

Cabos Elétricos de Média Tensão

PROGRAMA

- Conceitos Básicos de Cabos MT
- Ensaaios
- Instalação e Armazenamento

Cabos de potência para média tensão

Conceitos Básicos

Especificações

Normas brasileiras da ABNT (NBR) que regem os cabos de potência MT (de 1,8/3 a 20/35 kV):

- NBR 6251 => Padronização

Cabos Subterrâneos:

NBR 7286 => EPR - requisitos de desempenho

NBR 7287 => XLPE - requisitos de desempenho

Cabos aéreos:

NBR 9024 => XLPE

Especificações

Equivalência em relação a normas internacionais:

- Baseada na IEC 60502 -1/2
- Naval: IEC 60092-350 (série)

Tensões de isolamento

NBR 6251 => tensões de isolamento U_0 e U :

- U_0 : tensão eficaz fase-terra
- U : tensão eficaz fase-fase

Na média tensão, as tensões de isolamento U_0/U definidas por norma são:

1,8/3 kV

6/10 kV

15/25 kV

3,6/6 kV

8,7/15 kV

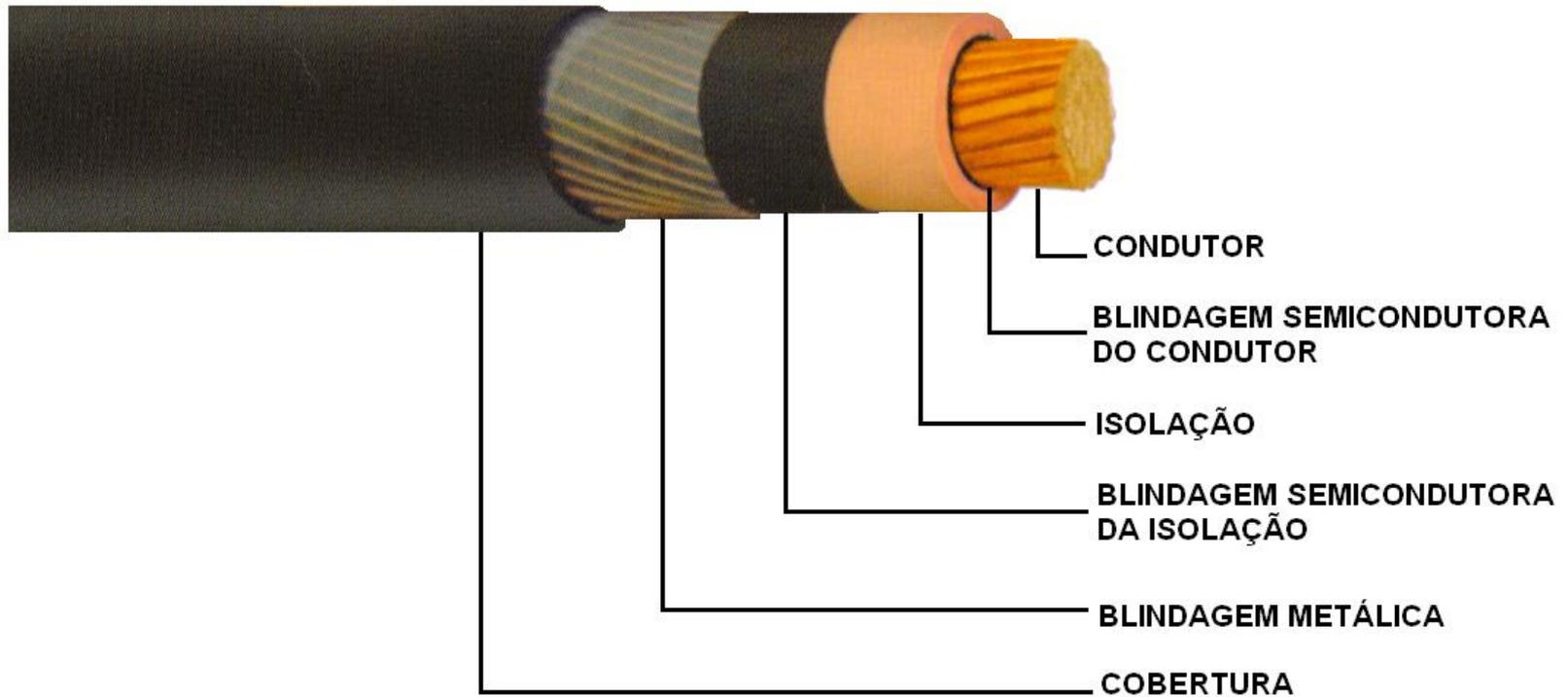
20/35 kV

12/20 kV

Elementos Básicos de um cabo de MT

- **Condutor Metálico:** transporte da energia elétrica
- **Conjunto dielétrico:** Isolação + semicondutoras, suporte do nível de isolamento requerido e confinamento do campo elétrico
- **Blindagem Metálica:** aterramento, transporte das correntes capacitivas ou de curto-circuito, blindagem eletrostática contra interferências
- **Cobertura Externa:** proteção mecânica ou química do núcleo do cabo.

Construção de um cabo de Média Tensão



Condutor

Material:

- **Cobre:** superiores características elétricas e mecânicas
- **Alumínio:** condutores nus para transmissão e distribuição.
Menor custo, mas a seção equivalente deve ser 65% superior à do cobre
- **Estanhagem:** proteção contra ataques químicos e melhorar a soldabilidade.

