

PROTEÇÃO CONTRA ARCO ELÉTRICO EM PAINÉIS DE MÉDIA E BAIXA TENSÃO*Guilherme Silva dos Reis¹; Francisco de Assis da Silva Junior²**^{1,2}Universidade de Uberaba**guilherme.silvadosreis@hotmail.com; engenheirofranciscojr@gmail.com***Resumo**

O estudo de energia incidente é de suma importância, pois está diretamente ligado à saúde e segurança dos trabalhadores que intervêm em instalações elétricas. Neste trabalho foram ressaltados apenas trabalhadores que estão diretamente expostos em painéis de média e baixa tensão, com o objetivo de tornar o ambiente de trabalho mais seguro, e se caso houver uma emergência, manter a prevenção de danos, tanto físico quanto material. Este trabalho irá mostrar a metodologia adotada para os estudos de energia incidente, quais variáveis e quais condições foram adotadas para alcançar o objetivo. Todos os dados foram levantados em campo em painéis de média e baixa tensão de uma empresa, onde foram realizadas as comparações do antes e depois da implantação de relés de proteção inteligentes, com o objetivo de diminuir o tempo de atuação do dispositivo de proteção em caso de curto circuito, ou seja, uma atuação mais rápida resultando na queda dos valores obtidos da energia incidente dos painéis. Com o resultado do estudo foi possível à realização da classificação correta das vestimentas para os trabalhadores conforme a norma NFPA-70E, bem como a determinação do Limite de Aproximação Segura (LAS) de cada painel. Importante ressaltar que qualquer alteração no ambiente de trabalho, deve-se adotar a realização de um novo treinamento com todos os trabalhadores que atuam nesse ambiente, instruindo-os ao novo cenário que estarão expostos, e quais os procedimentos devem ser adotados a partir da implantação.

Palavras-chave: Segurança. Risco. Proteção. Arco. Elétrico.

1 Introdução

Este trabalho aborda um tema relacionado à segurança dos trabalhadores que operam sistemas elétricos em painéis de média e baixa tensão. Sendo entre as atividades mais comuns desses às de manobras dos sistemas elétricos, os bloqueios de cubículos e as atividades em proximidades dos painéis. Um dos fatores de maior importância para os trabalhadores é identificar quais os riscos estão expostos. Para isso é essencial que todos estejam dotados de conhecimentos de todos os riscos associados à profissão. Normalmente é levado em conta apenas o risco de contato direto com as partes energizadas, que são chamadas de choques-elétricos. Nesse trabalho foi abordado apenas o risco de arco elétrico.

Os ferimentos causados por acidentes envolvendo arcos elétricos podem ser graves, devido a grande energia desprendida de um curto-circuito, que podem gerar queimaduras de segundo e/ou terceiro grau e, geralmente, grande parte dos acidentes não tem reversão, podendo levar até mesmo a morte. Um acidente traz diversas consequências para os trabalhadores e também para a empresa, sendo eles como traumas afastamento, tratamento psicológico do acidentado, perdas materiais de equipamentos e entre outros. Por isso a importância de prevenção para que não haja acidentes.

13º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 22 a 24 de outubro 2019

Por mais que os trabalhadores que intervêm diretamente com os sistemas elétricos estejam habilitados/capacitados e treinados para exercerem as atividades, conforme a norma regulamentadora 10 (NR-10), frequentemente os mesmos são expostos a determinadas atividades de altíssimos riscos, pelo fato de algumas indústrias não terem a atenção necessária às proteções contra arco elétrico.

A Norma Regulamentadora 06 (NR-06) estabelece os Equipamentos de Proteção Individual (EPI) para os trabalhadores que estão expostos às atividades com a eletricidade. A referida norma, não discute a necessidade de proteção contra os arcos elétricos, mas estabelece que o EPI deva proteger os trabalhadores contra o calor, ou seja, proteção de agentes térmicos no corpo inteiro.

