



**UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ**

Centro de Tecnologia

Departamento De Engenharia Elétrica

Eduardo Alencar Ciarlini

**Guia Prático de Inspeção, Manutenção e Ensaios em
Disjuntores de Alta Tensão**

Fortaleza – CE

Julho 2022

Eduardo Alencar Ciarlini

**Guia Prático de Inspeção, Manutenção e Ensaios em
Disjuntores de Alta Tensão**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica como um dos pré-requisitos para obtenção do título em Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador:

Prof. Dr. Eng. Cícero Marcus Tavares Cruz.

Fortaleza – CE

Julho 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C495g Ciarlini, Eduardo Alencar.
Guia prático de inspeção, manutenção e ensaios em disjuntores de alta tensão / Eduardo Alencar Ciarlini. –
2022.
71 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Cícero Marcus Tavares Cruz.
1. Disjuntores de alta tensão. 2. Ensaios elétricos. 3. Manutenção. 4. Dispositivos seccionantes. I. Título.
CDD 621.3
-

Eduardo Alencar Ciarlini

**Guia Prático de Inspeção, Manutenção e Ensaios em
Disjuntores Alta Tensão**

**Trabalho de Conclusão de Curso Submetido ao Departamento de
Engenharia Elétrica como parte dos requisitos necessários à obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.**

Data de Aprovação: _____ / _____ / _____

Nota: _____

Prof. Dr. Eng. Cícero Marcus Tavares Cruz (Orientador)
Universidade Federal do Ceará

Eng. Prof. Msc André dos Santos Lima (Membro)
Universidade Federal do Ceará

Eng. Rodrigo Cerqueira Ciarlini (Membro)
Universidade Federal do Ceará

Fortaleza – CE

Julho 2022

AGRADECIMENTOS

Ao longo da vida passamos por diversas situações onde temos que fazer escolhas e estas poderão nos levar pelos mais distintos caminhos. Tais escolhas são guiadas pelas pessoas ao nosso redor, seja de maneira direta, dando inspiração e apoio, seja porque aquela escolha irá impactar de maneira positiva as pessoas ao seu redor.

O caminho é longo, os erros são muito, mas o apoio recebido se sobrepõe a tudo.

Muito obrigado aos meus pais, Clauciomar Serejo Ciarlini e Inah Andrade de Alencar, ao meu irmão Leonardo Alencar Ciarlini, a minha esposa Henriette de Pinho Bittencourt Filha e ao meu primo Rodrigo Cerqueira Ciarlini.

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os principais elementos que compõem os disjuntores de alta tensão, suas características elétricas, e principais inspeções e ensaios realizados durante uma manutenção preventiva. Assim, um procedimento na forma de instrução de trabalho que segue os padrões e recomendações segundo normas nacionais e internacionais com descrição detalhada a respeito destes ensaios é formado. Também são descritas as aplicações destes ensaios, bem como avaliação dos resultados obtidos e consequências para operação adequada do equipamento. Foram utilizados os conceitos e fundamentos correspondentes aos disjuntores de alta tensão, respaldando-se em normas nacionais vigentes, a fim de garantir o embasamento necessário para o desenvolvimento deste trabalho. No contexto da fundamentação, estão incluídas as principais características e especificações aplicadas aos disjuntores de alta tensão e que são indispensáveis para a consumação dos ensaios. Por fim, é apresentada a realização prática dos ensaios de manutenção discutidos ao longo do trabalho, com o objetivo de se verificar a execução dos procedimentos, avaliando-se as condições operativas adequadas do equipamento. Os resultados foram analisados e interpretados segundo exigências de normas e fabricantes.

ABSTRACT

This work presents the main elements that make up the high voltage circuit breakers, their electrical characteristics, and the main inspections and tests performed during preventive maintenance. Thus, a procedure in the form of a work instruction that follows the standards and recommendations according to national and international standards with a detailed description regarding these tests is formed. The applications of these tests are also described, as well as the evaluation of the results obtained and consequences for the proper operation of the equipment. The concepts and foundations corresponding to high voltage circuit breakers were used, based on current national standards, in order to guarantee the necessary basis for the development of this work. In the context of the reasoning, the main characteristics and specifications applied to high voltage circuit breakers are included, which are indispensable for the completion of the tests. Finally, the practical performance of the maintenance tests discussed throughout the work is presented, with the objective of verifying the execution of the procedures, evaluating the appropriate operating conditions of the equipment. The results were analyzed and interpreted according to the requirements of standards and manufacturers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Acumulador de energia (mola) carregada.....	30
Figura 2- Acumulador de energia (mola) descarregado.	31
Figura 3- Bloco de contatos (vermelho) e relé de contatos (azul).....	31
Figura 4 - Contatos auxiliares do disjuntor.	32
Figura 5- Chave auxiliar.	32
Figura 6 - Conjunto de engrenagens do sistema de operação mecânica do disjuntor.	33
Figura 7 - Sinalizador visual das condições de aberto/fechado(esquerda) e mola carregada/descarregada (direita).....	33
Figura 8 - Contador de operações.....	34
Figura 9- Bobina de abertura ou fechamento do disjuntor.	35
Figura 10- Polos de um disjuntor de alta tensão.....	35
Figura 11- Dados de placa da bobina de abertura ou bobina de fechamento.	37
Figura 12- Principais elementos de um megôhmetro digital.....	39
Figura 13 - Circuito equivalente existente proveniente da condição intrínseca da isolação	40
Figura 14 - Circuito equivalente formado pelas resistências de isolamento em um disjuntor aberto	41
Figura 15 - Circuito equivalente de ensaio de resistência de isolamento utilizando o megôhmetro	42
Figura 16 - Esquema de ligação para medição da resistência de isolamento entre polos fechados do disjuntor e invólucro metálico	44
Figura 17 - Esquema de ligação para medição da resistência de isolamento da câmara de extinção de arco de um disjuntor.....	45
Figura 18 - Principais elementos de um microhmímetro digital	47
Figura 19 - Circuito equivalente do ensaio com o microhmímetro	48
Figura 20 - Esquema de ligação para medição da resistência de contato do polo fechado de um disjuntor.....	50
Figura 21 - Principais elementos de um oscilógrafo digital	52
Figura 22 - Esquemático de teste para captura do sinal de abertura do polo do disjuntor	53
Figura 23 - Esquemático de teste para captura do sinal de fechamento do polo do disjuntor..	54
Figura 24 - Montagem do teste para captura do sinal de abertura/fechamento do polo do disjuntor.....	56
Figura 25 - Sinais de abertura de um disjuntor com operação sincronizada entre polos	57

Figura 26 - Sinais de abertura de um disjuntor com discordância de operação entre polos.....	58
Figura 27 – Dados de placa do disjuntor objeto de estudo	59
Figura 28 - Ensaio de rigidez dielétrica do disjuntor com os polos fechados	61
Figura 29 - Ensaio de resistência ôhmica do contato da fase A	63
Figura 30 - Sinais de abertura dos 3 polos, primeira captura	65
Figura 31 - Sinais de abertura dos 3 polos, segunda captura.....	65
Figura 32 - Sinais de abertura dos 3 polos, terceira captura.....	66
Figura 33 - Sinais de fechamento dos 3 polos, primeira captura.....	67
Figura 34 - Sinais de fechamento dos 3 polos, segunda captura	67
Figura 35 - Sinais de fechamento dos 3 polos, terceira captura	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de aplicação para distâncias de escoamento	27
Tabela 2 - Valor de tensão mínimo a ser aplicado com o Megôhmetro às classes de tensão. .	40
Tabela 3 - Resultado dos ensaios de rigidez dielétrica dos meios isolantes entre polo e carcaça metálica.....	61
Tabela 4 - Resultado dos ensaios de rigidez dielétrica das câmaras de extinção de arco de cada polo	61
Tabela 5 - Resultado dos ensaios de rigidez dielétrica dos meios isolantes entre polo e carcaça metálica.....	62
Tabela 6 - Resultado dos ensaios de rigidez dielétrica das câmaras de extinção de arco de cada polo	62
Tabela 7 - Resultados do ensaio de resistência ôhmica dos contatos a temperatura ambiente	64
Tabela 8 - Resultados do ensaio de resistência ôhmica dos contatos a 20°C.....	64
Tabela 9 - Resumo dos tempos de abertura.....	66
Tabela 10 - Resumo dos tempos de fechamento	68

LISTA DE SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANSI: *American National Standards Institute*

SIN: Sistema Interligado Nacional

SEP: Sistema Elétrico de Potência

IEC: *International Electrotechnical Commission*

TAF: Teste de Aceitação de Fábrica

IEEE: *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

Sumário

1. Introdução	12
1.1. Motivação	12
1.2. Objetivo	13
1.2.1. Objetivos específicos	13
1.3. Organização do trabalho	13
2. Embasamento teórico	15
2.1. Normas associadas.....	15
2.2. Disjuntores de alta tensão	15
2.2.1. Características elétricas	16
2.2.2. Características mecânicas	19
2.2.3. Métodos de extinção de arcos elétricos	27
2.2.4. Dados de placa.....	28
3. Construtivo	30
4. Inspeções em dispositivos seccionantes	36
4.1. Estado geral de conservação.....	36
5. Ensaios em dispositivos seccionantes.....	38
5.1. Ensaio de rigidez dielétrica.....	38
5.1.1. Princípio de funcionamento do ensaio	38
5.1.2. Procedimento de ensaio	42
5.1.3. Critério de avaliação.....	45
5.2. Ensaio de resistência de contato	46
5.2.1. Princípio de funcionamento do ensaio	46
5.2.2. Procedimento de ensaio	49
5.2.3. Critério de avaliação.....	50
5.3. Ensaio de oscilografia.....	51
5.3.1. Princípio de funcionamento do ensaio	52
5.3.2. Procedimento de ensaio	55
5.3.3. Critério de avaliação.....	56
6. Resultados e avaliações	59
6.1. Características do equipamento ensaiado	59
6.2. Ensaios práticos	60
6.3. Resultado dos ensaios de rigidez dielétrica	60

6.3.1. Considerações e avaliações	62
6.4. Resultados dos ensaios de resistência ôhmica dos contatos	63
6.4.1. Considerações e avaliações	64
6.5. Resultados dos ensaios de tempos de abertura e fechamento.....	64
6.5.1. Considerações e avaliações	69
7. Conclusões.....	70
8. Referências bibliográficas	71

1. Introdução

O Brasil é um país de proporções continentais, e possui um sistema elétrico totalmente interligado, denominado sistema interligado nacional (SIN), desta forma é necessário que haja perfeita comunicação e sincronismo entre os elementos de controle e manobra deste sistema.

Para tanto, como elementos de manobra, existem os disjuntores e seccionadoras, sendo este primeiro o mais adequado para operações em situações manobra com carga e/ou situações de falha.

Disjuntores de alta tensão são equipamentos desenvolvidos para suportar as mais diversas condições do sistema elétrico de potência (SEP), desde elevados níveis de tensão e corrente, à extinção de arcos elétricos condicionados a parâmetros de tensão, corrente e frequência imprevisíveis.

Desta forma, é necessário garantir o perfeito desempenho das propriedades elétricas e mecânicas desses mecanismos, pois são de vital importância para tornar possível a coordenação e seletividade que um sistema elétrico tão complexo quanto o do Brasil precisa ter.

1.1. Motivação

A filosofia de proteção busca atender aos critérios de coordenação e seletividade de modo que, em situações de faltas ou defeitos, a menor porção do sistema seja retirada de operação. A falha na operação de qualquer elemento relacionado a proteção gera custo, uma vez que a busca pela correção do problema requer tempo, impactando na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

Disjuntores e seccionadoras, através dos relés e/ou operadores, são os elementos com papel ativo nas manobras no sistema elétrico de potência e também pela retirada de operação partes do sistema onde ocorra uma falta ou defeito. Em vista disso, é necessário garantir o perfeito funcionamento destes equipamentos, tanto no desempenho de suas características mecânicas, quanto nas elétricas.

1.2. Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é a criação de um material que servirá como base para futuros engenheiros no que diz respeito a análise e diagnóstico de defeitos e falhas em disjuntores de alta tensão.

Estabelecendo, através de referências normativas e práticas, critérios de avaliação e análise de testes e ensaios, estabelecendo assim, uma referência em valores absolutos para determinação das condições das características elétricas de disjuntores de alta tensão.

1.2.1. Objetivos específicos

Entre os objetivos específicos deste trabalho estão:

- Criar um guia para os ensaios necessários para um laudo de disjuntores de alta tensão;
- Apresentar uma lista de defeitos que ocorrem em disjuntores de alta tensão, relacionando os mesmos com possíveis causas, consequências e a forma de identificá-los durante uma manutenção preditiva e/ou preventiva;
- Apresentar todos os elementos construtivos dos disjuntores de alta tensão, e o que deve ser observado em momentos de inspeção visual e como proceder com a manutenção de determinadas partes;
- Apresentar procedimentos para realização dos ensaios elétricos necessários para diagnóstico dos disjuntores de alta tensão, tais como avaliação dos resultados obtidos;

1.3. Organização do trabalho

Este trabalho está dividido em 5 capítulos, cada um com objetivos específicos e listados abaixo na ordem correspondente:

- Capítulo 2: Embasamento teórico – Este capítulo tem como objetivo apresentar toda a teoria mecânica e elétrica por trás do princípio de funcionamento dos disjuntores. Apresentando todas as características elétricas dos disjuntores, é possível familiarizar-se com sua aplicação e requisitos necessários.
- Capítulo 3: Construtivo – O objetivo deste capítulo é apresentar através de imagens e descrições detalhadas, todos os elementos eletromecânicos possíveis de serem encontrados nos disjuntores nas mais diversas formas e escalas. Desta forma, é possível

a inspeção de campo e consequente interpretação de situações e condições que tornam possível o diagnóstico das condições de preservação física do equipamento.

- Capítulo 5: Ensaio em dispositivos seccionantes – Este capítulo tem como objetivo apresentar detalhadamente todo o princípio de funcionamento dos ensaios que serão tratados neste trabalho, bem como descrever todos os procedimentos e passos a serem adotados para correta aplicação e validação dos mesmos.
- Capítulo 6: Resultados e avaliações – Neste capítulo são apresentados os resultados dos ensaios aplicados ao equipamento objeto de estudo, bem como as considerações e avaliações dos resultados obtidos.
- Capítulo 7: Conclusão – Aqui são apresentadas as conclusões obtidas através deste trabalho e as perspectivas para trabalhos futuros.

2. Embasamento teórico

Neste capítulo serão apresentados os principais tópicos normativos referente as características elétricas e mecânicas dos disjuntores de alta tensão. Neste contexto serão apresentadas e explanadas as características e especificações aplicadas a este equipamento para garantir a fluidez necessária para o bom entendimento deste trabalho.

2.1. Normas associadas

Este trabalho toma como base a norma internacional IEC 62271- 100 – *High Voltage Switchgear and controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers* (2021, Ed. 3.0). Tendo em vista que a norma nacional está cancelada e sem substituta oficial, temos nessa norma, a melhor base para nos apoiarmos.

Nos próximos tópicos serão tratadas, de maneira mais detalhada, as características relevantes para o desenvolvimento deste trabalho, bem como o esclarecimento de certas definições, e o que as mesmas significam para uma correta análise na avaliação de performance dos disjuntores de alta tensão.

2.2. Disjuntores de alta tensão

Os disjuntores de alta tensão têm como função principal o seccionamento do sistema elétrico de potência, seja em condições normais de operação, seja em situações de falta. Para cada ponto do sistema elétrico de potência, onde são encontrados valores distintos de tensão e corrente, deverá haver equipamentos cujas características elétricas e mecânicas estejam de acordo com grandezas requisitadas para aquelas condições em específico. Sua principal finalidade está relacionada com a interrupção de corrente de defeito e ao reestabelecimento de correntes elétricas no sistema. Desta forma, disjuntores de alta tensão estarão acompanhados de outros equipamentos como chaves seccionadoras, relés de proteção, transformadores de corrente e transformadores de potencial, onde todo este conjunto faz parte do sistema responsável por supervisão, controle, proteção, coordenação e seletividade do sistema elétrico de potência (Mamede, 2008).

2.2.1. Características elétricas

Neste tópico serão apresentadas todas as características elétricas nominais básicas necessárias a um disjuntor de alta tensão. Estas características são:

1. Tensão nominal (U_r)

A tensão nominal de um disjuntor é a tensão na qual é considerado uma condição de operação em regime contínuo, ou seja, a tensão a qual aquele equipamento é previsto ser utilizado.

Nível de isolamento nominal

O nível de isolamento nominal se divide em três níveis distintos para condições distintas, são eles a tensão suportável nominal de impulso atmosférico (U_p), tensão suportável nominal de impulso de manobra (U_s) e tensão suportável nominal de curta duração à frequência industrial (U_d).

Estes níveis de isolamento independem do valor de tensão nominal, ou seja, para um determinado valor de tensão nominal existe vários níveis de isolamento nominal, desta forma é possível garantir uma grande diversidade de critérios de desempenho para os disjuntores de alta tensão.

A escolha de valores adequados para estes três parâmetros deve ser realizada de acordo com alguns critérios listados a seguir.

- Sobretensões de frente rápida ou frente lenta;
- Tipo de aterramento do neutro;
- Tipo dos dispositivos limitadores de sobretensão.

