

PROBLEMAS E SOLUÇÕES DECORRENTES DO ATERRAMENTO DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS SENSÍVEIS

J. R. Cogo

Departamento de Eletrotécnica, Instituto de Engenharia Elétrica, EFEI, 37500-000 - Itajubá - MG, Brasil

C. M. F. de O. Monteiro

Instituto Nacional de Telecomunicações, 37550-000 - Santa Rita do Sapucaí - MG, Brasil

CDU: Equipamentos eletrônicos (621.3.038); Proteção elétrica. Aterramento (621.316.9) - CNPq: Instalações elétricas (3.04.04.06-1)

Artigo publicado na Revista Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, números 1-2, vol. 20
ISSN 0101-5850 - páginas 18 a 22

RESUMO

O aterramento é um dos itens mais importantes para se obter uma operação de equipamentos eletrônicos sensíveis (EES), como computadores, controladores lógicos programáveis, sistemas de controle de processo e similares. Tais equipamentos são bastante susceptíveis a falhas na alimentação e a tensões aleatórias de baixa intensidade, as quais não têm qualquer efeito sobre seres humanos ou equipamentos elétricos usuais. Este trabalho analisa o problema do aterramento, orientando o usuário no sentido de instalar seus EES, de modo a evitar que eles possam vir a ser danificados pela causas acima.

ABSTRACT

Grounding is one of the most important items for obtaining an efficient operation of sensitive electronic equipment (SEE), such as computers, programmable logic controllers, process control systems and similar electronic equipment. Such equipment is very sensitive to power faults and to low intensity random voltage oscillations, which have no effects on human beings and on usual electrical equipment. This work discusses the grounding problem and gives directions to the user to properly install his SEE, so that eventual damage due to the reasons above will be avoided.

1 - INTRODUÇÃO

Os principais objetivos do aterramento de equipamentos elétricos são:

- manter baixas as diferenças de potencial entre as partes metálicas, de modo a assegurar a proteção e a garantir a segurança do pessoal da área quanto a choques elétricos;
- evitar incêndios de materiais voláteis e ignição de gases em atmosferas combustíveis, através do fornecimento de um elemento condutor elétrico efetivo para o fluxo de correntes de falta à terra e de descargas (de origem estática ou atmosférica);
- evitar interferência eletromagnética, através da adequada operação dos equipamentos do sistema elétrico e dos equipamentos eletrônicos sensíveis (EES);
- evitar o superaquecimento em conduítes metálicos, malhas de cabos, condutores elétricos, etc.

2 - PROBLEMAS

2.1 - SOBRETENSÕES

Quando ocorre falha de isolamento em um circuito elétrico, provocando um contato entre o condutor energizado e uma carcaça metálica, existe uma tendência desta última levar-se ao mesmo potencial elétrico daquele, o que é evitado pelo correto sistema de aterramento.

Em plantas industriais, o sistema de aterramento é freqüentemente interconectado à malha de terra da subestação abaixadora o que pode ocorrer de maneira intencional (através de bandeja de cabos, sistema de condutos, carcaças de duto de barramento, estrutura metálica de edifícios, etc.). Como resultado desta interconexão, o sistema de aterramento, da planta é levado, durante uma falta, ao mesmo potencial de terra da malha da subestação; logo, devem-se evitar os potenciais perigosos de superfície, tanto na planta industrial como na subestação.

Em certos casos, eles podem ser eliminados através do isolamento efetivo dos sistemas de terra da subestação e da planta entre si. No entanto, na maioria das vezes, a integração das duas malhas (principal e remota), através da análise adequada dos dois sistemas para potenciais de passo e de toque, tem reduzido os potenciais perigosos de superfície a níveis aceitáveis. Pode ocorrer que as especificações de aterramento definidas pelos fabricantes de EES sejam incompatíveis com as estabelecidas pelos que produzem os equipamentos do sistema de potência.

