

---

## 24 AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO ELÉTRICO UTILIZANDO TENSÕES DE CORRENTE CONTÍNUA

### 24.1 INTRODUÇÃO

A utilização de tensões de corrente contínua na avaliação do estado do isolamento de uma máquina elétrica é uma das técnicas mais usadas e mais úteis na manutenção elétrica.

Curiosamente, o pessoal de manutenção, mesmo nos níveis técnicos e de engenharia, não tem um conhecimento profundo sobre o assunto.

Muitos são os fatores que interferem nas medições da resistência de isolamento. É importante conhecê-los para minimizá-los.

Os ensaios apresentados podem ser utilizados em manutenção preventiva e também como ensaio único para se determinar as condições do isolamento. Entretanto eles são muito mais úteis quando utilizados no controle preventivo preditivo.

### 24.2 ISOLAMENTO ELÉTRICO

O isolamento tem a finalidade de evitar que a corrente elétrica percorra caminhos indesejáveis em um equipamento.

Desta forma um isolamento ideal seria aquele que, quando submetido a um potencial elétrico adequado, não fosse percorrido por nenhuma corrente elétrica, ou seja, tivesse uma resistência infinita.

O isolante real, entretanto, tem uma resistência finita e, quando submetido a um potencial elétrico, é percorrido por uma corrente.

Durante a sua vida útil, um isolamento é submetido a uma série de fenômenos físicos e químicos - danos mecânicos, vibração, aquecimento, poeira, óleo, vapores corrosivos, umidade - capazes de reduzir a sua resistência à corrente de fuga.

Geralmente, a queda da resistência de isolamento se dá de uma forma lenta, permitindo controle, se testado periodicamente.

### 24.3 APLICANDO TENSÃO CONTÍNUA NO ISOLAMENTO

Quando se aplica uma tensão de corrente contínua em um isolante, como já vimos, flui sobre a superfície e através do isolante uma corrente elétrica. Esta corrente é uma resultante de três componentes, conforme Fig 97.

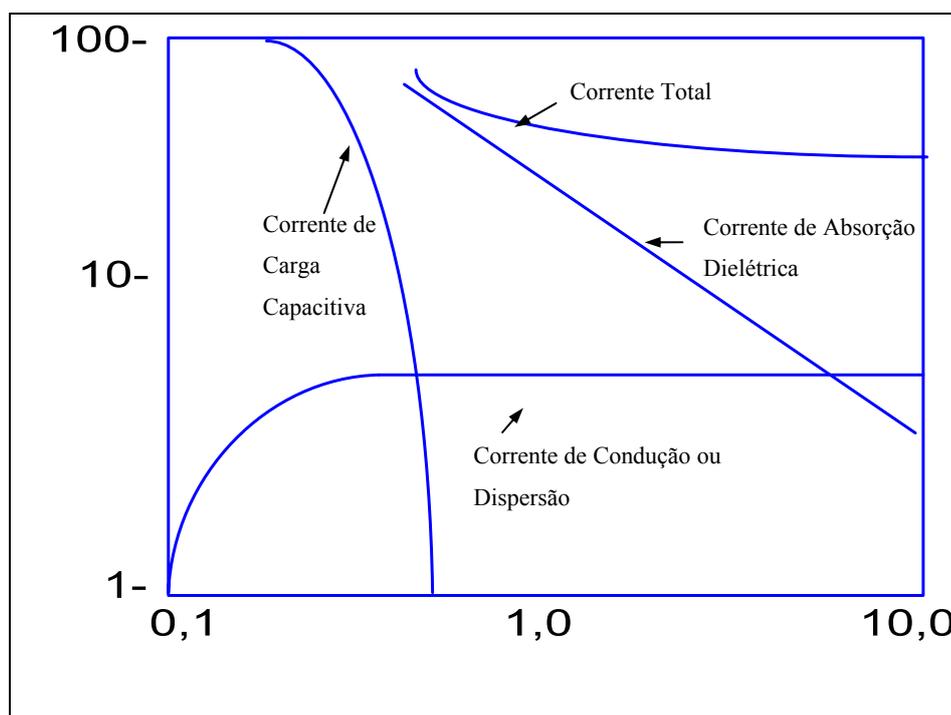


Fig 97 Componentes de corrente em um teste de isolamento com corrente contínua.

#### 24.3.1 Corrente de Carga Capacitiva

É a corrente necessária para carregar a capacitância natural do material em teste. Esta capacitância depende do tamanho, forma e material isolante a ser ensaiado.

Esta componente inicia-se num valor máximo, decrescendo a um valor desprezível num tempo muito curto.

#### 24.3.2 Corrente de Absorção Dielétrica

Esta corrente circula através do corpo do isolante e seu valor é variável com o tempo. Porém esta variação é mais lenta que a componente anterior, podendo requerer várias horas para atingir um valor desprezível.

---

### **24.3.3 Corrente de Condução (Corrente de Fuga)**

É a corrente que flui sobre ou através do isolante, sendo invariável com o tempo.

## **24.4 FATORES QUE AFETAM A RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO**

### **24.4.1 Efeito das Condições da Superfície**

Materiais estranhos tais como pó de carvão nas superfícies do isolamento fazem diminuir a resistência de isolamento, principalmente quando em presença de umidade.

Este fato é particularmente sensível no caso de máquinas de corrente contínua que tem grandes superfícies de dielétricos expostos. É importante fazer uma limpeza nos terminais dos equipamentos antes de se fazer um teste.

### **24.4.2 Efeito da Umidade**

O grau de umidade do isolamento tem um grande efeito sobre o valor da resistência de isolamento, principalmente se a superfície está contaminada.

Se a temperatura do isolamento está abaixo do ponto de condensação do ar ambiente, haverá a formação de uma película de umidade na superfície que pode diminuir a resistência de isolamento.

Para evitar a condensação da umidade os testes devem, sempre que possível, serem executados quando o isolamento do equipamento estiver acima da temperatura ambiente.

### **24.4.3 Efeito da Temperatura**

A resistência de isolamento da maioria dos materiais varia inversamente com a temperatura.

Para minimizar o efeito da temperatura, quando comparando testes de resistência de isolamento entre si ou, quando aplicando o valor mínimo recomendado de resistência de isolamento, é importante que o valor medido no teste seja corrigido para uma temperatura padrão.

---

É importante frisar que os valores de correção são diferentes para equipamentos diversos tais como motores, transformadores, cabos elétricos, como também diferentes quando se trata de cabos com materiais isolantes diversos - cabos isolados em PVC, EPR, XLPE, etc.

Os coeficientes de correção ( $K_t$ ) e as temperaturas padrões serão discutidas ainda neste capítulo.

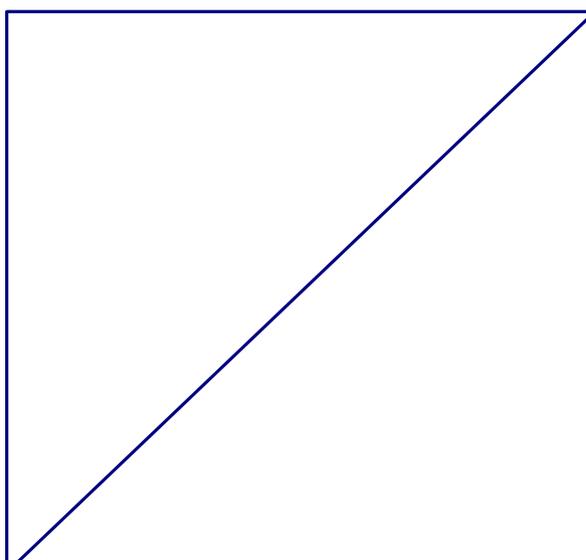


Fig 98 Coeficiente de correção da resistência de isolamento para máquinas elétricas em função da temperatura

#### 24.4.4 Efeito do Valor do Potencial de Teste

Os valores de resistência de isolamentos secos e em boas condições devem variar muito pouco em função do valor da tensão de teste. Se a resistência de isolamento cai significativamente com um aumento da tensão aplicada, pode ser uma indicação de imperfeições ou fraturas do isolamento, agravado pela presença de sujeira e/ou umidade, ou pode ser devido apenas aos efeitos da sujeira e umidade.

Entretanto, quando se aplica tensões de teste acima da tensão nominal do equipamento, a variação do valor da resistência de isolamento pode ser mais pronunciada.

---

### 24.4.5 Efeito da Duração do Teste

A resistência de isolamento medida num enrolamento aumentará com o tempo de aplicação da tensão de corrente contínua. O aumento será rápido assim que a tensão for aplicada, aproximando-se de um valor constante enquanto o tempo decorre.

A resistência de isolamento de um enrolamento seco e em boas condições pode continuar a aumentar por horas. Contudo, um valor estável é usualmente alcançado em 10 ou 15 minutos. Se o enrolamento está úmido ou sujo, o valor estável será geralmente alcançado em 1 ou 2 minutos, após a aplicação da tensão de teste.

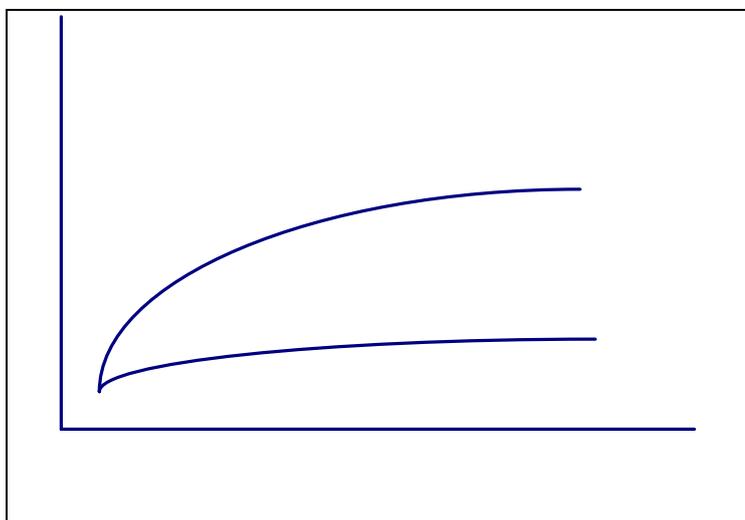


Fig 99 Variação dos valores de resistência de isolamento com o tempo de aplicação da tensão para enrolamentos contaminados e não contaminados.

### 24.4.6 Efeito da Carga Residual

Os valores de resistência de isolamento serão afetados se existirem cargas residuais no enrolamento. O equipamento a ser ensaiado deve ser completamente descarregado, através do aterramento de seus terminais por um tempo suficiente. Normalmente este tempo não deve ser inferior a quatro vezes o tempo decorrido no teste anterior.

## 24.5 TENSÃO NOMINAL E MÁXIMA TENSÃO DE TESTE

Os testes para avaliação das condições do isolamento utilizando tensões contínuas de valor abaixo do valor nominal de teste, só verifica as condições de contaminação do isolamento.

---

Considera-se tensão nominal de teste o valor da tensão em volts, corrente contínua, compatível com a classe de tensão da máquina ensaiada.

A menos de outra recomendação estabelecido por norma ou pelo fabricante, a tensão nominal de teste é igual a:

$$T_{NT} = 1,7 \times V_N$$

onde,

$V_N$  = classe de tensão do equipamento ou enrolamento.