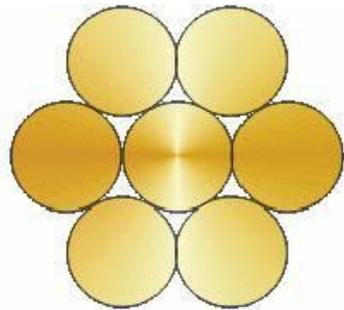
Condutor

Característica	Unidade	Cobre		Alumínio	
		duro	mole	duro	mole
Massa específica	kg/dm ³	8,890		2,703	
Resistividade Elétrica a 20° C	Ω.mm ² /k m	17,5 a 17,9	17,24	28,2 a 28,5	27,5 a 28,4
Carga de ruptura	kg/mm ²	38-45	23-28	17-23	7-10
Limite de elasticidade	kg/mm ²	22	-	8-11	1-2
Módulo de elasticidade	kg/mm ²	10000 a 13500		6000	
Coeficiente de dilatação térmica	°C ⁻¹	17x10 ⁻⁶		23x10 ⁻⁶	
Ponto de fusão	°C	1083		658	
Calor específico	kcal/kg °C	0,093		0,218	
Calor de fusão	kcal/kg	43-51		92,4	
Coef. Temperatura p/ resistividade	°C ⁻¹ 10 ³	3,82	3,93	4,00	

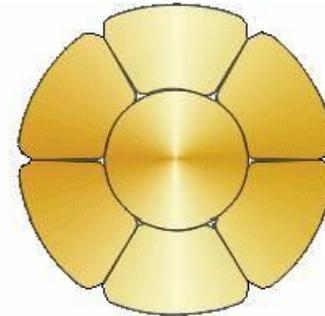
Condutor

Condutores: reunião concêntrica de vários fios em uma ou mais camadas sobre um fio central;

Padronização: NM-280, classe 2 de encordoamento e compactados;



Redondo normal



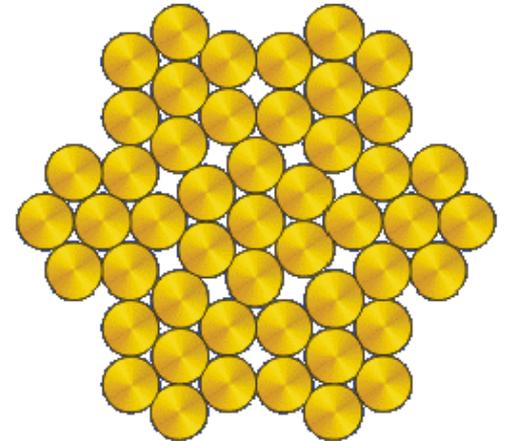
Compactado: minimização de vazios entre condutor e semicondutora interna (MT)

Requisitos da norma NM-280 para classe 2: quantidade mínima de fios e resistência elétrica máxima

Seção Nominal (mm ²)	Quantidade mínima de fios - condutor circular compactado	resistência elétrica máxima a 20 °C (ohm/km)	
		Fios Nus	Fios Revestidos
50	6	0,387	0,391
70	12	0,268	0,270
95	15	0,193	0,195
120	18	0,153	0,154
150	18	0,124	0,126
185	30	0,0991	0,100
240	34	0,0754	0,0762

Condutor flexível classes 4 ou 5 para MT

- uso móvel => flexibilidade é condição fundamental para operacionalidade;
- outras aplicações => vida útil reduzida pelas descargas elétricas geradas devido à presença de vazios entre condutor e semicondutora interna;



Bloqueio do Condutor

Função: Conter a penetração longitudinal de umidade no condutor;

Materiais:

- Composto vedante semicondutor a base de betume;
- Fios (helicoidal e/ou longitudinal) e/ou fita inchantes;



Isolação

Fornece a rigidez dielétrica necessária para o nível de isolamento requerido.

- No passado: Termoplásticos
- Atualmente: somente Termofixos (melhor estabilidade térmica)

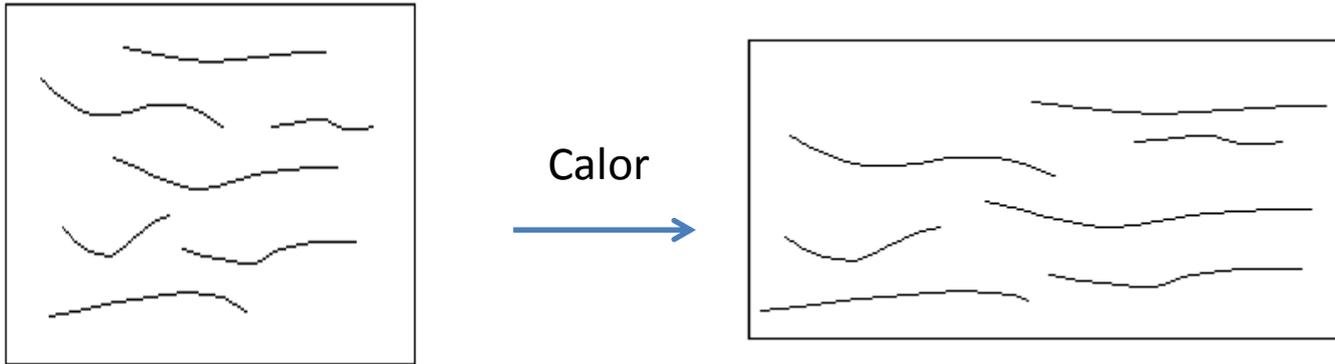
NBR 6251 (média tensão): compostos termofixos à base de Polietileno Reticulado (XLPE) ou de borracha Etileno-Propileno (EPR)

Isolação

Termoplásticos:

PVC/A – (70°C ou 105°C)

PE – (70°C)

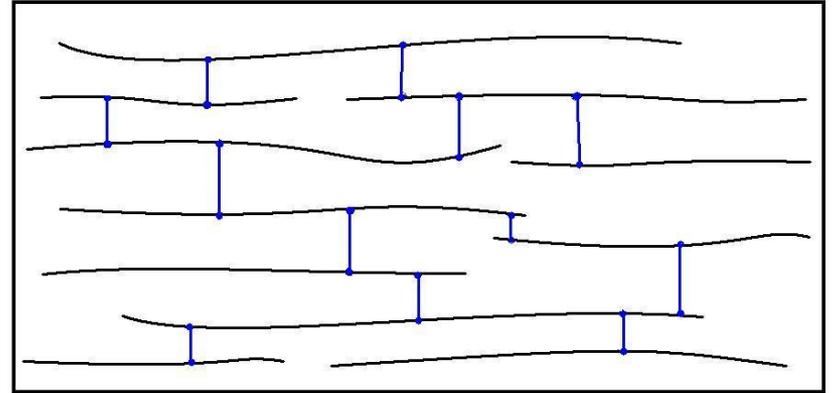


Perdem a estabilidade com o aumento da temperatura, não mantendo mais a forma original.

