

Eng. J. J. Horta Santos

# Pára-Raios Dissipativos?

## Dúvidas iniciais

Assisti a uma palestra, no Instituto Superior de Engenharia de São Paulo, promovida por um representante de equipamento eléctrico, para apresentação dos pára-raios dissipativos, patenteados por uma firma americana. O meu intuito era informar-me sobre esse novo tipo de protecção contra os raios.

A descrição que ouvi sobre as insuficiências dos sistemas clássicos de protecção e acerca das virtudes do nosso sistema e o debate que se seguiu induziram-me uma sensação de desconforto e de perplexidade. Nunca tinha pensado bem no assunto mas, nessa ocasião, afigurou-se que reina uma falta de clareza conceptual bastante generalizada quanto à definição dos fins a atingir, em cada caso particular de sistemas a proteger.

Ora, não existe um problema único de protecção atmosférica como também não há uma solução singular que seja panaceia universal. Tentar demonstrar que um certo tipo de pára-raios é superior aos outros, sem consideração pelos casos particulares a solucionar, é um empreendimento marcadamente tendencioso, especialmente quando recorre a demonstrações pretensamente científicas e a argumentos falaciosos.

Estava muito curioso para conhecer o princípio envolvido pois as referências que tinha ouvido falavam de efeitos, para mim obscuros, como, por exemplo, a formação de uma carga de espaço, constituída de iões positivos, com a virtude de anular o campo eléctrico devido às cargas da nuvem. Para isto funcionar, a nuvem iónica deveria cobrir a zona a proteger como uma espécie de toldo electrostático e com uma superfície quase igual à da zona. Só assim exerceria o papel de blindagem. Mas como se poderia conseguir esse

guarda-chuva eléctrico? Outro mito de que ouvira falar dizia que o afluxo de cargas, que saía da multidão de pontas afiladas do pára-raios dissipativo, ia neutralizar as cargas da atmosfera acima do sistema a proteger. Isto também eu não entendia, pois a atmosfera abaixo das nuvens é só uma mistura gasosa e contém poucas cargas livres (electrões e moléculas ionizadas) devidas à radiação cósmica e à radioactividade terrestre e atmosférica. Mesmo assim, a carga volumétrica é nula, se os iões positivos e electrões estiverem presentes no mesmo volume.

Além disso, devido ao campo eléctrico que sempre permeia a baixa atmosfera, esta é lavada dos portadores livres em poucas centenas de segundos.

Outra questão que me preocupava era o porquê do nome "dissipativo" posto ao novo sistema de protecção. Que cargas o sistema dissipava? No solo, em baixo? E as cargas dissipadas não criavam carências de cargas locais, geradoras de gradientes e, portanto, de correntes de difusão para preenchimento da depleção? Não seria um "nunca acabar", um sistema de circulação contínua, sem dissipação de coisa nenhuma? Só para se ter, na escuridão da noite, um vistoso penacho de fogo de Santelmo, cintilando nas pontas de um feixe de filamentos?

## Apresentação pelo Representante do Pára-Raios

Foram estas dúvidas que me levaram, através dos engarrafamentos de São Paulo, que parecem nunca ter dissipação, à apresentação da firma representante do novo pára-raios. O material audio-visual era muito bom e a apresentação do engenheiro da firma vendedora foi bem exposta e entusiás-

tica, exibindo um aparente peso estatístico que se me afigurou, ao princípio, suficiente para valiar pragmaticamente o sistema apresentado. Mas as as interrogações voltaram rapidamente quanto verifiquei que os exemplos mais eficazes apresentados, e os de maior confiança na estatística da queda de raios, antes e depois da instalação do DAS (dissipation array system), correspondiam a sistemas protegidos de estrutura vertical, como antenas de rádio e televisão, chaminés e torres de lançamento de foguetões. Nos outros casos de sistemas de desenvolvimento horizontal, como fábricas e parques de tanques, tal como o próprio apresentador confessou, os utilizadores nunca sabem com segurança se cai ou não um raio na sua área.

As explicações do representante, relativas ao mecanismo profundo do sistema dissipativo, deixaram muitos pontos obscuros. Algumas explicações colidem mesmo com o que se sabe da Electrostatica e da Electrodinâmica, desde os seus fundadores.

