

## Capítulo X

# Conjuntos de manobra e controle resistentes aos efeitos de um arco elétrico interno – Parte 1

Por Luiz Felipe Costa\*

A probabilidade de ocorrer uma falha dentro do invólucro de um conjunto de manobra e controle de potência (CMCP) é muito baixa, principalmente, quando ele é especificado, projetado, montado e operado segundo as diretrizes das normas técnicas aplicáveis, práticas de engenharia consagradas e em conformidade com as instruções do respectivo fabricante. Porém, não se pode, simplesmente, ignorar a probabilidade da ocorrência deste tipo de evento. Portanto, é importante entender os requisitos e pontos que estão relacionados ao desempenho destes equipamentos frente aos efeitos de um arco elétrico devido a uma falha interna.

A suportabilidade dos conjuntos de manobra e controle (CMCs) de média e baixa tensão frente a falhas trifásicas com curto-circuito pleno (impedância da falta igual a zero), tanto internas quanto externas (correntes passantes devidas a defeitos fora do conjunto), é verificada pelos ensaios de corrente suportável de curta-duração, conforme, por exemplo, as seções aplicáveis das normas IEC 62271-200 para MT e IEC 61439-1 / -2 para BT.

Os defeitos associados a falhas internas nos CMCs, que envolvam descargas de arco elétrico no ar nos compartimentos destes equipamentos,

tendem a ser mais perigosos e destrutivos. Caso a avaliação de risco da instalação defina a necessidade de se ter um conjunto que suporte os esforços provenientes de um arco interno, o desempenho deles pode ser balizado por um dos seguintes documentos: o guia IEEE C37.20.7, tanto para MT quanto BT, ou pelo anexo “AA” da IEC 62271-200 para a média tensão ou pelo relatório técnico IEC/TR 61641 para BT.

Uma forma de se verificar se é necessário ou não se optar pelo emprego de um CMCP que possua características que o permitam lidar com os efeitos resultantes de um arco elétrico resultante de uma falha interna é avaliar o nível de risco para o elemento humano. Caso este risco seja pequeno, pode-se, então, optar por um CMC com características construtivas comuns. Caso contrário, ou seja: nível do mesmo pode ser considerado relevante (nível de curto-circuito, tempo de resposta das proteções, a presença de pessoas e o seu posicionamento e atuação em relação ao painel), o usuário pode especificar um conjunto que tenha classificação para arco interno, ou seja: condições de lidar como os efeitos provenientes deste tipo de evento.

Neste ponto é preciso que fique claro que a proteção de pessoas em relação à ocorrência

de um arco interno em um painel elétrico não depende exclusivamente do emprego de um conjunto resistente a arco. Esta é, também, função do local da instalação, já que os subprodutos e os gases gerados pela decomposição dos componentes internos do painel poderão vir a ser liberados para fora dos mesmos a altas temperaturas e com um alto nível de toxicidade. Assim, é preciso que sejam previstos modos que permitam a rápida evacuação de pessoas e a remoção dos gases tóxicos presentes na sala da instalação. É fundamental que, antes que qualquer pessoa retorne ao local da instalação, sejam tomadas providências para garantir a eliminação de tais vapores, com ações como o aumento da ventilação na sala elétrica.

As causas que, normalmente, levam a ocorrência de um arco interno são:

- Presença de corpos estranhos, como ferramentas ou os materiais utilizados durante manutenções ou modificações, mas esquecidos dentro do painel após o término das atividades;
- Entrada de pequenos animais;
- Seleção incorreta dos dispositivos de proteção contra curto-circuito;

- Aplicação de cargas maiores do que aquelas para as quais o painel foi projetado;
- Conexões elétricas frouxas;
- Condições anormais (alta umidade, temperaturas além dos valores definidos em projeto, etc.);
- Substituição incorreta de componentes, etc.

A ocorrência de um arco interno em conjuntos de manobra e controle está associada a vários fenômenos físicos, tais como:

- Sobrepressão interna nos compartimentos;
- Sobreaquecimento localizado.

Tais condições criam grandes solicitações térmicas e mecânicas no conjunto. E, além disso, devido à decomposição de componentes e materiais utilizados dentro do painel, ocorre a geração de gases e vapores, os quais são, na maioria das vezes, de natureza tóxica. Estes materiais, junto com partículas incandescentes, podem vir a serem expelidos da estrutura.

Para tanto, os universos normativos da IEC e da ANSI, como já mencionado anteriormente, possuem documentos que orientam e guiam os usuários e fabricantes na identificação de suas necessidades e nos requisitos para a

comprovação de desempenho do equipamento frente ao evento de um arco interno em condições normais de serviço. É importante atentar que, em nenhum dos casos, é avaliado o comportamento do painel quando ele se encontra sob manutenção ou inspeção interna, ou seja, quando partes (tampas e portas) do invólucro, incluindo o compartimento de controle, se encontram abertas ou removidas (as únicas ressalvas para esta última afirmação se encontram no documento, relacionadas aos equipamentos classificados de 2A ou 2B, como mostrado mais adiante).

Ambas as escolas técnico-normativas propõem, quando necessário, as formas de validação e os tipos de classificação para um conjunto de manobra e controle quanto ao seu desempenho em garantir, essencialmente, a segurança humana para o caso de ocorrer um arco interno.

Estas abordagens existem para os conjuntos de manobra e controle de potência (CMCP), tanto de média tensão (MT) quanto de baixa tensão (BT). E, assim, um CMCP, para ser considerado capaz de lidar com os efeitos resultantes de um arco interno, precisa demonstrar, por ensaios ou por características construtivas, o atendimento aos critérios estabelecidos nas respectivas normas.

