

# Teste de Resistência de Isolação

## Introdução

Testadores de resistência de isolação podem ser usados para determinar a integridade de circuitos e cabos em motores, transformadores, chaves de distribuição e instalações elétricas. O método de teste é determinado pelo tipo de equipamento sendo testado e a razão para o teste. Por exemplo, ao testar cabeamento elétrico ou chave de distribuição (equipamentos de baixa capacitância), as correntes de fuga capacitiva dependentes do tempo e de fuga de absorção tornam-se insignificantes e decrescem a zero quase instantaneamente. Um fluxo de corrente de fuga condutiva estável é alcançado quase instantaneamente (um minuto ou menos), fornecendo condições perfeitas para a leitura de ponto/teste de resistência de curta duração. (Para mais informações

detalhadas sobre correntes de fuga e testes de resistência veja as seguintes seções: O que são correntes de fuga, resistência de isolação e testes de manutenção de previsão).

Por outro lado, quando o equipamento a ser testado é uma grande extensão de cabo, um grande motor ou gerador (equipamentos de alta capacitância) as correntes dependentes de tempo irão durar horas. Estas correntes irão levar as leituras do medidor a mudar constantemente, tornando impossível a obtenção de uma leitura estável e apurada. Esta condição pode ser superada através de um teste que estabeleça uma tendência entre as leituras, como teste de voltagem progressiva ou de absorção dielétrica. Estes testes não dependem de uma leitura única mas de um conjunto de

## Nota de Aplicação

leituras relativas. Seria uma perda de tempo executar tais testes em equipamentos de baixa capacitância uma vez que correntes dependentes do tempo diminuem rapidamente, resultando em todas as medições iguais.

## Testes de Instalação

A mais importante razão para teste de isolação é garantir a segurança pública e pessoal. Executando um teste de alta voltagem dc entre condutores de correntes não energizados (hot), na terra e condutores-terra, você pode eliminar a possibilidade de curtos circuitos ou curtos para terra ameaçadores. Este teste geralmente é executado depois da instalação inicial do equipamento. Este processo protegerá o sistema contra equipamentos defeituosos e mal conectados por fios e irá garantir uma instalação de alta qualidade, a satisfação do cliente e proteção contra fogo ou choque.

## Teste de manutenção

A segunda razão mais importante para o teste de isolação é proteger e prolongar a vida de sistemas elétricos e motores. Ao longo dos anos, sistemas elétricos são expostos a fatores ambientais como sujeira, graxa, temperatura, estresse e vibração. Tais condições podem levar a falhas de isolação, resultando em perda de produção ou mesmo incêndios. Testes de manutenção periódica podem fornecer informações valiosas sobre o estado de deterioração e ajudarão a prever possíveis falhas do sistema. A correção de problemas não somente evitará surpresas e aborrecimentos mas também extenderá a vida útil de operação para uma variedade de equipamentos.



## Antes de medir

A fim de obter medições de resistência de isolamento significantes, o eletricitista deve examinar cuidadosamente o sistema sob teste. Os melhores resultados são alcançados quando:

1. O sistema ou equipamento é desligado e desconectado de todos outros circuitos, chaves, capacitores, escovas, pára-raios e interruptores de circuito. Certifique-se de que as medições não são afetadas por corrente de fuga através de chaves e aparelhos de proteção de excesso de corrente.
2. A temperatura do condutor está acima do ponto de condensação do ar ambiente. Quando este não for o caso, uma camada de umidade se formará na superfície de isolamento e em

- alguns casos, será absorvida pelo material.
3. A superfície do condutor contém carbono e outras matérias estranhas que podem tornar-se condutivas em condições de umidade.
  4. A voltagem adotada não é muito alta. Quando se testa sistemas de baixa voltagem, o excesso de voltagem pode estressar ou danificar a isolamento.
  5. O sistema sob teste foi completamente descarregado na terra. O tempo de descarga na terra deve ser aproximadamente cinco vezes o tempo de carga de teste.
  6. O efeito de temperatura é considerado. Uma vez que resistência de isolamento é inversamente proporcional a temperatura de isolamento

(a resistência decresce à medida que a temperatura aumenta), as leituras registradas são alteradas por mudanças na temperatura do material de isolamento. É recomendável que os testes sejam executados a temperatura de condutor padrão 20°C. Como regra básica, ao comparar leituras à temperatura de base de 20°C, dobre a resistência para cada 10°C acima de 20°C ou divida a resistência por dois para cada 10°C abaixo de 20°C em temperatura. Por exemplo, uma resistência de 1 Mega-Ohm a 40°C passará a ser 4 Mega-Oms à temperatura de 20°C. Para medir a temperatura do condutor, use um termômetro infra-vermelho sem contato como o Fluke 65.

