

# Estudo de Energia Incidente para Diagnóstico de Escolha de Equipamento de Proteção Individual Utilizados na Manutenção de uma Subestação de 1000 kVA

Antonio Eduardo de Oliveira Carvalho  
Centro de Engenharias  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Mossoró, RN  
antonio.carvalho@alunos.ufersa.edu.br

Humberto Dionísio de Andrade  
Centro de Engenharias  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Mossoró, RN  
humbertodionisio@ufersa.edu.br

**Resumo** — O arco elétrico é um fenômeno proveniente de curto-circuito e manobras em sistemas energizados. O qual representa uma passagem significativa de corrente, que resulta em energia incidente com efeitos térmicos produzidos por meio de uma explosão elétrica. Neste contexto, uma importante medida para proteção contra os efeitos térmicos dos arcos elétricos é a utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) com grau ATPV (*Arc Thermal Performance Value*) adequado e a definição de uma distância segura de aproximação do local de trabalho. Desse modo, este trabalho se propõe a demonstrar por meio de um estudo de caso, a aplicação da metodologia proposta na IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) 1584/2018 (*Guide for performing arc-flash hazard calculations*) e as orientações da NFPA (*National Fire Protection Association*) 70E/2018 (*Standard for electrical safety requirement for employee workplace*) para o estudo da energia incidente e determinação do grau de proteção ATPV dos equipamentos de proteção de trabalhadores de uma subestação de 1000 kVA em 13,8/0,38 kV da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, localizada no município de Mossoró, RN. No estudo, pode-se constatar que os serviços na subestação requerem a utilização de EPIs com categoria ATPV grau 3 e a delimitação de uma distância segura de aproximação mínima de 2,047 m.

**Palavras-chave** — Arco elétrico, Energia incidente, Proteção térmica, Equipamentos de proteção individual.

## I. INTRODUÇÃO

O seccionamento elétrico no ponto de entrega da concessionária à uma subestação que atenda a uma determinada demanda, é substancial para a realização de atividades nestes ambientes, como, por exemplo, manutenção corretivas ou preventivas. Todavia, nem sempre é possível atender a esta condição, uma vez que se faz necessário a continuidade da alimentação para aquela carga.

Associado ao manuseio de equipamentos energizados, surge o arco elétrico. O qual produz calor intenso, causa explosões, ondas de pressão, entre outros efeitos, representando riscos aos trabalhadores expostos a esse fenômeno [1]. Verifica-se então a capacidade destrutiva do arco elétrico no que tangencia serviços em sistemas energizados, logo é de suma importância um estudo de energia incidente resultante do arco elétrico, além do grau de proteção ATPV dos equipamentos de proteção individuais a

serem utilizados nestes ambientes com sistemas energizados. Apesar da norma regulamentadora nº 10 definir as condições exigíveis para garantir a segurança de trabalhadores envolvidos com o trabalho em instalações elétricas, em seu projeto, execução, reforma, ampliação, operação e manutenção, bem como segurança de usuários e terceiros [2], faz-se necessário o uso de normas internacionais, como a IEEE 1584/2018 e a NFPA 70E/2018.

Neste trabalho, buscou-se demonstrar, por meio de um estudo de caso, a aplicação do estudo de energia incidente para a correta determinação do *Arc Thermal Performance Value* (ATPV) das vestimentas de trabalhadores e a distância segura de aproximação para serviços em um quadro elétrico de uma instalação de média tensão, utilizando como base a metodologia proposta na IEEE 1584/2018 e as orientações da NFPA 70E/2018.

## II. O ARCO ELÉTRICO

Um arco elétrico caracteriza-se pela passagem significativa de corrente elétrica por um material normalmente não condutivo, como o ar, movimentando-se a altas velocidades (aproximadamente 100 m/s). Este fenômeno é consequência de manobras e curtos-circuitos em sistemas eletrizados. As falhas que originam um arco elétrico estão associadas, em geral, a curtos-circuitos (entre fases e fase-terra), sendo que a maioria dessas falhas é iniciada por meio de um curto-circuito fase-terra, evoluindo rapidamente para um curto-circuito trifásico [1]. O arco elétrico libera uma quantidade enorme de energia em um curtíssimo intervalo de tempo e possui uma temperatura igual a duas vezes a temperatura da superfície do sol, que podem alcançar cerca de 20.000 °C, capaz de queimar metais e liberar gases tóxicos [3].

