
- Protetores.

Analisando os surtos ocorridos após descargas atmosféricas sobre as estações rádio, tornou possível identificar como principais causas, os problemas associados aos *loops*, ao campo elétrico e à deficiência de equalizações envolvendo a malha de terra e condutores (acoplamento resistivo). Alguns desses itens serão tratados mais detalhadamente a seguir:

Acoplamento indutivo: são impulsos de tensão que ocorrem devido à circulação de corrente nos *loops* existentes na cabeção interna e externa da estação rádio.

Problemas associados ao campo elétrico (acoplamento capacitivo): ocorrem devido ao acoplamento do campo elétrico com os condutores existentes na estação rádio, submetendo-os a surtos de tensão.

Deficiência de equalizações de potencial na malha de aterramento: ocorrem quando a descarga atmosférica incide na torre e provoca uma elevação de potencial

desigual em pontos diversos da malha de aterramento. Como as ligações à terra são efetuadas em diferentes pontos da malha de aterramento, ocorre uma diferença de potencial entre os mesmos como pode ser verificado na figura 6.

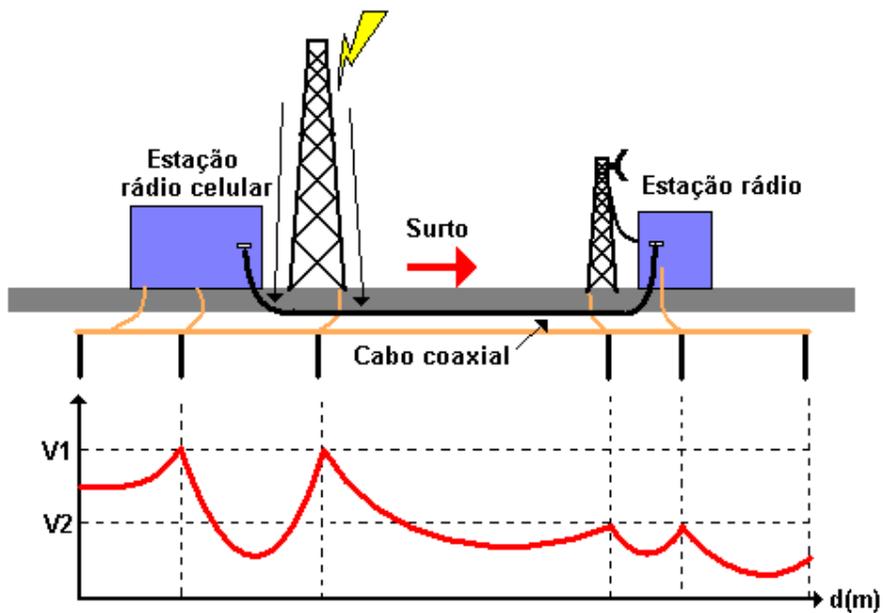


Figura 6 - Diferenças de potencial ao longo da malha de aterramento

3 ESTUDO DETALHADO DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NAS ESTAÇÕES RÁDIO DE MÉDIA E ALTA CAPACIDADE DA OI

3.1 Metodologia dos cinco níveis

Através da análise feita nos tópicos anteriores, ficou evidente a necessidade de implementação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas nas estações rádio, em função da vulnerabilidade à qual estão sujeitas, assim como as conseqüências (prejuízos e suspensão de serviços) que possam eventualmente ser ocasionadas por um surto não protegido.

Serão feitas abordagens sobre a melhora no desempenho das estações rádio no que diz respeito à adequação das estações já existentes na planta, assim como alterações nos projetos de novas estações que possam ser instaladas. O estudo também fará menção aos casos de compartilhamento de estruturas (caso em que uma estação rádio celular divide espaço físico das instalações de uma estação rádio local).

Estão relacionadas a seguir as principais recomendações técnicas a serem adotadas a fim de implementar o sistema de proteção contra os surtos provocados por uma descarga atmosférica em uma estação rádio já existente na planta (que foram tomadas como piloto). São elas:

- Adequação da proteção elétrica das redes de energia elétrica de alimentação;
- Arrumação de condutores internamente e externamente aos prédios (para reduzir os acoplamentos indutivos proporcionados pelos *loops*);
- Acesso dos condutores à edificação da estação rádio por um único ponto para equalização dos potenciais;
- Estabelecimento de uma função elétrica das esteiras de suporte da cabeaço interna das estações rádio (para reduzir as tensões devido à impedância de transferência);

- Blindagem da edificação e dos condutores internamente e externamente à edificação (para reduzir os efeitos causados pelo acoplamento capacitivo, que está relacionado ao campo elétrico);
- Adequação e correção da malha de terra (para reduzir os efeitos do acoplamento resistivo);
- Instalação de protetores para os cabos coaxiais de ligação para os casos em que uma estação rádio local é interligada a uma estação rádio celular.

Tais recomendações podem de forma genérica, ser aplicadas a novos projetos assim como para estações já existentes na planta.

Para alcançar uma melhoria significativa no desempenho dessas infra-estruturas, com uma redução de custos compatível (levando em conta a relação custo benefício para cada estação) foi desenvolvido um roteiro seqüencial de cinco níveis, associados a uma espécie de “prioridade”, originado das recomendações técnicas mais importantes listadas anteriormente.

Nível-1: Adequação da proteção elétrica das redes de energia que alimentam a estação, através da especificação correta dos protetores e cuidados relativos à sua instalação;

Nível-2: Equalização dos condutores internos à edificação, através do restabelecimento da função elétrica das esteiras de sustentação da cabeção;

Nível-3: Blindagem da edificação através da gaiola de Faraday e a formação de uma malha densa;

Nível-4: Arrumação da cabeção externamente aos prédios (para redução dos efeitos proporcionados pelo acoplamento indutivo);

Nível-5: Eliminação dos acoplamentos galvânicos entre estações compartilhadas (rádio e celular) através da instalação de protetores para os cabos coaxiais de interligação.

4 NÍVEL 1 - ADEQUAÇÃO DA PROTEÇÃO ELÉTRICA DAS REDES DE ENERGIA QUE ALIMENTAM A ESTAÇÃO, ATRAVÉS DA ESPECIFICAÇÃO CORRETA DOS PROTETORES E CUIDADOS RELATIVOS À SUA INSTALAÇÃO

4.1 Introdução

A adequação da proteção elétrica das redes elétricas de alimentação de energia elétrica é um passo importantíssimo para a melhoria do desempenho das estações rádio frente aos distúrbios de origem elétrica e atmosférica, visto que esses tipos de distúrbios são responsáveis por aproximadamente 75% das paralisações.

Os danos causados por descargas atmosféricas intensificam-se todo ano no período chuvoso, compreendido entre os meses de novembro e março. É nesse período que se registra o maior número de queima e paralisações de equipamento.

4.2 A escolha dos protetores ideais para a rede de alimentação de energia elétrica quanto ao quesito de classe de tensão

Tomando como base para escolha dos protetores, dados comerciais e componentes de fácil aquisição, o varistor será adotado como principal componente de proteção da rede de alimentação de energia elétrica. O produto em questão mais comum no mercado é constituído por um sistema de supressores a base de silício, e é sobre esse equipamento que será detalhado o estudo.

Os varistores são resistores cuja resistência varia com a tensão aplicada sobre seus terminais. Quando essa tensão é inferior à tensão de disparo do varistor, este apresenta apenas uma pequena corrente de fuga em seus terminais. Entretanto, quando uma sobretensão aparece, a resistência interna do varistor diminui, provocando um curto-circuito instantâneo, impedindo que a sobretensão atinja os equipamentos. Assim que o surto desaparece, o varistor retoma seu estado original e fica pronto para atuar novamente.

A especificação correta de um varistor, em termos de energia e classe de tensão é fundamental para uma melhor performance e prolongamento de sua vida útil. Partindo do ponto “classe de tensão” deve-se ficar atento a algumas restrições:

Tensão de trabalho muito baixa: pode comprometer o varistor em três situações:

I – na redução da tensão clamping (tensão de disparo do varistor) em função dos surtos de corrente drenados durante a vida útil;

II – na elevação de potencial do ponto neutro da rede de energia elétrica durante a ocorrência de curtos-circuitos entre fases ou entre fase e terra;

III – devido a problemas de regulação de tensão das redes de energia elétrica.

Tensão de trabalho muito elevada: haverá o comprometimento dos componentes eletrônicos dos circuitos a serem protegidos. Esse aspecto ainda pode se agravar nos casos em que ocorrem surtos com valores de pico de correntes elevados, pois os varistores apresentam resistência interna elevada e assim, a tensão residual aplicada no equipamento será maior.

4.3 Os cuidados que devem ser tomados com o final da vida útil dos protetores

Outra restrição que deve ser atendida a fim de garantir um funcionamento perfeito e seguro do sistema, diz respeito aos cuidados com o final da vida útil dos protetores equipados com varistores. O final desses protetores sempre será a sua destruição por queima ou explosão, trazendo danos aos ambientes onde se encontram.

Com a finalidade de evitar esses riscos e danos torna-se necessária a utilização de um “dispositivo sensor de final de vida útil”, que retire de serviço os protetores equipados com varistores, antes de sua destruição por explosão ou incêndio.

Esse dispositivo é bastante simples, sendo constituído por *leds* (figura 7) que indicam com antecedência se o protetor está hábil para continuar em funcionamento ou se necessita de substituição imediata. Para o caso das estações rádio de menor criticidade, onde visando a redução de custos, utiliza-se apenas o supressor do

transiente (o varistor), sem o encapsulamento completo do protetor e portando sem o dispositivo sensor de final de vida útil, torna-se indispensável alguns cuidados com o local de instalação dos protetores, de forma que, no caso de queima ou explosão, não danifiquem nenhum equipamento à sua volta e possam ser substituídos sem maiores problemas.



Figura 7 - LEDs demonstrativos de final de vida útil dos varistores

4.4 Arranjo da cordoalha de aterramento e a localização ideal dos protetores

A definição dos critérios para a ligação dos protetores ao aterramento (como mostra a figura 8) torna-se bastante relevante, pois quando são utilizados grandes comprimentos de cordoalha de aterramento, com curvas ou “quinas”, haverá uma queda de tensão elevada ao longo desse condutor.