Os valores indicados para estes parâmetros são válidos considerando a diferença de tensão entre fase a terra, a menos quando especificado o contrário.

De acordo com a NBR 6939 – Coordenação de isolamento – Procedimento (2018), temos as seguintes definições para os níveis de isolamento nominais.

- Tensão suportável nominal de impulso atmosférico (U_p) – Impulso de cujo tempo até a crista é inferior a $1,2\mu s$ e o tempo de meio valor é inferior a $50\mu s$;
- Tensão suportável nominal de impulso de manobra (U_s) – Nível de tensão de pico que pode vir a surgir considerando duas fases em que, no mesmo instante, apresentam

polaridade oposta, e cujo tempo até a crista é inferior a $250\mu\text{s}$ e o tempo de meio valor é inferior a $2500\mu\text{s}$;

- Tensão suportável nominal de curta duração à frequência industrial (U_d) – Tensão senoidal com frequência entre 48Hz a 52Hz para sistemas com frequência nominal de 50Hz, ou valores de frequência entre 58Hz e 62Hz para sistemas que operam a frequência nominal de 60Hz com tempo de duração máximo de 60 segundos.

As tabelas com valores de tensões padronizados para tais parâmetros podem ser consultadas na NBR 6939 – Coordenação de isolamento – Procedimento (2018).

2. Frequência nominal (f_r)

A frequência nominal estabelece quantos períodos de tensão e corrente ocorrem dentro do tempo de um segundo. Os valores de frequência nominal normatizados para disjuntores de alta tensão são 50Hz e 60Hz.

3. Corrente nominal de regime contínuo (I_r)

A corrente nominal de regime contínuo é a corrente que o equipamento de manobra deverá ser capaz de conduzir de maneira contínua sob condições específicas, determinadas pela norma IEC 60071-2 – *Insulation co-ordination – Part 2: Application guidelines* (2018, Ed. 4.0°).

4. Elevação de temperatura

A elevação de temperatura determina a máxima temperatura que qualquer parte do equipamento em questão poderá atingir com temperatura ambiente inferior a 40°C . Temperaturas ambiente superiores a 40°C não abrangidas por norma, uma vez que esta situação não é contemplada.

A norma IEC 62271-1: *High-voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear* (2021, Ed. 2.1), apresenta estes valores de temperatura de acordo com a composição construtiva e características específicas dos disjuntores.

5. Corrente suportável nominal de curta duração (I_k)

A corrente suportável nominal de curta duração é a máxima corrente simétrica que um equipamento de manobra pode conduzir, enquanto fechado, durante um curto período de tempo especificado.

6. Valor de crista de corrente suportável nominal (I_p)

O valor de crista de corrente suportável nominal é o maior valor de pico de corrente de curta duração que o equipamento de manobra é capaz de suporta enquanto fechado.

7. Duração nominal do curto-circuito (t_k)

A duração do curto-circuito, como parâmetro de disjuntores, é o intervalo de tempo que o equipamento de manobra pode conduzir uma corrente de curto-circuito de curta duração. Este tempo é padronizado por norma como sendo igual a um segundo.

8. Capacidade de interrupção nominal de curto-circuito (I_{sc})

A capacidade de interrupção nominal de curto-circuito corresponde ao maior valor de corrente que o disjuntor é capaz de interromper sem sofrer danos que prejudiquem suas características elétricas e desempenho mecânico.

A capacidade de interrupção nominal pode ser dividida entre o valor eficaz de sua componente puramente alternada e percentual de corrente proveniente da componente contínua. Sendo esta componente contínua, característica intrínseca de um curto-circuito assimétrico.

9. Tempos nominais de operação

As operações de abertura e fechamento de um disjuntor, apesar de serem consequências de atuações mecânicas, os mesmos estão diretamente relacionados às correntes interrompidas e as tensões de reestabelecimento.

Para efeitos deste trabalho, será considerada a equação 1, tempo nominal de interrupção, para determinação das condições de integridade do equipamento.

$$t_i \geq t_1 - (t_2 - t_3) \quad (01)$$

Onde:

t_i – Tempo nominal de interrupção determinado pelo fabricante;

t_1 – Tempo máximo de interrupção registrado durante ensaios de aplicação de 30%, 60% e 100% da capacidade de interrupção da corrente nominal de curto-circuito;

t_2 – Tempo máximo de abertura registrado em vazio, em condições nominais de tensão e pressão do fluido isolante, correspondente ao nível de corrente;

t_3 – Tempo nominal de abertura determinado pelo fabricante;

2.2.2. Características mecânicas

Neste tópico serão apresentadas as características inerentes aos disjuntores de alta tensão. Apesar da classificação atribuída para tais características, é importante salientar que as mesmas terão um forte impacto nas propriedades elétricas do equipamento, além das próprias condições mecânicas.

1. Fluido isolante

Os fluidos isolantes dos equipamentos seccionantes podem se apresentar em dois estados da matéria, estado líquido e estado gasoso. Como exemplo dos isolantes líquidos temos o óleo mineral de alto ponto de fulgor¹, e o gás hexafluoreto de enxofre (SF₆) como principal representante.

Como requisito estabelecido por norma, é obrigação dos fabricantes, fornecer informações como tipo, quantidade e qualidade do fluido isolante utilizado, e densidade quando o isolante for um gás.

Para disjuntores isolados a líquido, deve ser previsto um dispositivo que permita a visualização do nível de líquido isolante com delimitações de volume máximo e mínimo. Tal dispositivo deve proporcionar tal visualização em situações nominais de serviço.

Dentre estes isolantes, existe um método de isolamento proporcionado através do vácuo, ou seja, utiliza-se a total ausência de matéria como forma de criar uma barreira de alta rigidez

¹ Ponto de fulgor é a menor temperatura na qual um óleo libera vapor em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável por uma fonte externa de calor. O vapor gerado no ponto de fulgor não é suficiente para que a combustão seja mantida.

dielétrica. Os equipamentos que se utilizam deste método possuem um sistema de pressão selado.

Em se tratando de isolação, equipamentos isolados a líquido devem estar de acordo com a *IEC 60296 – Fluids for electrotechnical applications: Mineral insulating oils for electrical equipment* e para equipamentos isolados a óleo, *IEC 60376 – Specification of technical grade sulphur hexafluoride (SF₆) and complementary gases to be used in its mixtures for use in electrical equipment*.

2. Aterramento

Deve ser assegurado um ponto de aterramento adequado para conexão de um condutor de aterramento devidamente dimensionado para condições de falta que possam vir a surgir naquele ponto da instalação. Tal ponto de aterramento deve estar identificado com simbologia adequada.

Todas as partes metálicas do equipamento são classificadas como condutoras de aterramento, por isso, é importante garantir interligação e conseqüente equipotencialização das mesmas.

3. Equipamentos auxiliares e de comando

Os equipamentos auxiliar e de comando são todos aqueles dispositivos e circuitos que possuem impacto direto nas manobras dos disjuntores, tais como mecanismos de acionamento por comando, mecanismos de acionamento manual, sinalização luminosa e mecânica, supervisão e comunicação.

Os circuitos auxiliares e de comando, assim como o próprio disjuntor, possuem condições nominais de operação que devem ser obedecidas para correta operação do mesmo. Para disjuntores cujo comando funciona opera em corrente alternada, os limites de tensão de alimentação não devem ser inferiores a 85% e superiores a 110% da tensão nominal de operação (U_a). Em circuitos que operam em corrente contínua, a oscilação não deve ser superior a 5% da tensão nominal.

Como parte integrante dos equipamentos auxiliares e de comando, temos em destaque a bobina de abertura, bobina de fechamento, bobinas de subtensão e sistema de carregamento de mola.

a) Disparador em derivação de fechamento

O disparador em derivação de fechamento, também conhecido como bobina de fechamento, é um dispositivo mecânico de acionamento elétrico com rápido tempo de resposta. Ao ser acionado, através de contatos auxiliares, o mesmo funciona como gatilho desencadeador de todo o processo mecânico que dará início ao processo de fechamento dos contatos de um disjuntor.

Como requisito de desempenho, este dispositivo deve ser capaz de operar com uma tensão que fique a até um mínimo de 85% e um máximo de 110% da tensão nominal (U_a) de operação do mesmo.

b) Disparador em derivação de abertura

O disparador em derivação de abertura, também conhecido como bobina de abertura, é um dispositivo mecânico de acionamento elétrico com rápido tempo de resposta. Ao ser acionado, através de contatos auxiliares, o mesmo funciona como gatilho desencadeador de todo o processo mecânico que dará início ao processo de abertura dos contatos de um disjuntor.

Como requisito de desempenho, este dispositivo deve ser capaz de operar com uma tensão de um mínimo de 70% da tensão nominal de operação, quando alimentado em corrente contínua ou 85%, quando alimentado em corrente alternada e um máximo de 110% da tensão nominal (U_a), independente de natureza da tensão de operação do mesmo.

c) Disparador de mínima tensão

O disparador de mínima tensão, também conhecido como bobina de mínima, é um dispositivo que deverá assegurar a abertura e impedir o fechamento do dispositivo de manobra quando a tensão de alimentação auxiliar for inferior a 35% da tensão de alimentação nominal (U_a). Sendo a operação de fechamento normalizada apenas quando a tensão nominal for reestabelecida para um mínimo de 85% de U_a .

d) Indicador de pressão/nível

Quando os disjuntores são isolados a líquido isolante ou gás isolante, deve existir dispositivo capaz de permitir o monitoramento das condições de volume, pressão e/ou densidade do mesmo.

Tal dispositivo deve ser possível de acessar mesmo em condições nominais de operação do disjuntor de alta tensão ao qual pertence.

e) Cabos e fiação

Os condutores e fiações devem possuir sua seção transversal adequada a corrente nominal e corrente de curto-circuito correspondentes, atendendo aos requisitos estabelecidos na norma a qual estão referenciados.

Não é permitido emendas, inclusive através de solda, de cabos que passam por blocos de terminais, uma vez que este possui como finalidade a transição entre trechos de circuitos.

f) Bloco de contatos/Terminais

Os blocos de terminais devem auxiliar a interface entre condutores provenientes de diferentes dispositivos. Devem estar dimensionados adequadamente aos condutores a que deverão estar conectados e devem manter adequada pressão de contato correspondente a corrente nominal e corrente de curto-circuito dos circuitos.

Estes blocos devem possuir identificação própria e identificação individual para cada terminal.

g) Chaves auxiliares

As chaves auxiliares, diferente dos contatos auxiliares, possuem acionamento mecânico e diretamente interligado ao acionamento dos contatos principais do disjuntor. Estas chaves são responsáveis pelo acionamento elétrico dos contatos auxiliares e de controle.

Seu acionamento deve possuir características nominais de tempo e suportabilidade compatíveis com os tempos de operação do equipamento a que pertencem.

h) Contatos auxiliares e de controle

Os contatos auxiliares e de controle são responsáveis pela maioria dos sinais elétricos provenientes de uma operação do disjuntor, seja acionando sinalização luminosa, seja mandando sinal para outros dispositivos que tem seu funcionamento dependente dele.

Estes contatos devem possuir ciclos de operação nominais compatíveis com os ciclos do disjuntor de alta tensão, ou seja, compatível com o número de manobras que delimitam a vida útil do equipamento.

i) Motores

Máquinas elétricas rotativas são aplicadas em disjuntores como equipamento provedor de energia para acumuladores de energia mecânica e/ou hidráulica, por exemplo, estes por sua vez serão responsáveis pelo disparo da atuação mecânica do comando de abertura e comando de fechamento.

j) Dispositivos de partida de motor

Os dispositivos de partida de motor, que devem permitir a partida e manter uma condição nominal de operação do motor a qual estão ligados de forma contínua. Também devem prover proteção contra sobrecarga provocadas por sobretensão ou proveniente de trava do eixo de giro do motor.

k) Disjuntores, chaves e fusíveis de baixa tensão

Os dispositivos de seccionamento e interrupção dos circuitos de comando devem possuir características elétricas e mecânicas nominais de operação correspondente ao nível de proteção desejado.

Dentre estes dispositivos estão os disjuntores responsáveis pela alimentação de todo o comando, chaves de comando e chaves seletoras de acionamento automático e mecânico, como botoeiras, chaves de fim de curso, termostato, etc.

l) Dispositivos para aquecimento

Os dispositivos de aquecimento têm como função principal a criação e a manutenção de uma atmosfera propícia a conservação da longevidade dos componentes elétricos que nela estão imersos.

Estes dispositivos devem ser instalados de forma a não tocarem partes eletricamente ativas, e quando houve risco de contato acidental durante operação nominal, tal dispositivo deve ter seus limites de temperatura restringidos de acordo com parâmetros estabelecidos pela norma

IEC 62271-1: High-voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear (2021, Ed. 2.1).

m) Indicadores luminosos

As sinalizações luminosas deverão ser acionadas por contatos auxiliares e/ou chaves de fim de curso, seja por contato normalmente aberto (NA) ou normalmente fechado (NF). Estas sinalizações também estão sujeitas a condicionantes externos, tornando seu acionamento dependente de mais de uma condição.

4. Operação por energia acumulada

Os disjuntores que possuem mecanismos de acionamento dependentes do acúmulo de energia devem garantir a capacidade de interrupção de corrente de curto-circuito em condições convenientes de acúmulo de energia, ou seja, a força gerada pelo disparo da energia acumulada, energia mecânica da mola, por exemplo, deve ultrapassar a força que deverá surgir pelo alto fluxo de corrente nos contatos de alta tensão dos disjuntores.

a) Acúmulo de energia pneumática ou hidráulica

O acúmulo de energia pneumática ou hidráulica se dá através de um compressor, que deverá prover pressão adequada para a correta atuação das operações, dentro dos valores determinados pelo fabricante.

b) Acúmulo de energia em molas

As molas acumulam energia potencial elástica fornecida através de motor ou um sistema de acionamento manual. Deve ser garantido que os contatos móveis não devem movimentar-se, quando abertos, a menos que a energia acumulada seja suficiente para garantir a correta operação.

c) Acúmulo de energia por operação manual

Quando for possível o armazenamento de energia proveniente de um sistema acionado manualmente, deve ser indicado o sentido de movimento da alavanca ou manivela, e deve ser previsto um dispositivo indicador da condição da mola (carregada ou descarregada).

A força máxima necessária para carregamento manual da mola não deve ser superior a 250N.

d) Acúmulo de energia por motor

Motores e seus equipamentos auxiliares destinados a carregar a mola ou para acionar um compressor ou bomba devem operar satisfatoriamente entre 85% e 110% da tensão nominal de alimentação.

5. Operação manual independente

Deve ser previsto, independente da classe de tensão e aplicabilidade, um mecanismo de operação manual capaz de efetuar manobras de abertura e fechamento nos disjuntores de alta tensão.

Tal mecanismo deve ser capaz de operar independentemente das condições elétricas do disjuntor, mesmo quando houver a existência de intertravamento elétrico. Nesta situação, o mesmo deverá efetuar a manobra de fechamento – abertura obedecendo os tempos limite de manobra estabelecidos pelo fabricante.

6. Dispositivo de intertravamento

Os dispositivos de intertravamento devem impedir a atuação do disjuntor caso alguma condição fora da nominal seja detectada. Outros dispositivos de intertravamento podem existir para garantir a segurança da instalação e/ou operadores, impedindo a abertura do mesmo quando ligado em situações onde não há falta, e até mesmo intertravamento de bloqueio mecânico que impossibilite acesso a determinadas partes do disjuntor quando este estiver em operação.

Para disjuntores acionados por acumuladores de energia pneumática ou hidráulica, deve ser previsto um dispositivo de intertravamento de baixo e alto nível de pressão que deverão ser ajustados para garantir o acionamento apenas quando os valores de pressão estiverem dentro da faixa nominal indicada pelo fabricante.

7. Indicador de posição

O indicador de posição é uma sinalização mecânica com acionamento mecânico que deverá fornecer indicação visível e clara a respeito do estado (aberto ou fechado) do disjuntor de alta tensão, inclusive indicar posição de aterrado, quando aplicável.

A posição de fechado deverá ser indicado, preferencialmente, com o símbolo “ I ” e a posição de aberto com o símbolo “ O ”, cores também deverão ser utilizadas para tal sinalização.

8. Distâncias de escoamento

A distância de escoamento é uma característica atribuída ao isolador cerâmico ou vítreo para uso externo situado entre fase e terra, entre fases ou entre contator abertos de um disjuntor seccionador. Este parâmetro pode ser determinado de acordo com a equação 2.

$$L_t = a * L_f * U_r * k_D \quad (02)$$

Onde:

L_t – é a distância de escoamento nominal mínima em milímetros;

a – é o fator de aplicação relacionado ao tipo de isolamento de acordo com a tabela 1;

L_f – é a distância de escoamento específica nominal mínima, definida por norma;

U_r – é a tensão nominal do equipamento de manobra e mecanismo de comando;

k_D – é o fator de correção devido ao diâmetro, sendo igual a 1 quando o diâmetro for inferior a 300 milímetros e igual a $0,85 + 0,05\%$ do diâmetro em milímetros;

Tabela 1 - Fatores de aplicação para distâncias de escoamento

Aplicação para isolação	Fator de aplicação a
Entre fase e terra	1,0
Entre fases	$\sqrt{3}$
Através de contatos abertos de um disjuntor ou seccionador	1,0
<p>NOTA 1 – Equipamentos de manobra que podem estar sujeitos a condições de discordância de fases podem necessitar de uma distância de escoamento maior através dos contatos aberto. Um fator de aplicação $a = 1,15$ tem sido sugerido para tais aplicações.</p> <p>NOTA 2 – Isoladores são verticais sujeitos a serem cobertos de neve poluída podem necessitar de uma distância de escoamento maior.</p>	

9. Compatibilidade eletromagnética

Durante a operação e manobra dos disjuntores de alta tensão, existirão elevados níveis de corrente, conseqüentemente, elevados campos magnéticos. Diante disto, é necessário garantir a não interferência destes no correto funcionamento dos circuitos secundários de comando e controle.