2.2 - DISTÚRBIOS (RUÍDOS ELÉTRICOS)

Qualquer distorção que, superposta a um sinal elétrico conhecido, venha alterar a forma de onda característica deste último (no tempo), é denominada distúrbio ou ruído elétrico. Visando à proteção dos EES, é necessário manter os distúrbios longe das delicadas pastilhas semicondutoras utilizadas. Surge daí a preocupação de conhecê-los e controlá-los, visto que podem:

- alterar dados armazenados em memórias;
- apagar pontos na tela de um monitor de vídeo;
- alterar dados gravados em discos magnéticos;
- modificar os dados de um programa em andamento;
- colocar em condução tiristores, transistores, etc., em momentos indesejados;
- danificar componentes.

Os distúrbios gerados externamente podem chegar aos equipamentos por condução, através da rede elétrica, passando pelas fontes de alimentação e atingindo os diversos circuitos eletrônicos. Caso, porém, sejam de origem magnética ou eletrostática, de acordo com a sua fonte (sistemas de radar, linhas de transmissão, descargas atmosféricas, etc.) alcançarão os EES via irradiação. Desse modo, a primeira medida a ser tomada é definir os tipos de distúrbios aos quais o sistema a ser protegido fica exposto, separando-se as proteções contra os atmosféricos, os propagados por condução e os devidos a interferências eletromagnéticas.

A melhor maneira de se evitarem distúrbios com origem nas interferências eletromagnéticas é isolando-se os circuitos eletrônicos através de caixas blindadas. Para se determinar o tipo de blindagem a ser utilizada, necessita-se, basicamente, saber se a fonte de ruído gera campos magnéticos ou campos eletrostáticos:

- Quando o distúrbio for de origem magnética, as blindagens deverão ser feitas de materiais magnéticos como (por exemplo) utilizando-se dutos e caixas de ferro;
- Para distúrbios de natureza eletrostática, as blindagens deverão ser feitas de materiais condutores como (por exemplo) malhas ou gaiolas de cobre.

Os ruídos do tipo condução mais comuns são: cortes de tensão, variações de tensão e/ou de frequência e picos de tensão (spikes). Uma pesquisa, feita nos Estados Unidos em 1975, mostrou que, do total do tempo perdido na operação de 44 centros de processamento de dados pesquisados, 5% deviam-se apenas a distúrbios na rede de energia elétrica.

Qualquer que seja o tipo de distúrbio e a necessidade de proteção, no entanto, a forma e a qualidade do aterramento serão fundamentais para a sua eficiência.

2.3 - A CONEXÃO À TERRA

A conexão à terra é uma das partes mais importantes do sistema de aterramento, e é também a mais difícil de ser projetada e de fornecer resultados satisfatórios. Um sistema bem elaborado pode-se tornar ineficiente, caso a conexão seja imperfeita.

Idealmente, a conexão deveria apresentar resistência zero, o que é inviável na prática. É possível conseguirem-se valores inferiores a 1Ω , embora eles possam não ser necessários, visto que a resistência requerida varia inversamente com a corrente de falta à terra. Em outras palavras, quanto menor a corrente de falta, maior pode ser a resistência.

3 - CARACTERÍSTICAS E ATERRAMENTO DO EES

3.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os sistemas de fornecimento de energia a EES apresentam diferentes tipos de sinais e pontos que devem ser aterrados, quais sejam:

- sinal comum (também denominado sinal comum CC): é a referência zero para linhas de dados e a parte do sinal que, em geral, representa o neutro sensível do EES. É um sinal susceptível a tensões transitórias e requer um ponto de referência estável, em relação a um determinado nível de tensão;
- barramento de terra de referência da fonte: os EES podem necessitar de várias tensões de diferentes CC (+5 V/0/-5 V, +12 V/0/-12 V, +24 V/0/-24 V), todos relativos a uma mesma referência;
- barramento de terra do equipamento (também denominado barramento terra de segurança por alguns fabricantes de EES): este corresponde à carcaça metálica externa (estrutura ou gabinete) dos EES, incluindo os chassis dos diversos elementos que os compõem.