Isolação

Termofixos:

- EPR => Etilenopropileno
- HEPR => Etilenopropileno de alta dureza (*hard*)
- EPR 105 => Etilenopropileno 105⁰C
- XLPE => Polietileno reticulado
- XLPE TR => Polietileno reticulado com *treeing retardant*



Estáveis mesmo em regime de altas temperaturas, não se deformam com o aumento do calor.

Isolação



Isolação

CARACTERÍSTICAS		XLPE ou TR-XLPE	EPR ou HEPR	EPR 105
RIGIDEZ DIELÉTRICA	CA	50	40	40
(kV/mm) (ver nota 1)	IMPULSO	65	60	60
FATOR DE PERDAS (tg δ)		0.001	0.003	0.003
CONSTANTE DIELÉTRICA (ϵ)		2,3	3,0	3,0
RESISTIVIDADE TÉRMICA ($^{\circ}\text{C.m/W}$)		3,5	5,0	5,0
ESTABILIDADE EM ÁGUA		REGULAR	ÓTIMA	ÓTIMA
FLEXIBILIDADE		REGULAR	ÓTIMA	ÓTIMA
LIMITES TÉRMICOS ($^{\circ}\text{C}$)	REGIME PERMANENTE	90	90	105
	SOBRECARGA (ver nota 2)	130	130	140
	CURTO-CIRCUITO (ver nota 3)	250	250	250
CUSTO RELATIVO		MÉDIO	ALTO	ALTO

Isolação em MT

Gradiente de potencial: relação entre diferença de potencial elétrico aplicada a uma camada elementar de dielétrico e a espessura dessa camada.

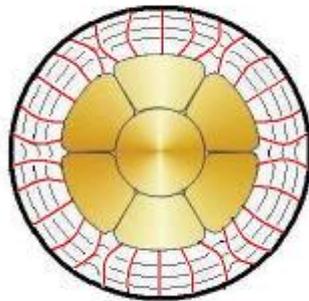
NBR 6251: espessura da isolação plena e coordenada

Plena: gradiente de 2,0 kV/mm até 3,8 kV/mm

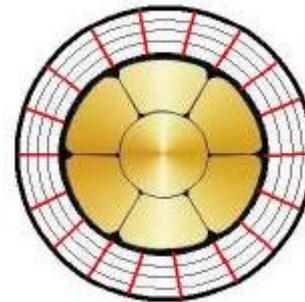
Coordenada: gradiente de 4 kV/mm

Blindagem do condutor

- distribuição homogênea das linhas de campo elétrico
- eliminação de espaços vazios entre o condutor e a isolação, evitando o surgimento de descargas elétricas



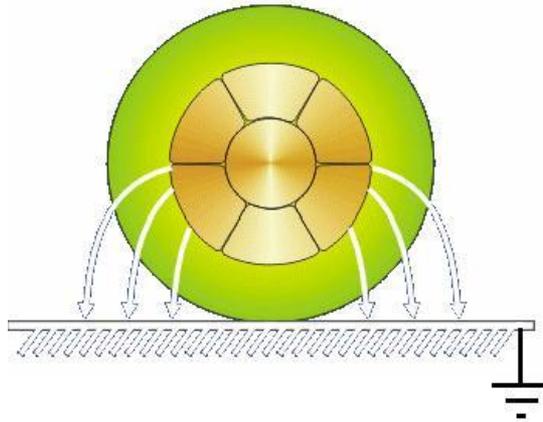
Sem Blindagem



Com Blindagem

Blindagem da isolação

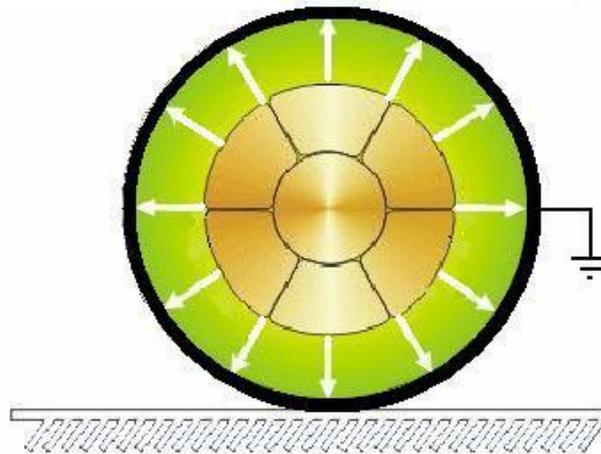
Tensão entre dois elementos quaisquer: distribuição não uniforme, esforços elétricos tangenciais e longitudinais