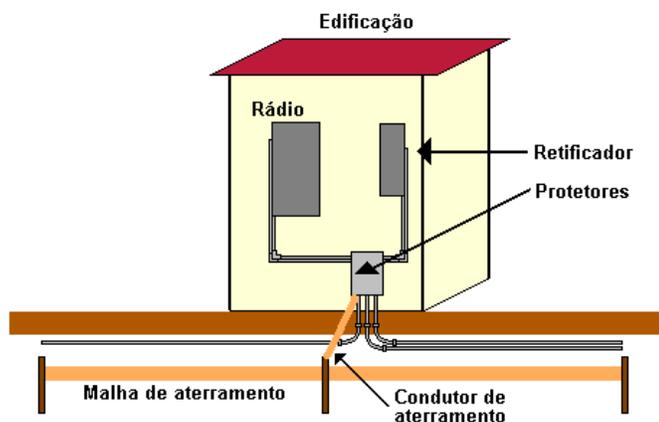


Figura 8 - Localização dos protetores próximos à malha de terra

Dessa forma estabelece-se como critério que, o condutor de aterramento deve ser o mais curto possível, além de possuir caminhos diretos e independentes, evitando-se curvas (mostrado na figura 9), o que representaria aumento significativo de sua impedância e conseqüentemente, uma maior tensão residual aplicada ao equipamento protegido. Adota-se também como alternativa para a redução da indutância natural dos condutores de aterramento a substituição destes condutores, que possuem formato cilíndrico, por cordoalhas chatas, barras finas ou fitas de cobre, cuja impedância é quase nula.

Tomando as informações acima como base, conclui-se que o melhor desempenho do sistema de proteção será obtido quando o protetor for instalado junto ou dentro do equipamento a ser protegido, com seu “terra” ligado à carcaça deste, que por sua vez deverá estar naturalmente ligada à malha de aterramento da estação rádio.

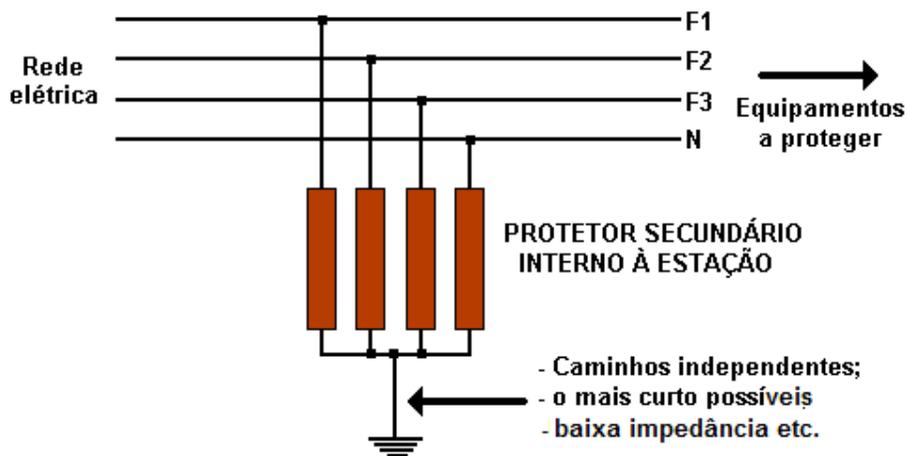


Figura 9 - Esquema de ligação dos protetores à alimentação

4.5 Escolha dos protetores quanto ao quesito de energia

Mais um fator importante na escolha dos protetores a serem instalados para a proteção das redes de alimentação de energia elétrica, é o conhecimento da energia imposta pelos distúrbios causados pelas descargas atmosféricas nessas redes. Para isso, deve-se especificar um surto que represente o valor médio de energia e assim permitir um dimensionamento qualitativo dos protetores.

Esse capítulo trata das proteções para a rede elétrica, no entanto, como está sendo analisada a escolha de protetores partindo do quesito “energia”, deve ser considerado também que parte das correntes incidentes nas torres e antenas retornarão pela rede de energia elétrica. Considera-se para o estudo que a rede de energia elétrica tem comprimento infinito, a impedância de surto é da ordem de 400 ohms e as tensões desenvolvidas não romperão o dielétrico da posteação da rede.

Existe ainda a possibilidade crítica, que trata do rompimento do nível básico de isolamento das estruturas de sustentação onde encontram-se instalados os cabos de energia elétrica, devido aos elevados valores de tensões aplicados no momento da descarga atmosférica. Nesse caso, a impedância da rede, que antes era estimada em 400 ohms, se reduz drasticamente e uma parcela muito maior de corrente de surto retornará pela rede. Essa última possibilidade é um pouco mais realista, tendo em vista que as tensões envolvidas na incidência direta de uma descarga atmosférica sobre uma infra-estrutura assume sempre valores elevadíssimos, que quase sempre levarão à ruptura do nível básico de isolamento das estruturas de sustentação.

Falta agora definir a intensidade das eventuais descargas atmosféricas que os protetores terão de suportar. Descargas elevadas são raríssimas, portanto para o estudo serão estimadas descargas da ordem de 100 kA e ainda assim levando em consideração alguns fatores que são:

- a probabilidade estatística da ocorrência de uma descarga atmosférica de 100 kA é da ordem de 1%;
- soma-se a isso o fato de que essa descarga tem que incidir diretamente na rede de energia elétrica ou na torre;
- e que, no caso da incidência direta na rede de energia elétrica, que seja no último poste ou entre os dois últimos postes.

Assim, chega-se a uma probabilidade do tipo, uma descarga atmosférica da ordem de 100 kA incidindo na torre da estação para cada 50 anos. Mas considerando sua incidência, tem-se que a corrente drenada por cada protetor é da ordem de 12,5 kA para as redes trifásicas (4 fios) e 17,3 kA para as redes bifásicas (3 fios) [2].

4.6 Síntese geral para especificação e localização dos protetores para a rede de alimentação numa Estação Rádio

Analisando todas as considerações feitas no estudo sobre os protetores para a rede de alimentação de energia elétrica, possibilita-se agora a confecção de um resumo didático para a implementação do primeiro passo no que diz respeito à escolha do tipo e a localização ideal dos protetores a serem utilizados:

- a proteção da R.D.E.E deve ser constituída por protetores de sobretensão, podendo, de preferência, ser varistores ou outros elementos de estado sólido compatíveis;
- os protetores devem ser dimensionados para atuar sobre a tensão nominal de serviço das estações rádio, de forma que não sejam comprometidos por um eventual funcionamento não dimensionado;
- a corrente de surto no momento da descarga atmosférica deve ser da ordem de no máximo 20kA por protetor, mas levando em conta o estresse provocado pelos surtos múltiplos (que são quase 100% dos casos), estabelece-se um coeficiente de segurança igual a 2, encontrando-se o valor de 40 kA;
- os protetores devem possuir um dispositivo do tipo *fail safe* (falha segura contra incêndios e explosões em final de vida útil). Nos casos onde utiliza-se apenas o supressor do transiente (apenas o varistor) deve-se instalar os protetores em local adequado, protegido e de fácil acesso para substituição e verificação.

Quanto à localização ideal dos protetores, pode-se fazer as seguintes considerações finais:

- a utilização de dois conjuntos de protetores distintos para as estações rádio (protetor primário e protetor secundário, como mostra a figura 10), assegura uma redundância da proteção elétrica para esse ambiente, visto que no caso de falha em um deles, existirá outro protetor instalado e em operação;

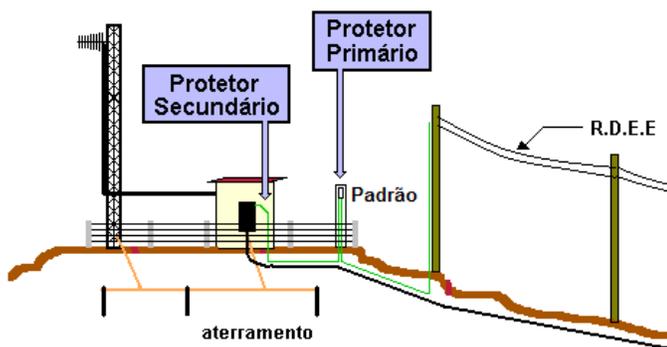


Figura 10 - Localização dos protetores primários e secundários

- caso a companhia concessionária de distribuição de energia elétrica disponha de proteção adequada em sua rede de baixa tensão (como mostra a figura 11), estando esse dispositivo localizado no poste de onde se deriva o ramal de alimentação da estação rádio, o protetor primário, que é instalado no padrão de energia das estações, pode ser dispensado.

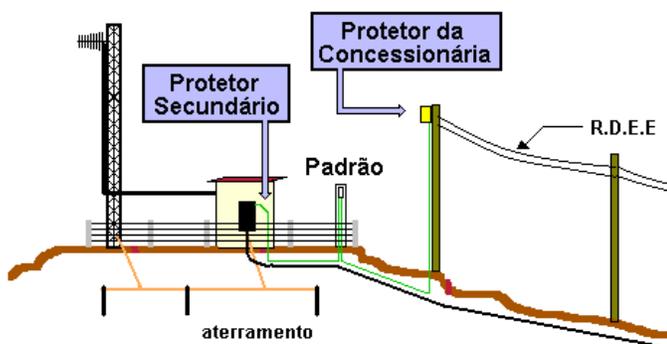


Figura 11 - Localização dos protetores da concessionária de energia elétrica

A seguir, será ilustrada a forma de instalação e localização detalhada, dos protetores a nível primário (figuras 12 e 13) e secundário (figuras 14,15 e 16) de uma estação rádio:

4.6.1 Protetor primário no padrão de energia elétrica

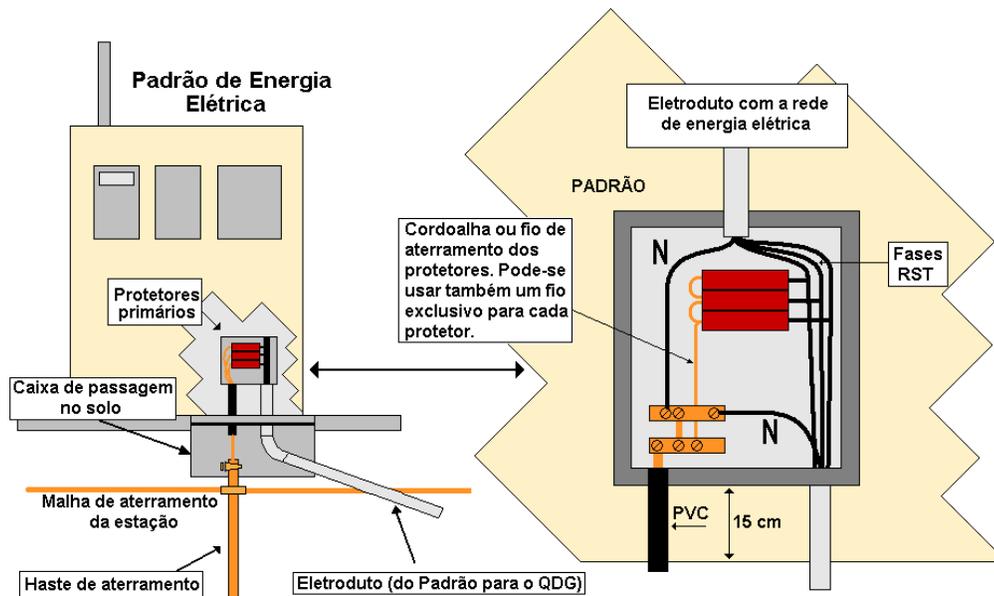


Figura 12 - Instalação dos protetores primários

Observações:

Os protetores poderão ser instalados na “caixa de passagem no solo”, desde que as mesmas não sejam inundadas;

Os protetores poderão ser instalados na posição vertical ou horizontal, a fim de possibilitar a interligação com o menor comprimento possível (evitando assim quedas de tensão elevadas sobre o condutor, como mencionado anteriormente).



Figura 13 - Instalação dos protetores primários no Padrão de Energia Elétrica

4.6.2 Protetor secundário no QDG ou na parede externa da estação

A instalação dos protetores secundários pode se dar de duas maneiras:

- Quando o QDG se localizar junto à parede externa da estação ou próxima a ela, os protetores secundários devem ser instalados no próprio QDG desde que o aterramento dos protetores sejam ligados ao anel de aterramento externo;
- Caso o QDG se localize no interior da estação, os protetores devem ser instalados na parede externa da estação e o seu condutor de aterramento, ligado ao anel de aterramento externo.

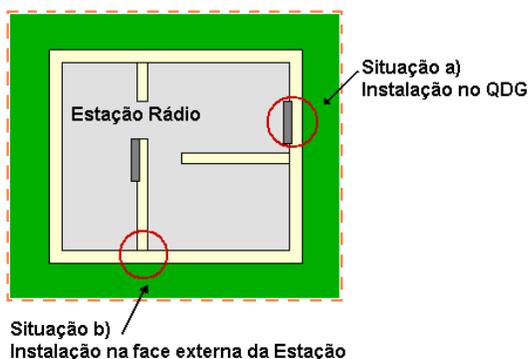


Figura 14 - Possíveis localizações do Quadro de Distribuição Geral

4.6.2.1 Protetores secundários instalados no QDG

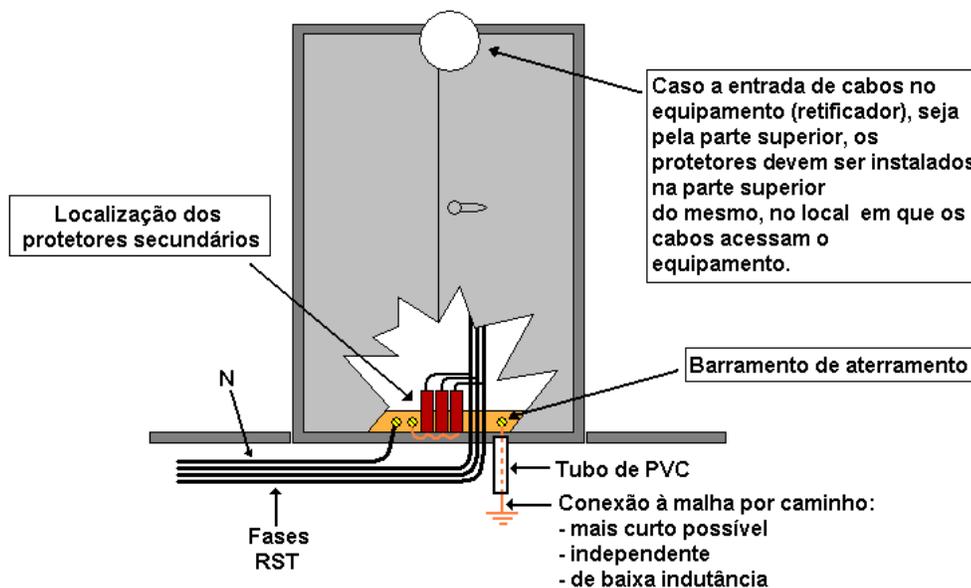


Figura 15 - Instalação dos protetores secundários no QDG

4.6.2.2 Instalação na face externa da parede da estação rádio

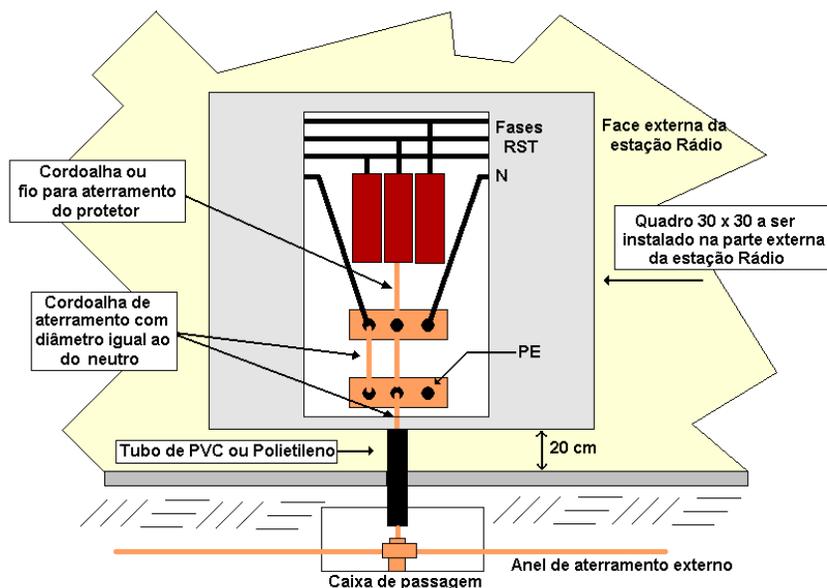


Figura 16 - Instalação dos protetores secundários na parede externa da estação rádio

4.7 Considerações finais sobre o primeiro passo

Um trabalho bem realizado na adequação da proteção elétrica das redes de alimentação de energia elétrica, que alimentam a infra-estrutura de uma estação rádio, resultará em uma melhoria no desempenho das estações de, no mínimo 75% em relação aos casos de danos e paralisações ocasionados por descargas atmosféricas de qualquer espécie.

Os custos para implementação do 1º passo são relativamente baixos, mesmo incluindo a mão-de-obra e o material utilizado. Tomando em vista que determinados danos na estação, ocasionados por descargas atmosféricas acarretariam custos elevadíssimos de substituição de equipamentos e reparo (muito maiores que os custos de implementação do 1º passo), conclui-se que a adequação da proteção elétrica das redes de alimentação de energia elétrica é um procedimento de ótimo custo-benefício, satisfazendo por completo o propósito principal do projeto.

Por fim, vale ressaltar que o 1º passo deverá ser obrigatório para todas as estações rádio da planta, independente de sua criticidade. É portanto, o critério mínimo de proteção a ser implementado.

5 NÍVEL 2 - EQUALIZAÇÃO DOS CONDUTORES INTERNOS À EDIFICAÇÃO, ATRAVÉS DO ESTABELECIMENTO DE UMA FUNÇÃO ELÉTRICA DAS ESTEIRAS DE SUSTENTAÇÃO DA CABEAÇÃO

5.1 Introdução

O foco principal desse item é estabelecer uma das funções elétricas das esteiras de sustentação da cabeção interna de uma estação rádio, que têm como finalidade principal, desviar os surtos de corrente devido aos vários *loops* formados pelos cabos (originando o acoplamento indutivo), bem como amenizar os surtos de tensão originados pela cabeção devido ao acoplamento capacitivo.

5.2 A função elétrica das esteiras de sustentação

As esteiras metálicas que sustentam a cabeção nas estações rádio da OI, no seu projeto original, possuem apenas função mecânica, sendo desprezada a utilidade elétrica das mesmas.

Uma eventual modificação no projeto, de forma a restabelecer as funções elétricas das esteiras de sustentação, tiraria proveito da capacidade de indução eletromagnética sobre os materiais metálicos que compõem as esteiras, com o intuito de desviar e conduzir os surtos de tensão e corrente originados pelos acoplamentos nos cabos sustentados por estas, devido a uma descarga atmosférica.

Ainda no que diz respeito aos projetos originais das estações rádio da OI, as esteiras funcionariam apenas como elemento de sustentação mecânica, desconectada eletricamente entre as seções, esteiras, bastidores (espécie de armário onde são alocadas as placas dos equipamentos) e carcaças dos diversos equipamentos instalados no ambiente elétrico das centrais.

Na figura 17, é importante notar o *loop* formado pelos dois bastidores, o condutor de interligação de transmissão entre equipamentos, a malha de aterramento da estação e a esteira de sustentação mecânica, que está desconectada eletricamente dos dois bastidores.