Voltarei a estas infracções mais adiante. É claro que, se for demonstrado, pragmaticamente e estatisticamente, que o sistema funciona a contento em alguns casos, ele não deixará de funcionar mesmo que as explicações não sejam as apropriadas. Muitas vezes as tecnologias nascem empiricamente, antes de uma clarificação científica das suas razões. Porém, as explicações erradamente científicas podem levar a generalizações impróprias ou arriscadas do âmbito de acção do invento.

## Debate

As primeiras notas críticas, após a palestra, partiram do professor Duilio M. Leite. Além de outras considerações, o professor lembrou que, a mesma

firma que actualmente representa o sistema dissipativo no Brasil, foi, no passado, acérrima defensora do pára-raios radioactivo, também com estatísticas e com explicações "científicas"; e, como todo o mundo sabe, esse invento é hoje um defunto.

Outra contestação das explicações dadas para o mecanismo do invento partiram de um técnico presente, o Eng. Reis Miranda, o qual mostrou o resultado de experiências sistemáticas, feitas na década de 70, sobre a emissão de correntes de ionização, a partir de condutores ponteados por acção dos campos atmosféricos. Nesse estudo foi verificado, experimentalmente, que a emissão de iões por uma única ponta (a um potencial superior ao de extracção) é praticamente igual, ou até superior, à emissão de um feixe de pontas interligadas e muito próximas. Isto compreende-se muito bem se atentarmos que (no caso da existência de um eléctrodo plano, carregado, oposto às pontas) a carga total induzida, por influência electrostática, nas pontas é igual à carga do eléctrodo. Quanto maior for o número de pontas menor será a carga no extremo de cada uma e, portanto, menor será o campo na superfície ponteadada.

Também concordo, plenamente, num outro argumento muito interessante e que refuta a ideia, que parece estar pairando nas publicidades do pára-raios dissipativo poder ter alguma influência no alívio das cargas da nuvem. A ideia é que a natureza dispõe, na superfície do solo, de um incomensurável número de superfícies ponteadas e suficientemente condutoras (do ponto de vista electrostático) como são as pontas e recortes das folhagens, os pêlos vegetais, as pontas da vegetação rasteira, etc. A emissão iónica do solo com vegetação, nas condições de campo eléctrico alto de uma tempestade, tem sido medida em muitos estudos. A corrente ascendente resultante é substancial e chega a atingir valores da ordem do microampere para uma única folha ponteadada e da ordem do miliampere para uma área com 100 x 100 metros. Debaixo de uma formação de nuvens,

pode atingir um ampere (Vonnegut; Moore). A formação iónica do pára-raios dissipativo pode constituir uma fracção ínfima deste fundo natural. Visto da perspectiva da nuvem, o pequeno penacho de fios metálicos, perdido, lá embaixo, na complexidade da superfície, ficará, provavelmente, completamente ignorado.

## A atenuação natural do campo da nuvem

É interessante perguntar aqui: o que acontece aos iões formados junto ao chão pelos mecanismos naturais? Se forem iões positivos (o que acontece se a face inferior da nuvem for negativa, como é mais frequente) então esses iões serão moléculas de oxigénio ou de nitrogénio que perderam um ou vários electrões. Mas, para se moverem sob a acção das forças do campo eléctrico, os iões são apenas um pouco mais ágeis do que pequenos elefantes. São bastante acelerados, é verdade, no espaço intermolecular, mas logo chocam com uma molécula da multidão circundante e perdem toda a energia cinética recebida, reflectindo-se, elasticamente, em qualquer ângulo para trás. O percurso livre médio é uma pequena fracção do micrómetro e o número de colisões por segundo é altíssima. Daqui resulta um caminhar hesitante e lentíssimo, no sentido ascendente, das forças do campo.

Se não fossem as correntes ascendentes do vento, esta nuvem iónica ficaria quase parada, pairando a uma certa altura do solo; isso diminuiria, um pouco, o campo electrostático junto ao chão. Há, porém, correntes de ar que sobem e essas arrastam os lerdos iões até lá acima, até à nuvem. Aí vão neutralizar uma parte das cargas da face inferior e roubar um pouco da ferocidade eléctrica que se está a acumular. Ou, pelo contrário, este transporte de cargas estará exactamente no âmago do mecanismo gerador que alimenta a nuvem e dá força à tempestade (Vonnegut). Quer dizer, a emissão natural de iões pode (ou não) ter um papel de atenuação das cargas das nuvens.

Parece haver consenso no seguinte ponto: é que ninguém conhece muito bem como ocorre a geração de cargas numa nuvem.