Os circuitos secundários de comando e controle devem suportar distúrbios eletromagnéticos sem apresentar falhas ou mal funcionamento.

2.2.3. Métodos de extinção de arcos elétricos

Os arcos elétricos são formados em decorrência do acúmulo de energia indutiva do sistema elétrico de potência no momento da separação dos contatos, sendo a intensidade deste arco proporcional a corrente elétrica a ser interrompida.

Como princípio básico para a extinção de um arco elétrico qualquer, é necessário que se provoque o seu alongamento por meios artificiais, se reduza a sua temperatura e se substitua o meio ionizado entre os contatos por um meio isolante eficiente que pode ser o ar, o óleo ou o gás, o que permite, assim, classificar o tipo do meio extintor, conseqüentemente, as características construtivas dos disjuntores (Mamede, 2008).

Alguns dos métodos de extinção de arco elétrico estão listados a seguir:

- Interrupção no ar sob condições de pressão atmosférica;
- Interrupção no óleo isolante;
- Interrupção no gás SF₆;
- Interrupção no vácuo.

O meio utilizado para a extinção do arco elétrico está diretamente relacionado com o nível de tensão nominal de operação, e terá grande impacto no custo do equipamento, qualidade de operação em se tratando no reestabelecimento pós extinção do arco elétrico e no tamanho/peso do equipamento.

2.2.4. Dados de placa

Os dados de placa possuem as principais informações referentes ao equipamento, sendo seu entendimento, crucial para o planejamento de testes, inspeções, ensaios, e para determinação de parâmetros de ensaios.

De acordo com a *IEC 62271-100: High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers (2021, Ed. 3.0)*, devem estar presentes nos dados de placa a seguintes informações:

Fabricante;

Tipo e número de série;

Tensão nominal (U_r);

Tensão suportável nominal de impulso atmosférico (U_p);

Tensão suportável nominal de impulso de manobra² (U_s);

Corrente nominal de regime contínuo (I_r);

Capacidade de interrupção de corrente de curto circuito (I_{sc});

Frequência nominal (f_r);

Duração nominal do curto-circuito (t_k);

Tensão nominal dos circuitos auxiliares (U_a);

² Para equipamentos com tensão nominal superior a 300kV;

Pressão nominal do fluido isolante (p_{re});

Massa total do equipamento³;

Massa do fluido para interrupção;

Sequência nominal de operações;

Ano de fabricação;

³ Para equipamento com massa total superior a 300kg;

3. Construtivo

Neste capítulo, utilizando-se os equipamentos objeto do estudo de caso, serão apresentados alguns dos elementos construtivos que compõem os disjuntores de alta tensão.

A importância de se conhecer a forma física que estes elementos assumem nos equipamentos aos quais pertencem é de suma importância para o correto diagnóstico e análise do conjunto o qual está imerso.

Os elementos aqui apresentados poderão estar presentes em outros equipamentos de diferentes formas, porém deverão manter a mesma essência no que diz respeito a aparência física e mantendo fidelidade a sua função principal.

a) Acumulador de energia

No disjuntor objeto do estudo de caso, o acúmulo de energia se dá através de uma mola, a energia potencial elástica acumulada, seja através de mecanismo acionado manualmente, seja por motor, deverá ser liberada no momento de operação de fechamento e/ou abertura, por acionamento manual ou elétrico.

As figuras 1 e 2 apresentam este elemento nas condições carregado e descarregado, respectivamente.



Figura 1- Acumulador de energia (mola) carregada.



Figura 2- Acumulador de energia (mola) descarregado.

b) Bloco de contatos e relé de contatos

Como descrito no capítulo 2, o bloco de contatos nada mais é do que um elemento de interface entre os circuitos externos e os circuitos internos ao disjuntor. O relé de contatos possui acionamento elétrico externo ao disjuntor, ou seja, necessita de uma fonte de tensão externa para ser acionado.

A figura 3 apresenta estes elementos.

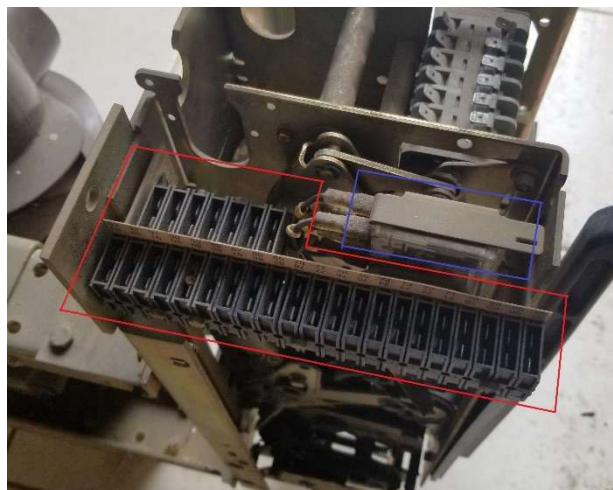


Figura 3- Bloco de contatos (vermelho) e relé de contatos (azul).

c) Contatos auxiliares

Os contatos auxiliares tem sua posição (aberto/fechado) diretamente relacionada com a posição do disjuntor, mas não diretamente relacionados mecanicamente, diferente da chave auxiliar.

Todos os contatos auxiliares possuem três terminais, sendo um deles o ponto comum, e os outros dois contatos serão o normalmente aberto e o normalmente fechado.

A figura 4 apresenta este elemento.

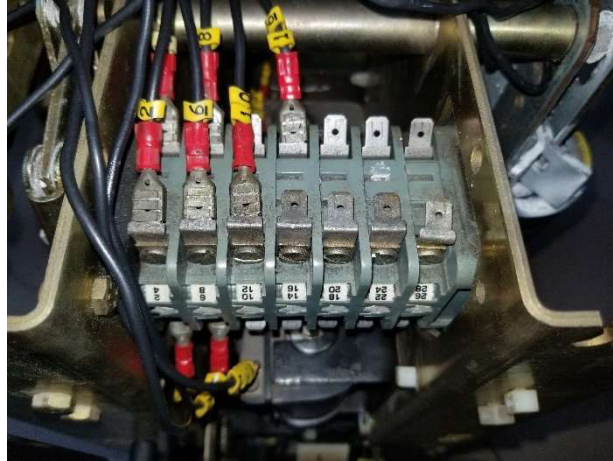


Figura 4 - Contatos auxiliares do disjuntor.

d) Chave auxiliar

A chave auxiliar possui acionamento mecânico diretamente relacionado com a posição aberto/fechado do disjuntor, e seus contatos podem ser normalmente aberto ou normalmente fechado, tendo inúmeras aplicações quanto a condição de efetiva operação mecânica.

Na figura 5 é possível perceber o elemento mecânico responsável por acionar esta chave.

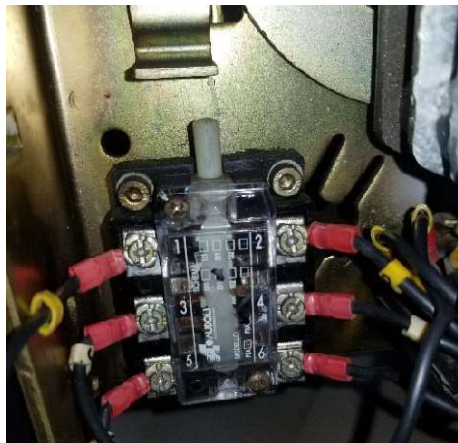


Figura 5- Chave auxiliar.

e) Conjunto de engrenagens

Como parte principal do conjunto responsável pela operação do disjuntor, as engrenagens e outras peças devem estar em perfeitas condições para realizarem as devidas operações quando solicitadas, uma vez que a falha de qualquer peça em transmitir a energia mecânica poderá resultar na falha de operação.

A figura 6 exibe este conjunto de engrenagens.



Figura 6 - Conjunto de engrenagens do sistema de operação mecânica do disjuntor.

f) Sinalizador visual de posição e mola

Diretamente interligados ao sistema de engrenagens e molas, os sinalizadores irão fornecer informações quanto ao estado em que se encontra os polos dos disjuntores e a condição de carregamento da mola. Desta forma, independente do circuito de sinalização externo será possível averiguar o estado do disjuntor.

Na figura 7 estes elementos são apresentados sem a presença da carenagem frontal do disjuntor para melhor visualização dos indicadores.

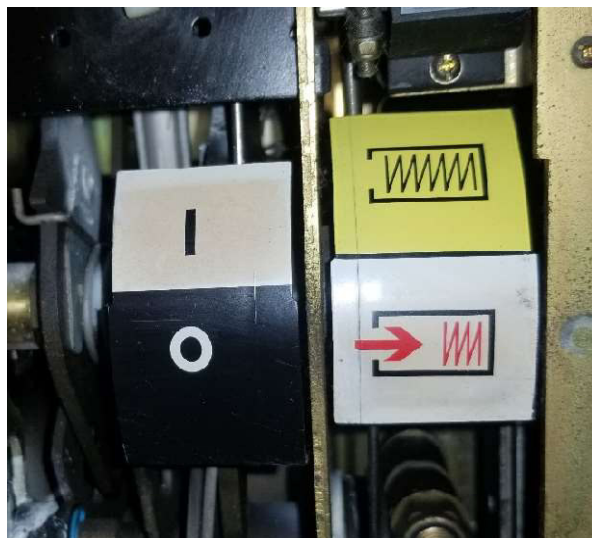


Figura 7 - Sinalizador visual das condições de aberto/fechado(esquerda) e mola carregada/descarregada (direita).

g) Contador de operações

O contador de operações de um disjuntor deverá realizar um incremento a cada operação de abertura do disjuntor, seja ela manual ou via comando elétrico. Este parâmetro deve ser sempre observado, pois todos os fabricantes dos disjuntores informam a vida útil do disjuntor como base o número de operações do mesmo.

Evidentemente, haverá situações de abertura com carga e sem carga, ambas possuindo efeitos completamente distintos sobre o disjuntor, porém, este parâmetro está relacionado com elementos mecânicos (engrenagens e outras peças) e não com as condições dos polos, para estes, ensaios elétricos deverão ser realizados para determinar as condições de operação.

A figura 8 exemplifica um contador de operações de um disjuntor.



Figura 8 - Contador de operações.

h) Bobina de abertura/fechamento

A bobina de abertura e a bobina de fechamento são dois elementos distintos, cada uma com a função de provocar o acionamento do sistema de abertura e do sistema de fechamento do disjuntor, respectivamente. Acionadas eletricamente, estas bobinas devem possuir rápida atuação para garantir que o disjuntor interrompa a falha o mais rápido possível.

Na figura 9 é possível visualizar apenas uma destas bobinas

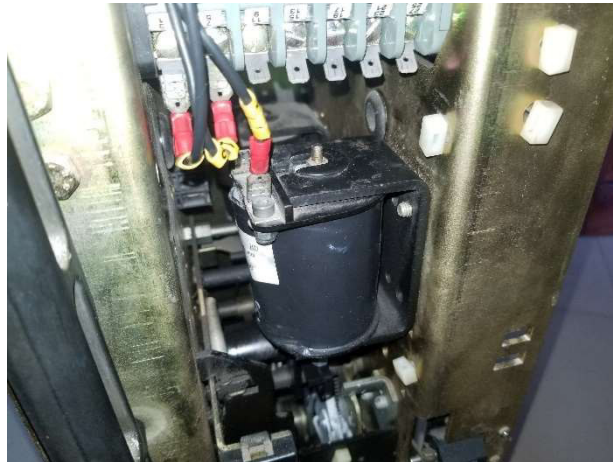


Figura 9- Bobina de abertura ou fechamento do disjuntor.

i) Polos de alta tensão do disjuntor

Os polos dos disjuntores, onde estão contidas as câmaras de extinção de arco, são os elementos diretamente conectados a alta tensão, e por isso sua isolação é um elemento alvo de inspeção e ensaios elétricos. As câmaras de extinção de arco, e os contatos nela contidos também deverão ser ensaiados, apenas desta maneira será possível determinar a qualidade das características elétricas.

A figura 10 apresenta os polos de um disjuntor de alta tensão.



Figura 10- Polos de um disjuntor de alta tensão.

Para o disjuntor objeto de estudo, estes deverão ser os principais elementos a serem inspecionados e/ou testados.

4. Inspeções em dispositivos seccionantes

Antes de qualquer intervenção ser realizada nos equipamentos elétricos, devem ser realizadas inspeções visuais que busquem sinais aparentes de não conformidade das condições operativas.

Nos disjuntores de alta tensão, estes sinais podem indicar condição impeditiva para realização de algum ensaio, como por exemplo, ruptura visível de isolamento, identificada através de marcas de carbonização, indicando presença de pequenas descargas pela superfície do isolador.

Desta forma, para garantir máxima eficiência e qualidade dos ensaios, devem ser realizadas verificações minuciosas por todos os elementos do disjuntor e interpretação dos dados de placa antes da realização dos ensaios em si.

4.1. Estado geral de conservação

Como elemento de atuação de abertura e fechamento de circuitos pertencentes ao sistema elétrico de potência, os disjuntores de alta tensão possuem muitos elementos mecânicos para garantir sua funcionalidade dentro dos parâmetros normativos. Por conta disto, averiguar a integridade destes elementos é de extrema importância.

A verificação destas partes mecânicas consiste na busca de sinais que prejudiquem o processo de abertura e fechamento, conseqüentemente, os requisitos de coordenação de seletividade do sistema. Um *checklist* deve ser realizado observando os seguintes pontos:

1. Presença de trincas e/ou rachaduras em peças mecânicas;
2. Lubrificação de partes móveis e articulações;
3. Verificação de indicadores dos níveis de óleo ou gás (Quando aplicável);
4. Conferência dos dados de placa;
5. Existência ou não de pontos carbonizados;
6. Estado geral dos cabos de comando;

Após estas verificações, e estando todos os elementos em condições adequadas de operação, testes manuais de abertura e fechamento podem ser realizados para atestar a qualidade dos elementos mecânicos.

Após a etapa de inspeção mecânica, deverão ser inspecionados os elementos eletromecânicos, tais como contatos auxiliares, relé de contato, bobinas de abertura e fechamento.

A figura 11 mostra os dados contidos numa bobina de abertura, tais elementos devem ser verificados com a ajuda de um multímetro para validar as informações apresentadas.

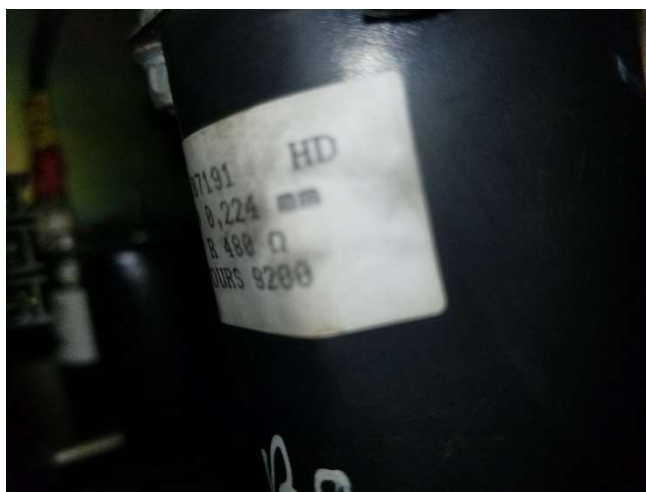


Figura 11- Dados de placa da bobina de abertura ou bobina de fechamento.

Para os contatos auxiliares e relés de contato, devem ser identificados a posição normalmente aberto e normalmente fechado, e os mesmos devem ser submetidos a um teste de continuidade e atender as condições de acordo com a posição correspondente de aberto ou fechado do disjuntor.

A verificação dos elementos eletromecânicos que compõem os disjuntores deve contemplar os seguintes itens:

1. Carregamento manual do dispositivo acumulador de energia (mola);
2. Operação manual de abertura e fechamento;
3. Operação pelo comando elétrico de abertura e fechamento;
4. Verificação do funcionamento do contator de operações;
5. Posição dos contatos auxiliares e relés condizente com estado aberto/fechado;
6. Correta sinalização de estado aberto/fechado, assim como estado do acumulador de energia;

Nos próximos capítulos serão apresentados ensaios elétricos para validação das condições elétricas de operação dos disjuntores, sendo estes ensaios uma etapa seguinte a inspeção, uma vez que não foram encontradas condições impeditivas para tais ensaios.

5. Ensaio em dispositivos seccionantes

Os tópicos deste capítulo irão apresentar e descrever os métodos de ensaios a serem realizados no disjuntor de alta tensão com a finalidade de determinar se o mesmo apresenta boas condições de suas características elétricas e com isso, elaborar um laudo técnico a respeito do equipamento.

