

# ANÁLISE DE RISCOS

## A Importância do estudo de curto-circuito na definição das roupas de proteção

Quando se trata de projeto, operação e manutenção de sistemas elétricos de potência, a preocupação com a segurança deve ser uma prioridade. Os projetistas não devem só implementar garantias para proteger equipamentos e processos, mas também devem avaliar os riscos associados às pessoas.

Neste contexto, o principal objetivo desse artigo é, por meio de um exemplo prático, alertar os profissionais das áreas de segurança do trabalho e elétrica para os perigos e equívocos que estão acontecendo no mercado, no que tange à determinação da energia incidente para a definição da vestimenta de proteção.

Muitos profissionais, no intuito de calcular a energia incidente para a definição das vestimentas de proteção, estão dimensionando-as utilizando planilhas encontradas e compartilhadas na internet.

Essas planilhas não estão, necessariamente, fornecendo dados errados, porém, os cálculos de curto-circuito para determinação da energia incidente exigem o valor da corrente de curto em pontos específicos do sistema, além do tempo de atuação da proteção para eliminar a corrente de arco elétrico.

O problema está na definição do valor de curto-circuito e do tempo de atuação da proteção utilizados, pois esses valores estão sendo fixados sem a realização dos devidos estudos e seletividade (muitas vezes pela falta de informação do sistema).

Sendo assim, o texto apresentará a importância de se realizar o devido estudo de curto circuito na determinação da energia incidente (ao invés de assumir um valor predeterminado) e o quanto o erro pode ser sensível em determinados sistemas, podendo inclusive levar a uma especificação equivocada de vestimenta, colocando em risco a vida do trabalhador.

Considere um sistema elétrico alimentado em 13,8 kV pela concessionária U1 com corrente de curto-circuito trifásica de 25 kA e com relação de X/R igual a 8. O transformador de entrada T1, tem potência nominal de 1,5 MVA, impedância de 5%, conexões em delta-estrela-solidamente aterrada, relação de transformação de 13,8/0,48 kV e alimenta a

Barra 2 através de 5 cabos por fase de 120 mm<sup>2</sup> e 50 metros de comprimento.

A Barra 2 está em um quadro de distribuição fechado e tem corrente nominal de 2000 A e corrente de curto-circuito simétrico suportável por 1 segundo de 50 kA.

O disjuntor DJ é do fabricante ABB, modelo E3N e disparador eletrônico SACE PR113. A corrente nominal é de 2000 A e apresenta capacidade de interrupção de 50 kA, conforme norma ANSI. O diagrama unifilar do circuito em análise é apresentado na figura 1.

### Valor da corrente de curto-circuito na barra 2

Na ausência do valor de curto-circuito no ponto específico, onde deseja calcular a energia incidente, os responsáveis pelos cálculos vêm adotando os valores da suportabilidade do barramento ou do disjuntor como o valor. Isso ocorre pelo fato de considerarem como premissa que uma corrente de curto-circuito mais elevada resulta em uma energia incidente mais alta.

Neste contexto, será realizado o cálculo da corrente de arco e, conseqüentemente, da energia incidente, com base no valor de curto-circuito assumido como o de suportabilidade da Barra 2 de 50 kA.

Para a elaboração do cálculo de curto-circuito na Barra 2 será utilizado o software de simulação de sistemas de potência ETAP módulo Short Circuit Analysis conforme a norma ANSI C37. O resultado obtido para um curto-circuito trifásico na Barra 2 em 480 V é de 29,194 kA.

