

---

## 5 CABOS ISOLADOS

### 5.1 INTRODUÇÃO

A confiabilidade e a vida útil de cabos de potência são influenciados pela qualidade de fabricação, fatores de serviço como tensão e umidade e o tipo de material isolante e de cobertura. Esses fatores podem causar não somente a redução da vida útil dos cabos mas também a ocorrência de falhas durante o serviço.

Os testes de cabos de potência na fábrica, tem por finalidade garantir a qualidade do produto.

Durante o lançamento e preparação dos cabos, podem ocorrer danos mais ou menos graves, capazes de inutilizar ou reduzir a vida útil, tais como esforços excessivos, raios de curvatura reduzidos, perfurações ou rasgos no isolamento e falhas na montagem de emendas e terminações. Testes de alto potencial podem ser capazes de detectar estes tipos de anormalidades.

Durante a operação podem acontecer avarias no isolamento com redução de sua vida útil, conseqüência de contaminantes e sobretemperatura aliado a sobretensões. Testes de rotina podem detectar estas degradações, permitindo ação preventiva e evitando paradas intempestivas do processo produtivo.



Fig 54 Cabos lançados em leitos

---

## 5.2 TIPOS DE ISOLAÇÃO DE CABOS DE POTÊNCIA

Os mecanismos de avaria em cabos estão intimamente ligados ao material isolante utilizado.

O material isolante dos cabos de potência pode ser constituído por materiais sólidos e podem ser do tipo estratificado. Os materiais sólidos podem ser termoplásticos (cloreto de polivinila e polietileno) e termofixos (borracha etileno-propileno e polietileno reticulado). As isolações estratificadas são as que utilizam papel impregnado.

O gradiente de perfuração do dielétrico, ou rigidez dielétrica é um dos parâmetros mais importantes na escolha do material isolante, pois sua redução pode causar falhas. Essa rigidez é proporcional ao número de vazios ou impurezas localizadas no material isolante.

Sabe-se que a dispersão dos valores de rigidez é muito menor nos dielétricos estratificados (ou laminados) do que nos sólidos (extrudados). Explica-se isto pelo fato que o método de aplicação do isolamento estratificado e subsequente impregnação evita a presença de vazios localizados na isolação, enquanto o processo de preparação e aplicação dos dielétricos sólidos torna quase impossível garantir a total ausência destes vazios. Por este motivo, os mecanismos de degradação de cabos são observáveis em maior frequência nos modelos com isolante sólido.

Os isolantes sólidos mais utilizados nos cabos de potência são *PVC, PE EPR e XLPE*.

## 5.3 O FENÔMENO DA ARBORESCÊNCIA (TREEING)

A degradação por arborescência tem se mostrado um dos principais fatores que podem levar à falha de cabos isolados, com conseqüente interrupção de serviço. A arborescência é uma estrutura difusa, no formato de um leque, que se forma em isolantes extrudados (principalmente em XLPE) e é causada pela ação combinada de água e campo elétrico aplicado.

Uma arborescência pode-se transformar numa árvore elétrica, ou atravessar o isolamento e após a ocorrência de qualquer um desses eventos, a ruptura dielétrica é iminente. Esta redução na rigidez dielétrica em muitos casos é suficiente para causar uma falha mesmo sob tensão nominal de operação.

Enfim, este fenômeno causa modificações nas características isolantes do cabo como o aumento no fator de dissipação, aumento na corrente de fuga e das descargas parciais o que o torna identificável através de testes adequados. Veja na Fig 55 um exemplo.

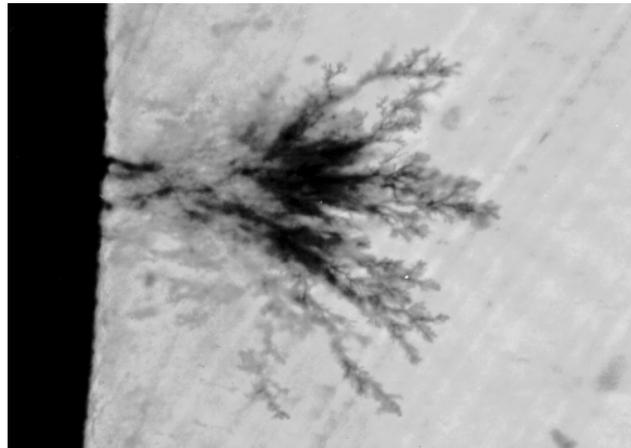


Fig 55 Exemplo do fenômeno da Arborescência

#### 5.4 TEMPERATURA

A temperatura de operação é outro fator de degradação do isolamento do cabo. A degradação pode decorrer de uma fonte pontual de calor, tal como em uma conexão com mau contato ou através da elevação de temperatura provocada pela circulação da corrente de operação e da limitação da troca de calor com o ambiente.