Por sua vez, estes ensaios devem atender parâmetros normativos de grandezas elétricas aplicáveis de acordo com as características próprias do disjuntor, desta forma poderá ser garantida a qualidade dos ensaios, além de atender as condições de temperatura e humidade do ambiente em que se encontra.

Os ensaios de campo são uma forma precisa para determinação da qualidade das características elétricas dos transformadores de instrumentação, uma vez que fornecem valores numéricos para critérios de avaliação e comparação.

Nos próximos tópicos serão apresentados todos os instrumentos necessários para a realização destes ensaios, indicando seus principais componentes e uma breve explicação sobre as grandezas aplicadas e medidas pelos respectivos equipamentos para que o mesmo obtenha resultados de forma exata e precisa.

5.1. Ensaio de rigidez dielétrica

O ensaio de rigidez dielétrica tem como objetivo determinar as condições do meio isolante que separa a alta tensão de elementos que em situação normal de operação, deveriam estar inseridos numa condição de potencial de tensão distintos.

Este ensaio deverá determinar, em valores de resistência, a condição da isolação que separa cada polo individualmente das partes metálicas dos mecanismos de operação e da isolação que deverá existir na câmara de extinção de arco quando o disjuntor estiver na condição “aberto”.

5.1.1. Princípio de funcionamento do ensaio

O equipamento utilizado para o ensaio de rigidez dielétrica, ou ensaio de resistência de isolamento, é denominado megôhmetro, através da aplicação de um nível elevado de tensão, este equipamento é capaz de fazer circular alguma corrente pelo meio isolante, que deverá ser

medida para então calcular o valor de resistência do meio dielétrico. A figura 12 apresenta os principais elementos de um megôhmetro.



Figura 12- Principais elementos de um megôhmetro digital.

Os elementos numerados do megôhmetro apresentado na figura 12 são:

1. Botão tipo gangorra liga/desliga;
2. Botão “Start” para iniciar o ensaio;
3. Botão “Stop” para interromper o ensaio;
4. Botão “Hold” para segurar o resultado do teste no display após a interrupção do ensaio.
5. Botão de verificação de estado da bateria;
6. Conjunto de botões para seleção de escala de tensão a ser aplicada de acordo com a classe de isolamento do equipamento a ser ensaiado;
7. Display para visualização das informações e resultados de ensaio;
8. Terminal “V+” positivo de aplicação de tensão;
9. Terminal “Earth” negativo de aplicação de tensão;
10. Terminal “Guard” auxiliar ao teste;
11. Ponto de conexão para recarga da bateria do equipamento;

12. Alerta luminoso de teste em andamento indicando “High Voltage” (Alta tensão).

No ensaio de resistência de isolamento, o megôhmetro deverá aplicar um valor de tensão em corrente contínua condizente com a classe de tensão do isolamento, fixados por norma e apresentados na tabela 2. Após a aplicação da tensão, o equipamento mede a corrente que circula e utiliza os princípios da lei de ohm para calcular o valor de resistência a ser medido.

Tabela 2 - Valor de tensão mínimo a ser aplicado com o Megôhmetro às classes de tensão.

CLASSE DE TENSÃO	TENSÃO CC MÍNIMA APLICADA
Menor ou igual a 1kV	500V
Maior que 1kV e menor ou igual a 69kV	1000 V
Maior que 69kV e menor ou igual a 230kV	2500 V
Maior que 230kV	5000 V

Fonte: (ABNT NBR IEC 62271-1, 2020)

Porém, ao analisarmos o circuito equivalente formado pelos elementos submetidos ao ensaio, é possível perceber a existência de uma capacitância intrínseca a todo meio isolante, uma vez que o ensaio é aplicado em dois elementos metálicos separados por um meio isolante, tal situação é retratada na figura 13. Em vista disso, é necessário manter um tempo de ensaio para que a corrente proveniente deste efeito capacitivo cesse, restando apenas a componente resistiva da corrente, garantido assim um resultado de ensaio fiel a realidade do equipamento.

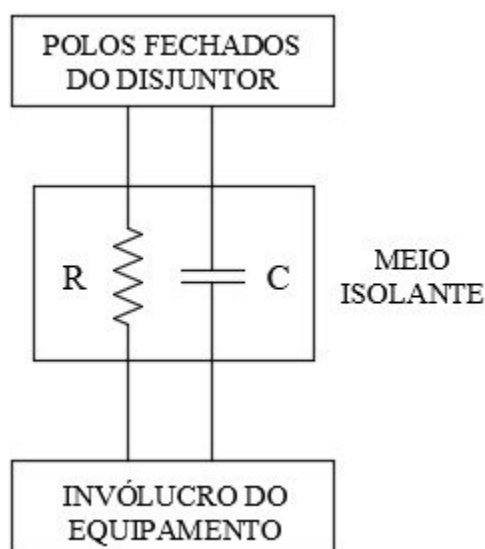


Figura 13 - Circuito equivalente existente proveniente da condição intrínseca da isolação

Outra condição que pode ser percebida na análise do circuito equivalente formado quando da realização do ensaio na condição onde os polos do disjuntor se encontram na posição aberto (medição da rigidez dielétrica da câmara de extinção de arco), figura 14, podemos perceber uma situação de resistência de isolamento em paralelo que irá prejudicar os resultados do ensaio.

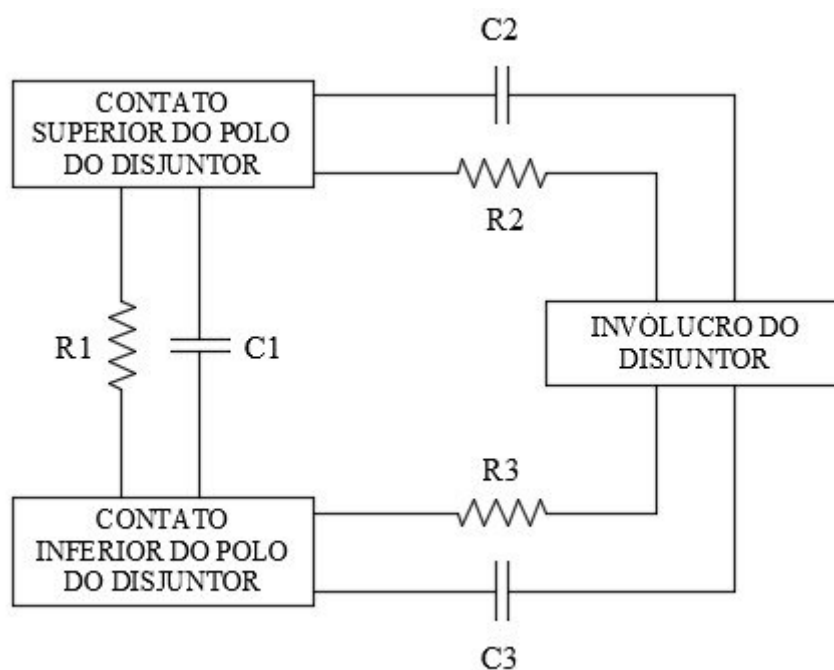


Figura 14 - Circuito equivalente formado pelas resistências de isolamento em um disjuntor aberto

Onde:

R1 – Resistência de isolamento que existe entre os contatos superior e inferior do disjuntor quando este está na posição aberto;

R2 – Resistência de isolamento que existe entre o contato superior do disjuntor e a carcaça metálica;

R3 – Resistência de isolamento que existe entre o contato inferior do disjuntor e a carcaça metálica;

C1 – Efeito capacitivo que surge entre os contatos superior e inferior do disjuntor quando este está na posição aberto;

C2 – Efeito capacitivo que surge entre o contato superior do disjuntor e a carcaça metálica;

C3 – Efeito capacitivo que surge entre o contato inferior do disjuntor e a carcaça metálica;

Para que esta condição seja compensada, o megôhmetro dispõe de um terceiro cabo de teste, que será responsável pela medição que deverá fornecer os dados necessários ao equipamento para que o mesmo realize a correção da medição, e assim, apresentando o valor de resistência de isolamento medida apenas do elemento desejado. A figura 15 mostra como deverá ser feita a ligação utilizando o megôhmetro para que as resistências de isolamento indesejadas sejam desconsideradas.

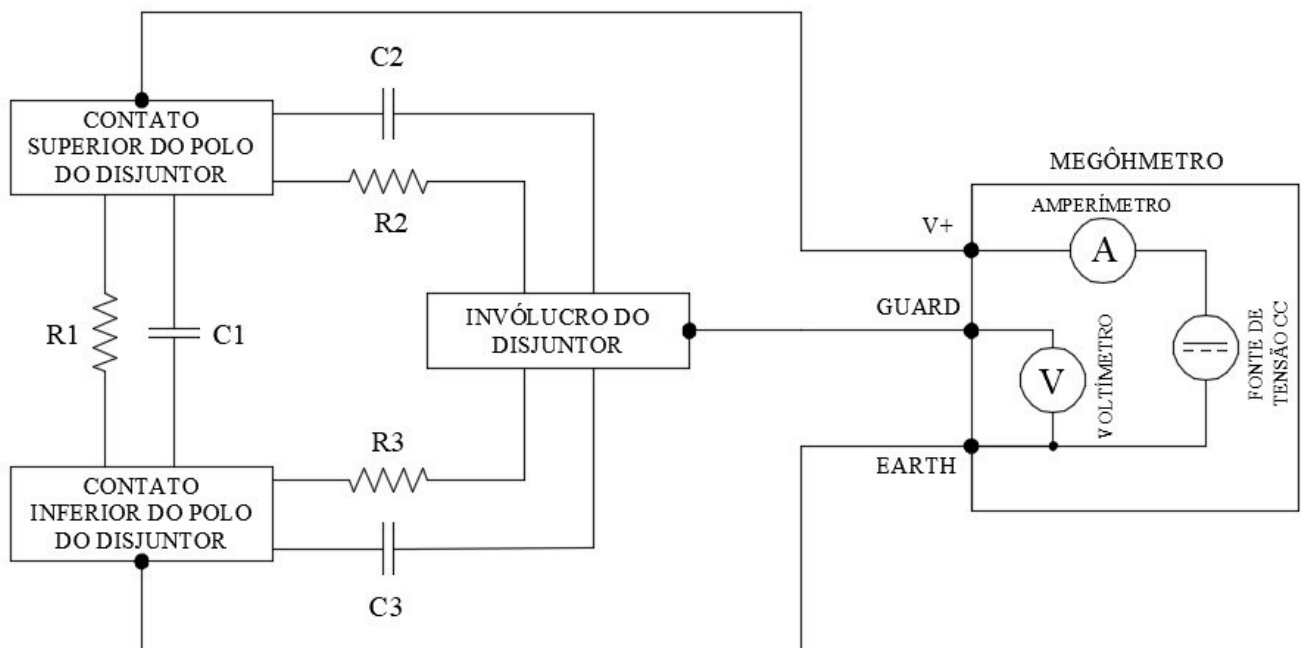


Figura 15 - Circuito equivalente de ensaio de resistência de isolamento utilizando o megôhmetro

5.1.2. Procedimento de ensaio

Todos os procedimentos de ensaios em equipamentos elétricos podem ser divididos em três etapas, sendo estas a etapa de preparativa ao ensaio, o ensaio em si e o pós ensaio. A correta execução da sequência a seguir descrita poderá impactar diretamente na confiabilidade dos resultados dos ensaios, uma vez que certas condições podem mascarar resultados e até por em risco a segurança das pessoas envolvidas.

Etapa 1 – Verificação do equipamento de teste:

1. O equipamento utilizado no ensaio, o megôhmetro, deve estar devidamente calibrado e certificado por um laboratório válido;

2. Testes devem ser realizados no equipamento megôhmetro e seus acessórios para validar sua integridade e condições adequadas para realização dos ensaios.

Etapa 2 – Pré ensaio:

1. Com o auxílio de um termo-higrômetro, verificar as condições de humidade do ar, pois ensaios elétricos não devem ser realizados com humidade relativa do ar acima de 70%;
2. Realizar a desconexão de todos os cabos e barramentos provenientes da alta tensão, com exceção dos cabos de aterramento, sempre identificando os condutores para evitar inversão na hora da montagem;
3. Fazer a limpeza geral do equipamento para remover quaisquer camadas de sujeira que estejam sobre o equipamento, principalmente de partes que desempenham função de meio isolante. Para tal, deverão ser utilizados álcool isopropílico e tecidos que não soltem fiapos ou que deixem quaisquer vestígios na superfície após o seu uso;
4. Realizar inspeção visual em busca de identificar possíveis situações impeditivas para os ensaios ou prosseguimento das atividades necessárias;
5. Realizar testes de operação manual do equipamento objeto de ensaio.

Etapa 3 – Ensaio:

1. Identificar e interpretar os dados de placa do disjuntor para determinação das configurações de ensaio e tensões que serão aplicadas nestas;
2. Realizar a montagem do teste de acordo com a figura 16 para medição da resistência de isolamento entre polos fechados e invólucro e de acordo com figura 17 para medição da resistência entre polo superior e polo inferior do disjuntor. A medição de resistência de isolamento entre diferentes polos quando fechados apenas deverá ser feita quando estes forem separados por meios que não sejam o ar ou partes metálicas aterradas;
3. Verificar a correta disposição dos cabos e partes metálicas não relacionadas ao ensaio. Para o ensaio de resistência de isolamento, a resistência de contato que deverá existir entre as garras do megôhmetro e as partes metálicas do disjuntor não serão relevantes e em nada irão impactar no ensaio, mas como se trata de um ensaio de aplicação de altos valores de tensão, deve-se ter o cuidado para não energizar partes metálicas acidentalmente;
4. Iniciar os ensaios aplicando níveis de tensão adequados durante pelo menos 1 minuto ou até que o valor se mantenha estável por um mínimo de 10 segundos.
5. Encerrar o ensaio e tomar nota do valor medido.

Etapa 4 – Pós ensaio:

1. Com o auxílio de um condutor conectado ao aterramento e luvas isolantes, realizar o contato das partes metálicas que foram submetidas a alta tensão com o aterramento. Este procedimento visa eliminar qualquer carga acumulada proveniente de efeitos capacitivos;
2. Realizar a montagem das conexões de cabos e barramentos para voltar a condição original de operação do equipamento.

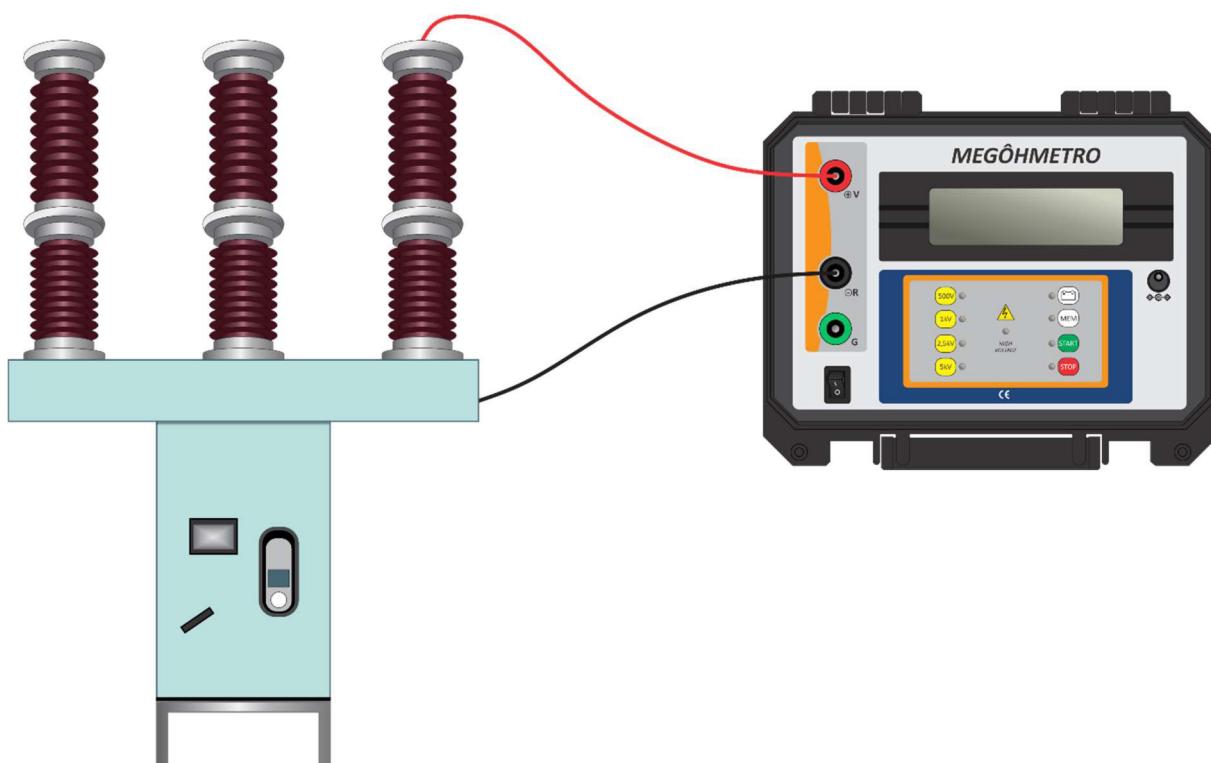


Figura 16 - Esquema de ligação para medição da resistência de isolamento entre polos fechados do disjuntor e invólucro metálico

