

Procedimento Seguro para Emenda de Condutores em Redes de Distribuição

Tema: Redes de Distribuição

Autores: Francis Albert Fonseca Nascimento

Co-Autores: Henrique Couto, Josué Samuel Bastos, Helvécio Teixeira, Fábio Rafaelli

Empresa: CEMIG Distribuição S.A

Resumo

As atividades dos eletricitas das concessionárias de energia elétrica envolvem uma série de procedimentos no seu dia a dia, uma delas é a emenda de condutores, que pode ocorrer por diversas causas, em pontos distintos do SEP – Sistema Elétrico de Potência. Em algumas situações, mesmo cumprindo os requisitos da NR10, quanto à desenergização do sistema de forma correta [10], este cabo continua interligado ao SEP, possibilitando a energização acidental do circuito. Dentro deste cenário, registram-se acidentes, que podem resultar inclusive na morte dos profissionais que ali atuam, sejam eletricitas ou ajudantes, no solo ou no alto da estrutura estando o eletricitista não equipotencializado. Neste estudo, pretendemos demonstrar a importância de se ter um procedimento seguro com procedimentos bem definidos para garantirmos a segurança dos profissionais e ao mesmo tempo dar qualidade à recuperação e continuidade do sistema. O principal objetivo é assegurar a redução da possibilidade de passagem da corrente elétrica nos envolvidos no procedimento de emenda de cabo desenergizado, porém interligado ao SEP [7]. Não iremos avaliar a forma ou padrão da emenda, situação técnica definida de acordo com padrões de cada empresa, mas sim identificar procedimentos promovendo a segurança das equipes que realizam essa atividade [10]. A originalidade do trabalho é identificar que mesmo nas intervenções em redes de distribuição desenergizadas, ou seja, com aterramento temporário instalado há o risco de choque elétrico para os eletricitas dependendo da configuração e dos parâmetros da rede. A abrangência é, de forma simples, para todas as concessionárias de distribuição de energia elétrica com aplicação prática nas atividades de emenda de cabos.

1. Introdução

As atividades de manutenção e construção de redes de distribuição de energia acontecem todos os dias de forma programada ou emergencial, e os componentes antigos e desgastados são regularmente substituídos, além de novas tecnologias que são estudadas e implantadas em nossas redes. A realização das atividades mencionadas e outras complementares proporcionam como resultado a satisfação de quem consome a energia distribuída, mas também contribuem para a exposição a riscos de acidentes de origem elétrica para os executantes.

Uma das atividades mais rotineiras efetuadas no SEP são as emendas de condutores, ou seja, a união das extremidades de dois condutores. Essa técnica é utilizada para se prolongar a extensão de condutores existentes, ou religá-los em caso de rompimento. A emenda de condutores se torna necessária pela ocorrência de alguns fatores, quando condutores são seccionados intencionalmente (construção de derivações na rede, substituição e/ou padronização de condutores, abaixamento de vãos para poda), ou não intencionalmente (queda de árvores sobre a rede, abalroamento na estrutura, efeitos de ventania, descargas atmosféricas).

Em todos os casos, a emenda deve ser executada de tal modo que seu contato elétrico e resistência mecânica garanta a sua qualidade, bem como a segurança do executante que está em contato com os condutores. Através de estudo detalhado, foi reconhecido o risco de passagem de corrente elétrica pelo executante da emenda na estrutura ou no solo, ainda que o circuito esteja corretamente aterrado, tornando-se necessária a revisão dos procedimentos de aterramento e emendas de condutores, mitigando o risco [7].

2. Desenvolvimento

Muitas pesquisas já foram implementadas com o objetivo de melhor esclarecer a reação do corpo humano em exposição à passagem de corrente elétrica. Modelar uma resposta exata é complexo, uma vez que o organismo humano sofre diferentes impactos e consequências pela passagem da corrente elétrica sobre ele [5][6]. Semelhantes impactos são regidos sobretudo pelos fatores tempo de exposição e magnitude da corrente. Também o próprio fluxo de corrente que é aplicado em função do nível de tensão, resistência e impedância, além de outros caminhos disponíveis para a corrente, se somam como variáveis a mais [5][6].

O corpo humano é vulnerável a tensões de passo e de toque, e ele possui uma resistência de aproximadamente 1.000 Ohms, conforme Figura 1, cujo estudo é amplamente aceito e utilizado por especialistas sobre o tema [5][6].

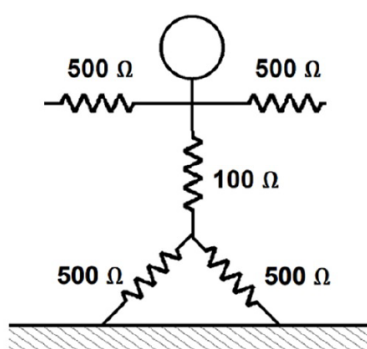


Figura 1: Modelo elétrico do corpo humano

Fonte: Dos Autores

Considerando os fatores envolvidos, concluiu-se que a passagem da corrente elétrica pelo corpo humano resulta desde sua não percepção até contrações musculares, dificuldade de respirar, queimaduras, fibrilação cardíaca a morte por eletrocussão, conforme a tabela 1 [5]. Tendo ciência das possíveis consequências e para se evitar as mesmas, normas internacionais e nacionais como a NR10 estabeleceram como metodologia de controle a tensão de segurança, a extrabaixa tensão originada de uma fonte segura. A ten-

são de segurança possibilita valores não nocivos de corrente, permitindo que o trabalho seja desenvolvido de forma segura [10].

Tabela 1: Efeitos do Choque elétrico no corpo humano
(Todos os valores são em miliamperes RMS para 60Hz.).
Fonte: Dalziel, 1972 [5].

