

Vestimenta de proteção contra queimaduras por arcos elétricos

Luiz K. Tomiyoshi

Junho de 2004

Resumo:

Apesar de todo desenvolvimento da tecnologia de detecção de arcos internos, medidas de proteção e evolução dos equipamentos elétricos à prova de arco, sempre haverá a necessidade de proteger os trabalhadores com uso apropriado do EPI enquanto existir a interação do homem com os equipamentos elétricos.

A NR-6 do Ministério do Trabalho e Emprego estabelece a necessidade de proteção dos trabalhadores contra agente térmico, como o arco elétrico.

Este trabalho apresenta as características e requisitos das vestimentas apropriadas para proteção baseado no desenvolvimento das normas e tecnologias como NFPA, ASTM, IEC e CENELEC e os passos para determinação da energia liberada por um arco elétrico para determinar a característica de proteção requerida no local de trabalho.

Vestimenta de proteção contra queimaduras por arco elétrico

Luiz K. Tomiyoshi
DuPont do Brasil S.A

1. INTRODUÇÃO.

As queimaduras por arcos elétricos representam uma parcela muito grande entre os ferimentos provocados por eletricidade em locais de trabalho. Apesar da seriedade e da importância vital que isso representa para os trabalhadores que executam serviços em eletricidade, este assunto tem recebido pouca atenção pelos usuários em geral, quando comparado com outros perigos da eletricidade como os choques, incêndios e outros aspectos que tange a segurança industrial.

É reconhecido que a tecnologia tem evoluído muito para preservar a integridade do equipamento ou da instalação, como proteção do sistema elétrico, detecção do arco interno, equipamentos resistentes a arco entre outros. Estas tecnologias normalmente são aplicadas para proteção patrimonial e operacional da instalação na eventualidade de ocorrer falhas no sistema elétrico segregando as partes afetadas ou confinando as consequências da falha em invólucros como painéis de tal forma que não atinja as pessoas que eventualmente estiver na proximidade.

A maioria dos acidentes acontecem quando o operador ou o eletricitista precisa remover as barreiras de proteções como portas de painéis, instalar ou inserir e remover componentes operacionais como disjuntores com o equipamento energizado. Nestas situações o trabalhador fica totalmente exposto ao perigo e a sua segurança só depende da prática segura e uso de EPI adequado. É justamente nesta condição de trabalho que devemos ficar atentos providenciando proteção.

A energia liberada por arco elétrico é extremamente alta e pode causar ferimentos severos até a uma distância de 3 metros do ponto de falha nos equipamentos industriais de alta tensão mais comuns e igualmente para distância menor, nos equipamentos de baixa tensão. A energia liberada varia de acordo com a configuração do sistema elétrico e nível de curto circuito disponível no ponto da falha.

O risco pode ser avaliado através da mesma sistemática adotada para dimensionamento e proteção dos equipamentos. As zonas de risco e o potencial podem ser determinados e calculados. Conhecendo a zona e o nível de risco, podemos estabelecer medidas de proteção através de soluções de engenharia, tais como limitação de energia a um nível suportável, através do confinamento da energia e escolha adequada de Equipamentos de Proteção Individual.

EPI – Equipamento de Proteção Individual

No Brasil, a NR-6 - Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego estabelece as exigências legais para Equipamentos de Proteção Individual (EPI) para proteção dos trabalhadores contra riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho. Nesta NR não está explícita a necessidade de proteção contra arcos elétricos, mas estabelece que o EPI deve proteger os trabalhadores contra agentes térmicos tanto para cabeça, face, membro superior e inferior e corpo inteiro. O arco elétrico numa falha é um agente térmico igual da solda elétrica a arco. A diferença é que nos serviços em eletricidade os arcos ocorrem por falha liberando energia muito superior a de uma máquina de solda e é um risco suscetível de ameaçar a segurança e a saúde do trabalhador, portanto o trabalhador deve ser protegido pelo EPI da mesma maneira que protegemos os soldadores.