Cabos bem projetados normalmente trabalham com temperaturas que não levam à degradação prematura do isolamento.

É comum lançar novos condutores sobre leitos de cabos e eletrocalhas sem a verificação do correspondente acréscimo de temperatura em razão de um maior número de condutores carregados. Este procedimento pode resultar em temperaturas de operação superiores às de projeto dos cabos.

Quando são lançados condutores de seções muito diferentes (3 ou mais seções) em uma mesma linha elétrica, os condutores de menor seção devem ser superdimensionados por questões de aquecimento (*NBR-5410/97*).

#### 5.5 DESCARGAS PARCIAIS

Como já foi mencionado anteriormente, o processo de fabricação deve evitar a presença de vazios no isolante. A presença destes vazios podem ocasionar o surgimento de descargas parciais (corona) que, se não forem controladas, aumentam os vazios até romper definitivamente o dielétrico. Este fenômeno é causado por sobretensão e defeitos de fabricação.

---

## 5.6 ERROS DE INSTALAÇÃO

Falta de cuidado ao se manusear e lançar os cabos em eletrodutos ou outras linhas elétricas, pode causar danos que, se não causarem falhas quando o sistema for colocado em funcionamento, provavelmente falharão com um tempo reduzido de operação. Durante a instalação podem ocorrer defeitos no material isolante tais como fissuras e perfurações do isolamento. Estes defeitos levarão à formação de arborescência e descargas parciais que podem causar o rompimento total do dielétrico.

## 5.7 ERROS NA ESPECIFICAÇÃO DA TENSÃO DE ISOLAMENTO DO CABO

É importante lembrar que, em sistemas com o neutro completamente isolado da terra ou ligado à terra através de impedância, uma falta à terra provoca uma elevação na tensão das fases não afetadas, podendo chegar a assumir um valor 1,73 vezes superior àquele de regime normal. A isolação dos cabos fica, portanto, submetida a uma tensão muito superior ao valor nominal, podendo ser danificada. A classe de isolamento do cabo deve ser escolhida de acordo com o tipo de aterramento funcional do sistema elétrico.

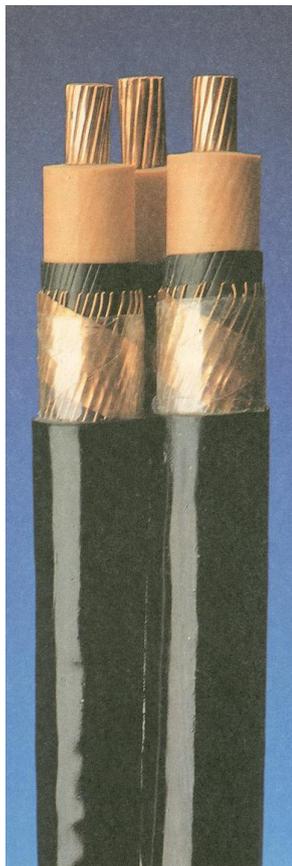


Fig 56 Condutor de cobre triplex 20/35kV- isolamento em borracha etileno propileno (EPR)

---

## 5.8 TERMINAIS E EMENDAS

Estatísticas mostram que um grande percentual de faltas ocorrem nos terminais e emendas de cabos de potência. Portanto, estes componentes devem ser instalados de maneira correta e especificados de acordo com os níveis de tensão e dimensões dos cabos.

## 5.9 TESTES DE CABOS ELÉTRICOS NO CAMPO

Tradicionalmente os testes elétricos executados após o lançamento e execução das terminações e emendas é o teste de alto potencial em corrente contínua e posterior teste de resistência de isolamento.

Vários autores desaconselham a utilização do teste de alto potencial para acompanhamento, pela manutenção, da degradação do isolamento, sob a argumentação de que tais testes aceleram a degradação do isolamento, principalmente em condutores que apresentam o fenômeno da arborescência.

A tendência atual são os testes com tensão alternada com frequência muito baixa (0,1 a 1Hz), com o acompanhamento da evolução do fator de potência do isolamento e a medição das descargas parciais.

## 5.10 INSPEÇÃO DE CABOS ISOLADOS

A inspeção de cabos isolados se resume a:

- Teste de resistência de isolamento.
- Teste de acompanhamento da degradação do isolamento.
- Eliminação de água, causadora da arborescência.
- Inspeção visual em emendas e terminações.
- Eliminação de cupins e roedores.