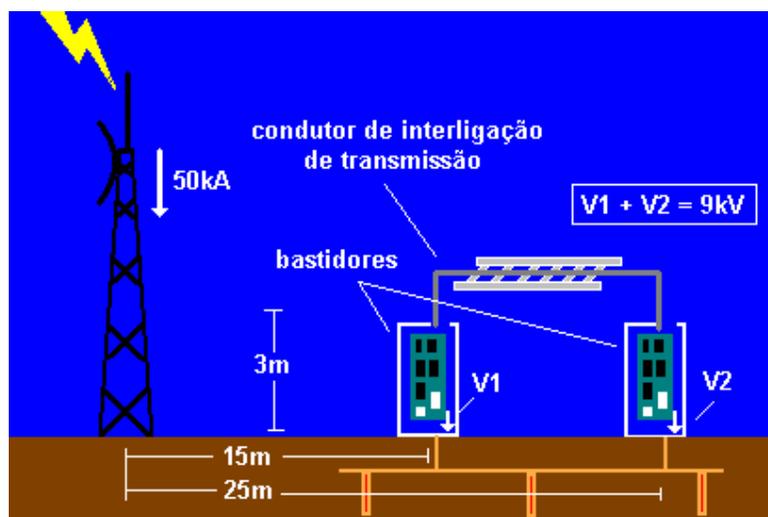


Figura 17 - Loop formado pela interação das esteiras de sustentação com os bastidores dos equipamentos

Uma eventual descarga atmosférica incidente sobre a torre da estação rádio, ocasionaria uma indução magnética que atuaria sobre os dois bastidores afastados respectivamente 10 e 15 metros da torre, que por sua vez provocará uma tensão de surto da ordem de 9 kV entre os pontos de isolamento dos circuitos interiores aos bastidores, em relação à carcaça aterrada dos mesmos [3], como mostra a figura 18.

Levando em conta, que o valor médio de um nível de isolamento da carcaça de um desses bastidores em questão, é da ordem de 1,5kV, os 9 kV da tensão de surto ocasionada pela descarga atmosférica seriam mais que suficientes para romper o dielétrico entre os circuitos eletrônicos e as carcaças dos bastidores. Isso ocasionaria um arco elétrico e a circulação de uma corrente de surto da ordem de 200A pelos circuitos eletrônicos e em função da suscetibilidade dos seus componentes eletrônicos, provocaria danos nos mesmos.

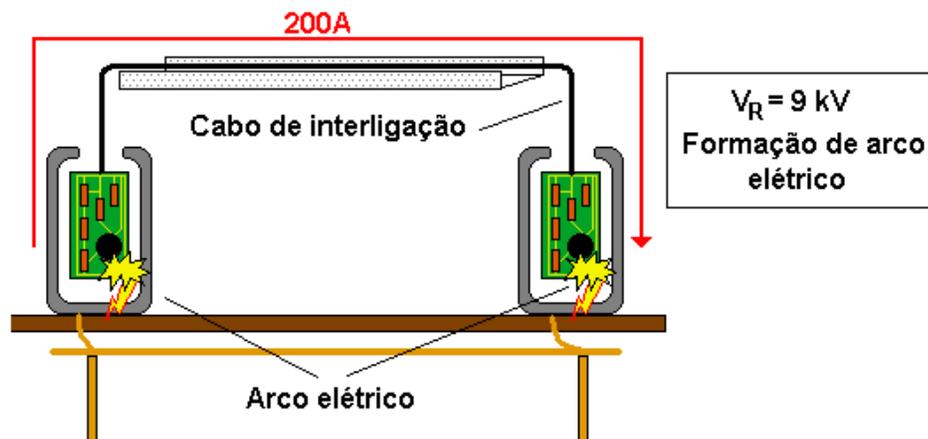


Figura 18 - Formação de arco elétrico nos bastidores não conectados às esteiras de sustentação

5.3 Efeito da interligação das esteiras metálicas

Para a situação ilustrada na figura 18, os efeitos de uma eventual conexão das esteiras de sustentação aos bastidores dos equipamentos, via cordoalha de cobre, como mostrado na figura 19, reduziria a tensão de surto de 9 kV para cerca de 760 V [4].

Levando em consideração que essa redução significativa da tensão de surto que incidiria sobre o equipamento não seria suficiente para romper o dielétrico entre as carcaças dos bastidores e os circuitos eletrônicos, conclui-se que o arco elétrico não seria formado, preservando a integridade dos equipamentos.

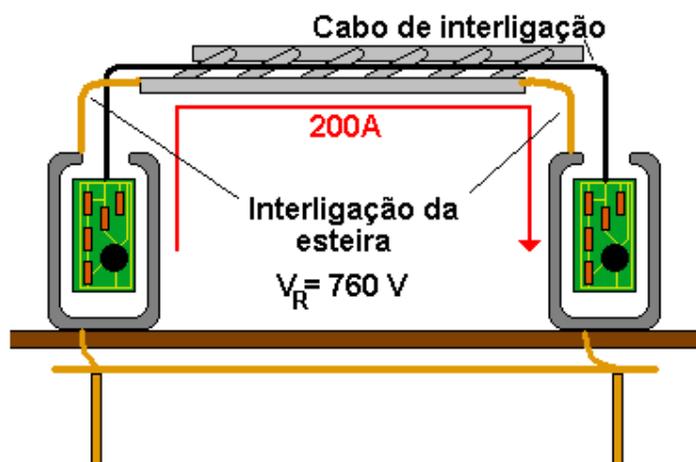


Figura 19 - Interligação das esteiras de sustentação aos bastidores dos equipamentos

5.4 Ilustração do 2º passo

Nas figuras 20, 21 e 22, será ilustrado o segundo passo, com o intuito de facilitar a compreensão, assim como ressaltar detalhes sobre este item do projeto:

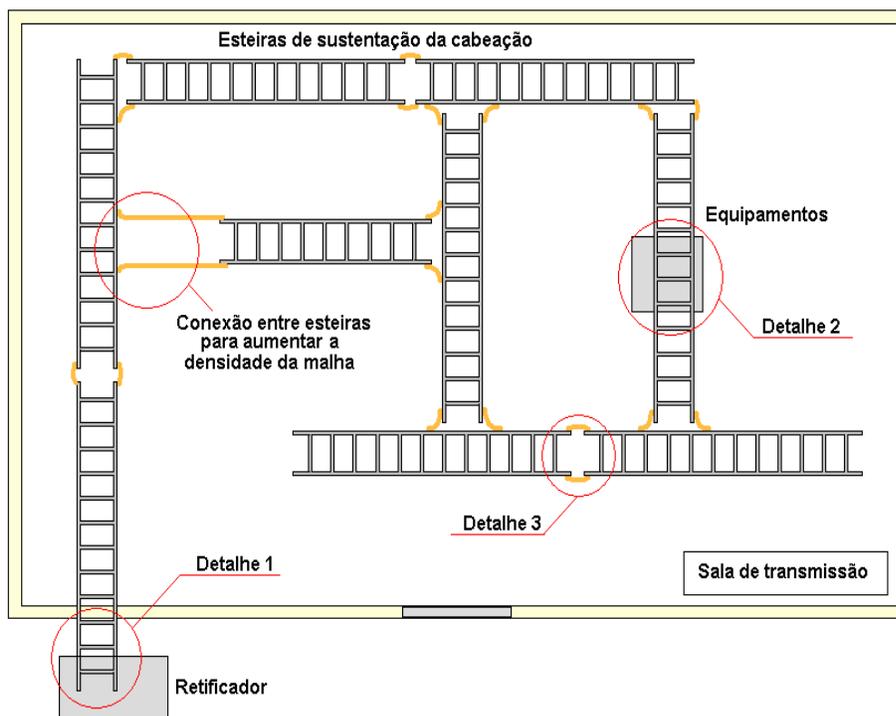


Figura 20 - Vista superior das esteiras de sustentação e suas conexões

Detalhes 1 e 2 de interligação das esteiras metálicas de sustentação da cabeção:

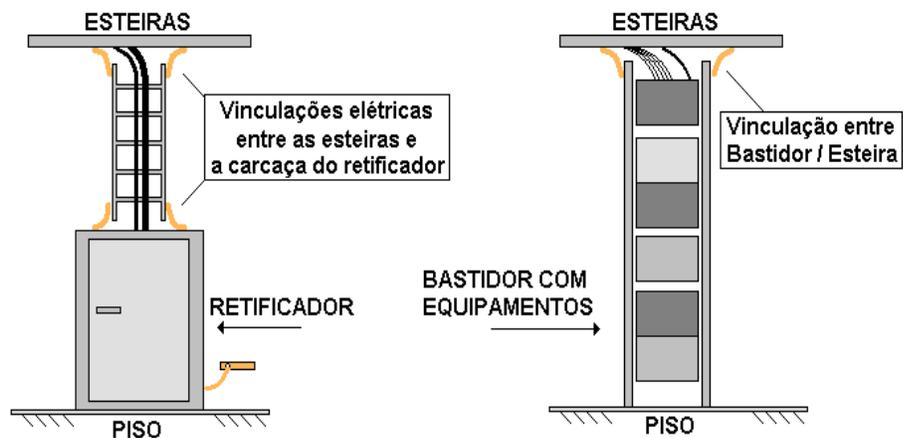


Figura 21 - Conexões das esteiras com o retificador e os bastidores

Detalhe 3 - Materiais e métodos para se restabelecer a continuidade elétrica entre seções das esteiras e bastidores:

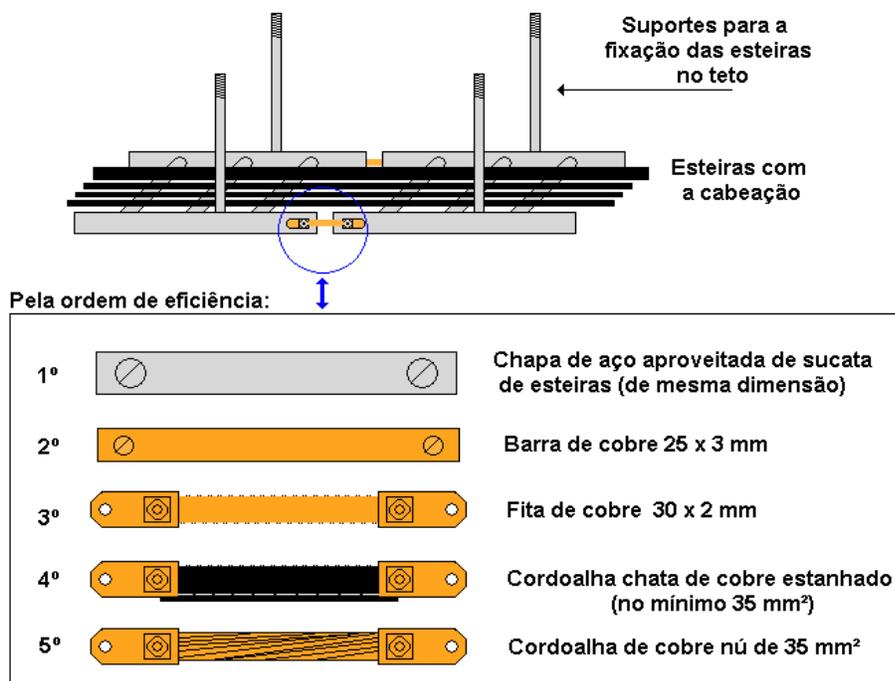


Figura 22 - Tipos de conexões para a interligação das esteiras metálicas de sustentação

5.5 Considerações finais sobre o segundo passo

As considerações feitas neste capítulo, referentes ao estabelecimento de uma das funções elétricas das esteiras metálicas de suporte, podem ser resumidas a seguir e ilustradas nas figuras 23,24 e 25.