## Trabalhe com segurança

Segurança é responsabilidade de todos, mas, no final das contas, está em suas mãos. Nenhuma ferramenta por si só pode garantir sua segurança. É a combinação do instrumento e práticas de trabalho seguras que lhe dá máxima proteção. Eis algumas dicas de segurança que você deve seguir:

- Trabalhe em circuitos não energizados sempre que possível. Utilize procedimentos apropriados de desconexão. Se tais procedimentos não forem adotados, considere que o circuito está ativo.
- Em circuitos vivos, siga regras de proteção como:
  1. Usar ferramentas isoladas
  2. Vestir roupas resistentes a chama, óculos de segurança e luvas de isolamento
  3. Retirar relógios ou outros adornos
  4. Estender esteira de isolamento
- Ao fazer medições de voltagem em circuitos ativos:

1. Primeiramente prenda o fio-terra, para depois ter contato com a ponta fase. Retire a ponta fase primeiro, depois a ponta-terra.
2. Pendure ou repouse o medidor se possível. Evite segurá-lo nas mãos a fim de minimizar exposição pessoal aos efeitos de transientes.
3. Use um método de teste de três pontos, especialmente para a avaliação se um circuito está morto. Primeiro, teste um circuito vivo conhecido. Segundo, teste o circuito-alvo. Terceiro, teste um circuito vivo novamente. Isto confirma se seu medidor trabalhou apropriadamente antes e depois da medição.
4. Use o antigo truque dos eletricitistas de manter uma mão em seu bolso. Isto diminui a chance de um circuito fechado no tórax através do seu coração.

- Ao executar testes de resistência e isolamento:
  1. Nunca conecte o testador de

- isolação a condutores ou equipamentos energizados e sempre siga as recomendações do fabricante.
2. Desligue o equipamento a ser testado abrindo fusíveis, chaves e interruptores de circuito.
  3. Desconecte os condutores de circuito, condutores-terra e todos outros equipamentos da unidade sob teste.
  4. Descarregue a capacitância do condutor, tanto antes quanto depois do teste. Alguns instrumentos podem ter funções de descarga automática.
  5. Verifique quaisquer correntes de fuga através de fusíveis, chaves e interruptores em circuitos não energizados. Correntes de fuga podem gerar leituras incorretas e inconsistentes.
  6. Não use um testador de isolamento em atmosfera perigosa ou explosiva, uma vez que o instrumento pode arcos em isolações danificadas.
  7. Use luvas isoladas de borracha quando estiver conectando pontas de teste.

**O que são resistência de isolamento e correntes de fuga?**

Durante o procedimento de teste, a alta voltagem de gerada pelo pressionamento do botão de teste causará um pequeno fluxo de corrente (micro-amps) através do condutor e da isolação. A quantidade de corrente depende da quantidade de voltagem aplicada, da capacitância do sistema, da resistência total e da temperatura do material. Para uma voltagem fixa, quanto maior a corrente, menor a resistência ( $E=IR$ ,  $R=E/I$ ). A resistência total é a soma da resistência interna do condutor (valor pequeno) mais a resistência de isolação em  $M\Omega$ .

O valor da resistência de isolação lido no medidor será uma função das três seguintes sub-correntes independentes:

**Corrente de fuga condutiva ( $I_C$ )**

Corrente condutiva é uma pequena quantidade de corrente (micro-amp) que normalmente flui através da isolação, entre condutores ou de um condutor para a terra. Esta corrente aumenta à medida que a isolação deteriora-se e torna-se predominante depois que a corrente de absorção some (ver Figura 1). Por ser bastante estável e dependente de tempo, é a mais importante corrente para medir resistência de isolação.

**Corrente de fuga de carga capacitiva ( $I_C$ )**

Quando dois ou mais condutores são executados em conjunto num canal condutor, eles se comportam como um capacitor. Devido a este efeito capacitivo, uma corrente de fuga flui através da isolação de condutor. Esta corrente dura somente alguns poucos segundos assim que a voltagem de teste completa. Em equipamentos de baixa capacitância, a corrente capacitiva é maior do que a corrente de fuga condutiva, mas geralmente desaparece até o momento em que começamos a registrar os dados. Por causa disto, é importante deixar a leitura se fixar antes de registrá-la. Por outro lado, ao testar equipamentos de alta capacitância, a corrente de fuga de carga capacitiva pode durar muito tempo antes da leitura fixar-se.

**Corrente de fuga de absorção de polarização ( $I_A$ )**

A corrente de absorção é causada pela polarização de moléculas dentro de material dielétrico. Em equipamentos de baixa capacitância, a corrente é alta pelos primeiros poucos segundos e decresce vagarosamente a quase zero. Ao lidar com equipamentos de alta capacitância ou isolação molhada e contaminada, não haverá decréscimo na corrente de absorção por um longo período.