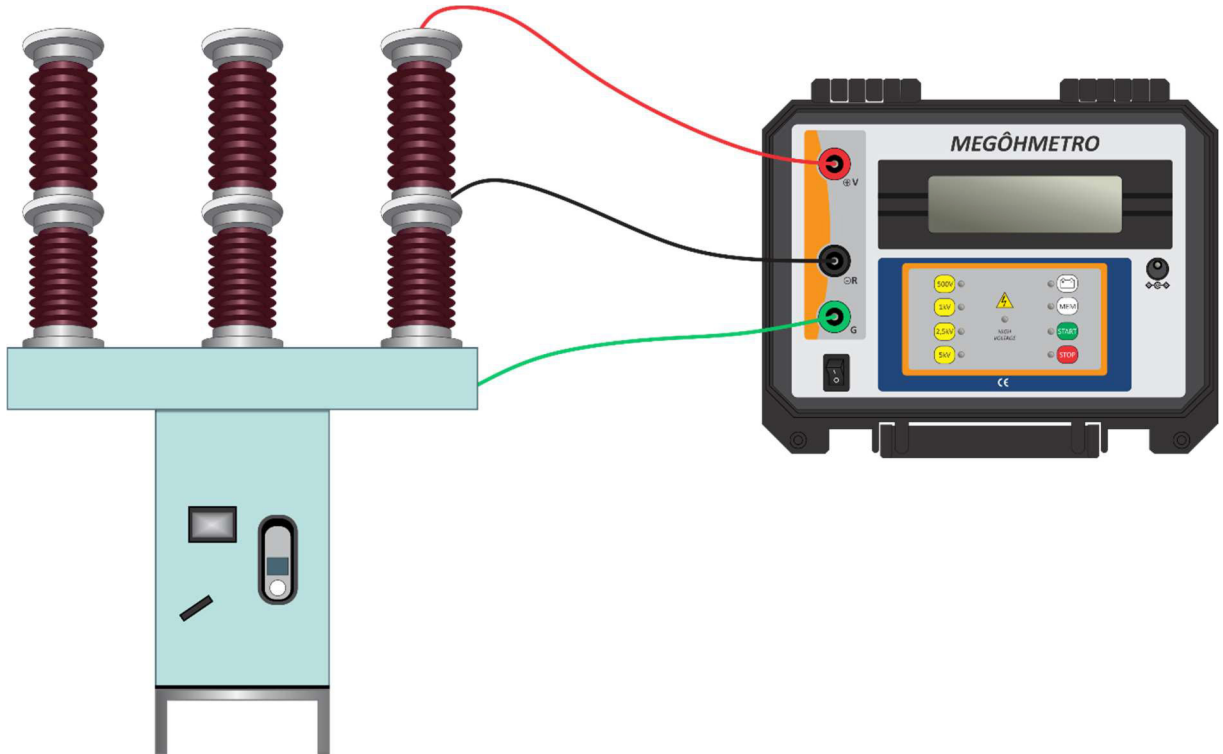


Figura 17 - Esquema de ligação para medição da resistência de isolamento da câmara de extinção de arco de um disjuntor

5.1.3. Critério de avaliação

Todos os resultados de ensaios deverão ser avaliados de maneira adequada com o objetivo de se chegar a uma conclusão precisa quanto ao estado de conservação do equipamento e de suas características elétricas. Para isso, existem alguns critérios que podem servir de embasamento para tais avaliações.

Antes de levar os resultados obtidos para comparação aos critérios de avaliação, é necessário a realização da correção da resistência de isolamento medida a temperatura ambiente para uma dada temperatura de referência, e para isso, deve-se utilizar a equação 3.

$$R_{X^{\circ}C} = \frac{R_{Y^{\circ}C}}{2\left(\frac{X^{\circ}C - Y^{\circ}C}{10}\right)} \quad (3)$$

Onde:

$R_{X^{\circ}C}$ – Resistência de isolamento na temperatura de referência;

$R_{Y^{\circ}C}$ – Resistência de isolamento na temperatura de ensaio;

$X^{\circ}C$ – Temperatura de referência;

$Y^{\circ}\text{C}$ – Temperatura do ensaio;

As normas de referência que tratam sobre disjuntores de alta tensão não estabelecem valores mínimos ou ideias de resistência de isolamento, uma vez que cada fabricante e tecnologia aplicada terão um desempenho diferente. Desta forma, os critérios disponíveis para ser aplicados são:

1. Teste de aceitação de fábrica (TAF) – Relatório emitido pelo fabricante do equipamento para aprovação de conformidade;
2. Relatórios de manutenções anteriores – Como alternativa ao TAF, pode-se utilizar dos históricos de ensaios no equipamento como forma de avaliar a evolução das características elétricas.
3. Comparação direta – Em situações onde se dispõem de mais de um equipamento para ensaio, comparar os resultados obtidos entre polos e entre equipamentos é uma ótima referência para avaliação individual de cada equipamento, uma vez que estes devem evoluir igualmente em suas características elétricas quando submetidos as mesmas condições de operação.

5.2. Ensaio de resistência de contato

O objetivo do ensaio de resistência ôhmica dos contatos é determinar, a resistência que existe entre cada um dos polos superiores e inferiores de um disjuntor, quando este estiver na posição fechado, normalmente dada em micro ou miliohms.

Em posse desses resultados, é possível determinar a condição de preservação dos contatos de potência, responsáveis pela condução ou interrupção de grandes valores de corrente, uma vez que a condição de operação sob carga e a força mecânica de operação exercida, exprimem nos contatos um grande desgaste.

5.2.1. Princípio de funcionamento do ensaio

Para o ensaio de resistência ôhmica de contatos é utilizado o microhmímetro, equipamento mais recomendado para medições de resistências de micro e miliohms. Uma vez que a resistência a ser medida é de baixo valor ôhmico, é necessário a injeção de um valor de corrente inversamente proporcional ao valor de resistência que se deseja medir. Desta forma, utilizando o princípio da lei de ohm, o equipamento irá calcular a resistência. A figura 18 apresenta os principais elementos de um microhmímetro.



Figura 18 - Principais elementos de um microhmímetro digital

Os elementos numerados do microhmímetro apresentado na figura 18 são:

1. Botão tipo gangorra liga/desliga.
2. Botão “Start” para iniciar o ensaio.
3. Botão “Stop” para interromper o ensaio.
4. Botão “Hold” para segurar o resultado do teste no display após a interrupção do ensaio.
5. Botão de verificação de estado da bateria.
6. Conjunto de botões para seleção de escala de resistência que se deseja medir.
7. Display para visualização das informações de ensaio.
8. Terminal positivo de injeção de corrente.
9. Terminal positivo de medição de tensão.
10. Terminal negativo de medição de tensão.
11. Terminal negativo de injeção de corrente.
12. Conector para realização de conexão do equipamento com malha de aterramento.
13. Ponto de conexão para recarga da bateria do equipamento.
14. Controle analógico de injeção de corrente de 0 – 100%.

O princípio de funcionamento do microhmímetro é utilizar da lei de ohm para mensurar o valor de resistência de contato. A resistência de contato dos disjuntores costuma ser de valor muito baixo, por isso, o microhmímetro deverá injetar um valor de corrente e medir a tensão que surge nos terminais do polo ensaiado. A figura 19 ilustra o circuito equivalente do ensaio.

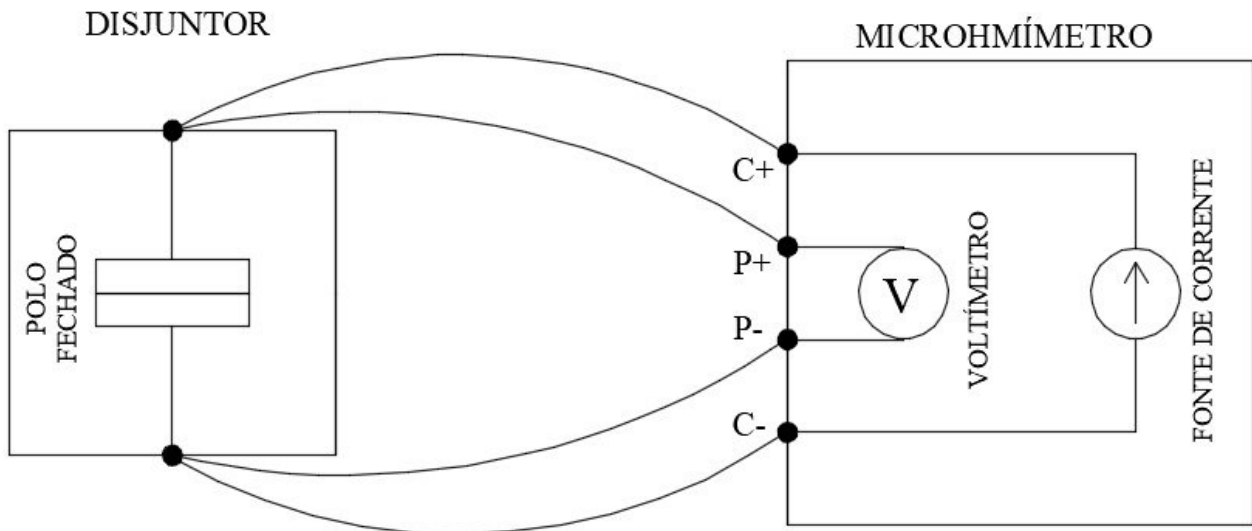


Figura 19 - Circuito equivalente do ensaio com o microhmímetro

Este ensaio é realizado com a injeção de corrente e medição de tensão em regime contínuo, pois se deseja medir apenas o valor da resistência. A realização do ensaio com grandezas em regime alternado provocaria a medição de impedâncias, o que não é objetivo do ensaio.

Como consequência das grandezas aplicadas e medidas, é natural que haja a necessidade de um par de cabos para injeção de corrente, e um par para leitura de tensão, caso contrário, ao injetar corrente e ler tensão, o equipamento iria somar a resistência de seus cabos, a resistência de contato de seus cabos com o equipamento e a resistência de contato do polo, e assim apresentaria um resultado errôneo para o ensaio.

5.2.2. Procedimento de ensaio

Novamente serão apresentadas as quatro etapas principais para correta execução do ensaio, onde sempre deverá ser seguido os critérios de segurança.

Etapa 1 – Verificação do equipamento de teste:

1. O equipamento utilizado no ensaio, o microhmímetro, deve estar devidamente calibrado e certificado por um laboratório válido;
2. Testes devem ser realizados no equipamento microhmímetro e seus acessórios para validar sua integridade e condições adequadas para realização dos ensaios.

Etapa 2 – Pré ensaio:

1. Realizar inspeção visual em busca de identificar possíveis situações impeditivas para os ensaios ou prosseguimento das atividades necessárias;
2. Realizar testes de operação manual do equipamento objeto de ensaio.
3. Realizar a desconexão de todos os cabos e barramentos provenientes da alta tensão, com exceção dos cabos de aterramento, sempre identificando os condutores para evitar inversão na hora da montagem. Caso seja garantido um único caminho de circulação de corrente, através dos contatos fechados do polo, não será necessário fazer estas desconexões;

Etapa 3 – Ensaio:

1. Realizar a montagem do teste de acordo com a figura 20, para medição da resistência de contato do polo do disjuntor em estado de fechado;
2. Verificar a correta disposição dos cabos e partes metálicas não relacionadas ao ensaio. Para o ensaio de resistência de contato, a resistência de contato que deverá existir entre as garras do microhmímetro e as partes metálicas do disjuntor não serão relevantes e em nada irão impactar no ensaio;
3. Iniciar os ensaios com valor de corrente zerado e ir incrementando o valor até próximo de 90% da escala máxima do microhmímetro, desta forma, a leitura deverá estabilizar no valor de resistência medida;
4. Encerrar o ensaio e tomar nota do valor medido.

Etapa 4 – Pós ensaio:

1. Realizar a montagem das conexões de cabos e barramentos para voltar a condição original de operação do equipamento, caso tenham sido realizadas as desconexões.

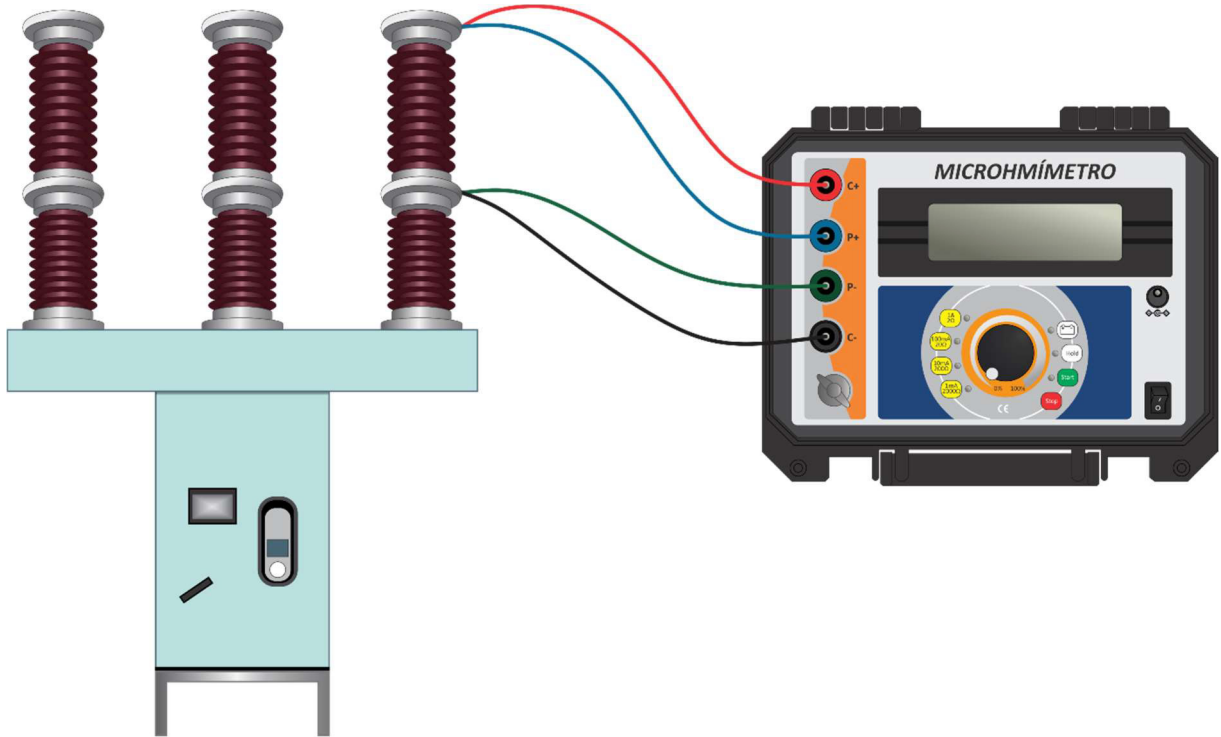


Figura 20 - Esquema de ligação para medição da resistência de contato do polo fechado de um disjuntor

5.2.3. Critério de avaliação

Os valores obtidos nos ensaios de resistência ôhmica de contatos também deverão ser submetidos a uma correção pelo fator de temperatura de referência. Para isto, a equação 4 servirá a esse propósito.

$$R_{W^{\circ}C} = \frac{R_{Z^{\circ}C} * (W^{\circ}C + 234,5)}{(Z^{\circ}C + 234,5)} \quad (4)$$

Onde:

$R_{W^{\circ}C}$ – Resistência ôhmica do enrolamento na temperatura de referência;

$R_{Z^{\circ}C}$ – Resistência ôhmica do enrolamento na temperatura de ensaio;

$W^{\circ}C$ – Temperatura de referência;

$Z^{\circ}C$ – Temperatura do ensaio;

As normas de referência que tratam sobre disjuntores de alta tensão não estabelecem valores mínimos ou de referências de resistência de contato, uma vez que o perfil mecânico do contato varia. Desta forma, os critérios disponíveis para ser aplicados são:

1. Teste de aceitação de fábrica (TAF) – Relatório emitido pelo fabricante do equipamento para aprovação de conformidade;
2. Relatórios de manutenções anteriores – Como alternativa ao TAF, pode-se utilizar dos históricos de ensaios no equipamento como forma de avaliar a evolução das características elétricas.
3. Comparação direta – Em situações onde se dispõem de mais de um equipamento para ensaio, comparar os resultados obtidos entre polos e entre equipamentos é uma ótima referência para avaliação individual de cada equipamento, uma vez que estes devem evoluir igualmente em suas características elétricas quando submetidos as mesmas condições de operação.

5.3. Ensaio de oscilografia

O ensaio de oscilografia tem como objetivo a verificação da simultaneidade de abertura e fechamento dos polos do disjuntos no momento da operação, como também identificar anomalias na operação destes.

A perfeita simultaneidade de abertura dos polos de um disjuntor garante uma rápida extinção do arco formado durante o processo, a falha acarreta envelhecimento precoce da capacidade de interrupção e vida útil das operações que o disjuntor é capaz de realizar, podendo tal situação provocar a explosão e conseqüente perda total do disjuntor.

Em se tratando o fechamento, a falha na simultaneidade acarretará em envelhecimento precoce dos contatos, limitando assim a vida útil de operações do disjuntor.

5.3.1. Princípio de funcionamento do ensaio

O oscilógrafo, nada mais é do que um osciloscópio com características específicas para melhor desempenhar sua função, ao qual foi projetado, em capo. Diferente dos ensaios anteriores, ele utiliza do princípio do circuito divisor de tensão para realizar as leituras da mudança de estado aberto para fechado e fechado para aberto dos polos do disjuntor. A figura 21 apresenta os principais elemento do oscilógrafo.



