

I N F O R M A Ç Ã O T É C N I C A



S O B R E C A B O S E L É C T R I C O S



Editado pela Direcção de Marketing da General Cable
Coordenação: Ángela Moneo
Redacção: Antonio López
Versão Portuguesa: Francisco Pedroso
Concepção: SCACS
Impressão: Gràfiques L'empordà, S.L.

GENERAL CABLE CELCAT, ENERGIA E TELECOMUNICAÇÕES S. A.
Av. Marquês de Pombal, 38
2715-055 PÊRO PINHEIRO

Depósito Legal: B-16769-2001

Edição: Maio 2007



Nota
do autor

A publicação deste Manual Prático está especialmente concebida para ajudar todos os utilizadores cujas funções profissionais lhes exijam complementar a informação sobre os cabos eléctricos como produto e a sua aplicação tanto ao nível do Projecto como da Instalação.

Pretendeu-se editar um livro o mais simples e didáctico possível, que permita uma interpretação fácil a todos os interessados, mesmo sem uma formação técnica específica.

Se com ele conseguirmos colaborar no aumento do nível dos profissionais, ficaremos plenamente satisfeitos e o cabo deixará de ser um produto tão pouco conhecido.

Se por razões de espaço e da brevidade com que se estruturou esta obra o leitor sentir falta de mais informações do seu interesse deverá solicitá-la directamente à General Cable.

Em reconhecimento a todas as pessoas da General Cable que me permitiram elevar a minha própria formação técnica ao longo de várias décadas.

Antonio López
Responsável Técnico-Comercial
da General Cable Sistemas, S. A.

General Cable CelCat
Dir. Serviços Técnico-Comerciais
Av. Marquês de Pombal, 38
Morelena
2715-055 PÊRO PINHEIRO
Tel.: 21 967 85 00
Fax: 21 927 19 42
ESTAMOS AO SEU SERVIÇO



ÍNDICE

1. MARCAS COMERCIAIS E DESIGNAÇÕES TÉCNICAS

2. QUADROS DE DESIGNAÇÕES TÉCNICAS

2.1 Simbologia	16
----------------------	----

3. CONDUTORES ELÉCTRICOS

3.1 Condutores eléctricos - metais mais usados	20
3.1.1 • Cobre	20
3.1.2 • Alumínio	21
3.2 Características dos condutores	21
3.2.1 • Padrão de resistividade	23
3.2.2 • Tipos de Cobre para condutores eléctricos	23
3.2.3 • Correspondência eléctrica entre Cobre e Alumínio	23
3.2.4 • Como se determina o valor da resistência eléctrica de um condutor?	24

4. TABELAS SOBRE CONDUTORES

4.1 Características dos metais mais usados em cabos eléctricos	26
4.2 Resistência máxima do condutor, em Ohm/km a 20 °C, em c.c.	26
4.3 Resistência máxima do condutor em Ohm/km a 90 °C, em c.a.	27

5. REVESTIMENTOS

5.1 Revestimentos	30
5.2 Isolantes	30
5.2.1 • Termoplásticos	31
5.2.2 • Principais materiais poliméricos termoplásticos	32
5.2.3 • Termoestáveis	33
5.2.4 • Principais materiais poliméricos termoestáveis	34
5.3 Resistência a produtos químicos	36
5.4 Principais características dos materiais poliméricos	37
5.5 Semi-condutores	38

5.6 Blindagens metálicas	39
5.7 Enchimentos	40
5.8 Bainhas de cama de armadura	40
5.9 Armaduras	41
5.9.1 • Armadura de fitas	41
5.9.2 • Armadura de fios	42
5.9.3 • Armadura corrugada	42
5.10 Bainhas	43
5.11 Cableagem	45

6. FLEXIBILIDADE

6.1 Flexibilidade	48
6.1.1 • Aplicações móveis	48
6.1.2 • Aplicações fixas	49
6.1.3 • A designação técnica da flexibilidade	49

7. CABOS ELÉTRICOS DE ALTA SEGURANÇA

7.1 O fogo e a sua problemática	52
7.2 Os cabos e o fogo	53
7.3 Os novos materiais	54
7.4 A solução "Exzhellent" (AS)	55
7.5 "Segurfoc-331 (AS+)" - cabos resistentes ao fogo	57
7.5.1 • Circuito primário	57
7.5.2 • Circuito secundário	57
7.5.3 • A solução "Segurfoc-331 (AS+)"	57
7.6 Regulamentos eléctricos de Baixa Tensão	58

8. TABELA DE INTENSIDADES MÁXIMAS ADMISSÍVEIS EM SERVIÇO PERMANENTE

8.1 Condições de instalação	62
8.2 Intensidades máximas admissíveis em serviço permanente	64
8.3 Cabos instalados ao ar - factores de correcção	68
8.4 Cabos enterrados - factores de correcção	72
8.5 Curtos-circuitos	74



9. DIELÉCTRICOS

9.1 Dielétricos	82
9.1.1 • O que são dielétricos?	82
9.1.2 • Rigidez dielétrica	82
9.1.3 • Constante dielétrica	83
9.2 Constantes dielétricas de várias substâncias	84
9.2.1 • Resistividade (Isolantes)	84
9.2.2 • Resistência superficial	85
9.2.3 • Absorção dielétrica	85
9.2.4 • Perdas dielétricas	86
9.2.5 • Factor de perdas	88
9.2.6 • Efeito de corona	89
9.2.7 • Resistência de isolamento	89
9.2.8 • Capacidades	91
9.2.9 • Quedas de tensão	91

10. RECOMENDAÇÕES GERAIS

10.1 Recomendações gerais de manuseamento, lançamento e instalação de cabos de Baixa e Média Tensão em canalizações fixas	96
10.1.1 • Descarga de bobinas de camiões	96
10.1.2 • Armazenamento de bobinas	96
10.1.3 • Mudança e transporte de bobinas	97
10.1.4 • Local para lançamento do cabo	97
10.1.5 • Lançamento do cabo	97
10.1.6 • Esforços de tracção	98
10.1.7 • Valas e atravessamento de ruas	99
10.1.8 • Lançamento de cabos em galerias	100
10.1.9 • Lançamento em tubagens	101
10.1.10 • Instalação de cabos	102
10.2 Outras recomendações importantes	103
10.2.1 • Disposição de cabos e ligação de blindagens	104
10.2.2 • Ligação de cabos em paralelo	105
10.2.3 • Circuitos vizinhos com cabos monopolares	106

11. CONDIÇÕES DE INSTALAÇÃO

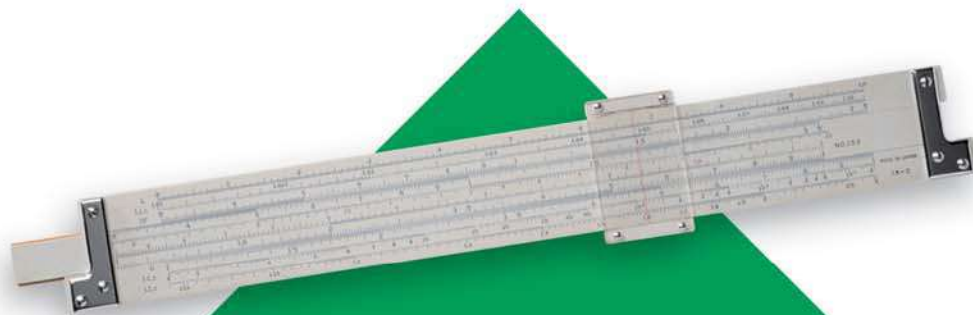
11.1 Condições de instalação em fábricas e locais potencialmente explosivos ou inflamáveis	110
11.2 Classificação de locais quanto ao risco de incêndio ou explosão	110
11.2.1 • Escolha do cabo	112
11.2.2 • Instalações antideflagrantes	112
11.2.3 • Modos de protecção	113

12. POUPANÇA DE ENERGIA

12.1 Poupança de energia	116
12.2 Lei de Joule	117

13. ANEXO

13.1 Determinação da potência e da intensidade de corrente em motores assíncronos	122
---	-----



1

**MARCAS
COMERCIAIS E
DESIGNAÇÕES
TÉCNICAS**

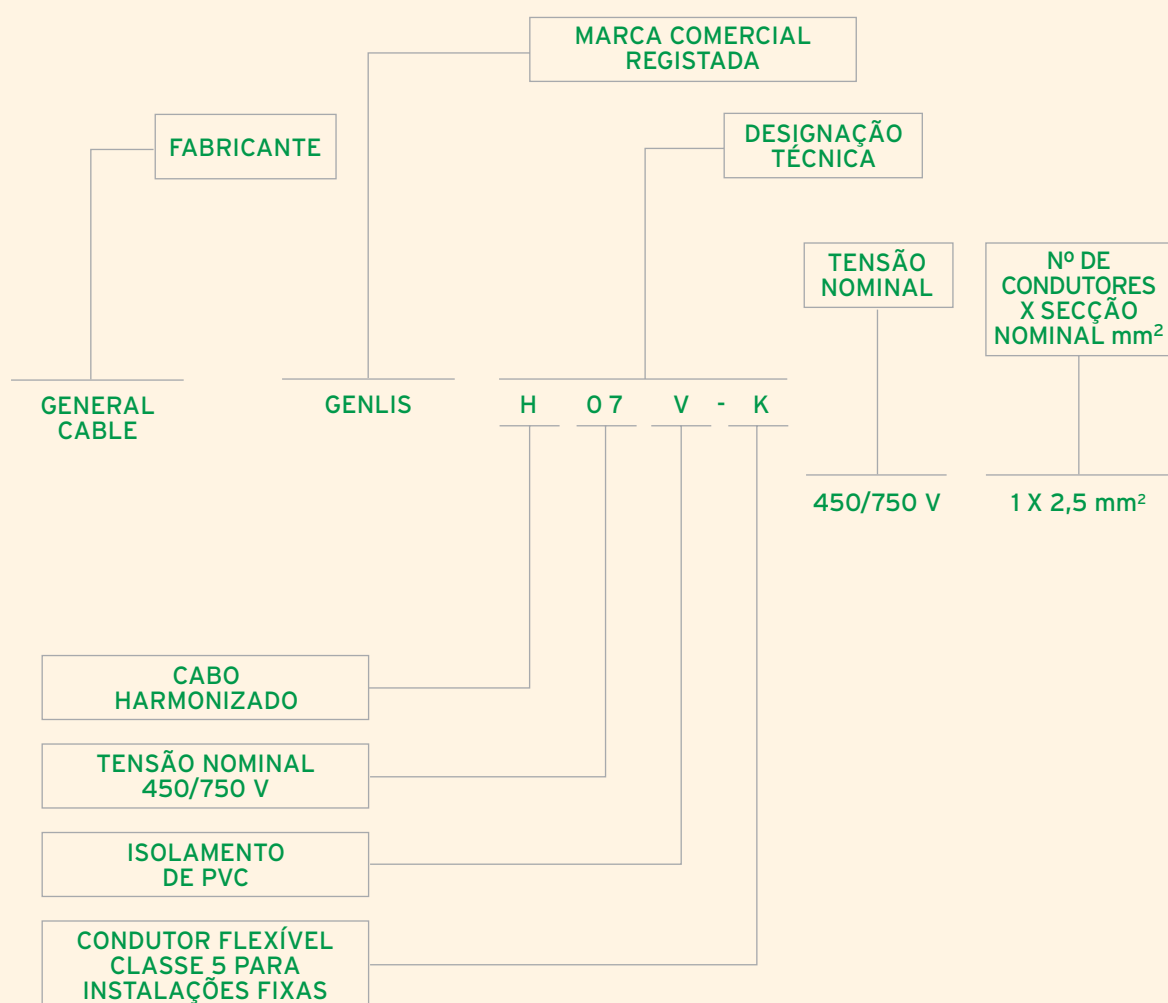
1. MARCAS COMERCIAIS E DESIGNAÇÕES

TÉCNICAS

Os cabos eléctricos designam-se pela sua MARCA COMERCIAL, se existente (HERSATENE®, ENERGY®, EXZHELLENT®, etc), seguida pela designação técnica, constituída por símbolos (letras e números) que correspondem aos diferentes componentes do cabo (XV, RV-K, etc.). Aparecem em seguida a secção em mm² e o número de condutores e a tensão nominal do cabo se necessário.

EXEMPLO

GENERAL CABLE GENLIS H 07 V - K 450/750 V 1 X 2,5 mm²





2

QUADROS DE DESIGNAÇÕES TÉCNICAS

MARCA COMERCIAL	DESIGNAÇÃO TÉCNICA	INTERPRETAÇÃO DA SIMBOLOGIA	CARACTERÍSTICAS
GENLIS	H07V - U H07V - R H07V - K	(H) SEGUNDO HD CENELEC (07) TENSÃO 750 V (V) ISOLAMENTO PVC (U) MONOFILAR (CLASSE1) (R) MULTIFILAR (CLASSE 2) (K) FLEXÍVEL (CLASSE 5)	FIO DOMÉSTICO. NÃO PROPAGADOR DA CHAMA E DO INCÊNDIO. MÁXIMO DESLIZAMENTO, EXTRUSÃO PELO SISTEMA "SPEEDY SKIN". TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVIÇO 70 °C. PRODUTO CERTIFICADO SEG. SISTEMA <HAR>. UTILIZAÇÃO: INSTALAÇÕES FIXAS EM TUBOS OU CALHAS, ETC..
BIGGFLEX	H05V V - F	(05) TENSÃO 500 V (V) ISOLAMENTO PVC (V) BAINHA PVC (F) FLEXÍVEL (CLASSE 5)	CABO FLEXÍVEL, PARA INSTALAÇÕES MÓVEIS INTERIORES (F), TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVIÇO 70 °C. NÃO PROPAGADOR DA CHAMA.
BIGGRIG	05VV - U	(05) TENSÃO 500 V	CABO RÍGIDO PARA INSTALAÇÕES INTERIORES. NÃO PROPAGADOR DA CHAMA
MOVILFLEX (Blindado)	VC4 V -K	(C4) BLINDAGEM EM TRANÇA DE COBRE	APLICAÇÃO EM ZONAS COM INTERFERÊNCIAS ELECTROSTÁTICAS OU ELECTROMAGNÉTICAS. INSTALAÇÕES MÓVEIS INTERIORES (MÁQUINAS FERRAMENTAS PORTÁTEIS, ETC.).
(Não blindado)	V V-500 - F		
PLASTIGRON	LSVV	(LS) CONDUTOR DE ALUMÍNIO MACIÇO CLASSE 1	NÃO PROPAGADOR DA CHAMA. TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVIÇO 70 °C
PLASTIGRON (Multicondutor)	V V - K 0,6/1 kV	(K) FLEXÍVEL (CLASSE 5)	NÃO PROPAGADOR DA CHAMA. TEMPERATURA DE SERVIÇO 70 °C. CONDUTORES NUMERADOS EM CABOS DE CONTROLE. INSTALAÇÕES FIXAS (K) EM INTERIOR OU EXTERIOR.
ENERGY RV	RV 0,6/1 kV XV 0,6/1 kV LXV	(R)(X) POLIETILENO RETICULADO (L) CONDUTOR DE ALUMÍNIO CLASSE 2	CONDUTORES RÍGIDOS (CLASSE 1 E 2) DE COBRE E ALUMÍNIO. NÃO PROPAGADOR DA CHAMA. APLICAÇÃO: DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA EM B.T. EM INTERIOR OU EXTERIOR.
FLEXIGRON 500V	H05RR - F	(R) BORRACHA SINTÉTICA	APLICAÇÃO: INSTALAÇÕES MÓVEIS EM INTERIOR, ALIMENTAÇÃO DE MÁQUINAS FERRAMENTAS E APARELHOS DE CONDICIONAMENTO DE AR
FLEXIGRON 500V	H05RN - F	(N) POLICLOROPRENO	
FLEXIGRON 750V	H07RN - F	(D) BORRACHA DE ETILENO-PROPILENO	APLICAÇÃO: INSTALAÇÕES MÓVEIS EM INTERIOR OU EXTERIOR, ALIMENTAÇÃO DE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS MÓVEIS
FLEXIGRON 1000V	DN - F 0,6/1 kV		
SOLDANOF	H01N2 - D	(01) TENSÃO NOMINAL 100 V (N2) POLICLOROPRENO ESPECIAL (D) USOS MÓVEIS (soldadura)	CONDUTOR DE COBRE EXTRA FLEXÍVEL (CLASSE 6). NÃO PROPAGADOR DA CHAMA. APLICAÇÃO: ALIMENTAÇÃO DE PINÇAS DE SOLDADURA
EXZHELLENT XXI (AS)	ES-07Z1-K	(Z1) ISOLAMENTO TERMOPLÁSTICO ZH	NÃO PROPAGADOR DO INCÊNDIO. ZERO HALOGÉNEOS, BAIXA CORROSIVIDADE. SEM LIBERTAÇÃO DE FUMOS OPACOS. TEMPERATURA MÁXIMA 70 °C. TENSÃO NOMINAL 750 V.



MARCA COMERCIAL	DESIGNAÇÃO TÉCNICA	INTERPRETAÇÃO DA SIMBOLOGIA	CARACTERÍSTICAS
EXZHELLENT - D (AS)	H07Z - R	(Z) ISOLAMENTO RETICULADO ZH	COMO ANTERIOR, EXCEPTO TEMPERATURA MÁXIMA 90 °C.
EXZHELLENT - XXI (AS)	RZ1-K 0,6/1 kV	(R) POLIETILENO RETICULADO	COMO ANTERIOR, EXCEPTO TENSÃO NOMINAL 0,6/1 kV. UTILIZAÇÃO: LOCAIS DE ACESSO DE PÚBLICO, SALAS DE ESPECTÁCULO, HOSPITAIS, METROPOLITANOS, ESTÚDIOS DE RÁDIO E TV, ETC..
SEGURFOC - 331 (AS+)			CONDUTORES CLASSE 5. CABO RESISTENTE AO FOGO, SEM HALOGENEIOS. BAIXA CORROSIVIDADE, SEM LIBERTAÇÃO DE FUMOS OPACOS. MANTÉM A INTEGRIDADE DE SERVIÇO EM CASO DE INCÊNDIO.
ENERGY RV - K FOC	RV - K 0,6/1 kV		CONDUTORES FLEXÍVEIS CLASSE 5. INSTALAÇÕES FIXAS. CABO PARA DISTRIBUIÇÃO EM B.T. EM INTERIOR OU EXTERIOR. TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVIÇO 90 °C.
ARMIGRON -F	RVFAV/X1AV 0,6/1 kV RVFV/XAV 0,6/1 kV LVAV 0,6/1 kV LV1AV 0,6/1 kV LXAV 0,6/1 kV LX1AV 0,6/1 kV LSVAV 0,6/1 kV LSXAV 0,6/1 kV	(FA) (1 A) ARMADURA DE FITAS DE ALUMÍNIO (F) (A) ARMADURA DE FITAS DE AÇO	CONDUTORES DE COBRE OU ALUMÍNIO, RÍGIDOS CLASSE 1 OU 2. CABO COM ALTA PROTECÇÃO MECÂNICA E ANTI-ROEDORES.
ARMIGRON - M	RVhMAVh/X1RVh 0,6/1 kV RVhMVh/XRVh 0,6/1 kV	(Vh) PVC RESISTENTE AOS HIDROCARBONETOS (MA) (1R) ARMADURA DE FIOS DE ALUMÍNIO (M) (R) ARMADURA DE FIOS DE AÇO GALVANIZADO	COMO ANTERIOR. UTILIZAÇÃO EM REFINARIAS, INDÚSTRIAS PETROQUÍMICAS, PARQUES DE COMBUSTÍVEIS, LOCAIS COM RISCO DE EXPLOÇÃO. NÃO PROPAGADOR DO INCÊNDIO.
AEROPREX	RZ 0,6/1 kV XS LXS	(Z) CABLEADO SEM BAINHA (S) AUTO-SUPORTADO	CABO DE DISTRIBUIÇÃO EM B.T.. CONDUTORES CLASSE 2 DE COBRE OU ALUMÍNIO. UTILIZAÇÃO: REDES AÉREAS EM POSTES OU APOIADAS EM FACHADAS.
VULCAN	DN 0,6/1 kV	(D) BORRACHA DE ETILENO-PROPILENO (N) POLICLOROPRENO	CABO DE DISTRIBUIÇÃO EM B.T. PARA INTERIOR OU EXTERIOR. INSTALAÇÕES FIXAS. TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVIÇO 90 °C.
VULCAN MAR	DN 0,6/1 kV DNC4V 0,6/1 kV DNZ5V 0,6/1 kV	(C4) BLINDAGEM EM TRANÇA DE COBRE (Z5) ARMADURA DE TRANÇA DE FIOS DE AÇO GALVANIZADO	CABOS RÍGIDOS PARA INSTALAÇÃO EM NAVIOS. COMO ANTERIOR MAS COM PROTECÇÃO ELÉCTRICA OU MECÂNICA
VULCAN MINA	V VMV 0,6/1 kV DM2N 0,6/1 kV DS1N 0,6/1 kV	(M2) CABINHOS DE AÇO (S1) BLINDAGEM DE SEGURANÇA	CABOS RÍGIDOS ARMADOS PARA INSTALAÇÕES FIXAS. CABOS COM CONDUTORES FLEXÍVEIS PARA INSTALAÇÕES MÓVEIS.
HERSATENE	RHZ1 6/10 kV- 18/36 kV LXHIOV 6/10-18/30 ALTA TENSÃO 26/45 - 36/66 kV 110 kV / 132 kV 220 kV / 400 kV	(Z1) POLIETILENO (H) CABO DE CAMPO RADIAL (HIO) BLINDAGEM DE FIOS DE COBRE	CABOS DE DISTRIBUIÇÃO DE MÉDIA E ALTA TENSÃO EM COBRE OU ALUMÍNIO. CABOS DE TRANSPORTE EM EXTRA ALTA TENSÃO

MARCA COMERCIAL	DESIGNAÇÃO TÉCNICA	INTERPRETAÇÃO DA SIMBOLOGIA	CARACTERÍSTICAS
VULPREN W.B.	DHZ1 6/10KV A 132 KV		CABOS DE DISTRIBUIÇÃO DE MÉDIA E ALTA TENSÃO EM COBRE OU ALUMÍNIO.
JETLAN 5e+	CATEGORIA 5e	—	SISTEMA DE CABLEAGEM ESTRUTURADA (VERSÕES UTP E FTP) DE CATEGORIA 5e, COM FUNCIONAMENTO ATÉ 200 MHz. EXISTEM VERSÕES ZERO-HALOGÊNEOS. CERTIFICADOS PELA DELTA (EC VERIFIED)
JETLAN 6+	CATEGORIA 6+	—	SISTEMA DE CABLEAGEM ESTRUTURADA (VERSÕES UTP E FTP) DE CATEGORIA 6, COM FUNCIONAMENTO ATÉ 250 MHz. EXISTEM VERSÕES ZERO-HALOGÊNEOS E PARA FUNCIONAMENTO ATÉ 500 MHz. CERTIFICADOS PELA DELTA (EC VERIFIED).
JETLANOPTIC	FIBRA ÓPTICA	—	SISTEMA DE CABLEAGEM ESTRUTURADA DE FIBRA ÓPTICA QUE INCLUI TODA A GAMA DE CABOS PARA INTERIOR E EXTERIOR, BEM COMO PAINÉIS, "PATCH-CORDS", CONECTORES, ETC.. TODOS OS CABOS SÃO ZERO HALOGÊNEOS.