Note-se que os pontos de maior actividade na formação iónica são aqueles onde o campo eléctrico é mais intenso; estes são também os locais onde se estabelecem os "leaders" ascendentes (que são apenas regiões ionizadas, mais ou menos verticais). Um destes "leaders" será "premiado" com o encontro de um "leader" descendente (pejado de electrões e iões positivos) e assim ficará estabelecido um percurso condutor para a descarga do raio.

E quanto ao pára-raios dissipativo, qual seria o seu papel neste possível efeito (a favor ou contra) sobre as cargas atmosféricas? Também contribuiria, é claro, mas muito pouco, pelo que estamos entendendo. O seu papel seria mais pronunciado num solo plano, liso e desértico. Mas aí também não são precisos pára-raios!

## Acção "protectora" do pára-raios dissipativo

Porém, a acção protectora que o fabricante atribui ao sistema dissipativo não é devida, realmente, a qualquer atenuação de cargas e campos ambientes (apesar de, às vezes, parecer deixar no ar essa sugestão). O vendedor afirma que a acção do seu sistema se pode resumir dizendo que ele diminui a probabilidade de formação de "leaders" ascendentes no ponto onde se encontra o pára-raios. Por consequência, diminuiria também a probabilidade de queda de raios nesse ponto.

É interessante notar-se aqui o contraste com a ideia clássica de protecção contra os raios.

Na aparente impossibilidade de se evitar a descarga atmosférica para as nossas construções, a estratégia foi conceber artefactos ponteados onde a descarga se dê preferencialmente. Quer dizer, o pára-raios clássico estimula a ocorrência da descarga atmosférica, no ponto onde se encontra, esperando-se, com isso, diminuir a frequência de rai-

os numa certa área à volta. O novo pára-raios, o DAS, não é um "pára-raios" pois deverá fazer o contrário: tentar diminuir a chance de ocorrer um raio sobre o próprio dispositivo de protecção, e numa pequena área em baixo, mesmo sendo preciso um certo sacrifício dos arredores!

## Acção "protectora" dos vários tipos de pára-raios

Quando se trata de "proteger" as nossas construções e sistemas contra perturbações atmosféricas, deveríamos ter, inicialmente, uma ideia muito clara dos danos que queremos evitar e das finalidades que pretendemos atingir.

Podemos imaginar alguns casos básicos bem distintos, com problemas e soluções diferentes.

Por exemplo, se a nossa intenção é proteger os equipamentos e as pessoas que estão dentro de um grande edifício de cimento armado, bastará utilizar a "gaiola" de Faraday que já pré-existe, construtivamente, sob a forma da rede de armaduras no cimento. Até dispomos de uma malha de terra, muito satisfatória, que nos é oferecida, gratuitamente, no conjunto de ferragens de armação das fundações enterradas. Neste caso especial, tanto importa que a descarga atmosférica incida no canto superior nordeste da laje de cobertura como na aresta do lado sul. Basta estabelecer uma larga malha de cobre sobre a cobertura, bem ligada electricamente ao sistema de armaduras de ferro. Não há a necessidade de colocar pontas ou pára-raios verticais ligados a essa gaiola de Faraday dada a indiferença do ponto de descarga; a não ser, evidentemente, se o terraço for habitado.

A grande superioridade deste sistema, neste caso, sobre o clássico pára-raios de Franklin reside em dois factores: a existência de uma ligação à terra muito boa (as fundações); a atenuação dos efeitos electromagnéticos da corrente do raio, dado que esta se difunde e se dilui por um grande número de caminhos de descida.

tecção com a gaiola de Faraday constituída pelas armaduras do prédio não contribui para aumentar a probabilidade de incidência de raios, ao contrário do que aconteceria com o uso da solução de Franklin.

Mas há outras situações muito diferentes. Assim, se tivermos uma instalação ou um equipamento que possam ser danificados pela incidência directa do raio, como é o caso, por exemplo, de muitos equipamentos tecnológicos montados ao ar livre, a solução mais apropriada pode ser qualquer dos tipos de pára-raios de Franklin. Agora iremos aumentar deliberadamente, a formação de "leaders" ascendentes em pontos altos seleccionados, com a esperança de que se forme uma zona de sombra (probabilística...) ao redor do ponto exposto (Fig. 1).