Efeito	Homem	Mulher
Nenhuma sensação na mão	0.4	0.3
Leve Formigamento (Limiar de Percepção)	1.1	0.7
Choque, não doloroso e controle muscular não perdido	1.8	1.2
Choque doloroso, mas o controle muscular não é perdido	9.0	6.0
Choque Doloroso (Limiar de Liberação)	16.0	10.5
Choque doloroso e grave, músculos se contraem, respiração difícil	23.0	15.0
Possível fibrilação ventricular		
Choques de curta duração (0.03 Sec.)	1,000	1,000
Choques de longa duração (3.0 Sec.)	100	100
Fibrilação Ventricular, Morte Certa (Deve ocorrer durante a fase susceptível do ciclo cardíaco para ser letal.)		
Choques de curta duração (0.03 Sec.)	2,750	2,750
Choques de longa duração (3.0 Sec.)	275	275

Desta forma, precisa-se garantir na execução do trabalho, mesmo diante da possibilidade de energizações acidentais, uma tensão não superior a 50 volts em corrente alternada ou 120 volts em corrente contínua, entre fases ou entre fase e terra. Para tanto, utilizam-se técnicas de aterramento e equipotencialização [10][11][12][13][14].

3 – ILUSTRANDO O PROBLEMA

A emenda de cabos pode ocorrer em redes monofásicas, trifásicas, em áreas urbanas ou rurais, no solo, nas estruturas, em cestos aéreos ou escadas veiculares, podendo o eletricitista estar em contato com uma extremidade ou as duas do cabo rompido. Podemos citar 3 acidentes, sendo dois deles registrados na Região Sul e um deles na Região Sudeste do Brasil, onde as características e causas contribuintes ilustram a dimensão do problema identificado e a importância da adoção de medidas de controle para prevenção de acidentes.

1º Caso: tratava-se de uma emenda de cabo em rede bifásica, que ocorria no solo, um cabo foi rompido por uma árvore que caiu sobre o mesmo durante temporal. A equipe de 5 pessoas se posicionou, com um em cima do poste (escalada) que colocou o aterramento e ali ficou posicionado, um estava no chão próximo ao poste e foi responsável pela fixação do trado de aterramento no solo, os outros três faziam a emenda do cabo com utilização de catraca para tracionar o cabo, onde um segurava e puxava o cabo de um lado e o outro segurava e puxava a outra ponta, o terceiro manobrava a catraca para aproximar os cabos e fazer a emenda. Destaca-se neste acidente, que após o temporal o solo encontrava-se encharcado. A fixação dos grampos do aterramento foi inadequada (Figura 2), mal apertada, e a haste de aterramento estava com aproximadamente 30cm cravada no solo (Figura 3), sendo que o determinado é no mínimo 80cm. Ao Tracionarem o cabo, a estrutura fletiu, fazendo com que o cabo rompesse em outro vão (onde o outro cabo, que não estava sendo emendado, já estava rompido), o cabo ao romper neste outro vão, ricocheteou e atingiu uma rede de alta tensão de outra concessionária que cruzava o vão e estava energizada ocasionando um pulso de energização no cabo que estava sendo emendado. Este pulso resultou em um choque elétrico nos 3 empregados que faziam a emenda no solo, ocasionando sequelas permanentes.



Figura 2: Grampo mal posicionado

Fonte: dos Autores



Figura 3: Trado mal posicionado

Fonte: dos Autores

2° Caso: era uma emenda de cabo em região rural, onde a dupla de eletricistas abriu a chave, mas não fez o aterramento do circuito, se deslocaram ao local de trabalho, e ao fazerem a emenda do cabo no solo segurando ambas as extremidades, ocorreu uma energização acidental no sistema, eletrocutando o eletricista, que veio a óbito. A corrente possivelmente entrou pelo braço direito, de onde veio a energização, e saiu por ambas as pernas, apesar de estar com calçado de segurança. O local apresentava vegetação alta que pode ter contribuído para a passagem da corrente. A energização acidental se deu por possível entrada de gerador particular, não cadastrado na rede da concessionária, visto que o ramal desenergizado se estendia por um longo trecho com várias fazendas abastecidas por este ramal.

3° Caso: dupla de eletricistas realizava emenda de cabo em rede monofásica rural, com aterramento de trecho com sela neutro e haste devidamente instalados, conforme procedimentos. Após a emenda do cabo no solo, o eletricista posicionado em cima da estrutura preparava o encabeçamento do cabo, quando sofreu choque elétrico através de energização acidental advinda de descarga atmosférica do lado aterrado (Figura 4), porém não equipotencializado, devido ao seccionamento dos condutores na estrutura. O eletricista perdeu os sentidos por alguns segundos, mas não sofreu nenhuma lesão; estar em série com o poste de madeira, pode ter contribuído para a redução da intensidade da corrente no corpo.

1 - Características do alimentador

- bitola de condutor fase - 336,4 CA.
- bitola do condutor neutro - 1/0 CA.
- tensão nominal fase, neutro- 7967 V.
- posteação - poste de concreto circular.

2 - Parâmetros de cálculo

- Z_L - impedância do condutor fase = $0,2035 + j0,3914 \ \Omega/\text{km}$
- Z_m - impedância do condutor neutro = $0,0195 + j0,0163 \ \Omega/30\text{m}$
- Z_s - impedância equivalente do sistema = $0,44 \ \Omega$
- R_m - resistência da malha de aterramento = $0,7 \ \Omega$
- R_T - resistência de aterramento por poste = $300 \ \Omega$ (ver obs.1)
- R_p - resistência do poste de concreto = $450 \ \Omega/\text{m}$
- R_c - resistência do conjunto de aterramento = $0,005 \ \Omega$
- R_h - resistência do corpo humano = $1000 \ \Omega$
- n - número de pontos de aterramento antes = 10
- m - número de pontos de aterramento depois = 100
- d - distância entre postes de aterramento = 30 m.

Figura 6: parâmetros de efeitos da corrente no corpo humano

Fonte: CEMG, 1986 [3].

Através do modelo do alimentador monofásico, foram realizados cálculos da corrente no eletrícista executando emenda no solo de condutor em uma estrutura aterrada, utilizando sela-neutro (Figura 7).