B.T. = BAIXA TENSÃO

2.1 SIMBOLOGIA

CORRESPONDÊNCIA COM NORMALIZAÇÃO		
H	CONFORME DOCUMENTOS DE HARMONIZAÇÃO DO CENELEC	H05V-K

TENSÃO NOMINAL		
03	TENSÃO NOMINAL 300/300V	H03VVH2-F
05	TENSÃO NOMINAL 300/500V	H05V-K
07	TENSÃO NOMINAL 450/750V	H07V-K

ISOLAMENTOS E REVESTIMENTOS NÃO-METÁLICOS		
*D	BORRACHA DE ETILENO-PROPILENO	DHV
E	POLIETILENO	EV V
E 2	POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE	E2V V
*I	HYPALON	DI
J	TRANÇA DE FIBRA DE VIDRO	SJ

(*) Símbolos não adoptados pelo CENELEC.



ISOLAMENTOS E REVESTIMENTOS NÃO-METÁLICOS		
N	POLICLOROPRENO	N
P	PAPEL DE ISOLAMENTO	PCV
Q	POLIURETANO	DQ
R	BORRACHA	H07RR-F
S	BORRACHA DE SILICONE	SJ
T	TRANÇA TÊXTIL	H03RT-K
V	POLI(CLORETO DE VINILO) / PVC	V V
X/*R	POLIETILENO RETICULADO	RV-K
V5/*Vh	PVC RESISTENTE AOS ÓLEOS	V V5
Z	COMPOSTO RETICULADO, COM BAIXA EMISSÃO DE HALOGÉNEOS, SEM FUMOS OPACOS	H07Z-R
Z1	COMPOSTO TERMOPLÁSTICO COM BAIXA EMISSÃO DE HALOGÉNEOS, SEM FUMOS OPACOS	07Z1-K RZ1-K XG

REVESTIMENTOS METÁLICOS		
C3	BLINDAGEM DE COBRE, CORRUGADA	VC3V
*F/*A	ARMADURA DE FITAS DE AÇO	RVFV VAV
*FA/*1A	ARMADURA DE FITAS DE ALUMÍNIO	RFAV X1AV
*F3/*2A	ARMADURA DE FITA DE AÇO CORRUGADA	RVF3V X2AV
*H	BLINDAGEM DE CAMPO RADIAL	DHV
L/*C	BAINHA DE CHUMBO	DLV PCV
C/*O	CONDUTOR CONCÊNTRICO EM COBRE	V VCV XOV
C4	BLINDAGEM POR TRANÇA DE COBRE	VC4V
*M/*R	ARMADURA DE FIOS DE AÇO	V VMV XRV
*MA/*1R	ARMADURA DE FIOS DE ALUMÍNIO	VMAV V1RV
*O	BLINDAGEM METÁLICA COLECTIVA	RVOV
*01	BLINDAGEM INDIVIDUAL DE PARES, TERNOS...	E01V
*02	BLINDAGEM COLECTIVA DE PARES, TERNOS...	E02V
Z5	TRANÇA DE FIOS DE AÇO	VZ5V

OUTROS SÍMBOLOS		
x	SEM CONDUTOR AMARELO / VERDE	3 x 2,5 mm ²
G	COM CONDUTOR AMARELO / VERDE	3 G 2,5 mm ²

(*) Símbolos não adoptados pelo CENELEC



3

**CONDUTORES
ELÉCTRICOS**

3.1 CONDUTORES ELÉTRICOS

METAIS MAIS USADOS EM CONDUTORES

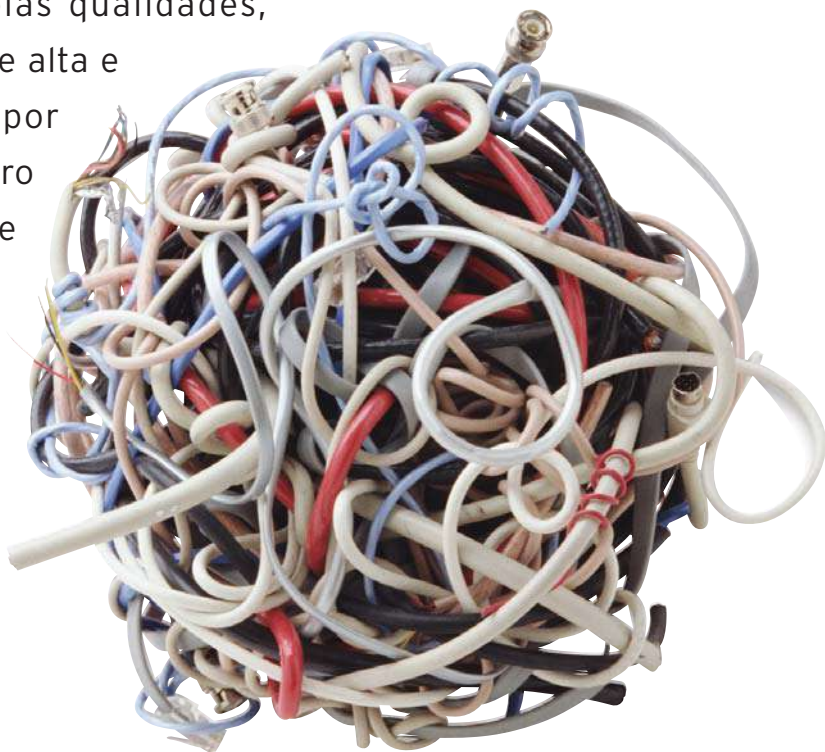
Os metais mais usados como condutores em cabos eléctricos são o Cobre e o Alumínio.

3.1.1 COBRE

O Cobre é obtido impuro por tratamento dos minerais sulfurosos que o contêm e posteriormente purificado por processos electrolíticos. A sua elevada ductilidade permite obter fios muito finos, embora o endurecimento causado neste processo limite a sua flexibilidade, obrigando ao recozimento dos fios.

A operação de estiramento é chamada trefilagem e a reunião de vários fios ou grupos de fios forma um condutor para isolamento, que será tanto mais flexível quanto mais finos forem os fios e cuja secção corresponde à soma das secções dos fios individuais.

O Cobre, apesar das suas múltiplas qualidades, tem inconvenientes como densidade alta e custo elevado, circunstância que por vezes leva à sua substituição por outro metal mais leve e económico que permita reduzir os custos.





3.1.2 ALUMÍNIO

O Alumínio, em contacto com o ar, cobre-se de uma película de óxido (Alumina) que o protege de futuras oxidações, embora tenha o inconveniente de ser isoladora e dificultar a execução de junções. O Alumínio em contacto com metais mais nobres (Ferro, Cobre, etc.) e em presença de humidade constitui um par galvânico que o corrói lentamente até à desagregação. Apesar destes inconvenientes, que são controláveis, tem campos de aplicação em que é usado preferencialmente - linhas aéreas, cabos de grande secção para Alta e Baixa Tensão, etc.. Devido à sua baixa densidade (cerca de 1/3 da do Cobre) e considerando a relação entre as resistividades, o Cobre pode ser substituído por metade do seu peso em Alumínio, para a mesma resistência eléctrica.

As propriedades mecânicas do Alumínio são bastante inferiores às do Cobre e, devido à baixa resistência à tracção, é usado na forma de ligas ou reforçado com fios de Aço no caso das linhas aéreas.

A resistividade padrão do Alumínio é

$$\frac{1}{35,38} = 0,028264 \text{ Ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{m a } 20^\circ\text{C}$$

3.2 CARACTERÍSTICAS DOS CONDUCTORES



Internacionalmente, a produção de condutores para cabos isolados respeita os requisitos das Normas IEC 60228 e EN 60228. A formação de um condutor define-se pelo número de fios que o compõem e pelo respectivo diâmetro nominal. O grau de rigidez ou flexibilidade é definido pelas diferentes classes incluídas nas Normas mencionadas, correspondendo a Classe 1 aos condutores monofilares e a Classe 2 aos

multifilares cableados, definindo-se o número mínimo de fios para cada secção. As classes 5 e 6 correspondem aos condutores flexíveis para os quais a Norma define o diâmetro máximo dos fios, deixando o seu número ao critério do fabricante. A diferença entre as classes 5 e 6 consiste no facto de esta última ter fios mais finos para conseguir maior flexibilidade. Independentemente de outros parâmetros a satisfazer, "o fundamental é respeitar os valores da resistência eléctrica máxima" indicados nas Normas.

O QUE É A SECÇÃO GEOMÉTRICA?

Entende-se por secção geométrica de um condutor a secção recta de um fio ou a soma das secções rectas de cada fio, se se tratar dum multifilar, expressa em mm².



O QUE É A SECÇÃO NOMINAL?

É o valor arredondado que se aproxima do geométrico e que se utiliza para designar o cabo, expresso em mm².

O QUE É A SECÇÃO ELÉCTRICA?

É o valor máximo fixado em Norma, em Ohm/km a 20 °C. É o parâmetro que garante um comportamento adequado do condutor no transporte de energia.

O QUE É A RESISTÊNCIA ELÉCTRICA?

Designa-se por resistência eléctrica a maior ou menor dificuldade oferecida por um condutor a ser percorrido pela corrente eléctrica. De acordo com a teoria a corrente eléctrica consiste na deslocação de electrões de um corpo para outro; estas partículas, no seu deslocamento, têm de evitar os núcleos dos átomos que constituem o material condutor porque ao interagirem com eles vão ser travados no seu movimento.

Este raciocínio explica por que razão os corpos têm resistências distintas, dadas as suas diferentes constituições atómicas.



3.2.1 PADRÃO DE RESISTIVIDADE

O fabrico de condutores eléctricos utiliza Cobre refinado electroliticamente, dado que as impurezas causam aumentos consideráveis da resistividade.



A resistividade do Cobre 100% puro a 20 °C é
 $1/58 = 0,017241 \text{ Ohm} \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$

Este valor é considerado como o padrão internacional da medida da resistividade. Para cabos eléctricos o valor mínimo admissível em termos de condutividade será da ordem de 98%.

3.2.2 TIPOS DE COBRE PARA CONDUTORES ELÉCTRICOS

Cobre duro: É empregado em linhas aéreas ou em casos que requeiram uma boa resistência mecânica. A carga de ruptura varia entre 35 e 50 kg/mm² e o alongamento na ruptura entre 0,5 e 3%. Exige-se uma condutividade eléctrica mínima correspondente a 97% do padrão internacional.

Cobre recozido: É usado sempre em condutores isolados. A carga de ruptura varia entre 20 e 30 kg/mm² e o alongamento na ruptura entre 25 e 30%. Exige-se uma condutividade no mínimo equivalente a 98% do padrão internacional.

3.2.3 EQUIVALÊNCIA ELÉCTRICA ENTRE COBRE E ALUMÍNIO

$$\frac{\text{Resistividade Cobre}}{\text{Resistividade Alumínio}} = \frac{0,017241 \text{ Ohm} \cdot \text{mm}^2 / \text{m a } 20^\circ\text{C}}{0,028264 \text{ Ohm} \cdot \text{mm}^2 / \text{m a } 20^\circ\text{C}} = 0,61$$

Exs.: Secção Al 95 mm² => 95 x 0,61 = 57,95 mm² Cu => Cabo de Cobre 70 mm²

Exs.: Secção Cu 95 mm² => 95 / 0,61 = 155,74 mm² Al => Cabo de Alumínio 185 mm²

3.2.4 COMO SE DETERMINA O VALOR DA RESISTÊNCIA ELÉCTRICA DE UM CONDUTOR?

Para determinar o valor da resistência eléctrica de um condutor é necessário que o condutor permaneça um mínimo de 12 horas a uma temperatura ambiente entre 10 e 30 °C. Utiliza-se uma ponte de Wheatstone ou uma ponte de Thompson.

O valor da leitura na ponte, em Ohms, dividido pelo comprimento do condutor, em km, permite calcular a resistência em Ohm/km. Se a medida tiver sido efectuada a uma temperatura diferente de 20 °C o valor terá de ser corrigido aplicando a fórmula

$$(*) R_T = R_{20} [1 + \alpha_{20}(T - 20)]$$

EXEMPLO: Cabo ENERGY RV-K (FXV) 0,6/1 kV 2x1,5 mm², comprimento L=2350 m

Medida no condutor Preto (ponte de Wheatstone) - 32,17 Ohm

Temperatura do cabo - 30 °C

$$R_{30} = \frac{32,17}{2,35} = 13,69 \text{ Ohm / km}$$

$$R_{20} = \frac{R_T}{[1 + \alpha_{20} (T-20)]} = \frac{13,69}{1,0393} = 13,17 \text{ Ohm / km a } 20^\circ \text{ C}$$



Valor máximo definido na Norma IEC 60228 = 13,3 Ohm/km a 20 °C

(*) R_T = Resistência a uma dada temperatura

R_{20} = Resistência a 20°C

α_{20} = Coeficiente de variação da resistividade a 20 °C

$$\alpha \begin{cases} \text{Cobre} = 0,00393 / \text{K} \\ \text{Alumínio} = 0,00403 / \text{K} \end{cases}$$



4

TABELAS SOBRE CONDUTORES

4.1 CARACTERÍSTICAS DOS METAIS

MAIS USUAIS EM CABOS ELÉTRICOS

TABELA 1

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	COBRE RECOZIDO	COBRE DURO	ALUMÍNIO 3/4 DURO	ALMELEC	CHUMBO	AÇO
REF. NORMA	-	Cu-ETP		Al 99,5 E			
SÍMBOLO QUÍMICO		Cu	Cu	Al	-	Pb	Fe
DENSIDADE	kg/dm ³	8,89	8,89	2,7	2,7	11,35	7,8
RESISTIVIDADE A 20°C	Ohm.km/mm ²	17,241	17,586	28,264	32,500	206	190
TEMPERATURA DE FUSÃO	°C	1083	1083	657	657	327	1400
CARGA DE RUPTURA	daN/mm ²	20-30	35-50	12-15	35-40	1,75	40-150
ALONG. NA RUPTURA	%	25-30	0,5-3	1,5-3	4-6	20-50	2-6
MÓDULO DE ELASTICIDADE	daN/mm ²	10500	12000	5600	6000	1700	18500
CONDUTIV. ELÉC.	% IACS	100	98	61	53	8,4	9
CONDUTIV. TÉRMICA	W/ cm.K	3,893	3,893	2,218	1,84	0,35	0,46
COEF. DIL. LINEAR	K ⁻¹ (x 10 ⁻⁶)	17	17	23	23	29	11,5
CALOR ESPECÍFICO	Cal/°C.g	0,093	0,093	0,214	0,214	0,030	0,114
COEF. DE VARIAÇÃO COM A TEMPERATURA	K ⁻¹	0,00393	0,00393	0,00403	0,0036	0,0042	0,004

4.2 RESISTÊNCIA MÁXIMA DOS

CONDUTORES EM OHM/KM A 20°C,

EM C.C.

TABELA 2

SECÇÃO NOMINAL mm ²	CLASSES 1 E 2			CLASSE 5	
	CONDUTORES DE COBRE		CONDUTORES DE ALUMÍNIO	CONDUTORES DE COBRE	
	FIOS NUS	FIOS ESTANHADOS		FIOS NUS	FIOS ESTANHADOS
1,5	12,1	12,2	-	13,3	13,7
2,5	7,41	7,56	-	7,98	8,21
4	4,61	4,70	-	4,95	5,09
6	3,08	3,11	-	3,30	3,39
10	1,83	1,84	-	1,91	1,95
16	1,15	1,16	1,91	1,21	1,24
25	0,727	0,734	1,20	0,780	0,795
35	0,524	0,529	0,868	0,554	0,565
50	0,387	0,391	0,641	0,386	0,393
70	0,268	0,270	0,443	0,272	0,277
95	0,193	0,195	0,320	0,206	0,210
120	0,153	0,154	0,253	0,161	0,164
150	0,124	0,126	0,206	0,129	0,132
185	0,0991	0,100	0,164	0,106	0,108
240	0,0754	0,0762	0,125	0,0801	0,0817
300	0,0601	0,0607	0,100	0,0641	0,0654
400	0,0470	0,0475	0,0778	0,0486	0,0495
500	0,0366	0,0369	0,0605	0,0384	0,0391
630	0,0283	0,0286	0,0469	0,0287	0,0292



4.3 RESISTÊNCIA MÁXIMA DO CONDUTOR EM

OHM/kM A 90°C, EM C.A.

CLASSE 2

TABELA 3

SECÇÃO NOMINAL(mm ²)	COBRE	ALUMÍNIO
16	1,47	2,45
25	0,927	1,54
35	0,668	1,11
50	0,494	0,822
70	0,342	0,568
95	0,247	0,411
120	0,196	0,325
150	0,159	0,265
185	0,128	0,211
240	0,098	0,161
300	0,079	0,130
400	0,0631	0,102
500	0,0508	0,0803
630	0,0416	0,0638

NOTA:

A Norma EN 60228 define o valor da resistência óhmica dos condutores em c.c. a 20 °C. Considerou-se conveniente incluir a Tabela anterior com valores da resistência eléctrica em c. a. a 90 °C, que é a temperatura máxima admissível para cabos com isolamento reticulado (PEX, EPR, etc.). Em consequência para cálculos de intensidades máximas, quedas de tensão, reactâncias, etc. o valor aplicável de resistência é sempre a 90 °C, em c. a.. Nos casos especiais em que se prevejam temperaturas inferiores a 90 °C, os valores devem ser corrigidos para a temperatura pretendida.



5

REVESTIMENTOS

5.1 REVESTIMENTOS

Os revestimentos são elementos de diferentes tipos e aplicações que conferem protecção eléctrica ou mecânica ao cabo.

Cada um deles tem uma função específica na garantia de que o cabo tenha um bom comportamento na aplicação para a qual foi concebido.

Entre os tipos de revestimentos distinguimos os seguintes:

- ISOLANTES
- SEMI-CONDUTORES
- BLINDAGENS METÁLICAS
- ENCHIMENTOS
- CAMAS DE ARMADURA
- ARMADURAS
- BAINHAS

que adiante analisaremos.

5.2 ISOLANTES

Constituem a camada contígua ao condutor metálico que o protege electricamente de tudo o que o rodeia. São normalmente os elementos mais delicados e a sua deterioração, mais ou menos rápida, é o que limita na maioria das vezes a vida útil do cabo. As condições ambientais e climáticas ou os contactos com agentes agressivos, a par da falta de cuidado na instalação, manuseamento e conservação, são os factores principais que limitam a vida de um cabo.

Do ponto de vista científico o estudo dos isolantes tem um grande interesse dado que as suas propriedades eléctricas fundamentais devem ser equilibradas com outros parâmetros físicos bem como a sua composição química. Os isolantes utilizados não são dieléctricos perfeitos e há sempre a possibilidade de um electrão passar de um átomo para outro contíguo, umas vezes devido à sua própria estrutura atómica e outras devido a impurezas; isto origina uma corrente muito fraca mas mensurável, designada corrente de fuga.



Os isolantes e outros revestimentos poliméricos usados no fabrico de cabos são muito variados. Assim apresentamos apenas os tipos genéricos mais usuais.

Os grandes grupos em que normalmente os classificamos são os TERMOPLÁSTICOS e os TERMOESTÁVEIS.



5.2.1 TERMOPLÁSTICOS

Designam-se assim os materiais poliméricos que por aumento da temperatura se deformam sob pressão por perda das suas propriedades mecânicas. Esta fluência a alta temperatura é aproveitada na sua aplicação em isolamentos ou outros tipos de revestimentos, geralmente por extrusão. Ao arrefecer recuperam as características mecânicas iniciais.

Os mais usados no fabrico de cabos eléctricos são o Poli(Clóreto de Vinilo) (PVC), o Polietileno termoplástico (PE), as poliolefinas ignífugas (Z1), o Poliuretano (PU), os materiais fluorados (Tefzel, Teflon), etc..

5.2.2 PRINCIPAIS MATERIAÍS POLIMÉRICOS TERMOPLÁSTICOS

O Poli (Cloro de Vinilo), (PVC), obtém-se a partir do Etileno e do Acetileno por reacção com Ácido Clorídrico ou Cloro, seguida de polimerização por diversos processos. Inicialmente é uma resina de cor clara, dura, rígida e com reduzida estabilidade, pelo que se têm de adicionar produtos estabilizantes. Também se adicionam outros produtos como os plastificantes, que lhe conferem dureza e flexibilidade adequadas, cargas minerais que modificam as suas propriedades físicas e reduzem o custo dos compostos, pigmentos, etc..



Com tudo isto, adaptando as devidas proporções, podem obter-se compostos com propriedades particulares para uso em isolamentos, camadas de armadura e bainhas exteriores, os quais têm de satisfazer as Normas e ensaios especificados bem como as condições particulares a que os cabos estão sujeitos dado o local de instalação, tipo de utilização, etc.(resistência aos óleos, altas ou baixas temperaturas, produtos químicos, reacção ao fogo, etc.).

Actualmente, a sua utilização mais comum é em bainhas interiores e exteriores de cabos. Até ao aparecimento do Polietileno reticulado como isolante, o PVC foi também muito usado como isolamento de cabos de Baixa Tensão mas esta aplicação está a reduzir-se rapidamente.

O Polietileno resulta da polimerização do Etileno, obtendo-se uma cadeia longa sem ligações duplas e por isso muito estável. A polimerização foi conseguida durante muito tempo a alta pressão (1500 bar) e temperaturas entre 100 e 250 °C. Mais recentemente é feita a pressões normais e temperaturas entre 20 e 70 °C. Nesta reacção obtém-se diferentes tipos de material, diferenciados pelo seu Peso Molecular médio e pela viscosidade.

As propriedades eléctricas do Polietileno são realmente excepcionais, o que o torna insubstituível como isolamento de certos tipos de cabo como nas gamas



de telecomunicações. Até ao aparecimento das técnicas para a sua reticulação o Polietileno termoplástico foi também usado no isolamento de cabos de Média Tensão.

Tal como o PVC é usado como isolante e também como bainha exterior de cabos, tanto pela resistência aos impactos e à abrasão como pela baixa absorção de humidade, aplicando-se actualmente em cabos de telecomunicações e de Média e Alta Tensão.

Quando se utiliza em cabos para instalação à intempérie e dado que o Polietileno apresenta uma certa degradação das características mecânicas por acção dos raios UV, é necessário adicionar uma percentagem baixa de Negro de Fumo, que absorve a radiação.

