



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
DISCIPLINA: PROJETO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

ANTÔNIO ALBERTO NUNES NOGUEIRA BASTOS

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO -
CONSIDERAÇÕES SOBRE SEGURANÇA DO TRABALHO EM PÁTIOS DE
SUBESTAÇÕES**

CAMPINA GRANDE

2010

ANTÔNIO ALBERTO NUNES NOGUEIRA BASTOS

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO -
CONSIDERAÇÕES SOBRE SEGURANÇA DO TRABALHO EM PÁTIOS DE
SUBESTAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção da graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador
Prof. Benedito Antonio Luciano

CAMPINA GRANDE

2010

ANTÔNIO ALBERTO NUNES NOGUEIRA BASTOS

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO -
CONSIDERAÇÕES SOBRE SEGURANÇA DO TRABALHO EM PÁTIOS DE
SUBESTAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção da graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador
Prof. Benedito Antonio Luciano

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Benedito Antonio Luciano

Orientador

Avaliador

Avaliador

SUMÁRIO

I INTRODUÇÃO.....	01
2 PROTEÇÃO DO TRABALHADOR.....	02
2.1.1 Medidas de Controle e Procedimentos de Segurança.....	02
2.1.2 Medidas de Proteção Contra Contatos Diretos.....	05
2.1.2 Medidas de Proteção Contra Contatos Indiretos.....	06
2.2 Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e Coletiva (EPC).....	07
2.3 Sistema Anti-Incêndio.....	11
2.4 Aterramento.....	12
2.5 Distâncias de Isolação.....	18
2.6 Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA).....	22
2.6.1 Método de Franklin.....	25
2.6.2 Método de Faraday.....	28
2.6.3 Método Eletrogeométrico.....	29
3 ACIDENTES EM PÁTIOS DE SUBESTAÇÕES.....	31
4 PRIMEIROS SOCORROS EM SITUAÇÕES DE CHOQUE ELÉTRICO.....	37
4.1 Métodos de respiração artificial para reanimação de vítimas de choque elétrico.....	37
4.1.1 Método de salvamento artificial "Hoger e Nielsen", para reanimação de vítimas de choque elétrico.....	37
4.1.2 Respiração Boca-a-Boca.....	40
4.2 Parada Cardíaca.....	41
5 CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a questão da Segurança do Trabalho não é mais uma opção nos ambientes de trabalho, mas sim uma obrigação. Com a fiscalização cada vez mais rígida, aplicação de multas e penas pesadas, tanto o empregador quanto o empregado têm de se adequar às normas de segurança pré-estabelecidas pelos órgãos responsáveis. O primeiro tem o dever de fornecer os equipamentos de proteção individual (EPI), bem como cursos de treinamento e capacitação pessoal. Ao segundo cabe usar os EPI corretos para cada situação e procurar sempre obedecer às normas de segurança que lhes foram passadas para garantir suas saúde e integridade física.

Como em qualquer ambiente de trabalho, pátios de subestações também possuem normas definidas para manutenção da integridade física dos seus funcionários, sejam eles da operação, manutenção, entre outros. Algumas destas normas estão presentes na Norma Regulamentadora 10 (NR-10), que trata da segurança em instalações e serviços em eletricidade.

Neste contexto está inserido este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), sob a orientação do professor Benedito Antonio Luciano, que tem por objetivo apresentar um estudo sobre as principais causas de acidentes em pátios de subestações, sugerindo formas de como evitá-los, mediante procedimentos de segurança e equipamentos de proteção individual utilizados nesses ambientes de trabalho, além de medidas de primeiros socorros que devem ser ministradas em caso de sinistros decorrentes de choque elétrico.

2 PROTEÇÃO DO TRABALHADOR

2.1 Medidas de Controle e Procedimentos de Segurança

As pessoas que circulam em pátios de subestações encontram-se constantemente em situações de perigo e elas são dos mais diversos tipos. Além do perigo iminente de choque elétrico, muitas atividades são realizadas em plataformas elevadas, escadas, ambientes confinados, expondo os operários a riscos de queda, asfixia, intoxicação. Por isso, nestes locais de trabalho devem ser adotadas medidas preventivas de controles de risco elétrico, bem como riscos adicionais mediante técnicas de análise de risco.

A análise de riscos procura identificar antecipadamente os perigos nas instalações, e nos serviços, e analisar os riscos associados ao homem, ao meio ambiente e à propriedade, propondo medidas de controle. Os principais passos para a avaliação dos riscos são:

- Identificar e avaliar o perigo;
- Estimar a probabilidade e gravidade do dano;
- Decidir se o risco é tolerável;
- Controlar o risco, com uso de medidas de controle.

As empresas responsáveis por cada subestação devem disponibilizar diagramas unifilares atualizados de suas instalações contendo especificação dos equipamentos, sistemas de aterramento e dispositivos de proteção. Outros documentos também são obrigatórios e estão citados na NR-10, dentre eles, guias de procedimento, instruções técnicas e administrativas e documentos comprobatórios da qualificação, habilitação, capacitação e autorização dos trabalhadores e dos treinamentos realizados.

Idealmente, todos os serviços em instalações elétricas deveriam ser realizados após uma prévia desenergização dos circuitos e, na sua impossibilidade, mediante o estabelecimento da tensão de segurança, uma tensão extremamente baixa. Caso ambos os procedimentos sejam inviáveis outras medidas de proteção coletiva devem ser adotadas, tais como isolamento das partes vivas, colocação de obstáculos, barreiras, sinalização, sistema de seccionamento automático da alimentação, bloqueio do religamento automático.

Segundo a NR-10, um circuito é considerado desenergizado e liberado para trabalho após uma seqüência de procedimentos listados abaixo:

- a) Seccionamento;
- b) Impedimento de reenergização;
- c) Constatação da ausência de tensão;
- d) Instalação de aterramento temporário com equipotencialização de condutores;
- e) Proteção dos elementos energizados existentes na zona controlada;
- f) Instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

O estado de instalação desenergizada deve ser mantido até a autorização para reenergização, devendo ser reenergizada respeitando a seqüência de procedimentos abaixo:

- a) Retirada das ferramentas, utensílios e equipamentos;
- b) Retirada da zona controlada de todos os trabalhadores não envolvidos no processo de reenergização;
- c) Remoção do aterramento temporário, da equipotencialização e das proteções adicionais;
- d) Remoção da sinalização de impedimento de reenergização;
- e) Destravamento, caso exista, e religação dos dispositivos de seccionamento.

Em um âmbito mais geral, alguns procedimentos gerais e medidas de proteção coletiva relativamente simples devem ser seguidos para garantir a segurança de todos, dentre elas:

- a) Devem existir vias livres para acesso de viaturas e pessoal para combate a incêndio até qualquer ponto, edificação ou equipamento que esteja sujeito a sinistro;
- b) Deve existir sistema de iluminação de emergência conforme a NBR 10898;

- c) Todo material inflamável, explosivo ou combustível deve ser armazenado em local apropriado, devidamente identificado, externo e ventilado. Os painéis de controle e comandos das bombas de incêndio devem ser independentes, situados em locais ventilados e de fácil acesso;
- d) Todas as partes das instalações elétricas devem ser projetadas e executadas de modo que seja possível prevenir, por meios seguros, os perigos de choque elétrico e todos os outros tipos de acidentes;
- e) Deve existir aterramento em equipamentos ou elementos condutores de eletricidade, conforme o caso;
- f) Blindagem, estanqueidade, isolamento e aterramento devem existir sempre que for necessário para segurança;
- g) As instalações elétricas sujeitas a maior risco de incêndio e explosão devem ser projetadas e executadas com dispositivos automáticos de proteção contra sobrecorrente e sobretensão, além de outros complementares;
- h) Circuitos elétricos com finalidades diferentes, tais como: telefonia, sinalização, controle e tração elétrica devem ter separação física e identificação adequadas;
- i) Devem ser observados: localização, iluminação, visibilidade e identificação dos circuitos;
- j) Todo motor elétrico deve possuir dispositivo que o desligue automaticamente, toda vez que, por funcionamento irregular, represente risco iminente de acidente;
- k) Placas de aviso, inscrições de advertência e bandeirolas, assim como demais meios de sinalização devem ser utilizados sempre que for necessário para a segurança.

Existem três grupos de medidas para a proteção contra choques elétricos. São elas:

- Medidas de proteção contra contatos diretos;

- Medidas de proteção contra contatos indiretos;
- Medidas de proteção contra contatos diretos e indiretos.

2.1.1 Medidas de Proteção Contra Contatos Diretos

A proteção contra choque por contato direto visa impedir um contato involuntário com uma parte condutora destinada a ser submetida a uma tensão não havendo defeito. Esta regra se aplica igualmente ao condutor neutro. A maneira de impedir este acesso constitui as medidas de proteção. Cada uma das medidas tem características específicas.

Os métodos para proteção contra choques elétricos podem ser divididos em dois grupos: proteção passiva e proteção ativa. A proteção passiva tem o objetivo de limitar a corrente elétrica que por uma falta atravessaria o corpo humano ou impedir o acesso de pessoa a partes vivas. Estas medidas não prevêm a interrupção de circuitos com falta. As modalidades de proteção passiva contra contatos diretos são as seguintes;

- **Proteção por isolamento das partes vivas:** a isolamento é destinada a impedir todo contato com as partes vivas da instalação elétrica. As partes vivas devem ser completamente recobertas por uma isolamento que só possa ser removida através de sua destruição;
- **Proteção por meio de barreiras ou invólucros:** as barreiras ou invólucros são destinados a impedir todo contato com as partes vivas da instalação elétrica;
- **Proteção parcial por meio de obstáculos:** os obstáculos são destinados a impedir os contatos fortuitos com partes vivas, mas não os contatos voluntários por uma tentativa deliberada de contorno de obstáculo.
- **Proteção parcial por colocação fora de alcance:** a colocação fora de alcance é somente destinada a impedir os contatos fortuitos com as partes vivas.

A proteção ativa consiste nos dispositivos e métodos que realizam ou proporcionam uma atuação automática sobre o circuito sempre que ocorrerem condições de perigo para o operador ou usuários. Estas medidas prevêm a interrupção de circuitos na ocorrência de falta. Nesta categoria de proteção são empregados dispositivos a corrente diferencial-residual (dispositivos DR), de alta sensibilidade que detectam valores de corrente diferencial-residual

nominal menor ou igual a 30 mA. Este dispositivo tem a função de detectar fugas de corrente em circuitos elétricos, interrompendo imediatamente a fonte de alimentação.