3.2 - FORMAS DE SE EFETIVAR O ATERRAMENTO DOS EES

3.2.1 - ATERRAMENTO ATRAVÉS DE UM PONTO ÚNICO

Para se evitarem interferências, é desejável manterem-se completamente isolados os sistemas de terra da rede de energia elétrica e dos EES. Todavia, há locais onde esses dois sistemas de terra devem ser conectados juntos, em apenas um ponto, como indicado na FIGURA 1, onde se deve observar que:

- a conexão da barra de terra de referência (TR) dos EES à malha de terra de referência (MTR) deve ser feita preferencialmente com fita ou cordoalha, de comprimento máximo igual ao adotado entre condutores da MTR;
- a conexão de equalização entre a MTR e a malha de terra de força é instalada para resolver problemas relativos a baixas frequências, principalmente tendo em vista critérios de segurança pessoal; podem existir mais de uma destas conexões, sem prejuízo para o funcionamento do sistema;
- as barras de neutro (N) isoladas do quadro de distribuição, deverão ser conectadas à barra de terra de segurança (T) e, além disso, deverão existir pontos de aterramento local no quadro de distribuição, através de pelo menos um condutor;
- a barra TR deverá ser isolada do painel EES;
- os cabos fase (F), neutro (N) e terra de segurança (CPE, normalmente na cor verde) devem ser isolados de acordo com a classe de tensão do sistema.

Caso o sistema EES seja composto de várias unidades, as conexões de terra internas (e não o terra da carcaça) dirigem-se a um ponto de coleta dentro das carcaças, ponto esse que será conectado ao terra externo. A coleta dos terras individuais deve ter forma radial, ou de “árvore”, evitando-se percursos em paralelo.

3.2.2 - ATERRAMENTO ENVOLVENDO TERRAS SEPARADOS/ISOLADOS

A falta de entendimento quanto ao aterramento de neutro, e quanto à função e à operação do sistema de terra, levou alguns fabricantes a exigirem a execução incorreta de tais sistemas para a instalação dos EES. A recomendação foi de aterrar estes últimos em um eletrodo isolado, com uma ou mais hastes colocadas no solo e separadas do sistema de eletrodos de aterramento do sistema de potência. Esta não-conexão de todos os eletrodos de aterramento juntos, não atendia às exigências do National Electric Code (NEC), criando potenciais de transferência bastante perigosos.

Por outro lado, enquanto o ruído permanente de baixo nível era eliminado pela prática do terra isolado, vários incidentes foram catastróficos. A análise destes indicou que, sob condições de tempestade, a separação dos terras era responsável pela impressão de tensões elevadas nos componentes dos EES. Tais tensões ocorriam estando ou não os EES em operação, onde deve ser notado que componentes semi condutores resistem a apenas cerca de 20 [V] ou menos, mesmo para um tempo da ordem de 1 μ s.

O NEC proíbe aterramento múltiplo do condutor do circuito aterrado, no lado de carga do equipamento de serviço.

4 - FONTE DE ALIMENTAÇÃO DO TIPO CHAVEADA PARA EES

A alimentação de EES através de fontes do tipo série, apesar de essas fontes apresentarem um nível baixo de ondulação (ripple da ordem de microvolts pico-a-pico), não é viável devido ao pequeno rendimento e às grandes dimensões que elas têm.

Fontes chaveadas, por outro lado, além de possuírem rendimento adequado e tamanho reduzido (comparativamente a outras fontes capazes de fornecer potências elevadas), têm ainda uma boa regulação. Apresentam, porém, como principal problema o ruído eletromagnético causado por variações bruscas de corrente e de tensão no coletor do transistor de potência durante a comutação. Tal ruído exige que a saída da fonte tenha uma boa filtragem (para minimizar o ripple sobre o sinal de saída), mas, principalmente, impõe vários cuidados em relação à interferência por ele induzida por radiação (em outros equipamentos próximos à fonte) e por condução (na rede de distribuição de energia).