Consoante a isto entende-se que o arco elétrico é de fato um perigo no ambiente de trabalho, visto que dentre os riscos oferecidos pela eletricidade, o arco elétrico destaca-se como um dos mais danosos aos trabalhadores. Diferentemente da queimadura causada por qualquer outra fonte de calor externa, a queimadura proveniente do arco elétrico queima internamente com mais intensidade do que externamente. Serão necessárias as extensas excisões cirúrgicas e, as vezes amputação, por isto, deve-se capacitar e treinar todos os profissionais envolvidos com eletricidade com intuito de

diminuir os riscos de exposição às queimaduras originadas por arcos elétricos [4].

A onda de pressão é provocada pela alta temperatura do arco, que causa uma explosiva expansão do ar circunvizinho e dos metais existentes no trajeto do arco. O cobre, por exemplo, sofre uma expansão em torno de 67.000 vezes quando muda do estado sólido para vapor. As altas pressões geradas podem facilmente exceder centenas ou mesmo milhares de kgf/m<sup>2</sup>, rompendo os tímpanos e causando danos aos pulmões dos trabalhadores [1]. A Figura 1 demonstra o efeito produzido do arco elétrico em duas barras de cobre.

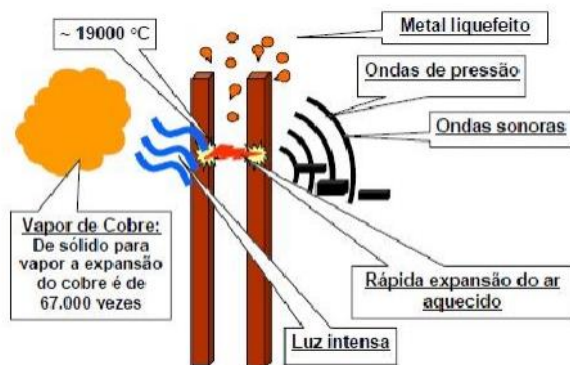


Fig. 1. Efeitos produzidos pelo arco elétrico [3].

Esta explosão elétrica é denominada energia incidente que corresponde a causa dos maiores danos ao trabalhador vítima de acidente envolvendo o arco elétrico. Essa energia, medida em cal/cm<sup>2</sup>, é liberada em sua maioria por irradiação e pode alcançar níveis superiores 100 cal/cm<sup>2</sup>, valor capaz de, em meio segundo, elevar a temperatura da pele humana a 500 °C e expandir a água contida nela em até 500 vezes, produzindo um efeito similar a uma explosão [5]. Desta maneira os trabalhadores envolvidos em trabalhos com risco de acidentes com eletricidade, em específico, o arco elétrico, devem estar protegidos dos perigos deste através de equipamentos de proteção individual com grau ATPV adequado e atuar a uma distância segura de operação. A seguir será apresentado a metodologia para o cálculo da energia incidente e da distância segura de aproximação conforme a norma IEEE 1584/2018 e os critérios de determinação do grau ATPV dos equipamentos de proteção individual com base na NFPA 70E/2018.

### III. CÁLCULO DE ENERGIA INCIDENTE

Nesta seção será discutida a forma de determinação da corrente de arco elétrico descrita na norma IEEE 1584/2018, além de calcular a energia incidente e distância de segurança para trabalhos em locais e sistemas energizados. Seguido pela determinação de grau ATPV conforme recomendação da NFPA 70E/2018.

#### A. Método IEEE 1584/2018

A norma IEEE 1584/2018 é um guia que fornece técnicas para determinação da distância segura para o risco de arco elétrico e energia incidente durante a realização de atividades em equipamento elétrico ou próximo a sistemas energizados [6]. As equações estabelecidas pela norma são embasadas por análise estatística e ajuste de curva através de ensaios, os quais possibilitaram o desenvolvimento do método em questão para o cálculo de parâmetros que juntos determinem o grau ATPV dos equipamentos de segurança individual usados em sistema

de baixa ou alta tensão. A aplicabilidade da IEEE 1584/2018 é descrita na Tabela 1.