$T_{NT}$  = Tensão nominal de teste

Por exemplo, a tensão nominal de teste para um motor de baixa tensão cuja classe de tensão é 600V é igual a  $600 \times 1,7 = 1020V$ . Para o enrolamento secundário de um transformador 13800/440V cuja classe de tensão é de 1200V, a tensão nominal de teste é  $1200 \times 1,7 = 2040V$ .

Os testes com corrente contínua realizados com tensão acima da tensão nominal de teste são capazes de verificar falhas ou imperfeições do dielétrico, tais como fissuras, imperfeições ou bolhas no isolamento.

Os testes chamados de alto potencial (Hypot) devem ser limitados a uma tensão máxima, acima da qual o isolamento pode não ser capaz de suportar. A menos de recomendações de normas ou do fabricante, as tensões máximas em corrente contínua que podem ser aplicadas a um isolamento são:

- Para equipamentos novos, na fábrica:  $(2KV + 1) \times 1,7$ .
- Para equipamentos novos, antes de operar, fora da fábrica:  $(2KV + 1) \times 1,7 \times 0,8$ .
- Para equipamentos em uso:  $1,25 \text{ a } 1,5 \times KV \times 1,7$

Onde  $KV$  é a classe de tensão do isolamento sob teste em kV.

O fator  $1,7$  é usado para converter tensão de corrente alternada em contínua.

## 24.6 TESTES DE AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO

---

### 24.6.1 Resistência de Isolamento a 1 Minuto

É o teste mais comum. Liga-se o instrumento de medição no isolamento a ser testado deixando-o ligado por um período curto, porém definido, normalmente 1 minuto, fazendo então a leitura.

Este ensaio é muito importante quando existem registros anteriores, para que os valores possam ser comparados. Valores decrescentes devem ser investigados e o equipamento deve sofrer manutenção para que os valores de resistência de isolamento sejam restabelecidos. Fig 100.

O valor de medição isolada pode ser somente uma referência grosseira para se concluir se o isolamento está bom ou ruim, apesar de existir, para cada tipo de equipamento, valores estabelecidos como mínimos aceitáveis.

Máquinas maiores, por terem mais material isolante, apresentam valores de resistência de isolamento menores que as máquinas de menor potência, similares.

Para obtenção de bons resultados é imprescindível, entre outros, os cuidados:

- Os valores devem ser lidos sempre no mesmo tempo após a aplicação da tensão de teste - 60 segundos.
- Os valores devem ser convertidos para a mesma temperatura.
- Fazer medição sempre na mesma posição de teste, utilizando a mesma tensão.

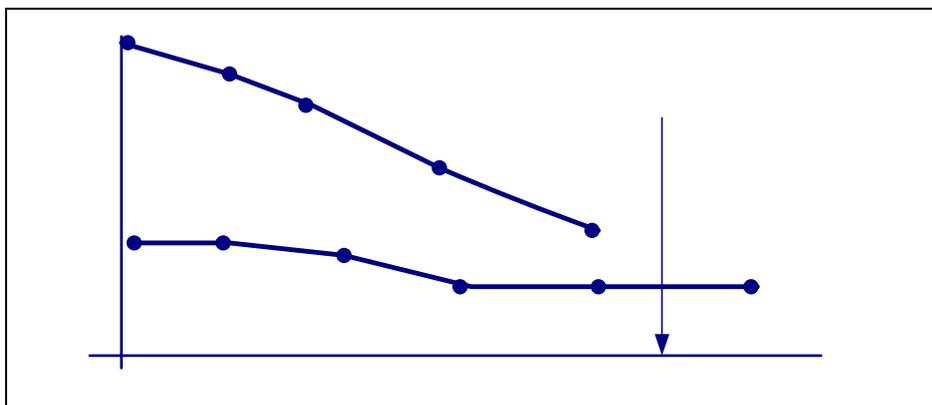


Fig 100 A máquina A falhou primeiro que a B. A tendência dos valores é muito mais importante que o próprio valor.

### 24.6.2 Método Resistência - Tempo. Índice de Polarização (IP)

Este método é completamente independente da temperatura. Ele é baseado no efeito de absorção do bom isolamento, comparado com o isolamento úmido ou contaminado.

---

Este ensaio é executado ligando-se o megôhmetro aos terminais do equipamento a ser ensaiado, medindo-se os valores da resistência de isolamento em função do tempo de aplicação da tensão, registrando num gráfico Megohms x Minutos. Normalmente usa-se os tempos de 15, 30, 45 e 60 segundos e de minuto a minuto até 10, ou somente 1 e 10 minutos.

Observe através da Fig 101 que o bom isolamento apresenta um aumento contínuo da resistência com o tempo praticamente durante todo o período de teste. No caso de um enrolamento úmido ou contaminado, o valor da resistência de isolamento aumenta muito pouco ou nada, a partir dos 30 ou 60 segundos de aplicação da tensão.

O teste resistência versus tempo é muito valioso também porque ele é independente do tamanho do equipamento. Por exemplo, o aumento da resistência de isolamento de enrolamentos limpos e secos ocorre da mesma maneira, quer os motores sejam pequenos ou grandes. Pode-se, então, comparar vários motores e estabelecer padrões para os outros, independente de suas potências nominais.

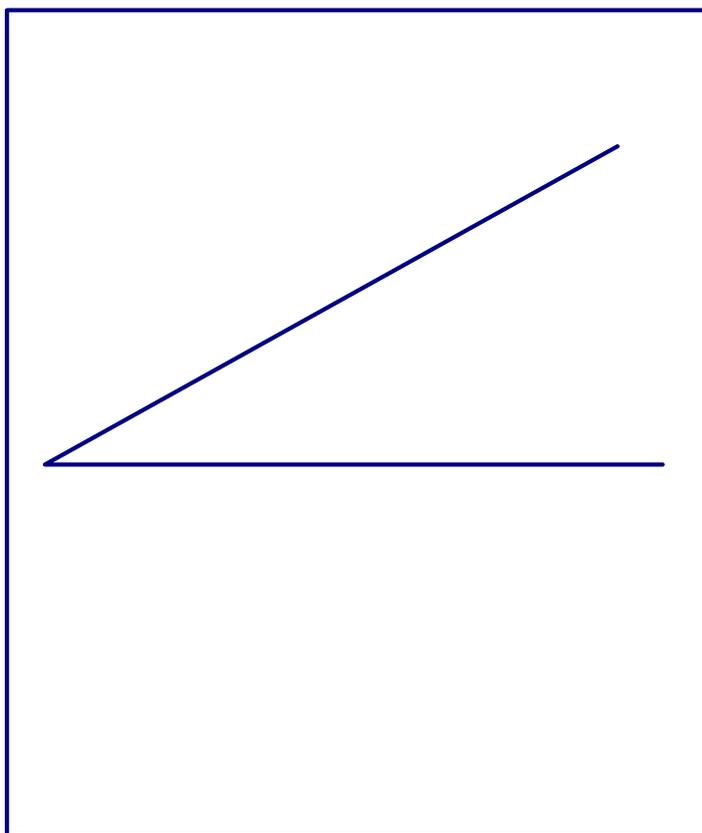


Fig 101 Curvas típicas mostrando o efeito da absorção dielétrica em teste resistência-tempo.

---

O teste de resistência x tempo em equipamentos elétricos com isolamento em boas condições, requer instrumento com fundo de escala de alto valor (normalmente da ordem de 50.000 a 100.000 Megohms ou mais).

A relação das leituras de resistências de isolamento obtidas com 10 e 1 minuto é chamada de Índice de Polarização e pode ser comparado com valores da Tabela 20. Estes valores são tentativos e relativos - sujeitos à experiência, válidos para motores elétricos.

É possível encontrar enrolamentos com valores de índice de Polarização iguais ou maiores que 5, secos e quebradiços, sujeitos a falharem em condições de sobretensões, por exemplo, durante a energização. Estes enrolamentos devem ser tratados com vernizes apropriados para que tenham suas boas condições restabelecidas.

Tabela 20 Condição do isolamento em função do Índice de Polarização (IP).

<i>Condições do Isolamento</i>	<i>Índice de Polarização</i> (10/1 minuto)
<i>Péssimo</i>	Menor que 1,0
<i>Duvidoso</i>	1,0 a 2,0
<i>Bom</i>	2,0 a 4,0
<i>Excelente</i>	Acima de 4,0

### 24.6.3 Teste de Multitensão

Neste teste o isolamento elétrico é submetido a duas tensões de ensaios, descarregando-se o isolamento entre os ensaios.

As tensões devem estar numa relação de 1:5, por exemplo, 500 e 2500 Volts e a tensão mais alta não deve ser maior que a tensão nominal do isolamento.

Nos isolamentos em bom estado, obtém-se valores de resistência de isolamento próximos nas duas tensões.

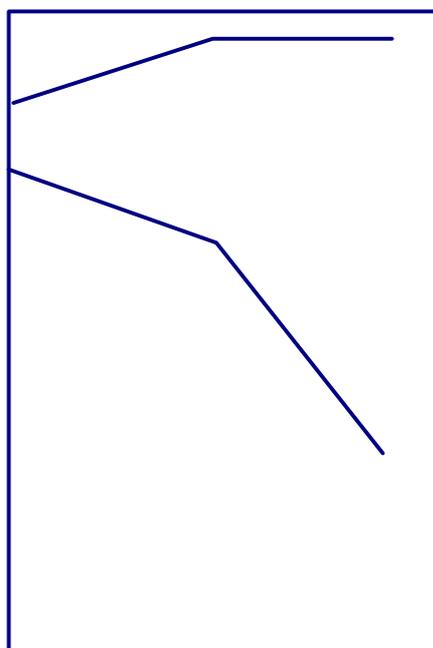


Fig 102 Teste de Multitensão - curva 1 mostra queda sensível da resistência com o aumento da tensão. Curva 2 mostra o mesmo enrolamento após limpeza, secagem e reimpregnação.

Quando os valores apresentam uma diferença da ordem de 25%, ou maior, é sinal que o isolamento contém umidade e/ou outros contaminantes.

Este ensaio, como os outros, tem o seu valor aumentado quando realizado periodicamente e seus valores comparados entre si, por exemplo, através de um gráfico..

#### **24.6.4 Teste com Tensões Acima do Valor Nominal do Equipamento**

Todos os testes descritos anteriormente utilizam uma tensão igual ou inferior à tensão nominal de teste do equipamento ensaiado. Não se pode garantir, com base nos testes anteriores, que um equipamento não vá falhar, quando submetido à tensão nominal de funcionamento e às sobretensões de chaveamento normais.

Em outras palavras, é necessário realizar outros ensaios para avaliar a capacidade do isolamento em suportar as tensões normais de operação.

Todos os ensaios anteriores, além disto, não são suficientes para se avaliar os isolamentos secos e quebradiços, em mal estado, encontrados em máquinas com muitos anos

---

de uso, operando em regimes severos, ou que tenham sofrido danos físicos, nem tão pouco o isolamento de máquinas novas ou recondicionadas.

O ensaio com tensão acima da nominal do equipamento deve ser realizado por pessoal especializado sendo, desta forma, perfeitamente seguro, confiável e não destrutivo.

Neste ensaio o valor da tensão nominal é dividida em degraus (quanto mais degraus, mais seguro será o ensaio, porém mais demorado).

Aplica-se o primeiro degrau de tensão e lê-se a corrente de fuga, em microampéres, 60 segundos após aplicação da tensão. Plota-se o valor no gráfico, Fig 103.