5.2.3 TERMOESTÁVEIS

Designam-se assim os materiais poliméricos aos quais se adicionam peróxidos orgânicos a pressões e temperaturas adequadas no processo de extrusão, conseguindo-se assim a vulcanização ou reticulação por criação de ligações transversais entre as moléculas do polímero, de tal forma que o material resultante não funde nem se deforma com o aumento de temperatura.

Os mais usuais são a Borracha de Etileno-Propileno (EPR), o Polietileno reticulado (PEX), o Hypalon (CSP), o Neopreno (PCP), a Borracha sintética (SBR), o Etileno - Acetato de Vinilo (EVA), a Borracha de Silicone (SI), etc..



5.2.4 PRINCIPAIS MATERIAIS POLIMÉRICOS TERMOESTÁVEIS

O **Polietileno reticulado (PEX)** começou a usar-se nos anos 60 no isolamento de cabos de Baixa Tensão, estendendo-se posteriormente a sua aplicação aos cabos de Média e Alta Tensão. O seu consumo tem tido um aumento constante, inclusive em cabos de Muito Alta Tensão. Em Espanha a General Cable produz e instala cabos de 66 até 220 kV, existindo referências de outros países de aplicações até 525 kV.

O Polietileno Reticulado é um material duro, com elevada resistência à ruptura (superior à borracha e ao Polietileno termoplástico). A sua termoestabilidade permite temperaturas de utilização de 90 °C. Esta propriedade, junto com a sua baixa resistividade térmica (350 °C.cm/W) permite-lhe suportar situações de emergência, com curtos-circuitos até 250 °C. A resistência a baixas temperaturas é também muito boa, chegando a -70 °C.

O **Polietileno** é reticulado pela adição de peróxidos orgânicos, como o dicumilperóxido, o qual quando a temperatura atinge 140 °C se decompõe, capturando átomos de Hidrogénio das cadeias poliméricas (criando ali radicais). Estas espécies vão formar ligações Carbono-Carbono unindo as moléculas

do polímero numa rede tridimensional.

No fabrico de cabos com este tipo de isolamento a extrusão e a reticulação podem ser combinadas num só processo - após a extrusão o cabo entra no tubo de vulcanização onde se aumenta a

temperatura por subida da pressão do vapor de água que enche o tubo ou por equipamentos de Infravermelhos em atmosfera de Azoto no procedimento conhecido como "Dry Curing".

A Borracha de **Etileno-Propileno (EPR)** é um copolímero de Etileno e Propileno. Com a incorporação de outros elementos, tais como plastificantes, antioxidantes, lubrificantes, pigmentos e outros componentes, consegue-se uma mistura crua





que terá de ser vulcanizada por incorporação de peróxidos. Esta vulcanização consegue-se após extrusão, em condições determinadas de pressão e temperatura, seguindo um processo análogo ao descrito para o Polietileno reticulado.

As propriedades dieléctricas são muito boas, o que o torna um isolante adequado para Média Tensão. No campo da Alta Tensão a sua aplicação é limitada por ter uma resistência térmica considerável (500 °C.cm/W) e pelos valores dieléctricos ($\text{tg } \delta$) mais elevados que o PEX. A sua alta flexibilidade aconselha o seu uso em instalações móveis de Baixa ou Média Tensão - equipamentos de movimentação, cabos para navios, cabos de minas, etc..



5.3 RESISTÊNCIA A PRODUTOS QUÍMICOS

PRODUTOS	POLICLOROPRENO	PVC / NBR	PEX	PVC
Ácidos				
ACÉTICO 50%	-	-	+	+
CLORÍDRICO 10%	+	-	+	+
NÍTRICO 10%	-	-	+	+
SULFÚRICO 10%	+	+	+	+
Bases				
AMONÍACO	+	+	+	+
SODA C. 10%	+	+	+	+
SODA C. 70%	-	-	+	+
Sais				
CLORETO DE ALUMÍNIO	+	+	+	+
CLORETO FÉRRICO	+	+	+	+
CLORETO DE BÁRIO	+	+	+	+
DICROMATO DE POTÁSSIO	+	+	+	+
DICROMATO DE SÓDIO	-	+	+	+
SULFATO DE COBRE	+	+	+	+
CLORETO DE MERCÚRIO	+	+	+	+
Solventes				
ÁLCOOL ETÍLICO	+	-	+	-
ÁLCOOL METÍLICO	+	-	+	-
ÁGUA A 100 °C	-	-	+	+
ETILENO GLICOL	+	+	+	+
ÓLEO DE LINHO	+	+	+	+
FENOL	0	0	-	0
CICLOHEXANONA	0	0	-	0
BENZENO	0	0	0	0
TOLUENO	0	0	0	0
CICLOHEXANOL	0	-	-	0
BUTANOL	+	-	+	-
TETRACLOROETO DE CARBONO	0	0	0	0
TRICLOROETILENO	0	0	0	0
TETRACLOROETANO	0	0	-	0
DICLOROETANO	0	0	-	0
SULFURETO DE CARBONO	0	0	0	0
"WHITE SPIRIT"	-	+	-	-
ESSÊNCIA DE TEREBENTINA	0	0	0	0
ÓLEO GORDO A 70 °C	-	+	0	-
PETRÓLEO	-	+	-	-
ACETONA	-	0	-	0
ACETATO DE ETILO	0	0	-	0
ACETATO DE BUTILO	0	0	-	0
CLOROFÓRMIO	0	0	0	0
ÓLEO DE TRANSFORMADOR	-	-	0	-
PIRALENO	0	0	0	0

(+) = BOA (-) = FRACA (0) = NULA



5.4 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

DOS MATERIAIS POLIMÉRICOS

TABELA 5

CARACTERÍSTICAS	PVC	PE	PEX	EPR	BORRACHA SINTÉTICA	POLICLORO-PRENO	HYPALON	PVC / NBR
MECÂNICAS	MB	B	B	A	A-MB	B-MB	MB	B
RESISTIVIDADE ELÉCTRICA	B	EX	EX	MB	B	R	A	R
PERDAS DIELECTRICAS	A	EX	MB	B	B	R	R	R
RESISTÊNCIA À INTEMPÉRIE	B	R-B	MB	B	R	B	MB	B
RESISTÊNCIA À PROPAGAÇÃO DA CHAMA	B	N	R	N	N	B	B	B
RESISTÊNCIA AO OZONO	EX	EX	EX	EX	N	B	EX	EX
RESISTÊNCIA AO ENVELHECIMENTO E AO CALOR	B	B	MB	MB	A	B	MB	B
TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVIÇO PERMANENTE	70	65	90	90	60	75	85	75
RESISTÊNCIA AOS ÓLEOS MINERAIS	B	A	A	R	R	MB	MB	EX
FRAGILIDADE A BAIXA TEMPERATURA	A	EX	MB	EX	MB	MB	B	B

EX: EXCELENTE

MB: MUITO BOA

B: BOA

A: ACEITÁVEL

R: REGULAR

N: NULA

5.5 SEMI-CONDUTORES

Consistem em camadas extrudidas de resistência eléctrica reduzida de materiais compatíveis com os isolamentos.

São usados principalmente em cabos de Média e Alta Tensão, em duas camadas:

A primeira é aplicada directamente sobre o condutor e tem por função conter o campo eléctrico dentro de uma superfície cilíndrica e o mais equipotencial possível, com uma espessura adequada à eliminação das irregularidades dos fios que formam o condutor. Sem esta blindagem, o isolamento ficaria sujeito a gradientes de potencial variáveis. Estes materiais são desenvolvidos de modo a garantir a sua compatibilidade com o isolamento.

A segunda camada semi-condutora tem uma função análoga à anterior, entre o isolamento e a blindagem.

Na GENERAL CABLE o fabrico dos cabos de Média e Alta Tensão, no que se refere à aplicação das camadas semi-condutoras e de isolamento, é feito pelo processo de “**Tripla Extrusão Simultânea**”, que consiste em fazer confluir os três materiais fundidos por canais distintos numa única cabeça, em simultâneo e sem presença de atmosfera contaminante, como poderia suceder nos processos convencionais de extrusão.

As blindagens semi-condutoras também têm aplicação em cabos de Baixa Tensão para a indústria mineira e para a utilização de equipamentos móveis. Esta camada permite captar qualquer corrente de defeito radial entre o condutor e o isolamento e transferi-la para um condutor auxiliar de drenagem ligado a um detector de defeitos, que permite desligar de imediato o circuito em causa.





Assim, ao mesmo tempo que se evita a possibilidade de um curto-circuito importante que destrua o cabo, elimina-se a possibilidade de a energia libertada na falha ser causa de incêndio ou deflagração.



5.6 BLINDAGENS METÁLICAS

São elementos condutores, geralmente de Cobre ou Alumínio, que podem ter várias funções:

- Protecção da influência de induções exteriores
- Escoamento de correntes de defeito
- Regularização do campo eléctrico
- Blindagem de sinais externos ou internos
- Etc.

Nos cabos de Média e Alta Tensão empregam-se basicamente 3 tipos:

- Fitas de Cobre aplicadas em hélice com sobreposição sobre a camada semi-condutora extrudida (H1)
- Fios de Cobre aplicados em hélice sobre a camada semi-condutora (H16, H28, H35, etc.).
- Bainha de Chumbo (Pb) usada em cabos de isolamento de papel (são instalados cada vez menos).

Utilizam-se outros tipos de blindagem para cabos de controle, instrumentação, telecomunicações, etc., cuja função é apenas evitar que as correntes muito fracas que circulam nos condutores sejam afectadas por sinais nos condutores contíguos ou efeitos electrostáticos exteriores.

É usual em cabos de instrumentação a aplicação de blindagens individuais em cada par além de uma colectiva sobre o conjunto de pares cableados. Estas

blindagens são normalmente constituídas por uma fita-complexo de Alumínio (poucos micra de espessura) e poliéster - Polietilenotereftalato (PETP), que lhe confere resistência mecânica. A fita é aplicada em hélice sobre o cabo a proteger, sendo a continuidade assegurada pela inclusão de um condutor de baixa secção (fio de continuidade ou drenagem).

5.7 ENCHIMENTOS

O enchimento é o material que tem por função ocupar os espaços vazios resultantes da cableagem dos condutores isolados, de modo a resultar uma envolvente cilíndrica e lisa. Os enchimentos podem ser têxteis ou de material plástico.

As condições fundamentais a exigir aos materiais de enchimento são:

- NÃO HIGROSCÓPICOS (não absorvem ou libertam humidade)
- COMPATIBILIDADE COM OS MATERIAIS ADJACENTES



5.8 BAINHAS DE CAMA DE ARMADURA

Os cabos concebidos com armaduras metálicas possuem uma camada extrudida que, aplicada sobre os enchimentos referidos, serve de cama à armadura e como tal protege os isolamentos de possíveis acções das massas metálicas.



A bainha de cama será, regra geral, de PVC nos cabos com bainha exterior deste material. Em certos países se a composição da bainha se reflecte na designação do cabo (ex.: VVRV) a qualidade e características do composto usado devem ser as mesmas da bainha exterior. Nos casos em que a designação não refere o material da bainha de cama (ex.: VRV) isso significa que o material desta camada não corresponde à exigência da Norma de suporte.

Nos cabos armados com bainha exterior elastomérica (Policloropreno, Hypalon, etc.) a bainha de cama da armadura será em material elastomérico.

As Normas podem exigir para as bainhas de cama:

- ESPESSURAS
- CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS
- ESTANQUIDADE
- NÃO HIGROSCOPICIDADE
- COMPATIBILIDADE COM OS MATERIAIS ADJACENTES.



5.9 ARMADURA

São elementos metálicos para protecção mecânica do cabo. Geralmente são de Aço, simples ou com oxidação azul. Nalgumas aplicações especiais aplicam-se fitas de Aço galvanizado. Para evitar perdas por indução nos cabos monopolares as armaduras respectivas são constituídas por metais não magnéticos (Alumínio, Cobre, Bronze, etc).

Os tipos de armadura mais utilizados são a ARMADURA DE FITAS, a ARMADURA DE FIOS e a ARMADURA DE FITA CORRUGADA.

5.9.1 ARMADURA DE FITAS

Constituída por 2 fitas aplicadas em hélice, de modo que a exterior cobre os espaços livres deixados pela interior, permitindo que o conjunto evidencie um certo grau de flexibilidade durante a instalação, bem como o deslizamento das próprias espiras da armadura.

5.9.2 ARMADURA DE FIOS

Constituída por fios de Aço galvanizado ou fios de Alumínio no caso de cabos monopolares, aplicados por cableagem em hélice sobre a cama da armadura, cobrindo a totalidade da periferia do cabo. Os fios de Aço têm uma carga de ruptura mínima de 35 kg/mm² e os de Alumínio de 16 kg/mm².

As armaduras de fios são particularmente adequadas para suportar esforços de tracção durante a instalação do cabo ou suportar o seu peso em condutas muito inclinadas ou mesmo em instalação vertical (ex.: minas). É frequente nos cabos de minas incorporar na armadura fios de Cobre do mesmo diâmetro dos de Aço, com o objectivo de aumentar a condutância da armadura e poder utilizá-la como condutor de protecção.

Os cabos com armaduras de fios de Aço são utilizados nos sectores industriais e petroquímico, em minas e também em instalações em locais com risco de incêndio e/ou explosão. Correspondem na gama da General Cable aos tipos RVhMVh 0,6/1 kV.

Uma variante da armadura de fios é a trança metálica. Constituída por fios de Aço galvanizado ou Bronze, de diâmetro reduzido (0,2 a 0,5 mm), forma uma cobertura que pode atingir até 100% da superfície a proteger. A sua utilização restringe-se a



cabos flexíveis para equipamentos móveis, cabos para navios, cabos de minas ou simplesmente como protecção anti-roedores em diferentes tipos de cabos.

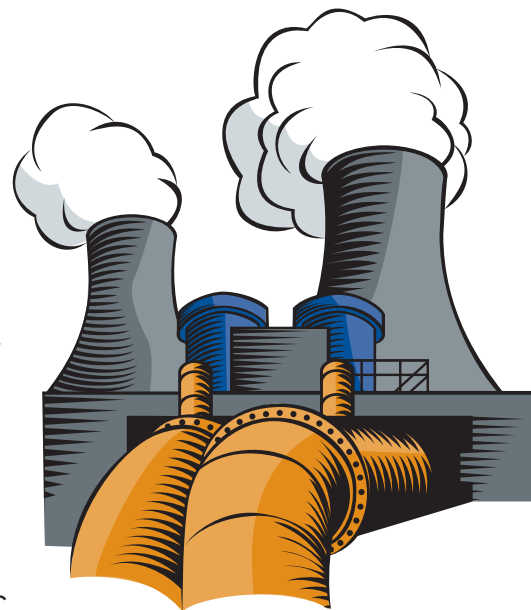
5.9.3 ARMADURA DE FITA CORRUGADA

É constituída por uma fita longitudinal envolvente, com sobreposição, com as marcas da corrugação transversais ao eixo do cabo, permitindo um certo grau de flexibilidade em simultâneo com uma boa protecção mecânica e anti-roedores.



5.10 BAINHAS EXTERIORES

São as camadas ou revestimentos exteriores que actuam como protecção dos cabos eléctricos, estando a sua aplicação justificada por muitas razões, sendo a mais comum suportar durante a instalação e ao longo da vida útil do cabo os efeitos mecânicos de choques, escorregamentos e apertos. Dependendo da localização, condições ambiente, tipo de instalação e serviço, bem como por razões de segurança, as bainhas devem também ser adequadas a cada uma das solicitações que se prevejam. É comum que para cabos a instalar dentro de refinarias e instalações petroquímicas a bainha de PVC



deva suportar a acção de contactos accidentais com hidrocarbonetos e solventes, existindo para a sua avaliação normas que especificam os ensaios a satisfazer e os limites de aceitação. Para centrais nucleares as bainhas devem responder, entre outros requisitos, a uma particular resistência aos efeitos das radiações por se destinarem a funcionar num meio onde existe a possibilidade de fugas radioactivas. Para as instalações eléctricas em locais com acesso de público, e dada a possibilidade de ocorrerem incêndios apesar das medidas de segurança, os cabos e em particular as



bainhas devem ter um certo tipo de comportamento em caso de incêndio: exigem-se cabos **NÃO PROPAGADORES DO INCÊNDIO**, sem componentes halogenados que possam gerar gases tóxicos, e que não emitam fumos densos em presença de fogo.

Podem definir-se muitas situações particulares que, pela experiência da General Cable, já foram estudadas e encontrada para cada caso a solução mais adequada que corresponda às condições definidas.

A bainha dos cabos eléctricos comporta-se como uma protecção global do cabo, não devendo esquecer-se que a vida útil do cabo diminui rapidamente com bainhas deterioradas por pancadas, perfurações, etc..

Esta circunstância faz que em certos tipos de cabos como os de Média e Alta Tensão seja extremamente importante a utilização de meios de adequados no lançamento dos cabos em condutas subterrâneas com o objectivo de não os danificar. Um pequeno orifício, por imperceptível que seja, é suficiente para a entrada de água ou pelo menos de humidade, que se propagará ao longo do cabo, produzindo-se fenómenos electroquímicos que provocam o aparecimento e crescimento de arborescências, o que significa uma degradação constante dos materiais isolantes até ocorrer a perfuração do dieléctrico.



Tal como os isolamentos que referimos anteriormente, as bainhas podem ser classificadas em dois grandes grupos: **TERMOPLÁSTICAS**, como o PVC, Polietileno e Poliuretano nas suas diferentes variedades, e **TERMOESTÁVEIS**, como o Policloropreno, Hypalon, Borracha sintética, Borracha de Silicone, NBR, etc..



5.11 CABLEAGEM

Consiste no enrolamento de dois ou mais condutores entre si, sobre um eixo imaginário, formando uma hélice visível. A distância mais curta entre dois pontos do mesmo condutor na mesma geratriz, depois de dar uma volta completa ao eixo de cableagem, designa-se por **PASSO DE CABLEAGEM**.



Os cabos utilizados em instalações móveis (gruas, enroladores, minas, etc.) têm passos de cableagem mais curtos que os cabos convencionais.



6

FLEXIBILIDADE

6.1 FLEXIBILIDADE

A flexibilidade nos cabos eléctricos é determinada por dois aspectos:

A.- A sua função e comportamento exigido em serviço

B.- Facilitar a instalação dos cabos

6.1.1 INSTALAÇÕES MÓVEIS

A.- Neste primeiro caso devem utilizar-se **CABOS FLEXÍVEIS PARA INSTALAÇÕES MÓVEIS**, ou seja cabos que no seu funcionamento normal alimentam equipamentos móveis, pelo que o seu comportamento não deve reduzir-lhes a funcionalidade, a vida útil em serviço e, principalmente, deve assegurar um nível elevado de segurança para as pessoas e equipamentos adjacentes.

As Normas definem as características que devem ter estes cabos, os materiais constituintes, regras de concepção, métodos de ensaio e resultados a obter, bem como a correcta interpretação dos guias de uso e normas de aplicação.

Muitas vezes avalia-se a flexibilidade de um cabo por meios subjectivos, que apenas podem trazer uma avaliação particular e momentânea. O cabo flexível para instalações móveis deve garantir para além disso uma vida útil longa, o que se avalia por ensaios que comprovam a sua resistência a milhares de ciclos de flexão.





CABOS PARA INSTALAÇÕES MÓVEIS INTERIORES

- A tensão mínima será de 500 V (300/500)
- Podem utilizar-se cabos de PVC ou de BORRACHA
- Os cabos mais usados são:

MOVILFLEX VV-F 300/500 V

BIGGFLEX H05VV-F

FLEXIGRON H05RR-F

FLEXIGRON H05RN-F

CABOS PARA INSTALAÇÕES MÓVEIS EXTERIORES

- A tensão mínima será de 750 V (450/750)
- Só devem usar-se cabos de borracha (*)
- Os cabos mais utilizados são:

FLEXIGRON H07RN-F (450/750 V)

FLEXIGRON DN-F 0,6/1 kV

(*) A utilização de cabos isolados a PVC ou PEX para instalações móveis exteriores está proibida em vários países.

6.1.2 INSTALAÇÕES FIXAS

B.- Neste caso, por razões práticas, tem-se verificado em muitos países a substituição dos condutores rígidos das Classes 1 ou 2 por condutores flexíveis da Classe 5. Isto vai facilitar as tarefas de instalação do cabo em quaisquer condições, particularmente em locais apertados ou de difícil acesso.

Podemos referir como exemplo a utilização crescente de cabos:

ENERGY RV - K 0,6/1 kV.

6.1.3 DESIGNAÇÕES TÉCNICAS

A letra F no final da designação dum cabo significa sempre **flexível para instalações móveis**. Outros cabos flexíveis incorporam a letra K na sua designação, o que significa **flexível para instalações fixas**.



7

**CABOS ELÉCTRICOS
DE ALTA SEGURANÇA
EM CASO DE
INCÊNDIO**

EXZHELLENT (AS) ALTA SEGURANÇA

**SEGURFOC-331 (AS+) ALTA
SEGURANÇA AUMENTADA**

7.1 A PROBLEMÁTICA DO FOGO

O fogo é um dos fenômenos mais importantes e apreciados de todos os descobertos pelo homem, talvez o que mais ajudou a sua vida e o desenvolvimento desde os tempos mais remotos. Simultaneamente, é um dos mais temidos quando por qualquer razão se escapa ao controlo, já que tem consequências irreversíveis.



O problema do fogo tem sempre preocupado muito os construtores de edifícios e de outros locais de acesso de público, assim como os fabricantes de equipamentos que, pelas suas características, podem apresentar um perigo tanto para as pessoas como para os locais em que se encontram.

Os meios de comunicação referem frequentemente incêndios ocorridos em edifícios, salas de espectáculos, hotéis, clínicas, fábricas, etc.. São notícias que comovem todo o mundo, seja qual for o local atingido. Todos se recordam de diferentes episódios deste tipo - em quase todos se registam efeitos comuns: fumos opacos, tóxicos e corrosivos e, conseqüentemente, muitas mortes por asfixia.

As estatísticas demonstram a grande frequência de incêndios com causas muito diversas. As exigências de segurança cada vez mais apertadas fizeram aparecer Normas e Especificações que regulam a utilização de determinados materiais, proibindo alguns e exigindo a utilização de cabos especiais em determinadas instalações.





7.2 OS CABOS E O FOGO

Os cabos, como componentes importantes de todas as instalações, estão abrangidos por estas exigências dado que:

São elementos que cruzam a totalidade das instalações, passando de umas áreas para as outras, e podem ser considerados potenciais agentes de propagação dos incêndios.

Boa parte do seu volume é constituído por isolamentos e bainhas em materiais orgânicos e como tal combustíveis susceptíveis de ser afectados pelo fogo, produzindo gases e fumos inflamáveis que cooperam na combustão, sendo quase sempre muito tóxicos e corrosivos e associados a fumos densos.