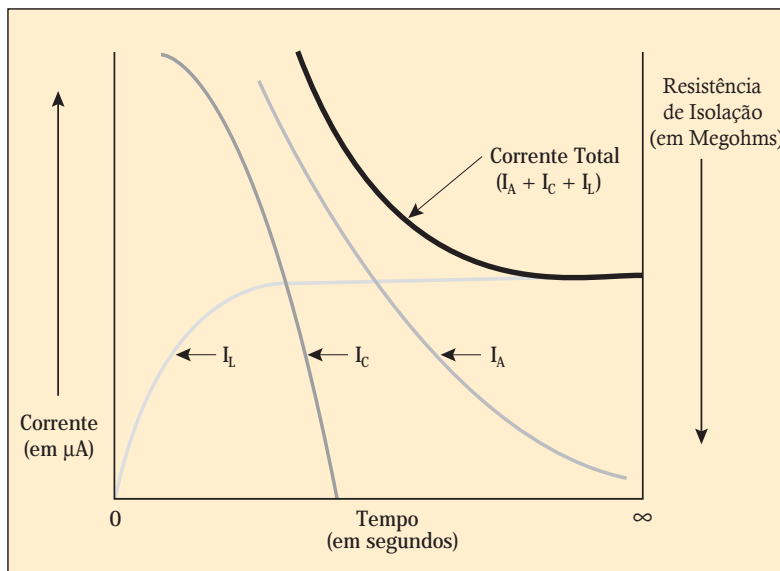


Figura 1. Componentes de corrente

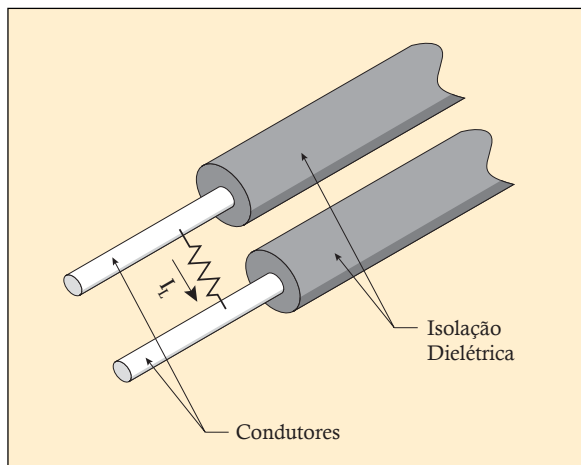


Figura 2. Corrente de fuga condutiva ( $I_C$ )

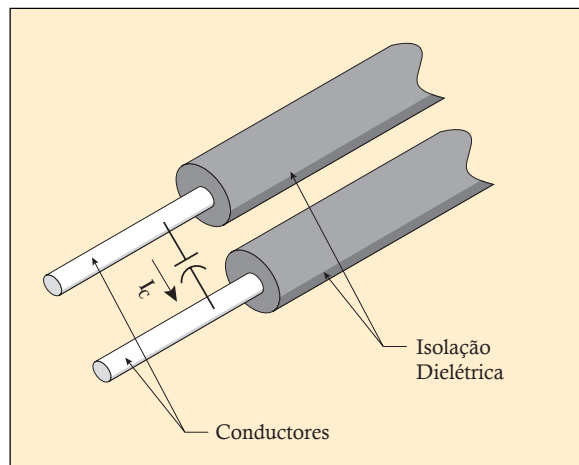


Figura 3. Corrente de fuga de carga capacitiva ( $I_C$ )

## Aplicações

### Teste de instalação

#### Teste de prova

Eletricistas e engenheiros executam testes de prova para garantir a instalação apropriada e a integridade dos condutores. O teste de prova é um teste rápido e simples usado para indicar a condição instantânea de isolamento. Ele não fornece dados de diagnóstico e as voltagens de teste usadas são muito maiores do que as voltagens usadas em testes de manutenção e previsão. O teste de prova é chamado às vezes de GO/NO GO TEST, porque testa sistemas de cabo para erros de manutenção, instalação incorreta, degradação avançada ou contaminação. A instalação é declarada aceitável se nenhum colapso ocorrer durante o teste.

#### Escolhendo a voltagem de teste

Um teste de prova pode ser executado em equipamentos de qualquer capacitância. Ele é feito com voltagem única, geralmente entre 500 e 5000V, por cerca de um minuto. É comum estressar a isolamento acima de voltagens de trabalho normais a fim de detectar falhas sutis na isolamento. Para novos equipamentos, o teste deve ser feito a aproximadamente 60 a 80% da voltagem de teste de

fábrica (maior do que a voltagem quotada, que está disponível a partir do fabricante). Se você não souber a voltagem de teste de fábrica, teste usando uma voltagem de cerca do dobro da voltagem quotada para o cabo mais 1000 volts. A voltagem quotada é a quantidade máxima de voltagem à qual o condutor pode ser exposto por um longo período de tempo, geralmente impresso no condutor. Para sistemas monofásicos, bifásicos ou trifásicos, o cabo é classificado fase a fase. Este método previamente mencionado somente deve ser usado para testar pequenos e novos aparelhos devido à sua capacidade de suportar voltagens de maior estresse. Para equipamentos e fios maiores e mais antigos, utilize voltagens de teste dc (ver tabela 3). Voltagens dc de testes de prova comuns (não as voltagens de teste do fabricante) usadas para testar equipamentos de rotação são mostradas na tabela 1.

