

Disjuntores de Alta Tensão com Extinção de Arco Elétrico a SF6 e a Vácuo

Luiz Henrique Carneiro Conceição¹
Mateus Eca Souza²

RESUMO

Um dos principais dispositivos de proteção do sistema elétrico, com objetivo de eliminar ou minimizar danos provocados durante uma falta e promover continuidade de fornecimento de energia elétrica ao consumidor, os disjuntores de alta tensão com tecnologia a gás SF6 e a vácuo, sendo estes largamente utilizados, apresentam aspectos bem diferentes no que diz respeito à extinção do arco elétrico, qual seria a benevolência de cada um deles? Neste contexto, o presente trabalho analisará as características e aplicabilidade deles no sistema elétrico de potência conduzindo o leitor a um aprofundamento do tema. Para viabilizar a elaboração e atingir o objetivo proposto por este artigo foi feita uma revisão bibliográfica em livros, artigos e revistas adotando uma abordagem qualitativo-descritiva. Ficando evidente através dos fundamentos teóricos que a utilização dos disjuntores a SF6 se destaca na maioria dos cenários, mas dentro de certa faixa de tensão a melhor escolha seria tecnologia a vácuo.

Palavras-chave: Interrupção. Rigidez Dielétrica. Proteção. Aplicabilidade. Arco Elétrico.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem a intenção de reunir informações relevantes do ponto de vista de vários autores que são referências e sintetizar de forma objetiva. Há muita ciência envolvida na construção e no funcionamento do disjuntor de alta tensão, dispositivo eletromecânico importante na proteção do sistema elétrico de potência responsável pela interrupção da corrente no momento curto circuito isolando o defeito e mantendo todo sistema operacional, por onde são realizadas manobras dentro das subestações para garantir o fornecimento de energia elétrica aos consumidores, estabelecendo e suportando a conexão entre as redes de energia elétrica na sua tensão nominal que pode chegar a 750 KV.

No decorrer da leitura será abordado o momento histórico, a maneira de como é feita a interrupção da corrente elétrica alternada, desenvolvimento e evolução das tecnologias. Explicar-se-á o conceito de arco elétrico, matéria produzida na

¹Acadêmico (a) do curso de Engenharia Elétrica da Faculdade Anhanguera.

²Orientador (a). Docente do curso de Engenharia Elétrica da Faculdade Anhanguera.

operação dos disjuntores, e técnicas para fazer a extinção dele, neste tema os métodos a gás SF6 e a vácuo terão mais ênfase.

Tema importante no cenário que se encontra, tendo em vista o crescimento da demanda por energia elétrica para a produção fabril onde gera emprego, renda e insumos básicos para o setor de serviços, movimentando toda a sociedade.

Justificando a escolha do tema, projeção feita pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE, em estudo sobre demanda de eletricidade para o PDE 2031, O consumo total de eletricidade no Brasil deve ter crescimento médio de 3,4% anuais entre 2021 e 2031. Diante deste cenário, torna-se imprescindível a utilização de equipamentos cada vez mais confiáveis, com intuito de eliminar ou diminuir as falhas e os danos provocados durante a falta, garantindo o bom funcionamento dos equipamentos e circuitos elétricos associados, trazendo benefícios ao sistema elétrico de potência - SEP e promover resultados positivos no que diz respeito à economia e redução de custos.

Estes equipamentos devem estar sempre disponíveis para possibilitar a operação em qualquer situação, extinguindo grandes valores de corrente seja em condições normais ou anormais de operação, nas diversas tecnologias de extinção de arco elétrico garantindo a segurança da comunidade, dos operadores e da instalação elétrica promovendo confiabilidade ao sistema. Assim como mostrar vantagens e desvantagens construtivas e econômicas das tecnologias empregadas.

Utilizados nas subestações de energia elétrica os disjuntores têm como finalidade manobrar, proteger, conduzir e interromper correntes elétricas em um circuito elétrico em condições normais ou em falta (curto-circuito). Da operacionalidade deste equipamento origina-se arco elétrico que dissipa muita energia térmica em seu interior, para evitar danos ao equipamento e ao sistema elétrico de potência são utilizadas diversas tecnologias para extinção desse arco elétrico, dentre elas pode ocorrer por: óleo, ar comprimido, sopro magnético, gás SF6 (Hexafluoreto de Enxofre) e vácuo.