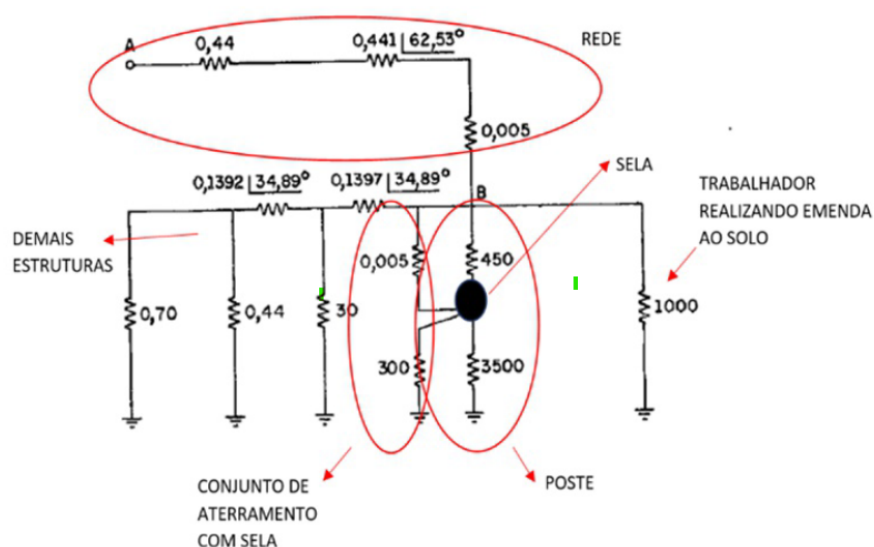


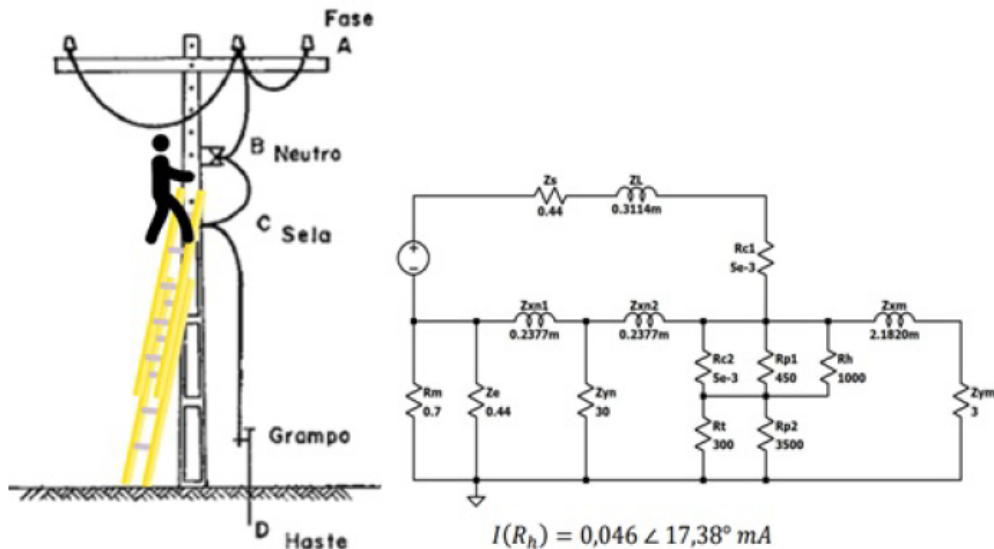
Figura 7: Esquema elétrico de cálculo de corrente

Fonte: dos Autores

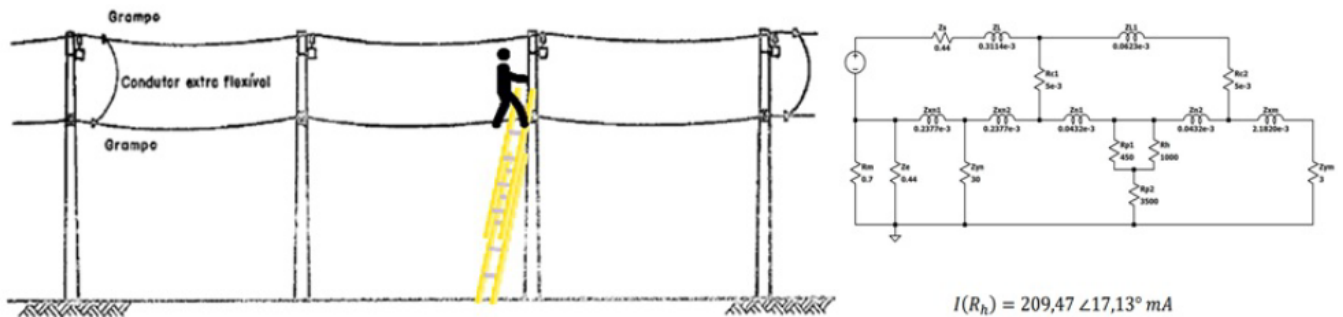
Considerando o diagrama unifilar da figura 7, obtivemos um valor de corrente total de curto-circuito de 6,3kA, uma diferença de potencial de 3.226V, e por consequente, 3,26A no corpo do eletrícista. Após a identificação do risco representado pela corrente calculada, foram realizados estudos mais aprofundados

que tiveram como objetivo analisar outras situações semelhantes de risco e fornecer soluções adequadas. Os resultados obtidos serão apresentados abaixo nos casos de 1 a 7. Em cada caso, primeiramente, será apresentado o problema, logo após o circuito elétrico modelado pelo documento Cemig ED-4002 [3] e simulado pela equipe de engenharia da CEMIG, utilizando os softwares MATLAB/Simulink [15] e LTspice [9].

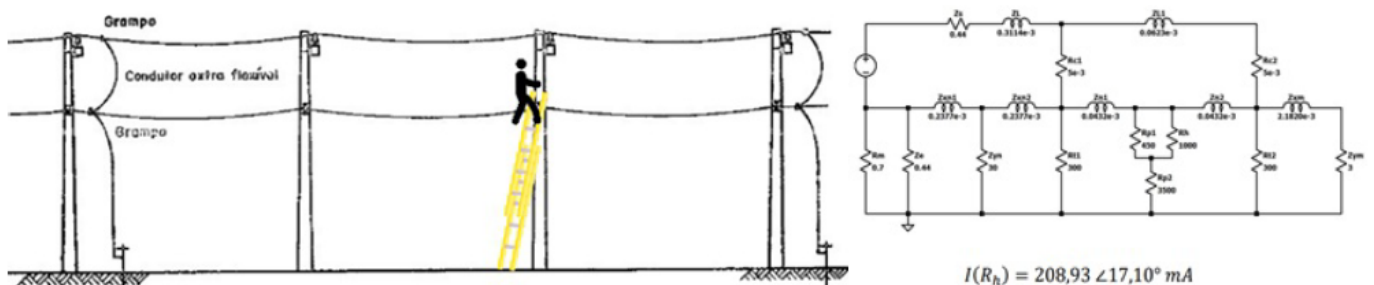
Caso 1 – Aterramento de ponto na estrutura com uso de conjunto sela neutro.