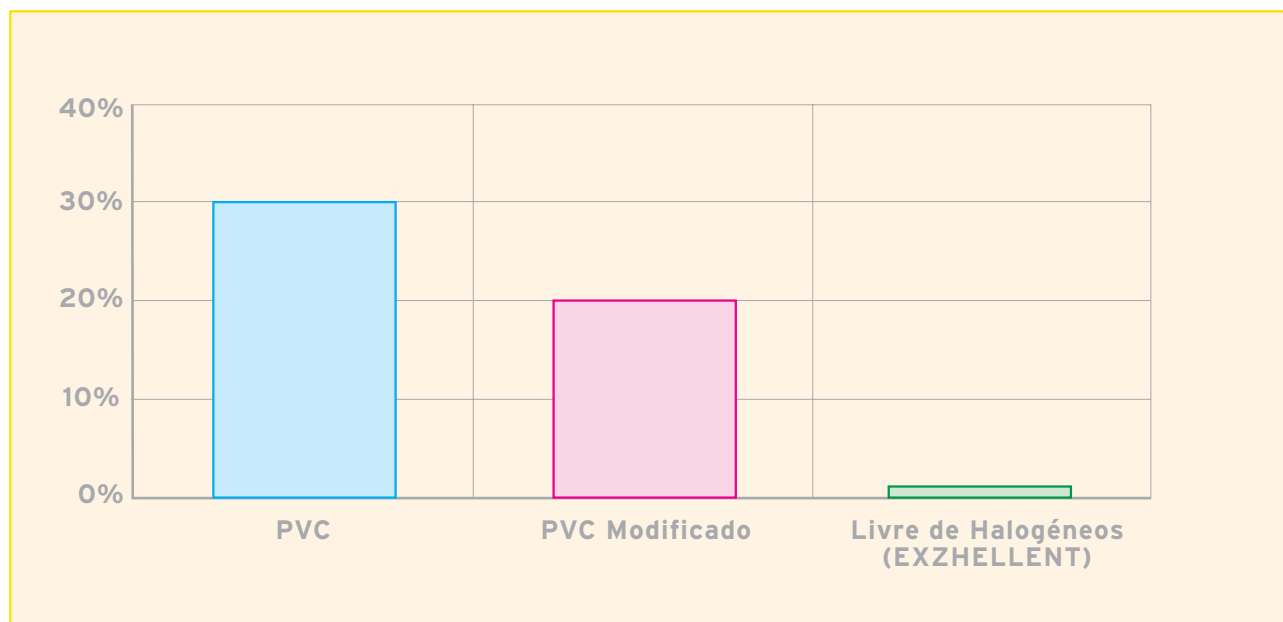
A sua integridade eléctrica, ao ser afectada pelo fogo, pode ser danificada originando curtos-circuitos e, por consequência, facilitando o aparecimento de novos focos de incêndio.

É conhecido que, uma vez declarado o incêndio, o elemento mais nocivo que aparece é o fumo gerado pela combustão dos materiais submetidos à acção do fogo. Com efeito, a maioria desses materiais, em geral de origem orgânica, emitem ao arder grande quantidade de fumos de alta opacidade com conteúdos elevados de gases tóxicos e corrosivos que os tornam irrespiráveis e causam a perda total de visibilidade num ambiente altamente nocivo para as pessoas, dificultando as acções de extinção e evacuação, que são vitais nestas situações. Como consequência menor mas não desprezável devem também referir-se as perdas elevadas por inutilização de equipamentos (informáticos, de comunicações, etc.) afectados pela corrosividade dos fumos e gases libertados.

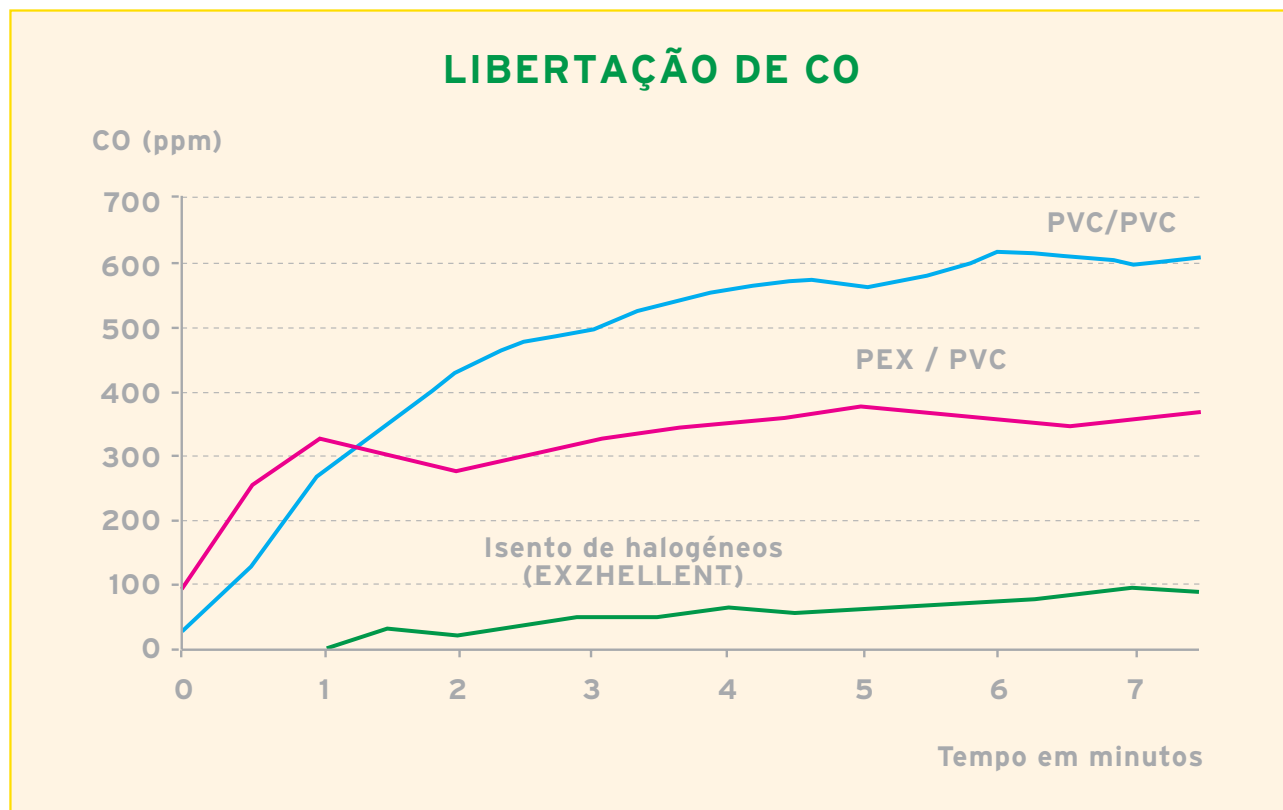
7.3 OS NOVOS MATERIAIS

Quando os plásticos apareceram na década de cinquenta deu-se um grande avanço no mundo industrial. Os cabos perderam os seus antigos materiais de isolamento e protecção, substituídos por estes novos produtos. Os resultados foram excelentes, não só do ponto de vista dieléctrico mas também das melhorias conseguidas em temperaturas de serviço, maneabilidade, durabilidade, estabilidade térmica e resistência a ambientes especiais (altas e baixas temperaturas, exposição a solventes, a óleos e a hidrocarbonetos). Os avanços da tecnologia e da investigação nas últimas décadas levaram ao desenvolvimento de soluções para cada caso específico de utilização - mas se por um lado os plásticos resolveram muitos problemas de utilização dos cabos, tem de se reconhecer que alguns deles, como o poli (cloreto de vinilo), se expostos ao fogo, libertam fumos intensos totalmente opacos com teores elevados de gases tóxicos e corrosivos, devido à libertação de grande quantidade de Cloro sob a forma de gás clorídrico (HCl).

EMISSÃO DE HALOGÉNEOS (%HCl)



Estes problemas levaram ao aparecimento de novos materiais que, quando usados como isolamentos e bainhas em substituição do PVC ou outros polímeros como o Policloropreno, constituem a base de novos tipos de cabos destinados a instalações em locais com acesso de público.

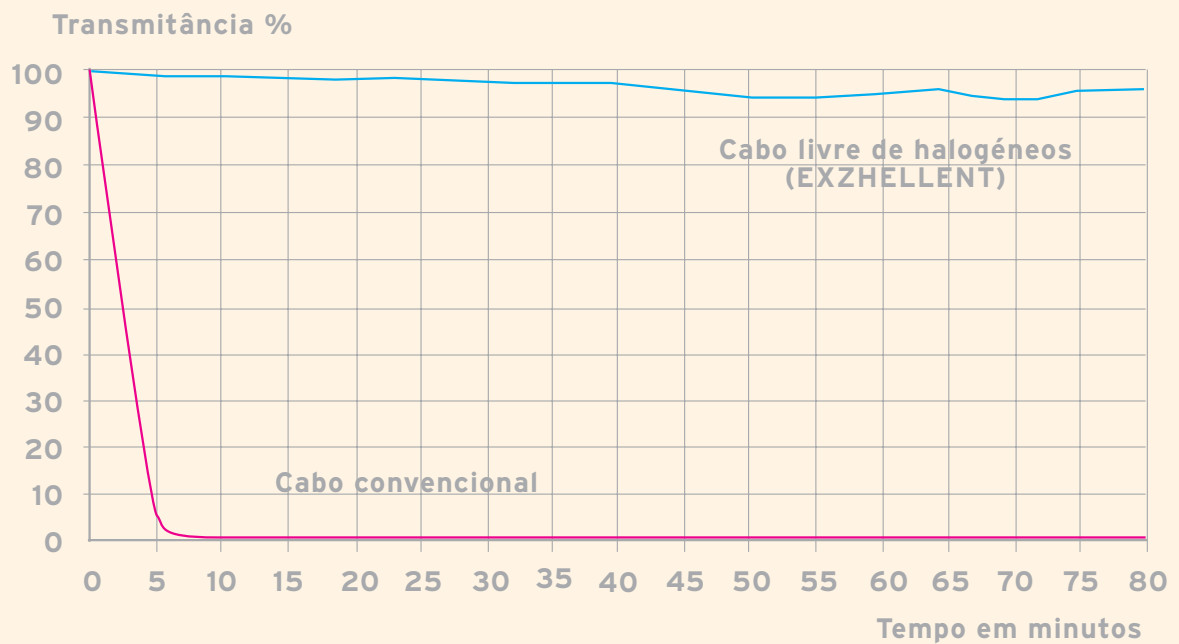


- O aumento da emissão de CO nos cabos Exzhellent é muito lento e reduzido.
- É fundamental que se gere pouca concentração de CO nos minutos iniciais do incêndio, para se evitarem vítimas.

7.4 A SOLUÇÃO "EXZHELLENT" (AS)

A série de cabos EXZHELLENT que a General Cable produz nas suas fábricas foi especialmente concebida para eliminar, no que toca aos cabos eléctricos, todos os inconvenientes anteriormente descritos, já que às suas características de não propagador do incêndio (Ref. UNFIRE®), condição básica e fundamental para eliminar riscos dada a sua baixa tendência para ser combustível, junta o facto de serem concebidos e fabricados com materiais especiais que no caso de ser afectados pelo fogo produzem fumos translúcidos, sem halogéneos e de baixa toxicidade.

DIAGRAMA COMPARATIVO DA VARIAÇÃO DA TRANSMITÂNCIA COM O TEMPO PARA CABOS CONVENCIONAIS E CABOS LIVRES DE HALOGÊNEOS



ENSAIO DE TRANSMITÂNCIA LUMINOSA EM CÂMARA DE 27 m³

CABO CONVENCIONAL



CABO EXZHELLENT





7.5 SEGURFOC 331(AS+)

CABOS RESISTENTES AO FOGO

Nas instalações interiores em edifícios considerados como de acesso de público devem distinguir-se dois tipos de circuitos ou canalizações eléctricas, diferentes na sua função.

7.5.1 CIRCUITO PRIMÁRIO

O circuito principal, até há pouco tempo único, é o mais extenso e integra os circuitos de potência, iluminação, controlo e transmissão de dados, bem como as derivações, por mais simples que sejam. É fundamental, e nalguns países obrigatório, aplicar cabos não propagadores do incêndio EXZHELLENT (AS), sem emissão de halogéneos e de baixa geração de fumos translúcidos no caso de exposição ao fogo.

7.5.2 CIRCUITO SECUNDÁRIO

O segundo circuito, menos extenso, é constituído por uma rede independente do anterior, com elementos de protecção e seccionamento próprios. Esta canalização está projectada exclusivamente para começar a actuar automaticamente em caso de incêndio, devendo alimentar os alarmes acústicos, sinais e avisos luminosos, desenfumadores, alimentação de bombagem de água e todos os outros sistemas de apoio às equipas de salvamento e combate ao incêndio.



7.5.3 A SOLUÇÃO SEGURFOC-331 (AS+)

Em resposta a esta necessidade a General Cable oferece cabos especiais designados genericamente Resistentes ao Fogo, da gama SEGURFOC-331 (AS+), que podem suportar temperaturas de 800 °C durante 3 horas, em serviço, alimentando os sistemas atrás referidos, enquanto os cabos e circuitos convencionais estão desligados e fora de serviço.



Os cabos SEGURFOC-331 (AS+) podem ficar semi-destruídos durante o incêndio, mas mantêm os requisitos dieléctricos necessários a assegurar o fornecimento de energia durante um mínimo de 3 horas.

Os isolamentos e bainhas destes cabos mesmo quando afectados pelo fogo não emitem gases halogenados corrosivos ou fumos opacos. A regulamentação existente implica o uso destes produtos nos circuitos de segurança.

7.6 REGULAMENTAÇÃO DE SEGURANÇA

As Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão analisam os riscos de incêndio com referência à natureza dos produtos tratados nos locais em análise e definem os requisitos a satisfazer, os quais incluem

- Cabos resistentes à propagação da chama, no caso geral
- Cabos resistentes ao fogo, nos circuitos de emergência

No entanto, se analisarmos os regulamentos publicados recentemente noutros países verifica-se que se tornou obrigatória a utilização em muitas situações de cabos não propagadores do incêndio e que não produzam fumos densos ou gases tóxicos. A sua utilização aparece como obrigatória em zonas comuns dos edifícios de habitação e em todos os locais de acesso de público ou com requisitos especiais de segurança. Porque pensamos que será essa a evolução da nossa regulamentação interna, incluímos algumas notas sobre as exigências que referem este tipo de cabos.



Os locais abrangidos, qualquer que seja a sua dimensão, incluem:

- Templos
- Museus
- Salas de conferências
- Estabelecimentos hoteleiros
- Casinos
- Restaurantes, bares e cafés
- Centros comerciais
- Aeroportos
- Centrais de transportes
- Hospitais e centros de saúde
- Lares
- Jardins de infância

Certos tipos de edifício só são abrangidos se a sua ocupação prevista ultrapassar um dado número de pessoas (em Espanha foi considerado o valor limite de 50 pessoas). Incluem-se nesta categoria:

- Bibliotecas
- Locais de ensino
- Consultórios médicos
- Estabelecimentos comerciais
- Instalações de serviços da administração pública
- Ginásios
- Instalações para espectáculos desportivos
- Salas de exposições
- Centros culturais

As mesmas regras aparecem também associadas, de um modo geral a todos os edifícios de grande altura. Esta classe de construções deve ser classificada segundo critérios locais, dependentes dos meios de socorro disponíveis.



8

**TABELAS DE
INTENSIDADES MÁXIMAS
ADMISSÍVEIS
EM REGIME
PERMANENTE**

8.1 CONDIÇÕES DE INSTALAÇÃO

Nas Tabelas 6 a 9 são indicadas as intensidades máximas admissíveis em regime permanente para cabos de Cobre ou Alumínio, com isolamentos de EPR ou PEX, monopolares ou tripolares, instalados ao ar ou enterrados, na gama de Baixa Tensão (0,6/1 kV). Os valores incluídos nas tabelas (*) foram calculados segundo o método da IEC 60287 - correspondendo portanto a temperaturas no condutor de 90°C.



Também deve referir-se que os valores de intensidade estão adequados às seguintes **condições de instalação**:

CABOS ENTERRADOS

Um terno de cabos monopolares em contacto mútuo. Profundidade não superior a 1m, sendo a resistividade térmica do terreno 100 °C.cm/W, e a uma temperatura de referência a essa profundidade de 25 °C.

CABOS AO AR

Um terno de cabos monopolares em contacto mútuo, dispostos de forma a que entre eles se consiga uma renovação de ar eficaz, a uma temperatura de 40 °C e não expostos à luz solar. Em ambos os casos, se as condições verificadas não se ajustam exactamente a estes modelos de referência, devem aplicar-se os factores de correcção apresentados mais à frente, onde se referem as condições mais comuns.

Salvo alguns casos como os factores referentes a temperaturas inferiores à de referência ou resistividades térmicas mais baixas, os factores variam no sentido de diminuir por vezes significativamente o valor da intensidade máxima, particularmente quando alguns dos efeitos se fazem sentir em simultâneo.





Para os cabos de Baixa Tensão, a aplicação segue os mesmos valores de correcção, mas se tivermos em conta os valores previstos de queda de tensão é frequente termos de instalar uma secção superior à calculada para troços longos.

(*) NOTA: Em qualquer tipo de instalação as intensidades indicadas estão baseadas numa temperatura do condutor igual ao limite de 90 °C para isolamentos termoestáveis (PEX, EPR) ou 70 °C para os termoplásticos (PVC, PE). Assim, qualquer coeficiente redutor aplicado (ex.: cabos expostos ao sol - coeficiente 0,9) pode reduzir significativamente a corrente calculada. O cálculo englobando todos os coeficientes a considerar pode resultar num cabo de secção muito superior ao calculado inicialmente.

Por outro lado deve também ter-se em conta numa análise económica que quando um cabo tem uma temperatura elevada por efeito de Joule estamos a perder uma quantidade de energia na forma de calor. Resulta que a utilização de secções mais elevadas terá um incremento de custo que por vezes se amortizará rapidamente.



8.2 INTENSIDADES MÁXIMAS ADMISSÍVEIS

EM SERVIÇO PERMANENTE (AMPÈRE)

CABOS DE TENSÃO NOMINAL 0,6/1 kV

TABELA 6

INSTALAÇÃO AO AR (T=40 °C) TEMPERATURA MÁXIMA DO CONDUTOR - 90 °C CABOS ISOLADOS COM PEX						
SECÇÃO mm ²	Nº DE CONDUTORES DE COBRE			Nº DE CONDUTORES DE ALUMÍNIO		
	UM	DOSIS	TRÊS	UM	DOIS	TRÊS
1,5	18	25	17	-	-	-
2,5	26	33	25	-	-	-
4	35	44	34	-	-	-
6	46	58	44	-	-	-
10	64	79	61	-	-	-
16	86	103	82	67	80	64
25	120	138	110	93	108	86
35	145	170	135	115	135	105
50	180	200	165	140	155	130
70	230	255	210	180	200	165
95	285	310	260	220	245	205
120	335	-	300	260	-	235
150	385	-	350	300	-	275
185	450	-	400	350	-	315
240	535	-	475	420	-	370
300	615	-	545	480	-	425
400	720	-	645	560	-	505
500	825	-	-	645	-	-
630	950	-	-	740	-	-

Se existem condições especiais de instalação, devem ter-se em conta na selecção da secção os factores correctivos aplicáveis.



INTENSIDADES MÁXIMAS ADMISSÍVEIS

EM SERVIÇO PERMANENTE (AMPÈRE)

CABOS DE TENSÃO NOMINAL 0,6/1 kV

TABELA 7

INSTALAÇÃO ENTERRADA (TEMPERATURA DO TERRENO = 25°C, RESISTIVIDADE DO TERRENO = 100 °C. cm/W) TEMPERATURA MÁXIMA DO CONDUTOR - 90 °C CABOS ISOLADOS COM PEX						
SECÇÃO mm ²	Nº DE CONDUTORES DE COBRE			Nº DE CONDUTORES DE ALUMÍNIO		
	UM	DOIS	TRÊS	UM	DOIS	TRÊS
1,5	32	45	28	-	-	-
2,5	44	52	40	-	-	-
4	57	69	52	-	-	-
6	72	86	66	-	-	-
10	96	115	88	-	-	-
16	125	150	115	97	117	90
25	160	190	150	125	150	115
35	190	230	180	150	180	140
50	230	270	215	180	210	165
70	280	325	260	220	255	205
95	335	385	310	260	300	240
120	380	-	355	295	-	275
150	425	-	400	330	-	310
185	480	-	450	375	-	350
240	550	-	520	430	-	405
300	620	-	590	485	-	460
400	705	-	665	550	-	520
500	790	-	-	615	-	-
630	885	-	-	690	-	-

Se existem condições especiais de instalação, devem ter-se em conta na selecção da secção os factores correctivos aplicáveis.

INTENSIDADES MÁXIMAS ADMISSÍVEIS

EM SERVIÇO PERMANENTE (AMPÈRE)

CABOS DE TENSÃO NOMINAL 0,6/1 kV

TABELA 8

INSTALAÇÃO AO AR (T=40 °C) TEMPERATURA MÁXIMA DO CONDUTOR - 90 °C CABOS ISOLADOS COM EPR						
SECÇÃO mm ²	Nº DE CONDUTORES DE COBRE			Nº DE CONDUTORES DE ALUMÍNIO		
	UM	DOIS	TRÊS	UM	DOIS	TRÊS
1,5	18	25	17	-	-	-
2,5	26	33	25	-	-	-
4	35	44	34	-	-	-
6	45	58	43	-	-	-
10	62	79	60	-	-	-
16	83	103	80	65	80	63
25	115	138	105	90	108	82
35	140	170	130	110	135	100
50	175	200	160	135	155	125
70	225	255	200	175	200	155
95	280	310	250	215	245	195
120	325	-	290	255	-	225
150	375	-	335	290	-	260
185	440	-	385	345	-	300
240	515	-	460	400	-	360
300	595	-	520	465	-	405
400	700	-	610	545	-	475
500	800	-	-	625	-	-
630	915	-	-	715	-	-

Se existem condições especiais de instalação, devem ter-se em conta na selecção da secção os factores correctivos aplicáveis.



INTENSIDADES MÁXIMAS ADMISÍBLES

EN SERVICIO PERMANENTE (AMPÈRE)

CABOS DE TENSÃO NOMINAL 0,6/1 kV

TABELA 9

INSTALAÇÃO ENTERRADA (Temperatura do terreno = 25°C, Resistividade do terreno = 100 °C.cm/W) TEMPERATURA MÁXIMA DO CONDUTOR - 90 °C CABOS ISOLADOS COM EPR						
SECÇÃO mm ²	Nº DE CONDUTORES DE COBRE			Nº DE CONDUTORES DE ALUMÍNIO		
	UM	DOIS	TRÊS	UM	DOIS	TRÊS
1,5	31	39	28	-	-	-
2,5	43	50	39	-	-	-
4	55	67	51	-	-	-
6	70	84	64	-	-	-
10	94	112	85	-	-	-
16	120	148	110	94	115	86
25	155	185	140	120	145	110
35	185	225	175	145	175	135
50	225	260	205	175	205	160
70	270	315	250	215	245	200
95	325	375	305	255	295	235
120	375	-	350	290	-	270
150	415	-	390	325	-	305
185	470	-	440	365	-	345
240	540	-	505	420	-	395
300	610	-	565	475	-	445
400	690	-	645	540	-	500
500	775	-	-	605	-	-
630	870	-	-	680	-	-

Se existem condições especiais de instalação, devem ter-se em conta na selecção da secção os factores correctivos aplicáveis.