Nos Estados Unidos e na Europa, em função da necessidade e obrigatoriedade legal para proteção contra os efeitos térmicos do arco elétrico, foram desenvolvidos normas para verificar e determinar o desempenho dos tecidos e vestimentas utilizados como EPI's pelas entidades como a ASTM (1) nos EUA, a CENELEC (2) na Europa e o IEC (3) com abrangência internacional.

No final deste artigo estaremos descrevendo a particularidade de cada norma.

Equipamento elétrico à prova de arco.

As normas técnicas internacionais e brasileiras prescrevem que os equipamentos elétricos devem ser dimensionados e construídos para suportar os esforços mecânicos e térmicos em casos de curto circuito sem danificar o equipamento. No caso de equipamentos à prova de arco todo o material da combustão deve ser direcionado para cima para não atingir o trabalhador, as portas e coberturas de proteção não abram, não haja rajadas de fragmentos, o arco não provoque furos no painel, a integridade do aterramento seja mantida, e amostra de tecido colocada a uma certa distancia na posição vertical e horizontal não inflame (4). Esta condição é encontrada em situações normais de operação, onde o equipamento é mantido fechado, porém para manutenção ou inspeção e verificação, muitas vezes precisamos abrir a porta, remover as coberturas de proteção, ou remover ou inserir componentes, como disjuntores ou gavetas de CCM's, alterando toda a condição de segurança estabelecida pelas normas. Portanto, mesmo para equipamentos a prova de arco ainda o trabalhador especializado fica exposto ao risco.

A proteção de queimadura por arco elétrico.

Existem estudos e modelos matemáticos, publicados pelo IEEE {5}, para calculo da energia liberado pelo arco elétrico nas condições das instalações elétricas, normalmente existentes no nosso parque industrial, em função do nível de curto circuito existente no equipamento e a distancia de trabalho em relação ao ponto onde possa ocorrer o arco. (modelo matemático no anexo). Por outro lado, de acordo com estudos de A. M. Stoll da marinha americana, o corpo humano pode sofrer queimadura do segundo grau quando exposto a uma energia na forma de calor de 5 Joule/cm². Com base no valor da energia liberado por um arco e o limite do calor que o corpo humano pode suportar para não sofrer queimadura do segundo grau, podemos avaliar e identificar vestimentas para proteger o trabalhador contra queimaduras por arco elétrico.

Em 1999, a ASTM {1}, definiu um indicador denominado ATPV (Arc Thermal Performance Value), para medir o desempenho dos tecidos e caracterizar a roupas de proteção contra arco elétrico. ATPV é o valor máximo da energia incidente sobre o tecido sem permitir que a energia no lado protegido (fig 1) exceda o valor limiar de queimadura do segundo grau, ou seja, que não ultrapasse 5 Joules por cm² e não entre em combustão. Este valor é medido por testes específicos expondo o material aos arcos elétricos em diferentes condições de corrente e tempo de exposição.

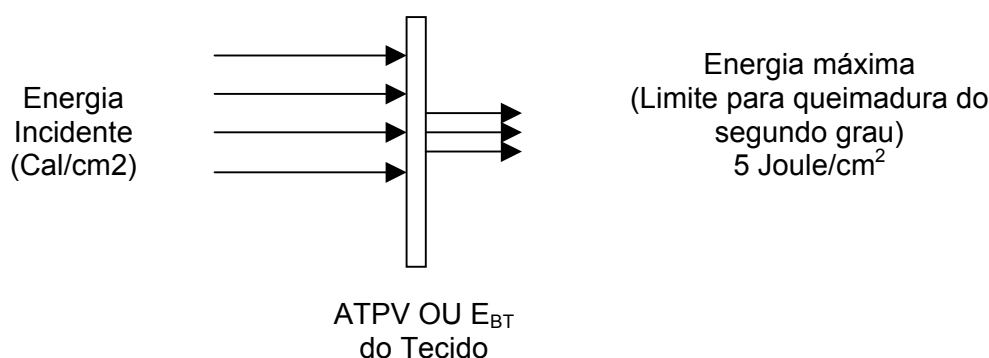


Fig. 1

Em alguns casos, não é possível medir esta energia devido à carbonização do tecido. Nestes casos é utilizado um valor denominado E_{BT} (Breakopen Threshold Energy), que é o valor médio dos 5 valores máximos de energia incidente que não provoca o "break open" do tecido, ou seja, o material carbonizado não apresenta abertura na camada interna (próximo a parte protegida) maior do que 0,5 pol² em área ou rachadura maior do que 1 polegada em comprimento.