## 5.11 ENSAIO DE TENSÃO ELÉTRICA (NBR 6881)

Estes ensaios são destinados a demonstrar a integridade dos cabos e seus acessórios, durante e após sua instalação.

Os ensaios podem ser classificados como:

**A** – Ensaios em qualquer ocasião, durante a instalação.

**B** – Ensaios após a conclusão da instalação do cabo e seus acessórios, e antes destes serem colocados em operação.

**C** – Após o cabo e seus acessórios terem sido colocados em operação, em qualquer ocasião, dentro do período de garantia.

**D** – Cabos em operação, fora do período de garantia.

Os ensaios podem ser realizados com tensão alternada ou contínua. Por facilidade, dimensões, peso e custo inferiores dos equipamentos de tensão contínua, esta será a tensão a ser utilizada nestes ensaios.

A Tabela 17 define os valores de tensão elétrica e os tempos de aplicação da tensão para os vários tipos de ensaios. A tensão elétrica contínua deve ser fornecida por meio de uma bateria, gerador eletrostático ou transformador com circuito retificador.

O aparelho tem que possuir um dispositivo capaz de controlar a taxa de variação de tensão.

Tabela 17 Valor da tensão CC e tempo de teste em função da classe de tensão do cabo.

Tensão Vo / V do Cabo	Tipos de ensaio							
	A		B		C		D	
	Tensão (kV)	Tempo	Tensão (kV)	Tempo	Tensão (kV)	Tempo	Tensão (kV)	Tempo
0,6 / 1	6,3	5 min	6,8	15 min	5,5	5 min	1,4	5 min
1,8 / 3	11,6		12,4		10		4,3	
3,6 / 6	19,8		21,2		17,2		8,6	
6 / 10	27		28,8		23,4		14,4	
8,7 / 15	39,7		42,4		34,4		20,8	
12 / 20	54		57,6		46,8		28,8	
15 / 25	67,5		72		58,5		36	
20 / 35	90		96		78		48	

---

O ensaio em tensão contínua deve ter um fator de ondulação inferior a 5%, salvo determinação diferente da norma específica do equipamento.

Cabos singelos ou múltiplos, com veias blindadas individualmente, com ou sem blindagem ou armações metálicas sobre o conjunto das mesmas, aplicar tensão de ensaio entre condutor e blindagem.

Cabos com duas a quatro veias, sem blindagem individual e sem blindagem ou armações metálicas sobre o conjunto das mesmas, aplicar tensão de ensaio entre cada condutor e todos os outros condutores.

Cabos com duas a quatro veias, sem blindagem individual e com blindagem ou armações metálicas sobre o conjunto das mesmas, aplicar tensão de ensaio entre cada condutor e todos os outros condutores e também entre cada condutor e blindagem ou armações metálicas.

A tensão a ser aplicada deve ser elevada a partir de um valor inicial, o menor possível, mas não superior a 20% da tensão nominal do cabo submetido ao ensaio.

A taxa de elevação da tensão deve ser aproximadamente uniforme, de tal maneira que a tensão especificada de ensaio seja atingida em não menos do que 10 segundos e nem mais que 60 segundos.

Ao atingir o valor da tensão de ensaio, o mesmo deve ser mantido durante o tempo especificado.

O valor da tensão e o tempo de aplicação estão especificados na Tabela 17.

Decorrido o tempo de ensaio especificado, a tensão deve ser reduzida com taxa de variação aproximadamente uniforme, até um valor menor possível, mas não superior a 20% da tensão nominal do cabo e em seguida, desligar o equipamento.

Caso durante a execução do ensaio houver uma ou mais interrupções por qualquer anomalia no equipamento, conexões ou terminações do cabo, o ensaio pode ser continuado, acrescentando-se para cada interrupção, 20% do tempo total de aplicação de tensão ao tempo que resta para finalizar o ensaio.

O valor da tensão contínua de ensaio é definido pelo seu valor médio aritmético.

Não ocorrendo perfuração total ou parcial do dielétrico submetido ao ensaio, o condutor é considerado aprovado.

---

Este ensaio não é universalmente recomendado para testes de manutenção por ser destrutivo, podendo contribuir para o envelhecimento prematuro do isolamento e por não fornecer informações de evolução da degradação do material isolante.