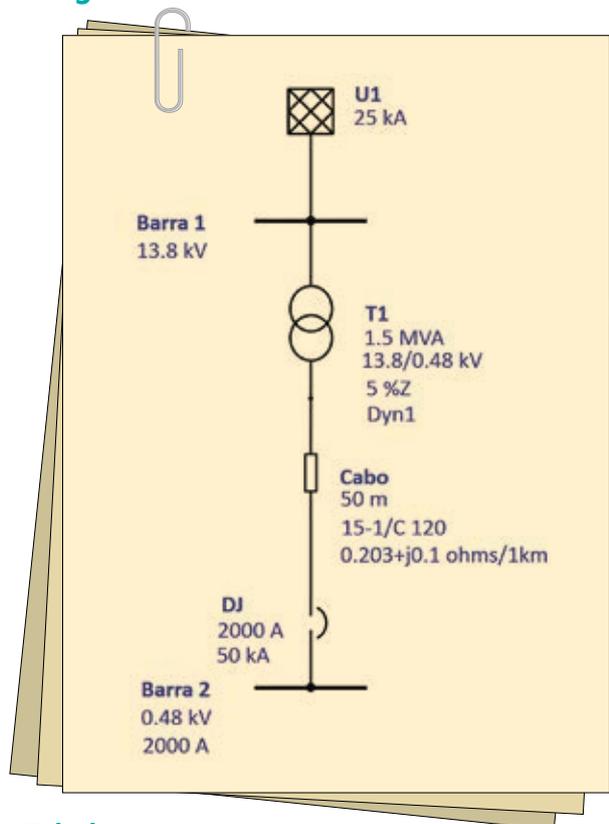
### Cálculo da corrente de arco elétrico e energia incidente

A determinação da corrente de arco elétrico, para todos os casos, utilizará a equação (1) da norma IEEE 1584 com tensão inferior a 1000 V.

Os valores da distância entre condutores (GAP) e fator x de distância na Barra 2 (Quadro de Distribuição) seguem os valores típicos da Tabela 4 da norma IEEE 1584.

Calculando a corrente de arco elétrico para a corrente de

**Figura 1:  
Diagrama Unifilar**



**Tabela 1:  
Resultado do Estudo  
de Curto Circuito na Barra 2**

**RELATÓRIO DE CURTO CIRCUITO**

Falta trifásica na barra: **Barra 2**  
Tensão de pré falta= 0.480 kV

100.00 % do kV nominal da barra (0.480 kV)  
= 100.00 % da base (0.480 kV)

Contribuição		1/2 Ciclo				
Da Barra ID	À Barra ID	% V Da Barra	kA Ativa	kA Imaginary	Imag. /Real	kA Sim. Magnitude
Barra 2	Total	0.00	9.397	-27.640	2.9	29.194
Bus2	Barra 2	22.96	9.397	-27.640	2.9	29.194
Barra 1	Bus2	96.03	9.397	-27.640	2.9	29.194

curto-circuito assumida de 50 kA, tem-se 24,063 kA.

Utilizando o valor de curto-circuito calculado e apresentado tem uma corrente de arco elétrico de 15,37 kA. A curva de proteção do disjuntor foi extraída do manual do fabricante do equipamento e os ajustes podem ser visualizados no cordeograma da figura 4.

Verificando os tempos, para a eliminação do arco elétrico, na curva de atuação do disjuntor DJ para as correntes de arco de 24,063 kA ( $I_{cc} = 50$  kA) e 15,37 kA ( $I_{cc} = 29,194$  kA), tem-se os tempos em 0,12 e 2,743 segundos, respectivamente.

Utilizando os valores das correntes de arco elétrico e tempo da atuação da proteção definidos anteriormente, pode-se realizar o cálculo da energia incidente, conforme equação (6) da norma IEEE 1584.

Para o valor de curto-circuito assumido de 50 kA, tem-se uma corrente de arco de 24,063 kA, sendo essa corrente eliminada em 0,12 segundos. Com isso, tem-se uma energia incidente de 6,535 cal/cm<sup>2</sup>, vide figura 2.