TABELA 1. APLICABILIDADE DA IEEE 1584/2018 [6].

| Parâmetro                    | Faixa de aplicação |
|------------------------------|--------------------|
| Tipo de defeito              | Trifásico          |
| Nível de tensão              | 0,208 a 15 kV      |
| Frequência                   | 50 a 60 Hz         |
| Corrente de curto-circuito   | 0,7 a 106 kA       |
| Espaçamento entre condutores | 13 a 152 mm        |

Após definir a faixa de aplicação para cada parâmetro, iniciamos o estudo definindo a corrente de curto-circuito trifásica, por recomendação da norma todas as informações referentes ao diagrama unifilar e dados dos equipamentos sejam inseridos em *Software* para a obtenção do parâmetro desejado. Com a obtenção da corrente de curto-circuito trifásica, o próximo passo é o cálculo da corrente de arco elétrico nos pontos de interesse quanto ao risco de ocorrência deste. A corrente de arco depende principalmente da corrente de curto e pode ser obtida para sistemas de baixa tensão (até 1kV) ou de média tensão (1kV a 15 kV), a mesma pode ser obtida pela Equação 1.

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

Em que:

$L_g$  = Logaritmo na base 10;

$I_a$  = corrente do arco elétrico, em kA;

$K$  = é -0,153 para arco em ambiente aberto e -0,097 para arco em ambiente fechado;

$I_{bf}$  = Corrente de curto-circuito para uma falta trifásica, em kA;

$V$  = tensão do sistema, em kV;

$G$  = distância entre condutores, em mm.

A distância entre condutores pode ser obtida conforme Tabela 2.

TABELA 2. FATORES PARA EQUIPAMENTOS E CLASSES DE TENSÃO [6].

| Tensão do sistema (kV) | Tipo de Equipamento | Dist. típica entre condutores (mm) | Fator de dist. (X) |
|------------------------|---------------------|------------------------------------|--------------------|
| 0,20 ≤ V ≤ 1,0         | Ambiente aberto     | 10 a 40                            | 2,000              |
|                        | Painel de distrib.  | 32                                 | 1,473              |
|                        | CCM e painel        | 25                                 | 1,641              |
|                        | Cabos               | 13                                 | 2,000              |
| 1,0 ≤ V ≤ 5,0          | Ambiente aberto     | 102                                | 2,000              |
|                        | Painel de distrib.  | 13 a 102                           | 0,973              |
|                        | Cabos               | 13                                 | 2,000              |
|                        | Ambiente aberto     | 13 a 153                           | 2,000              |

|                |                    |     |       |
|----------------|--------------------|-----|-------|
| 5,0 ≤ V ≤ 15,0 | Painel de distrib. | 153 | 0,973 |
|                | Cabos              | 13  | 2,000 |

Posteriormente, realiza-se a conversão do logaritmo conforme a Equação 2.

$$I_a = 10^{L_g I_a} \quad (2)$$

Após determinar a corrente de arco elétrico,  $I_a$ , é efetuado a multiplicação deste valor por 85%, para assim determinar o segundo tempo de duração do arco elétrico. Após esta etapa é determinado o tempo de duração do arco, o qual é obtido com o levantamento dos dados do dispositivo de proteção instalado, seja este fusível ou disjuntor com relé integrado. Dando prosseguimento ao modelo de análise é determinado as tensões do sistema e as classes dos equipamentos, deve-se documentar, para cada barramento, a tensão do sistema e o tipo de equipamento [6]. Tais informações são necessárias para se obter o espaçamento entre cada barramento. A Tabela 3 fornece a distância dos barramentos conforme o tipo de equipamento utilizado.

TABELA 3. TIPO DE EQUIPAMENTO E DISTÂNCIA TÍPICA ENTRE BARRAMENTOS [6].

| Tipo de Equipamento            | Distância típica entre os barramentos (mm) |
|--------------------------------|--------------------------------------------|
| Painel de 15kV                 | 152                                        |
| Painel de 5kV                  | 104                                        |
| Painel de baixa tensão         | 32                                         |
| CCMS e quadros de baixa tensão | 25                                         |
| Cabos                          | 13                                         |
| Outros                         | Não Aplicável                              |

A norma IEEE 1584/2018 cita também a distância de trabalho referida na proteção contra arco elétrico. A qual é baseada no nível de energia incidente que atinge a face ou o corpo do trabalhador a uma determinada distância típica. A distância típica é a soma da distância entre o trabalhador e a parte frontal do equipamento com a distância referente a parte frontal e a fonte de origem do arco. Esta distância é ilustrada conforme a Figura 2.



Fig. 2. Distância segura de aproximação em sistemas energizados.