8.3 CABOS INSTALADOS AO AR

FACTORES DE CORRECÇÃO

CABOS INSTALADOS AO AR EM AMBIENTES COM TEMPERATURA DIFERENTE DE 40°C

Coeficientes de correcção para temperatura ambiente diferente de 40°C

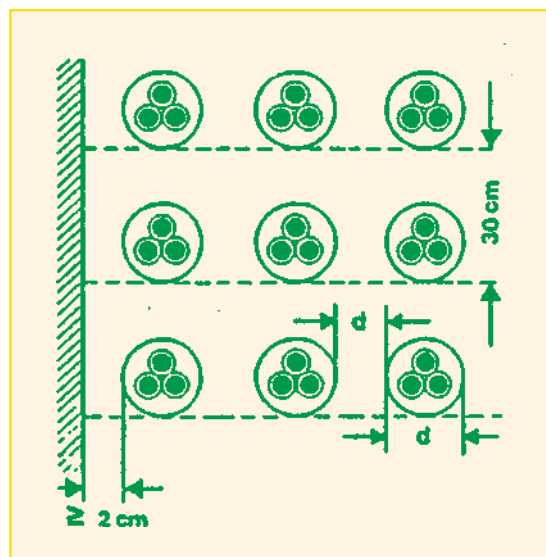
TEMPERATURA °C	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Cabos isolados a PVC	1,35	1,29	1,22	1,15	1,08	1,00	0,91	0,81	0,71	0,58
Cabos isolados a PEX ou EPR	1,22	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,90	0,84	0,77

CABOS INSTALADOS AO AR EM CALEIRAS OU GALERIAS

Verifica-se em certas condições de instalação (caleiras, galerias, etc.) que o calor dissipado pelos cabos não se pode difundir livremente, provocando um aumento da temperatura do ar. Muitos factores estão dependentes da grandeza deste aumento, pelo que deve ser avaliado caso a caso. Em termos aproximados pode estimar-se a elevação de temperatura em cerca de 15°C; a intensidade admissível em regime permanente será afectada segundo os coeficientes incluídos na Tabela anterior.

CABOS TRIPOLARES OUTERNOS DE CABOS AGRUPADOS E INSTALADOS AO AR

Consideram-se cabos tripolares ou ternos de cabos instalados em esteiras contínuas (circulação de ar restringida), com separação igual ao diâmetro dos cabos ou ternos. Distância mínima da parede superior a 2 cm.



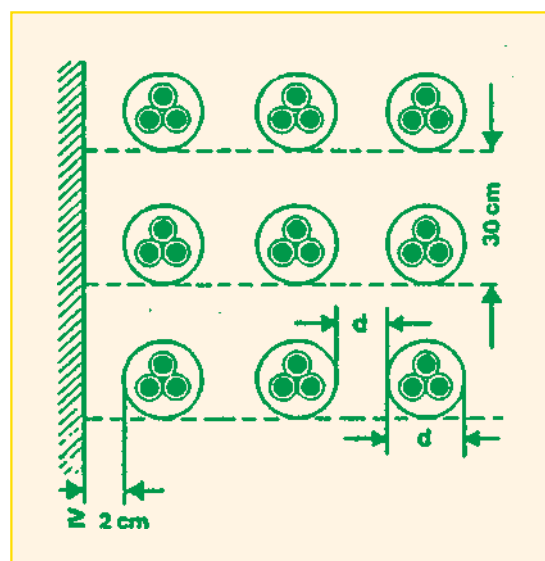
FACTORES DE CORRECÇÃO

NÚMERO DE ESTEIRAS	NÚMERO DE CABOS OU TERNOS				
	1	2	3	6	9
1	0,95	0,90	0,88	0,85	0,84
2	0,90	0,85	0,83	0,81	0,80
3	0,88	0,83	0,81	0,79	0,78
6	0,86	0,81	0,79	0,77	0,76

Nota: Quando a separação entre os cabos for igual ou superior a "2d" não se aplica correcção.

CABOS TRIPOLARES OU TERNOS DE CABOS INSTALADOS EM ESTEIRAS PERFURADAS COM SEPARAÇÃO IGUAL AO DIÂMETRO "d"

Distância da parede > 2 cm



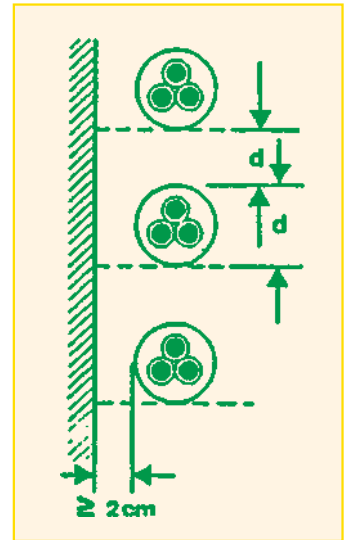
FACTORES DE CORRECÇÃO

NÚMERO DE ESTEIRAS	NÚMERO DE CABOS OU TERNOS				
	1	2	3	6	9
1	1	0,98	0,96	0,93	0,92
2	1	0,95	0,93	0,90	0,89
3	1	0,94	0,92	0,89	0,88
6	1	0,93	0,90	0,87	0,86

Nota: Quando a separação entre os cabos for igual ou superior a "2d" não se aplica correcção.

CABOS TRIPOLARES OU TERNOS DE CABOS INSTALADOS SUPTADOS EM PAREDE COM SEPARAÇÃO ENTRE CABOS IGUAL A UM DIÂMETRO "d"

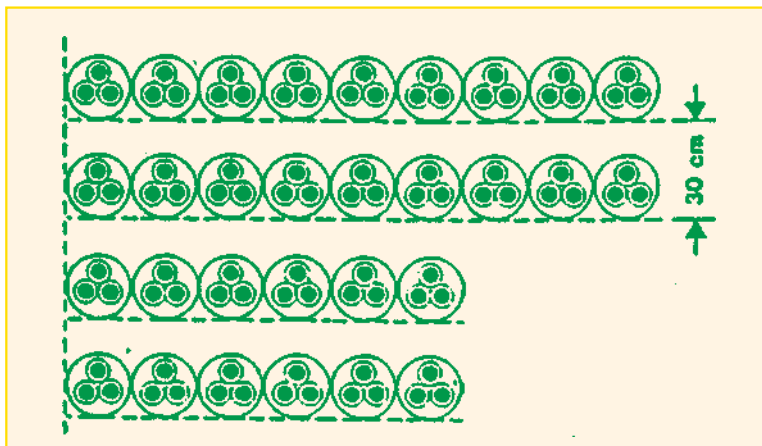
Distância da parede superior a 2 cm



FACTORES DE CORRECÇÃO

NÚMERO DE CABOS OU TERNOS			
1	2	3	6
1	0,93	0,90	0,87

Nota: Quando a separação entre os cabos for igual ou superior a "2d" não se aplica correcção.



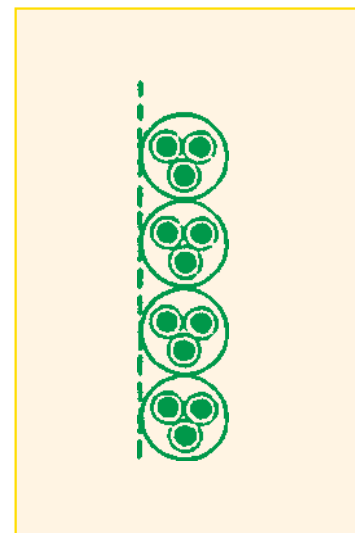
CABOS TRIPOLARES OU TERNOS DE CABOS EM CONTACTO ENTRE SI E COM A PAREDE, INSTALADOS EM ESTEIRAS CONTÍNUAS OU PERFURADAS (A CIRCULAÇÃO DE AR É RESTRINGIDA)

FACTORES DE CORRECÇÃO

NÚMERO DE ESTEIRAS	NÚMERO DE CABOS OU TERNOS		
	2	3	6
1	0,84	0,80	0,75
2	0,80	0,76	0,71
3	0,78	0,74	0,70
6	0,76	0,72	0,68

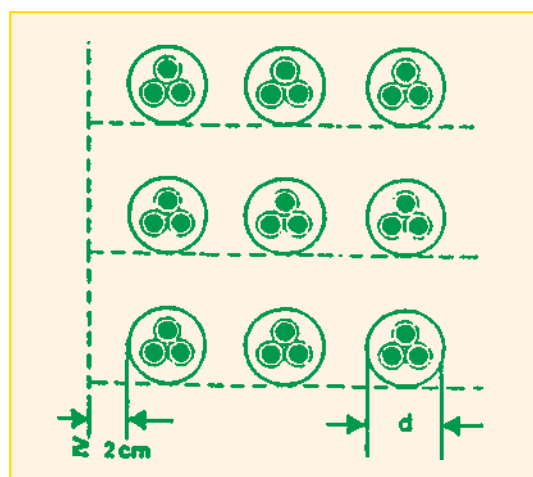


CABOS TRIPOLARES OU TERNOS DE CABOS EM CONTACTO ENTRE SI, APOIADOS EM ESTRUTURAS OU PAREDES



FACTORES DE CORRECÇÃO

NÚMERO DE CABOS OU TERNOS			
1	2	3	6
0,85	0,78	0,73	0,68



AGRUPAMENTO DE CABOS TRIPOLARES OU TERNOS DE CABOS, COM SEPARAÇÃO INFERIOR A UM DIÂMETRO DE CABO E SUPERIOR A UM QUARTO DO DIÂMETRO, INSTALADOS EM ESTEIRAS PERFURADAS (PERMITINDO CIRCULAÇÃO LIVRE DO AR ENTRE OS CABOS)

FACTORES DE CORRECÇÃO

NÚMERO DE AGRUPAMENTOS COLOCADOS VERTICALMENTE	NÚMERO DE CABOS OU TERNOS			
	1	2	4	>3
1	1,00	0,93	0,87	0,83
2	0,89	0,83	0,79	0,75
3	0,80	0,76	0,72	0,69
mais de 3	0,75	0,70	0,66	0,64

CABOS EXPOSTOS DIRECTAMENTE AO SOL

O coeficiente de correcção a aplicar para cabos expostos ao sol é muito variável. Recomenda-se o valor de 0,90.

8.4 CABOS ENTERRADOS

FACTORES DE CORRECÇÃO

CABOS ENTERRADOS A TEMPERATURA DIFERENTE DE 25 °C

Coeficiente de correcção para temperatura ambiente diferente de 25 °C

TEMPERATURA	10	15	20	25	30	35	40	45	50
CABOS ISOLADOS A PVC	1,15	1,10	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,66
CABOS ISOLADOS A PEX OU EPR	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78

CABOS ENTERRADOS DIRECTAMENTE OU EM ESTRUTURAS ENTERRADAS EM TERRENOS COM RESISTIVIDADE TÉRMICA DIFERENTE DE 100 K.cm/W

RESISTIVIDADE TÉRMICA DO TERRENO (K.cm/W)	80	100	120	150	200	250	
COEFICIENTE DE CORRECÇÃO	MONOPOLARES	1,09	1	0,93	0,85	0,75	0,68
	TRIPOLARES	1,07	1	0,94	0,87	0,78	0,71

CABOS TRIPOLARES OU TERNOS DE CABOS AGRUPADOS SOB TERRA

FACTORES DE CORRECÇÃO

DISPOSIÇÃO DOS CABOS	2	3	4	5	6	8	10	12
COM SEPARAÇÃO DE CERCA DE 7 cm	0,85	0,75	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50
EN CONTACTO	0,80	0,70	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50	0,47



CABOS ENTERRADOS EM VALA A DIFERENTES PROFUNDIDADES

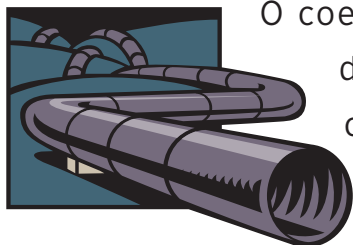
Para um cabo tripolar ou um terno de cabos enterrados directamente, a intensidade admissível será afectada por um coeficiente de correcção em função da profundidade da instalação. Na Tabela seguinte indicam-se os coeficientes a aplicar com base numa profundidade tipo de 70 ou 100 cm. Recomenda-se a instalação de um cabo mono ou tripolar por tubo. A relação entre o diâmetro do tubo e do cabo deve ser superior a 2. Quando for necessário instalar um terno por tubo a relação a considerar será entre o diâmetro do tubo e o diâmetro aparente do terno, a qual deverá ser superior a 2.

PROFUNDIDADE DE INSTALAÇÃO (cm)	40	50	60	70	80	90	100	120
Coeficiente de correcção	1,03	1,02	1,01	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95
	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00	0,98

CABOS ENTERRADOS EM VALA, NO INTERIOR DE TUBOS OU SIMILARES, EM CURTA DISTÂNCIA

Entende-se por curta distância instalações entubadas até 15 m (p. ex.: atravessamento de vias). Neste caso não é necessário aplicar coeficientes de correcção.

CABOS ENTERRADOS EM TUBOS OU SIMILARES, COM DISTÂNCIAS GRANDES



O coeficiente de correcção que se deve aplicar nestes casos depende do modo de agrupamento dos cabos e varia para cada cabo conforme está instalado num tubo central ou na periferia. Assim, cada caso deve ser objecto de análise individual. Mantêm-se as recomendações acima feitas quanto a relações entre diâmetros de cabos ou conjunto de cabos e dos tubos. Na generalidade considera-se um factor correctivo de 0,8 no caso de um cabo tripolar ou de um terno de cabos no interior de um mesmo tubo. Se se trata de uma ligação com três cabos monopolares em tubos separados, pode aplicar-se um factor de 0,9.

8.5 CURTOS-CIRCUITOS

GENERALIDADES

As redes eléctricas devem ser capazes de suportar sem danos permanentes não só as correntes de operação normal como também as correntes de alta intensidade associadas a situações de defeito (curto-circuito) na própria rede ou nos sistemas receptores a ela ligados. Estas correntes são de curta duração (no máximo alguns segundos) e desaparecem por actuação dos dispositivos de protecção que devem existir para esse fim, mas os seus efeitos térmicos são significativos devido ao efeito da intensidade elevada e ao facto de o efeito de Joule estar ligado ao quadrado do valor respectivo. Nas redes trifásicas os curtos-circuitos podem ser de vários tipos, conforme os condutores que entram em contacto accidental. Na maioria dos pontos de um sistema eléctrico o caso mais desfavorável é o curto-circuito trifásico franco, no sentido de desenvolver maiores intensidades de corrente.

Só muito próximo de geradores ou de transformadores com o neutro ligado à terra pode o defeito mono- ou bifásico ter uma intensidade superior ao trifásico. O caso deste último é também mais fácil de calcular, já que corresponde a um estado simétrico da rede, enquanto os outros exigem métodos de cálculo mais elaborados (método das componentes simétricas, método das componentes de Clarke, etc.).

O cálculo da corrente de curto-circuito não é em geral conteúdo de catálogo, mas de qualquer modo indica-se o processo de cálculo para o tipo tripolar.

CURTO-CIRCUITO TRIPOLAR

A corrente de curto-circuito é necessária para determinar as solicitações térmicas e mecânicas a que vão estar submetidas as instalações e portanto os cabos. Para determinar as solicitações térmicas deve ter-se em conta o tempo de solicitação e o desenvolvimento da corrente da forma mais completa possível. A corrente vai depender, no seu estabelecimento, da corrente de curto-circuito permanente no ponto do circuito em questão, das reactâncias sub-transitória, transitória e síncrona, e do momento em que se estabelece.



Necessitamos conhecer a corrente eficaz equivalente do fenómeno:

$$I^2 = \frac{\int_0^t i^2 dt}{t}$$

Para valores de t de cerca de 1,5 s basta considerar a corrente de curto-circuito permanente. A corrente permanente simétrica de curto-circuito tripolar, em valor eficaz, pode ser calculada pela fórmula:

$$I_{cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3}U}$$

P_{cc} = Potência permanente de curto-circuito.

U = Tensão nominal entre fases.

Esta fórmula está traduzida no gráfico 1 para o campo de aplicação normal dos cabos mais usuais.

As solicitações dinâmicas são proporcionais ao quadrado do impulso de corrente de curto-circuito (valor de crista): este valor depende das reactâncias referidas e do momento do curto-circuito, sendo para os casos mais severos dado por $1,8\sqrt{2} I_{cc}$. As solicitações dinâmicas submetem os cabos e terminais a esforços mecânicos. Em cabos tripolares estes esforços são absorvidos com maior facilidade pelo efeito da cableagem, da bainha e das armaduras, mas os cabos monopolares devem ser fixados adequadamente ao longo do traçado.

GRÁFICO 1

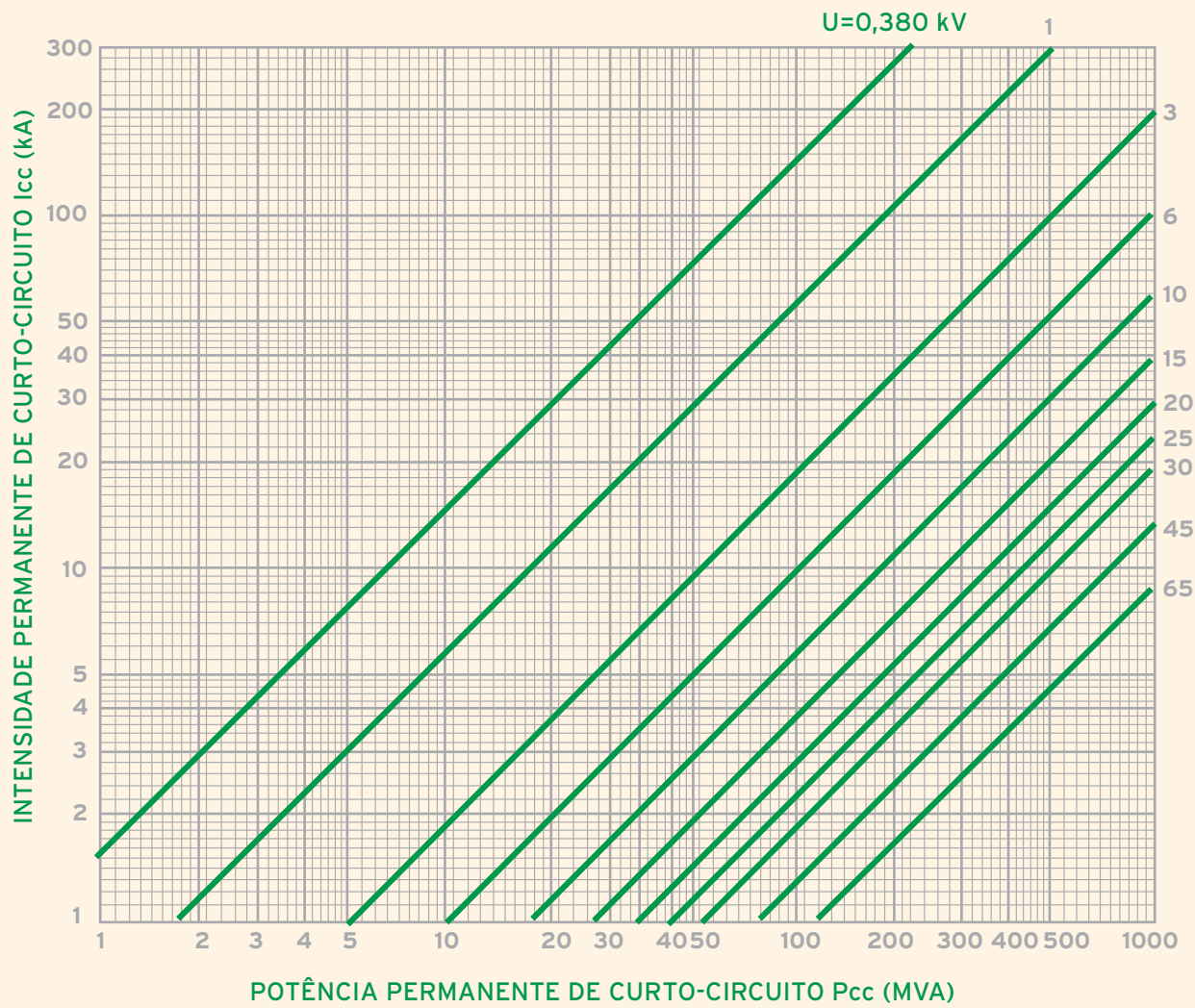




GRÁFICO 2

INTENSIDADE DE CURTO-CIRCUITO ADMISSÍVEL NOS CONDUTORES DE CABOS ISOLADOS A PEX OU EPR (CONDUTORES DE COBRE)