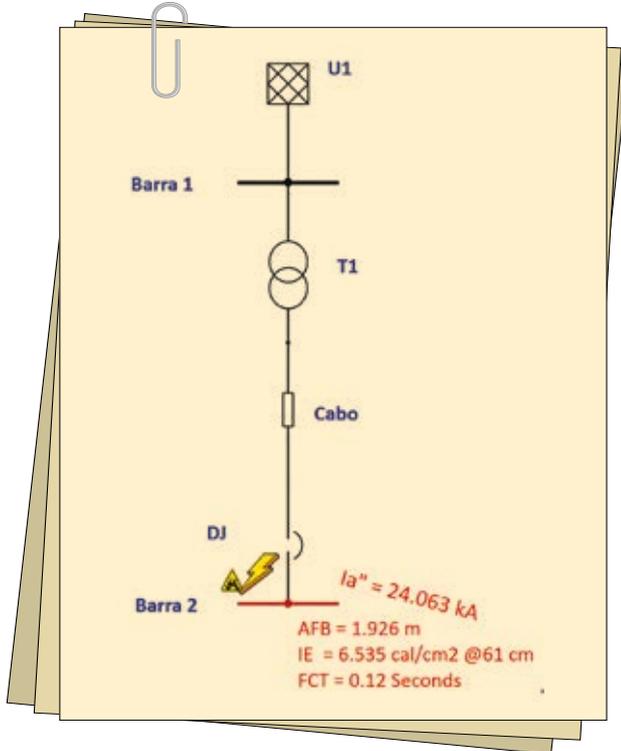
Já pelo valor de curto-circuito calculado de 29,194 kA, tem-se uma corrente de arco de 15,37 kA, sendo essa corrente eliminada em 2,743 segundos e gerando uma energia incidente de 92,005 cal/cm<sup>2</sup>. Veja na figura 3.

Com os valores de energia incidente é possível definir a classe de vestimenta de proteção que o trabalhador deverá utilizar. Verifica-se que os resultados dos valores de energia incidente calculados irão gerar classificações de vestimentas de proteção bem distintas onde, para o caso de utilização do valor de curto-circuito assumido de 50 kA (estimado sem o devido cálculo), a vestimenta é Nível 1 e, com o valor de curto-circuito calculado no ponto específico, a classe da vestimenta seria Nível 2.

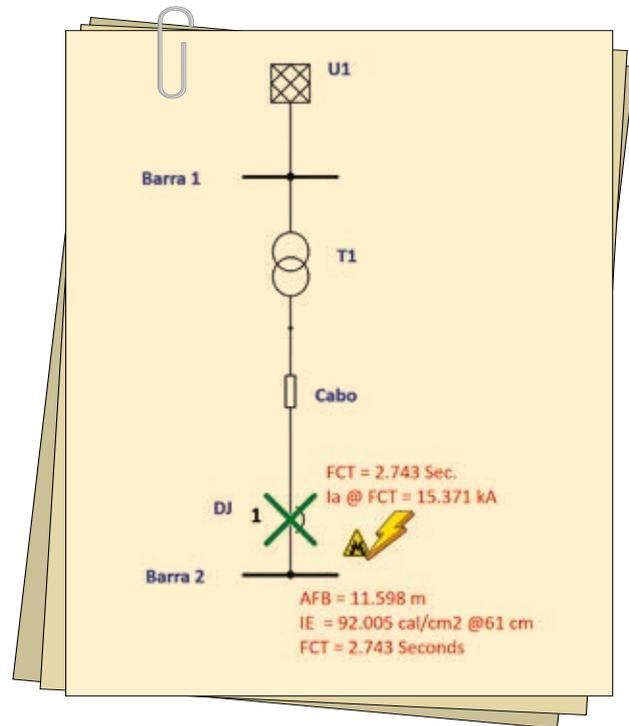
É importante ressaltar que o item 9.10.4 da norma IEEE 1584 diz que devido à dificuldade de se obter um valor preciso da corrente de arco elétrico, é necessário calcular um segundo valor de energia incidente considerando um valor menor (85%) da corrente de arco elétrico.