Como regra geral, cada fabricante de roupa de proteção deve fornecer os valores do ATPV ou E_{BT} , em função do tipo da confecção, independente dos valores fornecidos pelos fabricantes de tecidos. Caso a roupa seja fabricada com várias camadas de um tecido, ou composição de tecidos diferentes, o mesmo se aplica para o conjunto.

Características dos materiais das vestimentas de proteção contra arcos elétricos.

De acordo com o NFPA 70 E (7), as fibras de algodão tratado retardante de chamas, Meta-aramida, Para-aramida, Poli-Benzimidazole (PBI) são materiais com características de proteção térmica em geral. A fibra de Para-aramida, além da proteção térmica, ainda tem uma característica que evita o Break Open, ou seja, rachadura do material carbonizado.

Os materiais sintéticos como poliéster, nylon, e mistura de algodão-sintético não devem ser utilizados para proteção contra arcos elétricos, pois elas derretem sobre a pele quando exposto à alta temperatura conseqüentemente agravando a queimadura.

Algodão e mistura algodão-poliéster, seda, lã e nylon são considerados materiais inflamáveis. Os tecidos com fibras de algodão tratado retardante de chamas, Meta-aramida, Para-aramida, Poli-Benzimidazole, podem iniciar a ignição, mas não mantêm a combustão quando a fonte for removida.

As vestimentas fabricadas com materiais naturais como, algodão, seda e lã são consideradas aceitáveis, de acordo com NFPA, se a análise determinar que o tecido não continuará queimando nas condições de exposição ao arco elétrico.

O NFPA expressa claramente que as fibras sintéticas puras de nylon, poliéster, rayon ou mistura destes materiais com algodão, não devem ser utilizados como material de proteção contra arcos elétricos. Alguns tecidos resistentes a chamas como modacrilico não resistente a chama e algodão tratado retardante de chamas non-duráveis, conforme critério de teste de durabilidade da ASTM, não são recomendados para uso de proteção dos trabalhadores em serviços de eletricidade.

As características das roupas de proteção para arcos elétricos devem ser diferentes daquelas normalmente utilizadas para proteção por efeitos térmicos das chamas. A transmissão do calor liberado por arco é predominantemente por radiação (aprox. 90%) num espaço de tempo muito curto podendo atingir temperaturas altíssimas como 20.000°C . O calor das chamas é transferido por convecção e radiação (50/50%) a temperatura em torno de 2.000°C , dependendo do tipo do material combustível, e o tempo de exposição pode variar em função do tipo de proteção requerido, por exemplo, para fuga, ou para combate a incêndio.

Para proteção da cabeça, e mais especificamente para a face, há a necessidade de manter a visibilidade, e da mesma maneira que os tecidos, a ASTM tem uma norma específica para testes de protetor facial (8). Normalmente os visores utilizam policarbonato que tem uma característica de absorver impactos, mas com baixa performance de proteção contra o calor do arco. O desenvolvimento tem levado a utilização do polipropionato para proteção contra arcos elétricos, com proteção bem superior ao policarbonato.

Independente da proteção contra queimaduras por arcos elétricos é recomendado sempre o uso de capacete e óculos de segurança.

Testes para tecidos e roupas de proteção contra arcos elétricos

Atualmente existem 3 normas para testes de tecidos e roupas para proteção contra queimaduras por arcos elétricos, a ASTM-F 1959/F1959M-1999, IEC-61482-1 e CENELEC ENV 50354:2000 da comunidade européia.

Tanto a ASTM como a IEC, estabelecem critérios de teste e análise para estabelecer quantitativamente a característica térmica do material e o desempenho de proteção com determinação do ATPV ou E_{BT} assim permitindo comparar o desempenho de diferentes materiais de proteção e escolher a proteção mais adequada para o nível de risco existente no local de trabalho. A CENELEC estabelece critério de teste qualitativo definindo a corrente e tempo do arco, sem medição da energia, e verifica se o material passou ou não passou no

teste dentro dos parâmetros estabelecidos através da inspeção visual e tempo de combustão do material.