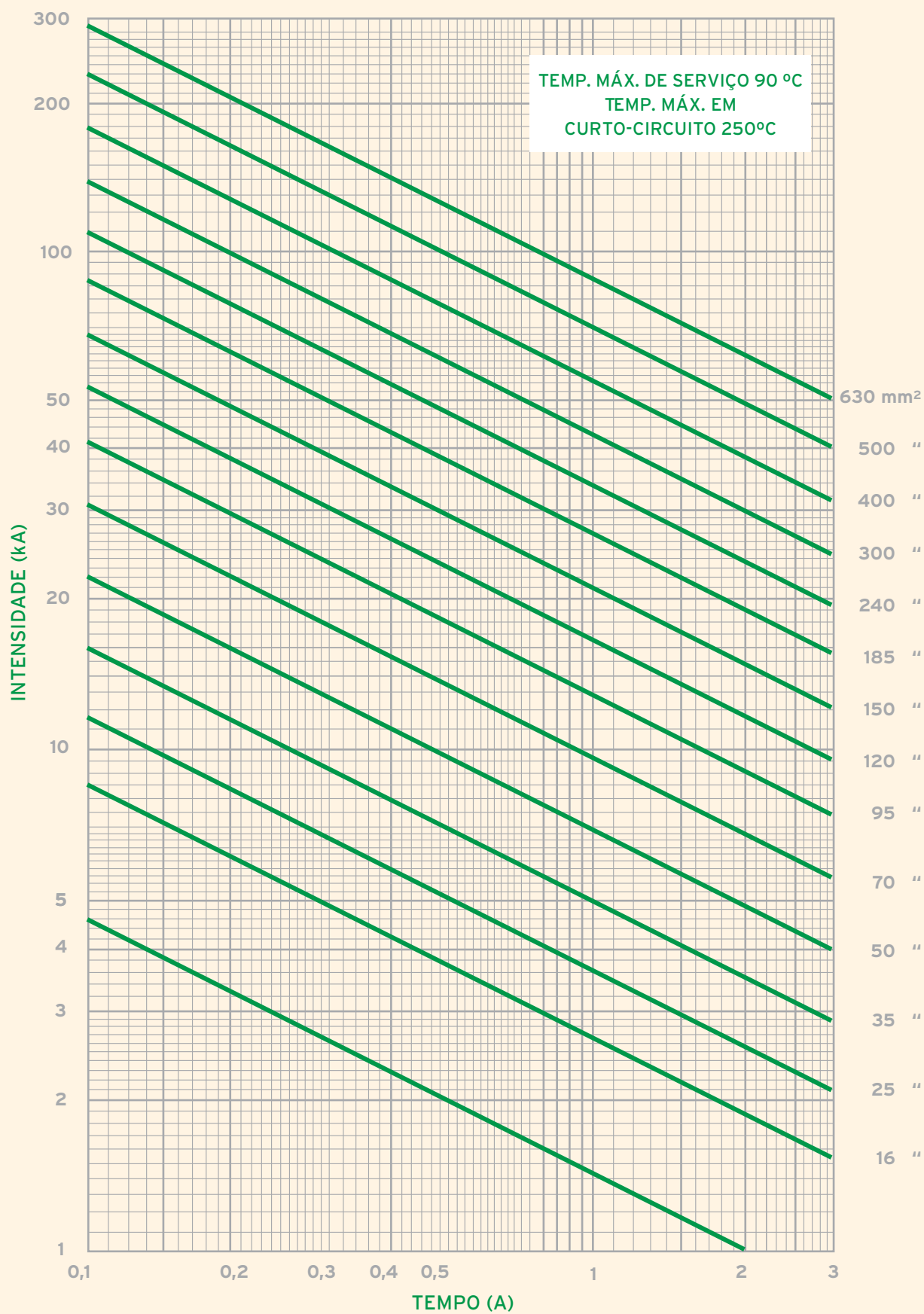
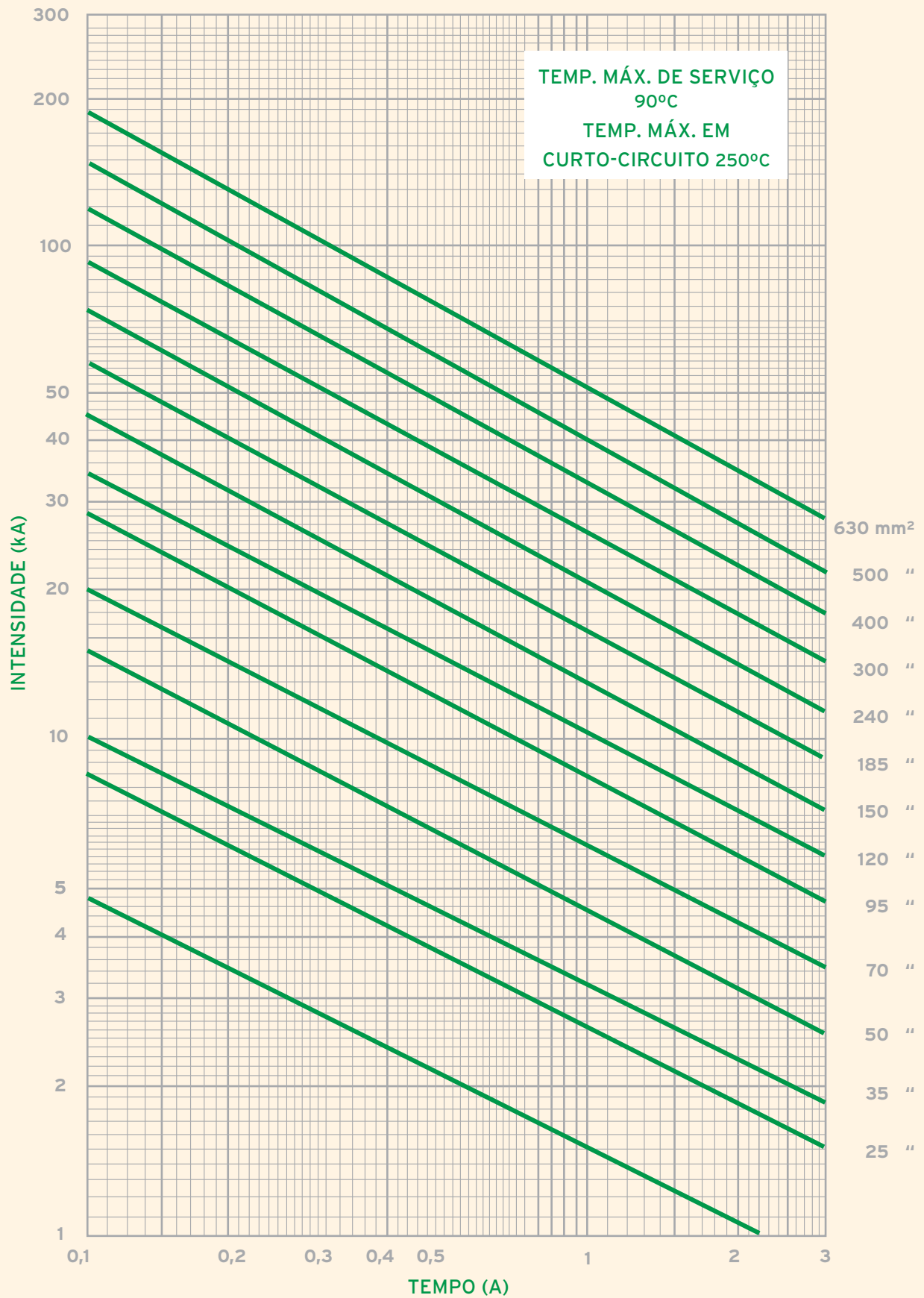


GRÁFICO 3

INTENSIDADE DE CURTO-CIRCUITO ADMISSÍVEL NOS CONDUTORES DE CABOS ISOLADOS A PEX OU EPR (CONDUTORES DE ALUMÍNIO)





CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO NO CONDUTOR

Nos gráficos 2 e 3 expressam-se as intensidades de curto-circuito admissíveis para cabos isolados a EPR ou PEX, com condutores de Cobre ou Alumínio, em função da duração do curto-circuito, em segundos, e da secção nominal do condutor. Estas intensidades foram calculadas supondo:

1. Fenómeno de duração limitada
2. A temperatura antes do curto-circuito é a máxima admissível em regime permanente para este tipo de isolamentos
3. A temperatura final do curto-circuito é a máxima admissível para estes materiais nesse regime
4. Todo o calor libertado acumula-se na massa do condutor aumentando a sua temperatura e por conseguinte o que se liberta para o exterior é nulo (processo adiabático). Nestas condições pode aplicar-se a fórmula:

$$I_{cc} = S \frac{C}{\sqrt{t}}$$

I_{cc} = Corrente de curto-circuito admissível (A)

S = Secção do condutor (mm²)

t = Tempo de duração do curto-circuito (s)

C = Coeficiente que depende da natureza do condutor e das temperaturas inicial e final do curto-circuito:

CONDUTOR	VALORES DE C
	ISOLAMENTO
	PEX OU EPR
Cu	141,8
Al	92,8



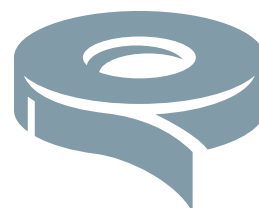
9

DIELÉCTRICOS

9.1 DIELÉCTRICOS

9.1.1 O QUE SÃO OS DIELÉCTRICOS?

Os dielétricos são materiais, geralmente não metálicos, com uma alta resistividade, pelo que a passagem de corrente através deles é muito fraca (corrente de passagem ou de fuga).



Aproveitando esta característica, usam-se como isolantes para bloquear os electrões ou delimitar o caminho que podem tomar.

9.1.2 RIGIDEZ DIELÉCTRICA

É o máximo gradiente de potencial que pode suportar um material antes de produzir a sua destruição por disrupção; expressa-se em kV/mm. O seu valor é fortemente influenciado pelas condições de ensaio - mesmo supondo que se consegue um campo perfeitamente uniforme e se estabilizam as propriedades do material eliminando impurezas e efeito da humidade, também se nota a influência do tempo de ensaio. O mecanismo de degradação com tempos de ensaio longos é um fenómeno térmico (aquecimento por perdas dielétricas e correntes de carga), enquanto que para tempos curtos estes fenómenos não influem e estamos perante fenómenos ligados às forças eléctricas presentes.

Em geral a rigidez dielétrica diminui ao aumentar o tempo de ensaio segundo uma lei do tipo hiperbólico.





9.1.3 CONSTATNE DIELECTRICA

É a relação entre a carga de um condensador com dielétrico do material considerado e a do mesmo condensador se o dielétrico fosse o vazio.

O fenómeno que se mede corresponde à polarização das partículas que compõem a estrutura do dielétrico. Quanto maior for a separação entre as cargas e o seu valor na molécula maior será a influência que exercem sobre o campo eléctrico e a constante dielétrica.

A energia acumulada num condensador é dada por:

$$W = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} C_0 \epsilon V^2$$

donde: $\epsilon = \frac{C}{C_0}$



C = capacidade

C₀ = capacidade sendo o dielétrico o vazio

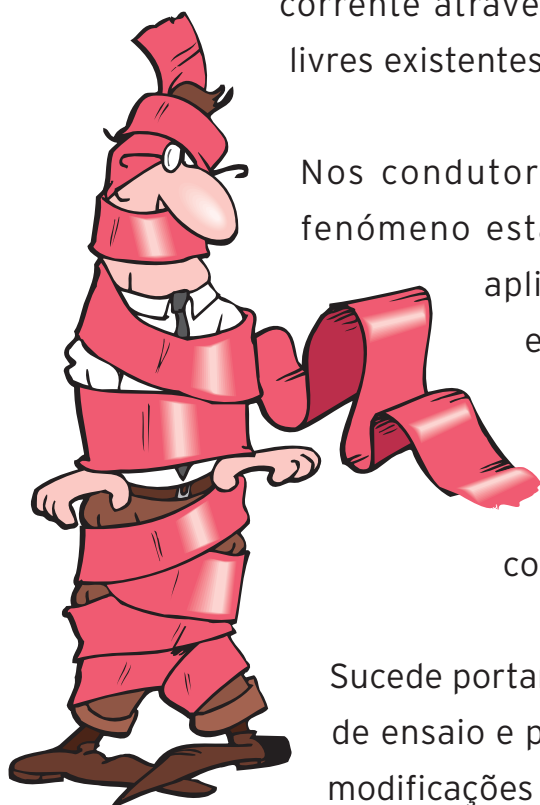
ε = constante dielétrica relativa

9.2 CONSTANTES DIELÉCTRICAS DE VÁRIAS SUBSTÂNCIAS

SUBSTÂNCIA	CONDIÇÕES	CONSTANTE DIELÉCTRICA
AR	GÁS, 0° C, 1 ATM	1,00059
ÁGUA	LÍQUIDO, 20° C	80
ÓLEO DE TRANSFORMADOR	LÍQUIDO, 20° C	2,24
QUARTZO	CRISTAL, 20° C	4,27 - 4,34
POLIETILENO	SÓLIDO, 20° C	2,25 - 2,3
NEOPRENO	SÓLIDO, 20° C	4,1
PVC	SÓLIDO, 20° C	6 - 8
EPR	SÓLIDO, 20° C	3
PEX	SÓLIDO, 20° C	2,5 - 3

9.2.1 RESISTIVIDADE (ISOLANTES)

Quando se submete um dielétrico a uma tensão contínua, a passagem da corrente através dele estabelece-se por meio das poucas cargas livres existentes.



Nos condutores com grande quantidade de cargas livres, o fenómeno estabiliza a valores de resistência (relação tensão aplicada / intensidade de corrente) que variam pouco em intervalos bastante grandes; não sucede o mesmo nos dielétricos, onde a temperatura e as impurezas podem alterar significativamente as cargas livres disponíveis e por consequência a corrente resultante.

Sucede portanto que a resistividade varia muito com as condições de ensaio e podem ocorrer variações importantes por pequenas modificações da composição do material. Em geral, a resistividade



diminui com o aumento da temperatura e com a humidade (nos óleos).

A resistividade medida com corrente alterna é superior à obtida com corrente contínua, por intervirem outros processos de transferência de cargas.



9.2.2 RESISTÊNCIA SUPERFICIAL

Em muitas ocasiões pode passar corrente pela superfície do dieléctrico em lugar de fazê-lo através da massa. Trata-se de um fenómeno diferente da resistividade própria do dieléctrico, e que se mede pela resistência superficial.

Este valor depende da qualidade da superfície e da presença de pó, humidade, etc.. Este fenómeno não é muito importante nos cabos, mas pode ter importância junto aos terminais. É fundamental tê-lo em conta na concepção de isoladores.

9.2.3 ABSORÇÃO ELÉCTRICA

Quando se aplica uma tensão a um dieléctrico, para além dos fenómenos de polarização dá-se uma absorção de carga eléctrica que dura um certo tempo e cessa

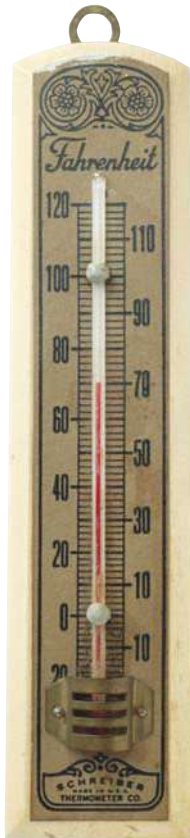
mesmo que se mantenha a tensão. Se se deixar de aplicar tensão e curto-circuitarmos os eléctrodos o dieléctrico perde a carga.

Este fenómeno deve ser tido em conta quando medimos resistências, já que pode afectar os resultados.



9.2.4 PERDAS NO DIELECTRICO

Se aplicarmos uma tensão alternada a um dielétrico ocorrem os seguintes fenômenos:



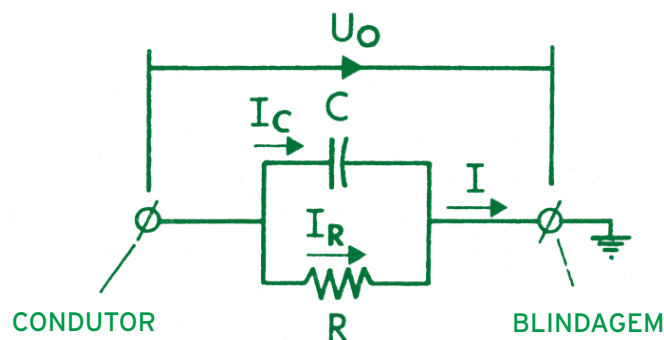
A) Circulará uma corrente de acordo com a lei de Ohm. O valor da intensidade dependerá da resistividade do isolante nas condições de operação e a sua passagem produzirá um aquecimento por efeito de Joule.

B) Haverá uma corrente de polarização, deslocada de $\pi/2$ radianos no plano de Gauss em relação à tensão aplicada. A intensidade da corrente dependerá da constante dielétrica do material (que influencia a capacidade do condensador que se forma). Não produz efeitos caloríficos.

C) As partículas polares vibrarão seguindo a excitação a que estão submetidas. Este fenômeno produz um efeito térmico no material que traduz o processo energético no seu interior. Este efeito não pode ser separado do referido em a), mas só se manifesta com aplicação de uma tensão alternada.

ÂNGULO DE PERDAS

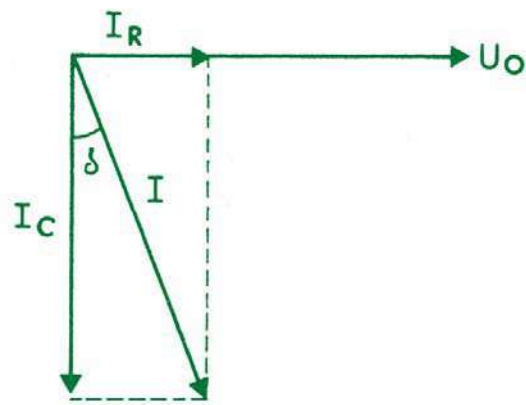
Dado que um cabo não é um condensador ideal, existe uma corrente de fuga I_R no dielétrico em fase com a tensão U_0



ESQUEMA EQUIVALENTE



DIAGRAMA VECTORIAL



A corrente real I no dielétrico forma um ângulo δ (de perdas) com a corrente reactiva I_c desfasada 90° da tensão U , correspondente a um condensador ideal sem perdas. É expresso por:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_R}{I_c}$$

O ângulo de perdas depende da temperatura, do material e da frequência. A Figura 1 mostra a variação de $\operatorname{tg} \delta$ com a temperatura para diferentes tipos de isolamento.

Condutância de isolamento (Perditância)

Define-se a condutância G como o inverso da resistência de perdas do isolamento.

$$G = \frac{I_R}{U_0} = \frac{I_c \operatorname{tg} \delta}{U_0} = \frac{\omega C U_0 \operatorname{tg} \delta}{U_0} = \omega C \operatorname{tg} \delta = \omega \epsilon C_0 \operatorname{tg} \delta \quad \text{Siemens/km}$$

$\omega = 2\pi f$ = Vel. angular

ϵ = Constante dielétrica relativa

C_0 = Capacidade se o dielétrico for o vazio

$\operatorname{tg} \delta$ = Ângulo de perdas

O produto " $\epsilon \cdot \operatorname{tg} \delta$ " é designado por factor de perdas.

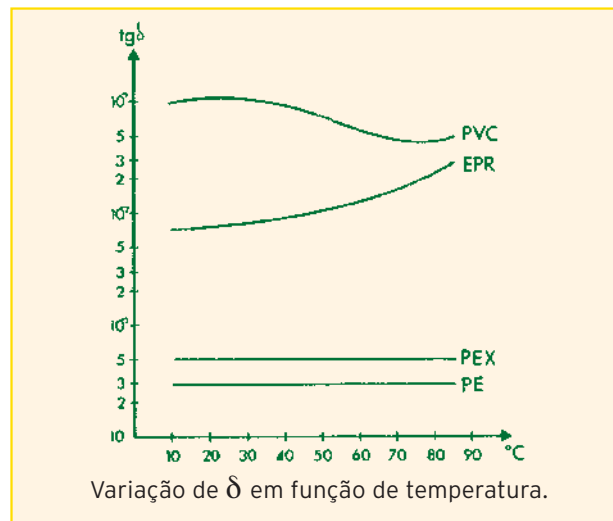
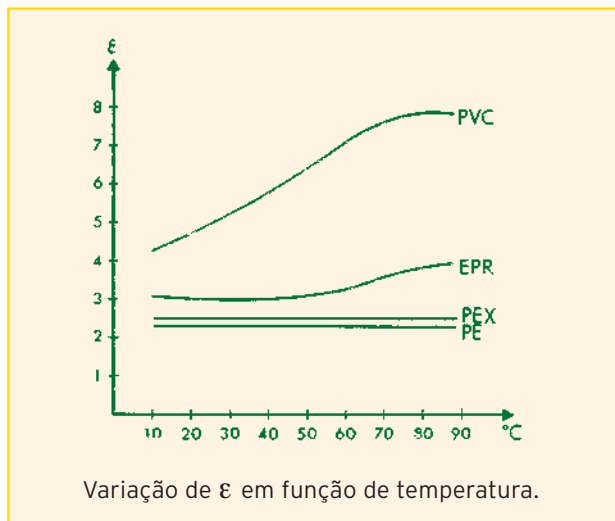


FIGURA 1

As perdas dielétricas por fase num sistema trifásico são dadas pela fórmula:

$$W_d = \omega C U_0^2 \operatorname{tg} \delta \cdot 10^{-6} = G \cdot U_0^2 \cdot 10^{-6} \text{ W/km}$$

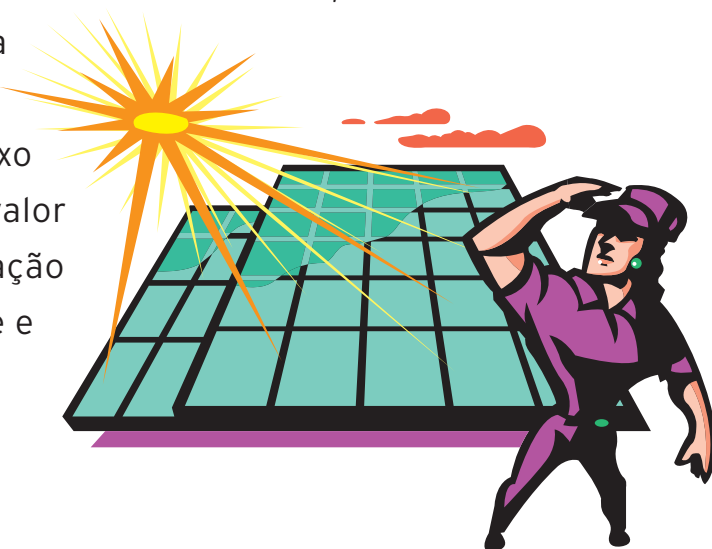
U_0 = tensão simples (V)

C = capacidade ($\mu\text{F/km}$)

Verifica-se que as perdas dielétricas são proporcionais à perditância e ao quadrado da tensão simples. Nos cabos de baixa tensão estas perdas são praticamente desprezáveis mas adquirem importância para tensões mais elevadas.

9.2.5 FACTOR DE PERDAS

Nos cabos, para dar um indicador da qualidade do isolamento, é habitual medir o valor da tangente $\operatorname{tg} \delta$. Este valor dá a relação entre a corrente resistiva e a corrente capacitiva e deve ser o mais baixo e constante possível. Um aumento do valor de $\operatorname{tg} \delta$ indica possibilidade de deterioração do dielétrico por passagem de corrente e consequentes efeitos térmicos no seu seio.





9.2.6 EFEITO DE CORONA

Se o campo eléctrico num ponto ultrapassa o valor da tensão disruptiva do material, produzir-se-á uma ionização com criação de cargas livres por destruição de moléculas electricamente equilibradas.

Pode suceder que o valor do campo eléctrico só seja suficiente em certos pontos, por concentração do campo devido a um defeito de concepção ou pela presença de inclusões ou vacúolos com um diferente valor de ϵ (p. ex., inclusões de ar). Nesse caso a ionização fica limitada no espaço e a descarga é designada descarga parcial.

Existem dieléctricos que resistem bem a níveis elevados de descargas parciais mas outros degradam-se por decomposição mesmo com níveis de descargas baixos (muitos dos isolamentos de cabos secos de MT e AT são sensíveis a estes fenómenos).



9.2.7 RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

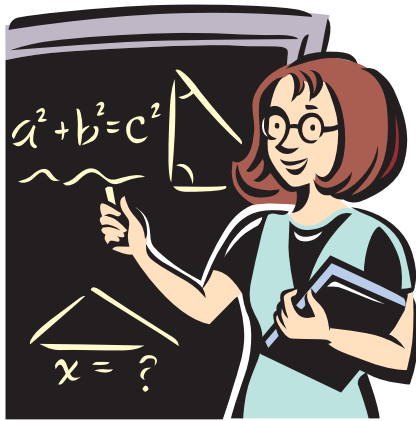
A resistência de isolamento dos cabos mede-se normalmente em $M\Omega \cdot km$. Para um mesmo valor de resistividade do dieléctrico a resistência de isolamento é tanto maior quanto maior for a espessura do isolante e menor o diâmetro do condutor.