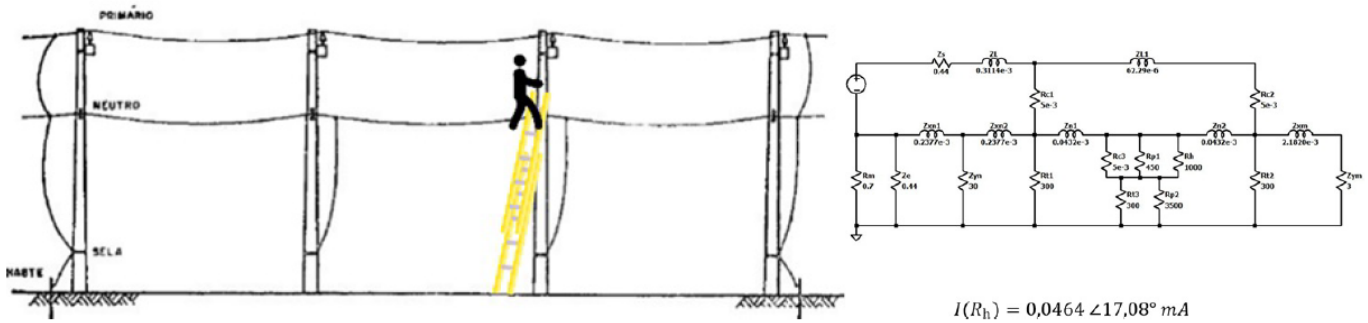
Caso 2 – Aterramento de trecho (Conexão Fase-Neutro).



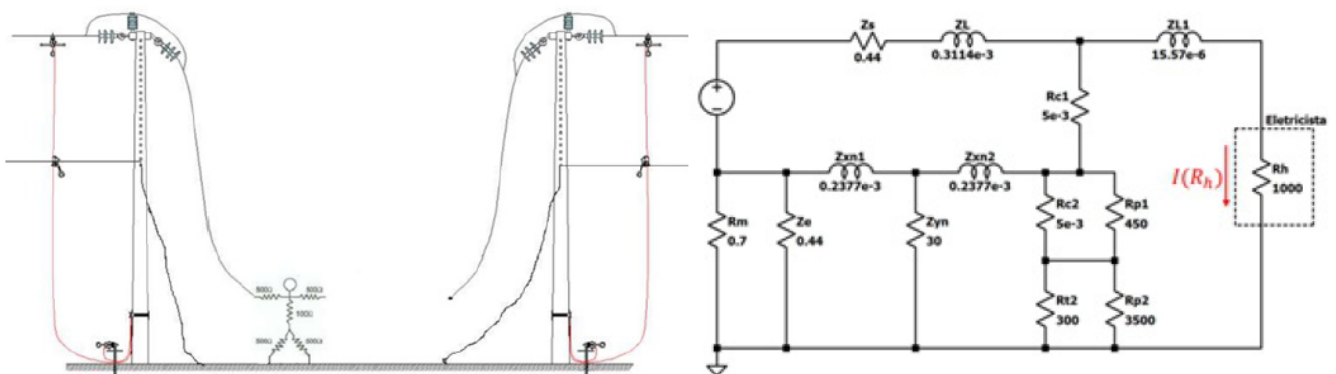
Caso 3 – Aterramento de trecho (Conexão Fase-Neutro-Haste).



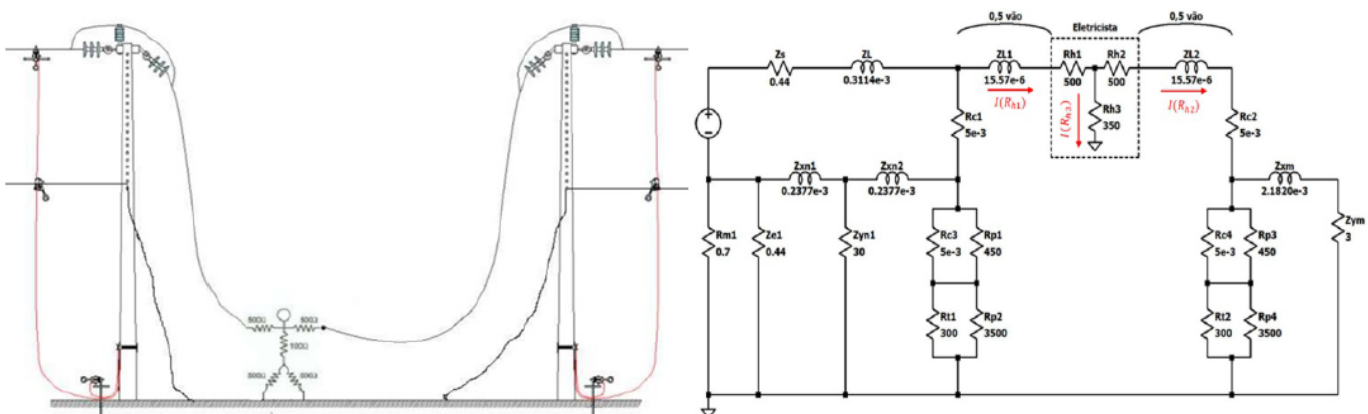
Caso 4 – Aterramento de trecho (Conexão Fase-Neutro-Haste e sela neutro em todos os postes).



Caso 5 – Emenda de cabos no chão (Eletricista tocando a fase em um lado do vão rompido).



Caso 6 – Emenda de cabos no chão (Eletricista tocando os dois lados da fase rompida).



Após a realização das simulações, constatamos o risco de choque elétrico para as equipes envolvidas, tanto no solo quanto no alto da estrutura, durante a execução dessas atividades quando o executante não está utilizando luvas isolantes ou equipotencializado.