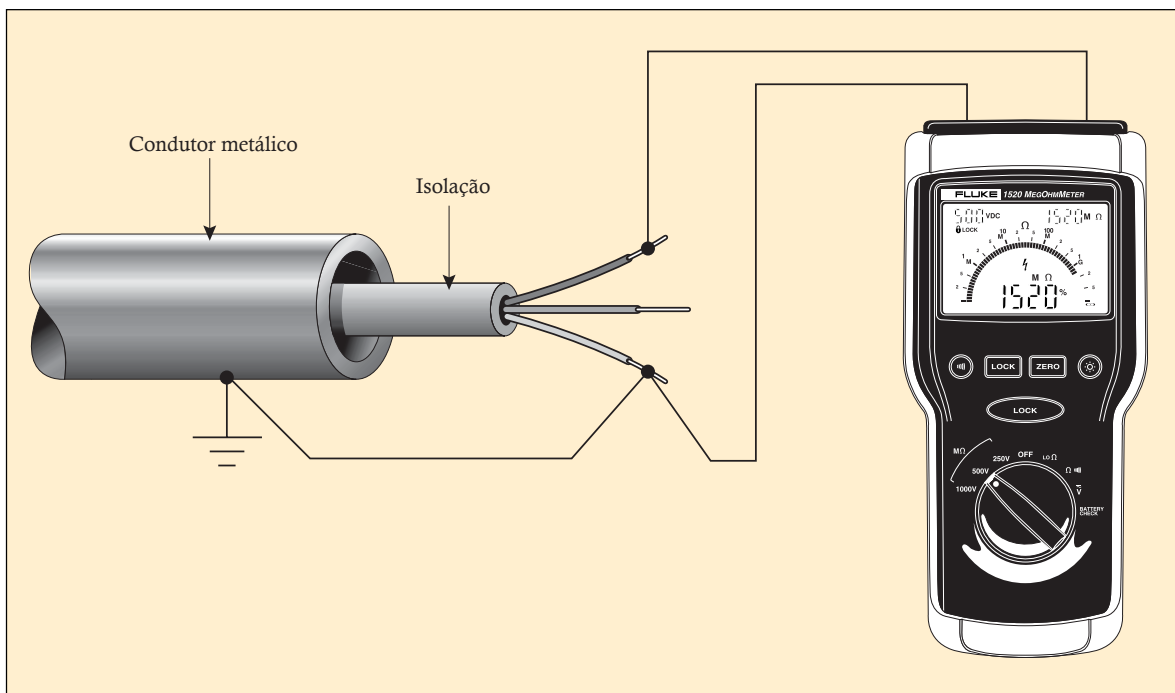
#### Procedimento de teste de prova

Para conduzir um teste de prova de instalação, use o seguinte procedimento:

- Use um multímetro ou a função de medição de voltagem no MegOhmMeter para certificar-se de que não há energia aplicada ao circuito testado.
- Selecione o nível de voltagem apropriado.
- Plugue uma terminação da ponta de teste preta no terminal comum do medidor e toque a sonda de teste na terra ou outro condutor. Às vezes é útil conectar à terra todos os condutores que não são parte do teste. Garras jacaré podem fazer medições mais fácil e precisamente.
- Plugue uma terminação da ponta de teste vermelha no terminal de volt/ohm do medidor e conecte a sonda de teste ao condutor a ser testado.
- Pressione o botão de teste para aplicar a voltagem desejada e ler a resistência mostrada no medidor.

Voltagens DC de teste de equipamento de rotação	Fórmula Usada
Teste de fábrica AC, VAC (somente para referência)	$2 \times (\text{Classificação de fábrica}) + 1000$
Teste de instalação de DC máximo, VAC	$1,28 \times (\text{Teste AC de fábrica})$
DC máximo após teste de serviço, VAC	$0,96 \times (\text{Teste AC de fábrica})$

Tabela 1. Equações de voltagem de teste de prova para máquinas de rotação





Pode levar alguns segundos até a leitura se estabilizar. Quanto maior a resistência melhor.

- Teste cada condutor contra a terra e contra todos outros condutores presentes no canal condutor. Mantenha em local seguro um registro datado dos valores medidos.
- Se algum condutor falhar no teste, identifique o problema ou retire os condutores. Umidade, água ou sujeira podem gerar leituras de baixa resistência.

**Testes de manutenção e predição**

Testes de manutenção podem oferecer informações importantes sobre o estado presente e futuro de condutores, geradores, transformadores e motores. A chave para um teste de manutenção efetivo é a boa coleção de dados. Examinar os dados coletados ajudará no diagnóstico e no trabalho de reparo, que irá reduzir o tempo ocioso em função de falhas inesperadas. A seguir as voltagens de teste dc mais comumente aplicadas e testes de manutenção executados:

Classificação AC de equipamentos (Volts)	Voltagem de teste DC (Volts)
0 - 100	100 - 250
440 - 560	500 - 1000
2.300	1.000 ou acima
4.100 e acima	1.000 ou acima