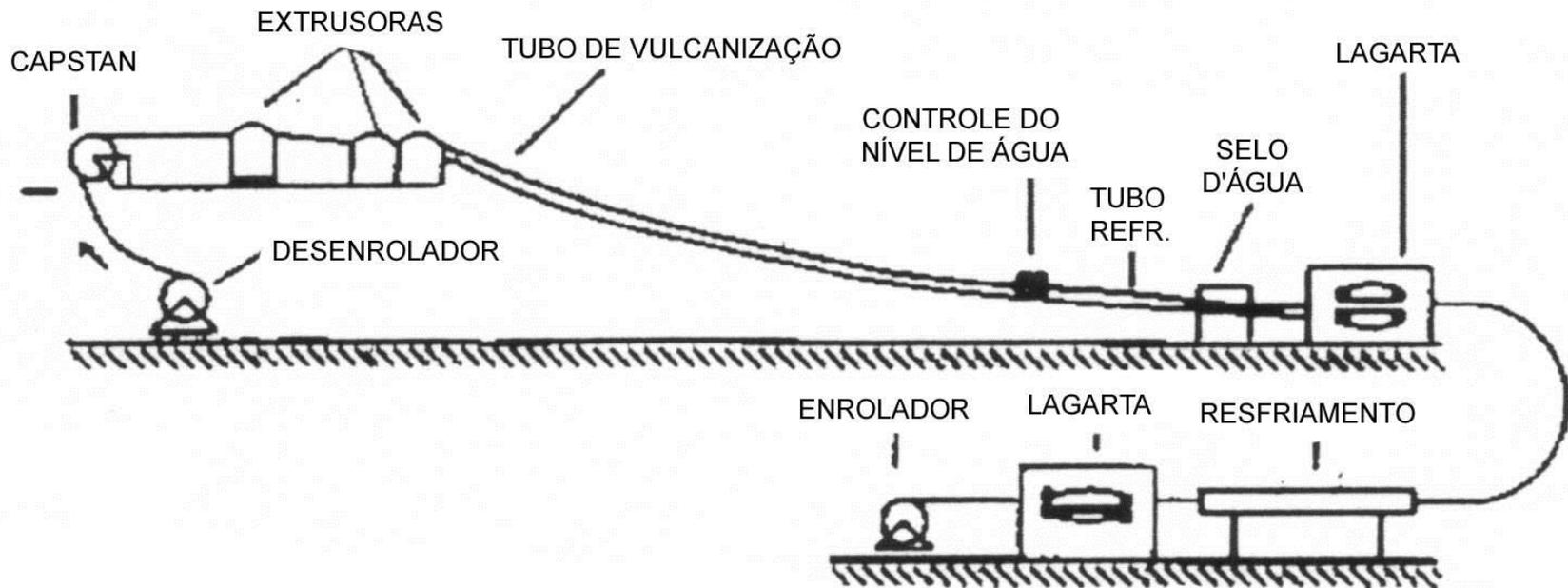
Deterioração do material dielétrico e riscos físicos ao ser humano

Blindagem Semicondutora

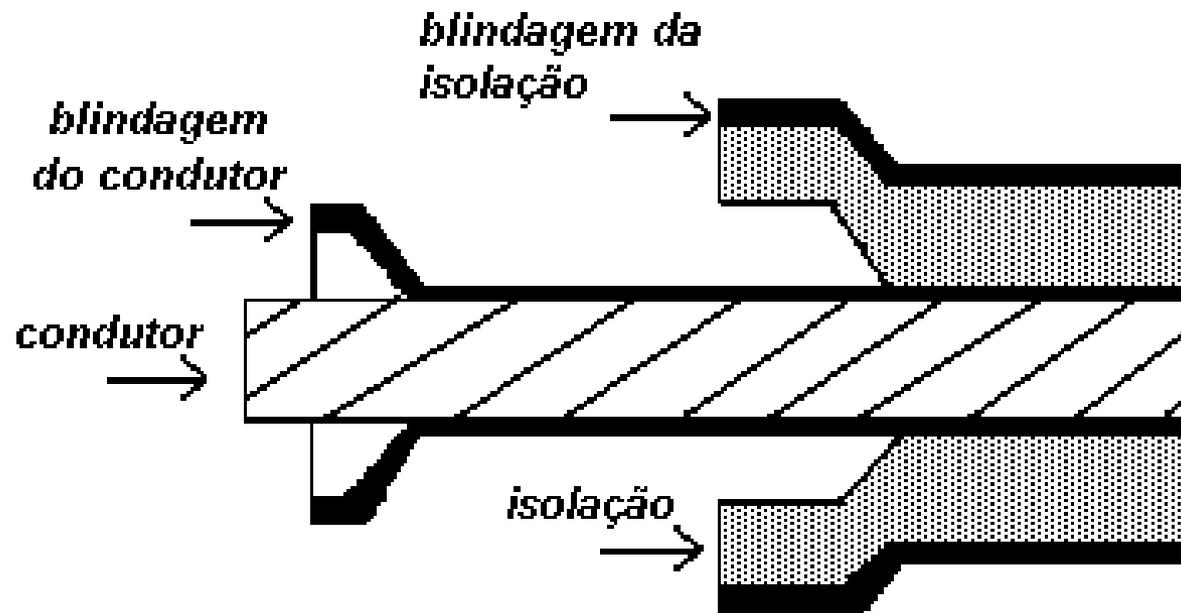
- Confinamento do campo elétrico no interior do cabo
- Campo elétrico uniforme



Processo de Tríplice Extrusão



Processo de Tríplice Extrusão



Vídeo tríplice extrusão

Processo de Degradação



Estresse elétrico e presença de umidade:
“water treeing” (arborescência em água).

Degradação do dielétrico

Campo elétrico + pontos de fragilidade

- trilhamento
 - evolução de tamanho de forma exponencial
 - diminuição da rigidez dielétrica
 - perfuração

Comprometimento da expectativa de vida útil do produto
=> substituição do cabo elétrico

Blindagens Metálicas

Materiais : cobre nu ou estanhado

Fios helicoidais ou fitas com sobreposição

Funções: aterramento, transporte das correntes capacitivas ou de curto-circuito, blindagem eletrostática contra interferências