5 – PROCEDIMENTO SEGURO

Diante desse cenário, identifica-se a importância de medidas para eliminar/controlar o risco de choque elétrico nas atividades de emendas de cabos, que iremos abordar na sequência.

5.1 Análise da emenda de cabo no solo

Em situações de emenda de cabo no solo, além do aterramento de trecho, devem-se utilizar luvas isolantes compatíveis com o nível de tensão da rede [7]. Mangas isolantes devem ser utilizadas de acordo com a análise e controle de riscos da equipe. Enquanto o cabo permanecer no solo, a equipe não pode tocar

no cabo com parte do corpo desprotegida (Figura 8). É obrigatório o uso de luvas isolantes, inclusive, ao manusear a carretilha/moitão para subir o cabo após a emenda.

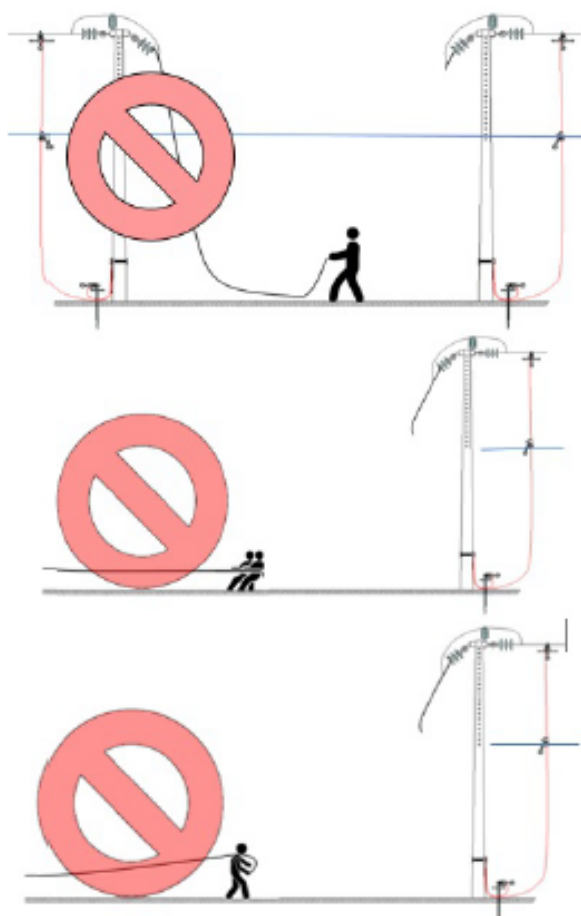


Figura 8: Formas não permitidas para manuseio de cabos seccionados ao solo

Fonte: dos Autores

Conforme análise de riscos, sendo necessário puxar o cabo conectado ao SEP, deve ser utilizada uma corda com isolador e garra na ponta do cabo, eliminando o risco de choque elétrico nesta etapa conforme Figura 9.

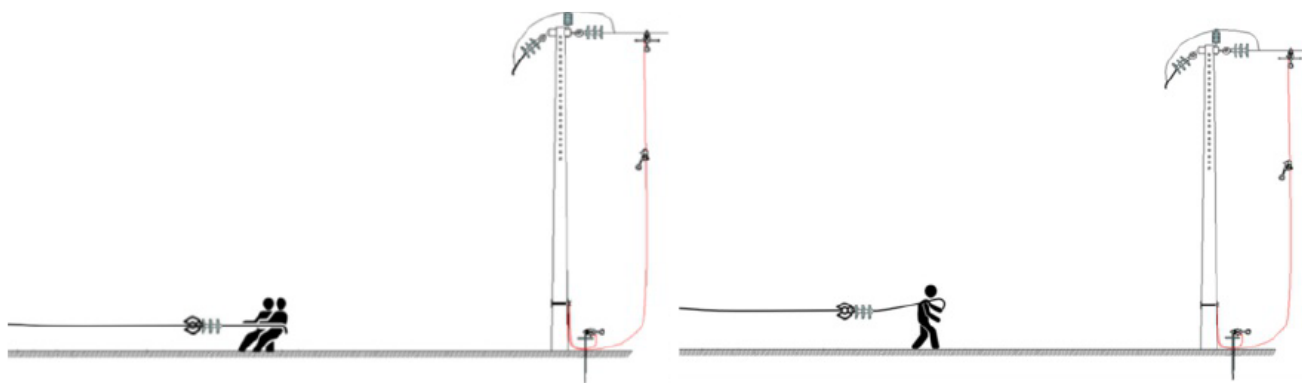


Figura 9: Formas padronizadas para manuseio de cabos seccionados ao solo

Fonte: Dos autores

A instalação da garra no cabo deve ser realizada utilizando luvas isolantes. Caso a equipe esteja utilizando a corda com o isolador na ponta do cabo (Figura 10), dispensa-se o uso de luvas isolantes ao puxar o cabo pela corda.



Figura 10: Arranjo para manuseio de cabo conectado ao SEP

Fonte: Dos autores

Esse arranjo garante o controle de risco de choque elétrico para a equipe que está manuseando o cabo no solo. Reforçando que a luva isolante deve ser compatível com o nível de tensão da rede aterrada.

5.2 Análise do encabeçamento na estrutura

Antes de analisarmos o encabeçamento e/ou emenda do cabo na estrutura, precisamos explorar o conceito de equipotencialização na estrutura de trabalho, que não é obrigatório no Brasil, porém aplicado em algumas concessionárias para evitar a passagem de corrente elétrica pelo corpo do eletricitista [8][16].

5.2.1 Conceito de Zona Equipotencial de Trabalho

De acordo com a OSHA (Occupational Safety and Health Administration), uma zona equipotencial é uma zona de trabalho na qual o trabalhador está protegido contra choques elétricos de diferenças de potencial elétrico entre objetos na área de trabalho. Essas diferenças de potencial podem ser causadas por tensão induzida, reenergização da linha ou raios [11][12][13][14]. O trabalhador em zonas equipotenciais, exemplificadas na Figura 11, está protegido contra choque

elétrico porque existe um estado quase idêntico de potencial elétrico entre quaisquer dois pontos do corpo. Para garantir que os aterramentos de proteção individual protejam o trabalhador de condições perigosas de contato, é essencial empregar bons métodos de aterramento de engenharia reconhecidos, como os do IEEE Guide for Protective Grounding of Power Lines, IEEE 1048-2003 [7]. Considerando o conceito de equipotencialização exposto, destacamos que em situações de cabos seccionados na estrutura de trabalho, o eletricitista no poste não pode tocar em condutores que não estejam conectados no sela-neutro da estrutura de trabalho (Figura 12).