2.1.2 Medidas de Proteção Contra Contatos Indiretos

Classifica-se como contato indireto o toque de uma parte metálica de um aparelho elétrico que em condições normais não deveria se encontrar energizada, mas que foi tornada viva por uma falha da isolação. Devem ser adotadas medidas para proteção contra esse risco. A proteção contra choque por contato indireto é o conjunto de medidas que visa impedir que apareça na instalação uma tensão de contato que possa resultar em risco para as pessoas. As medidas de proteção contra contatos indiretos também são divididas em ativa e passiva.

- **Proteção pelo emprego de equipamentos classe II:** os equipamentos classe II são equipamentos que possuem isolação dupla. Além da isolação e proteção normal das partes vivas, estes equipamentos ainda têm uma segunda camada de isolação, ou uma segunda proteção às partes vivas. Equipamentos acondicionados em invólucros não-metálicos também são classificados como equipamentos classe II.

- **Proteção por separação elétrica:** é caracterizado pela não ligação física dos equipamentos na rede elétrica principal. Isto é possível através da instalação de transformadores isoladores (cuja relação é, normalmente, 1:1) entre os equipamentos e a rede elétrica. Assim, a alimentação de tais equipamentos provém de um tipo de ligação chamada de flutuante. Outra maneira de fazer a separação elétrica é utilizar circuitos separados para cada equipamento. O circuito de separação elétrica deve ser alimentado por intermédio de uma fonte de separação, isto é, um transformador de separação ou uma fonte de corrente que assegure um grau de segurança equivalente ao do transformador de separação. Por exemplo, um grupo motor gerador com enrolamentos que forneçam uma separação equivalente.

- **Proteção por ligação equipotencial não aterrada:** é feita a interligação de todas as massas dos equipamentos em um único ponto, sendo que este ponto não é aterrado. Assim, garante-se uma ligação equipotencial de todas as carcaças dos equipamentos, protegendo os operadores de eventuais choques, porém sem que este potencial seja forçado à terra.

- **Proteção por colocação do equipamento em locais não condutores:** é o tipo de proteção mais ineficaz, já que protegerá o operador somente enquanto este não tocar o

equipamento. Apesar disto, esta técnica é válida para complementar outras medidas de proteção, não devendo, em hipótese alguma, ser aplicada individualmente.

- **Proteção por seccionamento automático da alimentação:** após o aparecimento de uma falta, o seccionamento automático da alimentação destina-se a impedir a manutenção da tensão de contato por tempo suficiente para que possa resultar em perigo para as pessoas. De modo geral, deve ser usada preferencialmente a proteção por seccionamento automático da alimentação. No entanto, quando sua aplicação for difícil, irrealizável ou insuficiente, devem ser considerados os outros métodos de proteção.

As medidas de proteção contra contatos diretos e indiretos são àquelas que de alguma forma venham a nos proteger do perigo de choque elétrico devido estes dois tipos de contatos simultaneamente.

2.2 Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e Coletiva (EPC)

Os Equipamentos de Proteção Individual são dispositivos de uso individual utilizado pelos operários destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho. Eles devem ser usados sempre que esgotadas as possibilidades de adoção de solução técnica e de proteção coletiva, enquanto estas medidas estiverem em fase de implantação e quando da existência de risco inerente à atividade ou ambiente. Em caso de acidentes são estes equipamentos que irão garantir a vida dos operários, minimizando os efeitos do sinistro.

Os EPI utilizados variam de acordo com o tipo de atividade que está sendo desempenhada, devendo-se levar em consideração a condutibilidade, inflamabilidade e influências eletromagnéticas.

No caso da operação e manutenção em subestações, os EPI mais utilizados são:

- Mantas isoladoras;
- Bastão de manobra;
- Conjunto de aterramento;
- Capacete Plástico;
- Luvas de alta tensão;

- Óculos de Segurança;
- Calçado de segurança para uso em eletricidade;
- Protetor Auricular;
- Cintos de segurança para serviços em altura acima de 2 (dois) metros.

Alguns destes equipamentos são mostrados nas figuras a seguir:



Figura 1.a: Capacete Plástico com e sem viseira de proteção.



Figura 1.b: Luvas de Alta Tensão.



Figura 1.c: Óculos de Segurança.



Figura 1.d: Calçado de segurança para uso em eletricidade.



Figura 1.e: Protetores Auricular.



Figura 1.f: Cintos de segurança para serviços em altura.

Cabe ao contratante fornecer gratuitamente estes equipamentos aos seus funcionários sempre que as medidas de ordem geral não ofereçam completa proteção contra os riscos de acidentes e danos à saúde dos empregados, bem como fiscalizar seus usos. Para fins de fiscalização, o contratante deve possuir um quadro de Engenheiros e/ou Técnicos de Segurança do Trabalho que vai de acordo com o número de funcionários.

É importante lembrar que todo EPI deve conter um Certificado de Autorização, do Ministério do Trabalho e possuem um prazo de validade, sendo alguns deles projetados para

serem utilizados apenas algumas vezes, devendo ser descartados em seguida. Portanto, eles devem passar por inspeções periódicas para detectar possíveis falhas, como furos, falha no isolamento elétrico, entre outros. Além disso, todas as ferramentas manuais utilizadas em instalações elétricas devem ser eletricamente isoladas.

Os **Equipamentos de Proteção Coletiva** são dispositivos, sistemas, ou meios, fixos ou móveis de abrangência coletiva responsáveis pela proteção de todos que circulam no ambiente de trabalho. Sistemas de iluminação, aterramento, sinalização, barreiras, extintores de incêndio são alguns exemplos de EPC.

Em pátios de subestações os EPC são de fundamental importância e servem para identificar áreas de risco, equipamentos energizados, classes de tensão, locais onde não se pode trabalhar sem um prévio desligamento dos circuitos. A malha de aterramento e a brita presentes nestes locais também são exemplos de EPC, diminuindo a chance de ocorrência de choque elétrico devido às tensões de passo e de contato.

Uma correta sinalização de segurança deve conter as seguintes características:

- Identificação de circuitos elétricos;
- Travamento e bloqueios de dispositivos e sistemas de manobras e comandos;
- Restrições e impedimentos de acesso;
- Delimitação de áreas;
- Sinalização de áreas de circulação, de vias públicas, de veículos e de movimentação de cargas;
- Sinalização de impedimento de reenergização.

A Figura 2 mostra alguns exemplos de sistemas de travamento e sinalização de impedimento de reenergização.



Figura 2: Exemplo de sistema de travamento e sinalização.

2.3 Sistema Anti-Incêndio

O risco de incêndio em subestações é muito grande. Durante a ocorrência de curtos circuitos e/ou descargas atmosféricas ou até mesmo durante a realização de manobras no sistema podem provocar explosão de reatores, transformadores e incêndios em painéis de proteção e comando. A Instrução Técnica 30 (IT-30) estabelece as medidas de segurança contra incêndio em subestações elétricas.

Segundo a IT-30, as casas de comando e edificações de apoio operacional devem ser dotadas de sistema anti-incêndio de acordo com sua área além de sistemas de detecção de fumaça. Caso existam portas e/ou janelas de vidro, elas devem abrir no sentido da saída para o exterior, facilitando a saída de todos em situações de emergência. Esta IT define também que os equipamentos e edificações que correm risco de explosão devem ser separados fisicamente. No caso de reatores, transformadores e reguladores de tensão essa separação é feita por meio de paredes corta-fogo, impedindo assim que a explosão de um equipamento danifique outros equipamentos. Além disso, próximo a estes equipamentos deve haver extintores de pó químico ou CO₂ (gás carbônico) sobre rodas e em locais de fácil acesso, sinalizados, abrigados contra intempéries e identificados, com capacidade mínima de 50 Kg cada.

As paredes corta-fogo devem ficar a 50 cm dos equipamentos, ter no mínimo altura 40 e 60 cm acima do tanque conservador de óleo para transformadores e reatores, respectivamente, e ultrapassar em 60 cm o equipamento a ser protegido. Quando a distância entre equipamento e edificação for inferior a 8 metros, devemos nos certificar que no caso do desabamento da estrutura, parcial ou total, ela não atinja equipamentos, edificações e vias de

acesso. Quando esta distância for maior do que 15 metros não há necessidade da parede corta-fogo.

Por último, a IT-30 estabelece que os quadros de supervisão e comando dos sistemas fixos de proteção contra incêndio da subestação devem estar localizados na sala de controle ou em área de supervisão contínua. A sinalização, luminosa e sonora, de funcionamento dos quadros deve ser diferente de outras existentes no local, para fácil identificação. Caso ocorra algum sinistro, quanto mais rápido a ação reparadora, menores os danos causados.

É muito importante também, em caso de incêndio, identificar sua classe para utilizar o agente extintor adequado a cada situação. Existem quatro classes de incêndio:

- **Classe A** - são materiais de fácil combustão com a propriedade de queimarem em sua superfície e profundidade, e que deixam resíduos, como: tecidos, madeira, papel, fibras, etc.;
- **Classe B** - são considerados os produtos inflamáveis que queimam somente em sua superfície, não deixando resíduos, como óleo, graxas, vernizes, tintas, gasolina, etc.;
- **Classe C** - quando ocorrem em equipamentos elétricos energizados como motores, transformadores, quadros de distribuição, fios, etc.
- **Classe D** - elementos pirofóricos como magnésio, zircônio, titânio.

2.4 Aterramento

Nas instalações elétricas de média e alta tensão é imprescindível a existência de uma malha de aterramento (Figura 3) para que se possa garantir adequadamente a segurança das pessoas e o seu correto funcionamento. A NBR 14039 e a NR-10 exigem que todas as instalações elétricas tenham um aterramento. Esta exigência tem como finalidade principal a segurança das pessoas, quer sejam profissionais encarregados da operação e manutenção como pessoas que utilizam a instalação e estão na sua proximidade e influência. Além da segurança pessoal, o sistema de aterramento também é responsável pela proteção das instalações, melhoria da qualidade dos serviços, principalmente de proteção e o estabelecimento de um referencial de tensão para a instalação.

A presença do aterramento, seja ele permanente ou temporário, fornece à instalação um caminho de impedância adequada à corrente de falta. Neste caso, a terra deve ser considerada como um elemento do circuito por onde pode circular uma corrente, seja ela, proveniente de uma falta ou descarga atmosférica. No caso da corrente de falta o fenômeno é eletrodinâmico e a corrente percorre sempre um caminho fechado incluindo a fonte e a carga. No caso da descarga atmosférica o fenômeno é eletrostático e a corrente do raio circula pela terra para neutralizar as cargas induzidas no solo. A circulação da corrente apresenta conseqüências, como por exemplo, tensão de passo e tensão de contato. Estas tensões configuram situações de risco, pois o corpo humano ao ser submetido a uma diferença de potencial é percorrido por uma corrente elétrica, que pode ocasionar desde um simples formigamento e queimaduras até a morte do indivíduo.