Figura 21 - Principais elementos de um oscilógrafo digital

Os elementos numerados do oscilógrafo apresentado na figura 21 são:

1. Conector de alimentação/carregamento de bateria.
2. Botão tipo gangorra para ligar e desligar o equipamento.
3. Display para visualização das informações de ensaio.
4. Conjunto de botões para configuração e controle do equipamento.
5. Botão "Start" para iniciar o ensaio.
6. Botão "Stop" para encerrar o ensaio.

7. Conjunto de canais para leituras de sinais simultaneamente.
8. Ponto de conexão de referência comum para captação dos sinais.
9. Botão “esc” auxiliar para navegação na interface do equipamento.
10. Botão “menu” auxiliar para navegação na interface do equipamento.
11. Botão “scrooll/cursor” para seleção do intervalo de tempo desejado.
12. Botão “time/div” para ajuste da escala de tempo do ensaio realizado.

Este ensaio é baseado no princípio do circuito divisor de tensão, e é necessário o auxílio da uma fonte de tensão CC, caso o oscilógrafo não provenha uma fonte de tensão própria. A tensão deverá ser aplicada no circuito formado pelo contato de potência do disjuntor em série com uma resistência. Quando uma tensão for aplicada neste circuito, e o disjuntor estiver na posição de aberto, pelo princípio do circuito de tensão, todo o potencial estará localizado nos terminais do polo, e quando o disjuntor estiver na posição de fechado, a queda de tensão estará sobre o a resistência. As figuras 22 e 23 ilustram os circuitos de testes formados para ambas as situações apresentadas anteriormente.

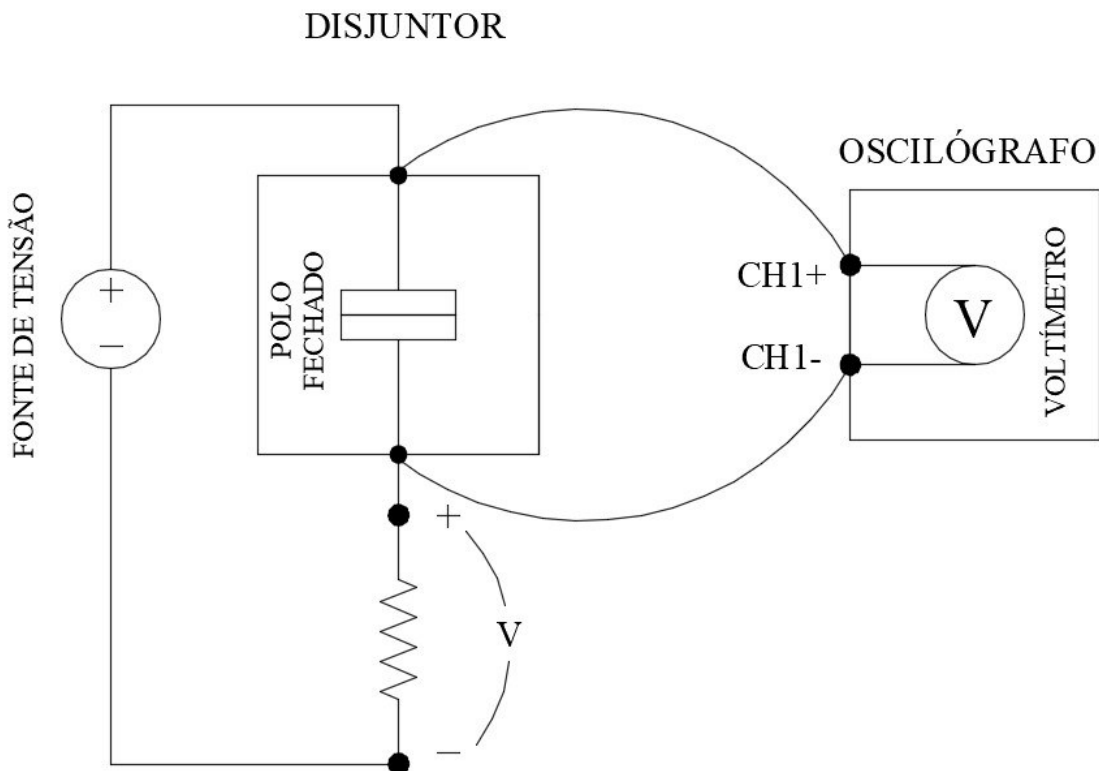


Figura 22 - Esquemático de teste para captura do sinal de abertura do polo do disjuntor

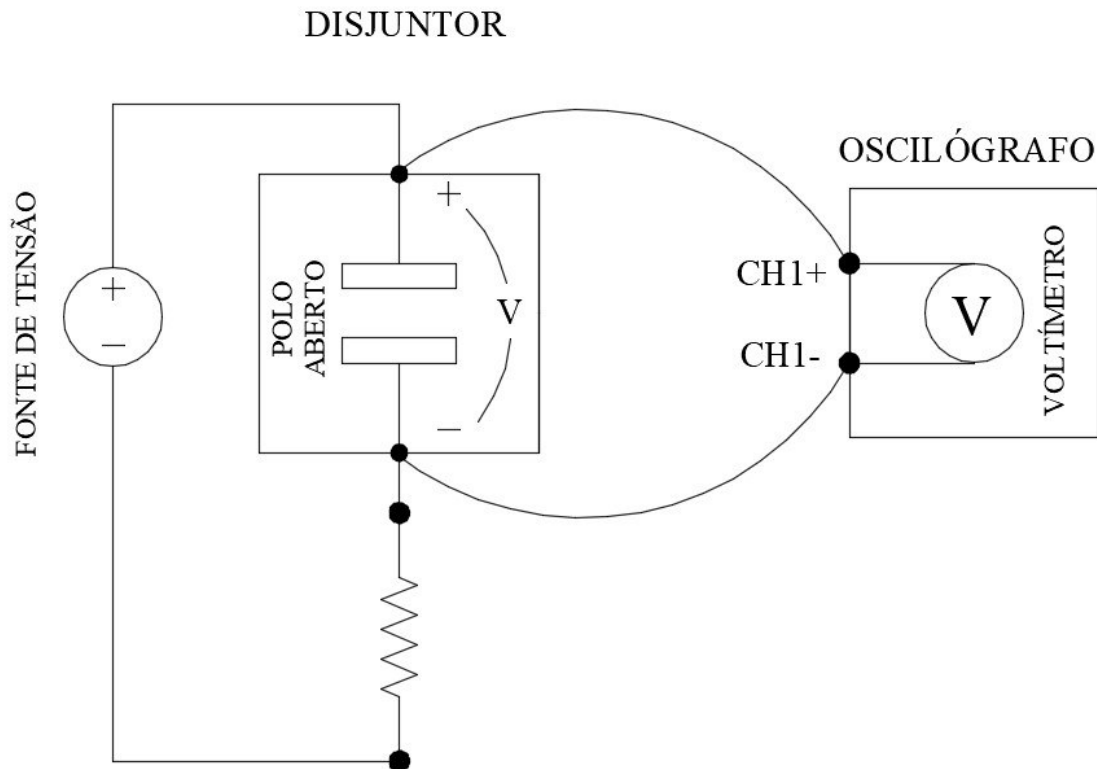


Figura 23 - Esquemático de teste para captura do sinal de fechamento do polo do disjuntor

Nesta configuração de ensaio, é possível para o oscilógrafo, capturar as variações nos níveis de tensão de acordo com o estado de operação do disjuntor, e assim, determinar a qualidade do mesmo.

Apesar do esquemático simplificado apresentado nas figuras anteriores, este procedimento deverá sempre ser realizado nos três polos do disjuntor e na bobina de abertura ou fechamento para determinar os tempos de operação, logo, serão necessários quatro canais para leitura de sinal por parte do oscilógrafo.

As leituras de tempos a serem realizadas quanto a operação de abertura e fechamento são os tempos que cada um dos polos levará para realizar a operação desde o momento do acionamento da respectiva da bobina, e com isso, extrair as seguintes informações:

1. Tempo de abertura/fechamento – tempo decorrido desde o acionamento da bobina até o início de abertura/fechamento do primeiro polo;
2. Discordância máxima entre polos – tempo calculado a partir da diferença entre o tempo de operação do polo mais rápido e o polo mais lento.

5.3.2. Procedimento de ensaio

As quatro etapas principais para correta execução do ensaio são:

Etapa 1 – Verificação do equipamento de teste:

1. O equipamento utilizado no ensaio, o oscilógrafo, deve estar devidamente calibrado e certificado por um laboratório válido;
2. Testes devem ser realizados no equipamento oscilógrafo e seus acessórios para validar sua integridade e condições adequadas para realização dos ensaios.

Etapa 2 – Pré ensaio:

1. Realizar inspeção visual em busca de identificar possíveis situações impeditivas para os ensaios ou prosseguimento das atividades necessárias;
2. Realizar testes de operação manual do equipamento objeto de ensaio.
3. Realizar a desconexão de todos os cabos e barramentos provenientes da alta tensão, com exceção dos cabos de aterramento, sempre identificando os condutores para evitar inversão na hora da montagem. Caso seja garantido um único caminho de circulação de corrente, através dos contatos fechados do polo, não será necessário fazer estas desconexões;

Etapa 3 – Ensaio:

1. Realizar a montagem do teste de acordo com a figura 24, para realização das leituras do tempo de abertura, e para as leituras do tempo de fechamento;
2. Iniciar o modo de captura do oscilógrafo, logo em seguida, realizar a operação correspondente no disjuntor e encerrar o modo de captura;
3. Em algumas situações poderá ser necessário a realização de três leituras para cada modo de operação para se garantir confiabilidade nas leituras realizadas;
4. Encerrar o ensaio e tomar nota dos tempos medidos.

Etapa 4 – Pós ensaio:

1. Realizar a montagem das conexões de cabos e barramentos para voltar a condição original de operação do equipamento, caso tenham sido realizadas as desconexões.

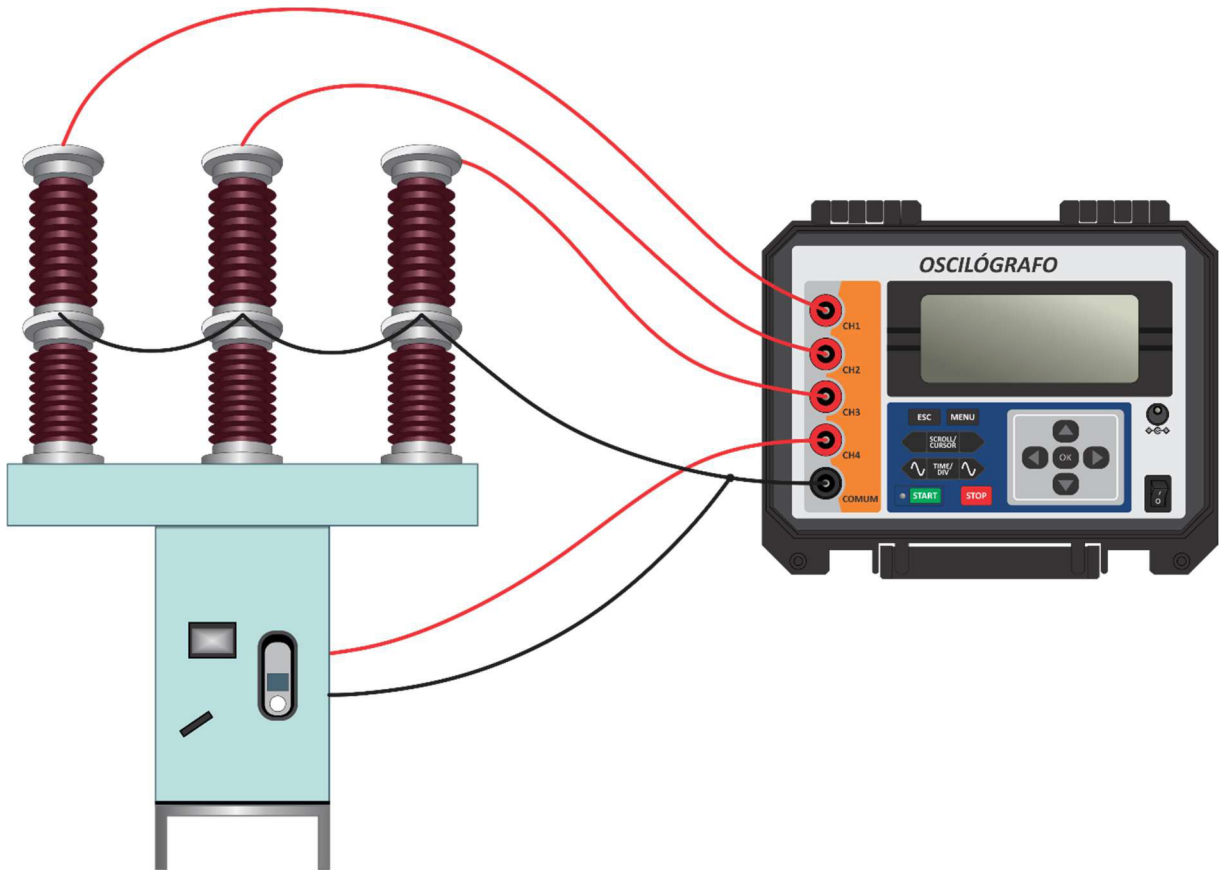


Figura 24 - Montagem do teste para captura do sinal de abertura/fechamento do polo do disjuntor

5.3.3. Critério de avaliação

Como critérios de avaliação para o desempenho de operação de um disjuntor, teremos três situações para avaliação distintas, são elas, avaliar o tempo de abertura do polo mais rápido, tempo de fechamento do polo mais rápido e a discordância de tempo existente entre o polo mais rápido e o polo mais lento.

Em vista disso, temos as referências a serem aplicadas a cada situação, são elas:

1. Dados de placa – Nos dados de placa do disjuntor ou em sua ficha técnica/manual, serão indicadas as faixas de tempo de abertura e de tempo de fechamento, uma vez que o disjuntor também não deve operar mais rápido do que o recomendado;
2. Tempo de meio período da rede – A discordância dos tempos de operação entre polos não pode exceder o tempo de meio período da rede (8,33 ms para frequência de operação de 60 Hz, e 10 ms para frequência de operação de 50 Hz).

A ocorrência de tempos de discordâncias superiores aos anteriormente descritos, quando em situações de falta, podem provocar uma concentração maior da potência de curto circuito

em uma das fases, provocando uma reignição do arco elétrico. Tal evento poderá provocar uma corrente de curto circuito superior a capacidade de interrupção do disjuntor, consequentemente irá provocar danos permanentes ao disjuntor.

Outras situações podem ocorrer que também serão indicativas de que existe algo de errado com o disjuntor, estas serão exemplificadas a seguir. A figura 25 apresenta como os sinais devem se comportar, para indicar uma condição saudável da operação de abertura do disjuntor, e a figura 26 mostra situações onde pode ser identificado um problema no processo de abertura do disjuntor.