A norma NFPA 70E estabelece os requisitos de segurança para arco elétrico e a seleção de EPIs adequados conforme a classificação do risco abordado.

O Estudo de energia incidente irá nos mostrar valores para que então possamos determinar quais os devidos EPIs e também as vestimentas adequadas para atividades com a classificação de risco e categoria do *Arc Thermal Performance Value* (ATPV), ou seja, a identificação do desprendimento de energia de cada painel. Além disso, poderemos realizar a determinação do Limite de Aproximação Segura (LAS) e propor melhorias na proteção para o monitoramento do arco elétrico, melhorando assim a segurança dos trabalhadores que intervêm nos painéis dessa indústria.

2 Materiais e Métodos

Para que fosse realizado o estudo do cálculo de energia incidente, foram adotados alguns critérios para que alcançasse o resultado. O método cálculo da energia incidente proveniente de arco elétrico foi executado conforme as normas técnicas IEEE 1584/2002, NFPA

70E/2018 e para complementação, também foram utilizadas as normas técnicas IEC60090-0 e ANSI C37.010.

No presente trabalho foram consideradas as seguintes condições:

- Valor de tensão do circuito;
- Valores de potência e corrente de curto-circuito;
- Valor da corrente de curto-circuito simétrico;
- Valor de X/R;
- 30% de corrente elétrica CC;
- Valor da corrente elétrica de arco elétrico;
- Sistema de aterramento;
- Tipo de equipamento;
- Distância entre os condutores;
- Tipo do corpo de prova;
- Fator de forma;
- Tarefa desenvolvida;
- Distância típica de trabalho.

Para memória de cálculo conforme a IEEE 1584/2002, devem-se levar em considerações as premissas para o risco do arco voltaico, que são elas:

- Tipo de curto circuito não se altera durante o cálculo em rede trifásica;
- Se não há mudança na constituição da rede;
- Resistência a arco é levada em conta;
- Corrente de arco é corrigida conforme condições de contorno e o tipo de equipamento.

O método de cálculo da energia incidente, a corrente de curto-circuito sólido é convertida na corrente de arco equivalente. Por se tratar de um modelo matemático estatístico, uma energia normalizada é calculada baseada nas aproximações e normalização dos valores obtidos.

13º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 22 a 24 de outubro 2019

A corrente de curto-circuito a arco é calculada através da configuração do equipamento, sistema de aterramento, distância entre condutores e nível de tensão.

Para níveis de tensão inferiores a 1000 Volts (1kV), foi utilizada a seguinte fórmula:

$$I_a = 10^{(K+0,662.\log(I_{bf})+0,0966.V+0,000526.G+0,5588.V.\log(I_{bf})-0,00304.G.\log(I_{bf}))} \quad (1)$$

Legenda:

- I_a → Corrente de arco [kA]
- K → Constante da Metodologia IEEE1584/2002
- I_{bf} → Corrente de curto-circuito franca [kA]
- V → Tensão [kV]
- G → Distância entre condutores [mm]

Para níveis de tensão superiores a 1kV adotamos a seguinte fórmula:

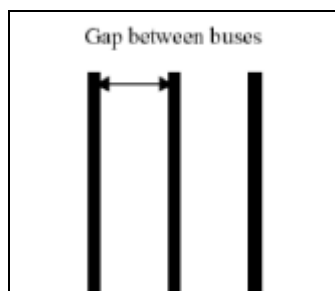
$$I_a = 10^{(0,00422+0,983.\log(I_{bf}))} \quad (2)$$

Legenda:

- I_a → Corrente de arco [kA]
- I_{bf} → Corrente de curto-circuito franca [kA]

Para o cálculo da corrente de arco em sistema de baixa e média tensão, o valor das distâncias adotadas entre condutores (fases) foram baseadas conforme a norma IEEE1584. Sempre tomando a distancia (Gap) o valor limite de uma barra a outra, como mostrado na figura 1.