- As esteiras, calhas, canaletas, etc, devem ser obrigatoriamente interligadas aos bastidores onde se encontram os equipamentos, via cabos de interligação metálicos;
- As esteiras devem possuir continuidade elétrica ou galvânica em todo o ambiente das estações rádio.



Figura 23 - Detalhe da conexão da esteira metálica com o bastidor de e equipamentos



Figura 24 - Detalhe da continuidade elétrica da esteira metálica interligada ao retificador da estação rádio



Figura 25 - Cordoalhas de cobre garantindo a continuidade elétrica das esteiras de sustentação

A interligação entre as esteiras de sustentação e os bastidores por meio de materiais metálicos, proporciona a continuidade elétrica do meio interior à estação permitindo desta maneira uma equalização do sistema assim como um caminho único para que ocorra o desvio de um eventual surto provocado por uma descarga atmosférica. Isto confere maior confiabilidade ao sistema de proteção da estação rádio e passa a ser um critério indispensável.

6 NÍVEL 3 - BLINDAGEM DA EDIFICAÇÃO ATRAVÉS DA GAIOLA DE FARADAY E A FORMAÇÃO DE UMA MALHA DENSA

6.1 Introdução

Uma das alternativas mais efetivas para a redução dos efeitos de campos eletromagnéticos ocasionados por uma descarga atmosférica e que eventualmente possam afetar um equipamento ou o ambiente de uma estação rádio no qual este equipamento está instalado, é a adoção de blindagens envolvendo esses ambientes ou equipamentos.

É possível obter um efeito de blindagem sobre um ambiente através da construção de um envoltório metálico completamente fechado em torno deste ambiente ou do equipamento a ser blindado. No entanto, a construção dessa “caixa metálica” hermeticamente fechada é impossível, visto que é necessária a abertura da mesma para possibilitar a interligação elétrica entre os diversos ambientes de uma estação rádio, por exemplo.

6.2 A eficiência da blindagem

Utilizando a figura 26 para ilustrar o caso nota-se que: a onda incidente do ambiente “A” na parede da caixa terá uma parcela refletida e outra penetrando no seu interior. A parcela que penetra encontrará a outra superfície da parede e novamente uma parte será refletida e outra atravessará a parede para o ambiente “B”.

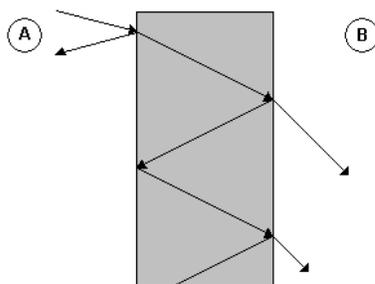


Figura 26 - Comportamento de uma onda incidente sobre uma parede metálica

A eficiência da blindagem representada por esta “caixa” é a relação entre a amplitude da onda que atinge o meio “B” e a amplitude da onda incidente oriunda do meio “A”.

A profundidade de penetração de uma onda incidente sobre uma estrutura metálica pode ser calculada através da seguinte equação:

$$\delta = 0,06609 / (\sqrt{f \cdot \mu_r \cdot \Gamma_r}) \text{ [m]} \quad (1)$$

Onde δ é a profundidade de penetração da onda em metros, f é a frequência da onda incidente em Hz, μ_r é a condutividade relativa em relação ao cobre e Γ_r é a permeabilidade relativa em relação ao vácuo.

A tabela 2 apresenta alguns valores de profundidade de penetração para o cobre em determinadas frequências:

Tabela 2 - Profundidade de penetração de uma onda em função da frequência da mesma

Frequência [Hz]	Profundidade de penetração
60	8,5 mm
1k	2,09 mm
100k	0,21 mm
1000k	2,6 mils
10000k	0,82 mils
100000k	0,26 mils
1000000k	0,0823 mils

Tomando como base a figura 26 e a tabela 2, pode-se concluir que, se a espessura da parede da blindagem for muito maior que a profundidade de penetração da onda para uma dada frequência, a parcela que atingirá a parede interna da blindagem já estará muito atenuada, podendo ser desconsiderada.

6.3 Blindagem contra campos elétricos

O principal ofensor de uma estação rádio no caso de um surto provocado por uma descarga atmosférica é o campo elétrico oriundo do acoplamento capacitivo, que incide sobre os condutores existentes na estação rádio, submetendo-os a surtos de tensão. Para proteger uma estação rádio contra esses campos elétricos, não é necessária a construção de uma blindagem completamente fechada, mas sim de uma “caixa metálica vazada” constituída somente pelas arestas a qual denomina-se “Gaiola de Faraday”.

A explicação do funcionamento da Gaiola de Faraday, de maneira simplificada, pode ser entendida como segue:

“Sendo o comprimento físico de um condutor, da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda incidente nesse condutor, acarretará neste condutor, o surgimento de diferenças de potencial ao longo de seu comprimento.”

Portanto, para uma onda incidente de determinado comprimento de onda (λ), se as arestas da Gaiola forem de comprimento significativamente menor que o comprimento de onda (λ) ($\lambda/20$ ou até mesmo $\lambda/10$), então, as diferenças de potencial ao longo deste condutor serão mínimas. Em termos práticos, conhecendo o comprimento da onda incidente, é possível dimensionar a Gaiola de Faraday (figura 27) a fim de se obter um bom efeito de blindagem para os campos elétricos causados pelos surtos.

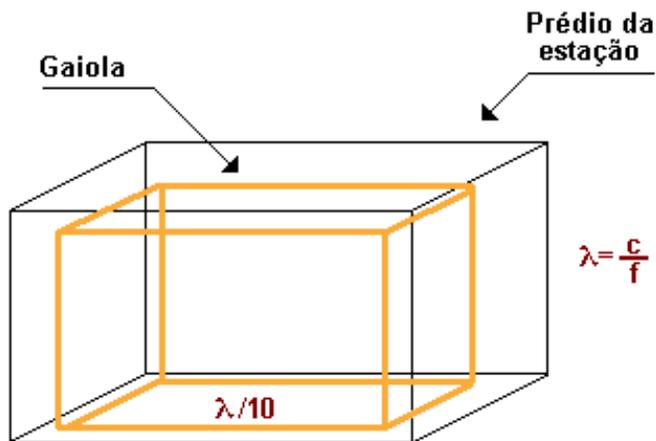


Figura 27 - Gaiola de Faraday

Considerando que a frequência média de uma descarga atmosférica é da ordem de 150 kHz (que necessitaria um comprimento de aresta de no máximo 200 metros) e que a maior aresta de uma estação rádio da planta da OI, tem em média 3 metros de comprimento (quase 70 vezes menor que o necessário para suprir o campo elétrico), percebe-se que o efeito de blindagem será satisfatório caso seja implementada uma Gaiola de Faraday no interior desta estação.

Tabela 3 - Tamanho mínimo para a aresta da Gaiola De Faraday em função da frequência do surto incidente

Frequência em Hz	Aresta do cubo (para $\lambda/10$) em metros
150k (D.A.)	200
200k	150
1M	30
10M	3
100M	0,3

Pela tabela 3 é possível notar também que, como o comprimento máximo de uma aresta de uma estação rádio construída na planta é de 3 metros, descargas atmosféricas com frequência de até 10 MHz poderiam ser contidas no que diz respeito ao campo elétrico originado pelo surto.

Desta forma, nota-se que a Gaiola de Faraday formada somente por condutores metálicos é uma alternativa viável (do ponto de vista econômico) e muito eficaz (do ponto de vista técnico) para se obter uma blindagem satisfatória para o ambiente das estações rádio.

6.4 Malha de referência e formação da malha densa

A formação da malha de referência no ambiente das estações rádio será dada pela restauração das funções elétricas das esteiras, através do restabelecimento de suas continuidades elétricas seção a seção e bastidor a bastidor, justamente como demonstrado no capítulo anterior, que demonstrava a implementação do segundo passo.

Assim, um segundo objetivo da interligação das esteiras para as estações rádio, é a formação de uma malha de equalização no teto como mostrado na figura 28, uma vez que a construção de uma malha de referência no piso seria inviável para as estações já construídas.

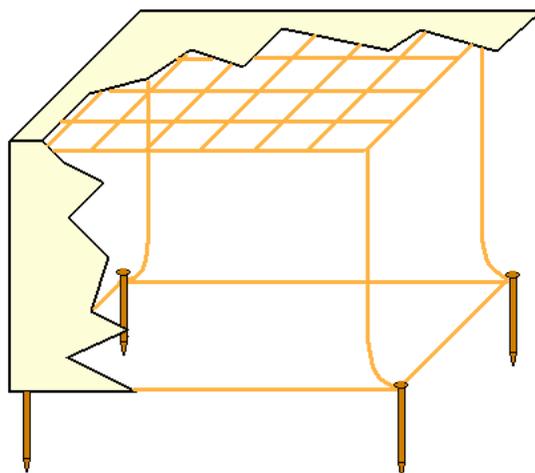


Figura 28 - Gaiola de Faraday com malha superior de equalização

Sendo assim, numa estação rádio já implantada, a atuação conjunta do segundo com o terceiro passo (interligando as esteiras com continuidade elétrica garantida à Gaiola de Faraday como na figura 29), asseguraria a formação de uma malha densa, garantindo assim um nível de proteção contra surtos provocados por descargas atmosféricas considerável.