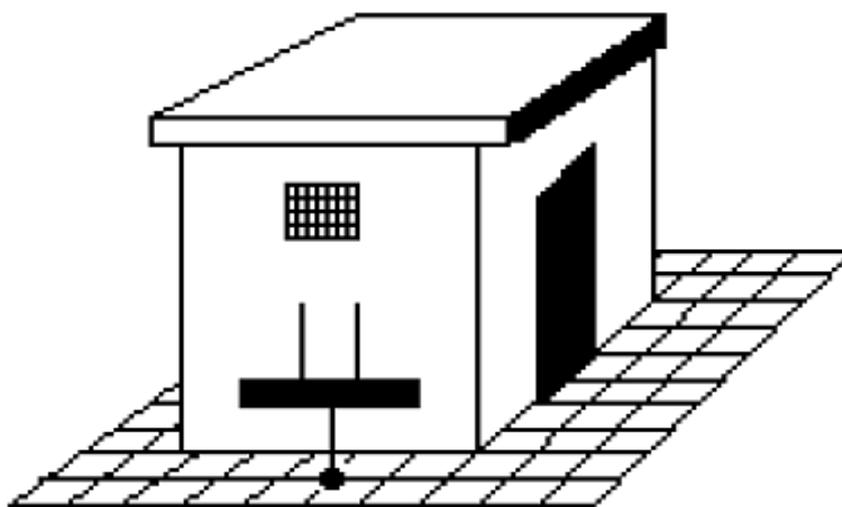


Figura 3: Edificação protegida por malha de aterramento. [12]

Existem três tipos de aterramento e eles são classificados de acordo com sua função:

- Aterramento funcional é o aterramento de um condutor vivo, normalmente o neutro, objetivando o correto funcionamento da instalação;
- Aterramento de proteção é o aterramento das massas e dos elementos condutos estranhos à instalação, objetivando a proteção contra choques por contatos indiretos.
- Aterramento para trabalho é o aterramento de uma parte de um circuito de uma instalação elétrica, que está normalmente sob tensão, mas é posta

temporariamente sem tensão para que possam ser executados trabalhos com segurança.

Dependo do esquema de aterramento adotado os aterramentos: funcional e de proteção podem ser conectados no mesmo eletrodo de aterramento ou em eletrodos distintos. Mas tanto o aterramento funcional quanto o aterramento de proteção são permanentes enquanto que o aterramento de trabalho é um aterramento temporário, só é feito durante a realização do trabalho na instalação, sendo retirado em seguida para a energização.

Nas subestações, o sistema de aterramento é formado por hastes condutoras, propositalmente enterradas, garantindo assim um bom contato elétrico com a terra, chamadas eletrodos de aterramento. A ligação entre estes eletrodos é feita por meio de condutores em cobre nu que formam uma malha, também enterrada no solo e que se estendem além do pátio energizado. A conexão entre condutores e entre condutores e hastes é toda feita através de solda exotérmica (Figura 4). Este tipo de solda, diferentemente da solda comum, não funde o material para fazer sua união, mas sim cria um invólucro que os une, evitando formação de pontos quentes que aumentam a resistência da malha. A dimensão da malha básica vai depender da resistividade do solo, nível de proteção desejado, além de cálculos da tensão de contato e tensão de passo (Figura 5). Quanto maior a dimensão da malha básica, maior será a elevação de potencial em seu interior, como mostra a Figura 6.



Figura 4: Solda Exotérmica (Molde 'X').

- **Tensão de passo:** máxima diferença de potencial entre os pés (arbitra-se uma distância média de 1m entre os mesmos) a que ficaria submetida uma pessoa, eventualmente presente na região do aterramento, durante a circulação de corrente pelo mesmo.
- **Tensão de toque:** máxima diferença de potencial entre mão e pés a que ficaria submetida uma pessoa, eventualmente presente na região do aterramento, que tivesse contato com uma parte metálica ligada aos seus eletrodos, durante a circulação de corrente pelo aterramento (consideram-se ambos os pés afastados de 1m da estrutura tocada).
- **Tensão de falta:** é a tensão que aparece , quando de uma falha de isolamento, entre uma massa e um eletrodo de aterramento (um ponto cujo potencial não seja modificado pela energização da massa). Só é definida se o sistema possuir um ponto aterrado.

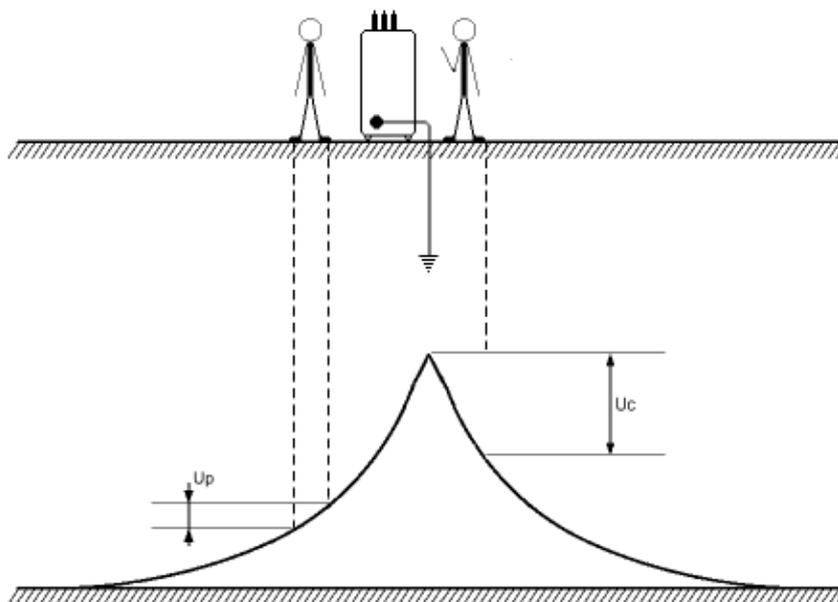


Figura 5: Tensão de passo (U_p) e tensão de contato (U_c) provocadas pela presença de um eletrodo de aterramento. [12]



Figura 6: Distribuição de potencial no interior das malhas básicas. [12]

A resistividade do solo está diretamente relacionada ao seu grau de compactação, isto é, uma maior ou menor área de contato entre os grãos que o compõem. Assim, o solo deverá ser compactado após o preenchimento das valas e orifícios feitos para implantação dos eletrodos de aterramento, além do cuidado de não misturar a terra original com escombros ou britas na operação de re-aterro.

Existem basicamente duas maneiras de se medir a resistividade do solo. Uma delas é a medição por amostragem, que é realizada em laboratório através de pequenas quantidades do solo desejado (coletada certa profundidade, onde o terreno é mais imune às alterações ambientais), e a mais confiável, é normalmente utilizada a medição no local. A segunda, é realizada através de eletrodos adequadamente posicionados, foi desenvolvida por Frank Wenner. Ela apresenta um modelo de medição eficiente e relativamente simples, ilustrado pela Figura 7. O método utiliza um terrômetro (instrumento de medição de resistência), que possui quatro terminais (dois de corrente e dois de potencial), os quais devem ser conectados a quatro eletrodos, distantes um do outro de a . O aparelho faz circular corrente elétrica (I) nos dois eletrodos externos (I_1 e I_2), assim, através das duas hastes internas (V_1 e V_2) o aparelho calcula a diferença de potencial (V), e pela relação V/I processa o valor da “resistência”. De posse dos valores de resistência coletados em várias direções, aplica-se então a fórmula de Palmer, que para um afastamento entre as hastes relativamente grande em relação à penetração dos eletrodos no solo, tem-se:

$$\rho = 2\pi a R. \quad \text{(Equação 1)}$$

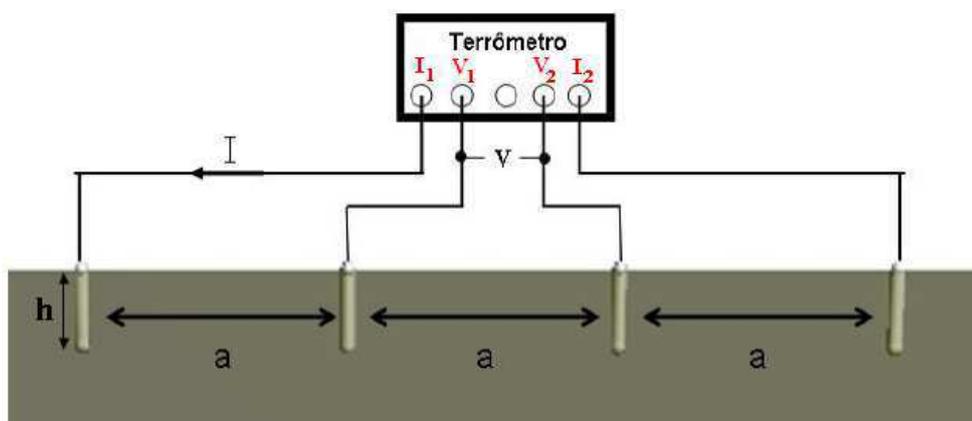


Figura 7: Método de Wenner.

A partir dos valores encontrados, obtidos através das medições realizadas em campo, é possível então mapear todo o terreno no qual se deseja implantar o sistema de aterramento.

Tal mapeamento pode ser denominado de estratificação do solo, que é basicamente a identificação das várias camadas que compõem o mesmo. Existem várias técnicas de modelagem do solo [G. F. Tagg], dentre elas, destacam-se o método de estratificação de duas camadas, método de Pirson e o método gráfico.

Na Figura 8 é apresentado o gráfico da resistência do eletrodo P versus sua distância à haste de aterramento. Nesta figura pode ser observada uma região na qual a resistência medida se mantém constante (região de patamar), o valor medido da resistência na região de patamar é a resistência de aterramento.

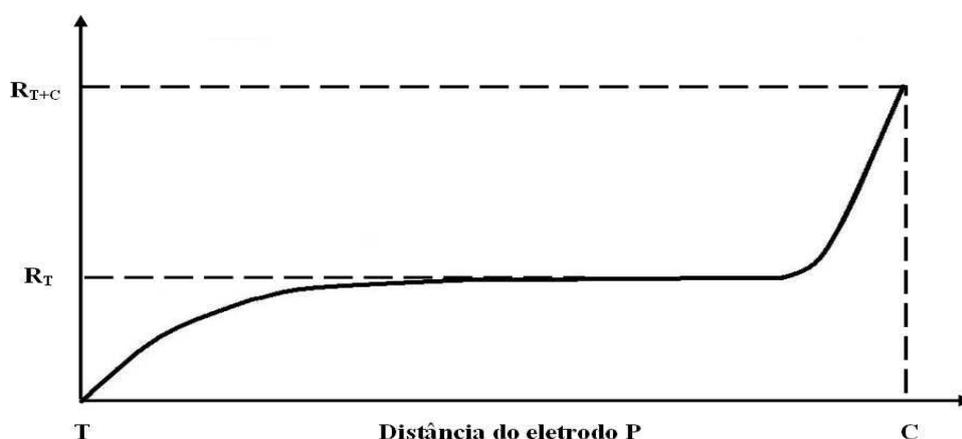


Figura 8: Gráfico da resistência versus a distância.