Para o caso da corrente de curto-circuito simplesmente assumida (50 kA), o valor equivalente a 85% da corrente de arco elétrico, resultaria em 20,45 kA. Analisando a curva do disjuntor, verifica-se que a eliminação do arco elétrico permanece em 0,12 segundos. Assim sendo, chega-se uma energia incident-

**Figura 2:**  
Resultados para Icc  
Assumido de 50 kA



**Figura 3: Resultados**  
para Icc Calculado



**Tabela 2: Nível de energia**  
Incidente conforme tabela  
130.5(G) da NFPA 70E 2018

### Classificação Energia Incidente

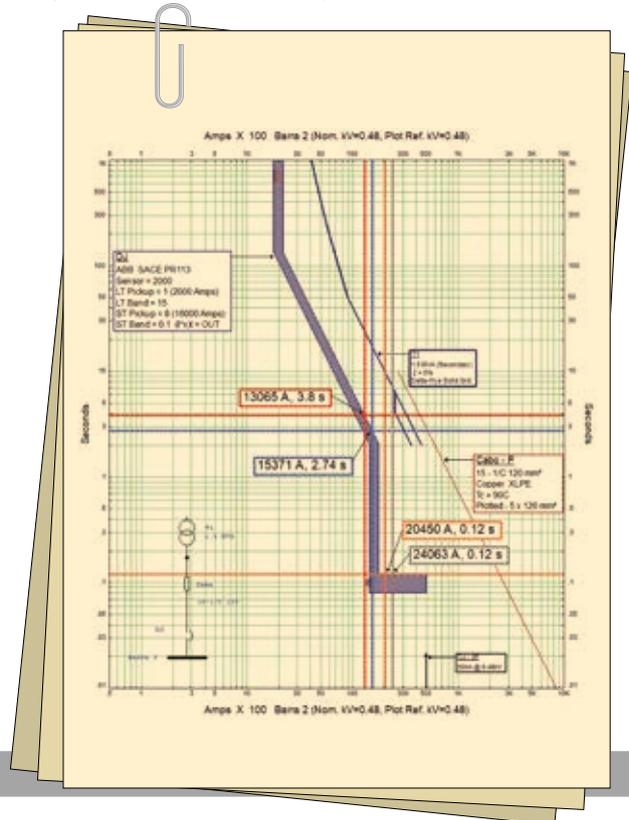
Nível de Classificação	Energia Incidente (cal/cm <sup>2</sup> )
Nível 1	1.2 até 12
Nível 2	Acima de 12

te de 5,47 cal/cm<sup>2</sup>, ou seja, valor menor que o valor anterior de 6,535 cal/cm<sup>2</sup>.

Por outro lado, para o caso da corrente de curto-circuito devidamente calculada (29,194 kA), com 85% da corrente de arco elétrico, tem-se 13,065 kA, que será eliminada pelo disjuntor em 3,8 segundos e resultará em uma energia incidente de 106,8 cal/cm<sup>2</sup>.

Cabe destacar que a norma IEEE 1584 define o limite de aproximação sendo a distância entre o ponto de arco e

**Figura 4: Curva do Disjuntor DJ**



o trabalhador, onde a energia incidente pode causar uma queimadura de 2º grau na pele humana. O valor da energia para causar uma queimadura de 2º grau na pele humana é definido sendo 1,2 cal/cm².

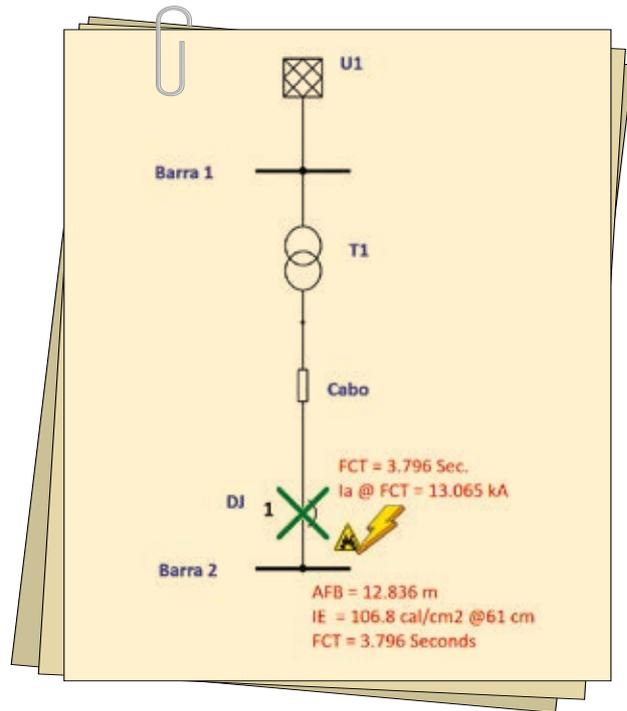
Será utilizada a equação (8) da IEEE 1584 para calcular distância/limite de aproximação. Para o caso onde é assumido o valor de curto circuito (50 kA), tem-se uma distância de aproximação de 1,9 metros. Na Figura 6 essa distância é identificada como D1.