Enquanto a Tabela 3 fornece a distância entre os barramentos dos painéis e quadros de estudo, a Tabela 4 relaciona a distância de trabalho típica com o tipo de equipamento.

TABELA 4. TIPO DE EQUIPAMENTO E DISTÂNCIA DE TRABALHO TÍPICA [6].

| Tipo de Equipamento            | Distância de trabalho típica (mm) |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| Painel de 15kV                 | 910                               |
| Painel de 5kV                  | 910                               |
| Painel de baixa tensão         | 610                               |
| CCMS e quadros de baixa tensão | 455                               |
| Cabos                          | 455                               |
| Outros                         | A ser determinado no campo        |

A etapa seguinte é calcular a energia incidente em cada equipamento, a qual se dá em duas partes. A primeira é calcular a energia incidente normalizada, a qual é baseada em valores normalizados para um arco de 200 ms de duração e uma distância de 610 mm entre o ponto de origem do arco e uma pessoa [6]. A energia incidente normalizada pode ser calculada a partir da Equação 3.

$$L_g E_n = K_1 + K_2 + 1,081 L_g I_a + 0,0011 G \quad (3)$$

Em que:

$L_g$  = Logaritmo na base 10;

$E_n$  = Energia incidente normalizada (J/cm<sup>2</sup>) para tempo de 200 ms e distância de 610 mm;

$K_1$  = é -0,792 para ambiente aberto e -0,555 para ambiente fechado;

$K_2$  = é 0 para sistema isolado ou aterrado por alta resistência e -0,113 para sistema solidamente aterrado.

$G$  = Distância entre os condutores, em mm (conforme a Tabela 2).

Em seguida é realizado a conversão do logaritmo, a ser dado pela Equação 4.

$$E_n = 10^{L_g E_n} \quad (4)$$

Por fim é calculado a energia incidente através da energia incidente normalizada, a qual é fornecida através da Equação 5.

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

Em que:

$E$  = Energia incidente (cal/cm<sup>2</sup>);

$C_f$  = é um fator de cálculo igual a 1,0 para tensão acima de 1 kV e 1,5 para tensão igual ou menor do que 1 kV;

$E_n$  = Energia incidente normalizada;

$t$  = tempo do arco, em segundos;

$D$  = Distância do possível ponto do arco para uma pessoa (mm);

$x$  = Expoente de distância, conforme Tabela 2.

Por fim, a IEEE 1584/2018 define a distância segura de aproximação como a distância da fonte do arco na qual uma energia de calor de 1,2 (cal/cm<sup>2</sup>), ou 5,0 (J/cm<sup>2</sup>), incide sobre uma pessoa sem equipamento de proteção causando-lhe danos físicos. Esta distância é calculada por meio da Equação 6.

$$D_b = \left[ 4,184 C_f E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{E_b} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \quad (6)$$

Em que:

$D_b$  = Distância de aproximação do ponto do arco, em (mm);

$C_f$  = é um fator de cálculo igual a 1,0 para tensão acima de 1 kV e 1,5 para tensão igual ou menor do que 1 kV;

$E_n$  = Energia incidente normalizada;

$E_b$  = Energia incidente (J/cm<sup>2</sup>) na distância de proteção;

$t$  = tempo do arco, em segundos;

$x$  = Expoente de distância, conforme Tabela 2.

#### B. Determinação de Grau ATPV

O grau ATPV relaciona o nível antichamas de um equipamento de proteção individual, muito comum em uniformes de trabalhadores que operam serviços em eletricidade, o grau ATPV relaciona a proteção destes fardamentos com a energia incidente provocada por arcos elétricos. A norma americana NFPA 70E rege práticas de trabalho seguras, através de medidas que reduzem os riscos que envolvam o trabalho com eletricidade, por meio de métodos que determinem a energia incidente e distância segura de aproximação de arcos elétricos, e, por conseguinte, a seleção do grau de proteção ou categoria ATPV dos equipamentos de proteção dos trabalhadores. Esta norma propõem o grau ATPV de equipamentos de segurança com base na energia incidente através de Tabela 5 que relaciona a energia incidente e a suportabilidade térmica.