Além do aterramento adequado, contribuem para evitar as interferências: a utilização de filtros de linha, a redução no comprimento das pistas da placa de circuito impresso e o emprego de blindagens adequadas. Com as inovações tecnológicas na fabricação de mosfets, é possível aumentar a frequência de chaveamento dessas fontes, que, como já se afirmou, têm uma boa performance e, com o passar do tempo, ficam cada vez menores e mais leves. Assim, é de se esperar uma progressiva redução nos transtornos causados pelas radiações eletromagnéticas que emitem.

Na FIGURA 2, tem-se um diagrama básico das partes constituintes de uma fonte de suprimento de energia elétrica para EES do tipo chaveada. Tais partes são descritas a seguir, sem no entanto entrar no detalhe dos circuitos eletrônicos pertinentes, os quais são específicos de cada fabricante, não se constituindo, portanto, em objeto deste trabalho.

Neste item pretende-se apresentar o padrão típico de fonte de suprimento para EES, de modo que permita, posteriormente, recomendar o aterramento adequado da mesma, onde os detalhes particulares de circuitos dependem de cada fabricante não sendo portanto objeto deste trabalho.

4.1 - FILTRO DE ENTRADA

O filtro de entrada ou de linha é um circuito que visa a atenuar os efeitos causados pelos ruídos elétricos. É composto por elementos indutivos capacitivos, convenientemente projetados para serem acoplados diretamente à rede AC.

4.2 - RETIFICAÇÃO E REFILTRAGEM

Este circuito converte a tensão AC da rede em tensão contínua, utilizando, em geral, uma ponte retificadora. Devido aos capacitores empregados para desacoplar (filtrar) a rede AC, deve-se ter um cuidado especial com a corrente de surto (inrush) no momento da energização da fonte. Para limitar esta corrente, é normalmente utilizado um resistor ou, mais eficientemente, um resistor com um tiristor em paralelo. Neste caso, este último ficará inibido até que o capacitor se carregue, quando então conduzirá, curto-circuitando o resistor.

4.3 - CIRCUITO DE POTÊNCIA

Esse bloco é formado pelos transistores de chaveamento e pelo transformador, que isolam entre si o circuito alimentado e a rede. Além disso, transferem o sinal à saída buck, onde indutores são responsáveis por manter constante a tensão regulada requerida.

4.4 - RETIFICAÇÃO E FILTRO DE SAÍDA

Neste segmento, o resultado da retificação feita pelos diodos é levado à saída por um indutor, que promove o “alisamento” da corrente e a transferência de energia durante o período em que os diodos estão cortados. Além disso, este bloco leva um sinal de realimentação ao circuito de controle, como mostrado na FIGURA 2.

Embora se possam fazer vários tipos de realimentação, qualquer um deles pode provocar uma instabilidade, tornando necessário um circuito para compensação em frequência, a fim de não comprometer a boa performance da fonte.

4.5 - CIRCUITO DE CONTROLE

Neste bloco, normalmente é utilizado um único circuito integrado (CI) que realiza diversas funções, entre as quais amplificador de erro, oscilador e modulador PWM (pulse width modulation).

Quando o sinal de realimentação chega ao CI, a modulação PWM interna deste último faz variar a largura do pulso que irá chavear os transistores. Se a tensão de saída da fonte tender a diminuir, a largura de pulso aumenta e compensa a saída; por outro lado, se tender a aumentar, haverá redução da largura de pulso; desse modo, as variações de tensão devidas à variação de carga são corrigidas continuamente (on line), mantendo-se a saída estável.

5 - SUGESTÕES PARA O SISTEMA DE ATERRAMENTO DOS EES

A fim de se evitarem potenciais inadequados em sistemas onde existam EES em grande quantidade (por exemplo, em um CPD), é uma prática comum o uso de pisos falsos, suportados por estruturas metálicas adequadamente aterradas. As placas devem ser niveladas, para garantir um bom contato elétrico com a estrutura de suporte, contato esse que pode ainda ser melhorado através da colocação (recomendável) de chapas ou malhas de cobre entre ambas.