Aplica-se a tensão correspondente ao segundo degrau, plota-se a corrente de fuga no gráfico e assim sucessivamente. Enquanto não houver o aparecimento de um Joelho o teste deve continuar, até alcançar a tensão final estabelecida. Se houver a formação de um Joelho, o teste deve ser paralisado para evitar falha do isolamento.

Curvas suaves ou retas indicam isolamento em bom estado.

Após a aplicação da tensão final, esta deve ser mantida por 10 minutos e as correntes de fuga, lidas e plotadas no gráfico a cada minuto.

Valores decrescentes indicam isolamento em bom estado, enquanto valores estáveis ou crescentes, isolamento com problema, Fig 103.

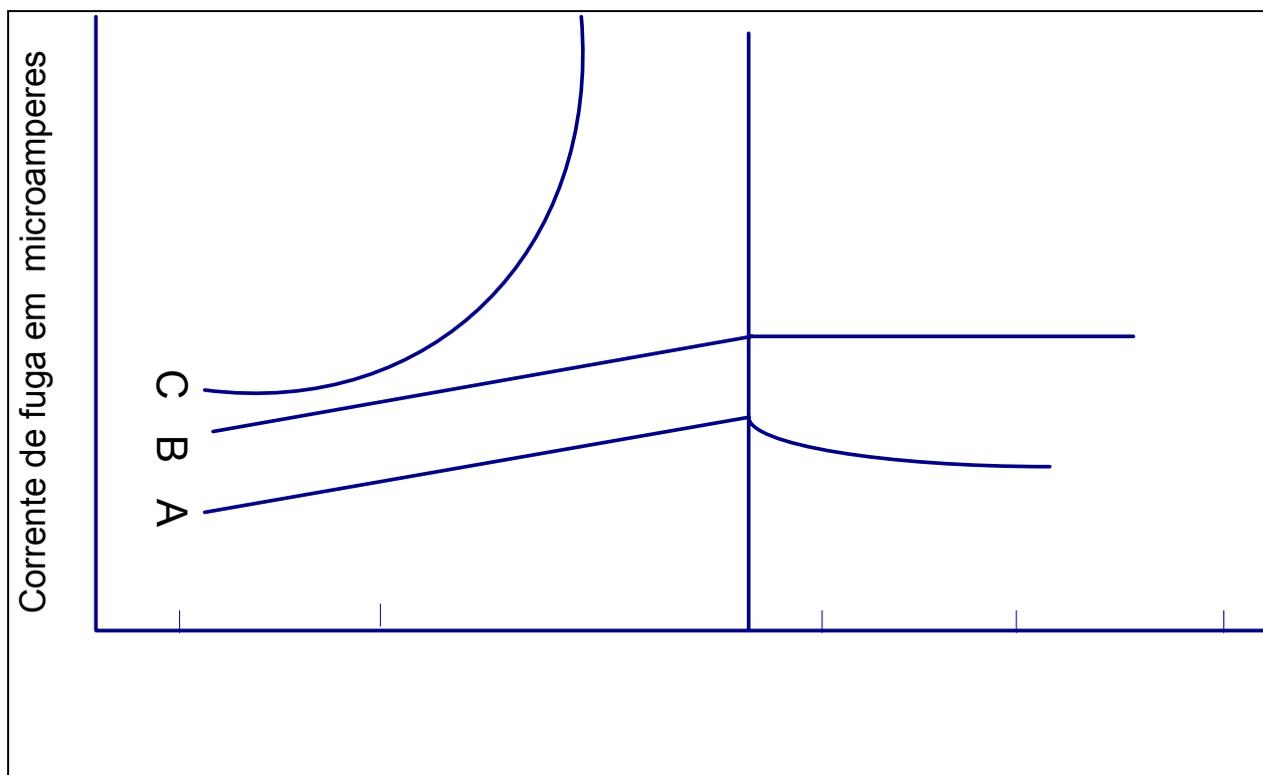


Fig 103 Curvas típicas mostrando o efeito da absorção dielétrica em um teste de resistência x tempo.

As curvas A e B indicam isolamento em condições de suportar os esforços de operação. O isolamento B não está polarizando. O isolamento da máquina A não suporta as tensões finais do ensaio.

O teste foi interrompido para não provocar o colapso do isolamento.

Este ensaio só pode ser iniciado se o valor da resistência de isolamento com 1 min ou o Índice de Polarização, apresentarem valores acima do mínimo recomendado.

Utilizando-se convenientemente as técnicas de isolamento com corrente contínua é possível controlar com grande precisão o estado do isolamento de um equipamento elétrico, estabelecendo os exatos instantes de manutenção.

Entretanto, este controle só é possível, através de ensaios periódicos, onde o último valor é comparado com os anteriores, de forma a se estabelecer uma tendência.

---

## 24.7 PRÁTICAS BÁSICAS PARA OPERAÇÃO DO MEGÔHMETRO

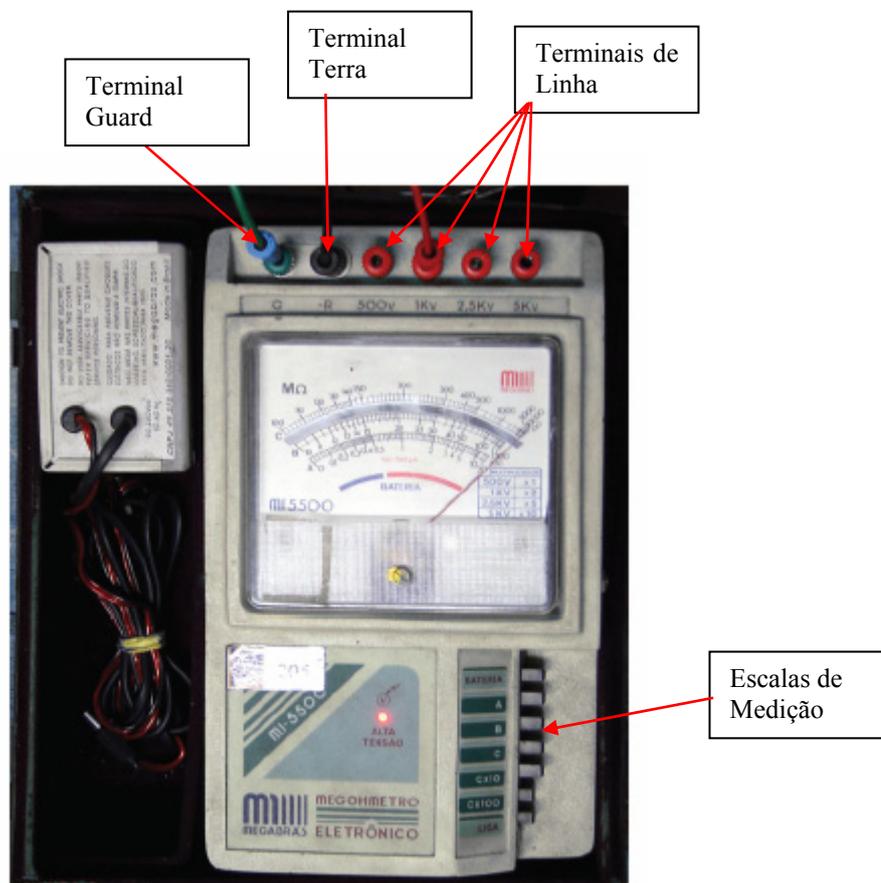


Fig 104 Megôhmetro tipo MI-5500 - Megabrás

### 24.7.1 Calibração

O instrumento de teste deve estar calibrado, garantindo confiança nos valores medidos.

### 24.7.2 Indicação do Zero

O operador deve testar o zero do instrumento, curto-circuitando os terminais de linha e de terra, energizando o instrumento através das escalas de leitura e tensão mais baixas. O instrumento deve indicar leitura zero. Testar para todos os outros valores de tensão.

---

### 24.7.3 Indicação de Final de Escala

Escolher a menor tensão de teste. Manter os terminais de linha e de terra abertos e pontas de prova conectadas. Ligar o instrumento para menor escala de leitura e mudar até a última progressivamente. A leitura obtida na escala mais alta deverá corresponder ao fim de escala do instrumento.

### 24.7.4 Terminais do Instrumento

Um bom instrumento de testes tem três terminais:

“**L**”- Terminal de linha, normalmente com potencial (-), deve ser ligado ao terminal do isolamento sob teste.

“**R**” ou “**E**” – Terminal de terra, normalmente com potencial (+), deve ser ligado ao potencial de terra ou a um terminal de referência de teste.

“**G**”- Terminal de guard deve ser ligado a terminais cujos isolamentos se quer que não interfiram na medição.

### 24.7.5 Pontas de Prova

As pontas de prova devem ser apropriadas e originais do fabricante do instrumento. A ponta de prova a ser ligada ao terminal terra (*E*) normalmente é blindada e a blindagem deve ser conectada ao terminal de guard (*G*).

## 24.8 PRÁTICAS PARA TESTE DE ISOLAMENTO COM TENSÃO DE CORRENTE CONTÍNUA

- Tensão de Teste - Utilize sempre a mesma tensão de teste.
- Faça teste seguindo sempre a mesma ligação do instrumento. Lembre-se que a ligação determina a parte do isolamento que está sendo testada.
- Faça o teste sempre com a mesma duração (1 min, 10 min). Lembre-se que o valor da resistência de isolamento varia com o tempo de aplicação da tensão. Não se esqueça que Índice de Polarização (IP) é ótimo indicador do grau de contaminação do isolamento e que ele independe da temperatura e da quantidade de isolamento que se está testando.

- 
- Meça sempre a temperatura do enrolamento sob teste e a umidade relativa do ar no instante na medição. Se não for possível medir a temperatura do enrolamento meça alguma temperatura próxima, por exemplo, temperatura do óleo do transformador.

No caso de uma máquina rotativa fechada, com o enrolamento aquecido, procure um ponto no interior da caixa de ligação próximo do pacote magnético. Se não for possível meça a temperatura da carcaça. Se o enrolamento está na temperatura ambiente, este é o valor que deve se medido.

Para que o erro seja o menor possível, utilize sempre o mesmo critério para que os valores medidos em tempos diferentes possam ser comparados.

Converta os valores medidos para uma temperatura de referência. Estas tabelas estarão disponíveis nos capítulos específicos de cada equipamento.

Evite efetuar testes em dias nublados e chuvosos, com alta umidade relativa do ar. Os valores medidos serão afetados pela umidade condensada.

- As cargas residuais presentes nos enrolamentos afetam a medição da resistência de isolamento que se vai fazer. Faz-se necessário garantir que as cargas residuais foram descarregadas antes de se proceder o teste.

Como regra geral aterre um enrolamento por um tempo não inferior a quatro vezes o tempo gasto no teste anterior.

*Por exemplo:*

Concluído um teste na posição *RxSTM*, ou seja, fase “R” contra “S” e “T” ligadas à massa, com duração de 1min, devemos aterrar todos os enrolamento para a massa por, no mínimo, 4 min, antes de iniciar o teste na posição *SxRTM*.

Se fizermos o primeiro teste com duração de 10 min, o tempo mínimo de aterramento deverá ser de 40 min.

- Limpe a superfície das buchas e terminais do enrolamento sob teste. Sujeira e umidade provocam descargas superficiais que interferem no resultado dos testes.
- Compare os valores medidos com os anteriores. Valores de resistência de isolamento baixos, porém estáveis, ao longo do tempo, são melhores indicadores do que altos valores de resistência de isolamento, declinantes com o tempo.