Vídeo aplicação de blindagem e fita tamponante

Bloqueio da blindagem da isolação

Blindagem metálica da isolação: pequenos interstícios entre os fios componentes

Bloqueio: fita com propriedade de se expandir na presença da água

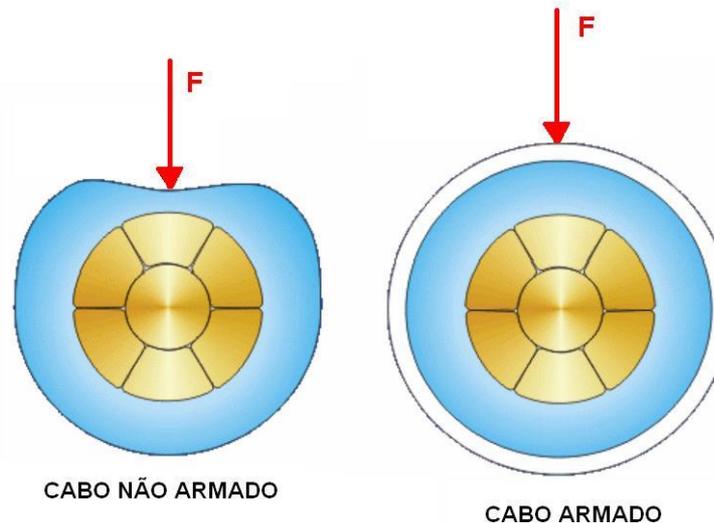


Armação

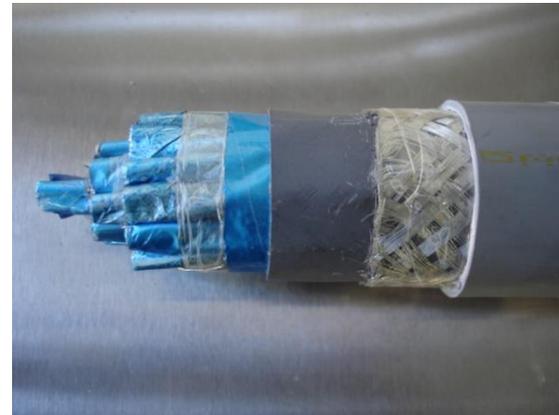
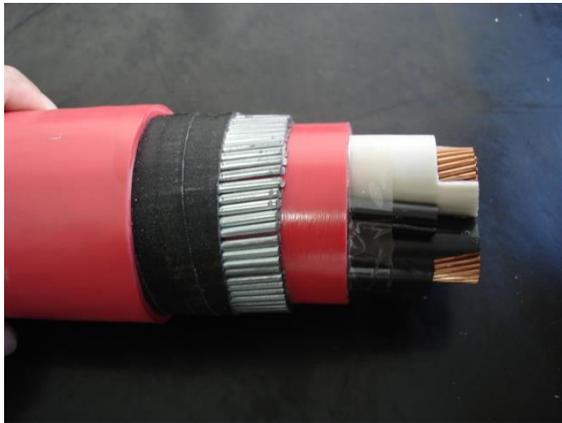
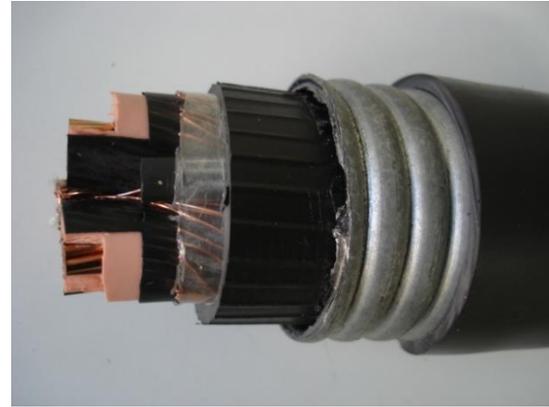
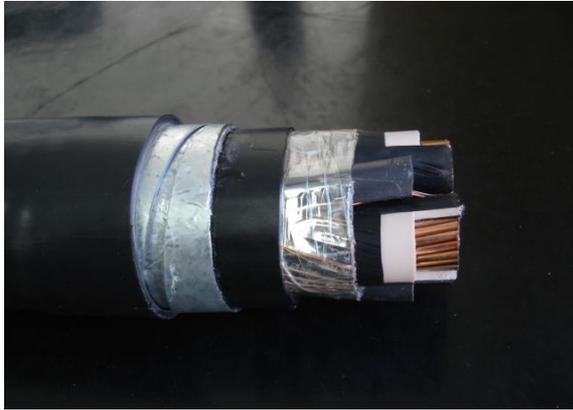
Proteção mecânica adicional para esforços de tração, torção ou compressão;

Material: Aço galvanizado, aço inox, bronze, cobre e alumínio (e suas ligas);

Forma: fios helicoidais, tranças (braid), fitas planas ou corrugadas com intertravamento

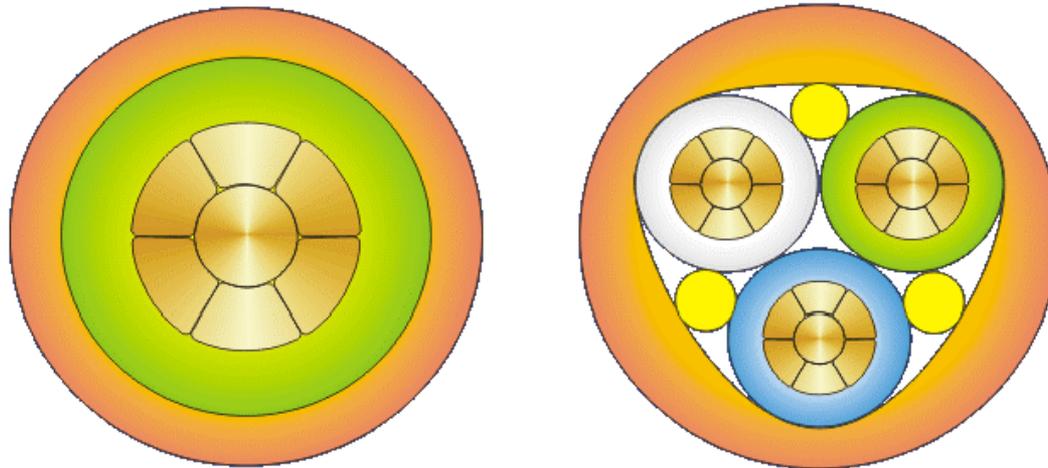


Armação



Cobertura

- Contato com as condições ambientais da instalação.
- Deve ser mecânica, térmica e quimicamente compatível com as condições ambientais