Com a função de aumentar a confiabilidade da proteção proporcionada pela malha de aterramento, depois de enterradas as hastes e os condutores, o solo ainda é revestido por uma camada de brita, conforme ilustrado na Figura 9, pois esta confere maior qualidade no nível de isolamento dos contatos dos pés com o solo. Esta camada representa uma estratificação adicional com a camada superficial do solo.

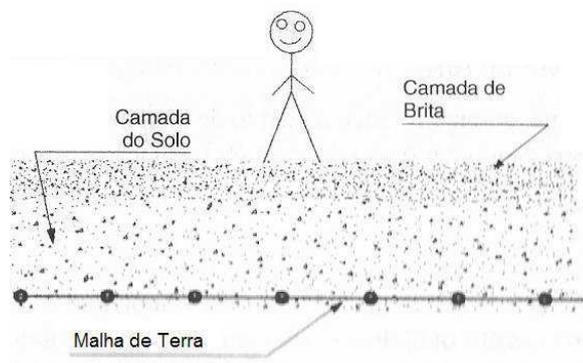


Figura 9: Indivíduo sobre uma malha de terra. [12]

2.5 Distâncias de Isolação

O isolamento de uma subestação, disposta ao ar livre, está sujeito continuamente a esforços elétricos devido à tensão na frequência industrial e também a impulsos de tensão transitórios causados por descargas atmosféricas e surtos de manobra ou chaveamento. Para garantir seu pleno funcionamento e proporcionar segurança a todos que por quaisquer motivos precisem circular em seu interior, ela deve ser projetada respeitando-se rigorosamente as distâncias mínimas de isolação entre equipamentos energizados, condutores, de ambos para a terra, entre outros. Tais distâncias podem até exceder os valores definidos por norma, isto vai depender do arranjo físico do empreendimento, mas nunca poderão ser menores.

Os espaçamentos dos equipamentos e condutores são determinados por quatro distâncias de isolamento:

- **Distância de Isolação para a terra:** distância entre partes vivas e estruturas aterradas, paredes, telas e massa.
- **Distância de Isolação entre Fases:** distância entre partes vivas de diferentes fases. A distância entre fases é 10 a 15% maior que a distância de isolação para a terra.
- **Distância de Isolação para Trabalho:** distância entre partes vivas e os limites das zonas de manutenção (zona de trabalho). Os limites da zona de manutenção podem ser a terra ou uma plataforma na qual o homem trabalha.
- **Distância de Seccionamento:** distância entre os terminais de uma chave seccionadora, ou conexões. Também se aplica entre conexões aos terminais de um disjuntor.

Existe também o “afastamento de solo”, que é baseado no alcance de um homem com os braços esticados para cima, e é especificado em valor de 2,44 m pela Norma BS 162. Esta distância deve ser respeitada sempre que houver necessidade de homens trabalhando sob equipamento energizado e é necessária para assegurar que o indivíduo não fique situado dentro da região do campo de tensão durante a realização de suas tarefas.

Tabela 1: Distâncias de afastamento elétrico.

AFASTAMENTOS ELÉTRICOS EM SUBESTAÇÕES EXTERNAS										
TENSÃO NÔMINAL kV	TENSÃO MÁXIMA DO EQUIP. (1) kV	TENSÃO SUFOTÁVEL NÔMINAL DE IMPULSO ATMOSFÉRICO kV CRISTA(2)	ESPAÇAMENTOS (METROS)				ALTURA MÍNIMA BARRAMENTO HORIZONTAL SOBRE O SOLO(m)(9)	ALTURA RECOMENDADA SOBRE ESTRADAS (METROS)		ISOLAMENTO EM LOCUS S/ POLUIÇÃO N/ DE ISOLADORES DE BARRAMENTO
			FASE-TERRA (3)	FASE-FASE (4)	E A C. DE FASES COM EQUIPAMENTOS			SECUNDÁRIAS	DE SERVIÇOS	
					MÍNIMO METAL A METAL	MESMO CIRCUITO				
13,8	15	110	0,20	0,30			3,00		6,00	2 (5)
34,5	38	200	0,38	0,48			3,00		6,00	4 (5)
69	72,5	350	0,69	0,79	2,00	3,00	3,00	4,55	6,00	6 (6)
138	145	550	1,10	1,25	2,50	4,00	3,60	4,55	7,50	10 (6)
138	145	650	1,30	1,45	3,00	5,00	3,60	4,55	7,50	10 (6)
230	242	850	1,60	1,90	4,00	6,00	4,50	5,60	8,50	
230	242	950	1,70	2,10	4,00	6,00	4,50	5,60	8,50	
230	242	1050	1,90	2,30	4,00	6,00	4,50	5,60	8,50	16 (6)

Um dos aspectos mais importantes do projeto de uma subestação é a zona do equipamento para manutenção. É necessário, no início, ter uma idéia clara de como os vários itens dos equipamentos vão ser agrupados, como eles serão seccionados e fisicamente separados dos equipamentos vivos da vizinhança e como conseguir o acesso mais seguro a eles. Isto pode ser conseguido através do uso de uma barreira aterrada ou através da prescrição de uma distância de isolamento para o trabalho.

Para trabalhos em áreas que não possuem separação física de equipamentos energizados, a zona de manutenção deve ser dimensionada acrescentando-se 2,44 m à distância de isolamento para a terra (DiT). Isso garante que o operário em caso de queda ou levantamento dos braços não adentre, integral ou parcialmente, na região de risco, expondo-se à possibilidade do choque elétrico. A Figura 10 ilustra a segunda situação, onde a linha vermelha representa uma zona energizada.

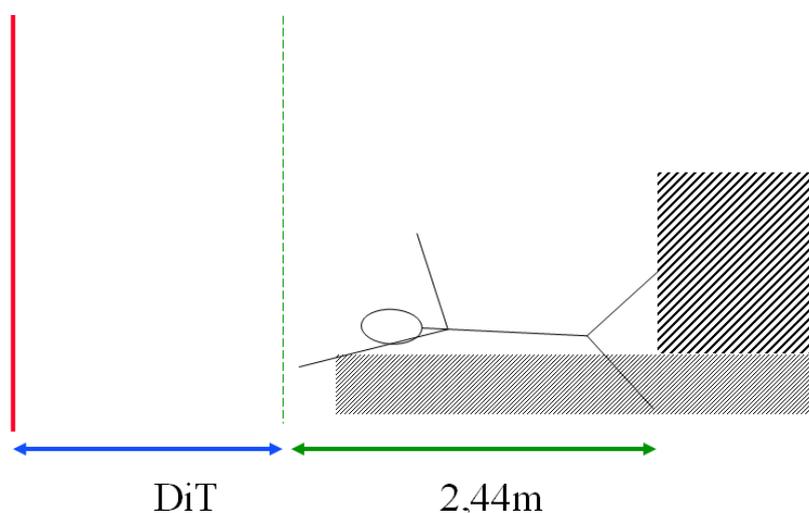


Figura 10: Zona de Manutenção sem Barreira Aterrada. [3]

Por exemplo, vamos imaginar a situação que um operário tenha que subir em uma chave seccionadora onde temos um barramento que passa por cima da mesma e não há nenhuma barreira aterrada. Neste caso, este barramento deve estar a uma distância de 2,44 m, especificada anteriormente, acrescida da distância de isolamento de acordo com o nível de tensão ao qual o sistema está exposto.

Quando há uma barreira aterrada, conforme a Figura 11, separando a zona de manutenção de equipamentos ou condutores energizados, temos que a distância desta barreira para os mesmos deve ser igual ou superior à distância de isolamento para a terra. Neste caso não é exigida o acréscimo da distância de 2,44 m, pois a barreira física impede que o indivíduo entre na região de risco quando precisar erguer os braços ou cair.

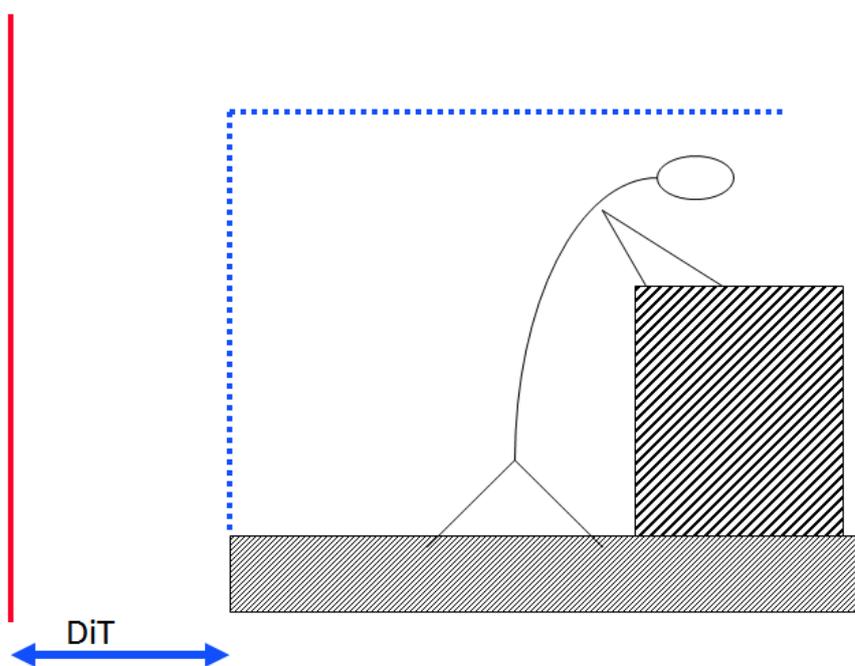


Figura 11: Zona de Manutenção com Barreira Aterrada. [3]

Segundo a NR-10, ainda devemos delimitar três zonas durante o projeto de uma subestação para garantir a segurança do trabalhador:

- **Zona de Risco (ZR):** Entorno de parte condutora energizada, não segregada, acessível inclusive acidentalmente, de dimensões estabelecidas de acordo com os níveis de tensão, cuja proximidade só é permitida a profissionais autorizados e com a adoção de técnicas e instrumentos apropriados ao trabalho.

- **Zona Controlada (ZC):** Entorno de parte condutora energizada, não segregada, acessível, de dimensões estabelecidas de acordo com o nível de tensão, cuja aproximação só é permitida a profissionais autorizados.
- **Zona Livre (ZL):** Zona que não oferece riscos.