- 
- Compare os valores de resistência de isolamento de uma fase com as outras duas, de um equipamento. Diferença superior a um para três, por exemplo 50 e 180M $\Omega$ , pode ser indicador de algum problema de isolamento, ainda incipiente.

Não faça teste de resistência de isolamento em equipamentos com circuitos eletrônicos (soft-starter, inversores de frequência, conversores AC-DC, PLC, Nobreak etc) a menos que recomendado pelo fabricante.

## 24.9 TESTES DE ISOLAMENTO EM MÁQUINAS ELÉTRICAS ROTATIVAS

### 24.9.1 Geral

Os testes, preferencialmente, devem ser executados com a máquina desconectada dos cabos de alimentação. Nestas condições é possível fazer uma melhor avaliação do estado dos isolamentos.

Para reduzir o tempo gasto no teste e o trabalho de desconexão e reconexão, muitas equipes de manutenção tem como padrão efetuar o teste do motor com o cabo conectado, diretamente na saída do alimentador da gaveta do Centro de Controle de Motores (CCM).

Com este procedimento só é possível avaliar o isolamento para a massa, perdendo-se a oportunidade de avaliar o isolamento entre fases para motores de seis ou mais pontas.

Muitas são as possibilidades permitidas para avaliação dos valores de resistência de isolamento de uma máquina rotativa utilizando-se um instrumento de teste megôhmetro de boa qualidade.

### 24.9.2 Posições de Ligações para Teste

Vamos descrever as ligações usualmente executadas para a medição.

#### 24.9.2.1 Estator e Rotor CA com Três Cabos de Saída

Neste caso o teste só pode ser executado entre enrolamento e massa. Algum problema no isolamento entre fases não será detectado.

Nesta posição estão sendo medidas as resistências  $R_{RM}$ ,  $R_{SM}$  e  $R_{TM}$ , respectivamente, resistências de isolamento entre as fases  $R$  e massa,  $S$  e massa e  $T$  e massa, em paralelo.

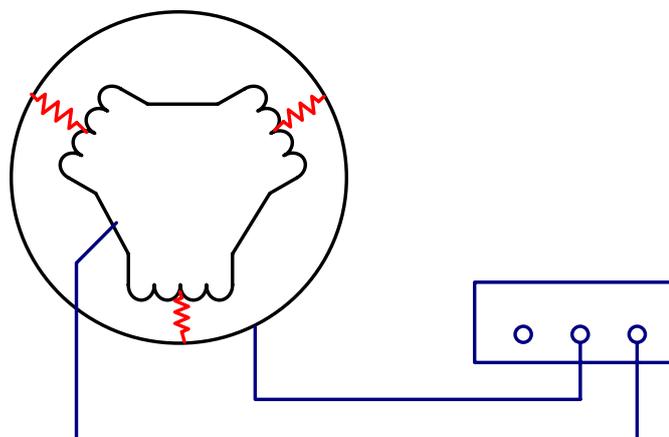


Fig 105 Resistência de isolamento entre fases e massa

#### 24.9.2.2 Estator de Motor de CA com Seis ou Mais Terminais.

Neste caso é possível medir as resistências de isolamento entre enrolamentos e entre enrolamentos e massa.

Varias são as possibilidades de ligação, mas só estarão sendo apresentadas as mais usuais.

- Procedimento com seis testes, com o uso do terminal guard.

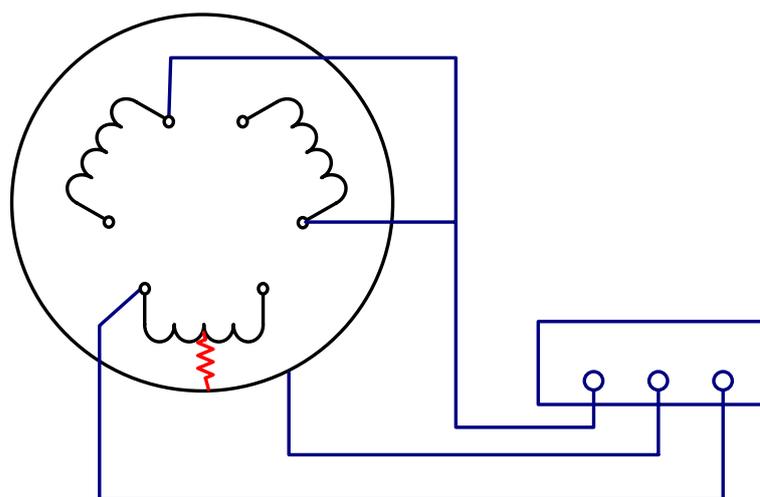


Fig 106 Resistência de isolamento da fase "R" para a massa

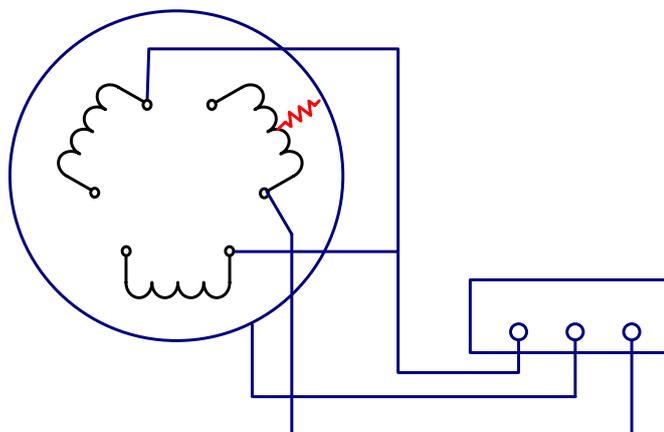


Fig 107 Resistência de isolamento da fase "S" para a massa

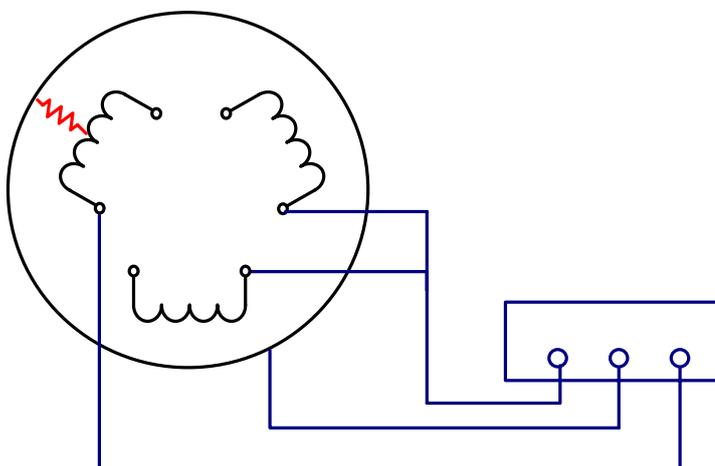


Fig 108 Resistência de isolamento da fase "T" para a massa

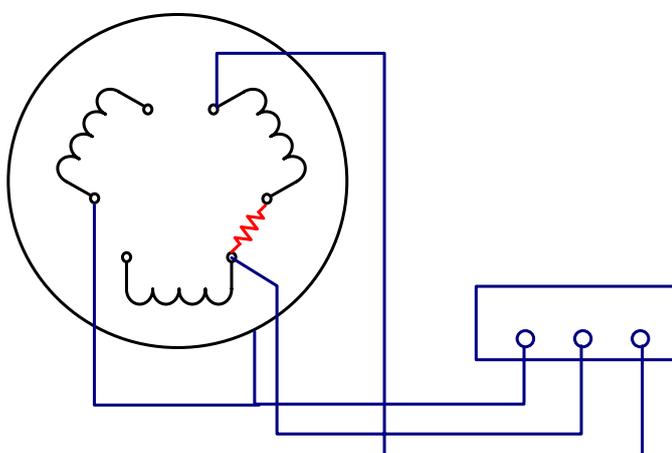


Fig 109 Resistência de isolamento entre fases "R" e "S"

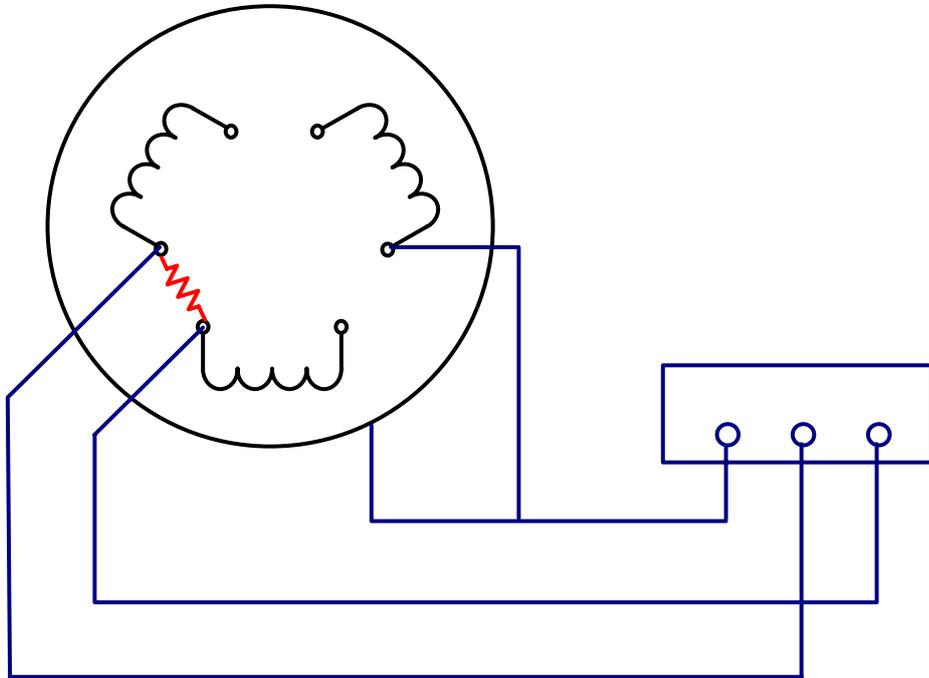


Fig 110 Resistência de isolamento entre fases "R" e "T"

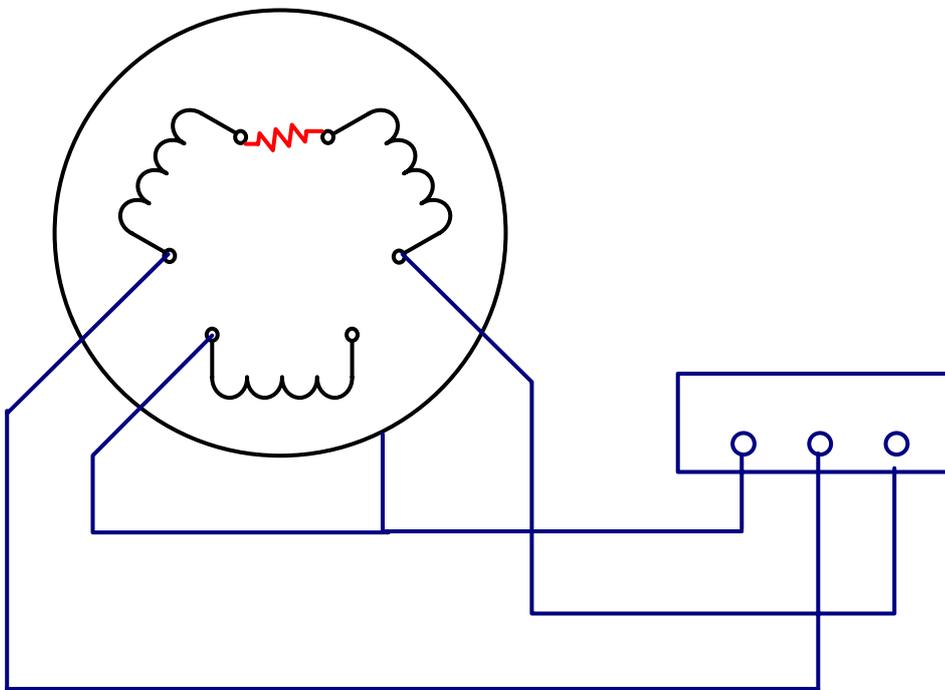


Fig 111 Resistência de isolamento entre fases "S" e "T"

- Procedimento com três testes, sem uso o uso do terminal guard.