É recomendável, ainda, melhorar o contato das placas com a estrutura, através da colocação de chapas ou malhas de cobre entre ambas.

Para o aterramento, devem-se tomar pontos distribuídos o mais igualmente possível pela área da sala, à razão de um a cada metro quadrado, e parafusá-los na estrutura metálica de suporte através de terminais próprios, barras, malhas ou fitas de cobre com seção transversal entre 20 [mm²] e 30 [mm²]. Desse modo, os diversos pontos do piso falso ficam interligados, formando uma malha única.

O piso falso deverá, ainda, estar isolado das paredes e do piso de concreto da sala através de isoladores com nível básico de isolamento de, no mínimo, 10 [KV] (pastilhas plásticas com 5 [mm] de espessura são suficientes para esta finalidade). A situação está ilustrada na FIGURA 3.

Para a transmissão de dados, procurando-se evitar a perigosa transferência de potencial, é interessante usar filtro ótico ou modem, desde que isolados adequadamente. Os cabos correspondentes deverão estar, preferencialmente instalados em tubos de aço galvanizado, de parede espessa, conectados com luvas largas e aterrados nas duas extremidades. Na impossibilidade da instalação dos tubos, recomendam-se cabos que tenham blindagem eletromagnética, visto que a cordoalha (malha) apenas bloqueia o campo elétrico, e não o campo magnético.

É interessante notar que o efeito de campos elétricos é eliminado pelo aterramento de um ponto, e o dos campos magnéticos, pelo de dois pontos.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEEE STD 141-1986. "IEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants - (Red Book) - Chapter 7 - Grounding.
- [2] Dommel, H.W. "Non-Linear and Time-Varying Elements in Digital Simulation of Electromagnetic Transients". IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-90, pp. 2561-2567, Nov/Dec. 1971.
- [3] IEEE STD 142-1981. Revisão 1991-1994 - "IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems - Green Book: Chapter 5 Sensitive Electronic Equipment Grounding."
- [4] The National Electrical Code (NEC) - 1980 Hand Book National Fire Protection Association (NFPA); Batlerymarch Park, Quincy MA.
- [5] Costa, Paulo Fernandes. "Características e Evolução dos Sistemas de Aterramento para Equipamentos Eletrônicos." Revista Eletricidade Moderna, Maio 1992.
- [6] Garcia, Ricardo Torres. "Falhas em Sistemas Eletrônicos Causadas por Ruídos Elétricos." Boletim Sobracon - 44 - 1989.
- [7] National Electric Safety Code, Published by The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., Accredited Standard Committee C2-1993.