Conforme a Tabela 5 o grau ATPV é dividido em quatro categorias, a ser:

TABELA 5. SUPORTABILIDADE TÉRMICA NOMINAL DAS CATEGORIAS ATPV [5].

| Categoria ATPV | Suportabilidade térmica nominal (cal/cm <sup>2</sup> ) | Energia Incidente (cal/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1              | 4                                                      | $1,2 \leq E_{inc.} \leq 4$               |
| 2              | 8                                                      | $4 \leq E_{inc.} \leq 8$                 |
| 3              | 25                                                     | $8 \leq E_{inc.} \leq 25$                |
| 4              | 40                                                     | $25 \leq E_{inc.} \leq 40$               |

A seguir será apresentado a implementação dos métodos descritos anteriormente em um estudo de caso de uma subestação abaixadora abrigada de 1000 kVA.

#### IV. ESTUDO DE CASO

Esta seção mostra de forma detalhada um estudo de caso de uma subestação de 1000 kVA situada no campus leste da instituição de ensino superior UFERSA. A subestação escolhida para o estudo é responsável por suprir o Centro de Engenharias e outros pavimentos de ensino da universidade, a mesma é composta por dois transformadores de 500 kVA que operam para abaixar o nível de tensão do ramal de entrada da concessionária para os quadros de distribuição. Neste estudo será empregado a metodologia descrita na seção 3 embasada nas normas IEEE 1584/2018 e NFPA 70E, a fim de determinar desde a corrente de arco elétrico até a distância de segurança de operação na referida subestação, e, por fim, o grau ATPV dos equipamentos de segurança dos trabalhadores que operam nesta.

##### A. Dados da subestação

A subestação escolhida situa-se no campus leste da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). É uma subestação abrigada abaixadora. Os dados da subestação desde o ponto de entrega da concessionária até o quadro geral de força é ilustrado na Figura 3.

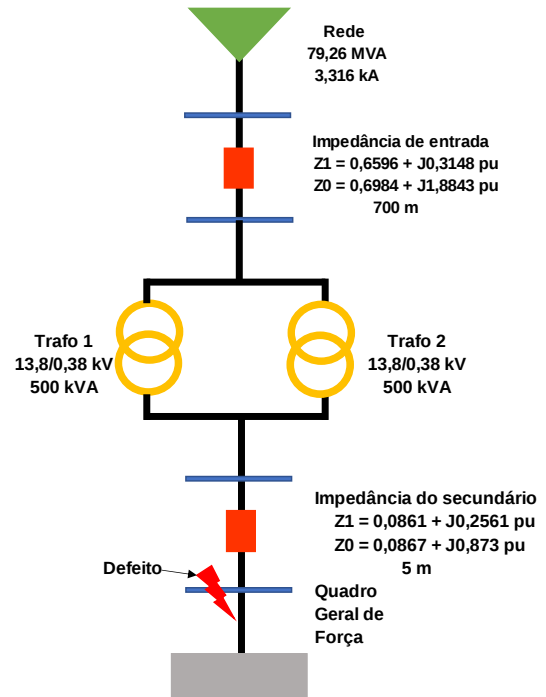


Fig. 3. Dados da subestação estudada

A concessionária fornece dados do ponto de entrega da subestação. Nestes dados é fornecido o defeito trifásico de 3,316 kA que produz a impedância de Thévenin em sistemas por unidade (Pu) para a sequência positiva e zero, respectivamente igual a  $Z_1 = 0,3085 + j1,2234$  (pu) e  $Z_0 = 0,4814 + j2,6588$  (pu). É adicionado a estes dados as informações dos cabos que conectam o ponto de entrega até o cubículo de medição e dos transformadores até o quadro geral de força da subestação. Os dados estão apresentados na Tabela 6.

**TABELA 6. DADOS DOS FABRICANTES DOS CABOS DO RAMAL DE ENTRADA E DA INTERLIGAÇÃO DO TRANSFORMADOR AO QUADRO GERAL DE FORÇA.**

| <b>Cabo</b>  | <b>R1<br/>(<math>\Omega/\text{km}</math>)</b> | <b>X1<br/>(<math>\Omega/\text{km}</math>)</b> | <b>R0<br/>(<math>\Omega/\text{km}</math>)</b> | <b>X0<br/>(<math>\Omega/\text{km}</math>)</b> |
|--------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Z entrada    | 0,6596                                        | 0,3148                                        | 0,6984                                        | 1,8843                                        |
| Z secundário | 0,0861                                        | 0,2561                                        | 0,0867                                        | 0,873                                         |

Os cabos que constituem a interligação até o primário dos transformadores em paralelo possuem as características de fabricação CAA 1/C #1/0 AWG com 185 mm<sup>2</sup> de diâmetro e comprimento de 700 m, que é a distância entre a subestação abrigada e o ponto de entrega da concessionária. Já os cabos que conectam o secundário do transformador até o quadro geral de força são constituídos em CU 1/C #500 AWG, e característica de isolamento em EPR 0,6/1,0 KV – classe 4, singelo, havendo três cabos com seção de 185 mm<sup>2</sup> para as fases e três cabos com seção de 185 mm<sup>2</sup> para o neutro e terra.