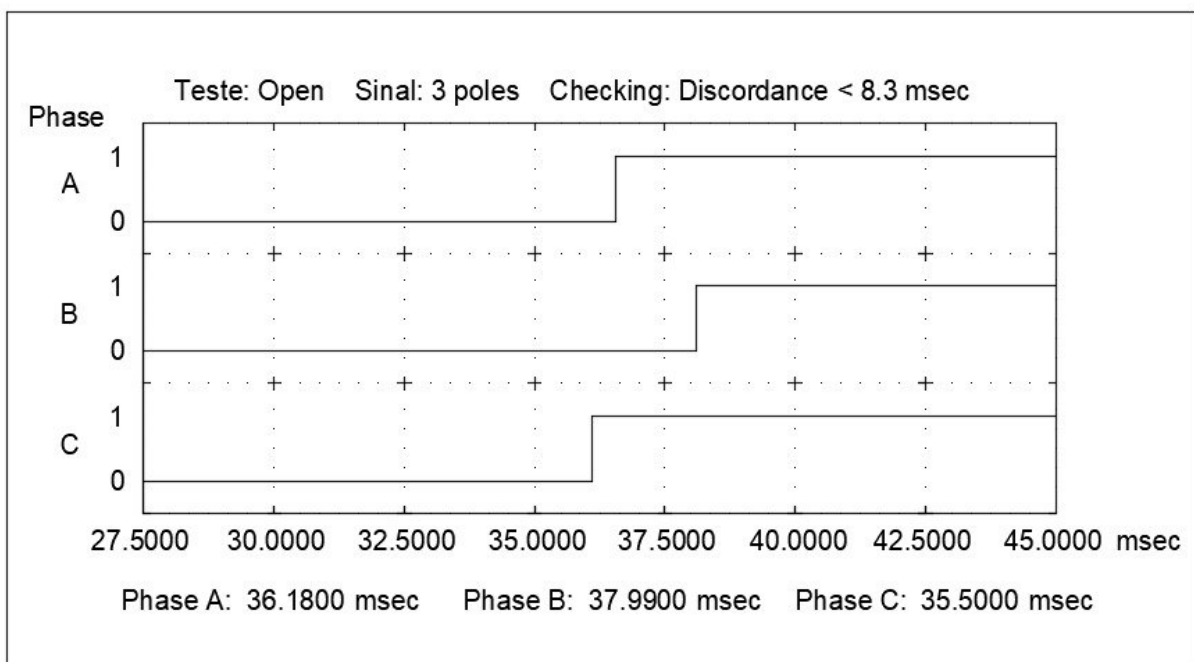


Figura 25 - Sinais de abertura de um disjuntor com operação sincronizada entre polos

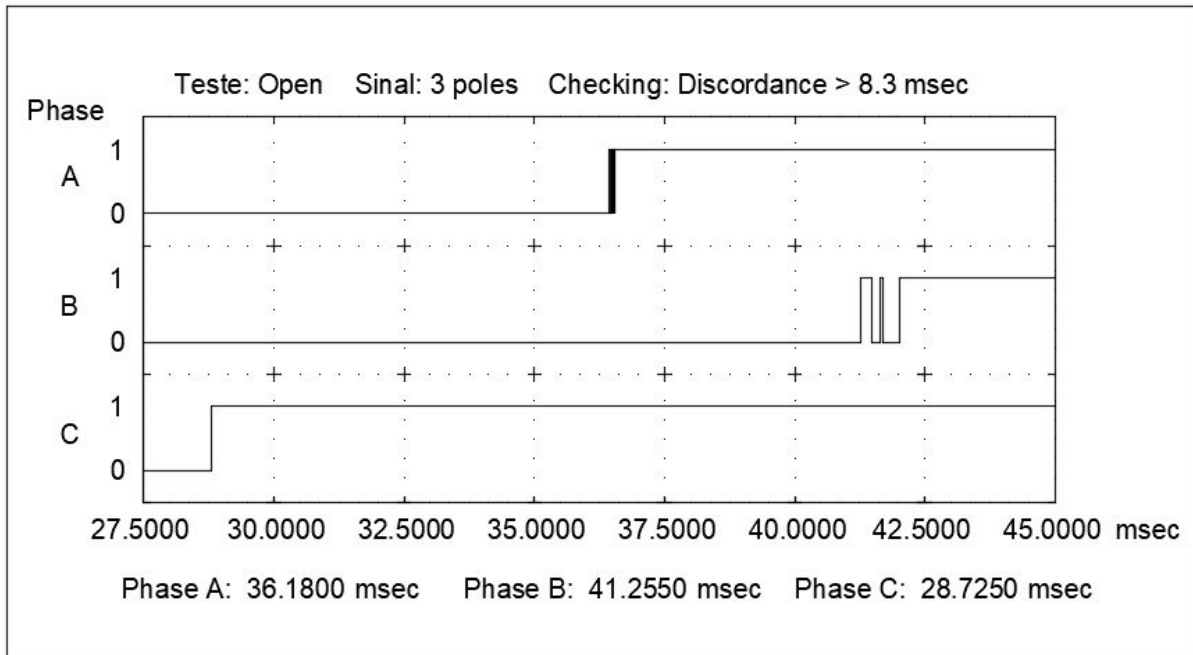


Figura 26 - Sinais de abertura de um disjuntor com discordância de operação entre polos

Como pode ser percebido na figura 26, existe discordância superior a 8,4 ms entre os polos B e C. Outras situações que podem ocorrer, mesmo com bom sincronismo entre polos, é a não operação consistente dos polos, retratado na figura 26 pelos polos A e B. Tais gráficos indicam que houve abertura do polo, mas contatos voltaram a se tocar antes de abertura definitiva dos mesmos.

Gráficos como os apresentados na figura 26 indicam problemas mecânicos nos mecanismos responsáveis pela abertura e fechamento e disjuntor, sendo necessários apenas alguns ajustes em suas peças ou até a substituição das mesmas, a depender da situação, para resolver o problema.

6. Resultados e avaliações

Este capítulo tem por objetivo apresentar os resultados práticos obtidos para cada ensaio no equipamento objeto de estudo, apresentados no capítulo 4, bem como uma avaliação da qualidade das características elétricas do equipamento.

Deverá ser levado em consideração os critérios estabelecidos pelas normas vigentes ou relatório técnico de fábrica do equipamento quando da ausência de critérios normativos.

O disjuntor em questão encontra-se em operação numa indústria, subestação secundária de tensão 13,8kV responsável pela alimentação do setor de maior carga, e conseqüentemente submetida aos maiores níveis de curto-circuito.

6.1. Características do equipamento ensaiado

Antes de qualquer ensaio, deverá ser verificado os dados de placa do disjuntor, apresentado na figura 27 e o relatório técnico de fábrica apresentado no anexo A.

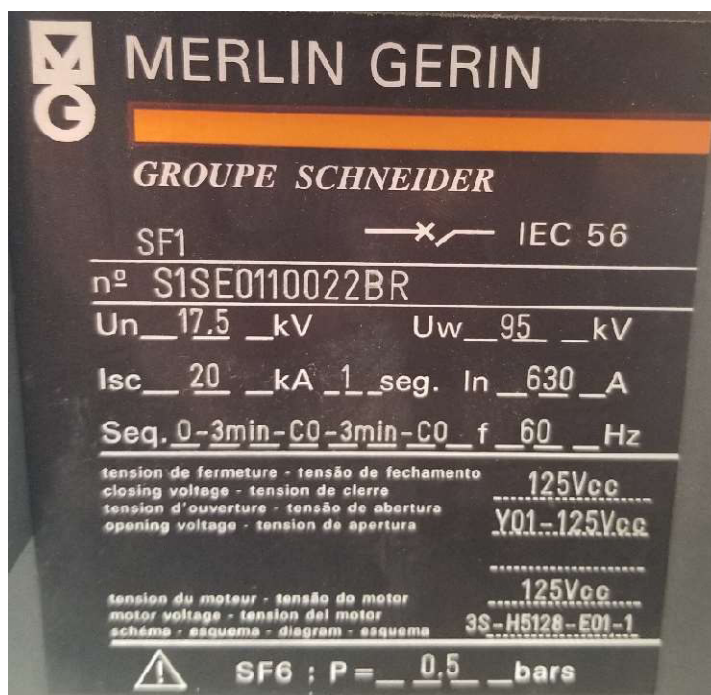


Figura 27 – Dados de placa do disjuntor objeto de estudo

Para o disjuntor objeto de estudo, temos as seguintes características listadas a seguir, retiradas dos dados de placa e do relatório de técnico de fábrica:

- Fabricante: Schneider;
- Tensão nominal: 17,5kV;

- Tensão de impulso atmosférico: 95kV;
- Corrente nominal: 630A;
- Corrente de curto circuito: 20kA / 1seg;
- Tensão de alimentação do comando: 125Vcc;
- Pressão do gás isolante: 0,5bars;
- Sequência de operação: 0-3min-CO-3min-CO;
- Frequência de operação: 60Hz.
- Norma de referência: IEC 56

6.2. Ensaio **práticos**

Todos os ensaios apresentados a seguir foram realizados em ambiente controlado, onde as condições de temperatura e humidade relativa do ar eram conhecidas, controladas e dentro dos padrões normativos considerados adequados para ensaios de grandezas elétricas.

Todos os equipamentos empregados nos ensaios estavam devidamente calibrados (erro conhecido) e em boas condições de uso, cabos de testes não apresentavam emendas ou qualquer outra condição que pudesse colocar em dúvida os resultados dos ensaios.

Os ensaios foram realizados pelo próprio autor deste trabalho, seguindo todas as normas de segurança e com a utilização de EPIs adequados.

6.3. Resultado dos ensaios de rigidez dielétrica

O ensaio de rigidez dielétrica foi realizado seguindo os procedimento e etapas descritas no item 4.1.2. Os ensaios foram realizados em todas as configurações possíveis e em todos os polos do disjuntor, desta forma, obteve-se os resultados apresentados na tabela 3 e tabela 4.

A primeira condição de ensaio, apresentada na figura 28 foi realizada com os polos fechados, desta maneira, é realizado o teste rigidez dielétrica da isolação que separa os elementos condutores da carcaça do equipamento. Na segunda configuração, com os polos do disjuntor abertos, foi medida a rigidez dielétrica das câmaras de extinção de arco de cada polo do disjuntor.



Figura 28 - Ensaio de rigidez dielétrica do disjuntor com os polos fechados

Os ensaios foram realizados em ambiente controlado sob as condições ambiente de temperatura a 27,6°C, umidade relativa do ar igual a 54% e duração da tensão aplicada igual a 1 minuto.

Tabela 3 - Resultado dos ensaios de rigidez dielétrica dos meios isolantes entre polo e carcaça metálica

Disjuntor	Linha (Terminal vermelho)	Earth (Terminal Preto)	Guard	Resistência a temperatura ambiente
Fechado	Polo - R	Massa	-	255,00 GΩ
Fechado	Polo - S	Massa	-	233,00 GΩ
Fechado	Polo - T	Massa	-	310,00 GΩ

Tabela 4 - Resultado dos ensaios de rigidez dielétrica das câmaras de extinção de arco de cada polo

Disjuntor	Linha	Earth	Guard	Resistência a temperatura ambiente
Aberto	Polo - R	Polo - R	Carcaça	542,00 GΩ
Aberto	Polo - S	Polo - S	Carcaça	483,00 GΩ
Aberto	Polo - T	Polo - T	Carcaça	551,00 GΩ

Como descrito no item 4.1.3, se faz necessária a correção com aplicação do fator de temperatura, uma vez que, para que sejam feitas comparações diretas entre resultados e critérios de comparação, todos os valores devem ser referenciados a uma mesma temperatura.

Desta forma, aplicando-se a equação 3, considerando um valor de referência de 75°C, obtemos os valores apresentados nas tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - Resultado dos ensaios de rigidez dielétrica dos meios isolantes entre polo e carcaça metálica

Disjuntor	Linha (Terminal vermelho)	Earth (Terminal Preto)	Guard (Terminal verde)	Resistência a corrigida para 75°C
Fechado	Polo - R	Massa	-	9,54 GΩ
Fechado	Polo - S	Massa	-	8,72 GΩ
Fechado	Polo - T	Massa	-	11,60 GΩ

Tabela 6 - Resultado dos ensaios de rigidez dielétrica das câmaras de extinção de arco de cada polo

Disjuntor	Linha	Earth	Guard	Resistência a corrigida para 75°C
Aberto	Polo - R	Polo - R	Carcaça	20,28 GΩ
Aberto	Polo - S	Polo - S	Carcaça	18,07 GΩ
Aberto	Polo - T	Polo - T	Carcaça	20,62 GΩ

6.3.1. Considerações e avaliações

Condições impeditivas para a realização do ensaio de resistência ôhmica de isolamento serão detectadas na fase de inspeção, onde danos à isolação e/ou alterações no isolador principal serão detectadas.

Em condições adequadas, a resistência de isolamento deve ser igual ou superior aos valores indicados pelo relatório de testes de aceitação de fábrica (TAF), sempre efetuando a correção do fator de temperatura, pois para efeitos comparativos, as medições devem estar referenciadas a uma mesma temperatura.

6.4. Resultados dos ensaios de resistência ôhmica dos contatos

O ensaio de resistência ôhmica dos contatos foi realizado neste disjuntor aplicando-se uma corrente igual a 100A para uma maior precisão dos valores de resistência medidos. O procedimento adota para tal ensaio está descrito no item 4.2.2. e seguiu todas as normas de segurança e boas práticas.

A figura 29 apresenta o ensaio aplicado à fase A do disjuntor utilizado neste trabalho. Com os polos do disjuntor fechado, o ensaio é realizado e os resultados estão presentes na tabela 7 e os resultados após a aplicação da correção do fator de temperatura estão na tabela 8.



Figura 29 - Ensaio de resistência ôhmica do contato da fase A

Os ensaios foram realizados em ambiente controlado sob as condições ambiente de temperatura a 27,4°C e umidade relativa do ar igual a 55%.

Tabela 7 - Resultados do ensaio de resistência ôhmica dos contatos a temperatura ambiente

Polo	Corrente aplicada	Resistência medida a temperatura ambiente
Fase A	100A	47,8 $\mu\Omega$
Fase B	100A	51,2 $\mu\Omega$
Fase C	100A	50,6 $\mu\Omega$

Tabela 8 - Resultados do ensaio de resistência ôhmica dos contatos a 20°C

Polo	Corrente aplicada	Resistência corrigida para 20°C
Fase A	100A	46,45 $\mu\Omega$
Fase B	100A	49,75 $\mu\Omega$
Fase C	100A	49,17 $\mu\Omega$

6.4.1. Considerações e avaliações

Durante o ensaio de resistência ôhmica dos contatos, os valores medidos devem estar dentro da faixa de $\pm 10\%$ em relação aos valores apresentados no relatório de testes de aceitação de fábrica, quando referenciados a uma mesma temperatura.

Caso sejam medidos valores fora de faixa, que se mantenham, mesmo com abertura e fechamento dos contatos, indicam certo grau de desgaste dos mesmos. Caso haja variações nos valores medidos, quando efetuada uma nova abertura e fechamento, isto pode indicar anomalias no mecanismo de abertura e fechamento do disjuntor.

6.5. Resultados dos ensaios de tempos de abertura e fechamento

Os testes de tempo de abertura e fechamento utilizando-se o oscilógrafo foram realizados conforme procedimento apresentado no item 4.3.2. Com o intuito de se detectar anomalias no mecanismo de abertura e fechamento, o ensaio foi realizado 3 vezes para cada tipo de comando, desta forma, foi possível a captura de uma amostragem de operação.

As figuras 30, 31, e 32 exibem os resultados obtidos em 3 comandos de aberturas distintos e as figuras 33, 34 e 35 apresentam os sinais de fechamento. Os comandos foram dados através de botoeiras, e onde o sinal da bobina de abertura e fechamento também foi capturado,

sendo este o marcador zero de tempo, uma vez que o oscilógrafo possui uma entrada de disparo conectada em paralelo ao comando de abertura e fechamento do disjuntor.