Cobertura

Termoplásticos

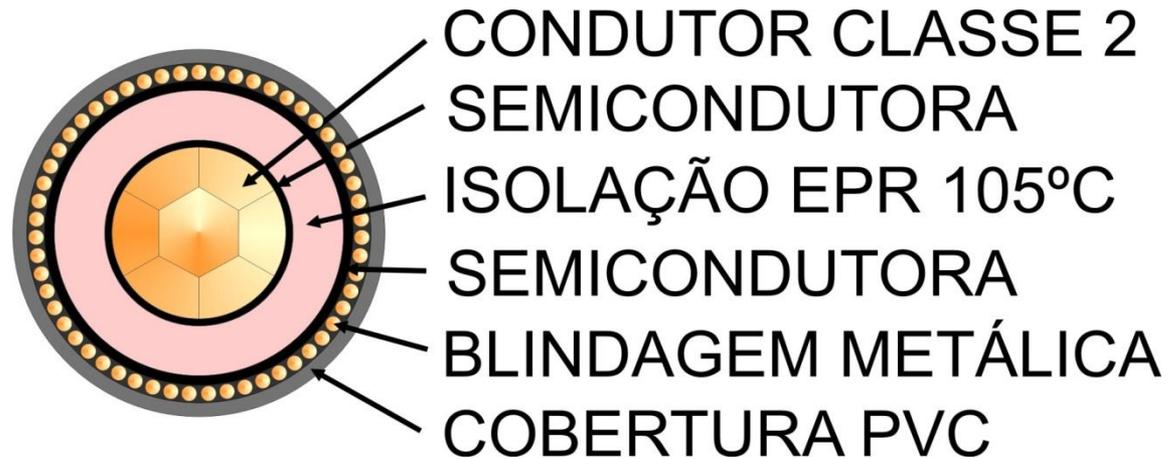
- **Cloreto de Polivinila (PVC)**; econômico, resistência adequada aos usos comuns e resistência à propagação de chama.
- **Polietileno (PE)**: resistência às intempéries e a determinados agentes químicos.
- **Composto poliolefínico não halogenado**: resistência à chama, baixa emissão de fumaça e de gases tóxicos e corrosivos.
- **Poliuretano**: resistência mecânica e ao arraste elevadas

Cobertura

Termofixos

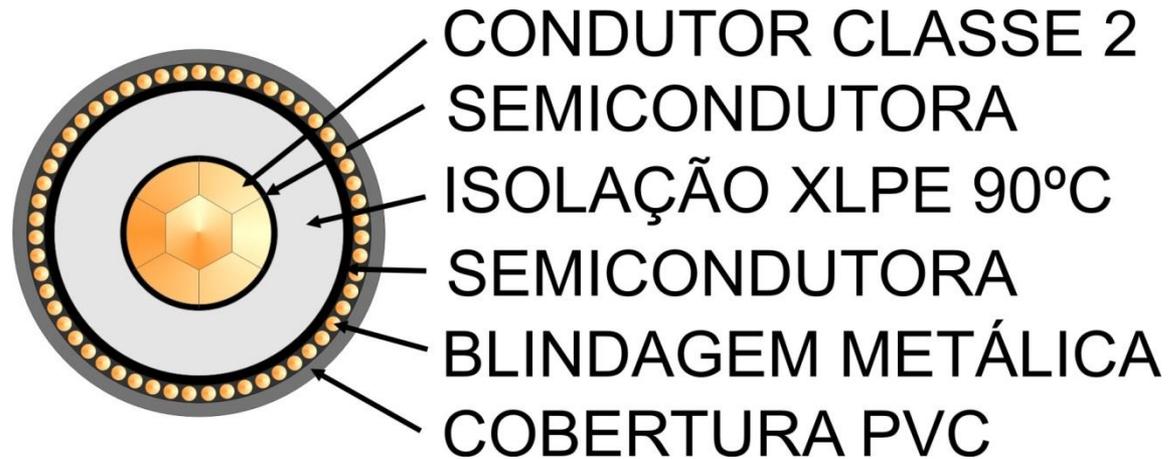
- **Polietileno Clorado (CPE):** resistência térmica e às intempéries e boa resistência à chama.
- **Policloroprene (PCP):** flexibilidade, resistência à abrasão e laceração e boa resistência à chama.
- **Não halogenado à base de Etil-vinil-acetato (EVA):** resistência à chama, baixa emissão de fumaça e de gases tóxicos e corrosivos.

CABO WIREX.POWER B105V 3,6/6kV a 20/35kV



- Aplicação em circuitos de média tensão
- Menor diâmetro e ganho de ampacidade (em relação ao EPR 90°C e ao XLPE)
- Resistente ao *treeing* (arborescência)
- Padrão Wirex

CABO WIREX.POWER X90V 3,6/6kV a 20/35kV



- Aplicação em circuitos de média tensão
- Construção tradicional, hoje pouco usada no Brasil

Ensaaios

Ensaaios

Classificação:

- ensaios de tipo;
- ensaios de recebimento;
- ensaios de controle;
- ensaios durante e após a instalação.

Ensaaios

- **Ensaaios de tipo:** para comprovar o atendimento à aplicação prevista.
- **Ensaaios de recebimento**
- **Ensaaios de rotina:** para demonstrar a integridade de um lote de produção;
- **Ensaaios especiais,** ensaios complementares aos de rotina (lotes maiores) para garantir as especificações do projeto

Ensaio

Ensaio	Classificação
Resistência elétrica	R / T
Tensão elétrica de screening	R / T
Descargas parciais	R / T
Resistência de Isolamento para cabos até 3,6/6 kV	R / T
Verificação dimensional	E / T
Aderência da blindagem semicondutora da isolação	E / T
Ensaio físicos nos componentes do cabo	E / T
Fator de perdas em função do gradiente elétrico	E / T
Fator de perdas em função da temperatura	T
Dobramento	T
Ciclos Térmicos	T
Tensão Elétrica de Impulso	T
Resistência à chama para cabos com cobertura de PVC	T
Penetração longitudinal de água para cabos bloqueados	T

Ensaaios



Microhmímetro



Megôhmetro

Ensaio



Transformador C.A. até 150 kV

Vídeo teste de MT (67 kV – 15 minutos)

Ensaio

Ensaio após a instalação: para demonstrar a integridade do cabo e acessórios após a conclusão da instalação

Normas da ABNT: Tensão elétrica contínua durante 15 minutos.

Tensão de Isolamento (kV)	Tensão de Ensaio em Corrente Contínua (kV)
3,6/6	21
6/10	29
8,7/15	42
12/20	58
15/25	72
20/35	96

Ensaaios

Ensaaios em corrente contínua em cabos de instalações antigas: podem causar envelhecimento precoce ou danos permanentes.