Os transformadores da subestação atuam paralelamente com potência nominal de 500 kVA cada, totalizando 1000 kVA. Os transformadores possuem tensões nominais de 13,8/0,38 kV e grupo de ligação delta-estrela aterrado ( $\Delta\text{yn}1$ ). A proteção geral do quadro geral de força é feita por meio de um disjuntor tripolar ajustável, fixo em caixa moldada de 800 A, modelo 3VT3 de fabricação Siemens. A proteção de cada transformador é feita por meio de dois disjuntores em caixa moldada de 800 A. Na seção a seguir serão apresentados os resultados obtidos para a corrente de arco produzida a partir de um defeito trifásico no barramento do quadro geral de força.

#### *B. Estudo de curto-circuito e cálculo da corrente de arco elétrico*

Por meio dos dados prescritos anteriormente foi realizado um estudo de curto-circuito trifásico no barramento do quadro geral de força. A corrente de curto-circuito encontrada é de 18,696 kA. Por meio da curva de tempo-corrente do disjuntor utilizado para a proteção na subestação, o disjuntor tripolar 3VT3 Siemens, a corrente de arco para o sistema energizado, considerando um sistema fechado e espaçamento entre os condutores de 32 mm, é de 8,847 kA. A partir deste valor é calculado a segunda corrente de arco que corresponde ao segundo tempo de arco elétrico em um sistema energizado, a qual é dado por 85% da corrente de arco, ou seja, 85% de 8,847 kA. O que resulta em uma corrente de 7,519 kA. Com base nesta segunda corrente de arco elétrico igual a 7,519 kA, o tempo de arco para o disjuntor utilizado na proteção do quadro geral de força é de 0,46 segundos. A seguir serão apresentados os resultados obtidos para a energia incidente e distância segura de aproximação.

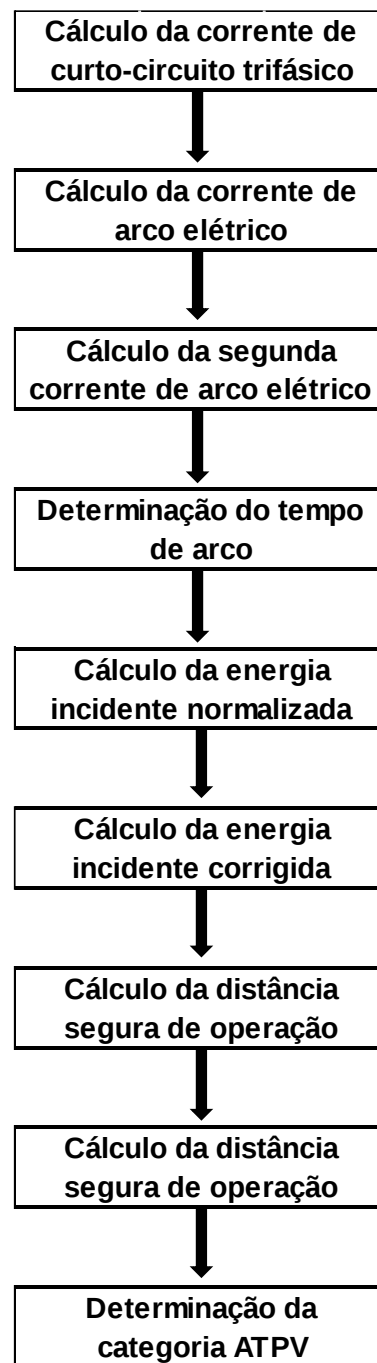
#### *C. Cálculo de energia incidente e determinação de grau ATPV e distância de segurança*

Com a corrente de falta calculada de 7,519 kA, verifica-se por meio da Equação 3 e Equação 4 a energia incidente normalizada igual a 2,062 J/cm<sup>2</sup>. A correção desse valor para as condições reais da instalação por meio da Equação 5 resulta em uma energia incidente no plano de trabalho de 10,955 cal/cm<sup>2</sup>, considerando-se: o fator de distância de 1,473, conforme a Tabela 2; a distância de trabalho de 455 mm, conforme a Tabela 4; e o tempo de arco de 0,46 s.