Equipamentos construídos segundo, basicamente, as recomendações da ANSI (“American National Standards Institute”) seguem o documento IEEE Std C37.20.7 (ver referências), estabelecido pelo IEEE. Este guia estabelece métodos para avaliação de CMC, tanto de BT quanto de MT, até 38 kV, em suportar os efeitos provenientes de um arco devido a falha interna ao conjunto.

Dentro do universo IEC, a análise de desempenho de um CMC frente aos efeitos de um arco interno segue as diretrizes definidas em documentos segundo a faixa de tensão nominal do equipamento. No caso de média tensão (CMC com valores da tensão nominal acima de 1 kV e até 52 kV, inclusive), devem ser seguidas as orientações contidas no anexo “AA” (“Internal arc fault – Method to verify the internal arc classification (IAC)”) da norma IEC 62271-200. Já para a baixa tensão (CMCP com tensão nominal até 1000 V em CA ou 1500 V em CC), o documento orientativo a ser aplicado é o relatório técnico IEC/TR 61641 (ver referências).

Claro que todo o processo descrito acima precisa ser respaldado pelo elemento humano na redução dos riscos a níveis toleráveis, ou seja, é imprescindível que a pessoa que irá atuar sobre um CMC tenha conhecimento dos perigos presentes e siga as orientações estabelecidas pelo fabricante do equipamento e as diretrizes definidas em norma.

Existem outras medidas de proteção que podem vir a complementar a segurança humana e o desempenho de um conjunto de manobra e controle frente aos riscos associados a ocorrência de um arco interno. Algumas dessas possibilidades seriam:

- Tempos rápidos de eliminação do defeito;
- Uso de dispositivos capazes de limitar a energia associada (limitação da corrente passante e redução da duração da falha);
- Eliminação rápida do arco;
- Operação e manobra remotas;
- Dispositivos de alívio de sobrepressão;
- Movimentação das partes extraíveis com a respectiva porta frontal fechada;
- Movimentação remota do elemento extraível, etc.

Cabe alertar aqui que a escolha pelo uso de CMC que seja resistente aos efeitos de um arco interno é de responsabilidade do usuário. Ele deve levar em conta as características do sistema elétrico no qual o equipamento será instalado, as condições de serviço, os procedimentos de operação e as diretrizes de segurança. Para se proteger o ser humano durante a sua interação com um equipamento, deve-se atentar para:

- Nem todos os CMC possuem classificação quanto aos efeitos de um arco interno;
- Nem todos os CMC usam dispositivos extraíveis;
- Nem todos os CMC possuem uma porta que possa ser mantida fechada para as diferentes posições de serviço em que um elemento de manobra possa se colocado (conectado / aterrado / teste).

### **Contexto na média tensão**

Um conjunto de manobra e controle de média tensão para ser considerado como resistente aos efeitos de um arco interno, ou seja, ter uma classificação IAC (“Internal Arc Classified”), como é definido na seção 5.101 da norma IEC 62271-200, ou AR (“Arc Resistant”), como no guia da IEEE, precisa demonstrar, por ensaios, atendimento aos critérios estabelecidos nos documentos mencionados.

Na tabela 1 é apresentado um resumo dos critérios de aceitação, os quais se encontram na seção “6.106.5” da IEC 62271-200 e no capítulo “6” (“Assessment”) da IEEE Std C37.20.7, para a classificação quanto ao desempenho frente a um arco interno em um conjunto de manobra e controle de média tensão:

**TABELA 1 – CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO PARA A CLASSIFICAÇÃO “IAC” / “AR”**

Critérios	Descritivo
# 1	Portas, tampas, etc., corretamente fechadas, não podem ter aberto.
# 2	Não podem ter sido arremessados componentes ou fragmentos do conjunto de manobra que possam causar riscos (A IEC define que a massa destas partes seria igual ou maior que 60 g e que precisaria ter sido arremessadas a uma distância superior ao afastamento dos indicadores verticais).
# 3	O arco não pode ter perfurado as partes livremente acessíveis do invólucro (até uma altura de 2m).
# 4	Os indicadores dispostos não podem ter se inflamado por causa de emissão de gases quentes ou líquidos em chamas.
# 5	Todas as conexões à terra devem continuar eficazes.

A partir do atendimento total dos critérios listados na tabela 1, o conjunto de manobra e controle em invólucro metálico de média tensão pode ser classificado como resistente aos efeitos de um arco interno. Esta classificação, estabelecida pelo fabricante, define qual é o tipo de acessibilidade (como será explicado mais adiante) a cada face de um conjunto e para qual valor e duração da corrente de falha.

Antigamente, a IEC e a ABNT, em versões anteriores de suas respectivas normas para CMC de MT em invólucro metálicos, apesar de serem a favor de uma abordagem que adotasse o atendimento aos cinco critérios descritos na tabela 1, elas deixavam a definição de quais deveriam

**TABELA 2 – TIPOS DE ACESSIBILIDADE DE UM CMC RESISTENTE AOS EFEITOS DE UM ARCO INTERNO**

IEEE C37.20.7		IEC 62271-200 (*)	
TIPO	ACESSIBILIDADE	TIPO	ACESSIBILIDADE
1	Projeto ou características para resistir ao arco elétrico, com livre acessibilidade somente na parte frontal.	A	Acessibilidade restrita somente a pessoal autorizado.
2	Projeto ou características para resistir ao arco elétrico, com livre acessibilidade externa (frente, traseira e nas laterais).	B	Acessibilidade irrestrita, incluindo o público em geral.
		C	Acessibilidade restrita por instalação fora de alcance e acima de área com acesso ao público (tipo “Pole-mounted”).

contemplados para ser acordada entre o fabricante e o usuário.