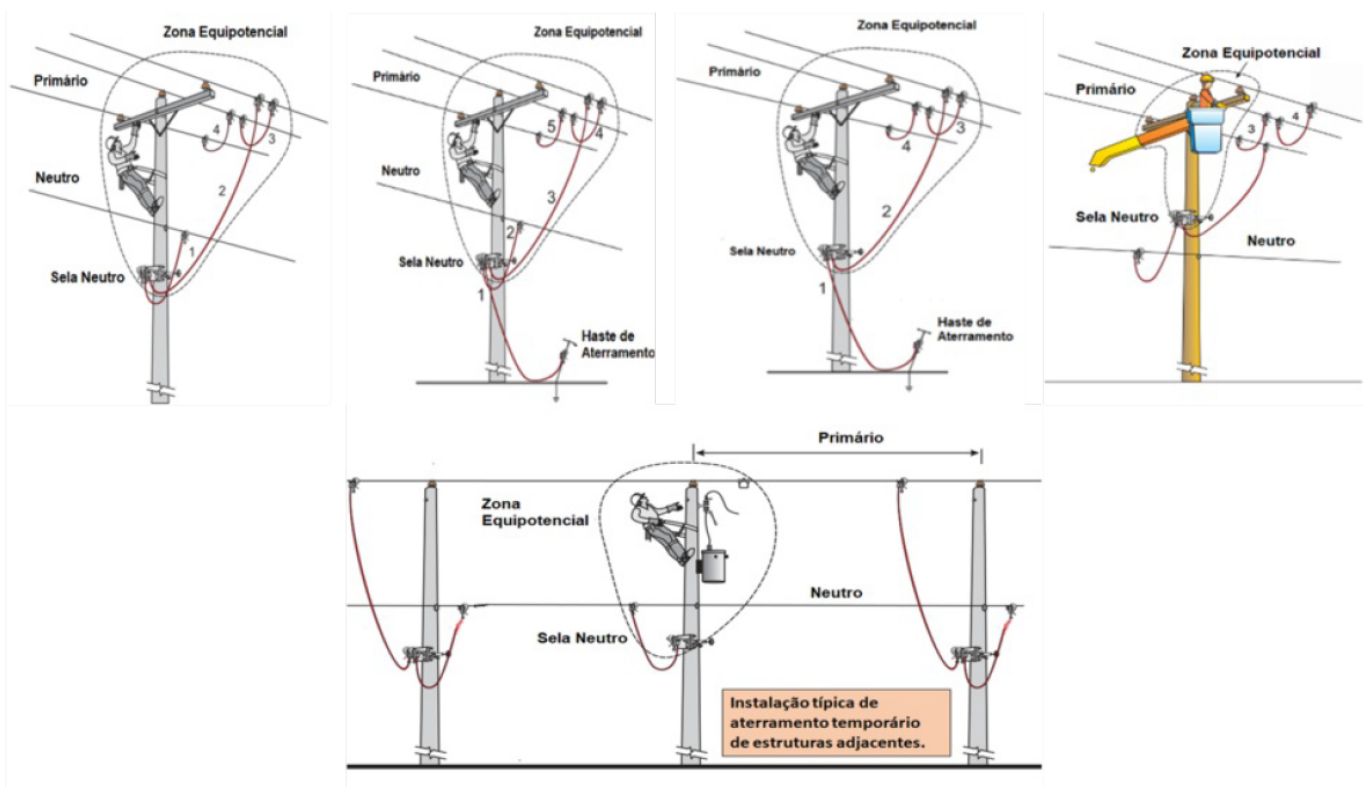


Figura 11: Ilustrações de zonas equipotenciais de trabalho

Fonte: IHSA.CA, 2011 [8].

Caso o circuito não possua neutro ou ele esteja seccionado ou seja seccionado durante a atividade, devem ser instalados dois selas-neutro, um em cada lado da estrutura (ponta de condutor fase/neutro) trabalhada, podendo ser utilizada a mesma haste de aterramento para as duas selas.

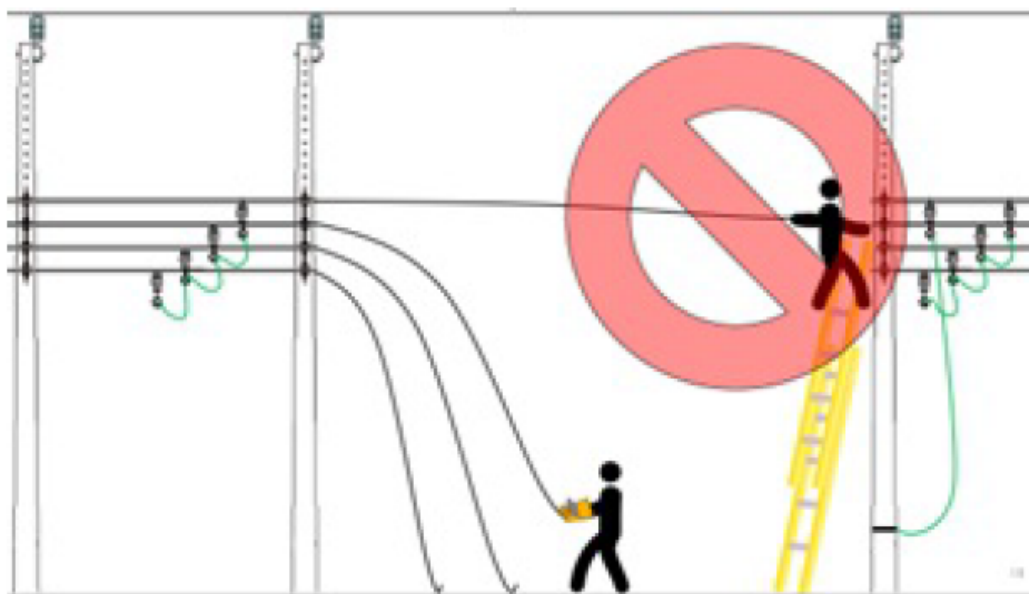


Figura 12: Forma incorreta do eletrcista na estrutura manusear o condutor seccionado para emenda.