A motivação para elaboração deste trabalho se deu pelo fato dos disjuntores de alta tensão a gás SF6 e a vácuo apresentarem aspectos bem peculiares no que diz respeito à extinção do arco elétrico em relação às demais modalidades, o desejo de aprender sobre o funcionamento, sobre a forma como são construídos e pela importância que estes têm no sistema elétrico de potência e ambos serem

amplamente utilizados, o que favorece o aprofundamento do tema, a partir daí, procurou-se investigar a aplicabilidade, benevolência de cada um deles.

Com isso o problema desta pesquisa se centraliza na pergunta seguinte: Em que momento deve-se optar por disjuntor com tecnologia a gás SF6 ou a vácuo?

O objetivo principal deste trabalho é abordar o funcionamento, as características e a aplicabilidade dos disjuntores de alta tensão com extinção de arco elétrico por SF6 e a vácuo no sistema elétrico de potência. Conseqüentemente serão apresentadas as vantagens e desvantagens de cada tecnologia empregada, principais defeitos, diagnósticos e tipos de manutenção.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O presente trabalho busca elucidar o funcionamento do disjuntor de alta tensão, demonstrar as principais características técnicas e benefícios na proteção do Sistema Elétricos de Potência, assim sendo, para se atingir o objetivo proposto, foi realizada uma pesquisa bibliográfica viabilizando a elaboração dos capítulos desse estudo, adotando uma abordagem qualitativo-descritiva.

A pesquisa qualitativa torna-se imprescindível para a confecção desse trabalho, pois se trata de uma concepção em seu acontecer natural, atrelando-se aos fatos e situações que englobam a temática. A escolha dessa metodologia se deu por entender que a mesma se relaciona com o levantamento de dados sobre as abrangências dos disjuntores e sua forma de extinção do arco elétrico, sua aplicabilidade e manutenção no sistema elétrico de potência.

Com a finalidade de agregar valor ao trabalho foram desenvolvidas pesquisas em livros, artigos, revistas e materiais subseqüentes, utilizando buscadores como Google acadêmico, Scielo, entre outros, utilizando-se palavra-chave como: Disjuntores; SF6; Vácuo; Arco Elétrico; Manutenção. Os dados serão obtidos em obras que tenham sido publicadas nos últimos 30 anos.

2.2 Resultados e Discussão

Elementos básicos na proteção do sistema elétrico, juntamente com os reles, transformadores de corrente e de potencial. Esporadicamente, os disjuntores são solicitados a interromper correntes de curto circuito onde são envolvidos esforços térmicos e eletromagnéticos elevados (CARRIÃO, 2019).

De acordo com Cavalcanti (1995), o desenvolvimento dos disjuntores ocorreu devido à complexidade dos sistemas de interrupção, por esse motivo, existe uma grande variedade desses equipamentos que foram sendo aprimorados ao longo dos anos. Os primeiros registros são datados de 1886 com o primeiro disjuntor a óleo de 15KV, no decorrer dos anos as tecnologias foram sendo expandidas, proporcionando em 1909 o surgimento do disjuntor a óleo do tipo PVO (pequeno volume de óleo). Com a crescente mundial da evolução tecnológica, em 1920 já se tem registro dos primeiros estudos sobre meios de extinção de arco elétrico por outros meios, como por exemplo, a vácuo, ar comprimido e outros. Por consequência, há inúmeros registros de novas patentes da evolução dos equipamentos de baixa, média e alta tensão. Um fator crucial que gerou uma revolução no cenário do SEP foi em 1960, com o desenvolvimento de disjuntores SF6, que estão presentes nos mais diversos projetos elétricos.

No momento são evidentes as seguintes tendências entre os fabricantes de disjuntores, com relação às técnicas de interrupção mencionadas: o declínio previsível da aplicação de duas tecnologias em alta tensão empregadas com sucesso durante muito tempo: a interrupção a ar comprimido e a óleo. E o desenvolvimento significativo dos interruptores a hexafluoreto de enxofre (SF6) e a vácuo, este, entretanto não se pode prever o alcance dessa tecnologia (CAVALCANTI, 1995).