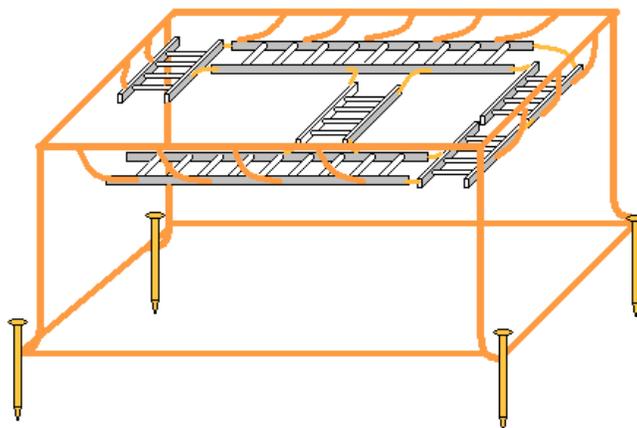


Figura 29 - Interligação da Gaiola de Faraday com as esteiras de sustentação

6.5 Ilustração do terceiro passo

A seguir, serão apresentadas algumas figuras (figuras 30, 31, 32 e 33) que ilustram a forma de construção da Gaiola de Faraday, bem como a formação da malha densa.

O material para construção da Gaiola deve ser uma cordoalha de cobre nu de no mínimo 35mm^2 , por apresentar baixo custo em relação a outros materiais e ao mesmo tempo ótimos resultados perante aos surtos. Para o anel inferior da estrutura, que ficará enterrado, recomenda-se que a espessura da cordoalha de cobre seja da ordem de 50mm^2 .

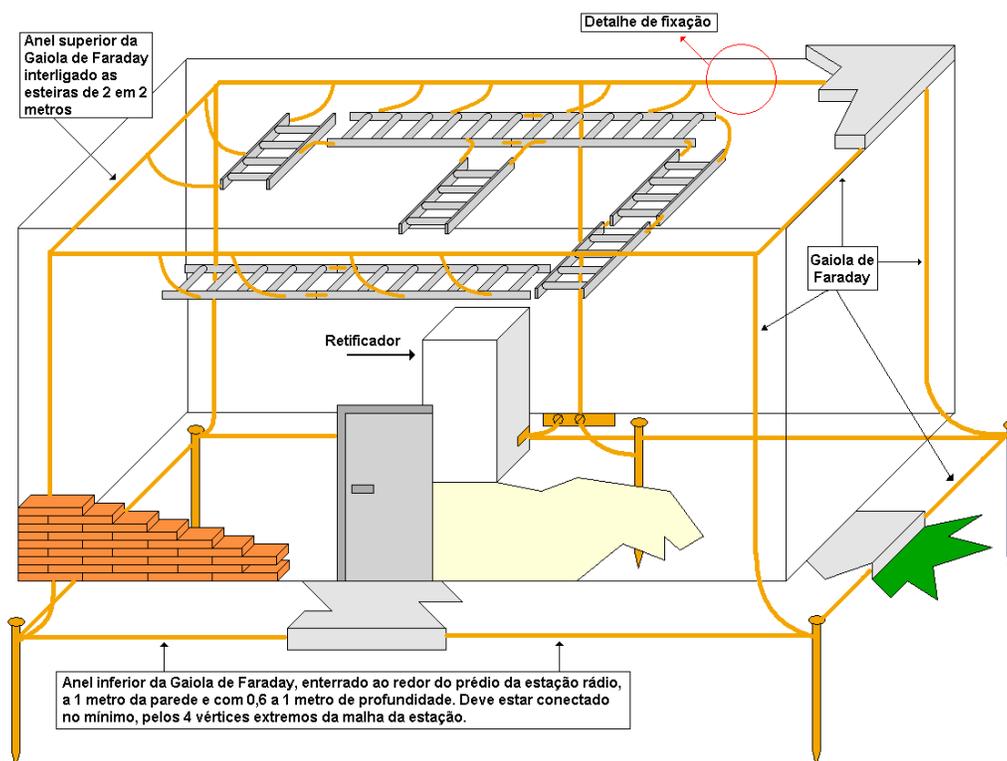


Figura 30 - Esquema detalhado da implantação da Gaiola de Faraday em uma estação rádio

Detalhe de fixação: Como fixar o anel superior à parede da estação rádio

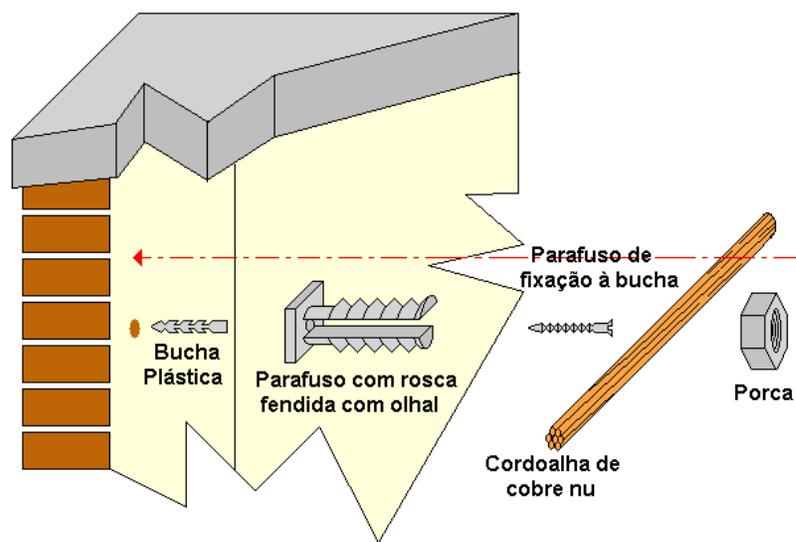


Figura 31 - Método de fixação da Gaiola de Faraday na estrutura física da estação rádio



Figura 32 - Conexão da Gaiola de Faraday no teto da estação rádio



Figura 33 - Interligação da Gaiola de Faraday com as esteiras de sustentação

6.6 Considerações finais sobre o terceiro passo

A confecção de blindagem da estrutura da estação rádio através da Gaiola de Faraday e da integração de toda a ferragem, bastidores e equipamentos em geral, formando a malha densa, apresenta ótimos resultados de equalização de potencial internamente à estação e efetiva proteção contra surtos provocados por descargas atmosféricas.

7 NÍVEL 4 - ARRUMAÇÃO DA CABEAÇÃO EXTERNAMENTE AOS PRÉDIOS (PARA REDUÇÃO DOS EFEITOS PROPORCIONADOS PELO ACOPLAMENTO INDUTIVO)

7.1 Introdução

O acoplamento indutivo é feito da interação das correntes de surto (causadas pelas descargas atmosféricas incidentes diretamente ou na proximidade das estações rádio) juntamente com os loops normalmente formados quando se instalam os cabos de interligação entre os equipamentos da estação rádio e as antenas localizadas na parte externa.

7.2 Indutância do loop e tensão formada

A Lei de Faraday define que uma corrente variável no tempo é capaz de induzir uma tensão em uma espira aberta ou uma corrente em uma espira fechada, conforme mostrado na figura 34.

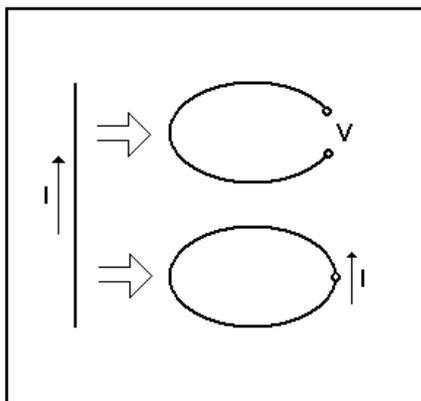


Figura 34 - Tensão e corrente induzidos pela Lei de Faraday

Para se conhecer a indutância de um *loop*, deve-se considerar a área da figura geométrica formada por ele, como na figura 35, assim como o condutor que o forma, como se pode notar na seguinte equação [5]:

$$L = 0,2.a.\ln(d/r) [\mu\text{H}] \quad (2)$$

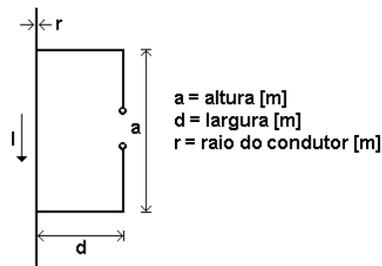


Figura 35 - Demonstração dos parâmetros que compõem a equação da indutância do *loop*

Uma vez conhecida a indutância do *loop* formado, e conhecendo também o valor da taxa de variação de corrente de surto que interagirá com o *loop*, é possível determinar a tensão que surgiria na abertura do anel através da seguinte equação [5]:

$$V = L \cdot di/dt \text{ [volts]} \quad (3)$$

7.3 Exemplo prático ilustrativo

Será tomado como exemplo prático ilustrativo, a incidência direta na torre de uma estação rádio, que é interligada a uma estrutura de alvenaria padrão que abriga um rádio de 12 canais (muito comum na planta de equipamentos da OI). A intensidade da corrente provocada pela descarga atmosférica, assim como o tempo que essa corrente levaria para atingir seu pico, foram adotadas como sendo de 35kA e 1 μ s, respectivamente.

Um *loop* característico, presente em praticamente todas as estações rádio da OI, é formado pela torre, pela esteira que leva os cabos coaxiais das antenas até o rádio da estação e pela malha de aterramento, conforme mostra a figura 36.

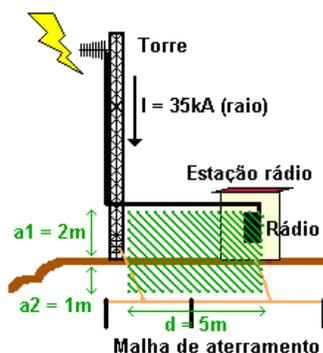


Figura 36 - *Loop* principal formado pelos condutores externos de uma estação rádio

Aplicando a equação (2) se obtém a indutância do *loop*:

$$L = 0,2 \cdot 3 \cdot \ln 5 / 0,0065$$

$$L = 3,897 \sim 4 \mu\text{H}$$

A partir do valor de indutância obtido, calcula-se a tensão de pico que surgirá na abertura do *loop* através da equação (3)

$$V = 4 \cdot 35 \text{ kA} / 1\mu\text{s}$$

$$V = 140000 \text{ V ou } 140 \text{ kV}$$

Levando em consideração que grande parte dos raios possuem essa taxa de variação de corrente ou ainda valores até superiores, pode-se considerar essa análise como válida para todas as infra-estruturas que possuam esse arranjo.