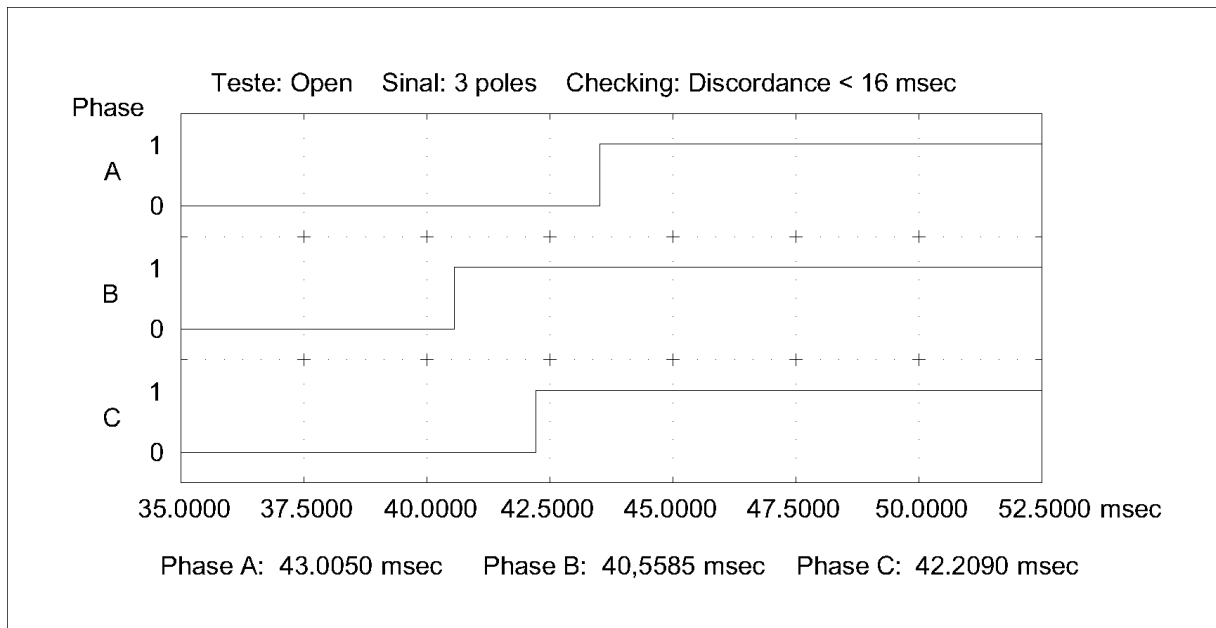


Figura 30 - Sinais de abertura dos 3 polos, primeira captura

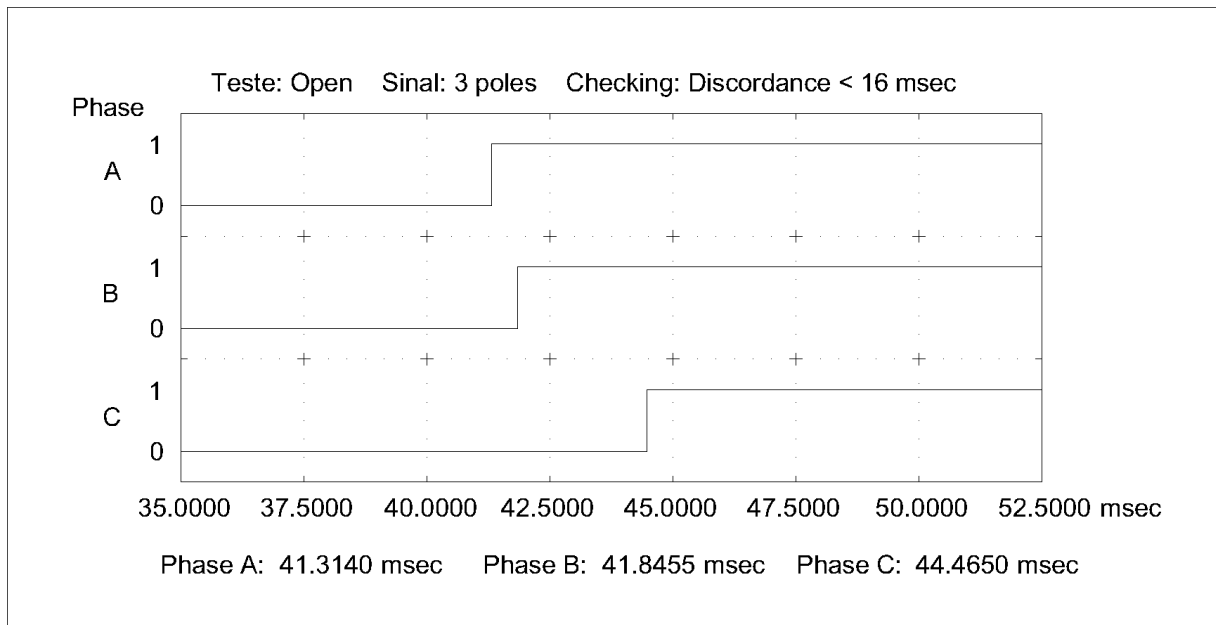


Figura 31 - Sinais de abertura dos 3 polos, segunda captura

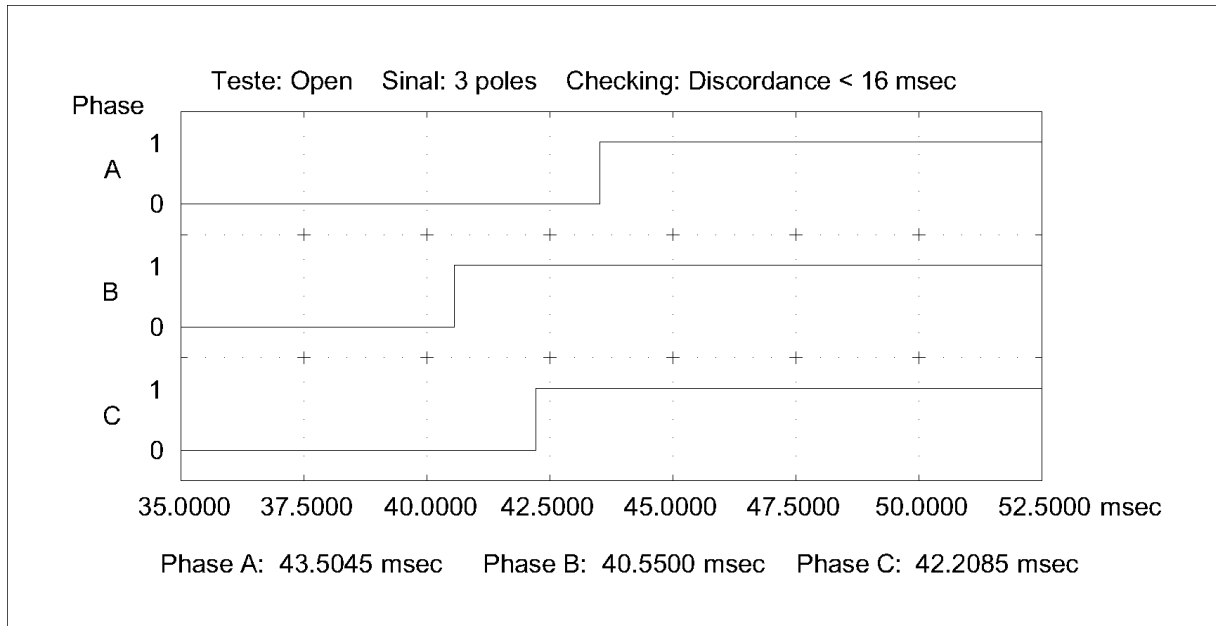


Figura 32 - Sinais de abertura dos 3 polos, terceira captura

A tabela 9 apresenta, de maneira resumida, os tempos de abertura capturados dos 3 comandos de aberturas efetuados, acompanhados dos erros, tomando como base o relatório de teste de fábrica que indica um tempo de abertura igual a 42 ± 3 ms.

Tabela 9 - Resumo dos tempos de abertura

Comando	Tempos de operação de abertura					
	Polo A (ms)	Erro (ms)	Polo B (ms)	Erro (ms)	Polo C (ms)	Erro (ms)
01	43,0050	1,0050	40,5585	-1,4415	42,2090	0,2090
02	41,3140	-0,6860	41,8455	-0,1545	44,4650	2,4650
03	43,5045	1,5045	40,5500	-1,4500	42,2085	0,2085

Sendo a maior discordância entre os polos nos 3 comandos de abertura executados encontrado no segundo teste, sendo igual a 3,1510 milissegundos, entre os polos A e C.

A seguir, as figuras referentes aos comandos de fechamento.

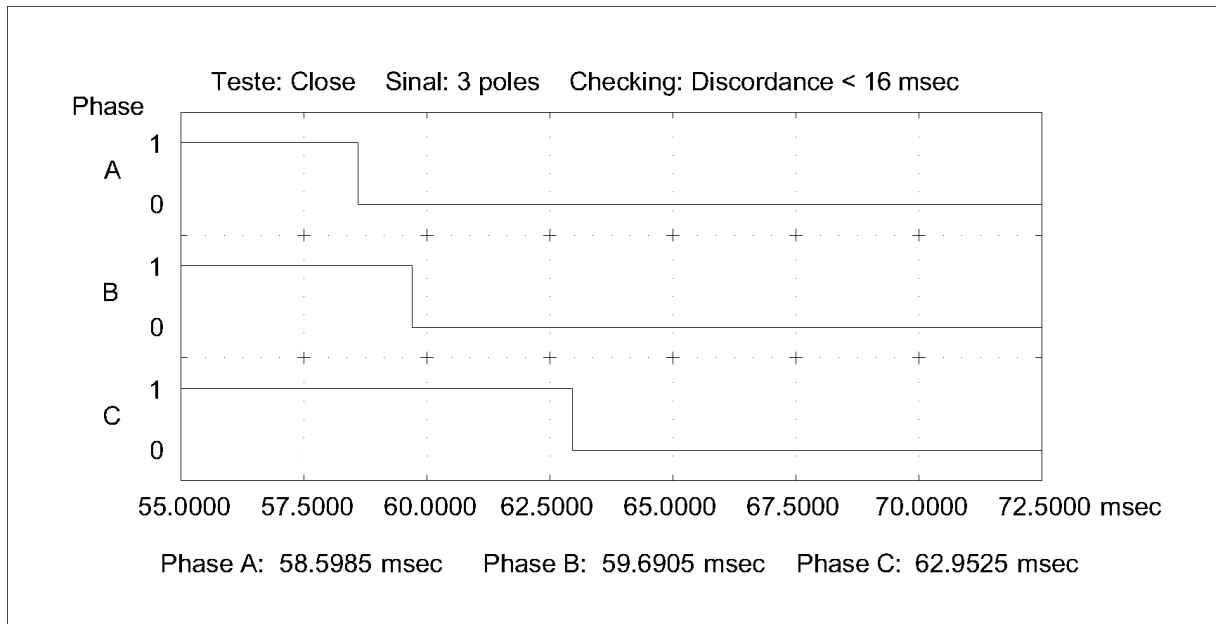


Figura 33 - Sinais de fechamento dos 3 polos, primeira captura

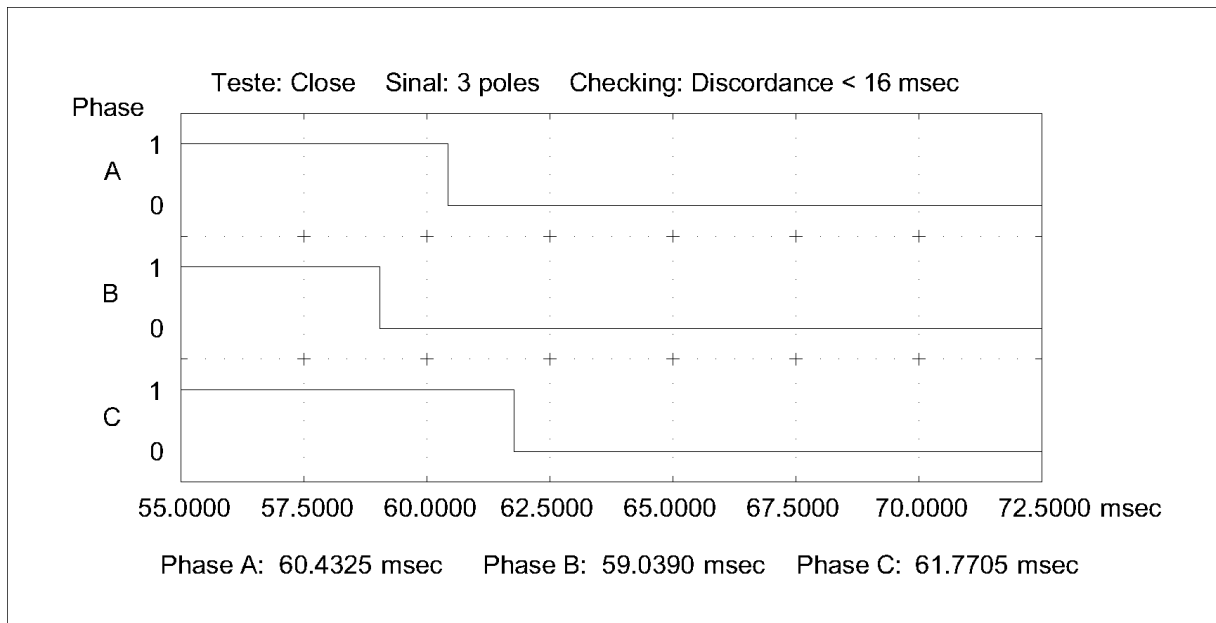


Figura 34 - Sinais de fechamento dos 3 polos, segunda captura

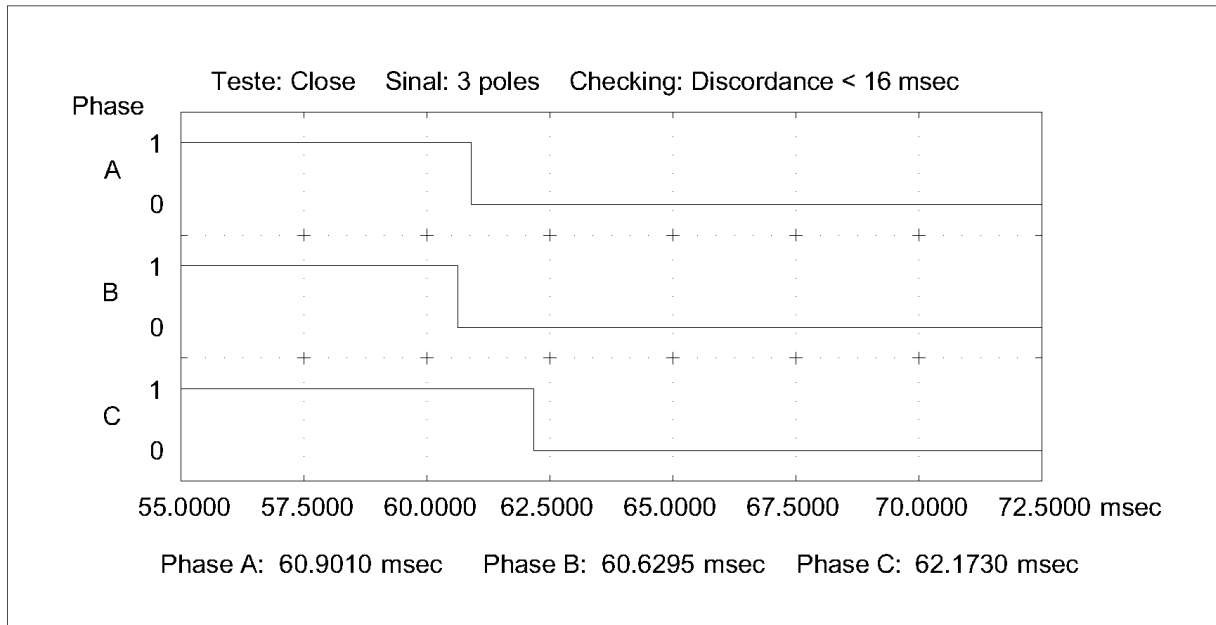


Figura 35 - Sinais de fechamento dos 3 polos, terceira captura

A tabela 10 apresenta, de maneira resumida, os tempos de fechamento capturados dos 3 comandos de fechamento efetuados, acompanhados dos erros, tomando como base o relatório de teste de fábrica que indica um tempo de fechamento igual a 60 ± 3 ms.

Tabela 10 - Resumo dos tempos de fechamento

Comando	Tempos de operação de fechamento					
	Polo A (ms)	Erro (ms)	Polo B (ms)	Erro (ms)	Polo C (ms)	Erro (ms)
01	58,5985	-1,4015	59,6905	-0,3095	62,9525	2,9525
02	60,4325	0,4325	59,0390	-0,9610	61,7705	1,7705
03	60,9010	0,9010	60,6295	0,6295	62,1730	2,1730

Sendo a maior discordância entre os polos entre os 3 comandos de fechamento executados sendo igual a 4,3540 milissegundos, entre os polos A e C no primeiro teste.

6.5.1. Considerações e avaliações

Como mencionado anteriormente, discordâncias superiores a 8,3 milissegundos podem provocar uma reignição do arco elétrico formando quando da abertura dos polos dos disjuntores. Tal situação não foi evidenciada neste equipamento.

Todos os tempos de abertura e fechamento em todas as 6 simulações de comando estiveram dentro da margem considerada adequada pelo fabricante ($42\pm 3\text{ms}$ para abertura e $60\pm 3\text{ms}$ para fechamento). Estando o equipamento aprovado neste ensaio.

7. Conclusões

Neste trabalho foram apresentados métodos dos principais ensaios realizados nos Disjuntores de Alta Tensão e critérios de avaliação para diagnóstico e avaliação das condições de operação do mesmo. Como objetivo principal, foi gerado um documento em forma de Instrução de Trabalho seguindo padrões e recomendações segundo normas nacionais e internacionais, de modo a servir como procedimentos de execução para realização de tais ensaios.

Primeiramente, construiu-se um embasamento teórico sobre os elementos que compõem os Disjuntores, com propósito de relatar os principais conceitos e definições referenciados na norma IEC 62271-100 (2021) que são imprescindíveis para o entendimento dos procedimentos de ensaios dos Disjuntores de Alta Tensão, bem como as demais definições pertinentes para o entendimento destes equipamentos.

Foram demonstrados detalhadamente os principais tipos de ensaios aplicados aos Disjuntores de Alta Tensão, seguindo orientações das normas associadas. Por fim demonstrou-se a realização prática de tais ensaios, discussão dos resultados e consequências para a operação adequada do equipamento.

Por meio procedimentos descritos neste trabalho, certifica-se que a manutenção preventiva, análise e interpretação dos resultados é necessária e fundamental para o mantimento do equipamento em condições propícias de funcionamento no sistema. O material gerado tem por objetivo contribuir para o setor de manutenção do Sistema Elétrico de Potência e para a comunidade acadêmica de forma que por meio de sua consulta, possam ser realizados os ensaios necessários e exigidos por normas nos Disjuntores de Alta Tensão.

Os resultados analisados e realizados tomaram-se como referência a aplicação prática dos procedimentos de ensaios descritos, observando-se que para todas as situações e ensaios os Disjuntores de Alta Tensão mantiveram seus valores dentro dos limites estipulados por normas e recomendações de fabricantes.

Para trabalhos futuros, sugere-se a elaboração de um documento e/ou livro cuja abrangência quanto os ensaios não fiquem limitadas apenas às características elétricas. Neste cenário, exige-se uma análise mais cuidadosa e minuciosa, e aplicação de componentes de elevada qualidade, uma vez que elementos mecânicos também estão submetidos a estresse operacional.

8. Referências bibliográficas

- [1] FILHO, João Mamede. **Manual de equipamentos elétricos**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- [2] FRONTIN, Sérgio de Oliveira. **Equipamentos de alta tensão – prospecção e hierarquização de inovações tecnológicas**. 1. ed. Brasília: Teixeira, 2013.
- [3] OLIVEIRA, José Carlos de. **Transformadores: Teoria e ensaios**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2018.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14039: Instalações elétricas de média tensão 1,0 kV a 36,2 kV**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2021.
- [5] IEC 62271. High-voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear. **IEC Std 62271-1 - 2021**, 2021.
- [6] IEC 62271. High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers. **IEC Std 62271-100 - 2021**, 2021.
- [7] IEC 62271. High-voltage switchgear and controlgear – Part 102: Alternating current disconnectors and earthing switches. **IEC Std 62271-102 - 2022**, 2022.
- [8] ANSI/IEEE C37.09. Ieee standard test procedures for AC high-voltage circuit breakers with rated maximum voltage above 1000V. **IEEE Std C37.09 - 2018**, 2018.