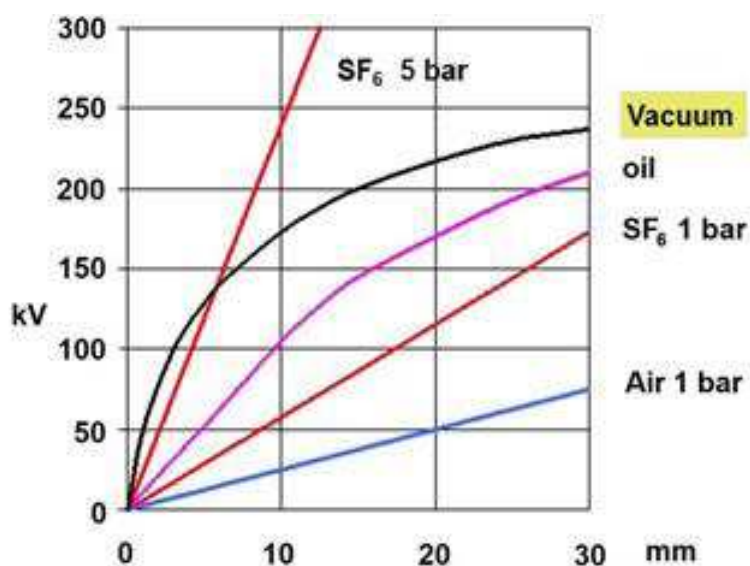
Segundo Heyde (2013) a interrupção da corrente alternada no circuito elétrico depende de se interromper com sucesso o arco elétrico. Para isso procura-se fazê-lo próximo à passagem do zero de corrente, quando as energias são menores. Em seguida deseja-se aumentar rapidamente o dielétrico do meio para evitar o reacendimento do arco. A energia de corte será menor quanto mais rápida for o aumento da rigidez dielétrica interruptor, ou seja, quanto mais rapidamente o interruptor passar de condutor para isolante. Os disjuntores trifásicos realizam a abertura simultânea dos três contatos fazendo com que cada fase abra em pontos diferentes da curva de corrente. Como não é possível construir um disjuntor ideal, a formação do arco elétrico é inevitável.

Na classificação do método de extinção, Mamede (2022), destaca a necessidade de uma avaliação do alongamento do arco elétrico, formado durante a separação dos contatos fixos de móveis, bem como a adoção de um artifício eficaz, que seja mais adequado para extinção, proporcionando resfriamento e a substituição do meio ionizante por um meio isolante, esses artifícios podem ser ar, óleo, vácuo ou gás SF₆.

Mas após a extinção é preciso garantir que o arco não volte a acender. Isso pode ocorrer porque a tensão entre os contatos não é a tensão nominal do sistema. Quando tem dois subsistemas interligados por um disjuntor, no momento da interrupção ocorre um desbalanceamento de tensões de um lado e outro do seu contato. Esta diferença de tensão, variável com o tempo, é definida como Tensão de Restabelecimento Transitória (TRT) e este súbito aumento possibilita o reacendimento do arco (HEYDER, 2013).

Segundo Cavalcanti (1995) o SF₆ é um gás incolor, inodoro e não combustível. Em condições normais é quimicamente extremamente estável e inerte. No seu estado puro, é não tóxico e não corrosivo. A rigidez dielétrica do SF₆ é cerca de 2,5 vezes a do ar a 1 bar de pressão e em campo elétrico homogêneo. Essa relação aumenta com o aumento da pressão, demonstrado no Gráfico 1.

Gráfico 1– Rigidez dielétrica dos principais meios de extinção.



Fonte: Cigre (2014).

Extinção no gás SF₆ utiliza o gás hexafluoreto de enxofre como elemento extintor do arco elétrico, cuja rigidez dielétrica é 8,5 a 9,8kV/mm de acordo com Rumble (2021).

A grande capacidade de transferência de calor e a baixa temperatura de ionização dão ao SF₆ excelentes propriedades para extinção de arco elétricos, comparado com o ar possui uma eficiência para suprimir o arco elétrico cerca de 10 vezes maior. O tempo em que um arco é extinto no SF₆ é 100 vezes menor que no ar, sob condições similares. (CAVALCANTI, 1995, p. 37).

Devido a sua propriedade eletronegativa que captura os elétrons livres existentes em um ambiente ionizado, extingue rapidamente a condutividade formada pelo arco no processo de interrupção da corrente elétrica, restabelecendo com presteza sua rigidez dielétrica no cessar do acontecimento (MAMEDE, 2013).

Porem ocupa um lugar de destaque entre os gases mais poluidores e causadores do efeito estufa. Um quilo de SF₆ lançado na atmosfera é equivalente a 23.900 quilos de CO₂ (HEYDER, 2013).

Em temperaturas superiores a 1500 °K, como as geradas por arco, o SF₆ se dissocia rapidamente formando fluoretos de enxofre e Flúor livre. Podendo formar produtos corrosivos se a umidade do gás estiver acima do determinado, como o SF₄, SOF₂ e o HF + H₂O (Acido Fluorídrico) (CAVALCANTI, 1995).