A tensão de surto originada nas aberturas, da ordem de 140 kV, é extremamente elevada. Essas aberturas se encontram justamente nos equipamentos que fazem parte do *loop* formado, e como os níveis de isolamento destes equipamentos é da ordem de 1500 volts, um surto da ordem de 140 kV certamente causará sua destruição.

7.4 Metodologia para minimizar os danos causados pelo acoplamento indutivo

O resultado final da interação de uma descarga atmosférica com os loops é o surgimento de um surto de tensão nos equipamentos que causará danos às estações rádio, conforme demonstrado.

Levando em conta que a arrumação dos cabos externamente às estações rádio da OI seguem o padrão ilustrado pela figura 36, e que alterar as estruturas já instaladas torna-se uma medida inviável, faz-se necessária a escolha de outra alternativa viável com a intenção de reduzir os efeitos do acoplamento indutivo.

Existem duas alternativas de fácil aplicação nos projetos já existentes das estações rádio da OI. A primeira delas, implicaria na instalação de protetores secundários (varistores, como visto no passo 1) em todos os equipamentos que fazem parte do *loop*. No entanto, como existem estações com diversos *loops* e uma quantidade considerável de equipamentos, essa alternativa se tornaria inviável em função dos custos.

A segunda alternativa consiste no deslocamento do *loop* formado, de maneira que a estrutura de alvenaria contendo os equipamentos de rádio (como mostra a figura 37), não fizesse mais parte do *loop* formado, ficando assim imune aos surtos de tensão originados por uma eventual descarga atmosférica devido ao acoplamento indutivo.

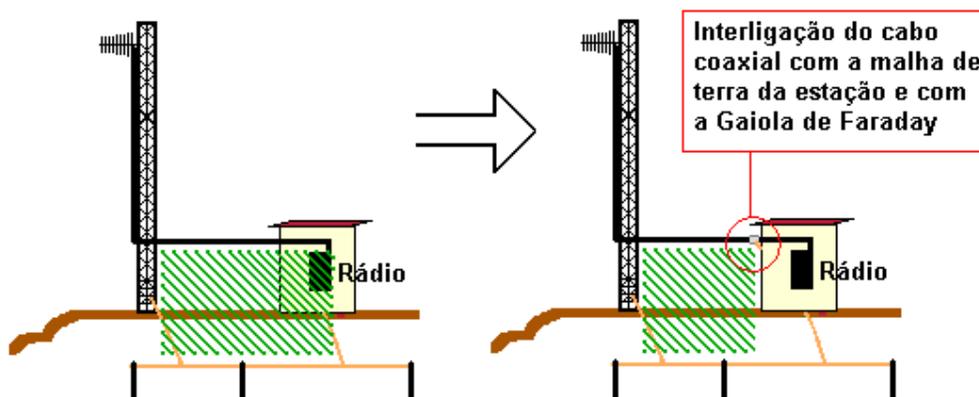


Figura 37 - Transferência do *loop* principal para fora da estrutura da estação rádio

O meio mais simples de “deslocar o *loop*” principal para fora da estação rádio, seria fechar o *loop* antes da entrada do mesmo na estrutura de alvenaria. Isso torna-se possível através da ligação dos cabos que descem das antenas à malha de aterramento e à Gaiola de Faraday, imediatamente antes da entrada desses cabos na estação.

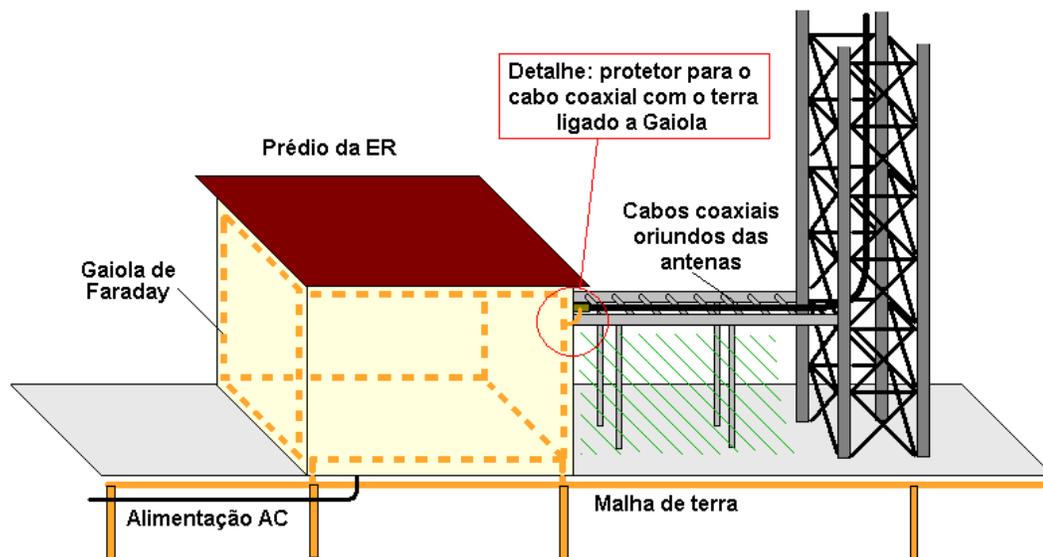


Figura 38 - Localização dos protetores para os cabos coaxiais que ligam as antenas ao interior da estação rádio

De acordo com estudos e testes, os cabos coaxiais quando submetidos a descargas elétricas, conduzem os surtos pelas extremidades do cabo (cordoalha de proteção) e não pelo seu condutor interior principal (chamado “vivo”).

A maneira mais barata e eficiente de se aterrar um cabo coaxial na entrada de uma estação rádio, seria então, ligar a cordoalha de proteção do cabo coaxial à malha de aterramento e à Gaiola de Faraday (como mostram as figuras 39, 40 e 41), utilizando cordoalhas de cobre, de forma que esta ligação não comprometesse a funcionalidade do cabo. Essa ligação é feita por meio de “braçadeiras” de pressão que rompem a proteção plástica do cabo, permitindo o contato com a cordoalha de proteção, mas sem corromper a integridade do “vivo”. Essas braçadeiras são então ligadas ao devido aterramento por meio de cordoalhas de cobre, que por sua vez asseguram que a parte interna da estrutura de alvenaria não faça mais parte do *loop*.

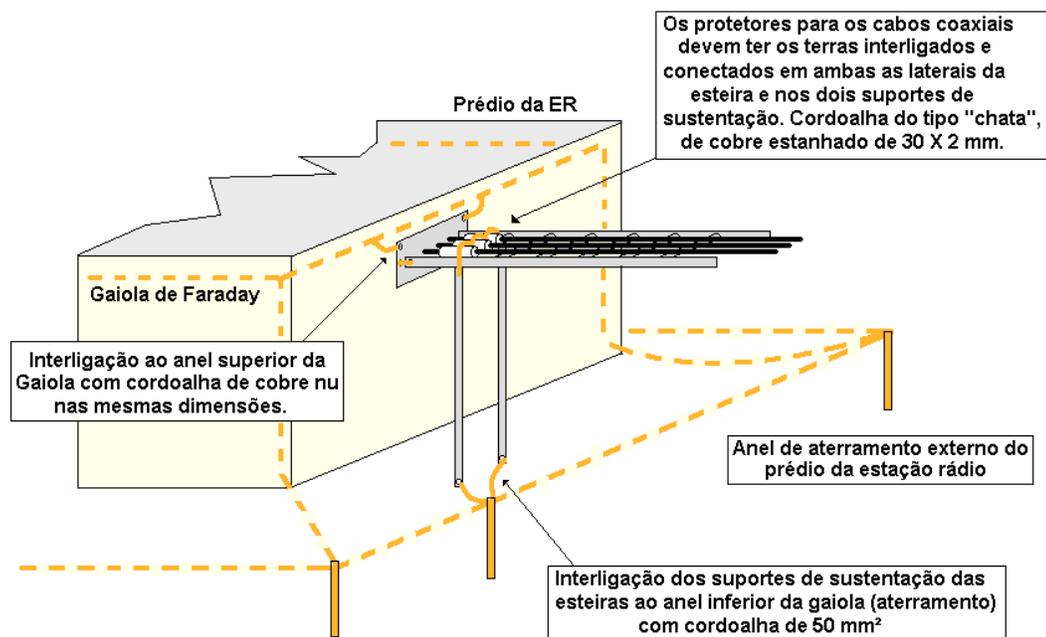


Figura 39 - Esquema detalhado da proteção dos cabos coaxiais na entrada da estação rádio



Figura 40 - Conexão da malha de revestimento dos cabos coaxiais ao sistema de aterramento da estação rádio



Figura 41 - Interligação da barra receptora da proteção dos cabos coaxiais à malha de terra

7.5 Considerações finais sobre o nível 4

Como comentado anteriormente, a eliminação do acoplamento indutivo também é um fator que proporcionará melhoria no desempenho das estações rádio no que diz respeito à proteção elétrica contra descargas atmosféricas.

Os novos projetos que venham a ser implantados na planta da OI, devem adotar alguns critérios no intuito de reduzir os acoplamentos indutivos tais como:

- Melhorar a distribuição da cabeção internamente e externamente à estação rádio, evitando a formação de *loops*;
- Fazer a interligação das antenas aos equipamentos pelo piso, em canaletas metálicas,
- Adotar “malhas de equalização”, no piso e distribuir a cabeção o mais próximo possível dessa malha.

Para infra-estrutura já existente, recomenda-se a interligação das esteiras e também sua interligação com a estrutura de alvenaria, junto à blindagem do prédio (Gaiola de Faraday), assim como a proteção dos cabos coaxiais (aterrando as cordoalhas sem danificar o vivo).