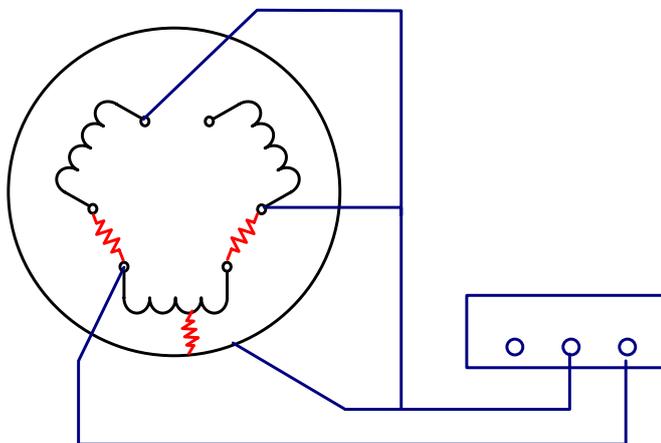


Fig 112 Resistência de isolamento da fase "R" para a massa e entre fases "R" e "S" e entre "R" e "T" ( $R \times STM$ )

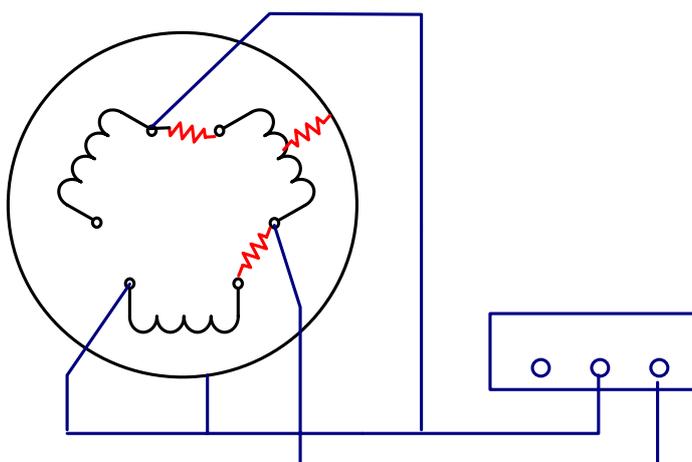
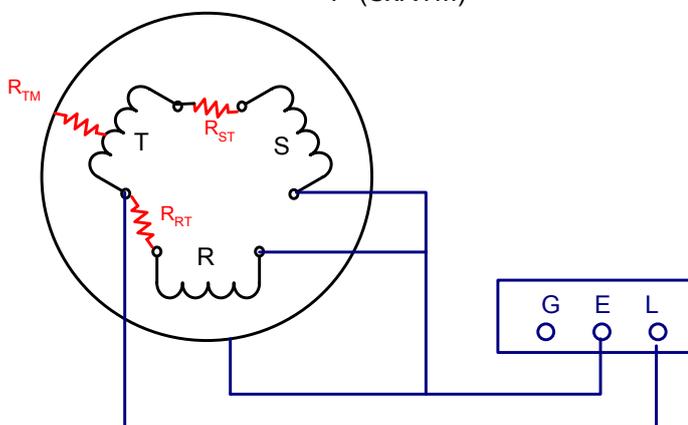


Fig 113 Resistência de isolamento da fase "S" para a massa e entre fases "S" e "R" e entre "S" e "T" ( $S \times RTM$ )



---

Fig 114 Resistência de isolamento da fase "T" para a massa e entre fases "T" e "R" e entre "T" e "S" (TxRSM)

### 24.9.2.3 Máquinas de Corrente Contínua

- Armatura x Massa

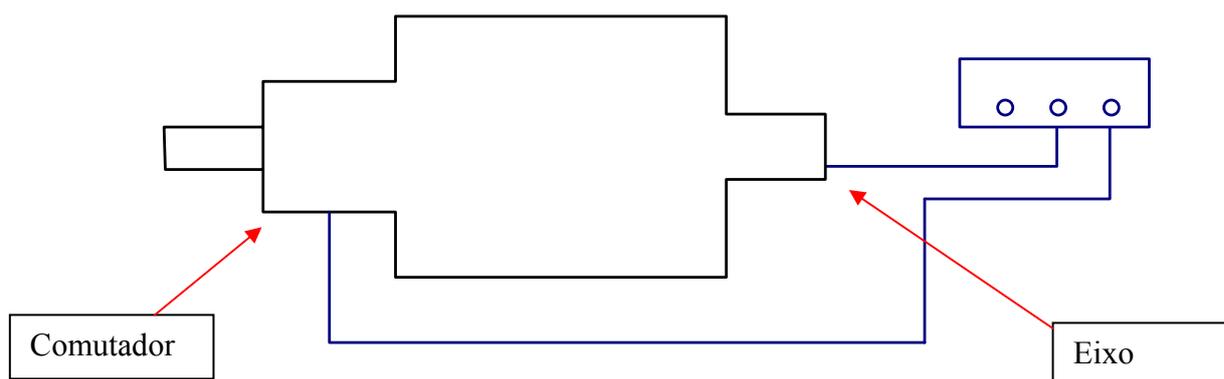
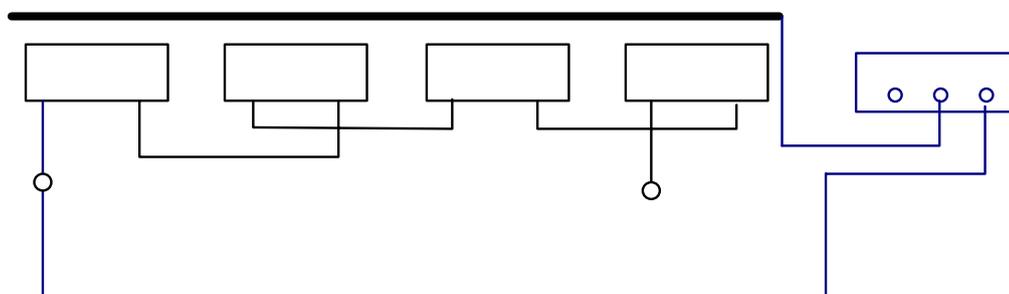


Fig 115 Resistência de isolamento da armadura para a massa

Levanta-se as escovas de carvão deixando a armadura separada, enlaça-se o comutador com um cabo de cobre nu flexível ou uma cordoalha fina e aplica-se o potencial de teste entre o comutador e o eixo. Mede-se a resistência de isolamento da armadura para a massa.

- Interpolo x Massa

Com as escovas levantadas mede-se a resistência de isolamento dos enrolamentos de comutação ou interpolos para a massa. Se a máquina tem enrolamentos de campo série, desligá-los dos interpolos.



---

Fig 116 Resistência de isolamento dos interpolos para a massa

O terminal de terra (E) do megôhmetro deve ser ligado à carcaça do estator da máquina.

Neste teste estamos medindo a resistência de isolamento de todas as bobinas de interpolo para a massa, em paralelo.

Caso seja necessário observar ou comparar os valores individuais da resistência, é necessário abrir o fechamento, efetuando-se tantos testes quantas forem as bobinas.

- Campo shunt e campo série para a massa.

Na medição do campo série estes enrolamentos devem ser desligados dos enrolamentos de interpolos.

Mede-se a resistência de isolamento das bobinas de campo em paralelo para a massa. Para a medição das resistências de isolamento individuais os circuitos devem ser abertos.

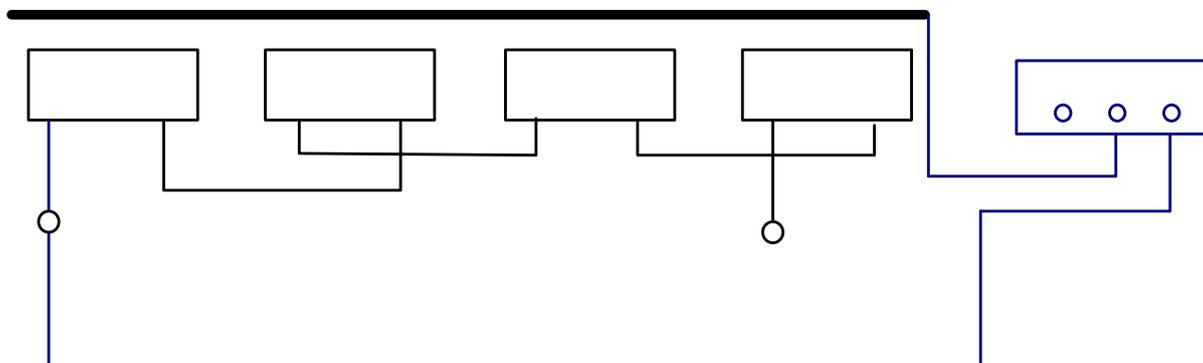


Fig 117 Resistência de isolamento do campo shunt e série para a massa

*F1-F2* – Campo Shunt (paralelo)

*D1-D2* – Campo Série

- Campo shunt x campo série

Em máquinas de excitação composta, é recomendável controlar o valor da resistência de isolamento entre os campos shunt e série, montados uns sobre os outros na sapata polar.

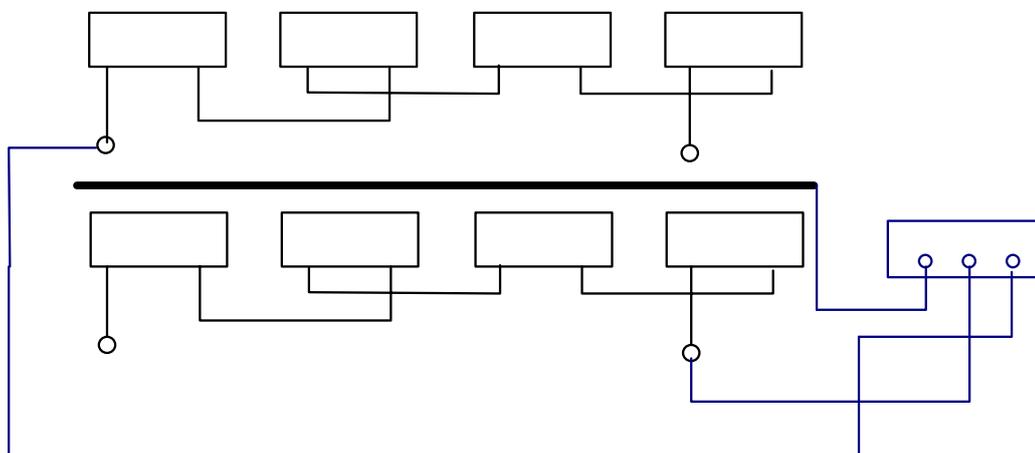


Fig 118 Resistência de isolamento dos campos paralelos para os campos séries

#### 24.9.2.4 Geradores de Corrente Alternada

- Enrolamento estatórico (principal)

Os testes de resistência de isolamento obedecem exatamente às mesmas ligações dos motores de CA.