Baixos níveis de pressão do SF₆ podem significar ineficiência no processo de extinção do arco elétrico, podendo causar danos ao disjuntor. Portanto, é fundamental que o disjuntor esteja com a pressão nominal de trabalho, e para garantir tal condição existem dispositivos (densímetros) que indicam baixa pressão do gás e um circuito de intertravamento para fazer bloqueio do mecanismo (MAMEDE, 2013).

Graças à excelente capacidade de isolamento e extinção de arco do SF₆, de acordo com Mamede (2022), foram desenvolvidas diversas técnicas para interrupção da corrente elétrica em disjuntores. Sendo estas: dupla pressão, auto compressão e arco girante.

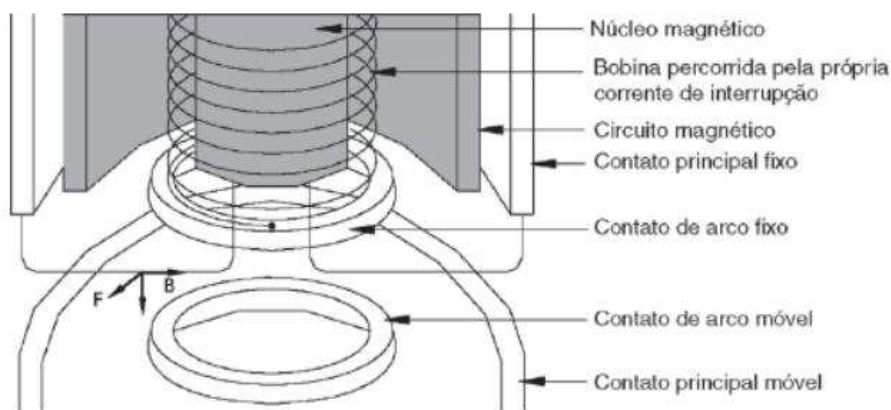
Oriundos da primeira geração de disjuntores a SF₆, os disjuntores de dupla pressão são caracterizados por sua alta potência de ruptura e curto tempo de

interrupção. Por possuir muitas partes móveis, se tornam muito complexo o que dificulta sua utilização no SEP (MAMEDE, 2022).

O disjuntor de dupla pressão opera em duas pressões diferentes em seu interior, sendo um sistema de alta pressão de SF6 (20 bar) e um de baixa pressão (2,5 bar). Possuem um compressor de gás com a finalidade de manter e recompor o volume de gás SF6 no sistema de alta pressão, armazenando em um sistema interno do disjuntor (MAMEDE, 2022).

Já no modelo arco girante, ao ser operado, seus contatos fixos e móveis se separam, formando entre eles um arco que produz um campo magnético agindo sobre o si, fazendo-o movimentar-se num percurso anelar no interior da câmara de SF6 como demonstrado na Figura 4. Nesse momento, a corrente a ser interrompida passa a ser conduzida por uma bobina ligada em série com o contato de arco fixo e que é envolvida pelo contato principal fixo do disjuntor, proporcionando uma elevada velocidade no deslocamento do arco, resfriando-o de maneira eficiente (MAMEDE, 2013).

Figura 4 – Meio de extinção a arco girante



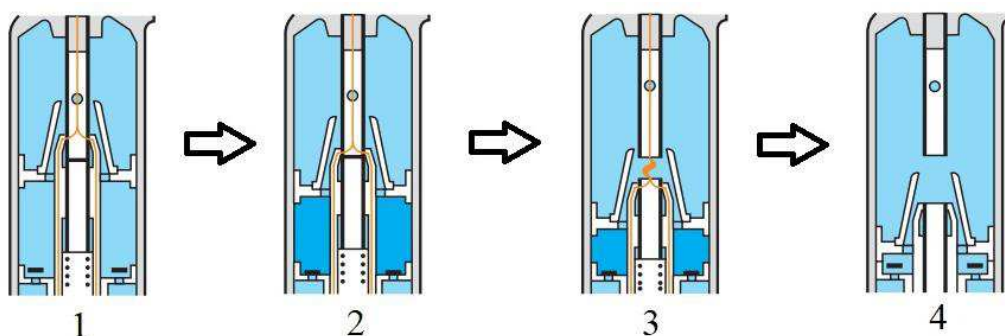
Fonte: Mamede (2013).

Destaca-se na Figura 4 a intensidade da força F tangencial, que provoca a aceleração e o deslocamento do arco em função da corrente elétrica a ser interrompida e do campo magnético B . Todo esse conjunto é montado dentro de invólucros metálicos, eletronicamente unidos, formando um conjunto compacto, preenchido com gás SF6 sob a pressão constante de aproximadamente 3 bar, que por sua vez é supervisionado para controlar quaisquer vazamentos do gás armazenado (MAMEDE, 2013).