Na tabela 2 é apresentado um resumo dos tipos de acessibilidade para pessoas nas proximidades do conjunto de manobra e controle em invólucro metálico de média tensão, num evento de arco interno, conforme descrito nos documentos mencionados.

Na IEC, um conjunto de manobra e controle pode ter diferentes tipos de acessibilidade para as diversas faces. Para fins de identificação, usa-se o seguinte:

- F – para a parte (face) frontal;
- L – para as partes (faces) laterais;
- R – para a parte (face) traseira.

Basicamente, temos:

- Pela norma “IEC 62271-200”, a classificação é composta pelo seguinte arranjo de termos: “IAC” (“Internal Arc Classified”: Classificado para Arco Interno), mais o tipo de acessibilidade (A, B ou C) para cada face do CMC (F: frente / L: laterais / R: traseira) e os valores testados para corrente de defeito e respectiva duração. Exemplos:

- IAC – BFLR – 16 kA – 0,1 s: classificado para arco interno com acessibilidade tipo B (público em geral) para as partes frontal, laterais e traseira; para uma corrente de 16 kA eficazes com duração de 100 milissegundos.
- IAC – BF-AR – 20 kA – 0,5 s: Classificado para arco interno com acessibilidade tipo B (público em geral) para a parte frontal e tipo A (pessoal autorizado) para a traseira (o acesso as laterais é restrito, pois não possui classificação); para uma corrente de 20 kA eficazes com duração de 500 milissegundos

- Pela norma “IEEE C37.20.7”, a classificação é composta pelo tipo de acessibilidade (1 ou 2, basicamente) e os valores testados para corrente de defeito e respectiva duração. A composição é feita da seguinte maneira:

- Tipo1: Classificação para um projeto ou estrutura com características para resistir ao arco elétrico, com livre acessibilidade somente na parte frontal. É similar a classificação “IAC-A/B-F”. Exemplo: Tipo 1, 25 kA eficazes, 500 milissegundos.
- Tipo2: Classificação para um projeto ou estrutura

com características para resistir ao arco elétrico, com livre acessibilidade externa (frente, laterais e traseira). É similar a classificação “IAC–A/B–FLR”. Exemplo: Tipo 2, 40 kA eficazes, 500 milisegundos.

**Notas:**

- 1) *A livre acessibilidade externa da ANSI / IEEE, a menos que haja alguma ressalva, sempre se refere a todo o perímetro em torno do painel (frente, lateral direita, lateral esquerda e traseira).*
- 2) *Os valores de tempo de falha recomendados pela IEC são 1 s, 0,5 s e 0,1 s.*
- 3) *O valor preferencial para o tempo de falha adotado pela ANSI / IEEE é 0,5 s. Outros valores podem ser usados, sendo que o valor de 0,1 s é considerado como o mínimo recomendado e o valor de 1 s considerado como limite máximo.*

Enquanto a IEC deixa claro que a sua classificação não se aplica para os casos em que os compartimentos estão com as suas portas e/ou tampas abertas; o IEEE C37.20.7 inclui, para as acessibilidades “tipos 1 e 2”, os sufixos “B” e “C”. O sufixo “B” se refere ao caso em que o painel foi ensaiado com o respectivo compartimento de controle (baixa tensão) aberto. Já o sufixo “C” se aplicada para um painel com proteção de arco entre compartimentos (em uma mesma unidade funcional ou entre unidades funcionais adjacentes).

Para os casos em que, por exemplo, um CMC possa ser montado com a face traseira ou uma das laterais próxima

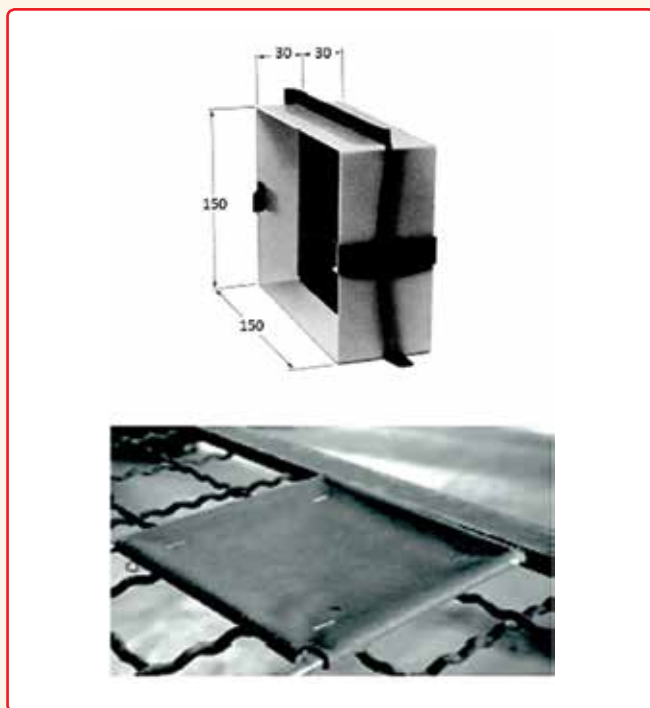
a uma parede (face sem acesso a pessoas), o documento do IEEE define a classificação específica “1D”. Seria a estrutura com livre acesso a sua parte frontal e às outras faces avaliadas no ensaio de arco (esta classificação precisa vir acompanhada da identificação de que outras faces, além da frontal, foram ensaiadas: SR – face direita, SL – face esquerda ou R – face traseira).