Tab. 2. Voltagens de teste de manutenção versus classificação de equipamentos

**Leitura pontual/teste de resistência de curta duração**

Durante o teste de curta duração, o MegOhmMeter está conectado diretamente ao equipamento sendo testado e a voltagem de teste é aplicada por cerca de 60 segundos. A fim de alcançar uma leitura de isolamento estável em cerca de um minuto, o teste deve ser executado somente em equipamentos de baixa capacitância. O procedimento básico de conexão é o mesmo do teste de prova e a voltagem aplicada é calculada a partir das fórmulas de voltagem de teste dc. Ao testar bons equipamentos, nota-se um aumento estável na resistência de isolamento devido ao decréscimo em correntes capacitivas e de absorção. Pelo fato da temperatura

e umidade poderem afetar as leituras, as medições devem ser feitas de preferência acima do ponto de condensação, em temperatura padrão – cerca de 20°C/68°F. Para equipamentos classificados abaixo de 1000 volts, a leitura de isolamento deve ser um valor de 1 MΩ ou maior. Para equipamentos classificados acima de 1000 volts, a resistência esperada deve crescer para um megohm por cada 1000 volts aplicados. Geralmente, a resistência de isolamento medida será um pouco menor do que os valores registrados previamente, resultando numa tendência decrescente como mostrado na

na Figura 6. A inclinação decrescente é um sinal normal do envelhecimento da isolação. Uma curva decrescente aguda indica uma falha de isolação ou um alerta de problemas em breve.

Voltagens de teste DC	Fórmula usada
Para classificação de voltagem fase a fase	$DCt=0,8165 \times E_{p-p}$
Para classificação de voltagem fase a terra	$DCt=1,414 \times E_{p-n}$

Tabela 3. Equações de voltagem de teste DC

DCt – voltagem de teste dc ligada ao máximo stress de isolação durante operação ac normal  
 $E_{p-p}$  – classificação de voltagem fase a fase  
 $E_{p-n}$  – classificação de voltagem fase a terra

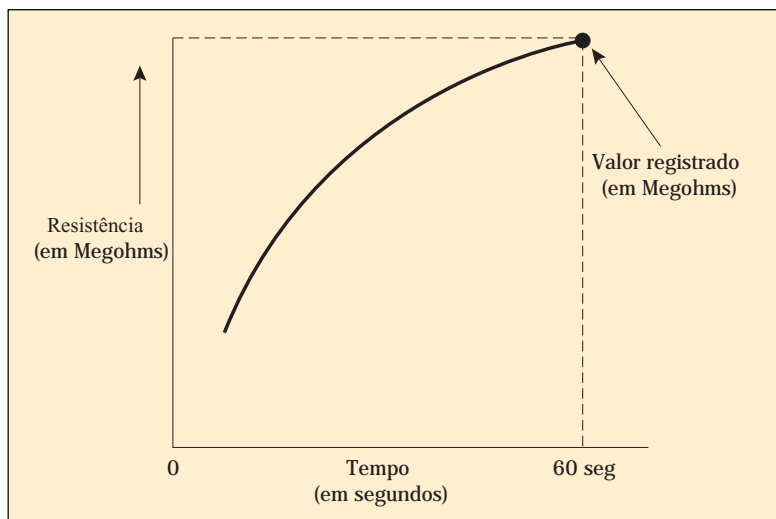


Figura 5. Teste de resistência de isolação

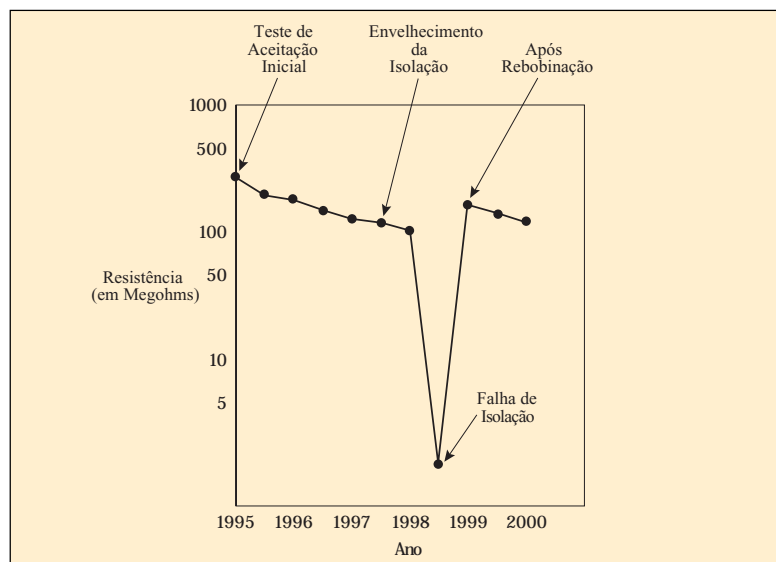


Figura 6. Resistência de isolação por um período de tempo

### Teste de voltagem em passos

O teste de voltagem em passos envolve testes de resistência em ambientes de voltagem variada. Neste teste, você aplica cada voltagem de teste para o mesmo período de tempo (geralmente 60 segundos), representando em gráfico a resistência de isolamento registrada. Aplicando voltagens crescentes em passos, a isolação é exposta a stresses elétricos crescentes que podem revelar informações sobre falhas na isolação como furos, danos físicos ou fragilidade. Uma boa isolação deve suportar aumentos de stress de sobretensão e sua resistência deve permanecer aproximadamente a mesma durante o teste com diferentes níveis de voltagem. Por outro lado, especialmente em níveis de voltagens mais altos, isolações contaminadas, deterioradas e quebradas irão experimentar um fluxo de corrente aumentado, resultando num decréscimo da resistência de isolação. Este teste é independente do material de isolação, da capacitância do equipamento e do efeito de temperatura. Pode ser executado logo após um teste de ponto de isolamento, uma vez que não toma muito tempo. Um teste de ponto lida com mudança de resistência absoluta (leitura única) com respeito ao tempo, enquanto o teste de voltagem em passos busca curvas na resistência, com respeito a voltagens de teste variantes.