Vale ressaltar que quanto maior for a corrente a ser interrompida, maior será a velocidade de movimentação do arco e, conseqüentemente, maior será o seu resfriamento, reduzindo o desgaste dos contatos, já que os pontos quentes provocam vapores metálicos. A movimentação no sentido rotativo dura cerca de meio ciclo (MAMEDE, 2013).

Os disjuntores de auto compressão também denominada de impulso ou pressão única, são aqueles que utilizam um único vaso de pressão. Onde, o gás fica submetido à uma pressão de 3,5 a 7 bar, o que torna possível a sua utilização em temperaturas de até -20°C, além disso, a pressão necessária para a extinção do arco elétrico, é produzida durante a abertura do próprio disjuntor que pode ser observado na Figura 5 (CAVALCANTI, 1995).

Figura 5 – Ciclo de abertura câmara a extinção a SF6.



Fonte: Schneider (2007).

Etapas do processo de extinção de arco elétrico:

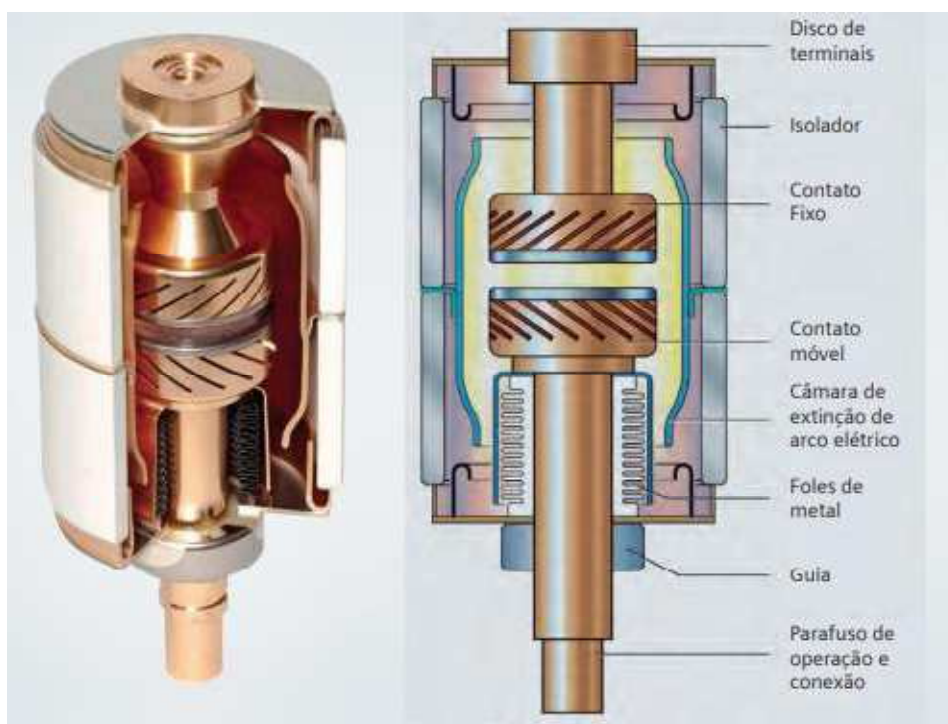
1. Inicialmente os contatos principais e os contatos de arco estão fechados;
2. Em seguida há a pré-compressão. Quando os contatos começam a se abrir, o pistão comprime ligeiramente o gás SF6 dentro da câmara;
3. O pistão continua seu deslocamento para baixo, onde uma pequena quantidade de gás é canalizado pelo tubo isolante e injetado diretamente na câmara de extinção, possibilitando a interrupção do arco elétrico por convecção forçada.
4. Ao fim desse processo as partes móveis terminam seu movimento e a injeção de gás frio continua até que haja abertura completa dos contatos, esse período é chamado de sobrecurso de varredura.

Devido sua eficiência, este é o modelo mais comumente utilizado, quando comparado aos outros modelos de SF6 (Schneider, 2007).

São considerados disjuntores a vácuo, quando a extinção do arco elétrico é feito no interior de uma ampola com elevado nível de vácuo, conforme Figura 6 (MAMEDE, 2022).

Segundo Mamede (2022) a condição de vácuo se dá através de uma elevada condição de pressão negativa na escala de 10^{-8} mmHg na parte interna de uma ampola onde há os contatos internos de condução e seccionamento do disjuntor.