Figura 1: Distância entre fases



Fonte: do autor

Para o cálculo da energia normalizada, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$E_n = 10^{[k_1 + k_2 + 1,081.\log(I_a) + 0,011.G]} \quad (3)$$

Legenda:

- E_N → Energia normalizada [J/cm²]
- K_1, K_2 → Constante da Metodologia
- I_a → Corrente de arco [kA]
- G → Distância entre condutores [mm]

Para o cálculo da energia real, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$E = 4,184.C_F.E_N.(t/0,2).(610/D)^x \quad (4)$$

Legenda:

- E → Energia incidente [J/cm²]
- C_F → Em função do nível de tensão
- E_N → Energia normalizada [J/cm²]
- G → Distância entre condutores [mm]
- t → Tempo de duração [s]
- x → em função do tipo de equipamento

2.1 Tempo de respostas dos equipamentos de proteção

Cada dispositivo possui um tempo característico inerente que pode ter variação entre os fabricantes. A norma IEEE1584 orienta em geral os tempos de atuação dos dispositivos onde foi considerado os valores conforme Tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Tempo de resposta dos disjuntores

Dispositivo	Ciclos	Tempo(s)
Disjuntor BT	1,5	0,025
Disjuntor BT com Relé	3,0	0,050
Disjuntor MT até 35 kV	5,0	0,080
Disjuntor AT	8,0	0,130

Fonte: do autor

13º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 22 a 24 de outubro 2019

No caso onde a utilização for chave seccionadora a fusível, como a interrupção de um elo não eliminará a circulação de corrente nas outras fases devendo um dispositivo mecânico abrir, foi adotado um tempo de 30ms.

Através da metodologia detalhada, foi levantados em campo os valores das proteções conforme diagrama unifilar dos painéis, em que serão executados o estudo de cálculo de energia incidente, utilizando assim os cálculos que a norma orienta.

3 Resultados

Os painéis alimentados pela barra HT-01, apresentavam valores de energia incidente proveniente de arco elétrico, ELEVADOS, devido ao fato de não existir dispositivo de proteção na baixa tensão.

A referida barra possuía apenas dispositivos de proteção na média tensão, onde os mesmos eram sensibilizados para atuação pela corrente refletida. Resultando no desligamento do circuito na média tensão em um tempo médio de 1,450 segundos. Dessa forma os painéis de baixa tensão, que é alimentado pela barra, apresentavam condições de perigo extremo aos trabalhadores, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Energia incidente dos painéis

Painel	Energia Incidente (cal/cm ²)
LT-01	76,42
LT-02	140,59
LT-03	78,53
LT-04	74,22
LT-05	71,15
LT-06	123,46
LT-17	4,69

Fonte: do autor

Foram incorporados relés de sobre corrente na baixa tensão bem como relés de detecção de arco elétrico do modelo SEL751A, conforme a Figura 2, que sensibilizam a proteção da média tensão num tempo inferior aos 1,450 segundos, o que fatalmente minimizou os valores de energia incidente.

Figura 2: Relé SEL-751A



Fonte: selinc.com

Para efeito de conclusão do resultado obtido, a tabela 3 mostra o comparativo do antes e depois da implantação dos relés.

Tabela 3: Comparativo Antes x Depois

TAG	Energia Incidente (cal/cm ²)	L.A.S. (m)	Energia Incidente (cal/cm ²)	L.A.S. (m)
	ANTERIOR	ANTERIOR	ATUAL	ATUAL
LT-01	76,42	10,235	2,65	1,048
LT-02	140,59	15,481	3,81	1,339
LT-03	78,53	10,425	1,98	0,859
LT-04	74,22	10,033	2,56	1,023
LT-05	71,15	9,749	2,67	1,053
LT-06	123,46	14,174	3,90	1,361
LT-17	4,69	1,539	1,73	0,783

Fonte: do autor

Como podemos analisar os resultados do antes e depois da instalação dos relés de proteção, o estudo trouxe um enorme benefício de segurança contra arco elétrico, resultando na queda drástica da energia incidente dos painéis estudados e consequentemente também na diminuição do LAS.