8 NÍVEL 5 - ELIMINAÇÃO DOS ACOPLAMENTOS GALVÂNICOS ENTRE ESTAÇÕES COMPARTILHADAS (RÁDIO E CELULAR) ATRAVÉS DA INSTALAÇÃO DE PROTETORES PARA OS CABOS COAXIAIS DE INTERLIGAÇÃO.

8.1 Introdução

A malha de aterramento do ambiente de uma estação rádio, pode se comportar de maneira inesperada quando sujeita aos surtos provocados por uma descarga atmosférica. Tal comportamento caracteriza-se pelo surgimento de diferentes valores de tensão nas diversas tomadas de terra da malha (fenômeno do acoplamento resistivo, como mencionado no item 3 do capítulo 2).

A figura 42 ilustra o surgimento de diferentes tensões ao longo das tomadas de terra da malha, de um ambiente partilhado por uma estação rádio e uma estação rádio celular, quando submetidas à passagem de uma corrente de surto originada por uma eventual descarga atmosférica.

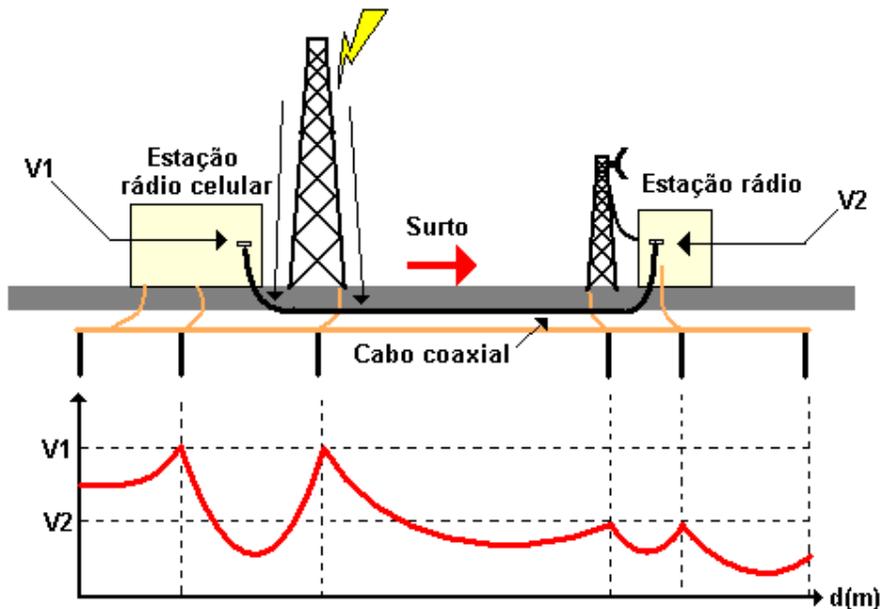


Figura 42 - Variação de tensão sobre cada tomada de terra da malha



Figura 43 - Diversas estruturas compartilhando o mesmo ambiente elétrico

8.2 Melhoria da equalização da malha de aterramento

A forma mais efetiva de se reduzir os efeitos ocasionados pelo acoplamento resistivo é trabalhar a malha de aterramento, tentando reduzir a impedância de aterramento, deixando o sistema sujeito a diferenças de potencial controladas, no intuito de causar a menor quantidade de danos possível.

Uma maneira de se obter uma redução nos gradientes de potencial em determinadas partes da malha de aterramento (nas tomadas de terra, por exemplo) é pelo acréscimo de eletrodos convenientemente localizados nas áreas próximas às tomadas, ou por uma simples melhoria de sua configuração.

Para novos projetos, este passo é mais facilmente implementado pelo simples fato de incrementar a malha de aterramento, através do dimensionamento correto das componentes da malha, assim como levar em consideração todas as estruturas agregadas (como estações de celular) desde a criação dos projetos. Já para os projetos já existentes, ou seja, para as estações rádio em operação que possam vir a receber como agregada uma estação rádio celular, a medida mais eficaz é a “integralização” das malhas de aterramento, de maneira que a malha de terra do ambiente compartilhado pelas estações seja única. Um exemplo ilustrativo desta situação pode ser observado nas figuras 44 e 45.

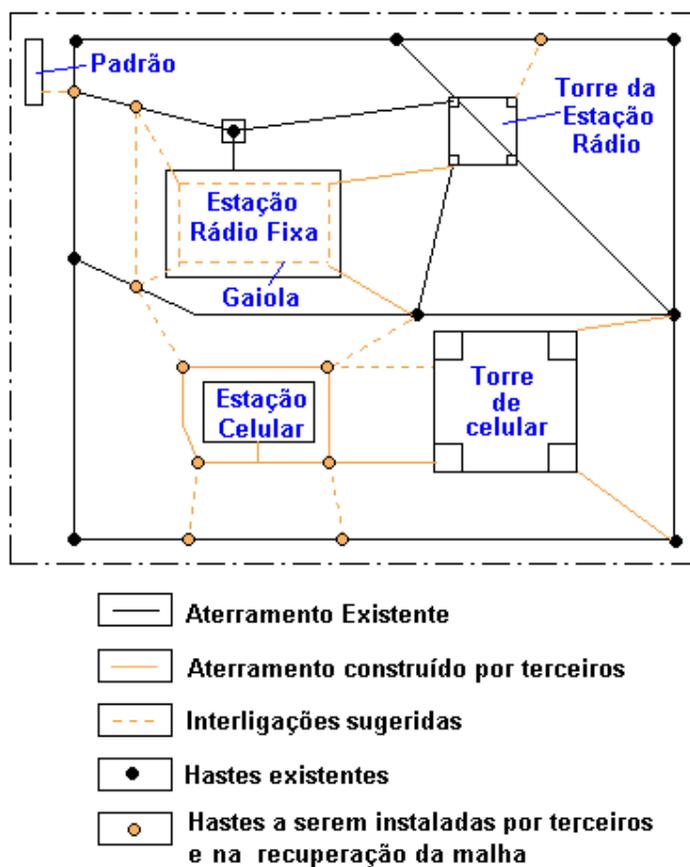


Figura 44 - Adequação do sistema de aterramento para o caso de compartilhamento do ambiente elétrico



Figura 45 - Interligação da torre à malha de aterramento

8.3 Interligação de equipamentos de estações compartilhadas

Quando o ambiente de uma estação rádio é partilhado com outra estrutura que contenha equipamentos susceptíveis a uma descarga atmosférica, como uma estação rádio celular, além dos problemas que aparecem no sistema primário de aterramento (malha de terra) como demonstrado anteriormente, o sistema fica sujeito a uma nova porta de acesso a um eventual surto, que seriam os cabos de interligação entre uma estrutura e outra.

As estações, quando compartilhadas, são na sua maioria interligadas por meio de cabos de transmissão de dados de diversos tipos, fato esse que deixa uma estação extremamente vulnerável e dependente da outra. A utilização de modem óptico é a melhor opção técnica para solucionar o problema de interligação entre estações compartilhadas, no que se refere aos quesitos de compatibilidade eletromagnética e proteção elétrica.

A adoção deste “link óptico” de interligação desacopla completamente os ambientes elétricos das estações compartilhadas, tais como uma estação rádio com uma estação celular, tornando-as imune aos surtos e interferências eletromagnéticas e eliminando essa porta de acesso.

8.4 Considerações finais sobre o 5º passo

Os problemas associados ao compartilhamento com terceiros devem seguir critérios rigorosos de proteção elétrica e compatibilidade eletromagnética para evitar danos em equipamentos e paralisações nas estações.

Dessa forma, pode-se estabelecer alguns critérios importantes que devem ser considerados:

- Para novos compartilhamentos, no caso de novos projetos, o projeto da malha de terra deve ser revisado e implementado de maneira a se reduzir ao máximo a impedância da malha, evitando assim o surgimento de diferenças de potencial indesejadas.

- Para projetos já existentes, a malha de terra deve ser implementada através do acréscimo de novas tomadas de terra em locais estratégicos, assim como a integralização das malhas das estações compartilhadas, com o intuito de equalizar o sistema de aterramento.
- Para as estações de maior prioridade e criticidade, deve-se substituir o *link* metálico entre as estações por *links* ópticos. Essa medida deve ser tomada apenas para as estações mais importantes da planta em função do custo elevado.
- Para as demais estações, o *link* metálico de interligação deve ser protegido através da instalação de protetores para os cabos coaxiais como mostrado nos passos anteriores.

CONCLUSÕES

Neste estudo foi apresentada a metodologia de implementação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas de uma estação rádio, com o intuito principal de demonstrar a eficácia do sistema juntamente com as facilidades de sua implementação.

Visto que as estações rádio têm papel fundamental nos sistemas de telecomunicações, fica evidente a funcionalidade do projeto, uma vez que a redução nas paralisações e danos causados por eventuais descargas atmosféricas é significativa.

Compreende-se também que, pela viabilidade econômica da empresa de telecomunicações em questão, associada à economia proporcionada pelo sistema de proteção, quando este evita a perda de equipamentos e penalidades que possam ser proporcionados pelas descargas atmosféricas, a adoção da metodologia dos cinco níveis de proteção das estações rádio transforma-se numa medida de custo-benefício satisfatório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Cançado, M.A., “Plano de adequação das estações rádio de média e alta capacidade da Telemig a critérios de proteção elétrica”, Minas Gerais, Brasil, Julho de 1997.
- [2] Leite, C. M., “Técnicas de Aterramentos Elétricos”, Officina de Mydia Editora Ltda, Brasil, 1995.
- [3] Paulino, J.O., “Proteção Elétrica de Estações Rádio de Média e Alta capacidade”, Relatório Técnico Contrato TEQ-21/5520/94-4, Anexo 4, pp 9-13, Belo Horizonte, Brasil, Março de 1996.
- [4] Panicali A.R., “Fatores de Blindagem para Diversas Estruturas Metálicas de Sustentação de Cablagens: Bandejas, Esteiras, Eletrodutos”, Anais do XIII Seminário de Redes do ST, Brasília, Brasil, junho de 1997.
- [5] Cançado, M.A., “Proteção Elétrica em Estações Rádio de Baixa Capacidade”, Anais do XIII Seminário de redes do STB, Brasília, Brasil, Junho de 1997.