Já no caso onde o valor de curto circuito é calculado no ponto específico (29,194 kA), são necessários dois cálculos para o limite de aproximação, um para 100% e outro para 85% da corrente de arco resultando, respectivamente, em 11,6 e 12,8 metros identificadas, na Figura 6, como sendo D2 e D3, respectivamente.

### Comparação dos Resultados

Com as simulações realizadas, pode-se efetuar a comparação, apresentada na Tabela 3, para determinar a classe da vestimenta do operador.

Figura 5: Resultados para 85% de la utilizando o Icc calculado



## calçado profissional antiderrapante

**LANÇAMENTO**

**Classic Works - Ref. BB66**  
CA (produto em processo de certificação)

**1º Calçado EVA com Biqueira Fabricado no Brasil**

Atende Norma NR-32 | Impermeável Lavável | Cabedal EVA (Super Leve) | Fácil higienização | Contém Antimicrobiano

**Solado SUPER GRIP** ANTIDERRAPANTE

**Biqueira COMPOSITE** (cerca de 50% mais leve que a Biqueira de Aço tradicional)

**Solado antiderrapante resistente ao escorregamento SRC**  
Resistente à óleo

**Solado Antiderrapante - Tecnologia "SUPER GRIP"**  
ADEQUADO PARA PISOS ESCORREGADIOS, COM RESÍDUOS DE ÓLEO  
uso em restaurantes, padarias, hospitais, clínicas, frigoríficos, açougues, abatedouros, limpeza, hotéis e outros lugares com pisos escorregadios

**Tênis Works**  
CA \*\* 37.212  
Ref. BB80

**Works**  
CA \*\* 31.898  
Ref. BB65

**Soft Works**  
CA \*\* 27.921  
Ref. BB60

**Acqua Foot**  
CA \*\* 39.347  
Ref. BB86

**Light Boot**  
CA \*\* 37.390  
Ref. BB85

**Lady Works**  
CA \*\* 40.293  
Ref. BB95

**Sapatilha**  
CA \*\* 34.061  
Ref. BB50

**Soft Works**  
PROFESSIONAL SHOES

epi@softworksepi.com.br (16) 3703 3240  
[www.softworksepi.com.br](http://www.softworksepi.com.br)

\*Proteção patenteada - Patente nº 0. 99. 10.200.7.000.996.8 - marca Soft Works

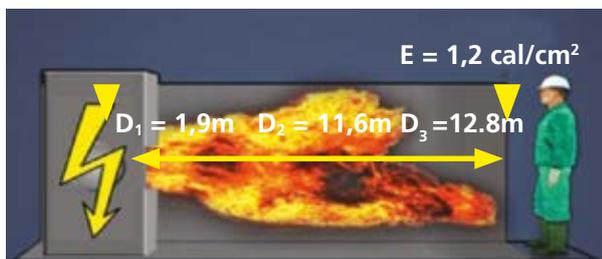
\*\*Modelo de calçado registrado - BR 20.2025.0008915-6/12 e MR - BR 20.2015.008105-6/12 - Solados antiderrapantes

INSTITUTO PROFISSIONAL DE PISOS

APRE

AMIGO DA FLORESTA

**Figura 6: Distância para o limite de aproximação**



## Conclusão

Com os resultados obtidos das simulações, pode-se concluir que a utilização de um valor de curto-circuito mais elevado não resulta, necessariamente, em um maior valor de energia incidente. Pelo contrário, verificou-se que, nos casos simulados para o sistema apresentado, um valor mais elevado de curto-circuito resultou em uma menor energia incidente.