No guia do IEEE, tanto a acessibilidade tipo “1” quanto tipo “2”, pedem uma distância mínima para posicionamento dos indicadores, horizontais e verticais, de verificação dos efeitos térmicos dos gases, em relação ao conjunto de manobra de 100 mm +/- 15 mm; porém, com uso de indicadores de queima empregando tecido com uma densidade de 150 g/m<sup>2</sup>. Na norma IEC, a acessibilidade “A” estabelece a distância de 300 mm +/- 15 mm para os indicadores, com tecido de 150 g/m<sup>2</sup>; enquanto que a “B” pede o valor de 100 mm +/- 5 mm para material com uma densidade de 40 g/m<sup>2</sup>.

Os indicadores de queima, tanto verticais (iv) quanto horizontais (ih), mencionados no parágrafo anterior e mostrados na Figura 1, são montados na forma de um quadrado, com dimensões de 150 mm x 150 mm, com tolerância de +15/-0 mm. Eles são feitos de pedaço de pano de algodão, conforme a densidade requerida para o ensaio. A ideia é que cada uma das densidades informadas anteriormente, simulem as roupas usadas no local de trabalho com presença de eletricidade (as de maior densidade) e as roupas mais leves (as de menor densidade, típicas de verão). Eles devem ser montados de modo que os cortes de suas bordas não apontem para o objeto sob ensaio.

É interessante notar que os indicadores horizontais não possuem armação para evitar que partículas incandescentes e não os possíveis gases quentes provenientes do teste possam vir a se acumular. Já os indicadores verticais lembram uma “caixa” pois possuem uma armação de aço (2 x 30 mm) em todo seu entorno de modo a evitar que um indicador vertical possa inflamar outros próximos.

Para o arranjo de ensaio dos conjuntos de manobra e controle de uso interno é importante a simulação da sala onde ele será instalado. Para o espaço livre acima do conjunto a ser ensaiado, tanto a IEC quanto o IEEE estabelecem que o fabricante informe a altura necessária (este valor é medido sempre a partir do piso sobre o qual o equipamento está realmente montado, seja ele o chão ou uma plataforma). A IEC define, também, para painéis com altura igual ou superior a 1800 mm, que o teto deve ficar a pelo menos de 200 mm (+/- 50 mm) acima da parte mais alta deles, incluindo, quando aplicável, a posição de abertura máxima dos flaps (ou “portinholas”: dispositivos de alívio de sobrepressão), ou seja, estes não devem atingir o teto quando de sua atuação. Para o caso de painéis com menos de 1800 mm de altura, o teto deve ficar a dois metros (+/- 50 mm).



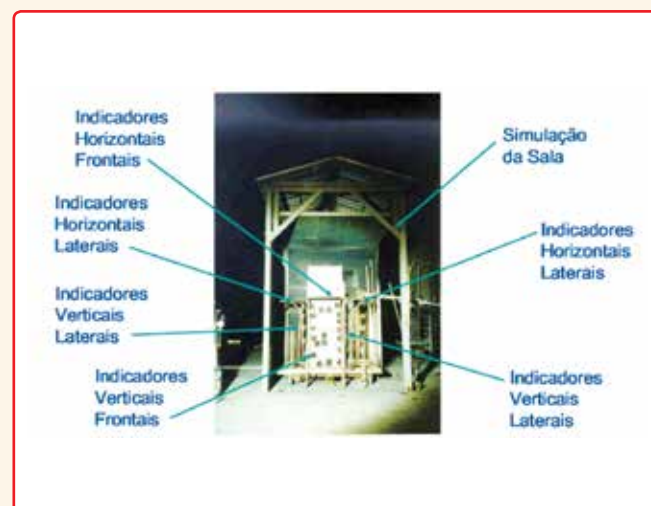
**Figura 1 - Indicadores vertical e horizontal de (150 mm x 150 mm) para verificação dos efeitos térmicos dos gases.**

Além do que foi descrito no parágrafo anterior, existem também as considerações relativas às paredes (traseira e lateral), conforme características do local e do equipamento

a ser ensaiado. A parede lateral (pelo menos uma) deve ficar a 100 mm (+/- 30 mm) do painel. O posicionamento da parede na parte de trás do painel irá depender se esta parte é ou não acessível (os conjuntos com diferentes profundidades, terão a distância tomada a partir de sua unidade mais profunda), sendo que se deve considerar o valor padrão de afastamento da parede como igual a 800 mm (+100/-0 mm) para situações onde houver o acesso de pessoas.

Para os casos de estruturas sem acesso traseiro, a IEC define uma distância de 100 mm (+/- 30 mm) entre o painel e a parede, a menos que o fabricante declare um valor superior. Se for informada uma distância menor do que 100 mm, deverá ser comprovado que quaisquer deformações permanentes não interfiram com a parede ou sejam limitadas por ela.

Na Figura 2 vê-se um exemplo de arranjo com a simulação do local de instalação de um CMC de MT para a realização de um ensaio de verificação do desempenho frente aos efeitos resultantes de um arco interno, conforme o IEEE. Pode-se notar que, além da simulação da sala para o ensaio, existe a necessidade de se posicionar os indicadores verticais e horizontais para verificação dos efeitos térmicos dos gases, a partir das distâncias já informadas e segundo a altura para os painéis. Conforme a norma adotada, existem pontos a serem seguidos: o IEEE considera que o material usado nos indicadores (tecido de algodão) tenha sempre uma densidade de 150 g/m<sup>2</sup>, tanto para acessibilidade tipo “1” quanto tipo “2”, enquanto que a “IEC” pede este mesmo valor para a acessibilidade “A”, enquanto muda o valor de densidade para 40 g/m<sup>2</sup> nas acessibilidades “B” e “C”.