Isto não quer dizer que não possam ser concebidas outras soluções para instalações expostas à intempérie. Ocorre-me o exemplo das subestações de alta tensão, cujos equipamentos podem ser defendidos da injeção directa do raio através da instalação de um conjunto de condutores de terra, horizontais e altos, cobrindo a subestação com uma malha larga. Constitui-se assim uma verdadeira blindagem contra o campo atmosférico e consegue-se a criação de uma "sombra" electrostática.

Há outros casos nos quais a protecção atmosférica é supérflua ou, até mesmo, contraproducente. É o que ocorre em tanques e esferas metálicas, normalmente de formas arredondadas e com formação de campos eléctricos baixos, junto à superfície. A probabilidade de formação de líder ascendente e de estabelecimento de raio é baixa. Colocar um pára-raios num destes equipamentos só seria justificável pelo amor ao perigo!

A melhor protecção, neste caso, é não pôr protecção nenhuma e evitar superfícies de pequeno raio de curvatura em toda a instalação.

## O funcionamento provável do pára-raios dissipativo

Segundo a explanação do vendedor, o pára-raios dissipativo é constituído, basicamente, por um suporte do qual parte um feixe de filamentos metálicos com extremos aguçados. Estes feixes tomam várias formas, por exemplo, em leque hemisférico.

Regressando à teoria do inventor, os extremos dos filamentos agudos, seriam a sede da geração de iões positivos quando sujeitos ao campo eléctrico atmosférico durante tempestades eléctricas. Nestas ocasiões, o campo eléctrico