O procedimento correto é o que se segue: o eletrcista ao solo, utilizando luvas isolantes, deve conectar o cabo partido a um sela neutro na estrutura onde será realizada a emenda, garantindo assim a equipo-

tencialização completa do eletricitista. Sendo garantida a equipotencialização, o eletricitista que está no solo deve entregar o condutor conectado ao sela neutro para o eletricitista na estrutura (Figura 13).

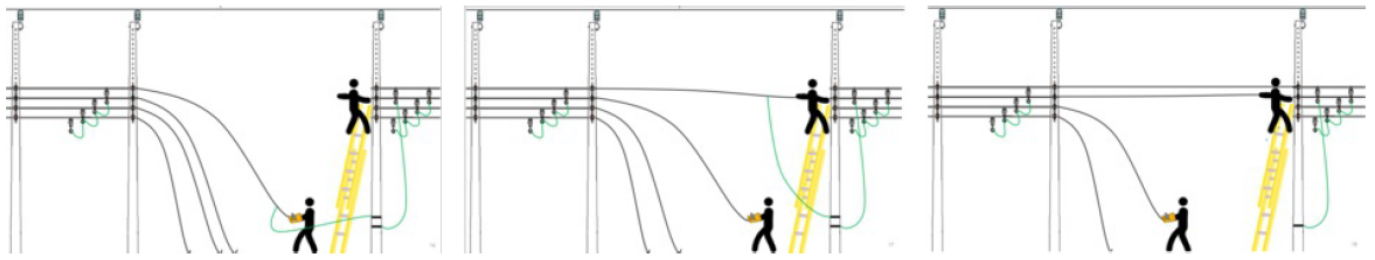


Figura 13: Forma correta de entregar o condutor seccionado para o eletricitista que está posicionado no alto da estrutura.

Fonte: Dos autores

Nos casos em que haja a necessidade de seccionar o neutro durante a atividade e o aterramento for de ponto, alternativamente poderá ser utilizado um by-pass em substituição ao segundo sela-neutro conforme a figura 14.

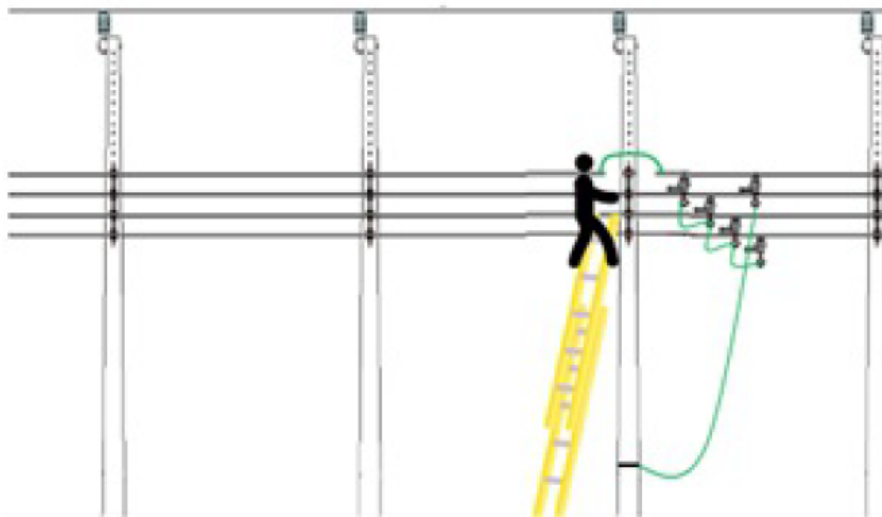


Figura 14: Utilização de by-pass para equipotencialização durante seccionamento

Fonte: dos Autores

Enquanto os cabos conectados ao SEP permanecerem no solo, a equipe não pode manuseá-los com parte do corpo desprotegida de EPI's isolantes, sendo obrigatório o uso de luvas isolantes, inclusive, ao utilizar a carretilha/moitão (Figura 15).

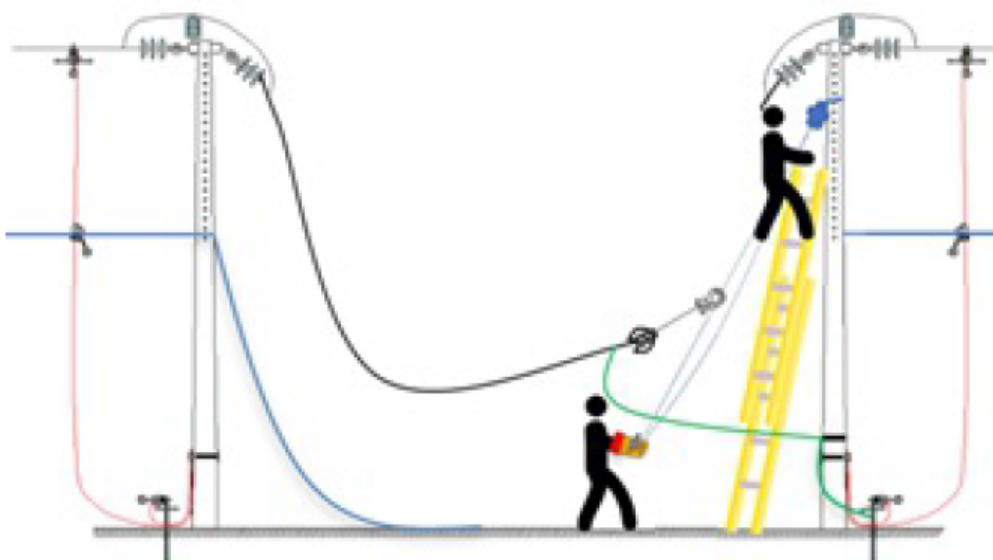


Figura 15: Utilização de luvas isolantes para utilizar carretilha/moitão

Fonte: Dos autores

Após identificado o risco de choque elétrico na atividade de emenda de cabos e definidos os controles, foi necessário ir a campo para ajustá-los com a rotina das equipes.