13º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 22 a 24 de outubro 2019

4 Discussão

Como podemos analisar os resultados, antes e após a instalação dos relés nos painéis, os resultados dos cálculos de energia incidente nos mostraram o quanto benéfico foi o estudo, pois se houvesse algum acidente nesses painéis na condição inicial, não haveria vestimenta que suportaria os efeitos térmicos devido a alta energia desprendida do arco elétrico, podendo causar danos irreversíveis nos trabalhadores. As vantagens que foram obtidas ressalta o item mais importante, no qual é a saúde e segurança dos trabalhadores que estão diretamente expostos aos painéis. O resultado do estudo também nos permitiu a classificar o tipo da vestimenta adequada e qual o limite de aproximação segura para cada painel.

5 Conclusão

A incorporação de relé SEL-751A nos painéis de baixa tensão alimentados pela barra HT-01 sensibilizou a proteção da média tensão, contribuindo para que o desligamento do circuito na média tensão que ocorria em um tempo médio de 1,450 segundos passou a ocorrer em um tempo médio de 0,020 segundos. Período muito inferior comparado na condição anterior, o que fatalmente minimizou os valores de energia incidente, provenientes de arco elétrico dos referidos painéis, aumentando assim, as condições de segurança operacional para os trabalhadores que atuam nesses painéis.

Nos locais onde os valores de energia incidente proveniente de arco elétrico superiores a 40 cal/cm², o que impediam a execução de atividades com circuitos energizados, passaram a apresentar condições mais seguras, pois nesses cenários a vestimenta de proteção contra efeitos térmicos foi classificada como categoria de Risco 1, no entanto pelo fato dos trabalhadores já utilizarem

cotidianamente vestimenta de categoria Risco 2, foi mantida a recomendação para um ambiente mais seguro.

Tabela 4: Classificação de Risco e ATPV

Risco	Categoria	ATPV Mínimo Requerido (cal/cm ²)
Mínimo	0	Não aplicável
Leve	1	4,0
Moderado	2	8,0
Elevado	3	25
Elevadíssimo	4	40

Fonte : NFPA 70E

Para melhor identificação dos painéis no qual foram realizados os estudos de energia incidente foram identificados com placas de advertência, conforme mostra na figura 3.

Figura 3: Placa de advertência dos painéis



Fonte: do autor

As Placas de advertência apresentam de forma clara e simples, todas as informações necessárias para os trabalhadores que operam os painéis, identificando qual o LAS do painel, a energia incidente, qual o nível de tensão, qual a distancia de zona livre, zona

13º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 22 a 24 de outubro 2019

controlada e zona de risco e quais EPIs necessários para manobras.

Referências

IEEE STANDARDS ASSOCIATION. IEEE 1584-2018: IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations. 2018.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 70E: Standard for Electrical Safety in the Workplace. USA, 2018.

Norma Regulamentadora nº10. Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade - Ed 2016.

LEMOMS, Herick Talles Queiroz et al. Importância do estudo de energia incidente para seleção de equipamentos de proteção individual. **Brazilian Journal Of Development**. Curitiba, p. 10928-10931. jul. 2019.

DAS, J. C. Arc flash hazard analysis and mitigation. John Wiley & Sons, 2012.

MOREIRA, Blenda Macedo. **Estudo e Redução de energia incidente por arco elétrico em um sistema industrial**. 2018. 117 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

RESENDE, Filipe Barcelos. **Proteção elétrica em subestações: Uma abordagem sobre energia incidente**. 2016. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

LOBO, Deonísio Lourenço; CABRAL, Sérgio H. L.. Métodos de especificação de EPIs para proteção contra arcos elétricos. **Eletricidade Moderna**, Blumenau, v. 509, n. 44, p.11-16, ago. 2016. Disponível em: <http://www.arandanet.com.br/revista/em/materia/2017/11/16/metodos_de_espec.html>. Acesso em: 20 ago. 2016.