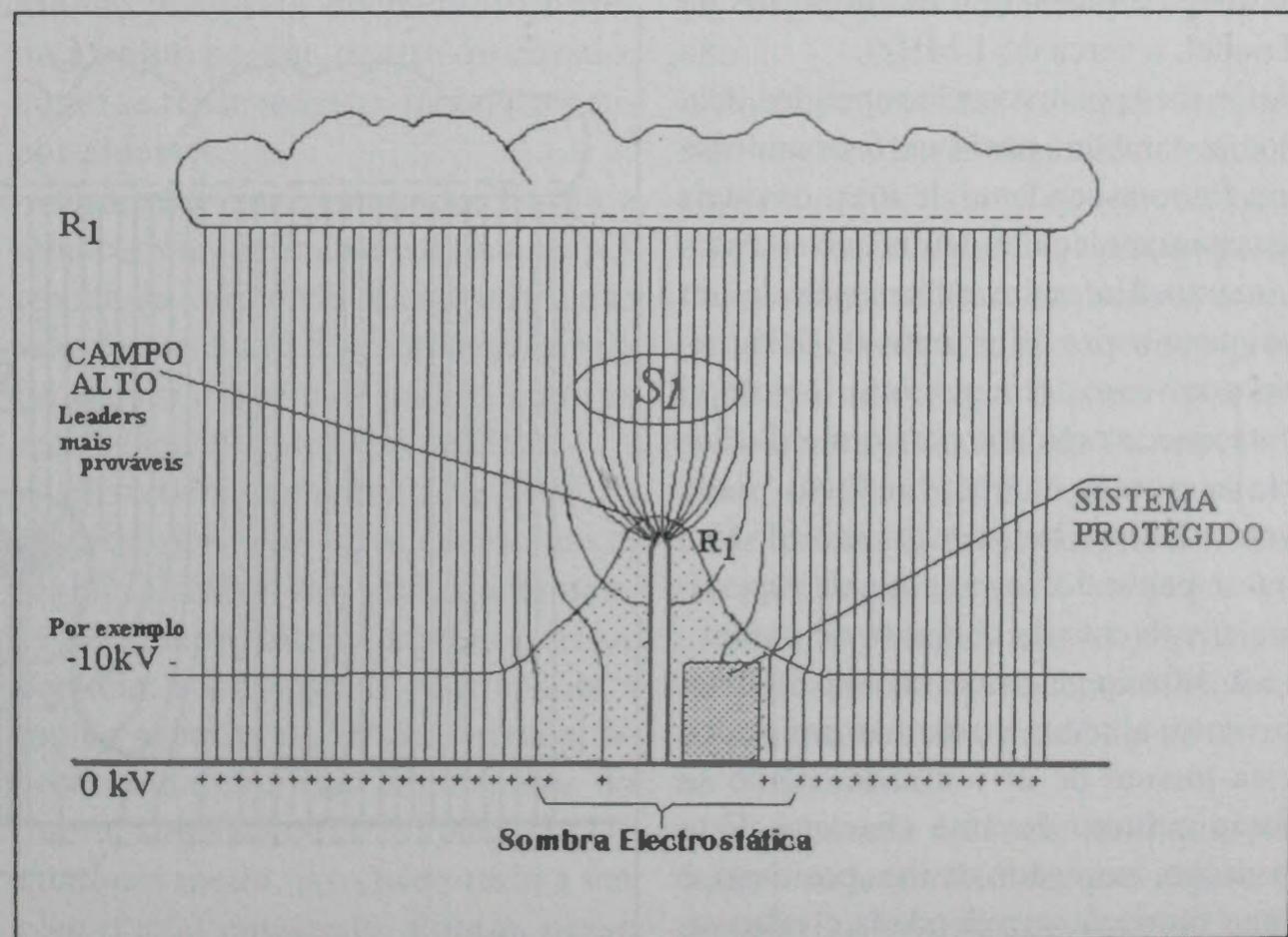


Fig. 1 - Distribuição de campo eléctrico no pára-raios de Franklin.

co chega a ultrapassar 10 kV/m. Recordando um pouco a vetusta, e tão desprezada, Electrostática, com a superfície inferior da nuvem carregada negativamente as pontas adquirem cargas positivas (por influência electrostática); dado o baixo raio de curvatura das pontas, a densidade de carga é muito alta e, em consequência, também é muito intenso o campo junto da ponta. No caso do eléctrodo positivo, para além de um certo limiar de campo, as forças electrostáticas sobre os poucos electrões livres, sempre presentes no ar, produzem o fenómeno da descarga em avalanche.

Como sabemos, além desse patamar de campo, os electrões, acelerados pela força devida ao campo electrostático, atingem, num percurso ínfimo, a energia cinética suficiente para arrancar vários electrões de moléculas de ar neutras. Cada um dos electrões secundários repetirá a mesma proeza de multiplicação, até que, num tempo inferior ao micro-segundo, haverá uma nuvem de electrões correndo para o eléctrodo aguçado e deixando atrás uma multidão de lentos iões positivos que tentam tomar a rota contrária. Antes da nuvem negativa se precipitar no eléctrodo, ela blinda, momentaneamente, o campo das cargas positivas da ponta e a descarga eléctrica morre por instantes. A descarga é pulsante (com impulsos de Trichel, a cerca de 1 MHz).

Os iões positivos são repelidos pela ponta, também positiva, formando-se um fluxo ascendente de iões, os quais arrastam moléculas neutras no seu movimento. Há assim a formação de um pequeno sopro de ar ionizado designado por vento iónico. Como o campo enfraquece rapidamente com a distância às pontas, também o fluxo perde velocidade e a bolsa de ar ionizado fica quase pairando, logo acima da superfície envolvente do conjunto de pontas.

A difusão gasosa e, principalmente, o vento, ajudam a espalhar um pouco esta nuvem de ar ionizado, como se fosse o fumo de uma chaminé. Este penacho, carregado de iões positivos, é uma formação arredondada e relativamente extensa, quando se compara com

as arestas bruscas das construções metálicas e civis, com os topos das torres e com outros acidentes da superfície. Essa pequena nuvem funciona como uma bola razoavelmente condutora.

As "linhas de força" que dantes partiam, com grande concentração, das estruturas ponteadas saem agora por uma superfície muito mais extensa e, portanto, com menor densidade por unidade de área. Quer dizer, para o mesmo fluxo de campo eléctrico, a intensidade de campo é muito menor no topo da nuvem iónica do que seria a partir das estruturas metálicas esbeltas. Noutra linguagem, basta lembrar que, para um certo gradiente de potencial, o campo eléctrico junto a um eléctrodo é tanto menor quanto maior for o raio de curvatura. Não admira que os "leaders" não tenham tendência a se formar neste lugar.

Mas o que é que fica protegido, além do próprio pára-raios dissipativo?

Imaginando-se o traçado do campo entre a nuvem e a região do DAS e sua proximidade, pode ser suposto que existe uma região de campo atenuado logo abaixo do penacho iónico. Esta região só seria uma "sombra eléctrica" se a nuvem pairasse na vertical e fosse muito pequena. O que acontece, geralmente, é que existe antes uma "penumbra" electrostática um pouco mais "escura"

logo abaixo do feixe de pontas do DAS. Fora daí, o campo é quase igual ao anterior (Fig. 2).

Neste esquema, só aparecem como mais imunes à formação de líderes as estruturas ponteadas (de baixo raio de curvatura) cujas pontas se escondem na quase sombra do DAS.