### Absorção dielétrica/ Teste de tempo-resistência

O teste de tempo-resistência é independente do tamanho do equipamento e da temperatura. Ele compara as características de absorção de isolações contaminadas com as características de absorção de boas isolações. A voltagem de teste é aplicada além de um período de 10 minutos, com os dados registrados a cada 10 segundos do primeiro ao último minuto. A interpretação da curva do gráfico esboçado irá determinar a condição da isolação. Um crescimento contínuo na resistência representada indica boa isolação. Uma curva uniforme ou decrescente indica isolação danificada.

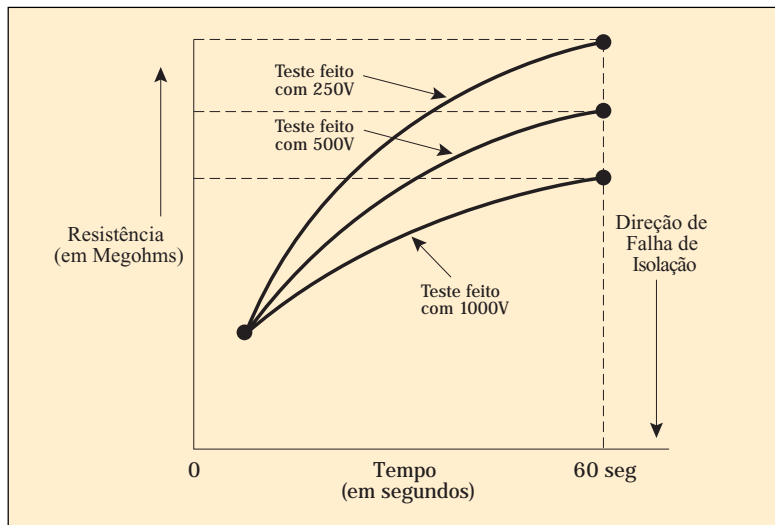


Figura 7. Teste de voltagem em passos

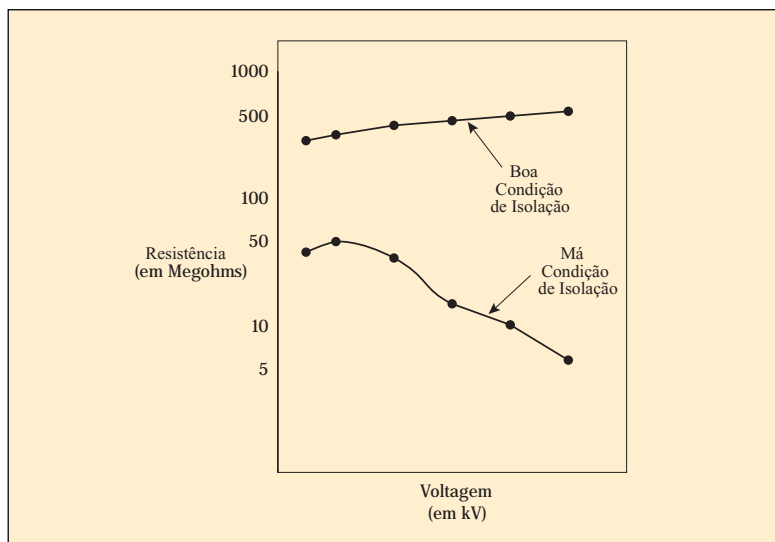


Figura 8. Curvas de teste boas e ruins

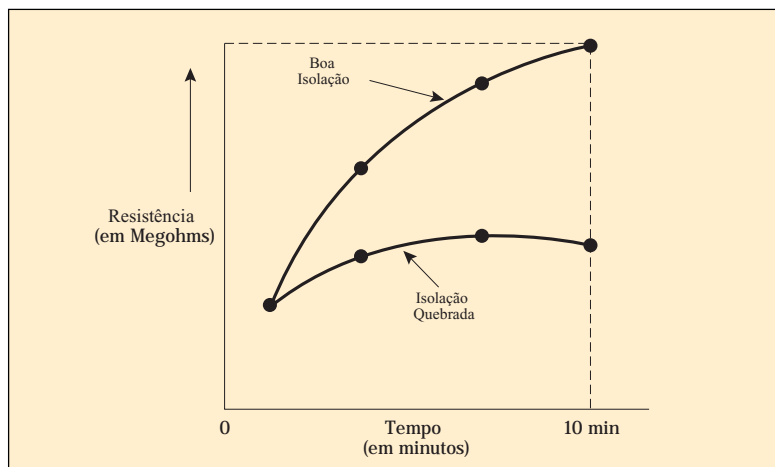


Figura 9. Teste de absorção dielétrica para curvas boas e contaminadas

Outro método de determinar a qualidade de isolamento é usar o teste de índice de polarização (IP). Ele é particularmente valioso no descobrimento de umidade e entrada de óleo que possuem um efeito de achatamento na curva do IP, gerando corrente de fuga e eventualmente circuitos em curto. O índice de polarização é a proporção de duas leituras de tempo-resistência: uma é tomada depois de 1 minuto e a outra depois de 10 minutos. Com boa isolamento, a resistência de isolamento começa baixa e cresce à medida que a corrente de fuga capacitiva diminui. Resultados são obtidos dividindo-se o valor de teste de 10 minutos pelo valor de teste de 1 minuto. Um índice de polarização baixo indica problemas com a isolamento. Quando o tempo de teste é restrito, um atalho para o teste de índice de polarização é o teste de segundos (60/30) da proporção de absorção dielétrica.

**Testando conexões em geradores, transformadores, motores e fios**

Para testar a resistência de isolamento em geradores, transformadores, motores e instalações de fios, pode-se empregar qualquer um dos testes de manutenção e predição mencionados anteriormente. Escolher testes de leitura de ponto, de voltagem em passos ou tempo-resistência depende da razão do teste e da validade dos dados obtidos. Ao testar geradores, motores ou transformadores, cada curva/fase deve ser testada em seqüência e separadamente enquanto todas as outras curvas estão em terra. Deste modo, a isolamento entre as fases também é testada.