- Enrolamento de campo

O teste é executado entre enrolamento e massa. O terminal de terra (E) deve ser ligado ao eixo do rotor.



Fig 119 Resistência de isolamento do campo para a massa

- Excitatriz auxiliar

As ligações para teste são as mostradas para máquinas de corrente contínua.

### 24.9.3 Avaliação dos Valores Medidos

O Índice de Polarização medido é uma indicação da contaminação do isolamento

Tabela 21 Condição do isolamento em função do índice de polarização

IP	Contaminação do Isolamento
<1	Enrolamento altamente contaminado, retirar máquina para rejuvenescimento
$1 \leq IP < 2$	Enrolamento contaminado, programar remoção da máquina para rejuvenescimento
$2 \leq IP < 4$	Enrolamento em boas condições quanto a contaminação
$IP \geq 4$	Enrolamento sem sinais de contaminação

Os valores medidos com 1 min devem ser convertidos para 40°C, utilizando-se o fator de conversão da Tabela 22.

São considerados seguros para operação os enrolamentos com valores de resistência de isolamento estáveis, sem redução substancial dos valores com o tempo e superiores ao valor mínimo

$$R_m = kV + 1$$

onde,

$R_m$  = Resistência de isolamento (M $\Omega$ ) mínimo a 40°C, medido na posição *RST* x *massa*

kV= Classe de tensão do enrolamento em kV

Utilize a Tabela 22 para correção dos valores de resistência de isolamento de máquinas rotativas para 40°C.

## 24.10 TESTES DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO EM TRANSFORMADORES

### 24.10.1 Geral

Os testes devem ser realizados, preferencialmente, com todos os condutores desconectados dos terminais.

A temperatura do enrolamento pode se considerada a indicada pelo termômetro do óleo

### 24.10.2 Posições de Teste – Transformadores de 2 Enrolamentos

Os testes devem ser realizados nas seguintes posições, para transformadores de 2 enrolamentos, Fig 120.

Tabela 22 Tabela de conversão dos valores medidos para 40°C.

<i>Temp °C</i>	<i>KT</i>						
<b>10</b>	0.12	<b>39</b>	0.93	<b>68</b>	7.00	<b>97</b>	52.00
<b>11</b>	0.13	<b>40</b>	1.00	<b>69</b>	7.50	<b>98</b>	56.00
<b>12</b>	0.14	<b>41</b>	1.07	<b>70</b>	8.00	<b>99</b>	60.00
<b>13</b>	0.15	<b>42</b>	1.15	<b>71</b>	8.60	<b>100</b>	64.00
<b>14</b>	0.16	<b>43</b>	1.23	<b>72</b>	9.20	<b>101</b>	69.00
<b>15</b>	0.18	<b>44</b>	1.32	<b>73</b>	9.90	<b>102</b>	74.00
<b>16</b>	0.19	<b>45</b>	1.41	<b>74</b>	10.60	<b>103</b>	79.00
<b>17</b>	0.20	<b>46</b>	1.52	<b>75</b>	11.30	<b>104</b>	84.00
<b>18</b>	0.22	<b>47</b>	1.62	<b>76</b>	12.10	<b>105</b>	91.00
<b>19</b>	0.23	<b>48</b>	1.74	<b>77</b>	13.00	<b>106</b>	97.00
<b>20</b>	0.25	<b>49</b>	1.87	<b>78</b>	13.90	<b>107</b>	104.00
<b>21</b>	0.27	<b>50</b>	2.00	<b>79</b>	14.90	<b>108</b>	111.00
<b>22</b>	0.29	<b>51</b>	2.14	<b>80</b>	16.00	<b>109</b>	119.00
<b>23</b>	0.31	<b>52</b>	2.30	<b>81</b>	17.20	<b>110</b>	128.00
<b>24</b>	0.33	<b>53</b>	2.46	<b>82</b>	18.40	<b>111</b>	137.00
<b>25</b>	0.35	<b>54</b>	2.64	<b>83</b>	19.70	<b>112</b>	147.00
<b>26</b>	0.38	<b>55</b>	2.83	<b>84</b>	21.10	<b>113</b>	158.00
<b>27</b>	0.41	<b>56</b>	3.03	<b>85</b>	22.60	<b>114</b>	169.00
<b>28</b>	0.43	<b>57</b>	3.25	<b>86</b>	24.30	<b>115</b>	181.00
<b>29</b>	0.47	<b>58</b>	3.48	<b>87</b>	26.00	<b>116</b>	193.00
<b>30</b>	0.50	<b>59</b>	3.73	<b>88</b>	27.90	<b>117</b>	207.00
<b>31</b>	0.53	<b>60</b>	4.00	<b>89</b>	29.90	<b>118</b>	221.00
<b>32</b>	0.57	<b>61</b>	4.29	<b>90</b>	32.00	<b>119</b>	238.00
<b>33</b>	0.62	<b>62</b>	4.59	<b>91</b>	34.30	<b>120</b>	256.00
<b>34</b>	0.66	<b>63</b>	4.92	<b>92</b>	36.80	<b>121</b>	274.00
<b>35</b>	0.71	<b>64</b>	5.30	<b>93</b>	39.40	<b>122</b>	294.00
<b>36</b>	0.76	<b>65</b>	5.70	<b>94</b>	42.20	<b>123</b>	316.00
<b>37</b>	0.81	<b>66</b>	6.10	<b>95</b>	45.30	<b>124</b>	338.00
<b>38</b>	0.87	<b>67</b>	6.50	<b>96</b>	48.50	<b>125</b>	362.00

---

\* Valor corrigido para 40°C = (*Valor medido à temperatura T*) x (*KT*)

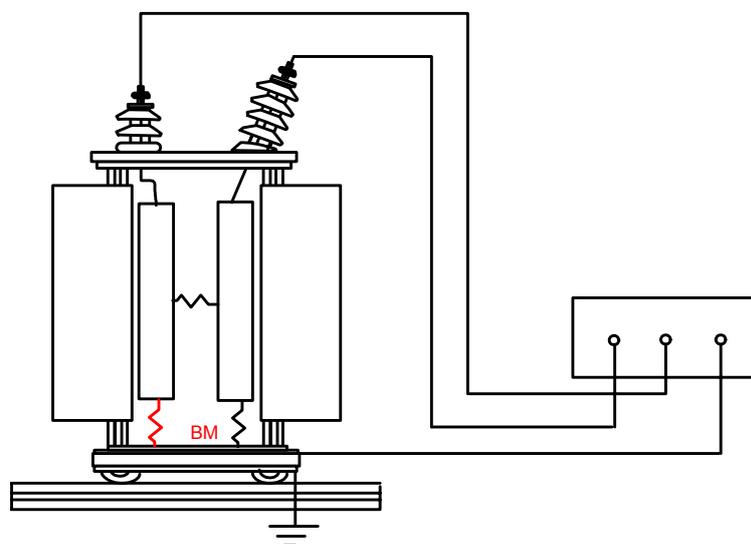
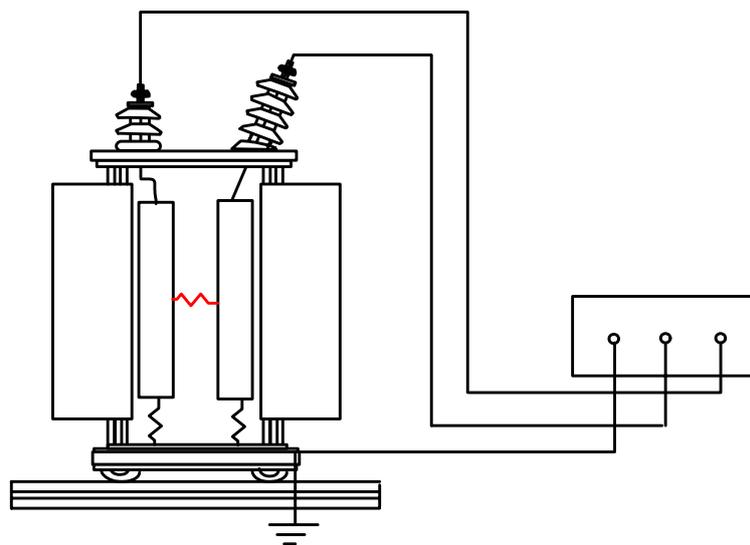
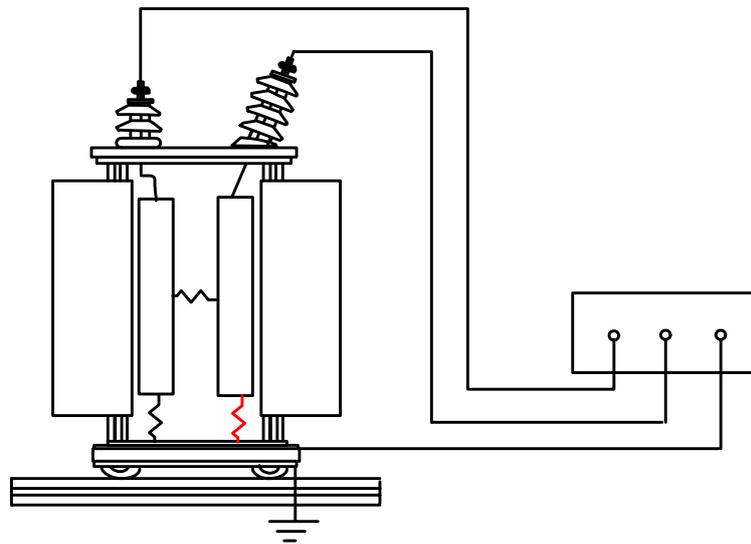


Fig 120 Esquemas de ligações para teste de resistência de isolamento

### 24.10.3 Avaliação dos Valores Medidos

Os valores medidos devem ser convertidos para 75°C conforme Tabela 23:

O teste deve ser realizado com um megôhmetro, utilizando-se as seguintes tensões de teste: 500V ou 1.000V para enrolamentos de classe de tensão 1,2 kV; 2.500V para enrolamentos de classe de tensão até 15 kV e 5.000V para enrolamentos de classe de tensão superior a 15 kV.

Tabela 23 Tabela de correção de temperatura para 75°C

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Fator de correção</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Fator de correção</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Fator de correção</i>
6	119	32	19,7	58	3,25
7	111	33	18,4	59	3,03
8	104	34	17,2	60	2,83
9	97	35	16,0	61	2,64
10	91	36	14,9	62	2,46
11	84	37	13,9	63	2,30
12	79	38	13,0	64	2,14
13	74	39	12,1	65	2,00
14	69	40	11,3	66	1,87
15	64	41	10,6	67	1,74
16	60	42	9,9	68	1,62
17	56	43	9,2	69	1,52
18	52	44	8,6	70	1,41
19	48,5	45	8,0	71	1,32
20	45,3	46	7,5	72	1,25
21	42,2	47	7,0	73	1,15
22	39,4	48	6,5	74	1,07
23	36,8	49	6,1	75	1,00
24	34,3	50	5,7	76	0,93
25	32,0	51	5,3	77	0,87
26	29,9	52	4,92	78	0,81
27	27,9	53	4,59	79	0,76
28	26,0	54	4,29	80	0,71
29	24,3	55	4,00	-	-
30	22,6	56	3,73	-	-
31	21,1	57	3,48	-	-

---

Exemplo:

Um valor medido de 500MΩ a uma temperatura de óleo de 45°C deve ser convertido para 75°C da seguinte forma:

$$R_{75^{\circ}\text{C}} = \frac{R_m}{FC} = \frac{500}{8,0} = 62,5\text{M}\Omega$$

Onde:

$R_{75^{\circ}\text{C}}$  = Resistência de isolamento convertida à temperatura de 75°C.