Figura 6 – Ampola de Vácuo.



Fonte: Siemens (2015).

O vácuo expressa uma alta rigidez dielétrica, contudo existe uma limitação para a tensão que pode ser aplicada em seus contatos, uma vez que ao ampliar a distância entre eles, há pouca variação dessa rigidez. De uma maneira geral, tanto os interruptores a Vácuo como os SF6 se equivalem eletricamente na faixa de 7,2 a 36KV (HEYDE, 2013).

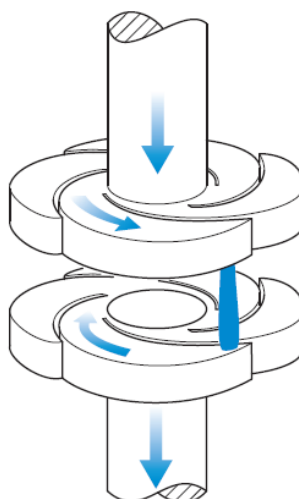
Segundo Cavalcanti (1995) nos interruptores a vácuo a ionização do dielétrico é feita pelo vapor metálico desprendido dos contatos. E a eficácia da interrupção é determinada pela rápida condensação do vapor metálico, nas superfícies dos contatos e paredes de proteção.

O arco pode se originar no catodo por efeito Joule devido à alta concentração de corrente em pontos microscópicos dos contatos, o que ocorre no início da sua

separação, criando-se um vapor metálico gerado pela destruição das moléculas do contato de cobre da ampola. Também pode se originar no anodo que é fortemente bombardeado por elétrons, que se traduz pela emissão de raios X. Este afluxo localizado de energia provoca a disrupção dos gases absorvidos na sua superfície e pela vaporização do metal do anodo (HEYDE, 2013).

Na criação do arco pode ocorrer de varias partículas serem projetadas para as paredes da ampola. Com a criação gradativa de mais partículas que se aderem às superfícies internas das ampolas, a sua capacidade de isolamento elétrico vai se deteriorando com o tempo, à medida que mais operações forem sendo realizadas. Este fenômeno pode representar um problema, pois pode vir a falhar face a um impulso na rede (HEYDE, 2013).

Figura 7 – Contato em espiral

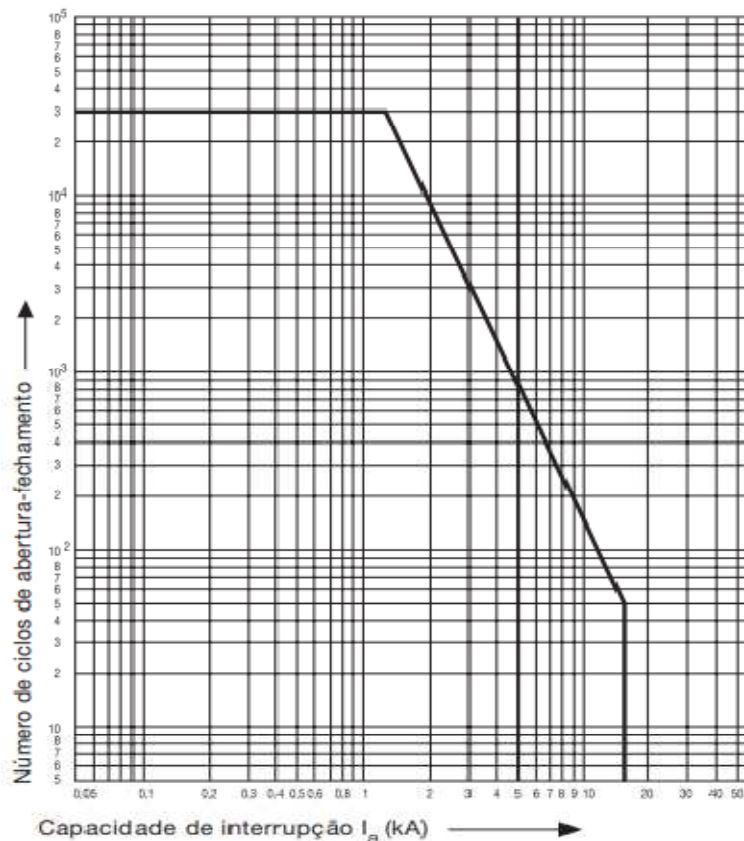


Fonte: Abb (2012)

A especial geometria dos contatos em espiral cria um campo magnético radial em cada zona da coluna do arco concentrada nas circunferências dos contatos, que proporciona a geração automática de uma força eletromagnética que atua tangencialmente, conforme Figura 7, provocando a rotação rápida do arco ao redor do eixo dos contatos, o obrigando a rodar e atingir uma superfície mais ampla. Evitando aquecimentos, bem como, erosão dos contatos e, sobretudo, permite controlar o processo de interrupção mesmo com correntes de curto-circuito muito elevadas (MAMEDE, 2022).