ASTM – F 1959;F 1959M 1999

O arranjo consiste em dois eletrodos verticais (aço inox 303 ou 304) de 19 mm de diâmetro e 450 mm de comprimento no mesmo eixo, distanciados de 305 mm. A uma distância de 305 mm do eixo dos eletrodos, são colocadas 3 peças para fixar as amostras de tecido de 610 x 305 mm (H x L), com distanciamento angular de 120 ° entre si. Cada peça é equipada com dois calorímetros de cobre atrás do tecido e mais dois outros, um de cada lado da amostra. Os calorímetros atrás da amostra medem a energia atrás do tecido e outros dois medem a energia incidente.

Para cada disparo do arco, são testadas três amostras de tecido simultaneamente e coletados no mínimo 20 dados dos calorímetros, para validação estatística o que significa que é necessário pelo menos 7 testes para cada série com 21 amostras.

IEC – 61482-1

O arranjo é similar ao da ASTM, e consiste de dois eletrodos verticais (aço ou outro material) no mesmo eixo, distanciados de 300 mm. A uma distância de 300 mm do eixo dos eletrodos são colocadas 3 peças com abertura vertical de 550 x 200 mm (H x L), com distanciamento angular de 120 ° entre si para fixar as amostras de tecidos, cada peça equipada com dois calorímetros de cobre. O calorímetro atrás da amostra mede a energia atrás do tecido e um outro colocado ao lado da amostra mede a energia incidente.

Para cada disparo do arco, são testadas três amostras de tecido simultaneamente e coletados no mínimo 20 dados dos calorímetros, para validação estatística o que significa que é necessário pelo menos 7 testes para cada série com 21 amostras.

CENELEC – ENV 50353:2000

O arranjo do equipamento e circuito elétrico é fixo, e consiste em dois eletrodos colocados verticalmente no mesmo eixo e distanciados de 30 mm. O eletrodo superior é de alumínio e o inferior de cobre. Os eletrodos são cercados nos três lados por uma caixa de teste na forma de cilindro parabólico. A parte superior e inferior são seladas por material isolante, de tal forma que o calor seja direcionado para a parte frontal aberta.

Faceando a abertura, é colocada uma placa vertical com dimensão de 400 x 400 mm, a uma distância horizontal com o eixo do arco de 300 mm.

Existem 2 níveis de teste controlando a corrente nos eletrodos e com o tempo definido de 500 ms:

Classe 1 – 4 kA, 500 ms

Classe 2- 7 kA, 500 ms

A escolha do nível de teste é estabelecida em função da classe de proteção requerida para proteção estabelecida pelo fabricante do tecido ou roupa.

Os testes são feitos em duas amostras para validação, o que significa dois disparos de arcos.

A avaliação é feita por inspeção visual de acordo com o seguinte critério:

- Tempo de combustão (queima) do tecido ou roupa deve ser menor ou igual a 5 segundos após exposição ao arco.
- Os materiais não devem fundir.
- Não deve existir nenhum furo maior do que 5 mm (medido em qualquer direção)
- No caso de roupas, além dos critérios acima, as costuras devem ser mantidas.

O material é aprovado para as condições de teste se nenhuma das condições acima ocorrer.

O teste não mede o fluxo de calor nem a performance do material. O teste serve para avaliar se a roupa ou tecido é adequado para as condições de teste (4kA ou 7 kA com duração de 500 ms), e não é possível fazer extrapolação para outras condições.

Conclusão:

A escolha da vestimenta ou roupa de proteção contra queimaduras por arco elétrico requer uma avaliação detalhada da natureza do arco elétrico e das práticas de trabalho e não deve ser realizada somente por analogia com os demais agentes térmicos. A engenharia elétrica pode e deve contribuir na identificação e avaliação do risco e tomar medidas para proteger as pessoas além da proteção da instalação e equipamentos elétricos.