Tabela 2: Tabela de raios de delimitação da ZR, ZC e ZL em função o nível de tensão. [9]

Faixa de tensão Nominal da instalação elétrica em kV	Rr - Raio de delimitação entre zona de risco e controlada em metros	Rc - Raio de delimitação entre zona controlada e livre em metros
<1	0,20	0,70
≥1 e <3	0,22	1,22
≥3 e <6	0,25	1,25
≥6 e <10	0,35	1,35
≥10 e <15	0,38	1,38
≥15 e <20	0,40	1,40
≥20 e <30	0,56	1,56
≥30 e <36	0,58	1,58
≥36 e <45	0,63	1,63
≥45 e <60	0,83	1,83
≥60 e <70	0,90	1,90
≥70 e <110	1,00	2,00
≥110 e <132	1,10	3,10
≥132 e <150	1,20	3,20
≥150 e <220	1,60	3,60
≥220 e <275	1,80	3,80
≥275 e <380	2,50	4,50
≥380 e <480	3,20	5,20
≥480 e <700	5,20	7,20

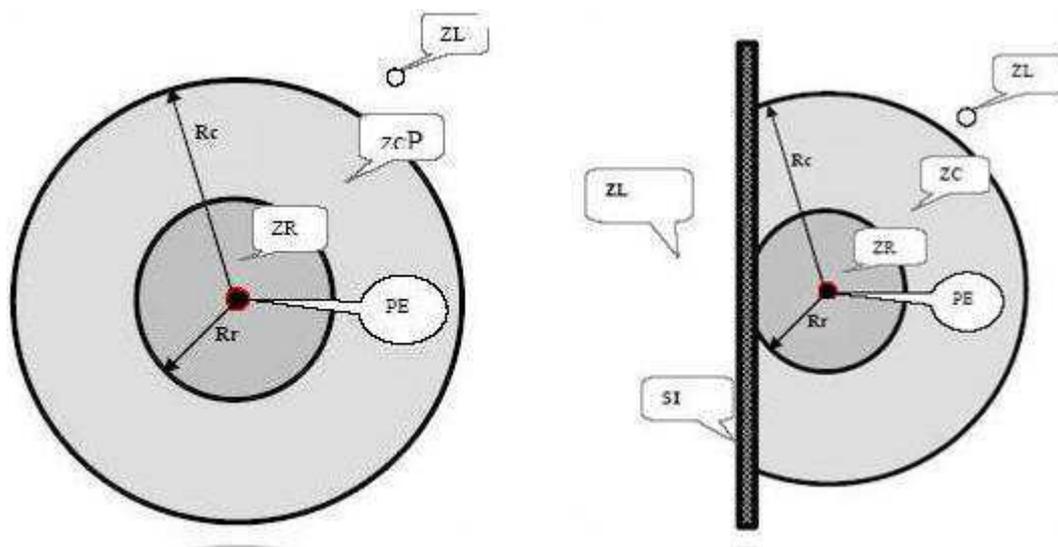


Figura 12: Distâncias que delimitam as ZR, ZC e ZL, com e sem separação física. [9]

*PE – Ponto Energizado;

*ZR – Zona de Risco;

*ZC – Zona Controlada;

*ZL – Zona Livre;

*SI – Superfície Isolante.

2.6 Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA)

SPDA é o sistema responsável pela proteção de uma estrutura contra os efeitos das descargas atmosféricas, minimizando seus efeitos. Este sistema consegue neutralizar, pelo poder de atração das pontas, o crescimento do gradiente de potencial elétrico entre o solo e as nuvens, por meio do permanente escoamento de cargas elétricas do meio ambiente para a terra, além de oferecer às descargas elétricas que incidirem em suas proximidades um caminho preferencial, reduzindo os riscos de sua incidência sobre as estruturas. As normas para instalação de SPDA estão contidas na NBR-5419.

A formação do raio acontece quando a diferença de potencial entre a nuvem e a superfície da Terra ou entre duas nuvens é suficiente para ionizar o ar, resultando em um ou mais impulsos de vários quiloampères. As descargas entre nuvem e terra ainda podem ser classificadas como ascendentes (terra-nuvem) ou descendentes (nuvem-terra).

Durante a ocorrência de uma descarga atmosférica, a quantidade de energia envolvida no processo é muito grande. Quando o raio atinge o solo, ele pode provocar diversos danos que vão desde prejuízos materiais, como incêndios, destruição de edificações, até a morte de pessoas e animais. Algumas vezes a existência do SPDA não é suficiente para aliviar toda a energia inerente à este fenômeno imprevisível da natureza.

As subestações como um todo estão sujeitas as descargas que incidem diretamente sobre elas e sobre as linhas de transmissão. Por isso ela deve ser dotada de sistema SPDA para proteger seus funcionários e equipamentos. As linhas de transmissão (LT) são dotadas de cabos-guarda responsáveis por absorver a energia proveniente dos raios, aliviando-a para a terra. Porém, mesmo com a existência destes cabos-guarda, as descargas atmosféricas por diversas vezes atingem as LT, prolongando-se na sua extensão até as subestações.

O Pára-raios, ilustrado na Figura 13, é o dispositivo de proteção adequado para controlar e limitar o nível das sobretensões provenientes de descargas atmosféricas ou

manobra. Ele é constituído de um resistor não-linear, que faz justamente a função de limitar o nível de tensão nos terminais dos equipamentos ou dos sistemas protegidos a níveis pré-estabelecidos e operacionalmente aceitáveis, de modo que após a ocorrência destas solicitações a isolamento dos equipamentos ou dos sistemas não fique comprometida, garantindo a segurança das instalações.

Estes equipamentos são conectados entre a fase e a terra e caracterizam-se por uma curva $V \times I$ não-linear, com condução muito baixa para níveis normais de tensão exercendo assim pouca influência no sistema. Já na presença de surtos, apresentam uma redução brusca da sua resistência, convertendo a energia elétrica absorvida em energia térmica e dissipando-a para o meio ambiente através do efeito Joule.



Figura 13: Pára-raio de ZnO.

Nas subestações são usados dois tipos de para-raios: os de carboneto de silício (SiC) e os de óxido de zinco (ZnO), sendo que o segundo vem substituindo o primeiro, já que apresenta inúmeras vantagens, dentre as quais podemos destacar:

- alto expoente de não-linearidade entre a tensão e a corrente;
- baixa tensão residual;
- baixa corrente de fuga na tensão de operação;
- eliminação dos centelhadores em série;
- redução significativa do tamanho;

- rápida resposta quando submetidos a surtos de tensão;
- comportamento superior com relação à proteção;
- suportabilidade superior para ciclos de operação múltiplos;
- desempenho superior em ambientes poluídos;
- possibilidade de conexão em paralelo de colunas varistoras ou mesmo de pára-raios;
- capacidade de absorção de calor superior.

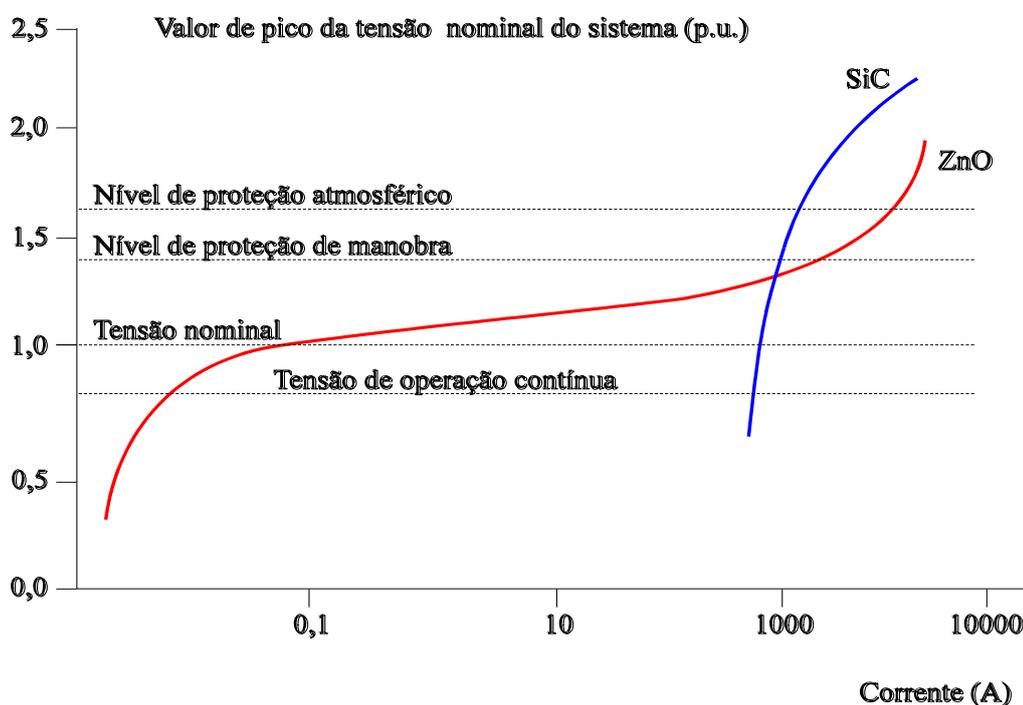


Figura 14: Característica VxI dos pára-raios à SiC e ZnO.

Outro dispositivo de proteção são os captore, que comumente são chamados de pára-raios também. Eles são hastes metálicas localizados geralmente no topo de edificações e estruturas dos barramentos e são interligados em uma malha de aterramento e nos cabos-guarda das subestações. Este dispositivo tem como função atrair as descargas atmosféricas devido ao efeito das pontas.

Existem três métodos de proteção contra descargas atmosféricas baseados em captore:

- Método de Franklin;
- Método de Faraday;

- Método Eletrogeométrico.

2.6.1 Método de Franklin

O método mais utilizado é o de Franklin e consiste em determinar o volume de proteção propiciado por um cone, cujo ângulo de geratriz com a vertical varia segundo o nível de proteção. Este modelo é recomendado para aplicação em estruturas muito elevadas e de pouca área horizontal. Dessa forma podemos usar menos captores, tornando o projeto economicamente interessante.



Figura 15: Captor Franklin em uma subestação.