Alternativas:

- Energização sem carga por um período de 24 horas.
- Aplicação de tensões com frequência de 0,1 Hz - “VLF” (Very Low Frequency).

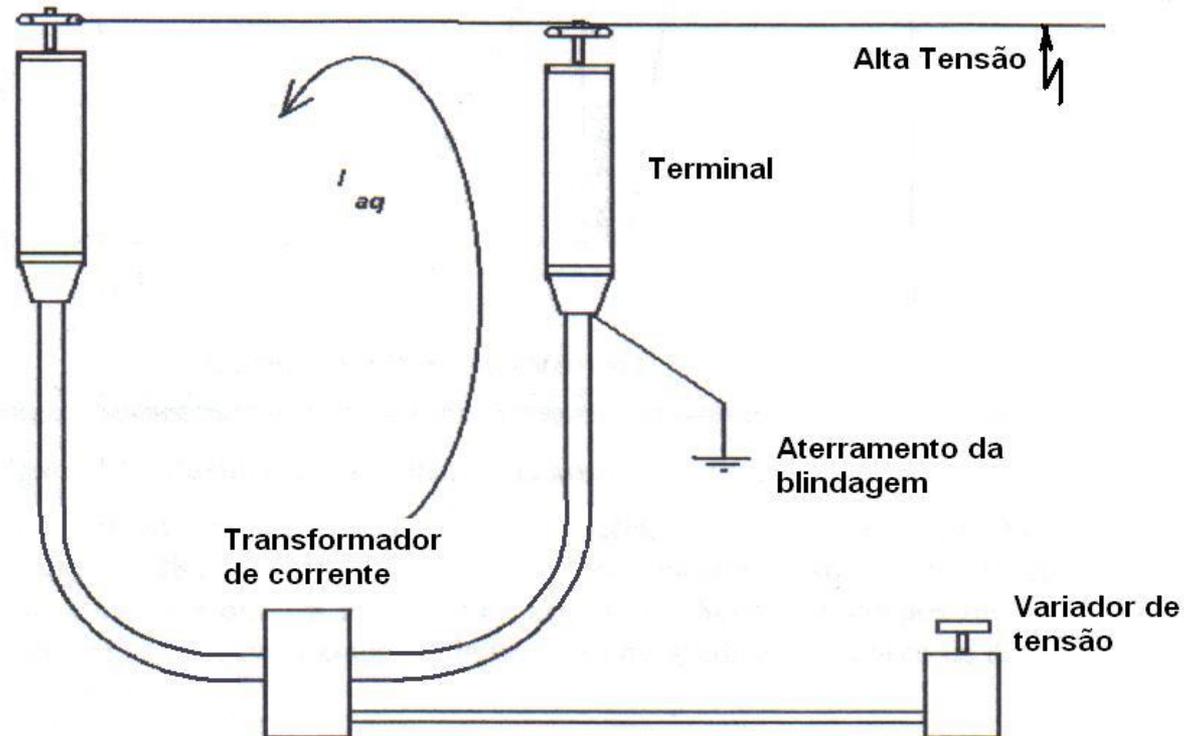
Avaliação de Confiabilidade

Análise estatística de Weibull: avaliação das tecnologias de produção e previsão do desempenho ao longo do tempo

NBR 10299: Análise Estatística de Rigidez Dielétrica de Cabos Elétricos em Corrente Alternada e a Impulso

Testes de rigidez dielétrica de curta e longa duração, a frio e a quente: **Gradientes de perfuração**

Avaliação de Confiabilidade



Teste de rigidez a quente

Avaliação de Confiabilidade

- Testes de rigidez dielétrica de curta e longa duração, a frio e a quente: Gradientes de perfuração
- Parâmetros da distribuição bidimensional de Weibull: taxa de probabilidade de falha do cabo elétrico.

Avaliação de Confiabilidade



Instalação e Armazenamento

Instalação

NBR 14039 Instalações elétricas de 1,0 kV a 36,2 kV.

Maneiras de instalar:

- ao ar livre
- em bandejas
- em canaletas
- em eletrodutos
- em banco de dutos
- diretamente enterrados

Instalação

Cuidados

Danos acidentais: sérios prejuízos de imediato ou a curto prazo

Técnicas e acessórios adequados; pessoal qualificado e supervisão

Alagamentos frequentes, e cabos imersos em água: bloqueio longitudinal contra a penetração de umidade.

Instalação

Vedações: devem ser retiradas somente no momento da execução dos acessórios

Tracionamento por eletrodutos, dutos subterrâneos ou sobre bandejas: **esforços mecânicos**