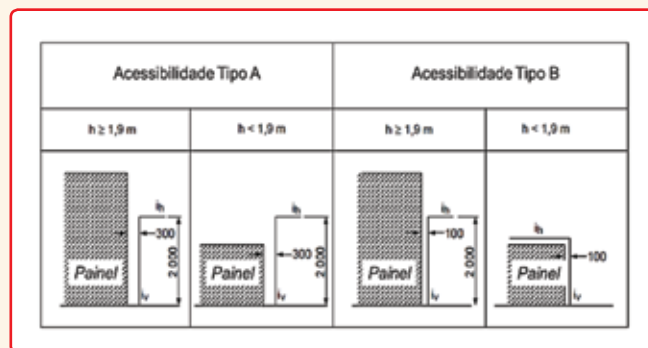
**Figura 2 - Arranjo para a os ensaios de arco interno.**



A IEC, como mostrado na Figura 3, pede que os indicadores horizontais (ih) e verticais (iv) de queima, conforme a acessibilidade e a altura do CMC, sigam os seguintes arranjos básicos dos indicadores:

- Acessibilidade tipo “A”: restrito somente a pessoal autorizado (indicadores de tecido com 150 g/m<sup>2</sup>, montados a 300 mm +/- 15 mm);
- Acessibilidade tipo “B”: acessibilidade irrestrita, incluindo público em geral (indicadores de tecido com 40 g/m<sup>2</sup> montados a 100 mm +/- 5 mm);
- Acessibilidade tipo “C”: acessibilidade restringida por instalação dos equipamentos fora de alcance: montados em postes ou plataformas, acima do nível do solo (indicadores de tecido com 40 g/m<sup>2</sup> montados entre 40 e 50% de uma superfície de (3 x 3) m<sup>2</sup>, a uma altura de 2 metros).

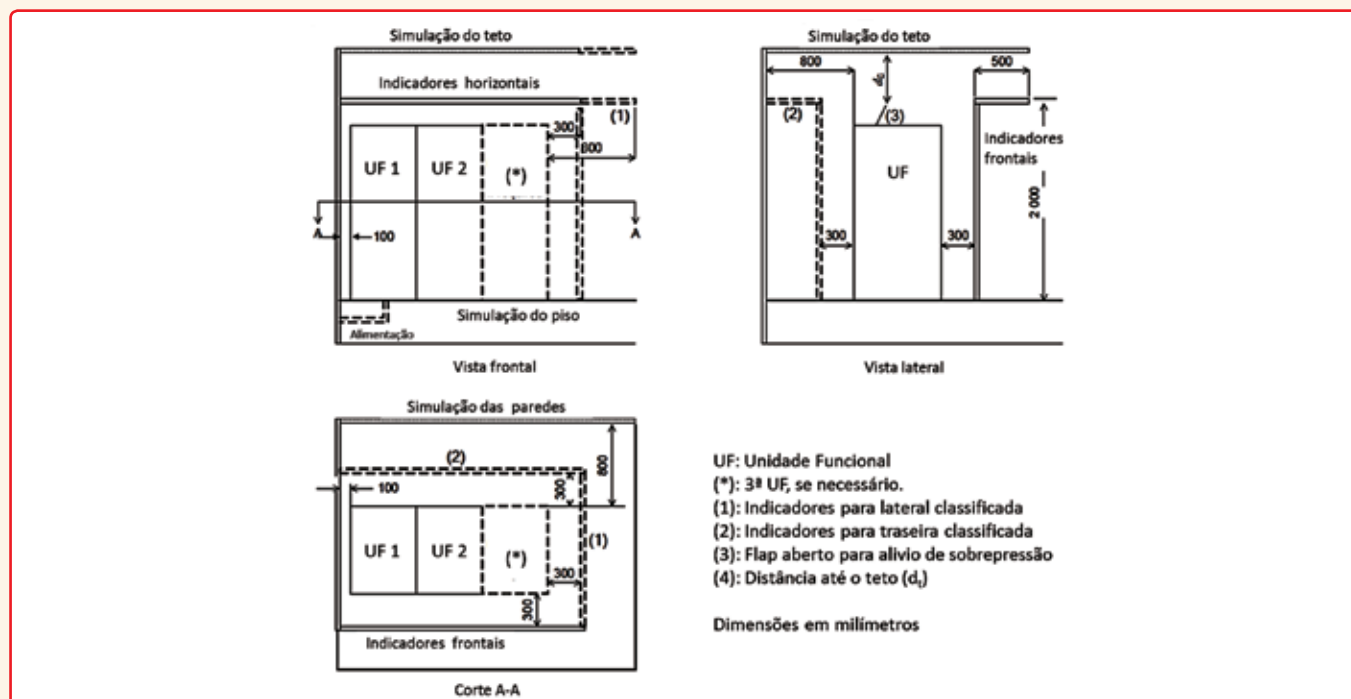
Os indicadores devem ser dispostos em uma configuração similar à de um tabuleiro de xadrez, de modo a cobrir de 40% a 50% da área associada à superfície sob ensaio. Essa montagem deve ser em estruturas com uma extensão maior do que a dimensão correspondente à face ensaiada, de modo a se considerar a possibilidade de escape de gases quentes a 45° a partir do conjunto. Esta angulação implica um prolongamento de pelo menos 300 mm ou 100 mm, conforme, respectivamente, as acessibilidades tipo A ou B, da IEC, deste que a posição de alguma parede usada na simulação da sala não impeça.