A manutenção desses tipos de equipamentos deve se dá em função do número de operações, do nível de corrente interrompido e pelo tempo em operação. Para tanto, os fabricantes disponibilizam curvas, Gráfico 2, para que se obtenha o tempo correto para intervenção (DIAS, 2022).

Gráfico 2 – N° de Operações X Corrente de Interrupção.



Fonte: Abb (2014).

Segundo Dias (2022) ao se comissionar esse tipo de equipamento e após suas manutenções preventivas, devem ser realizados os seguintes ensaios elétricos mínimos:

- Medição da resistência ôhmica dos contatos;
- Medição da resistência de isolamento das hastes de acionamento, câmaras, isoladores e fiação de baixa tensão;
- Oscilografias, para obtenção dos tempos e simultaneidades de operação;
- Verificação da pressão e da qualidade do gás das câmaras, no caso de equipamentos a SF₆.
- Medição da resistência elétrica das bobinas de fechamento e abertura;

- Inspeções finais do equipamento, à procura de anomalias visíveis, como danos de pintura que ensejem oxidação precoce e vazamentos.

Aconselha-se, no entanto, que equipamentos que opere pouco sejam visitados no mínimo anualmente para nova realização dos ensaios supracitados (DIAS, 2022).

De acordo com Carrião (2019) para se medir a resistência dos contatos do disjuntor em ohms tradicionalmente se utiliza um Microhmmetro (Ducter) com escala adequada. Para se avaliar os resultados deve ser feito o calculo do valor da queda de tensão, já que os valores são medidos em ohms, e serem comparados com a Tabela 01.

Tabela 01 – Valores Maximo de queda de tensão nos contatos

CORRENTE NOMINAL	QUEDA DE TENSÃO (mV)
800 A	18
1250 A	28
1600 A	36
2000 A	45
2500 A	56

Fonte: Osetor Elétrico (2019).

Outro critério importante a ser considerado é o valor de resistência informado pelo próprio fabricante do equipamento (CARRIÃO, 2019).

A medida dos tempos de abertura e fechamento dos contatos principais é importante, quando comparados aos tempos originais de fabrica, pois fornece uma visão do estado das molas, juntas, ajustes do núcleo das bobinas, válvulas, lubrificação etc. O tempo de abertura é medido a partir do inicio da operação de abertura e o instante da separação dos contatos. O tempo de fechamento e medido a partir do inicio da operação de fechamento e o instante em que os contatos se tocam em todos os pólos. A simultaneidade de abertura e fechamento dos contatos é indicada pela discordância nos pólos, ou seja, a diferença de tempo entre o pólo mais rápido e o mais lento tanto na abertura quanto no fechamento. Para se avaliar os resultados, os tempos devem ser comparados com os dados pelo fabricante do disjuntor. De forma geral, não é recomendado que a discordância entre os pólos seja maior do que 10% do tempo total (CARRIÃO, 2019).

A medição da resistência ôhmica do isolamento dos disjuntores é realizada através do uso de um Megôhmetro e também tem como finalidade avaliar o estado do isolamento do equipamento. A desconexão dos cabos do disjuntor e a limpeza externa do mesmo também devem ser realizadas antes da realização deste teste. A tensão de ensaio pode ser verificada na Tabela 02 (CARRIÃO, 2019).

Tabela 02 – Tensão de Ensaio para Disjuntores

Tensão do Disjuntor	Tensão de Teste (Vcc)
Até 220 V	500
220 a 4160 V	1000
4.16 a 69 kV	2500
Acima de 69 kV	5000

Fonte: Osetor Elétrico (2019).

As partes medidas representam:

Rcs = Resistência da Câmara Superior

Rci = Resistência da Câmara Inferior

Rh = Resistência da Haste de Acionamento

Segundo Carrião (2019) para se avaliar os resultados deve ser feita a correção dos valores obtidos para a temperatura de referencia de 75°C pela fórmula:

$$R_{75}=R_{med} / 2^a \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

R_{75} = resistência ôhmica de isolamento corrigida para 75°C

R_{med} = resistência ôhmica de isolamento medida no ensaio

$a = 75 - t/10$

t = temperatura ambiente no momento do ensaio

Os resultados devem ser comparados com histórico do equipamento. De forma geral, valores acima de 2000MΩ podem ser considerados aceitáveis. (CARRIÃO, 2019).