O valor da resistência de isolamento para cabos monocondutores (secção circular) é:

$$R = 0,367 \frac{\rho}{l} \log \frac{d_2}{d_1}$$

em que:

- ρ = Resistividade volúmica
- d_1 = Diâmetro do condutor
- d_2 = Diâmetro sobre isolamento (expresso nas mesmas unidades que d_1)
- l = Comprimento do cabo



A definição de Ki (Constante de Isolamento) pode ser a resistência de isolamento em $M\Omega$ de um cabo modelo com 1 km de comprimento e uma relação de diâmetros de 10 ($d_2/d_1 = 10$). O valor de Ki depende apenas do material isolante.

$$K_i = 0,367 \cdot \varnothing \cdot 10^{-5} \quad M\Omega.km$$

Assim, pode comparar-se a resistência de isolamento de cabos diferentes calculando os Ki dos mesmos

$$K_i = \frac{R \cdot l}{\log \frac{d_2}{d_1}}$$

em que R é a resistência de isolamento do cabo ($M\Omega$).

Em consequência se conhecermos o valor de Ki a 20 °C para os isolantes poliméricos mais usuais e aplicando a fórmula anterior podemos prever facilmente a resistência de isolamento em $M \Omega.km$.

Tipo de isolante	Valor de Ki a 20°C
PVC	36,7
EPR	3.670
PEX	3.670
PE	50.000
Si (Borr. Silicone)	1.500



9.2.8 CAPACIDADE

A capacidade de um cabo depende das dimensões do cabo e da constante dieléctrica relativa do isolamento.

Nos cabos de campo radial a capacidade pode ser calculada considerando o cabo como um condensador cilíndrico.

$$C = \frac{0,0241 \epsilon}{\log \frac{D}{d}} \mu\text{F/ km}$$

ϵ = constante dieléctrica relativa

D = diâmetro sobre isolamento

d = diâmetro do condutor, incluindo a camada semi-condutora se existir

9.2.9 QUEDAS DE TENSÃO

Nas ligações eléctricas, a existência de resistência e reactância origina uma diferença entre as tensões nos extremos do troço considerado, a qual se designa por queda de tensão. O seu valor numérico depende da natureza e intensidade da corrente que atravessa o troço, do comprimento, e das dimensões e disposição dos condutores.

Em ligações de cabos isolados não se toma em consideração, excepto para comprimentos muito longos, a influência da capacidade entre condutores ou à terra, o que não significa que seja desprezável em todas as situações.

Também se ignora a condutância do isolamento (Perditância). Podemos assimilar a linha a um circuito equivalente (Figura 2), em que R é a resistência da linha, X_L a sua reactância (indutiva) e se admite que metade da capacidade está concentrada nos extremos.

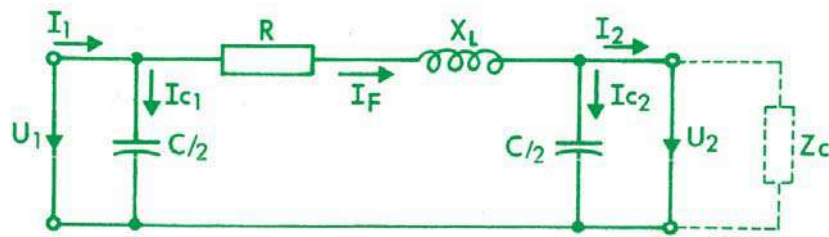


FIGURA 2

O diagrama vectorial equivalente de tensões e correntes é o da Figura 3, ou mais simplesmente o da Figura 4 dado que na prática I_{c1} e I_{c2} são bastante inferiores a I_1 e I_2

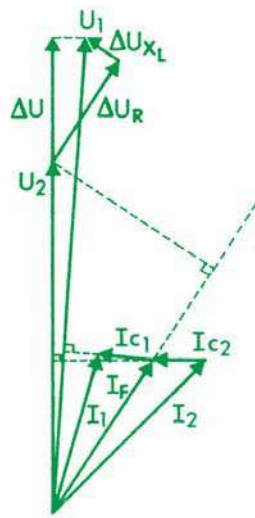


FIGURA 3

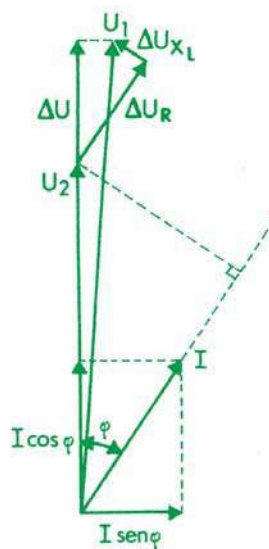


FIGURA 4

Na prática a queda de tensão é calculada pelas fórmulas seguintes:

1) Corrente alterna trifásica:

$$\Delta U = \sqrt{3} I L (r \cos \varphi + x \sin \varphi) = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X_L \sin \varphi)$$

$$\Delta U = L \frac{rP + xQ}{U} = \frac{RP + X_L Q}{U}$$

$$\delta U = \frac{\sqrt{3} I L}{U} (r \cos \varphi + x \sin \varphi) = \frac{\sqrt{3} I}{U} (R \cos \varphi + X_L \sin \varphi)$$

$$\delta U = L \frac{rP + xQ}{U^2} = \frac{RP + X_L Q}{U^2}$$



- R = Resistência total do condutor
- r = Resistência por unidade de comprimento
- X_L = Reactância total (indutiva) de um condutor
- x = Reactância por unidade de comprimento
- L = Comprimento da ligação
- P = Potência activa
- Q = Potência reactiva
- ΔU = Queda de tensão entre fases
- δU = Queda percentual da tensão entre fases
- U = Tensão composta

Corrente alterna monofásica:

$$\Delta U = I(R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

$$\Delta U = \frac{RP + XQ}{U}$$

$$\delta U = \frac{I}{U}(R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

$$\delta U = \frac{RP + XQ}{U}$$

R, X = valores totais para os dois condutores

NOTA: Nos nossos catálogos técnicos incluímos as quedas de tensão em V / A.km com $\cos \varphi$ 0,8 e 1, para cada uma das secções em mm². A resistência do condutor R, em Ohm / km, está referida a 90 °C c.a..



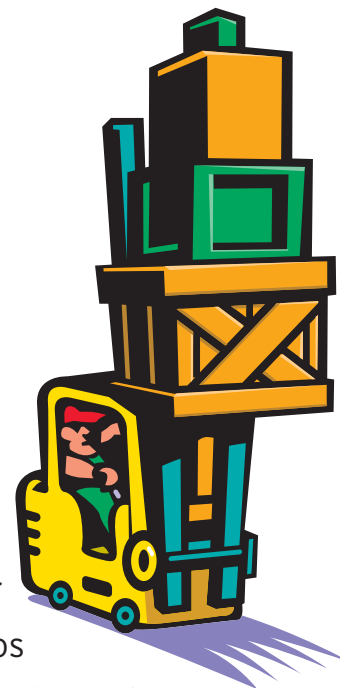
10

**RECOMENDAÇÕES
GERAIS DE MANUSEAMENTO,
LANÇAMENTO E INSTALAÇÃO
DE CABOS DE BAIXA
E MÉDIA TENSÃO
EM INSTALAÇÕES
FIXAS**

10.1 RECOMENDAÇÕES GERAIS DE MANUSEAMENTO, LANÇAMENTO E INSTALAÇÃO DE CABOS DE BAIXA E MÉDIA TENSÃO EM INSTALAÇÕES FIXAS

10.1.1 DESCARGA DE BOBINAS DE CAMIÕES

Será efectuada por suspensão (grua ou ponte rolante) ou com empilhador. Nunca se deve deixar cair as bobinas para o chão. As ripas de protecção não devem causar, por ruptura, lesões no cabo. Devem verificar-se eventuais danos no cabo causados como resultado de tratamento incorrecto da bobina no seu manuseamento durante ou após o transporte. Um defeito no cabo não detectado antes da instalação pode reduzir a vida útil do material.



10.1.2 ARMAZENAMENTO DE BOBINAS

O piso deverá ser duro, uniforme e com boa drenagem, caso esteja exposto à intempérie. As bobinas devem conservar as ripas de protecção até ao lançamento do cabo. Evitar rodar desnecessariamente as bobinas e, caso seja necessário fazê-lo, seguir o sentido do enrolamento original a fim de que não se folguem as espiras causando o arrastamento do cabo pelo chão. As pontas devem permanecer protegidas, tal como expedidas do nosso Armazém. Os cortes restantes em obra devem ser reenrolados, para armazenamento, em



bobinas com tambores iguais ou superiores aos do fornecimento inicial. Caso não se conheça o valor deste deve usar-se um tambor no mínimo igual a 20 vezes o diâmetro exterior do cabo.



10.1.3 PASSAGEM DE CABOS E TRANSPORTE DE BOBINAS

Ao retirar um dado comprimento de cabo de uma bobina, não se deve passar para um diâmetro inferior. A escolha da bobina deve atender ao espaço que fica livre para evitar que as espiras superiores contactem o solo ao rodar a bobina.

Um cabo para ser transferido ou retirado da bobina deve estar a uma temperatura mínima de 5 °C. Não sendo assim, deve manter-se várias horas a uma temperatura superior.

A transferência faz-se suspendendo a bobina pelo eixo, saindo o cabo pela parte inferior.



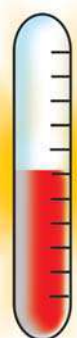
É importante

evitar puxões ou travagens bruscas para precaver, pelo menos nos cabos de pequena secção, estiramentos nos condutores que reduziriam a sua secção efectiva.

10.1.4 LOCAL PARA LANÇAMENTO DO CABO

A bobina será colocada de modo que o cabo não fique em esforço ao ser alinhado no trajecto e o cabo saia pela parte superior, assegurando uma melhor estabilidade.

10.1.5 LANÇAMENTO DO CABO



Se a bobina tiver estado à intempérie e sobretudo no Inverno, deverá garantir-se que a temperatura do cabo não seja inferior a 5 °C; caso contrário deverá deixar-se ultrapassar aquele valor antes de o manusear.

É muito importante usar rolos de alinhamento, os quais, consoante a dimensão do cabo, devem situar-se a distâncias entre 3 e 10 metros uns

dos outros. Nas mudanças de direcção utilizam-se rolos em ângulo e ao introduzir os cabos em tubagens, p. ex., também devem ser guiados por rolos adequados. Em geral os rolos devem rodar livremente, ter uma base estável e ser concebidos de modo que o cabo não saia da gola dos mesmos.

Também deve garantir-se o controlo da frenagem da bobina, que impeça a formação de laços e a folga de espiras, dado que pode ser grave o aparecimento de cocas e torções.

10.1.6 ESFORÇOS DE TIRAGEM

Para guiar a ponta do cabo, usa-se uma “manga” solidária com um cabo metálico. Não se aconselha, se o cabo for puxado à mão, concentrar o esforço só nessa ponta. Para repartir o esforço, é recomendável distribuí-lo ao longo da instalação com um número de pessoas adequado ao peso do cabo a ao número de rolos. Deve ter-se especial atenção tanto nos pontos de mudança de direcção como nas entradas das tubagens, que deverão ser protegidas com guias apropriadas.

Se o cabo tem uma armadura metálica de fios de Aço galvanizado, a aplicação do esforço será feita amarrando os fios da armadura. Nos casos em que ela não existe, o esforço máximo de tracção será limitado a 5 kg/mm² se o cabo tem condutores de Cobre e a 3 kg/mm² se tiver condutores de Alumínio. Para controlar esta operação deve utilizar-se um dinamómetro. De qualquer modo, o esforço deverá ser o mais uniforme possível, evitando puxões bruscos.

Ejemplo: Cabo 3 x 240 mm² Cobre = 3600 kg

Cabo 1 x 150 mm² Alumínio = 450 kg

Se o traçado tiver curvas, deverão prever-se rolos repartidos na curvatura, sendo a tensão máxima na curva definido por:

$$T \text{ max} = 450 \times R$$

Exemplo: Cabo 1 x 240 mm²

$$R = 2,66 \text{ metros}$$

$$T \text{ max} = 1200 \text{ kg}$$





10.1.7 VALAS E ATRAVESSAMENTO DE VIAS



A profundidade mínima é normalmente de 70 cm. O fundo deve ser cheio com terra crivada ou areia fina de rio, com uma altura de 10 cm. As paredes laterais serão estivadas se houver riscos de queda de pedras. Os cabos serão assentes no leito descrito mantendo pequenas ondulações esquerdas e direitas, que evitarão o estiramento do cabo se houver cedências do terreno. Sobre eles colocar-se-á uma camada de cerca de 15 cm de material crivado. Finalmente, a sinalização e protecção será feita segundo a Normas e indicações da Empresa eléctrica.

Nos atravessamentos de vias deverá usar-se um tubo para cada cabo, colocado horizontalmente e com um diâmetro superior a 2 vezes o do cabo. Deve evitar-se que os tubos tenham interiormente quaisquer elementos que possam danificar o cabo. Recomenda-se a instalação de tubos de reserva que devem permanecer tamponados até ser necessária a sua utilização.



10.1.8 LANÇAMENTO DE CABOS EM GALERIAS

Devem cumprir-se os seguintes requisitos:

- Respeitar os raios mínimos de curvatura.
- A galeria deve permitir uma dissipação eficiente das perdas térmicas.
- Evitar todos os efeitos prejudiciais por deslocamentos, resultantes das dilatações térmicas em regime normal ou dos esforços electrodinâmicos que aparecem durante um curto-circuito.
- Os meios de fixação dos cabos devem eliminar os riscos de cortes pelas arestas dos suportes, braçadeiras, etc., como consequência dos deslocamentos acima referidos.
- A distância máxima entre 2 pontos de fixação sucessivos será de 0,40 m para cabos não armados e não blindados e de 0,75 m para cabos que disponham de armadura metálica. Os cabos tripolares têm regras diferentes, não sendo normalmente necessário fixá-los.
- Fixar os cabos em ambos os lados das mudanças de direcção e na proximidade imediata da entrada nos equipamentos de ligação.
- As abraçadeiras empregadas com cabos monoplares serão não magnéticas
- As esteiras metálicas, preferivelmente perfuradas, terão uma largura suficiente para permitir a colocação dos cabos com ligeiras ondulações.
- A transição de galerias para valas será feita com tubagens com diâmetro interior superior a 2 vezes o diâmetro do cabo. Será instalado um único cabo por tubo, e o material destes será não magnético no caso de cabos monoplares.





- É desaconselhada a instalação de vários circuitos em camadas sobrepostas na mesma esteira - deve prever-se a separação dos diferentes circuitos de modo a limitar aquecimentos mútuos e a possibilidade de deslocações relativas entre eles, bem como a manipulação dos cabos.

- Na medida do possível não se devem colocar cabos com tensões diferentes na mesma esteira.

necessário utilizar-se-ão esteiras sobrepostas separadas no mínimo de 30 cm, permitindo um fácil acesso para manipulação dos cabos.



10.1.9 LANÇAMENTO DE CABOS EM TUBAGENS

- Embora se reduza a capacidade dos cabos ao instalá-los em tubagens, estas proporcionam a máxima protecção mecânica.

- Esta solução facilita posteriores intervenções na ligação.

- Em ligações longas empregam-se fixações todos os 30 a 40 m e em todos os pontos de mudança de direcção.

- É importante proteger as bocas de entrada durante o lançamento para evitar danos nos cabos.

- Recomenda-se a impregnação da superfície dos cabos com massas lubrificantes adequadas para facilitar o deslizamento.

- Se tivermos de introduzir vários cabos no mesmo tubo recomenda-se puxar o conjunto simultaneamente.

- O esforço máximo de tracção, se o cabo não tem armadura de fios, não deve ser superior a 5 kg / mm² se o condutor é de Cobre e a 3 kg / mm² se é de Alumínio.

10.1.10 INSTALAÇÃO DE CABOS

- A fiabilidade e a segurança de funcionamento de toda a instalação eléctrica depende da qualidade dos cabos, das precauções no seu lançamento e manuseamento e dos acessórios a instalar em obra, nomeadamente o cuidado no seu fabrico. Dada a existência de muitos tipos de acessórios, tanto para Baixa como para Média e Alta Tensão, recomenda-se seguir as instruções de montagem específicas facultadas pelo fabricantes dos mesmos.
- A ligação dos condutores deve garantir a sua continuidade em qualquer condição de serviço exigida ao cabo.
- As juntas e derivações devem assegurar a continuidade dos condutores, a reconstituição dos isolamentos e a manutenção dos restantes elementos do cabo (bainhas, blindagens, armaduras, etc.). O material de reconstituição da bainha apresentará no mínimo a mesma resistência aos agentes químicos presentes no terreno que o material da própria bainha.
- Os terminais e caixas terminais devem assegurar o contacto eléctrico, o isolamento das peças de contacto, a estanquidade das pontas dos cabos e a ligação à terra efectiva das blindagens e armaduras.





10.2 OUTRAS RECOMENDAÇÕES

IMPORTANTES

É necessário garantir que as condições de lançamento do cabo não provoquem desequilíbrios entre as impedâncias dos diferentes condutores ou fases em funcionamento normal, os quais podem originar aquecimentos anormais.

As instalações constituídas por vários cabos monopolares por fase formando ternos são uma solução válida para o transporte de altas intensidades, mas é conveniente usar cabos de grande secção para reduzir ao mínimo o número de ternos em paralelo.

Independentemente dos agrupamentos e coeficientes a aplicar por efeitos de dissipação térmica, deve realizar-se a instalação de ternos em paralelo com o máximo rigor para repartir de modo equilibrado a carga dos cabos em cada fase, o que se consegue razoavelmente quando:

- Todos os cabos têm a mesma secção.
- Todos os cabos têm o mesmo comprimento.
- O terno é formado pelas fases R, S e T e distribuído em trevo (formando idealmente um triângulo equilátero).
- O espaçamento entre ternos é no mínimo igual às dimensões de um terno.
- O aperto dos cabos nos terminais é igual para todos (utilização de ferramentas dinamométricas).
- Se tem em atenção que em circuitos curtos (menos de 40 m) os cabos deixam a sua configuração em terno para as ligações terminais, o que acentua os desequilíbrios indutivos.



No entanto, e mesmo tendo em conta estas recomendações, existe sempre a possibilidade de outras irregularidades imprevistas gerarem desequilíbrios indutivos que afectam as características de transporte da ligação. Por esse motivo é recomendado aplicar um coeficiente redutor de 0,9.

10.2.1 DISPOSIÇÃO DOS CABOS E LIGAÇÃO DE BLINDAGENS

VALAS COM CABOS DE TENSÕES DIFERENTES

Quando numa vala coexistem cabos de diferentes tensões devem ser dispostos em camadas horizontais a níveis distintos, de forma que em cada camada se agrupem os cabos da mesma tensão. A separação entre camadas de cabos de tensões diferentes não será inferior a 25 cm ficando os de tensão mais elevada na zona mais profunda.



A separação entre cabos multipolares ou entre ternos de cabos monopolares dentro da mesma camada será no mínimo de 20 cm. É aconselhável a utilização, como separadores entre os vários circuitos na mesma camada, de ladrilhos que evitem que possíveis avarias num circuito danifiquem os contíguos.

Uma vez instalados os cabos na sua posição definitiva, serão protegidos por uma camada de areia ou terra crivada com uma espessura de cerca de 20 cm.

Quando se prevê uma instalação subterrânea entubada, esta terá dimensões interiores que serão função do diâmetro do cabo ou do terno:

2D para cabos monopolares ou tripolares

4D para ternos de cabos monopolares



Por vezes, os tubos são preenchidos com misturas do tipo cimento fraco ou bentonite, com o que se melhora a dissipação de calor e se mantém o sistema inamovível em relação às dilatações devidas aos ciclos de carga. Outras vezes é preferível deixar o tubo vazio para facilitar o acesso posterior.

Nos traçados subterrâneos de cabos monopolares, sem tubos, os cabos podem ser dispostos em PARALELO (os três cabos no mesmo plano, separados entre si por uma distância equivalente ao diâmetro de um deles), ou em TRIÂNGULO (os três em contacto mútuo de modo que os seus centros configurem um triângulo equilátero). As vantagens e inconvenientes são os seguintes:

PLANO: Existe maior distância entre os condutores do que resulta melhor dissipação de calor, mas também é maior a indutância (portanto também é maior a queda de tensão); isto causa um desequilíbrio indutivo entre a fase central e as dos extremos.

TRIÂNGULO: Pior dissipação de calor por aquecimento mútuo dos cabos. A corrente induzida nas blindagens é menor e apresenta um bom equilíbrio indutivo ao anular-se entre si.

10.2.2 LIGAÇÃO DE CABOS EM PARALELO

Quando a potência a transportar é importante, pode recorrer-se à ligação em paralelo de vários cabos monopolares mantendo-se as seguintes precauções:



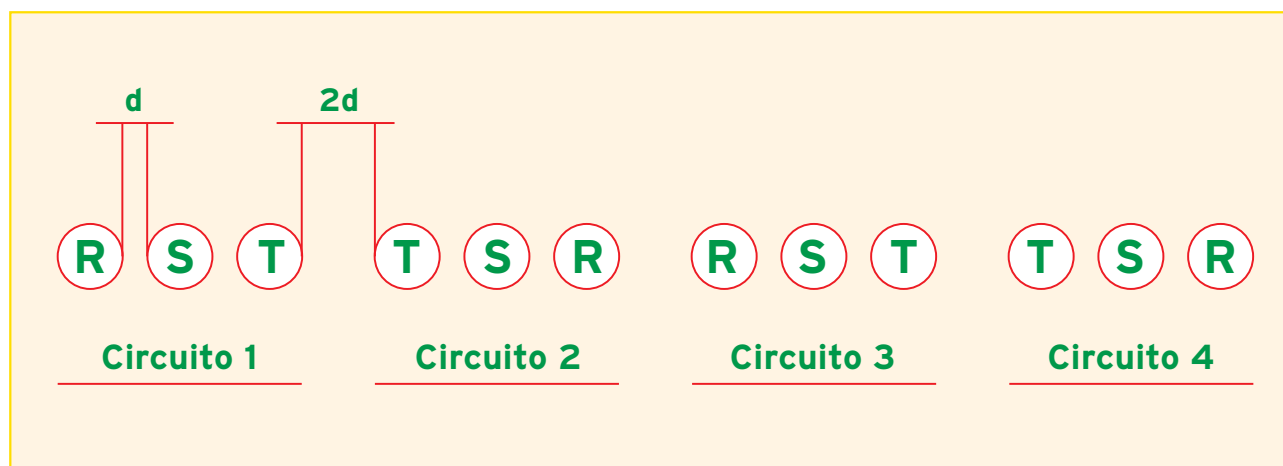
- Para se conseguir uma distribuição equilibrada de corrente, os cabos têm de ter a mesma secção e o mesmo comprimento, assim como manter a

disposição relativa dos condutores de fase. Não é fácil satisfazer estas condições, em particular nas ligações curtas onde é difícil alterar a posição relativa dos diferentes conectores e os cabos têm de ser cruzados entre si alternando a ordem e posição.