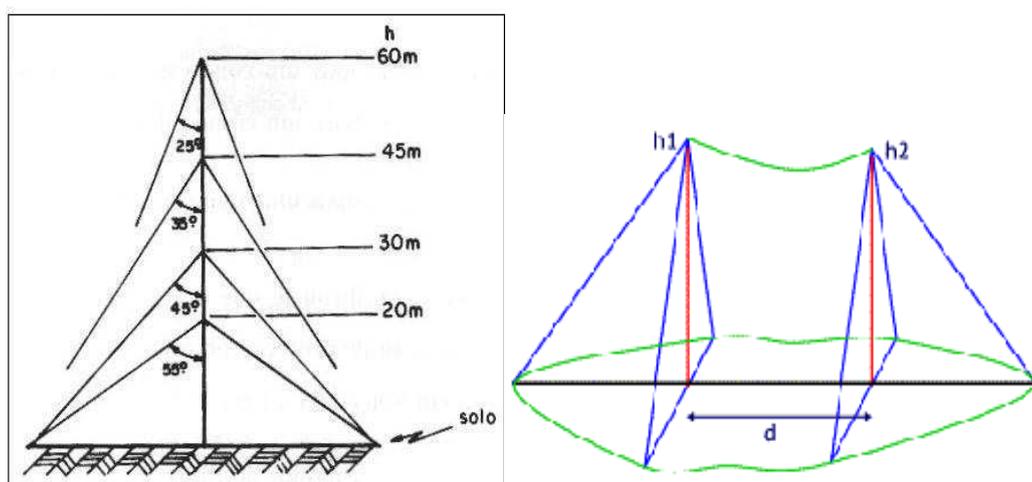


Figura 16: Zona protegida por um e dois captores pelo Método de Franklin. [14]

De acordo com a NBR 5419 no Brasil o ângulo de abertura varia não só com a altura da edificação, mas também com o nível de proteção desejado. O raio da base do cone que representa a região protegida pode ser obtido através de uma simples relação trigonométrica:

$$R_p = H_c * \tan \alpha \quad \text{(Equação 2)}$$

*Rp: raio de proteção;

*Hc: altura do captor;

*α: ângulo de proteção.

Tabela 3: Ângulo de proteção em função da altura e nível de proteção. [7]

Nível de proteção	h m	Ângulo de proteção (α) - método Franklin, em função da altura do captor (h) (ver Nota 1) e do nível de proteção					Largura do módulo da malha (ver Nota 2) m
		R m	0 - 20 m	21 m - 30 m	31 m - 45 m	46 m - 60 m	
I	20	25°	1)	1)	1)	2)	5
II	30	35°	25°	1)	1)	2)	10
III	45	45°	35°	25°	1)	2)	10
IV	60	55°	45°	35°	25°	2)	20

R = raio da esfera rolante

1) Aplicam-se somente os métodos eletrogeométrico, malha ou da gaiola de Faraday.

2) Aplica-se somente o método da gaiola de Faraday.

NOTAS

1 Para escolha do nível de proteção, a altura é em relação ao solo e, para verificação da área protegida, é em relação ao plano horizontal a ser protegido.

2 O módulo da malha deverá constituir um anel fechado, com o comprimento não superior ao dobro da sua largura.

A Figura 17 exemplifica a instalação padrão com apenas um captor, no entanto, o número de captores é definido em função da área a ser protegida, devendo toda a edificação e áreas a proteger estar dentro do campo de proteção.

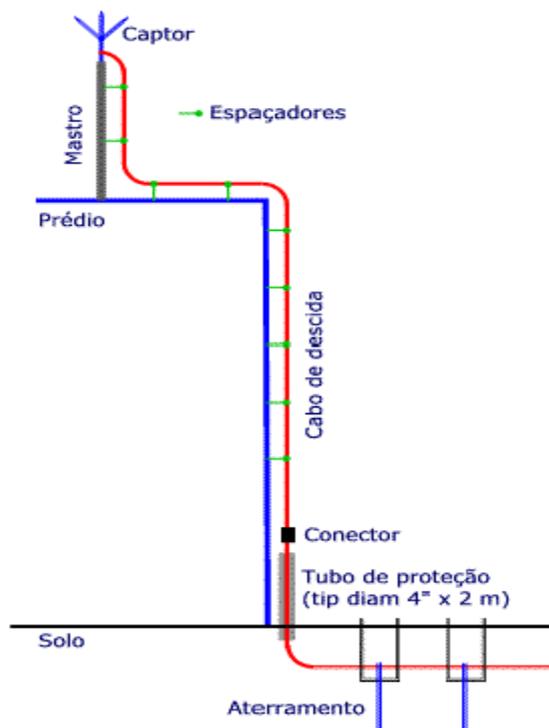


Figura 17: Método de Franklin com um captor. [14]

A quantidade de condutores de descida que interligam os captores à malha de aterramento depende do perímetro da construção e do nível de proteção desejado. Como regra geral, a descida deve ser a mais direta possível, com o mínimo de curvas. Essas, quando necessárias, devem ter raio mínimo de 20 cm. Não deve haver emendas, exceto para o conector indicado na figura acima, próximo ao solo, que permite separar as partes para medições do aterramento.

$$N_{cd} = \frac{P_{cd}}{D_{cd}} \quad \text{(Equação 3)}$$

- *N_{cd}: número de condutores de descida;
- *P_{cd}: perímetro da construção;
- *D_{cd}: distância entre condutores de descida.

A Tabela 4 define a distância entre os condutores de descida de acordo com o nível de proteção desejado.

Tabela 4: Distância entre condutores de descida.

Espaçamento dos Condutores de Descida	
Nível de Proteção	Espaçamento (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

Existe uma tendência a que método Franklin seja retirado da norma seguindo uma tendência Internacional e também pelo fato do método Eletrogeométrico ser uma evolução do Franklin.

2.6.2 Método de Faraday

O método de Faraday consiste em formar uma malha sobre a estrutura que se deseja proteger, interligada a terra. Esta estratégia de proteção confere a estrutura uma blindagem eletrostática, garantindo um campo eletromagnético nulo em seu interior mesmo durante a circulação de corrente nos condutores da malha. A eficácia deste modelo é baseado em um experimento realizado por Michael Faraday em 1836 com a finalidade de comprovar os efeitos da blindagem eletrostática. Na ocasião, Faraday construiu uma gaiola de metal carregada por um gerador eletrostático de alta tensão. Para comprovar sua teoria, além de colocar um eletroscópio em seu interior para mostrar que os efeitos do campo elétrico gerado pela gaiola eram nulos, ele próprio entrou na gaiola para provar que seu interior era seguro. Esse experimento ficou conhecido por “Gaiola de Faraday”.

Este método é mais eficiente que o do Franklin, pois oferece vários locais para o possível impacto de raios e é indicado para edificações com altura relativamente baixa e grande área horizontal, como é o caso das salas de controle nas subestações elétricas. Para aumentar sua confiabilidade, é recomendado o uso de captadores, com altura mínima de 50 cm sobre os condutores da malha, espaçados de 8m no máximo.

A dimensão da malha básica sobre a estrutura depende do nível de proteção que se deseja obter e é dada na **Tabela 5**.

Tabela 5: Dimensão da malha básica.

Dimensão da Malha Básica	
Nível de Proteção	Dimensão da Malha (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

2.6.3 Método Eletrogeométrico

O método Eletrogeométrico, também conhecido como método da esfera rolante, é baseado na idéia de uma esfera de raio R com centro localizado na extremidade da descarga líder antes de seu último salto. Os pontos onde a esfera toca a área a ser protegida são os locais geométricos onde devem ser colocados dispositivos adequados para captação das descargas atmosféricas.

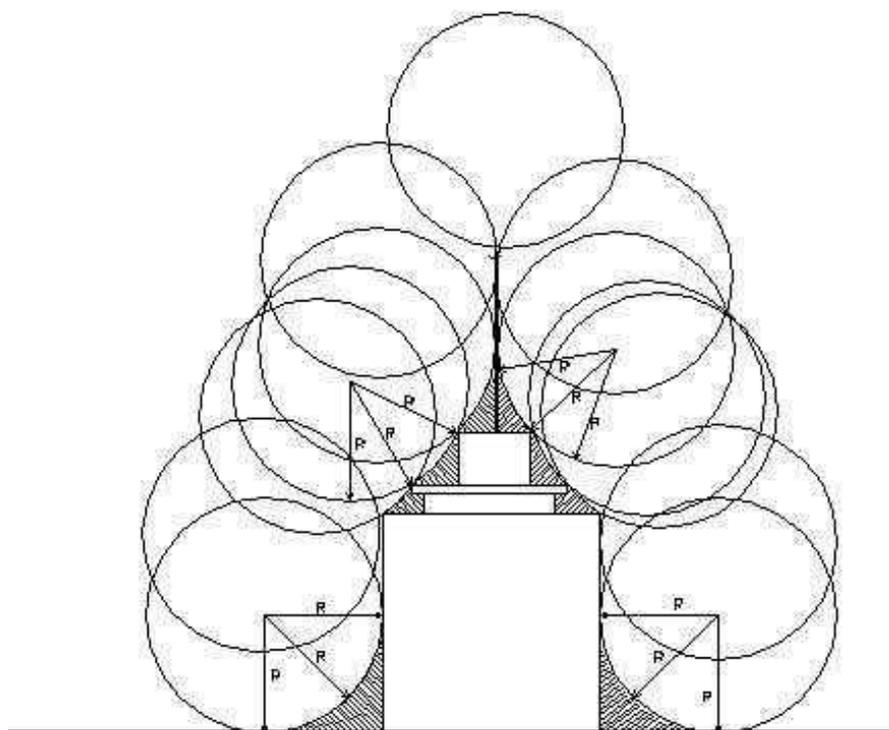


Figura 18: Exemplo de aplicação do método Eletrogeométrico em um prédio.

Este modelo é empregado com bastante eficiência em estruturas de grande altura ou de grande complexidade arquitetônica, tendo bastante aplicação em subestações de potência de instalação exterior.

O cálculo de R pode ser feito a partir da equação desenvolvida Conferencia Internacional de Grandes Redes Elétricas de Alta Tensão ou a partir do nível de proteção desejado, que já é tabelado por norma.

$$R = 2 * I_{m\acute{a}x} + 30 * (1 - e^{-\frac{I_{m\acute{a}x}}{6,8}}) \quad \text{(Equação 4)}$$

*Imax: valor da corrente de crista do primeiro raio negativo.

Tabela 6: Raio da esfera rolante. [7]

Nível de proteção	Distância R		Valor de crista de $I_{m\acute{a}x}$
	m		kA
I	20		3,7
II	30		6,1
III	45		10,6
IV	60		16,5

O volume de proteção conferido às estruturas por este método é definido com base no raio da esfera rolante e na altura do captor (h). Inicialmente deve-se traçar uma horizontal paralela ao plano do solo a R metros do mesmo e um segmento de círculo com centro no topo do captor. Em seguida, com o centro no ponto de interseção P e raio R, traça-se um segmento de círculo que tangencia o topo do captor e o plano do solo. O volume de proteção é delimitado pela rotação simétrica da área A em torno do captor.