O ser humano comete erros, assim como ocorrem falhas nos equipamentos e instalação elétrica. A engenharia reconhece que as falhas elétricas são inerentes a qualquer sistema elétrico, motivo pelo qual desenvolvemos tecnologias como dispositivos de detecção e proteção e equipamentos mais resistentes a arcos elétricos. Além da proteção dos equipamentos e da instalação a engenharia elétrica também deve estar focada e contribuir no desenvolvimento das tecnologias para proteger as pessoas avaliando os riscos.

As normas para proteção contra arcos elétricos, são elaboradas pelos grupos da eletricidade como é o caso do IEC, CENELEC e NFPA, e não pelo grupo de segurança do trabalho em especial.

Esperamos que em breve, no Brasil também formemos um grupo de trabalho para desenvolvermos medidas de segurança contra queimaduras por arco elétrico.

Referências:

{1} ASTM- F-1959/F1959M- 99 "Standard Test Method for Determining the Arc Thermal Performance Value of Materials for Clothing" - 1999

{2} CENELEC – ENV 50354:2000 “Electrical test methods for materials and garments for use by workers at risk from exposure to an electric arc” – 2000

{3} IEC – 61482-1:2002 “Live working- flame resistant materials for clothing for thermal protection of workers – Thermal hazards of an electric arc- Part 1- Test methods” - 2002

{4} IEC – 62271-200 – “High voltage switchgear and control gear – Annex A – 2003

{5} Standard IEEE-1584TM - 2002 - IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations - 2002

{6} IEEE "Predicting Incident Energy to Better Manage The Electric Arc Hazard on 600 V Power Distribution Systems". Paper No. PCIC 98-36; Richard L. Doughty, Dr. Thomas E. Neal, H. Landis Floyd, II.

{7} NFPA 70E - National Fire Protection Association, "Standard for Electrical Safety Requirement for Employee Workplace - 2000 Edition".

{8} ASTM-F-2178 – “Standard Test Method for Determining the Arc Rating Of Face Protective Products.

Anexo – Passos para cálculo de energia do arco

Nota - O calculo da energia do arco é um estudo de análise de risco de segurança, e assim como todos os cálculos de engenharia devem ser realizados por profissionais habilitados. O resultado dos cálculos pela simples utilização da fórmula não reflete o nível de energia existente. Todos os parâmetros devem ser analisados assim como a aplicabilidade do modelo matemático na respectiva instalação.

Passos para Calculo da energia do arco

A- Para as condições da instalação:

- Tensão entre 208 e 15.000 V – trifásico
- Frequência de 50 hz e 60 hz
- Corrente de curto circuito sólido entre 700 A e 106.000 A
- Aterramento de sistema sólido e isolado com e sem resistência
- Arco dentro do invólucro de equipamentos e em locais abertos
- Espaçamento entre condutores entre 13 mm e 152mm
- Curtos circuitos trifásicos.

1- Obter dados do sistema e instalação elétrica

2- Determinar a corrente de curto circuito trifásico no ponto ou equipamento

3- Determinar a corrente de arco elétrico

a- Para tensão do sistema menor que 1.000 V

$$\text{Log}I_a = K + 0,662 * \text{Log}I_{bf} + 0,0966 * V + 0,000526 * G + 0,5588 * V * \text{Log}I_{bf} - 0,00304 * G * \text{Log}I_{bf}$$

e

$$I_a = 10^{\text{Log}I_a}$$

Onde

<i>Log</i>	<i>Logaritmo na base 10</i>
<i>I_a</i>	<i>Corrente do arco elétrico (kA)</i>
<i>K</i>	<i>(- 0,153) para configuração aberta</i> <i>(- 0,097) para configuração em caixa fechada</i>
<i>I_{bf}</i>	<i>Corrente presumida de curto circuito sólido trifásico simétrico valor r.m.s (kA)</i>
<i>V</i>	<i>Tensão do sistema (kV)</i>
<i>G</i>	<i>Distância dos condutores (mm) – ver tabela I</i>

b- Para tensão do sistema entre 1.000 V e 15.000 V

$$\text{Log}I_a = 0,00402 + 0,983 * \text{Log}I_{bf}$$

e

$$I_a = 10^{\text{Log}I_a}$$

c- Para tensão do sistema acima de 15.000 V

$$I_a = I_{bf}$$

4- Calcular a Energia Incidente Normalizada

$$\text{Log}E_n = K_1 + K_2 + 1,081 * \text{Log}I_a + 0,0011 * G$$

$$E_n = 10^{\text{Log}E_n}$$

Onde:

E_n energia incidente (J/cm²) para tempo de 200 ms e distancia de 610 mm.