**Figura 3 - Posicionamento dos indicadores de queima, segundo a IEC 62271-200.**

A Figura 4, gerada a partir da “AA.4” da IEC 62271-200, apresenta, conforme as diretrizes apresentadas anteriormente, o arranjo (simulação da sala – piso, parede e teto, além do posicionamento dos indicadores de queima horizontais e verticais) para verificação de acessibilidade tipo A com possibilidade de acesso traseiro.

O documento do IEEE informa que os ensaios sejam feitos somente nos compartimentos com os pontos mais prováveis para ocorrência de um arco interno. Fato este que gera, às vezes, um pouco de dúvida quando se deve ou não realizar o ensaio em um determinado compartimento. A fim de evitar dúvidas e, também, deixar o usuário final mais tranquilo, é comum que fabricantes da escola ANSI sigam a mesma linha de abordagem da IEC para CMC de MT, ou seja, devendo ser realizados ensaios em todos os compartimentos de “alta tensão” (denominados, também, de compartimentos de potência).



**Figura 4 - Arranjo simulado da sala de montagem de um CMC de MT para a realização dos ensaios de verificação de desempenho frente aos efeitos de um arco interno para acessibilidade A, segundo a IEC 62271-200.**

Seguindo a diretriz da IEC, para uma seção típica de um conjunto de manobra e controle de MT em invólucro metálico, os três compartimentos básicos a serem ensaiados para um arco interno com, por exemplo, 40 kA eficazes e duração de 500 ms seriam:

- Compartimento do barramento principal;
- Compartimento de saída (conexões);
- Compartimento de disjuntor.

Em cada posição, conforme mostrado nas Figuras 5 e 6, o arco será iniciado por um fio metálico conectado entre todas as fases. Tanto a IEC 62271-200 quanto a IEEE C37.20.7 (no que se refere aos tipos cobertos pelas normas “ANSI C37.20.2” e “ANSI C37.20.3”) definem um diâmetro de 0,5 mm para este fio (a ANSI fala também na opção de uso da bitola 24 AWG – 0,5105 mm). O fio para início do arco deve ser colocado dentro do compartimento a ser ensaiado em um ponto acessível e o mais distante possível da fonte de alimentação.

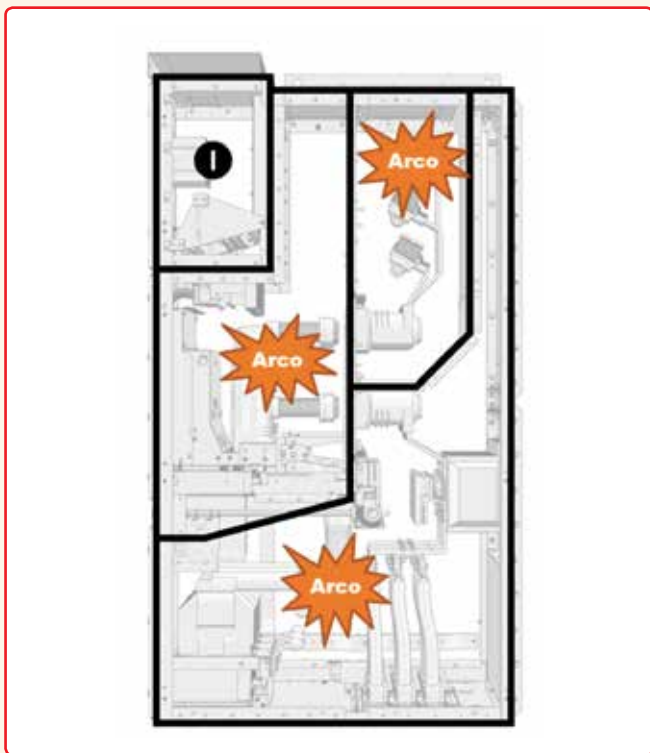
O documento do IEEE estabelece que, nas estruturas com condutores cobertos por material isolante sólido (epóxi, por

exemplo), o arco deve ser iniciado com a aplicação de um valor igual a 87% da corrente nominal do ensaio e entre duas fases adjacentes, atentando para o fato de que isolamento sólido só pode ser perfurado quando não houver nenhuma região de descontinuidade da isolação ou ponto de conexão coberta com sistema pré-fabricado. Exceção para estruturas com condutores de fase separados, o ensaio deve ser feito com uma fonte trifásica.

Na norma IEC, é permitida a perfuração da isolação sólida, caso não se tenham pontos sem cobertura no compartimento sob ensaio ou conexões com isolação a ser aplicada no local final da instalação (tipo “cobertura pré-fabricada”). Também fala no valor de 87% da corrente trifásica para os casos em que, no compartimento a ser ensaiado, só existam condutores com isolação sólida aplicada em fábrica.

Em termos práticos, a maioria dos projetos de MT sempre apresenta algum ponto de descontinuidade da isolação sólida ou pontos de conexões cobertos por isolação pré-fabricada. Assim, nestes casos, é comum se ter ensaios trifásicos, com a corrente IA (valor eficaz para a corrente de arco em uma falha interna trifásica).