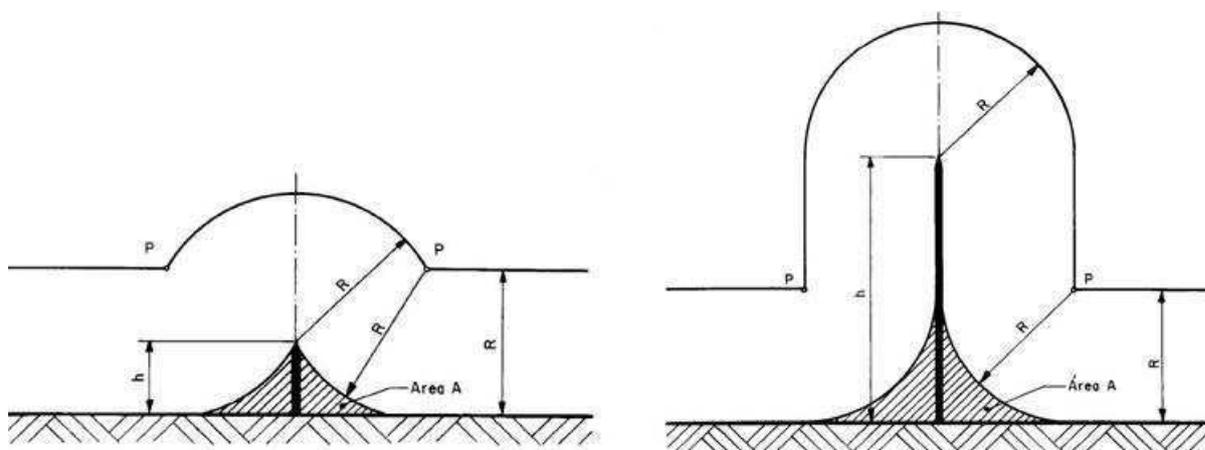


Figura 19: Método de delimitação do volume de proteção. [7]

3 ACIDENTES EM PÁTIOS DE SUBESTAÇÕES

Os pátios de subestações oferecem grandes riscos às pessoas que circulam em seus interiores. Diversas são as situações em que estes indivíduos enfrentam situações de risco sem nem mesmo se dar conta, afinal a corrente elétrica não é visível a olho nu, bem como o campo eletromagnético originado a partir de sua circulação. Por isso, é muito comum que as pessoas desrespeitem as distâncias mínimas de afastamento elétrico num instante de desatenção e isso incorre em uma das principais causas de acidentes neste ambiente de trabalho que são as queimaduras por arco elétrico.

O arco elétrico é resultado da ruptura dielétrica de um gás, normalmente isolante, mas que quando submetido a determinados níveis de tensão se ioniza, possibilitando a circulação de corrente elétrica. Durante sua ocorrência há liberação de uma grande quantidade de energia. O ar livre, em condições normais, possui uma rigidez dielétrica igual a 30 kV/cm, ultrapassado este limite é iminente o risco da formação de arco elétrico.

A maior parte dos acidentes decorrentes de arco elétrico acontece quando o operador ou o eletricista precisa remover as barreiras de proteções como portas de painéis, fazer manutenção em equipamentos energizados, manobrar equipamentos como disjuntores e chaves seccionadoras em carga ou durante a ocorrência de defeitos no Sistema Elétrico de Potência (SEP). Nestas situações, o trabalhador fica totalmente exposto ao perigo e a sua segurança depende da prática segura e uso de Equipamento de Proteção Individual (EPI) adequado.

Para evitar acidentes deste tipo, além de respeitar as distâncias mínimas de afastamento, os operadores devem utilizar vestimentas adequadas que os protejam contra arcos elétricos.



Figura 20: Operário com vestimenta de proteção contra arco elétrico. [16]

Outra causa de acidente comum em subestações são decorrentes de quedas durante realização de trabalhos em altura. Sabemos que quanto maior a classe de tensão, maiores serão as distâncias de afastamento elétrico, logo, cada vez teremos estruturas mais altas que necessitam de manutenção.

Para que se garanta a saúde e integridade física dos indivíduos que virão a realizar tais atividades um EPI que nunca deve ser esquecido é o cinto para serviço em altura, que pode ser tipo pára-quedista ou abdominal tipo eletricitista em conjunto com esporas. Ele irá prevenir quedas devido a choque elétrico, escorregões, perda de consciência, tonturas ou quaisquer outras situações de mal-estar. Porém nem sempre este equipamento garante a segurança dos trabalhadores.

Ano passado, na cidade de Milagres, Ceará, um operador e um montador, a serviço da CHESF, bastante experientes, perderam suas vidas durante a realização de uma manutenção em uma chave seccionadora. Segundo relatos, os dois subiram em um dos isoladores que apoiava a lâmina de abertura e fechamento da chave que não suportou a tração e veio a quebrar, caindo sobre os dois e levando-os ao óbito.



Figura 21: Chave Seccionadora similar à do acidente.



Figura 22: Chave Seccionadora após acidente.

Neste acidente houve falha humana, pois apesar dos dois trabalhadores estarem usando cinto, o manual do equipamento afirmava que era proibido qualquer tipo de atividade onde o operário precisasse de alguma forma apoiar-se ou subir no equipamento, devendo as atividades de manutenção serem feitas sobre plataformas elevadas, o que não foi obedecido. Segundo alguns profissionais do ramo, era muito comum a subida de operários neste tipo de

seccionadora, mesmo com a proibição por parte do fabricante, e até então não se tinha notícias de nenhum sinistro parecido com esse. Segundo eles, a chave só quebrou porque os dois subiram ao mesmo tempo. Se só um tivesse subido, talvez o acidente não tivesse ocorrido.

Falhas em equipamentos também podem provocar graves acidentes de trabalho nas subestações. Vários equipamentos possuem óleo em seu interior para auxiliar no seu isolamento, como os transformadores, outros operam com gás sobre alta pressão, a exemplo dos disjuntores, e quando há ocorrência de um defeito, estes equipamentos podem comportar-se como uma espécie de bomba gigante, que ao explodir, além de provocar incêndios, podem arremessar estilhaços a longa distância, danificar outros equipamentos, sem falar no deslocamento de ar que provocam. Isto representa um grande perigo para àqueles que circulam em pátios de subestações. Por isso, devemos ter uma maior atenção com estes equipamentos e elaborar um plano de manutenção diferenciado dos demais em termos de frequência.

Os disjuntores são os equipamentos responsáveis por interromper circuitos em condições normais e durante ocorrência de curto-circuito ou sobretensões ou defeitos de qualquer natureza. Durante sua atuação, ele sofre grandes esforços eletromecânicos e térmicos, devido à formação do arco elétrico no interior da câmara de extinção.

Atualmente, os disjuntores mais utilizados usam como meio extintor ar comprimido ou hexafluoreto de enxofre (SF₆) sob alta pressão em suas câmaras de extinção. É de suma importância que se tenha o controle da pressão no interior destes equipamentos além de um plano regular de inspeções para verificar possíveis fissuras na porcelana e vazamento de gás.

Este ano, em uma subestação da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), um funcionário sofreu ferimentos provocados pela explosão da câmara de extinção de um disjuntor à SF₆. Na ocasião, pedaços de porcelana, que faziam o isolamento da câmara de extinção, foram arremessados até uma distância de 40 m do equipamento, sendo que alguns deles atingiram o funcionário nas costas e na perna, provocando cortes e hematomas. Um detalhe interessante, é que a chave de um automóvel que o operador carregava em seu bolso amorteceu o impacto de um dos estilhaços que o atingiu, evitando um corte mais profundo em sua perna.

Segundo relatos de técnicos que estavam no local no momento do acidente, a câmara explodiu após abertura do disjuntor devido à ocorrência de um curto-circuito na subestação.



Figura 23: Disjuntor à SF₆ similar ao do acidente.



Figura 24: Disjuntor após a explosão.



Figura 25: Estilhaços arremessados pela explosão.



Figura 26: Operador ferido após o acidente.

4 PRIMEIROS SOCORROS EM SITUAÇÕES DE CHOQUE ELÉTRICO

As vítimas de choque elétrico têm suas chances de salvamento reduzidas com o passar de alguns minutos. Algumas pesquisas realizadas apontam as chances de salvamento em função do número de minutos decorridos após um choque aparentemente mortal. Tais dados estão disponíveis na tabela 6 e nos mostram que esperar a chegada da assistência médica para socorrer a vítima é o mesmo que assumir a sua morte. Logo, não se deve esperar, o caminho é a aplicação de técnicas de primeiros socorros por uma pessoa que esteja nas proximidades.

O ser humano após uma parada respiratória e cardíaca pode ter morte cerebral dentro de 4 minutos, por isso é necessário que os profissionais que trabalham com eletricidade devem estar aptos a prestarem os primeiros socorros a acidentados, especialmente através de técnicas de reanimação cárdio-respiratória.

Tabela 7: Chances de Salvamento em Função do Tempo. [15]

Tempo após o choque p/ iniciar respiração artificial	Chances de reanimação da vítima
1 minuto	95 %
2 minutos	90 %
3 minutos	75 %
4 minutos	50 %
5 minutos	25 %
6 minutos	1 %
8 minutos	0,5 %

4.1 Métodos de respiração artificial para reanimação de vítimas de choque elétrico

A respiração artificial é empregada em todos os casos em que a respiração natural é interrompida.

4.1.1 Método de salvamento artificial "Hoger e Nielsen", para reanimação de vítimas de choque elétrico

O método de "Holger e Nielsen" é baseado em um conjunto de manobras mecânicas por meio das quais o ar, em certo e determinado ritmo, é forçado a entrar e sair

alternadamente dos pulmões. Os procedimentos gerais referentes à aplicação desse método são as seguintes:

- a) Antes de tocar o corpo da vítima, procure livrá-la da corrente elétrica, com a máxima segurança possível e a máxima rapidez, nunca use as mãos ou qualquer objeto metálico ou molhado para interromper um circuito ou afastar um fio. Não mova a vítima mais do que o necessário à sua segurança.
- b) Antes de aplicar o método, examine a vítima para verificar se respira, em caso negativo, inicie a respiração artificial. Quanto mais rapidamente for socorrida a vítima, maior será a probabilidade de êxito no salvamento. Chame imediatamente um médico e os paramédicos do Corpo de Bombeiros que possa auxiliá-lo nas demais tarefas, sem prejuízo da respiração artificial, bem como, para possibilitar o revezamento de operadores.
- c) Procure abrir e examinar a boca da vítima ao ser iniciada a respiração artificial, a fim de retirar possíveis objetos estranhos (dentadura, palito, alimentos, etc.), examina também narinas e garganta. Desenrole a língua caso esteja enrolada, em caso de haver dificuldade em abrir a boca da vítima, não perca tempo, inicie o método imediatamente e deixe essa tarefa a cargo de outra pessoa.
- d) Desaperte punhos, cinta, colarinho, ou quaisquer peças de roupas que por acaso apertem o pescoço, peito e abdome da vítima. Agasalhe a vítima, a fim de aquecê-la, outra pessoa deve cuidar dessa tarefa de modo a não prejudicar a aplicação da respiração artificial.
- e) Não faça qualquer interrupção por menor que seja, na aplicação da respiração artificial. Não faça qualquer interrupção por menor que seja, na aplicação do método, mesmo no caso de se tornar necessário o transporte da vítima à aplicação deve continuar.
- f) Não distraia sua atenção com outros auxílios suplementares que a vítima necessita, enquanto estiver aplicando o método, outras pessoas devem ocupar-se deles. O tempo de aplicação é indeterminado, podendo atingir 5 horas ou mais, enquanto houver calor no corpo da vítima e esta não apresentar rigidez cadavérica há possibilidade de salvamento.