Possibilidade de **estiramento do metal** ou deslocamento interno

Instalação

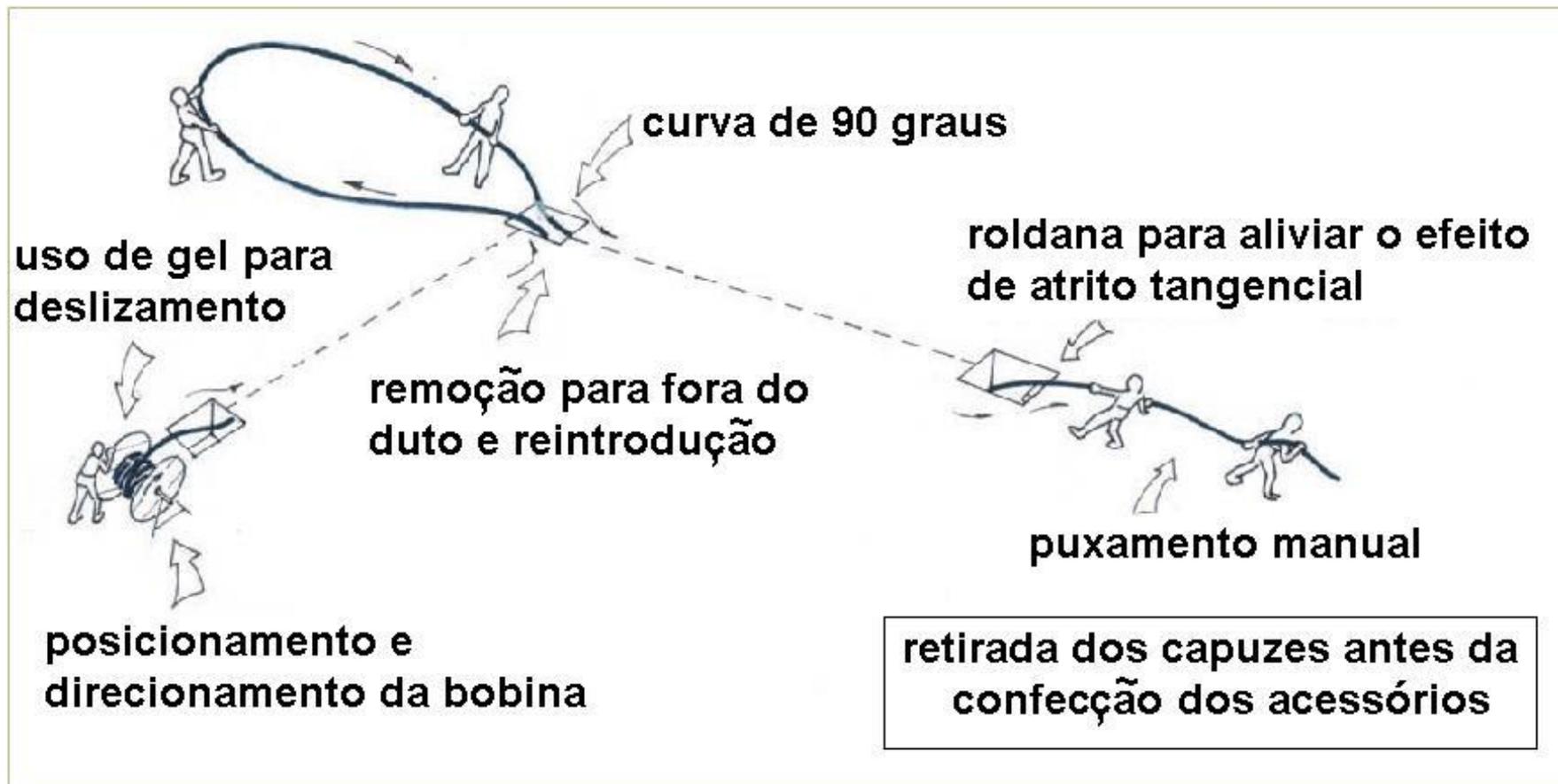
Coberturas protetoras: resistência limitada, evitar furos e arranhões mais profundos

Redução do atrito: utilizar sobre a cobertura do cabo um lubrificante adequado

Tracionamento pelos condutores: tensão máxima admissível é de 4 kgf/mm^2

Pela cobertura: 500 kgf, respeitando-se, porém o limite de 4 kgf/mm^2 da seção do condutor

Instalação



Instalação

Aterramento: pelo menos uma das extremidades da blindagem metálica - garantia do potencial de referência adequado

Circuitos relativamente longos (a partir de 150 metros): recomendável realizar o aterramento nas duas extremidades

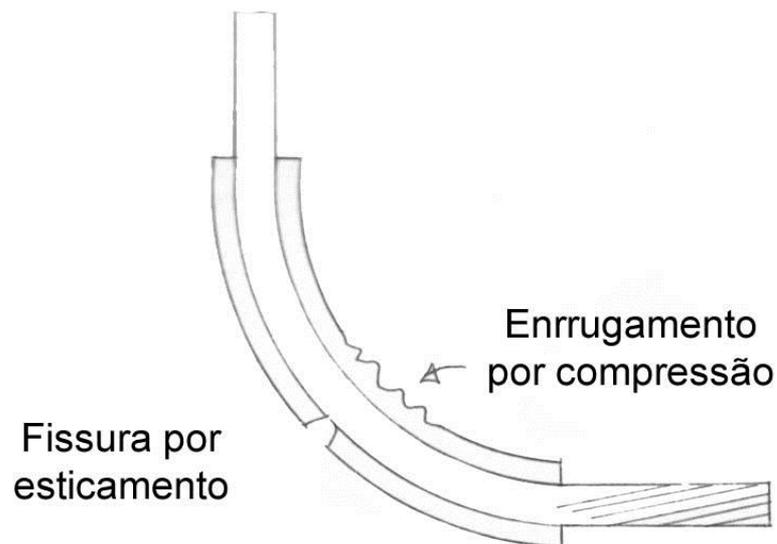
Prevenção de potenciais excessivos na blindagem - valor perigoso para a segurança, centelhamento (máximo 60 V)

Instalação

Raios de Curvatura

raio interno: forte compressão

raio externo: alongamento



NBR 9511 define os raios mínimos de curvatura para instalação dos cabos elétricos.

Instalação

Espessura da Isolação (mm)	Diâmetro externo do cabo (mm)		
	até 25,0	de 25,1 a 50,0	acima de 50,0
	Raio Mínimo de Curvatura (*)		
até 4,0	4	5	6
de 4,1 a 8,0	5	6	7
acima de 8,0	-	7	8

(*) multiplicar pelo diâmetro externo do cabo

Para cabos com armação, ou cabos com blindagem a fitas = 12 vezes o diâmetro externo do cabo

Instalação

Recomendações

- Garantir a integridade das bobinas e dos cabos antes e durante a instalação.
- Locais de armazenamento: drenagem apropriada para evitar o acúmulo de água no solo.
- Período de estocagem superior a 90 dias: bobinas não devem permanecer em contato direto com o terreno, usar dormentes de madeira

Instalação

- Acima de 180 dias: proteção com lona ou plástico.
- Durante todo o período de armazenamento: carretéis fechados com as ripas de proteção
- Extremidades dos cabos: mantidas lacradas para evitar a penetração de umidade.
- No caso de utilização parcial de um lance de cabo: realizar nova vedação no ponto de corte