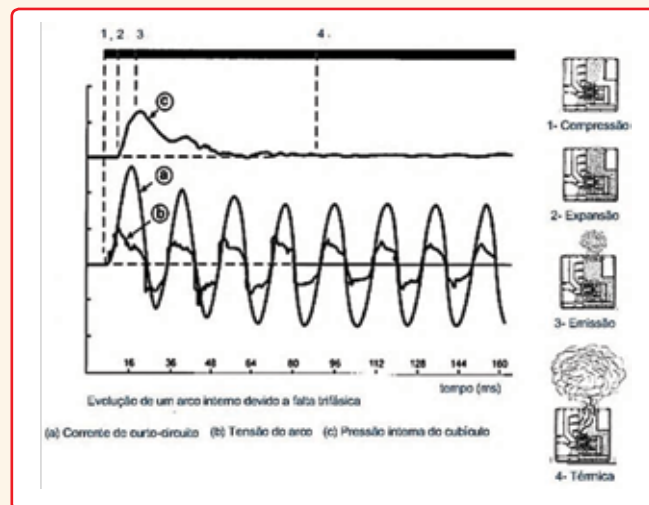
**Figura 5 – Compartimento típico (todos os de potência) a ser ensaiado.**

A IEC permite a declaração de um valor para situações de falhas monofásicas (IAe). Porém, só se adota este valor nos casos em que realmente não existe a possibilidade de um curto-circuito monofásico evoluir para uma falha trifásica (estruturas que empreguem arranjos com fases segregadas). Caberá ao fabricante informar quais os compartimentos em que se aplicaria ensaios monofásicos (sendo que o ensaio irá verificar se realmente este tipo de falha em tais estruturas não irá evoluir para uma condição trifásica – caso em que o ensaio deve ser refeito; porém, em condições trifásicas).



**Figura 6 - Colocação do fio metálico, entre fases, usado para o início do arco.**

Cabe ressaltar que, por questões econômicas e, principalmente, de segurança ambiental e humana, os compartimentos isolados em SF6 devem ter o seu fluido isolante substituído por ar, aplicado na mesma pressão de uso do gás original (os resultados obtidos nesta condição são considerados representativos). O manuseio do gás SF6 deverá seguir as recomendações da norma IEC 62271-4.



**Figura 7- Fases relativas a um arco interno.**

Durante o evento de um arco interno, ele pode ser dividido, para efeitos de análise, basicamente, em quatro fases: de compressão, de expansão, de emissão e térmica. Como mostrado na Figura 7, elas ocorrem em rápida sequência, sendo que cada uma delas pode ser descrita, didaticamente, da seguinte forma:

#### 1 – Fase de compressão:

- a - No instante do início do arco, a pressão se mantém constante.
- b - O calor gerado pelo arco começa a aquecer o ar.
- c - Os eletrodos começam a evaporar.
- d - Com os dispositivos de alívio de pressão ainda fechados, é atingida a máxima pressão interna.
- e - O tempo desta fase é menor do que  $\frac{1}{2}$  ciclo.

#### 2 – Fase de expansão:

- a - O pico de pressão é alcançado e os dispositivos de alívio de pressão (ver figura 8) se abrem.
- b - A pressão interna do compartimento sob falha é reduzida, enquanto o ar aquecido e o cobre vaporizado são descarregados.

#### 3 – Fase de emissão:

- a - O ar no compartimento sob falha continua a ser

aquecido pelo arco e se desloca devido a uma pequena diferença de pressão.

b - Quase todo o ar é eliminado do compartimento, sendo que a área externa ao painel recebe este volume.

c - A temperatura do ar neste instante é maior que 900 °C.

d - A temperatura do arco está entre 15000 °C e 20000 °C.

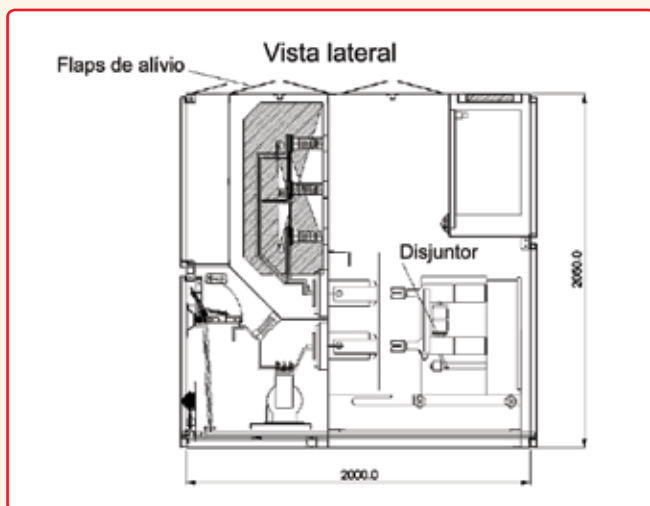
e - Nestas condições ocorre sublimação do cobre. Assim para cada 1 centímetro cúbico de cobre, são gerados 67000 centímetros cúbicos de gás.

#### 4 – Fase térmica:

a - Tempo transcorrido desde a fase de emissão até o fim do arco.

b - A energia do arco atua nos materiais remanescentes no interior do compartimento.

c - Ocorre derretimento de barramentos, cabos de saída, componentes (TCs, para-raios, etc.), peças de conexões e de contatos, materiais isolantes, divisórias e barreiras.