Em resumo, a descarga atmosférica não acontece sobre o DAS. Mas, em relação a esta característica, põe-se um curioso problema: como se faz a estatística de eficácia deste pára-raios? Como se contam os raios "que não caem" nele?

Será elucidativo recordar um pouco da electrostática para se entender melhor a diferença entre o pára-raios de Franklin e o dispositivo designado como pára-raios dissipativo. Se dois condutores, com extremidade arredondada, foram mergulhados num certo campo eléctrico aproximadamente homogéneo as densidades de carga na ponta serão, de um modo aproximado, inversamente proporcionais aos raios de curvatura. Quer dizer, um pára-raios com ponta aguçada, como é o caso do pára-raios tipo Franklin, terá uma densidade de cargas muito maior do que um "pára-raios" dissipativo que culmina numa região condutora arredondada. O campo junto à ponta (ou o número de linhas de força por unidade de

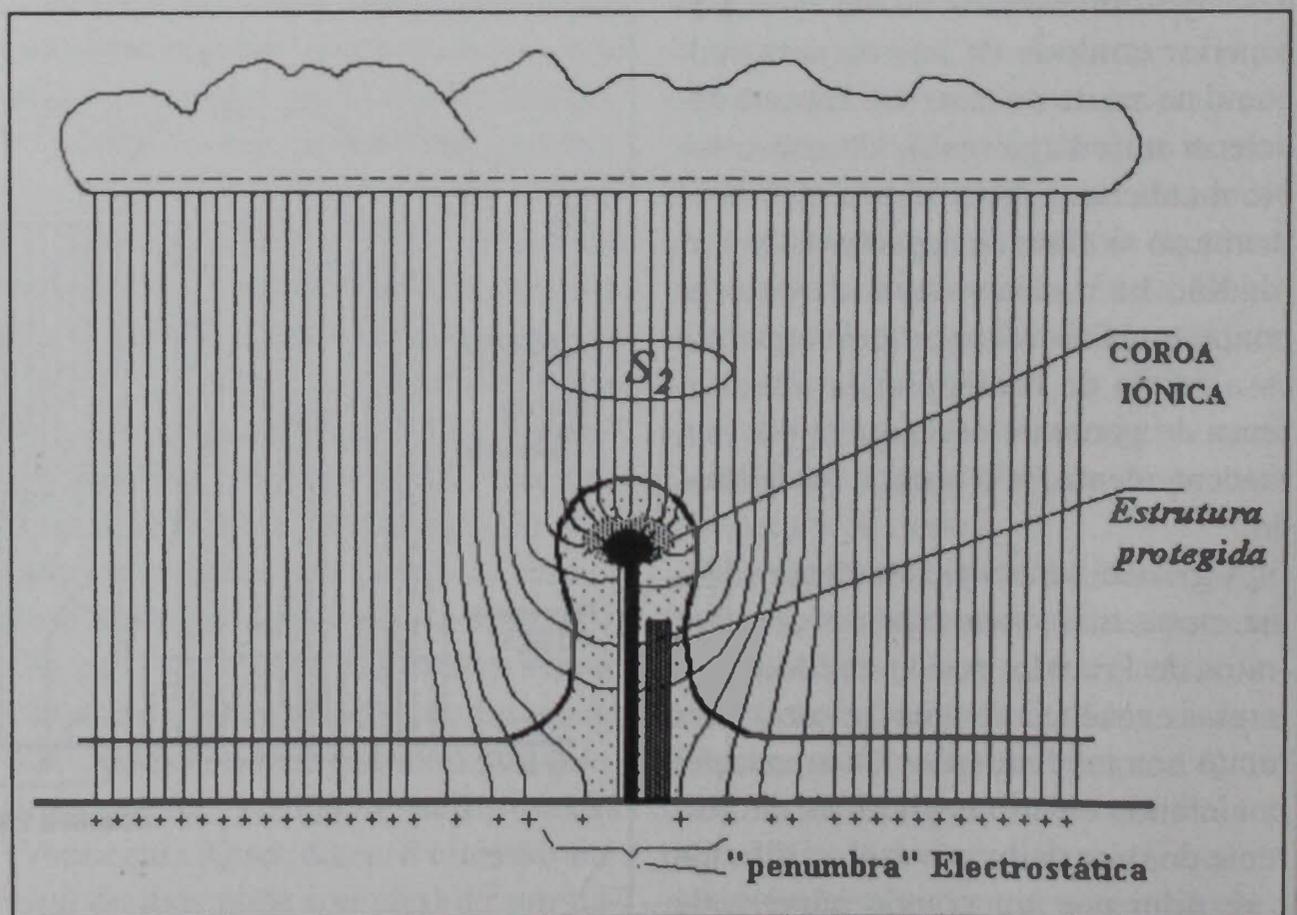


Fig. 2 - Distribuição do campo eléctrico no "pára-raios" dissipativo.