**Correção de temperatura para testes de máquinas de rotação**

Para testar armações e resistência de isolamento de curvas em campo a temperaturas variadas, o IEEE recomenda a seguinte fórmula de resistência de isolamento.

$$R_m = K_t \times (kV + 1)$$

Tab. 6. Equação de Resistência de Isolação para maquinaria ac e dc

Condição de Resistência de Isolação	Proporção 30/60 segundos	Razão 10/1 minutos (IP)
Perigosa	0 a 1,0	0 a 1
Ruim	1,0 a 1,3	1 a 2
Boa	1,3 a 1,6	2 a 4
Excelente	1,6 e acima	4 e acima

Tabela 4. Razões aproximadas de absorção dielétrica

	Teste de Prova	Teste de leitura de ponto	Teste de voltagem em passos	Teste de absorção dielétrica	Teste de índice de polarização
Leitura única	o	o			
Alta voltagem de teste	o				
Executado periodicamente		o	o	o	o
Voltagens de teste variadas			o		
Com tempo				o	o

Tabela 5. Testes de Isolação variados

R<sub>m</sub> – Resistência de isolamento mínima corrigida para 40°C em MΩ  
 K<sub>t</sub> – Coeficiente de temperatura da resistência de isolamento a temperatura de curva, obtido a partir da figura 10  
 kV – Voltagem de terminal a terminal da máquina classificada em kilovolts

Para um sistema trifásico testado com as outras duas fases em terra, a resistência registrada para cada fase deve ser dividida por dois. Então, o valor resultante pode ser comparado com a resistência de isolamento mínima recomendada (R<sub>m</sub>).

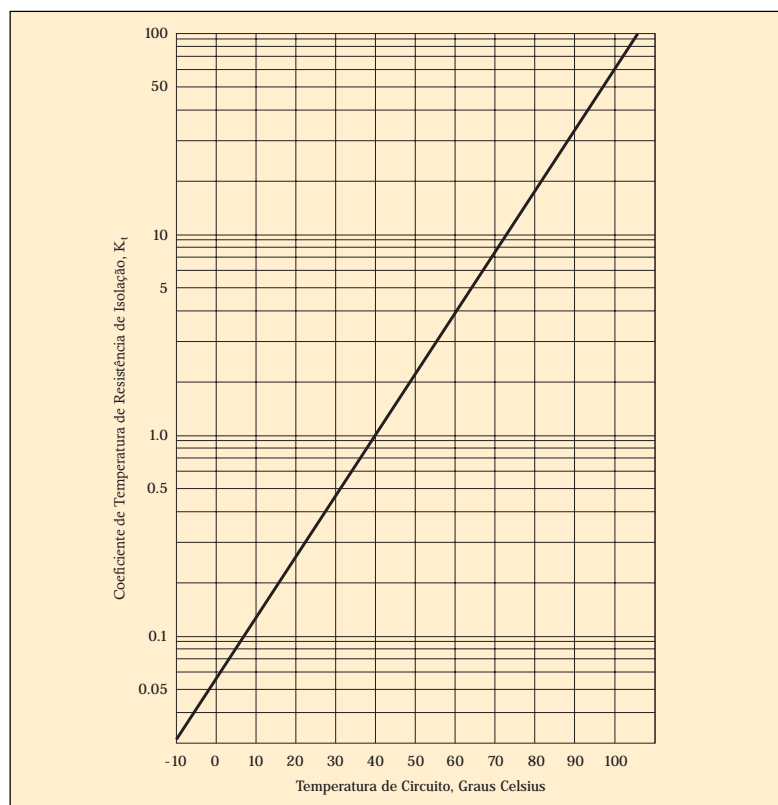


Figura 10. Coeficiente de temperatura aproximado para máquinas de rotação

**Testando geradores e motores**

Ao testar resistência de bobinas de estator, certifique-se de que as fases e circuitos do estator estão desconectadas. Meça a resistência de isolação entre circuitos e entre os circuitos e a terra. Quando geradores dc ou motores estão sendo testados, as escovas devem ser levantadas de forma que as bobinas possam ser testadas separadamente da armação. A seguinte tabela lista as leituras mínimas de resistência recomendadas para classificações variadas de voltagem de motor.