K_1 (- 0,792) para configuração sem compartimento (sem invólucro)

(- 0,555) para configuração em compartimento

K_2 (0) para sistema isolado e aterrado por alta resistência

(- 0,113) para sistema solidamente aterrado

G É a distancia dos condutores em mm (barramento) – ver tabela (1)

Tensão do sistema (kV)	Tipo de equipamento	Distância típica dos condutores/barramentos (mm)	Expoente de distância x
0,208 - 1	Painel de distribuição	32	1,473
	CCM	25	1,641
>1-5	Paineis	13-102	0,973
>5 - 15	Paineis	153	0,973

Tabela I

5- Definir a distancia de trabalho

6- Determinar o tempo de duração do arco em segundos, considerando a corrente de arco calculado no passo 3, e para 85 % da mesma corrente.

7- Calculo da Energia Incidente

$$E = 4,184 * C_f * E_n * \left(\frac{t}{0,2} \right) * \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \quad \{5\}$$

Onde

E É a energia incidente (J/cm²)

C_f É o fator de cálculo

1,5 para tensão igual ou menor do que 1 kV

1,0 para tensão acima de 1 kV

E_n É a energia normalizada

t Tempo do arco (segundos)

D Distancia do ponto do arco (mm)

x É o expoente de distancia (ver tabela 1)

Repetir o cálculo para determinar a energia normalizada e energia incidente para corrente igual a 85% da corrente calculada considerando respectivo tempo de extinção do arco.

Utilizar o maior valor para escolha da vestimenta de proteção.

B – Para instalação fora da condição listada item A

Nos casos onde a tensão é acima de 15.000 volts ou as distancias entre condutores/barramentos forem acima de 152 mm, deve ser aplicado o método teórico do Lee para calculo da energia, utilizando a equação.

$$E = 2,142 * 10^6 * V * I_{bf} * \left(\frac{t}{D^2} \right)$$

Onde:

<i>E</i>	<i>Energia incidente (J/cm2)</i>
<i>V</i>	<i>Tensão do sistema (kV)</i>
<i>t</i>	<i>Tempo em segundos</i>
<i>D</i>	<i>Distancia do arco (mm)</i>
<i>I_{bf}</i>	<i>Corrente de curto circuito sólido trifásico.</i>

Luiz Kazunori Tomiyoshi

Engenheiro Eletricista pela Escola Politécnica - USP, 1974, membro sênior do IEEE - 1992.

Consultor da DuPont América Latina – Lidera o processo de implementação de gestão de segurança com eletricidade nas unidades da América Latina na aplicação de boas práticas de segurança elétrica no projeto, instalação, operação e manutenção.

- Desde 1974 atua na coordenação e gerenciamento de projeto, montagem, operação e manutenção do sistema elétrico industrial químico e petroquímico, estudos de viabilidade técnica econômica, inspeção e comissionamento.
- Atuou na empresa de consultoria e indústria química.
- Coordenou o Seminário IEEE- IAS - ESW-Brasil – Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho, realizado em 2003 em S.Paulo
- Pioneiro na criação do Comitê de Segurança Elétrica na DuPont América do Sul, que inspirou a organização a criar o Time Corporativo de Segurança Elétrica.
- Condução de auditoria corporativa, investigações de incidentes e acidentes que envolvem eletricidade na identificação da causa física, humana e do sistema organizacional.

Luiz K. Tomiyoshi
Engenheiro Consultor
DuPont do Brasil S.A

Comercial
Al. Itapecurur, 506,
Alphaville Barueri SP
CEP- 06454-080
Tel – 11-4166-8378

Residencial
R. Bartolomeu de Gusmão 452, apto 41
Vila Mariana, São Paulo – SP
CEP – 04111-021
Tel – 11-5573-6949

e-mail
Luiz.k.Tomiyoshi@bra.dupont.com
l.k.tomiyoshi@ieee.org