Por meio dos valores obtidos para a energia incidente normalizada e energia incidente corrigida, é calculado a distância segura de operação através da Equação 6, o que resulta em uma distância segura de trabalho de 2,047 m. Dessa forma a partir dessa distância do ponto de formação do arco, a energia incidente é inferior a 1,2 cal/cm<sup>2</sup>, dispensando o uso de equipamentos de proteção com grau ATPV especificado.

Utilizando-se as recomendações da NFPA 70E, por meio da Tabela 5, verificou-se que é necessário equipamentos de proteção individual com categoria ATPV 3, isto é, com suportabilidade térmica nominal de 25 cal/cm<sup>2</sup>.

As etapas desenvolvidas neste estudo são discernidas no fluxograma ilustrado na Figura 4.



**Fig. 4.** Etapas para estimar a energia incidente e a categoria ATPV dos equipamentos.

## V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, demonstrou-se, por meio de um estudo de caso, a aplicação da metodologia proposta na IEEE 1584/2018 e as orientações da NFPA 70E/2018 para o estudo da energia incidente e determinação do grau de proteção ATPV dos EPIs de trabalhadores de uma instalação de média tensão. O estudo de caso foi realizado no QGF de uma subestação de 1000 kVA em 13,8/0,38 kV da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, localizada no município de Mossoró, RN.

No estudo, verificou-se que na ocorrência de um defeito trifásico no quadro geral de força da instalação será produzida uma corrente de falta de 18,696 kA, e um arco elétrico de cerca de 8,847 kA para o primeiro tempo de arco e um arco elétrico de 7,519 kA referente ao segundo tempo de arco. Para a corrente de 7,519 kA, verificou-se que o tempo de extinção do defeito pela proteção é de 0,46 segundos e que a energia incidente na distância de trabalho é de 10,955 cal/cm<sup>2</sup>, exigindo, de acordo com a NFPA 70E, vestimentas com categoria de risco ATPV grau 3. Constatou-se, ainda, que a distância segura de aproximação, ou seja, a distância da fonte do arco na qual a energia incidente é 1,2 cal/cm<sup>2</sup>, é de cerca de 2,047 m.

Com o estudo de energia incidente, pode-se demonstrar, de forma clara e objetiva, a aplicação das normas IEEE 1584/2018 e NFPA 70E/2018 para correta especificação das vestimentas antichama para a proteção dos efeitos térmicos dos arcos elétricos.

## REFERÊNCIAS

- [1] QUEIROZ, Alan Rômulo Silva; SENGGER, Eduardo Cesar. **A natureza e os riscos do arco elétrico**. Revista: O setor elétrico. Edição 72, 2012.
- [2] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 10: Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. 2016.
- [3] M.P.Campos, “**Estudo da Energia Incidente do Arco Elétrico em Quadros/Painéis Elétricos**”, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Curso de Engenharia elétrica, 2016.
- [4] F.C.Souza, “**Vestimenta de Proteção Contra Queimaduras Provocadas por Arcos Elétricos Para Trabalhadores que Atuam em Instalações e Serviços em Eletricidade**”, Universidade Nove de Julho, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do trabalho, 2009.
- [5] LEMOS, H. T. Q; ANDRADE, H. D. **Estudo de Energia Incidente em uma Subestação de 500 kVA**. Mossoró, RN, 2019.
- [6] IEEE STD. IEEE 1584-2018: **IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations**. 2018.
- [7] ANDRADE, H. D. et al. Energia Incidente em Painéis Elétricos. **O Setor Elétrico**, Ed. 112, São Paulo, SP, v. 10, n. 112, p. 86 – 95, mai. 2015.
- [8] MAMEDE FILHO, J.; MAMEDE, D. R. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. Rio de Janeiro, RJ: LTC Livros Técnico e Científicos Ltda., 2020.
- [9] NFPA 70E - National Fire Protection Association, “**Standard for Electrical Safety Requirement for Employee Workplace - 2000 Edition**.”