Cabe destacar que foi obtida uma diferença da energia incidente de mais de 16 vezes entre o caso considerando o valor de curto circuito previamente assumido e o caso com valor calculado no ponto específico.

Se a definição da vestimenta de proteção ocorresse com base na primeira simulação, do valor de curto-circuito previamente assumido (estimado), seria definida suportando até 12 cal/cm<sup>2</sup>. Ou seja, o trabalhador poderia receber uma energia incidente de 106 cal/cm<sup>2</sup> executando uma operação a 61 cm do quadro, resultando em danos e consequências possivelmente catastróficas.

Vale ressaltar ainda que, em uma comparação entre os casos com valor de curto-circuito estimado e calculado, o limite de aproximação aumentou mais de 6 vezes passando, respectivamente, de 1,9 para 12,8 metros.

Mostra-se evidente a necessidade de utilizar técnicas para mitigar o valor da energia incidente para esse sistema, de maneira a reduzir a classificação da vestimenta de proteção e consequentemente o limite de aproximação ao quadro.

**Tabela 3 - Comparação entre os resultados obtidos**

CASO	Icc (kA)	Energia Incidente (cal/cm <sup>2</sup> )	Distância Limite (m)	Ia (kA)	Tempo (s)
Icc Assumido	50	6,53	1,9	24,063	0,12
Icc Calculado	29,194	92,005	11,6	15,371	2,743
Icc Calculado (Ia=85%)	29,194	106,83	12,8	13,065	3,796

Sendo assim, é de vital importância certificar-se de todas as situações e condições operacionais do sistema em análise para determinar todas as correntes de curto-circuito e todas as energias incidentes. Com este procedimento pode-se, de fato, analisar o pior caso, verificar a necessidade de medidas para mitigar a energia incidente e definir a classificação correta da vestimenta de proteção a ser utilizada pelo trabalhador na execução das suas atividades.

Como demonstrado no presente artigo, os estudos de curto-circuito, proteção e seletividade são de fundamental importância para a elaboração do estudo de energia incidente e definição da vestimenta de proteção. Esses estudos devem ser atualizados periodicamente, a fim de certificar os procedimentos de segurança e para proteção humana e de equipamentos.

Cumprir salientar que, como o tema em análise é extremamente técnico e bastante sensível ao tratar de possíveis consequências severas à saúde dos trabalhadores, faz-se necessária uma discussão mais aprofundada incluindo a criação de Grupo de Trabalho específico para definição de diretrizes e padronização de critérios para realização dos estudos com a participação efetiva de especialistas em Engenharia de Segurança e em Engenharia Elétrica junto ao governo (Ministério do Trabalho e Emprego), outros especialistas e sociedade (Trabalhadores).

Em se tratando de assunto de alta técnica e especialização, é de suma importância que as orientações técnicas ao Ministério do Trabalho sejam impessoais, evitando o interesse profissional específico, ou seja, o atendimento de conveniências de quaisquer especialistas que porventura prestem serviços dessa natureza num mercado ainda carente de informação, especialmente no que se refere ao fiel cumprimento dos preceitos da NR-10 e instruções complementares específicas para o SEP. ■

**Leandro Toniello** - Engenheiro eletricitista graduado pela Escola Federal de Engenharia Itajubá (EFEI), pós-graduado em Gestão de Projetos e Engenharia de Segurança do Trabalho. Atua em simulação e análise de sistemas de potência há 18 anos.

**Cesar Vianna Moreira** - Engenheiro de segurança do trabalho e eletricitista, consultor de SST, gerente da Fundação COGE entre 2000 e 2015 e ex-presidente do membro de conselho consultivo da SOBES

**Cesar Vianna Moreira Júnior** - Engenheiro eletricitista de segurança do trabalho, mestre em Engenharia elétrica (COPPE/UFRJ) e consultor