área) também será muito maior no pára-raios de Franklin e na mesma relação inversa. Por exemplo, um pára-raios de curvatura de 1 mm produz, junto da superfície, um campo 100 vezes mais intenso do que um pára-raios culminado por um feixe de filamentos e ar ionizado com um raio equivalente de 10 cm. As condições para a formação de um líder são pois muitíssimo mais favoráveis no pára-raios de Franklin.

Além desta diferença fundamental, o traçado das linhas de força é completamente diferente nos dois casos como se lembra comparando as figuras 1 e 2. No caso do "pára-raios" dissipativo as linhas de força são encurvadas pelas cargas induzidas na conexão vertical e de tal maneira que não há formação de uma "sombra electrostática" nítida mas somente de uma vaga "penumbra" (Fig. 2).

Complementando os tipos de pára-raios já clássicos, a protecção designada como dissipativa parece-me com possível utilidade em estruturas verticais (torres industriais, antenas de TV e rádio, chaminés etc.), desde que a alocação dos DAS seja feita racionalmente, atendendo às alterações de traçado do campo que se pretendem introduzir em vários pontos.

Salvo a diferença de escala e de campo, o efeito tem alguma semelhança com os enfitamentos com fita semicondutora que são usados nas transições bruscas de secção, por exemplo na passagem de cabo para barramento; aqui, também se pretende atenuar a concentração do campo e a formação de descargas eléctricas tipo coroa através de um arredondamento da geometria.

No caso da descarga coroa em linhas de alta tensão (mesmo em corrente contínua, como no caso das linhas provinidas de Itaipu), a pulsação intrínseca ao efeito de avalanche gera uma perturbação electromagnética que pode ser muito intensa.

O penacho de coroa sobre o DAS vai ter esse efeito, que deverá ser considerado quando se estão protegendo instalações de recepção de sinais fracos. Não sei qual é a ideia do fabricante a este respeito.