- Na utilização de cabos tripolares, pondo em paralelo os seus condutores, a dissipação de calor é difícil e reduz-se a intensidade de corrente admissível pelo que é desaconselhada. Se os cabos forem armados com materiais magnéticos (fitas ou fios de Aço) o problema é agravado por fenómenos indutivos.
- Garantida a igualdade de secção e comprimentos dos cabos, a distribuição de corrente entre eles depende da indução associada a cada cabo em paralelo da mesma fase - se se consegue igualar os efeitos indutivos a distribuição será uniforme.
- Se se utilizarem cabos tripolares, serão ligados de forma a que cada condutor corresponda a uma fase distinta. A cableagem dos condutores elimina os efeitos indutivos dos cabos adjacentes, o que permite obter uma distribuição de corrente totalmente uniforme.

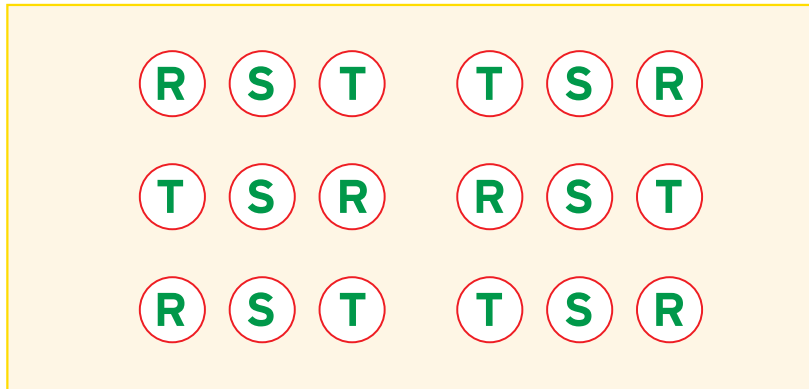
10.2.3 CIRCUITOS ADJACENTES COM CABOS MONOPOLARES

No caso de vários circuitos adjacentes de cabos monopolares em camada, a separação entre circuitos deve ser aproximadamente dupla da distância entre os cabos do mesmo circuito. A ordem das fases é também importante, recomendando-se a seguinte disposição:

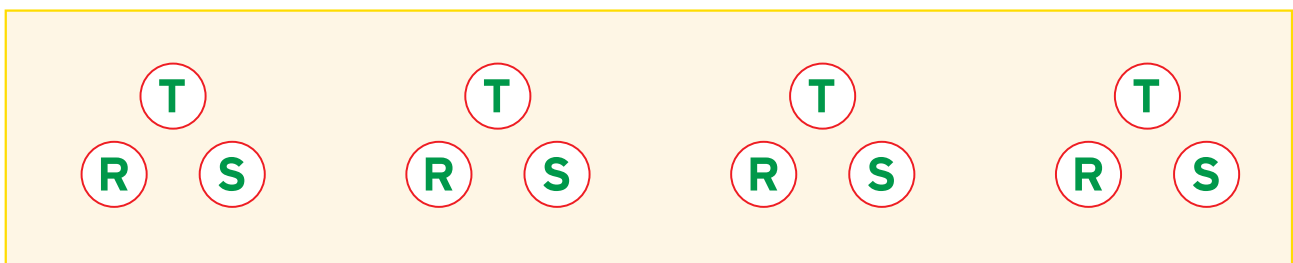




Se os cabos são instalados em esteiras, os condutores monopolares pertencentes à mesma fase não devem ficar juntos, mas em planos diferentes. Se a largura for suficiente podem instalar-se na mesma esteira dois sistemas com a ordem das fases permutadas. A disposição deveria ser:



com separação vertical entre esteiras de 30 cm. O coeficiente de indução dos cabos em paralelo é praticamente uniforme se adoptarmos esta sequência. No caso de um só sistema com disposição em triângulo, obtêm-se coeficientes iguais em todas as fases. Se existirem vários circuitos em triângulo, é aconselhável usar a seguinte disposição:



A disposição em triângulo de circuitos sobrepostos não é recomendada, dado que os coeficientes de indução dos cabos em paralelo diferem consideravelmente.



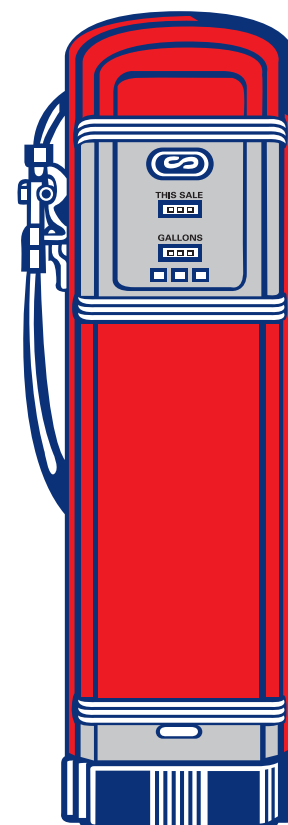
11

**CONDIÇÕES DE
INSTALAÇÃO
PARA FÁBRICAS E OUTROS
LOCAIS COM RISCO
DE EXPLOÇÃO
OU INFLAMAÇÃO**

11.1 CONDIÇÕES DE INSTALAÇÃO PARA FÁBRICAS E OUTROS LOCAIS POTENCIALMENTE EXPLOSIVOS OU INFLAMÁVEIS

Devem ser sempre minimizadas as instalações em locais com risco de explosão, procurando instalar o material eléctrico em locais com menor risco.

Os critérios de escolha de material eléctrico adequado às localizações perigosas terão em conta a classificação dos locais, a temperatura de ignição dos gases, vapores, pós ou fibras perigosas, assim como as influências externas e temperatura ambiente a que será submetido o material eléctrico.



11.2 LOCAIS COM RISCO DE INCÊNDIO OU EXPLOÇÃO

Os riscos deste tipo ocorrem em locais onde estão ou podem estar presentes no ar gases, vapores ou partículas líquidas e/ou sólidas em quantidade suficiente para originar misturas explosivas.

Entre as substâncias associadas a estes riscos incluem-se gases (Acetileno, Metano, Etano, Propano, Butano, Hidrogénio) e líquidos combustíveis (gasolinas, gasóleo, "fuel-oil", álcoois, éteres).

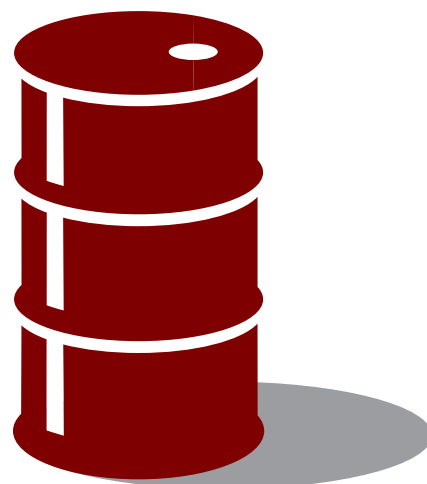
Outros riscos estão associados à presença de diversos tipos de poeiras, desde as metálicas (ex.: Alumínio ou Zinco) às de natureza orgânica (poeira de madeira), ou a explosivos (TNT, fulminatos, Nitrato de Amónio, etc.).





Com base nestes dados podemos considerar que, em princípio, se incluirão os seguintes locais:

- Aqueles onde se manuseiem líquidos inflamáveis (ex.: estações de serviço).
- Garagens e oficinas de reparação automóvel
- Cabinas de pintura
- Zonas próximas de oficinas de pintura que usem solventes inflamáveis
- Locais de extracção de gorduras com solventes inflamáveis
- Estações de bombagem e/ou compressão de líquidos inflamáveis, etc.



11.2.1 ESCOLHA DOS CABOS

Qualquer que seja o tipo de instalação deverão ser rigorosamente respeitadas as disposições regulamentares para este tipo de locais.

As instalações fixas podem ser feitas com cabos isolados com uma única camada (ex.: H07V-U, preferivelmente respeitando a IEC 60332-3) instalados dentro de tubos metálicos rígidos ou flexíveis, ou cabos que disponham de uma protecção mecânica, tais como cabos armados com fios ou fitas de Aço, eventualmente com bainha de Chumbo (usados em locais com presença frequente de hidrocarbonetos líquidos), e com bainhas exteriores extrudidas resistentes aos hidrocarbonetos.

Os cabos de alimentação de equipamentos móveis ou portáteis devem ser flexíveis, com ou sem armadura flexível, e com bainha exterior de Policloropreno (H07RN-F ou DN-K 0,6/1 kV). Se se instalam conjuntos de cabos em caleiras sem enchimento ou em condutas estreitas, estes devem ser do tipo resistente à propagação do incêndio (segundo a Norma IEC 60332-3). A intensidade admissível nos condutores deverá ser diminuída de 15% em relação ao valor correspondente a uma instalação convencional.

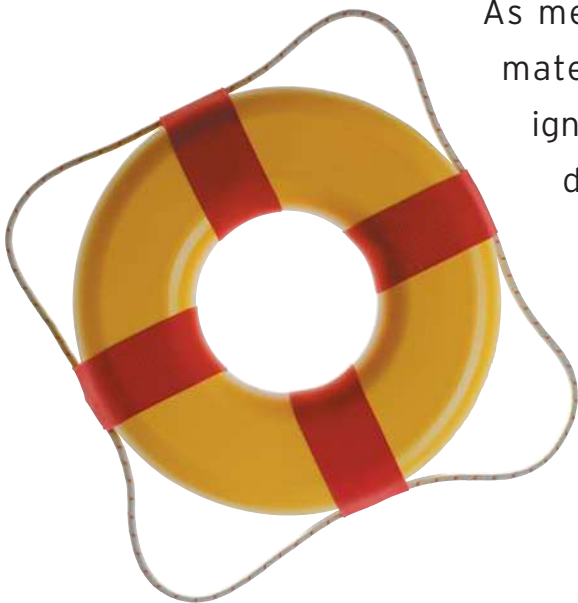
11.2.2 INSTALAÇÕES ANTIDFLAGRANTES

O material eléctrico com protecção anti-deflagrante é aquele em que foram respeitadas regras de concepção e construção para evitar que ele provoque a ignição da atmosfera circundante, para o que terá de ser capaz de suportar a explosão interior de uma mistura inflamável que tenha penetrado no equipamento sem sofrer avarias estruturais e sem transmitir a inflamação interna por qualquer ponto de contacto com o meio exterior. Podem incluir-se interruptores, seccionadores, fusíveis, resistências e, de um modo geral, todos os que podem produzir arcos, chispas ou temperaturas superficiais elevadas ou possam acumular electricidade estática.



Pode inferir-se que uma instalação de cabos anti-deflagrante será constituída por um conjunto de componentes deste tipo que conjuntamente com o cabo cumpra a sua função minimizando os riscos referidos.

11.2.3 MODOS DE PROTECÇÃO



As medidas tomadas na concepção e construção do material eléctrico para evitar que este provoque a ignição da atmosfera exterior são designadas modos de protecção.

Entre os modos de protecção confirmados por certificações independentes incluem-se a imersão em óleo, a sobrepressão interna, o enchimento com pós e os invólucros anti-deflagrantes.



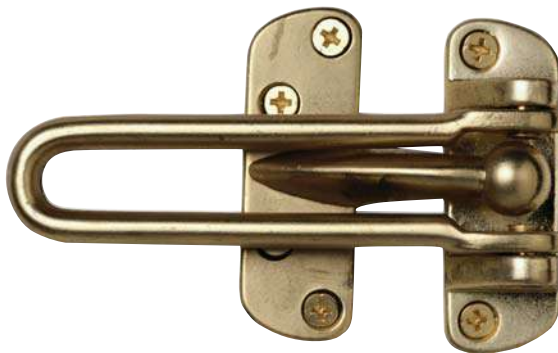
12

**POUPANÇA
DE ENERGIA**

12.1 POUPANÇA DE ENERGIA

Quando se pede ao responsável pela concepção de uma instalação eléctrica o critério de escolha da secção do cabo, é frequente obter respostas dos tipos “A que especifica o regulamento”, “A que suporta a carga”, “A que vem no catálogo”.

É evidente que não se está a considerar, talvez por falta de informação, que as intensidades máximas admissíveis que resultam dos documentos referidos supõem uma elevação da temperatura do condutor a 90 °C, se os isolamentos foram termoestáveis (PEX ou EPR), ou a 70 °C, se forem termoplásticos (PVC). Como consequência o cabo em serviço permanente irradiará energia térmica que o afectará negativamente, degradando e envelhecendo os seus componentes (isolamentos e bainhas) e portanto encurtando a vida útil do cabo. Por outro lado temos de considerar que se o cabo eléctrico é um elemento de transmissão de energia até ao ponto de consumo nas melhores condições de segurança e fiabilidade, não é menos importante notar que durante o trajecto se pague o mínimo tributo possível pela energia dissipada.



Este capítulo visa determinar um estudo básico ligado ao aquecimento dos cabos, que nos permita definir a secção económica dos condutores eléctricos em função da intensidade a transportar, das perdas em kW por aquecimento (efeito Joule) e a rentabilidade a curto prazo do investimento associado à escolha de uma secção superior.



12.2 LEI DE JOULE

“A PASSAGEM DE CORRENTE NO CONDUTOR ORIGINA UM CONSUMO DE ENERGIA SOB A FORMA DE CALOR”

É directamente proporcional às seguintes grandezas:

- À resistência eléctrica do condutor à temperatura de serviço (R_t)
- Ao quadrado da intensidade (I^2)
- Ao tempo (t)

CONSUMO DE ENERGIA (E) EM kWh POR METRO DE COMPRIMENTO DE CADA CONDUTOR

$$E = U \times I \times t = RI^2t \text{ Joules}$$

$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ Watt} \times 1 \text{ Segundo}$$

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ Segundos}$$

Exemplo prático:

DADOS BASE

Intensidade a transportar: 532 A

Comprimento da ligação: 300 m

Queda de tensão: Max. 5%

CÁLCULO DA SECÇÃO

OPÇÃO 1

3 (1x240) Cu → I Max 535 A → 90° C

Perdas W/m → 24,9/Fase TOTAL → 74,7 W/m (Terno)

74,7 W/m (Terno) x 300 m = 22,4 kW.h → TOTAL DA LIGAÇÃO

22,4 kW.h x 0,06 € /kW.h x 24 h = 32,3 €/d

OPÇÃO 1

3 (1X240) PERDAS POR EFEITO DE JOULE → 32,3€/dia

CÁLCULO DA SECÇÃO

OPÇÃO 2

3 (1x300) Cu → I Max 615 A → 90° C

Perdas W/m → 20/Fase TOTAL → 60 W/m (Terno)

60 W/m (Terno) x 300 m = 18 kW.h → TOTAL DA LIGAÇÃO

18 kW.h x 0,06 € /kW.h x 24 h = 25,9 €/d

VANTAGEM ECONÓMICA

32,3 - 25,9 → 6,4€/d

PREÇO DE MERCADO DO CABO

1x240 = 8,03€ → Total do terno = 900 x 8,03€ → 7.227€

1x300 = 10,70€ → Total do terno = 900 x 10,70€ → 9.650€

Diferença → 2.423€

RECUPERAÇÃO DO CUSTO ADICIONAL

2.423€ : 6,4€/d → 380 d (cerca de 1 ano)

Os valores do preço do kW.h e dos cabos são indicados apenas a título ilustrativo.



PERDAS EM W/m EM CABOS ELÉCTRICOS DE BAIXA TENSÃO (CONDUTORES DE COBRE)												
Secção (A)	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500
Intensidade (A)												
100	8,7	6,3	4,6	3,2	2,3	-	-	-	-	-	-	-
120	12,6	9,0	6,7	4,6	3,3	2,6	-	-	-	-	-	-
140	-	12,3	11,9	6,3	4,5	3,6	2,9	-	-	-	-	-
160	-	-	15,0	8,2	5,9	4,7	3,8	3,1	-	-	-	-
180	-	-	-	10,4	7,5	6,0	4,8	3,9	3,0	-	-	-
200	-	-	-	12,8	9,3	7,4	6,0	4,8	3,7	-	-	-
220	-	-	-	15,5	11,2	8,9	7,2	5,8	4,5	3,6	-	-
240	-	-	-	-	13,3	10,6	8,6	6,9	5,3	4,3	3,4	-
260	-	-	-	-	15,7	12,4	10,1	8,1	6,2	5,0	4,0	-
280	-	-	-	-	18,2	14,4	11,7	9,4	7,2	5,8	4,7	3,8
300	-	-	-	-	-	16,6	13,4	10,8	8,3	6,7	5,4	4,3
320	-	-	-	-	-	18,8	15,3	12,3	9,4	7,6	6,1	4,9
340	-	-	-	-	-	-	17,3	13,9	10,7	8,6	6,9	5,6
360	-	-	-	-	-	-	19,4	15,5	11,9	9,6	7,7	6,2
380	-	-	-	-	-	-	21,6	17,3	13,3	10,8	8,6	7,0
400	-	-	-	-	-	-	-	19,2	14,7	11,9	9,5	7,7
420	-	-	-	-	-	-	-	21,2	16,3	13,1	10,5	8,5
440	-	-	-	-	-	-	-	23,2	17,8	14,4	11,5	9,3
460	-	-	-	-	-	-	-	-	19,5	15,8	12,6	10,2
480	-	-	-	-	-	-	-	-	21,2	17,2	13,7	11,1
500	-	-	-	-	-	-	-	-	23,0	18,6	14,9	12,0
520	-	-	-	-	-	-	-	-	24,9	20,1	16,1	13,0
540	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,7	17,4	14,0
560	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,3	18,7	15,1
580	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,0	20,0	16,2
600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26,8	21,4	17,3
620	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,9	18,5
640	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24,4	19,7
660	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,9	21,0
680	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,5	22,3
700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29,2	23,6
720	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,9	25,0
740	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26,4
760	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,8
780	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29,3
800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,8
820	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32,4

NOTA: Os valores inferiores de cada coluna correspondem à temperatura de funcionamento do condutor de 90 °C.

PERDAS EM W/m EM CABOS ELÉTRICOS DE BAIXA TENSÃO (CONDUTORES DE ALUMÍNIO)												
Secção mm ²	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500
Intensidade (A)												
100	-	10,4	7,7	5,3	3,8	3,0	2,5	-	-	-	-	-
120	-	-	11,1	7,7	5,5	4,4	3,6	2,8	-	-	-	-
140	-	-	15,1	10,4	7,5	6,0	4,9	3,9	-	-	-	-
160	-	-	-	13,6	9,9	7,8	6,4	5,1	3,9	-	-	-
180	-	-	-	17,3	12,5	9,9	8,0	6,4	4,9	3,9	-	-
200	-	-	-	-	15,4	12,2	9,9	7,9	6,1	4,9	3,8	-
220	-	-	-	-	18,6	14,7	12,0	9,6	7,3	5,9	4,6	3,7
240	-	-	-	-	-	17,5	14,3	11,4	8,7	7,0	5,5	4,4
260	-	-	-	-	-	20,6	16,8	13,4	10,2	8,2	6,5	5,1
280	-	-	-	-	-	-	19,5	15,5	11,9	9,5	7,5	5,9
300	-	-	-	-	-	-	22,3	17,8	13,6	11,0	8,6	6,8
320	-	-	-	-	-	-	-	20,3	15,5	12,5	9,8	7,7
340	-	-	-	-	-	-	-	22,9	17,5	14,1	11,1	8,7
360	-	-	-	-	-	-	-	-	19,6	15,8	12,4	9,8
380	-	-	-	-	-	-	-	-	21,9	17,6	13,8	10,9
400	-	-	-	-	-	-	-	-	24,2	19,5	15,3	12,1
420	-	-	-	-	-	-	-	-	26,7	21,5	16,9	13,3
440	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,6	18,5	14,6
460	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,8	20,2	16,0
480	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,0	22,0	17,4
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,9	18,9
520	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,9	20,4
540	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,9	22,0
560	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,0	23,7
580	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,4
600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27,2
620	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29,0
640	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,9
660	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
680	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
720	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
740	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
760	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
780	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
820	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

NOTA: Os valores inferiores de cada coluna correspondem à temperatura de funcionamento do condutor de 90 °C.



13

**ANEXO
DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA
E DA INTENSIDADE DE
CORRENTE EM MOTORES
ASSÍNCRONOS**

13.1 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA

E DA INTENSIDADE DE CORRENTE EM

MOTORES ASSÍNCRONOS

A intensidade I em Ampere num motor trifásico calcula-se através da fórmula:

P. 736

$$I = \frac{P}{\dots\dots\dots}$$

$$R \cdot U \cdot \cos \varphi \sqrt{3}$$

I = Intensidade da corrente

U = Tensão (V)

$\cos \varphi$ = Factor de potência

R = Rendimento do motor

P = Potência útil transmitida (CV)





POTÊNCIA ÚTIL		RENDIMENTO (R)	FACTOR DE POTÊNCIA COS	POTÊNCIA ABSORVIDA kW	INTENSIDADE DE CORRENTE (A) PARA UMA TENSÃO DE		
CV	kW				220 V	380 V	440 V
0,2	0,15	0,69	0,65	0,21	0,86	0,50	0,43
0,3	0,22	0,70	0,67	0,32	1,24	0,72	0,62
0,4	0,29	0,72	0,70	0,41	1,54	0,89	0,77
0,5	0,37	0,73	0,72	0,50	1,84	1,06	0,92
0,75	0,55	0,75	0,74	0,74	2,6	1,5	1,3
1	0,74	0,76	0,76	1,97	3,35	1,95	1,67
1,5	1,1	0,78	0,78	1,4	4,8	2,8	2,4
2	1,5	0,80	0,80	1,9	6	3,5	3
2,5	1,8	0,81	0,82	2,3	7,3	4,2	3,6
3	2,2	0,81	0,83	2,7	8,6	5	4,3
4	2,9	0,82	0,84	3,6	11,2	6,5	5,6
5	3,7	0,84	0,84	4,4	13,7	7,9	6,8
6	4,4	0,85	0,84	5,2	16,3	9,4	8,1
7,5	5,5	0,85	0,84	6,5	20	12,1	10
10	7,4	0,85	0,85	8,7	26,7	15,5	13,3
12	8,8	0,86	0,86	10,3	31	18,2	15,5
15	11	0,88	0,86	12,6	38	22	19
18	13,3	0,88	0,87	15,1	45	26	22,5
20	14,7	0,88	0,87	16,8	51	29	25,5
30	22,1	0,89	0,88	24,8	74	43	37

O rendimento corresponde a um motor de 1500 rpm.