$R_m$  = Resistência de isolamento medida com o enrolamento a uma temperatura  $t$  °C.

FC = Fator de correção para  $t$  °C, indicado na Tabela 23.

Existem procedimentos que exigem a medição dos valores de isolamento com 15, 30, 45 e 60 segundos e de 1 em 1 minuto até 10 minutos.

Valores mínimos:

- Transformador a óleo trifásico

$$R_m = \frac{2,65 \times E}{\sqrt{\frac{P}{f}}}$$

onde,

$R_m$  = Resistência mínima a 75°C

$E$  = Classe de tensão do enrolamento em kV

$P$  = Potência do trafo em kVA

$f$  = frequência em Hz.

Os valores mínimos não representam limite absoluto, mas somente ordem de grandeza. Valores inferiores ao limite, mas estáveis, com pouca variação, não indicam necessariamente irregularidades no isolamento, embora seja aconselhável tentar elevar a resistência através da secagem do transformador. Da mesma forma, valores superiores ao limite não representam garantia do isolamento, se os mesmos forem inferiores aos obtidos em medições anteriores, em condições idênticas.

---

## 24.11 TESTE DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO EM CABOS ELÉTRICOS

### 24.11.1 Geral

Os testes devem ser realizados com os cabos desconectados dos dois lados.

A NBR 6813 estipula tensão de teste entre 300V e 500V e tempo entre 1min e 5min. Sugerimos a adoção de 500V e 1min.

O teste de resistência de isolamento é executado para acompanhamento da deterioração do isolamento com o tempo e após o teste de alto potencial, para detectar alguma avaria durante o teste.

### 24.11.2 Posição de Teste

As posições detalhadas se referem a condutores lançados em linhas elétricas.

#### 24.11.2.1 Cabo Unipolar com Blindagem Metálica.

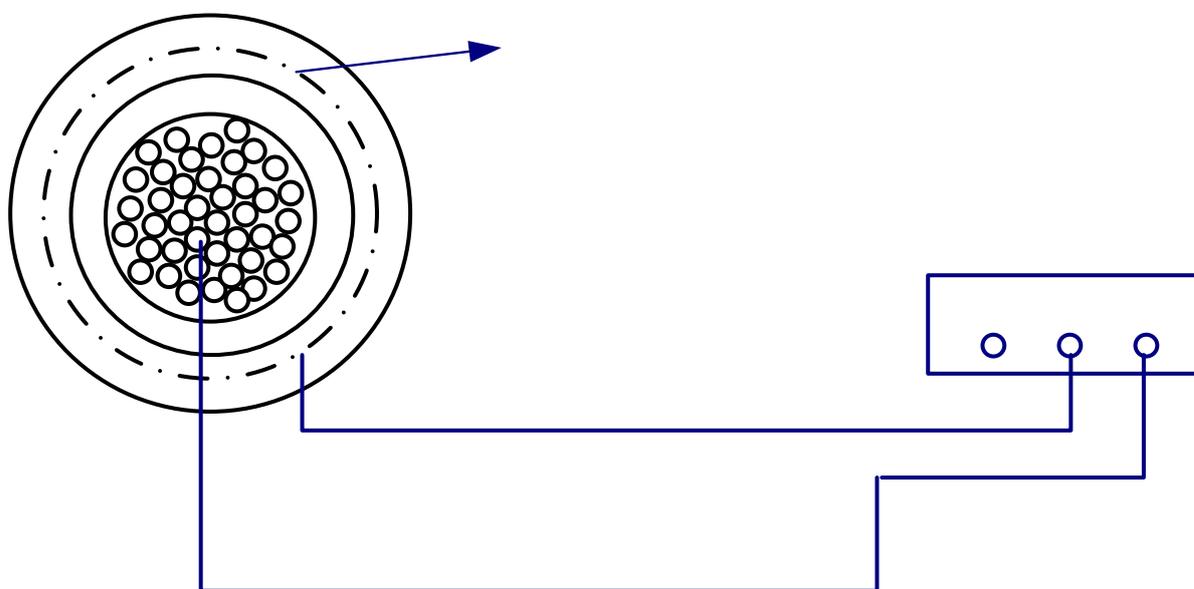


Fig 121 Posição de teste para cabo unipolar com blindagem

OBS: existindo armação metálica, deverá ser ligada ao terminal guard “G”.

---

### 24.11.2.2 Cabo Multipolar com Blindagem Metálica Envolvendo Cada Condutor.

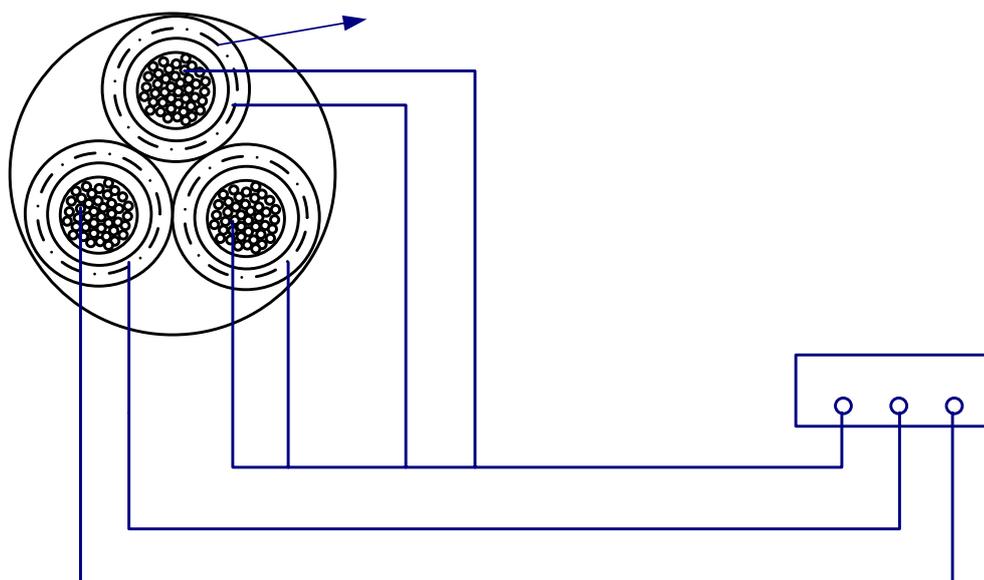


Fig 122 Posição de teste para cabo tripolar com blindagem

Todas as partes metálicas dos condutores não envolvidas no teste devem ser conectadas ao terminal guard (G) do megômetro. Repetir o teste para os condutores restantes.

### 24.11.2.3 Cabo Multipolar sem Blindagem.

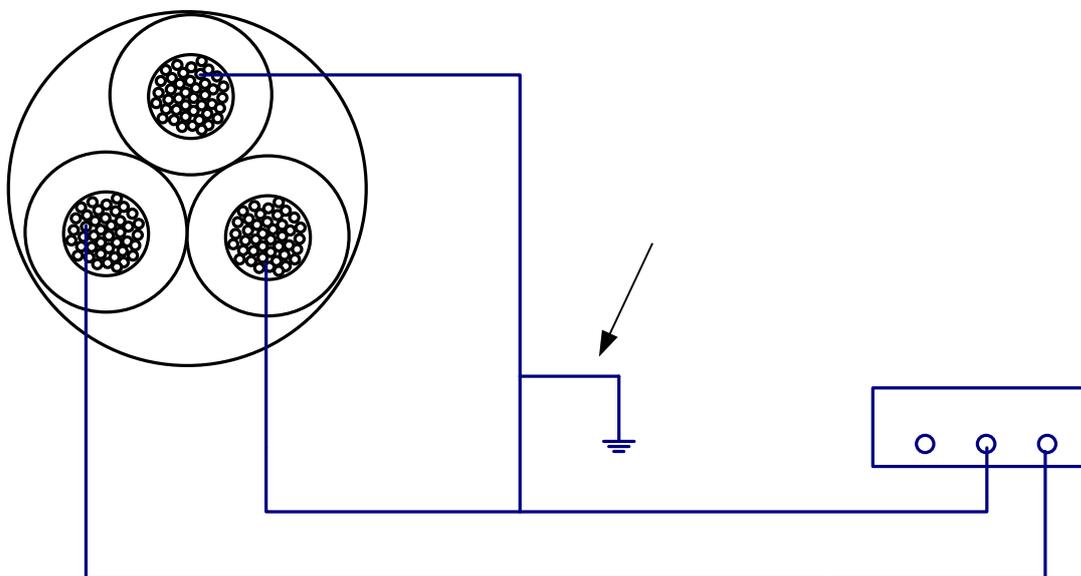


Fig 123 Posição de teste para cabo tripolar sem blindagem

Todos os condutores não ligados ao terminal linha (L) (eletroduto, leito de cabos) devem ser ligados ao terminal de terra (E) do megger, que deve ser ligado ao potencial de terra.

Repetir o teste para os demais condutores.

#### 24.11.2.4 Cabo Unipolar (de um Circuito Tripolar) sem Blindagem

O teste deverá ser realizado como se o cabo fosse multipolar, sem blindagem (5.11.2.3).

### 24.11.3 Avaliação dos Valores Medidos

Para a avaliação dos valores medidos é necessário a obtenção de alguns dados:

- $l$  – comprimento do condutor em km
- $D$  – diâmetro externo do isolamento do condutor em mm.
- $d$  – diâmetro interno do isolamento do condutor em mm
- coeficiente de correção de temperatura do condutor ( a ser obtido junto ao fabricante do cabo)
- material do isolamento (EPR, XLPE, PE, PVC)

Os valores obtidos na medição devem ser convertidos a 20°C utilizando-se a tabela de conversão em função do coeficiente / °C, Tabela 24.

Para entrar na Tabela 24 é necessário obter do fabricante do cabo seu coeficiente/°C. Como exemplo, vamos converter o valor de resistência de isolamento de um cabo com coeficiente/°C de 1,15, em cuja medição a 30°C obtivemos um valor de 5.000 MΩ, sabendo-se que o cabo tem um comprimento de 200m.