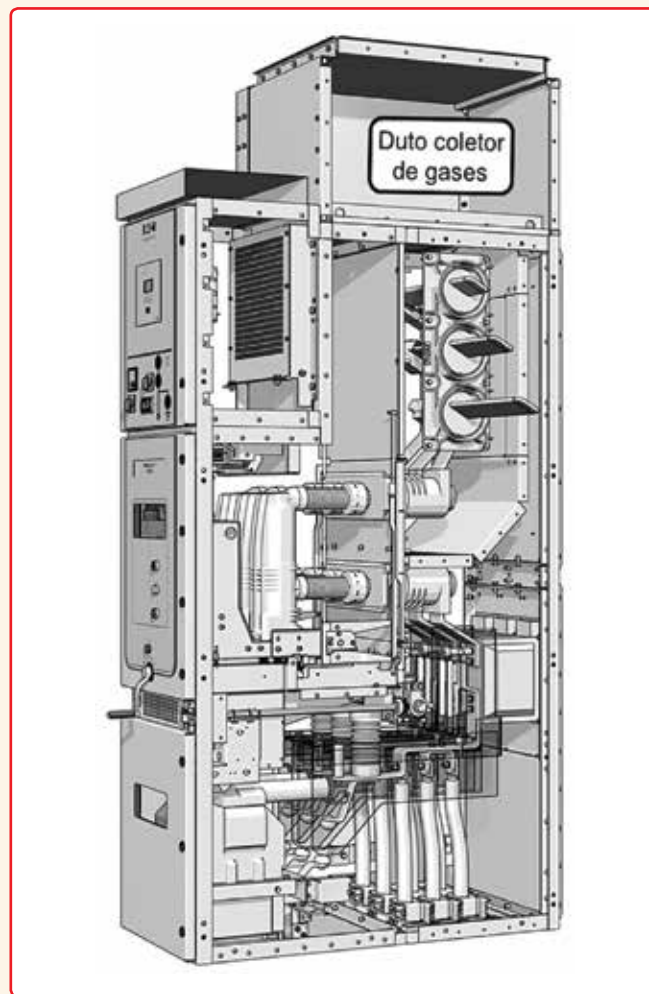


**Figura 8 – Visualização de exemplo de dispositivos de alívio de sobrepressão (“flaps”).**

Como já mencionado na fase de expansão, a Figura 8 permite visualizar os dispositivos de alívio de sobrepressão (“flaps”). Os valores máximos associados aos picos de pressão interna aos compartimentos de um CMC vão além da capacidade de suportabilidade mecânica de qualquer estrutura. Assim, a forma de lidar com esta condição é permitir que a pressão excessiva que surge com a ocorrência de um arco possa ser descarregada por estes dispositivos, permitindo que toda a estrutura mantenha a sua integridade.

O documento da IEC e o do IEEE consideram, para a MT, a necessidade de validar os casos em que o CMC emprega um coletor de expansão e duto de exaustão dos gases

oriundos dos efeitos de um arco interno, como mostrado na Figura 9. Sendo que, nestes casos, a altura do teto do local da instalação do painel não é relevante, a menos com a condição de se ter, pelo menos, uma distância mínima de 100 mm entre a parte superior do duto e o teto, para se poder documentar eventuais deformações permanentes do arranjo.



**Figura 9 - Exemplo de montagem de duto coletor / exaustor de gases.**

Os possíveis efeitos provocados pelos gases quentes descarregados na área, além do final do duto de exaustão, que se encontram fora da região coberta pelos indicadores de queima, não são avaliados em nenhum dos dois documentos mencionados no parágrafo anterior. Assim, se recomenda seguir as instruções do fabricante do CMC para a montagem destes dutos.

No caso de conjuntos com classificação IAC, devem ser seguidas as recomendações de instalação do fabricante do equipamento a fim de se alcançar o nível de segurança necessário. Porém, deve-se sempre se levar em conta as condições reais do local de instalação, efetuando-se uma avaliação dos possíveis perigos.

A seção “B.2” do documento do IEEE apresenta considerações sobre o uso de conjuntos de manobra e controle resistentes aos efeitos de um arco interno. Ela apresenta várias orientações e recomendações úteis para avaliação, aplicação e instalação de um painel em condições que existam riscos de um arco interno.

## Referências

- IEC 62271-200: *High-voltage switchgear and controlgear – Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV; Edition 2.0. International Electrotechnical Commission, 2011.*
- IEC 61439-1: *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: General rules; Edition 2.0. International Electrotechnical Commission, 2011.*
- IEC 61439-2: *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 2: Power switchgear and controlgear assemblies; Edition 2.0. International Electrotechnical Commission, 2011.*
- IEEE Std C37.20.7: *IEEE Guide for Testing Metal-Enclosed*

*Switchgear Rated Up to 38 kV for Internal Arcing Faults. Institute of Electrical and Electronic Engineers; 2007.*

- IEC TR 61641: *Enclosed low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Guide for testing under conditions of arcing due to internal fault; Edition 3.0. International Electrotechnical Commission, 2014.*
- IEC 62271-4: *High-voltage switchgear and controlgear – Part 4: Handling procedures for sulphur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) and its mixtures; Edition 1.0. International Electrotechnical Commission, 2013.*
- IEC 60529: *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code); Edition 2.2. International Electrotechnical Commission, 2013.*

---

\*LUIZ FELIPE COSTA é especialista sênior da Eaton. É formado em engenharia elétrica pela Escola de Engenharia da UFRJ e pós-graduado em Proteção de Sistemas Elétricos pela Universidade Federal de Itajubá.

### Continua na próxima edição

Confira todos os artigos deste fascículo em [www.osetoreletrico.com.br](http://www.osetoreletrico.com.br)  
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail [redacao@atitudeeditorial.com.br](mailto:redacao@atitudeeditorial.com.br)