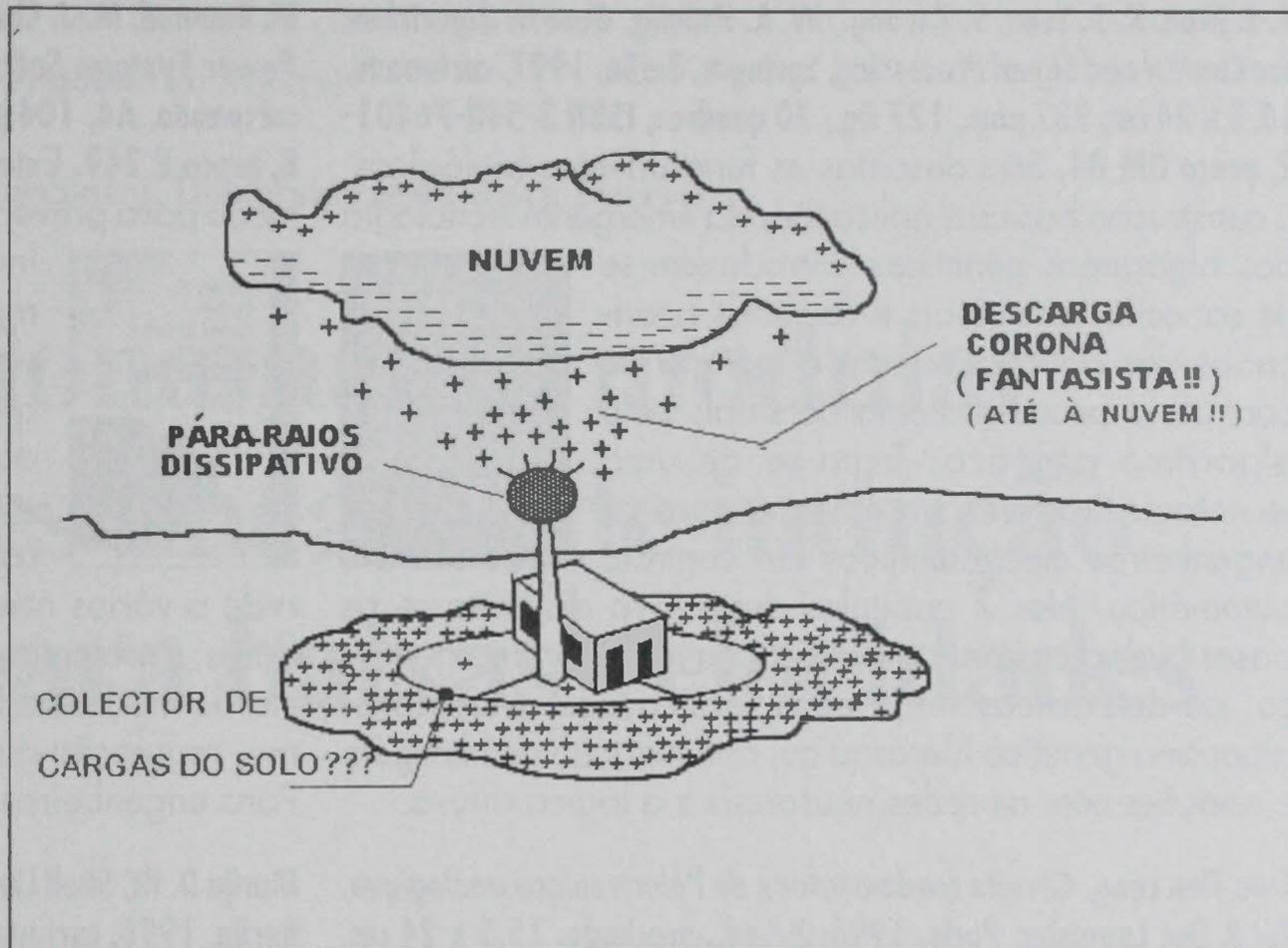


Fig. 3 - Uma falsa electrostática. Este desenho, nas proporções no arranjo e nos arranjos e nos detalhes, foi copiado de um anúncio publicado numa revista brasileira de electricidade.

Antes de terminar, gostaria de dizer que não entendi porque algumas transparências da publicidade do fabricante contêm sugestões gráficas que infringem as leis da electricidade. Num desses desenhos (Fig. 3) vê-se um anel condutor, na terra, ligado ao dispositivo DAS, que fica no alto e ao centro do anel.

Fora do anel, foram desenhados sinais + (das cargas positivas) em grande profusão, enchendo o terreno à volta; porém, dentro do círculo, como se fosse mágico, há muito poucos sinais +.

Ora, esse anel enterrado, ligado a uma corrente infinitesimal, toma o potencial da terra onde se encontra e não introduz nenhuma descontinuidade nem de potenciais, nem de cargas, entre as regiões envolvente e envolvida.

Electrostaticamente, essa situação só seria aceitável se houvesse nessa região circular, um enfraquecimento do campo entre a nuvem e a superfície; e isto apenas ocorreria se a região superior do DAS, ionizada, tivesse uma extensão algo maior do que a zona circular mostrada. De qualquer modo, isso nada teria a ver com o anel enterrado. Porém, nesse e noutros desenhos, somente apare-

ce um dispositivo DAS central, de pequeno desenvolvimento horizontal, encimado por uma zona de iões apenas pouco maior.

O campo eléctrico, em volta da coroa iónica, continuará, como antes da colocação do DAS, a encher o espaço entre o solo e a nuvem, com "linhas de força" que, convencionalmente, partem do solo e terminam na face inferior da nuvem. Haverá, em cada tubo de força, cargas iguais aqui em baixo e lá no alto.

Nada pode alterar isto a não ser uma ínfima perturbação dinâmica, devida à corrente, infinitesimal, que circula para o DAS, via solo. Mas uns microampères de corrente contínua (pulsada a cerca de 1 MHz), difundidos, em área e profundidade (até alguns decímetros, num meio com a resistividade do terreno), dentro do grande círculo, dão uma queda de tensão seguramente na ordem dos microvolts, ou menos.

Em comparação com os potenciais em jogo, durante uma tempestade (ou até, com céu azul) o gradiente no terreno é inexistente.

Não haverá carência nenhuma de cargas, ao contrário do que sugere o desenho ilusório. Só existe círculo "mágico" na imaginação do fabricante! □