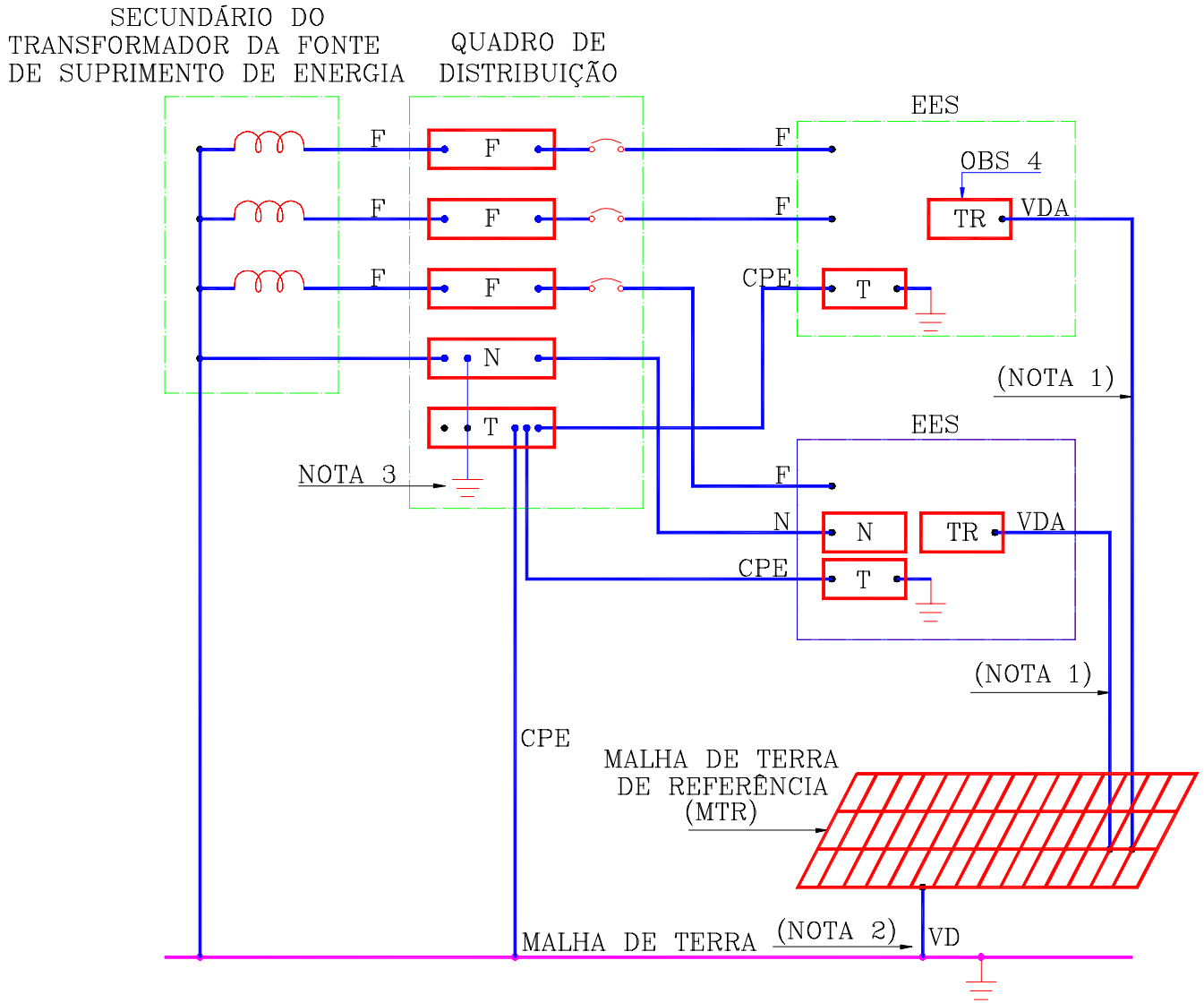


FIGURA 1 - ALIMENTAÇÃO E ATERRAMENTO [5]