6 – EXECUÇÃO EM CAMPO

As imagens a seguir (Figuras de 16 a 21) referem-se à aplicação do procedimento que foi proposto para o controle do risco de choque elétrico na atividade de emenda de cabos.



Figura 16: Haste de aterramento com os dois grampos das selas neutro instalados no poste.

Fonte: dos Autores



Figura 17: Poste aterrado com dois selas neutro, um do aterramento temporário e outro para a equipotencialização do eletricista

Fonte: dos Autores



Figura 18: Elettricista instalando Grampo do segundo sela no neutro rompido, utilizando luvas isolantes.

Fonte: dos Autores



Figura 19: Betricistas instalando o moitão para elevar cabo rompido, utilizando luvas isolantes.

Fonte: dos Autores



Figura 20: Eletricitistas elevando o cabo rompido

Fonte: dos Autores



Figura 21: Eletricista utilizando luvas de vaqueta na estrutura recebendo o cabo, estando equipotencializado.

Fonte: dos Autores

3. Conclusão

A atividade de emenda de cabos em redes de energia elétrica apresenta desafios significativos em diferentes cenários, como em áreas urbanas ou rurais, em solo ou em estruturas. Durante a realização dessas emendas, os eletricitistas podem estar em contato com uma ou ambas as extremidades do cabo rompido, exigindo a adoção de medidas eficientes de segurança além do cumprimento dos requisitos da NR10, quanto à desenergização do sistema de maneira correta.

No caso da emenda de cabo no solo é fundamental utilizar luvas isolantes compatíveis com o nível de tensão, garantindo a proteção dos eletricitistas. Além disso, ao manusear o cabo conectado ao SEP, deve-se utilizar uma corda com isolador e garra na ponta do condutor, evitando o risco de choque elétrico.

Já em situações de cabos seccionados em estruturas, deve-se garantir a equipotencialização do eletricitista. Nesse caso, ele não deve ter contato com condutores que não estejam conectados ao sela-neutro da estrutura de trabalho. Para isso, utiliza-se um segundo sela neutro.

Para seccionar o condutor neutro da estrutura, pode-se utilizar um by-pass como alternativa. A utilização de luvas isolantes também é obrigatória durante a manipulação de carretilhas ou moitões conectados aos cabos devido ao risco de choque elétrico.

A ausência de requisitos precisos sobre a zona de equipotencialização no SEP Brasileiro reforça a importância de seguirmos as diretrizes estabelecidas por órgãos reguladores, como o Occupational Safety and Health Administration (OSHA), IEEE e da IHSA (Infrastructure Health and Safety Association).

A correta análise e modelagem elétrica, considerando os parâmetros como a resistência equivalente do corpo humano, contribuem para um melhor entendimento dos riscos e da distribuição de corrente nos eletricitas durante a realização das emendas de cabo.

Destacamos que o treinamento, os acompanhamentos em campo, a conscientização dos eletricitas no cumprimento dos procedimentos e a utilização correta dos EPI's contribuem para minimizar o risco de choque elétrico na atividade de emenda de cabos.

Diante do exposto, concluímos que é primordial provocarmos o MTE - Ministério do Trabalho e Emprego e as empresas do setor elétrico no Brasil a analisarem os procedimentos, considerando o risco de choque elétrico demonstrado, para garantirmos a integridade física dos trabalhadores nas atividades de emenda de cabos.

4. Referências bibliográficas

- [1] CEMIG, 02.111- DT/ED 4002 - Conjunto de Aterramento Temporário – Desenvolvimento, Especificação e Aplicação (CEMIG, 1986).
- [2] CEMIG, ED-3.14 – Estudo de Distribuição – Critérios para Aterramento de Redes de Distribuição (CEMIG, 1992).
- [3] CEMIG, ED-4002 Conjunto de Aterramento Temporário – Desenvolvimento Especificação e Aplicação (CEMIG, 1986).
- [4] CHANCE® Encyclopedia of Grounding for de energized construction & maintenance, 2018. Disponível em <https://hubbellcdn.com/literature/07-0801_Grounding.pdf>. Acesso em Jul. 2023.
- [5] DALZIEL, C.F., "Electric Shock Hazard, IEEE Spectrum Magazine, vol.9, no.2, pp. 41-50, 1972.
- [6] DALZIEL, C.F.; LEE, W. R., "Lethal Electric Currents", IEEE Spectrum, 44-50, February, 1969.
- [7] IEEE Std 1048 – Guide for Protective Grounding of Power Lines, 2016. [8] IHSA – Infrastructure Health & Safety Association Temporary Grounding and Bonding Techniques, Safe Practice Guide, 2011. Disponível em . Acesso em Jul. 2023.
- [9] LTspice. simulator software. SPICE Simulation Program with Integrated Circuit Emphasys. Version 17.1.9 - Analog Devices. Disponível em < <https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>>. Acesso em Jul. 2023.
- [10] Ministério do Trabalho e Emprego. NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2004.
- [11] OSHA 1910.269 App C - Protection From Hazardous Differences in Electric Potential | Occupational Safety and Health Administration. Disponível em < <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standard-number/1910/1910.269Ap pC>>. Acesso em Jul. 2023.
- [12] OSHA 1910.269(m) De-energizing Lines and Equipment for Employee Protection. Disponível em . Acesso em Jul. 2023.
- [13] OSHA 1910.269(n) Grounding for the Protection of Employees. Disponível em < [https://www.osha.gov/laws-regs/interlinking/standards/1910.269\(n\)](https://www.osha.gov/laws-regs/interlinking/standards/1910.269(n))>. Acesso em Jul. 2023. [14] OSHA 1926.962 - Grounding for the protection of employees. Occupational Safety and Health Administration. Disponível em <<https://www.osha.gov/lawsregs/regulations/standardnumber/1926/1926.962>>. Acesso em Jul. 2023.

[15] Simulink, MathWorks, Inc. (2022). MATLAB. Disponível em Acesso em Jul. 2023. [16] U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, Denver – Colorado. FIST 5-1 Personal Protective Grounding for Electric Power Facilities and Power Lines. Disponível em . Acesso em Jul. 2023