Da Tabela 24, para temperatura de 30°C e coeficiente de 1,15/°C obtemos um fator de correção de 4,05. O valor da resistência de isolamento convertido para 20°C será:

$$R_{20^{\circ}C} = 5.000 \times 4,05 = 20.250 M\Omega$$

Esta é a resistência de isolamento para 200m de cabo. Para 1000m (1 km), o valor da resistência será:

$$R_{(20^{\circ}C \text{ e } 1km)} = 20.250 \times \frac{200}{1000} = 4.050 M\Omega$$

Este é o valor a se comparado com “Rm”, valor mínimo da resistência de isolamento, em MΩ por Km a 20°C, calculado pela fórmula a seguir:

Tabela 24 Coeficiente para correção da Resistência de Isolamento de cabos elétricos

Temperatura (°C)	Coeficiente / °C																	
	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23
5	0,42	0,36	0,32	0,27	0,24	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04
6	0,44	0,39	0,34	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06
7	0,47	0,41	0,37	0,33	0,29	0,26	0,23	0,20	0,18	0,16	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07
8	0,50	0,44	0,40	0,36	0,32	0,29	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
9	0,53	0,48	0,43	0,39	0,35	0,32	0,29	0,26	0,24	0,21	0,20	0,18	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10
10	0,56	0,51	0,46	0,42	0,39	0,35	0,32	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13
11	0,59	0,54	0,50	0,46	0,42	0,39	0,36	0,33	0,31	0,28	0,26	0,24	0,23	0,21	0,19	0,18	0,17	0,16
12	0,63	0,58	0,54	0,50	0,47	0,43	0,40	0,38	0,35	0,33	0,31	0,28	0,27	0,25	0,23	0,22	0,20	0,19
13	0,67	0,62	0,58	0,55	0,51	0,48	0,45	0,43	0,40	0,38	0,35	0,33	0,31	0,30	0,28	0,26	0,25	0,23
14	0,70	0,67	0,63	0,60	0,56	0,53	0,51	0,48	0,46	0,43	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33	0,32	0,30	0,29
15	0,75	0,71	0,68	0,65	0,62	0,59	0,57	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,39	0,37	0,36
16	0,79	0,76	0,74	0,71	0,68	0,66	0,64	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53	0,52	0,50	0,48	0,47	0,45	0,44
17	0,84	0,82	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,66	0,64	0,62	0,61	0,59	0,58	0,56	0,55	0,54
18	0,89	0,87	0,86	0,84	0,83	0,81	0,80	0,78	0,77	0,76	0,74	0,73	0,72	0,71	0,69	0,68	0,67	0,66
19	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88	0,87	0,86	0,85	0,85	0,84	0,83	0,83	0,82	0,81
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
21	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23
22	1,12	1,14	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25	1,28	1,30	1,32	1,35	1,37	1,39	1,42	1,44	1,46	1,49	1,51

23	1,19	1,23	1,26	1,30	1,33	1,37	1,40	1,44	1,48	1,52	1,56	1,60	1,64	1,69	1,73	1,77	1,82	1,86
24	1,26	1,31	1,36	1,41	1,46	1,52	1,57	1,63	1,69	1,75	1,81	1,87	1,94	2,01	2,07	2,14	2,22	2,29
25	1,34	1,40	1,47	1,54	1,61	1,69	1,76	1,84	1,93	2,01	2,10	2,19	2,29	2,39	2,49	2,59	2,70	2,82
26	1,42	1,50	1,59	1,68	1,77	1,87	1,97	2,08	2,19	2,31	2,44	2,57	2,70	2,84	2,99	3,14	3,30	3,46
27	1,50	1,61	1,71	1,83	1,95	2,08	2,21	2,35	2,50	2,66	2,83	3,00	3,19	3,38	3,58	3,80	4,02	4,26
28	1,59	1,72	1,85	1,99	2,14	2,30	2,48	2,66	2,85	3,06	3,28	3,51	3,76	4,02	4,30	4,59	4,91	5,24
29	1,69	1,84	2,00	2,17	2,36	2,56	2,77	3,00	3,25	3,52	3,80	4,11	4,44	4,79	5,16	5,56	5,99	6,44
30	1,79	1,97	2,16	2,37	2,59	2,84	3,11	3,39	3,71	4,05	4,41	4,81	5,23	5,69	6,19	6,73	7,30	7,93
31	1,90	2,10	2,33	2,58	2,85	3,15	3,48	3,84	4,23	4,65	5,12	5,62	6,18	6,78	7,43	8,14	8,91	9,75
32	2,01	2,25	2,52	2,81	3,14	3,50	3,90	4,33	4,82	5,35	5,94	6,58	7,29	8,06	8,92	9,85	10,87	11,99
33	2,13	2,41	2,72	3,07	3,45	3,88	4,36	4,90	5,49	6,15	6,89	7,70	8,60	9,60	10,70	11,92	13,26	14,75
34	2,26	2,58	2,94	3,34	3,80	4,31	4,89	5,53	6,26	7,08	7,99	9,01	10,15	11,42	12,84	14,42	16,18	18,14
35	2,40	2,76	3,17	3,64	4,18	4,78	5,47	6,25	7,14	8,14	9,27	10,54	11,97	13,59	15,41	17,45	19,74	22,31
36	2,54	2,95	3,43	3,97	4,59	5,31	6,13	7,07	8,14	9,36	10,75	12,33	14,13	16,17	18,49	21,11	24,09	27,45
37	2,69	3,16	3,70	4,33	5,05	5,90	6,87	7,99	9,28	10,76	12,47	14,43	16,67	19,24	22,19	25,55	29,38	33,76
38	2,85	3,38	4,00	4,72	5,56	6,54	7,69	9,02	10,58	12,38	14,46	16,88	13,67	22,90	26,62	30,91	35,85	41,52
39	3,03	3,62	4,32	5,14	6,12	7,26	8,61	10,20	12,06	14,23	16,78	19,75	23,21	27,25	31,95	37,40	43,74	51,07
40	3,21	3,87	4,66	5,60	6,73	8,06	9,65	11,52	13,74	16,37	19,46	23,11	27,39	32,43	38,34	45,26	53,36	62,82

$$R_m = k \times \log\left(\frac{D}{d}\right), \text{ onde:}$$

$R_m$  = Valor mínimo da Resistência de Isolamento em megohms por km a 20°C  
 $k$  = Constante, função do material isolante:

- Para cabo com isolamento de polietileno reticulado (XLPE) = 3.700 MΩ x km
- Para cabo com isolamento de borracha etileno (EPR) = 3.700 MΩ x km
- Para cabo com isolamento de polietileno termoplástico (PE) = 12.000 MΩ x km
- Para cabo com isolamento de cloreto de polivinila (PVC/A) = 185 MΩ x km

Se os valores de resistência de isolamento mostrarem-se decrescentes com o tempo é uma indicação segura da degradação do isolamento, pontual ou distribuída ao longo de todo o isolamento.

Deverão ser comparados os valores de cabos similares, mesmo fabricante, tipo, comprimento e circuito. Valores diferentes da ordem de 3:1 devem ser investigados.

Considere por exemplo a medição da Resistência de Isolamento das três fases de dois circuitos.

Circuito	Resistência de Isolamento 20°C/km			Descrição
	Fase "R"	Fase "S"	Fase "T"	
1	2.000MΩ	1.800MΩ	2.100MΩ	Cabo #70mm <sup>2</sup> , isolamento EPR, 200m, 0,6/1kV, energizado em 1985.
2	10.000MΩ	12.000MΩ	3.800MΩ	Cabo #95mm <sup>2</sup> , isolamento EPR, 180m, 0,6/1kV, energizado em 2002

Apesar dos valores individuais de resistência de isolamento dos cabos do circuito 2 estarem superiores aos do circuito 1, o cabo da fase "T" deve ser investigado sobre o porque de estar com a resistência de isolamento tão inferior aos cabos das fases "R" e "S" do mesmo circuito, energizados na mesma época e absolutamente similares. A comparação entre os valores dos circuitos 1 e 2 fica prejudicada em razão do longo período entre a energização dos cabos.

## 24.12 TESTES DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO EM DISJUNTORES E CONTADORES

### 24.12.1 Geral

Os testes devem ser realizados com todos os alimentadores desconectados. As tensões normalmente utilizadas são 500V ou 1000V para os equipamentos de baixa tensão e 2500V para os equipamentos de classe de tensão 5kV ou maior.

Efetuar uma limpeza nas buchas isolantes antes dos testes.

Os testes são realizados com o tempo de 1 min. Não é significativo medir o índice de polarização de disjuntores.

### 24.12.2 Posições de Teste

- Com disjuntor aberto

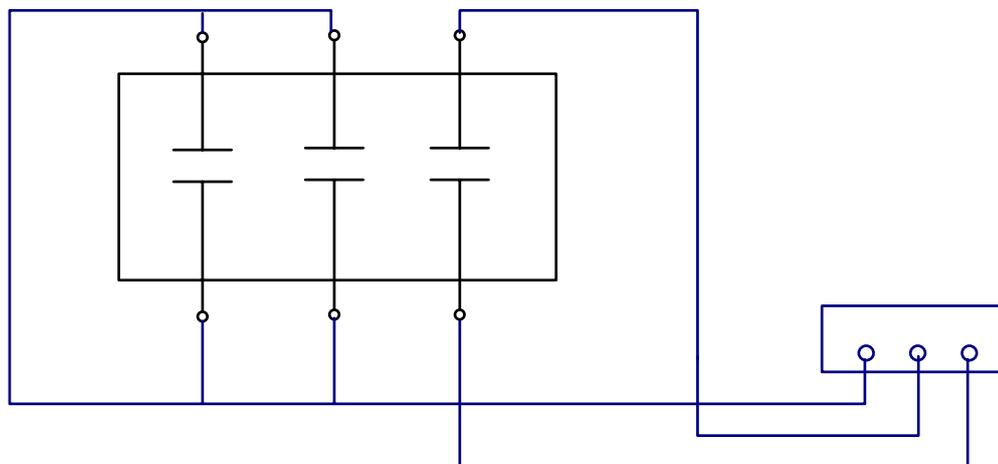


Fig 124 Posição de teste para disjuntor aberto

Neste teste estamos medindo a resistência de isolamento entre os contatos abertos da fase “T”. Os contatos das outras duas fases são ligados ao terminal de guard. Repetir o teste para as outras duas fases.

- Com o disjuntor fechado

Este teste mede a resistência de isolamento da fase “S” contra as outras duas fases e a massa. Repetir o teste para as outras duas fases.

Para descarregar as cargas residuais deve-se aterrar os terminais do disjuntor para a massa, entre os testes, por um período não inferior à quatro vezes o tempo gasto no teste anterior.

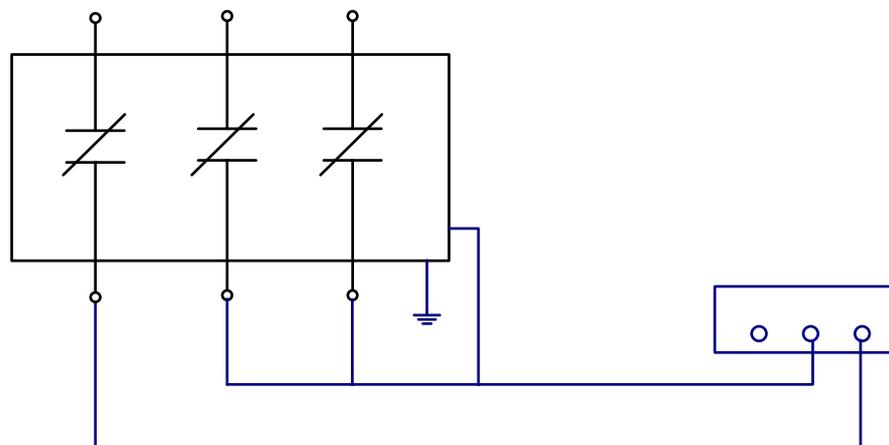


Fig 125 Posição de teste para disjuntor fechado

---

### **24.12.3 Avaliação dos Resultados dos Testes**

Os valores medidos em cada posição, devem ser comparados com os valores dos testes anteriores, nas mesmas condições. Resistências de isolamento decrescentes são indicadores de contaminação por umidade, poeira ou outros contaminantes. Efetuar limpeza e secagem e verificar contaminação do meio de interrupção, no caso de óleo isolante.

Comparar as medições das três fases entre si. Diferenças da ordem de 3:1 devem ser vistas com preocupação.