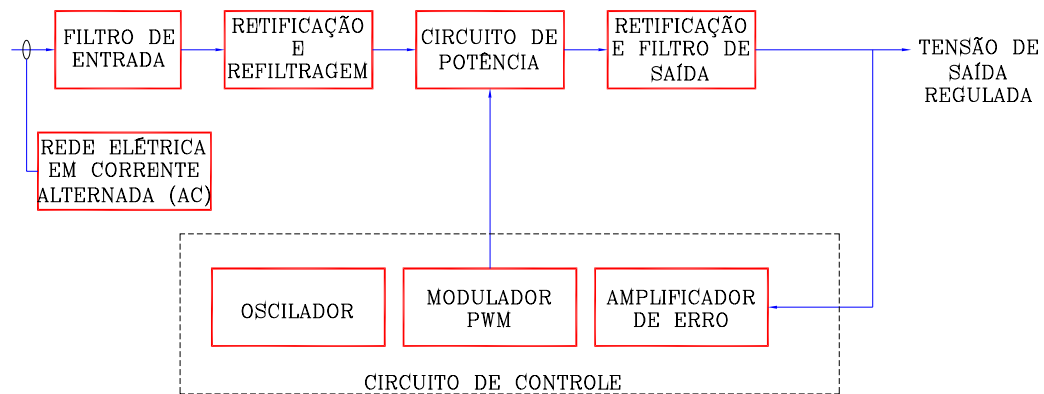
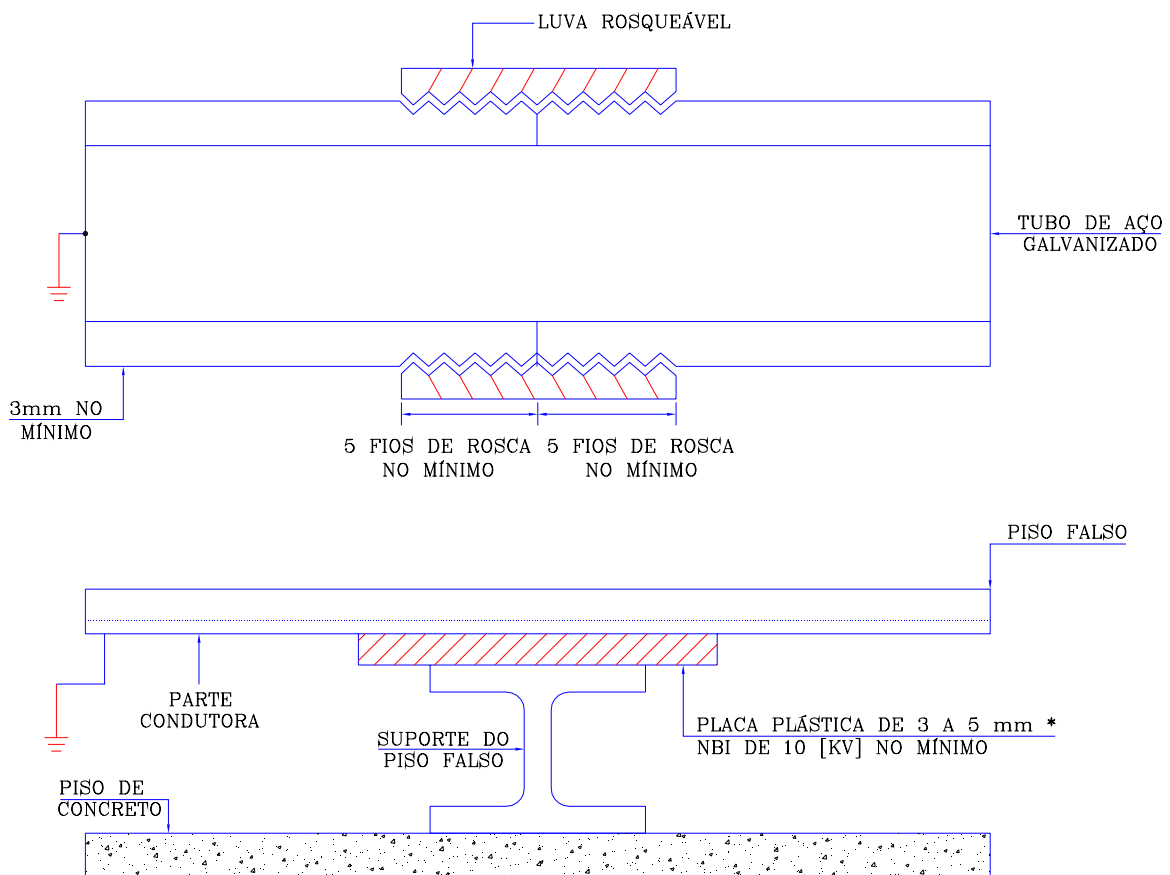


FIGURA 2 - DIAGRAMA DE BLOCOS DE FONTE CHAVEADA TÍPICA



* A PLACA PODERÁ SER COLOCADA ENTRE O PISO DE CONCRETO E O SUPORTE DO PISO FALSO, OU ENTRE O PISO FALSO E O SUPORTE

FIGURA 3 - ATERRAMENTO DO PISO FALSO E CONEXÃO DE DUTOS