No plano de manutenção do disjuntor também podem constar outros testes e verificações, como ensaio de tensão aplicada (Hipot) e teste específico para as câmaras a vácuo (CARRIÃO, 2019).

3 CONCLUSÃO

Devido ao SF6 apresentar elevada rigidez dielétrica os disjuntores com esta tecnologia podem ser aplicados em projetos compactos ou em lugares com limitação de espaço, podendo ser construído em modelo híbrido que é constituído pelo próprio disjuntor, chave seccionador e transformador de corrente tudo em um mesmo invólucro. O que não ocorre nos disjuntores a vácuo, o mesmo necessita de dimensões maiores para assegurar a sua funcionalidade.

Se tratando de instalações áreas expostas ao tempo, ambos os disjuntores possuem construtivamente características semelhantes se equivalendo eletricamente na faixa de 7,2 a 36KV. Como discutido anteriormente, existe uma limitação para a tensão que pode ser aplicada nos terminais dos disjuntores com tecnologia a vácuo, uma vez que ao ampliar a distancia entre os contatos dentro da ampola há pouca variação da rigidez dielétrica, entretanto esses equipamentos têm o custo beneficio melhor quando comparado ao de tecnologia SF6 dentro da faixa de tensão mencionado.

Se houver vazamento de gás SF6 em um ambiente fechado, apesar de não ser tóxico, pode causar asfixia por ele ser mais pesado que o ar. Outra desvantagem é que o SF6 é nocivo ao meio ambiente, causador do efeito estufa o que seria um contratempo para empresas com selos verdes.

Os dois modelos de equipamentos possuem planos de manutenção parecidos diferenciando apenas o ensaio do gás e o teste da ampola de vácuo, quanto a periodicidade pode variar de acordo com o número de operações, intensidade dos níveis de corrente interrompida e plano de manutenção aplicada pela empresa.

Ambos os modelos possuem ótimo desempenho, porem o modelo de extinção por SF6 se sobrepõem ao vácuo por apresentar maior rigidez dielétrica, o que lhe permite ser submetido a elevados níveis de tensão e corrente de interrupção.

REFERÊNCIAS

ABB. **Manual de instruções: VD4 Disjuntor a vácuo – 36/40,5 kV**. Dalmine. 2014. Disponível em: <https://bitly.com/bWLWwL> Acesso em: 24 out. 2022.

ABB. **VD4 Disjuntores de média tensão a vácuo**. Dalmine. 2012. Disponível em: <https://bitly.com/KINUuA> Acesso em: 24 out. 2022.

CARRIÃO, Fábio Henrique Dér. Equipamentos para ensaios em campo. **O setor elétrico**, n. 157, n. 2, p. 20-23, fev. 2019. Disponível em: <https://www.osestoreletrico.com.br/>Acesso em: 15 out. 2022.

CAVALCANTI, A. C. **Disjuntores e chaves: aplicação em sistemas de potência**. Ed. 1. Niterói: Editora da UFF, 1995.

CIGRE WG A3.27. **The Impact of the Application of Vacuum Switchgear at Transmission Voltages**. CIGRE Technical Brochure 589, 2014.

DIAS, Yuri Andrade. Manutenção 4.0. **O setor elétrico**, São Paulo, n.185, n. 2, p.22-28, mar. 2022. Disponível em: https://www.osestoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2022/04/Edicao-185_Final_2.pdf . Acesso em: 15 out. 2022

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202031_RevisaoPosCP_rvFinal_v2.pdf. Acesso em: 25 set. 2022.

HEYDE, Hans Harro. **Projeto de Disjuntores de Alta Tensão**. Edição do Kindle. Hans Heyde. 2013.

MAMEDE, J. F. **Manual de equipamentos elétricos**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

MAMEDE, F. J. **Manual de equipamentos elétricos**. 4 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

RUMBLE, J. **CRC Handbook Of Chemistry And Physics**. 102. Ed. United states: CRC press, 2021.

SCHNEIDER ELETRIC BRASIL. **Painéis de média tensão, disjuntor extraível 1 a 17,5 kV a vácuo 1 a 24 kV a SF6, 2007**. Disponível em: <https://bitly.com/SMPDoD> Acesso em: 25 set. 2022.

SIEMENS Ltd. **Disjuntor a Vácuo Externo 3AF de até 40,5 kV**. 2015. Disponível em: <https://bitly.com/rBavYa> Acesso em: 25 set. 2022.