## 5.12 ENSAIO DE TENSÃO ELÉTRICA ALTERNATIVO

O ensaio de tensão elétrica realizado com a aplicação de degraus de tensão e registro das correntes de fuga tem algumas vantagens com relação ao ensaio recomendado pela NBR 6881.

O método alternativo permite um controle da intensidade da corrente de fuga, refletindo em maior segurança, garantindo que o teste seja não destrutivo.

O método alternativo propicia ainda uma maior gama de informações para um acompanhamento do estado do isolamento do cabo e sua confiabilidade operacional, sendo muito útil para controle preditivo por parte da manutenção.

O equipamento de ensaio e a ligação do cabo a ser testado são os mesmos da *NBR 6881*.

O valor da tensão aplicada no último degrau é o valor constante na Tabela 17.

O valor da tensão deve ser dividido em degraus, no mínimo 5 e no máximo 10.

Preparar um gráfico para plotagem dos valores medidos, em papel milimetrado, conforme Fig 57.

Aplicar o primeiro degrau de tensão, lendo a corrente de fuga 1 minuto após a aplicação da tensão, plotando-a no gráfico.

Aplicar o segundo degrau, plotando a corrente de fuga lida 1 minuto após. Ligar os dois pontos através de uma linha.

Aplicar os outros degraus de tensão até o último, plotando as correntes de fuga lidas e traçando a linha, unindo todos os pontos.

O teste deve ser continuado enquanto a linha traçada for uma reta ou uma curva com pequena inclinação.

Após a aplicação do último degrau de tensão e da plotagem da corrente de fuga com 1 minuto, a tensão deve continuar imposta ao condutor sob ensaio pelo tempo definido na tabela e as correntes de fuga lidas e plotadas de 1 em 1 minuto.

Caso a corrente de fuga cresça rapidamente, formando um joelho, como mostrado no gráfico, o ensaio deve ser interrompido. Isto indica um forte possibilidade de ruptura do dielétrico.

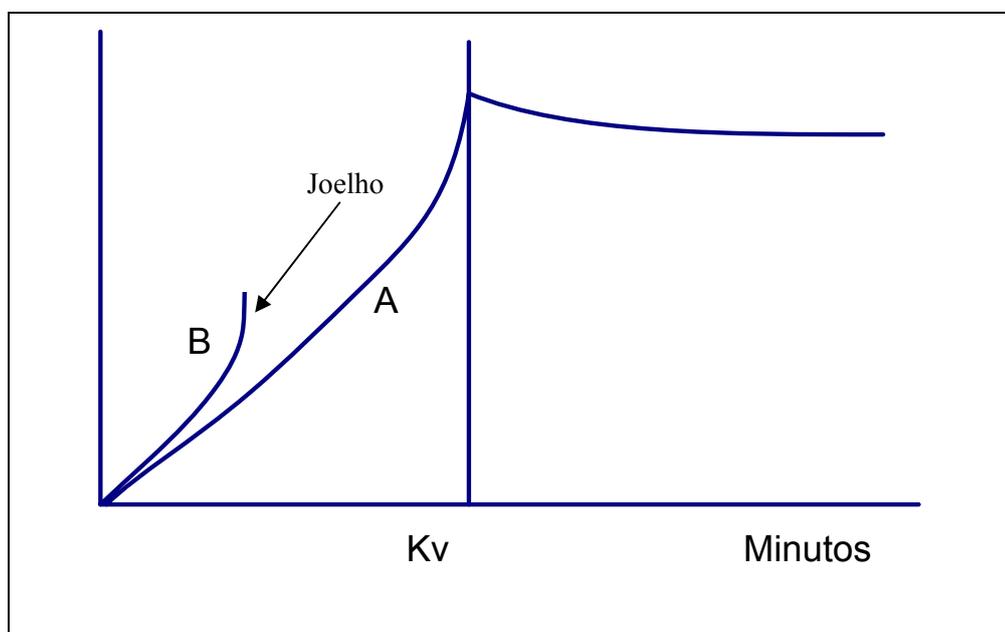


Fig 57 Comportamento da corrente de fuga durante o ensaio

**A** - Ensaio típico de um cabo com isolamento em boas condições .

**B** - Ensaio interrompido. Isolamento com indicação de ruptura do dielétrico para novos incrementos de tensão.

Um linha reta ou uma curva com pequena inclinação no ensaio corrente de fuga versus degraus de tensão e valores decrescentes de correntes de fuga no ensaio corrente de fuga versus tempo, indicam cabo em bom estado.

Corrente de fuga com valores estáveis ou crescentes com o tempo, indicam isolamento com polarização pobre (índice de polarização  $\leq 1$ ).