- g) O revezamento de pessoas, durante a aplicação deve ser feito de modo a não alterar o ritmo da respiração artificial. Ao ter reinício a respiração natural, sintonize o ritmo da respiração artificial com a natural.
- h) Depois de recuperada a vítima, mantenha-a em repouso e agasalhada, não permitindo que se levante ou se sente, mesmo que para isso precise usar força, não lhe de beber, a fim de evitar que se engasgue, após a recuperação total da vítima, pode dar lhe então café ou chá quente.
- i) Não aplique injeção alguma, até que a vítima respire normalmente. Este caso aplica-se em qualquer caso de colapso respiratório, como no caso de pessoas intoxicadas por gases venenosos ou que sofram afogamentos.
- j) Na maioria dos casos de acidente por choque elétrico, a morte é apenas aparente, por isso socorra a vítima rapidamente sem perda de tempo. O método de respiração artificial consiste em um conjunto de manobras mecânicas por meio dos quais o ar, em certo e determinado ritmo, é forçado a entrar e sair alternadamente dos pulmões.

Os passos para aplicação do método de salvamento artificial "Hoger e Nielsen", são descritos a seguir:

- a) Deite a vítima de bruços com a cabeça voltada para um dos lados e a face apoiada sobre uma das mãos tendo o cuidado de manter a boca da vítima sempre livre.
- b) Ajoelhe-se junto à cabeça da vítima e coloque as palmas das mãos exatamente nas costas abaixo dos ombros com os polegares se tocando ligeiramente.
- c) Em seguida lentamente transfira o peso do seu corpo para os braços esticados, até que estes fiquem em posição vertical, exercendo pressão firme sobre o tórax.
- d) Deite o corpo para trás, deixando as mãos escorregarem pelos braços da vítima até um pouco acima dos seus cotovelos; segure-os com firmeza e continue jogando o corpo para trás, levante os braços da vítima até que sinta resistência: abaixe-os então até a posição inicial, completando o ciclo, repita a operação no ritmo de 10 a 12 vezes por minuto.

4.1.2 Respiração Boca-a-Boca

Para aplicação do método da respiração artificial boca-a-boca deite a vítima de costas com os braços estendidos e efetue os seguintes procedimentos:

- a) Restabeleça a respiração: coloque a mão na nuca do acidentado e a outra na testa, incline a cabeça da vítima para trás.
- b) Com o polegar e o indicador aperte o nariz, para evitar a saída do ar, como na figura 24.
- c) Encha os pulmões de ar.
- d) Cubra a boca da vítima com a sua boca, não deixando o ar sair.
- e) Sopre até ver o peito erguer se.
- f) Solte as narinas e afaste os seus lábios da boca da vítima para sair o ar.
- g) Repita esta operação, a razão de 13 a 16 vezes por minuto.
- h) Continue aplicando este método até que a vítima respire por si mesma.

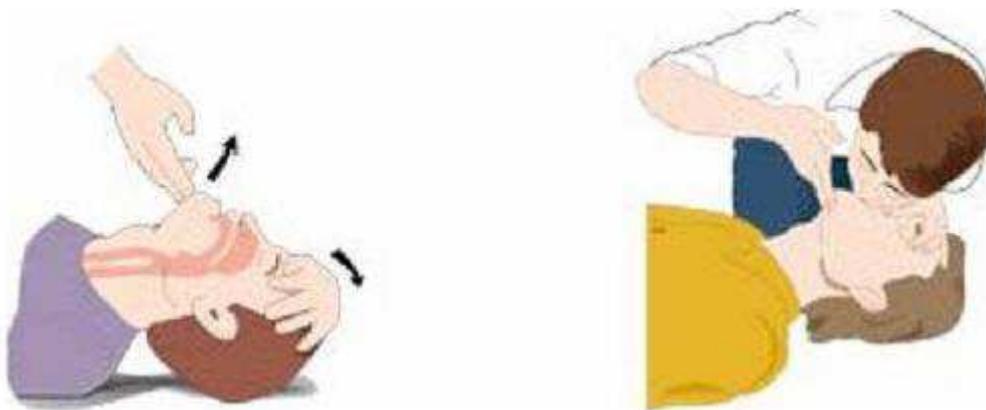


Figura 27: Método de Respiração Artificial Boca-a-Boca. [2]

4.2 Parada cardíaca

Aplicada à respiração artificial pelo espaço aproximado de 1 minuto, sem que a vítima dê sinais de vida, poderá tratar-se de um caso de parada cardíaca. Para verificar se houve uma parada cardíaca, existem dois processos:

- a) Pressione levemente com as pontas dos dedos indicador e médio a carótida, quase localizada no pescoço, junto ao pomo de Adão (Gogó).
- b) Levante a pálpebra de um dos olhos da vítima, se a pupila (menina dos olhos) se contrair, é sinal que o coração está funcionando, caso contrario, se a pupila permanecer dilatada, isto é, sem reação, é sinal de que houve parada cardíaca.

Ocorrendo a parada cardíaca deve-se aplicar sem perda de tempo, a respiração artificial e a massagem cardíaca, conjugadas, da seguinte maneira:

- a) Massagear a região na altura do coração, que está localizado no centro do tórax entre o esterno e a coluna vertical;
- b) Colocar as duas mãos sobrepostas na metade inferior do esterno, como indica a figura 23.
- c) Pressionar, com suficiente vigor, para fazer abaixar o centro do Tórax, de 3 a 4 cm, somente uma parte da mão deve fazer pressão, os dedos devem ficar levantados do Tórax.
- d) Repetir a operação: 15 massagens cardíacas e 2 respirações artificiais, até a chegada do socorro mais especializado.



Figura 28: Massagem Cardíaca. [2]

5 CONCLUSÃO

A crescente demanda por energia elétrica, aliada a tentativa de evitar ao máximo desenergização parcial ou total de subestações durante serviços de manutenção, operação e ampliação, torna necessária a execução de diversas atividades nas proximidades de equipamentos e barramentos energizados em subestações. Além disso, nestes locais, diversos serviços são realizados acima do nível do solo. Por isso, são comuns sinistros decorrentes de choque elétrico, quedas, queimadura por arco elétrico, etc. envolvendo as pessoas que trabalham ou circulam em pátios de subestações.

Algumas vezes a fiscalização não atua de forma efetiva, deixando de sinalizar áreas de risco, não verificando o uso adequado dos EPI, entre outros. Por outro lado, operários e visitantes desobedecem às normas de segurança, por distração ou mesmo por desconhecimento dos perigos ao qual estão expostos. Há ainda acidentes causados por conta de falha em equipamentos ou eventos aleatórios, a exemplo das descargas atmosféricas, violação dos limites das subestações por curiosos, pessoas interessadas em furtar cabos de cobre.

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi realizado dentro deste panorama, buscando sempre aliar os conhecimentos adquiridos ao longo de todo o curso de Engenharia Elétrica com o assunto aqui disposto. Desejamos, portanto, que o trabalho venha a despertar uma maior atenção para a questão da Segurança no Trabalho em pátios de subestações e forneça suporte técnico a novas pesquisas, pois alerta para as principais causas de acidentes nestes locais de trabalho, a necessidade das medidas de proteção individuais e coletivas, do uso dos EPI e de investimento em capacitação dos profissionais da área, para que eles possam prestar de forma rápida e eficiente os primeiros socorros aos seus próprios companheiros de trabalho em casos de acidentes.

REFERÊNCIAS

- [1] **Aterramento**. Disponível em:
<www.miomega.com.br/miomega/html/informacao/artigos/Aterramento.pdf >. Acessado em:
27 de maio de 2010.
- [2] Bombeiros Emergência. O Choque Elétrico – Disponível em: <
<http://www.bombeirosemergencia.com.br/choqueeletrico.htm>>. Acessado 27 de junho de
2010.
- [3] GUEDES DA COSTA, E. **Projeto de Subestação: Fundamentos** – s.d.
- [4] KINDERMANN, G. **Aterramento Elétrico**. Porto Alegre: Sagra DC Luzzato, 3ª edição,
1995.
- [4]_____. **Choque elétrico**. Porto Alegre: Sagra DC Luzzato, 2ª edição, 2000.
- [5]_____. **Proteção de Sistema Elétricos de Potência**. Porto Alegre: DC Luzzato, 1ª
edição, 1999.
- [6] MEDEIROS FILHO, S. **Medição de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro. Guanabara Dois,
1983.
- [7] **NBR 5419** - Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas. ABNT, 2005.
- [8] **NR-6** – Equipamentos de Proteção Individual – EPI. Edição 2003.
- [9] **NR-10** - Instalações e Serviços em Eletricidade. Manual de Segurança e Medicina no
Trabalho, São Paulo: Atlas, 52.ª edição,2003.
- [10] **NR-23** – Proteção Contra Incêndios – Edição 2001.
- [11] Instrução Técnica 30 – Subestações Elétricas – s.d.
- [12] **NBR 08461** - Equipamentos Elétricos Imersos em Óleo para Atmosferas Explosivas,
ABNT, 1984.
- [13] **NBR 09523** - Subestação de Distribuição. ABNT, 1995.
- [14] **Pára-Raios e Aterramento I** – Disponível em:
<http://www.mspc.eng.br/tecdiv/para_raios1.asp >. Acessado em: 12 de junho de 2010.
- [15] **Primeiros Socorros à Vítima de Choque Elétrico** – Disponível em: <
<http://dalcantara.vilabol.uol.com.br/index5.html>>. Acessado em 27 de junho de 2010.
- [16] **Vestimenta de Proteção contra Arco Elétrico**. Disponível em:
<<http://www.osetoreletrico.com.br/web/seguranca-do-trabalho.html> >. Acessado em: 12 de
junho de 2010.