Classificação de Voltagem de Fábrica	Resistência Mínima Aceitável
0-208	100.000 Ω
208-240	200.000 Ω
240-600	300.000 Ω
600-1000	1 MΩ
1000-2400	2 MΩ
2400-5000	3 MΩ

Tabela 7. Resistência mínima recomendada a 40°C

**Testando transformadores**

Ao testar transformadores monofásicos, teste circuito a circuito, circuito a terra ou um circuito de cada vez com todos os outros em terra. Para transformadores trifásicos, substitua E por E<sub>p-p</sub> (para transformadores delta) ou E<sub>p-n</sub> (para transformadores em Y) e classificação do circuito sob teste de kVA para kVA<sub>3Ø</sub>. Para determinar a resistência de isolação mínima, use a seguinte fórmula:

Transformador	Fórmula usada
Monofásico	R = C x E ÷ √kVA
Trifásico	R = C x E <sub>p-n</sub> ÷ √kVA
Delta trifásico	R = C x E <sub>p-p</sub> ÷ √kVA

Tabela 8. Equações de resistência de isolação de transformadores

R – Resistência de isolação mínima de 500 volts dc de um minuto em megohms  
 C – Constante para medições de 20°C (veja abaixo)  
 E – Classificação de voltagem de circuito.  
 kVA – Capacidade classificada do circuito sob teste. Para unidades trifásicas kVA<sub>3Ø</sub> = 3 x √kVA<sub>1Ø</sub>

Transformador	60-Hertz
Com preenchimento de óleo	1,5
Sem preenchimento de óleo	30,0
Seco/preenchimento composto	30,0

**Testando instalações de fios e cabos**

Ao testar fios e cabos, eles devem estar desconectados de máquinas e painéis para mantê-los isolados. Os fios e cabos devem ser testados uns contra os outros e contra a terra (veja figura 4 na página 4). A Insulated Power Cable Engineers Association (IPCEA) fornece a seguinte fórmula que sugere valores mínimos de resistência de isolação.

$$R = K \times \text{Log}_{10} (D/d)$$

Tabela 10. Resistência de isolação de cabo

R - MΩs por 305 metros de cabo. Baseado no potencial de teste de 500 volts, aplicados por um minuto a 15,6°C  
 K – Constante de material de isolação. (Por exemplo: papel impregnado - 2640, cambraia envernizada -2460, polietileno termoplástico -50000, polietileno composto - 30000)  
 D – diâmetro externo de isolação de condutor para fios e cabos condutores únicos  
 D = d + 2c + 2b diâmetro de cabo condutor único  
 d – diâmetro de condutor  
 c – espessura de isolação de condutor  
 b – espessura de isolação de capa

Por exemplo, um condutor número 6 A.W.G. de 300 metros com borracha natural resistente ao calor e espessura de isolação de 0,125 terá K=10.560 e Log<sub>10</sub> (D/d) = 0,373 polegadas. De acordo com a fórmula (R = K x Log<sub>10</sub> (D/d), R = 10,560 x 0.373 = 3,939 MΩ por 300 metros), a resistência de isolação mínima esperada para um único condutor por 300 metros à temperatura de 15,5°C será 3,939 MΩ .

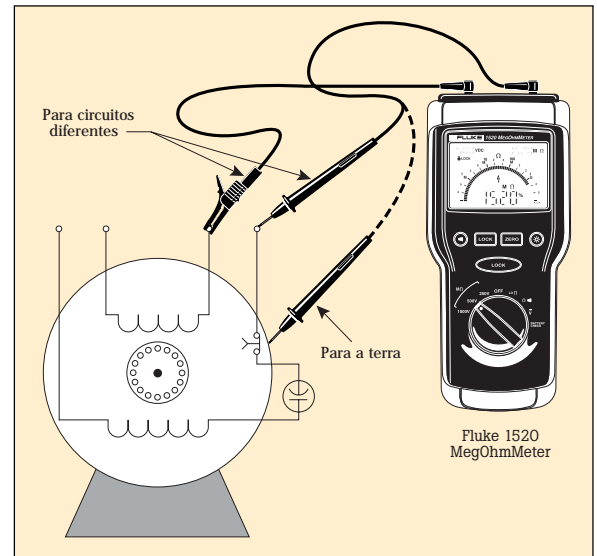


Figura 11. Testando a isolação de um motor



**Fluke.** Mantendo seu mundo funcionando.

**Vórtex Equipamentos Ltda**  
 Rua São Miguel 1183 - Sala 101 Bairro Itapoá  
 Belo Horizonte - MG CEP: 31710-350  
 Tel.: (31) 3427-7700 Fax.: (31) 3427-7792  
 e-mail: vortex@vortex.com.br

<http://www.vortex.com.br>